

101-66-7637

MOTC-IOT-100-H1DB007

# 道路及橋梁災害防救災系統建置 之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-66-7637

MOTC-IOT-100-H1DB007

# 道路及橋梁災害防救災系統建置 之研究(1/4)

著者：張道光、林雅雯、薛強、張智元、葉啟章  
張權、雷祖強、廖為忠、謝孟勳、張晏魁

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(1/4)

/張道光等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 101.04 面； 公分

ISBN 978-986-03-2067-1 (平裝)

1. 防災工程 2. 道路工程 3. 橋樑工程 4. 決策支援系統

445.5029

101004639

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(1/4)

著 者：張道光、林雅雯、薛 強、張智元葉啓章、張 權、雷祖強  
廖爲忠、謝孟勳、張晏魁

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 101 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：350 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010100492

ISBN：978-986-03-2067-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

101

道路及橋梁災害防救災系統建置之研究發  
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010100492  
定價 350 元

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：道路及橋梁災害防救災系統建置之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-2067-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1010100492	運輸研究所出版品編號 101-66-7637	計畫編號 100-H1DB007
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 研究人員：林雅雯 參與人員：李春容、陳毓清 林隆貞、黃如蜜 聯絡電話：04-26587174 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：財團法人中興工程顧問社、逢甲大學 計畫主持人：薛強 協同主持人：張智元 研究人員：葉啟章、張權、雷組強、廖為忠、謝孟勳、張晏魁 地址：117 臺北市南京東路 5 段 171 號 聯絡電話：(02)27692131 轉 20958		研究期間 自 100 年 01 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：山區道路、監測、易致災性、橋梁檢測、風險評估、維護管理、決策模式			
摘要： <p>在臺灣山區道路因受到自然與人為災害侵襲(如颱風、地震、地滑、土石流、破碎地質與不適當的土地利用開發等)容易產生道路災害等問題。又國內橋梁常受地震與颱洪威脅，又有超載與老劣化問題，耐久性與安全性日益堪慮，保全橋梁殘餘壽齡迫在眉睫，安全檢測工作非常重要。本研究乃透過前人的研究與現場調查結果，針對道路所處環境的自然環境基本資料與災害歷史資料，建立風險管理的評估架構，並且檢討現行道路監測預警系統，提出創新構思與監測管理與養護巡察措施，以提高國內道路整體安全的使用，並且藉由資料蒐集與彙整分析、訪談分析、現地檢測作業問題與變異性分析、專家座談與意見回饋等方式，探討國內目前橋梁檢測作業規定及執行面之困難與問題，提出借鏡國外經驗、國內橋梁檢測有效施行以及橋梁檢測評估與國內相關規範、資訊系統有效結合施行之具體建議，最後規劃橋梁風險評估之方向與議題。</p> <p>本研究之成果與效益包括：1.透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段之災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。2.本研究成果可以改善橋梁檢測作業，讓管理單位確實掌握橋梁狀況以便進行維護，達到延壽目的。3.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 4 月	414	350	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附錄抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE:</b> Establishment of disaster prevention and rescue system on roads and bridges (1/4)			
<b>ISBN(OR ISSN)</b> ISBN978-986-03-2067-1 (pbk)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1010100492	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 101-66-7637	<b>PROJECT NUMBER</b> 100-H1DB007
<b>DIVISION:</b> Harbor & Marine Technology Center <b>DIVISION DIRECTOR:</b> Chiu Yung-Fang <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Chang Tao-kuang <b>PROJECT STAFF:</b> Lin Ya-Wen <b>PHONE:</b> (04) 26587174 <b>FAX:</b> (04) 26564418			<b>PROJECT PERIOD</b> FROM January 2011 TO December 2011
<b>RESEARCH AGENCY:</b> Sinotech Engineering Consultants, Inc. ,Feng Chia University <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Xue, Qiang <b>Co-PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Chang Chih-Yuan <b>PROJECT STAFF:</b> Yeh Chi-Jang, Jhang Chyuan, Lei Tsu-Chiang, Liao Wei-Chong, Hsieh Meng-Hsun, Chang Yen-Kuie <b>PROJECT TECHNICIAN:</b> C. R. Lee, Y. Q. Chen, Q. R. Wei, Lin J.M. Huang <b>ADDRESS:</b> 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan ROC <b>PHONE:</b> 886-2-27692131 ext. 20958			
<b>KEY WORDS:</b> : Mountain Road, Monitor · Vulnerability, Bridge inspection, Risk Assessment, Maintenance Management, Decision Making Model			
<b>ABSTRACT:</b> <p>In Taiwan, the issue of high frequency disaster of mountain road often is caused by natural and human troubles, such as typhoons, earthquakes, landslides, debris flow, fragile geological and inappropriate land use. Bridges in Taiwan are frequently threatened by earthquakes and typhoon. In addition, with overload problem and deterioration of old bridges, durability and safety issues become mainly concerned. Bridge inspection is very important. In consideration of the abovementioned issues, based on previous studies and field investigations, this research aims to develop a risk management assessment framework according to the road environment, which includes basic information on the natural environment and disaster historical data. It also reviews the existing road monitoring and warning system and proposes innovative ideas on inspections and monitoring of management and conservation measures hopefully to develop a new early warning measure to improve the overall safety of the road. This study carries out through data collection and analyses, interviews analyses, in-situ inspections and variability analyses, experts discussions and feedbacks to discover difficulties and problems encountered currently in Taiwan. Recommendations on the effective implementation of bridge inspection and effective integration with relevant codes and information systems are made by learning from foreign experiences. Finally, research direction and subjects of risk assessment of bridges are also proposed.</p> <p>The results and benefits are expected to: 1. The management pattern's establishment can effectively understand the risk sections of the potential disasters and offer the highway management agencies on a reference. 2. This research results will improve national bridge inspection level so that the bridge management organization could master the bridge condition exactly for maintenance and life extension purposes. 3. This studies and results can be used for follow-up related research.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> April 2012	<b>NUMBER OF PAGES</b> 414	<b>PRICE</b> 350	<b>CLASSIFICATION</b> <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 道路及橋梁災害防救系統建置之研究(1-4)

## 目 錄

中文摘要 .....	I
中文摘要 .....	II
目錄 .....	III
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	XIII
第一章 前言 .....	1-1
1.1 研究緣起 .....	1-1
1.2 研究目的 .....	1-2
1.3 研究範圍 .....	1-2
1.4 研究方法 .....	1-3
1.5 研究內容與流程 .....	1-4
第二章 國內、外橋梁檢測文獻蒐集與回顧與國外目前橋梁檢測作 業探討分析 .....	2-1
2.1 橋梁檢測相關規範或手冊 .....	2-1
2.1.1 國外資料 .....	2-1
2.1.1.1 美國 .....	2-2
2.1.1.2 日本 .....	2-20
2.1.2 國內資料 .....	2-34
2.1.2.1 公路橋梁 .....	2-34
2.1.2.2 鐵路橋梁 .....	2-35
2.1.2.3 D.E.R.&U.評估法及 A.B.C.D.N.評估法 .....	2-36

2.1.2.4	橋梁維護管理作業評鑑 .....	2-42
2.2	橋梁檢測相關研究報告 .....	2-44
2.2.1	國外資料 .....	2-44
2.2.2	國內資料 .....	2-46
2.2.2.1	橋梁檢測制度與評等方法相關研究 .....	2-46
2.2.2.2	橋梁評估指標與橋梁排序 .....	2-51
2.2.2.3	橋梁性能初步評估 .....	2-69
2.2.2.4	非破壞性檢測 .....	2-79
2.2.2.5	破壞性檢測 .....	2-79
2.2.2.6	橋梁性能詳細評估 .....	2-79
2.2.2.7	橋梁健康監測 .....	2-82
2.2.2.8	橋梁生命週期維護管理 .....	2-83
2.3	橋梁檢測相關資訊系統 .....	2-85
2.3.1	國外資料 .....	2-85
2.3.1.1	美國 .....	2-85
2.3.1.2	日本 .....	2-86
2.3.2	國內資料 .....	2-87
2.4	國外目前橋梁檢測作業分析比較 .....	2-96
2.4.1	檢測相關法規 .....	2-97
2.4.2	檢測人員編制 .....	2-97
2.4.3	人員資格限制 .....	2-97
2.4.4	檢測等級 .....	2-97
2.4.5	檢測方法 .....	2-98

2.4.6 檢測頻率 .....	2-98
2.4.7 估方式 .....	2-98
2.5 借鏡之建議.....	2-99
第三章 國內橋梁檢測作業規定與執行情形之探討分析.....	3-1
3.1 公路養護手冊.....	3-1
3.2 主要橋梁管理單位橋檢作業規定比較.....	3-6
3.3 評估方式 .....	3-13
3.4 檢測項目 .....	3-15
3.5 檢測表格 .....	3-15
3.6 檢測等級.....	3-18
3.7 檢測時機.....	3-21
3.8 檢測人力 .....	3-22
3.9 儀器設備 .....	3-23
3.10 檢測經費 .....	3-25
3.11 辦理方式 .....	3-26
3.12 人員資格與培訓.....	3-27
第四章 現地檢測作業問題點與檢測結果變異性.....	4-1
4.1 現地檢測作業問題點.....	4-1
4.2 變異性探討方法 .....	4-4
4.2.1 變量定義 .....	4-4
4.2.2 變異性分析 .....	4-5
4.3 案例探討.....	4-6
4.3.1 現地檢測橋梁說明 .....	4-6

4.3.2 變異性分析結果 .....	4-6
第五章 橋梁檢測有效施行之具體建議.....	5-1
5.1 作業規定與流程 .....	5-1
5.2 檢測等級 .....	5-2
5.3 檢測時機 .....	5-3
5.4 檢測表格 .....	5-4
5.5 檢測項目 .....	5-4
5.6 檢測人力 .....	5-5
5.7 儀器設備 .....	5-5
5.8 檢測經費 .....	5-6
5.9 辦理方式 .....	5-7
5.10 評估方式 .....	5-8
5.10.1 構件損傷程度(D)與損傷範圍(E)之評估.....	5-8
5.10.2 強化 D.E.R.&U.檢測結果之應用 .....	5-14
第六章 橋梁檢測評估與國內相關規範及資訊系統有效結合施行 建議.....	6-1
6.1 橋檢與性能評估等後續工作結合.....	6-1
6.2 橋檢與資訊系統之整合 .....	6-3
第七章 橋梁風險評估之規劃建議.....	7-1
7.1 風險相關概念 .....	7-1
7.2 風險管理架構.....	7-2
7.3 橋梁風險評估與管理之規劃建議.....	7-3
7.3.1 範疇界定 .....	7-3
7.3.2 前置作業 .....	7-3

7.3.3 風險辨識 .....	7-4
7.3.4 風險分析 .....	7-4
7.3.5 風險評估 .....	7-5
7.3.6 風險控制 .....	7-5
7.3.7 規劃建議 .....	7-6
第八章 臺18線與臺21線山區道路災害類型彙整、分類與特性分析	8-1
8.1 山區道路災害彙整 .....	8-1
8.2 山區道路災害資料分類 .....	8-6
8.2.1 地質與地形對邊坡的影響 .....	8-6
8.2.2 坡度對邊坡的影響 .....	8-7
8.2.3 水對邊坡的影響 .....	8-8
8.2.4 人為開發對邊坡的影響 .....	8-10
8.3 山區道路災害特性分析 .....	8-11
8.3.1 研究區莫拉克事件資料分析 .....	8-11
8.3.2 山區道路災害類型 .....	8-22
第九章 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作 .....	9-1
9.1 山區道路易致災路段之分類 .....	9-1
9.2 山區道路調查表格製作 .....	9-4
9.3 山區道路現地調查 .....	9-10
第十章 臺18線與臺21線山區道路各類型易致災路段之危害度分析	10-1
10.1 山區道路崩塌潛勢因子 .....	10-1
10.2 各類型山區道路易致災路段之危害度分析 .....	10-13
10.2.1 邏輯斯迴歸模式 .....	10-13

10.2.2	約略集合理論分析 .....	10-14
10.2.3	分析方法 .....	10-19
第十一章	臺18線與臺21線山區道路各類型易致災路段之易致災 性分析.....	11-1
11.1	山區道路線脆弱性因子調查分析.....	11-2
11.2	各類型山區道路易致災路段之易致災性分析.....	11-4
第十二章	臺18線與臺21線山區道路各類型易致災路段之監測系統 規劃與應變計畫.....	12-1
12.1	各類易致災路段之監測元件及系統規劃.....	12-3
12.1.1	各類易致災路段之監測元件 .....	12-3
12.1.2	山區道路易致災路段之監測系統規劃 .....	12-8
12.2	臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃.....	12-18
第十三章	臺18線與臺21線道路各類型易致災路段之應變計畫 .....	13-1
13.1	國內山區道路災害應變機制與計畫.....	13-1
13.1.1	國內山區道路災害應變機制 .....	13-1
13.1.2	國內山區道路災害應變計畫 .....	13-7
13.2	易致災路段之應變計畫.....	13-9
13.2.1	執行計畫之依據及目的 .....	13-10
13.2.2	各項災害及緊急事故處理作業 .....	13-10
第十四章	國內外道路快速搶險機制回顧與檢討.....	14-1
14.1	國內外道路工程緊急搶修作業相關文獻.....	14-1
14.2	山區道路快速搶修機制檢討.....	14-4
第十五章	結論與建議.....	15-1
15.1	結論.....	15-2

15.2 建議.....	15-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 橋梁維護管理作業評鑑方式.....	附錄1-1
附錄二 臺18線、臺21線易致災性分布(以718豪雨為例).....	附錄2-1

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	1-5
圖 2.1 美國橋梁檢測頻率 .....	2-4
圖 2.2 AASHTO-NBE 橋梁構件 .....	2-13
圖 2.3 美國能力評等 SR .....	2-17
圖 2.4 美國 NBIS 橋梁檢測與 SR 評等流程 .....	2-18
圖 2.5 美國 LRFR 評量流程 .....	2-19
圖 2.6 日本橋梁檢測作業的流程 .....	2-26
圖 2.7 日本橋梁不同檢測等級對應之檢測方法 .....	2-27
圖 2.8 CSI 指標建立流程圖 .....	2-61
圖 2.9 橋梁重要性等級評定架構 .....	2-62
圖 2.10 橋梁綜合評估與優選排序指標評估架構圖 .....	2-67
圖 2.11 梁承載能力分析評估流程圖 .....	2-81
圖 2.12 耐震能力詳細評估流程 .....	2-81
圖 2.13 近海橋梁結構使用年限趨勢曲線圖 .....	2-84
圖 2.14 橋梁基本資料表(管理、河川、幾何資料) .....	2-89
圖 2.15 橋梁基本資料表(結構、特殊結構、設計資料與備註) .....	2-89
圖 2.16 橋梁定檢主表 .....	2-90
圖 2.17 定期檢測篩選列表 .....	2-91
圖 2.18 橋梁維修契約主表 .....	2-91

圖 2.19 橋齡統計範例.....	2-92
圖 2.20 構件劣化判斷介面.....	2-95
圖 3.1 臺灣地區主要橋梁管理機關所轄橋數統計.....	3-1
圖 5.1 橋梁檢測項目發生損傷之比例.....	5-10
圖 6.1 橋檢與性能評估等後續工作結合實施示意圖.....	6-3
圖 7.1 風險管理架構.....	7-3
圖 8.1 道路邊坡災害歷史的災點統計.....	8-1
圖 8.2 地滑與地層傾斜方向關係之統計(楊佳勳，2001).....	8-7
圖 8.3 水對邊坡造成各種破壞類型.....	8-10
圖 8.4 邊坡崩塌的種類統計(楊智光，2002).....	8-11
圖 8.5 臺 18 全線 SPOT 衛星影像圖.....	8-12
圖 8.6 臺 21 全線 SPOT 衛星影像圖.....	8-12
圖 8.7 崩塌資料庫選取範圍.....	8-14
圖 8.8 各坡度分級之崩塌率.....	8-15
圖 8.9 各地質分類之崩塌率.....	8-15
圖 8.10 累積雨量與崩塌率之關係.....	8-15
圖 8.11 降雨強度與崩塌率之關係.....	8-15
圖 8.12 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-16
圖 8.13 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-16
圖 8.14 第 3 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-17
圖 8.15 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-17

圖 8.16 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-18
圖 8.17 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-18
圖 8.18 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm).....	8-19
圖 8.19 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm).....	8-19
圖 8.20 第 3 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm).....	8-20
圖 8.21 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-20
圖 8.22 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-21
圖 8.23 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm).....	8-21
圖 8.24 臺 18 線右線道路災害累計次數圖.....	8-24
圖 8.25 臺 18 線左線道路災害累計次數圖.....	8-24
圖 8.26 臺 21 線右線道路災害累計次數圖.....	8-25
圖 8.27 臺 21 線左線道路災害累計次數圖.....	8-25
圖 8.28 山區道路災害類型-土石坍方.....	8-26
圖 8.29 路基流失(下邊坡破壞).....	8-27
圖 8.30 山區道路災害類型-路基流失.....	8-28
圖 9.1 臺 21 線現地調查道路災害照片.....	9-13
圖 9.2 道路資料庫(部分).....	9-17
圖 10.1 危害度評估參數.....	10-1
圖 10.2 臺 18 線路段坡度圖.....	10-3
圖 10.3 臺 21 線路段坡度圖.....	10-4
圖 10.4 臺 18 線路段地質圖.....	10-5

圖 10.5 臺 21 線路段地質圖.....	10-6
圖 10.6 臺 21 線地質崩塌比.....	10-6
圖 10.7 臺 18 線 NDVI 圖.....	10-8
圖 10.8 臺 18 線 NDVI 分級.....	10-9
圖 10.9 臺 18 線周邊雨量站分佈狀況.....	10-11
圖 10.10 臺 21 線周邊雨量站分佈狀況.....	10-11
圖 10.11 臺 18 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖.....	10-12
圖 10.12 臺 21 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖.....	10-12
圖 10.13 約略集合理論概念示意圖.....	10-15
圖 10.14 約略集合軟體架構圖.....	10-16
圖 10.15 ROSE 軟體介面.....	10-16
圖 10.16 ROSE 之約略集合資料離散與離散門檻.....	10-17
圖 10.17 ROSE 之約略集合資料離散結果.....	10-17
圖 10.18 ROSE 之約略集合資料整合.....	10-18
圖 10.19 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果一.....	10-18
圖 10.20 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果二.....	10-18
圖 10.21 SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能.....	10-23
圖 10.22 邏輯斯迴歸選取分析變數.....	10-23
圖 10.23 臺 18 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖.....	10-27
圖 10.24 臺 21 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖.....	10-28
圖 10.25 臺 18 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例.....	10-29

圖 10.26 臺 21 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例 .....	10-30
圖 10.27 臺 18 線危害度評估示意圖-以辛樂克颱風為例 .....	10-31
圖 10.28 臺 21 線危害度評估示意圖-以辛樂克為例 .....	10-32
圖 11.1 易致災性概念示意圖 .....	11-1
圖 11.2 風險評估架構 .....	11-2
圖 11.3 脆弱性因子分析圖 .....	11-4
圖 11.4 臺 18 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例 .....	11-6
圖 11.5 臺 21 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例 .....	11-7
圖 11.6 臺 18 線預測降雨 300mm 評估示意圖 .....	11-8
圖 11.7 臺 18 線預測降雨 600mm 評估示意圖 .....	11-8
圖 11.8 臺 18 線預測降雨 900mm 評估示意圖 .....	11-9
圖 11.9 臺 21 線預測降雨 300mm 評估示意圖 .....	11-10
圖 11.10 臺 21 線預測降雨 600mm 評估示意圖 .....	11-11
圖 11.11 臺 21 線預測降雨 900mm 評估示意圖 .....	11-12
圖 12.1 RS485 介面轉 TCP 轉接器 .....	12-9
圖 12.2 集線器匯集多種前端儀器之示意圖 .....	12-9
圖 12.3 系統規劃層級圖 .....	12-16
圖 12.4 臺 18 線山區道路歷史災害數量分布圖 .....	12-20
圖 12.5 臺 21 線山區道路歷史災害數量分布圖(圖一) .....	12-21
圖 12.6 臺 21 線山區道路歷史災害數量分布圖(圖二) .....	12-22
圖 12.7 臺 18 線與臺 21 線山區道路高易致災路段圖 .....	12-23

圖 12.8 臺 18 線 20K 處監測儀器配置圖.....	12-24
圖 12.9 臺 18 線 63.5K 處監測儀器配置圖.....	12-24
圖 12.10 臺 21 線 12K 處監測儀器配置圖.....	12-25
圖 12.11 臺 21 線 114K 處監測儀器配置圖.....	12-25
圖 13.1 公路預警機制 4 階段.....	13-1
圖 13.2 100 年新增策進作為(以紅色粗框標示).....	13-7
圖 13.3 公路防救災預警機制流程圖.....	13-9
圖 13.4 工程災害緊急應變小組組織架構圖(工程處).....	13-11
圖 13.5 工程災害緊急應變小組組織架構.....	13-15
圖 13.6 緊急應變小組開設流程圖.....	13-17
圖 13.7 應變計畫單位分工動態表.....	13-21
圖 14.1 含監測預警系統之處理流程與搶險機制.....	14-3

## 表目錄

表 2-1 各國檢測規範或手冊 .....	2-1
表 2-2 美國梁檢測等級 .....	2-3
表 2-3 美國橋梁檢測培訓課程 .....	2-5
表 2-4 美國各年代與橋梁檢測相關準則 .....	2-8
表 2-5 美國橋梁基本資料與評量(SI&A)表 .....	2-10
表 2-6 美國 SI&A 評量表之項目與內容.....	2-11
表 2-7 美國 FHWA 構件評估準則 .....	2-12
表 2-8 美國 FHWA 結構部位現況評估準則 .....	2-14
表 2-9 美國 FHWA 服務水準評估準則 .....	2-15
表 2-10 結構缺陷與功能喪失評定標準 .....	2-15
表 2-11 橋梁能力評等中各項指標準則.....	2-17
表 2-12 LRFR 之現況係數 .....	2-20
表 2-13 日本道路公團橋梁檢測等級 .....	2-21
表 2-14 日本橋梁檢測頻率 .....	2-22
表 2-15 日本各橋梁檢測等級所需檢測的構件 .....	2-23
表 2-16 日本橋梁檢測作業班的編成人員 .....	2-24
表 2-17 日本道路公團橋梁評估準則 .....	2-25
表 2-18 日本橋梁定期檢測、臨時檢測報告書 .....	2-28
表 2-19 日本橋梁定期檢測報告書(1).....	2-29

表 2-20 日本橋梁定期檢測報告書(2).....	2-29
表 2-21 日本橋梁定期檢測報告書(3).....	2-30
表 2-22 日本橋梁定期檢測報告書(4).....	2-30
表 2-23 日本橋梁定期檢測報告書(5).....	2-31
表 2-24 日本橋梁定期檢測報告書(6).....	2-31
表 2-25 日本橋梁定期檢測報告書(7).....	2-32
表 2-26 日本橋梁定期檢測報告書(8).....	2-32
表 2-27 日本橋梁定期檢測報告書(9).....	2-33
表 2-28 日本橋梁定期檢測報告書(10).....	2-33
表 2-29 日本橋梁定期檢測報告書(11).....	2-34
表 2-30 公路橋梁檢測規範與手冊 .....	2-35
表 2-31 D.E.R.&U.評估準則 .....	2-37
表 2-32 D.E.R.&U.評估法檢測項目(一般橋梁).....	2-37
表 2-33 D.E.R.&U.評估法檢測項目(斜張橋).....	2-38
表 2-34 D.E.R.&U.評估法檢測項目(拱橋).....	2-38
表 2-35 D.E.R.&U.評估法檢測項目( $\pi$ 型橋).....	2-39
表 2-36 A.B.C.D.N.評估法檢測項目 .....	2-39
表 2-37 A.B.C.D.N.評估準則 .....	2-40
表 2-38 A.B.C.D.N.評等法結構物劣化之評等標準表 .....	2-40
表 2-39 橋檢作業現況問卷調查結果 .....	2-47
表 2-40 人員培訓問卷調查結果 .....	2-48

表 2-41 橋梁檢測人員簽證問卷調查結果 .....	2-49
表 2-42 CI 與 PI 指標之橋梁 21 構件權重表 .....	2-52
表 2-43 橋梁構件重要性指數 .....	2-55
表 2-44 一般梁式橋各指標計算之項目[公路].....	2-57
表 2-45 橋梁危險性指標(CSI)分級基準 .....	2-61
表 2-46 橋梁重要程度等級評定表(不含國防用途).....	2-63
表 2-47 橋梁重要程度等級評定表(含國防用途).....	2-64
表 2-48 橋梁地震易損性評估內容 .....	2-65
表 2-49 橋梁沖刷易損性評估表 .....	2-65
表 2-50 橋梁土石流易損性評估表 .....	2-66
表 2-51 橋梁重要等級及重要程度評分 .....	2-66
表 2-52 評估因子採用原則 .....	2-68
表 2-53 老舊橋梁維修優選排序綜合評估表 .....	2-70
表 2-54 易損性評估表(超載、地震、腐蝕).....	2-71
表 2-55 易損性評估表(沖刷、土石流).....	2-72
表 2-56 公路橋梁承載能力初步評估表 .....	2-73
表 2-57 公路橋梁耐洪能力初步評估表 .....	2-73
表 2-58 公路橋梁沖刷潛能初步評估表 .....	2-74
表 2-59 公路橋梁耐震能力初步評估表—落橋評估 .....	2-74
表 2-60 公路橋梁耐震能力初步評估表—混凝土橋柱強度韌性評估 .....	2-75
表 2-61 公路橋梁耐震能力初步評估表—鋼橋柱強度韌性評估 .....	2-75

表 2-62 公路橋梁耐震評估檢查表—落橋評估(一般橋梁).....	2-76
表 2-63 公路橋梁耐震評估檢查表—強度韌性評估(一般橋梁) .....	2-77
表 2-64 安全度評定標準及處理對策 .....	2-78
表 3-1 公路養護手冊橋梁檢測相關規定 .....	3-2
表 3-2 橋梁基本資料表(公路養護手冊表 A6).....	3-4
表 3-3 橋梁定期檢測資料表(公路養護手冊表 A7).....	3-5
表 3-4 橋梁特別檢測評估表(公路養護手冊表 A8).....	3-6
表 3-5 高公局、公路總局與鐵路局橋梁檢測作業規定比較表 .....	3-7
表 3-6 橋梁定期檢測資料表 .....	3-16
表 3-7 鐵路橋梁目視檢查表 .....	3-17
表 3-8 颱風豪雨後特殊檢測標準及內容 .....	3-18
表 3-9 地震後特殊檢檢測標準及內容 .....	3-19
表 3-10 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範特別檢測相關規定 .....	3-10
表 3-11 一般橋梁檢測作業內容與方法.....	3-26
表 4-1 仙人橋 D 值檢測期望值與變異數 .....	4-8
表 4-2 仙人橋 E 值檢測期望值與變異數.....	4-9
表 4-3 仙人橋 R 值檢測期望值與變異數.....	4-10
表 4-4 仙人橋 I <sub>ci</sub> 值(依計算 CI 方式)檢測期望值與變異數 .....	4-12
表 4-5 仙人橋 I <sub>ci</sub> 值(依計算 PI 方式)檢測期望值與變異數.....	4-13
表 5-1 全臺至 98 年有損傷橋梁主要構件排序分析表 .....	5-11
表 5-2 全臺 100 年損傷程度 D <sub>≥3</sub> 之橋梁主要構件排序分析表 .....	5-12

表 5-3 橋台損傷多段記錄參考表 .....	5-14
表 5-4 構件功能失效可能性矩陣 .....	5-16
表 5-5 本研究現地檢測橋梁 CI 與 CI*比較表 .....	5-20
表 5-6 本研究現地檢測橋梁新 CI 與新 CI*比較表 .....	5-21
表 5-7 本研究現地檢測橋梁 PI 與 PI*比較表 .....	5-22
表 5-8 本研究現地檢測橋梁新 PI 與新 PI*比較表 .....	5-24
表 5-9 本研究現地檢測橋梁新 PI 與 PI*建議比較表 .....	5-25
表 5-10 表 5-5~表 5-9 關鍵性構件項目排序比較表 .....	5-26
表 8-1 公路總局轄區易落石及坍方危險路段彙總表 .....	8-2
表 8-2 水土保持手冊坡度分級 .....	8-8
表 8-3 水對邊坡不利之影響 .....	8-9
表 8-4 地盤分類圖(Lee et al., 2001).....	8-15
表 8-5 地文、地質組合 .....	8-15
表 8-6 民國 85-99 年間省道臺 18 線災害類別統計.....	8-22
表 8-7 民國 85-99 年間省道臺 21 線災害類別統計.....	8-23
表 8-8 民國 87 年~97 年颱風所造成公路災情比較表 .....	8-28
表 9-1 易致災危險度評估表(以臺 18 線為例).....	9-3
表 9-2 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表 .....	9-5
表 9-3 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表範例 .....	9-6
表 9-4 現地調查表.....	9-7
表 9-5 100 年現地調查點位數量資料表 .....	9-10

表 9-6 臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程現地調查記錄.....	9-11
表 9-7 南瑪都颱風海上陸上警報單 .....	9-12
表 9-8 南瑪都颱風災臺 18 線 97K+0 山區道路土石坍方現地調查記錄 .....	9-14
表 9-9 南瑪都颱風災害臺 21 線 134K+0 山區道路土石坍方現地調查記 錄.....	9-15
表 10-1 崩塌地類型與發生條件(張石角，1992).....	10-2
表 10-2 植生覆蓋情形分級 .....	10-9
表 10-3 臺 18、21 線 97 至 100 歷史災害筆數 .....	10-19
表 10-4 臺 18 線沿線路段依據雨量站 .....	10-20
表 10-5 臺 21 線沿線路段依據雨量站 .....	10-20
表 10-6 模式建構採用歷史災害 .....	10-22
表 10-7 危害度參數示意表 .....	10-22
表 10-8 邏輯斯迴歸模式分析結果 .....	10-24
表 10-9 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法一).....	10-24
表 10-10 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法二).....	10-25
表 10-11 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法三).....	10-25
表 10-12 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法一).....	10-25
表 10-13 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法二).....	10-25
表 10-14 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法三).....	10-25
表 10-15 台 18 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表 .	10-27
表 10-16 台 21 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表 .	10-27

表 10-17 邏輯斯迴歸模式參數 .....	10-28
表 11-1 山區道路易致災性評估工程設施評分表 .....	11-5
表 11-2 山區道路易致災性評估累計崩塌次數評分表 .....	11-6
表 12-1 各類監測儀器之特點(修改自 USBR, 1987).....	12-7
表 12-2 各種通訊方式比較表 .....	12-13
表 12-3 監測儀器數量一覽表 .....	12-29
表 13-1 公路總局第二區養護工程處重點監控路段降雨管理值 .....	13-4
表 13-2 工程處緊急應變小組任務分配表 .....	13-11
表 13-3 工程處緊急應變小組任務職掌表 .....	13-12

# 第一章 前言

## 1.1 研究緣起

臺灣全島三分之二為丘陵及山地，屬於亞熱帶海島型氣候，故因天然災害的頻繁侵襲，極易對工程設施之安全性造成威脅。山區道路極易造成嚴重的邊坡災害。所以預測道路破壞之可能性及其風險，進而了解該如何進行監測管理，成了山區道路邊坡災害管理極為重要的議題。國內道路建設在過去因考量地形之故，為維護人車安全而大量運用邊坡穩定工法，惟仍常因遭逢天然或人為災害導致崩塌，造成情節不等之災害，因此有必要針對道路邊坡崩塌發生機制、防治效益評估方法與應用之研究課題投入心力，藉以提昇防救災作業效能，並延展公路營運之服務年限，進而達成公路建設「永續經營」之政策。

又臺灣位處環太平洋地震帶，地震頻繁造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋的耐震能力更有不足之慮；每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型的氣候也容易造成橋梁材料腐蝕劣化，特別是老舊橋梁問題明顯；在人為使用方面，亦有車輛超載問題。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫。

公路系統為交通運輸與民生活動的重要管道，橋梁為陸上交通系統中極為重要的部分，橋梁損壞不但可能阻斷交通，若因災害發生造成破壞，將會對災後的聯絡、急難救助與物資運輸造成重大衝擊，而影響救災工作亦可能危及用路人之生命財產，而重大之橋梁損壞更將付出極大的社會成本，甚者損及國家經濟建設發展或造成區域交通癱瘓，橋梁安全管理非常重要。

基於上述之原由，本研究計畫分兩個方向來探討；1.橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發；2.山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發。

## 1.2 研究目的

本研究目的可摘列整理如下：

1. 透過持續資料的更新及邏輯斯迴歸模式，針對崩塌區位、崩塌量體、土砂災害及區域降雨量，提升、加強與改善現有風險管理的精度。並針對崩塌潛勢高低，在不同等級的保護規模條件下進行監測、管理以及預警的規劃準備。
2. 探討分析國內目前橋梁檢測作業規定及其執行情形，提出檢測作業問題點及分析不同檢測人員結果之變異性。
3. 研提橋梁檢測有效施行之具體建議，提出「橋梁檢測評估」與國內相關規範、資訊系統如何結合並有效施行之建議，另外在現行檢測制度、方式及項目下，提出橋梁安全風險評估之規劃建議。

## 1.3 研究範圍

在橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發部分主要聚焦於公路橋梁，特別針對目視檢測之作業規定、執行面以及與國內相關規範和資訊系統之結合實施方向進行探討。而破壞性檢測以及非破壞性檢測則於結合實施層面納入考量。

山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發部分，乃針對臺18線與臺21線各路段之歷史道路邊坡災害資料進行蒐集，並於重大災害發生後實施現地調查，並將災害資料進行危害度分析與易致災性分析，進而持續規劃臺18線與21線各類型易致災路段之監測系統、應變計畫，並檢討道路快速搶險機制，希望能夠

將成果落實應用在相關管理及工程基層單位。亦期望透過管理模式的建立，可以有效瞭解山區道路易致災路段之災害潛勢、風險，以作為道路管理機關維護管理之參考依據，並提高整體管理的效益，給予山區道路使用者更安全且可靠的使用環境，以減少不必要之災損發生。

## 1.4 研究方法

在橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發部分本研究係藉由文獻資料蒐集與彙整分析、現地檢測作業問題與變異性分析、意見回饋，探討國內目前橋梁檢測作業規定及其執行情形所面臨之困難與問題，提出借鏡國外經驗、國內橋梁檢測有效施行以及「橋梁檢測評估」與國內相關規範、資訊系統有效結合施行之具體建議，最後規劃橋梁風險評估之方向與議題。

山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發部分，首先透過相關資料之蒐集彙整與現地調查作業，將山區道路資料予以建檔，並持續擴充既有之道路邊坡災害資料庫，利用已建檔之相關資料，進行危害度分析與易致災性分析，建立兩線道路之易致災性分析模式。並應用分析所得之各路段易致災性協助提擬適合國內區域性道路邊坡監測預警系統之崩塌判定與預警參考基準值，研擬易致災路段之應變計劃，並對國內、外道路快速搶險機制回顧與檢討。

## 1.5 研究內容與流程

本研究之主要工作項目如下所示，其工作流程如圖 1.1 所示。

1. 國內、外橋梁檢測文獻蒐集與回顧
2. 國外目前橋梁檢測作業探討分析
3. 國內橋梁檢測作業規定與執行情形之探討分析

4. 現地檢測作業問題點與檢測結果變異性
5. 橋梁檢測有效施行之具體建議
6. 橋梁檢測評估與國內相關規範及資訊系統有效結合施行建議
7. 橋梁風險評估之規劃建議
8. 臺 18 線與臺 21 線山區道路災害類型彙整、分類與特性分析
9. 國內山區道路易致災路段之分類及調查表格製作
10. 臺 18 線與臺 21 線山區道路各類型易致災路段之危害度與易致災性分析
11. 臺 18 線與臺 21 線山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃與應變計畫
12. 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討
13. 結論與建議

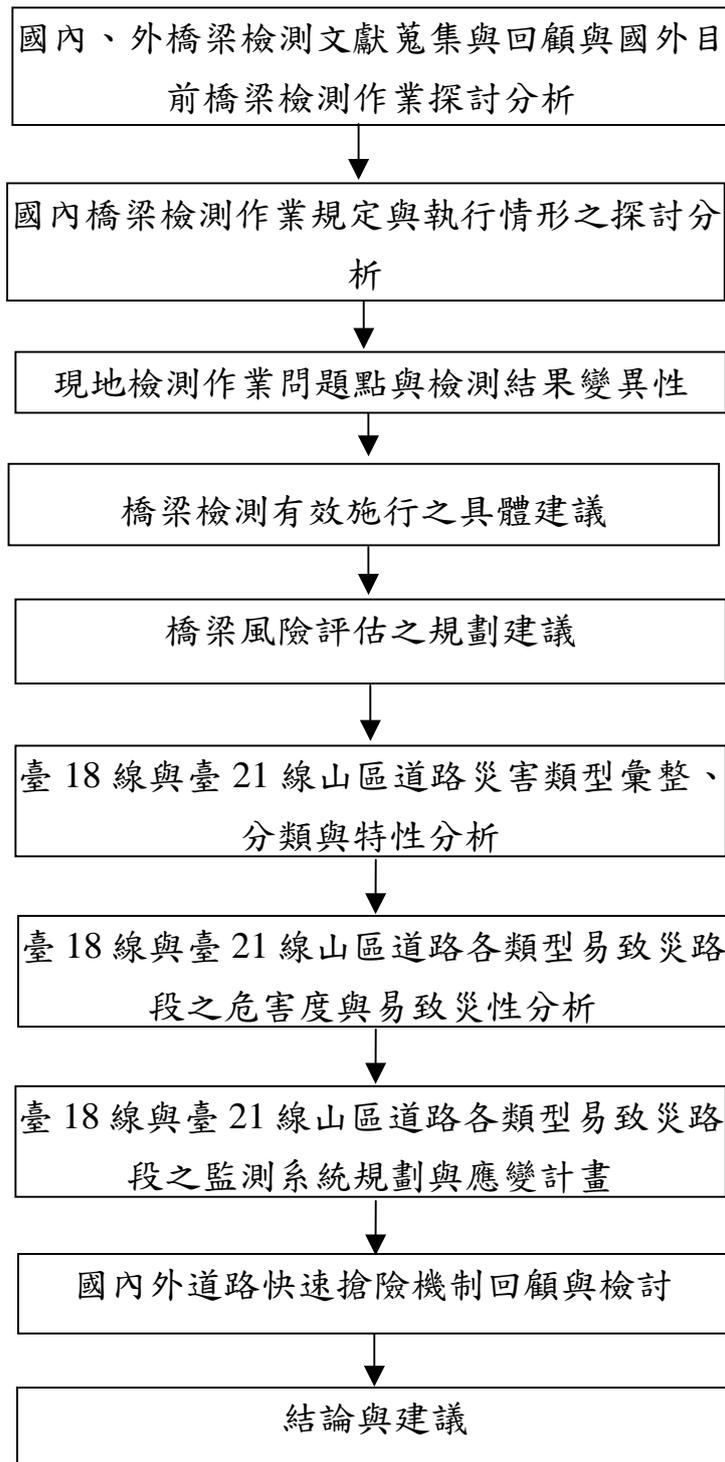


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 國內、外橋梁檢測文獻蒐集與回顧與國外目前 橋梁檢測作業探討分析

### 2.1 橋梁檢測相關規範或手冊

由於橋梁種類繁多，構造各異，要將所有種類的橋梁於同一規範下進行管理檢查與維護，在執行上有其難度，所以世界各國在規範橋梁檢測方面，各有其立論依據與不同之作法。我國各等級橋梁管理單位，亦有其自行之規定，並依據其規定而進行管理與維護。

#### 2.1.1 國外資料

世界先進國家中，在幅員廣大的國境其橋梁數量十分驚人，維護管理所需花費的時間人力與資源也相當可觀，如何能在最經濟的方式與合理的頻率下，對目前數量龐大的橋梁進行檢測維修，是各國重要的橋梁維護原則，因此各國亦訂立相關橋梁檢測的作業規範，供管轄公路單位使用，各國的橋梁檢測規範或手冊如表 2-1<sup>[1-15]</sup>所示。由於臺灣橋梁設計偏美國、日本系統，所以特別詳述美國與日本兩國的橋梁檢測制度相關內容。

表 2-1 各國檢測規範或手冊

國家(單位)	文件
美國	<ul style="list-style-type: none"><li>• FHWA, National Bridge Inspection Standards, 1988.</li><li>• AASHTO, Bridge Element Inspection Guide Manual, 2010.</li><li>• AASHTO, Manual for Condition Evaluation of Bridges, 2010.</li><li>• AASHTO, Manual for Maintenance Inspection of Bridge, 1993.</li><li>• AASHTO, Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges, 2003.</li><li>• FHWA, Bridge Inspector's Reference Manual, 2006.</li><li>• FHWA, The Bridge Inspector's Manual for Movable Bridge, 1997.</li><li>• FHWA, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, 1995.</li></ul>

國家(單位)	文件
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本道路公團，橋梁定期点檢要領(案)，2003</li> <li>• 國土交通省，橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)，2003</li> <li>• 國土交通省，橋梁定期点檢要領(案)，2004</li> </ul>
中國	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 中華人民共和國交通部，公路養護技術規範，2004</li> </ul>
丹麥	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspection of Bridges, Danish National Road Directorate, 1994</li> </ul>
芬蘭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guidelines and Policy for Bridge MR&amp;R Operation</li> <li>• Guidelines for Bridge Inspection</li> <li>• Bridge Inspection Manual</li> <li>• Bridge Repair Manual (SILKO-Guidelines)</li> </ul>

### 2.1.1.1 美國

1967 年，在美國西維吉尼亞州與俄亥俄州交界處有一座名叫 "Silver Bridge"(銀橋)的橋梁，因一根桁架斷裂而導致全橋在瞬間坍塌，損失了 46 條人命，使美國注意到境內橋梁老化和缺少橋梁檢測準則等問題。而令聯邦運輸部於聯邦公路補助法令內建立起「國家橋梁調查標準」(National Bridge Inspection Standards, NBIS)，並以明文規定各州及各州有關單位應檢測及報告其轄區內之橋梁狀況。在聯邦公路系統下，只要橋梁長度超過 20 英尺(6 公尺左右)均必須列入編目中。而依照 NBIS 規定，至少每兩年必須檢測橋梁一次。此法令施行於聯邦公路系統後，有二十七萬四千座橋梁納入各州編目中，聯邦公路局(Federal Highway Administration, FHWA)匯集各州資料成立一個資料庫稱為「全國橋梁清冊」(National Bridge Inventory, NBI)。在 1978 年，此要求已擴展至各州公用道路。此準則於 1972 年發佈後，參考各州及工程界的意見進行修訂。

就美國橋梁檢測現況而言，目前 NBIS 列為在美國聯邦法規(Code of Federal Regulations, CFR)中的一節，該 CFR 近幾年(1995, 1997, 1998)均有修訂，一直為美國目前所遵行。而該規範中對公路的興建、維護、檢查、管理等，均有詳細規定。另外 NBIS 中亦包含了橋梁調查的程序、

頻率、人員資格、調查報告、登錄等內容，在 CFR 自 1994 年起的歷次修正中，NBIS 部份均未受影響，一直維持相同的內容，並未有任何的異動，顯示此部份已成為穩定可行的作業標準。以下就美國橋梁檢測相關制度與技術進行介紹。

## 1. 檢測等級

在美國橋梁檢測等級的部分，區分為 5 種類型，分別為初始檢測(Initial)、定期檢測(Routine)、損傷檢測(Damage)、深化檢測(In-Depth)及特殊檢測(Special)等，詳述如表 2-2<sup>[16]</sup>。

表 2-2 美國梁檢測等級

檢測等級	內容
初始檢測	主要採用目視檢測。此種檢測主要目的是建立橋梁初始檢測資料檔案，並可建立各構件結構評量資料，提供作為結構安全評量中，最初步評量之依據及資料庫之建置。
定期檢測	此種為例行性檢測，如美國為 2 年 1 次，主要目的是為確保橋梁結構是否符合服務安全性之要求。
損傷檢測	此種主要因突發環境改變或人為破壞而進行之檢測，檢測結果主要提供該緊急狀況是否需採取橋梁限重措施之參考。
深化檢測	此種檢測主要是用來輔助因定期檢測無法提供之服務，一般稱為非破壞檢測。衝錘法、鋼筋位置探測儀、裂縫深度檢測(超音波)、氯離子含量測試等非破壞檢測。
特殊檢測	此種檢測一般採用監測系統作為檢測工具，針對橋梁基礎沉陷、河床沖刷等進行監測，其中，監測系統大致分為(1)沖刷淘空監測系統、(2)沉陷、傾斜、溫度及接縫之監測系統及(3)土石流潛勢之監測系統，以即時了解及掌握橋梁特殊情況。

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

## 2. 檢測頻率

檢測頻率如圖 2.1。



圖 2.1 美國橋梁檢測頻率

### 3. 檢測人員編制與資格

從事橋梁檢測組織單位人員，包括專案經理、檢測小組負責人、載重評估人員與潛水檢測人員，必須具備 CFR 650.307 所規定的資格：

- (1) 專案經理(Program manager)：負責橋梁檢測、報告與管理工作
  - a. 必須是註冊專業工程師；
  - b. 或至少有十年橋梁檢測經驗；且已經完成了 FHWA 完整的訓練課程。
- (2) 小組負責人(Team leader)：負責檢測小組及檢測工作規劃、實行與報告。
  - a. 有上述的資格；或
  - b. 至少有 5 年橋梁檢測經驗，而且已完成了 FHWA 完整的訓練課程；或
  - c. 目前已有經國家專業工程師協會(NSPE)所規劃之全國工程技術檢定(NICET)核可的第 3 級或第 4 級之橋梁安全檢查員資格，而且已完成了 FHWA 完整的訓練課程，或
  - d. 學士學位，且通過國家考試院工程與調查類基礎考試，且有

2 年橋檢經驗，且已完成了 FHWA 完整的訓練課程；或

e. 工程或工程技術相關學位，且有 4 年橋檢經驗，且已完成了 FHWA 完整的訓練課程。

(3) 載重評估人員(Load rater)：全面性負責橋梁載重評估。

a. 必須是註冊專業工程師

(4) 潛水檢測人員(Under- water bridge inspection diver)：負責利用潛水檢測水面下的橋梁元件。

a. 必須完成了 FHWA 完整的訓練課程，或 FHWA 其他水下橋梁檢測訓練課程。

其中，FHWA 所提供橋梁檢測的完整訓練課程如表 2-3<sup>[17]</sup>所示：

表 2-3 美國橋梁檢測培訓課程

單位	課程	內容
NHI Courses	●FHWA-NHI-130054	●Engineering Concepts for Bridge Inspectors
	●FHWA-NHI-130055	●Safety Inspection of In-Service Bridges
	●FHWA-NHI-130078	●Fracture Critical Inspection Techniques for Steel Bridges
	●FHWA-NHI-130079	●Bridge Coatings Inspection
	●FHWA-NHI-130091	●Underwater Bridge Inspection
	●FHWA-NHI-130053	●Bridge Inspection Refresher Training
	●FHWA-NHI-134029	●Bridge Maintenance Training
	●FHWA-NHI-135047	●Stream Stability and Scour at Highway Bridges
	●FHWA-NHI-134056	●Pontis (BMS) Training
Alabama	●Annual training	●Annual bridge inspection training school, one day to one week in length ●State and local government inspectors are expected to attend in preparation for inspection of bridge structures.

單位	課程	內容
Florida	•General bridge inspection course	•Three-week course •Inspection of fixed bridges
	•Movable bridge inspection course	•One-week course •Movable bridge inspection •Inspection of mechanical and electrical components
	•Complex bridge inspection course	•One-week course •Inspection of segmentally constructed, post-tensioned, concrete box girder bridges
	•Culvert inspection course	•Pipe and box culverts
	•Inspection of Fracture Critical Bridge Members	•Recognize and inspect fracture-critical bridge members and teach the student how to inspect these members
	•Non-Destructive Testing (NDT) Methods for Steel Bridges	•Use of NDT on fracture-critical steel bridges
New Jersey	•NHI refresher Railroad bridges	•Once per year •For bridges over active railroad lines (NJ Transit, Conrail, Amtrak, CSX, Norfolk Southern, Shared Assets, etc.) the consultant must have his team leader and other field inspection engineers complete annual training provided by the concerned company.
New York	•NYSDOT Bridge Inspection Workshop	•Five-day course required for all inspectors and QC personnel
Ohio	•Comprehensive	•Six-day course that meets federal requirements for comprehensive bridge inspection training
	•Major bridge	•Special training and experience are required for major bridges
Oregon	•Confined Space Awareness	•Personnel inspecting interiors of box girders must complete the Confined Space Awareness training course

單位	課程	內容
Pennsylvania	•Basic bridge inspection training course	<ul style="list-style-type: none"> <li>•7.5 work days; instructors are Pes</li> <li>•Certificate of completion for attendance</li> <li>*Certified Bridge Safety Inspector card after testing/evaluation</li> </ul>
	•Bridge inspection refresher training course	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Three work days; instructors are PEs</li> </ul>
	•Fracture Critical Inspection Techniques for Steel Bridges	
	•Bridge Scour Evaluation	
Washington	•Bridge Condition Inspection Fundamentals	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Three-day course</li> <li>•Preparatory for Bridge Condition Inspection Training</li> </ul>
	•Bridge Condition Inspection Training	<ul style="list-style-type: none"> <li>•10-day course</li> <li>•Training includes 20 h in the field</li> <li>•For new inspectors or those who desire a complete refresher</li> <li>•Class is equivalent to the NHI-130055A (6 CEUs)</li> <li>•Satisfactory completion of this course will fulfill the training requirements</li> </ul>

資料來源：參考文獻<sup>[17]</sup>。

#### 4. 檢測技術

理論方面，NBIS 僅對橋梁基本資料建置及目視檢測方法建立制度，屬於例行性檢測，而對於受損較嚴重的橋梁需進行承載能力評估、深入的非破壞性儀器檢測、破壞性檢測，以及特殊檢測(如傾斜、沉陷、沖刷)之作業方法，則主要參考美國各州公路和運輸工作者協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)的相關評估手冊。表 2-4 列出美國各年代與橋梁檢測相關準則。值得提及，AASHTO 的「Manual for Condition Evaluation of Bridge」<sup>[8]</sup>早期適用於採容許應力法(Allowable Stress

Design)設計之橋梁，以容許應力比(Allowable Stress Ratio, ASR)指標評比橋梁載重能力；之後用於載重係數法(Load Factor Design)設計之橋梁，以載重係數指標(Load Factor Rating, LFR)來評量；至2003年 AASHTO 出版「Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges」<sup>[9]</sup>，以因應當時以載重與阻抗因子設計法(Load Resistance Factor Design, LRFD)設計之新建橋梁，採載重與阻抗因子係數(LRFR)評比橋梁載重能力。直至2008年，AASHTO才又統整各種評比指標，並彙整於「Manual for Condition Evaluation of Bridge」<sup>[8]</sup>。

表 2-4 美國各年代與橋梁檢測相關準則

組織	年代	規範手冊
Oregon Dept. of Trans.	1999	Oregon NBI Coding Guide
USC-Highway	2000	U.S. Code for Bridge Inspection
Texas Dept. of Trans.	2002	Bridge Inspection Manual
Ohio Dept. of Trans.	2006	Manual of Bridge Inspection
AASHTO	1970	Manual for Maintenance Inspection of Bridge
	1974	
	1978	
	1983	
	1993	
AASHTO	1994	Manual for Condition Evaluation of Bridge
	2010	
AASHTO	2003	Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges
	2005	
FHWA	1971	National Bridge Inspection Standards
	1979	
	1988	
FHWA	1972	Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges
	1979	

組織	年代	規範手冊
	1988	
	1991	
	1995	
FHWA	1979	Bridge Inspector's Training Manual 70
FHWA	1979	Culvert Inspection Manual
FHWA	1986	Inspection of Fracture Critical Bridge Members
FHWA	1988	Scour at Bridges, a technical advisory
FHWA	1991	Bridge Inspector's Training Manual 90
FHWA	1997	The Bridge Inspector's Manual for Movable Bridge
FHWA	2006	Bridge Inspector's Reference Manual

### **NBIS 橋梁檢測與能力評等 SR (Sufficiency Rating)**

美國 FHWA 建立橋梁檢測管理制度中，首先建立全國橋梁清冊，進行全國橋梁相關資料收集與整理，並進而訂定國家橋梁調查標準，要求各州政府每兩年將其所管轄之橋梁進行一次檢測作業，檢測發現之構件劣化情形及檢測結果，須均記載於符合 NBIS 要求的「橋梁基本資料與評估表」(Structure Inventory and Appraisal Sheet, SI&A)，如表 2-5 所示。

其表內資料包括(1)橋梁身分(Identification)、(2)結構型式及材料 (Structure Type and Material)、(3)橋齡及服務功能(Age and Service)、(4)幾何資料(Geometric Data)、(5)水道資料(Navigation)、(6)能力評等 (Sufficiency Rating)、(7)橋梁等級 (Classification)、(8)橋梁現況 (Condition)、(9)橋梁載重與告示資料(Load Rating and Posting)、(10)橋梁評估(Appraisal)、(11)橋梁改善建議(Proposed Improvements)、及(12)檢測建議(Inspection)計 12 項，其中第(8)項橋梁現況為橋梁構件之檢測評等資料<sup>[18]</sup>。

依橋梁現況與承載能力等進行能力評等 SR 之步驟簡介如下：

1. 建立橋梁基本資料(SI&A)評量表(如表 2-5)，評量表各項目與內容說明如表 2-6。其中，「Condition」項目用於橋梁現況評量，亦即將橋梁分為五項部位(Components)，包括(1)橋面版、(2)上部結構、(3)下部結構、(4)河道及河道保護工、及(5)涵管等。

表 2-5 美國橋梁基本資料與評量(SI&A)表

Structure Inventory and Appraisal Sheet

NATIONAL BRIDGE INVENTORY - - - - - STRUCTURE INVENTORY AND APPRAISAL 10/15/94

```

***** IDENTIFICATION *****
(1) STATE NAME - _____ CODE ____
(8) STRUCTURE NUMBER _____ # _____
(5) INVENTORY ROUTE (ON/UNDER) - _____ = _____
(2) HIGHWAY AGENCY DISTRICT _____
(3) COUNTY CODE _____ (4) PLACE CODE _____
(6) FEATURES INTERSECTED - _____
(7) FACILITY CARRIED - _____
(9) LOCATION - _____
(11) MILEPOINT/KILOMETERPOINT _____
(12) BASE HIGHWAY NETWORK - _____ CODE ____
(13) LRS INVENTORY ROUTE & SUBROUTE # _____
(16) LATITUDE ____ DEG ____ MIN ____ SEC
(17) LONGITUDE ____ DEG ____ MIN ____ SEC
(98) BORDER BRIDGE STATE CODE ____ % SHARE ____ %
(99) BORDER BRIDGE STRUCTURE NO. # _____

***** STRUCTURE TYPE AND MATERIAL *****
(43) STRUCTURE TYPE MAIN: MATERIAL - _____
TYPE - _____ CODE ____
(44) STRUCTURE TYPE APPR: MATERIAL - _____
TYPE - _____ CODE ____
(45) NUMBER OF SPANS IN MAIN UNIT _____
(46) NUMBER OF APPROACH SPANS _____
(107) DECK STRUCTURE TYPE - _____ CODE ____
(108) WEARING SURFACE / PROTECTIVE SYSTEM:
A) TYPE OF WEARING SURFACE - _____ CODE ____
B) TYPE OF MEMBRANE - _____ CODE ____
C) TYPE OF DECK PROTECTION - _____ CODE ____

***** AGE AND SERVICE *****
(27) YEAR BUILT _____
(106) YEAR RECONSTRUCTED _____
(42) TYPE OF SERVICE: ON - _____
UNDER - _____ CODE ____
(28) LANES: ON STRUCTURE _____ UNDER STRUCTURE _____
(29) AVERAGE DAILY TRAFFIC _____
(30) YEAR OF ADT _____ (109) TRUCK ADT ____ %
(19) BYPASS, DETOUR LENGTH _____ KM

***** GEOMETRIC DATA *****
(48) LENGTH OF MAXIMUM SPAN _____ M
(49) STRUCTURE LENGTH _____ M
(50) CURB OR SIDEWALK: LEFT ____ M RIGHT ____ M
(51) BRIDGE ROADWAY WIDTH CURB TO CURB _____ M
(52) DECK WIDTH OUT TO OUT _____ M
(32) APPROACH ROADWAY WIDTH (W/SHOULDERS) _____ M
(33) BRIDGE MEDIAN - _____ CODE ____
(34) SKEW ____ DEG (35) STRUCTURE FLARED _____
(10) INVENTORY ROUTE MIN VERT CLEAR _____ M
(47) INVENTORY ROUTE TOTAL HORIZ CLEAR _____ M
(53) MIN VERT CLEAR OVER BRIDGE RDWY _____ M
(54) MIN VERT UNDERCLEAR REF - _____ M
(55) MIN LAT UNDERCLEAR RT REF - _____ M
(56) MIN LAT UNDERCLEAR LT _____ M

***** NAVIGATION DATA *****
(38) NAVIGATION CONTROL - _____ CODE ____
(111) PIER PROTECTION - _____ CODE ____
(39) NAVIGATION VERTICAL CLEARANCE _____ M
(116) VERT-LIFT BRIDGE NAV MIN VERT CLEAR _____ M
(40) NAVIGATION HORIZONTAL CLEARANCE _____ M

***** IDENTIFICATION *****
SUFFICIENCY RATING = ____
STATUS = _____

***** CLASSIFICATION ***** CODE
(112) NBIS BRIDGE LENGTH - _____
(104) HIGHWAY SYSTEM - _____
(26) FUNCTIONAL CLASS - _____
(100) DEFENSE HIGHWAY - _____
(101) PARALLEL STRUCTURE - _____
(102) DIRECTION OF TRAFFIC - _____
(103) TEMPORARY STRUCTURE - _____
(105) FEDERAL LANDS HIGHWAYS - _____
(110) DESIGNATED NATIONAL NETWORK - _____
(20) TOLL - _____
(21) MAINTAIN - _____
(22) OWNER - _____
(37) HISTORICAL SIGNIFICANCE - _____

***** CONDITION ***** CODE
(58) DECK _____
(59) SUPERSTRUCTURE _____
(60) SUBSTRUCTURE _____
(61) CHANNEL & CHANNEL PROTECTION _____
(62) CULVERTS _____

***** LOAD RATING AND POSTING ***** CODE
(31) DESIGN LOAD - _____ OR _____
(63) OPERATING RATING METHOD - _____
(64) OPERATING RATING - _____
(65) INVENTORY RATING METHOD - _____
(66) INVENTORY RATING - _____
(70) BRIDGE POSTING - _____
(41) STRUCTURE OPEN, POSTED OR CLOSED - _____
DESCRIPTION - _____

***** APPRAISAL ***** CODE
(67) STRUCTURAL EVALUATION _____
(68) DECK GEOMETRY _____
(69) UNDERCLEARANCES, VERTICAL & HORIZONTAL _____
(71) WATERWAY ADEQUACY _____
(72) APPROACH ROADWAY ALIGNMENT _____
(36) TRAFFIC SAFETY FEATURES _____
(113) SCOUR CRITICAL BRIDGES _____

***** PROPOSED IMPROVEMENTS *****
(75) TYPE OF WORK - _____ CODE ____
(76) LENGTH OF STRUCTURE IMPROVEMENT _____ M
(94) BRIDGE IMPROVEMENT COST $ _____,000
(95) ROADWAY IMPROVEMENT COST $ _____,000
(96) TOTAL PROJECT COST $ _____,000
(97) YEAR OF IMPROVEMENT COST ESTIMATE _____
(114) FUTURE ADT _____
(115) YEAR OF FUTURE ADT _____

***** INSPECTIONS *****
(90) INSPECTION DATE ____/____ (91) FREQUENCY ____ MO
(92) CRITICAL FEATURE INSPECTION: (93) CFI DATE
A) FRACTURE CRIT DETAIL - ____ - ____ MO A) ____/____
B) UNDERWATER INSP - ____ - ____ MO B) ____/____
C) OTHER SPECIAL INSP - ____ - ____ MO C) ____/____

```

資料來源：參考文獻<sup>[8]</sup>。

2. 為了評量上述結構部位現況(Condition Rating)，需分別針對各部位，先評量其對應各構件(Elements)之劣化情形，構件評估(Evaluating Elements)準則如表 2-7 所示，分為 4 級：好(Good)、普通(Fair)、不良(Poor)以及不適用或無法評量。

除了可採用 FHWA 構件評量表與準則以外，橋梁構件檢測亦可參照 AASHTO 相關規定，例如構件辨識參照 AASHTO 「Commonly Recognized (CoRe) Structural Elements」<sup>[20]</sup>，依構件材料、型式細分編碼，即從構件編碼即可得知構件之結構部位、材料、型式等。

表 2-6 美國 SI&A 評量表之項目與內容

項目	內容
橋梁身份(Identification)	州名、編號、經緯度等
結構型式與材料 (Structure Type and Material)	結構主要型式、材質、跨數、橋面版型式與材質、鋪面型式等
橋齡及服務(Age and Service)	建造及改建年份、服務水準等級、每日及年平均交通量、替代道路長度等
幾何資料(Geometric Data)	最大跨距、橋寬及橋面版寬、引道長寬、橋上及橋下最大淨高等
水道資料(Navigation Data)	航道垂直淨高及水平淨寬、橋墩護體設施等
能力評等(Sufficiency Rating)	橋梁結構及服務水準之評估
橋梁等級(Classification)	公路等級、功能等級、車流等級、收費等級、維修等級、所屬單位等級、歷史重要等級等
橋梁現況(Condition)	橋面版、上下部結構、河道等現況評量等
橋梁載重 (Load Rating and Posting)	設計載重、封橋及開放載重等
橋梁評估(Appraisal)	結構分析、橋面幾何、橋下淨高及淨寬、航道適當性、交通安全性、沖刷評量等
橋梁改善建議 (Proposed Improvement)	改善工作、數量、費用、期限等
檢測(Inspections)	檢測日期、危險部位檢測建議、水下檢測建議、其它特別檢測之建議等

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

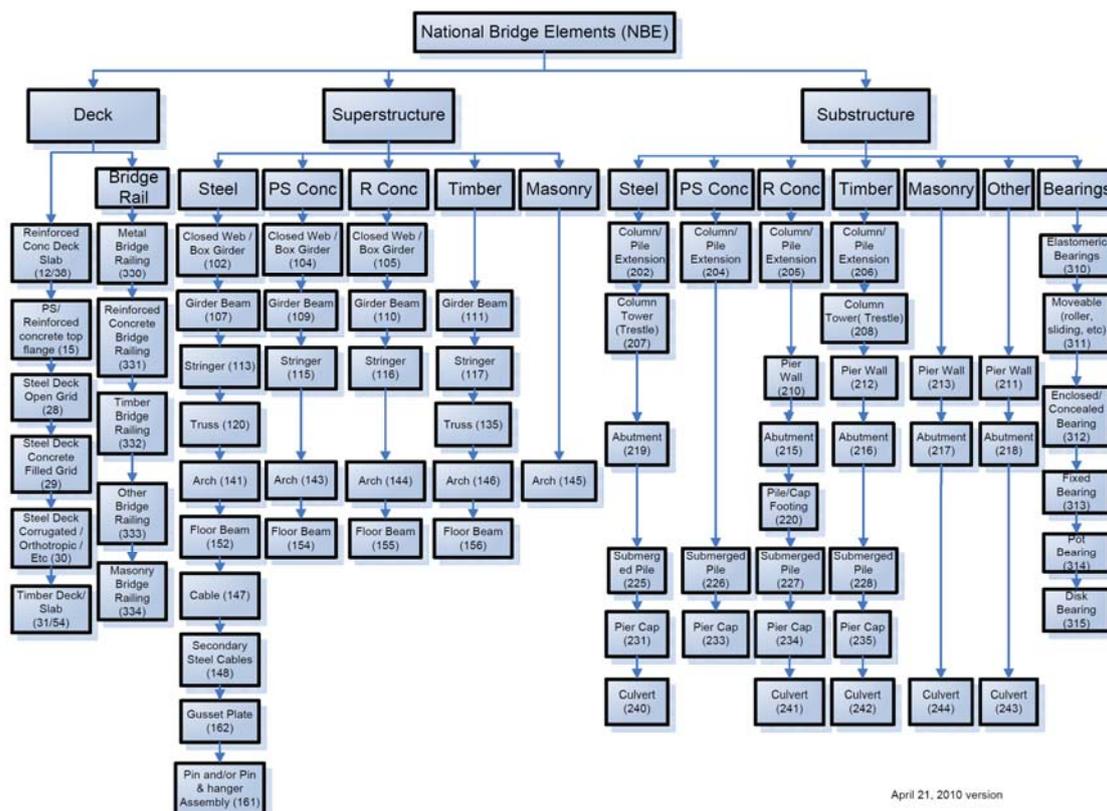
表 2-7 美國 FHWA 構件評估準則

判定等級	狀況
良好(Good)	構件僅稍微劣化或該劣化對構件無關緊要。
普通(Fair)	構件輕微劣化，如混凝土斷面損失、剝離或裂縫均輕微，並不影響構件強度。
不良(Poor)	構件更形劣化，如混凝土斷面損失、剝離或裂縫，已影響或已傷及構件強度。
N/A	不適用或無法評等(Not Applicable)
註：檢測員檢測時，亦應紀錄構件劣化之類型、尺寸、範圍，以及該劣化對該構件、結構安全或交通功能影響度。	

2010 年新頒佈之第 1 版「AASHTO Bridge Element Inspection Guide Manual」<sup>[20]</sup>重新定義新版構件(New Element)為以下三類：

- (1) National Bridge Elements (NBE'S)：針對橋梁安全與承載影響，至少需要考量之主要構件，如橋面板、大梁、墩柱、基礎等，如圖 2.2 所示。
- (2) Bridge Management Elements (BME'S)：接頭、磨耗層、保護層等。其用意是將結構與保護層或磨耗層區分開，該類構件提供橋梁管理系統功能之用。
- (3) Agency Developed Elements：客製化構件。

既有規定之 CoRe Element 將由 NBE 構件來定義，構件現況 (Element Condition)改用對應損傷模式的現況缺陷標誌(Defect Flag 或 Smart Flag)來說明，分為良好(Good)、普通(Fair)、不良(Poor)、極差 (Severe Convention)之 4 等級(Condition State)，前三等級不變，惟新增之「極差」狀況，用以表示構件狀況比不良等級還差，可能影響承載能力，對應的處置措施甚至需要置換(Replace)，除此之外，以前對整支構件採單一狀況指標來評估，也改以多段式模式(Multi-Path Model)評估，為此，評估對象所用單位名稱(Unit)也配合修改，例如橋面板改用面積單位。目前該版新構件檢測尚沒有與 NBI 的橋梁能力評等相關聯。



資料來源：參考文獻<sup>[20]</sup>。

圖 2.2 AASHTO-NBE 橋梁構件

3. 分別針對五大部位完成對應之各構件評量後，需綜合考量構件狀況，彙整為橋梁結構各部位現況評量(Condition Rating)，評量結果分為 0、1、2...~N 等 11 級(如表 2-8)。
4. 類似前一項之結構部位現況評量，但針對(SI&A)評量表中之「Appraisal」項目，進行橋梁之服務水準之評量(Appraisal Rating)，包含結構分析、橋面版幾何狀況、橋下淨高與淨寬、河道之適當性、引道之排置、交通安全事故統計、沖刷嚴重性等項目。同樣，評量結果也分為 0、1、2...~N 等 11 級(如表 2-9)，反映橋梁之服務水準是否滿足現行規範之要求。

表 2-8 美國 FHWA 結構部位現況評估準則

判定等級	表述	說明
N	-	不適用
9	完美 (excellent condition)	
8	非常良好 (very good condition)	無損壞情形記載
7	良好(good condition)	有些輕微損壞
6	尚可(satisfactory)	結構構件有些輕微劣化現象
5	普通(fair condition)	所有主要結構構件尚完好，但有輕微斷面損失、裂縫、剝落或沖刷問題
4	不良(poor condition)	有進一步斷面損失、裂縫、剝落或沖刷問題
3	嚴重 (serious condition)	斷面損失、裂縫、剝落或沖刷問題已經嚴重影響主要結構構件。局部構件損壞可能發生。鋼構件之疲勞裂縫或混凝土構件之剪力裂縫可能發生
2	極嚴重 (critical condition)	主要結構構件已有進一步劣化。鋼構件之疲勞裂縫或混凝土構件之剪力裂縫可能發生或沖刷狀況可能使下部結構支撐位移。除嚴密監測(視)，狀況修復前可考慮封橋
1	幾近損毀 (imminent failure condition)	有立即損壞狀況，臨界結構構件出現明顯劣化、斷面損失，水平、垂直位移已影響結構穩定。橋梁需封閉交通，但橋梁修復後可能提供輕量服務
0	損毀(failed condition)	無法再提供服務，也無法修復

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

表 2-9 美國 FHWA 服務水準評估準則

判定等級	說明
N	不適用
9	狀況優於現行高標準規範之要求
8	狀況符合現行高標準規範之要求
7	狀況優於現行低標準規範之要求
6	狀況符合現行低標準規範之要求
5	稍微優於本身最低負載能力限度之需求
4	符合本身最低負載能力限度之需求
3	無法負荷基本需求，需優先進行改善作業
2	無法負荷基本需求，需優先進行替換作業
1	此評等值不被使用
0	橋梁關閉

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

5. 以上步驟特定項目之 Condition Rating 或 Appraisal Rating 之任一評量值低於表 2-10 所示標準值時，則稱為結構缺陷(Structurally Deficient)或功能喪失(Functionally Obsolete)。此時需再進行能力評等 SR 之計算，以作為橋梁維修或改建之優先順序之參考及美國聯邦政府預算經費編列及核撥依據。

表 2-10 結構缺陷與功能喪失評定標準

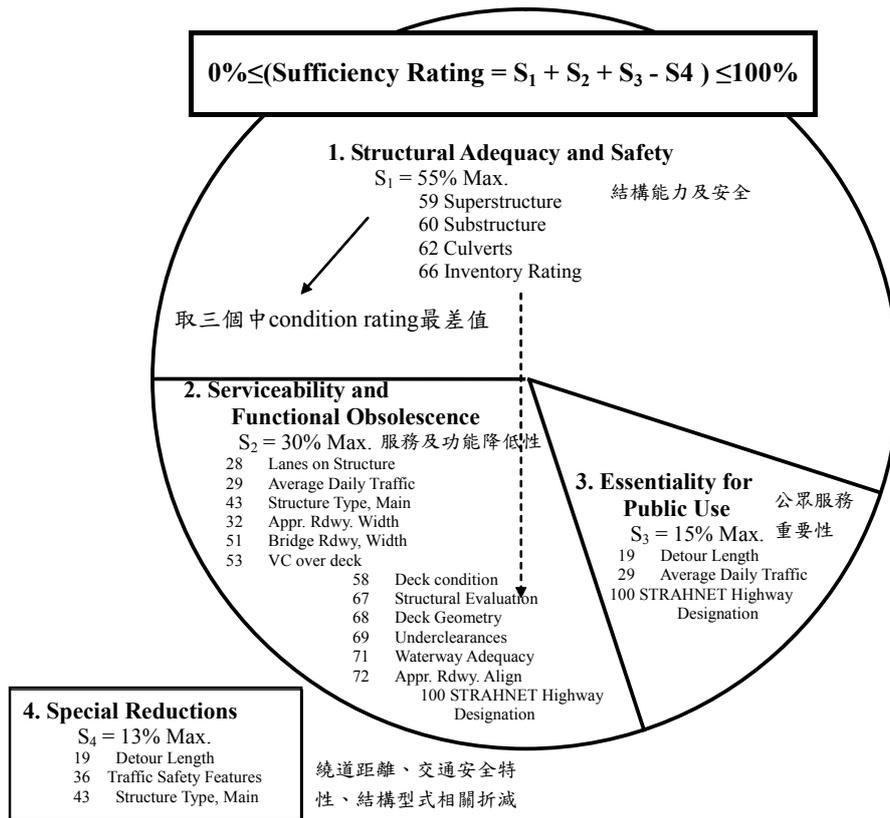
評定標準		適用之評估項目
結構缺陷	A Condition rating $\leq$ 4	橋面版、上部結構、下部結構、涵管
	An Appraisal rating $\leq$ 2	結構分析、河道之適當性
功能喪失	An Appraisal rating $\leq$ 3	橋面版幾何狀況、橋下淨高與淨寬、引道之排置
	An Appraisal rating=3	結構分析、河道之適當性

SR 用以表達一座橋梁尚能使用之能力，計算方式為橋梁單項指標之總和(圖 2.3)，包括結構功能指標( $S_1$ )、服務功能指標( $S_2$ )、易損性指

標(S<sub>3</sub>)及特殊加權(S<sub>4</sub>)。評等公式如式(2.1)，各指標說明如表 2-11 所示。

$$SR = S_1 + S_2 + S_3 - S_4 \quad (0\% \leq SR \leq 100\%) \dots\dots\dots (2.1)$$

其中，S<sub>1</sub> 值為「結構能力及安全」(Structural Adequacy and Safety) 指標，與表 2-5 之「Condition」項目之橋梁上部結構、下部結構、涵管等三個部位之現況評量，以及表 2-5 之「Load Rating and Posting」項目之「Inventory Rating」評量之載重能力相關。S<sub>2</sub> 值為「服務及功能喪失」(Serviceability and Functional Obsolescence) 指標，與依據表 2-5 之「Condition」項目之橋面板現況、「Appraisal」項目之結構評估、橋面板幾何狀況、橋下淨高與淨寬、河道之適當性、引道之排置等計算之評量折減因子(Rating Reductions)；依據表 2-5 之「Geometric Data」項目之橋面車道寬度、引道寬度、每日車流量、車道數所計算之橋面寬度不足(Width of Roadway Insufficiency) 指標；依據表 2-5 之「Geometric Data」項目之橋面車道以上最小淨高計算之垂直向淨高不足(Vertical Clearance Insufficiency) 指標等相關。S<sub>3</sub> 值為「公眾服務之重要性」指標，與前述 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、每日車流量、橋梁損壞後之繞道距離以及編號 100 的國防公路(#100 Defense Highway)之評量值相關，其中，國防公路表示橋梁戰略重要性，係依美國戰略公路網設計(STRAHNET Highway Designation) 評等橋梁是否在戰略路網或交口上。當 S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>+S<sub>3</sub>≥50 時才要算 S<sub>4</sub> 值，與橋梁損壞繞道長度折減值(Detour Length Reduction)、表 2-5 之「Structure Type and Material」項目之主結構類別(Structure Type, Main)、「Appraisal」項目之交通安全性(Traffic Safety Features) 相關。詳細計算方式與流程可參考 FHWA 「Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges」<sup>[11]</sup>之附錄二，或陳永銘、許阿明<sup>[16]</sup>所提供之計算案例及說明。



註：S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub> 區塊內列舉計算所需 SI&A 表中之項目編號及對應項目

資料來源：參考文獻<sup>[11]</sup>。

圖 2.3 美國能力評等 SR

表 2-11 橋梁能力評等中各項指標準則

評等	值域(Max)	說明
S <sub>1</sub>	55%	依結構能力及安全性而定，亦即依上部結構或下部結構之承載能力而定。
S <sub>2</sub>	30%	依服務能力及功能喪失而定。亦即依橋面板狀況、淨空、車道線形及寬度等而定。
S <sub>3</sub>	15%	依公眾使用情形而定亦即依繞道距離、平均日交通量及道路保護設施等而定。
S <sub>4</sub>	13%	在處理特殊之繞道距離、交通安全設施、及結構類型時之修正值。

橋梁係依各項功能評等給予  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  與  $S_4$  的百分比值。而當  $SR < 80\%$  時，代表該橋梁可用維修方式辦理修復；當  $SR < 50\%$  時，則該橋以改建方向辦理，以上程序如圖 2.4 所示。

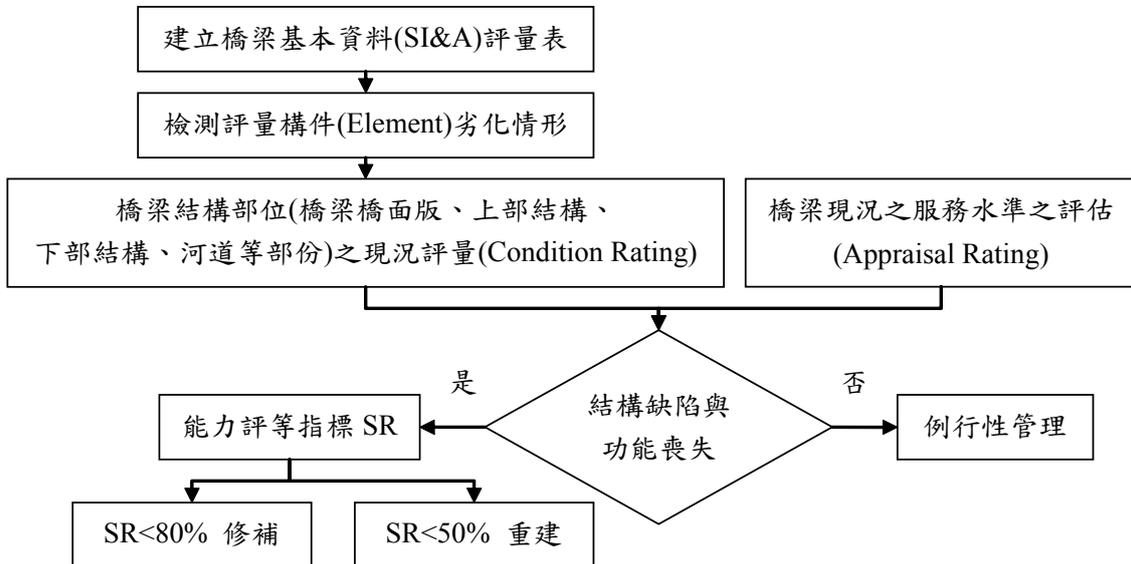
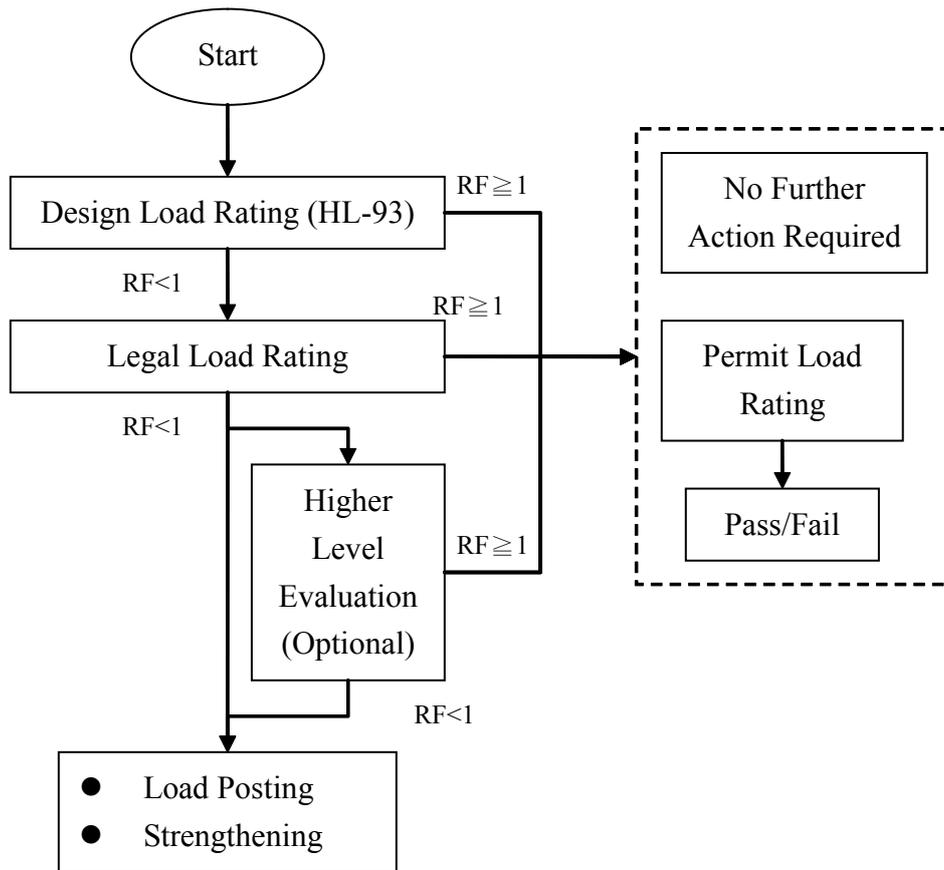


圖 2.4 美國 NBIS 橋梁檢測與 SR 評等流程

圖 2.3 中「Inventory Rating」可參考 AASHTO 載重能力評估方式，茲簡介 LRFR 方法如下。

### AASHTO 載重能力評估法 LRFR 簡介

2003 年 AASHTO 出版「Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges」<sup>[9]</sup>，以因應當時以載重與阻抗因子設計法(Load Resistance Factor Design, LRFD)設計之新建橋梁，採載重與阻抗因子係數(LRFR)評量橋梁載重能力，其流程如圖 2.5 所示，在所有極限狀態及載重效應下，每一組成構件與接頭之耐荷係數(Rating Factor, RF)最小值如果大於等於 1，表示安全，橋梁可承受分析所用之活載重，設計載重或法定載重評估無慮時，才可以評估超載許可量；法定載重評估不過時，需要限載或維修補強。



資料來源：參考文獻<sup>[9]</sup>。

圖 2.5 美國 LRFR 評量流程

RF 以式(2.2)計算。

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_L)(LL + IM)} \dots\dots\dots (2.2)$$

其中，C 為承載能力；DC 為由結構構件及附件造成之靜載重效應；DW 為由磨耗層及設備造成之靜載重效應；P 為靜載重之外的永久載重；LL 為活載重效應；IM 為動態載重效應； $\gamma_{DC}$  為結構構件及附件之載重係數； $\gamma_{DW}$  為磨耗層及設備之載重係數； $\gamma_P$  為靜載重之外的永久載重之載重係數；及  $\gamma_L$  為評估之活載重係數，視評估設計載重(Design Load，含 Inventory 與 Operating)、法定載重(Legal Load)與允許載重

(Permit Load)而不同。

於強度極限狀態：

$$C = \phi_c \phi_s \phi R_n \dots\dots\dots (2.3)$$

於使用服務極限狀態：

$$C = f_R \dots\dots\dots (2.4)$$

其中， $\phi_c$  為現況係數(表 2-12)； $\phi_s$  為結構系統係數； $\phi$  為 LRFD 抵抗係數； $R_n$  為構件標稱抵抗力；及  $f_R$  為 LRFD 設計規範中規定的容許應力。

表 2-12 LRFR 之現況係數

結構構件現況(表 2-7)	$\phi_c$
Good or Satisfactory	1.00
Fair	0.95
Poor	0.85

### 2.1.1.2 日本

日本橋梁管理方式基本上是透過以檢查基準與檢查手冊為基礎之檢測制度，掌握橋梁損害程度，並評估橋梁健全度，進而決定因應對策。也就是經由從檢查至診斷、修復之系統化過程，以達成對既有橋梁之維護管理目的。日本公路橋梁檢測主要依據日本道路公團(Japan Highway Public Corporation, JH)的「道路構造物点檢要領(案)」<sup>[21]</sup>與國土交通省的「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)」<sup>[22]</sup>及「橋梁定期点檢要領(案)」<sup>[23]</sup>，而各地方管理單位再依區域特性進行調整與規範。以下就 JH 的「道路構造物点檢要領(案)」<sup>[21]</sup>分別依檢測等級、檢測作業流程、檢測頻率、檢測方法、檢測人員之編制與資格及檢測報告等方面進行說明。

## 1. 檢測等級

日本橋梁檢測等級依不同目的可以區分為五大類型<sup>[21]</sup>，各類型說明如表 2-13。

表 2-13 日本道路公團橋梁檢測等級

檢測等級	目的
初期檢測	以掌握構造物完成後的初期狀況為目的所執行的檢測。配合初期檢測，也要將建造結構物時的變形狀態或修補經過等記錄一併收集整理。
日常檢測	盡早發現道路全面性異常、損傷等，判定是否需要做適當處置及修補等為主要目的而實施的巡迴檢查，並區分為主線內與主線外之檢測。 1. 主線內檢測 從主線內進行的檢測，主要由車上目視及車上感覺，從主線內能以目視確認或身體感覺範圍內，掌握結構物全般的異常、損傷為目的。 2. 主線外檢測 從主線外(一般道路)的檢測，以車上目視為主，就高速公路等與一般道路等的交叉點、市區指示標誌等，從防止第三者受害為觀點，掌握結構物全面的異常、損傷為目的。
定期檢測	要掌握管理區段全體結構物的狀況以確保橋梁安全而定期實施的檢測工作，該檢測結果將作為今後擬定檢測計畫之資料。
詳細檢測	為掌握、評估結構物損傷的細部狀況所實施之檢測，該檢測結果將作為擬定檢測計畫、修補計畫等之基礎。
臨時檢測	平常檢測有困難，或因應異常氣象需要臨時實施的檢測。

資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

## 2. 檢測頻率

日本的檢測頻率依表 2-14 所示為標準。表 2-14 所示的檢測頻率，可根據過去的檢查結果和構造物的狀況，及考慮到環境條件和使用條件下，適度地調整。

表 2-14 日本橋梁檢測頻率

檢測等級		檢測頻率(適用範圍)	
初期檢測		於構造物建造完畢，開放使用之前	
平常 檢測	主線內	日間	7 日/1 週 (車流量在 40,000 輛/日以上者)
			5 日/1 週 (車流量在 5,000 輛/日~40,000 輛/日者 或連續 2 日以上未檢測者)
			7 日/2 週 (車流量在 5,000 輛/日以下或連續 2 日以上未檢測者)
	夜間	1 次/1 月	
	主線外	2~4 次/1 年	
定期檢測		1 次/1 年	
詳細檢測		對交通安全或對第三者恐造成妨礙顧慮的處所，檢測最大間隔 5 年 上述情況以外的處所，檢測最大間隔 10 年。 但標誌在開放使用後 1 個月、6 個月及 12 個月時實施。 檢測間隔，應考量檢測結果或結構物的狀況，及其結構物的周邊環境，因應需要得在最大間隔範圍內適當縮短。	
臨時檢測		視必要性而定	

資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

不同的檢測等級所需檢測的對象則如表 2-15 所規定。

表 2-15 日本各橋梁檢測等級所需檢測的構件

對象	初期 檢測	平常檢測		定期 檢測	詳細 檢測
		主線內	主線外		
橋 梁	鋼橋	○	○	○	○
	混凝土橋	○	○	○	○
	混凝土橋面版	○	○	○	○
	預鑄混凝土橋面版	○	○	○	○
	下部結構	○	○	○	○
	支承	○	-	○	○
	伸縮裝置	○	○	○	○
	柵欄	○	○	○	○
	排水設施	-	○	○	○
	防止落橋裝置	○	-	-	○
	檢查路	○	-	○	○

註：表中記錄○表示進行必要的檢測，-表示在檢測可能的場合來進行。

資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

### 3. 檢測人員編制與資格

在定期檢測中<sup>[23]</sup>，每一座橋與每一台橋梁檢測車的檢測作業班的編成人員，表 2-16 可供為參考。此外，各編制人員所負責之工作內容如下：

- (1) 橋梁檢測員：負責管理檢測作業班，安全之管理，各人員行動之掌握，檢測調查的實施等。
- (2) 檢測補助員：依據橋梁檢測員的指示輔助檢測作業的進行，輔助儀器之操作，現況之記錄與攝影等，通常配置兩人。
- (3) 檢測車運轉員：遵從橋梁檢測員指示檢測車的移動等。

- (4) 交通整理員：在檢測時管制交通，確保與維持檢測作業班人員執行工作時的安全。

表 2-16 日本橋梁檢測作業班的編成人員

人員	橋梁檢測車	其他的設施
橋梁檢測員	1 人(註 1)	1 人(註 2)
檢測補助員	2 人(註 1)	2 人(註 2)
檢測車運轉員	1 人(註 1)	—
交通整理員	(註 3)	—

(註 1)橋梁檢測車：對於檢測所必要的作業範圍與交通狀況等，需充分考量各橋梁及各檢測使用機種，來決定編成人員。

(註 2)其他的設施：若有檢查車、梯子、舟，塗裝時利用之工作架的場合，需考量現地條件與檢測方法(項目、器具等)決定編成人員。

(註 3)交通整理員：交通整理員，需根據道路工事保全設施設置基準(案)，橋梁之交通條件，來決定編成人員。

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

橋梁的定期檢測根據業務委託進行的場合需配置一名以上，並合乎下列各項規定之檢測員<sup>[24]</sup>：

- (1) 大學畢業後具有 5 年以上實務經驗者。
- (2) 二專或專科畢業後具有 8 年以上實務經驗者。
- (3) 高中職學校畢業後具有 11 年以上實務經驗者。
- (4) 不符前項資格，但具有同等以上的能力者。

#### 4. 檢測技術

##### 檢測評估準則與檢測作業流程

JH 使用之橋梁評等系統，係將橋梁損傷區分為 AA、A、B 及 OK 等 4 個等級，並考慮可能造成交通安全障礙或第三者受害等，需另加註符號 E 標示說明(如 AA·E、A·E 與 B·E)。依據 JH 所訂定的橋梁

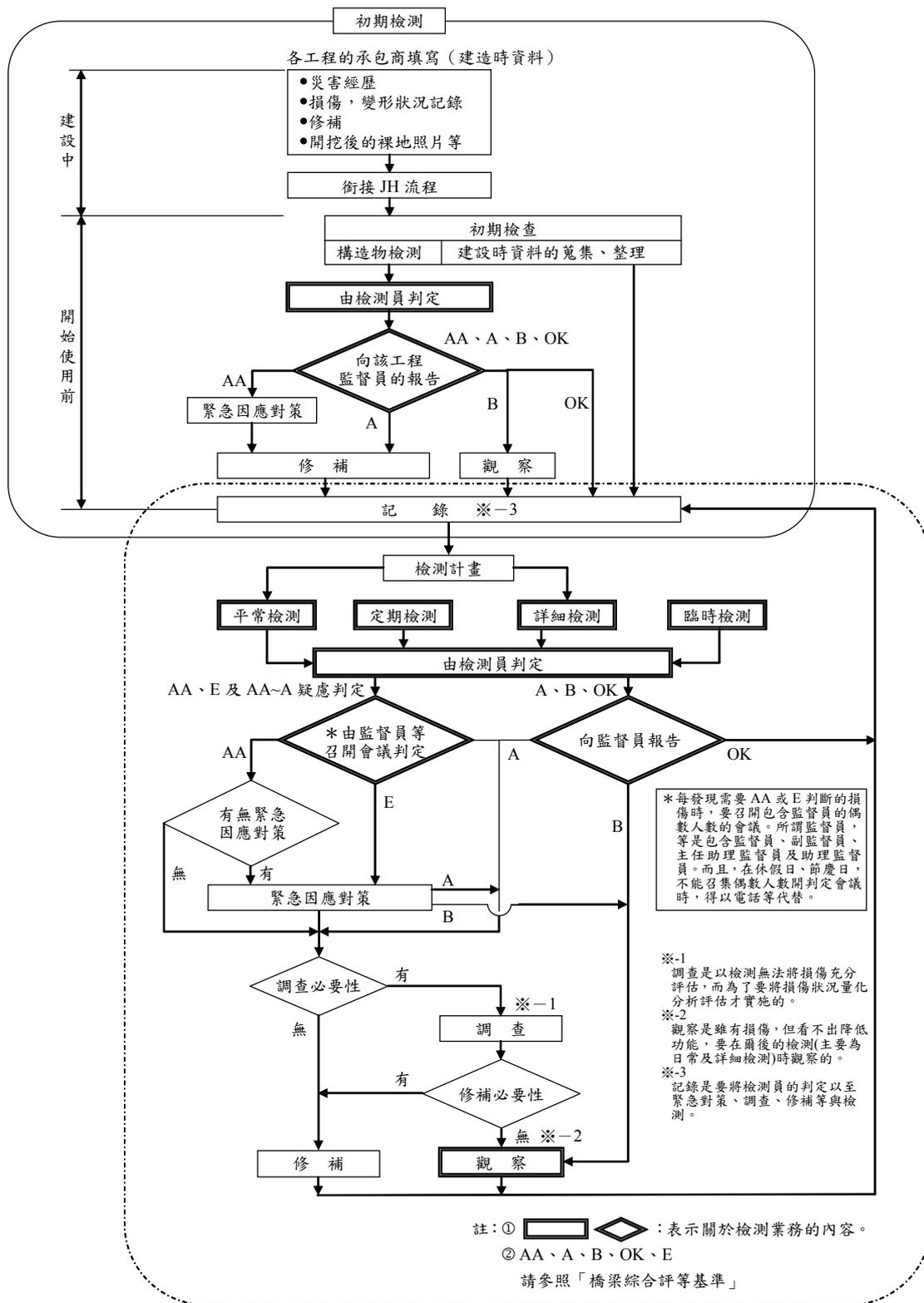
評估準則如表 2-17 所示，損傷判定需對應橋梁不同部位、損傷種類及檢測等級。

表 2-17 日本道路公團橋梁評估準則

判定等級		狀況
功能面的判斷	AA	損傷、變形狀態顯著，從功能面來看需要採取緊急修補的情形。
	A	有損傷、變形狀態，能看出功能降低而需要修補，但不需要緊急修補。有必要的話，需進行進一步調查。
	B	雖有損傷、變形狀態，但看不出功能性受影響，需要持續觀察損傷情形。
	OK	沒有損傷、變形狀態，或是輕微受損情形。
第三者受害的判斷	E	對交通安全或第三者恐有妨礙的顧慮，而需要緊急修補時。

資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

日本橋梁檢測流程如圖 2.6 所示，採檢測員與監督員負責制，除了建設過程中記錄必要狀況資料以外，於開始使用前要進行初期檢測。使用過程中，當檢測員判定橋梁損傷為 A、B 及 OK 等情形時，需向監督員報告結果；若為顯著損傷的 AA，或者發現第三者等可能受害需要判斷為 E 時，或判定區分落在 AA 與 A 之間難以判斷者，應迅速向監督員報告，由包含監督員、副監督員、主任助理監督員、助理監督員等多數人召開會議，以進行損傷、變形狀況的判定，並決定對應的處置方法。而且，在判定會議中，判定為 AA・E 時，現場應採取緊急對應措施。在休假日、節慶日等，不可能由多數人員召開判定會議時，得以電話等代替不足人數。



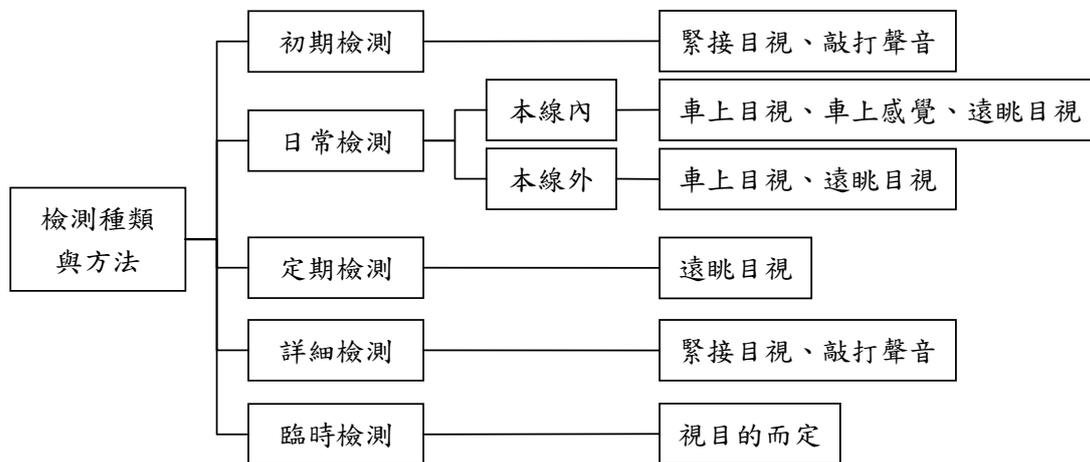
資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

圖 2.6 日本橋梁檢測作業的流程

## 檢測方法

不同的檢測等級所對應的檢測方法如圖 2.7 所示，方法說明如下：

1. 車上目視：從車上以目視或車上感覺實施檢測的方法。
2. 遠眺目視：從遠方以徒步實施目視檢測的方法。
3. 近距目視：從檢查路或手腳架上接近結構物的目視檢測方法。若有需要，應使用簡易的機械、器具等實施檢測。
4. 敲打聲音：以鎚敲打目標結構物出聲，以掌握結構物狀況(拱起、剝離、螺栓鬆弛等)的檢測方法。



資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

圖 2.7 日本橋梁不同檢測等級對應之檢測方法

## 檢測報告

橋梁檢測的判定和結果必須依照所規定的格式提出報告。檢測報告格式都包含在 JH 的「道路構造物点檢要領(案)」<sup>[21]</sup>中，其中適用定期檢測與臨時檢測的空白報告書如表 2-18 所示，所記載資料包括檢測時間、橋梁編號、檢測單位與人員、橋梁位置圖、橫斷面圖或剖面圖、檢測狀況草圖及照片、狀況概要描述、檢測項目狀況判定(表 2-17)及對策處理方式。另外，國土交通省的「橋梁定期点檢要領(案)」<sup>[23]</sup>也提供

檢測報告書格式作為參考，如表 2-19 至表 2-29 所示，記載資料包括橋梁資料基本資料(含橋梁基本資料、交通流量與活載重資訊)及綜合檢測報告、橋梁全體圖及逐跨一般圖(平面、側面及斷面圖)、現地狀況照片、要素編號圖與部件編號圖、損傷記錄圖(損傷部位依要素編號圖與部件編號圖標示，並需註記損傷部位之照片編號)、損傷照片、損傷評估記錄(區分主要部件與主要部件以外)、損傷評估結果總結及評估結果對策(區分主要部件與主要部件以外)。

表 2-18 日本橋梁定期檢測、臨時檢測報告書

<small>工程處名稱</small>		<u>定期檢測、臨時檢測報告書</u>	<small>段長</small>	<small>副段長</small>		<small>檢測員</small>
<small>工務段名稱</small>						
<small>道路名稱</small>						

年 度	整理編號 (月)(日)No.	處理 方針	(1) 應急處理 (4) 調查 (2) 緊急處理 (5) 觀察 (3) 臨時檢測 (6) 修補	區 間		上下行	位置	檢 測 員	道 路		
				LC ~	LC	上・下			檢 測		
				區分	細目區分	種類		檢測項目	判定	處理方式	
位 置 圖				狀況的草圖及照片							
橫斷圖或剖面圖				↓ 依橋梁損傷情形，記載 AA、A、B 及 OK，若可能造成交通安全障礙或第三者受害等，需另加註符號 E 標示。							
				狀況 概要							

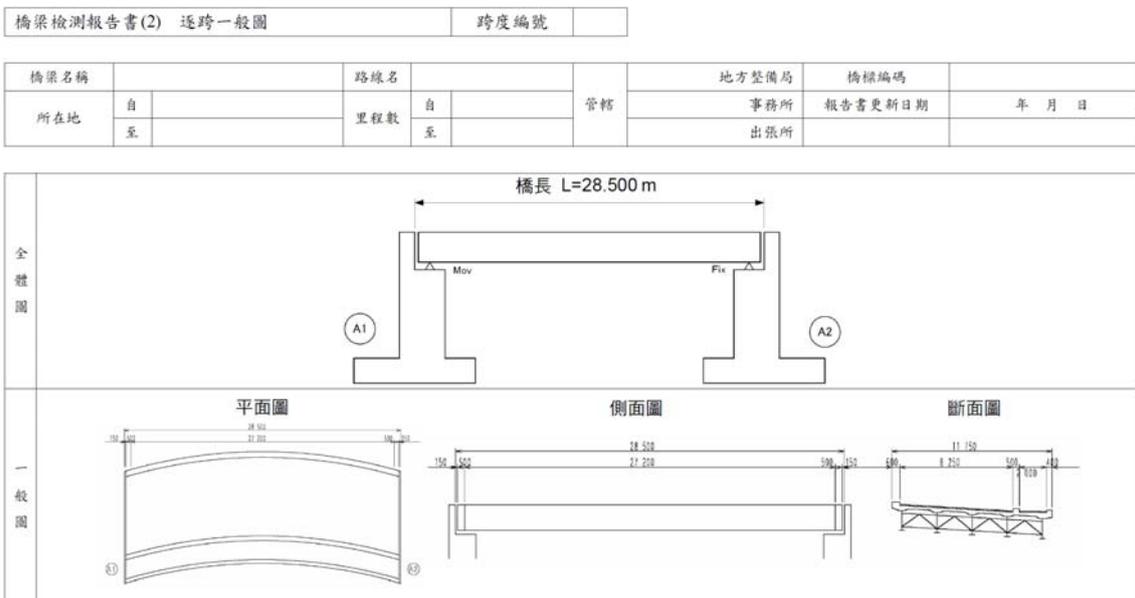
資料來源：參考文獻<sup>[21]</sup>。

表 2-19 日本橋梁定期檢測報告書(1)

橋梁檢測報告書(1) 橋梁的各種因素和綜合檢測結果													
橋梁名稱		路線名		管轄	地方整備局		橋樑編碼						
所在地	自	里程數	自		事務所	報告書更新日期	年 月 日						
	至		至						出張所				
供用開始日	橋長	活載重・等級		等橋		適用示方書					調查年		
上部構造形式	寬度	全寬度	地覆寬	人行道寬	車道寬・車線	車道寬・車線	人行道寬	地覆寬	中央帶	中央分隔帶	交通條件	交通量	台
		有效寬度											大型車混和率
下部構造形式	備註											載重限制	t
基礎形式													
綜合檢查結果													

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

表 2-20 日本橋梁定期檢測報告書(2)



資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

表 2-21 日本橋梁定期檢測報告書(3)

橋梁檢測報告書(3) 現地狀況照片				跨度編號				
橋梁名稱		路線名		管轄	地方整備局	橋樑編碼		
所在地	自	里程數	自		事務所	報告書更新日期	年 月 日	
	至		至		出張所			
現 地 狀 況 照 片	照片編號	攝影年月日		照片編號		攝影年月日		
	跨度編號	註記		跨度編號		註記		
	照片說明			照片說明				
	照片編號	攝影年月日		照片編號		攝影年月日		
	跨度編號	註記		跨度編號		註記		
照片說明			照片說明					

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

表 2-22 日本橋梁定期檢測報告書(4)

橋梁檢測報告書(4) 要素編號圖與部件編號圖				跨度編號			
橋梁名稱		路線名		管轄	地方整備局	橋樑編碼	
所在地	自	里程數	自		事務所	報告書更新日期	年 月 日
	至		至		出張所		
要 素 編 號 圖 與 部 件 編 號 圖	部件代碼	⇨	例: 橋柱(P); 橋台(A)				
	部件編號	⇨	例: P01, P02...; A01, A02,...				
	要素編號	⇨	例:(構架式橋墩)P0101, P0102, P0103...				

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

表 2-23 日本橋梁定期檢測報告書(5)

橋梁檢測報告書(5) 損傷圖				跨度編號				
橋梁名稱		路線名		管轄	地方整備局		橋樑編碼	
所在地	自	里程數	自		事務所	報告書更新日期	年 月 日	
	至		至	出張所				
損 傷 圖								

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。

表 2-24 日本橋梁定期檢測報告書(6)

橋梁檢測報告書(6) 損傷照片				跨度編號				
橋梁名稱		路線名		管轄	地方整備局		橋樑編碼	
所在地	自	里程數	自		事務所	報告書更新日期	年 月 日	
	至		至	出張所				
損 傷 照 片	照片編號	跨度編號	攝影年月日	照片編號	跨度編號	攝影年月日		
	部件名稱	要素編號	註記	部件名稱	要素編號	註記		
	損傷種類	損傷程度		損傷種類	損傷程度			
	照片編號	跨度編號	攝影年月日	照片編號	跨度編號	攝影年月日		
	部件名稱	要素編號	註記	部件名稱	要素編號	註記		
	損傷種類	損傷程度		損傷種類	損傷程度			

資料來源：參考文獻<sup>[23]</sup>。







觀及植生、養路車輛機械等各項養護工作，橋梁檢測為其中的一部分，而各項養護工作皆分別說明其應辦理巡查之方式、頻率、巡查時應檢查之項目、注意事項與各類參考表格，以及相應之處理方式、維護方法等，期能供公路養護人員有所依循。表 2-30 列舉公路橋梁相關的檢測規範與手冊。

表 2-30 公路橋梁檢測規範與手冊

規範手冊名稱	檢測評估方法	採用單位	年份(民國)	制定或頒布單位
公路養護手冊	D.E.R.&U	通用	92	交通技術標準規範公路類公路工程局
橋梁安全維護檢測手冊(草案)		通用	91	國立中央大學
橋梁目視檢測評估手冊(草案)		通用	99	國立中央大學
公路橋梁安全檢查手冊		公路總局	72	臺灣省公路局養路處
公路橋梁一般目視檢測手冊		高公局	84	昭凌工程顧問有限公司
高速公路養護手冊		高公局	100	高公局
公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範	D.E.R.&U. 並參考 A.B.C.D.N.的劣化等級	通用	97	交通技術標準規範公路類公路工程局

### 2.1.2.2 鐵路橋梁

國內現行鐵路橋之檢測評估作業，係以臺灣鐵路管理局的「橋梁檢查與評估手冊」<sup>[26]</sup>為主，該手冊係以日本財團法人鐵道綜合技術研究所出版之「建造物保守管理的標準、同解說－鋼構造物」為參考依據，但未將相關安全評估或特殊檢測項目及方法予以探討說明。為使工程人員在從事鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強工作時能有較為客觀之標準可供依循，交通部高速鐵路工程局於民國 91 年 9 月委託財團法人

臺灣營建研究院，辦理「鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範草案」之研究工作，並於民國 92 年 9 月完成規範草案，正式規範已於 99 月 12 月頒佈。

由於鐵路檢測規範草案主要採 A.B.C.D.N.系統進行檢測評估，與現行公路版本所使用之 D.E.R.&U.系統不同，鐵路檢測規範草案之檢測評估表及評估結果與現行「臺灣地區橋梁管理資訊系統」不易接軌，對於鋼橋養護、維修紀錄之保存將造成困難，為使工程界對於規範之使用具有一致性標準，交通部乃委託中華民國結構工程學會，邀集對鐵路鋼結構橋梁檢測與評估補強工作具專長之學者與專家，組成審查委員會進行複審作業。推動將鐵路檢測規範草案之架構調整與現行公路版本趨於一致，因此亦以 D.E.R.&U.為主要評估法，而劣化等級則參考 A.B.C.D.N.的方式辦理，成為目前最新的「鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」<sup>[27]</sup>。

### 2.1.2.3 D.E.R.&U.評估法及 A.B.C.D.N.評估法

#### 1. D.E.R.&U.評估法

D.E.R.&U.(Degree、Extent、Relevancy and Urgency)評估法為昭凌顧問工程公司與南非 CSIR 公司所共同發展之橋梁目視檢測評估法，一開始是為了高公局開發橋梁管理系統時所制定之目視檢測評估準則，現已被「臺灣地區橋梁管理資訊系統」所採用，使用之機關有高公局、公路總局、鐵路局以及各縣市政府，交通部頒布之公路養護手冊中亦是採用 D.E.R.&U.目視檢測評估法。

D.E.R.&U.評估法係對每一個檢測項目依「劣化程度(Degree)」、「劣化範圍(Extent)」以及劣化情形或現象對橋梁安全性與服務性的「影響度(Relevancy)」，分別給予 0~4 之評分，再針對該劣化構件需維修之「急迫性(Urgency)」加以評定。評估準則如表 2-31 所示。

表 2-31 D.E.R.&U.評估準則

	0	1	2	3	4
程度(D)	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損害
範圍(E)	無法檢測	< 10%	< 30%	< 60%	<
重要性(R)	無法判定重要性	微	小	中	大
急迫性(U)	無法判定急迫性	例行維護	3 年內	1 年內	緊急維修處理

D.E.R.&U.評估法將一般橋梁分為 21 項檢測項目，其中第 1 到第 11 項為一般檢測項目，即橋梁全面性之宏觀檢測，第 12 至 20 項為逐跨檢測項目，第 21 項則為其他。檢測項目如表 2-32 所示。

D.E.R.&U.評估法只適用於一般梁式混凝土橋，對於特殊形式橋梁無法完全適用，因此，又有後續研究針對斜張橋、拱橋、 $\pi$  型橋訂定適合之 D.E.R.&U.檢測項目。斜張橋結構特性複雜與一般橋梁最大不同之處在於多了特有之結構構件：橋塔、鋼纜及其兩端錨定的部份<sup>[28]</sup>，因此構件分類方式於 21 項檢測構件中增加斜張橋特有之構件橋塔及斜張鋼纜，構成斜張橋共 23 項構件，其構件數如表 2-33 所示。

表 2-32 D.E.R.&U.評估法檢測項目(一般橋梁)

(1)引道路堤	(8)摩擦層	(15)支承/支承墊
(2)引道護欄	(9)橋面排水設施	(16)止震塊/拉桿
(3)河道	(10)緣石及人行道	(17)伸縮縫
(4)引道護坡-保護措施	(11)欄杆及護牆	(18)主構件(大梁)
(5)橋台基礎	(12)橋墩保護設施	(19)副構件(橫隔梁)
(6)橋台	(13)橋墩基礎	(20)橋面版/鉸接版
(7)翼牆/擋土牆	(14)橋墩墩體/帽梁	(21)其他

表 2-33 D.E.R.&U.評估法檢測項目(斜張橋)

(1)引道路堤	(9)橋面排水設施	(17)伸縮縫
(2)引道護欄	(10)緣石及人行道	(18)橋塔(含錨定)
(3)河道	(11)欄杆及護牆	(19)主構件(大梁)
(4)引道護坡-保護措施	(12)橋墩保護設施	(20)副構件(橫隔梁)
(5)橋台基礎	(13)橋墩基礎	(21)橋面版/鉸接版
(6)橋台	(14)橋墩墩體/帽梁	(22)鋼纜系統
(7)翼牆/擋土牆	(15)支承/支承墊	(23)其他
(8)摩擦層	(16)止震塊/拉桿	

拱橋構件與一般橋梁構件差異在拱橋多了主要承受載重的「拱圈」構件，及避免拱圈變形用來連繫兩拱圈的「橫桿」，和將拱橋自重(靜態負荷)與車輛(動態負荷)等重量，傳遞到拱圈上的「吊材」或「立柱」，增加此三種構件加上一般橋梁的 21 項構件，構成拱橋共 24 項構件，其拱橋檢測構件如表 2-34 所示。 $\pi$ 型橋構件橋與一般橋梁構件差別只在於前者橋墩為斜立式，後者為直立式。因而 $\pi$ 型橋整體構件就僅將一般橋梁構件中第 14 項「橋墩墩體」改名為「斜撐橋墩」作為 $\pi$ 型橋檢測時整體構件。 $\pi$ 型橋整體檢測構件如表 2-35 所示。

表 2-34 D.E.R.&U.評估法檢測項目(拱橋)

(1)引道路堤	(9)橋面排水設施	(17)伸縮縫
(2)引道護欄	(10)緣石及人行道	(18)主構件(大梁)
(3)河道	(11)欄杆及護牆	(19)副構件(橫隔梁)
(4)引道護坡-保護措施	(12)橋墩保護設施	(20)橋面版/鉸接版
(5)橋台基礎	(13)橋墩基礎	(21)拱圈
(6)橋台	(14)橋墩墩體/帽梁	(22)橫桿
(7)翼牆/擋土牆	(15)支承/支承墊	(23)吊桿/立柱
(8)摩擦層	(16)止震塊/拉桿	(24)其他

表 2-35 D.E.R.&U.評估法檢測項目(π型橋)

(1)引道路堤	(8)摩擦層	(15)支承/支承墊
(2)引道護欄	(9)橋面排水設施	(16)止震塊/拉桿
(3)河道	(10)緣石及人行道	(17)伸縮縫
(4)引道護坡-保護措施	(11)欄杆及護牆	(18)主構件(大梁)
(5)橋台基礎	(12)橋墩保護設施	(19)副構件(橫隔梁)
(6)橋台	(13)橋墩基礎	(20)橋面板/鉸接版
(7)翼牆/擋土牆	(14)斜撐橋墩/帽梁	(21)其他

## 2. A.B.C.D.N.評估法

A.B.C.D.N.評估法為中華顧問工程司於民國 84 年為當時臺灣省政府住宅及都市發展局及鐵路管理局所發展之橋梁目視檢測評估法。如表 2-36 所示，該評估法將橋梁結構物分為：橋面板構件、上部結構、橋墩、基礎及土壤、橋台及引道、支承、伸縮縫及其他附屬設施等 8 大類別，每一類再分為數個檢查對象，每一檢查對象再往下細分為數個檢查項目。

表 2-36 A.B.C.D.N.評估法檢測項目

檢查之結構分類	檢查對象
A.橋面板構件	1.磨耗層 2.緣石 3.人行道 4.中央分隔島 5.胸牆 6.欄杆 7.橋面沉陷
B.上部結構	1.橋面板結構 2.主結構 3.副結構
C.橋墩	1.帽梁 2.墩柱
D.基礎及土壤	1.基礎 2.河道沖刷、侵蝕、沉陷 3.地形斜坡 4.土壤液化 5.保護設施
E.橋台及引道	1.橋台 2.背牆 3.翼牆 4.引道 5.保護設施
F.支承	1.支承及其周邊 2.阻尼裝置 3.防止落橋措施
G.伸縮縫	1.伸縮縫裝置
H.其他附屬設施	1.標誌、標線 2.標誌架及照明設施 3.隔音牆 4.維修走道 5.排水設施 6.其他設施

A.B.C.D.N.評估法將損傷分為 A~D 四級，如表 2-37 所示，若無此項目或無法判斷結構物之損傷狀況時則判定為「N」，另外，當無法判斷時需加以說明；若為上述以外之場合則記錄為「OK」。檢查對象之劣化評等標準如表 2-38。

表 2-37 A.B.C.D.N.評估準則

判定等級	狀況
A	損傷輕微，需作重點檢查。
B	有損傷，需進行監視，必要時視狀況補修。
C	損傷顯著，變形持續進行，功能可能降低，必須加以補修。
D	損傷顯著，有重大變形及結構物功能降低，為確保交通之安全順暢，或避免對第三者造成障礙，必須採取緊急修補。
N	無此項目或無法判斷結構物之損傷狀況。
OK	上述以外之場合。

表 2-38 A.B.C.D.N.評等法結構物劣化之評等標準表

項目	A	B	C	D
裂縫	雙向裂縫 裂縫寬度大於 0.1 mm，且間隔大於 60 cm。	(1)裂縫寬度大於 0.1 mm，且隔 40~60 cm 間。 (2)裂縫寬度小於 0.2 mm，且集中或呈龜甲狀。	(1)裂縫寬度大於 0.1 mm，且間隔小於 40 cm。 (2)裂縫寬度大於 0.2 mm，且集中或呈龜甲狀。	混凝土剝落，或有明顯之裂縫預測會剝落，可能造成第三者之障礙。
	單向裂縫 裂縫寬度介於 0.1~0.2 mm，且間隔大於 100 mm。	(1)裂縫寬度大於 0.2 mm，且間隔 50~100 cm 間。 (2)裂縫寬度介於 0.1~0.2 mm，且集中。	(1)裂縫寬度大於 0.2 mm，且間隔小於 50 cm。 (2)裂縫寬度大於 0.2 mm，且集中。	混凝土剝落，或有明顯之裂縫預測會剝落，可能造成第三者之障礙。
剝落	剝離面積小於 0.1 m <sup>2</sup> 。	(1)剝離面積介於 0.1~0.3 m <sup>2</sup> 。 (2)小塊剝落(直徑小於 50 cm)。	(1)剝離面積大於 0.3 m <sup>2</sup> 。 (2)大塊剝落(直徑大於 50 cm)。	剝落或持續性剝落，可能造成第三者之障礙。

項目	A	B	C	D
蜂窩	局部有蜂窩。	面積小於0.2 m <sup>2</sup> 之蜂窩。	面積大於 0.2 m <sup>2</sup> 之蜂窩。	—
空洞	(1) 稍有不良聲音。 (2) 局部有空洞。	(1) 面積小於 0.2 m <sup>2</sup> 之空洞。 (2) 主構件局部有明顯之空洞。	面積大於 0.2 m <sup>2</sup> 之空洞。	—
彎曲、變形	—	—	—	變形量大於規範之容許值。
鋼筋、鋼鍵或錨錠部位外露、銹蝕	—	主筋外露長度小於30 cm。	(1) 主筋外露長度30~50 cm，或主筋局部外露、銹蝕。 (2) P.C 鋼材局部外露。	(1) 主筋外露長度大於50 cm，或主筋銹蝕。 (2) PC 鋼材外露 50 cm以上或 PC 錨錠部位外露。
滲水及游離石灰、銹水流出	少量滲水及游離石灰。	(1) 滲水及游離石灰、銹水流出面積小於0.3 m <sup>2</sup> (2) 游離石灰單向發生。	(1) 滲水及游離石灰、銹水流出面積大於0.3 m <sup>2</sup> (2) 游離石灰雙向發生，間隔50 cm 以下。	滲水並造成第三者之障礙。
基礎入土深度	—	達原設計 4/5 以上。	原設計 4/5~2/3。	在 2/3 以下。
阻水面積比	低於 5%	介於 5~10%	高於 10%	—
橋墩方向與河川流向角度	低於 5° 以下	介於 5~10°	介於 15~30°	大於 30°
異常聲音、異常振動	—	有異常之聲音發生。	主構件有搖晃情形，於橋面站立時感覺有異常振動，或因車輛之衝擊有大的異常聲音發生。	—
其他損傷	—	—	(1) 端隔梁浮起。 (2) 橋面版間隙顯著不良。	—

#### 2.1.2.4 橋梁維護管理作業評鑑

##### 1. 源起

為落實橋梁管理系統之操作及運用，交通部於 93 年 2 月 6 日指示運輸研究所對各橋梁管理單位使用該系統情形及橋梁維護管理作業，並於年度結束後將評鑑結果提報交通部。鑑辦方法由運輸研究所草擬，並邀各管理單位開會研商確認後公布。93 年度因首次評鑑且評鑑辦法發佈較遲，故評鑑結果僅供參考，不做為獎懲或公佈之依據。94 年度起每年由交通部發佈新聞稿公布評鑑結果。

##### 2. 評鑑要點

交通部為建立臺灣地區橋梁維護管理制度並落實執行，以確保橋梁結構穩定，延長橋梁壽命，維護用路人安全，特別訂定「臺灣地區橋梁維護管理作業評鑑實施要點」(交通部 95 年 12 月 4 日交路(一)字第 09500117251 號函頒佈)。該要點明訂評鑑目的、定義、對象、評鑑項目、標準、配分方式、執行單位、期程、獎勵方式及發佈與修正方式等，作為辦理評鑑作業之正式依據，說明如下：

###### (1) 定義

該要點所稱橋梁維護管理作業，包括橋梁之基本資料建立、檢測、維修、維護管理人員之教育訓練、維護管理制度、臺灣地區橋梁管理資訊系統運用及相關資料之更新等。

###### (2) 對象

交通部臺灣區國道高速公路局、公路總局、臺灣鐵路管理局所屬之工務段，及各直轄市、縣(市)政府。

###### (3) 項目、標準及配分方式

由交通部運輸研究所、內政部營建署、各直轄市、縣(市)政府、交通部路政司、臺灣區國道高速公路局、公路總局及臺

灣鐵路管理局等商訂之，並視執行成效及維護管理重點調整變更之。基於交通部所屬機關之工務段與各直轄市、縣(市)政府組織、人力及資源差異，分為兩部分訂立評鑑項目、標準及配分方式，並分別排名。

#### (4) 執行單位

評鑑之執行及相關行政工作由內政部營建署、交通部路政公司及運輸研究所共同辦理。

#### (5) 期程

評鑑成績原則上於每年 12 月底由運輸研究所進行統計，並於次年 1 月底將評鑑結果提報交通部。

#### (6) 獎勵方式及發佈與修正方式

評鑑結果由交通部對外公布；交通部所屬機關之工務段取前三名，由交通部頒發獎座表揚。各直轄市、縣(市)政府之成績除作為相關經費補助分配之依據外，達一定標準者，由交通部擇優頒發獎座表揚。該要點由交通部函發實施，修正亦同。

根據以上評鑑要點所述，交通部所屬機關(高速公路局、公路總局、臺灣鐵路管理局)之工務段與各直轄市、縣(市)政府因為組織、人力及資源差異，因此採用兩套評鑑標準實施辦理。一般而言，兩部分主要差異在於：

- (1) 對交通部所屬機關對要求較嚴格，要求以「構件」為評鑑單位；縣(市)政府要寬鬆，要求以「橋梁」為評鑑單位。
- (2) 檢測頻率對交通部所屬機關要求為 1 年 1 次；縣(市)政府為 2 年 1 次。

交通部所屬機關及縣市政府之評鑑內容其實會逐年視情況而修訂，97 年度評鑑項目與配分規定檢附於「附錄一 橋梁維護管理作業評

鑑方式」。由於交通部所屬機關向運輸研究所反映各單位組織、人力及資源差異，難以置於同一平台上評鑑。橋梁維管作業評鑑非常重要且任務艱鉅，運輸研究所也有鑑於人力不足，無法確認各橋梁管理單位所填寫資料的正確性，及無法現地查核部屬機關與縣市政府所管轄之所有橋梁情況，於 98 年度起，交通部屬機關的橋梁維護管理作業評鑑改交由各部屬機關自行辦理，運輸研究所只辦理縣(市)政府的橋梁評鑑，100 年度縣(市)政府的評鑑項目同時檢附於「附錄一 橋梁維護管理作業評鑑方式」<sup>[29]</sup>。

## 2.2 橋梁檢測相關研究報告

國外檢測相關技術已落實於檢測規範與手冊(第 2.1 節)，所以，第 2.2.1 節僅概略說明其它相關方法。第 2.2.2 節則以介紹國內橋檢制度與技術之相關研究為主，為提出橋檢與後續相關工作如詳細評估之整合實施建議，另補充非破壞性檢測、破壞性檢測、性能詳細評估、健康監測、生命週期維護管理等資料。

### 2.2.1 國外資料

日本混凝土學會(Japan Concrete Institute, JCI)提出的混凝土檢測技術研究報告<sup>[30]</sup>，該報告彙整日本的混凝土檢測技術，並提出構造物的現狀或劣化過程分類方式，也對混凝土結構鋼筋腐蝕量提經驗公式，而經驗公式之使用透過累積長期的檢測資料，再經不斷的修正來減少預測誤差。

Lin 與 Sansalone 之研究<sup>[31]</sup>係以敲擊回音法(Impact-Echo method)進行橋梁健康狀態的高級檢測(即使用各種儀器或方法，確認目視檢測的結果或疑問，並進一步建立診斷分析資料)，談及測量混凝土結構的衝擊回聲反應取決於混凝土周圍的材料的性質與狀況，並當混凝土結構中出現空隙(充滿空氣或水)提出有效的辨識方法，該研究也列舉許多其它檢測方法及儀器。

Bakht and Jaeger 的研究報告<sup>[32]</sup>係利用橋梁檢監測實驗數據，強調橋梁荷載評估的重要性。該研究根據加拿大 Ontario 的高速公路的現地實驗經驗，列出在橋梁實驗時可能遭遇令人出乎意料的情形，且這些情況會對橋梁的荷載能力可能有重大的影響。尤其是某些情況，橋梁的真實荷載量會有所錯估。在這類情況下，現地試驗為評估橋梁現存狀況的最直接且有效的方法。

英國高速公路研究報告<sup>[33]</sup>透過橋梁檢測實驗，探討腐蝕性對橋梁的影響。報告中指出在法國曾發現一些應力腐蝕會造成的鋼鍵脆裂的情況，但根據調查顯示，只有含銅量超過 0.1% 的脆火熱軋鋼絞索才有此情況；英國的調查也有電化腐蝕的例子，其預力鋼鍵附近的灰泥漿含有高量氯離子，但只有在無灰泥漿或蜂窩處才會因氯離子導致嚴重腐蝕。

由於現場混凝土橋梁的實際裂縫是各種影響因子的綜合，這些因素交互影響下，使混凝土裂縫深度不易判讀，有些為表面裂縫，有些為內部裂縫，有些短期內對結構體的整體承载力尚無影響，有些卻是立即危險的徵兆。ASTM C 1383<sup>[34]</sup>因此提出表面裂縫深度的檢測論述，也訂定應力波檢測技術的標準檢測方法，以有效檢測混凝土裂縫深度，並做為橋梁安全的示警指標。其主要做法為在混凝土裂縫兩邊各配置一個接收器(transducer)，用表面波速資料替代內部波速以檢測裂縫。其中，兩探頭間距定為 30cm，主要原因是考慮波傳遞的能量衰減及走時(arrival time)的最適搭配，用以提升精度，而以表面 P 波替代內部 P 波的主要原因是檢測物的另一側無法放置儀器。

Florida Department of Transportation Central Structures Office<sup>[35]</sup>係針對混凝土非破壞試驗(Nondestructive Test, NDT)方法進行相關研究，包括超音波(Ultrasonic method)、敲擊回音(Impact Echo Method)、內視鏡(Endoscope)、脈衝雷達(Impulse Radar)、X-ray 缺陷影像等，並探討各種方法之其優點及適用性。

由於混凝土的裂縫非常的不規則，對於舊橋，其裂尖有時無法以目測研判。Cheng and Sansalone<sup>[36]</sup>及 Lin and Su<sup>[37]</sup>分別提出以敲擊回音法及應力波方法檢測混凝土裂縫。但由於裂縫大於 0.025mm 以上時應力波會快速減緩，在當大於 0.08mm 的裂痕時應力波就無法穿透，兩者方法均受限。

Gupta 等人<sup>[38]</sup>於 1994 年提出預力混凝土橋梁診斷系統，該系統之建立採用物件導向程式，系統運作時透過不同物件知識庫訊息之傳遞以互為參考之用，並藉由系統對橋梁劣化情形之描述，由使用者選擇其所屬劣化類型後並建議相關維護措施。

Brito 等人<sup>[39]</sup>於 1994 年提出「Bridge-1」混凝土橋梁檢測系統，適用於橋梁定期檢測，系統內建橋梁基本資料以及橋梁檢測專家知識庫，使用者於檢測橋梁之構件時，系統會顯示該構件可能之劣化類型供使用者選擇，選擇完損壞類型後，系統會建議若干相關檢測法供使用者選擇，並列出可能造成該損壞之原因，最後選擇修復該損壞之急迫性與對橋梁結構安全、交通之影響程度。

## 2.2.2 國內資料

本節除了橋檢制度與評等方法、狀況或功能指標、橋梁重要度排序與性能初步評估以外，亦簡要彙整非破壞性檢測、破壞性檢測、性能詳細評估、維護與補強、健康監測、生命週期維護管理等資料，惟因本計畫聚焦橋梁目視檢測，這些主題內容亦有相關研究深入探討，所以，僅概略說明。

### 2.2.2.1 橋梁檢測制度與評等方法相關研究

徐耀賜<sup>[40]</sup>對公路橋梁之養護與維修的相關內容，諸如橋梁分類、荷重、災害、現況等進行詳細的介紹，也針對橋梁檢測(含目視檢測、非破壞性檢測及破壞性檢測)、橋梁評定與方法，及不同材質橋梁、橋梁不同組成部份(支承、橋面版、下部結構與基礎等)的養護與維修技術

加以介紹及探討。特別的是，書中除了詳細規範及敘說各種橋梁檢測規定及要領外，也附各種檢測工具之照片及橋梁劣化或損壞情形之圖說及表格，於橋梁檢測實務上相當具有實用價值。

交通部運輸研究所於九十一年度委託國立臺北科技大學執行「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)」<sup>[41]</sup>，研擬適合國內環境的橋梁檢測制度方法及準則，同時針對橋梁檢測人員訓練、檢測資格取得，研訂檢測人員培訓制度與簽證制度。整理該研究針對橋梁現況、人員培訓以及橋梁檢測簽證等透過 34 份有效問卷的調查結果如表 2-39~表 2-41 所示。

表 2-39 橋檢作業現況問卷調查結果

問題	統計項目及數據			
	橋檢作人員 有無編制	有 37%	無 60% (非專責編制，兼任制)	未作答 3%
執行人力 有多少	有 70% (多數1人，少數3人)	無 19%	未作答 11%	
橋長大於 6m 橋梁數量	<100 座 31%	100-500 座 51%	>500 座 10%	未作答 8%
	日常巡查 20%	定期巡查 30%	臨時或特殊巡查 38%	未作答 12%
橋檢執行方式	否 74%	是 18%	未作答 8%	
	高中以下 29%	大專以上 59%	未作答 12%	
橋檢人員 學經歷	有 21%	沒有 58%	未作答及不知道 21%	
	通過 43%	未通過 34%	未作答及不知道 23%	
橋檢人員 有無證照	通過 43%	未通過 34%	未作答及不知道 23%	
	通過 43%	未通過 34%	未作答及不知道 23%	

問題	統計項目及數據				
橋檢有無定期執行規定	有	否			未作答
	63%	26%			11%
橋檢有無相關作業規定	有	否			未作答或不知道
	34%	55%			11%
橋檢有無編列預算	有	否			未作答或不知道
	50%	42%			8%
橋檢人員有無資格限制	是	否			未作答
	5%	77%			18%
橋檢人員資歷	<5 年	5 年-10 年	10 年-20 年	>20 年	其他及未作答
	28%	20%	18%	10%	24%
一年平均橋檢數量	<50 座	50 座-200 座	200 座-500 座	>500 座	未作答及不清楚
	21%	47%	5%	6%	21%

資料來源：參考文獻<sup>[41]</sup>。

表 2-40 人員培訓問卷調查結果

問題	統計項目及數據			
是否贊成舉辦橋檢培訓課程	贊成		不贊成	
	97%		3%	
培訓課程辦理方式	主管機關授權大學校院開班		主管機關統一開班	
	55%		45%	
培訓課程是否要分類分級	贊成		不贊成	未作答
	87%		8%	5%
培訓課程期程	<1 週	1-2 週	>2 週	其它及沒意見
	60%	24%	13%	3%

資料來源：參考文獻<sup>[41]</sup>。

表 2-41 橋梁檢測人員簽證問卷調查結果

問題	統計項目及數據			
	簽證制度是否需要	需要	不需要	未作答
	37%	0%	63%	
橋檢辦理方式	自辦	委辦	未作答或其他	
	28%	21%	51%	
橋檢後有無查驗	有	無	未作答	
	18%	5%	77%	
有無制式查驗項目與規定	有	無	未作答	
	16%	21%	63%	
簽證制度應不應該賦予法律效力	應該	不應該	未作答	
	68%	8%	24%	
簽證制度困難點	資格認定及取得尚未制度化	簽證制度及規定未法制化	落實專業人員簽證不易	其它
	25%	21%	20%	34%
多少查驗數目具代表性	10%	10%~30%	>30%	未作答
	8%	3%	11%	78%
理想定檢頻率	1年	半年至1年	1-2年	未作答其它
	47%	24%	18%	11%
定檢評估方式	D.E.R.&U.	A.B.C.D.N.	其他或未作答	
	84%	0%	16%	
定檢方式	目視檢測	非破壞性檢測	其他或未作答	
	83%	5%	12%	
目視檢測自辦能力	有		無	
	32%		68%	
非破壞性檢測自辦能力	有		無	
	0%		100%	

資料來源：參考文獻<sup>[41]</sup>。

溫國維<sup>[42]</sup>對斜張橋建立一套目視檢測標準。此檢測標準以鋼筋混凝土橋之 D.E.R.&U.法為基礎，建立斜張橋構件的分類與檢測之標準，以初步判定斜張橋橋梁之狀況。

廖家禎<sup>[43]</sup>針對拱橋與  $\pi$  型橋建立一套目視檢測評估方法。此檢測評估方法以鋼筋混凝土橋之 D.E.R.&U.目視檢測標準為基礎，建立拱橋與  $\pi$  型橋的構件分類與檢測評估標準。首先定義出拱橋與  $\pi$  型橋類型，探討拱橋、 $\pi$  型橋與一般混凝土橋之構件不同處及各構件劣化類型，並訂定各構件之檢測評估標準，再依專家訪談與問卷之結果，訂定拱橋與  $\pi$  型橋各構件的權數，由此即可依目視檢測之結果計算出拱橋與  $\pi$  型橋之狀況指標值。

陳冠伶<sup>[44]</sup>為建立完整長橋之基本資料與目視檢測評估標準，先以長橋所面臨之資料完整性輸入問題做一初步探討，以整合歸納出合理之基本資料輸入模式。對於目視檢測評估標準與檢測結果之輸入，則藉由長橋檢測時所面臨問題之分析探討，訂出目視檢測「D.E.R.&U.法」之標準。最後，再依專家訪談結果，訂定長橋各構件之權重，進而由檢測結果計算出長橋之整體性狀況指標值(Overall Condition Index, OCI)。

交通部運輸研究所於九十九年度委託國立中央大學橋梁中心研擬「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」<sup>[28]</sup>，該研究以高公局民國 84 年訂定之「公路橋梁一般目視檢測手冊」為基礎，除重新檢討其內容、增補相關圖像外，並考量納入特殊橋梁、軌道橋梁構件之評估項目、準則，以擴大並確認手冊之適用範圍，其能成為國內車行橋梁進行目視檢測評估時之統一標準。

為確保「臺灣地區橋梁管理資訊系統」內資料之正確性及完整性為目的，其能藉檢核成果檢視管理系統之運作成效，並督促管理單位重視橋梁檢測品質及建立橋梁資料檢核機制，交通部運輸研究所於九十九年度委託國立中央大學執行「『臺灣地區橋梁管理資訊系統』資料檢核計畫」<sup>[45]</sup>，針對地方政府管養之橋梁進行隨機抽選及實地檢核，

期望了解該些橋梁登載資料之詳實情形，作為督促相關單位加強橋梁管理業務之依據。

楊振翰<sup>[46]</sup>透過問卷調查與專家訪談，探討「臺灣地區橋梁管理資訊系統」目前使用方式、系統功能之完整性，以及此系統與橋梁管理實務上之差異，進而提出相關模組的改善方式，以增進此系統之實用性。其中，維修資料模組極需重寫改善，以符合填寫實際維修紀錄之需要。而橋梁基本資訊欄位亦應再加檢討，以符合複雜程度不同橋梁之需求。此外，「臺灣地區橋梁管理資訊系統」之橋梁基本資料、檢測資料皆已累積至相當之數量，該研究藉由對系統內資料庫之統計、分析，找出臺灣地區橋梁之現況與使用維護上之特性，並提出積極有效之管理對策，以進一步提升臺灣地區橋梁維護管理成效。

#### 2.2.2.2 橋梁評估指標與橋梁排序

D.E.R.&U.目視檢測評估法提供數個評估指標，其中最常用也最為重要的為狀況指標(Condition Index, CI)以及優選指標(Priority Index, PI)，另外還有因特殊需求而建立的新 CI、新 PI、規範 PI、沖刷穩定指標(Scouring Stability Index, SSI)、結構安全指標(Structural Function Index, SFI)、耐震能力指標(Seismic Resistance Index, SRI)以及用路人安全指標(User Safety Index, USI)等，均係利用 D.E.R.&U.目視檢測評估資訊計算指標值。

除此之外，也有使用其他參數計算之評估指標，如用以表示功能降低性的功能指標(Functional Index, FI)、結合 PI 與 FI 之整體優選指標(Overall Priority Index, OPI)、用以表示橋梁危險程度的危險性指標(Critical State Index, CSI)、表示橋梁重要性之橋梁綜合重要性指標，及考量結構安全性、服務功能性、易損性等之橋梁綜合評估與優選排序指標(Sufficiency Rating, SR)。上述不論是表示橋梁本身能力或綜合能力的指標值，均可提供橋梁維護管理人員據以排定維護管理之優先順序，對具較高危險性及功能重要性之橋梁予以優先檢測或維修補強，以將有限之人力及經費充分有效運用。

以下將就上述各橋梁評估指標進行簡要說明。

### 1. 狀況指標, CI<sup>[29]</sup>

CI 利用目視檢測所得各構件之評估值及各構件相對於橋梁之重要性(權重), 計算橋梁之結構及使用狀況, 其計算方式如下:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{21} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{21} w_i} \dots\dots\dots (2.5)$$

其中,  $w_i$  為構件  $i$  相對於橋梁之權重, 如表 2-42 所示,  $Ic_i$  為構件  $i$  之狀況值, 計算方式如下式:

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

上式中,  $n$  為各構件之總數;  $Ic_{ij}$  為構件  $i$  之第  $j$  部份之狀況值, 計算方式如下:

$$Ic_{ij} = 100 - 100 \times \frac{D_{ij} \times E_{ij} \times R_{ij}^a}{4 \times 4 \times 4^a} \dots\dots\dots (2.7)$$

上式中,  $a$  為相關重要性參數, 通常取 1, 若欲強調構件重要性時可取 2, 目前於管理系統中並未對  $a$  值選定有較明確建議, 故一般仍以  $a=1$  計算。

**表 2-42 CI 與 PI 指標之橋梁 21 構件權重表**

編號	構件名稱	權重	編號	構件名稱	權重
01	引道路堤	3	12	橋墩保護措施	6
02	引道護欄	2	13	橋墩基礎	8
03	河道	5	14	橋墩墩體	7
04	引道護坡	3	15	支承/支承墊	5

編號	構件名稱	權重	編號	構件名稱	權重
05	橋台基礎	6	16	止震塊/拉桿	5
06	橋台	5	17	伸縮縫	6
07	翼牆/擋土牆	5	18	主構件(大梁)	8
08	磨擦層	3	19	副構件(橫隔梁)	6
09	橋面排水設施	4	20	橋面板	7
10	緣石及人行道	2	21	交通及照明設施	1
11	欄杆及護牆	3			

資料來源：參考文獻<sup>[29]</sup>。

## 2. 優選指標, PI<sup>[29]</sup>

PI 與 CI 計算之最大不同在於  $Ic_i$  值之取得方式，PI 是將橋梁各構件之  $Ic_{ij}$  值分組之後取最具代表性之  $Ic_{ij}$  再加以平均，以避免主要構件之分項在 D、E、R 值差異偏高時，無法由  $Ic_i$  顯示構件之劣化狀況。計算方式如下：

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^{21} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{21} w_i} \dots\dots\dots (2.8)$$

$Ic_i$  之取法如下：

- (1) 先找出各檢測項目中構件  $Ic_{ij}$  之最小值，即  $Ic_{ij}(\min)$ 。
- (2) 若  $Ic_{ij}(\min)$  值小於 50，將小於 50 的  $Ic_{ij}$  值挑選出來平均，作為  $Ic_i$ 。
- (3) 若  $Ic_{ij}(\min)$  值介於 50 和 75 之間，將此範圍的  $Ic_{ij}$  值挑選出來平均，作為  $Ic_i$ 。
- (4) 若  $Ic_{ij}(\min)$  值介於 75 和 100 之間，將此範圍的  $Ic_{ij}$  值挑選出來平均，作為  $Ic_i$ 。

PI 與 CI 計算於新版管理系統中皆可取得相關數據，由以往的

統計分析結果，CI 值於長跨度橋梁中容易被稀釋，無法明確顯現單一跨度損傷嚴重情形，因此於新版管理系統中可提供 PI 值排序，較可能可以區分損傷嚴重橋跨。

### 3. 規範優選指標，規範 PI<sup>[47]</sup>

規範 PI 是依「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」<sup>[47]</sup>中所列之橋梁優選指標公式計算而得。規範 PI 目的在顯示該座橋梁中與結構安全項目有關之構件劣化狀況，其分數越低表示劣化越嚴重。規範 PI 計算公式類似於優選指標 PI，唯計算上僅取橋梁檢測項目中影響結構安全項目(即表 2-42 中編號第 5 項和第 6 項、第 12 項至第 16 項及第 18 至第 20 項)之  $Ic_i$  值，並經加權(表 2-42)計算而得，其計算公式如下：

$$\text{規範 PI} = \frac{\sum_{i=5}^6 (Ic_i \times w_i) + \sum_{i=12}^{16} (Ic_i \times w_i) + \sum_{i=18}^{20} (Ic_i \times w_i)}{\sum_{i=5}^6 w_i + \sum_{i=12}^{16} w_i + \sum_{i=18}^{20} w_i} \dots\dots\dots (2.9)$$

### 4. 新狀況指標與新優選指標，新 CI 與新 PI<sup>[29]</sup>

上述橋梁評估指標 CI 與 PI 係利用 21 項構件之狀況分數加權後所得，但當橋梁構件不足 21 項時，現有之構件權重並無法自動分配，造成 CI 及 PI 出現「基本分」之不合理現象。

新 CI 及新 PI 為改善橋梁構件不足 21 項之情況所提出，係透過橋梁構件重要性指數，如表 2-43 所示，僅將存在構件之重要性指數挑出，依存在之構件指數佔全部存在構件指數總和之比例，自動計算各構件之權重，再依原 CI 及 PI 之公式(式(2.5)與式(2.8))計算，得到新 CI 及新 PI。其中，當構件之評估項目出現 D=0 或 E=0，甚或 D、E、R 完全空白等情形視為不存在之構件，反之為存在之構件。需注意的是，新 CI 及新 PI 並沒有提供「其它」項目之重要性指數作為考量。

表 2-43 橋梁構件重要性指數

項次	構件名稱	重要性指數		
		橋長>100m	50m<橋長<100m	橋長<50m
1	引道路堤	1.855	1.855	1.855
2	引道護欄	1.351	1.351	1.351
3	河道	2.591	2.545	2.424
4	引道護坡	1.443	1.443	1.351
5	橋台基礎	3.608	3.487	3.487
6	橋台	3.441	3.441	3.441
7	翼牆/擋土牆	2.002	2.002	2.002
8	摩擦層	1.580	1.397	1.230
9	橋面排水設施	1.351	1.351	1.230
10	緣石及人行道	0.517	0.517	0.396
11	欄杆	1.351	1.351	1.351
12	橋墩保護措施	2.820	2.774	1.819
13	橋墩基礎	4.004	3.837	3.716
14	橋墩墩體/帽梁	3.837	3.837	3.670
15	支承/支承墊	2.790	2.790	2.185
16	止震塊/拉桿	2.332	2.378	1.727
17	伸縮縫	1.809	1.626	1.459
18	橋塔(含錨定)【吊橋】	4.004	3.883	N/A
19	橋塔(含錨定) 【斜張橋】	4.004	3.883	N/A
20	主構件(大梁)	3.837	3.716	3.670
21	次要構件(橫梁)	1.773	2.002	1.956
22	橋面版	3.232	3.065	3.065
23	主纜索【吊橋】	4.004	3.883	N/A
24	吊索【吊橋】	3.958	3.716	N/A
25	斜張鋼纜系統 【斜張橋】	4.004	3.883	N/A

項次	構件名稱	重要性指數		
		橋長>100m	50m<橋長<100m	橋長<50m
26	拱圈【拱橋】	4.004	3.837	N/A
27	橫桿【拱橋】	2.836	2.607	N/A
28	吊材/立柱【拱橋】	3.670	2.836	N/A
29	其他	N/A	N/A	N/A

資料來源：參考文獻<sup>[29]</sup>。

## 5. 沖刷穩定指標, SSI<sup>[28]</sup>

交通部運輸研究所於九十九年度委託國立中央大學橋梁中心研擬「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」<sup>[28]</sup>，針對橋梁狀況評估指標進行進一步進行專家問卷調查，並彙整現有「臺灣地區橋梁管理資訊系統」中所提供之資訊，重新探討沖刷穩定指標 SSI (Scouring Stability Index)，並以整數 0~100 代表橋梁對抗沖刷的能力，分數越高代表狀況越好。SSI 值設計之目的在於凸顯與沖刷有關構件之狀況，SSI 值之計算公式如下：

$$SSI = \frac{\sum_{i=1}^m Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \dots\dots\dots (2.10)$$

其中， $Ic_i$  與  $Ic_{ij}$  之決定原則與 PI 相同，關於各構件權重  $w_i$  的計算方式，是以「臺灣地區橋梁管理資訊系統」中新 CI 及新 PI 的計算方式，即透過該橋梁構件重要性指數(表 2-43)，僅將 SSI 指標計算構件之重要性指數挑出，依存在之構件指數佔全部存在構件指數總和之比例，自動計算各構件之權重。需注意的是，上式只取與 SSI 指標相關的  $m$  個構件項目進行計算，項目個數  $m$  視不同橋型而定，以一般梁式橋為例，各指標計算之項目如表 2-44 所示，其它橋型計算之項目可參閱「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」<sup>[28]</sup>。

表 2-44 一般梁式橋各指標計算之項目[公路]

項次	構件名稱	CI	PI	SSI	SFI	SRI	USI
1	引道路堤	√	√				√
2	引道護欄	√	√				√
3	河道	√	√	√			
4	引道護坡	√	√				
5	橋台基礎	√	√	√	√	√	
6	橋台	√	√	√	√	√	
7	翼牆/擋土牆	√	√				
8	面層	√	√				√
9	橋面排水設施	√	√				√
10	緣石及人行道	√	√				√
11	欄杆及護牆	√	√				√
12	橋墩保護措施	√	√	√			
13	橋墩基礎	√	√	√	√	√	
14	橋墩墩體/帽梁	√	√	√	√	√	
15	支承/支承墊	√	√			√	
16	防震設施	√	√			√	
17	伸縮縫	√	√			√	√
18	主構件(大梁)	√	√		√	√	
19	次要構件(橫隔梁)	√	√		√	√	
20	橋面板	√	√				√
21	其他	√	√				

資料來源：參考文獻<sup>[28]</sup>。

## 6. 結構安全指標, SFI<sup>[28]</sup>

SFI 以整數 0~100 代表橋梁之主要結構是否安全，分數越高代表結構狀況越好。所選用之構件為與橋梁結構最直接相關的項目，著重在橋梁結構本身。SFI 值之計算公式如下：

$$SFI = \frac{\sum_{i=1}^m Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \dots\dots\dots (2.11)$$

上式中，項目個數 m 視不同橋型而定，請參考表 2-44，Ic<sub>i</sub>、Ic<sub>ij</sub> 及各構件權重 w<sub>i</sub> 的計算方式與原則與 SSI 指標相同，在此不再贅述。

### 7. 耐震能力指標, SRI<sup>[28]</sup>

SRI 以整數 0~100 代表橋梁承受地震之能力，分數越高代表耐震能力越好。雖然橋梁耐震能力並非簡單用構件之狀況就能評估出來，但當部分構件發生劣化或損換，勢必會引響到橋梁之在地震中之穩定性，因此該指標擬選用與橋梁耐震有關之構件，即當該些構件有損壞時，會引響橋梁抵抗地震之能力。SRI 值之計算公式如下：

$$SRI = \frac{\sum_{i=1}^m Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \dots\dots\dots (2.12)$$

上式中，項目個數 m 視不同橋型而定，請參考表 2-44，Ic<sub>i</sub>、Ic<sub>ij</sub> 及各構件權重 w<sub>i</sub> 的計算方式與原則與 SSI 指標相同，在此不再贅述。

### 8. 用路人安全指標, USI<sup>[28]</sup>

USI 以整數 0~100 代表車輛通過橋梁時是否舒適且安全，或行人、檢測人員行經橋梁之安全，分數越高代表服務功能越好。此指標選用直接影響行車安全及舒適，或行人、檢測人員安全之構件，因結構損壞造成落橋而引起行車安全不在指標評估範圍。USI 值之計算公式如下：

$$USI = \frac{\sum_{i=1}^m Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \dots\dots\dots (2.13)$$

上式中，項目個數  $m$  視不同橋型而定，請參考表 2-44， $I_{c_i}$ 、 $I_{c_{ij}}$  及各構件權重  $w_i$  的計算方式與原則與 SSI 指標相同，在此不再贅述。

## 9. 功能性指標, FI<sup>[47]</sup>

FI 用於評估一座橋梁之服務水準，依公路功能等級、交通量及其他因素而定。此處功能指標係以「功能降低性」來表示，係由結構等級(Class of Structure, CS)、橋梁運輸能力(Bridge Capacity, BC)及繞道距離(Detour Length, DL)等三項指標計算與評分。

$$FI = 100 \times \frac{FI_{CS} + FI_{BC} + FI_{DL} - 1}{12 - 1} \dots\dots\dots (2.14)$$

### (1) 結構等級

結構等級分為三級，依橋梁之重要性，自第一級至第三級，分別定義為：

- a. 第一級：若該橋梁為當地居民不可或缺之交通要道，或該橋發生損壞時，將造成嚴重之災難則  $FI_{CS}$  評分為 1。
- b. 第二級：若該橋梁為當地居民不可或缺之交通要道，或該橋發生損壞時，將造成生命損失則  $FI_{CS}$  評分為 5。
- c. 第三級：若該橋梁發生損壞時，不致造成毀壞性之後果，或該橋梁可容許一段時間喪失其服務性則  $FI_{CS}$  評分為 9。

### (2) 橋梁運輸能力

單車道之通行車輛數越多，表示該橋越重要，故橋梁運輸能力以基本資料中平均每日實際交通量(Average Daily Traffic, ADT)與橋梁淨寬(Clear Bridge Width, CBW)之比計算 BC 值。當交通量愈大或橋梁淨寬愈小則單位車道之通行車輛數愈多，計算所得之 BC 愈高，表示該橋愈重要。BC 值以 200 為界， $BC > 200$ ， $FIBC$  評分為 0； $BC \leq 200$ ， $FIBC$  評分為 2。

### (3) 繞道距離

繞道距離，係指該橋梁損壞時，該橋兩端之交通需繞道之距離。繞道距離愈遠表示橋梁受災後果相對較重，繞道距離以 20km 為界，繞道距離 > 20km，FIDL 評分為 0；繞道距離 ≤ 20km，FIDL 評分為 1。

## 10. 整體優選指標, OPI<sup>[47]</sup>

OPI 綜合考慮具結構滿足性之優選指標(PI)與功能降低性之功能指標(FI)，OPI 指標值越低代表越具維修之需求。整體性優選指標 OPI 之計算式如下：

$$OPI = \frac{w_{PI} \times PI + (100 - w_{PI}) \times FI}{100} \dots\dots\dots (2.15)$$

其中， $w_{PI}$  為 PI 指標佔整體優選指標考量橋梁結構安全之權重。

## 11. 危險性指標, CSI<sup>[48]</sup>

交通部運輸研究所於民國 97 年「縣市政府老舊橋梁改善可行性評估」計畫<sup>[48]</sup>中提出橋梁危險性指標 CSI，係將橋梁結構危險程度轉換成為一個 0~100 的量化指標，並對應至維修急迫程度，分為 4 個等級：立即維修、短時間進行維修、例行性維修及不需維修，目的在於使橋梁維護管理人員能夠從此指標快速了解該橋梁整體安全程度，並做為後續維修作業之參考。

CSI 指標建立之流程圖如圖 2.8 所示，該值係由劣化指標、橋梁構件權重(D.E.R.&U.之橋梁 21 類構件權重，見表 2-42)及用路人參數等資訊，透過一系列計算程序而得，其中包括 2 次的正規化程序，以獲得 0~100 之間的指標值，最後所評估的 CSI 值再依專家意見切割分為立即維修、短時間進行維修、例行性維修與不需維修四個等級(如表 2-45)。

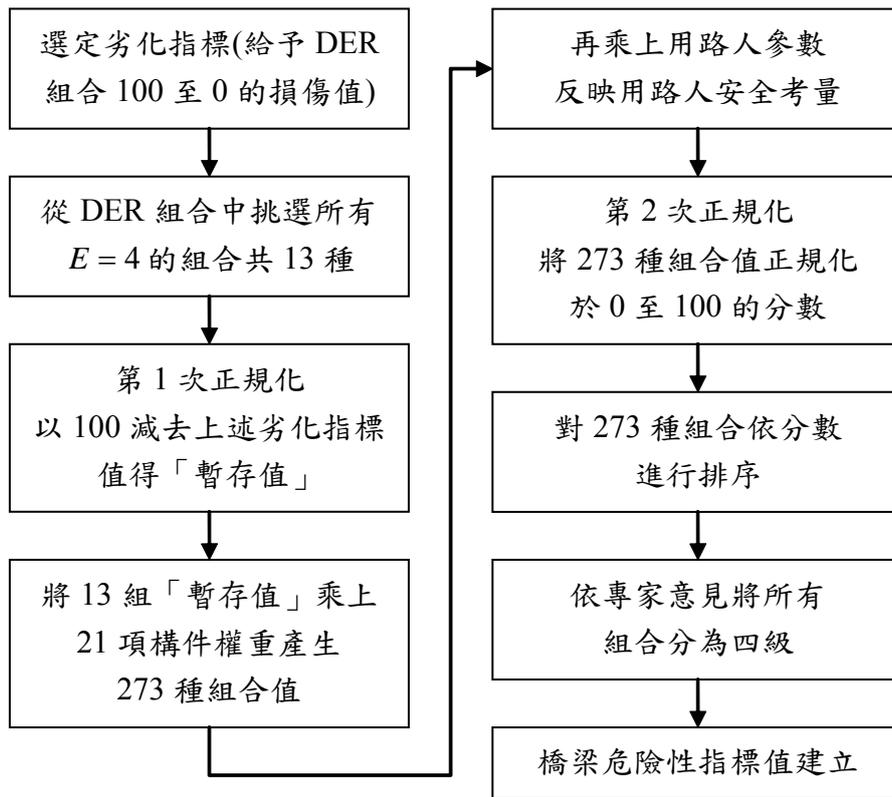


圖 2.8 CSI 指標建立流程圖

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

表 2-45 橋梁危險性指標(CSI)分級基準

橋梁危險性指標等級	CSI 指標數值
立即維修	100~33.3
短時間進行維修	33.3~11.5
例行性維修	11.5~0，但大於 0
不需維修	等於 0

資料來源：參考文獻<sup>[48]</sup>。

## 12. 橋梁綜合重要性指標<sup>[49]</sup>

國內公路總局於民國 93 年「橋梁重要程度等級之建立」<sup>[49]</sup>研究報告，參考國內外眾多橋梁重要等級之優選排序模式，並以分析層級程序法(Analytical Hierarchy Process, AHP)方法發展出適用於

公路總局的排序模式，係對橋梁重要性(以 0~100 分表示橋梁的重要程度)、地震易損性、沖刷易損性及土石流易損性評定後，採用乘積法來計算考慮橋梁重要性及易損性，以建立出橋梁綜合重要性指標，其評定架構如圖 2.9 所示。

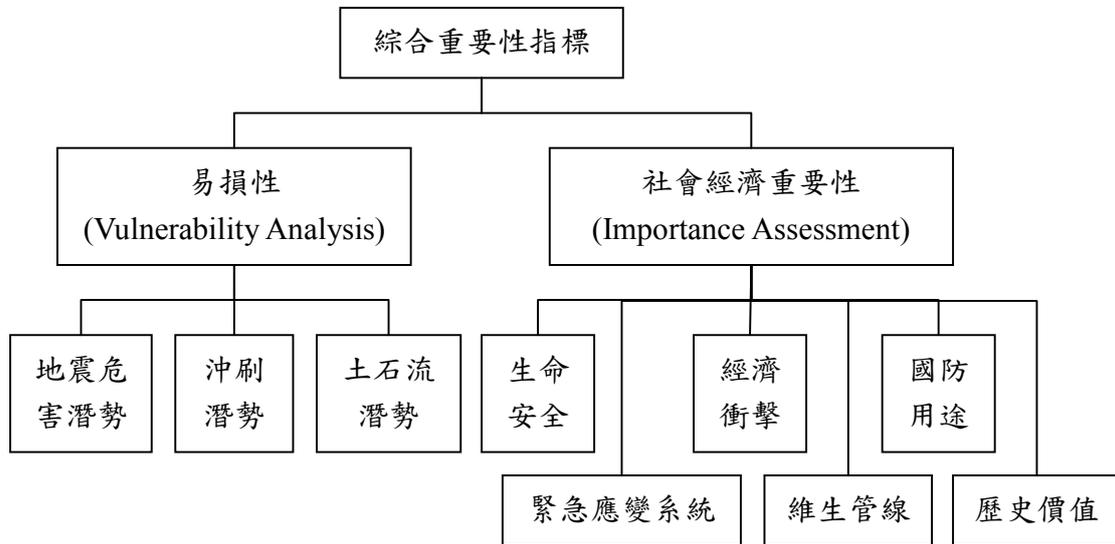


圖 2.9 橋梁重要性等級評定架構

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

關橋梁重要程度等級對社會經濟重要性的部分，依考量國防用途與否區分，分別透過表 2-46 與表 2-47 進行評估；此外，對於橋梁易損性的部分，則是透過表 2-48、表 2-49 與表 2-50 進行評估。

表 2-46 橋梁重要程度等級評定表(不含國防用途)

重要因素	關鍵因素	分數等級	權重	得分
生命安全 (0.34)	橋上交通量(U <sub>TC</sub> ) (0.65)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT_{Carry} - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$	0.22	
	橋下交通量(U <sub>TU</sub> ) (0.13)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT_{Under} - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$ 跨越鐵路(1.0)；其它為(0.0)	0.04	
	橋長(U <sub>L</sub> ) (0.22)	$0 \leq \frac{L}{200} \leq 1$	0.08	
經濟衝擊 (0.38)	橋上交通量(U <sub>TC</sub> ) (0.06)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$	0.02	
	道路等級(U <sub>RT</sub> ) (0.32)	國道 (1.0) 省道 (0.75) 縣道 (0.5) 鄉鎮道路 (0.25) 產業道路 (0)	0.12	
	改道長度(U <sub>DL</sub> ) (0.35)	15 公里以上 (1.0) 5 公里以上 15 公里以下 (0.5) 5 公里以下 (0.2)	0.13	
	橋長(U <sub>L</sub> ) (0.27)	$0 \leq \frac{L}{200} \leq 1$	0.11	
維生管線 (0.04)	維生管線(U <sub>UT</sub> ) (1.0)	無 (0) 橋梁上附掛一種維生管線 (0.5) 橋梁上附掛二種維生管線 (1.0)	0.04	
緊急應變系統 (0.16)	緊急應變系統(U <sub>ER</sub> ) (1.0)	無(0) 位於救災系統或緊急醫療系統中 (1.0)	0.16	
歷史價值 (0.08)	工程技術唯一性(U <sub>I</sub> ) (0.5)	橋梁工程技術具唯一性 (1.0) 橋梁工程技術不具唯一性 (0)	0.04	
	古蹟(U <sub>H</sub> ) (0.5)	此橋梁為古蹟 (1.0) 此橋梁為非古蹟 (0)	0.04	
總分				

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

表 2-47 橋梁重要程度等級評定表(含國防用途)

重要因素	關鍵因素	分數等級	權重	得分
生命安全 (0.31)	橋上交通量(U <sub>TC</sub> ) (0.65)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT_{Carry} - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$	0.20	
	橋下交通量(U <sub>TU</sub> ) (0.13)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT_{Under} - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$ 跨越鐵路(1.0)；其它為(0.0)	0.04	
	橋長(U <sub>L</sub> ) (0.22)	$0 \leq \frac{L}{200} \leq 1$	0.07	
經濟衝擊 (0.34)	橋上交通量(U <sub>TC</sub> ) (0.06)	$0 \leq 1 - \frac{(ADT - 28000)^2}{784 \times 10^6} \leq 1$	0.02	
	道路等級(U <sub>RT</sub> ) (0.32)	國道 (1.0) 省道 (0.75) 縣道 (0.5) 鄉鎮道路 (0.25) 產業道路 (0)	0.11	
	改道長度(U <sub>DL</sub> ) (0.35)	15 公里以上 (1.0) 5 公里以上 15 公里以下 (0.5) 5 公里以下 (0.2)	0.12	
	橋長(U <sub>L</sub> ) (0.27)	$0 \leq \frac{L}{200} \leq 1$	0.09	
維生管線 (0.04)	維生管線(U <sub>UT</sub> ) (1.0)	無 (0) 橋梁上附掛一種維生管線 (0.5) 橋梁上附掛二種維生管線 (1.0)	0.04	
緊急應變系統 (0.15)	緊急應變系統(U <sub>ER</sub> ) (1.0)	無(0) 位於救災系統或緊急醫療系統中 (1.0)	0.15	
歷史價值 (0.06)	工程技術唯一性(U <sub>U</sub> ) (0.5)	橋梁工程技術具唯一性 (1.0) 橋梁工程技術不具唯一性 (0)	0.03	
	古蹟(U <sub>H</sub> ) (0.5)	此橋梁為古蹟 (1.0) 此橋梁為非古蹟 (0)	0.03	
國防用途 (0.10)	戰略位置(U <sub>S1</sub> ) (0.40)	橋梁位於戰略位置 (1.0) 橋梁不位於戰略位置 (0)	0.04	
	後勤運輸補給路線(U <sub>S2</sub> ) (0.60)	橋梁位於後勤運輸補給路線上 (1.0) 橋梁非後勤運輸補給路線 (0)	0.06	
總分				

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

表 2-48 橋梁地震易損性評估內容

關鍵因素	分數等級	權重	得分
設計年份	民國49年以前 (1.0) 民國76年以前49年以後(0.5) 民國84年以前76年以後 (0.2) 民國84年以後 (0.0)	0.13	
最高橋墩高度 h (m)	$\frac{H}{15} \leq 1.0$	0.1	
地盤種類	第三類地盤 (1.0) 第二類地盤 (0.5) 第一類地盤 (0)	0.15	
橋墩型式	單柱式橋墩 (1) 多柱式橋墩 (0.5) 牆式橋墩 (0.25) 單跨橋 (0)	0.18	
橋台連接型式	非整體式 (1) 整體式 (0)	0.03	
橋跨連續性	簡支 (1) 連續 (0)	0.17	
地表加速度 a	$0 \leq \frac{a}{0.33g} \leq 1$	0.2	
歪斜角 $\theta^\circ$	$0 \leq \frac{\theta}{45} \leq 1$	0.04	

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

表 2-49 橋梁沖刷易損性評估表

關鍵因素	分數等級	權重	得分
主河道變遷	● 嚴重變遷(1.0) ● 輕微變遷(0.5) ● 無(0)	0.06	
基礎型式	● 具淺基礎(1.0) ● 具深基礎或經詳細分析可採用深基礎(0.5)	0.12	
橋墩型式	● 單柱橋墩(1.0) ● 雙柱橋墩(0.8) ● 多柱橋墩或經分析可採用其他型式者(0.5)	0.21	
基礎裸露程度	● 嚴重(1.0) ● 中等(0.5) ● 無(0)	0.15	
本河川附近橋梁有無沖刷問題	● 嚴重 (1.0) ● 中等 (0.5) ● 無(0)	0.15	
橋墩方向與河川流向角度 $\theta^\circ$	● $0 \leq \frac{\theta - 5^\circ}{25^\circ} \leq 1$	0.1	
基礎保護措施	● 嚴重劣損(1.0) ● 不良(0.7) ● 尚可(0.4) ● 良好(0)	0.21	

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

表 2-50 橋梁土石流易損性評估表

關鍵因素	分數等級	權重	得分
土石流發生歷史	曾經發生(1.0) 未曾發生(0)	0.1	
橋址附近土石崩塌地 或堰塞湖	崩塌及堰塞湖同時發生(1.0) 崩塌嚴重(0.8) 崩塌不嚴重(0.5) 未曾發生(0)	0.18	
是否有橋墩	有橋墩 (1.0) 無橋墩 (0)	0.18	
橋梁跨距 S(m)	$0 < \frac{35-S}{30} < 1$	0.18	
橋梁淨空 H(m)	$0 \leq \frac{10-H}{8} \leq 1$	0.18	
橋梁斜曲角度( $\alpha^\circ$ )	$0 \leq \frac{\alpha}{25} \leq 1$	0.06	
橋梁附近河道縱向坡 度 $\theta^\circ$	$0 \leq \frac{8-\theta}{8} \leq 1$	0.06	
淺基礎覆土深度 $L'(m)$	$0 \leq \frac{3-L'}{3} \leq 1$	0.06	
深基礎裸露深度 L(m)	$0 \leq \frac{L}{5} \leq 1$		

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

該研究採用重要等級評分統計分佈特性作為建立橋梁重要等級之分類之依據，並以公路總局橋梁的重要等級評分統計分佈作為重要等級分類之參考；該研究建議將重要等級分為「極重要」、「重要」、「次重要」及「一般」等四個等級，並設定對應累積百分比分別為 97%、86%、50%的條件下，各等級與對應分數門檻如表 2-51 所示。

表 2-51 橋梁重要等級及重要程度評分

等級	極重要	重要	次重要	一般
重要程度評分	0.70 以上	0.55~0.70	0.40~0.55	0.40 以下

資料來源：參考文獻<sup>[49]</sup>。

### 13. 橋梁綜合評估與優選排序指標, SR<sup>[50]</sup>

內政部營建署在民國 94 年的「都市計畫區內橋梁檢測、監測、維修及管理計畫」<sup>[50]</sup>建立「市區道路橋梁綜合評估與優選排序指標」作為橋梁綜合評估與優選排序指標，係利用市區道路與鄉道同屬區域性道路之特性，藉由類似評估條件之評估方法，用來評估全國各縣市所轄橋梁之狀況。圖 2.10 為橋梁優選排序作業的整體架構圖，主要包括結構性指標(S<sub>1</sub>)、服務性指標(S<sub>2</sub>)、易損性指標(S<sub>3</sub>)及特殊性指標(S<sub>4</sub>)等 4 大項，其下又包含其它多項評估項目。表 2-52 為諸項評估指標因子的項目及在各評估方法之考量說明。該方法透過表格填寫的方式進行 4 大項指標評分，最後總成可得橋梁綜合評估與優選排序指標。表 2-53 為使用該研究建議之綜合評估與優選排序指標時，檢測人員現場填寫的勘查表格，而表 2-54 與表 2-55 為橋梁綜合評估與優選排序指標中對各種易損性的評估表。

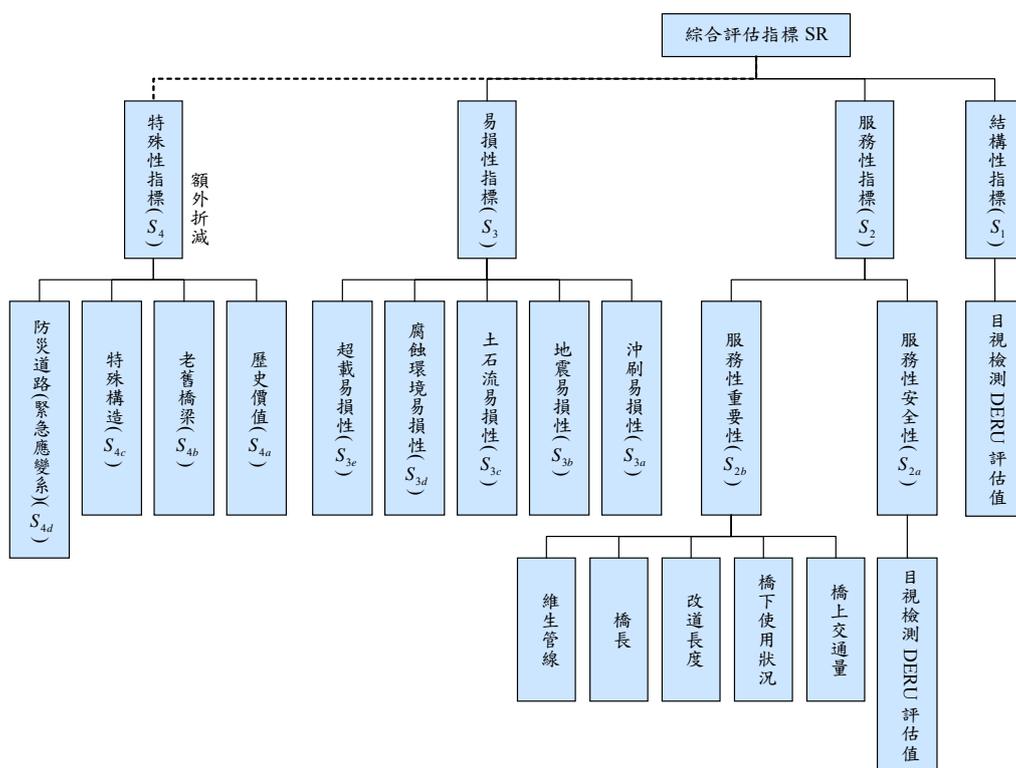


圖 2.10 橋梁綜合評估與優選排序指標評估架構圖

資料來源：參考文獻<sup>[50]</sup>。

表 2-52 評估因子採用原則

橋梁綜合評估與優選 排序指標因子		說明
結構性指標(S <sub>1</sub> )		此部分為橋梁主要結構之狀況指標，主要構件之損害會立即影響橋梁結構安全，維修排序相關文獻皆所提及與考量，以橋梁管理系統之目視檢測資料作為全國各橋梁結構狀況一致性之評估資料，國內維修排序之各評估方法皆有考量。
服務性指標 (S <sub>2</sub> )	服務安全性	此部分為橋梁次要構件之狀況指標，次要構件多為橋梁上部構造之構件，其損傷對橋梁主體結構影響有限，但對用路人之行車舒適度與用路安全卻有直接影響，故從結構性指標中區隔出來獨立評估。以臺灣地區橋梁管理資訊系統之目視檢測資料為其評估值，國內維修排序各評估方法皆有引用。
	橋上交通量	橋上交通量直接突顯橋梁服務用路人之重要性，交通量越大，表示橋梁使用量越大，橋梁一但發生損毀，將危害更多用路人與經濟上之衝擊，各評估方法皆有考量。
	橋下使用狀況	當橋梁有跨越其他道路時，若發生事故對橋下道路之影響也會隨之發生，對生命安全也會造成衝擊。
	改道長度	橋梁損壞禁止通行後，使用者改道繞行之長度，使用路人成本增加，旅行時間增長，使用者將花費更多時間成本。
	橋長	橋長越長，通過橋上之車輛人員相對較多，可能影響之車輛人員安全之可能性亦愈高，當災害發生橋梁受損時，相對相關之維修費用亦會較高。
	維生管線	附掛橋梁上之民生管線一旦橋梁受損導致管線損壞，將衝擊到特定區域之民生、農業及工業等用水或電，甚至於影響整個電信系統的運作。
易損性指標 (S <sub>3</sub> )	沖刷易損性	臺灣河川多湍急，跨河川橋梁對於沖刷潛勢之抗阻能力需有所考量。
	地震易損性	臺灣位屬東亞地震頻仍之地帶，耐震設計規範多次修正，對於對於地震潛勢之抗阻能力需有所考量。
	土石流易損性	臺灣靠山地區近年來時有土石流爆發，橋梁下構對於土石流沖刷撞擊之抗阻能力需有所考量。
	腐蝕環境 易損性	臺灣橋梁受鹽害腐蝕影響甚大，抗腐蝕能力需有所評估。

	超載易損性	重車超載情形對於橋梁傷害甚大，承載能力需有所評估。
特殊性指標 (S <sub>4</sub> )	歷史價值	橋梁之歷史特性，如工程紀念價值或與某重大事件相關等。
	特殊構造	使用特殊工法興建之橋梁，或為某特殊工法第一次使用之橋梁，具有一定工程上之價值。
	老舊橋梁	老舊橋梁較易因其功能不符合需求，或設計條件歷經規範修改已不符現行設計規範之要求，或因材料已歷經多年，較易有材料疲勞及剝落損毀之疑義。
	防災道路(緊急應變系統)	用以量度災害發生並造成橋梁破壞之後，對仰賴運輸系統完整有效之緊急應變之衝擊。

資料來源：參考文獻<sup>[50]</sup>。

### 2.2.2.3 橋梁性能初步評估

國內初步評估表多為交通部相關機構委託學術研究單位開發，針對橋梁安全進行初步評估，目的是為了於短時間內篩選出破壞潛勢較高的橋梁作進一步的詳細評估以確認其安全性。

目前臺灣地區之橋梁安全初步評估表分為三類，分別為承載能力、耐洪能力與耐震能力。以中國土木工程學會著作<sup>[51]</sup>為例，承載能力評估表如表 2-56；耐洪能力評估表以及未來沖刷潛能評估表分別如表 2-57 與表 2-58；而耐震能力初步評估包括：(1)表 2-59 之落橋評估表、(2)分別適用於混凝土橋柱與鋼橋柱的強度韌性評估表(表 2-60、表 2-61)。交通部公路總局<sup>[52]</sup>『公路橋梁耐震評估及補強準則之研究』亦提供耐震能力初步評估表，包括落橋評估表(表 2-62)與強度韌性評估表(表 2-63)。公路總局<sup>[52]</sup>之耐震能力初評表於評估項目上與土水會著作<sup>[51]</sup>有部分差異，另外亦將混凝土橋柱及鋼橋柱整合於同一表中，並新增壁式橋墩。另外，交通部運研所「跨河橋梁安全預警系統之建立研究及整合作業」計畫<sup>[53]</sup>，區分上、下游建立公路橋梁沖刷潛勢簡易評估表以及詳細評估表；「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究」<sup>[54]</sup>也彙整既有報告之沖刷潛勢評估表與耐洪能力初步評估表，在此不詳述。

表 2-53 老舊橋梁維修優選排序綜合評估表

橋梁名稱：	_____ 橋梁，所在鄉鎮縣市：_____ 縣 _____ 鄉，附近參考地標：_____		
優選評估：	指標項目	相關評估項目	得分
	結構性指標 (權重：50%)	主要構件 DER 換算 $PI = \text{_____}$ ；得分 = $0.5 \times (150 - PI)$ (參考「臺灣地區橋梁管理資訊系統」)	_____
服務性指標 (權重：21%)	服務構件功能降低評估 (權重：10%)	主要構件 DER 換算 $PI = \text{_____}$ ； 得分 = $0.1 \times (150 - PI)$	_____
	橋上每日平均交通量 (權重：3%)	ADT = _____ pcu	_____
	橋下使用狀況 (權重：2%)	跨越物 <input type="checkbox"/> 無【0】(含河川、渠道) <input type="checkbox"/> 有【1】迴轉道、道路等級縣道以下 <input type="checkbox"/> 有【2】 <input type="checkbox"/> 道路 <input type="checkbox"/> 市集 <input type="checkbox"/> 鐵路 <input type="checkbox"/> 其他 _____	_____
	改道長度 (權重：2%)	改道長度 = _____ Km， <input type="checkbox"/> $\leq 5$ Km【0】； <input type="checkbox"/> 15Km~5Km【1】； <input type="checkbox"/> $\geq 15$ Km【2】	_____
	維生管線 (權重：2%)	<input type="checkbox"/> 無【0】， <input type="checkbox"/> 1種【1】； <input type="checkbox"/> 2種以上【2】 附掛種類： <input type="checkbox"/> 電信； <input type="checkbox"/> 電力； <input type="checkbox"/> 水管； <input type="checkbox"/> 天然氣； <input type="checkbox"/> 其他 _____	_____
	橋長(權重：2%)	橋梁長度 = _____ m	_____
	易損性指標 (權重：29%)	超載易損性	- 易損性評估表(表 2-54)
地震易損性		- 易損性評估表(表 2-54)	_____
腐蝕易損性		- 易損性評估表(表 2-54)	_____
沖刷易損性		- 易損性評估表(表 2-55)	_____
土石流易損性		- 易損性評估表(表 2-55)	_____
特殊性指標 (權重：8%)	防災道路(緊急應變) (權重：4%)	<input type="checkbox"/> 否【0】 <input type="checkbox"/> 是【4】；類型：_____ 核定單位：_____	_____
	特殊構造 (權重：1%)	<input type="checkbox"/> 否【0】 <input type="checkbox"/> 是【1】； <input type="checkbox"/> 拱橋； <input type="checkbox"/> 鋼橋； <input type="checkbox"/> 斜張； <input type="checkbox"/> 其他：_____	_____
	老舊橋梁 (權重：1%)	<input type="checkbox"/> 否：橋齡 30 年以下【0】 <input type="checkbox"/> 是：橋齡 30 年以上【1】；橋齡 _____ 年	_____
	歷史價值 (權重：2%)	<input type="checkbox"/> 否【0】 <input type="checkbox"/> 是【2】；核定單位：_____ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 級 古蹟； <input type="checkbox"/> 其他：_____	_____
填表人	_____		累計總分 _____

資料來源：參考文獻<sup>[50]</sup>。

表 2-54 易損性評估表(超載、地震、腐蝕)

易損性項目	評估項目	評估內容(A)	權重 (B)	評分 (C)	得分 $\Sigma A \times B \times C$
超載易損性 (載重能力評估) (權重：6%)	設計載重	<input type="checkbox"/> HS15 以下【1.0】； <input type="checkbox"/> HS15~HS20(不含 HS20)【0.7】； <input type="checkbox"/> HS20~HS20+25%【0.4】； <input type="checkbox"/> HS20+25%以上【0.0】	0.12	6	—
	重車流量(pcu)	<input type="checkbox"/> 2000 以上【1.0】； <input type="checkbox"/> 1000~2000【0.5】； <input type="checkbox"/> 0~1000【0.0】	0.08		
	結構型式	<input type="checkbox"/> 簡支【1.0】 <input type="checkbox"/> 非簡支或經詳細分析可採用簡支者【0.5】	0.08		
	磨耗層表面平整度	<input type="checkbox"/> 嚴重不平整【1.0】； <input type="checkbox"/> 略不平整【0.5】； <input type="checkbox"/> 平整【0.0】	0.04		
	混凝土橋面版	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損【1.0】； <input type="checkbox"/> 裂損【0.7】； <input type="checkbox"/> 微裂損【0.4】； <input type="checkbox"/> 無裂損【0.0】	0.06		
	伸縮縫現況及功能	<input type="checkbox"/> 劣【1.0】； <input type="checkbox"/> 尚可【0.5】； <input type="checkbox"/> 良好【0.0】	0.08		
	主梁	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損【1.0】； <input type="checkbox"/> 裂損【0.7】； <input type="checkbox"/> 微裂損【0.4】； <input type="checkbox"/> 無裂損【0.0】	0.16		
	隔梁數	$1 - \left( \frac{18 - \frac{L}{N+1}}{12} \leq 1.0 \right)$ L(跨徑) = _____ N(不含端隔梁之中隔梁數目) = _____	0.04		
	隔梁功能	<input type="checkbox"/> 劣【1.0】； <input type="checkbox"/> 尚可【0.5】； <input type="checkbox"/> 良好【0.0】	0.06		
	支承現況	<input type="checkbox"/> 劣【1.0】； <input type="checkbox"/> 尚可【0.5】； <input type="checkbox"/> 良好【0.0】	0.12		
	帽梁橋墩橋台基礎	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損【1.0】； <input type="checkbox"/> 裂損【0.7】； <input type="checkbox"/> 微裂損【0.4】 <input type="checkbox"/> 無裂損【0.0】	0.12		
限重及限速	<input type="checkbox"/> 兩者皆無【0.0】； <input type="checkbox"/> 有其中一種【0.5】； <input type="checkbox"/> 兩者皆有【1.0】	0.04			
地震易損性 (權重：8%)	設計年份	<input type="checkbox"/> 民國 49 年以前【1.0】 <input type="checkbox"/> 民國 76 年以前 49 年以後【0.7】 <input type="checkbox"/> 民國 84 年以前 76 年以後【0.5】 <input type="checkbox"/> 民國 89 年以前 84 年以後【0.2】 <input type="checkbox"/> 民國 89 年以後【0.0】	0.13	8	—
	最高橋墩高度 H(m)	$\left( \frac{H}{15} \leq 1.0 \right)$ ; H=___ m	0.1		
	地盤種類	<input type="checkbox"/> 臺北盆地(堅硬地盤)【1.0】 <input type="checkbox"/> 第三類地盤(軟弱地盤)【0.7】 <input type="checkbox"/> 第二類地盤(普通地盤)【0.4】 <input type="checkbox"/> 第一類地盤(堅硬地盤)【0.0】	0.15		
	橋墩型式	<input type="checkbox"/> 單柱式橋墩【1.0】 <input type="checkbox"/> 多柱式橋墩【0.5】 <input type="checkbox"/> 牆式橋墩【0.25】 <input type="checkbox"/> 單跨橋【0.0】	0.18		
	橋台連接型式	<input type="checkbox"/> 非整體式【1.0】 <input type="checkbox"/> 整體式【0.0】	0.03		
	橋跨連續性	<input type="checkbox"/> 簡支【1.0】 <input type="checkbox"/> 連續【0.0】	0.17		
	地表加速度 a	$0 \leq a/0.33g < 1$ ; a = _____	0.2		
	歪斜角 $\theta$	$0 \leq \theta/45 < 1$ ; $\theta =$ _____ °	0.04		
腐蝕易損性 (權重：5%)	距海遠近	<input type="checkbox"/> 離海岸 200 公尺內【1.0】 <input type="checkbox"/> 離海岸 200-1000 公尺【0.7】 <input type="checkbox"/> 離海岸 1-10 公里【0.4】 <input type="checkbox"/> 離海岸 10 公里以上【0.1】	5	—	

資料來源：參考文獻<sup>[50]</sup>。

表 2-55 易損性評估表(沖刷、土石流)

易損性項目	評估項目	評估內容(A)	權重(B)	評分(C)	得分 Σ A×B×C
沖刷易損性 (權重：6%)	<input type="checkbox"/> 跨河橋梁為單跨(無落墩)或路橋，無橋墩沖刷之疑慮者 (勾選此項目者，無須再評估下列沖刷易損性項目，直接跳至土石流易損性評估)		0		—
	主河道變遷	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷【1.0】； <input type="checkbox"/> 輕微變遷【0.5】； <input type="checkbox"/> 無【0.0】	0.06	6	
	基礎型式	<input type="checkbox"/> 具淺基礎【1.0】 <input type="checkbox"/> 具深基礎或經詳細分析可採用深基礎【0.5】	0.12		
	橋墩型式	<input type="checkbox"/> 單柱橋墩【1.0】 <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩【0.8】 <input type="checkbox"/> 多柱橋墩或經分析可採用其他型式者【0.5】	0.21		
	基礎裸露程度	<input type="checkbox"/> 嚴重【1.0】 <input type="checkbox"/> 中等【0.5】 <input type="checkbox"/> 無【0.0】	0.15		
	本河川附近橋梁有無沖刷問題	<input type="checkbox"/> 嚴重【1.0】 <input type="checkbox"/> 中等【0.5】 <input type="checkbox"/> 無【0.0】	0.15		
	橋墩方向與河川流向角度θ°	$\left(0 \leq \frac{\theta - 5^\circ}{25^\circ} \leq 1\right)$ ; θ = ___°	0.1		
	基礎保護措施	<input type="checkbox"/> 嚴重劣損嚴重【1.0】 <input type="checkbox"/> 不良【0.7】 <input type="checkbox"/> 尚可【0.4】 <input type="checkbox"/> 良好【0.0】	0.21		
土石流易損性 (權重：4%)	<input type="checkbox"/> 所屬區域無土石流發生之疑慮 (勾選此項目者，無須再評估下列土石流易損性項目)		0		—
	土石流發生歷史	<input type="checkbox"/> 曾經發生【1.0】 <input type="checkbox"/> 未曾發生【0.0】	0.1	4	
	橋址附近土石崩塌或堰塞湖	<input type="checkbox"/> 崩塌及堰塞湖同時發生【1.0】 <input type="checkbox"/> 崩塌嚴重【0.8】 <input type="checkbox"/> 崩塌不嚴重【0.5】 <input type="checkbox"/> 未曾發生【0.0】	0.18		
	是否有橋墩	<input type="checkbox"/> 有橋墩【1.0】 <input type="checkbox"/> 無橋墩【0.0】	0.18		
	橋梁跨距 S(m)	$\left(0 \leq \frac{35-S}{30} \leq 1\right)$ ; S = ___ m	0.18		
	橋梁淨空 H(m)	$\left(0 \leq \frac{10-H}{8} \leq 1\right)$ ; H = ___ m	0.18		
	橋梁斜曲角度(α°)	$\left(0 \leq \frac{\alpha}{25} \leq 1\right)$ ; α = ___°	0.06		
	橋梁附近河道縱向坡度θ°	$\left(0 \leq \frac{8^\circ - \theta}{8^\circ} \leq 1\right)$ ; θ = ___°	0.06		
	淺基礎覆土深度 L'(m)	$\left(0 \leq \frac{3-L'}{3} \leq 1\right)$ ; L' = ___ m	0.06		
	深基礎裸露深度 L(m)	$\left(0 \leq \frac{L}{5} \leq 1\right)$ ; L = ___ m			

資料來源：參考文獻<sup>[50]</sup>。

表 2-56 公路橋梁承載能力初步評估表

橋梁名稱：		橋梁編號：		振動單位：			
項次	項目	配分	評估內容			權數	危險度評分
4001	設計載重	6	<input type="checkbox"/> HS-20以下(1.0)	<input type="checkbox"/> HS-20+0-25%(0.5)	<input type="checkbox"/> (0)		
4002	重車每日流量	10	<input type="checkbox"/> (1.0)	<input type="checkbox"/> 1000 - 2000輛(0.5)	<input type="checkbox"/> 0 - 1000輛(0)		
4003	結構型式	6	<input type="checkbox"/> 簡支(1.0)	<input type="checkbox"/> 非簡支(0.5)			
4004	橋面磨耗層表面平整	4	<input type="checkbox"/> (1.0)	<input type="checkbox"/> 略不平整(0.5)	<input type="checkbox"/> 平整(0)		
4005	橋面磨耗層厚度	10	$\frac{h_e - h_o}{0.5(h_e + h_o)} \leq 1.0$ ; $h_e - h_o \geq 0$ ; 其中 $h_o$ : 磨耗層設計厚度; $h_e$ : 磨耗層實際厚度; $h_p$ : 橋面板設計厚度				
4006	混凝土橋面板	12	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損(1.0)	<input type="checkbox"/> 裂損(0.5)	<input type="checkbox"/> 微裂損(0.25)	<input type="checkbox"/> (0)	
4007	伸縮縫構造現況及功	6	<input type="checkbox"/> 劣(1.0)	<input type="checkbox"/> 尚可(0.5)	<input type="checkbox"/> 良好(0)		
4008	主梁	12	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損(1.0)	<input type="checkbox"/> 裂損(0.5)	<input type="checkbox"/> 微裂損(0.25)	<input type="checkbox"/> (0)	
4009	橫膈梁數	4	$\frac{L}{N+1} - 6 \leq 1.0$ ; 其中 $L$ : 跨度; $N$ : 不含端膈梁之中隔梁數目				
4010	橫膈梁功能	4	<input type="checkbox"/> 劣(1.0)	<input type="checkbox"/> 尚可(0.5)	<input type="checkbox"/> 良好(0)		
4011	主梁支承現況	6	<input type="checkbox"/> 劣(1.0)	<input type="checkbox"/> 尚可(0.5)	<input type="checkbox"/> 良好(0)		
4012	帽梁橋墩橋台基礎	6	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損(1.0)	<input type="checkbox"/> 裂損(0.5)	<input type="checkbox"/> 微裂損(0.25)	<input type="checkbox"/> (0)	
4013	限重及限速	4	<input type="checkbox"/> 兩者皆無(0.0)	<input type="checkbox"/> 有其中一種(0.5)	<input type="checkbox"/> 兩者皆有(1.0)		
4014	其他影響載重安全之異常現象	10	附掛管線、改建、加建及河川冲刷等				
分數總計		100					
評估者			評估日期				

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-57 公路橋梁耐洪能力初步評估表

橋梁名稱：		橋梁編號：		震動單位：			
項次	項目	配分	評估內容			權數	危險度評分
5001	主河道變遷	4	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0)	<input type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
5002	河川整治辦理情形	4	<input type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0)	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內完成, 其他尚未辦理(0.5)	<input type="checkbox"/> 已完成(0.0)		
5003	河川冲刷潛能	5	<input type="checkbox"/> 高(1.0)	<input type="checkbox"/> 中(0.5)	<input type="checkbox"/> 低(0.25)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)	
5004	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
5005	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
5006	上游橋梁	3	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
5007	橋台及橋墩之基礎型式	5	<input type="checkbox"/> 具淺基礎(1.0)	<input type="checkbox"/> 具深基礎(0.0)			
5008	橋墩型式	4	<input type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0)	<input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5)	<input type="checkbox"/> 多柱或壁式橋墩(0)		
5009	支承現況	4	<input type="checkbox"/> 劣(1.0)	<input type="checkbox"/> 尚可(0.5)	<input type="checkbox"/> 良好(0.0)		
5010	基礎裸露深度與容許冲刷深度比值 $R_H$	15	$R_H = \frac{H_S}{H_{SA}}$ ; $H_S$ : 裸露深度、 $H_{SA}$ : 容許深度或 $H_{SA} = \frac{1}{5} H_P$ ; $H_P$ : 基槽(沉箱)長度				
5011	本河川附近其他橋梁有無冲刷問題	5	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 中等(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
5012	梁底高程	10	$1.0 \geq 1 - \frac{(\text{梁底高程} - \text{計劃洪水位})}{2.0 \text{公尺}} \geq 0$ 或 $1.0 \geq 1 - \frac{(\text{梁底高程} - \text{堤頂高程})}{1.5 \text{公尺}} \geq 0$				
5013	阻水面積 $R_A$ (%)	8	$(R_A - 5) / 5 \leq 1.0$				
5014	橋墩方向與河川流向夾角( $\varphi^\circ$ )	4	$1.0 \geq \frac{\varphi^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq 0$				
5015	橋墩形狀	4	<input type="checkbox"/> 平頭墩(1.0)	<input type="checkbox"/> 圓頭墩(0.5)	<input type="checkbox"/> 尖頭墩(0.0)		
5016	基礎保護設施	5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0)	<input type="checkbox"/> 中等(0.5)	<input type="checkbox"/> 良好或無須保護(0.0)		
5017	其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡之山區、下部結構被撞擊損害等				
分數總計		100					
評估者			評估日期				

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-58 公路橋梁沖刷潛能初步評估表

橋梁名稱：		橋梁編號：		震動單位：				
項次	項目	配分	評估內容				權數	危險度 評分
1	近年內主河道變遷的情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5-0.9)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
2	河川整治辦理情形	4	<input type="checkbox"/> 尚未辦理或已辦理但僅施設簡易式拋卵石護岸工(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他尚未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0.0)					
3	近年內主河道河床下降的情形	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5-0.9)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
4	鄰近有無採砂	10	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)			
5	上游攔河堰	3	<input type="checkbox"/> 2000公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 2000公尺以上(0.5)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)			
6	上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	<input type="checkbox"/> 400公尺以內(1.0)	<input type="checkbox"/> 400~1000公尺之間(0.5)	<input type="checkbox"/> 1000公尺以上(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
7	基礎型式	3	<input type="checkbox"/> 具淺基礎或擴展式基礎(1.0) <input type="checkbox"/> 具沉箱基礎但貫入深度≤10m(0.5) <input type="checkbox"/> 具深基礎(0.0)					
8	基礎裸露程度	10	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5-0.9)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
9	本河川附近其他橋梁有無沖刷問題	3	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
10	梁底高程	4	$1.0 \geq 1 - \frac{(\text{梁底高程} - \text{計劃洪水位})}{2.0 \text{公尺}} \geq 0$ 或 $1.0 \geq 1 - \frac{(\text{梁底高程} - \text{堤頂高程})}{1.5 \text{公尺}} \geq 0$					
11	阻水比效應	8	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5-0.9)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
12	橋墩(基)方向與河川流向之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = \frac{\theta - 5^\circ}{25^\circ} \geq (0)$ ; 惟 $\theta < 50, \zeta = 0$ ; $\theta > 300, \zeta = 1.0$					
13	河床軟岩之風化沖蝕	5	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5)	<input type="checkbox"/> 輕微(0)			
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)沖刷的潛在沖刷因素	15	<input type="checkbox"/> 極嚴重(1.0)	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.5-0.9)	<input type="checkbox"/> 輕微(0.2)	<input type="checkbox"/> 無(0.0)		
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	7	橋墩及基礎變位傾斜、橋梁靠近河床陡峭之山區、下部結構遭撞擊損害、橋梁通過彎曲河道凹岸、橋基保護工配置形成弱面、不當的導水路開挖而引致水流過度集中於狹窄的流路、橋基礎垂直承載力大幅下降或形成細長樁效應或長樁之接樁位置已漸露出等					
分數總計		100						
評估者							評估日期	

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-59 公路橋梁耐震能力初步評估表—落橋評估

橋梁名稱：		編號：		振動單位：P ~ P				
設計年度： <input type="checkbox"/> 民國49年以前 <input type="checkbox"/> 民國49~76年 <input type="checkbox"/> 民國76~84年 <input type="checkbox"/> 民國84~89年 <input type="checkbox"/> 民國89年以後								
項目	配分	評估內容				權重(W)	評分	
工址	震區係數	15	$W = (Z - Z_0) / Z_0 \leq 1.0$ ; Z: 現行規範之工址水平加速度係數; Z <sub>0</sub> : 設計之工址等值水平加速度係數					
環境	液化潛能	8	<input type="checkbox"/> 橋址位於液化區(1.0); <input type="checkbox"/> 砂質土層(0.5); <input type="checkbox"/> 無(0);					
	基礎裸露深度	8	<input type="checkbox"/> 基樁裸露或 $R \geq 2.0$ , (W=1.0); <input type="checkbox"/> $1.0 \leq R < 2.0$ , (W=R-1); <input type="checkbox"/> $R < 1.0$ , (W=0); R=基礎裸露深度(m)/1.2m 或 R=基礎裸露深度(m)/基礎版厚度(m)					
結構系統	外懸鉸接	5	<input type="checkbox"/> 有(1.0); <input type="checkbox"/> 無(0);					
	橋柱高度	4	$H < 15, W = H / 15$ ; $H \geq 15, W = 1.0$ ; H: 橋柱高度(m)					
	斜交角度	4	$W = \theta^\circ / 45^\circ \leq 1.0$ ; $\theta^\circ$ : 斜交角度					
	縱坡坡度	4	$W = \text{縱坡坡度} / 6 \leq 1.0$					
	基礎型式	4	<input type="checkbox"/> 具直接基礎(1.0); <input type="checkbox"/> 具橋基礎(0.5); <input type="checkbox"/> 沉箱基礎(0);					
結構細部	其它異常現象	8	橋柱垂直度、支承狀況、支承座至支承混凝土面之異常狀況等					
	防落裝置	15	<input type="checkbox"/> 兩向均無裝置(1.0); <input type="checkbox"/> 僅垂直車行向有裝置(0.5); <input type="checkbox"/> 僅車行向有裝置(0.25); <input type="checkbox"/> 兩向皆有裝置(0);					
	防落長度 N <sub>e</sub>	25	$N_e \leq N/2, W = 1.0$ ; $N/2 < N_e \leq N, W = (N - N_e) / (N/2) \leq 1.0, N_e > N, W = 0$ ; N: 規範規定防落長度; N <sub>e</sub> : 實際防落長度					
小計		100						
評估者							評估日期	

註: (1)評分=配分×權重；其中權重可為各項目經計算所得之數值W或括弧中之數值。  
 (2) $N = 50 + 0.25L + 1.0H$ ；其中L為跨徑(m)，H為下部結構高度(m)，N的單位為cm。  
 (3)落橋評估之評定標準為：  
 (4)若基樁裸露則安全有疑慮應立即進行耐震安全詳細檢測及評估。

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-60 公路橋梁耐震能力初步評估表－混凝土橋柱強度韌性評估

橋梁名稱：_____ 編號：_____ 振動單位：P ~ P						
設計年度： <input type="checkbox"/> 民國49年以前 <input type="checkbox"/> 民國49~76年 <input type="checkbox"/> 民國76~84年 <input type="checkbox"/> 民國84~89年 <input type="checkbox"/> 民國89年以後						
	項目	配分	評估內容		權重	評分
工址環境	震區係數	20	$W=(Z-Z_0)/Z_0 \leq 1.0$ ; Z: 現行規範之工址水平加速度係數; $Z_0$ : 設計之工址等值水平加速度係數			
	液化潛能	4	<input type="checkbox"/> 橋址位於液化區(1.0); <input type="checkbox"/> 砂質土層(0.5); <input type="checkbox"/> 無(0);			
結構系統	基礎裸露深度	8	<input type="checkbox"/> 基樁裸露或 $R \geq 2.0$ , (W=1.0); <input type="checkbox"/> $1.0 \leq R < 2.0$ , (W=R-1); <input type="checkbox"/> $R < 1.0$ , (W=0); R=基礎裸露深度(m)/1.2m 或 R=基礎裸露深度(m)/基礎版厚度(m)			
	靜不定度	6	<input type="checkbox"/> 兩向均單柱式(1.0); <input type="checkbox"/> 壁式橋墩或橋台(0.5); <input type="checkbox"/> 一向具多柱式(0.25); <input type="checkbox"/> 兩向均多柱式(0);			
	橋柱高寬比	8	$R < 4$ , $W=(4-R)/2 \leq 1.0$ ; $R > 4$ W=0, R:橋柱高寬比			
	橋柱高度	4	W=橋柱高度H(m)/15 $\leq 1.0$ ; H $\geq 15$ m, W=1.0			
	振動單位中橋柱最高與最低之比值	6	<input type="checkbox"/> 大於1.5(1.0); <input type="checkbox"/> 1.5~1.1(0.5); <input type="checkbox"/> 小於1.1(0);			
	斜交角度	6	$W = \theta^\circ / 45^\circ \leq 1.0$ ; $\theta^\circ$ :斜交角度			
	基礎型式	4	<input type="checkbox"/> 具直接基礎(1.0); <input type="checkbox"/> 具橋基礎(0.5); <input type="checkbox"/> 沉箱基礎(0);			
	橋柱裂損程度	10	<input type="checkbox"/> 嚴重裂損(1.0); <input type="checkbox"/> 裂損(0.5); <input type="checkbox"/> 微裂損(0.25); <input type="checkbox"/> 無裂損(0);			
其它異常現象	8	橋柱不直、跨度差異大、曲線橋、橋墩型式不同				
結構細部	設計年代	16	<input type="checkbox"/> 民國76年以前(1.0); <input type="checkbox"/> 民國76~84年(0.75); <input type="checkbox"/> 民國84~89年(0.5); <input type="checkbox"/> 民國89年以後(0.25);			
小計		100				
評估者			評估日期			
註: (1)評分=配分×權重; 其中權重可為各項目經計算所得之數值W或括弧中之數值。 (2)評定標準為: (3)若基樁裸露則安全有疑慮應立即進行耐震安全詳細檢測及評估。 (4)如發現鋼材有開裂現象應進行緊急評估確認其影響性。						

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-61 公路橋梁耐震能力初步評估表－鋼橋柱強度韌性評估

橋梁名稱：_____ 編號：_____ 振動單位：P ~ P						
設計年度： <input type="checkbox"/> 民國49年以前 <input type="checkbox"/> 民國49~76年 <input type="checkbox"/> 民國76~84年 <input type="checkbox"/> 民國84~89年 <input type="checkbox"/> 民國89年以後						
	項目	配分	評估內容		權重	評分
工址環境	震區係數	20	$W=(Z-Z_0)/Z_0 \leq 1.0$ ; Z: 現行規範之工址水平加速度係數; $Z_0$ : 設計之工址等值水平加速度係數			
	液化潛能	4	<input type="checkbox"/> 橋址位於液化區(1.0); <input type="checkbox"/> 砂質土層(0.5); <input type="checkbox"/> 無(0);			
結構系統	基礎裸露深度	8	<input type="checkbox"/> 基樁裸露或 $R \geq 2.0$ , (W=1.0); <input type="checkbox"/> $1.0 \leq R < 2.0$ , (W=R-1); <input type="checkbox"/> $R < 1.0$ , (W=0); R=基礎裸露深度(m)/1.2m 或 R=基礎裸露深度(m)/基礎版厚度(m)			
	靜不定度	6	<input type="checkbox"/> 兩向均單柱式(1.0); <input type="checkbox"/> 壁式橋墩或橋台(0.5); <input type="checkbox"/> 一向具多柱式(0.25); <input type="checkbox"/> 兩向均多柱式(0);			
	橋柱高寬比	4	$R \leq 4$ , $W=(4-R)/2 \leq 1.0$ ; $R > 4$ W=0, R:橋柱高寬比			
	橋柱高度	10	H < 15, W=H/15; H $\geq 15$ , W=1.0; H: 橋柱高度(m)			
	振動單位中橋柱最高與最低之比值	6	<input type="checkbox"/> 大於1.5(1.0); <input type="checkbox"/> 1.5~1.1(0.5); <input type="checkbox"/> 小於1.1(0);			
	斜交角度	6	$W = \theta^\circ / 45^\circ \leq 1.0$ ; $\theta^\circ$ :斜交角度			
	基礎型式	4	<input type="checkbox"/> 具直接基礎(1.0); <input type="checkbox"/> 具橋基礎(0.5); <input type="checkbox"/> 沉箱基礎(0);			
	其它異常現象	20	橋柱傾斜、變形、腐蝕、銲接品質不良、跨度差異大、曲線橋、橋墩型式不同等			
結構細部	設計年代	12	<input type="checkbox"/> 民國89年以前; <input type="checkbox"/> 民國89年以後(0);			
小計		100				
評估者			評估日期			
註: (1)評分=配分×權重; 其中權重可為各項目經計算所得之數值W或括弧中之數值。 (2)評定標準為: (3)若基樁裸露則安全有疑慮應立即進行耐震安全詳細檢測及評估。 (4)如發現鋼材有開裂現象應進行緊急評估確認其影響性。						

資料來源：參考文獻<sup>[51]</sup>。

表 2-62 公路橋梁耐震評估檢查表—落橋評估(一般橋梁)

橋梁名稱：		橋梁編號：	里程數：	振動單位：P ~P	評估者：	評估日期：	
設計規範版本：		<input type="checkbox"/> 民國 49 年版以前	<input type="checkbox"/> 民國 49 年及 76 年版	<input type="checkbox"/> 民國 84 及 89 年版	<input type="checkbox"/> 民國 97 年版		
項次	項目	配分	評估內容			權重	評分
G101	橋址環境	是否為第一類活動斷層近域	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)			
G102		地盤類別	4	<input type="checkbox"/> 臺北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 軟弱地盤(0.67) <input type="checkbox"/> 普通地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0)			
G103		相鄰橋墩間地表土質變化	2	<input type="checkbox"/> 大(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 小(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G104		液化可能性	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G105	結構系統	相鄰兩振動單位結構系統差異性	8	<input type="checkbox"/> 大(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 小(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G106		外懸梁	2	<input type="checkbox"/> 有(1.0) <input type="checkbox"/> 無(0)			
G107		梁端橋墩或橋台之斜角	4	$w = \theta^\circ / 90^\circ \leq 1.0$			
G108		縱坡坡度 S(%)	2	$w = S / 6\% \leq 1.0$			
G109		曲線橋(半徑 $\leq 100m$ 或交角 $\geq 30^\circ$ )	4	$w_1 = 1 - (r/100)$ ; $w_2 = (\alpha/30) - 1$ ; $w = \max(w_1, w_2)$ ; r : 半徑 ; $\alpha$ : 交角			
G110		基礎裸露程度	20	樁基礎： $w = 2.0 - 2.0(h_{left}/h)$ ; 沉箱基礎： $w = 1.43 - 1.43(h_{left}/h)$			
G111	結構細部	支承狀況	4	<input type="checkbox"/> 極差(1.0) <input type="checkbox"/> 不良(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 良好(0)			
G112		防落長度	20	當 $N \geq N_e$ , $w = (N - N_e) / (N/2) \leq 1$ ; 當 $N_e \geq N$ , $w = 0$ ; $N_e$ : 實際有效防落長度 $N$ : 84 年規範規定之防落長度 ; $N = 50 + 0.25L + H$			
G113		防落設施	12	<input type="checkbox"/> 兩向均無裝設(1.0) <input type="checkbox"/> 僅垂直行車向裝設(0.5) <input type="checkbox"/> 僅行車向裝設(0.25) <input type="checkbox"/> 兩向均有裝設(0) 註：(1)防落設施功能不良者，權重再加 0.25。 (2)當 $N_e \geq 1.2N$ , 行車向視為具有防落設施，且功能良好。			
G114		其他異常現象	4	橋柱垂直度、支承座至帽梁邊緣混凝土之異常狀況等			
分數總計			100				

資料來源：參考文獻<sup>[52]</sup>。

表 2-63 公路橋梁耐震評估檢查表－強度韌性評估(一般橋梁)

橋梁名稱：		橋梁編號：	里程數：	振動單位：P ~P	評估者：	評估日期：	
設計規範版本：		<input type="checkbox"/> 民國 49 年版以前	<input type="checkbox"/> 民國 49 年及 76 年版	<input type="checkbox"/> 民國 84 及 89 年版	<input type="checkbox"/> 民國 97 年版		
項次	項目	配分	評估內容			權重	評分
G201	橋址環境	是否為第一類活動斷層近域	8	<input type="checkbox"/> 是(1.0) <input type="checkbox"/> 否(0)			
G202		地盤類別	6	<input type="checkbox"/> 臺北盆地(1.0) <input type="checkbox"/> 軟弱地盤(0.67) <input type="checkbox"/> 普通地盤(0.33) <input type="checkbox"/> 堅實地盤(0) <input type="checkbox"/> 76 年以後設計(0)			
G203		液化可能性	6	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.67) <input type="checkbox"/> 低(0.33) <input type="checkbox"/> 無(0) <input type="checkbox"/> 84 年以後設計(0)			
G204	結構系統	梁端橋墩或橋台之斜角	4	$w = \theta^\circ / 90^\circ \leq 1.0$			
G205		橋柱或壁式橋墩高寬比 R	6	當 $R \leq 2.5$ , $w = 1.0$ ; 當 $2.5 < R < 5$ , $w = (5 - R) / 2.5$ ; 當 $R \geq 5$ , $w = 0$ (取兩向評估之大值)			
G206		振動單位中橋柱、墩最高與最低之比	4	當 $r \geq 1.5$ , $w = 1.0$ ; 當 $1.0 \leq r < 1.5$ , $w = -2 + 2r$			
G207		橋柱或壁式橋墩靜不定度	6	<input type="checkbox"/> 兩向均靜定(1.0) <input type="checkbox"/> 一向具靜不定(0.5) <input type="checkbox"/> 兩向均靜不定(0)			
G208		基礎裸露程度	24	樁基礎： $w = 2.0 - 2.0(hleft/h)$ ；沉箱基礎： $w = 1.43 - 1.43(hleft/h)$			
G209	一般橋柱	柱底搭接與否	8	<input type="checkbox"/> 有搭接(1.0) <input type="checkbox"/> 無搭接(0)			
G210		塑鉸區箍筋細部	8	<input type="checkbox"/> 不符合耐震規定(1.0) <input type="checkbox"/> 部分符合耐震規定(0.5) <input type="checkbox"/> 符合耐震規定(0)			
G211		主筋斷點與箍筋細部	4	<input type="checkbox"/> 有斷點且箍筋較柱底少(1.0) <input type="checkbox"/> 有斷點但箍筋不少於柱底(0.5) <input type="checkbox"/> 無斷點(0)			
G212		橋柱與基礎劣化程度	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)			
G209	結構細部	壁式橋墩底部鋼筋搭接與否	6	<input type="checkbox"/> 有搭接(1.0) <input type="checkbox"/> 無搭接(0)			
G210		縱、橫向鋼筋比與細部	8	<input type="checkbox"/> 不符合耐震規定(1.0) <input type="checkbox"/> 部分符合耐震規定(0.5) <input type="checkbox"/> 符合耐震規定(0)			
G211		主筋斷點與箍筋細部	6	<input type="checkbox"/> 有斷點且箍筋較墩底少(1.0) <input type="checkbox"/> 有斷點但箍筋不少於墩底(0.5) <input type="checkbox"/> 無斷點(0)			
G212		橋墩與基礎劣化程度	8	<input type="checkbox"/> 嚴重(1.0) <input type="checkbox"/> 差(0.67) <input type="checkbox"/> 尚可(0.33) <input type="checkbox"/> 微(0)			
G209	鋼橋柱	橋柱板之寬厚比	8	矩形柱 $\square \frac{b}{t} \leq \frac{43}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; $\square \frac{43}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} \leq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\square \frac{b}{t} \geq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; 圓形柱 $\square \frac{D}{t} \leq \frac{145}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; $\square \frac{145}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{D}{t} \leq \frac{232}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\square \frac{D}{t} \geq \frac{232}{\sqrt{F_y}}$ (1.0)			
G210		縱向加勁板寬厚比	6	$\square \frac{b}{t} \geq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; $\square \frac{b}{t} \leq \frac{16}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; unit : tonf-cm <sup>2</sup>			
G211		人孔位置	6	<input type="checkbox"/> 內灌混凝土高/人孔位置高 $\geq 0.4$ (1.0) ; <input type="checkbox"/> 內灌混凝土高/人孔位置高 $< 0.4$			
G212		橋柱銲接細部	8	<input type="checkbox"/> 全滲透銲(0) ; <input type="checkbox"/> 半滲透銲(1.0)			
G213		支承狀況與其他異常現象	8	支承強度與損壞狀況、橋柱垂直度、跨度差異大、曲線橋、橋柱型式不同、銲接品質不良、腐蝕等			
分數總計			100				

資料來源：參考文獻<sup>[52]</sup>。

依據上述初步評估表計算結果，可經由表 2-64 之判定標準評估橋梁安全度並建議後續處理對策。

**表 2-64 安全度評定標準及處理對策**

安全度等級	評定標準	後續處理對策
高	$30 \geq$ 初步評估總分	針對符合評定標準之評分種類，不須進行橋梁安全詳細評估，只需例行性的檢測及維護。
中	$60 \geq$ 初步評估總分 $\geq 30$	針對符合評定標準之評分種類，應近期排定時程以進行橋梁安全詳細評估。
低	初步評估總分 $\geq 60$	針對符合評定標準之評分種類，應立即進行橋梁安全詳細評估。

表 2-64 初步評估安全等級為中、低者表示安全有疑慮，可能需要進一步詳細評估，其間，可能需要伴隨有破壞性或非破壞性檢測。而一般性調查與目視檢測無法評定橋梁安全性或適用性時，亦可能需要借助於此類檢測。

除了初步評估表以外，公路總局『公路橋梁耐震評估及補強準則之研究』<sup>[52]</sup>還提供地震損失風險值法來初步評估耐震能力。地震損失風險值法，係以多種典型橋梁發生完全損壞、嚴重損壞、中度損壞與輕微損壞的正規化易損性曲線作為依據，配合受評橋梁之設計地表加速度、地盤種類、三維效應與橋梁斜交程度修正而得受評橋梁之易損性曲線，計算工址發生 475 年回歸期設計地震時該橋產生完全損壞、嚴重損壞、中度損壞與輕微損壞之或然率，乘上其對應的損失比後得該橋在設計地震發生下的損失風險值，再配合橋梁重要性指標加權予以平均後，即可進行後續篩選排序作業。惟該方法易損性曲線以橋梁之強度與韌性為主，不包含落橋損壞模式，而損失比亦僅考慮橋梁直接損失對應之修復成本與新建成本之比值，並沒有考慮其影響後果。有關公路橋梁易損性以及損失評估可參考「公路橋梁地震早期損失評估之資料庫建制與模組開發之研究」<sup>[55]</sup>。

#### 2.2.2.4 非破壞性檢測

非破壞性檢測(Nondestructive Testing, NDT)<sup>[41、56-58]</sup>是以不會破壞結構體之方式來檢測結構物內部之劣化現象及程度之一種方式，其原理是藉著聲、光、電、磁等媒介進行間接之檢測，通常較為精準、靈敏與快速，但因相對於目視檢測，相關儀器量測技術、理論與分析方法等技術層次要求更高。例如：針對混凝土強度與品質，衝錘法(Rebound Hammer Method)或反彈錘法利用衝錘的反彈數(Rebound Number)求得混凝土表面的硬度，來推估混凝土抗壓強度；超音波法以波速與強度間之關係來推測混凝土強度；其他還有攜帶式混凝土彈性波(應力波)法、利用混凝土的溫度變化來評估強度等均屬非破壞性檢測方法。其他的非破壞性檢測還包括鋼筋配置探測的透地雷達法、磁感應法與放射線檢測法，鋼筋銹蝕狀況檢測之腐蝕電位法、腐蝕速率法與透地雷達法，裂縫深度檢測超音波、敲擊回音法與放射線檢測法，變形檢測之 3D 雷射(Lidar)掃描法與數位影像分析法等。

#### 2.2.2.5 破壞性檢測

破壞性檢測<sup>[41、58]</sup>即是利用破壞性的方式進行取樣與試驗，大多僅進行局部性的破壞並於完成後修補復原。例如，混凝土鑽心取樣，檢測其強度與中性化程度，氯離子含量檢測、鹼骨材反應檢測等均屬破壞性檢測方法。在某些情況下，部份破壞性檢測是用來驗證非破壞檢測之結果是否正確。

#### 2.2.2.6 橋梁性能詳細評估

##### 1. 承載能力

公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範<sup>[47]</sup>，以耐荷係數或承載力評估係數 RF 來表示承載能力，RF 定義為現存活載重承載能力與活載重需求之比值， $RF \geq 1$  表示承載力無慮， $RF < 1$  需要限重、修補或改建。李有豐等<sup>[59]</sup>參考 AASHTO 以 LRFR<sup>[9]</sup>估橋梁載重能力之方式，

依據國內檢測評估之 D.E.R.&U. 評等法，建立橋梁現場檢測資料與承載能力評估之關聯性，研擬既有橋梁的承載能力詳細評估方法，其分析流程可分為八個步驟，如圖 2.11 所示。

除了計算法以外，亦可採用試驗量測的方式來評估或驗證。例如，靜載試驗和動載試驗可以直接瞭解結構在載重作用下的承載能力、實際工作狀態、變形行為與各種動力特性，試驗數據亦可驗證數值分析模型之正確性。其他如微振(Ambient Vibration)實驗利用環境對橋梁作用所產生的微小振動，可經由系統識別理論來分析系統的特性，微振量測資料或強震紀錄資料常被用於了解結構動力特性。

## 2. 耐震能力

張國鎮等<sup>[52]</sup>以及李有豐等<sup>[59]</sup>研擬 RC 橋墩三種破壞模式訂定對應的塑性鉸，可配合工程界熟悉的結構分析軟體，進行非線性靜力側推(Nonlinear Static Pushover)分析，再以容量震譜法<sup>[60]</sup>之觀念，迅速有效地評估出各等級地震作用下結構耐震性能點對應的地表加速度，代表橋梁的耐震能力。耐震能力詳細評估流程如圖 2.12。

## 3. 耐洪能力

橋梁耐洪能力評估，首先要調查基礎目前裸露的情形，再根據橋梁標高、孔徑大小、基礎埋置深度以及水文、河床地質等資料，計算遭遇洪水時橋墩基礎還會產生的沖刷深度<sup>[61]</sup>或採用經驗公式計算<sup>[62]</sup>，再計算基礎受力情形與基礎剩餘長度的承載力，就可求得耐洪之安全係數<sup>[63]</sup>。亦可以，直接採用數值模擬分析模式，檢核其性能指標(例如承載力、彎矩強度、剪力強度、轉角或變位等)是否滿足可接受標準。

而對於沖刷後基礎裸露橋梁，亦須檢討沖刷後之耐震能力<sup>[52]</sup>，其流程基本遵循圖 2.10，但數值分析模型會有所差異，例如：考慮土壤與基礎的互制作用，建立包含基礎結構之完整的結構分析模

型，在進行分析時，必須一併考量基礎可能產生的破壞模式，塑鉸可能產生於基樁頂部導致耐震能力不足。

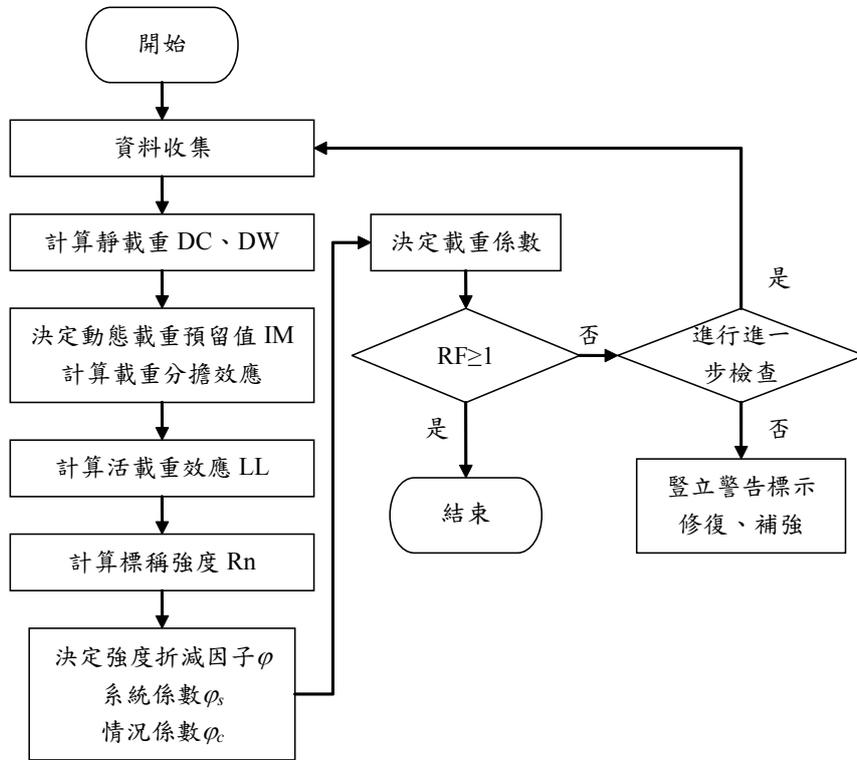


圖 2.11 梁承載能力分析評估流程圖

資料來源：參考文獻<sup>[59]</sup>。

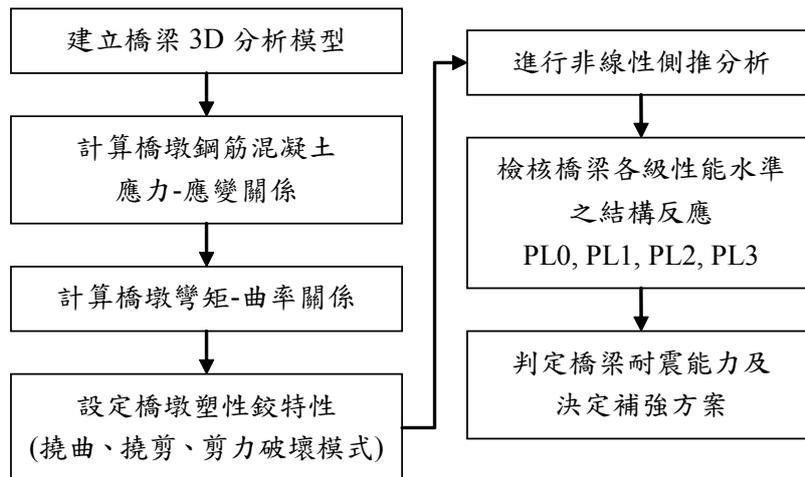


圖 2.12 耐震能力詳細評估流程

資料來源：參考文獻<sup>[52]</sup>。

#### 4. 疲勞安全評估(鋼結構橋梁)

對於未產生裂縫之鋼構件，要進行疲勞安全評估<sup>[47]</sup>，國內相關研究較少，通常會建議參考 AASHTO 相關手冊<sup>[9]</sup>或指南。疲勞安全評估是藉由計算鋼橋之疲勞年限，評估鋼橋於使用年限內產生疲勞破壞之可能性，以作為橋梁管理機關是否執行橋梁交通管制或維修補強之參考。鋼橋之疲勞安全評估包含兩個階段，第一階段為無限疲勞年限檢核，第二階段為計算有限疲勞年限。第一階段之無限疲勞年限檢核可採用最簡單、粗略但保守之模式估算，一旦依此方式推估之疲勞年限為無限大，則無需再進一步進行疲勞安全檢查。

##### 2.2.2.7 橋梁健康監測

橋梁健康監測是在橋梁上布設各類感測器做即時的檢測及診斷，監測系統可二十四小時監看結構的行為，並在結構物達安全預警的臨界狀態時，向主管單位發出警訊。但因為費用不便宜，通常是較重要或是有安全疑慮的橋梁才會布設這類即時監測系統。

臺灣大學羅俊雄教授開發一套以無線感測技術為基礎的橋梁健康監測系統<sup>[64]</sup>，該系統結合國家地震中心常用之微振儀 VSE-15D 與臺大土木系自行開發之無線感測單元 NTU-WSU-V02a，適合應用於監測大型橋梁的微振反應，同時，該無線感測單元也可支援不同類型的感測器以滿足不同的監測需求。目前該系統的應用方向在於監測橋梁受沖刷影響之下的行為變化，以結構系統識別與訊號處理的理論技術為基礎，透過真實橋梁長期監測資料收集與實驗模擬的方式建制合理的沖刷預警機制。該研究系量測上部結構之微振反應進行分析，施作上較為簡便且儀器安裝方面不受氣候之影響，惟其方法並非直接量測沖刷深度的改變而是藉由後續的訊號分析結果評估沖刷狀況，在發展過程中需要更多的實驗資料加以佐證。

臺灣大學張國鎮教授應用光纖光柵感測技術於橋梁結構及工程安全監測<sup>[65]</sup>，光纖感測器相較於其他傳統感測器具有下列優點：訊號傳

輸損失低、不受環境電磁干擾、耐久性高、相互干涉性低可多工使用等，此外，以光纖光柵應變感測技術為基礎，透過不同的轉換機制可開發出變位計與傾斜儀等不同物理量的感測器。在應用方面，該團隊受公路總局委託辦理南投縣集鹿斜張橋修復後的安全評估作業，即利用光纖應變感測器量測車載實驗過程中主梁箱涵內部的應變分布情況，藉此評估橋梁強度及修正結構分析模型。此外，該團隊亦將光纖技術推廣應用至沖刷監測，將不同波長之光纖光柵感測器安裝於不同基礎深度並予以串接，再藉由感測器之反應大小可即時監測河床沖刷狀態。該方法屬於直接量測代表損壞的物理量，但施作上較為困難且有可能會受限於河床條件而影響儀器安裝，同時，感測器以外的保護措施也需要妥善的安排才得以確保系統的耐久性及可靠度。

中華大學楊國湘教授運用夾式位移計可重複使用之優點取代傳統應變計做為量測橋梁結構受力變形的工具<sup>[66]</sup>，並結合分散式資料擷取系統與網路連線功能，建立一套遠端自動化的橋梁監測系統。該方法與光纖應變計之功能相仿，可直接由量測到的物理量初步判斷橋梁局部構件的狀態，如要評估橋梁整體的健康狀況則需要進一步的結構模型分析配合。

#### 2.2.2.8 橋梁生命週期維護管理

陳威廷<sup>[67]</sup>嘗試利用橋梁生命週期相關資料，設計完成安全性、耐久性二指標，進行生命週期成本分析，建立一套合理之評估建議準則，用以輔助橋梁管理者於生命週期各階段可以對每一座橋梁進行評估，並擬定適當的橋梁管理策略，以此方式期望解決橋梁在生命週期分析時資料繁雜不易處理的問題。除了指標評估外，並初步設計一個評估系統，針對生命週期各階段、各評分不同範圍提供狀態說明與專家建議資訊，此系統亦可提供使用者考量生命週期成本選擇較佳方案。

黃榮堯與許鎧麟等<sup>[68~69]</sup>蒐集國內橋梁生命週期成本項目及金額，結合國內橋梁管理系統，研擬適用國內橋梁環境之生命週期成本評估與結構使用年限模式，提供設計者及維護管理單位進行決策之參考。

其中，結構使用年限模式以不同環境下各使用年限對應之橋梁群狀況指標 CI 趨勢線來建立(圖 2.13)。許鎧麟等<sup>[70]</sup>指出橋梁延壽分析中必須考量結構本體的安全性、劣化狀況、所處環境造成之災害潛勢，以及用路人使用服務性、經濟性等進行綜合評估。

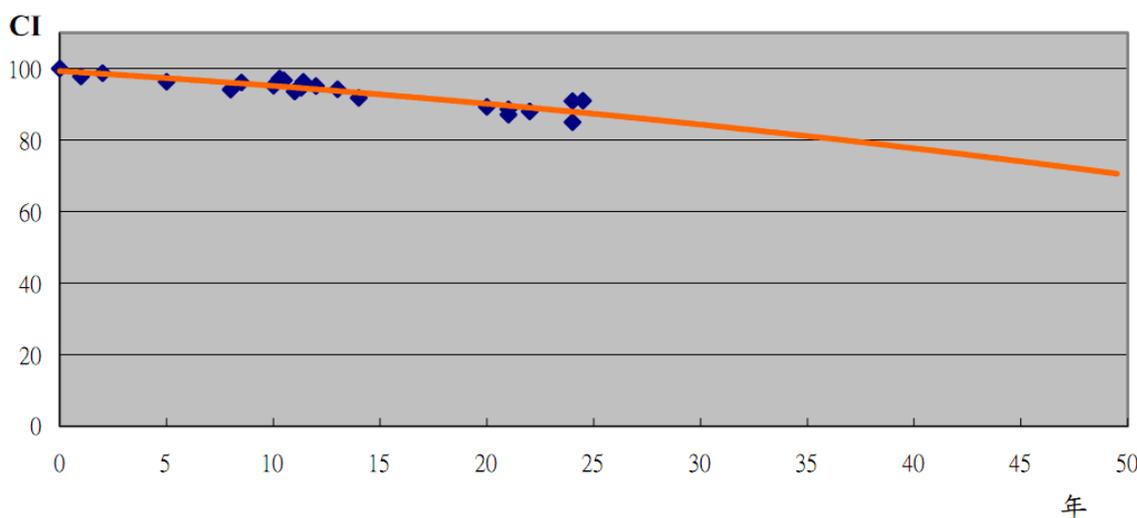


圖 2.13 近海橋梁結構使用年限趨勢曲線圖

資料來源：參考文獻<sup>[68]</sup>。

國立中央大學執行運研所的「縣市政府老舊及受損橋梁整建計畫(二)」<sup>[71]</sup>，係透過橋梁檢測資料分析與實地勘查進行安全評估，提出各橋梁整建必要性分析、研提改善方式及概估維修經費，並擬定橋梁分年建設期程，預定於 3 年內改善完成，達到維護橋梁安全，減少天然災害造成橋梁損壞與民眾生命財產損失，提高縣市政府所轄橋梁之服務水準，確保橋梁運輸之暢通，並維護往來人員之行車安全及延長橋梁壽齡，減少長期維護成本。

「RC 橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測之研究」<sup>[72]</sup>針對鋼筋混凝土橋梁的材料劣化評估以及殘餘壽命預測進行研究。該報告對國外橋梁使用年限預測之發展進行回顧，期望從混凝土耐久性與鋼筋銹蝕機理著手提出殘餘壽命預測之模式。此類研究亦可參考國立臺北科技大學宋裕祺教授相關著作<sup>[73]</sup>與研究報告。

## 2.3 橋梁檢測相關資訊系統

### 2.3.1 國外資料

#### 2.3.1.1 美國

美國 Pontis<sup>[74]</sup>係由 FHWA 與 CALTRANS 共同出資，委託 Optima Inc.及 Cambridge Systematic Inc.兩家公司合作開發，目的在於系統整合橋梁的管理作業及決策工作，幫助政府有效掌握全國橋梁之現況。其發展過程中希望建立以下幾個里程碑：

1. 由 FHWA、加州交通運輸部(California Department of Transportation, Caltrans)和科技工作小組(TWG)共同地發展橋梁管理系統 Pontis 2.0。
2. 發展並開設橋梁檢測員和橋梁管理系統管理員的訓練課程。
3. 於 FHWA 中，建立一個橋梁管理系統專家和區域性的科技工作小組(TWG)之 FHWA 網路，以提供地方橋梁管理部門之橋梁管理系統訓練和支援。
4. 施行一般認可的構件(Element)，以便定義標準的橋梁構件，建立轉換主要構件狀況資料到 NBI 格式的標準方法。
5. 每州都應全面性使用橋梁管理系統。

Pontis 主要可區分為資料收集、資料分析以及資料應用三大部分：

#### 1. 資料收集

包括構件定義、構件初始基本資料、構件檢測資料(含缺陷照片或影像、示意圖、說明、報告)、養護資料(含維護、修補、修復)、改善資料、修補費用資料等。資料交換可以經由手持式電腦、區域電腦轉入 Pontis 伺服器。

最新 Pontis 5.2 會配合第 2.1.1.1 節所述 2010 年新頒佈之第 1

版「AASHTO Bridge Element Inspection Guide Manual」<sup>[20]</sup>進行更新，包括：結構與保護層或磨耗層區分開、新構材之定義、缺陷標誌說明構件現況、新的分級方式、複合指標模式、評估對象的新單位名稱。

## 2. 資料分析

歷史資料分析、劣化模型、狀況之現況分析與預測、優選、預算預測分析。

最新 Pontis 5.2 將提供更多的模組，包括多目標分析模組，可以針對所選擇的功能，經由各功能正規劃的指標曲線值進行加權，再進行排序。

## 3. 資料應用

最新 Pontis 5.2 將提供更多的決策支援模組，包括風險管理模組、生命週期成本分析模組以及各模組之整合，可以進行成本效益分析、了解決策與預算關係，並以圖表顯示。其中，風險管理主要考量洪水、地震、疲勞、承载力、劣化(耐久性)、意外交通事故、其他等危害。

### 2.3.1.2 日本

日本方面，日本建設省於 1988 年公佈橋梁檢測手冊，統一全國橋梁之檢查標準、檢測週期、並訂定檢測結果之標準處理事項等規定，且自 1990 年起隨著個人電腦之普及，發展出一套應用於個人電腦上的橋梁檢點資料系統 MICHI，含橋梁基本資料、檢查結果、構件受損型態、構件之狀況指標，對橋梁安全性及交通影響評定損害等級。於 1998 年結合營建資訊運籌管理(C-CALS)觀念，結合公共電子投標系統，研發橋梁維護管理資訊系統。簡言之係利用以往長期累積建立之資料庫，瞭解需辦檢測或維修橋梁資料，利用網上傳遞發包訊息後，由得標廠商上網下載橋梁發包之相關圖面及檔案，完成檢測後，進行

新檔編輯及繪圖，再利用電腦回傳至政府資料庫，經承辦人審查認可後，進行後續橋梁修補工作預算、時程規劃安排。隨後建設省亦研發生命週期之修補管理導向 BMS，包含健全評估模組與修補計畫模組，藉由劣化等級、橋梁重要性及經費等因素，以成本效益最佳化方式擬訂橋梁修補之優先順序。

J-BMS 為日本山口大學發展的橋梁管理系統，其紀錄包含橋梁基本資料、橋址、歷史維修紀錄、損壞現況及照片、檢測結果。著重於檢測、診斷、維護三個階段，主要三個模組分別如下：

### 1. 混凝土橋梁評等、維護計畫最佳化模組

可以計算橋梁的服務性等級，並利用多層的類神經網路預測劣化程度，用以建立一個考量以生命週期成本為基礎的維修及補強方法之理想維護計畫，在這個模組裡也應用遺傳演算法來找尋理想維護計畫的最佳化解答。

### 2. 護決策支援模組

由劣化預測，劣化評估，及輸入預算限制，選擇工作環境，針對效率及效益，提供決策者維護策略。

### 3. 資料管理模組

分成三個次模組：基本資料、檢測資料、維護及補強資料模組。

## 2.3.2 國內資料

### 1. 交通部－臺灣地區橋梁管理資訊系統<sup>[75]</sup>

行政院於民國 84 年起責成交通部積極進行各項橋梁安檢維護作業，交通部於民國 86 年 7 月完成「臺灣地區橋梁安全管理策略探討與制定」研究，建立中央橋梁管理系統及適合各橋梁主管單位使用之管理系統，結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及網際網路，

以協助橋梁管理機關進行管理，提高橋梁服務水準，確保結構穩定性與安全性。

基於上述需求，交通部運輸研究所委託國立中央大學於民國 89 年開發完成「臺灣地區橋梁管理資訊系統」，提供交通部及其所屬單位如高公局、公路總局、臺灣鐵路管理局、以及內政部營建署和各縣市政府使用。系統主要透過網際網路進行運作，初期提供九大功能模組，分別為基本資料模組、檢測資料模組、維修紀錄模組、地理資訊模組、績效稽核模組、成本估算模組、整合性決策模組、參數設定模組以及統計分析模組。後期系統於 2008 年進行全面改版作業後，新系統已於 2009 年 5 月 20 日正式上線啓用。新系統並重新規劃為基本資料模組、檢測資料模組、維修記錄模組、統計分析模組、決策支援模組、地理資訊模組、防災資訊模組及系統設定模組，共八大功能模組。以下就新系統的八大功能模組進行說明如下：

#### (1) 基本資料模組

基本資料模組是整個橋梁管理系統的核心，所有的巡查、檢測及維修資料均建立於橋梁基本資料之上。橋梁基本資料包含主資料表、擴建資料表、橋台資料表、橋墩資料表、橋孔資料表、橋梁照片以及相關文件等部份。臺灣地區橋梁管理資訊系統中所使用的橋梁基本資料表如圖 2.14 與圖 2.15 所示。

#### (2) 檢測資料模組

檢測資料模組採用 D.E.R.&U. 目視評估法，使用者可將系統自動填入基本資料之空白檢測評估表列印後帶至現場填寫，檢測後再將檢測資料輸入系統並列印彙整成報告。橋梁定期檢測主表如圖 2.16 所示。

*橋梁名稱		*使用狀態 正常使用	
橋梁編號		*設施種類 橋梁	
管理資料			
*所在縣市	*管理機關	*轄下機關 請先選擇管理機關	
橋頭里程 K無+ M無	所在區鄉	*道路等級	路線
造價 元 不詳	橋尾里程 K無+ M無	竣工年月 年 月	最近一次維修年月 年 月
交流/匝道	合約編號	改道長度	
設計單位	匝道編號	施工單位	
檢測週期 (月次)	監造單位	竣工圖保存地點	
參考地標	跨越物	年平均每日交通量 不詳	
河川資料			
*是否為跨河橋 是			
*跨越河川類別	*河川管理單位	河川名稱 G C	
上游500公尺構造物			
下游500公尺構造物			
上游最近水位站	計畫洪水位 E/L 不詳	計畫河寬 M 不詳	
計畫堤頂高程 E/L 不詳	設計河床高程 E/L 不詳	設計橋梁出水高 M 不詳	
幾何資料			
橋梁總長 M	A1進橋板長度 M	A2進橋板長度 M	
最大淨寬 M	最小淨寬 M	橋板投影面積 M <sup>2</sup>	
總車道數	*總橋孔數	最大跨距 M	
跨距分配			
最高橋墩高度 M 不詳	最低橋上淨高 M 無	最低橋下淨高 M 不詳	
橋頭GPS經度 不詳	橋頭GPS緯度 不詳	橋尾GPS經度 不詳	橋尾GPS緯度 不詳

圖 2.14 橋梁基本資料表(管理、河川、幾何資料)

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

結構資料			
<input type="checkbox"/> 板橋	<input type="checkbox"/> 梁式橋	<input type="checkbox"/> 箱型橋	<input type="checkbox"/> 拱橋
<input type="checkbox"/> 結構型式	<input type="checkbox"/> 桁架橋	<input checked="" type="checkbox"/> 斜張橋	<input type="checkbox"/> 剛架橋
<input type="checkbox"/> m橋	<input type="checkbox"/> 簡支梁	<input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 鋼橋
支撐橋型式	*主梁材料	主梁型式	鋼橋接合型式
橋梁型式	橋面板材料	橋面板型式	伸縮縫型式
支承型式	橋台型式	橋台基礎型式	實體型式
橋墩材料	橋墩型式	橋墩基礎型式	
橋墩基礎埋深 M	橋墩基礎埋深 M		
橋基保護工法	<input type="checkbox"/> 拋石	<input type="checkbox"/> 蛇籠	<input type="checkbox"/> 濕凝土塊
<input type="checkbox"/> 包漿	<input type="checkbox"/> 攔沙壩	<input type="checkbox"/> 單階狀水工	<input type="checkbox"/> 濕凝土護坦
<input type="checkbox"/> 導流丁壩	<input type="checkbox"/> 其他	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 多階狀水工
特殊結構資料			
橋墩材料	橋墩型式	主梁型式	
吊索型式	吊索佈置型式	索面系統型式	索面佈置型式
拱上結構型式	橋面版位置	拱圈材料	橋程材料
吊材材料	立柱材料	鋼圈型式	鑄定裝置
設計資料			
設計活載重	地震種類	防震設施	防震橋長度 M
橋梁所在區區	設計水平地表加速度 G	設計垂直地表加速度 G	
附註			
附註			
建檔資料			
建檔人員	建檔單位	資料原始紀錄日期	資料最新修改日期

圖 2.15 橋梁基本資料表(結構、特殊結構、設計資料與備註)

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

橋梁名稱	第二尖山橋		橋梁編號	0010-009	
橋梁總長	7M	橋梁淨寬	18M	總橋孔數	1
道路等級	省道	路線	臺1甲線	竣工年月	62年10月
橋頭里程	16K+500M	橋尾里程	K+M		
檢測日期	2009-08-11		檢測單位	中央大學	
檢測員	楊文賢		單位主管	姚乃嘉	
檢測員意見	快速輸入 <input type="text"/> <input type="button" value="v"/>				
CI	PI		規範PI		
<input type="button" value="送出修改內容"/>					

橋梁定期檢測評估子表(1/1)					<input type="button" value="檢視內容"/>
起始橋墩	A001	終止橋墩	A002	總跨數	1 跨
本段橋長	7	結構形式	梁式橋		
CI	99	PI	98	規範PI	98

圖 2.16 橋梁定檢主表

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

當橋梁「結構型式」為特殊型式時，「特殊結構資料」則會自動開啟相關對應欄位供使用者填選。舉例：當「結構型式」為斜張橋時，則「特殊結構資料」會開啟「橋塔材質」、「橋塔型式」、「索面系統型式」、「索面佈置型式」、「鋼纜型式」及「錨定裝置」等欄位。該系統亦有「擴建紀錄」、「照片簿」、「圖文上傳」等功能。

此外，系統提供新增、查詢、刪除、修改與列印檢測紀錄表之功能。查詢功能的部分，可依使用者所需之條件篩選所需要之橋梁。假設以「第一區養護工程處」且工務段為「中壢工務段」，道路等級為「省道」，路線為「臺1甲線」等條件進行篩選，即可找尋到如圖 2.17 所示之橋梁檢測資料，同時列出橋梁評估指標 CI 與 PI 的結果。

檢測日期	CI	PI	規範PI	橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	所在縣市	所在區鄉	道路等級	路線	橋頭里程	橋梁總長	總橋孔數	總車道數	是否為跨河橋	結構形式	
2009-08-11	99	98	98	第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中樞工務段	桃園縣	龜山	省道	臺1甲線	16K+500M	7	1	4	是	梁式橋	修改刪除
2009-04-22	100	100	100	大坑溪橋	公路總局第一區養護工程處	中樞工務段	桃園縣	龜山	省道	臺1甲線	17K+100M	11	1	4	是	梁式橋	修改刪除
2009-04-22	100	100	100	桃園陸橋	公路總局第一區養護工程處	中樞工務段	桃園縣	龜山	省道	臺1甲線	24K+770M	97.8	7	3	否	梁式橋	修改刪除
2009-04-22	100	100	100	莒光橋	公路總局第一區養護工程處	中樞工務段	桃園縣	桃園	省道	臺1甲線	25K+900M	6	1	4	是	梁式橋	修改刪除
2009-04-21	99	98	98	第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中樞工務段	桃園縣	龜山	省道	臺1甲線	16K+500M	7	1	4	是	梁式橋	修改刪除

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

圖 2.17 定期檢測篩選列表

### (3) 維修紀錄模組

維修紀錄模組提供使用者將橋梁維修之資訊，以合約之方式記錄於系統當中。在該系統中，對維修契約與維修記錄提供新增、查詢、編輯、刪除、修改與列印檢測紀錄表之功能，也提供廠商基本資料的新增、查詢、編輯與刪除之功能。圖 2.18 為橋梁維修契約主表。

輸出WORD檔案									
*管理機關	交通部公路總局	*養護工程處	公路總局第一區養護工程處	*養護工務段	中樞工務段				
*契約類型									
工程編號		*合約編號		*承辦人員					
*工程名稱									
*合約金額	元	總工期(天)		結算金額					
開工日期		完工日期		驗收完成日期					
附註									
搜尋廠商	廠商資料								
*承包廠商名稱		*負責人姓名		*聯絡人					
*廠商所在縣市		廠商電話		傳真電話					
廠商地址									

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

圖 2.18 橋梁維修契約主表

### (4) 統計分析模組

統計分析模組提供各個單位管轄橋梁、某一縣市橋梁及不同道路等級之數量分等進行統計分析，亦可輸出圖表進行列印

橋齡統計、橋梁長度統計、橋版面積統計、結構型式統計、成長趨勢分析、橋梁檢測資料排序及統計、交叉分析等。圖 2.19 為公路總局第一區養護工程處中壢工務段示範的橋齡統計結果。

選取分析範圍		選取分析種類	
管理機關	交通部公路總局	<input type="radio"/> 平均橋齡	
養護工程處	公路總局第一區養護工程處	<input type="radio"/> 橋齡排序	降幕 形式
養護工務段	中壢工務段	<input type="radio"/> 橋齡	_____ 年以上
所在縣市	桃園縣	選取X軸分析項目	
所在區鄉		<input checked="" type="radio"/> 分建造年度	每 <input type="text" value="20"/> 年為一組
道路等級		<input type="radio"/> 分橋齡	每 <input type="text" value=""/> 年為一組
路線		選取Y軸分析項目	
竣工年	_____ 年以前	橋梁長度	
使用狀態	正常使用	重新輸入	
設施種類		開始查詢	
跨河橋			

橋梁總筆數：199座

民國(年)	Y軸-橋梁長度	數量(座)
40-60	416.3	22
60-80	3371.4	93
80-100	31889.7	83
不詳		0
其他		1

下載EXCEL    統計圖表

圖 2.19 橋齡統計範例

資料來源：參考文獻<sup>[75]</sup>。

#### (5) 決策支援模組

決策支援模組包含四大功能，檢測預算編列、維修成本估算、橋梁維修排序及維修經費分配。

#### (6) 地理資訊模組

地理資訊模組係利用 GIS 圖形界面提供使用者更為簡易的橋梁查詢功能，於電子地圖上直接顯示橋梁所在位置，點擊兩下橋梁圖示後即可連結至該橋梁之基本資料中。

#### (7) 防災資訊模組

本模組可提供使用者查詢即時河川水位資料、即時水庫測站資料及即時雨量等水情資料，並可設定橋梁防災預警條件。以利橋梁管理單位於汛期期間或遇颱風、豪雨時，有一參考之數據。

## (8) 系統設定模組

系統設定模組提供有權限之使用者管理個人資料、帳號及公告區之用，亦提供留言板功能作系統使用者回報訊息及提供建議之平台。

## (9) 其它管理單位

高公局<sup>[41、76]</sup>於民國八十七年開發完成「國道高速公路局橋梁養護管理系統」，包括含有基本資料、檢測資料、維修資料、維修工法與單價資料等資料庫，以 D.E.R.&U.法為主的檢測評估子系統，以及含有(1)基本資料模組、(2)檢測資料模組、(3)統計分析模組、(4)耐震檢測模組、(5)優選排列模組、(6)預算編列模組與(7)維修資料模組等不同功能之管理模組，以滿足其橋梁養護管理之需求。公路總局所開發之橋梁管理系統係為國立中央大學橋梁中心合作開發完成，為全國最早實用之橋梁管理系統，系統內包含基本資料、檢測資料、維修紀錄、統計分析、維修成本估算、橋梁狀況排列、網路伺服器資訊交換及 GIS 空間查詢分析等八個模組。鐵路局於民國 88 年委託中華顧問工程司開發「鐵路橋梁資料建檔管理系統」，系統包含基本資料、檢測資料、統計分析三模組以及查詢與編輯功能。其他如港務局<sup>[77、78]</sup>、各縣市政府單位等均依據不同需求開發系統，各管理單位以基本資料、檢測資料、統計分析或決策分析為主要考量，但均需要考慮與符合臺灣地區橋梁管理資訊系統架構，以便進行資料交換。

## 2. 學術單位

### (1) 網際網路之橋梁管理雛型系統<sup>[79、80]</sup>

該系統為臺灣大學土研所與臺北科技大學土防所共同合作開發，主要是針對架構在網際網路上之橋梁管理系統開發一雛型示範系統。與其他同時期所開發的系統不同點在於採用當

時較新的技術來實作，包括以當時正蓬勃發展的全球資訊網 (World Wide Web, WWW) 為主的網路架構、適合處理多媒體型態資料的物件關聯式資料庫 (Object-Oriented Database, OODB)、以 HTML 撰寫的網頁。

目前國內橋梁定期檢測多採用 D.E.R.&U. 目視檢測評估法，此方法雖為一經濟快速之橋梁檢測方式，但多仰賴檢測員之經驗判斷，對於橋梁檢測工作不熟悉之人員，其目視檢測結果之可靠度備受質疑。因此，部分研究利用專家系統輔助檢測員判斷橋梁狀況，以提升檢測結果之可信度。

陳瑞霖<sup>[81]</sup>於 1997 年發表針對公路鋼筋混凝土橋梁之橋梁檢測評估系統，該系統共分五個模組：基本資料表、初步評估基本資料表、耐震能力評估表、載重能力評估表、耐洪能力評估表。系統之知識來源擷取自多次之研討會及橋梁檢測相關研究，並專家提供之公路橋梁評估計算表，結合專家知識及電腦快速運算之優點。

## (2) 橋梁檢測評估專家系統

王詠民<sup>[83]</sup>於 1997 年發表一套「橋梁檢測評估專家系統」，該系統共分五個子系統：耐震評估、載重評估、河川沖刷影響評估、個別元件評估、系統輔助工具。該研究匯整橋梁檢測評估之專業知識及經驗，整理歸納並建立專家知識庫，並在系統輔助工具中提供高公局橋梁維修材料規範手冊、橋梁一般目視檢測手冊、橋梁維修養護手冊之全文檢索。

## (3) 橋梁目視檢測專家系統

柯天祥<sup>[84]</sup>於 2000 年開發一套採用 D.E.R.&U. 目視檢測法之「橋梁目視檢測專家系統」，利用系統之推理引擎及知識庫，搭配劣化照片及文字，協助使用者判斷橋梁劣化狀況，系統最後計算出相關評估指標，並建議適當之維護措施與維修估算，

供管理單位後續維護參考。

#### (4) 無線 DER 檢測評分系統

饒珉菘<sup>[85]</sup>於 2002 年開發一套在 PDA 上使用之「無線 DER 檢測評分系統」，利用 PDA 之可攜性，使用者可透過無線網路下載橋梁基本資料和圖片，並現場上傳檢測完成之資料。該系統以即時性資訊、簡化工作流程、資料篩選與統計等三項優勢為考量，輔助已有的系統工作流程。

#### (5) 橋梁目視檢測自動化輔助系統

廖先格<sup>[82]</sup>於 2005 年建置一套於可攜式平板電腦上之「橋梁目視檢測自動化輔助系統」，以協助檢測員快速而正確地得到檢測結果。檢測員可從「臺灣地區橋梁管理資訊系統」下載欲檢測之橋梁基本資料，於現場檢測時，僅需根據系統所提供之劣化照片及狀況說明文字，比對並點選劣化程度，系統則自動判斷並記錄橋梁之 D、E、R、U 值，並可將檢測結果傳回橋梁管理系統。系統之構件劣化判斷介面如圖 2.20。



圖 2.20 構件劣化判斷介面

資料來源：參考文獻<sup>[82]</sup>。

## 2.4 國外目前橋梁檢測作業分析比較

由於臺灣橋梁設計偏美國、日本系統，在此藉由比較檢視兩國與國內橋梁檢測制度(詳第四章與第五章)之異同處，期能獲得有益於我國發展橋梁檢測制度之參考。國內公路橋梁檢測制度與美、日橋梁檢測制度比較如表 2-65。

表 2-65 美日兩國橋梁檢測制度比較表

國家	美國	日本	臺灣
檢測法規	規範、手冊、指南	手冊	規範、手冊、作業要點
檢測組織	專案管理、分工與權責清楚	檢測員+監督員負責制	多無專職人員
人員資格	人員資格限制、提供多種途徑、強調教育訓練	檢測員資格限制、提供多種途徑、強調實務經驗	規範解說提供多種途徑，但實際多無強制人員資格限制，提供年度教育訓練機會
檢測等級	初始檢測、定期檢測、損傷檢測、深化檢測、特殊檢測	初期檢測、平常檢測、定期檢測、詳細檢測、臨時檢測	經常巡查、定期檢測、特別檢測(半年檢測、詳細檢測...)
檢測頻率(e.g.定檢)	定檢 2 年 1 次，提供彈性增減；經允許，最低 4 年 1 次	平常檢測頻率依交通量定；定檢頻率 1 年 1 次，允許彈性調整	巡查頻率依交通量定；定檢第 5 年第 1 次、至少 2 年 1 次，提供彈性增減，核准最低 4 年 1 次
檢測方式	非破壞性檢測、破壞性檢測		
評估方法	構件損傷程度與範圍(Smart Falg、Multi-path) → 部位損傷 → 橋梁能力(人員判斷+量化指標)	構件詳細劣化情形 → 構件損傷對功能面之影響評等(人員判斷+會議)	構件損傷程度、範圍、影響、急迫性(D.E.R.&U.為主)；亦有納入劣化模式評估。(人員判斷)

根據表 2-65 彙整之結果，以下分別就檢測相關法規、檢測人員之編制、檢測人員資格、檢測等級、檢測頻率及評估方法等進行總結。

### 2.4.1 檢測相關法規

美國在橋梁檢測相關法規，包括 FHWA 制定的規範，及 AASHTO 提供的檢測作業手冊、人員檢測相關規定等等手冊，並持續更新相關內容。日本則以 JH 的「道路構造物点檢要領(案)」及國土交通省的「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)」與「梁定期点檢要領(案)」為橋梁檢測的主要依歸。

### 2.4.2 檢測人員編制

美國因採專案管理，在檢測小組成員的規定上，僅對專案管理員、小組負責人、載重評估人員與潛水檢測人員職位進行規定，對於小組成員之組成與運作方式並未特別規範。日本橋梁檢測的規定，對於檢測小組成員之職稱，人數，工作項目等，均有初步之規定，並對於檢測車上之配置與在其他狀況下的人員配置，亦作了規範。

### 2.4.3 人員資格限制

美國在檢測小組成員的資格上，對專案管理員、小組負責人、載重評估人員與潛水檢測人員等之資格有所規定，從專業性、學歷、橋檢經驗年資、考試以及完整的教訓練等方面，提供多種滿足資格的途徑。日本在檢測小組的成員資格限制，主要採取學歷與實務經驗並重的方式，基本學歷越高的檢測員，其所要求的實務經驗年限便可以較低。

美日兩國均認同實務經驗的重要性，但美國對負責不同工作之人員資格規定更為詳細完整，且有彈性，並輔有完整的橋梁檢測訓練課程，可以讓評估標準較為一致。

### 2.4.4 檢測等級

美國的初始檢測與日本的初期檢測均可以達到儘早建立橋梁基本資料，掌握原始狀況之目的。美日均有定期檢測。美國的損傷檢測、

深化檢測，與日本的詳細檢測相似。美國的特殊檢測與日本的臨時檢測也同樣是對有異狀之橋梁採監測方式等持續監測檢測。

#### 2.4.5 檢測方法

美日兩國均依檢測作業之類型不同，而區分為採用的方式，如日常檢測主要採車行等目視檢測方式，而其他如定期檢測等則因檢查項目較為詳細，除了目視檢測以外，也增加了儀器檢測的比重。

#### 2.4.6 檢測頻率

美國定檢頻率為兩年一次，除了有提高頻率的彈性以外，若經過過去橋檢與分析結果可以降低檢測頻率者，經 FHWA 許可，亦可降低檢測頻率，但不可超過四年一次。日本的平常檢測頻率依交通流量而不同，定檢頻率仍統一規定為一年一次，但允許根據過去的檢查結果和構造物的狀況，及考慮到環境條件和使用條件下，因應調整檢測的頻率。

美日均依據不同的檢測等級來規定頻率。越輕易達成的或花費時間越短的，檢測的頻率也越高；如日本的平常檢測可以幾天執行一次，對車流量高的橋梁，甚至每天都需要進行檢測，而橋梁詳細檢測，則可能延長到十年一次。另一個相似之處是美日兩國於檢測頻率上均提供彈性調整。

#### 2.4.7 評估方式

美國 NBIS 由橋梁構件損傷判定各部位之損傷現況，作為評估橋梁是否有結構缺陷以及計算橋梁承載能力、結構安全、服務與功能性與綜合能力指標之依據，輔助決策橋梁是否需要修補或重建。日本對橋梁各構件，提供不同損傷等級的判定標準，也說明檢測應留意事項、檢測方法、損傷著眼位置及損傷(如龜裂)圖樣等，以輔助檢測員進行實施檢測及損傷判定。

## 2.5 國內借鏡之建議

國內外各橋梁劣化評估皆依該國環境、氣候、橋梁特性、檢測方式及評估需求等發展出適合該國之檢測評估系統且各有其優缺點。國內也因國情不同，並不能完全參照美日或其它國家之檢測制度及內容，但國外做法仍有值得借鏡之處。根據美日檢測制度與內容之分析及比較後，以下條列出國內目前已借鏡之內容以及可供未來借鏡之建議。

### 1. 已借鏡內容

- (1) 美國橋梁檢測的依循法規制度較為完備，除了有規範之訂定，在檢測的方法上，亦有如 AASHTO 手冊、指南等，使檢測工作有所依據。國內亦有橋檢作業相關養護規範、養護、檢測與評估手冊、檢測作業要點等。
- (2) 在檢測頻率方面，美日均統一規定定檢頻率，但都提供彈性調整。特別是美國，除了有提高頻率的彈性以外，若經由過去橋檢與分析結果可以降低檢測頻率者，經 FHWA 許可，亦可降低檢測頻率，但不可超過 4 年 1 次。國內公路養護手冊<sup>[25]</sup>相關規定基本一致，亦指出維護單位如計畫將某些特定橋梁之檢測間隔延長至四年，則應提出詳細計畫及資料，送經管理單位「橋梁檢測維護小組」核准。
- (3) 日本經由構件詳細劣化情形判定構件損傷對功能面影響之等級，國內 A.B.C.D.N.法與其一致，惟因較為費時，僅於公路鋼結構橋檢中將其精神納入 D.E.R.&U.法。
- (4) 日本對橋梁各部位與構件，提供不同損傷等級的判定標準，會針對檢測應留意事項、損傷著眼位置及損傷(如龜裂)圖樣等進行說明，以輔助檢測員進行實施檢測及損傷判定。國內相關手冊、研究報告與書籍等也有類似作法。
- (5) 美國由 FHWA 提供完整的橋梁檢測訓練課程，國內每年也統

一由交通部辦理。

- (6) 美國橋梁承載能力評估法已被國內借鏡，研擬橋梁承載能力詳評方法。
- (7) 美日兩國均認同實務經驗的重要性，美國對負責不同工作之人員資格規定更為詳細完整，從專業性、學歷、橋檢經驗年資、考試以及完整的教育訓練等方面，提供多種滿足資格的途徑。國內相關規範解說亦有類似建議，惟須進一步落實。

## 2. 未來可借鏡之建議

- (1) 在人員編制的部分，美日都有相關的規定，以落實檢測工作分工，也可對不同職位的人員，有不同的資格要求限制，以確保檢測品質與結果的正確。國內檢測人員資格已於相關規範解說中提供多種途徑，據悉，未納入條文之原因是考慮配合技師法對技師執業範圍之規定、規範解說仍有等同於規範條文之法律效力、強化管理單位負責制以及交通部已於每年度定期辦理相關教育訓練，另外，橋檢人員培訓需求能量不足以設立專職培訓機構，建議在目前的制度下，招標契約中明訂承包商檢測人員資格，特別是受訓時數及檢測經驗實績；另針對橋管單位之相關人員提供在職訓練，提升專業與技術能力。未來可朝向建立執照制度發展。
- (2) 在檢測等級方面，美國的初始檢測與日本的初期檢測均可以達到儘早建立橋梁基本資料與初始檢測，掌握原始狀況之目的，非常值得國內借鏡。
- (3) 日本區分檢測員與監督員，構件損傷評等由監督員把關。無損傷或輕微損傷者由檢測員向監督員報告及採取對應的處理措施；有疑慮或較嚴重損傷或者發現對第三者有影響等，還需立即召集包含監督員等(監督員、副監督員、主任助理監督員、助理監督員)多數人員召開會議，以進行損傷、變形狀況的判

定，並決定對應的處置方法。而且，在判定會議中，判定為 AA·E 時，現場應採取緊急對應措施。即使是在休假日、節慶日等，不可能由多數人員召開判定會議時，仍得以電話等代替不足人數。此方式有利於發揮群體智慧。

- (4) 美國由構件(Element)損傷等級，彙集為部位(Component)損傷等級，再作為全橋能力評量依據，橋梁系統分層級拆解，應用於不同橋型與材質彈性較大。
- (5) 美國橋梁能力綜合考量結構承載能力與安全(55%)、使用服務功能(30%)以及公眾服務重要性(15%)，並考慮替代道路距離、交通安全特性以及結構型式微調(13%)。其中，橋梁現況主要影響結構承載能力與安全，以及使用服務功能。而橋梁之承載能力需要由專業人員詳細評估。橋梁能力評等可作為維修或改建之優先順序之參考及美國聯邦政府預算經費編列及核撥之依據。此作法將橋梁檢測、性能評估以及維管決策串接起來。
- (6) 依據前面文獻回顧內容，美國 2010 年新頒佈之第 1 版「AASHTO Bridge Element Inspection Guide Manual」<sup>[20]</sup>將以 NBE 替代既有 CoRe Element，針對影響結構承載與安全性的主要構件改用對應損傷模式的現況缺陷標誌(Defect Flag 或 Smart Flag)來說明，有如針對主要構件於 D.E.R.&U.法中納入 A.B.C.D.N.法之精神，並以多段式模式(Multi-Path Model)評估不同損傷程度對應之損傷範圍，可減小人為判定變異性。
- (7) 橋梁管理系統納入風險管理模組以及多目標最佳化模組。

### 第三章 國內橋梁檢測作業規定與執行情形之探討分析

依臺灣地區橋梁管理資訊系統中統計，截至 99 年 9 月 6 日為止，正常使用的橋梁共 27,533 座(不含臺北捷運、高雄捷運及高速鐵路)，各主要橋梁管理機關所轄橋數如圖 3.1 所示<sup>[28]</sup>，中央機關以公路總局、高公局與鐵路局為主。本章除了說明交通技術標準規範「公路養護手冊」規定以外，亦將比較公路總局、高公局與鐵路局橋檢作業相關規定。

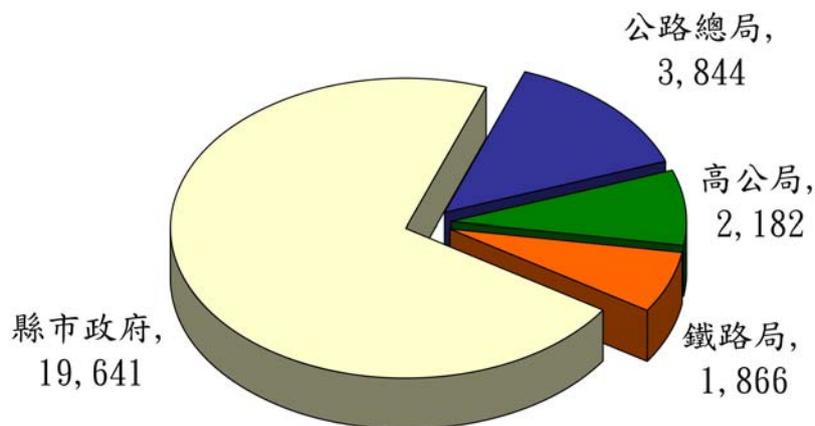


圖 3.1 臺灣地區主要橋梁管理機關所轄橋數統計

資料來源：參考文獻<sup>[28]</sup>。

#### 3.1 公路養護手冊

交通部公布的交通技術標準規範「公路養護手冊」<sup>[25]</sup>為相關單位於橋梁檢測作業執行有所依據，其附錄將公路設施分為：路基及邊坡工程、鋪面工程、橋梁工程、隧道工程、排水設施、交通安全設施、交控及通信設施、沿線路權內附屬建築物及機電設施及景觀設施及植生等九大類，並再細分為五十項檢查項目，此亦為目前公路總局橋梁檢測與養護之主要依據。其中，「公路養護手冊」對橋梁檢測之方式、頻率及攜帶器具等均有相關規定，亦彙整如表 3-1。

表 3-1 公路養護手冊橋梁檢測相關規定

項目	相關規定
檢測等級及辦理方式	<p>1.經常巡查 係平時實施之橋梁異狀、損傷檢測。檢測重點在於對用路人造成影響，需緊急維修之異狀、損傷。 平時巡查原則上以二人一組，共乘一部巡查車，由車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，應下車檢查。</p> <p>2.定期檢測 定時對橋梁所有構件實施全面檢測，及確認經常巡查記錄記錄之橋梁異狀、損傷。檢測重點在在掌握橋梁結構安全，早期發現構件之劣化程度並評估對橋梁功能損傷及其原因。定期檢測係利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。</p> <p>3.特別檢測 由天災(如颱風、豪雨、地震造成之災害)或人為破壞因素(如火災或車輛撞損主梁等人為損壞)引起之災害，致可能損傷橋梁結構所做之不定期檢測。 檢測重點在針對災後或事故後或其他目的，探討是否造成橋梁功能損傷及是否需維修、補強。</p>
檢測項目	<p>檢測可分為影響橋梁結構安全及影響交通安全兩方面。影響橋梁結構安全之構件主要有 9 項，影響交通安全者 11 項，不包括在此 20 項時另列為「其他」1 項，合計 21 項作為檢測評估項目。詳如下：</p> <p>1.影響橋梁結構安全之項目： 橋墩保護設施，橋墩基礎，橋墩墩體，支承墊，止震塊或防震拉桿，伸縮縫，主構件(大梁)，副構件(橫隔梁)，橋面版或鉸接版，計 9 項。</p> <p>2.影響交通安全之項目： 引道路堤，引道護欄，河道，引道路堤之保護設施，橋台基礎，橋台，翼牆或擋土牆，摩擦層，排水設施，緣石及人行道，護欄，計 11 項。</p> <p>3.其它： 供不在上述諸項，必要時使用，計 1 項。</p>
檢測表格	<p>在公路養護手冊<sup>[25]</sup>中提供橋梁基本資料表、橋梁定期檢測資料表、橋梁特別檢測評估表，分別如表 3-2、表 3-3 與表 3-4。</p>
檢測時機	<p>視公路之重要性及各養護單位之編制而異，原則上其檢查頻率如下：</p> <p>1.經常巡查： 參照第二章養路巡查相關規定辦理。</p> <p>2.定期檢測：</p>

項目	相關規定
	<p>檢測頻率視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位負責評估。原則上每二年至少檢測一次，惟橋梁跨徑超過一百五十公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、<math>\pi</math>型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工五年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第五年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則依照前述規定辦理。維護單位如計畫將某些特定橋梁之檢測間隔延長至四年，則應提出詳細計畫及資料，送經管理單位「橋梁檢測維護小組」核准。</p> <p>3.特別檢測：</p> <p>必要時。</p> <p>各公路管理單位得視其需要自行訂定檢測頻率。</p>
<p>檢測時應攜帶之器具</p>	<p>檢測時視需要選擇適當之工具及設備，並於檢測出發前做必要之整理或調整。為免遺漏，並應制作「攜帶工具及設備檢視表」，供行前逐項檢視。</p> <p>1.一般性工具可分為以下六類：</p> <p>(1)清潔工具：長柄掃帚、鋼刷、刮刀、平頭起子、鏟子等。</p> <p>(2)檢測工具：混凝土強度測試槌、鉛錘等。</p> <p>(3)協助目視檢測工具：紅外線望遠鏡、手電筒、放大鏡、染色劑等。</p> <p>(4)量測工具：鋼捲尺、游標尺、裂縫觀測鏡、裂縫觀測尺、量角器、溫度計等。</p> <p>(5)記錄工具：檢測報告表、記事本、三角板、照相機(廣角、近照、閃光燈及紅外線)、粉筆或標示筆等。</p> <p>(6)其他：潤滑油、防昆蟲藥、雨衣、醫藥箱、附工具袋之皮帶(裝檢測工具)等。</p> <p>2.特殊設備</p> <p>(1)測量儀器：特殊情況下，需使用經緯儀、水平儀、測杆等測量儀器，供測量構件間之定位。</p> <p>(2)非破壞性檢測儀器：為瞭解構件材料劣化情形，以評估構件劣化程度，必要時需使用非破壞性檢測儀器。非破壞性檢測包括混凝土反彈錘試驗或鑽心取模抗壓試驗，中性化氯離子含量試驗，裂縫檢測，比電阻檢測，鋼筋腐蝕電位速率檢測與保護層厚度檢測等，非破壞性之檢測由專業人員操作並進行檢測後之解讀。</p> <p>(3)水中檢測設備：檢測橋梁下部結構在水面下之構件，或檢查是否有河道淘空沖刷，則需水中檢測設備。若河道狹淺，可使用簡單之探測方法，如鋼筋、標竿等。若河道寬深，則需雇用潛水俠，攜帶必要之設備，如水中之照相機、探測水深設備、無線通話機等設備，協助水中檢測。</p>
<p>評估方法</p>	<p>橋梁檢測結果採用 D.E.R.&amp;U.方式評等 (參見表 4-3)</p>

資料來源：參考文獻<sup>[25]</sup>。

表 3-2 橋梁基本資料表(公路養護手冊表 A6)

製表日期： 年 月 日 修改日期： 年 月 日

維護單位		公路編號		里程樁號	
橋梁名稱		橋梁編碼		所在縣市	
基本資料					
竣工年度	民國 年	竣工月份	月	維修年度	民國 年
維修月份		月		維修月份	月
跨越物體		造價	萬元	設計載重	
幾何資料					
橋梁總長	M	橋梁淨寬	M	橋板面積	M <sup>2</sup>
橋墩高度		M		橋墩高度	M
大梁淨高	M	大梁寬度	M	大梁深度	M
總車道數				總車道數	
橋上淨高	M	橋下淨高	M	總橋孔數	跨
改道距離				改道距離	M
交通量	輛/日				
環境資料					
最大跨徑	M	其他跨徑			
最大跨距	M	其他跨徑			
計畫洪水 位記錄	M	計畫堤防 法線長度	M	計畫河 床高程	M
計畫堤頂 高程		地質 狀況		最低 水位	M
最高 水位				最高 水位	M
橋頭		橋頭		橋尾	
橋尾				橋尾	
結構資料					
結構型式		橋墩型式		基礎型式	
鋪面材質				鋪面材質	
主梁型式		橋台型式		橋台基礎	
防震措施				防震措施	
伸縮縫		翼牆型式		支承型式	
備註					

資料來源：參考文獻<sup>[25]</sup>。





監測及維護管理作業之依據。此外，為落實高速公路之橋梁檢測、評估、維修與補強工作，增訂「交通部臺灣區國道高速公路局橋梁檢測作業要點」<sup>[88]</sup>，詳細規範橋梁檢測項目、檢測等級、檢測頻率、檢測方式等，確實掌握橋梁現況，早期發現構件劣化及研析劣化原因，適時辦理維修與補強，以維持橋梁安全。

鐵路局為辦理鐵路橋梁安全檢查與維護工作，係依「1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範」<sup>[89]</sup>技術標準規範、「鐵路橋隧檢查作業要點」、「橋梁檢查及評估手冊」、「橋梁維修手冊」、「橋梁維修材料說明書」等，以為橋梁檢查、評估、維修、補強作業之依據。

如圖 3.1 資料顯示目前國內橋梁之管轄三大單位分別為公路總局、高公局及鐵路局，以下將進一步就這三個管理單位之橋檢作業執行規定，包括檢測人力、檢測種類、檢測頻率、檢測方式、檢測項目及檢測報表及評估等，以表 3-5 進行比較分析。

表 3-5 高公局、公路總局與鐵路局橋梁檢測作業規定比較表

	高公局	公路總局	鐵路局
檢測人力	1.各工務段必須至少指派一人為橋梁檢測專責人員。 2.橋梁檢測員任務 (1)辦理經常檢測。 (2)擬定委外辦理之橋梁定期檢測計畫、編列檢測預算及檢測時程。 (3)督導、考核轄區橋梁維修、補強業務。	1.養護監工站長、監工員每星期巡查所有養護路線至少一次。 2.工務段段長、副段長或指定養路工程司每月重點巡查一次，颱風、豪雨、地震後應辦理特別巡查。 3.養護區工程處副處長、養護課長或指定養路工程司每兩月巡查所有養護路線至少一次。	工務段指定主辦工程司、轄區監工、班長組成檢測小組。
檢測種類	1.經常巡查 (1)日間巡查 (2)夜間巡查 2.半年檢測	1.經常巡查 (1)日間巡查 (2)夜間巡查 2.定期檢測	1.平時巡查 2.定期檢查 3.定期複檢 4.安全檢測

	高公局	公路總局	鐵路局
	3.定期檢測 4.特別檢測 5.詳細檢測	3.特別檢測	5.臨時檢查
檢測頻率	<p>1.經常巡查 日間巡查每日一次；夜間巡查，每月至少一次。</p> <p>2.半年檢測 於每年4月及10月辦理。檢測當月該橋辦理「定期檢測」時，則該期「半年檢測」免辦，以該「定期檢測」替代。</p> <p>3.定期檢測 視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由工務段負責評估。每座橋梁每2年至少應檢測1次，惟橋梁跨徑超過150公尺或特殊型橋梁，如斜張橋、<math>\pi</math>型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。工務段如計畫某些橋梁之檢測間隔超過2年，則應提出詳細計畫及資料，送經工程處「橋梁小組工程處分組」核准，惟最長檢測間隔不得超過4年。</p> <p>4.特別檢測 颱風(地區侵襲)、豪雨(地區24小時累計雨量200mm以上)、地震(地區震度4級以上)等災害後，或火災、車撞等人為破壞後，可能損傷橋梁結構安全或行車安全，或其他臨時需所做之不定期檢測。</p> <p>5.詳細檢測 視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而</p>	<p>1.經常巡查 日間巡查，快速公路每週巡查至少兩次，其他公路每週巡查至少一次；夜間巡查，每月至少一次。</p> <p>2.定期檢測 視橋齡、交通特性、維護狀況及橋址環境等因素而定，由維護單位負責評估。原則上每2年至少檢測1次，惟橋梁跨徑超過150公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、<math>\pi</math>型橋或鋼拱橋等，每年應檢測一次。完工5年內之新建橋梁若無特殊情況，應自完工後之第5年進行第一次定期檢測，而後續之檢測頻率則依照前述規定辦理。於每年汛期前4月30日前完成檢查所有構件，並於汛期後每年11月15日前再辦理較易受颱洪影響之河道、橋台基礎、橋台、橋墩保護措施、橋墩基礎及橋墩墩體等6項之檢查，由轄管之工務段將轄內所有橋梁檢查完竣。</p> <p>3.特別檢測 天災(如颱風、豪</p>	<p>1.平時巡查 每月一次，各級養路人員依規定以步行或乘車或乘坐機車頭以目視巡查。</p> <p>2.定期檢查 每年10月~12月間由轄區之工務段指定主主辦工程司、轄區監工、班長等組成檢查小組，以步行目視檢查。</p> <p>3.定期複檢 每年1月~2月間由本局工務組橋隧課人員，並請工務段施工股、轄區道班等派員組成，對於工務段檢查結果評定結構功能有疑慮施予複檢，並按優先順序提列年度維修經費。</p> <p>4.安全檢測 就定期複檢結果，判定需要辦理進一步之詳細檢測者，委託技術顧問機構施以特殊儀器之檢測，並加以適當維修補強。</p> <p>5.臨時檢查</p>

	高公局	公路總局	鐵路局
	定，由工務段負責評估；經評估後水下構造物原則上每5年1次；經定期檢測評估須辦理者。	雨、地震4級以上造成之災害)或人為破壞因素(如火災或車輛撞損主梁等人為損壞)後立即辦理。	颱風、豪雨、地震災害後，或火災、車撞等事故後可能損傷橋梁結構安全或行車安全或其他臨時需做之不定期檢測。
檢測方式	<p>1.經常巡查 原則上以二人為一組，並攜備適當之器具，共乘一部巡查車輛，從車上以目力檢視高速公路各種狀況。若發現異常時，應下車詳查。有關鋪面、橋面、伸縮縫等之檢查，可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷公路之實況。</p> <p>2.半年檢測 以步行目視或以簡單之量測器具行檢測。</p> <p>3.定期檢測 以接近或望遠鏡目視橋梁構件，以目視或簡單量測器具或非破壞檢測儀器量測為原則，並依「公路橋梁一般目視檢測手冊」及「公路鋼結構橋梁檢測及補強規範」進行檢測。</p> <p>4.特別檢測 天災或人為事故後由橋梁檢測人員(必要時應增加人員協助)以目視或簡單之量測器具進行檢測。橋梁檢測人員應於天災或人為事故後，能安全到達現場作業，並先以電話回報初步檢視情形，以判斷後續交通管制措施之必要性，並在3工作天內完成檢測及製作檢測報告。</p>	<p>1.經常巡查 原則上以二人一組，共乘一部巡查車，由車上以目力檢視橋梁構造物各種狀況，若發現有可疑之處，應下車檢查。</p> <p>2.定期檢測 利用徒步或攀登方式或特殊機械車輛儘可能接近橋梁構造物，予以較詳盡之檢查，以鑑定橋梁構造物之安全情形。</p> <p>3.特別檢測 視需求而定。</p>	<p>1.平時巡查 各級養路人員以目視巡查。</p> <p>2.定期檢查 工程段檢查小組人員以目視或簡單量測器具步行檢測並依鐵路局橋梁檢查及評估手冊建立記錄。</p> <p>3.定期複檢 橋梁人員對工程段判定區分為A級(未來會有安全威脅之處)者進行目視檢測。</p> <p>4.安全檢測 定期複檢結果判定需更進一步詳細做破壞或非破壞檢驗者，進行委託顧問公司安全檢測。</p> <p>5.臨時檢測 事前或事後以目視檢查。</p>

	高公局	公路總局	鐵路局
	<p>5.詳細檢測</p> <p>以接近或接觸橋梁構件，以目視或簡單之量測器具或非破壞檢測儀器量測為原則，並依「公路橋梁一般目視檢測手冊」及「公路鋼結構橋梁檢測及補強規範」進行檢測。</p>		
檢測項目	<p>1.經常巡查</p> <p>伸縮縫、護欄、排水設施、交通安全設施及上下游規定禁採範圍內有無亂挖砂石。</p> <p>2.半年檢測</p> <p>伸縮縫、引道路堤、引道護欄、摩擦層、護欄、橋面版(每年至少一次)、主構件(大梁有無遭撞損或火害)、橋墩保護設施(防沖刷設施有無沖失、橋墩基礎是否裸露)、河道(橋梁附近護岸有無沖毀、橋梁上、下游規定禁止範圍內有無挖取砂石)、引道路堤之保護設施(護坡有無沖毀淘空)、橋台基礎、橋台、翼牆或擋土牆、排水設施(橋面進水口有無淤砂或雜物)等。每年4月得僅就河川橋及穿越橋作「主構件」、「橋墩保護設施」、「河道」、「橋台基礎」、伸縮縫共計5項之檢測。</p> <p>3.定期檢測</p> <p>橋墩保護設施、橋墩基礎、橋墩墩體、支承墊、止震塊及防震拉桿、伸縮縫、主構件(大梁)、副構件(橫隔</p>	<p>1.經常巡查</p> <p>伸縮縫、護欄、排水設施、交通安全設施及上下游規定禁採範圍內有無亂挖砂石。</p> <p>2.定期檢測</p> <p>引道路堤、引道護欄、河道、引道路堤之保護設施、橋台基礎、橋台、翼牆或擋土牆、摩擦層、排水設施、緣石及人行道、護欄、橋墩保護設施，橋墩基礎、橋墩墩體、支承墊、止震塊或防震拉桿、伸縮縫、主構件(大梁)、副構件(橫隔梁)、橋面版或絞接版及其它共計21項。</p> <p>3.特別檢測</p> <p>整體穩定性、上部結構、橋墩、橋台、基礎、引道擋土牆、橋台(引道)、支承、伸縮縫及附屬設施共計10項。</p>	<p>1.平時巡查</p> <p>橋梁周圍之環境變化及河川盜採情況。</p> <p>2.定期檢查</p> <p>橋梁各部分有無損壞等，橋墩、橋台基礎沖刷情況，橋下空間是否被佔用或堆置雜物。</p> <p>3.定期複檢</p> <p>對定期檢查結果判定為A級者進行進一步之檢測研判。</p> <p>4.特殊檢查</p> <p>(1)混凝土抗壓強度檢測</p> <p>(2)混凝土中性化檢測</p> <p>(3)混凝土氯離子含量檢測</p> <p>(4)混凝土裂縫檢測</p> <p>(5)鋼筋保護層厚度量測</p> <p>(6)鋼筋腐蝕程度檢測</p> <p>5.臨時檢查</p> <p>以災害或事故影</p>

	高公局	公路總局	鐵路局
	<p>梁)、橋面版或鉸接版、引道路堤、引道護欄、河道、引道路堤之保護設施、橋台基礎、橋台、翼牆或擋土牆、摩擦層、排水設施、緣石及人行道、護欄。</p> <p>4.特別檢測 視天災或人為事故造成橋梁構件劣化情形，或其他臨時需要檢測目的而定。</p> <p>5.詳細檢測 水下構件或定期檢測評估須辦理詳細評估之構件。</p>		響項目檢查
檢測報表	<p>1.經常巡查 「日間經常巡查報告表」與「夜間經常巡查報告表」。</p> <p>2.半年檢測 檢測結果填列於本局「橋梁管理系統」之「橋梁基本資料表」與「橋梁定期檢測資料表」。</p> <p>3.定期檢測 檢測結果應輸入本局「橋梁管理資訊系統」內之「橋梁基本資料表」與「橋梁定期檢測資料表」。並應撰寫定期檢測成果報告書內容包括緒論、工作項目及作業方法、目視檢測評估準則、橋梁安全檢測評估、維修補強建議、結論與建議等原則性，可參考「交通部橋梁檢測及契約範本」。同時評估後續詳細檢測之必要性。</p> <p>4.特別檢測 檢測結果應登錄本局「橋梁管理資訊系統」內，並列印應附表「交通部臺灣區國道高速公路局工程處橋梁特別檢測評估表」，陳報工程</p>	<p>1.經常巡查 「日間經常巡查報告表」與「夜間經常巡查報告表」。</p> <p>2.定期檢測 填寫「定期檢測資料表」。</p> <p>3.特別檢測 填寫「橋梁特別檢測評估表」後，儘速報局，其中應檢查對橋梁基礎有無沖刷淘空傾斜之情事或橋梁結構有無發生損壞裂縫、護坡護岸有無沖毀等，並應詳予記錄河川洪水位，作為日後修復工程之依據。。</p>	<p>1.平時巡查 目視有不正常情況，記錄於路線巡查記錄簿。</p> <p>2.定期檢查 依鐵路局橋梁檢查及評估手冊填表。</p> <p>3.定期複檢 同定期檢查。</p> <p>4.安全檢測 依實際委託項目辦理。</p> <p>5.臨時檢查 有異常狀況者做成紀錄。</p>

	高公局	公路總局	鐵路局
	處 1 份。 5. 詳細檢測 檢測結果應輸入本局「橋梁管理資訊系統」內。並應撰寫詳細檢測成果報告書內容包括緒論、工作項目及作業方法、目視檢測評估準則、橋梁安全檢測評估、維修補強建議、結論與建議等原則性。		
評估方式	評估方式基本上以 D.E.R.&U. 為主，公、鐵路鋼結構橋梁納入 A.B.C.D.N. 精神		

表 3-5 說明如下：

1. 人力部份，高公局有專責人員，定期檢測亦有委外辦理之制度；公路總局將橋檢視為業內工作，人力不足；而鐵路局則在安全檢測評估需要做破壞或非破壞檢驗者，委託顧問公司辦理。
2. 檢測種類的部分，公路總局依公路養護手冊規定，以 3 種類的檢查為主；高公局因高速公路系統特性，制定 5 種檢查種類，其中詳細檢測係對水下結構物及經定期檢測評估後須進一步辦理之構件或橋梁，進行詳細狀況評估。而鐵路局因應鐵路系統特性，亦制定 5 種檢查種類，其中也包括對定期檢查後之複檢，及約定特殊項目之安全檢查，以追縱確認鐵路橋梁狀況。
3. 檢測頻率的部分，頻率最高者為高公局經常巡查中的「日間巡查」，其次為公路總局平時巡查的週巡檢，算是相當高頻率的巡檢。其餘部分，三個單位之定期檢查平均一至兩年至少一次，以及在颱風、豪雨、地震等災害後，或火災、車撞等事故後可能損傷橋梁結構安全或行車安全或其他臨時安排臨時檢查或特殊檢查，以確保橋梁在天災或意外事件後之情況。

4. 檢測方式之部分，高公局的經常檢測及公路總局與鐵路局的平常巡查，均以目視巡查方式為主，並採用慢速行車或步行方式進行檢查。在定期檢測的部分，高公局會由工程處委請技術服務機構辦理；在鐵路局的安全檢測評估下需要做破壞或非破壞檢驗者，會委託顧問公司辦理。
5. 檢測項目與表格部分，三個單位對不同檢測等級均有其細項及表格之要求，但沒有完全統一之標準及格式。
6. 評估方式基本上以 D.E.R.&U.為主，公路鋼結構橋梁與鐵路鋼結構橋梁納入 A.B.C.D.N.精神。

### 3.3 評估方式

目視檢測法的目的在於對龐大數量的橋梁進行快速且統一標準的普查與篩選評估，由橋梁的重要性與安全性作為後續維護補強的排序，故檢測方式講求精簡、快速與客觀。綜觀國內外的目視檢測法對於評估橋梁劣化皆以該國特有的氣候、人文、地質與建築習慣發展出合適的評估系統，以構件的分類與劣化程度的評等方式而言，目前國內橋梁管理系統所採用的 D.E.R&U.評等法在執行上較符合快速精簡的精神，在記錄劣化狀況的同時也考慮到維修的迫切性，在整體橋梁評等的排序上也提供不同的狀況指標予以參考。詳細來說，D.E.R&U.評等法有下列幾項優缺點：

1. 僅針對劣化的構件予以評等，無須評估良好之構件，大量簡化檢測工作。
2. 此評等法強調精簡卻恐失客觀性，對於一般新手而言無一具體量化的評等標準可供參考，容易遺漏劣化狀況或流於檢測人員的主觀意識。
3. 劣化程度 D 值的判斷定義不夠明確，雖然高公局有另行編訂一般目視檢測手冊列表說明各種劣化現象之程度如何判斷，並舉辦職前訓

練，但對於非高公局的橋梁主管機關而言不一定會熟悉手冊的內容，若可加強訓練或類似 A.B.C.D.N.評等法作更明確的詳細說明與量化，則可增加此法的準確性。

4. 重要性 R 值的評估有賴工程經驗之判斷，對於一般公務人員或新進工程師而言可能會造成困擾，因此高公局亦在一般目視檢測手冊之中列表說明各種劣化情形的 R 值與 U 值判斷依據，但仍需做更進一步的說明。

A.B.C.D.N.評等法強調建立系統化的檢查架構，為避免遺漏任何檢測項目故針對各項分類之下又細分多種構件項目，且根據不同劣化型式列出評等標準並解釋說明與量化表示，可直接提供檢查人員參照勾選損傷等級並記錄說明文字，此法之優缺點有：

1. 以條列之方式列出檢查項目，對於新手來說不會有遺漏之虞且可幫助瞭解檢查重點，同時提供一致性的劣化評估標準。
2. 雖然 A~D 的評估準則內容包含對於劣化狀況的處置對策，但缺少對於劣化範圍的紀錄以及劣化對於結構安全的重要性考量，同時並未量化評等結果以致無法計算橋梁指標。
3. A.B.C.D.N.評等法未提供各種劣化狀況的維修工法與建議處置，此點於 D.E.R.&U.法即有具參考價值的維修建議一覽表，提供檢測員可迅速參考並提出對策。

目視檢測工作完成後，通常需要採用第 2.2.2.3 節之性能初步評估表篩選耐洪能力、耐震能力或承載能力有疑慮者，這些表格中，除了承載能力評估表以考慮橋梁自身重要元件之損壞程度為主，並考慮外力以及其他可能的異常現象，從內因、外因以及可能的變異性等方面，綜合評估承載能力以外，耐洪與耐震初評表主要考慮影響能力之不確定性來源作為評估項目，僅個別項目(例如：其他異常現象)與目視檢測結果所反應之橋梁現況有關，元件受損現況之權重相較承載能力評估表為低，未來在考量風險管理之可較深入探討。實務中，各單位所採

用之性能初步評估表並沒統一。

### 3.4 檢測項目

檢測執行項目包括橋梁目視檢查(一般檢測)以及橋梁特殊檢測，其中，特殊檢測項目包括：抗壓強度測試、中性化深度測試、氯離子含量測試、鹼骨材含量測試、鋼筋腐蝕速率檢測、預力鋼鍵腐蝕檢測、裂縫測度檢測、鋼材厚度檢測、鋼材裂縫檢測、鋼材耐候性測試、鋼材焊接或螺栓檢測等。

目視檢測則依 D.E.R.&U.或 A.B.C.D.N 之方式而有不同的檢測項目。

### 3.5 檢測表格

國內橋梁檢測目前以 D.E.R.&U.方式為主，對應之檢測表格如表 3-3 的內容。在交通部建置「臺灣地區橋梁管理資訊系統」中，對應之檢測表格如表 3-6 與表 3-7 所示，以表 3-6 為例，基本上是將表 3-3 的內容納入，但更為完整，該表格具有橋梁編號、名稱、地點、中心樁號、結構型式、橋孔數等項目，以記錄橋梁的基本資料，另外必須檢測的項目共計 21 項，其中第 1 至第 11 項為一般檢測項目，當檢測人員到達第一座橋梁時，應先對該橋梁進行此一般項目全面性的宏觀檢視，並將有缺陷的檢測項目，依據缺陷的程度、範圍及對整體橋梁安全及服務的影響性，分別填寫適當的值後，再針對每座橋孔進行第 12 至第 20 項檢測項目的檢視。

表 3-6 橋梁定期檢測資料表

橋梁定期檢測評估總表																												
橋梁名稱		橋梁編號		管理機關		工程處		工務段		竣工年月																		
所在縣市		所在鄉區		參考地標		道路等級		路線		里程樁號																		
橋梁總長		橋梁淨寬		總橋孔數		檢測日期		檢測單位		檢測員		單位主管																
檢測員意見		CI		PI		新 CI		新 PI		規範 PI		沖刷指標																
橋梁定期檢測評估子表(1/)																												
橋墩編號		本段橋長		總跨數		CI		PI																				
結構形式																												
檢測項目		評估值			檢測項目		評估值			檢測項目		評估值																
		D	E	R			D	E	R			D	E	R														
1.引道路堤	遠端				5.橋台基礎	遠端				9.橋面排水設施																		
	近端					近端					近端																	
2.引道護欄	遠端				6.橋台	遠端				10.緣石及人行道																		
	近端					近端					近端																	
3.河道					7.翼牆/擋土牆	遠端				11.欄杆及護牆																		
						近端					近端																	
4.引道護坡	遠端				8.摩擦層					21.其他																		
	近端																											
橋墩數	12.橋墩保護設施			13.橋墩基礎			14.橋墩墩體/帽梁			15.支承/支墊			16.止震塊/拉桿			17.伸縮縫			橋孔數	18.主構件(大梁)			19.副構件(橫梁)			20.橋面板		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R		D	E	R	D	E	R			
A001																												
A002																												
項目		位置		維修項目及工法						數量	單位	急迫性	附註															
N/A-無此項目				N/I-無法檢測				R/U-無法判定相關重要性				是否進一步檢測?(Y/N)																
評估等級 D				範圍 E				對橋梁之重要性 R				急迫性 U																
N/A	良好	尚可	差	嚴重損壞	U/I	局部	全面	R/U	小	大	例行維	3年	1年	緊急處理														
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4														
											護	內	內	修														
											1	2	3	4														

表 3-7 鐵路橋梁目視檢查表

橋梁一般檢測評估狀況報告表										道路名稱:				中心樁號:														
橋梁名稱:					檢測單位:					橋梁地點:				結構型式:														
檢測日期:					檢測員:					橋梁長度:				橋梁淨寬:														
建造日期:					橋孔數:																							
檢測項目		評估值			檢測項目		評估值			檢測項目		評估值																
		D	E	R			D	E	R			D	E	R														
1.欄杆及護牆		端遠			4.橋台		端遠			7.橋面排水設施																		
2.擋渣牆		端遠			5.翼牆/擋土牆		端遠			17.其他附屬設施																		
3.橋台基礎或沉箱		端遠			6.河道		端遠																					
橋墩號	8.橋墩基礎			9.橋墩墩體			10.支承墊			11.防震設施			橋墩號	12.避車台			13.維修走道			14.主構件(大梁)			15.隔梁系統(橫隔梁)			16.橋面版/鉸接版		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R		D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R			
項目	位置	維修項目及工法										數量	單位	急迫性	附註													
檢測員意見:																												
N/A-無此項目					N/I-無法檢測					R/U-無法判定相關重要性					是否進一部檢測?(Y/N)													
評估等級 D					範圍> E					對橋梁之重要性 R					急迫性 U													
N/A	良好	尚可	差	嚴重損壞	U/I	局部	全面	R/U	小	大	例	行	3	年	1	年	緊急	處理										
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	1	2	3	4										

檢測表格上除了記錄缺陷外，檢測員還可以在修復工法表上選擇適當的修復工法，並填寫預估的修補數量、單位及修復的急迫性。修復工法不需檢測員詳細逐字填寫，可從各檢測項目的修復工法表中選取即可，若系統選單上無所需工法，仍可讓使用者自行視需要新增，最後再填寫檢測員對該座橋梁的整體意見，以提供橋梁管理維護人員更多的資訊。若檢測員認為自己的能力無法判定某些檢測項目，或是必須配合進一步的破壞性或非破壞性檢測時，可在右下角的"是否需要進一步檢測"中填寫"是(YES)"，則檢測單位應派資深工程師再至現場就該項目進行檢測，或安排進一步的特殊檢測。

### 3.6 檢測等級

公路橋梁檢測可依時效性分為經常巡查、定期檢測與特別檢測等，基本上照前一節之規定辦理。有關特別檢測的部分，公路總局在颱風豪雨或地震後之檢測標準及內容則如表 3-8 及表 3-9<sup>[16]</sup>。

表 3-8 颱風豪雨後特殊檢測標準及內容

	標準	內容	檢查表格
特別巡查	1.最近水位站達3級警戒水位 2.雨量站達豪雨130mm以上	橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。	1.公路養護手冊表 2-2「巡查項目及注意事項」 2.公路養護手冊表 2-6「特別巡查報告表」
特別檢測一	1.最近水位站達2級警戒水位 2.雨量站達豪雨200mm以上	橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。	公路養護手冊表 A-8「橋梁特別檢測評估表」
特別檢測二	1.最近水位站達1級警戒水位 2.雨量站達豪雨350mm以上	檢測所有橋梁	公路養護手冊表 A-8「橋梁特別檢測評估表」

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

表 3-9 地震後殊檢檢測標準及內容

標準	內容	檢查表格
震度 4 級地區	特別巡查橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。	1. 公路養護手冊表 2-2 「巡查項目及注意事項」 2. 表 2-6 「特別巡查報告表」
震度 5 級地區	特別檢測橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。	公路養護手冊表 A-8 「橋梁特別檢測評估表」
震度 6 級地區 (含以上)	特別檢測震區所有橋梁。	公路養護手冊表 A-8 「橋梁特別檢測評估表」

資料來源：參考文獻<sup>[16]</sup>。

高公局在「高速公路養護手冊」技術規範<sup>[87]</sup>中，於橋梁檢測類別中規定特別檢測為颱風(地區侵襲)、大豪雨(地區 24 小時累計雨量 200mm 以上)、地震(地區震度 4 級以上)等災害後，或火災、車撞等人為破壞後，可能損傷橋梁結構安全或行車安全，或其他臨時需要所做之不定期檢測，並將檢測結果列印於「交通部臺灣區國道高速公路局工程處橋梁特別檢測評估表」。

「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」<sup>[47]</sup>對特別檢測規定為橋址發生地震災害、土石流災害、水災、火災及其他重大事故後之災害後檢測，對各類型災害之特殊檢測要求如表 3-10。

表 3-10 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範特別檢測相關規定

類別	檢測對象	檢測目的
地震後特別檢測	對位於災區範圍內之橋梁結構物進行。	依震害程度可包括以下三個階段： 1. 震後緊急勘查：儘速掌握橋梁主要受害概要及防止二次災害。 2. 搶修階段之檢測：掌握全盤性受災狀況，並據以判斷是否須進行搶修並決定復舊方針。 3. 復舊階段之檢測：為進行復舊工作所進行之檢測。

類別	檢測對象	檢測目的
土石流災後特別檢測	對位於土石流活動區範圍內之橋梁結構物進行。	了解淤埋、沖刷、磨損、堵塞、撞擊、彎道沖毀及坡岸崩塌等對橋梁之危害程度。
水災後特別檢測	對位於災區範圍內之跨河橋梁結構物進行。	了解河道變遷、沖刷、淤積、基礎裸露、撞擊等對橋梁之危害程度。
火災後特別檢測	對火災影響範圍內之橋梁進行。	了解火災對橋梁構件產生之劣化與變形及其影響。
其他重大事故後之特別檢測	對受重大事故(如山崩、地滑、意外撞擊及橋梁無預警之損害)影響之橋梁進行。	了解重大事故災害對橋梁使用安全的影響。
河川橋梁下之水下特別檢測	常水位以下之河川橋梁基礎。	視需求而定。

資料來源：參考文獻<sup>[47]</sup>。

此外，各檢測等級依所使用的方法可分為一般檢測及特殊檢測，分別說明如下：

## 1. 一般檢測

一般檢測是利用目視的方式對整座橋梁做全面性的檢查。檢測過程中視需要於重要部位、破裂部位、缺陷或異常現象部位拍攝照片，以為爾後研判之參考，另以數量化步驟對各個構件進行評估，以建立橋梁現況之基本管理資料，最後依權重分配得到橋梁的綜合評估。

目視檢測之最大優點是執行容易、省時且耗費不多，但缺點是此法易拘泥於檢測者之主觀意識，所評估之結果有時與現場儀器檢測或載重實驗有甚大之差異。因此，目視檢測之評估結果只可作為橋梁現況之參考值，但無法完全正確的反應結構性能。

## 2. 特殊檢測

橋梁一般檢測(目視檢測)由於對結構物未具任何破壞作用、簡

單、容易應用、很快有結果且費用較低，因此是最常被利用的檢測方式。但是目視檢測無法深入了解結構物內部之真正情況，因此在檢查完成後，通常選擇整體狀況較差之區域或功能異常的部份進行非破壞或部份破壞性檢測，以鑑定結構體混凝土及鋼筋品質、對所見之缺陷或異常現象檢測其缺陷範圍及劣化程度，並推論其主要肇因，作為進一步評估與養護工作的依據。特殊檢測是利用現場實驗的方式來了解橋梁現存狀況之最直接的方法<sup>[32]</sup>，依其性質可分為非破壞性檢測(參見第 2.2.2.4 節)及部分破壞性檢測(參見第 2.2.2.5 節)兩種。

就橋梁整體的結構檢測而言，無論是非破壞性或是部份破壞性之檢測，皆有其優缺點，應利用各種方法相互驗證以達成檢測的目的。一般而言，非破壞性檢測可在現場立即完成，而且可以重複施測或是迅速移到下一點位進行試驗，當在一些特殊部位或是非破壞性檢測無法進行時，才施以破壞性的試驗。

### 3.7 檢測時機

目前中央機關執行公路養護作業係依據「公路養護手冊」辦理，所稱公路，係指「公路法」所界定之國道、省道、縣道、鄉道及專用道路。該手冊適用於中華民國轄內各級公路養護主管機關之養護作業；縣、鄉道之養護，得參考該手冊規定，視實際需要酌予調整後施行。目前各公路管理單位依據該手冊規定原則，視各自需要自行訂定檢測頻率，執行情形簡述如下：

1. 高公局每年於 4 月(防汛期前)及 11 月(防汛期後)辦理半年檢測。檢測當月該橋辦理「定期檢測」時，則該期「半年檢測」免辦，以該「定期檢測」替代。
2. 交通部公路總局於 87 年 8 月訂定「平時養路巡察重點」，規定每年 4 月 30 日前由轄管之工務段將轄區內所有橋梁檢查完竣，並於 5 月 15 日前將檢測結果報局，因河道、橋台基礎、橋臺、橋墩保護

措施、橋墩基礎及橋墩墩體等 6 項易受颱風影響，於 11 月 15 日前再辦理檢查。

3. 交通部臺灣鐵路局管理局訂定「鐵路橋隧檢查作業要點」第 1.1.3 定期檢查每年 10 月～12 月間辦理。
4. 臺北市政府依據「臺北市市區道路管理規則」第 27 條規定，橋梁、涵洞、隧道、地下道各部結構及功能，主管機關應隨時作必要之維護與改善，每年至少應作安全檢查一次。
5. 高雄市政府依據「高雄市市區道路管理自治條例」第 24 條規定，市區道路主管機關，對於橋梁、涵洞、隧道及地下道各部結構及其功能，每年至少應作安全檢查一次，並作必要之維護與改善。
6. 彰化縣依據「彰化縣市區道路管理規則」第 18 條管理機關對於橋梁、涵洞、隧道或地下道各部結構及附屬之照明、通風或排水設備，每年應作定期安全檢查，並經常作必要之維護。

因此，執行橋梁檢測作業之工程師首要工作，應檢視所屬機關，相關橋梁檢測作業規定、辦法或公文，擬定編列契約的依據。

委外辦理之橋梁檢測工作，管理單位希望能夠在年度開始後立即辦理，以便及早檢視橋梁現況，因應汛期來臨前作備災的準備，維修補強設計與作業方能儘速完成，同時確保如期完成預算執行或補助款項的期程，避免經費撤銷或預算執行不力等困擾。

### 3.8 檢測人力

目前國內橋梁管理單位都有負責橋梁檢測之相關人員，可能是專職或兼任，各單位人員編制數量不一，大多為 1 人，僅少數單位超過 3 人，橋檢人力普遍不足。

### 3.9 儀器設備

一般可以區分為標準工具、特殊裝備與協助檢測之機具，茲說明如下：

#### 1. 標準工具

為了能執行準確及範圍廣泛的檢測，必須要配備適當的工具，現場檢測時主要的工具如下：

- (1) 清用的工具如長柄掃帚、鋼刷、刮刀、平頭起子、鏟子等。
- (2) 檢測用的工具如小刀、敲擊錘頭(帶有皮握把)、鉛垂、工具皮帶附袋子。
- (3) 協助目視檢測的工具如望眼鏡、手電筒、放大鏡、檢測鏡子、染色滲透液。
- (4) 量測工具如捲尺、卡尺、裂縫觀測鏡、厚薄觀水平尺及量角器、溫度計。
- (5) 文件記錄工具、檢測表格、現場記事本、三角板、照相機、廣角照相機、粉筆及標示器、中心打孔器。
- (6) 其他設備：C型夾、潤滑油、防昆蟲的雨衣、醫藥箱等。

#### 2. 特殊裝備

對於一般橋梁的定期檢測並不需要用特殊裝備。但是對於一些特別的橋梁或者特殊檢測作業則需要這些配備，檢測員亦須了解特殊裝備及其應用。

##### (1) 測量儀器

特殊的環境之下，也許要使用經緯儀、水準儀、丈量桿或其他測量儀器，這些儀器可以定出某構件相對於其他的構件的正確位置。特別是在定參考點時將會使用到。

## (2) 非破壞性試驗儀器

顧名思義非破壞性檢測係在現場進行的材料試驗以確認結構體的完整性，而不需要破壞材料。非破壞性試驗可以讓檢測員了解到橋梁桿件的內部劣化情形，同時進行缺陷的評估。通常一般非破壞性試驗係由受過專業訓練的技術人員來操作，並且說明及解釋其結果。

## (3) 水中檢測設備

水中檢測主要是在檢查下部結構在水面以下的部份，河道的狀況，還有淘刷的情形。如果河道狹淺，可以使用簡單探測方法，例如鋼筋、標桿、捲尺或一根木頭等。河道深的話得僱用潛水俠進行水中檢測。並且需要配備特殊的裝備例如工作平台、回音測聲儀、透地雷達、空氣供應系統、通訊設備、測水深設備等。

## (4) 其他特殊設備

有些橋梁檢測需要事先配置特殊的設備包括

- a. 高壓空氣/水的設備
- b. 噴砂設備
- c. 燃燒、鉗孔及研磨設備

## 3. 協助檢測之機具

不論使用何種類型的簡單設備，對於高大橋梁，其攀登範圍總是有限。這些難於到達的部位，可利用一台能夠伸縮、俯仰、進退、旋轉，並且可在橋上行走的機具協助檢測，這種協助檢測的機具目前大致有以下幾種類型：

### (1) 鉸式升降機型

典型之鉸式升降機，這種類型的裝備特別適用於對狹窄部

位(如支座)的檢查和對一般中、小型高架橋的檢查。

### (2) 工作平台型(Mobile Scaffold)

這種裝備特別適用於寬度在 30m 左右的橋梁，臂桿可以跨出橋梁欄桿向下伸下 8m，工作平台伸進橋孔可達 16m，可以將上部構造的底面全部檢視無遺。工作平台自身可以升降，而平台上還可以再裝設能行走升降的工作籃，所以對上部構造的懸挑部分或斷面很高的箱形梁或 T 型梁都可以毫無遺漏地進行檢查。

### (3) 多吊臂桿型(Snooper)

是一種由多節臂桿組成的檢查機械，臂桿可作 360° 旋轉，可檢查到橋梁的每個角落，其尾端可從只一個人站立之籃筒到可同時站立數人之平台。

## 3.10 檢測經費

管理單位橋梁檢測相關經費基本足夠，但較詳細之檢測評估或改善經費有不足情形，除了受地方政府首長施政重點影響以外，地方考量經濟發展而有橋梁拓寬需求恐不在中央機關基於安全性之預算考慮範圍內。

管理單位橋梁檢測經費初估方式包括：

1. 收集機關內相關類似案件(中央單位之各工務段)
2. 參考其他單位的預算(地方政府之相鄰縣市政府)
3. 善用臺灣地區橋梁管理資訊系統資訊
4. 委外辦理之經驗

經由以上方式均可概算經費，然而實際的預算編列，仍須視各地方特色及實際工作內容有所差異。有足夠經驗後，未來辦理類似情形再適度的調整或修正，編列的預算會愈來愈精準。

### 3.11 辦理方式

隨著政府組織再造，朝向精簡、小而美的方向進行，全國各公路主管機關的檢測工作，除中央政府少數單位可自行辦理檢測工作，大部分地方政府都因人力不足而需委外辦理。而橋檢作業特別是劣化程度判定之技術層次較高，即使是中央單位，亦可能會有部分工作委外辦理之需求。

一般橋梁檢測作業之工作內容與方法，整理如表 3-11 所示，至於非破壞性檢測等工作需求乃視個案需求而定，因此未列入該表中。

表 3-11 一般橋梁檢測作業內容與方法

主要內容	作業方法
資料蒐集(測量)建檔、分析與研判	建立各橋梁基本資料 初步了解各橋梁可能發生的的破壞模式 資料不足時，以測量方式補充，並納入基本資料庫
結構體各構件現況評估 檢查表建立	建立橋梁檢測表格
損壞構件數量、位置詳圖繪製及實況相片攝製	動員檢測、橋梁座標量測 依據檢測表格所示，將各橋梁的損壞情況及數量記錄及照相，並繪製位置詳圖
細部結構狀況評估	將各橋梁的細部結構逐一詳述並完整記錄 作為日後維修補強的參考
資料庫建置	完成基本資料庫的建置

對於橋梁的檢測作業，自辦橋檢工作的管理單位多以抽查方式確保工作落實，以評鑑制度加以鼓勵；委外辦理者，配合抽查、審查與契約之罰則來確保品質。委外辦理者，依據政府採購法辦理公開招標與限制性招標。公開招標係以公告方式邀請不特定廠商投標，訂有底價之採購，以合於招標文件規定，且在底價以內之最低標為得標廠商。限制性招標係依據採購法第 22 條第 1 項第 9 款之限制性招標，經公開客觀評選者後議價，以技術服務廠商評選方式辦理。例行性的檢測工

作以公開招標為原則，若有特殊情形，會以技術服務廠商方式辦理。廠商的資格為合法登記之工程顧問公司、學術研究機構、土木技師事務所、結構技師事務所。檢測內容可能包括：基本資料建檔、巡查、定檢以及特別檢測。

### 3.12 人員資格與培訓

相關規範<sup>[47]</sup>或書籍<sup>[51]</sup>對檢測人員資格僅有建議，沒有規定學歷、資歷、證照等資格限制，橋梁管理單位可能有評鑑制度鼓勵，而委辦廠商相關人員則由外聘委員認定及評選機制篩選。

「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」<sup>[47]</sup>除了於條文中明確規定非破壞檢測人員資格符合 CNS13588 「非破壞檢測人員資格檢定與授證」中之規定以外，對檢測及評估與補強設計人員資格僅要求管理機構認可，並於解說中提供如下建議：

1. 橋梁檢測人員應具土木技師或結構技師資格，或經管理機關認可之橋梁檢測訓練合格者。但在本規範頒布實施日起五年內得經管理機關同意以下列人員替代之：
  - (1) 大學土木相關科系畢業，具一年以上鋼結構橋梁工程之相關實務經驗者。
  - (2) 專科土木相關科系畢業，具三年以上鋼結構橋梁工程之相關實務經驗者。
  - (3) 高工土木相關科系畢業，具五年以上鋼結構橋梁工程之相關實務經驗者。
2. 評估與補強設計人員應具土木技師或結構技師資格，或經管理機關認可之橋梁評估與補強設計訓練合格者。但在本規範頒布實施日起五年內得經管理機關同意以下列人員替代之：
  - (1) 大學土木相關科系畢業，具三年以上鋼結構橋梁工程之相關實

務經驗者。

- (2) 專科土木相關科系畢業，具五年以上鋼結構橋梁工程之相關實務經驗者。
- (3) 高工土木相關科系畢業，具八年以上鋼結構橋梁工程之相關實務經驗者。

「橋梁檢測方法與應用」<sup>[51]</sup>對定檢執行人員資格建議如下：

1. 目視檢測作業人員：土木相關科系畢業且具三年以上橋梁工程相關經驗；
2. 非破壞檢測作業人員：特殊檢測項目之非破壞檢測人員符合 CNS13588「非破壞檢測人員資格檢定與授證」中之規定。

交通部運研所於每年度定期委外辦理相關講習會，例如橋梁檢測評估與維修人員訓練講習或近期的橋梁維護管理訓練講習課程，前者以橋梁檢測作業技術為主，後者除了橋梁檢測以外，還涉及橋梁安全相關課題，每年度課程內容與講師安排可能不同。對講師資格、課程內容及對應時程要求沒有特別規定，也沒有考試規定。

## 第四章 現地檢測作業問題點與檢測結果變異性

本研究規劃現地檢測一座橋梁實施目視檢測，提出檢測作業問題點及探討不同檢測人員檢測結果之變異性。以下就橋梁檢測會產生差異的問題點進行彙整，後續建議評估檢測結果變異性的方法，最後利用所建議方法對現地檢測評估數據進行分析與探討。

### 4.1 現地檢測作業問題點

一般來說，現地橋梁檢測結果出現差異性的主要問題來源可能來自於以下幾點：

#### 1. 主觀認知差異

由於橋梁目視檢測判定的主觀性強，如 D.E.R.&U.評估方式往往透過檢測人員的主觀判定，由於每位檢測人員的感知性不同，即使遭遇相同的橋梁損傷情況，不同檢測人員也會存在認知差異，此為橋梁檢測結果出現差異的最主要來源。

#### 2. 專業檢測教育訓練與否

檢測人員是否受過專業檢測教育訓練，會影響檢測評估結果。也就是說，同一位檢測人員在受專業檢測教育訓練前後，對同一座橋評估之結果即可能產生歧異。因此，所有橋梁檢測人員都會要求經過專業檢測教育訓練，以降低橋梁檢測評估結果的差異。

#### 3. 經驗程度差異

不同經驗程度的檢測人員，可能對同一座橋的檢測評估結果產生差異，此為經驗差異所造成的影響。經驗不足的檢測人員往往只能看到及記錄橋梁的表面狀況，尤其當橋梁損壞狀況不明確，經驗不足的檢測人員對橋梁受損情況及急迫性往往無法判定；相反地，經驗豐富的檢測人員，不僅記錄橋梁的表面狀況，更可藉由這些記

錄間接或直接判讀橋梁的功能性是否正常。

#### 4. 檢測表中項目定性描述是否足夠、清楚

目視檢測表中內容大多以定性文字敘述，未有圖片輔助。因為不同檢測人員對文字解讀不同，或無法對照文字敘述與現地狀況時，也會讓不同的檢測人員產生不同的評估結果。除此之外，沒有經驗的檢測人員對橋梁部位不了解時，也會對評估結果應於檢測表格中之填寫位置產生困擾。

#### 5. 依循準則是否一致

以國內目視檢測評估方法採用的 D.E.R.&U.評估準則為例，在「公路橋梁一般目視檢測手冊」與「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」中的評估準則，對劣化程度(D 值)的判定與評估方式有些微的差異。在「公路橋梁一般目視檢測手冊」中，D=1 代表該構件的狀況良好，故不需填寫劣化範圍(E 值)及劣化現象對橋梁的影響度(R 值)，僅在  $D \geq 2$  時，才需填寫 E 跟 R 值。而在「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」評估準則中，D=1 代表檢測構件狀況良好或輕微損傷，所以檢測人員必須再填寫 E 跟 R 值。另外，「公路橋梁一般目視檢測手冊」僅填單一構件指標，而「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」則有單一構件不同劣化模式之檢測項目。此外，檢測表格填寫之方式，對無此項目、無法檢測等檢測項目，會有「D、E、R 欄位均填寫 0」、「D、E、R 欄位保持空白」、「無此項目時 D 欄位填寫 0，其它保持空白；無法檢測時 E 欄位填寫 0，其它保持空白」等不一致的情形發生。若檢測作業人員採用不同的準則依據，也會有不同的評估結果。但此點可透過制定統一評估準則標準，以避免檢測人員產生混淆或增加誤判的風險。

#### 6. 現地檢測作業可能遭遇之其它情形

除了上述主要的問題點之外，檢測人員於現地檢測時可能遭遇的其它情形，探討如下：

(1) 編號順序混亂

橋梁現地目視檢測及填寫 D.E.R&U 檢測表時，需先辨識橋梁方位，以確認橋頭、橋尾位置及橋孔編號，再逐跨進行損傷評估及記錄。惟經驗不足之檢測人員，可能無法正確判定橋梁方位，而使損傷記錄順序混亂。雖然對整體橋梁評分不會產生影響，但對後續採取維修補強措施時，會導致維修補強人員對修補構件產生困惑及困擾。

(2) 現地 GPS 座標與橋梁管理系統橋梁資料不符

在橋梁管理系統已有基本資料及橋檢記錄之橋梁，再次進行橋檢時，可能會遇到現地 GPS 定位座標與橋梁管理系統記載橋梁基本資料之座標不符之情形。為能正確辨識橋梁之橋頭、橋尾位置及橋孔編號等，除 GPS 定位外，一般可利用公路里程數辨識橋頭與橋尾，即里程數較少端為橋梁起始端(橋頭)，反之為橋梁終止端(橋尾)，而橋孔編號隨里程數增加之方向而增加。

(3) 缺乏竣工圖說

一般橋梁檢測會配合竣工圖說檢視橋梁狀況，然而當竣工圖說並未刊載或因故遺失，可能對橋梁檢測評估造成影響。例如檢測沖刷嚴重之橋梁，經驗不足人員無竣工圖輔助時，對沖刷裸露部分無法分辨是「橋墩基礎」或「橋墩保護措施」，兩者損傷對結構安全性影響差異甚大。

(4) 構件部位不易檢測

橋梁現地檢測需搭配合宜的檢測工具與環境狀況，否則可能影響檢測。例如高橋墩支撐墊不易檢視，需搭配望遠鏡或橋梁檢測車輔助，否則不易辨識該構件狀況；例如天候不佳或檢測環境亮度不足會直接影響目視檢測判定，需挑選合宜氣候情況實施檢測作業；例如橋墩基礎理應埋設於地表下方，若無裸

露情形，一般難以觀測橋墩基礎狀況，而有經驗的檢測人員則會利用上方橋墩是否有傾斜、橋面與欄杆是否有不均勻沉陷等情形，綜合判定橋基礎狀況。

由上述討論可知，國內橋梁檢測是透過檢測人員的主觀判定，即使透過評估準則統一，及定期教育訓練與檢測圖說輔助，仍存在主觀認知不同、經驗程度差異之影響，也會受到地理環境是否方便檢測影響，因此，現地檢測結果勢必存在不確定性(uncertainties)，導致檢測結果具有變異性。在下一節將基於工程統計理論，提出表示檢測結果與檢測構件變異性的指標。

## 4.2 變異性探討方法

以下先就本研究變量及使用符號定義後，再探討變量之變異性。

### 4.2.1 變量定義

利用 D.E.R.&U.評估方式進行橋梁檢測時，不同檢測人員受到上一節所述問題點影響，讓檢測結果(D、E 及 R 值)具有不確定性。因此，我們可以合理假設 D、E 及 R 值為離散隨機變量(discrete random variable)。離散定義係根據 D.E.R.&U.評估的 D、E 及 R 值均為 0、1、2、3 與 4 的有限數值(分別對應不同情況等級)；而該結果隨不同檢測人員而產生差異，因此使檢測結果具備變量特性。以下將就橋梁檢測的相關變量定義與考量說明如下：

1. 由於橋梁檢測需對不同構件(如引道路堤、橋墩…等)實施目視檢測，因此，令  $D_i$ 、 $E_i$  及  $R_i$  分別表示對橋梁構件  $i$  的嚴重程度、劣化範圍、及對橋梁結構安全性與服務性影響度。
2. 因為不同檢測人員對同一構件  $i$  的  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  會有不同的檢測結果，且 D.E.R.&U.評估方式對  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  值設限為 0、1、2、3 與 4。因此可合理假設  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  為離散隨機變量。

3. 計算橋梁評估指標時，會依狀況指標 CI 或優選指標 PI 的不同，再利用  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  評估構件  $i$  的狀況值  $Ic_i$  (如計算 CI 指標時係利用式 2.5 與式 2.6 計算)，因此  $Ic_i$  為整合構件  $i$  損傷程度、範圍與影響度之資訊指標，且為隨機變量。
4. 假若由  $N$  名檢測人員對同一座橋梁進行目視檢測，並取得  $N$  份 D.E.R.&U. 檢測結果。因此，再分別令  $D_{i,k}$ 、 $E_{i,k}$  與  $R_{i,k}$  為第  $k$  位檢測人員 ( $k=1, \dots, N$ ) 對構件  $i$  的檢測記錄，而  $Ic_{i,k}$  則表示為第  $k$  位檢測人員計算構件  $i$  的狀況值。

#### 4.2.2 變異性分析

根據工程統計理論，隨機變量  $D_i$  的期望值(expected value) $E[D_i]$  與變異數(variance) $Var[D_i]$  可如下計算<sup>[90]</sup>：

$$E[D_i] \approx \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{D}_{i,k} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$Var[D_i] = E[(D_i - E[D_i])^2] \approx \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (\hat{D}_{i,k} - E[D_i])^2 \dots\dots\dots (4.2)$$

其中，期望值  $E[D_i]$  表示變量  $D_i$  的平均數；變異數  $Var[D_i]$  描述變量  $D_i$  的離散程度，也就是該變量離期望值的距離；而  $\hat{D}_{i,k}$  為實際觀測資料。同理可估算期望值  $E[E_i]$ 、 $E[R_i]$  及  $E[Ic_i]$  與變異數  $Var[E_i]$ 、 $Var[R_i]$  及  $Var[Ic_i]$ 。

重要的是，由於  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  的值域相同，因此變異數  $Var[D_i]$ 、 $Var[E_i]$ 、 $Var[R_i]$  表示對  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  的記錄變異性(若值域不同，需經正規化程序方可比較)；而  $Var[Ic_i]$  與  $Var[Ic_j]$  ( $i \neq j$ ) 表示檢測人員對不同構件的記錄變異性。換言之，若構件  $i$  的  $Var[D_i]$  值最大，表示檢測人員對構件  $i$  「劣化程度評估」具最大差異；同理，若構件  $i$  的  $Var[Ic_i]$  值最大，表示檢測人員對構件  $i$  「綜合評估」具最大差異。

## 4.3 案例探討

為落實橋梁檢測變異性探討，本計畫選定座落於南投縣國姓鄉省道上之跨河橋梁進行目視檢測作業。為反應不同經驗程度的檢測人員對檢測結果的變異性，本研究規劃依實際檢測經驗為 2 年以內、2-5 年、5 年以上分為三個組別，共計 30 人利用 D.E.R.&U.評估方式進行目視檢測與評分。

### 4.3.1 現地檢測橋梁說明

本計畫選定橋梁基本資料為：於民國 74 年竣工完成，橋齡約 27 年，係座落於南投縣國姓鄉跨越烏溪的臺 14 線上，重車交通頻繁，其長約 160 公尺(總橋孔數 4，每跨 40 公尺)、寬約 16 公尺，其中上部結構簡支預力 I 型梁構造，橋面板厚約 15 公分，下部結構為混凝土壁式橋墩三根。蒐集分析竣工資料、建立好檢測表格、統一採用『橋梁目視檢測評估手冊(草案)』標準、備妥工具後，至現場進行座標量測以及各項目檢測，完成填表。

### 4.3.2 變異性分析結果

以下利用 30 位檢測人員對上述橋梁進行 D.E.R.&U.的評估數據，進行變異性分析與探討。

#### 1. 檢測結果變異性分析與探討

本案例構件  $i$  的  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  的變異性分析結果分別如表 4-1、表 4-2 及表 4-3 所示。其中，為比較不同年資組別對  $D_i$ 、 $E_i$  與  $R_i$  的變異性，各表依「2 年以內」組別、「2-5 年」組別、「5 年以上」組別及總資料(「Total」欄位)進行區分，並依總資料分析之期望值與變異數進行排序。除此之外，因為本研究對象無「緣石與人行道」項目，因此各表中對應項目「-」表示無資料。從各表的資料分析結果顯示：

- (1) 表 4-1 顯示劣化程度 D 變異性較大的構件包括：劣化損傷明顯的構件、受檢測工具是否齊備或構件檢測難易度影響的構件。
- (2) 表 4-2 顯示劣化範圍 E 變異性較大的構件包括：受檢測工具是否齊備或構件檢測難易度影響的構件。
- (3) 表 4-3 顯示劣化影響度 R 變異性較大的構件包括：影響安全性或使用性的構件、劣化損傷明顯的構件。
- (4) 依表 4-1、表 4-2 及表 4-3 中，D、E 及 R 之平均變異數，依不同年資組區分結果顯示：2 年以內組別之平均變異數均最小，而 2-5 年組別與 5 年以上組別之平均變異數均差異不大，可能因為 2 年以內組別受限於經驗不足，不易由微小缺陷辨識橋梁隱藏損傷，因此檢測結果變異較小。
- (5) 依表 4-1、表 4-2 及表 4-3 中，D、E 及 R 之平均變異數，依 D、E 及 R 區分結果顯示：
  - a. D 的平均變異性最小，可能原因為 D 相對 E 及 R 有較明確的判定準則。
  - b. R 的平均變異性次之，變異性主要受人員素質與主觀判定影響。
  - c. E 的平均變異性最大，雖然 E 有定量的判定準則，可能因沒有經過詳細度量，其變異性反而較大。

表 4-1 仙人橋 D 值檢測期望值與變異數

檢測項目	期望值					變異數				
	<2	2-5	>5	Total	排序	<2	2-5	>5	Total	排序
引道路堤	1.9	1.6	1.9	1.80	7	0.54	0.49	0.54	0.51	6
引道護欄	1.7	2.1	1.8	1.87	5	0.23	0.10	0.40	0.26	16
河道	1.3	1.4	1.2	1.30	13	0.68	0.49	0.18	0.42	7
引道護坡- 保護措施	1.6	1.2	1.1	1.30	14	0.27	0.18	0.32	0.29	15
橋台基礎	0.3	0.1	0.1	0.17	20	0.23	0.10	0.10	0.14	19
橋台	1.2	1.8	1.4	1.47	11	0.18	0.40	0.49	0.40	8
翼牆/擋土牆	1.5	1.5	1.3	1.43	12	0.28	0.50	0.23	0.32	12
摩擦層	2.1	1.8	1.6	1.83	6	0.10	0.40	0.49	0.35	9
橋面排水設施	1.9	2.1	2	2.00	3	0.10	0.54	0.44	0.34	10
緣石及人行道	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
欄杆及護牆	1.3	1.5	1.9	1.57	9	0.23	0.28	0.32	0.32	13
橋墩保護設施	3.3	1.9	2	2.40	1	0.46	2.99	3.33	2.52	1
橋墩基礎	2.4	1.9	1.5	1.93	4	2.04	2.10	2.28	2.13	2
橋墩墩體/帽 梁	1.4	1.8	1.6	1.60	8	0.49	0.84	0.27	0.52	4
支承/支承墊	1	1.2	1.2	1.13	16	0.44	1.29	0.40	0.67	3
止震塊/拉桿	0.9	1.2	1.3	1.13	17	0.10	0.62	0.23	0.33	11
伸縮縫	1.9	2.1	2.1	2.03	2	0.32	0.99	0.32	0.52	5
主構件(大 梁)	1	1.1	1.1	1.07	18	0	0.10	0.10	0.06	20
副構件 (橫隔梁)	1.3	1.3	1.2	1.27	15	0.23	0.23	0.18	0.20	18
橋面板/鉸接 版	1.2	1.8	1.5	1.50	10	0.18	0.18	0.28	0.26	17
其它	0.5	0.2	0.5	0.4	19	0.5	0.18	0.28	0.32	14
平均	1.41	1.41	1.35	1.39	-	0.36	0.62	0.53	0.52	-

表 4-2 仙人橋 E 值檢測期望值與變異數

檢測項目	期望值					變異數				
	<2	2-5	>5	Total	排序	<2	2-5	>5	Total	排序
引道路堤	1	2.1	1.5	1.53	3	0.67	3.21	1.83	1.98	9
引道護欄	0.7	2.1	1.3	1.37	7	0.23	2.10	2.23	1.76	14
河道	0.3	2.1	0.8	1.07	10	0.23	3.66	2.84	2.69	1
引道護坡- 保護措施	1.3	1.2	0.7	1.07	11	2.01	3.07	2.23	2.34	5
橋台基礎	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20
橋台	0.2	1.8	0.6	0.87	15	0.18	3.07	1.16	1.84	11
翼牆/擋土牆	0.8	1.7	0.9	1.13	9	0.84	3.57	2.32	2.26	7
摩擦層	1.5	1.2	0.5	1.07	12	0.50	1.51	0.28	0.89	18
橋面排水設施	1.2	1.9	1.3	1.47	5	0.40	1.66	0.90	1.02	17
緣石及人行道	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
欄杆及護牆	0.3	2	1.5	1.27	8	0.23	2.67	2.06	2.06	8
橋墩保護設施	2.5	1.9	1.6	2.00	2	0.50	3.66	2.71	2.28	6
橋墩基礎	1.9	1.8	0.9	1.53	4	1.66	2.40	1.21	1.84	12
橋墩墩體/帽梁	0.7	2.2	1.5	1.47	6	1.57	2.62	3.17	2.67	2
支承/支承墊	0.4	1	0.9	0.77	16	0.71	2.00	2.77	1.77	13
止震塊/拉桿	0	1.9	0.9	0.93	14	0	3.43	2.32	2.41	3
伸縮縫	1.5	2.8	2.6	2.30	1	1.83	2.40	2.27	2.36	4
主構件(大梁)	0.1	1.1	0.3	0.50	18	0.10	3.21	0.90	1.50	16
副構件 (橫隔梁)	0.5	1.3	0.4	0.73	17	0.50	2.90	0.93	1.51	15
橋面版/銜接版	0.2	1.8	1	1.00	13	0.18	2.40	2.00	1.86	10
其它	0.1	0	0	0.03	19	0.1	0	0	0.03	19
平均	0.72	1.52	0.91	1.05	-	0.62	2.48	1.71	1.75	-

表 4-3 仙人橋 R 值檢測期望值與變異數

檢測項目	期望值					變異數				
	<2	2-5	>5	Total	排序	<2	2-5	>5	Total	排序
引道路堤	0.9	0.9	1.3	1.03	5	0.54	0.54	1.34	0.79	12
引道護欄	0.8	1.1	0.8	0.90	9	0.40	0.10	0.40	0.30	18
河道	0.4	1.2	0.5	0.70	14	0.49	1.96	1.17	1.25	10
引道護坡- 保護措施	0.6	0.5	0.6	0.57	17	0.27	0.50	1.60	0.74	13
橋台基礎	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20
橋台	0.2	2	0.8	1.00	6	0.18	3.33	2.18	2.34	2
翼牆/擋土牆	0.7	1	0.7	0.80	11	0.68	2.00	1.57	1.34	7
摩擦層	1.1	0.8	0.6	0.83	10	0.10	0.40	0.49	0.35	16
橋面排水設施	0.9	1.1	0.9	0.97	7	0.10	0.54	0.32	0.31	17
緣石及人行道	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
欄杆及護牆	0.3	1	1	0.77	12	0.23	0.44	0.44	0.46	15
橋墩保護設施	2.7	1.9	1.6	2.07	1	0.68	2.99	2.27	2.06	4
橋墩基礎	2.1	2.1	1.5	1.90	2	1.66	2.54	2.94	2.30	3
橋墩墩體/帽梁	0.7	2.5	1.5	1.57	3	1.57	2.72	3.17	2.87	1
支承/支承墊	0.4	0.9	0.6	0.63	16	0.93	1.43	1.16	1.14	11
止震塊/拉桿	0	1.5	0.7	0.73	13	0	1.39	1.57	1.31	9
伸縮縫	1.1	1.2	1.6	1.30	4	0.77	0.18	0.71	0.56	14
主構件(大梁)	0	1.2	0.4	0.53	18	0	3.73	1.60	1.91	5
副構件 (橫隔梁)	0.4	1.2	0.5	0.70	15	0.27	2.40	1.17	1.32	8
橋面版/銜接版	0.2	1.7	0.9	0.93	8	0.18	1.79	1.21	1.37	6
其它	0.1	0	0	0.03	19	0.1	0	0	0.03	19
平均	0.65	1.13	0.79	0.86	-	0.45	1.45	1.27	1.14	-

## 2. 構件 i 之狀況值 $Ic_i$ 變異性分析與探討

對本案例構件 i 的  $Ic_i$  的變異性分析，依狀況指標 CI 與優選指標 PI 計算方式之不同(詳情請參閱 2.2.2.2 節)，結果分別如表 4-4 及表 4-5 所示。從各表的資料分析結果顯示：

- (1) 由表 4-4 及表 4-5 對總資料變異數平均值分析顯示：各組利用 PI 決定  $Ic_i$  之平均變異數均高於利用 CI 決定  $Ic_i$  之結果。此現象係因為利用 PI 決定  $Ic_i$  乃是對代表值取平均，而利用 CI 決定  $Ic_i$  則是對全部值取平均，因代表值變動性較大，導致 PI 決定  $Ic_i$  的變異性大，此結果反映  $Ic_i$  變異性受決定  $Ic_i$  的方式影響。
- (2) 由表 4-4 及表 4-5 依不同年資探討  $Ic_i$  變異性時，可發現：2 年以內組別之  $Ic_i$  變異數較大者，較集中落在有明顯損傷之構件(如橋墩保護設施)，及受檢測工具是否齊備影響判定的構件(如橋墩墩體/帽梁及伸縮縫)；2 年以上組別(含 2-5 年及 5 年以上)，除了有明顯損傷構件之  $Ic_i$  有較大變異數外，其它構件變異數也不小。分析其原因可能因為 2 年以內組別的經驗不足，難以從外觀微小缺陷辨識橋梁隱藏的損傷。另外，兩年以內組別之  $Ic_i$  變異性最小，但  $Ic_i$  值偏高(狀況評估偏良好)；2-5 年組別及 5 年以上組別  $Ic_i$  變異性相近，所以，此兩組人員之主觀認知差異不大，2-5 年組  $Ic_i$  值偏低(狀況評估偏不良)，5 年組居中。

表 4-4 仙人橋  $I_{ci}$  值(依計算 CI 方式)檢測期望值與變異數

檢測項目	期望值					變異數				
	<2	2-5	>5	Total	排序	<2	2-5	>5	Total	排序
引道路堤	96.4	92.8	89.5	92.9	6	11.4	60.9	207.1	95.1	9
引道護欄	98.0	92.3	94.7	95.0	11	2.7	33.9	61.4	35.9	16
河道	98.4	87.7	93.8	93.1	8	6.1	336.6	182.3	188.4	5
引道護坡- 保護措施	97.2	96.6	92.7	95.6	13	9.1	35.7	214.8	79.7	12
橋台基礎	100	100	100	100	20	0.0	0.0	0.0	0.0	20
橋台	99.5	80.3	94.1	91.3	4	1.1	562.7	163.2	293.3	2
翼牆/擋土牆	96.6	92.2	92.8	93.9	10	24.8	113.4	191.1	106.1	8
摩擦層	94.7	95.3	98.0	96.0	15	6.6	24.4	5.5	13.4	18
橋面排水設施	96.3	88.4	94.8	93.2	9	3.9	158.5	17.4	67.8	13
緣石及人行道	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
欄杆及護牆	99.1	94.1	93.4	95.5	12	2.3	33.5	57.4	35.5	17
橋墩保護設施	80.2	64.8	82.0	76.5	1	130.3	340.5	103.3	216.1	4
橋墩基礎	79.0	75.3	82.9	78.9	2	367.8	273.0	351.9	307.8	1
橋墩墩體 /帽梁	96.9	86.8	88.0	90.6	3	60.2	170.5	427.3	225.4	3
支承/支承墊	99.1	91.1	95.5	95.6	14	2.6	202.7	83.4	87.4	10
止震塊/拉桿	100	92.0	96.9	96.5	16	0.0	32.1	49.2	36.2	15
伸縮縫	94.0	91.4	88.4	91.3	5	145.3	100.9	144.1	126.5	7
主構件(大梁)	100	94.1	96.3	96.8	17	0.0	109.5	140.6	83.8	11
副構件 (橫隔梁)	99.3	95.1	97.0	97.1	18	1.1	61.3	78.4	46.8	14
橋面版 /銜接版	99.8	85.5	93.3	92.9	7	0.1	280.7	150.9	169.3	6
其它	99.2	100	100	99.7	19	2.4	0	0	0.9	19
平均	96.2	89.8	93.2	93.1	-	38.9	146.5	131.5	110.8	-

表 4-5 仙人橋  $I_c$  值(依計算 PI 方式)檢測期望值與變異數

檢測項目	期望值					變異數				
	<2	2-5	>5	Total	排序	<2	2-5	>5	Total	排序
引道路堤	96.4	92.8	89.5	92.9	6	11.4	60.9	207.1	95.1	12
引道護欄	98.0	92.3	94.7	95.0	13	2.7	33.9	61.4	35.9	16
河道	98.4	87.7	93.8	93.1	8	6.1	336.6	182.3	188.4	6
引道護坡- 保護措施	97.2	96.6	92.7	95.6	15	9.1	35.7	214.8	79.7	14
橋台基礎	100	100	100	100	20	0.0	0.0	0.0	0.0	20
橋台	99.5	80.3	93.3	91.0	5	1.1	562.7	194.3	301.5	4
翼牆/擋土牆	96.6	90.9	92.8	93.4	10	24.8	176.8	191.1	127.5	9
摩擦層	94.7	95.3	98.0	96.0	17	6.6	24.4	5.5	13.4	18
橋面排水設施	96.3	88.4	94.8	93.2	9	3.9	158.5	17.4	67.8	15
緣石及人行道	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
欄杆及護牆	99.1	94.1	93.4	95.5	14	2.3	33.5	57.4	35.5	17
橋墩保護設施	64.1	55.8	64.8	62.4	1	633.7	560.8	716.6	590.5	2
橋墩基礎	69.7	71.7	81.4	73.7	2	900.8	573.1	455.9	626.8	1
橋墩墩體 /帽梁	91.9	81.8	84.7	86.1	3	553.8	397.0	573.2	491.8	3
支承/支承墊	99.1	86.7	93.0	93.5	11	2.6	391.1	198.6	186.2	7
止震塊/拉桿	100	89.1	93.3	94.3	12	0.0	141.3	194.6	125.5	10
伸縮縫	92.3	88.7	84.3	88.4	4	297.5	246.0	334.1	283.6	5
主構件(大梁)	100	91.3	96.3	95.8	16	0.0	210.1	140.6	122.1	11
副構件 (橫隔梁)	99.3	92.3	97.0	96.2	18	1.1	168.2	78.4	85.8	13
橋面版 /鉸接版	99.8	85.5	93.3	92.9	7	0.1	280.7	150.9	169.3	8
其它	99.2	100	100	99.7	19	2.4	0	0	0.9	19
平均	94.6	88.1	91.6	91.4	-	122.9	219.6	198.7	181.3	-

## 第五章 橋梁檢測有效施行之具體建議

考量國外借鏡、國內橋檢現況需求、訪談人員及專家建議、變異性分析結果等探討內容，本研究提出國內橋檢有效實施之建議，其中，制度面、管理面或執行面則針對檢測作業規定與流程、檢測時機或頻率、人力、等級或類別、表格、項目、經費、辦理方式等提供建議；技術面主要針對評估方法提供建議。

### 5.1 作業規定與流程

#### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：相關規定與流程遵循無困難，可更完善，統一規定相關標準很重要；D.E.R.&U 法之正確實施有賴說明與培訓，檢測人員素質直接影響檢測結果，偏遠地區之橋檢事務採委外辦理時，常遇顧問公司素質參差不齊之情形，橋管單位自辦橋檢業務人力不足，若對橋檢人員無資格限制，其正確性與品質受質疑或檢測結果不被認可；對健康狀況不佳之橋梁，可能因發現問題愈多，但經費又不足時，使得評鑑分數反而較低，對於認真落實橋梁檢測的工程師有負面影響。
- (2) 國外借鏡：建立人員資格等相關規定，提供多種滿足資格的途徑。

#### 2. 建議

- (1) 制度面：1) 於相關手冊內提供檢測重點、圖示說明、判定標準、修復工法。目前已於運研所「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」研究成果中納入，有待實施。2) 推行橋檢人員資格認證制度，以確保橋檢結果正確性。依據國內現況，檢測人員資格已於相關規範解說中提供多種途徑，據悉，未納入條文之原因是考慮配合技師法對技師執業範圍之規定、規範解說仍有等同

於規範條文之法律效力、強化管理單位負責制以及交通部已於每年度定期辦理相關教育訓練，另外，橋檢人員培訓需求能量不足以設立專職培訓機構，建議在目前的制度下，招標契約中明訂承包商檢測人員資格，特別是受訓時數(含回訓)及檢測經驗實績；另針對橋管單位之相關人員提供在職訓練，提升專業與技術能力。未來可朝向建立執照制度發展。

- (2) 管理面：評鑑機制應能鼓勵橋檢人員去發現問題與解決問題，要避免評鑑造成負面影響，管理面應有配套措施，當發現需維修之橋梁或構件數目較多時，應編列足夠之改善經費，可參見檢測經費相關建議。

## 5.2 檢測等級

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：竣工資料、初期橋檢資料可能缺乏，盡早建立初期橋檢資料成為共識。
- (2) 國外借鏡：美、日透過初始或初期檢測掌握橋梁原始狀況。

### 2. 建議

- (1) 制度面與執行面：養護手冊中檢測等級增加初期檢測。參考國外初期或初始檢測作法，國內可以考慮以下三種方式：1) 驗收等同初始檢測通過，但該方式幾乎等同現行作法，難彰顯效益；2) 驗收後必須進行初始檢測，惟可能產生驗收資料與初始檢測結果不符的情況，對於驗收人員可能會有責任問題，但對於工程本身則仍有保固期的保障；3) 因國內已要求至少 5 年內完成第一次橋梁檢測，相關資料亦會納入橋梁管理系統，以此資料作為初期檢測資料，但該方法三基於第一次定檢，對於早期發生的問題，恐不能儘早發現。橋梁管理單位可自行決定採用何種方式，但建議初始檢測愈早愈好。

- (2) 管理面：新建橋梁竣工時，由建造單位將竣工資料放入橋梁管理系統之基本資料中；配合上述初始檢測制度，須於橋梁管理系統中建立初始資料，以基本資料、橋面高程、地面高程、振動頻率、初始檢測等資料建立為原則。除新建橋梁之外，有竣工資料而尚未納入橋梁管理系統之既有橋梁，應配合定期檢測辦理時補充之。

## 5.3 檢測時機

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：依據國內現況，巡查頻率已依交通量彈性訂定，定檢頻率統一訂定下限，允許彈性調整。雖有檢測頻率要依年份、交通量彈性訂定以便更加符合實際之需求，但彈性訂定定檢頻率，橋管單位責任重，核可恐有困難；另外，針對降低農路或偏遠山區橋梁之定檢頻率之可能性，因這些山裡的橋梁小型且老舊，若忽視，往往最容易產生損傷，相關橋管人員建議不宜調降；偏遠地區之橋檢事務採委外辦理時，常遇顧問公司素質參差不齊之情形。
- (2) 國外借鏡：定檢頻率統一訂定下限，允許彈性調整。

### 2. 建議

- (1) 制度面：公路養護手冊對檢測頻率之訂定與國外一致，應為適當。惟各管理單位依需求自行調整時，仍以符合公路養護手冊之規定為準。
- (2) 管理面：1) 農路或偏遠山區橋梁之定檢頻率可再檢討，但重要橋梁，例如省道或無替代路線之橋梁，以及健康狀況不佳的橋梁，定檢頻率不宜調降；2) 若要提高定檢頻率，除了考慮橋梁損傷變化等需求以外，須考慮人力經費需求以及委外由專業人員辦理之可能性；3) 未來，配合技術發展，可以依據橋梁風險高低來調整檢測頻率。

## 5.4 檢測表格

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：正確填表受人員經驗素質影響；評估表恐因改版造成資料不連續；初步評估表的格式也未統一。
- (2) 國外借鏡：日本檢測表格將編號、位置、損傷狀況圖片、損傷說明、判定等級以及處理方式，清楚呈獻於報告之表格中；可採用總表搭配細表之方式。

### 2. 建議

- (1) 制度面：配合未來技術發展，統一建立結合橋檢結果之初步評估表。
- (2) 管理面：國內目前在有限的經費與時程下，現場作業用的檢測表格以現行較簡便之目視檢測表較為可行，而損傷位置、圖片、較詳細的說明等資料可於橋梁管理系統面來儲存，可考慮前述數位檢測記錄。為此，可開發橋檢現場用之前端軟體，其資料庫可與橋梁管理系統進行資料交換。若有改版，需考慮資料延續性。

## 5.5 檢測項目

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：橋梁匝道與主線間的伸縮縫放在 D.E.R.&U. 表內易混亂；「橋墩墩體/帽梁」難以了解明確部位，需要配合損傷示意圖或在備註欄說明；部分檢測項目歸類於「其它」，難以辨識；檢測項目以橋梁本身狀況為主，無法了解外部危害因素，橋梁仍有損傷風險。

## 2. 建議

- (1) 執行面：1) 橋梁匝道另獨立成一座橋來考慮；2) 配合橋梁管理系統詳細資料，了解損傷之明確部位。
- (2) 技術面：目前橋梁構件現況檢測維持現行檢測項目，該結果以及其他外部危害因素均將作為橋梁風險評估之考量因素，詳第 10.1 節「橋檢與性能評估等後續工作結合」。

## 5.6 檢測人力

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：政府組織再造，朝向精簡、小而美的方向進行，橋管單位人力普遍不足，橋檢業務大多數非專職負責，橋檢技術性高、責任重，新進人員對承辦該工作意願低，或承辦人員流動快。

### 2. 建議

- (1) 適度增加橋檢人力，允許部分委外，特別是技術性較高的工作允許委外由有經驗之專業人員辦理；檢測是否由固定人員執行，依據專家意見與訪談意見，可分為兩類，一類希望橋檢由不同人員來執行較易發現問題，而另一類則認為由固定人員來執行更容易確實掌控橋梁問題所在。兩種做法各有利弊，管理單位需要權衡。

## 5.7 儀器設備

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：因經費有限，橋檢工作有時可能面臨機具不足，影響橋檢結果正確性；山區道路狹窄，橋檢車可能無法

通行；老舊橋檢車或操作人員不熟練致使橋檢車使用上容易故障；非破壞性檢測電子儀器之使用較會有問題。

(2) 國外借鏡：數位檢測。

## 2. 建議

(1) 管理面：1) 自辦橋檢工作共用機具者，除了統一管理、維護與調度以外，可考慮部分工作委外辦理，對於重要橋梁，應編列工作機具相關經費，並於現場目視檢測工作前進行工作機具查驗；2) 機具或配備應有汰換機制，避免使用功能有疑慮之老舊橋檢車；3) 非破壞性檢測相關儀器需由專業人員使用，相關工作可以委外辦理。

(2) 管理面與技術面：檢測工具適時導入橋檢新科技，並納入養護手冊。目前可針對狀況很差者考慮以數位檢測輔助，但不建議取代現行作法，未來配合資訊技術發展，軟硬體精進，全面性數位檢測可作為長期發展之方向。

## 5.8 檢測經費

### 1. 考量

(1) 國內橋檢現況需求：一般橋檢費用無疑慮，進階檢查及改善費用有些不足且不穩定；相關經費受政府預算與首長施政重點影響，中央考慮安全性的預算編制方式可能不滿足地方考慮發展性的預算需求；有些橋檢工作標案要求預繳納押標金似不合理；委外辦理之經費不足，素質較高的顧問公司參與意願低，恐造成實際由素質不高、經驗不足之人員來執行，影響橋檢結果之正確性，亦即：橋檢資料無法正確反應橋梁狀況。

### 2. 建議

(1) 管理面：1) 中央預算編制適度考慮地方發展需求，地方首長

重視橋梁維護；2) 管理單位編列預備金或建立年度專業廠商之開口契約；3) 採委外辦理者，依委外項目編列合理經費，盡量避免價格標，技術標勞務類工作免押標金。

## 5.9 辦理方式

### 1. 考量

- (1) 國內橋檢現況需求：人力不足且橋檢人員資格無限制情況下，橋檢正確性與品質可能受質疑；橋檢事務委外的工作內容無所依循，若再採價格標，品質保障恐有疑慮；一縣多治或偏遠地方，橋梁檢測品質良莠不一；落實橋檢以及資料能否反應橋梁現況最重要，最大問題是資料不正確。

### 2. 建議

- (1) 制度面：橋檢事務委外之工作內容、費用、時程、品質標準、品質確保手段及人員資格規定等應加以明訂，最好建立標準工作手冊，可參考交通部頒訂之「橋梁檢測契約範本」。
- (2) 管理面：1) 配合制度面，搭配嚴格的契約與嚴謹的查核來保障品質；2) 在人力有限之情況下，確保橋檢人員資格素質；3) 橋檢工作可以適度委外由專業人員辦理，或定期委辦橋梁總體檢，確實檢查橋梁狀況；4) 交通部已有『臺灣地區橋梁管理資訊系統』橋梁資料查核計畫，對確保資料正確性有助益；5) 提供足夠經費與軟硬體設施。
- (3) 技術面：導入新科技，確保橋檢工作落實。

## 5.10 評估方式

### 5.10.1 構件損傷程度(D)與損傷範圍(E)之評估

#### 1. 考量

##### (1) 國內橋檢現況與需求：

- a. 在「公路橋梁一般目視檢測手冊」中，D=1 代表該構件的狀況良好，故不需填寫劣化範圍(E 值)及劣化現象對橋梁的影響度(R 值)，僅在  $D \geq 2$  時，才需填寫 E 跟 R 值。而在「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」評估準則中，D=1 代表檢測構件狀況良好或輕微損傷，所以檢測人員必須再填寫 E 跟 R 值。
- b. 當評判 D 或 R 超過 2 尚未達 3，不易填寫。
- c. A.B.C.D.N 法與美國 2010 AASHTO 構件檢測手冊分別考慮各損傷模式建立智慧標籤(Smart Flag)之作法有一致性，但太繁瑣，檢測人員負擔較大，在作業推行上恐有困難；D.E.R.&U. 法簡便快速，但檢測結果受檢測人員素質與主觀判斷影響，不同人員檢測結果具變異性。
- d. 「公路橋梁一般目視檢測手冊」採用 D.E.R.&U.法，就「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」採用 D.E.R.&U.法納入 A.B.C.D.N 法之精神，有意見認為適宜，也有意見認為工作量較大，在作業推行上恐有困難，希望統一為 D.E.R.&U.法。
- e. 「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」採用 D.E.R.&U.法納入 A.B.C.D.N 法之精神，因以 D.E.R.&U.法為基準，最後每一構件仍填寫 1 筆資料，如何將各損傷模式對應之值組合成構件的值，不論是以各細項權重計算或選擇劣化最嚴重之細項分數代表該構件之狀況，均有不合理之處，因此，該規範並未明確規定組合方法，而須由檢測人員判定並加以說明。

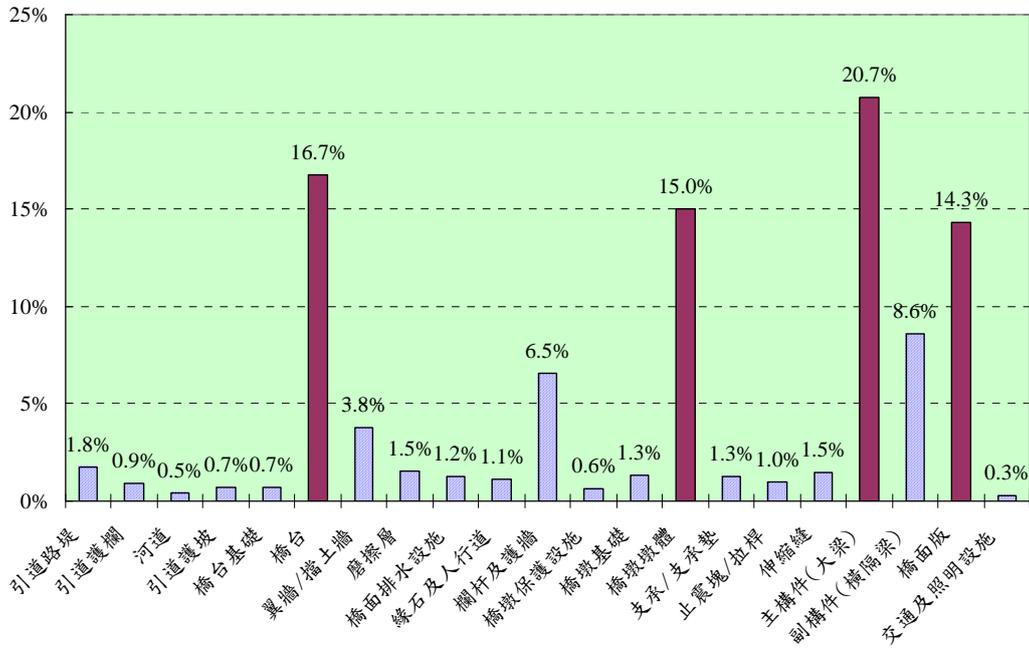
- (2) 國外借鏡：美國 2010 AASHTO 構件檢測手冊，主要針對影響結構承載與安全性的主要構件，分別考慮各損傷模式建立智慧標籤(Smart Flag)，採用多段式(Multi-path)損傷評判。
- (3) 現地橋檢變異性分析結果：D.E.R.&U.法受人員經驗、主觀判定影響，變異性高；其中，D 值因規範手冊有劣化程度判定標準，相對較清楚，變異性也相對低；E 值變異性較大來源於損傷範圍判定不夠精細；R 值變異性來源於人員素質與主觀判定。

## 2. 建議

- (1) 制度面：如同運研所「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」研究成果建議：統一「公路橋梁一般目視檢測手冊」、「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」有無損傷情形對應 D 值之定義與判定標準。
- (2) 管理面：當 D 或 R 超過 2 尚未達 3，填寫有疑慮時，以會議方式進行技術性判定。
- (3) 為兼顧技術面與管理面，建議國內以 D.E.R.&U.法為基準，每一構件填寫 1 筆，僅針對少部份主要項目納入 A.B.C.D.N 法之精神，不致使工作量增加過大；為減小變異性，對此些主要項目，可針對各損傷模式採用多段式(multi-path)評估之方式。此作法結合了 D.E.R.&U.與 A.B.C.D.N 法之優點，工作量增加不大，亦減小主觀性對評估結果之影響程度。說明如下：
  - a. 建議針對主要構件，採用 D.E.R.&U.結合 A.B.C.D.N 法之方式，分別依其主要劣化或損傷模式詳細評分。劣化或損傷模式可依國內現行規範手冊辦理，主要構件之建議如下：
    - (a) 步驟 1：因檢測項目之(D 值)變異性受其損傷程度影響、亦受人員檢測經驗、主觀判斷、檢測工具是否齊備等影響，不同案例，其變異性大之檢測項目可能不同，故建議不考慮個案變異性大之項目，而僅考量對橋梁功能影

響較大之構件。

- (b) 步驟 2：依據橋梁管理系統資料，統計橋梁檢測項目發生損傷之比例，全臺至 98 年之統計資料如圖 5.1 所示。



資料來源：參考文獻<sup>[93]</sup>

圖 5.1 橋梁檢測項目發生損傷之比例

- (c) 步驟 3：將前述各項目權重所代表之構件對橋梁影響之重要度，乘以圖 5.1 所反應之損傷比例，依正規化後結果排序如表 5-1 所示。若於步驟 1 採用表 2-43 之權重，或採用橋梁目視檢測評估手冊(草案)<sup>[28]</sup>中 SSI、SFI、SRI、USI 各項對應權重加總在正規化，三種算法排序前 5 項均一致。因此，建議至少取排序前 5 名之檢測項目進行較詳細評估。

表 5-1 全臺至 98 年有損傷橋梁主要構件排序分析表

項目編號	項目名稱	權重(%)	損傷機率(%)	排序指標
18	主構件(大梁)	8	20.7	0.27300
14	橋墩墩體/帽梁	7	15	0.17310
20	橋面版/銜接版	7	14.3	0.16502
6	橋台	5	16.7	0.13765
19	副構件(橫隔梁)	6	8.6	0.08506
11	欄杆及護牆	3	6.5	0.03215
7	翼牆/擋土牆	5	3.8	0.03132
13	橋墩基礎	8	1.3	0.01714
17	伸縮縫	6	1.5	0.01484
15	支承/支承墊	5	1.3	0.01072
1	引道路堤	3	1.8	0.00890
16	止震塊/拉桿	5	1	0.00824
9	橋面排水設施	4	1.2	0.00791
8	摩擦層	3	1.5	0.00742
5	橋台基礎	6	0.7	0.00692
12	橋墩保護設施	6	0.6	0.00593
3	河道	5	0.5	0.00412
10	緣石及人行道	2	1.1	0.00363
4	引道護坡-保護措施	3	0.7	0.00346
2	引道護欄	2	0.9	0.00297
21	其他	1	0.3	0.00049

上表中，橋墩基礎權重雖然最高，但因其損傷比例相對小很多，其排名未進入前五名，經由中央大學臺灣地區橋梁管理資訊系統維護團隊協助，依據 100 年度系統橋檢資料統計損傷程度  $D \geq 3$  之構件比例，再據此計算，其結果如表 5-2 所示，依排序指標以取前 7 名為為宜，橋墩基礎排名仍未提前。再考慮本研究後面建議多

段式評估，對於基礎而言執行面恐不易，故暫不納入，亦即：橋墩基礎或橋台基礎暫不需細分破壞模式評分，仍直接採用既有D.E.R.&U.法針對單一構件進行評分。

表 5-2 全臺 100 年損傷程度  $D \geq 3$  之橋梁主要構件排序分析表

項目編號	項目名稱	權重(%)	損傷機率(%)	排序指標
19	副構件(橫隔梁)	6	10.0	0.13417
18	主構件(大梁)	8	7.0	0.12528
7	翼牆/擋土牆	5	9.6	0.10676
6	橋台	5	8.4	0.09326
3	河道	5	7.5	0.08356
11	欄杆及護牆	3	11.3	0.07527
20	橋面版/鉸接版	7	4.8	0.07463
15	支承/支承墊	5	4.4	0.04860
14	橋墩墩體/帽梁	7	2.4	0.03790
5	橋台基礎	6	2.8	0.03788
1	引道路堤	3	5.5	0.03655
9	橋面排水設施	4	3.3	0.02963
21	其他	1	13.0	0.02888
16	止震塊/拉桿	5	1.7	0.01911
8	摩擦層	3	2.3	0.01508
13	橋墩基礎	8	0.8	0.01507
2	引道護欄	2	2.6	0.01155
17	伸縮縫	6	0.8	0.01038
12	橋墩保護設施	6	0.8	0.01014
4	引道護坡-保護措施	3	0.7	0.00457
10	緣石及人行道	2	0.4	0.00172

上述兩表排序較前面的共同項目包括：主構件(大梁)、橋面版、橋台、副構件(橫隔梁)等 4 項，考慮橋墩墩體/帽梁對橋梁功能，特別是耐震性能之重要性，所以，建議細評之主要構件如下：

- (a) 主構件(大梁)
  - (b) 橋墩墩體/帽梁
  - (c) 橋面版
  - (d) 橋台
  - (e) 副構件(橫隔梁)
- b. 參考美國做法，針對上述構件，採用多段式(multi-path)評估方式，量化各等級損傷之範圍更為細緻。此做法與「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」採用 D.E.R.&U.法納入 A.B.C.D.N 法之精神有些相似，其差異在於美國用實際度量表示各損傷模式對應之範圍，而國內仍以離散性的半定量指標表示，較難清楚反映損傷程度對應之範圍。以橋台為例，針對不同模式分段記錄各損傷程度對應之範圍，其評估表格式可參考表 5-3。因每一構件仍填寫 1 筆資料，不論是以各細項權重計算或選擇劣化最嚴重之細項分數代表該構件之狀況，均有不合理處，故仍維持現行作法，由檢測人員綜合判定並加以說明，但為降低主觀判斷對評估結果之影響程度，建議考慮直接以損傷範圍百分比替代填寫細項判定之 E 值，綜合判定只要有一致的標準，其變異性可以得到控制。

表 5-3 橋台損傷多段記錄參考表

項次	檢測項目		細項判定					照片編號及說明	綜合判定及其說明		
			(原表 E 改為→) 損傷範圍百分比						D	E	說明
			D=0	D=1	D=2	D=3	D=4				
6	橋台	近端 (遠端)	橋台傾斜、移動、沉陷	0	50%	10%	40%	0			
			混凝土裂縫								
			混凝土剝落								
			混凝土蜂窩								
			混凝土空洞								
			鋼筋外露、銹蝕								
			排水孔堵塞								
			其他損傷								

### 5.10.2 強化 D.E.R.&U.檢測結果之應用

#### 1. 考量

##### (1) 國內橋檢現況與需求：

- a. 橋檢結果顯示健康狀況良好之橋梁，在突發危害下仍有損傷風險，橋檢結果對後續橋梁維管決策之應用有限。
- b. 國內有許多橋檢相關指標，因目的不同，尚未整合風險管理之概念。基於橋梁檢測現況評估之 CI 與 PI<sup>[29]</sup>、新 CI、新 PI、SSI、SFI、SRI、USI<sup>[28]</sup> 等指標，僅大致反映橋梁狀況對橋梁性能之影響，並未考量外因對災害潛勢之影響以及橋梁被設計應具有之能力，無法據此掌握橋梁抵抗災害之能力與受損風險；而功能性指標 FI<sup>[47]</sup> 又僅以橋梁結構等級或重要性、交通量與橋梁淨寬所反映之運輸能力、橋梁損壞時的繞道距離等綜合反應橋梁的使用服務功能；優選指標 OPI<sup>[47]</sup> 雖然結合 PI 與 FI，但仍沒有反應橋梁可能遭遇之災害潛勢與可能性；危險性指標 CSI<sup>[48]</sup> 又強化橋梁狀況與主觀判斷，對不同 D.E.R. 組合賦予劣化值排序，再僅考慮損傷範圍最大(E=4)者，再依劣化值、橋梁構件權重、用路人參數以及專家建議等資訊來為維修篩選排序，同樣沒有考慮影響橋梁性能之所

有風險來源、潛勢與因子；橋梁綜合重要度指標<sup>[49]</sup>雖考慮地震、土石流、沖刷等部分風險來源以及對生命、經濟、國防等衝擊，但易損性僅以災害潛勢表示，沒與橋檢工作所了解的橋梁構件現況有效結合；綜合評估指標 SR<sup>[50]</sup>雖嘗試參考美國的作法建立 SR 評估指標，但其架構及算法與風險管理概念不同，沒有考慮所有風險來源，各風險來源引致結構易損性考量方式不一致，例如：超載易損性指標可能又再次考慮結構性指標的現況影響，橋檢後本項有疑慮者可能會因權重僅 6% 而被稀釋，而地震易損性較沒有考慮現況影響，沒有考慮落橋破壞模式，SR 評估結果不易正確反應橋梁存在的問題點、風險所在、風險大小與對應策略；橋梁性能詳細評估前進行篩選所用之初步評估表，分別考量承載、耐震或耐洪能力，雖然包含橋梁現況影響，但橋檢結果並沒有得到有效應用，也不具有風險評估之觀念，目前此類表格亦沒有統一。經由橋梁檢測工作掌握橋梁所面臨之風險非常重要。

## 2. 建議

國內橋檢工作主要反映橋梁構件狀況，而狀況良好之橋梁仍有受災損傷之風險，若橋梁檢測結果能為橋梁風險管理決策模式所應用，便可以由維護管理前端工作開始掌握維護管理工作重點，控制橋梁災損風險，達到維護甚至延長橋梁壽齡之目的。

技術面建議：於橋梁層級與構件層級，應用風險評估原理，強化橋梁檢測結果之維管決策之應用。有關風險評估請參見第 11.1 節之內容，簡言之，【風險=危害潛勢(Hz)×易損性(Vu)×後果(Cq)=危害引發功能失效模式之可能性×功能失效模式發生後之嚴重性】。應用此原理，橋梁層級是以橋梁整體為標的，重點在於掌握風險來源對應之危害潛勢、曝露於風險來源之下橋梁功能失效之可能性(易損性)、橋梁功能失效後造成對國家社會如生命、經濟等衝擊之嚴重性(後果)，據以了解目前環境下橋梁現況影響國家社會之風險，包括某橋梁的關鍵風險來源或所考量風險對應之關鍵橋梁，詳見第 10.1 節

「橋檢與性能評估等後續工作結合」。而構件層級則是以組成橋梁的構件為標的，考慮各種風險來源對應之危害潛勢對於同一橋梁之各構件而言是相同的，所以，重點在於掌握構件功能失效之可能性(易損性)、構件功能失效後影響橋梁功能之嚴重性(後果)，據以了解構件損傷現況影響橋梁功能之風險，包括影響橋梁功能之關鍵性構件(檢測項目)等，詳見後文。而橋梁層級與構件層級之串接，是於橋梁功能失效之可能性(易損性)中納入構件狀況之影響。

風險評估應用於構件層級及檢測項目之原理：由構件劣化損傷嚴重程度與範圍( $D_{ij}$ 、 $E_{ij}$  值)，組合為構件及檢測項目功能失效之可能性(易損性)指標  $P_{ij}$  及  $P_i$ ；以構件權重反應構件功能失效對橋梁功能之影響程度，作為後果指標值  $w_i^*$ ；以構件  $P_i$  與  $w_i^*$  之乘積= $R_i^*$  值代表構件損傷狀況影響橋梁功能之風險或關鍵性，反映構件維修相對急迫性。

- (1) 步驟 1：針對各檢測項目(i)之構件(j)，評估損傷程度( $D_{ij}$ )與損傷範圍( $E_{ij}$ )。損傷程度以構件發生功能失效為主考量。
- (2) 步驟 2：將各構件  $D_{ij}$ 、 $E_{ij}$  指標組合為構件 ij 功能失效可能性指標  $P_{ij}$ 。例如：取  $P_{ij}=(D_{ij} \times E_{ij})/(4 \times 4)$ ，但為了區別如  $D=1$  且  $E=4$  以及  $D=4$  且  $E=1$  對應之構件功能失效可能性之差異，本研究建議採用矩陣圖表(表 5-4)來查詢，表中各 D、E 組合對應 P 值之排列，參考『縣市政府老舊橋梁改善可行性評估』劣化值之排序方式，如表中箭頭方向所示，於 0~100 分之中內插。

表 5-4 構件功能失效可能性矩陣

D \ E	1	2	3	4
1	0	7	21	41
2	15	28	48	68
3	35	55	75	88
4	62	82	94	100

- (3) 步驟 3: 依據  $P_{ij}$  計算項目  $i$  構件類別之功能失效可能性指標  $P_i$ 。對於檢測項目  $i$  包括單支構件  $j$  者,  $P_i=P_{ij}$ ; 對於檢測項目(例如橋墩)包括多支構件(例如橋柱)者, 1) 可參考 CI 指標是取各細項  $I_{c_{ij}}$  平均值做為該項  $I_{c_i}$  之精神, 2) 亦可參考 PI 指標將細項  $I_{c_{ij}}$  指標值以(75~100)、(50~75)、(0~50)分類, 取最嚴重類別之損傷構件細項之平均值的精神, 此處照理可以由表 9-4 之可能性  $P_{ij}$  值為 25%、50%作為分界點, 但表 9-4 內  $P_{ij}$  值並非成比例, 所以, 取  $P_{ij}$  值排序中前 25%對應之值( $P_{ij}=21\%$ )、前 50%對應之值( $P_{ij}=48\%$ )來分類, 亦即: 以  $P_{ij}$  為(0~21%)、(21%~48%)、(48%~100%)分類; 3) 取代表性損傷構件之方法中, 其檢測項目之損傷不會因取平均值而被稀釋, 但卻不能區別代表性損傷構件多寡造成之差異, 為此, 建議採用

$$P_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{ij})。$$

- (4) 步驟 4: 針對所考慮之風險來源, 建立後果指標  $w_i^*$ 。該後果指標代表構件功能失效後影響橋梁功能之嚴重性。因風險評估將構件功能失效之可能性與功能失效後影響橋梁功能(後果)之嚴重性獨立, 後果指標可以由構件權重表示。例如: 若不區分風險來源, 可先考慮採用現行狀況或功能指標計算時所取用之各構件之權重  $w_i$ (表 2-42、表 2-43), 以權重最大之構件對應  $w_i^*=100$  正規化後備用; 亦可針對單一風險來源, 取第 2.2.2.2 節用於計算 SSI、SFI、SRI、USI 等指標<sup>[28]</sup>之構件權重, 即僅挑出該風險影響之構件, 同樣正規化後備用, 其他項目權重則為 0。針對其他類風險來源, 此部份內容需再進一步研究、完善。
- (5) 步驟 5: 構件關鍵性指標  $R_i^*$  評估。該指標表示構件狀況影響橋梁功能之關鍵性, 以類似 D.E.R.&U.法之  $R_i^*$  表示。應用風險評估之原理, 組合損傷可能性  $P_i$  以及該損傷導致的後果  $w_i^*$ , 即可得到各構件影響橋梁功能之風險或關鍵性指標  $R_i^*$ , 組合方式可用乘積或關鍵性矩陣圖表, 不須人為判斷。惟若採用關鍵

性矩陣圖表，還須進一步研究，依目前現況，組合方式可先採用乘積。

(6) 步驟 6：採用相加法則，組合各構件關鍵性指標為所有橋梁構件狀況影響橋梁功能之風險或關鍵性指標，並正規化，如式 5.1，該指標值越大表示構件現況影響橋梁功能之風險越高；而影響橋梁功能之橋梁構件狀況指標(Condition Index, 式 5.2)，其值越大代表橋梁狀況越好。

$$R^* = \frac{\sum_{i=1}^{21} R_i^*}{\sum_{i=1}^{21} w_i^*} = \frac{\sum_{i=1}^{21} (P_i \times w_i^*)}{\sum_{i=1}^{21} w_i^*} \dots\dots\dots(5.1)$$

$$CI^* = 100 - 100 \times R^* = 100 - 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{21} (P_i \times w_i^*)}{\sum_{i=1}^{21} w_i^*} \dots\dots\dots(5.2)$$

(7) 步驟 7：影響橋梁功能之關鍵構件排序或橋梁狀況排序。

### 3. 範例

以本計畫現地檢測橋梁為例，採用某一人員之檢測結果 D、E、R 值，先依表 2-42、表 2-43 之權重，分別計算 CI 與 PI、新 CI 與新 PI 於表 5-5~表 5-9。再依據檢測結果 D、E 值，採用本研究上述方法進行計算，結果同樣列於表 5-5~表 5-9，表 5-5~表 5-9 中， $P_{ij}$  均依據表 5-4 查獲，檢測項目含有多支構件者，若無損傷，則以單一項目呈現，各表計算差異說明如下：

(1) 表 5-5：

- a. 取  $P_{ij}$  平均值做為  $P_i$ 。
- b.  $w_i^*$  值依據表 2-42 構件權重正規化(以最大值為標準)。
- c. 狀況指標記為「 $CI^*$ 」，與 CI 比較。

(2) 表 5-6：

- a. 取  $P_{ij}$  平均值做為  $P_i$ 。
- b.  $w_i^*$  值依據表 2-43 (橋長>100m)構件重要性係數正規化(以最大值为標準)。
- c. 狀況指標記為「新 CI\*」，與新 CI 比較。

(3) 表 5-7：

- a. 以  $P_{ij}$  為(0~21%)、(21%~48%)、(48%~100%)分類，取代表性者平均值做為  $P_i$ 。
- b.  $w_i^*$  值依據表 2-42 構件權重正規化(以最大值為標準)。
- c. 狀況指標記為「PI\*」，與 PI 比較。

(4) 表 5-8：

- a. 以  $P_{ij}$  為(0~21%)、(21%~48%)、(48%~100%)分類，取代表性者平均值做為  $P_i$ 。
- b.  $w_i^*$  值依據表 2-43 (橋長>100m)構件重要性係數正規化(以最大值为標準)。
- c. 狀況指標記為「新 PI\*」，與新 PI 比較。

(5) 表 5-9：

- a. 取  $P_i=1- \prod(1-P_{ij})$ 。
- b.  $w_i^*$  值依據表 2-43 (橋長>100m)構件重要性係數正規化(以最大值为標準)。
- c. 狀況指標記為「PI\*<sub>建議</sub>」，與新 PI 比較。

依據上述各表計算之  $R_i^*$ ，該案例關鍵性構件項目排序如表 5-10 所示，表 5-6 與表 5-8 採用新權重，對於本案例檢測項目不達 21 項較適宜；表 5-7 與表 5-8，因取代表性的損傷構件，主要問題

不會如表 5-5 與表 5-6 取平均而被稀釋，但卻不能區別代表性損傷構件多寡造成之差異，表 5-9 則能較客觀呈現該影響。本研究建議依據表 5-9 之方法計算風險並進行橋梁排序。

表 5-5 本研究現地檢測橋梁 CI 與 CI\*比較表

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Ic <sub>ij</sub>	Ic <sub>i</sub>	CI 構件 權重(%)	Ic <sub>i</sub> 乘權 重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub> (%)	w <sub>i</sub> *	R <sub>i</sub> * (%)
1.引道路堤	遠端	1	0	0	100	100	3	3.00	0.00	0.00	0.375	0.00
	近端	1	0	0	100				0.00			
2.引道護欄	遠端	1	0	0	100	100	2	2.00	0.00	0.00	0.250	0.00
	近端	1	0	0	100				0.00			
3.河道		1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00	0.625	0.00
4.引道護坡	遠端	1	0	0	100	100	3	3.00	0.00	0.00	0.375	0.00
	近端	1	0	0	100				0.00			
5.橋台基礎	遠端	0	0	0	100	100	6	6.00	0.00	0.00	0.750	0.00
	近端	0	0	0	100				0.00			
6.橋台	遠端	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00	0.625	0.00
	近端	1	0	0	100				0.00			
7.翼牆/擋土 牆	遠端	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00	0.625	0.00
	近端	1	0	0	100				0.00			
8.摩擦層		3	1	2	90.625	90.625	3	2.72	0.35	35.00	0.375	13.13
9.橋面排水設施		2	1	1	96.875	96.875	4	3.88	0.15	15.00	0.500	7.50
10.緣石及人行道		0	0	0	100	100	2	2.00	0.00	0.00	0.250	0.00
11.欄杆及護牆		2	1	1	96.875	96.875	3	2.91	0.15	15.00	0.375	5.63
12.橋墩保 護設施	P001	1	0	0	100	93.75	6	5.63	0.00	18.33	0.750	13.75
	P002	3	2	2	81.25				0.55			
	P003	1	0	0	100				0.00			
13.橋墩基 礎	P001	0	0	0	100	100	8	8.00	0.00	0.00	1.000	0.00
	P002	0	0	0	100				0.00			
	P003	0	0	0	100				0.00			
14.橋墩墩 體/帽梁	P001	1	0	0	100	100	7	7.00	0.00	0.00	0.875	0.00
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	1	0	0	100				0.00			
15.支承/支 承墊	A001	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00	0.625	0.00
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	1	0	0	100				0.00			
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	1	0	0	100				0.00			
16.止震塊/ 拉桿	A001	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00	0.625	0.00
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	0	0	0	100				0.00			
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	0	0	0	100				0.00			
17.伸縮縫	A001	2	1	1	96.875	98.75	6	5.93	0.15	6.00	0.750	4.50
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	0	0	0	100				0.00			
	P002	2	1	1	96.875				0.15			

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Ic <sub>ij</sub>	Ic <sub>i</sub>	CI 構件 權重(%)	Ic <sub>i</sub> 乘權 重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub> (%)	w <sub>i</sub> <sup>*</sup>	R <sub>i</sub> <sup>*</sup> (%)
	P003	0	0	0	100				0.00			
18. 主構件 (大梁)	S001	1	0	0	100	100	8	8.00	0.00	0.00	1.000	0.00
	S002	1	0	0	100				0.00			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
19. 副構件 (橫梁)	S001	1	0	0	100	100	6	6.00	0.00	0.00%	0.750	0.00
	S002	1	0	0	100				0.00			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
20. 橋面板	S001	1	0	0	100	99.21875	7	6.95	0.00	3.75	0.875	3.28
	S002	2	1	1	96.875				0.15			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
21. 其它		1	0	0	100	100	1	1.00	0.00	0.00	0.125	0.00
加總						CI=99				CI*=96.18		

表 5-6 本研究現地檢測橋梁新 CI 與新 CI\*比較表

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Ic <sub>ij</sub>	Ic <sub>i</sub>	CI 構件 權重(%)	正規化 權重	Ic <sub>i</sub> 乘權 重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> <sup>*</sup>	R <sub>i</sub> <sup>*</sup>
1. 引道路堤	遠端	1	0	0	100	100	1.855	0.039	3.95	0.00	0.00%	0.463	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
2. 引道護欄	遠端	1	0	0	100	100	1.351	0.029	2.87	0.00	0.00%	0.337	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
3. 河道		1	0	0	100	100	2.591	0.055	5.51	0.00	0.00%	0.647	0.00%
4. 引道護坡	遠端	1	0	0	100	100	1.443	0.031	3.07	0.00	0.00%	0.360	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
5. 橋台基礎	遠端	0	0	0	100	100	3.608	0.077	7.68	0.00	0.00%	0.901	0.00%
	近端	0	0	0	100					0.00			
6. 橋台	遠端	1	0	0	100	100	3.441	0.073	7.32	0.00	0.00%	0.859	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
7. 翼牆/擋土 牆	遠端	1	0	0	100	100	2.002	0.043	4.26	0.00	0.00%	0.500	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
8. 摩擦層		3	1	2	90.625	90.625	1.58	0.034	3.05	0.35	35.00%	0.395	13.81%
9. 橋面排水設施		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
10. 緣石及人行道		0	0	0	100	100	0	0.000	0.00	0.00	0.00%	0.000	0.00%
11. 欄杆及護牆		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
12. 橋墩保護 設施	P001	1	0	0	100	93.75	2.82	0.060	5.62	0.00	18.33%	0.704	12.91%
	P002	3	2	2	81.25					0.55			
	P003	1	0	0	100					0.00			
13. 橋墩基礎	P001	0	0	0	100	100	4.004	0.085	8.52	0.00	0.00%	1.000	0.00%
	P002	0	0	0	100					0.00			
	P003	0	0	0	100					0.00			
14. 橋墩墩體/ 帽梁	P001	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
	A001	1	0	0	100	100	2.79	0.059	5.94	0.00	0.00%	0.697	0.00%

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	CI 構件 權重(%)	正規化 權重	I <sub>ci</sub> 乘 權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> <sup>*</sup>	R <sub>i</sub> <sup>*</sup>
	A001	1	0	0	100					0.00			
15. 支承/支承 墊	A002	1	0	0	100					0.00			
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
16. 止震塊/拉 桿	A001	1	0	0	100					0.00			
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100	100	2.332	0.050	4.96	0.00	0.00%	0.582	0.00%
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	0	0	0	100					0.00			
17. 伸縮縫	A001	2	1	1	96.875					0.15			
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100	98.75	1.809	0.038	3.80	0.00	6.00%	0.452	2.71%
	P002	2	1	1	96.875					0.15			
	P003	0	0	0	100					0.00			
18. 主 構 件 (大梁)	S001	1	0	0	100					0.00			
	S002	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
19. 副 構 件 (橫梁)	S001	1	0	0	100					0.00			
	S002	1	0	0	100	100	1.773	0.038	3.77	0.00	0.00%	0.443	0.00%
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
20. 橋面板	S001	1	0	0	100					0.00			
	S002	2	1	1	96.875	99.21875	3.232	0.069	6.82	0.15	3.75%	0.807	3.03%
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
21. 其它		1	0	0	100	100				0.00	0.00%		0.00%
加總							新 CI=99.03					新 CI*=96.37	

表 5-7 本研究現地檢測橋梁 PI 與 PI\*比較表

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	舊 PI 權重	I <sub>ci</sub> 乘 權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> <sup>*</sup>	R <sub>i</sub> <sup>*</sup>
1. 引道 路堤	遠端	1	0	0	100	100	3	3.00	0.00	0.00%	0.375	0.00%
	近端	1	0	0	100				0.00			
2. 引道 護欄	遠端	1	0	0	100	100	2	2.00	0.00	0.00%	0.250	0.00%
	近端	1	0	0	100				0.00			
3. 河道		1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00%	0.625	0.00%
4. 引道 護坡	遠端	1	0	0	100	100	3	3.00	0.00	0.00%	0.375	0.00%
	近端	1	0	0	100				0.00			
5. 橋台 基礎	遠端	0	0	0	100	100	6	6.00	0.00	0.00%	0.750	0.00%
	近端	0	0	0	100				0.00			
6. 橋台	遠端	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00%	0.625	
	近端	1	0	0	100				0.00			
	遠端	1	0	0	100				0.00			
	近端	1	0	0	100				0.00			

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	舊 PI 權重	I <sub>ci</sub> 乘 權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> *	R <sub>i</sub> *
8.摩擦層		3	1	2	90.625	90.625	3	2.72	0.35	35.00%	0.375	13.13%
9.橋面排水設施		2	1	1	96.875	96.875	4	3.88	0.15	15.00%	0.500	7.50%
10.緣石及人行道		0	0	0	100	100	2	2.00	0.00	0.00%	0.250	0.00%
11.欄杆及護牆		2	1	1	96.875	96.875	3	2.91	0.15	15.00%	0.375	5.63%
12.橋墩 保護設 施	P001	1	0	0	100	93.75	6	5.63	0.00	55.00%	0.750	41.25%
	P002	3	2	2	81.25				0.55			
	P003	1	0	0	100				0.00			
13.橋墩 基礎	P001	0	0	0	100	100	8	8.00	0.00	0.00%	1.000	0.00%
	P002	0	0	0	100				0.00			
	P003	0	0	0	100				0.00			
14.橋墩 墩體/帽 梁	P001	1	0	0	100	100	7	7.00	0.00	0.00%	0.875	0.00%
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	1	0	0	100				0.00			
15.支承/ 支承墊	A001	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00%	0.625	0.00%
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	1	0	0	100				0.00			
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	1	0	0	100				0.00			
16.止震 塊/拉桿	A001	1	0	0	100	100	5	5.00	0.00	0.00%	0.625	0.00%
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	0	0	0	100				0.00			
	P002	1	0	0	100				0.00			
	P003	0	0	0	100				0.00			
17.伸縮 縫	A001	2	1	1	96.875	98.75	6	5.93	0.15	6.00%	0.750	4.50%
	A002	1	0	0	100				0.00			
	P001	0	0	0	100				0.00			
	P002	2	1	1	96.875				0.15			
	P003	0	0	0	100				0.00			
18.主構 件(大 梁)	S001	1	0	0	100	100	8	8.00	0.00	0.00%	1.000	0.00%
	S002	1	0	0	100				0.00			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
19.副構 件(橫 梁)	S001	1	0	0	100	100	6	6.00	0.00	0.00%	0.750	0.00%
	S002	1	0	0	100				0.00			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
20.橋面 板	S001	1	0	0	100	99.21875	7	6.95	0.00	3.75%	0.875	3.28%
	S002	2	1	1	96.875				0.15			
	S003	1	0	0	100				0.00			
	S004	1	0	0	100				0.00			
21. 其 它		1	0	0	100	100	1	1.00	0.00	0.00%	0.125	0.00%
加總					PI=99.00			PI*=93.98				

表 5-8 本研究現地檢測橋梁新 PI 與新 PI\*比較表

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	新 PI 重要性係數	正規化權重	I <sub>ci</sub> 乘權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> <sup>*</sup>	R <sub>i</sub> <sup>*</sup>
1.引道路堤	遠端	1	0	0	100	100	1.855	0.039	3.95	0.00	0.00%	0.463	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
2.引道護欄	遠端	1	0	0	100	100	1.351	0.029	2.87	0.00	0.00%	0.337	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
3.河道		1	0	0	100	100	2.591	0.055	5.51	0.00	0.00%	0.647	0.00%
4.引道護坡	遠端	1	0	0	100	100	1.443	0.031	3.07	0.00	0.00%	0.360	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
5.橋台基礎	遠端	0	0	0	100	100	3.608	0.077	7.68	0.00	0.00%	0.901	0.00%
	近端	0	0	0	100					0.00			
6.橋台	遠端	1	0	0	100	100	3.441	0.073	7.32	0.00	0.00%	0.859	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
7.翼牆/擋土牆	遠端	1	0	0	100	100	2.002	0.043	4.26	0.00	0.00%	0.500	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
8.摩擦層		3	1	2	90.625	90.625	1.58	0.034	3.05	0.35	35.00%	0.395	13.81%
9.橋面排水設施		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
10.緣石及人行道		0	0	0	100	100	0	0.000	0.00	0.00	0.00%	0.000	0.00%
11.欄杆及護牆		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
12.橋墩保護設施	P001	1	0	0	100	93.75	2.82	0.060	5.62	0.00	55.00%	0.704	38.74%
	P002	3	2	2	81.25					0.55			
	P003	1	0	0	100					0.00			
13.橋墩基礎	P001	0	0	0	100	100	4.004	0.085	8.52	0.00	0.00%	1.000	0.00%
	P002	0	0	0	100					0.00			
	P003	0	0	0	100					0.00			
14.橋墩墩體/帽梁	P001	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
15.支承/支承墊	A001	1	0	0	100	100	2.79	0.059	5.94	0.00	0.00%	0.697	0.00%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	1	0	0	100					0.00			
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
16.止震塊/拉桿	A001	1	0	0	100	100	2.332	0.050	4.96	0.00	0.00%	0.582	0.00%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100					0.00			
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	0	0	0	100					0.00			
17.伸縮縫	A001	2	1	1	96.875	98.75	1.809	0.038	3.80	0.15	6.00%	0.452	2.71%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100					0.00			
	P002	2	1	1	96.875					0.15			
	P003	0	0	0	100					0.00			
18.主構件(大梁)	S001	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	S002	1	0	0	100					0.00			
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
19.副構件	S001	1	0	0	100	100	1.773	0.038	3.77	0.00	0.00%	0.443	0.00%
	S002	1	0	0	100					0.00			

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	新PI重要性係數	正規化權重	I <sub>ci</sub> 乘權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub>	w <sub>i</sub> *	R <sub>i</sub> *
(橫梁)	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
20.橋面板	S001	1	0	0	100	99.21875	3.232	0.069	6.82	0.00	3.75%	0.807	3.03%
	S002	2	1	1	96.875					0.15			
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
21. 其它		1	0	0	100	100				0.00	0.00%		0.00%
加總						新PI=99.03				新PI*=94.17			

表 5-9 本研究現地檢測橋梁新 PI 與 PI\*<sub>建議</sub>比較表

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	I <sub>cij</sub>	I <sub>ci</sub>	新PI重要性係數	正規化權重	I <sub>ci</sub> 乘權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub> =1-Π (1- P <sub>ij</sub> )	w <sub>i</sub> *	R <sub>i</sub> *
1.引道路堤	遠端	1	0	0	100	100	1.855	0.039	3.95	0.00	0.00%	0.463	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
2.引道護欄	遠端	1	0	0	100	100	1.351	0.029	2.87	0.00	0.00%	0.337	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
3.河道		1	0	0	100	100	2.591	0.055	5.51	0.00	0.00%	0.647	0.00%
4.引道護坡	遠端	1	0	0	100	100	1.443	0.031	3.07	0.00	0.00%	0.360	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
5.橋台基礎	遠端	0	0	0	100	100	3.608	0.077	7.68	0.00	0.00%	0.901	0.00%
	近端	0	0	0	100					0.00			
6.橋台	遠端	1	0	0	100	100	3.441	0.073	7.32	0.00	0.00%	0.859	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
7.翼牆/擋土牆	遠端	1	0	0	100	100	2.002	0.043	4.26	0.00	0.00%	0.500	0.00%
	近端	1	0	0	100					0.00			
8.摩擦層		3	1	2	90.625	90.625	1.58	0.034	3.05	0.35	35.00%	0.395	13.81%
9.橋面排水設施		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
10.緣石及人行道		0	0	0	100	100	0	0.000	0.00	0.00	0.00%	0.000	0.00%
11.欄杆及護牆		2	1	1	96.875	96.875	1.351	0.029	2.78	0.15	15.00%	0.337	5.06%
12.橋墩保護設施	P001	1	0	0	100	93.75	2.82	0.060	5.62	0.00	55.00%	0.704	38.74%
	P002	3	2	2	81.25					0.55			
	P003	1	0	0	100					0.00			
13.橋墩基礎	P001	0	0	0	100	100	4.004	0.085	8.52	0.00	0.00%	1.000	0.00%
	P002	0	0	0	100					0.00			
	P003	0	0	0	100					0.00			
14.橋墩墩體/帽梁	P001	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
15. 支承/ 支承墊	A001	1	0	0	100	100	2.79	0.059	5.94	0.00	0.00%	0.697	0.00%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	1	0	0	100					0.00			
	P002	1	0	0	100					0.00			
	P003	1	0	0	100					0.00			
16. 止震塊/ 拉桿	A001	1	0	0	100	100	2.332	0.050	4.96	0.00	0.00%	0.582	0.00%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100					0.00			
	P002	1	0	0	100					0.00			

		D <sub>ij</sub>	E <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	Ic <sub>ij</sub>	Ic <sub>i</sub>	新PI重要性係數	正規化權重	Ic <sub>i</sub> 乘權重	P <sub>ij</sub>	P <sub>i</sub> =1-Π(1-P <sub>ij</sub> )	w <sub>i</sub> *	R <sub>i</sub> *
	P003	0	0	0	100					0.00			
17.伸縮縫	A001	2	1	1	96.875	98.75	1.809	0.038	3.80	0.15	27.75%	0.452	12.54%
	A002	1	0	0	100					0.00			
	P001	0	0	0	100					0.00			
	P002	2	1	1	96.875					0.15			
	P003	0	0	0	100					0.00			
18.主構件(大梁)	S001	1	0	0	100	100	3.837	0.082	8.16	0.00	0.00%	0.958	0.00%
	S002	1	0	0	100					0.00			
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
19.副構件(橫梁)	S001	1	0	0	100	100	1.773	0.038	3.77	0.00	0.00%	0.443	0.00%
	S002	1	0	0	100					0.00			
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
20.橋面板	S001	1	0	0	100	99.21875	3.232	0.069	6.82	0.00	15.00%	0.807	12.11%
	S002	2	1	1	96.875					0.15			
	S003	1	0	0	100					0.00			
	S004	1	0	0	100					0.00			
21.其它		1	0	0	100	100				0.00	0.00%		0.00%
加總						新PI=99.03			PI*建議=92.56				

表 5-10 表 5-5~表 5-9 關鍵性構件項目排序比較表

關鍵構件排序	表 9-5 CI*=96.18%		表 9-6 新 CI*=96.37%		表 9-7 PI*=93.98%		表 9-8 新 PI*=94.17%		表 9-9 PI*建議=92.56%	
	構件項目名稱	R <sub>i</sub> * (%)	構件項目名稱	R <sub>i</sub> * (%)	構件項目名稱	R <sub>i</sub> * (%)	構件項目名稱	R <sub>i</sub> * (%)	構件項目名稱	R <sub>i</sub> * (%)
1	12 橋墩保護設施	13.75	8 摩擦層	13.81	12 橋墩保護設施	41.25	12 橋墩保護設施	38.74	12 橋墩保護設施	38.74
2	8.摩擦層	13.13	12.橋墩保護設施	12.91	8 摩擦層	13.13	8 摩擦層	13.81	8.摩擦層	13.81
3	9.橋面排水設施	7.5	9.橋面排水設施、 11.欄杆及護牆	5.06	9.橋面排水設施	7.5	9.橋面排水設施、 11 欄杆及護牆	3.06	17.伸縮縫	12.54
4	11.欄杆及護牆	5.63	20.橋面板/鉸接版	3.03	11.欄杆及護牆	5.63	20.橋面板/鉸接版	3.03	20.橋面板/鉸接版	12.11
5	17.伸縮縫	4.5	17.伸縮縫	2.71	17.伸縮縫	4.5	17 伸縮縫	2.71	9.橋面排水設施、 11 欄杆及護牆	5.06
6	20.橋面板/鉸接版	3.28			20.橋面板/鉸接版	3.28				

#### 4. 本研究提議方法之優點

- (1) 僅需依據 D、E，減少主觀性之影響程度。
- (2) 有效反應構件損傷程度與範圍。
- (3) 針對含多支構件之檢測項目，有效反映各支損傷程度與損傷支數之影響。
- (4) 掌握影響某單一橋梁安全性與服務性之關鍵構件。
- (5) 有效反映橋梁整體狀況。
- (6) 可據此排出維護管理重點與優先順序。
- (7) 容易納入既有橋梁管理系統。
  - a. 國內橋梁檢測行之有年，相關檢測結果亦納入橋梁管理系統，針對整合性風險或耐洪、耐震等單一風險，該方法可以應用既有橋檢資料。
  - b. TBMS 系統面：增加新指標之方式，通過邏輯層處理，小修介面即可成功實施。

#### 5 小結

若以現行檢測評估改變不大為前提，建議短期內可施行之方式包括：1)統一「公路橋梁一般目視檢測手冊」、「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」有無損傷情形對應 D 值之判定標準；2)判定有疑慮者，以會議方式進行技術性決議；3) 以 D.E.R.&U.法為基準，僅針對少部份主要項目納入 A.B.C.D.N 法之精神，採用表 5-3 所示方式評估 D、E 值；4) 加值應用 D.E.R.&U.法檢測結果，針對以往所考慮之風險來源，採用上述構件層級風險評估法，掌握構件損傷現況影響橋梁功能之風險以及影響橋梁功能之關鍵構件。後續，再結合本報告有關橋梁檢測評估與國內相關規範及資訊系統有效結合施行之建議，長期內方可施行。

## 第六章 橋梁檢測評估與國內相關規範及資訊系統有效 結合施行建議

### 6.1 橋檢與性能評估等後續工作結合

#### 1. 考量

##### (1) 國內橋檢現況與需求：

- a. 橋檢結果顯示健康狀況良好之橋梁，在突發危害下仍有損傷風險，橋檢結果對後續橋梁維管決策之應用有限。
- b. 目前臺灣地區之橋梁性能初步評估表分為：耐洪能力、耐震能力以及承載能力評估表等。交通部公路總局所建立之『公路橋梁耐震評估及補強準則』亦建議初步評估法來篩選需要詳細評估之橋梁，初步評估包括耐震評估檢查表法與風險值法，耐震評估檢查表主要係參考交通部民國 87 年 7 月研究報告「建立公路橋梁安全檢測評估子系統軟體」與民國 92 年 12 月交通部公路總局研究報告「橋梁耐震能力評估準則之建立」，與民國 97 年交通部公路總局研究報告「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」加以修正而成；與業界目視檢測後所使用的初評表<sup>[51、52]</sup>不完全一致，有必要整合初步評估表，同時，有效納入橋檢結果。

- (2) 國外借鏡：美國 NBIS 之作法，係整合影響橋梁性能之所有資料，除了橋梁狀況所反映之內部因素以外，還包括環境、交通使用、防災系統等外因，彙整為 SI&A 總資訊後，先判定是否有結構缺陷與功能喪失，若沒有問題，則維持例行性的管理，不須特別處置，若有問題，才進一步計算能力評等指標 SR(sufficiency Rating)值，分別以  $SR \leq 80\%$  與  $SR \leq 50\%$  作為決策橋梁進行維修或重建之門檻值，同時作為執行優先順序之參考、預算經費編列及核撥之依據。此作法將橋檢所反映之狀況

與橋梁性能有效結合，提供維管決策應用。另外，Pontis 已納入風險管理之概念。

## 2. 建議

既有橋梁未來受災損之可能性與程度，與災害發生之潛勢以及橋梁結構本身之性能或易損性相關，亦即包括外因與內因兩方面，而目視檢測結果可以提供橋梁現況訊息，直接影響橋梁本身的易損性。建議應用風險管理之理論，考慮將橋梁狀況檢測結果與後續性能評估相結合，強化橋梁檢測結果於維管決策之應用。

首先，為了整合業界檢測用的性能初評表以及評估補強準則中的初步評估表，將國內現行各評估指標、現行耐洪能力、耐震能力(含落橋與橋柱之強度與韌性評估)、承載能力初步評估表之項目納入考量，建立結合橋梁檢測之橋梁風險初步評量表：包括危害潛勢影響因子、橋梁易損性影響因子、橋梁損傷後果影響因子，據此建立綜合風險評量項目表。該方法之實施，可以讓管理單位掌握影響某單一橋梁性能之風險來源、危害潛勢、易損性、橋梁抵抗危害的能力、維管須重視之關鍵風險、關鍵構件，亦可針對所管轄之多座橋梁，進行各類別風險排序或綜合風險指標排序，掌握關鍵橋梁，據此排出維護管理優先順序。上述內容擬於後期另案詳細探討與研擬。

基於上述結合橋梁檢測之橋梁風險初步評估法，可進一步建立風險可接受標準值，除了如美國提供辦理修復或改建之方向，亦可考慮本土化，針對是否需要服務使用性修繕、安全性詳評補強或改建，建立門檻值作為篩選指標。對於需要維修之橋梁，提出維修建議，並篩選優先維修部位，並規劃監測系統，掌握可能之缺陷變化；對於需要對安全性進行詳評之橋梁，進行非破壞性或必要之破壞性檢測，建立數值分析模型，依據補強可接受標準進行詳細評估後，不需補強者，比照前述需維修之橋梁辦理，否則，提出補強建議並規劃監測系統；對於需改建之橋梁，則朝改建方向辦理。

有關橋梁餘壽之判定，可以依據各環境條件下不同橋齡橋梁之風險指標回歸分析結果進行初步評判，亦可依據上述詳細評估所採用之數值分析模型，考慮材料劣化模型進行詳細評析。

以上說明如圖 6.1 所示。

## 6.2 橋檢與資訊系統之整合

### 1. 橋梁管理資訊系統配合實施建議：

國內橋梁檢測行之有年，相關檢測結果亦納入「臺灣地區橋梁管理資訊系統」，因此，在第 5.10 節橋檢有效實施之評估方法建議中，已考慮到既有資訊系統因應之難易度，例如：損傷程度與損傷範圍之評估，仍以每一構件記錄一筆資料為原則，系統不需改變；而 D.E.R.&U.法之改進，如同增加新指標之方式，通過邏輯層處理，最後小修介面即可成功實施。

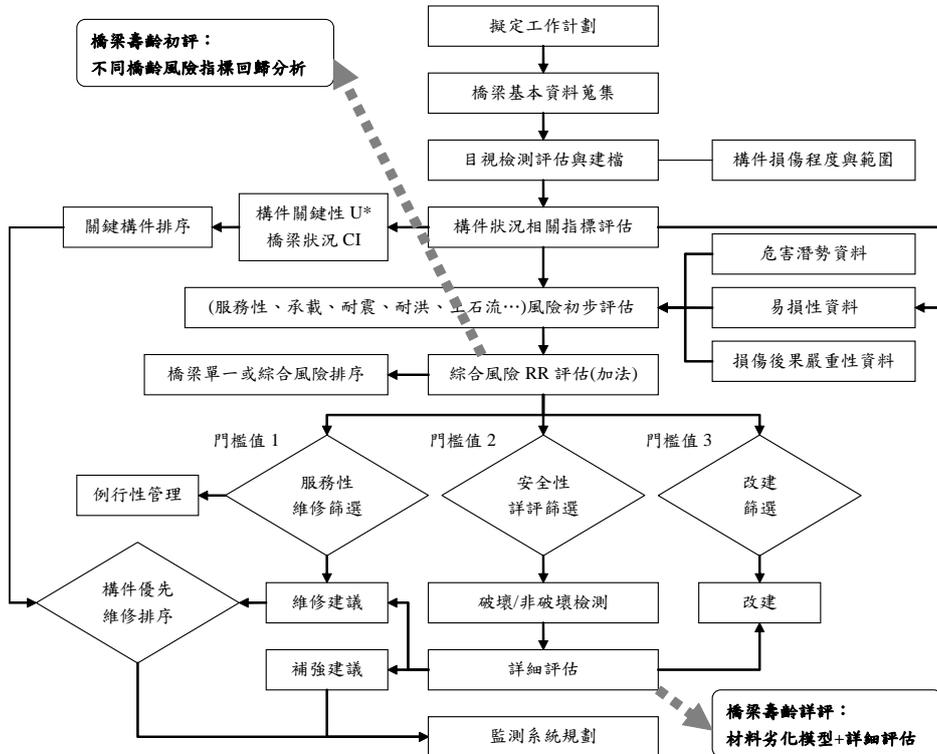


圖 6.1 橋檢與性能評估等後續工作結合實施示意圖

而針對與後續工作結合實施之建議，因包括所有危害潛勢影響因子、橋梁易損性影響因子、橋梁損傷後果影響因子等，所以可考慮於「檢測資料模組」中，同時納入「構件檢測資料」與「其他檢測資料」，前者則對應現行系統之檢測資料模組，納入前述橋檢有效實施建議，後者則依據橋檢與初步評估法結合之建議，納入橋梁風險初步評量表中橋梁現況以外之其他因子所對應之檢測項目；再於決策支援模組中，增加「風險管理模組」，依據橋檢與初步評估法結合之建議，計算單一風險與綜合風險指標，再依不同條件進行排序，最後依據與後續詳細評估、維修補強與監測工作結合之建議，提供維護管理建議。

橋梁管理系統最重要的是確保資料的正確性，建議可開發橋檢現場用之前端軟體，其資料庫可與橋梁管理系統進行資料交換，另外，可考慮可能的除錯機制，例如可進行相關系統資料勾稽，並配合查核機制來確保。

建議建立橋梁檢測專家知識庫，使用者於檢測橋梁之構件時，系統會顯示該構件可能之劣化類型供使用者選擇，選擇完損壞類型後，系統會建議若干相關檢測法供使用者選擇，並列出可能造成該損壞之原因，最後建議與選擇修復工法。此作法可以適用於現行系統，亦可配合未來實施方向規劃。

## 2. 工作落實：

考慮到管理單位未來組織再造，可能人力更加不足，委外辦理工作可能更加頻繁，檢測工作之落實更顯重要，資訊系統配合實施建議如下：

- (1) 行動裝置搭配 RFID 之應用：建立橋梁巡視圖，由 RFID 辨識檢測位置，系統自動選擇填表畫面，行動裝置系統填寫巡檢基本資料(人、設備/元件、事件…)，系統資料庫-行動裝置-RFID 讀寫進行資料交換，落實巡檢到位，讓缺陷無所遁形。過去的行動裝置在推廣 PDA 時遇到電能維持時間不長、陽光下反光

等問題，目前 PDA 或 smart phone 已改進，可連續使用約 6 小時，反光問題亦得以解決。亦可考慮採用平板電腦。另外，RFID 本身的問題亦需要考量，未來可以留意這些產品之發展，於適當時機加以應用。

- (2) 配合長期朝向數位式檢測施行之方向，可以採用行動裝置搭配影音方式，記錄各次檢測實情。

## 第七章 橋梁風險評估之規劃建議

檢測工作之實施有助於了解橋梁自身狀況，為後續評估橋梁受損的風險、承載力、耐洪能力、耐震能力以及是否需要修繕補強提供資訊，是確保橋梁安全營運之重要環節。然而，自然界具有高度不確定性，颱風、地震的規模、強度、延時、頻率等特性不斷變化，常常超過歷史紀錄；而法規並不保證既有結構遭受特大的災害時完好無損，例如：耐震設計規範允許大地震下結構發生可接受的破壞；設計分析以及營建過程也有許多不確定性；材料的耐久性以及使用上的變更也會影響到結構物的性能。所以，風險是存在的，即使是健康狀況良好的橋梁，仍有受災損之風險。在現行檢測制度與執行面下，如何建立結合橋梁檢測之安全風險評估技術受到關注，本研究亦基於風險管理之概念，規劃未來橋梁風險評估與管理之議題。

### 7.1 風險相關概念

「行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準」<sup>[91]</sup>將風險(Risk)定義為：潛在影響組織目標之事件，及其發生之可能性與嚴重程度。通常只有負面影響，亦即可能會造成災損的不利事件才是風險管理的涵蓋範疇。該不利事件視研究之範疇，可能涉及所有功能失效的事件，亦可能是特定的功能失效事件。

不利事件的發生，通常是結合了外因與內因等一序列不確定狀況，本研究中，將可能導致不利事件的威脅根源(Root Cause)定義為危害(Hazard)；而可能會直接導致人員傷亡、財產損失、環境與經濟衝擊之不利事件定義為潛在破壞模式或失效模式(Potential Failure Mode)；危害發生後，要形成破壞模式所經路徑之各事件則定義為風險因子(Risk Factor)。因此，危害亦是風險因子之一，均為導致災害模式之因素，區別僅在於是否為「始做俑者」。

依據上述定義，橋梁風險( $R$ )為發生橋梁功能失效的可能性與嚴重性兩項因素相乘所得之綜合性指標，如式 7.1 所示。其中，橋梁功能失效的可能性( $F_m$ )又可拆解為危害發生的可能性( $H_z$ )與危害確實發生後引發橋梁功能失效的可能性(又稱：易損性 Vulnerability,  $V_u$ )；橋梁功能失效的嚴重性又稱橋梁功能失效的後果( $C_q$ )。

$$R = F_m \times C_q = H_z \times V_u \times C_q \dots\dots\dots (7.1)$$

## 7.2 風險管理架構

風險管理架構如圖 7.1 所示，以風險評鑑與風險控制兩部分為主，風險評鑑包括風險辨識、風險分析與風險評估等三個步驟<sup>[92]</sup>。其中，風險辨識包含定義危害、辨識潛在破壞模式與確認風險因子等三部分，並建立三者的因果關係，其目的是為找出潛藏於系統的安全風險，包括已發生以及潛在但尚未發生的不利事件，了解由危害導致潛在破壞模式發生的路徑。風險分析包括機率分析與後果分析，實務中可以採定性、半定量以及定量(式 7.1)的分析方式來得到結果，亦即風險尺度。將評估的風險尺度與可接受標準與可容忍標準比較，即可了解該風險是否可接受、可容忍或不可容忍。若風險評估結果發現風險不可容忍，則要採取迴避、減輕、轉移或接受等措施進行風險控制，讓風險限制於可接受或可容忍之範圍。之後，則正常營運並進行風險監控、檢查與校正改善，才算完成整個 PDCA(Plan-Do-Check-Act)流程。所以，進行風險評估的目的就是要掌握不同來源風險之大小，針對不可接受或不可容忍之風險，採取對策進行控制，同時，將工作重點放於高風險項目，合理分配與使用經費。

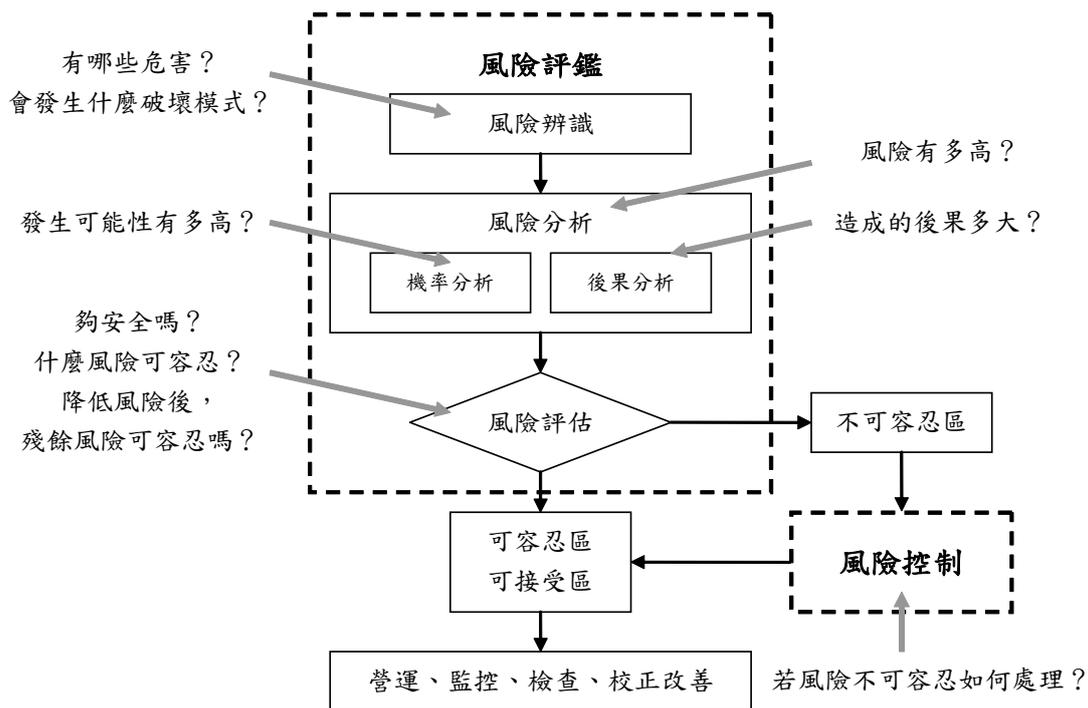


圖 7.1 風險管理架構

## 7.3 橋梁風險評估與管理之規劃建議

### 7.3.1 範疇界定

依據圖 7.1 之風險管理架構，風險評估必須經由風險辨識、風險分析，再與可接受標準與可容忍標準比較，才能完成。如前所述，考慮不利事件的風險可能涉及所有功能失效的事件，亦可能是特定的功能失效事件或破壞模式，考慮的範疇不同，需要的資料不同，會影響到後面工作的內容以及採用的方法。例如：範疇可能是群橋、單一橋梁或單一元件之所有功能失效事件或特定的功能失效事件。因此，了解業主的需求，界定業主關切的關鍵問題，了解解決問題的動機與目的以及研究的範疇，對選擇適當的方法非常有助益。

### 7.3.2 前置作業

進行風險評估前的前置作業，需要專業團隊蒐集資料，了解橋梁

設計、施工、營運與維護等階段之資料，例如：基本資料、預期性能(承載、耐洪、耐震)、監測資料、檢測維護紀錄、災情等，了解橋梁安全營運的可能缺陷或弱點，必要時，進行實地調查、訪談。

### 7.3.3 風險辨識

風險辨識是整個安全管理作業的第一步，也是風險管理作業中最重要的工作之一。風險來源包括天然外力、營運、系統內部與社會等四類，可以透過蒐集營運統計資料、群體討論、經驗導向法、問卷調查、結構化 What-If 分析、危害與操作性分析(Hazard and Operability Study)、系統分析等方法來完成，可建立如事件樹(Event Tree)或失誤樹(Fault Tree)等影響圖。

風險辨識是否完善取決於對系統及其功能以及風險來源之了解，單純依賴一般目視檢測資料難以全面性地完成風險辨識工作，但綜合前置作業中蒐集的資料則可以達成，例如：災情資料有助於完整辨識潛在破壞模式或失效模式，經由對其原因的統計分析，可以了解引發失效模式的主要危害與風險因子，亦為風險可容忍或可接受標準之建立提供依據。

### 7.3.4 風險分析

風險分析包括機率分析與後果分析，其中，機率分析包括危害發生的機率，亦即潛勢，以及危害確實發生後引發橋梁功能失效的可能性，亦即脆弱度或易損性。後果分析則是估算橋梁功能失效後引發之人命、財物、環境與社會經濟等損失。

常用的定性與半定量風險分析(可包含風險辨識)方法包括：群體決策(Group Decision Making)理論(例如：名目群體技術(Nominal Group Technique)如德菲法(Delphi Technique)、焦點團體法、層級分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP)、模糊決策(Fuzzy Decision Making)理論、失效模式影響與關鍵性分析(Failure Modes, Effects and Criticality

Analysis, FMECA)、馬爾可夫分析(Markov Analysis)等。

定量風險分析，對於全面系統性的功能失效可採用事件樹分析(Event Tree Analysis)和失誤樹分析(Fault Tree Analysis)兩類方法，其中，危害發生機率可採用物理或統計模式推估，而風險因子發生之機率可採用專家判斷、統計推論、可靠度分析、模式求解等分析工具，根據工程師對系統特性與參數的瞭解程度，以及監控與量測數據之數量多寡來選擇。事件樹分析則依據條件機率理論(Conditional Probability Theory)，將危害和各種風險因子發生之機率加以組合後，可計算潛在破壞模式產生的機率；而失誤樹分析則應用集合理論(Set Theory)和布林代數(Boolean Algebra)的觀念計算。上述工具亦可用於分析單一危害下的脆弱度。後果分析可採用統計估算或物理模式計算，地理資訊系統可作為呈現災損後果之工具。

採用定性與半定量之風險分析方法，其風險尺度以關鍵性指標或矩陣表示；採用定量之風險分析方法，其風險尺度以期望值(Expected Value)和 F-N 圖表示。

### 7.3.5 風險評估

風險評估是將估算之風險尺度與風險標準進行比較，以了解風險是否可接受，因此，預先確定風險標準亦相當重要。風險標準之制定本身就需要風險評鑑相關步驟，需要依據過去工程案例累積的資料庫、歷史紀錄與專家經驗，最後，由業主與執法者綜合考量安全管理準則，以及社會、財政、法規和管理等情況後，訂定合適的風險標準。

將估算之風險尺度與風險標準(例如：可容忍、可接受或其他特定標準)進行比較，就可以了解風險可接受性，作為風險控制決策之依據。

### 7.3.6 風險控制

藉由風險評估之結果可以決定既有風險是否可以容忍，是否需要藉由營運操作維護程序、監測系統的強化、更詳細的缺陷調查、緊急

應變計畫或其他如保險等風險控制策略來接受(Retain)、避免(Avoid)、減輕或降低(Reduce)、轉移(Transfer)風險。風險不可容忍，則要採取迴避、減輕、轉移或接受等措施進行風險控制，讓風險限制於可接受或可容忍之範圍。針對可容忍之風險，要特別監控與追蹤，在可能情況下，基於合理可實行之最低原則(As Low As Reasonably Practicable, ALARP)或合理可達成之最低原則(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)，規定管理責任，研擬接受(Retain)、避免(Avoid)、減輕或降低(Reduce)、轉移(Transfer)風險之對策，例如採取必要的監測、檢測活動儘量減小之。對於可接受之風險，則進行日常營運，並依風險事件排序，對相對較高之風險事件進行監控，並適時針對整各風險管理流程進行檢查、校正與改善，甚至尋找新的風險，重新評估與管控，以確保潛在風險完全得以控制，達到安全管理目的。

### 7.3.7 規劃建議

配合本研究所提出之橋檢有效實施以及與後續工作結合實施之建議，本計畫結合橋梁檢測之風險管理議題之工作內容如下。

1. 國內、外橋梁風險辨識、破壞模式、性能指標等文獻蒐集與回顧
2. 建立風險管理應用於橋梁檢測與評估整合實施之方法
3. 橋梁風險辨識系統分析，辨識風險來源及相關潛勢影響因子
  - a. 超載
  - b. 地震
  - c. 沖刷
  - d. 土石流... 等
4. 依不同風險來源，辨識橋梁構件及橋梁之損傷或破壞模式
5. 依風險來源分類，辨識影響橋梁易損性之風險因子，建立與破

## 壞模式之對應關係

6. 辨識橋梁損壞導致生命、經濟、環境、社會等損失之影響因子
7. 建議本土化風險指標及其影響因子
8. 建立結合橋梁檢測之本土化橋梁風險初步評量表
9. 風險分析相關文獻回顧、橋梁損傷資料蒐集
10. 建立結合橋梁檢測之風險分析方法
11. 建立結合橋檢結果之橋梁易損性分析方法
12. 結合專家意見與其他研究成果(例如 TELES)，建立橋梁損傷導致後果嚴重性之分析方法
13. 建立本土化橋梁各類風險指標或風險矩陣評估法
14. 建議本土化橋梁綜合風險指標計算方法
15. 建立風險評估程序與方法
16. 建立風險控管程序
17. 提出風險控管之措施
18. 建議其他決策應用之方法
19. 建議未來發展方向

## 第八章 臺18線與臺21線山區道路災害類型彙整、分類與特性分析

### 8.1 山區道路災害彙整

臺灣於 921 大地震後，地層滑動及山坡地土壤鬆動情形嚴重，加上近年來山坡地受到人為開發的破壞，導致山坡地水土保持措施喪失其功能，每遇豪雨極易造成土石流、山坡地滑動等災害。在民國 83~84 年歷經 9 個颱風及花蓮地震，發現省道公路護坡以駁坎破壞為多。於民國 86 年溫妮颱風、88 年 921 大地震及 89 年期間發生之地震統計，省、縣鄉道公路清除坍方及修整護坡駁坎等養護工程數量最多。一般而言，颱風或豪雨所造成之災損大部份皆集中於山區。依據國家災害防救科技中心整理歸納近年來經篩選去除非颱風豪雨所造成的道路崩塌事件，統計民國 89 至 96 年各道路歷史發生崩塌的災點數，如圖 8.1，為過去災點數超過 10 個以上的省道。

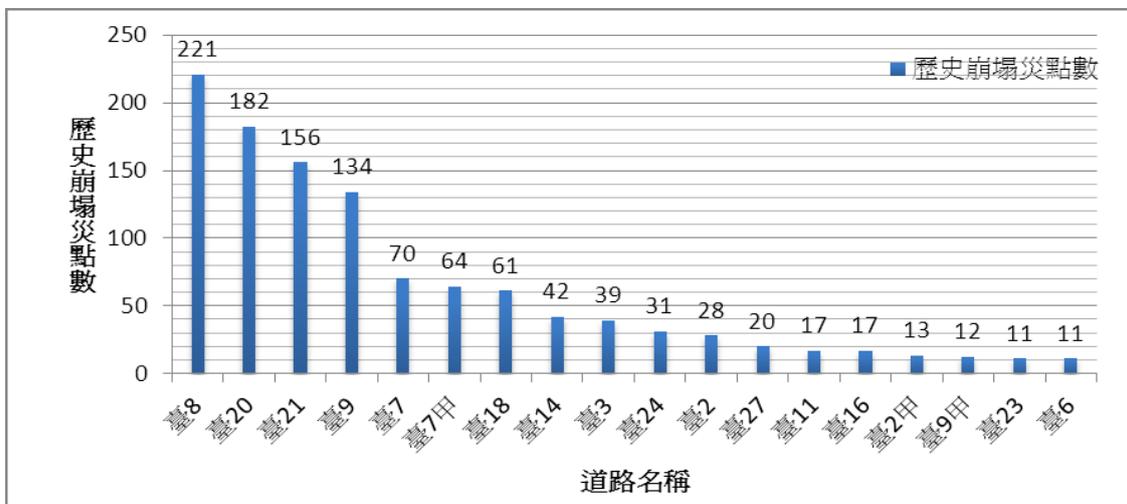


圖 8.1 道路邊坡災害歷史的災點統計

資料來源：國家災害防救科技中心

民國 88 年 921 大地震在中部地區造成重大災難，山坡地亦因地震影響，導致一夕之間出現廣大面積之崩塌。根據農委會在地震前後所做崩塌地之調查，臺灣地區山坡地崩塌處數量從 2,500 多處增加為 22,000 多處，崩塌面積也從 8,000 多公頃增加到 11,000 多公頃。過去

的三年中，鬆動的土石受到豪大雨及餘震擾動的影響，新增崩塌地達 800 多處，崩塌面積也增加約 1,200 多公頃。崩塌地之土石受到降雨逕流的沖刷，崩落之土石逐漸流入野溪、河川，除造成河川水質惡化外，亦是引發土石流之主因之一(周彥士，2006)。

民國 85 年賀伯颱風侵襲臺灣後，隨之而來的 88 年 921 大震、90 年桃芝納莉颱風的侵襲，到民國 93 年 72 水災，民國 94 年的海棠颱風，民國 96 年 0609 水災，到民國 97 年 7、8 月間近乎每週一個侵臺的強烈颱風(卡玫基、鳳凰、辛樂克、薔蜜)所挾帶的豪雨所產生的崩塌、地滑與土石流已成為臺灣山區環境坡地災害的重要代名詞。民國 98 年莫拉克颱風對南部臺 20、臺 21、臺 24、臺 27 及臺 28 等省道造成嚴重的崩塌災害，更影響到山區居民避難與後續救助的問題。然而颱風豪雨所帶來的影響，不僅對住戶生命財產安全構成嚴重威脅，亦對居住山區居民賴以維生的聯外道路影響甚大，極易形成孤島地區。

根據公路總局統計，臺灣山區易致災路段從北而南分布甚多，以臺 1、臺 2、臺 7、臺 8、臺 9、臺 11、臺 14、臺 16、臺 18、臺 20、臺 21、臺 23 及臺 26 每逢大雨便易致災之區位，如表 8-1 所示(交通部公路總局公路資訊易落石坍方路段表，2011)。

**表 8-1 公路總局轄區易落石及坍方危險路段彙總表**

縣市	路名	起迄樁號	起迄地點	易發生危險災害情形
新北市	臺 2 線	77K+000~114K+011	瑞芳~北宜縣界	部份路段遇豪大雨後會有零星落石及坍土
桃園縣	臺 7 線	22K+850~61K+719	羅浮~西村(縣界)	因所屬地段地質不穩定，遇大雨易發生邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流
臺中市	臺 8 線	37K+500~62K+889	馬崙~德基	921 震災引起大規模崩塌，地質脆弱不穩定，遇大雨易邊坡落石、路基下陷及土石流，目前交通阻斷封閉
臺中市	臺 8 甲線	0K+000~16K+866	壩新~德基	921 震災引起大規模崩塌，地質脆弱不穩定，遇大雨易邊坡落石、路基下陷及土石流，目前交通阻斷封閉
南投縣	臺 14 線	60K+150~74K+400	埔里~霧社(蜈蚣里~人止關)	邊坡地質不穩定，遇大雨易發生坍方、土石流及零星落石；另河床淤積沖刷掏空路基之虞

縣市	路名	起迄樁號	起迄地點	易發生危險災害情形
南投縣	臺 16 線	35K+000~41K+253	地利~孫海橋	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方及零星落石
南投縣	臺 21 線	119K+000~145K+032	神木村~合社	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方、零星落石及土石流
宜蘭縣	臺 9 線	111K+650~123K+900 140K+350~142K+280 148K+450~154K+500	蘇澳鎮~東澳村 東澳村~南澳鄉 南澳鄉~和平村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 9 線	164K+050~190K+900	和仁村~三棧村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 8 線	69K+100~188K+240	大禹嶺~太魯閣	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
花蓮縣	臺 14 甲線	33K+100~41K+330	合歡山莊~大禹嶺	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷
嘉義縣	臺 18 線	42K+800~45K+000	番路鄉龍頭附近	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
嘉義縣	臺 18 線	59K+000~78K+450	阿里山鄉十字路附近	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
高雄市	臺 20 線	67k+200-146k+550	甲仙鄉-桃源鄉	邊坡地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流
高雄市	臺 21 線	214k+920-233k+500	那瑪夏鄉民族村-甲仙鄉關山村	因所屬路段地質不穩定，遇大雨易造成邊坡坍方、落石
屏東縣	臺 1 線	447k+900-459k+800	南勢湖-楓港	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
屏東縣	臺 9 線	455k+000-472k+000	壽卡-新路	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
屏東縣	臺 26 線	3k+500-7k+450	楓港-海口	部分路段因邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 9 線	357k+000-439k+100	鹿鳴橋附近-南興	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 11 線	135k+850-153k+500	金樽-杉源	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 23 線	20k+000-22k+400	東源鄉北源村	邊坡地質不穩定，遇大雨易坍方落石
臺東縣	臺 20 線	147k+150-184k+200	啞口-霧鹿	因所屬地段地質不穩定，遇大雨易邊坡落石，部份路段路基下陷、土石流

由表 8-1 的事件資料可看出，災害多發生於地質不穩定及易崩塌落石之危險路段上，表示這些道路只要每逢颱風豪雨，便具有崩塌的危險。一般而言，道路邊坡破壞可分上邊坡與下邊坡，上邊坡一般為挖方邊坡，下邊坡一般為填方邊坡，無論開挖之規模與範圍，均可能因

自然或人為因素之交互作用產生災害。而山坡地坍方造成之工程設施、保全對象傷亡之災害，其主要破壞模式可概分為沖刷及崩塌二大類。沖刷破壞則是因為邊坡在雨水之衝擊與沖蝕作用下，沿坡面逕流方向形成無數蝕溝，若未加以任何防護措施，蝕溝逐漸擴大，若延伸至坡趾即造成坡面之陷落或坍滑。而邊坡崩塌依據運動型態區分為墜落(fall)、傾覆(topple)、滑動(slide)、側移(spreads)及流動(flow)等五種基本類型，如兩種類型以上同時或先後發生則為複合型。

### 1. 墜落

一般多發生於較陡的岩石邊坡，大小不一的岩塊自上至下崩落。易產生落石的岩層必然具有不良地質材料及地質構造。例如膠結不良、節理發達，造成弱面發育進而切割岩體，導致落石之發生。硬岩下含軟弱層時亦會發生這種現象。近乎直立的土坡，由於缺乏側向支撐，形成坡頂張力裂縫並逐漸向下發育，亦可能導致崩落。

### 2. 傾覆

由單一或數個岩塊或土塊向前倒坍而破壞，包含三種傾倒型式：撓曲傾倒(flexural toppling)、塊體傾倒(block toppling)、塊體撓曲式傾倒(block flexural toppling)。傾倒型破壞常由於坡址處之開挖，或河岸之沖刷，加上塊體或土塊裂縫中之水壓力、和岩塊或土塊之自重(如塊體過度傾斜使重心超過塊體之趾部)，產生相對於塊體趾部之曲動彎矩而倒坍破壞。傾倒與崩落發生之原因雖然不同，但破壞發生後現場之特徵則很類似。

### 3. 滑動

岩體或土體於失穩作用下，沿破壞面發生滑動。滑動面可能為平面、圓弧或不規則面，多發生於岩屑、岩堆等鬆散崩積層構造或傾向於坡面，地層間含有軟弱夾層之地質構造因道路開挖出現自由端。例如岩坡之順向層破壞或土坡之圓弧破壞等。此外，坡面逕流嚴重沖刷亦可能發生淺層滑動破壞。

#### 4. 側移

側移破壞發生、岩塊破碎後，幾乎是水平方向的滑動，漸次向側向擴展以致崩塌破壞之類型。發生於崩坍區域內之破壞，並無明顯之控制剪力面或塑性流區；乃因地底下之軟弱的土壤或岩層，受到震動造成液化或塑性流動(plastic flow)，使上層之土壤或岩石斷裂下陷、移動、旋轉、流動及擠出地面。此類型之特徵為上層物體有些垂直下沉，而下層之塑性體被擠出至地面。

#### 5. 流動

山坡上之岩體或土體於環境因素影響下產生流動之狀態。一般多為颱風、豪雨誘發的破壞，惟有時亦可能因山谷洪水暴漲沖刷引致坡體坍塌與水混合而形成者(陳冠華，2010)。

臺灣地區道路邊坡地質狀態複雜，綜合上述邊坡崩塌破壞運動型態，道路邊坡崩塌分類參考目前較通行者為美國交通研究委員會(TRB, "Landslides Investigation and Mitigation" Special Report 247, 1996)之分類方式。一般而言，自然邊坡崩塌破壞之所有型式均可用材料及運動類型兩個名詞分別予以簡化歸類並加以描述。依據型態所列簡要分類：首先描述材料，可區分為岩層(rock)、岩屑(debris)及土壤(soil)，岩層較完整與尚未移動之堅硬塊體。工程土壤則區分岩屑與土壤，岩屑為粗粒料含量達到一定比例，如大於 2 毫米粒徑含量在 20~80%之間，但其他仍小於 2 毫米者，土壤則為含有小於 2 毫米粒徑之材料達 80%以上者。再者則描述崩塌運動類型，邊坡崩塌依據運動型態如同前述區分為墜落、傾覆、滑動、側移及流動此五種基本類型，若兩種類型以上同時或先後發生則為複合型。

由上可知，坡面的崩壞形式相當多，但由於誘發崩塌的理論因子相當複雜，可以歸納以下說明，崩塌係指構成邊坡之土體或碎屑，受自然與人為因素影響失去平衡，在重力作用下沿斜坡面發生向下或向外運動者稱之。破壞過程滑動體多遭受嚴重破壞，呈分崩離析狀，且滑動面於滑動後裸露於地表或易於判斷其位置。

而導致崩塌發生的因素，一般可分為潛因(inherent causes)與誘因(initiating causes)。潛因是指坡地本身的基本條件，主要由地質與地形等自然因子所組成；誘因則泛指可誘發坡地崩壞之外在因素，如颱風、降雨、地震、人為擾動等，當土壤或岩石的抗剪強度不足以支撐上覆重量時，便會發生崩塌，而土壤或岩石的抗剪強度主要隨著加壓的速率、溫度、圍壓、孔隙水壓，以及岩層或邊坡的大小和形狀而改變。崩塌的發生可能是因為物體吸收水分，或是邊坡上方的承載量增加，因而導致剪應力增加，也可能原來的邊坡工程開挖或河流切割坡腳，致使坡度增加而威脅邊坡的穩定度。有許多學者試圖建立模式推估崩塌地在空間上分佈的特徵，以危害度與易致災性進行災害風險分析，主要考量的因子包括各路段的地質、植生、坡度、坡向、溪流區位等。

## 8.2 山區道路災害資料分類

臺灣山區道路災害之發生大都由於自然因素(道路邊坡坡度、邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、植生狀況、累積崩塌次數及降雨量等)及人為因素(工程設施、保全對象)交互作用，甚少單一原因，亦即危害度與脆弱性因子的交集。由歷年重大道路災害案例中可發現，山區道路災害類型主要在於上邊坡土石滑落、坍方等地質災害造成交通阻斷。下邊坡坍方、河流沖刷導致路基下陷或缺口、路基流失。造成災害的主因為颱風、豪雨、等自然力，導致工程設施及保全對象之損害或傷亡。

### 8.2.1 地質與地形對邊坡的影響

邊坡往往因地質、地形或自然環境因素等，造成破壞或滑動，而滑動規模與頻率，依據邊坡本身條件與外在環境影響而有所不同，然而不論規模大小或滑動頻繁的邊坡，都會在下邊坡或崖堆上形成堆積物，這些原本在邊坡上的岩石，經過物理或化學等風化程序後，經由滾動、滑動或崩塌等重力作用向低處位移，形成無一定形狀與大小的堆積物，這些堆積物可稱為崩積土。崩積土的組織極不規則，其成分，

大者如礫石，細者為沈泥、黏土，甚至含有機物，其性質變化極大且又難測定，取樣困難極大。其內部，甚為疏鬆，極易聚集流水；其表面，因風化及植物之生長，難於透水，因此易於產生較高水壓，不利於邊坡穩定。

另一個重要的因子即地形，而褶皺將影響地形的發育，造成岩層傾斜及產生岩體之破裂面等。產生破裂面的原因很多，不論其成因為何，破裂面的發育對於邊坡的穩定性皆為負面的影響，如降低岩體強度、造成沉陷現象、提供滑動面、造成岩體破碎等。此外，開口將使水分容易進入岩體中，不但增加水壓，也加速了風化作用。岩層層面的位態常與邊坡坡面位態形成不同的坡型，包括順向坡、逆向坡與斜交坡，而不同坡型的邊坡其穩定程度並不相同，地滑數量與順、逆向坡關係如圖 8.2 所示。順向坡可能發生平面滑動，其坡度較緩，逆向坡可能發生落石，其坡度較陡。斜交坡一般而言，較為安全。

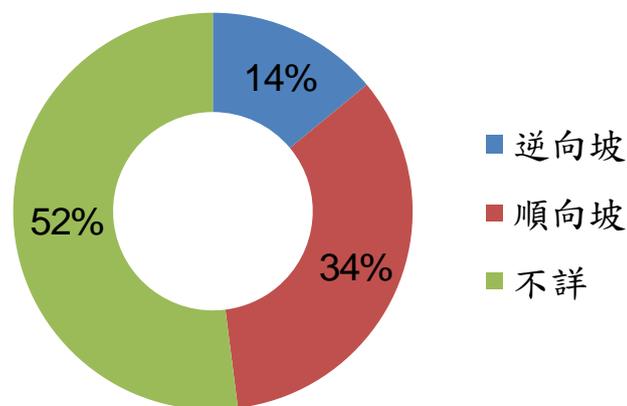


圖 8.2 地滑與地層傾斜方向關係之統計(楊佳勳，2001)

### 8.2.2 坡度對邊坡的影響

一般而言，坡度愈大其邊坡之穩定性愈低。以溪頭地區為例：平均坡度於 35 度以下之邊坡，其崩塌受累積雨量影響較不顯著，平均坡度於 40 度以上之邊坡則相當顯著，且於累積雨量超過 300mm 時發生大量崩塌(林銘郎，2003)。水土保持局針對長期坡度與坡地災害資料的

影響關係調查，將臺灣地區坡度分為六級，如表 8-2 所示。一般而言，對於第 3~5 級坡較易發生災害(傾斜百分比介於 25%~100%)，原因在於在此區間土層穩定性較差，易受降雨及地震的影響而造成災害。

表 8-2 水土保持手冊坡度分級

坡度級	傾斜角度(度)	傾斜百分比(%)	備註
1	$\theta < 5^\circ$	$< 10$	平坦
2	$5^\circ \leq \theta < 15^\circ$	$10 \leq P < 25$	小起伏
3	$15^\circ \leq \theta < 25^\circ$	$25 \leq P < 45$	丘陵地
4	$25^\circ \leq \theta < 35^\circ$	$45 \leq P < 70$	山坡地
5	$35^\circ \leq \theta < 45^\circ$	$70 \leq P < 100$	山地
6	$\theta \geq 45^\circ$	$P \geq 100$	陡峭

### 8.2.3 水對邊坡的影響

降雨與破壞的關係有很明顯的關連性。降雨所產生的地表水及地下水，會使邊坡的孔隙水壓升高，促使邊坡表面風化層或崩積層產生變動，進而造成崩塌。近年來因全球氣候變遷，造成各地氣候型態改變，導致災情更甚。降雨時，雨水對裸露之地面產生衝擊形成逕流，造成地表土層之流失、鬆動與侵蝕。部分雨水經由地面孔隙滲入土層，地下水位上升，孔隙水壓與滲流水壓增加，不飽和土壤因雨水滲入而飽和時，土體自重增大，凝聚力折減而產生山坡地滑動。另由於持續降雨，大量雨水經由山溝野溪流至河川，受地形、地質、坡度因素，如河床坡度陡峭使水流加速，侵蝕力增大，使下邊坡支撐力喪失，而向上游侵蝕，河川水流經凹岸時流速加快於凹岸地形或離心漩渦水流沖刷凹岸，導致坡趾穩定破壞坡面坍塌，路基崩塌，如表 8-3 所示(蔡岱佑，2007)，各種破壞型式照片如圖 8.4 所示。

邊坡穩定受控於孔隙水壓分佈，而孔隙水壓分佈又明顯受到坡地水文地質特性以及降雨造成地下水流動變化之影響。Terzaghi 於 1936 首先提出有效應力的觀念，當孔隙水壓上升則有效應力下降，不僅降低土壤的抗剪強度，也增加了其下滑力，進而影響邊坡穩定的程度。

表 8-3 水對邊坡不利之影響

破壞類型	破壞原因	主要特徵
漫地流造成 路基流失	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 排水溝阻塞</li> <li>● 紐澤西護欄阻礙水流使水量集中造成沖蝕</li> </ul>	水流遇紐澤西護欄缺口時，路面大量逕流及傾洩而出，造成水力沖蝕，使路基留失。
地表沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 坡面植生不佳，岩石裸露</li> <li>● 上邊坡缺乏適當的排水系統</li> <li>● 坡趾無尾溝沖蝕破壞</li> </ul>	邊坡在雨水之沖蝕作用下形成沖蝕溝，若未適當處理，蝕溝延伸至坡趾造成坡面之坍塌。
向源侵蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河床邊坡陡峭使水流速加大，侵蝕力增大，使下邊坡支撐力喪失，而逐階向上游侵蝕</li> </ul>	常發生於谷地，且為流水匯集之處，產生邊坡滑動的循環破壞模式，使谷地切割產生向源侵蝕。
凹岸沖蝕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 河川水流經凹岸（即供擊岸）時，流速加快，於凹岸地形成離心渦漩水流沖刷凹岸</li> </ul>	河川凹岸之路基遭河水沖刷，使得路基崩塌、路寬縮小，甚至因基礎淘刷，引起破壞的現象。
淺層滑動	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地下水位以上的邊坡因降雨入滲形成飽和浸潤帶，基質吸力因而降低、導致凝聚力折減並形成無限長邊坡之淺層滑動</li> </ul>	多發生於土層或岩土界面間，一般淺層破壞之深度不會超過三公尺破壞面平行於邊坡，一般可以無限長之邊坡破壞模式代表。

資料來源：行政院公共工程委員會，2006，臺灣地區山區道路規劃設計參考手冊



(a)地表沖蝕



(b)向源侵蝕



(c)凹岸沖蝕



(d)淺層滑動

圖 8.3 水對邊坡造成各種破壞類型

#### 8.2.4 人為開發對邊坡的影響

臺灣地質構造脆弱，環境因素複雜且受到人為開發、管理不善等人為因素之影響，山區道路施工常因開挖造成坡度甚陡之邊坡，開挖過程中將坡腳切除使得岩塊失去支撐，或將堅硬的岩塊炸得支離破碎，凡此種種施工行為都會提高該路段崩塌發生的可能性。一旦山區道路進行興築，開發常伴隨著大量的挖填方，若坡地填方區未加以滾壓夯實，內部較不穩定且鬆動，易產生路基下陷或缺口。因此山區道路建設災害之發生，綜合而言是由於各種自然因素包括降雨、地形、地質、地貌、水文、土壤植被等潛在影響，與工程設施開發等人為因素之共同作用所導致。

統計邊坡崩塌種類，如圖 8.4 所示。圖中顯示崩塌最多為自然邊坡

佔 56%，其次是挖土造成邊坡損壞佔 19%，另外不當挖填土佔了 15%，由統計數據知自然邊坡崩塌佔多數，與一般認為自然邊坡是最安全之理念不盡相同(楊智光，2002)。

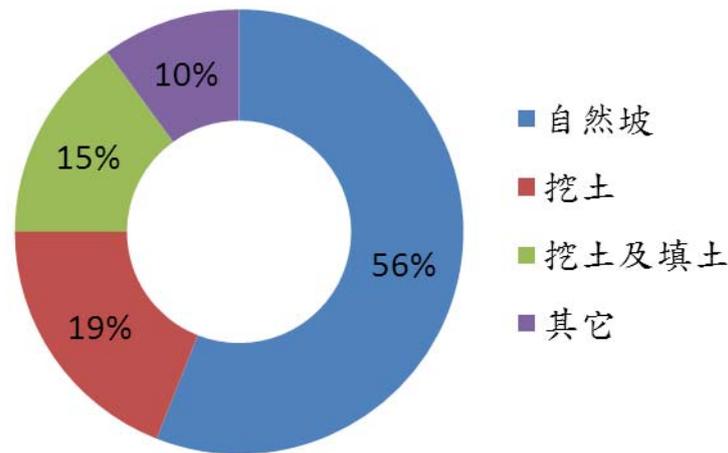


圖 8.4 邊坡崩塌的種類統計(楊智光，2002)

造成邊坡的破壞主要原因之一是降雨，就邊坡的穩定性來看，地下水的存在會增加土層的自重，增加土層的下滑力；如果地下水潤濕黏土，使其泥化及軟化，又使黏土礦物吸水膨脹，大大降低土層的剪力強度，使邊坡的穩定性大為降低。同時降雨則是觸發邊坡崩滑最重要的因素，因降雨會有一部份雨水形成地表的逕流，在地表沖刷坡腳，使邊坡變高、變陡，而降低穩定度(潘國樑，2007)。

## 8.3 山區道路災害特性分析

### 8.3.1 研究區莫拉克事件資料分析

本計畫之研究範圍臺 18 線與臺 21 線，為構成玉山景觀公路之主要交通系統，為中部地區聯絡山區重要景點，在觀光運輸上扮演相當重要角色。故本研究選擇其中臺 18 線及臺 21 線作為分析對象，圖 8.5 與圖 8.6 分別為該兩線山區道路之衛星影像圖。

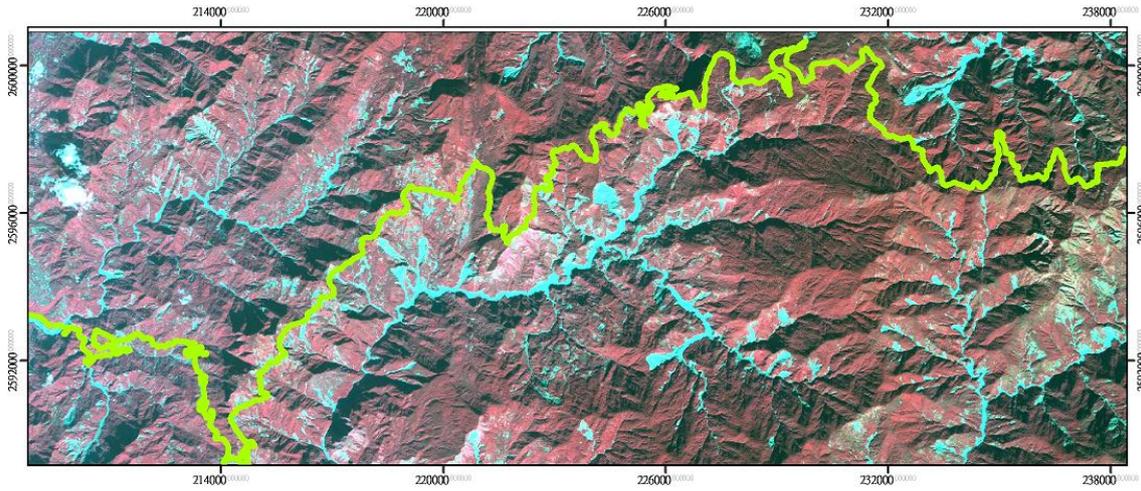


圖 8.5 臺 18 全線 SPOT 衛星影像圖

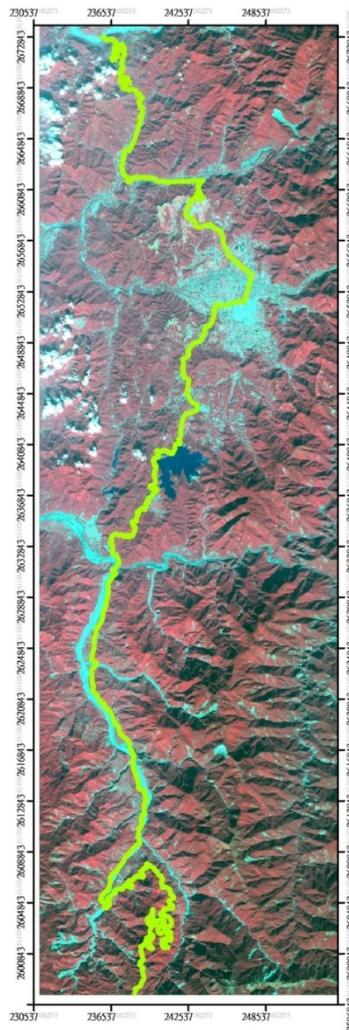


圖 8.6 臺 21 全線 SPOT 衛星影像圖

在臺灣多數的山區道路中，以臺 14、臺 18、臺 20、臺 21 災害特別多。過去幾年省道臺 18 線阿里山公路與臺 21 為歷年研究資源投注之山區道路，但缺乏整合，加上近年來多次颱風降雨中心集中在這兩條道路的山區，造成道路上邊坡植被遭破壞影響土壤穩定性誘發崩塌。野溪水流沖刷造成道路下邊坡的基腳流失，導致路基塌陷與坡面崩落的現象甚多。

民國 98 年莫拉克颱風侵襲臺灣，降下的驚人雨量於臺灣地區的山坡地發生嚴重走山及崩塌等大量的土石災害，土石流、地滑等現象在山區坡地隨處可見。本計畫利用取得之衛星影像資料，分析臺 18 線及臺 21 線之莫拉克颱風崩塌範圍分佈，套疊全臺集水區分佈圖，以單一次集水區為單位逐一切取沿線通過區域之資料庫數據，其範圍如圖 8.7 所示。根據相關文獻指出崩塌的發生，取決於驅動因子(即降雨特性參數)與地文及地質條件，如坡度、地質等交互影響而發生。本研究參考水土保持手冊之坡度分級(詳見表 8-2)，經整理統計各級坡度下崩塌比例，如圖 8.8 所示，並根據 Lee 等人(Lee, 2001)參考 1997 年 UBC 規範(ICBO, 1997)及 NEHRP 分類所建立的臺灣地盤特性分類圖，如表 8-4，此一分類已初步整理臺灣地區四大類地盤特性，整理各分類下崩塌比例如圖 8.9 所示。選取驅動因子如降雨強度、累積雨量進行分類，初步統計其崩塌比例如圖 8.10~11 所示。然而崩塌之發生並非單一地質條件抑或單一降雨特性參數所造成，而是由降雨特性參數、地文、地質條件等重要致災因子之交互影響而產生。

本計畫初步選取各坡度分級及地盤分類進行組合，組合如表 8-5，將崩塌資料庫之數據進行分組，並分別以累積雨量及降雨強度作為驅動因子，統計其崩塌比例。例如，圖 8.12 表示為第 1 級坡度與 B~E 類地質之組合。以降雨強度作為驅動因子之崩塌比例，總計以降雨強度為驅動因子者之組合有 24 組，如圖 8.13~圖 8.18。以累積雨量為驅動因子者之組合有 24 組，如圖 8.19~圖 8.23。此一分組方法可適度表示驅動因子及內在環境條件等各種不同組合下之崩塌災害發生狀況，前述組合為初步選定之一，並非指為臺 18 線及臺 21 線僅此二種因子之

組合。上述分析顯見對於大規模災害，崩塌因子與坡度具有高度相關性，尤其對於第 3~4 級坡度( $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ )。不論對於降雨強度或累積雨量，皆顯示出崩塌率隨著驅動因子升高而提升。而根據地質之分類結果顯示，在此類大規模災害事件下，地質與崩塌之相關性則較不明顯，除 E 類(沉積層或軟泥層)多類屬於坡度較緩 1、2 級坡之外，其他皆有高致災之可能。

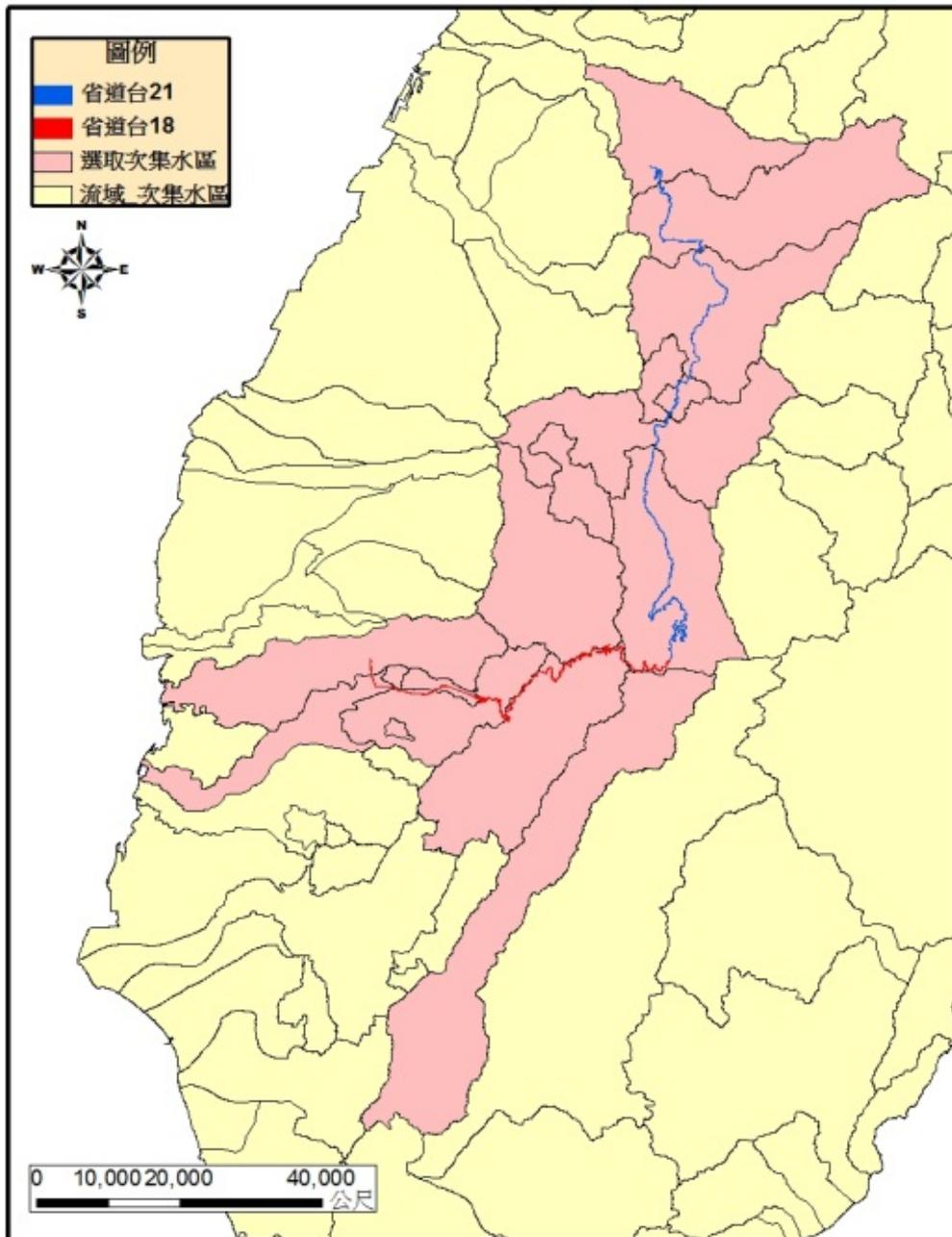


圖 8.7 崩塌資料庫選取範圍表

表 8-4 地盤分類圖(Lee et al., 2001)

Site Class	說明
B	一般岩石
C	軟弱岩石及緻密土壤
D	堅硬土壤
E	沉積層或軟泥層

表 8-5 地文、地質組合

地盤分類(B~D類)	坡度(1~6級)					
	B地盤	1級坡度 B地盤	2級坡度 B地盤	3級坡度 B地盤	4級坡度 B地盤	5級坡度 B地盤
C地盤	1級坡度 C地盤	2級坡度 C地盤	3級坡度 C地盤	4級坡度 C地盤	5級坡度 C地盤	6級坡度 C地盤
D地盤	1級坡度 D地盤	2級坡度 D地盤	3級坡度 D地盤	4級坡度 D地盤	5級坡度 D地盤	6級坡度 D地盤
E地盤	1級坡度 E地盤	2級坡度 E地盤	3級坡度 E地盤	4級坡度 E地盤	5級坡度 E地盤	6級坡度 E地盤

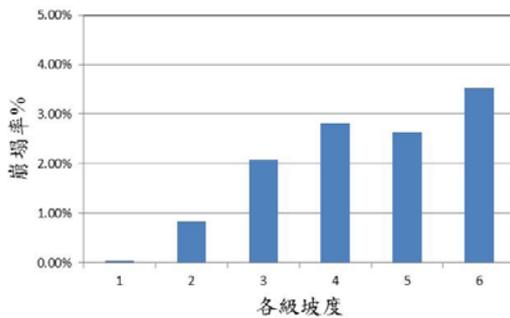


圖 8.8 各坡度分級之崩塌率

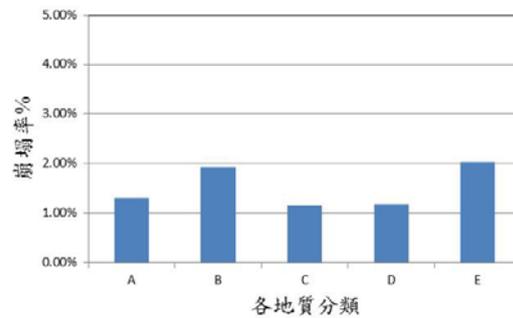


圖 8.9 各地質分類之崩塌率

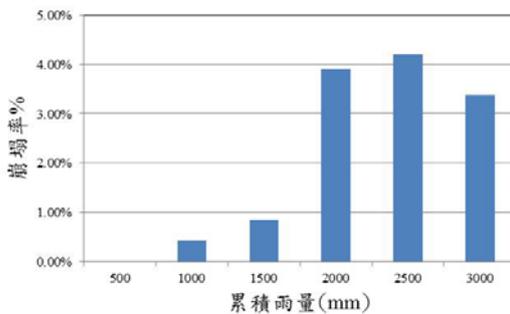


圖 8.10 累積雨量與崩塌率之關係

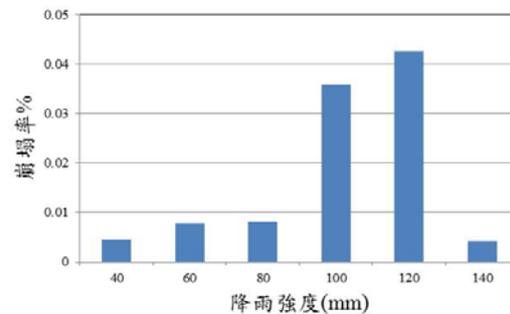
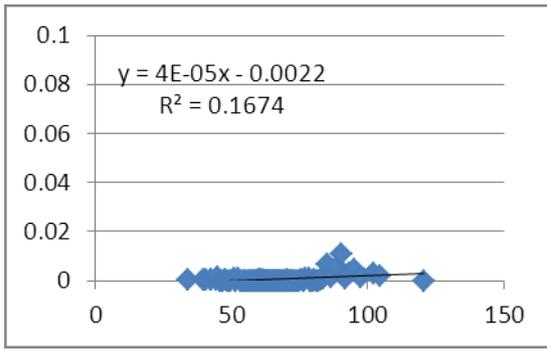
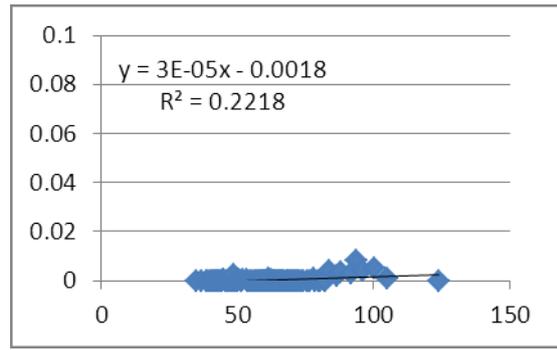


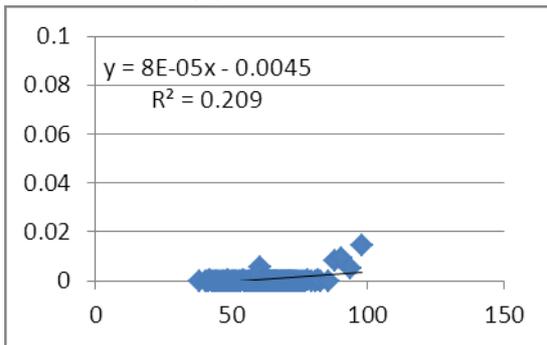
圖 8.11 降雨強度與崩塌率之關係



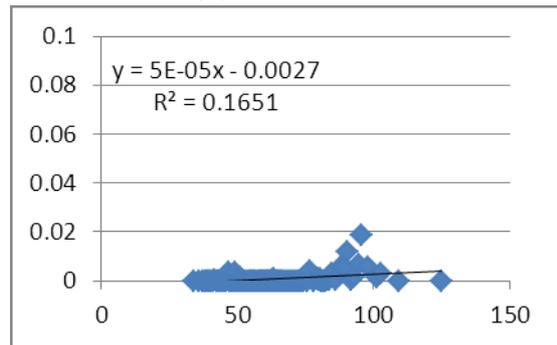
(a) B類地質



(b) C類地質

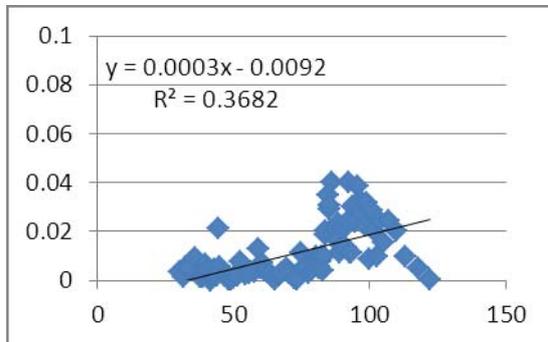


(c) D類地質

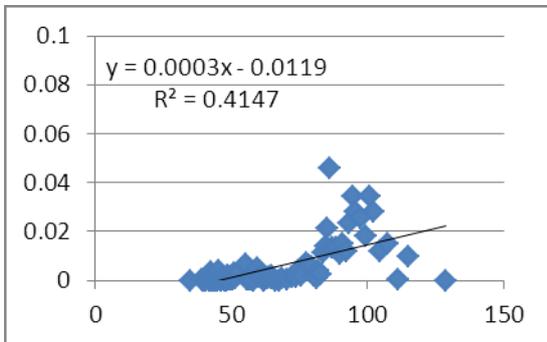


(d) E類地質

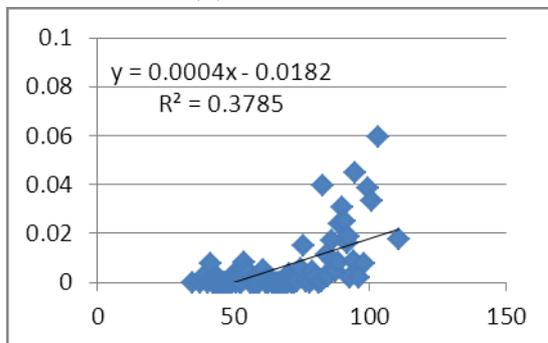
圖 8.12 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



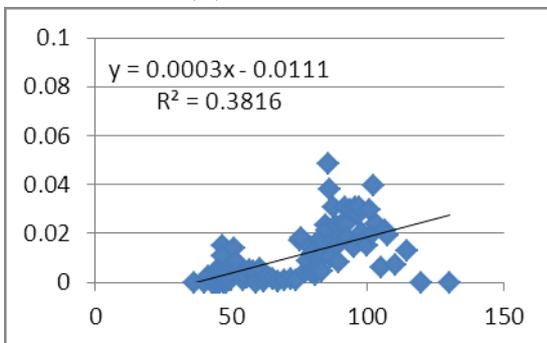
(a) B類地質



(b) C類地質

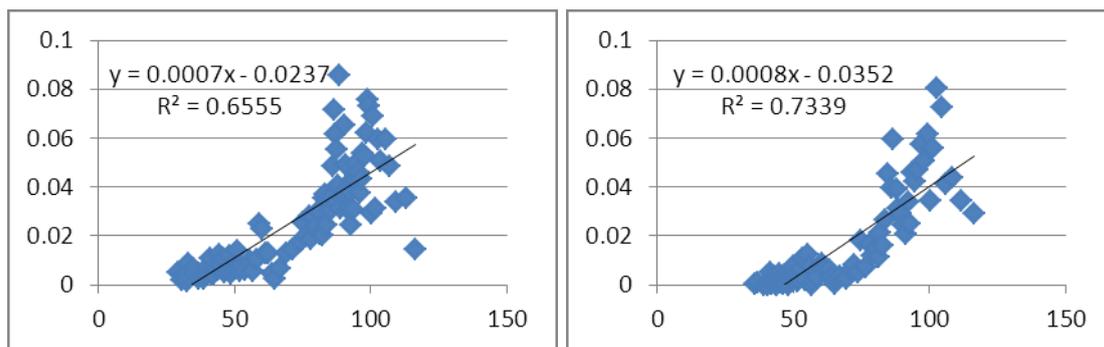


(c) D類地質



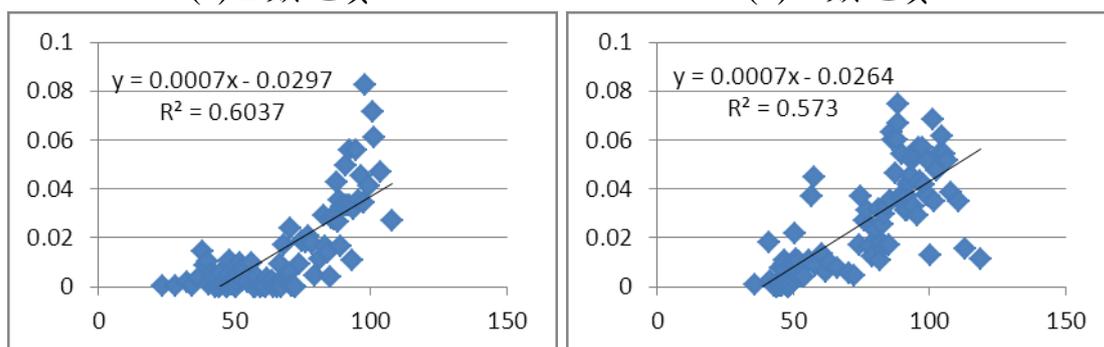
(d) E類地質

圖 8.13 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



(a) B類地質

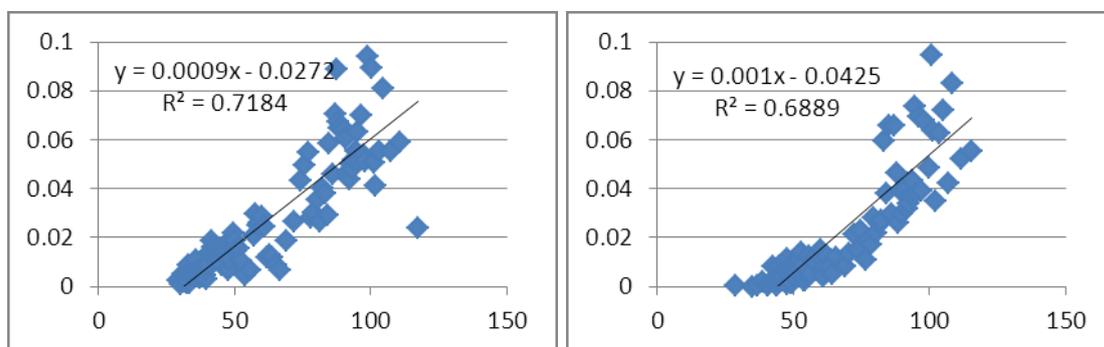
(b) C類地質



(c) D類地質

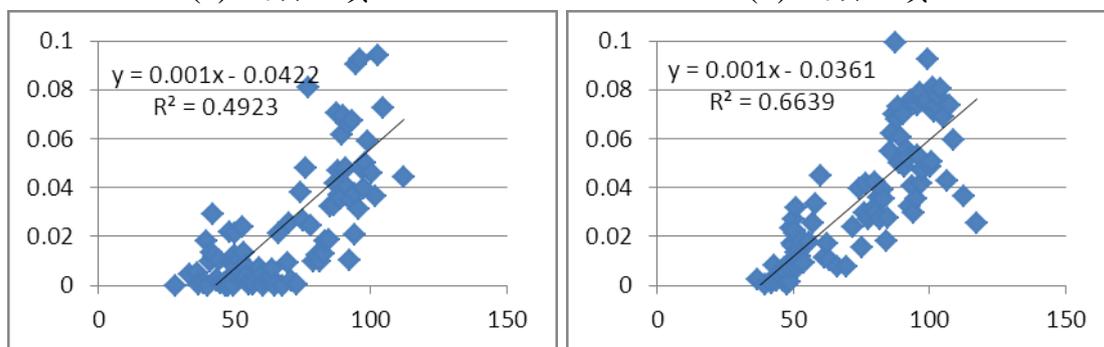
(d) E類地質

圖 8.14 第 3 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)



(a) B類地質

(b) C類地質



(c) D類地質

(d) E類地質

圖 8.15 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

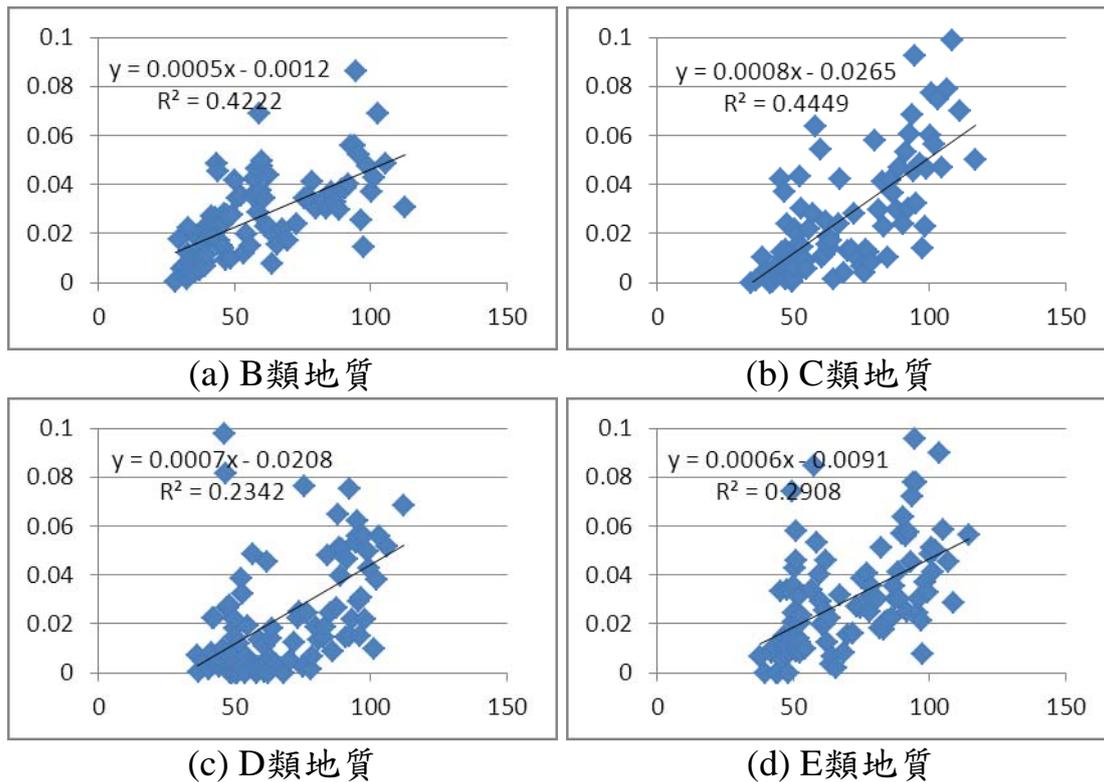


圖 8.16 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

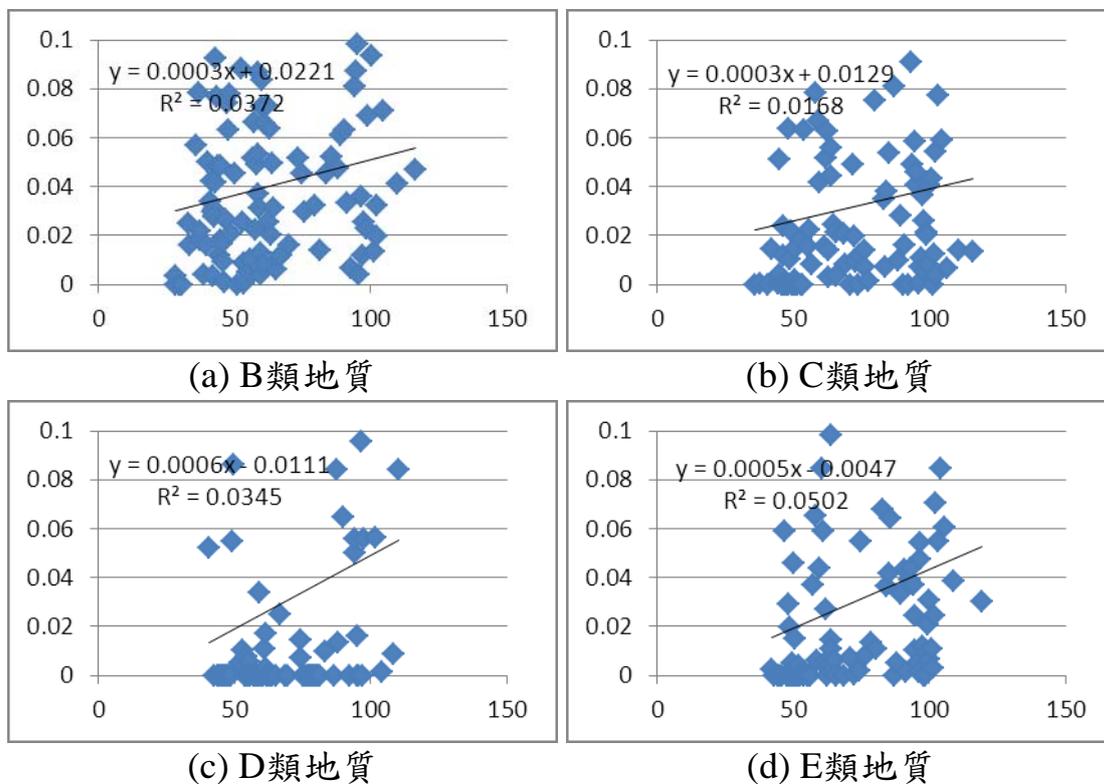
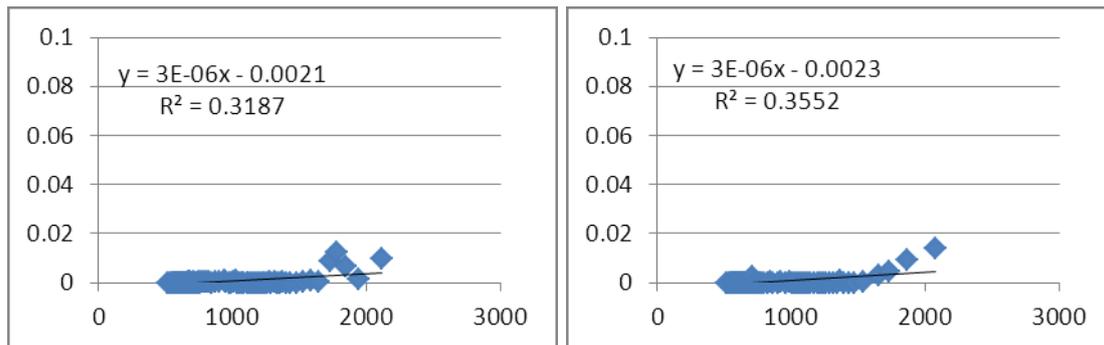
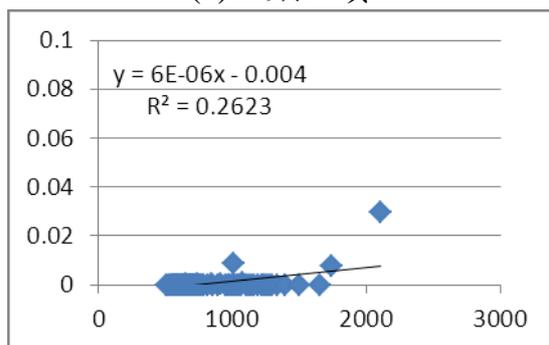


圖 8.17 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：降雨強度 mm)

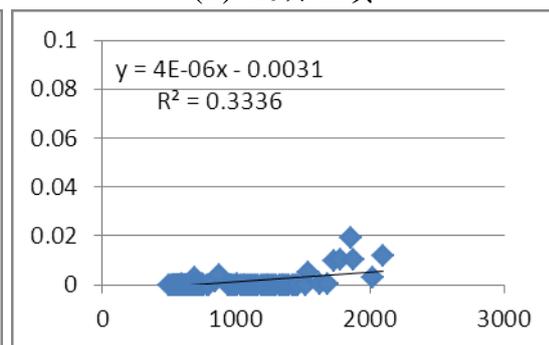


(a) B類地質

(b) C類地質

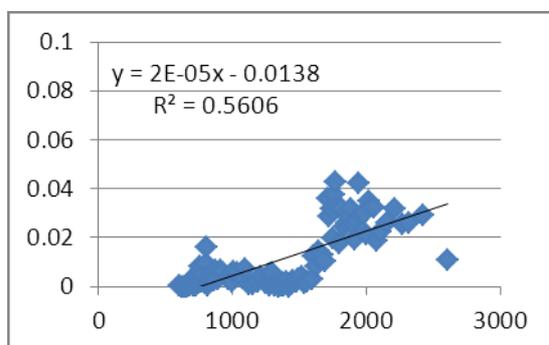


(c) D類地質

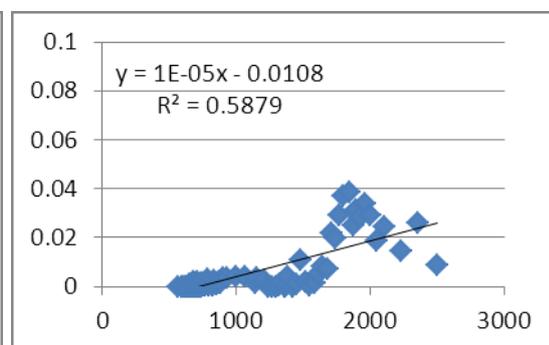


(d) E類地質

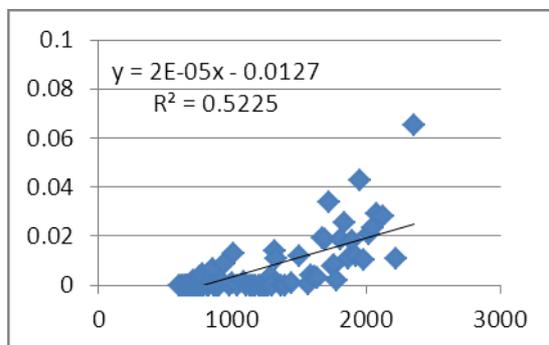
圖 8.18 第 1 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)



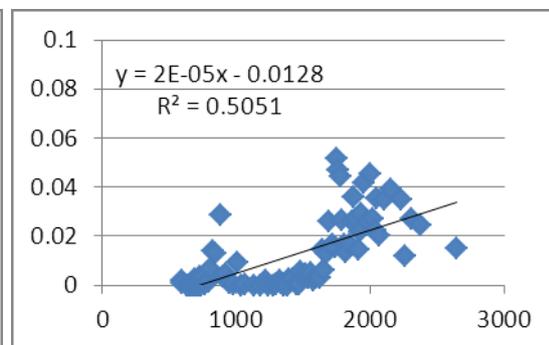
(a) B類地質



(b) C類地質

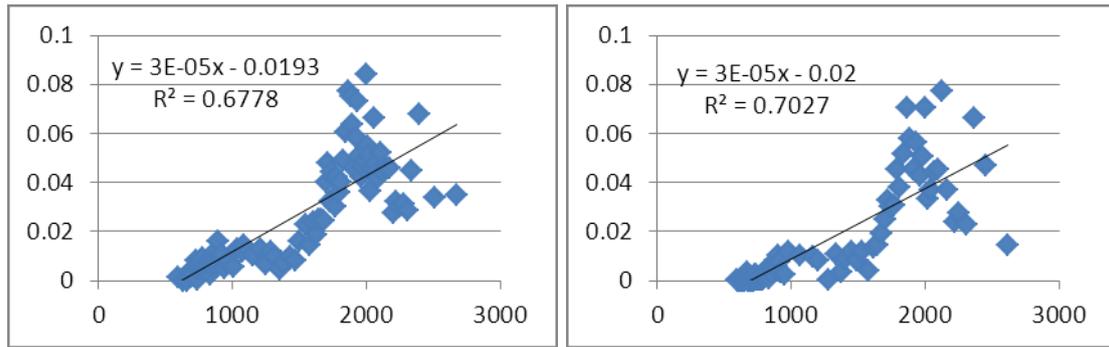


(c) D類地質



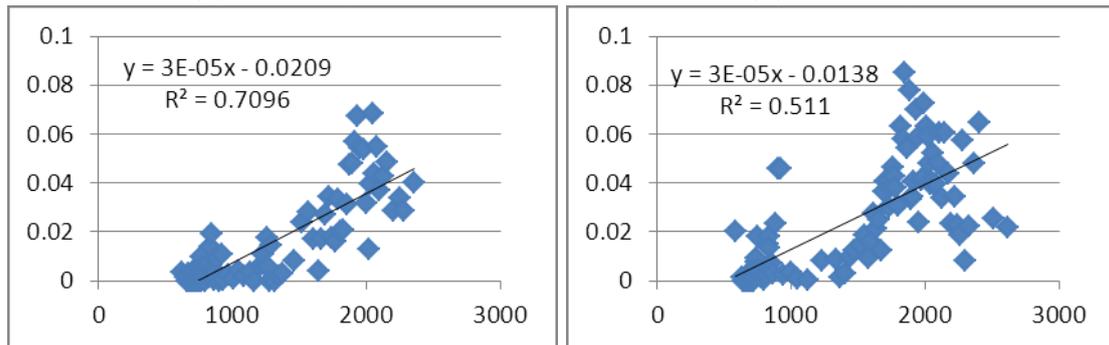
(d) E類地質

圖 8.19 第 2 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)



(a) B類地質

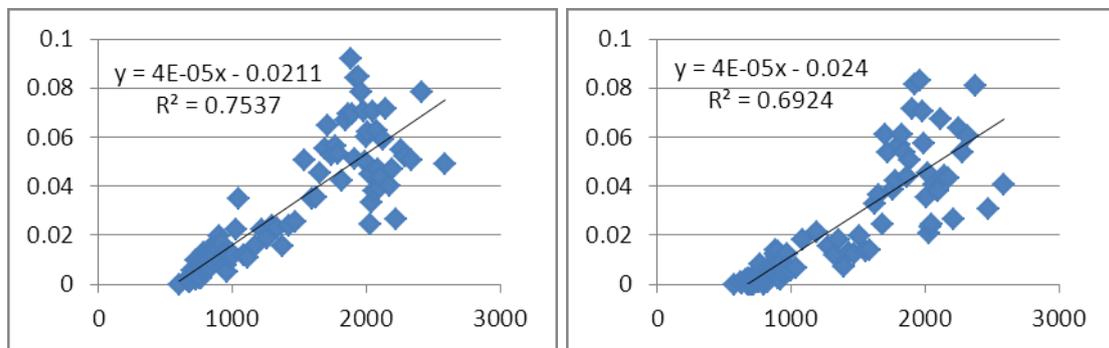
(b) C類地質



(c) D類地質

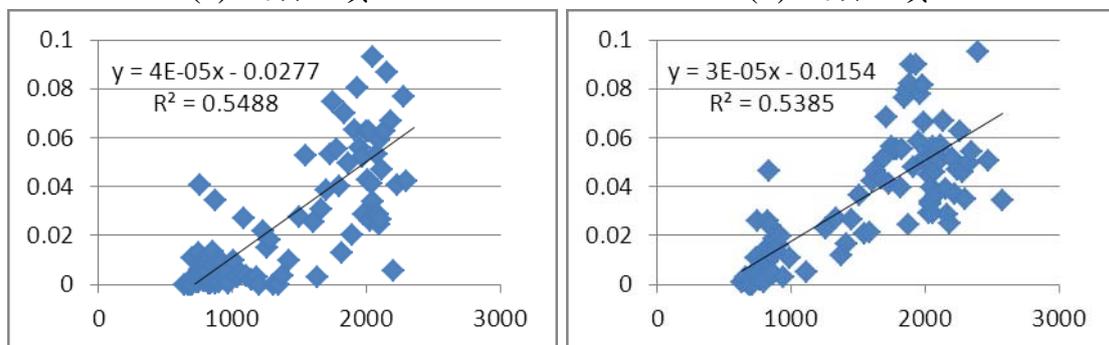
(d) E類地質

圖8.20 第3級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量mm)



(a) B類地質

(b) C類地質



(c) D類地質

(d) E類地質

圖 8.21 第 4 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

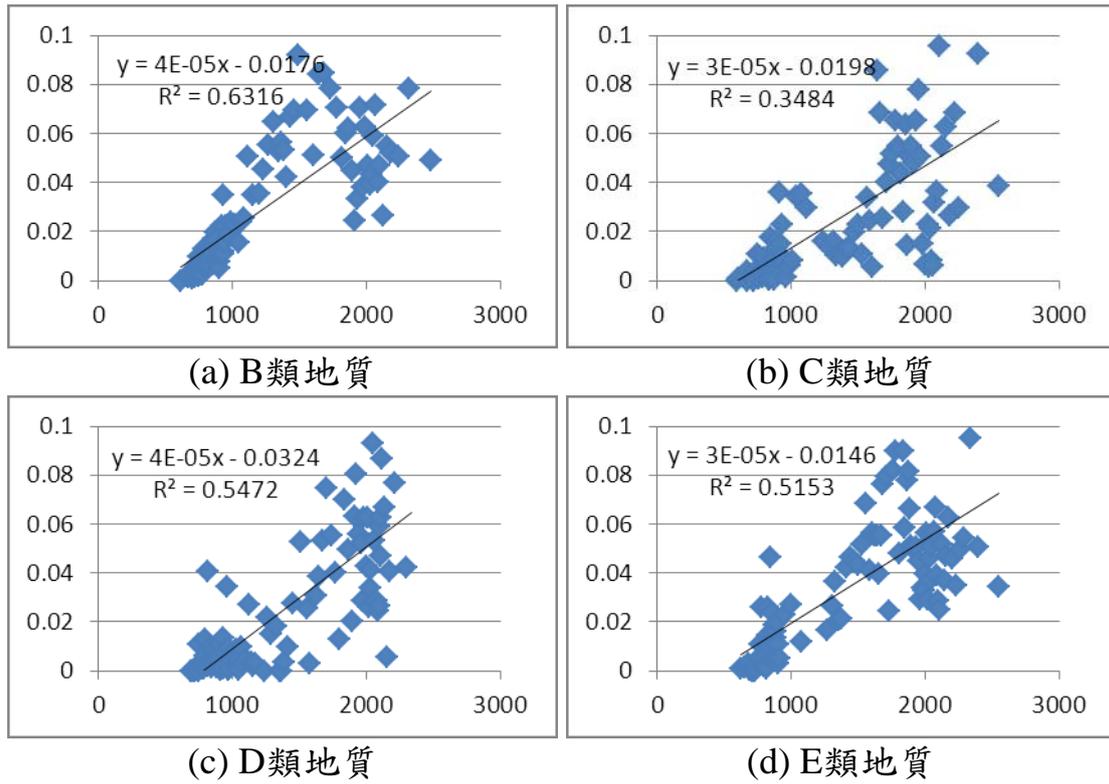


圖 8.22 第 5 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

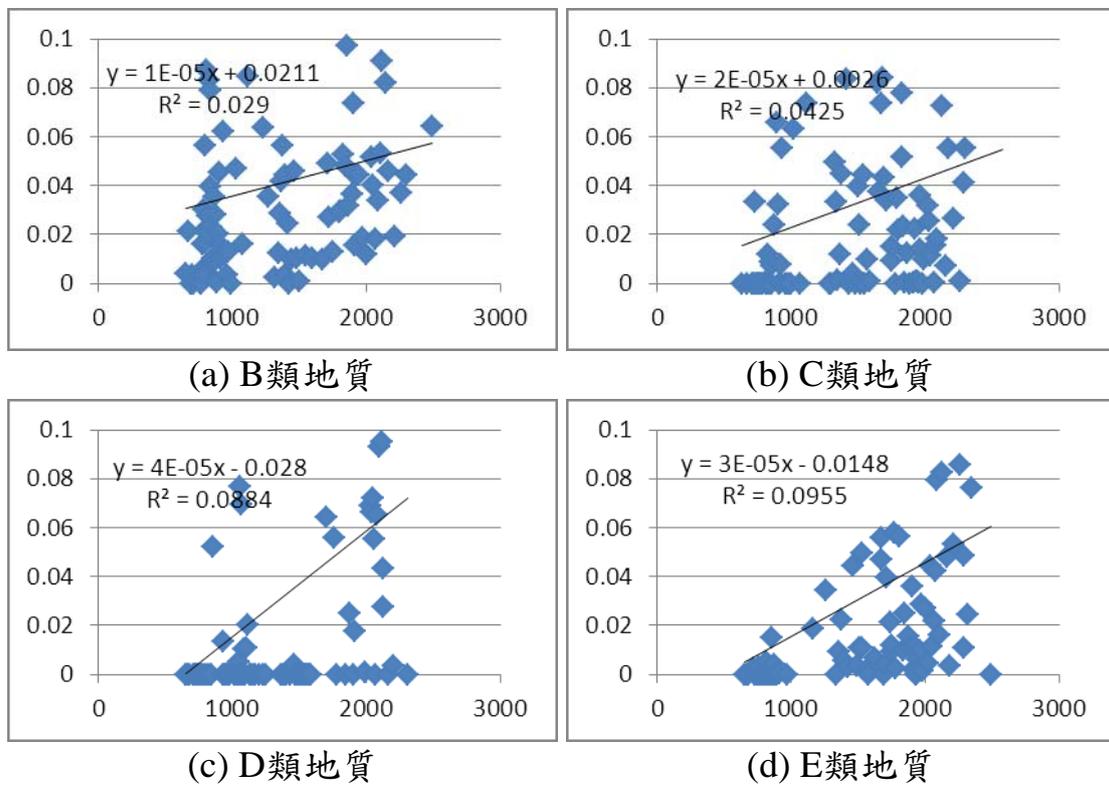


圖 8.23 第 6 級坡度之崩塌率(橫軸：累積雨量 mm)

### 8.3.2 山區道路災害類型

本計畫彙整臺 18 線與臺 21 線資料中發生過的災害類別，由於原始資料中各個轄區工務段與公路防救災資訊系統，對於災害類別及受損情形的敘述方式過於繁瑣，本研究將其歸納成上邊坡的土石坍方、道路本身的路基下陷或缺口以及下邊坡的路基流失三種道路災害類型資料進行統計，如表 8-6 與表 8-7 所示。這樣的分類方式不僅較為簡便，亦提供後續易致災道路分析一個較為可利用的分類方式。統計結果顯示，臺 18 與臺 21 線發生土石坍方比例最高，而發生路基流失比例最少。其沿線左右各路段災害次數統計資料，本研究繪製如圖 8.24~8.27 所示。

表 8-6 民國 85-99 年間省道臺 18 線災害類別統計

省道臺 18 線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
民國 85 年(1996)	120	38	3
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	2	0	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	42	1	0
民國 90 年(2001)	126	18	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	40	3	0
民國 94 年(2005)	108	2	5
民國 95 年(2006)	37	5	1
民國 96 年(2007)	7	0	0
民國 97 年(2008)	29	0	0
民國 98 年(2009)	144	4	3
民國 99 年(2010)	7	0	0
總計	542	71	12
發生比例	86.72%	11.36%	1.92%

資料來源：交通部公路局五區工程處及本計畫整理

表 8-7 民國 85-99 年間省道臺 21 線災害類別統計

省道臺 21 線	土石坍方	路基下陷或缺口	路基流失
民國 85 年(1996)	無資料	無資料	無資料
民國 86 年(1997)	無資料	無資料	無資料
民國 87 年(1998)	14	2	0
民國 88 年(1999)	無資料	無資料	無資料
民國 89 年(2000)	144	5	0
民國 90 年(2001)	52	11	0
民國 91 年(2002)	無資料	無資料	無資料
民國 92 年(2003)	無資料	無資料	無資料
民國 93 年(2004)	330	21	15
民國 94 年(2005)	125	18	6
民國 95 年(2006)	無資料	無資料	無資料
民國 96 年(2007)	56	1	0
民國 97 年(2008)	290	7	0
民國 98 年(2009)	5	1	13
民國 99 年(2010)	33	0	3
總計	1049	66	37
發生比例	91.06%	5.73%	3.21%

資料來源：交通部公路局二區與第三區工程處及本計畫整理

為了解臺 18 線與臺 21 線之易致災路段位置，本研究找出此二線道較高頻率之災害路段各切分為數個路段，於臺 18 線為 15K~30K、30K~45K、45K~60K、60K~75K 及 75K~90K，於臺 21 線為 0K~20K、80K~100K、100K~120K 及 120K~140K。各路段災害出現頻率較高的位置分別為臺 18 線之 20K、42.5K、55K、63.5K 以及 80K 處，臺 21 線之 6K、12K、95K、114K 以及 127K 處。

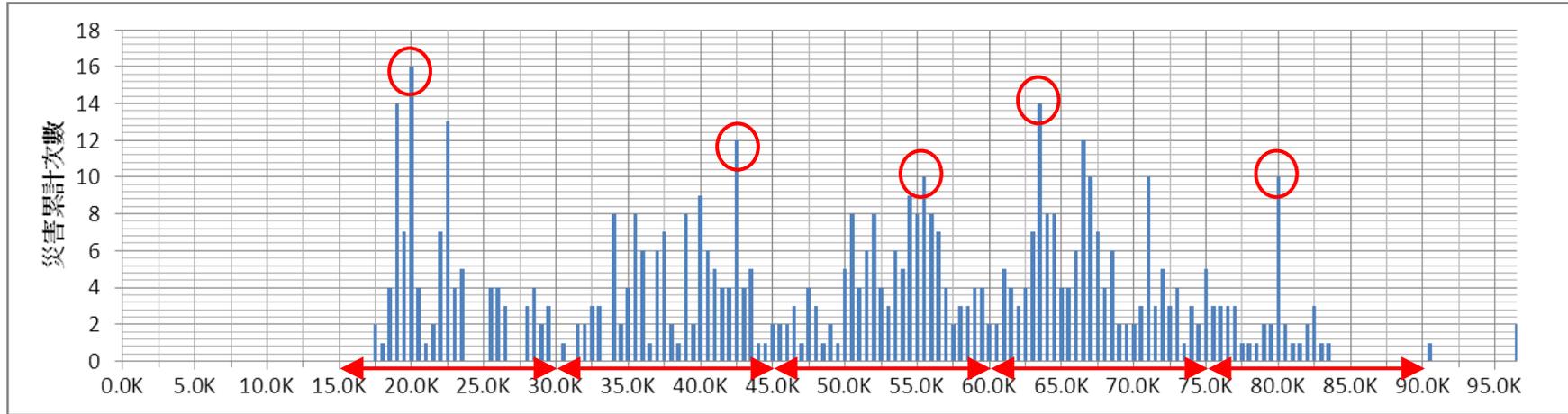


圖 8.24 臺 18 線右線道路災害累計次數圖

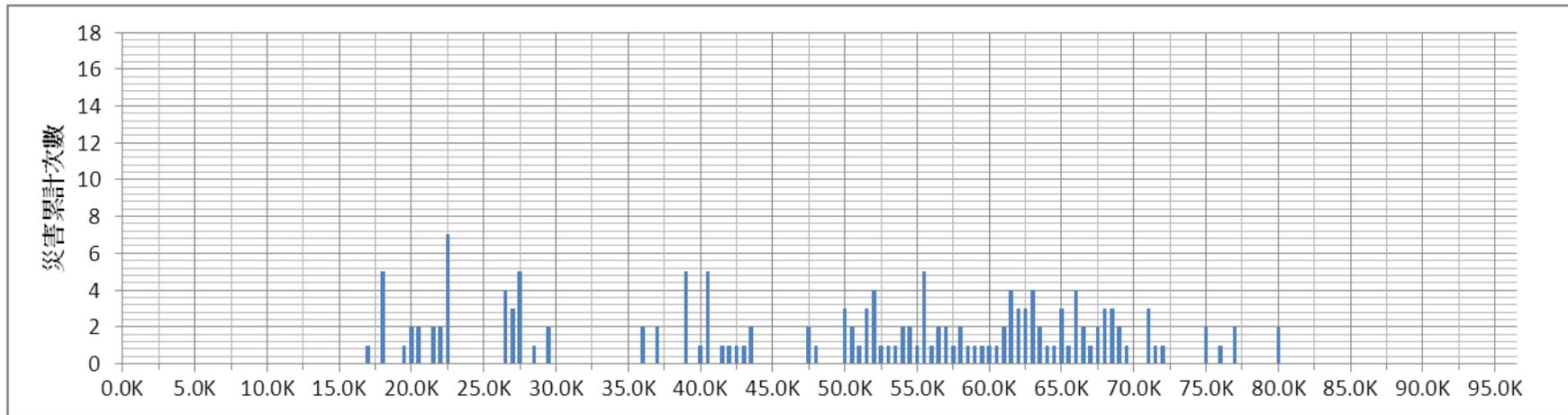


圖 8.25 臺 18 線左線道路災害累計次數圖

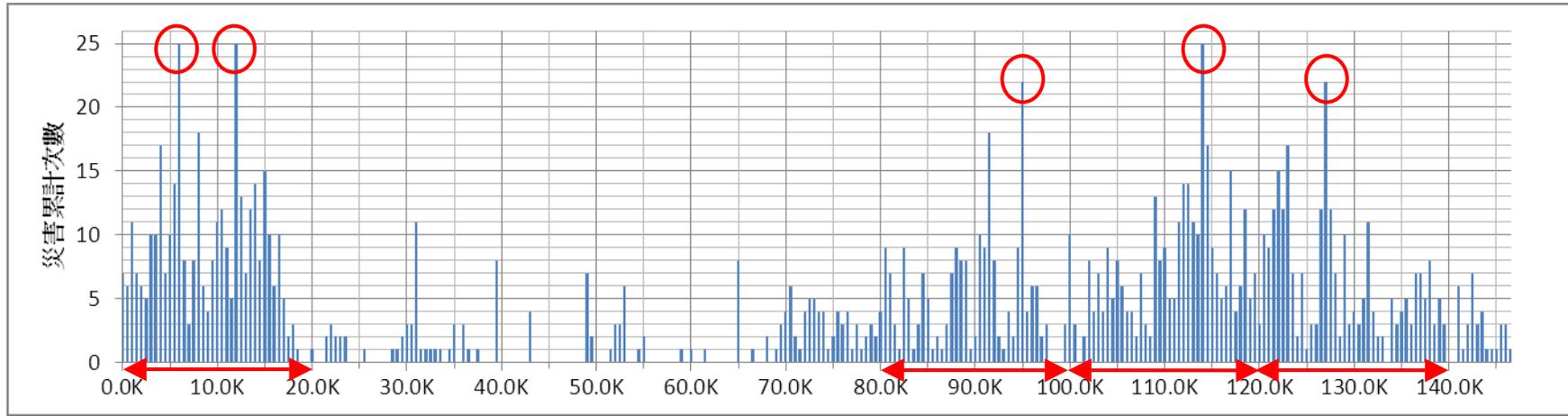


圖 8.26 臺 21 線右線道路災害累計次數圖

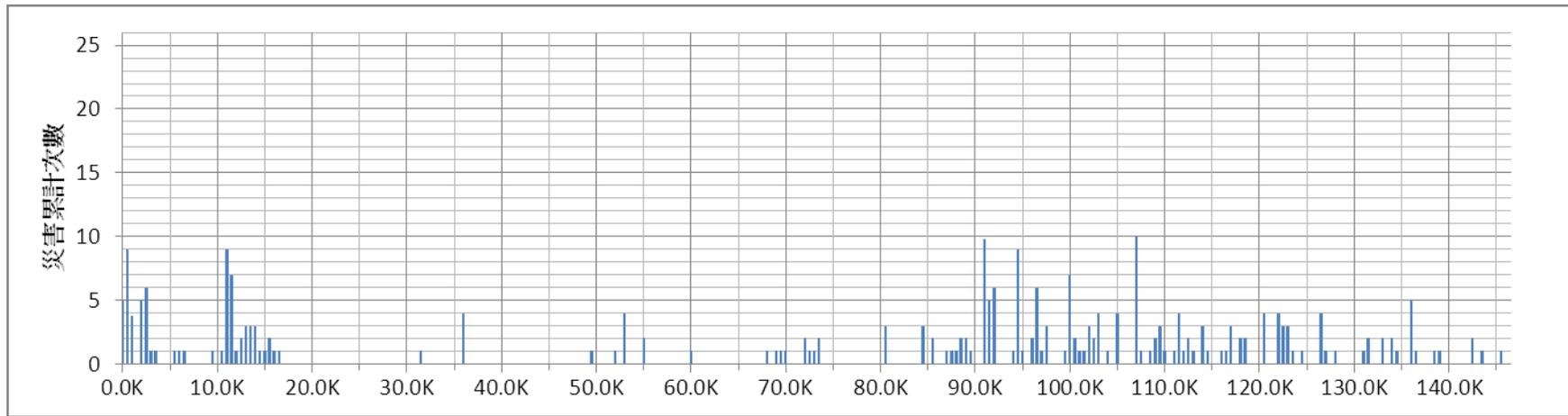


圖 8.27 臺 21 線左線道路災害累計次數圖

本研究針對土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失三種山區道路災害類型，觀察過去颱風於臺 18 線及臺 21 線造成之重大災害事件，考慮道路邊坡坡度與坡向、地層條件、土石流潛勢溪流、累積崩塌次數及降雨量等相關因子。本研究將此三種災害類型針對其特性說明：

### 1. 土石坍方(上邊坡破壞)

主要來自於上邊坡土體崩壞所造成之道路損壞事件，影響因素有道路邊坡坡度、地層條件及降雨量等，例如：臺 21 線由於沿著陳有蘭溪開設，沿線橫越眾多土石流潛勢溪流，於民國 85 年賀伯颱風與 90 年桃芝颱風造成多處災害，72 水災以及龍王海棠颱風造成本區多處土石坍方。臺 21 線 122.6k、133k 等災害地點恰分別位於烏乾溪上下流域，而其上游為大型一崩塌地，遭受颱風侵襲時降雨易將上游大量土石流傾洩而下，沖擊臺 21 線位於流域內的道路。土石坍方照片如圖 8.28 所示。



圖 8.28 山區道路災害類型-土石坍方

## 2.路基下陷或缺口(道路破壞)

主要來自於道路地基設施破壞所造成之道路損壞，影響因素有降雨量、地層條件及下邊坡毀壞或不穩定等，如圖 8.29 所示。例如：莫拉克颱風於臺 21 線 228k+500 處，造成路基路面下陷長 70 公尺、寬 7 公尺、深 0.5 公尺；於台 21 線 231K+500 處，造成路基路面下陷長 30 公尺、寬 6 公尺、深 0.5 公尺。颱風經過時長延時且高強度之山區降雨，早已超過邊坡承受能力，因此邊坡發生崩滑、樹木傾倒、大量土石及樹木流入河道，除了將河床填高之外，河流流心的改變、衝擊與淘刷河道兩岸、並引致兩岸邊坡坍塌、道路路基下陷、並且引發更多的崩塌發生。



圖 8.29 山區道路災害類型-路基下陷或缺口

## 3.路基流失(下邊坡破壞)

主要來自於道路下邊坡基礎設施設計不佳所造成，影響因素有降雨量及路面漫地流導致下邊坡排水不及造成破壞，如圖 8.30 所示。例如：臺 18 線阿里山公路在民國 90 及 93 年間颱風豪雨影響，受到支流野溪沖刷影響甚劇，造成路基流失數量多。莫拉克颱風於臺 1 線 279K+100 處，造成道路路基流失，導致交通阻斷。臺 21

線 79.9k 壽山橋災害路段，有長約 1 公里之路基容易遭陳有蘭溪水沖擊而流失，導致民宅因而懸空或傾倒造成人員傷亡。臺 21 線 133K 路段，該路段位在烏乾溪上游易因土口流造成該處路基流失。臺 18 線位於阿里山山區，於颱風經過時容易引發超大豪雨，導致洪水與土石流，其中尤以龍頭(59k)、福山(71k)、82k 等處最為嚴重。值得一提的是，莫拉克颱風過境時曾經造成此三處嚴重的路基流失災害。如表 8-8 所示，民國 87 年~97 年累積崩塌量尚不及莫拉克風災一次的累積崩塌量。顯示對於強降雨或是累積降雨量過大的事件，此二線山區道路具有高易致災性。

表 8-8 民國 87 年~97 年颱風所造成公路災情比較

	坍方(m <sup>3</sup> )	路基流失(m)	備註
民國 87 年~97 年平均值	198,627	4,697	
民國 87 年~97 年最大值	1,432,782	30,680	(2001, 納莉颱風)
民國 92 年~97 年平均值	139,063	4,542	
民國 92 年~97 年最大值	467,391	18,125	
<b>莫拉克颱風</b>	<b>2,587,037</b>	<b>26,587</b>	

資料來源：李忠璋，2009



圖 8.30 山區道路災害類型-路基流失

## 第九章 國內山區道路易致災路段之分類及 調查表格製作

本研究彙整臺 18 線與臺 21 線各轄區工務段歷年之工程記錄，配合現地調查與相關資料蒐集，藉由邏輯斯迴歸模式(logistic regression model)進行道路崩塌潛勢敏感分析，並進行山區道路之危害度分析。為了解山區道路易致災之脆弱度因子為何，首先以評點法將影響道路災害風險的危害度與脆弱性予以量化，訂定分級評分標準，才能配合山區道路易致災路段之分類。因此，在調查表格的規劃，本研究參考山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表所建立之現地調查表，規劃以所在位置(里程)、GPS 記錄座標、道路現況、植生狀況、工程狀況、保全對象等山區道路基本資料，將可作為山區道路易致災性分析之考量依據。

### 9.1 山區道路易致災路段之分類

傳統在探討危害度分級之研究中，一般或以經驗方式建立加權數，或以影響評估準則方式建立特定因子之評分表，來進行山區道路易致災路段分級。由於本計畫以邏輯斯迴歸模式來進行道路崩塌潛勢分析，因此本計畫首先將臺 18 線與臺 21 線山區道路每 500 公尺分成一段，將可能造成危害度及易致災性之因子之原始資料進行分組評分。

#### 1. 危害度因子

- (1)道路邊坡坡度
- (2)道路邊坡坡向角度
- (3)地層條件
- (4)溪流區位
- (5)土石流潛勢溪流

(6)植生狀況

(7)事件累積降雨量

## 2. 易致災因子

應用邏輯斯迴歸模式所得之機率當作權重，將配合風險分析的概念，以評點法考量某些脆弱度因子進行分組評分。然後將各脆弱度因子之評分加總後乘以危害度(權重)，作為各路段易致災性的評分結果。易致災因子評估項目包括：

(1)坡面保護工程

(2)累計崩塌次數

上述因子中，坡面保護工程為人為環境影響因子，配合累計崩塌次數進行易致災性評分。當危害度與人為環境影響因子發生交集時，該路段便具有「易致災性」。危害度分析結果的評分，再乘上坡面保護工程與累計崩塌次數評分結果的總合，即得該路段崩塌潛勢易致災性分析之總分，即易致災性=脆弱因子×危害度=(坡面保護工程+累計崩塌次數)×危害度。本計畫參考 Pearson 所提出之邊坡崩塌危害度分析法，以評點法來區分各路段之易致災性，並參酌臺 18 線與臺 21 線歷史災害之分布特性，設定易致災性的門檻。

## 3. 崩塌地因子

主要表示該路段是否發生崩塌，若該段道路有發生崩塌為 1，沒有發生崩塌則為 0，代入邏輯斯迴歸模式求出各因子對應之係數。

如表 9-1 所示，本研究參考吳傳威對於南橫公路進行之研究的評分方式(1999)。自然環境影響因子之主要項目包括地層條件、道路邊坡坡向角度、與道路附近的溪流區位以及植生狀況等，為可能引發道路災害之發生機制的先天條件，可視為構成該路段危害度的一部份參數，即潛因。上述每一項因子依數值大小劃分為四個等級，並以 3 的冪次為主進行評分。由於分組方式考量原始資料狀況會有

不同，表 9-1 僅以臺 18 線為例。危害度分析中使用之 7 項因子為自然環境影響因子，在分析中由於前 6 項因子不會經常改變。此 6 項因子配合「事件累計降雨量」作為道路崩塌危害度分析中之共變量，各路段是否發生崩塌則為依變相，於邏輯斯迴歸分析的訓練資料中發生為 1，未發生為 0。危害度分級方式建議根據邏輯斯迴歸所得之機率作為危害度分級，區分為高、中、低潛勢三類路段。三類路段之潛勢分級，考量原因為災害驅動因子為事件累積降雨量，為每次道路災害資料建置時之變動因子，為颱風、豪雨驅動道路災害發生的關鍵因素。自然環境影響因子及災害驅動因子之邏輯斯迴歸結果可視為該段山區道路崩塌潛勢之危害度。依據邏輯斯迴歸的機率結果，並搭配標準差來進行分類。

表 9-1 易致災危險度評估表(以臺 18 線為例)

評分因子	評分準則與分數			
	0.03分	0.09分	0.27分	0.81分
自然環境影響因子				
道路邊坡坡度	<20度	20~35度	35~50度	>50度
道路邊坡坡向角度	北(0)	東、東南、南、西南	西	東北、西北
地層條件	台地、沖積、頭崙山層、桂竹林(0)	四陵、石底、南莊	乾溝、廬山	大桶山
溪流區位		穿越、附近無溪流	沿岸	
土石流潛勢溪流	無(0)			有(1)
崩塌地	無崩塌(0)			有崩塌(1)
植生狀況	NDVI.>0.4	0.4>NDVI>0.2	0.2>NDVI>0	NDVI<0
人為環境影響因子				
坡面工程	有(1)			無(3)
災害事件與災害驅動因子				
崩塌累積次數	0次(1)	1~4次(2)	5~8次(3)	9次以上(4)
事件累積降雨量(mm)	<383.5	383.5~696.5	696.5~1018	1018~2548

註：評分準則與分數欄位中包含()者，評分方式以()內為主。

表 9-1 當總分超過 0.89 分者為高易致災性路段，代表在某驅動因子下非常有可能發生災害；0.23~0.89 分者為中易致災性路段，代表在某驅動因子下則必須注意發生災害的可能；0.23 分以下為低易致災性路段，代表在某驅動因子下較不可能發生災害。在探討危害度分析之研究中，一般以經驗方式建立加權數，或以影響評估準則方式建立特定因子之評分表，或兩者並用，再依邊坡或其他相關現況由專家評定歸類後定出不同之等級。但由於在評估準則的建立過程中，權數的比重常會因為個人主觀認定的不同而有所差異。而使用調查評分表則除主觀因素外，因人為的疏忽或經驗之多寡而導致不同的評估結果亦甚難避免，以致經常造成成果的偏差。此外，實際上邊坡穩定經常同時會受到多個參數交互關聯的影響，而各個參數對土石崩塌的影響又多屬非線性關係，在這些複雜的關係尚未得到明確理論支持之前，傳統方法為簡化計算多半採用各評估因子各別評分後，再線性加總之方法。

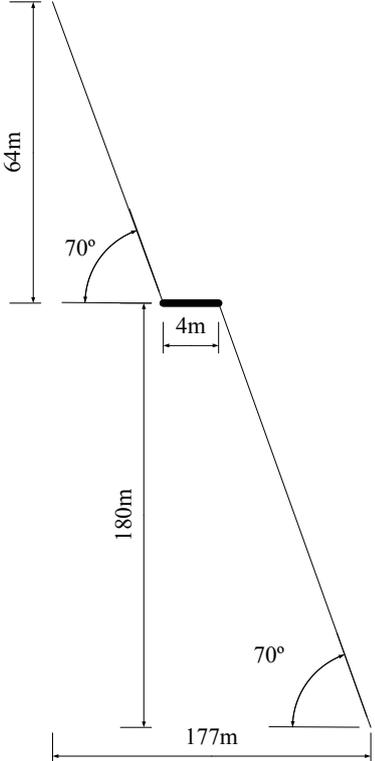
## 9.2 山區道路調查表格製作

公路養護單位對於轄區路段應適時辦理轄區公路邊坡養護巡查作業，各項養護工作，應說明辦理巡查之方式、頻率、巡查時應檢查之項目、注意事項與製作各類巡查表格。養護巡查包含經常巡查(平時巡查)、定期巡查(重點巡查、夜間巡查)以及特別巡查。颱風或汛期前後、梅雨期間、豪雨、洪水、地震或重大交通事故等災害後應進行特別巡查，檢查員應立即對構造物作詳細檢查，尤應注意構造物基礎有無沖刷、淘空、產生裂縫或位移等情事，並應詳予記錄洪水位、構造物之勁度，作為日後修復依據，並依災害範圍區段，指派專人或委外辦理後續事宜，特別巡查使用之調查如表 9-2 所示，使用範例如表 9-3 所示。

表 9-2 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表

邊坡/擋土設施編號：縣 118 線 55k+600			
邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡			
座標位置(橫麥卡托座標)：		東(E)	北(N)
坡/牆趾高程(m)：	以鄰接公路高度為 0		天氣：陰雨
調查者：養路工程司、日期：90 年 9 月 20 日		校核者：段長、日期：9 月 29 日	
邊坡：			
邊坡材料；破碎岩盤			
邊坡最大高度(m)：上 64m、下 180m、 寬度(m)：177m、坡角(度)：70 度		平台數：無 寬度(m)：	
邊坡坡面狀況？差		坡頂位置坡面狀況？差	
邊坡護坡狀況？裸露		坡頂位置護坡狀況？裸露	
洩水孔/ 水平排水	大小(mm) 間距(mm)	出水情形	阻塞情形
	無，土壤孔隙自然滲漏		
滲漏跡象	部分岩盤坡面及管湧		
損壞跡象	坡面滑動		
過去不穩定情形	無		
排水溝	型式 大小	出水情形	阻塞情形
	均已滑落於下邊坡，形成地表逕流		
擋土牆：無			
擋土牆型式			
邊坡最大高度(m)： 寬度(m)： 坡角(度)： 平台數： 寬度(m)：			
其他			
集水面積(公頃)	3.0		
受影響之構造物	坡頂：遇豪雨邊坡恐生二次災害 坡趾：遇豪雨邊坡恐生二次災害		
公共管道調查情形：電桿傾倒、管線破裂			

表 9-3 山區公路邊坡及擋土結構物特別巡查明細表範例

邊坡/擋土設施編號；縣 118 縣 55k+600		調查日期：90 年 9 月 20 日	
邊坡/擋土設施位置(地址)：上、下邊坡			
位置座標(橫麥卡托座標)：		東(E)121.3311	北(N)24.7930
調查者：(簽名) 日期：(簽註)		校核者：(簽名) 日期：(簽註)	
高度(m)	坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)		坡/牆趾構造物與坡型式/牆趾距離(m)
	構造物型式	距離(m)	構造物型式 距離(m)
	自然邊坡		
損壞跡象： <input checked="" type="checkbox"/> 有， <input type="checkbox"/> 無 說明：邊坡滑動裸露、地表水逕流 是否需進行專業維修？ <input checked="" type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否 說明：			
調查情形：滑動、裸露面積超過人為所能量測面積			
照片及剖面示意圖： <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>照片</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>剖面示意圖</p> </div> </div>			

由於上述表格的使用時機與巡查項目與本研究進行的現地調查工作相近，本計畫配合研究分析所需之因子、參考表 9-2 以及過去歷史崩塌點位統計資料，研提適合本研究使用之現地調查表，如表 9-4 所示。

表 9-4 現地調查表

填表人：_____ 填表日期：_____ 天氣：_____ 編號：_____		
一、基本資料		
行政區域：_____縣(市) _____鄉(鎮)_____村(里)		
地點：_____線	里程：_____K~ _____K 地標：_____	
GPS 記錄座標	X：_____ Y：_____	
二、災害狀況		
發生時間：民國 _____年_____月_____日_____時_____分		
現場情形說明：		
道路現況	路面	<input type="checkbox"/> 無毀損，狀況良好 <input type="checkbox"/> 過水路面 <input type="checkbox"/> 龜裂 <input type="checkbox"/> 破碎 <input type="checkbox"/> 路面下陷 <input type="checkbox"/> 路基淘空 <input type="checkbox"/> 其他_____
	上邊坡	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長_____m 寬_____m 深_____m，殘土規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他_____
	下邊坡	<input type="checkbox"/> 安全無虞 <input type="checkbox"/> 崩塌(規模：長_____m 寬_____m 深_____m，殘土規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 土層滑動(規模：長_____m 寬_____m 深_____m) <input type="checkbox"/> 擋土牆( <input type="checkbox"/> 開裂 <input type="checkbox"/> 傾倒) <input type="checkbox"/> 其他_____
		下邊坡是否有野溪經過： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
		是否為土石流潛勢溪流： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 沒有
既有排水設施狀況	<input type="checkbox"/> 路面縱向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 路面橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 邊坡橫向排水( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____) <input type="checkbox"/> 邊坡排水孔( <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 阻塞 <input type="checkbox"/> 破損 <input type="checkbox"/> 機能不足_____)	
植生狀況	<input type="checkbox"/> 草地 <input type="checkbox"/> 裸露地 <input type="checkbox"/> 人造林 <input type="checkbox"/> 自然林	

工程狀況	邊坡工程構造物	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容): (1)規模長_____m 寬_____m 高_____m (2)保護面積: <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> >75% (3)工程類別: <input type="checkbox"/> 掛網植生 <input type="checkbox"/> 打樁編柵 <input type="checkbox"/> 蛇籠或鉛絲網籠 <input type="checkbox"/> 擋土牆 <input type="checkbox"/> 錨釘工法 <input type="checkbox"/> 型框工法 <input type="checkbox"/> 防落石網 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	河道工程	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有(如果有請顯示後面內容): (1)規模長_____m 寬_____m 高_____m (2)保護面積: <input type="checkbox"/> <30% <input type="checkbox"/> 30-50% <input type="checkbox"/> 50-75% <input type="checkbox"/> >75% (3)工程類別: <input type="checkbox"/> 護岸工程 <input type="checkbox"/> 固床工 <input type="checkbox"/> 防砂壩或潛壩 <input type="checkbox"/> 箱籠	
保全對象	建築物	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 公共建築(學校、醫院、民眾聚集場地等) <input type="checkbox"/> 民宅	
	<input type="checkbox"/> 公共設施	<input type="checkbox"/> 有- 說明_____	<input type="checkbox"/> 無
	<input type="checkbox"/> 保全戶	<input type="checkbox"/> 有- 戶數 _____	<input type="checkbox"/> 無
致災可能原因: <input type="checkbox"/> 自然因素 <input type="checkbox"/> 其他因素-說明 _____			
調查情形說明:			
照片及剖面示意圖			
三、災害類別(判定)			
<input type="checkbox"/> 土石坍方 <input type="checkbox"/> 路基下陷或缺口 <input type="checkbox"/> 路基流失			

表 9-3 經商檢討修正，將做為洪汛期前與颱風、豪雨過後臺 18 線、臺 21 線之道路及坡面現況調查表，有災害發生的路段以土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失此三者，進行分類。並且將調查結果彙整，更新道路與災害資料庫，同時持續編修表單內容，以便後三年進行之調查能實際運用。表 9-3 之現地調查表的內容分八大部分，對於道路設施之使用現狀或損害災情進行具體調查與研究：

### 1. 道路基本資料

提供省道易崩塌路段之相關基本資料，主要包括行政區域、路線編號、里程、地標。這部份的資料建立每一個路段在空間中之相對位置。

## 2. 災害狀況

紀錄近期之道路邊坡災害狀況資料，記錄災害發生時間以及現場狀況說明，簡要描述道路的災害狀況。

## 3. 道路現況

提供造成道路路面災害發生的狀況之相關資料，包含路面無損毀、過水路面、龜裂、破碎、路面下陷、路面下陷以及其他。上邊坡與下邊坡之安全狀況記錄資料有崩塌規模、土石滑動規模、擋土牆是否開裂或傾倒、下邊坡是否有野溪經過，若有野溪經過則同時紀錄該溪流是否為土石流潛勢溪流。觀察路面以及邊坡既有排水設施之狀況。

## 4. 植生狀況

分為草地、裸露地、人造林以及自然林。透過植生狀況瞭解植生分佈，並分析崩塌地面積增減情形

## 5. 現有工程狀況

分為邊坡工程構造物與河道工程兩項。邊坡工程構造物包含工程有無、工程規模的長、寬以及高、保護面積百分比，工程類別：掛網植生、打樁編網、蛇籠或鉛絲網籠、擋土牆、錨釘工法、型框工法、防落石網以及其他。河道工程記錄項目包含：工程規模之長、寬以及高、保護面積百分比以及工程類別：護岸工程、固床工、防砂壩以及潛壩、箱籠。現有工程之紀錄可供危害度分析中人為影響參數之坡面保護工程因子的判斷。

## 6. 保全對象

建築物分為公共設施與保全戶，記錄公共設施類別或者保全戶的戶數。此項紀錄可供危害度分析中人為影響參數之保全對象有無的判斷，評估保全對象的安全性。

## 7. 致災可能原因、調查原因說明以及照片與剖面示意圖

現地調查時現場人員對現地道路狀況進行前述調查內容之一系列記錄後，觀察災害情況、推估可能致災的原因，同時對災害現場拍照記錄以及手繪剖面示意圖。

## 8. 災害類別判定

現地調查人員將現場的災害歸類為土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失此三個類別之一。

### 9.3 山區道路現地調查

本計畫於民國 100 年 4 月 27 日與 9 月 9 日分別進行兩次現地調查，其中對於道路災害發生處、目前正在進行之護坡修復工程以及現有護坡工程位置，進行樁點定位、拍照，規模測量以及調查表格填寫等工作。用以更新道路災害資料庫，了解道路現況。今年現地調查的日期、路線以及點位資料如表 9-5 所示。

表 9-5 100 年現地調查點位數量資料表

日期	4 月 27 日	9 月 9 日	9 月 9 日
現地調查路線	臺 18 線	臺 18 線	臺 21 線
現地調查點位數量	8	9	27
現地調查原因	洪汛期前	南瑪都颱風	南瑪都颱風

洪汛期前之現地調查資料，以工程設施為主，以臺 18 線 71K+100 處之莫拉克風災修復工程為例。該處工程目的為修復莫拉克颱風造成之道路與橋梁受損，將道路截彎取直、減少坍方以維持交通順暢。施工期間預計為民國 99 年 5 月 16 日至 100 年 10 月 07 日。該處之現地調查照片以及工程內容，如表 9-6 所示。

表 9-6 臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程現地調查記錄

工程名稱	臺 18 線 71K+100 附近災害修復工程
設計單位	臺灣世曦工程顧問股份有限公司
主辦單位	公路總局第五區養護工程處
監造單位	公路總局第五區養護工程處嘉太工務所
施工廠商	泰有營造股份有限公司
現地調查照片	
	
	

9 月針對南瑪都颱風對於台 18 線與台 21 線造成的災害進行調查，蒐集最新的道路邊坡災害資料，南瑪都之颱風警報單如表 9-7 所示。

表 9-7 南瑪都颱風海上陸上警報單

# 海上陸上颱風警報

中央氣象局 民國 100 年編號第 11 號颱風警報 第 6 報 8 月 27 日 20 時 30 分發布

颱風強度及命名：中度颱風，國際命名：NANMADOL，中文譯名：南瑪都。

中心氣壓：940百帕。

中心位置：27日20時的中心位置在北緯 19.3 度，東經 121.7 度，即在鵝鑾鼻的南南東方約 300 公里之海面上。

暴風半徑：7級風暴風半徑 180 公里，10級風暴風半徑 50 公里。

預測速度及方向：以每小時9公里速度，向北北西進行。

近中心最大風速：每秒 45 公尺(約每小時 162 公里)，相當於 14 級風。

瞬間之最大陣風：每秒 55 公尺(約每小時 198 公里)，相當於 16 級風。

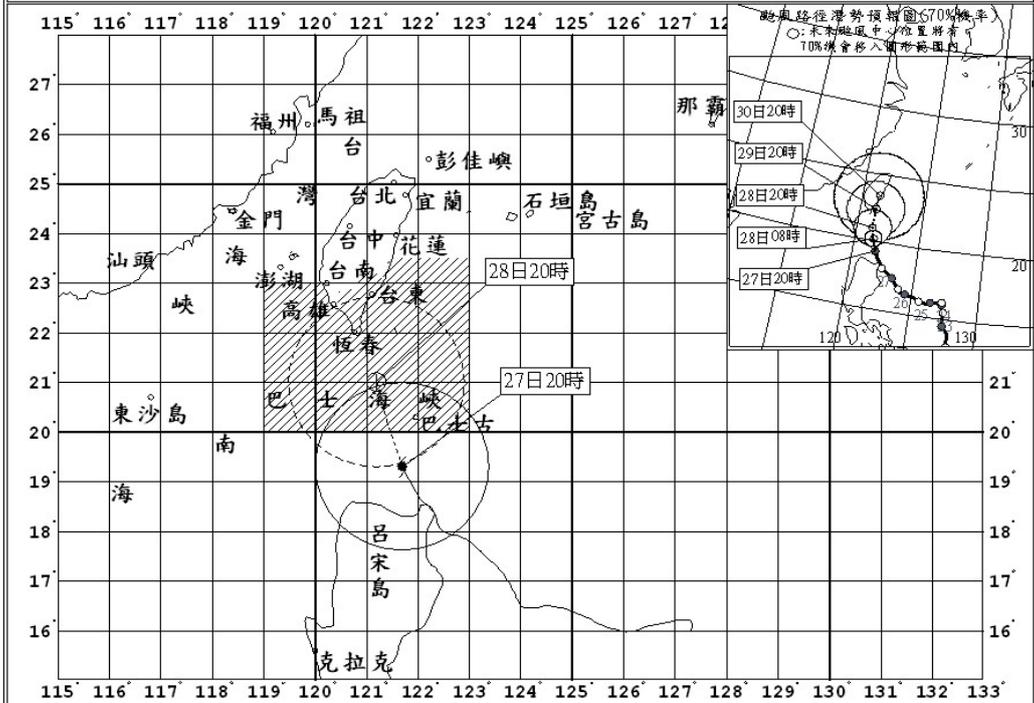
預測位置：28日20時的中心位置在北緯 21.0 度，東經 121.2 度，即在鵝鑾鼻的南南東方約 110 公里之海面上。

颱風動態：根據最新資料顯示，第 11 號颱風過去 3 小時強度略為減弱，目前中心已進入巴士海峽，繼續向北北西移動，對屏東及台東地區將構成威脅。

警戒區域及事項：陸上：屏東(含恆春半島)及台東地區(含綠島、蘭嶼)應嚴加戒備並防強風豪雨。  
海上：巴士海峽、臺灣東南部海面及臺灣海峽南部航行及作業船隻應嚴加戒備。  
\* 豪雨特報：受颱風外圍環流影響，今(27日)晚至明(28日)日北部、東北部、東部、東南部地區及恆春半島有局部性大雨或豪雨發生的機率，南部山區亦有局部性大雨。山區請注意防範坍方、落石、土石流及溪水暴漲。

注意事項：1、臺灣東北部、東部、東南部、西南部、恆春半島、基隆北海岸濱海地區及蘭嶼、綠島有長浪發生，尤其適逢大潮期間，民眾應注意並避免前往海邊活動。  
2、臺灣沿海地區將有較強陣風，請注意。

下次警報預定發布時間：8月27日23時30分。



圖例	現在中心位置及暴風範圍	熱帶性低氣壓	輕度颱風	中度強烈	預測中心位置及暴風範圍	預測路徑	過去路徑	警戒區域
----	-------------	--------	------	------	-------------	------	------	------

註：最新颱風動態，請隨時收聽166、167氣象電話。

今年 8 月 27 日 5 時 30 分，中央氣象局發布南瑪都颱風的之海上颱風警報；並於同日晚間 20 時 30 分發布海上陸上颱風警報，直至 8 月 31 日 8 時 30 分同時解除兩份警報。其中臺 18 線 97K 處於 8 月 30 日 8 時 30 分發生道路邊坡坍方，僅開放單線通車，並於 8 月 31 日 7 時開放通車；66K~88K 於 8 月 30 日 22 時至 8 月 31 日 7 時間進行雙向道路預警性封閉。台 21 線部分，134K 處於 8 月 30 日 8 時 30 分至 8 月 31 日 7 時因邊坡坍方僅開放單線通車；132K 處於 8 月 31 日 6 時 45 分至 8 月 31 日 10 時間亦因邊坡坍方阻斷道路約 50m，僅開放單線通車；121K~145K 處於 8 月 31 日 12 時 50 分至 9 月 1 日 7 時，因 24 小時雨量達到 100 毫米行動值進行預警性封閉。

本計畫團隊於 9 月 9 日上午派員分別對臺 18 線與臺 21 線進行現地調查，對道路災害發生處，如土石坍方、路基下陷或缺口、路基流失等，紀錄災害類別與致災可能原因，以及道路線況與植生狀況，現地調查時所拍攝之照片如圖 9.1 所示。



(a)臺 21 線 123.5-124K 土石坍方



(b)臺 21 線路基流失

**圖 9.1 臺 21 線現地調查道路災害照片**

進行現地查時對於因風災損處拍攝照片及至鄰近里程樁點定位以外，同時會對於該路線上之重大工程進行調查。臺 18 線 97K 處於 100 年 8 月 30 日上午 8 點 30 分因山區道路土石坍方導致單線通車，於 8 月 31 日搶通，現地調查照片如表 9-8 所示。

表 9-8 南瑪都颱風災臺 18 線 97K+0 山區道路土石坍方  
現地調查記錄

災害名稱	南瑪都颱風
路線樁號	臺 18 線 97K+0
阻斷時間	2011/8/30 08:30~2011/8/31 07:00
災害類別	道路，土石坍方。

現地調查照片



臺 21 線 134K+0 處亦於南瑪都颱風時因為道路土石坍方進行單線通車管制，道路管制作為與災害類別詳見表 9-9。

**表 9-9 南瑪都颱風災害臺 21 線 134K+0 山區道路土石坍方調查記錄**

災害名稱	南瑪都颱風
路線樁號	臺 21 線 134K+0
阻斷時間	2011/8/30 08:30~2011/8/31 07:00
災害類別	道路，土石坍方。
現地調查照片	
	
	

藉由現地調查持續更新臺 18 線與臺 21 線道路資料庫，道路資料庫的內容包含道路基本資料、基礎調查、環境資料、工程資料以及災害類別，以下針對此五項內容說明：

### 1. 道路基本資料

基本資料記錄路線名稱，里程樁號所對應之座標，調查方向以及道路寬度，道路寬度除了記錄寬度外，還記錄線道劃分。由於山區道路會經常性地遭受災害而設損，維護工程可能會進行截彎取直或是其他工程作為導致山區道路真實里程產生變化，但所有的道路位置記錄以里程樁號牌為基準。

### 2. 基礎調查

基本路況記錄該 500m 路段之路面與路基狀況，路面部分包含路面狀況、路面鋪面型態、損壞類型以及損壞程度，路基部分包含路基狀況、損壞類型以及損壞程度。

### 3. 環境資料

環境資料包含邊坡、河道、平地、橋梁、房舍、既有排水設施以及隧道，分類進行記錄。

(1)邊坡：邊坡分上下邊坡記錄邊坡的植被狀態、保護工程工法以及邊坡是否安全無虞。

(2)河道：記錄其寬度、是否為野溪以及是否為土石流潛勢溪流。

(3)平地：記錄平地植被種類，若其上有作物，則分左右邊坡記錄作物種類。

(4)橋梁：記錄橋梁名稱。

(5)房舍：記錄房舍的使用狀態，以及是否為公有設施。

(6)基本排水設施：記錄其路面與邊坡排水方式，縱向或橫向。

#### 4. 工程資料

坡面工程資料記錄山區道路護坡工程的型式，如：掛網植生、打樁編柵、蛇籠或箱籠、擋土牆、錨釘工法、型框工法以及防落石網。河道工程也以記錄型式為主，分 RC 護岸工程、固床工、防砂壩以及箱涵。

#### 5. 災害類別

記錄致災因素以及災害類別，包含最常見的三種災害類別：土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失。

資料庫的建置工作可以提供業務單位作為未來山區道路管理方式訂定的參考，同時對於研究單位可使用資料庫進行各式分析。除了道路資料庫外，沿線雨量站的 10 分鐘累計降雨量資料也將持續蒐集，以便建立更為安全經濟的道路管理方式。

基本資料							路基部份					
路線	里程	座標		調查方向	道路寬度		狀況					
		X	Y		公尺	畫線	普通	不佳	駁坎	缺邊	崩塌	
台18線	34	208426	2593244	東	14	雙線道						
台18線	34.5	208966	2593108	東	6	雙線道						
台18線	35	209063	2593073	東	6	雙線道						
台18線	35.5	209327	2592906	東	6	雙線道						
台18線	36	209426	2592524	東	6	雙線道						
台18線	36.5	209517	2592161	東	6	雙線道						
台18線	37	209964	2592348	東	6	雙線道						
台18線	37.5	克大崩塌工程		東	6	雙線道	V					V
台18線	38	210716	2592474	東	6	雙線道						
台18線	38.5	210166	2592624	東	6	雙線道						
台18線	39	209825	2592630	東	6	雙線道						
台18線	39.5	209847	2593016	東	6	雙線道						
台18線	40	210224	2592808	東	6	雙線道						
台18線	40.5	崩塌施工		東	4	單線道	V					V
台18線	41	211001	2592867	東	6	雙線道						
台18線	41.5	211366	2592637	東	6	雙線道						
台18線	42	211782	2592663	東	6	雙線道						
台18線	42.5	212260	2592689	東	6	雙線道						
台18線	43	212306	2592514	東	6	雙線道						
台18線	43.5	212568	2592568	東	6	雙線道						
台18線	44	212516	2592448	東	6	雙線道						
台18線	44.5	212626	2592409	東	6	雙線道						
台18線	45	212518	2592032	東	6	雙線道						
台18線	45.5	212617	2591701	東	6	雙線道						
台18線	46	2122728	2591648	東	6	雙線道						
台18線	46.5			東	6	雙線道						
台18線	47	212740	2591001	東	6	雙線道						
台18線	47.5	212746	2590737	東	6	雙線道						
台18線	48	212943	2590754	東	6	雙線道						
台18線	48.5	212963	2590322	東	6	雙線道						
台18線	49	213200	2590091	東	6	雙線道						
台18線	49.5	213344	2589652	東	6	雙線道						
台18線	50	213427	2589550	東	6	雙線道						
台18線	50.5	213903	2589367	東	6	雙線道						
台18線	51	213885	2589807	東	6	雙線道						
台18線	51.5	213767	2589757	東	6	雙線道						

圖 9.2 道路資料庫(部分)

# 第十章 臺18線與臺21線山區道路各類型易致災路段之危害度分析

## 10.1 山區道路危害度因子

本章危害度分析將利用圖 10.1 之各項評估參數為輸入因子，同時本圖的部分因子也會作為後續易致災性分析時之使用條件。目前本研究透過前述公路局歷年搶修與復建工程記錄的登錄，配合自然環境資料與相關統計，延續前期計畫所使用之邏輯斯迴歸模式(Logistic regression model)來進行道路崩塌潛勢敏感分析作業。基本上山區道路易致災路段在危害度建置分析時的影響參數考量為：1.去除人為環境影響參數；2.保留自然環境影響參數以及 3.考量災害事件的驅動力(在此本研究考慮事件累計降雨量)等，其後再針對評估的崩塌潛勢因子進行深入探討，以確立之完整性及有效性。

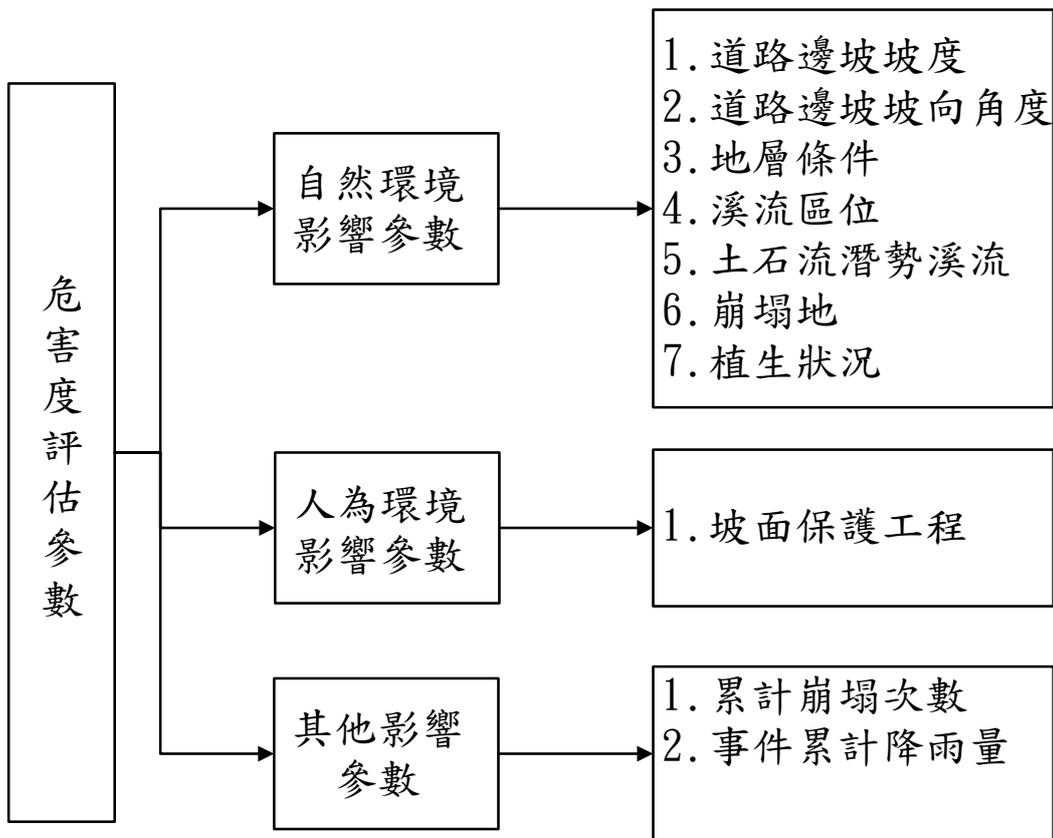


圖 10.1 危害度評估參數

## 1. 自然環境因素

### (1) 道路邊坡坡度

根據張石角(1992)將臺灣的崩塌分成山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等五種，其中，山崩又細分為落石、岩屑滑移、岩屑滑落、岩屑滑崩；地滑則又分為平面型地滑、弧型地滑、楔型地滑與翻轉地滑等如表 10-1。

表 10-1 崩塌地類型與發生條件(張石角，1992)

崩塌類型	坡度 (%)	土壤厚度 (m)	岩質	坡型	地形作用	高差 (m)
山崩	落石	$\geq 45$	<1	硬	---	>10
	岩石滑移	$\geq 15$	<4	軟	傾斜坡	---
	岩屑滑落	$\geq 45$	<4	軟	傾斜坡、崖坡	---
	岩屑滑崩	$\geq 45$	>4	---	斜交坡	>5
地滑	平面型地滑	$\geq 15$	><4	硬、軟	傾斜坡	---
	弧型地滑	>15、 $\leq 45$	>4	軟	不連續面發達	---
	楔型地滑	---	<4	硬	兩組不連續面交線之順向坡	---
	翻轉地滑	---	<4	軟	傾斜坡、崖坡	>3
潛移	土壤潛移	$\geq 15$	>4	---	非斜交	---
	岩石潛移	$\geq 45$	<1	軟	傾斜坡、崖坡	>3
土石流	$\geq 30$	>4	---	---	$\geq 3$	---
沖蝕	$\geq 30$	>4	---	---	$\geq 3$	---
	$\geq 30$	<4	軟	---	$\geq 3$	---

張石角(2004)認為坡度在 30% 上下的山坡，多為深度風化層，山坡相對較為穩定，故常被開發利用，一、二級坡屬平坦地區，坡度約在 6° 以下，原不容易發生崩塌，而因該區域平坦且近道路與溪流，農耕行為較為頻繁，可能由於人為活動而引發崩塌

的發生。吳久雄等(1989)等進一步對崩塌地的調查，發現臺灣的崩塌多發生在  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$  之間，劉盈劭(2001)也指出濁水溪支流陳有蘭溪地區之崩塌，多發生在  $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$  之間，張政亮(2004)則分析蘭陽地區之崩塌，多發生在  $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$  之間，故崩塌發生與坡度有明顯關聯性。

本研究針對道路上下邊坡 25m 的坡度進行統計，研究區以每 500m 為分析單元，將道路邊坡坡度區分為三個等級分別為  $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$  及  $50^{\circ}$  以上，研究區域各級邊坡坡度地理位置分布如圖 10.2、圖 10.3 所示，並將研究區各等級的區間數量及發生災害次數予以統計，針對不同等級之發生比率以等比數值作該區間之權重評分。

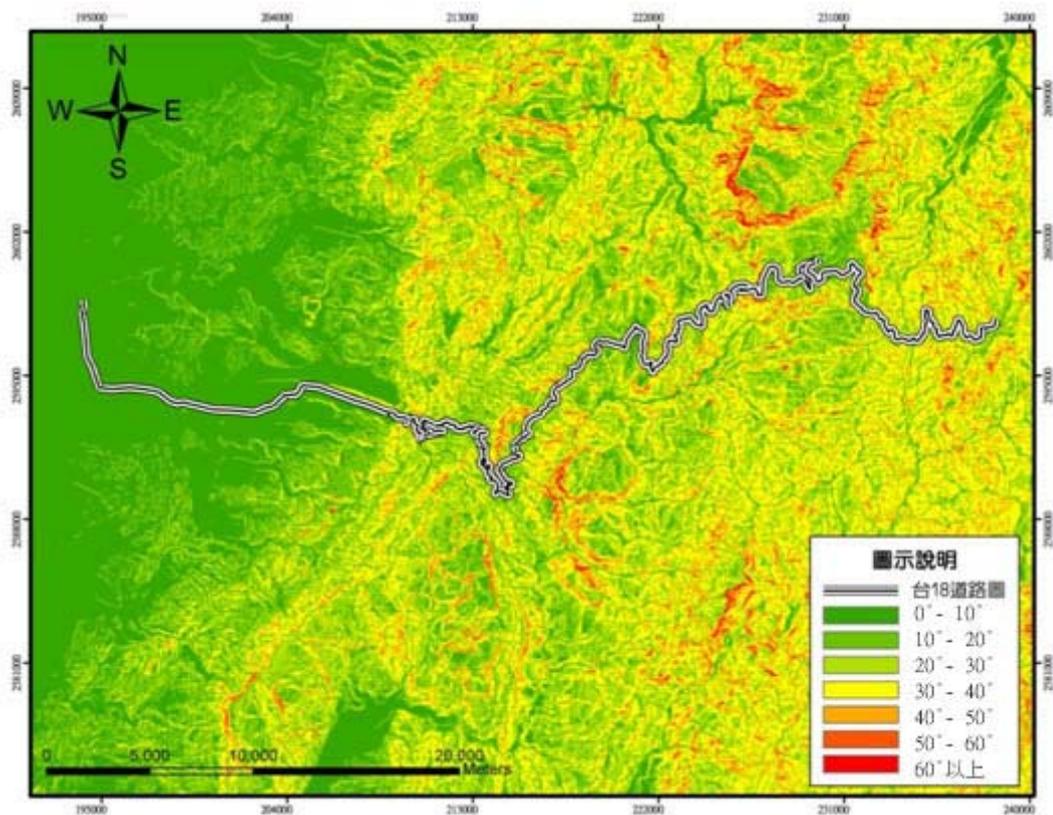


圖 10.2 臺 18 線路段坡度圖

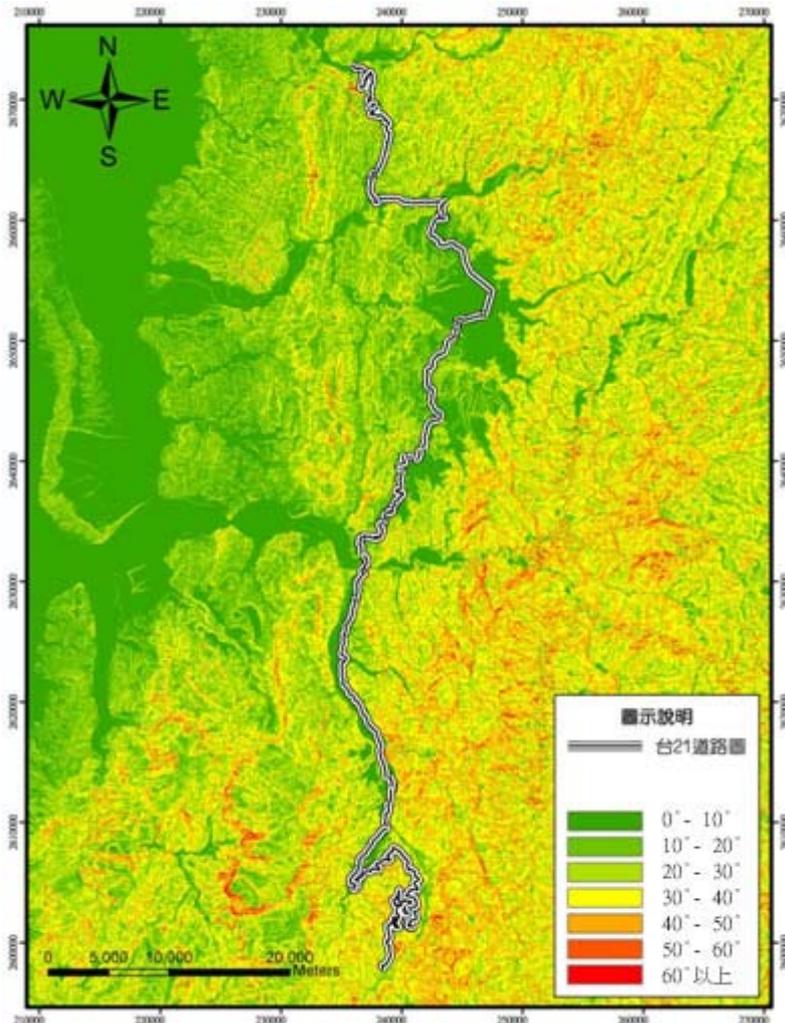


圖 10.3 臺 21 線路段坡度圖

### (2)道路邊坡坡向

利用 GIS 軟體之坡向計算程式處理，主要將研究區塊之平均坡向區分為八個方位：東北(45°)、東(90°)、東南(135°)、南(180°)、西南(225°)、西(270°)、西北(315°)、北(360°)等 8 個類別。坡向主要受季節風向、日照及岩層走向等影響，並按照所在位置之平均坡向，按照區位發生災害比率高低以等比數值給分。

### (3)地層條件

何春蓀(1975)、王鑫(1980)臺灣島因歐亞大陸與菲律賓兩板塊相互撞擠，造成臺灣島地質的構造運動仍相當活躍，其地質活動

造成西部麓山帶有幾項地質特徵：褶皺多、斷層多、岩層節理發達、地盤上昇速率快、岩性以砂、頁岩互層為主，並含有煤層，而這些地質特徵均充分影響本省山坡的地質災害種類。由於區域性劈理、節理構造極為發達，岩層易風化破碎，加上地層傾斜與源於此山地的溪流也多屬陡急的坡降，易造成劇烈的河川侵蝕以及頻繁的崩塌現象。臺 18 線、臺 21 線路段地質分布圖如圖 10.4、圖 10.5 所示。

地層條件其分級方式是以統計研究調查區內各類地質發生崩塌之比率為主，例如調查區域內所有崩塌地中，屬於同一地質 M 之崩塌面積相加為 a，而研究區域內地質 M 之總面積為 A，則此區域內地質 M 之崩塌率為  $a/A$ 。再以地質種類為橫軸，崩塌率為縱軸，繪製地質種類柱狀圖如圖 10.6 所示，由地質種類柱狀圖找出較為明顯之落差處作為分界點，分為四個等級。如圖 10.4 為臺 21 線地質崩塌比率，落差處以崩塌比率 50%、35%及 20%作為分界點。

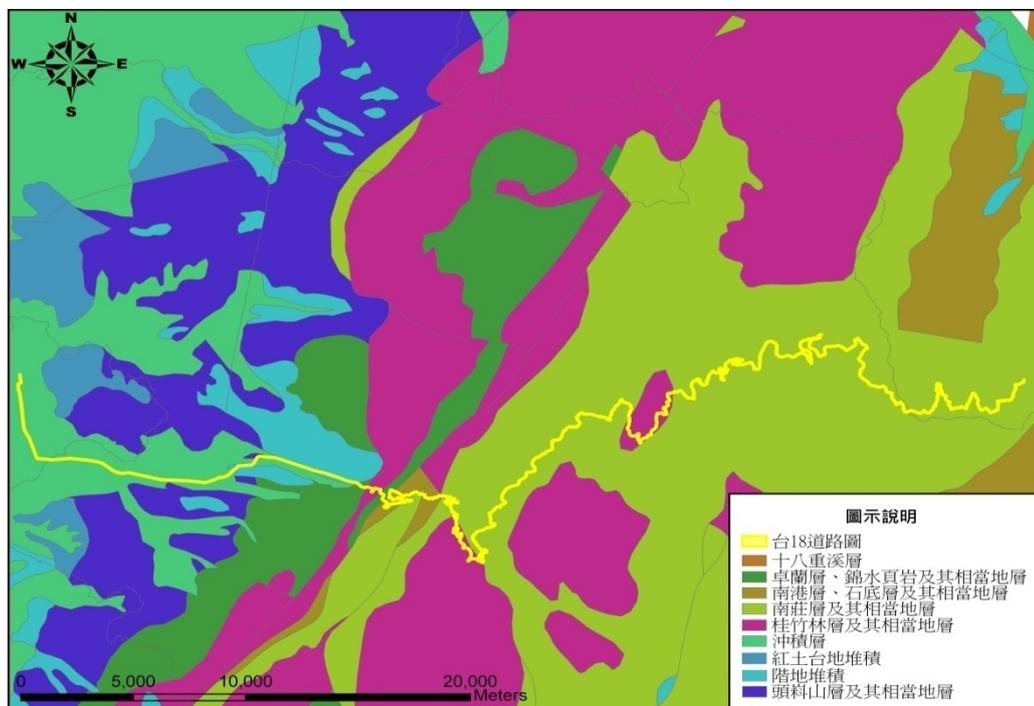


圖 10.4 臺 18 線路段地質圖

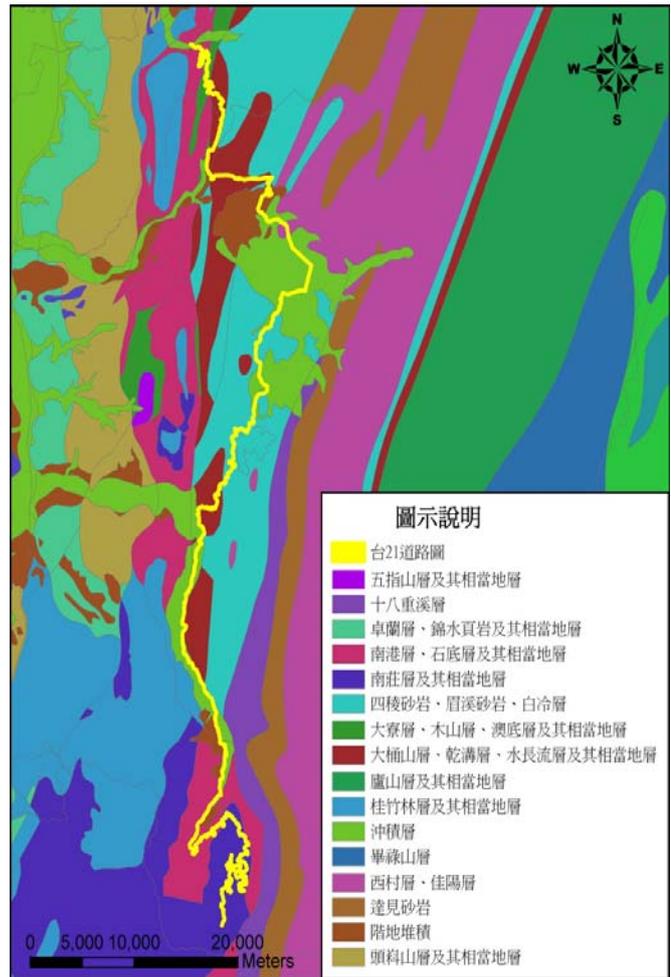


圖 10.5 臺 21 線路段地質圖

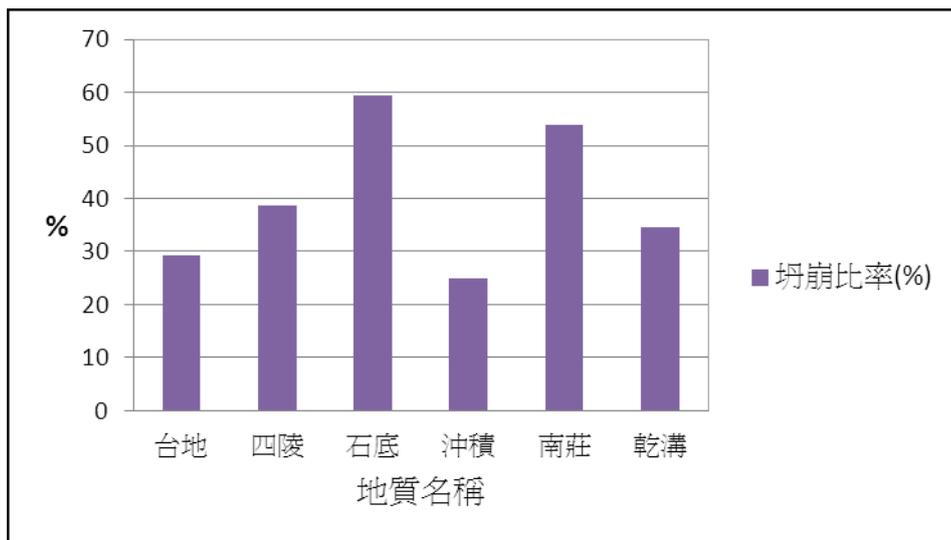


圖 10.6 臺 21 線地質崩塌比

#### (4)溪流區位

馮豐隆、林鴻鵬(2003)研究惠蓀林場 921 地震崩塌地之特性，分析崩塌地與河流、道路的關係，發現崩塌發生區域、面積大小明顯地與河流與道路有關，愈接近河流及道路，崩塌面積愈大，因而針對河流、道路、人為活動區、崩塌地面積分布規劃崩塌地優先治理順序。

溪流區位參數主要對河道位置與道路邊坡關係，針對河道轉彎攻擊角與緊鄰道路(水平距離<200m 者)以及垂直貫穿與>200m 者予以區分。

#### (5)土石流潛勢溪流

依據農委會水土保持局公告之 1578 條土石流潛勢溪流及其影響範圍與各路段分析單元關係，觀察是否有通過，資料形態有潛勢溪流以 1 表示或無潛勢溪流則以 0 表示。

#### (6)崩塌地

本因子是以現地調查與遙測影像中是否有產生崩塌為判釋依據，研究路段有任一區域發生崩塌者，標示為「1」，否則標示為「0」。運用崩塌潛勢參數以建立 Logistic 迴歸模型，藉由 SPSS(12 版)軟體之迴歸統計，以崩塌地為依變項，道路邊坡坡度、道路邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、植生狀況及事件累積降雨量等七項參數作為共變量，進而分析及驗證。

#### (7)植生狀況

潘國樑(2009)指出，所有植生皆含有葉綠素，而葉綠素及植生的細胞對入射的太陽光有特殊的光譜反應，使得植被在遙測影像上較易辨別，並且成為氣候、土壤、水分含量等一個很好的指示。儘管植生的種類眾多，但是它們的反射曲線之型態卻有一些規律。不過因為不同樹種或不同環境生長的植生，其反射率還

是有一些差異，尤其在紅色及近紅外線波段的差異最為明顯。因此，分析這兩個波段的反射率常可辨別植生的種類與生長狀況。而植生指標就是透過光譜反射特性辨別植生覆蓋情形之工具。

其中，最為廣泛應用的植生指標就是常態化差異植生指標（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI），其藉由綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，以判斷植生覆蓋量多寡，臺 18 線 NDVI 圖如圖 10.7 所示。其值介於 0.1 到 1 之間，即綠色植生覆蓋量越高，NDVI 值越趨近於 1；當綠色植生越少或屬於非植生之地物（建築物、道路、水體等）時，則 NDVI 值則低於 0。公式如下：

$$\text{常態化差異植生指標} = \frac{\text{近紅外光波段} - \text{紅光波段}}{\text{近紅外光波段} + \text{紅光波段}}$$

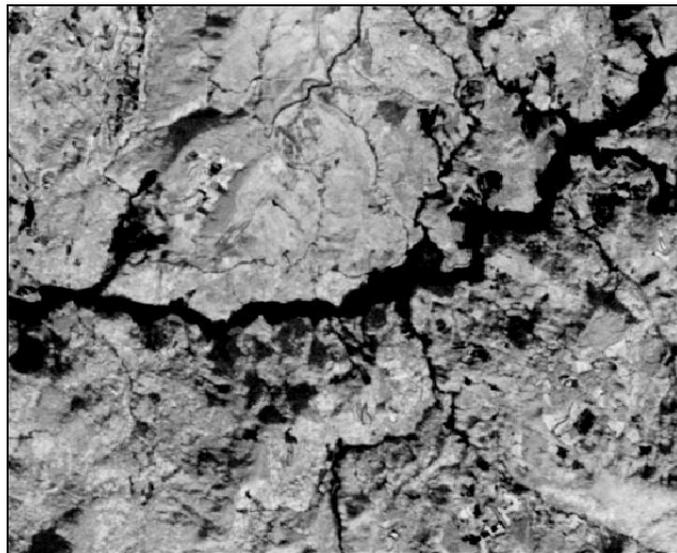


圖 10.7 臺 18 線 NDVI 圖

蕭國鑫等（2003）利用 SPOT 資料，結合影像自動分類、綠度和亮度植生指數，判釋臺灣中北部的崩塌地區，並分析崩塌面積與地形坡度的關係。然而，在小型崩塌判釋因空間解析力因素導致成果較差，不過大面積新崩塌地因光譜反射明顯，加上透過航照進行判釋，故有較佳之成果。

江山宏（2005）以多時期的 SPOT 衛星影像作為研究材料，利用常態化差異植生指標（NDVI）、影像變遷分析及植生復育率（VRR），評估及監測九九峰地區之崩塌區為變化及植生復育情形。此外，劉名翔（2010）利用最佳統計分類法，將植生分佈區域萃取，並透過 K.means 分群法來評估最佳統計分類法的可行性，利用常態化差異植生指標（NDVI）得知植生數值分佈情況。

綜合上述學者研究，透過 NDVI 植生指標瞭解植生分佈，並分析崩塌地面積增減情形。因此，本研究將透過計算 SPOT 影像之 NDVI 值，藉由分析數據與現地調查，得到研究區域之植生覆蓋情形。在研究分析上，以臺 18 線、臺 21 線每五百公尺為一分析單位，分析探討其植生覆蓋情形。根據 NDVI 值分析成果，將植生覆蓋分為四個等級，如表 10-2、圖 10.8 所示：

表10-2 植生覆蓋情形分級

等級	說明
差	NDVI值低於0。
普通	NDVI值0~0.2。
好	NDVI值0.2~0.4。
極佳	NDVI值高於0.4。

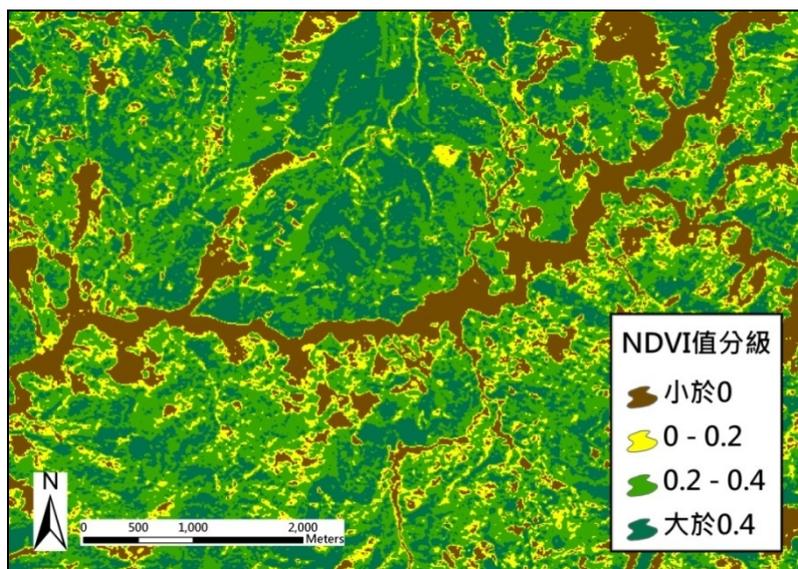


圖 10.8 臺 18 線 NDVI 分級

## 2. 人為影響參數

### (1) 坡面保護工程

針對現場調查成果，記錄坡面保護工程的類別，如擋土牆、型框、拍漿、植生保護工、打樁編柵或其他生態工法，甚至無保護工程等。分析放入資料型態以是否有坡面保護工程，分別標示為「1」及「0」。

## 3. 其他影響參數

此部分參數又可分成災害事件與災害驅動力因子兩大部分，在災害事件部分又分成崩塌次數與崩塌總體量，而在災害驅動力因子部分又可分成數種定義，其內容分述如下：

### (1) 累計崩塌次數

主要針對歷史災害的頻度進行統計，記錄資料年份為 85 年後至今，資料型態區分為高頻度( $\geq 9$  次者)、中頻度(5 至 8 次)及低頻度(1~4 次)以及無發生崩塌者，共四種類型來作等比數值給分。

### (2) 事件累計降雨量

黃漢淨(2006)研究指出 921 大地震的發生，估計造成一億噸以上的土石鬆動，危險溪流從原有 485 條激增為 1420 條，受危險溪流影響可能之崩塌及土石流地區高達 455 處，涵蓋 13 個縣市半數以上的鄉鎮。此外，近年土石流成因的分析結果也指出，當累積降雨量達到 300mm 以上時，鬆動的土石即可能產生滑移。

本研究在分析降雨量處採用事件累計降雨量，由於降雨量在不同區域有其大小的分布，且每次災害發生的降雨量皆有所不同，針對分析區域所對應之雨量站的分析事件進行累計降雨量進行統計，由大至小排序再依第一、三分位及中位數劃分為四等分以等比數值評分。

圖 10.9~10.10 分別為臺 18 線及臺 21 線周邊雨量站的點位分佈狀況，運用徐昇式法之結果如圖 10.11 及圖 10.12 徐昇式法權重分配圖。

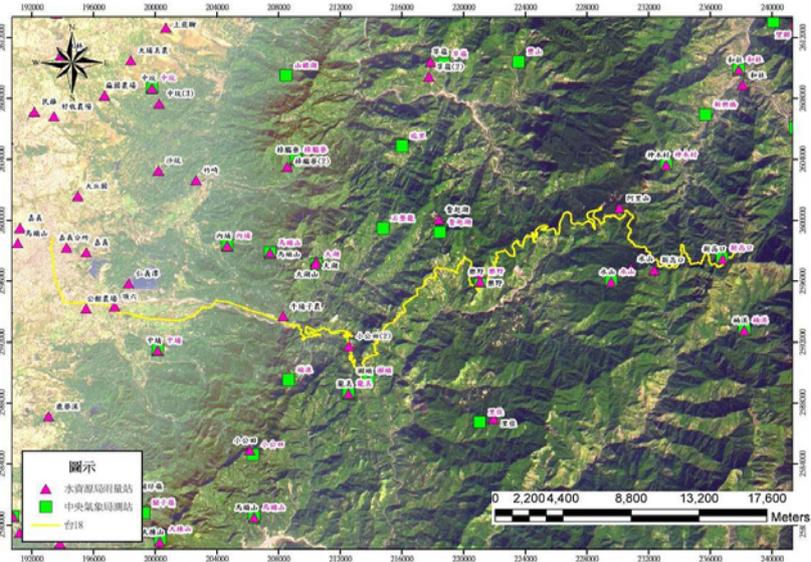


圖 10.9 臺 18 線周邊雨量站分佈狀況

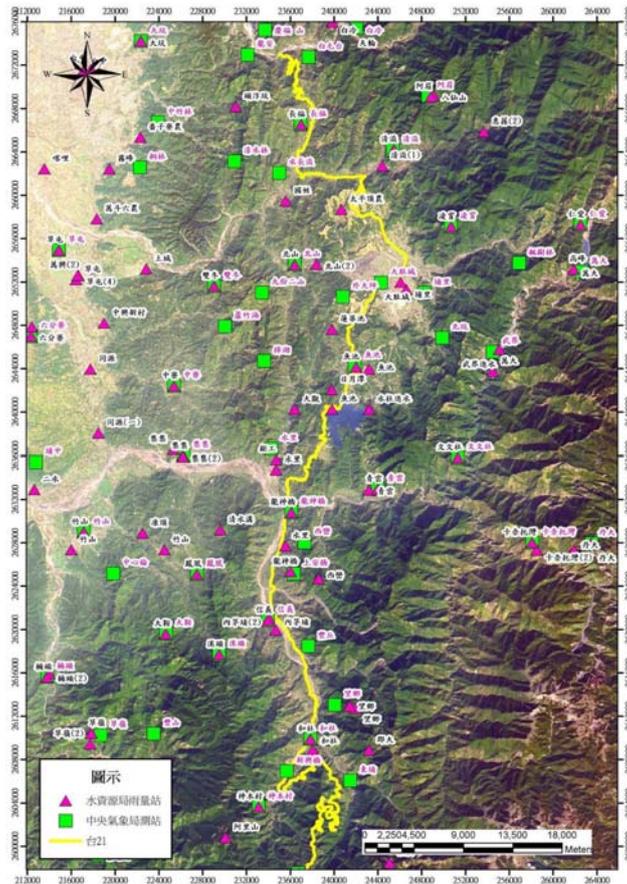


圖 10.10 臺 21 線周邊雨量站分佈狀況

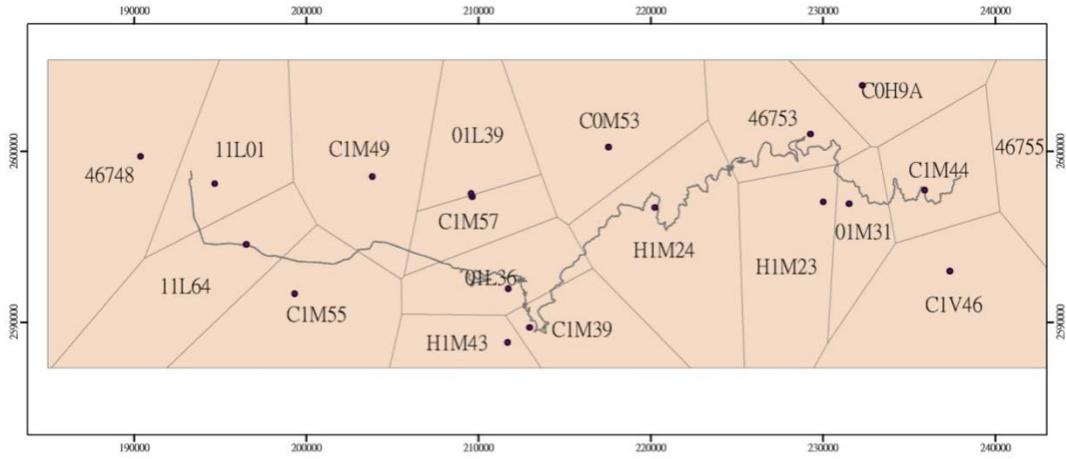


圖 10.11 臺 18 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖

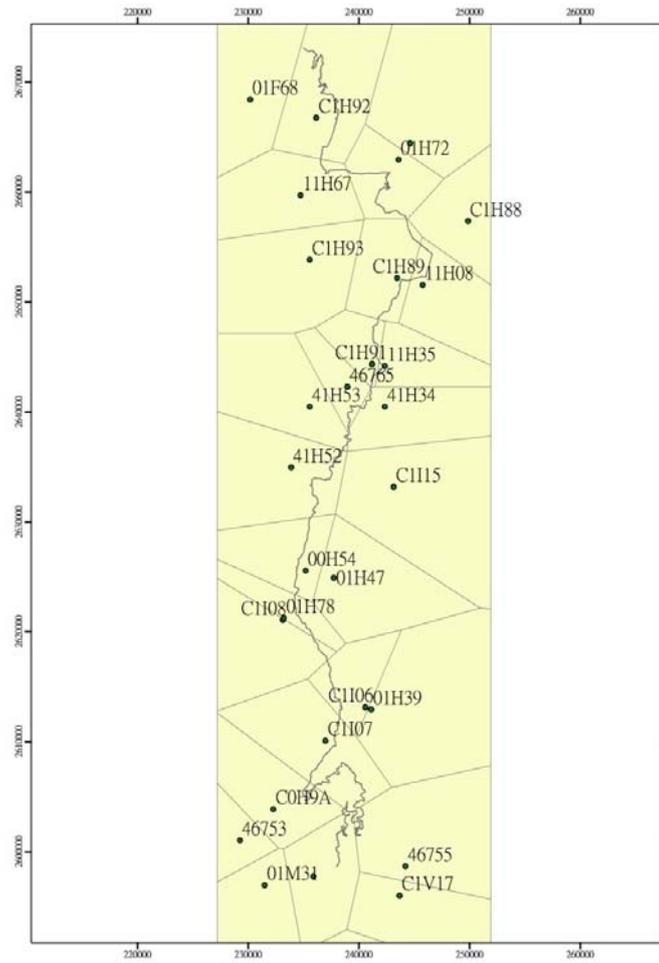


圖 10.12 臺 21 線周邊雨量站徐昇式法權重分配圖

## 10.2 各類型山區道路易致災路段之危害度分析

本研究延續前期計畫所使用之邏輯斯迴歸模式來進行道路崩塌潛勢敏感分析，此外在因子考量部份，本研究以道路邊坡坡度、道路邊坡坡向、地層條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、崩塌地、植生狀況、事件累積降雨量等七項參數及依變量崩塌地作為評估危害度指標的模式輸入值與輸出之相關值。

### 10.2.1 邏輯斯迴歸模式

研究崩塌潛感的方法，通常取決於可獲得的相關資料品質得好壞及量的多寡，一般可分為質性法 (Qualitative method) 及定量法 (Quantitative method; Lulseged and Hiromitsu, 2005)。定量法又可分為統計方法 (Statistical method) 及定率方法 (Deterministic method)，定率方法藉由力學原理及詳細的邊坡資料，以計算邊坡的安定性。其結果雖然可靠，但僅適用於單一邊坡。因此若分析大面積的崩塌特性，如繪製整個流域空間的崩塌潛感圖，則便必須採用統計方法。常見應用於建立崩塌機率的統計方法，包含多變量統計之判別分析法及 Logistic 迴歸模型；利用 Logistic 迴歸統計方法，建立崩塌發生比與獨立因子間之最佳配適方程式，如 Grogory and John(2003) 及 Lulseged and Hiromitsu(2005) 等。邏輯斯 (Logistic) 迴歸方程很早即被用於社會學等研究，並成為一種標準的統計工具。其迴歸特性為其應變數是二元分類變數（即成功或失敗），而自變數則可為分類性變數或連續性變數。

若假設應變數  $Y$ （值為 0 或 1），自變數  $\tilde{X} = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ ，而令  $\pi(x) = E(Y|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X}) + 0 \times P(0|\tilde{X}) = 1 \times P(1|\tilde{X})$ ，則將 Logistic 迴歸模型將可表示如下（陳姿君，2003）：

$$\log it(\pi) = \log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

其中  $\alpha$  為常數項， $\beta$  為相關係數， $X$  為各種變數。所以  $\pi = \pi(x)$  即為  $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  下成功的機率，而 Logistic 迴歸模型即為此成功

率的 Logit 轉換所表現之線性型態。將 Logistic 迴歸模型表示為成功率  $\pi(x)$  的型態，即為

$$\pi = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}。$$

由於邏輯斯(Logistic)迴歸方程求解參數是採用最大概似法(Maximum Likelihood)，因此其迴歸方程式的整體檢定是透過概似值(Likelihood)進行。因為概似值表達的是一種機率，故數值介於(0,1)間。而邏輯斯迴歸一般以 0.5 做為崩與未崩的分界(cut off)，即潛感值若大於 0.5，則表示預估為發生；反之，則表示預估為未發生。

近年來，利用邏輯斯迴歸進行自然災害潛勢評估之研究已逐漸出現。例如，陳幸欣(2005)以國有林大甲溪事業區為範圍，將容易引起森林火災之因子歸納為燃料、地形及人為等 9 項因子，以及蒐集自 1963 年至 2005 年之森林火災歷史資料，並分為兩個時期(1963~1988, 1989~2005)，藉由統計之 Logistic 迴歸，分析兩時期各項因子對森林火災發生之相關性，以探討隨著時代的演進，森林火災發生之成因，並區劃大甲溪事業區森林火災危險度之空間分布。黃靖柏(2008)利用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行集水區之崩塌潛勢評估，在使用航照圖、水系圖、地質圖和數值高程模型來萃取集水區面積、河流長度、集水區長度、集水區寬度、平均坡度、地質參數及道路長度等地形因子資料，接著對邏輯斯迴歸模式進行訓練及驗證，最後建立一套邏輯斯迴歸的判別模式。倪柏寧(2009)運用基因演算法自動演化類神經網路技術應用於高解析度衛星影像之判釋分類，藉以獲取地表資訊與災害記錄資料，並利用 Logistic 迴歸建置土砂災害潛感模式。

### 10.2.2 約略集合理論分析

此外為探究因子之間的相關性，本研究也同時使用約略集合理論(Rough Set)模式來探究因子間的相依性，進而有效的去除多餘資料。由於在多數的研究實驗中，分析的成果大多只有是(True、1、Yes…)與非

(False、0、No…)的判斷，但在現實生活中常存在著介於 0~1 之間的灰色模糊地帶。而為能有效界定在這個區間，便有許多學者提出如模糊化、粗糙化等方式進行決策分析，使其結果更能符合現實所需。在此本研究則是使用資料挖掘概念的約略集合理論來標示山區道路易致災性因子的相關分析。所謂的約略集合理論是由 Z. Pawlak 於 1982 年所提出，其目的是在於能在含糊不精與不確定性的資料上，利用資料的重要屬性核心縮減進行簡化的動作，並可針對資料的不確定性訂定其粗糙度，使其有效擷取知識以進行決策或知識表達。圖 10.13 為概念示意圖，在圖中圓圈為資料範圍，在圈內定為 T，圈外定為 F。而在圈上的部分便是其不確定性的區域，約略集合理論可藉由制定其粗糙度，使其決策能較為符合實際目標需求。

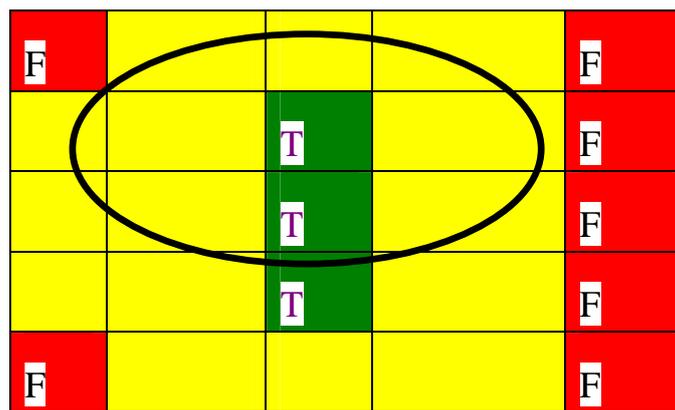


圖 10.13 約略集合理論概念示意圖

在約略集合論應用上，常見的相關軟體有 RSES、ROSE，本研究是利用 ROSE(Rough Set Data Explorer)這一套軟體。圖 10.14 為其軟體架構圖。本研究將利用這套軟體進行核心萃取以及決策知識之建立。

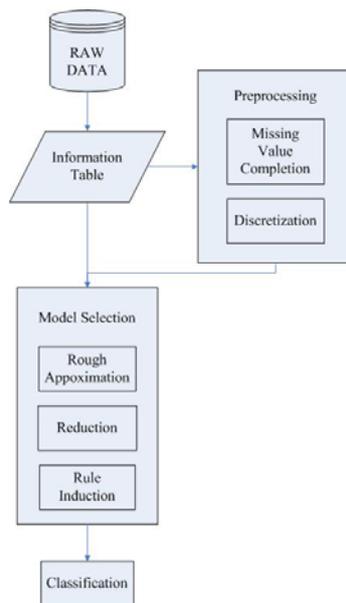


圖 10.14 約略集合軟體架構圖

ROSE 是由波茲南工業大學的智慧決策支援系統實驗室基於約略集合理論下所開發之套裝程式，可進行資料數據的前處理（補遺、離散）、資料基於約略集合概念下的核心縮減、上近似邊界設定以及決策規則萃取，該軟體的人機介面如圖 10.15 所示。

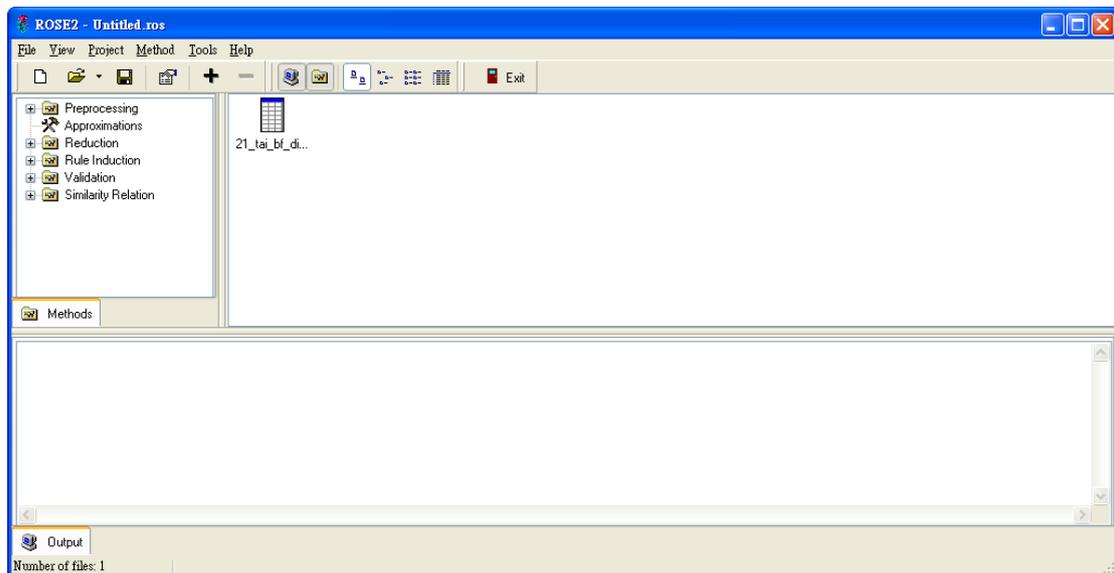


圖 10.15 ROSE 軟體介面

另一方面由於降雨與崩塌事件的資料取得不易，且不同事件所造成之影響不一，如將不同事件複合分析，將增加資料分析的困難與複雜度，且不易了解事件本身與崩塌事件之間的關聯性。因此本研究操作僅以單一事件進行分析，而為求能較合理之分析結果，本研究以莫拉克事件做為事件代表，藉以表述事件與崩塌之間之相關性。而在資料屬性部分，本研究利用現有資料之屬性(道路邊坡坡度、道路邊坡向角度、地質條件、溪流區位、土石流潛勢溪流、植生狀況)。約略集合分析與邏輯斯分析結果比較，

首先當我們資料取得之後，先行將資料轉換成程式可執行之格式，如有連續尺度之資料(如道路邊坡坡度、道路邊坡向角度)，利用程式當中之離散功能將資料尺度離散化。之後再將離散後資料與原始資料進行整合後，利用核心縮減的功能求得核心重要屬性，資料離散之操作過程如圖 10.16~圖 10.18 所示。

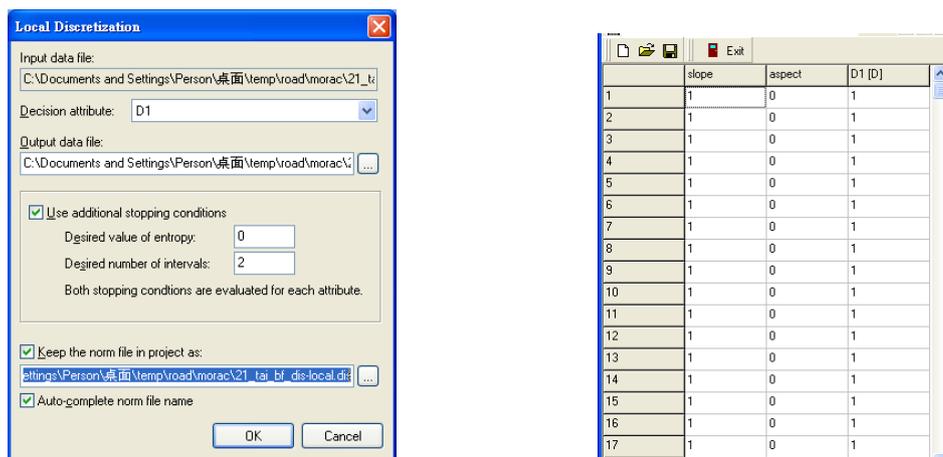


圖 10.16 ROSE 之約略集合資料離散與離散門檻

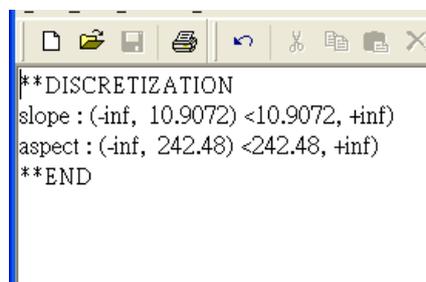


圖 10.17 ROSE 之約略集合資料離散結果

	kilo [D]	side [D]	slope	aspect	glayer	location	debris	vegetation	D1 [D]
1	0.0K	L	1	0	stone	null	N	bad	1
2	0.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
3	1.0K	L	1	0	stone	side	N	normal	1
4	1.5K	L	1	0	stone	side	N	normal	1
5	2.0K	L	1	0	stone	cross	N	normal	1
6	2.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
7	3.0K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
8	3.5K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
9	4.0K	L	1	0	stone	null	N	normal	1
10	4.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1
11	5.0K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
12	5.5K	L	1	0	stone	side	N	good	1
13	6.0K	L	1	0	stone	null	N	good	1
14	6.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1
15	7.0K	L	1	0	stone	null	N	good	1
16	7.5K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
17	8.0K	L	1	0	stone	cross	N	good	1
18	8.5K	L	1	0	stone	null	N	good	1

圖 10.18 ROSE 之約略集合資料整合

從分析結果，可以得到六個核心屬性，但在本次研究的基本因子屬性也是這六種，因此實際上從圖 10.19 來看是不具意義的。為了解個別屬性的重要性，我們繼續分析其個別屬性的權重以了解主要核心。

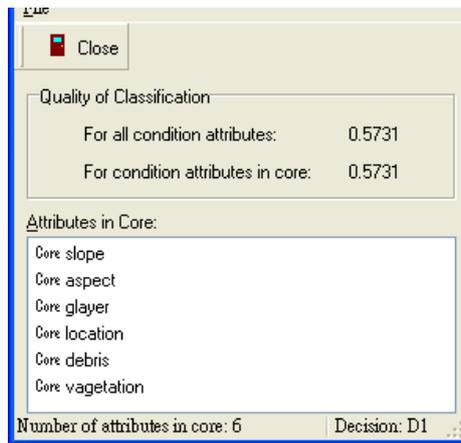


圖 10.19 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果一

觀察圖 10.20 之核心權重，左半邊為目前所選擇之屬性，右半邊為目前所捨棄之屬性。而圖 10.20 中顯示地層條件、植生狀況與道路邊坡坡度對臺 21 線是最為重要之核心屬性。而臺 18 線經上述操作後，本研究得到道路邊坡坡度、道路邊坡向角度、溪流區位、土石流潛勢溪流及植生狀況等 5 項因子最為重要之核心屬性。

Chosen attributes:	
Attribute name	Quality loss
Core glayer	0.505
Core slope	0.121
Core vegetation	0.255

圖 10.20 ROSE 之約略集合核心屬性萃取結果二

### 10.2.3 分析方法

本研究內容將針對易致災路段之危害度資料庫建立與邏輯斯迴歸之方法，將各項所需應用到的分析模式進行理論分析，並將各項分析理論之流程進行說明，以確立各項分析理論之完整性及有效性。

#### 1. 歷史災害資料及雨量站資料

臺 18 線及臺 21 線歷史災害資料統計年份自 85 年至 100 年，在臺 18 線累積災害資料為 818 筆，臺 21 線災害累計 1252 筆。本計畫選取近年來颱風事件來進行模式建構，資料庫建置之分析資料採用五場颱風及五場豪雨資料，颱風場次分別為 97 年卡玫基、辛樂克及 98 年莫拉克颱風、99 年凡那比颱風、100 年南瑪都颱風及 95 年 0609 豪雨、96 年 0604 豪雨、99 年 0523 豪雨、99 年 0726 豪雨、100 年 0718 豪雨。歷史災害參考自交通部運輸研究所公路防救災資訊系統網頁，整理臺 18 線及臺 21 線採用颱風事件崩塌筆數如下表 10-3 所示，其詳細歷史災害資料請參考附錄。研究分析中，兩路線臺 18 線及臺 21 線沿線運用徐昇氏法作空間權重分配，分析區域各路段對應雨量觀測站整理如表 10-4、表 10-5 所示。

表 10-3 臺 18、21 線 95 至 100 歷史災害筆數

災害類型	年份	名稱	臺 18 線	臺 21 線
颱風	97	卡玫基	100	111
	97	辛樂克	104	76
	98	莫拉克	150	101
	99	凡那比	4	2
	100	南瑪都	0	2
豪雨	95	0609 豪雨	12	0
	96	0604 豪雨	1	0
	99	0523 豪雨	0	3
	99	0726 豪雨	2	0
	100	0718 豪雨	5	10

表10-4 臺18線沿線路段依據雨量站

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
11L010	嘉義	嘉義市		0.0K~3.5K
11L640	頂六	嘉義縣	中埔鄉	3.5K~9.5K
C1M550	中埔	嘉義縣	中埔鄉	9.5K~13.5K
C1M490	內埔	嘉義縣	竹崎鄉	13.5K~17.5K
C1M570	大湖	嘉義縣	番路鄉	17.5K~19K
01L360	小公田(2)	嘉義縣	番路鄉	19~32.5K,41.5~45K
C1M390	瀨頭	嘉義縣	阿里山鄉	32.5K~41.5K
H1M240	樂野	嘉義縣	阿里山鄉	45 K ~65.5k
467530	阿里山	嘉義縣	阿里山鄉	65.5K~82K
H1M230	水山	嘉義縣	阿里山鄉	82~83K
01M310	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	83 K ~87K
C1M440	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	87 K ~97K

表10-5 臺21線沿線路段依據雨量站

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
C1H920	長福	南投縣	國姓鄉	0K~21K
11H670	國姓	南投縣	國姓鄉	21K~24.5K
01H720	清流(1)	南投縣	仁愛鄉	24.5 K~38K
C1H890	大肚城	南投縣	埔里鎮	38.5 K~41K, 45.5K~51.5K
11H080	埔里	南投縣	埔里鎮	41 K~45.5K
11H350	魚池	南投縣	魚池鄉	56K~57.5K
C1H910	魚池	南投縣	魚池鄉	51.5K~56K, 57.5K~59.5K
41H340	水社進水	南投縣	魚池鄉	59.5K~62K, 66.5K.68.5K
467650	日月潭	南投縣	魚池鄉	62K~66.5K
41H530	大觀	南投縣	水里鄉	68.5K~68.5K
41H520	鉅工	南投縣	水里鄉	69K~80K
00H540	龍神橋	南投縣	水里鄉	80K~88K
01H780	內茅埔(2)	南投縣	信義鄉	88K~92K
C1I080	信義	南投縣	信義鄉	92K~94.5K
C1I060	望鄉	南投縣	信義鄉	94.5~101K
C1I070	和社	南投縣	信義鄉	101K~108K,113K ~125K,135.5K~136K

站號	測站名稱	縣市	鄉鎮	對應路段
C0H9A	神木村	南投縣	信義鄉	108K~113K
467550	玉山	嘉義縣	阿里山鄉	125K~134.5K
C1M440	新高口	嘉義縣	阿里山鄉	134.5~135K, 137 K ~147K

## 2. 模式建構

分析路段分別採用有發生災害事件來資料庫建置，以針對道路上下邊坡 25m 的坡度進行統計，研究區以每 500m 為平均分析單元，臺 18 線劃分為 388 個分析單元，採用 8 場颱風共有 3104 筆資料，臺 21 線劃分為 588 個分析單元，採用 7 場颱風資料共 4116 筆。資料庫建置選取颱風及豪雨事件共 10 場，臺 18 線於其中 8 場颱風與豪雨事件有發生災害如表 10-3 所示，分別為卡玫基、辛樂克、莫拉克、凡那比颱風及 0609 豪雨、0604 豪雨、0726 豪雨以及 0718 豪雨。臺 21 線於卡玫基、辛樂克、莫拉克、凡那比以及南瑪都颱風及 0523 豪雨、0718 豪雨兩場事件有發生災害。

在模式建構時，雨量資料上，有部分路段對應雨量站未有完整資料，可能為儀器在颱風時期在功能上無法正常運作；在臺 18 線上缺觀測站雨量資料有五站分別為嘉義、頂六、樂野、水山及新高口(01M310)，臺 21 線有六站國姓、大肚城、清流(1)、魚池(11H350)、大觀、鉅工。因此，在資料分析上做篩選動作把缺雨量資料去除，臺 18 及 21 線分別去除 140 及 115 筆資料，其對應崩塌個數分別有 389 及 312 筆。

模式訓練及驗證採用歷史災害場次如表 10-6 所示，臺 18 線分析訓練資料採用六場歷史災害，臺 21 線則採用五場歷史災害，以三種不同方法選取訓練資料，方法如下：

- (1)方法一：採用歷史災害全部資料筆數作訓練，凡那比颱風及 718 豪雨事件作驗證。
- (2)方法二：以隨機採樣方法在兩分析路段分別篩選出各 1500 筆資

料，其他筆資料作為驗證。

(3)方法三：以空間分析觀點來選取資料，在以 500 公尺為單位的道路記錄資料中依序給於編號以等值方式選取資料，本計畫以連續 5 筆資料中取 4 筆資料訓練，1 筆資料驗證。

依驗證結果之找出最適方法，再輸出危害度分析結果採辛樂克颱風及 0718 豪雨事件來作範例。

**表 10-6 模式建構採用歷史災害**

年份	歷史災害事件	訓練資料	
		臺18線	臺21線
97	卡孜基	○	○
97	辛樂克	○	○
98	莫拉克	○	○
99	凡那比		
100	南瑪都		○
95	0609豪雨	○	
96	0604豪雨	○	
99	0523豪雨		○
99	0726豪雨	○	
100	0718豪雨		

模式建構將模式訓練資料各評估參數經由評分匯整成一張 EXCEL 試算表(表 10-7)，再將參數作經過標準化動作，其後 SPSS 即可將 EXCEL 試算表之資料匯入，進而計算出邏輯斯迴歸方程式。

**表 10-7 危害度參數示意表**

路段	邊坡	道路邊坡 坡度	道路邊坡 坡向	地層 結構	溪流 區位	土石流潛 勢溪流	植生 狀況	事件累計 降雨量	一日最大 降雨量	崩塌
0.0K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	1	1
0.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	1
1.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	1	0
2.0K	R	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.33	1	1	0
2.5K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.33	1
3.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.33	1
3.5K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	0.33	0
4.0K	R	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	1	0.33	0
4.5K	R	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.03	0.33	0
5.0K	R	0.33	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.03	0.33	0

資料分析時首先開啟 SPSS 分析程式並點選上方功能列中的「分析」功能，再選擇「迴歸方法」中的「二元 Logistic」，即可使用邏輯斯迴歸功能之視窗，如下圖 10.21 所示。在「二元 Logistic」視窗中，如圖 10.22 視窗操作，選取依變量及共變量，選取後點按確定，即可求得邏輯斯迴歸之分析結果。



圖 10.21 SPSS 之「邏輯斯迴歸」分析功能



圖 10.22 邏輯斯迴歸選取分析變數

各模式資料經由邏輯斯迴歸分析後，經由分析後，可以獲得一邏輯斯迴歸判別式，當輸入某一組因子數值時，透過此判別式之函數轉換即可求得該因子組合下之潛勢機率。由於各因子在邏輯斯迴歸判別式之係數 $\beta$ 值，可被視為該因子對整體判別式之影響程度。因此，當計算各因子 $\beta$ 值與所有 $\beta$ 值總和之對應比值後，即可獲得各因子之判別式對應權重。

邏輯斯迴歸模式(Logistic regression model)透過三種不同選取訓練資料方法之分析結果於表 10-8 所示，臺 18 線分析整體預測準確率分別為 88.9%、88.1%、88.5%，其結果相差不多；臺 21 線迴歸整體預測率為 90%、89%、90.1%；表 10-9~表 10-14 為臺 18 線及臺 21 線之三種邏輯迴歸結果，可由表中觀察在正確率中，雖然整體預測率高，但無法反應在實際發生崩塌路段的正判率上，可能為在訓練資料中，事件的發生崩塌筆數占整體筆數來說，比例占少數；因此，在邏輯斯迴歸模式中對於非崩塌特性資料明顯的比崩塌資料來的明顯；另外，在分析時研究路段採用以 500 公尺為單位，對於崩塌記錄來說，劃分範圍過大，崩塌特徵與各路段特徵屬性明確度降低；在崩塌地質部分，目前放入危害度分析之參數，目前未考量地質順、逆向坡，目前地質資料僅為地質屬性，屬於考良影響淺層崩塌部分，對於深層崩塌需考量順、逆向坡，也將此納入可能影響因素之一。

表 10-8 邏輯斯迴歸模式分析結果

	臺 18 線			臺 21 線		
	方法一	方法二	方法三	方法一	方法二	方法三
準確率(%)	88.90%	88.10%	88.50%	90%	89%	90.10%
R <sup>2</sup>	0.252	0.252	0.26	0.08	0.08	0.03

表 10-9 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法一)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	212	0
	非崩塌組	0	1696	100
	整體			88.9

表 10-10 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法二)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	178	0
	非崩塌組	0	1322	100
	整體			88.1

表 10-11 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 18 線方法三)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	175	0
	非崩塌組	0	1350	100
	整體			88.5

表 10-12 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法一)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	293	0
	非崩塌組	0	2647	100
	整體			90.0

表 10-13 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法二)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	164	0
	非崩塌組	0	1333	100
	整體			89.0

表 10-14 邏輯斯迴歸模式分類誤差矩陣(台 21 線方法三)

		預測結果		正確率(%)
		崩塌組	非崩塌組	
觀測資料	崩塌組	0	233	0
	非崩塌組	0	2119	100
	整體			90.1

訓練資料經由邏輯斯迴歸，求得邏輯斯迴歸係數，即邏輯斯迴歸公式(於 10.2.1 節說明)。驗證資料，透過邏輯斯迴歸係數及七個崩塌潛勢評估參數的評分值乘積運算，進而求得崩塌潛感值，再由 Logit 轉換之線性型態

$$\pi = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}$$

概似值表達的是一種機率，故數值介於(0,1)間。而邏輯斯迴歸一般以機率 0.5 值做為崩與未崩的分界(cut off)，即潛感值若大於 0.5，則表示預估為崩塌；反之，則表示預估為未崩塌。

驗證資料，臺 18 線及臺 21 線採三種方法之驗證結果筆數於表 10-15 及表 10-16 所示，為研究路線崩塌與未崩塌之處數統計，統計劃分以預測機率 10% 為單位，如：0%~10% 及 10%~20%；在臺 18 線預測機率最高達 30%~40%，因此劃分等級分為 4 等；臺 21 線，預測機率最高也為 30%~40% 等級。由統計崩塌與未崩塌處數表 10-15 及 10-16 之數量，可計算發生率，發生率計算方法為各預測等級內實際發生崩塌處及總處數(實際崩塌處數及未崩塌處數之總和)之比值。如：崩塌處數 1 處，未崩塌處數 4 處，則發生率 20%。將發生率計算後繪製如圖 10.23 及圖 10.24，圖 10.23 為臺 18 線預測機率與實際發生比率對應圖，雖然整體預測機率偏低，但由實際崩塌與預測機率分佈比較，可觀察出方法二在預測及實際崩塌對應上是隨機率越高，發生率也增加，表示方法二有不錯預測結果，在方法一及方法三之趨勢也隨預測機率增加，但方法二發生率相較之下，明顯有較大差異。而圖 10.24 為臺 21 之三種方法之結果，在三種方法中以方法二結果為佳，方法一發生率只分布於預測機率 0~10%，稍嫌不足；而方法三趨勢不一致，因此比較下方法二較佳。表 10-17 為兩分析區域之最佳方法個參數迴歸係數。

同時本研究也將約略集合分析與邏輯斯迴歸分析之比較，可發現共同重要參數在臺 18 線為道路邊坡坡度、地層條件；臺 21 線為溪流區位、土石流潛勢溪流，因此可知確為重要核心因子。

表 10-15 臺 18 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表

方法	方法一		方法二		方法三	
是否崩塌 機率(%)	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌
0~10	575	2	866	77	229	19
10~20	379	0	342	76	224	45
20~30	22	2	57	26	1	0
30~40	10	0	2	0	0	0

表 10-16 臺 21 線模式之預估機率以及實際是否發生災害統計表

方法	方法一		方法二		方法三	
是否崩塌 機率(%)	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌	未崩塌	崩塌
0~10	776	9	308	28	238	11
10~20	0	0	66	6	21	1
20~30	0	0	0	0	44	17
30~40	0	0	0	0	41	8

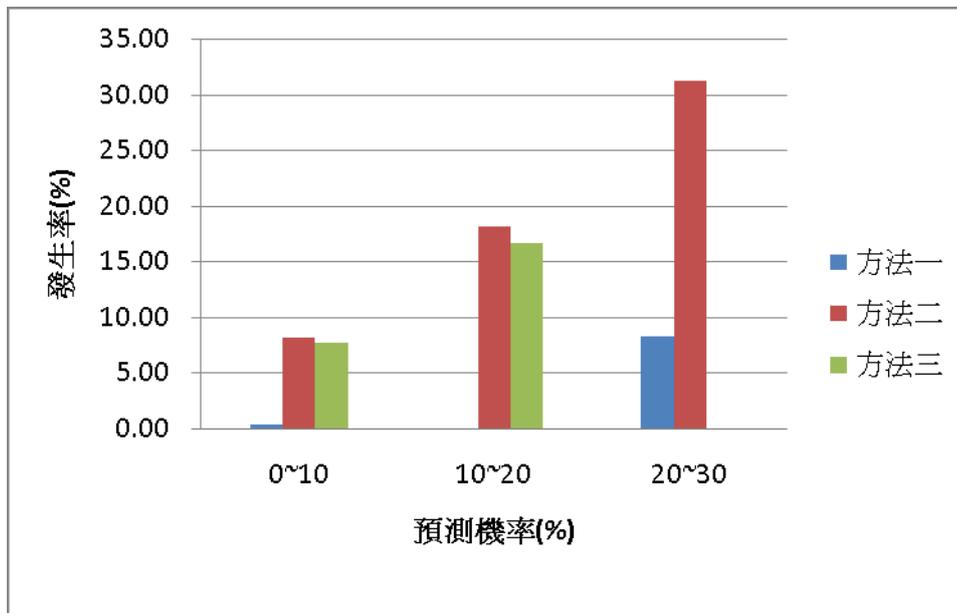


圖 10.23 臺 18 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖

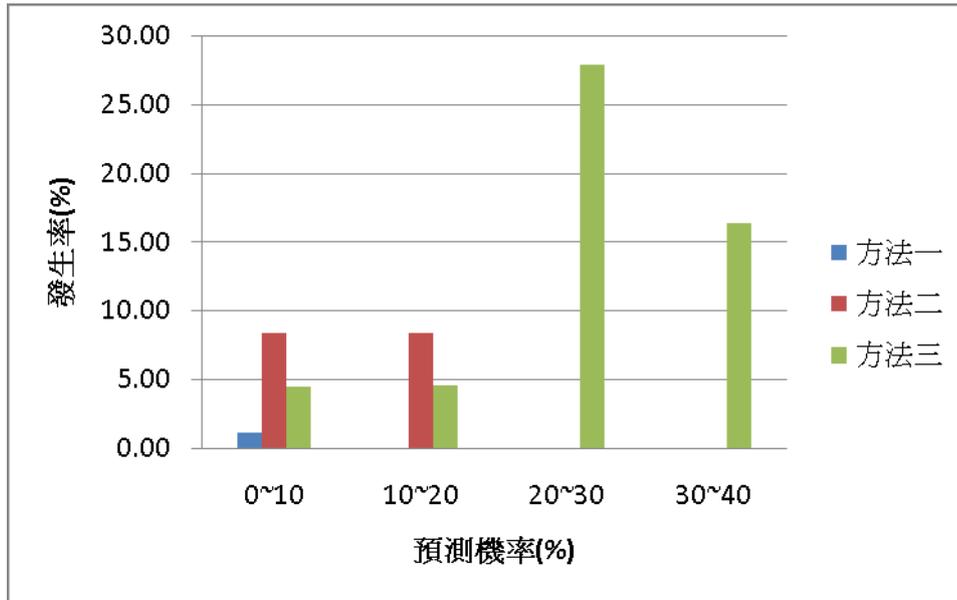


圖 10.24 臺 21 線預測機率與實際發生比率之對應關係圖

表 10-17 邏輯斯迴歸模式參數

崩塌潛勢因子	臺 18 線迴歸係數	臺 21 線迴歸係數
道路邊坡坡度	0.27	-1.56
道路邊坡坡向角度	0.35	-0.52
地層結構	66.38	1.00
溪流區位	4.86	0.54
土石流潛勢溪流	63.04	-0.41
植生狀況	0.69	-0.12
事件累計降雨量	2.05	1.20
常數	-47.50	-2.39

在模式確認後本研究後，本研究分別使用辛樂克颱風與今年度 718 豪雨事件來進行危害度的分析，並且以 GIS 工具進行分析。而 GIS 以繪圖方式呈現出 718 豪雨兩線潛勢分布圖如圖 10.25 及圖 10.26，在兩圖中發現潛勢分布皆為低潛勢，可能原因為 718 豪雨事件累計降雨量約分布在 400 毫米以下，相較於颱風事件下降雨，明顯較小，以兩研究路線之迴歸係數來探討為事件累積降雨量越大，對於潛勢則有較高趨勢。相較以辛樂克颱風之潛勢分布，如圖 10.27 及圖 10.28，圖 10.25 為臺 18 線潛勢分布，整體來說，高中低潛勢分布以高潛勢比例為多，集中於 25~40K 及 50~70K 處，臺 21 線主要分布為中低潛勢，高潛勢集中於 0~10K 處。

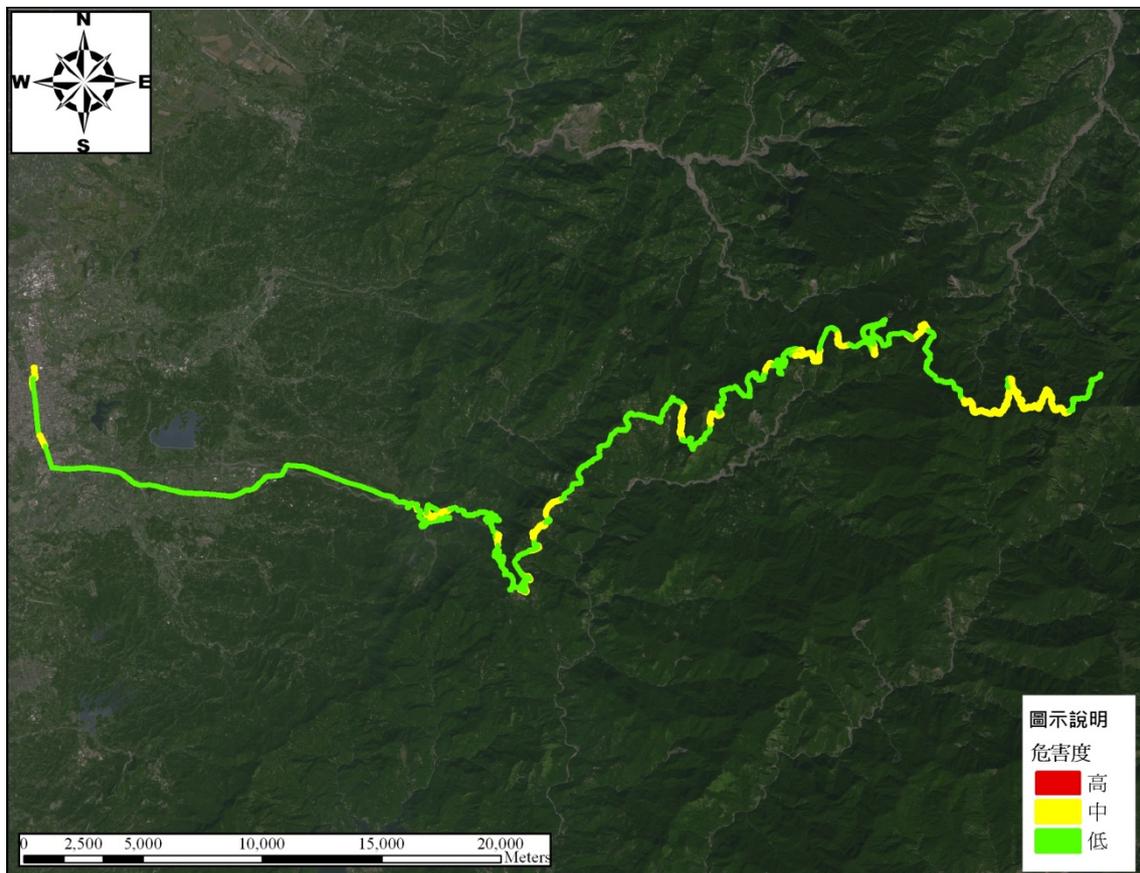


圖 10.25 臺 18 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例

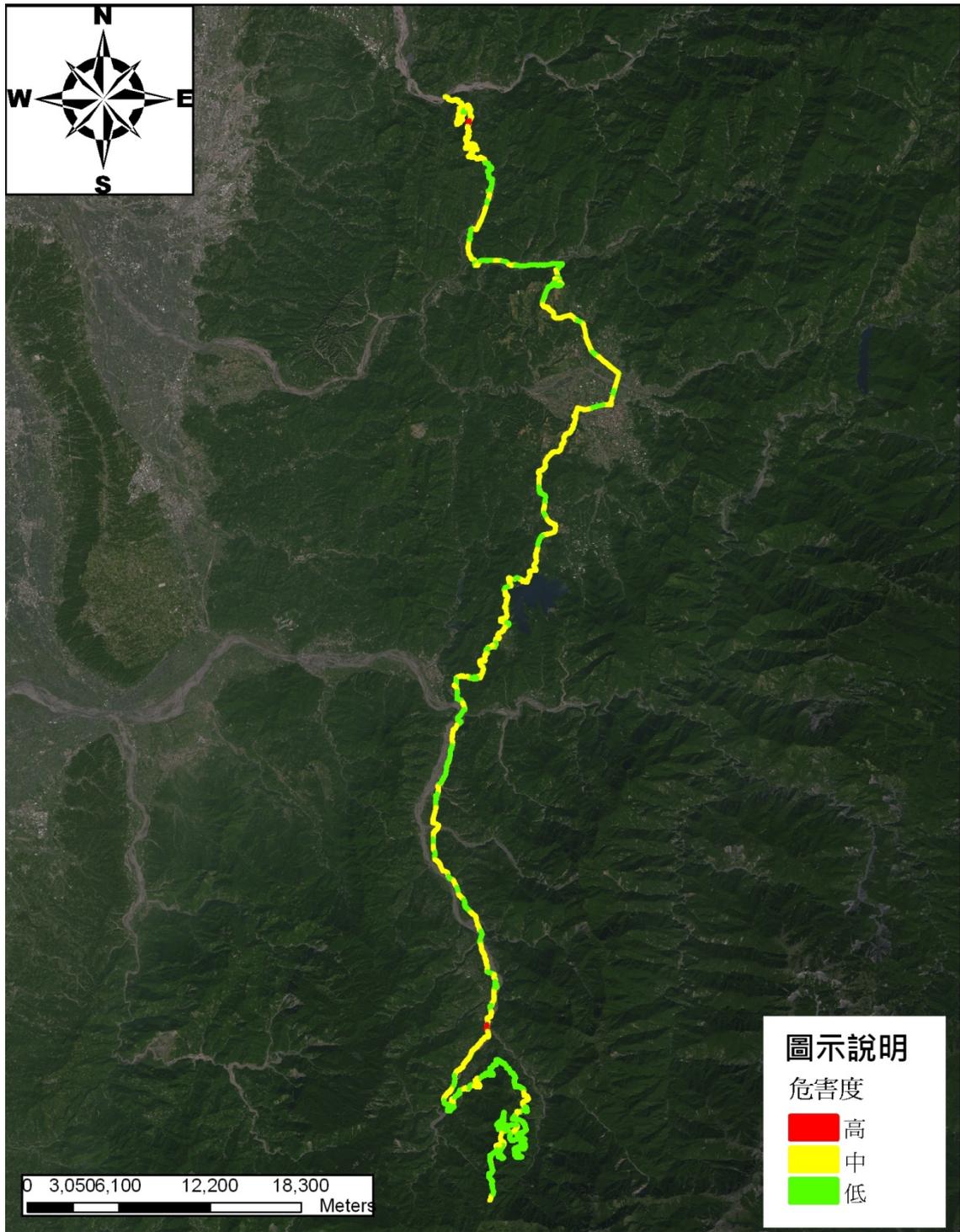


圖 10.26 臺 21 線危害度評估示意圖-以 718 豪雨為例

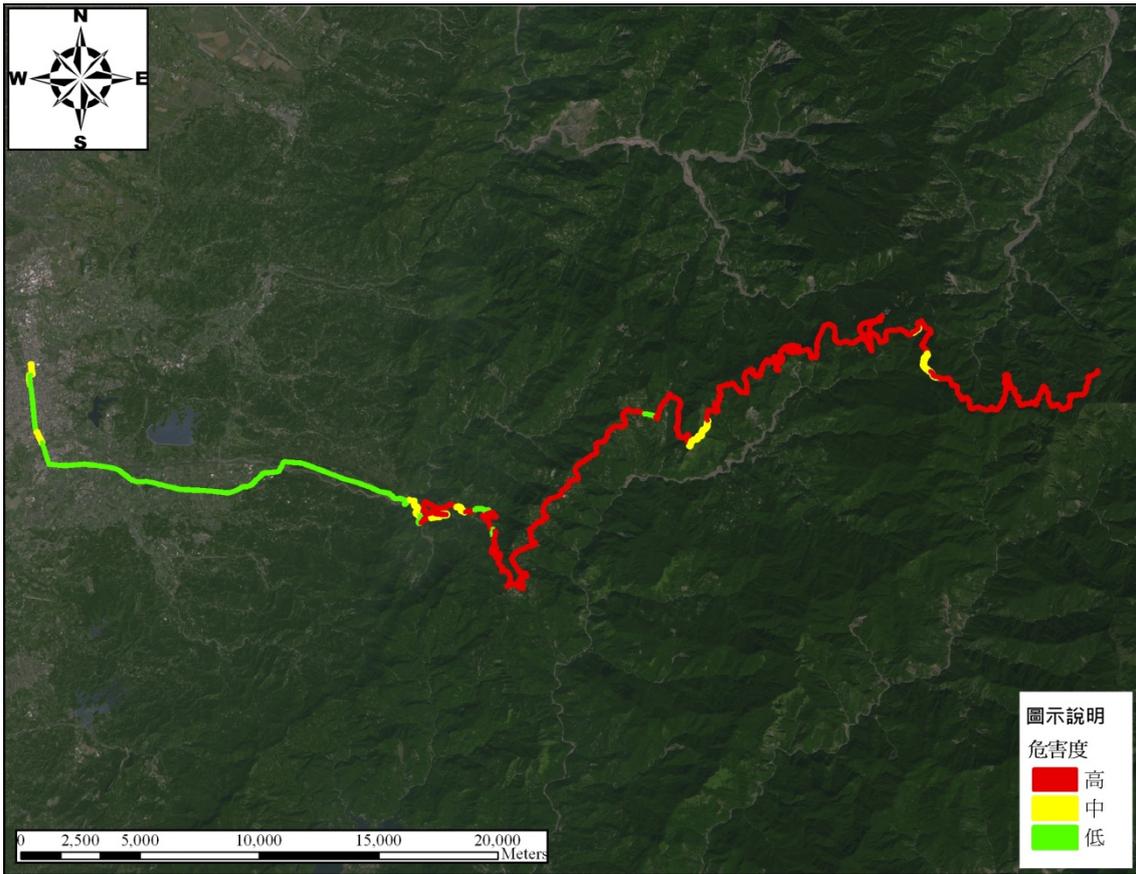


圖 10.27 臺 18 線危害度評估示意圖-以辛樂克颱風為例

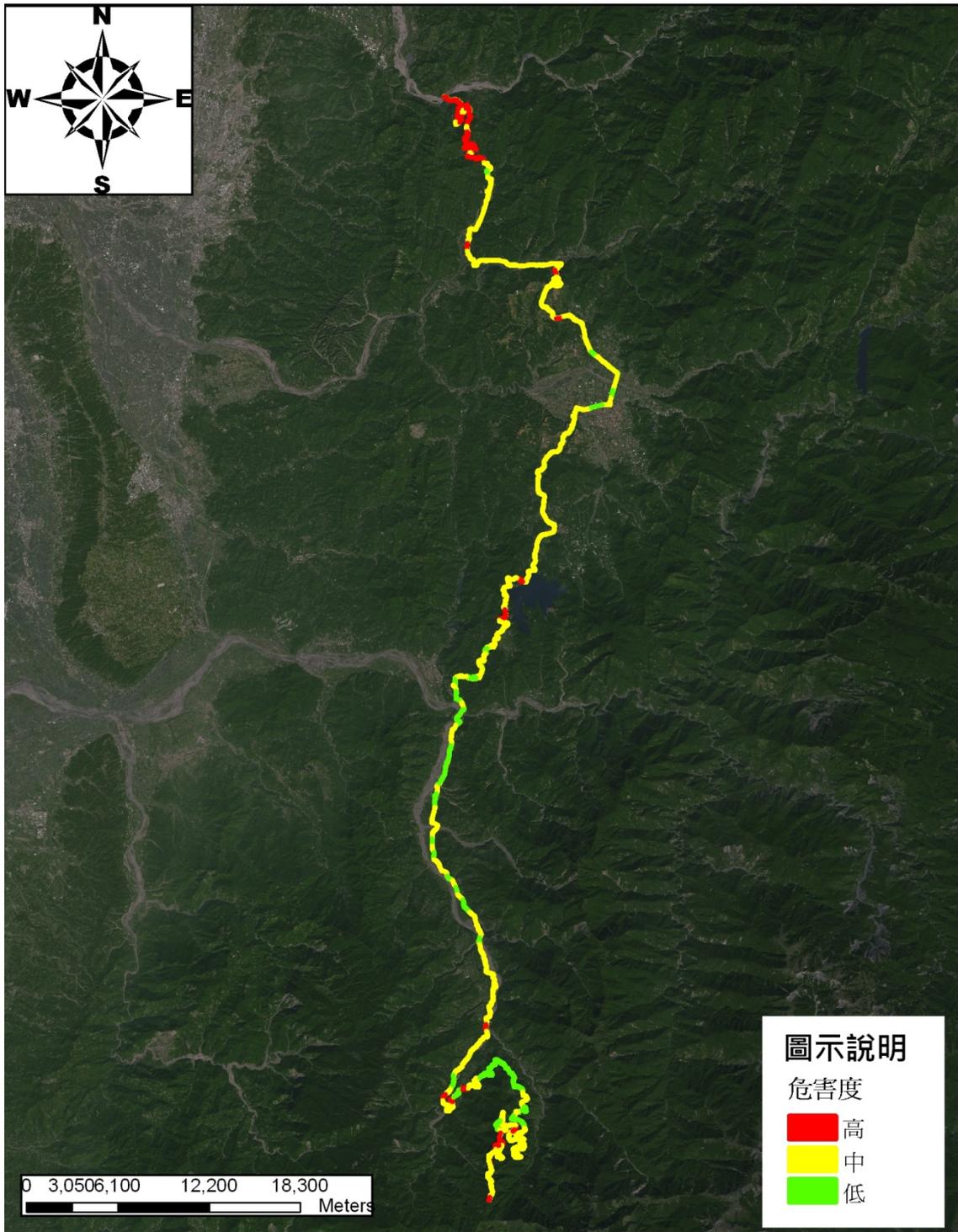


圖 10.28 臺 21 線危害度評估示意圖-以辛樂克為

## 第十一章 臺 18 線與臺 21 線山區道路各類型易致災路段之易致災性分析

所謂易致災的概念來自於災害風險管理，災害風險產生的機制，主要由危險源與易致災性互動的災害作用而形成。「易致災性」指由物質、社會、經濟和環境等因素互動形成的條件，如從受體的角度詮釋，指在特定自然事件下，特定地理區域內，暴露於危害源影響範圍內人口、建物或設施的潛在損失或傷害的可能性而言(陳建忠、洪鴻智，2005)。而易致災性分析需包含脆弱性因子評估與危害度評估，而脆弱性所涵蓋之範圍包含四個主要層面：物理層面、經濟層面、社會層面與環境層面。在此四大層面下，需釐清脆弱性因子間之關聯性與相互關聯性，再與危害度交集以產生「易致災性」。此外，脆弱度為一種「狀態」，危害度為一種有殺傷性或有損結果之事件，如果危害度與脆弱度不交集，易致災性則不存在(如圖 11.1)(陳禹銘等人，2009)。以我國為例，臺灣的脆弱度與在菲律賓之間的颱風如果不交集，則不會有易致災性的顧忌，但如果在菲律賓的颱風侵臺(脆弱度與危害度交集)，則會產生易致災性的顧忌。因此，本計畫將根據上章節危害度分析之結果，再透過脆弱性因子調查分析，分別探討危害度與脆弱性因子之關係。

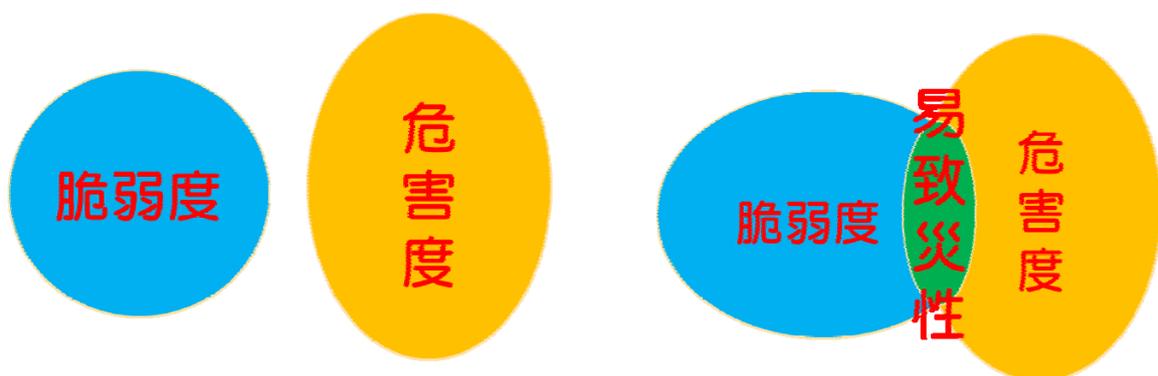


圖 11.1 易致災性概念示意圖

## 11.1 山區道路線脆弱性因子調查分析

傳統的風險評估架構如圖 11.2 所示。災害的損失 (Loss) 或衝擊 (Impact) 與災害的特徵 (Hazard)、暴露於災害的資產 (Inventory) 或稱暴露量 (Exposure)、及其他影響最後災害損失的因素或稱脆弱性 (Vulnerability) 有關。脆弱性分析的目的是藉由對造成損失的潛在因素加以分析，以確認降低脆弱性的方法，強化社會對災害的適應(郭彥廉，2009)。Cutter (1996) 歸納出三個脆弱性主要討論的面向：1.脆弱性是一種災前的既存的條件；2.脆弱性是災害的調適與因應能力；3.脆弱性是一個特定地點的災害影響程度。以下分別討論這三類型脆弱性定義。



圖 11.2 風險評估架構

資料來源：郭彥廉，2009

### 1. 脆弱性是一種災前的既存的條件

此類研究主要在探討災害、人類位於災害發生區域的條件、及損失的程度，特別關注災害的規模、持續的時間、頻率、發生的速度等，以及洪水平原、海岸地區、地震危害區等的生物物理條件 (S. L. Cutter, 1996)。這類型研究的一個分支為探討建築環境中與災害事件相關的結構損失及減災方法。

### 2. 脆弱性是災害的調適與因應能力

Cutter (1996) 歸納這類研究，其將脆弱性定義為人類社會對於災害的妥善因應能力，包括抗災與回復能力。災害的特徵在這類研究中通常被視為給定，多數這類研究在探討長期或慢性的危害，如

乾旱、飢荒、氣候變遷、環境變遷等。這類研究強調脆弱性的社會建構，意即能改變個人或社會因應災害能力之歷史、文化、社會經濟條件。

### 3. 脆弱性是一個特定地點的災害影響程度

Cutter (1996) 歸納這第三種脆弱性定義便是將前面兩者加總，較新的文獻中 Chambers (2006) 及 IPCC (2007) 也是採這樣的定義方式。IPCC 指在氣候變遷下脆弱度是「一個系統在面對氣候變遷時受影響或未能處理的程度（此處提及的氣候變遷包括氣候變異的程度及極端氣候事件），而且脆弱度是一個函數，函數中包括一個系統暴露於氣候變遷的特徵、強度、速率及本身的敏感度及適應能力等因子」。這種定義也可以用更廣義的方式來說明－脆弱性是造成損失的潛在因素 (S. L. Cutter, Boruff, & Shirley, 2003)。因脆弱度因子多因地而異，故這類研究均強調某一特定地點的某種災害脆弱性。

依據 2010 國家災害防救科技中心易致災區域脆弱性因子調查分析，易致災調查之篩選原則，依據災害事件易發性進行勘災排序：

- (1) 災害發生規模頻率。
- (2) 評估可能再發生災害點位。
- (3) 傷亡統計。
- (4) 經濟損失。

除蒐集易致災區域外，亦包含各脆弱性因子之資料(如圖 11.3)：

- (1) 保全對象。
- (2) 道路使用頻度。
- (3) 橋梁。
- (4) 防洪設施。
- (5) 避難場所位置。
- (6) 救災資源分布。

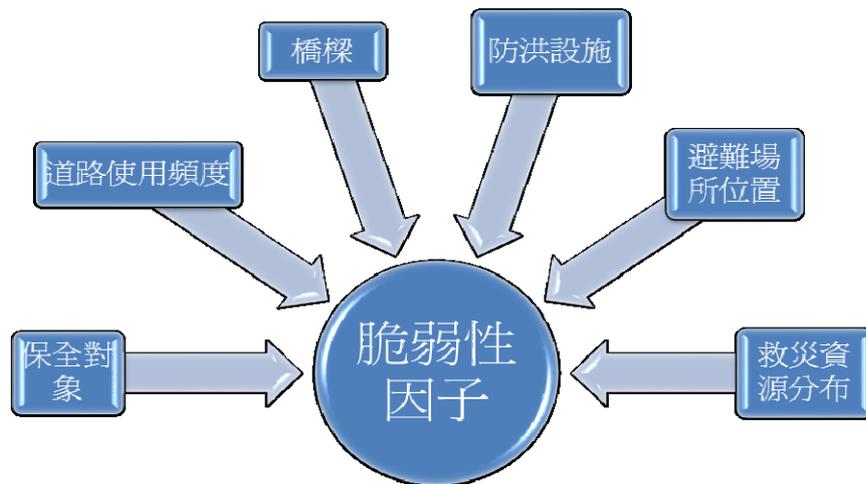


圖 11.3 脆弱性因子分析圖

由於不同的災害特性有其各自的脆弱性因子，因此，本計畫將選取有關山區道路之脆弱性因子。對於山區道路，工程設施影響道路的脆弱性甚鉅，另配合各路段的累計崩塌次數，再根據上章節高、中、低潛勢區域，將易致災性之路段選取出來，下章節將探討易致災性分析結果。

## 11.2 各類型山區道路易致災路段之易致災性分析

「易致災性」的定義是脆弱度、暴露度以及威脅度的乘積 ( $Vulnerability \times Exposure \times Threat$ )；在單一災害領域裡，則是脆弱度、暴露度以及危害的乘積 ( $Vulnerability \times Exposure \times Hazard$ ) (陳禹銘等人，2009)；而因「災害」所包含的領域甚廣，有天然災害 (地震、土石流、颱風、洪水等)、環境災害 (沙漠化、伐木、土壤流失等) 與科技災害 (空氣污染、輻射污染、化學毒氣等) 三大類，部分災害由天然因素造成，而有些則是人為因素所導致，本計畫則考量山區道路的災害領域下，將易致災性定義為脆弱因子與危害度 (潛勢區域) 的乘積 ( $vulnerability \times hazard$ )。不同領域有各自的災害風險定義，本計畫易致災性定義如下所示：

$$\text{易致災性} = \text{脆弱因子} \times \text{危害度}$$

風險評估過程中，選擇適當之風險評估工具，可估計災害發生機率與估計災害發生嚴重度。為提高風險評估之準確性，專業工具的協助是不可避免的，每種評估工具均有其特性與適用範圍。而本計畫以上章節高、中、低潛勢區域與易致災區域脆弱性因子間之關係，以評點法分為高易致災性地區、中易致災性地區及低易致災性地區三大類型，將脆弱性因子的評分加總後，乘以危害度，當總分超過 0.89 分者為高易致災性地區，0.89 分以下至 0.23 分者為中易致災性地區，0.23 分以下為低易致災性地區，各脆弱性因子評分如表 11-1、11-2 所示。以下為評估原則：

### 1. 高易致災性地區

經由豪雨或是颱風過後，山區常有崩塌、土石流等災害發生，而在易發生崩塌或是土石流區域通常會有不同之工程設施，目的在於防止二次災害發生。因此，若此路段位於高潛勢區域，沒有工程設施且經常發生崩塌，表示其處於高致災性區域。

### 2. 低易致災性地區

若此路段位於低潛勢區域，有工程設施且該路段的歷史資料顯示很少發生崩塌，表示其處於低致災性區域。

表 11-1 山區道路易致災性評估工程設施評分表

	工程設施	有	無
分數			
得分		1 分	3 分

表 11-2 山區道路易致災性評估累計崩塌次數評分表

	累積崩塌次數	0	1~4	5~8	9 以上
分數					
得分		1 分	2 分	3 分	4 分

風險評估的結果，同樣以 GIS 繪圖方式呈現臺 21 線與臺 18 線的易致災性，以 718 豪雨作範例，由圖 11.4~圖 11.5 可知為豪雨時，在有無工程及歷史崩塌頻度不同就有不同的易致災影響性，與危害度考量角度又多考量一層面。圖 11.6~11.11 為臺 18 線及臺 21 線分別預測降雨量為 300 毫米、600 毫米、900 毫米之易致性地圖，可觀察在某些路段可以提早作預警及監控設施，以降低損失也將資源發揮最大效能使用。臺 18 線及臺 21 線易致災性評估之結果，詳見附錄二以表列呈現，以供清楚參照。

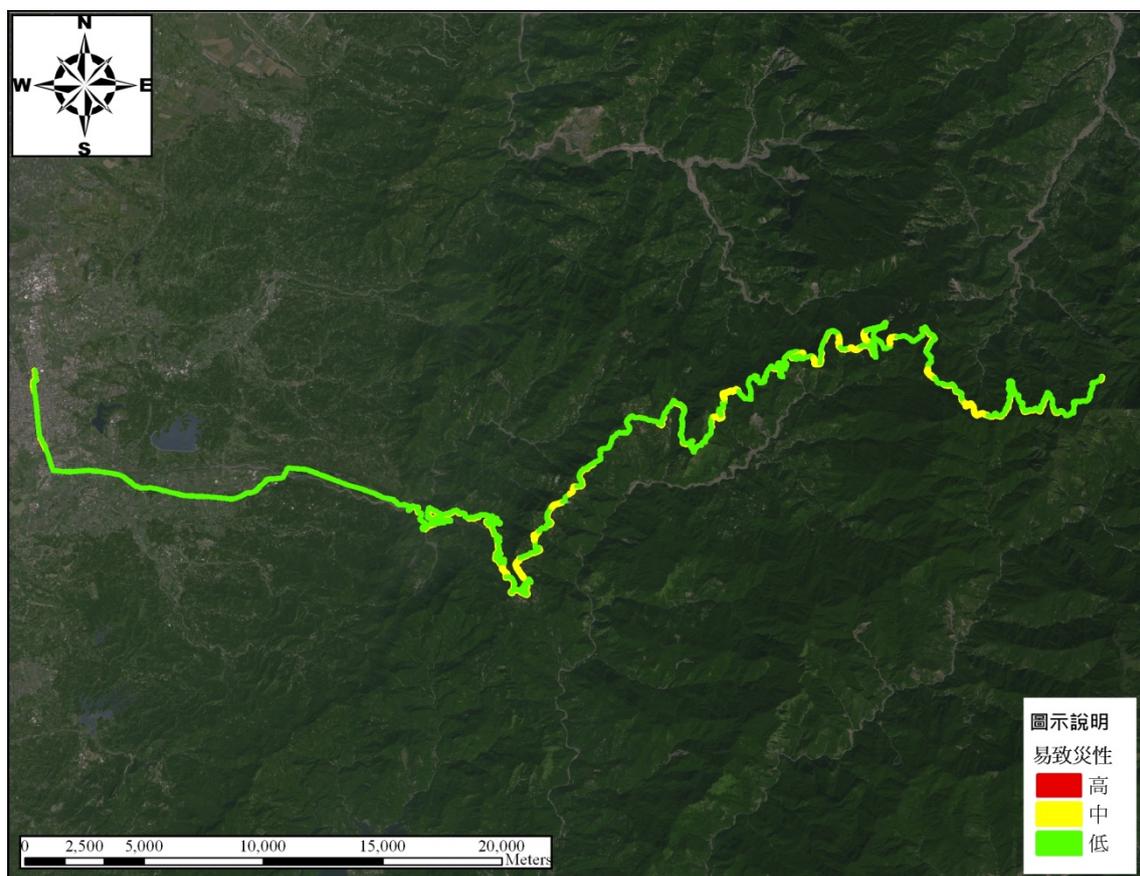


圖 11.4 臺 18 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例

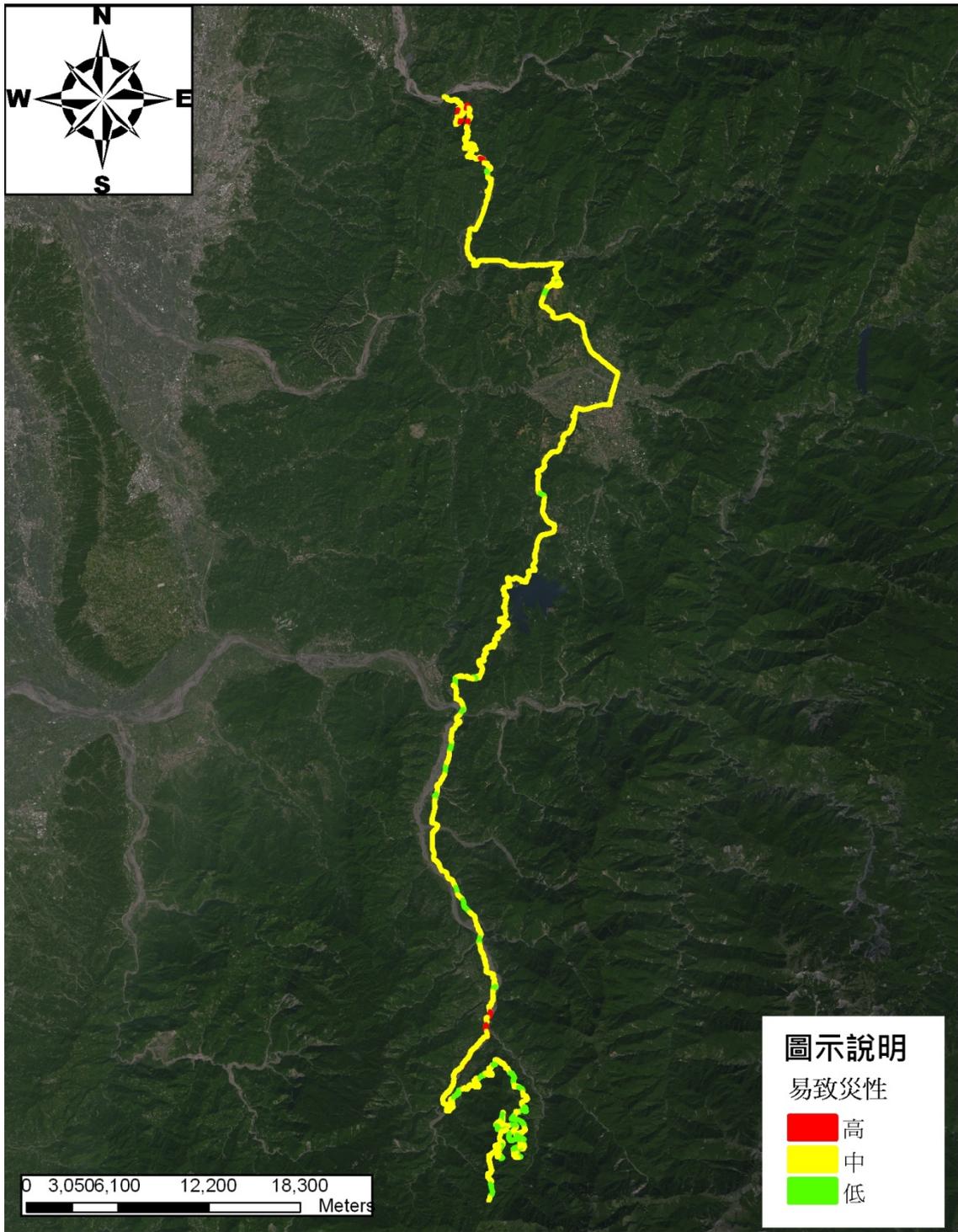


圖 11.5 臺 21 線易致災性評估示意圖-以 718 豪雨為例

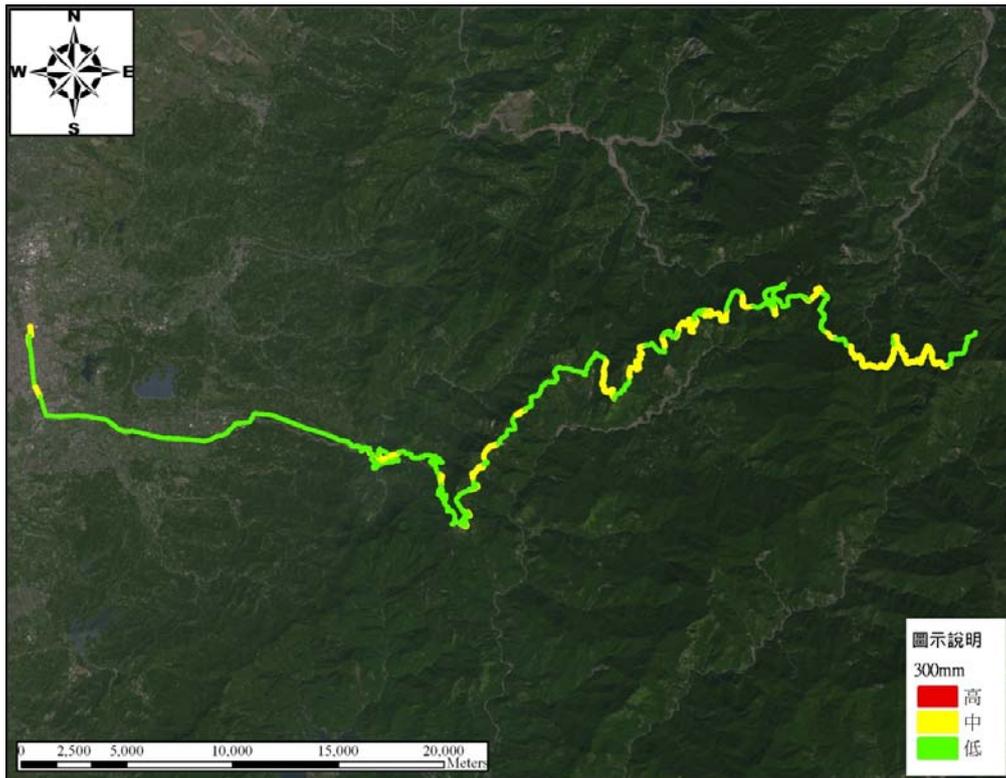


圖 11.6 臺 18 線預測降雨 300 毫米評估示意圖

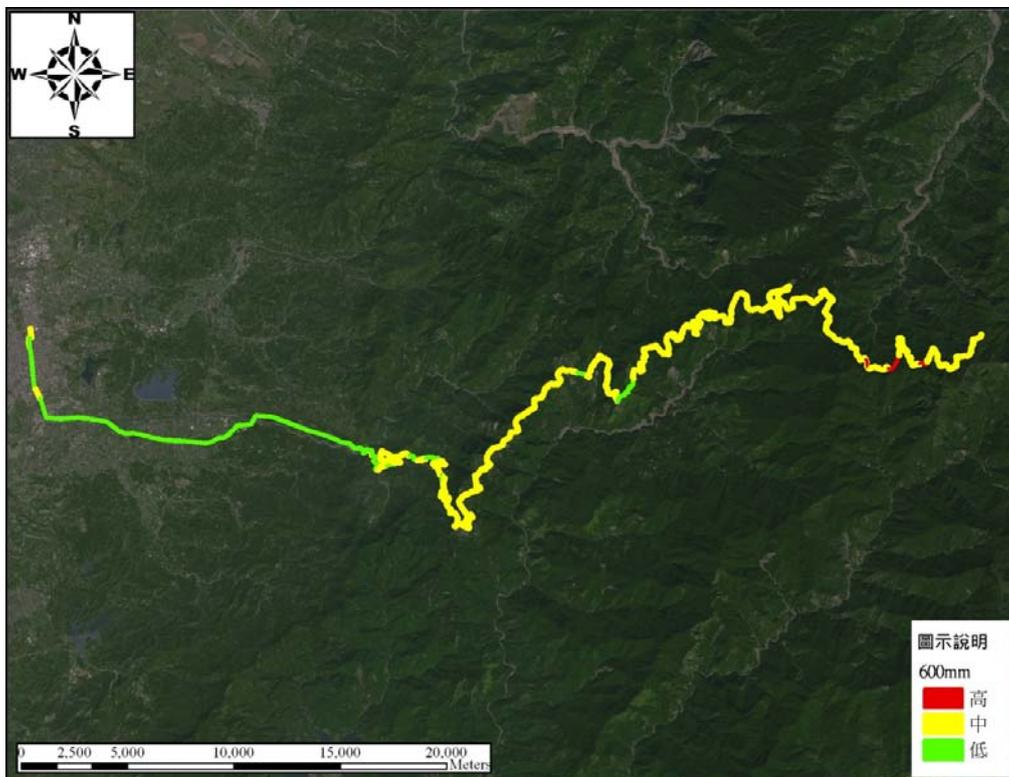


圖 11.7 臺 18 線預測降雨 600 毫米評估示意圖

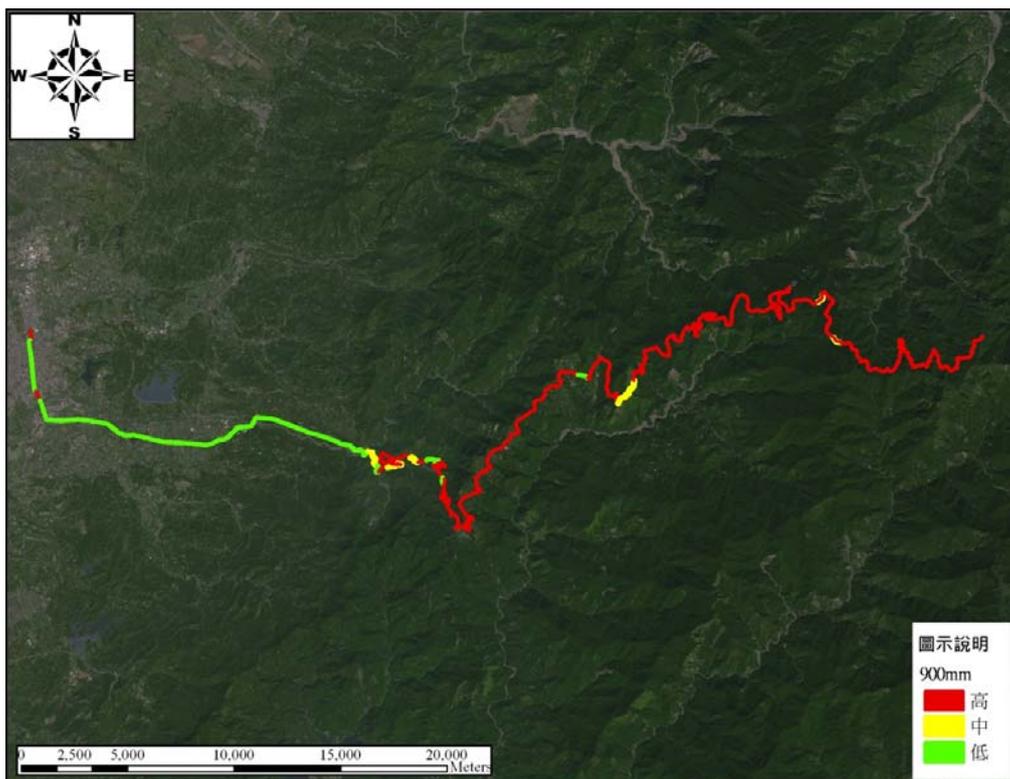


圖 11.8 臺 18 線預測降雨 900 毫米評估示意圖



圖 11.9 臺 21 線預測降雨 300 毫米評估示意圖

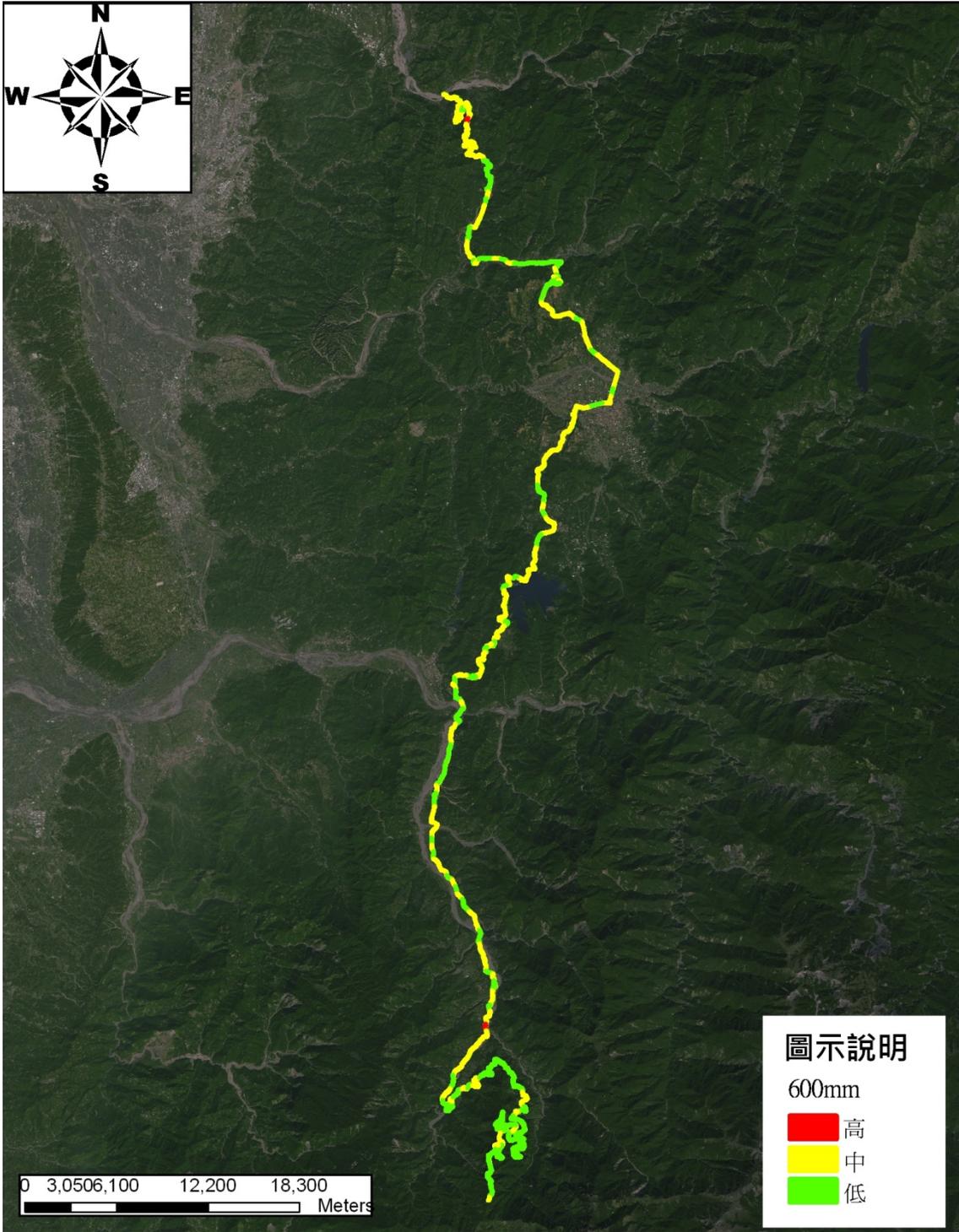


圖 11.10 臺 21 線預測降雨 600 毫米評估示意圖

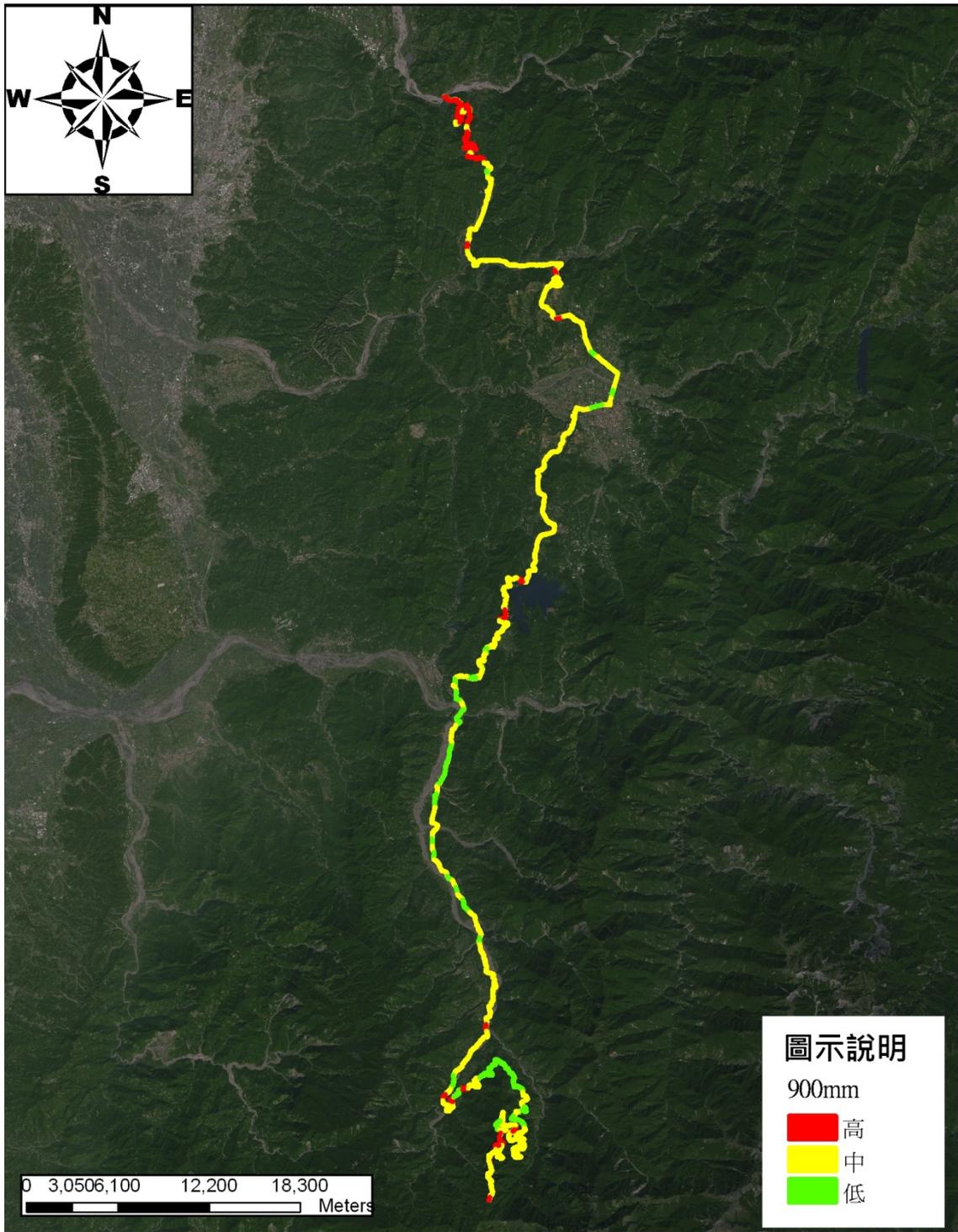


圖 11.11 臺 21 線預測降雨 900 毫米評估示意

## 第十二章 臺 18 線與臺 21 線山區道路各類型易致災路段之監測系統規劃與應變計畫

道路建設為國家重要之基礎建設，道路安全管理暨公路建設後，成為極為重要的課題。臺灣地區由於多山坡地，山區道路遭遇颱風、豪雨之侵襲而產生之災害問題，將對於用路人行車安全構成極大之威脅。因此，合宜地應用監測系統，將可做為山區道路安全管理之重要依據。然因山區道路易致災區域各有不同的災害特性，故監測預警系統之規劃亦應有不同之考量。為充分獲得監測預警所需之相關資料進行分析，唯有透過長期監測之累積，方得以了解山區道路災害之監測預警特性及其管理值。

一般而言，監測系統可概分為人工記讀系統以及自動化系統，自動化系統其組成包括：(1)感測單元；(2)資料擷取單元；(3)資料傳輸單元；(4)資料儲存、展現或分析單元；以及(5)電源供應等五個單元。其中感測單元感測現地物理量(如位移)或環境條件(如雨量)之變化，由資料擷取系統收集、記錄、篩選、判讀並經由資料傳輸單元送達遠端之資料儲存單元儲存、展現或分析資料，必要時並可發送現地警報、簡訊通知守視人員或保全戶。而電源供應單元則負責供應現地或遠端設備所需之穩定電流。

監測系統規劃應該包括以下各項：

1. 完整之環境資料蒐集與調查。
2. 可能災害機制分析。
3. 可能災害風險分析。
4. 根據不同災害機制，決定監測之物理量。
5. 根據山區道路邊坡不同崩塌機制與風險性，選擇適當感測儀器，並決定監測儀器安裝之深度、位置以及數量。

6. 監測系統正確之設置與維護。
7. 適時之量測與資料擷取。
8. 決定資料擷取、傳輸方式。
9. 決定監測所得數據之分析、管理與展示介面。
10. 因地、因時制宜之崩塌預警基準。
11. 根據長期監測結果，持續檢討監測規劃與預警策略。

監測資料應進行妥善之分析，以作為邊坡評估、現象預測及預警基準訂定之重要參考。監測資料分析，一般係將觀測數據以適當比例依時間域繪成曲線，並將影響該觀測值之因素曲線繪在一起，以利比較研判。曲線中可顯示觀測值之長期、短期或異常之突變，再依曲線之變化趨勢，與過去觀測資料、理論分析及自然現象之預期趨勢相比較，以作為警戒預警基準之訂定參考與修正之依據。其中主要係根據各項監測值所繪製過程曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性加以研判評估(USB, 2001)，其特性分述如下。

### 1. 穩定性

當監測量過程曲線變化之規律與趨勢成穩定狀態，則屬正常；如原因量不變而效應量之趨勢隨時間不斷向不利方向增長，則屬不穩定之異常狀態。

### 2. 相關性

平常監測值中原因量與效應量都會成一定之相關性，如其相關性較以往有所改變，則屬異常。

### 3. 合理性

監測量之變化趨勢符合自然界之物理現象則屬正常，否則屬異常。

#### 4. 一致性

在相同條件下(即原因量相同),效應量之變化型態應為一致或相似;同一位置使用不同儀器所量測之同一物理量亦應符合一致性,則屬正常,否則屬異常。

#### 5. 突變性

監測量之變化過程中,如有不符合預期或不按規律之突變,則屬異常。如為單一之突變,則可能屬人為之錯誤,如為重複或連續之突變,則可能屬儀器或系統之故障或結構(本質)已有異常現象。

#### 6. 對稱性

如監測儀器埋設於具對稱之位置,則其監測量之變化亦應具對稱性,否則應為異常。

掌握監測系統之特性,除可了解監測對象之特質,亦可作為物理現象模擬時之參考,並進一步根據現象模擬成果利用理論或經驗方法進行預警基準訂定。由於自然災害的不確定性,在大部分的災害監測中,大多透過統計模式協助訂定警界預警基準。然因預警之發佈攸關重大,後續須動員人力物力,因此對於監測儀器監測值(曲線)有偏離預期之趨勢時,須得專業判識是否為人為或機械功能異常等因素引起。

### 12.1 各類易致災路段之監測元件及系統規劃

#### 12.1.1 各類易致災路段之監測元件

監測儀器之規劃需考量易致災因子的物理特性,對於已知的工程監測儀器,目前市面上已有相當多的產品,皆具有相當的可靠度。需考量的是其精度及量測方式的耐候度,高精度的產品往往價格昂貴、耗電量大,對於野外長期監測並不利。因此,考量致災因子的重要程度,選擇合適的監測設備,是不可或缺的一環。一般而言,對於山區道路之監測,依其物理量區分監測元件主要可歸納為:

## 1. 應變或位移監測

邊坡滑動必然有移動之發生，移動之總量、速率以及分佈通常是所需要量測之物理量中最重要的。邊坡崩塌現象可分為地表與地層中之移動，地表之垂直、水平位移、裂縫之擴張、以及坡址之隆起都可作為監測之對象，雖然可以從邊坡表面之特性來判斷地層移動之嚴重性，但是最能夠顯示邊坡滑動即將發生之重要指標通常還是來自於土壤或岩層內部微量之移動。只靠坡面之觀察來決定邊坡之穩定是不夠的，而必須要與邊坡內部行為之監測相互配合。地層滑動的方向通常可以由裂縫之型態尤其是裂縫邊緣幾何形狀之匹配來推敲。管理單位可藉由應變或位移監測輔助觀察工程構造物之擋土牆破壞、路面皸裂等決定管制作為，或以應變或位移監測掌握工程結構物的安全係數變化，事先提出警告，達到預警的功能。相關之感測單元包括：

- (1)地滑計(Surface Extensometer, 地表伸縮儀): 地表水平變位之監測。
- (2)沉陷觀測點(Settlement Mark): 地表或構造物沉陷量之監測。
- (3)沉陷計(Extensometer): 地層垂直變位之監測。
- (4)裂縫計(Crack Gauge): 地表或構造物裂縫寬度變化之監測。
- (5)應變計(Strain Gauge): 構造物受力變形產生應變之監測。
- (6)傾斜管(Inclinometer): 地層(或構造物)滑動面之深度、位移量及位移速率等之監測。
- (7)傾度盤(Tiltmeter): 地表、結構物或擋土護坡構造物傾斜變位之監測。

## 2. 雨量、水位與水壓監測

降雨為邊坡崩塌重要之誘因，另一方面，在許多邊坡滑動之問題中滑動體內之孔隙水壓也是重要之參數。尤其是在有互層的情況

下過量之靜態孔隙水壓可能存在於某些岩層之中而造成坍塌。因此雨量、水位與水壓監測相當重要。相關之感測單元包括：

(1)水位觀測井 (Observation Well)

(2) 水壓計 (Piezometer)：有開口式水壓計 (Open Standpipe Piezometer)、壓氣式水壓計 (Pneumatic Piezometer)、電子式水壓計 (Electrical Piezometer)

(3)流量計

(4)雨量計

(5)土壤含水量計 (Soil Moisture Sensor)

對於降雨對地下水位的影響，在不同降雨程度下地下水位會有不同程度之上升，受表層土壤為非飽和及滲流的影響，在暴雨情況下地層內水壓隨深度之分佈常是非線性的 (Ng et al., 2001)。如果使用傳統在鑽孔內只量測一至兩個深度可能無法正確反應水壓分佈。此一現象也顯示做地層內分佈式水壓監測之重要性。

運用儀器量測含水量主要原理是利用視介電常數推得體積含水量。土壤是由水、空氣、土壤所組成，由於蒸餾水的視介電常數為 76 至 84，土壤大約為 3 至 8，因此脈衝波進入土壤之低介電常數的環境，只需要微小含水量的變化，總合效應之介電常數將會劇烈增大，此為 TDR (Time-Domain Reflectometry) 技術量測含水量之基本概念，再由迴歸經驗式，來建立土壤電學性質與工程物理性質之關係，即可求得所對應之體積含水量 (Dowding, 2001)。

目前國內對於崩塌災害的監測研究，已逐漸走向以土壤含水量作為主要監測項目，但囿於野外地層土壤的高度非均值，含水量的警戒預警難以訂定，需先率定其當地參數後，再搭配計量模式為之，因此建議應輔以其他設備來監測。

### 3. 應力監測

應力包括地層之現地應力與擋土構造物所受之應力，應力之監測常可供檢討構造物之設計條件。相關之感測單元包括：

(1)土壓計(Earth Pressure Cell)

(2)鋼筋計(Rebar Stressmeter)

(3)地錨荷重計(Load Cell)

一般而言，感測器可裝設在有擋土護坡之結構物上，或埋設於其周圍或其下的地層中，用以觀測該擋土護坡結構或地盤與其周圍環境的相互作用以及其變化。

### 4. 光纖光柵感測器

光纖感測技術具有許多傳統電子感應技術沒有的優點，包括(1)體積小—光纖直徑一般為  $250\ \mu\text{m}$  左右體積甚小；(2)耐久性高—光纖之主要成份是矽(silica)為非金屬，可以長期埋在地下而不易腐蝕或改變其性質；(3)光纖訊號可長（數十公里）距離傳輸而不受電磁波干擾；(4)可以在同一光纖上做多點分佈式的監測。

目前國內已研發成功光纖光柵 (Fiber Bragg Grating, FBG) 節理式偏斜儀 (FBG Segmented Deflectometer, FBG-SD)，其設計是與傳統傾斜管匹配，將 FBG-SD 插入固定於地層內之傾斜管，以 FBG-SD 節理間偏斜角度之改變來估算傾斜管之變形分佈。FBG-SD 已成功的應用於公路邊坡或地層開挖支撐變形之監測。(黃安斌等，2009)。

上述不同之感測器，將量測得不同物理量，包括應力、變形以及水壓等，而不同塊體移動型態、規模，其物理量之變化即有極大之不同，因此感測單元之選擇以及位置之布設，必需對於其物理現象有深入的瞭解。不正確之感測單元選擇將降低山區道路預警與安全管理功能。依據影響監測量之各項外界因素，以理論或數值模式分析所得之結果，將可進一步推估於不同條件下該災害現象各種監測量之預期

值，或以監測儀器長期之觀測值，利用迴歸分析方式，建立監測量與影響該監測量之外在因素間之關係式。其中相當重要之關鍵為慎選適當之分析工具，對於監測位置都有其特性，分析者必須經評估後採用適當分析工具。表 12-1 整理各類監測儀計之特點以供儀器選擇時參考。

**表 12-1 各類監測儀器之特點(修改自 USBR, 1987)**

種類	量測參數	優點	缺點
豎管式水壓計	孔隙水壓	簡單、可靠、使用歷史長久、不須精細的控制面板、便宜	偶而壓力反應時間慢、豎管必須近乎垂直，容易遭施工機械破壞
密閉液壓系統	孔隙水壓或總壓力	使用歷史長久、壓力反應時間很快、觀測管可水平裝設而延伸至中央監控中心，不易被施工機械破壞	須設置觀測站、有銹蝕的問題、須要定期排氣、有維護問題、使用期間故障率高、排氣飽和程序複雜
氣壓式系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程和壓力計的高程無關、壓力反應時間很快	防止濕氣進入壓力管、使用歷史短於密閉液壓系統、複雜測讀程序、施工過程壓力管容易被損壞、不易修復
振弦式系統	孔隙水壓或總壓力	容易測讀及維護、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀及資料擷取、頻率訊號傳輸可以很遠、可以測讀負值孔隙水壓、較不易遭受施工的損壞	對於溫度敏感、有無法穩定歸零的可能、對大氣壓力的變化敏感、容易因閃電而損壞
電阻式應變計系統	孔隙水壓或總壓力	觀測站高程與壓力計高程無關、壓力反應時間很快、潛在高靈敏度、適合自動測讀、可以測讀負值孔隙水壓	有無法穩定歸零的可能、可能對溫度、濕度、電線接續、電纜線長度及接頭的變化等因素敏感，因為這些因素會改變電路的電阻、一般不宜長時間使用
時域反射土壤含水量計	體積含水量	利用視介電常數推得體積含水量，只需要微小含水量的變化，土體總合效應之介電常數將會劇烈增大，即可求得所對應之體積含水量。	量測結果受到鹽度與土壤類型影響。
層別沉陷計	地中垂直位移	使用歷史久	可能有腐蝕的問題、裝設費用較貴

種類	量測參數	優點	缺點
振弦式沉陷計	地中垂直位移	容易測讀、沒有垂直豎管干擾施工的問題	每台觀測站高程須已知、使用歷史有限、精確度及靈敏度不宜量測小的位移量
移動式傾斜儀	地中側向位移	可靠而且精準、有相當的使用歷史	觀測人員須接受專業訓練
固定式傾斜儀	地中側向位移	可以裝設在難以接近的地點、可自動測讀、容易測讀	在鑽孔內僅可選擇數點測讀、購置費及裝設費用很昂貴
伸縮儀	二點間位移	非常精確而精準、高靈敏度、量測參考點不可得可採遠距電子測讀法	參考點設定應考慮量測裝置之衝程
傾斜計	地盤或岩盤旋轉量	重量輕、體積小、可為移動式或固定式	平行位移無法量測
沉陷釘	地表面垂直及水平位移	裝設費不貴、裝置簡單可靠、在任何時間皆可裝設	測讀須要大量人力，長期連續觀測費用昂貴、量測設備費用昂貴
結構物量測點	結構體垂直及水平位移	不貴、簡單、可靠	測讀須要大量人力，長期的連續觀測費用很昂貴
裂縫計	裂紋兩側相對位移	有各種不同類型可選擇，皆具簡單、便宜及可靠性質、可遠距測讀	

### 12.1.2 山區道路易致災路段之監測系統規劃

除了監測元件，本研究對於整體監測系統還包括了資料擷取方式、資料傳輸方式、資料儲存及展示及電力系統，以下將依各單元分項說明。

#### 1. 資料擷取單元

由於前端感測單元之信號傳遞可能是類比式或數位式，因此擷取單元就必須負責將各式不同的信號轉成中端接收介面之標準規格，以目前之主流思維，中端之資料接收儲存以數位式為主，理由是數位式資料在現今的資訊技術發達的情況下，可以進行非常多種用途的加值處理，提升資訊的附加價值。

因此，在產品成熟度的考量下，感測單元以 RS485 介面傳輸為佳，理由為 RS485 即為一數位式介面，能夠直接或間接連接電腦進

行資料的擷取。然許多感測單元可能無數位式輸出介面，必須經過類比數位的轉換才能進行更多的加值處理。

(1)感測單元輸出即為數位式介面(I)(單一監測儀器)

意指感測單元直接為 RS485 介面輸出，若為單一感測單元環境(該地點僅監測一種物理量，也就是只有一種儀器)，可以直接購置 RS485 介面卡與電腦連接。

(2)感測單元輸出即為數位式介面(II)(多種監測儀器)

若該地點監測超過兩種物理量，為資訊整合方便，可以使用集線器將不同來源之感測單元資訊匯集並統一輸入電腦之 TCP 埠，惟 RS485 並無法直接與集線器連接，必須透過一轉接器加以轉換，如圖 12.1 所示。而整體概念如圖 12.2 所示。



圖12.1 RS485介面轉TCP轉接器

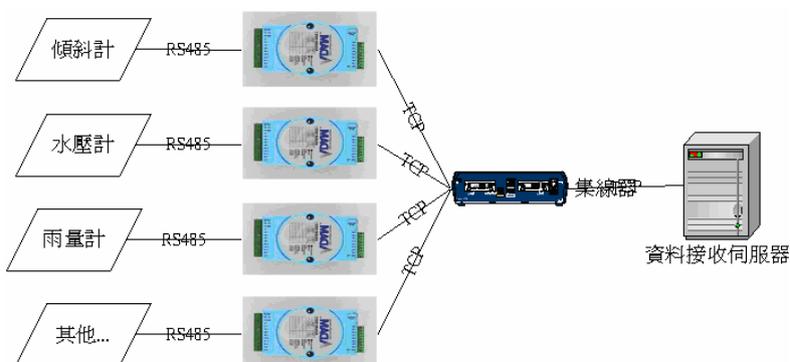


圖12.2 集線器匯集多種前端儀器之示意圖

### (3) 資料接收伺服器

一般規格個人電腦的設計大部分僅針對辦公室或室內環境，相對於置放戶外或環境嚴苛等場所則需要穩定性更高的企業級電腦，雖然其架構仍為傳統 x86 中央單元控制器，但對於細部元件、耐壓性及相容性皆有絕對的提昇，中端資料接收中心全數使用高安規之企業級伺服器來擔任資料傳輸及儲存之任務，以配合戶外各地嚴苛環境之要求。

## 2. 資料傳輸單元

自動化監測的目的即在於能夠自動將監測物理量以有線或無線的方式加以傳送，以提升資料的可用性及縮短資料傳輸的時間(相對於需人員至偏遠地區取得)，為提升資料傳輸之可靠性且考慮可行性，需完整規劃有效資訊設備與傳輸體並快速彙整來自各方面數據資料，並以達到災害預警及時應變為主要目的。此外，電源穩定、傳輸速度穩定、資料確保、傳輸成本、易於維護、監測資料是否能穩定傳輸應為山區道路監測系統的主要考量。茲以表 12-2 說明各種通訊方式之特性。

### (1) ADSL

ADSL 即為 Asymmetric Digital Subscriber Line，它是目前最受注目的 xDSL 技術之一，因為它可以利用現有電話線路來傳送高傳輸率的訊息，而不需要再增加現有基礎架構設備的技術，由於 ADSL「非對稱的數位用戶線路」是利用現有的電話線路，如同目前一般撥接用戶一樣，再加上 ADSL 專用數據機(ATU-R)，將數位資料的傳輸速度提升到下傳速度為 1.5Mbps 到 9Mbps，上傳速度達 64Kbps 到 640Kbps 的境界，其間的差異牽涉到所採用的 Modem、傳輸方式與和傳輸距離(最主要因素)而定，此傳輸方式為目前除撥接網路外，是一項最經濟實用的通訊方式，但礙於利用高頻傳輸資料，用戶端與電信機房之距離亦有所限制。

## (2)微波傳輸及無線區域網路

無線電微波的頻率範圍在 3GHz~30GHz 間，微波傳輸屬於一種有向性方式，即傳送與接收端間不能存有障礙物體阻擋，才能收到良好的聲音與影像。目前微波可使用頻帶為 2.4GHz 及 5.8GHz 展頻技術，以目前行動電話基地台普遍之情形使用 2.4GHz 恐有干擾之虞，由於傳輸特性需要在視距範圍內，若在山區內欲傳至市區或各站之間有障礙物阻擋，必須架設多座中繼站方可確保傳輸效果。

無線區域網路所使用的頻帶為 2.4GHz 及 5.8GHz，亦屬微波傳輸的範疇，無線區域網路最早出現的標準是 IEEE 組織訂定的 IEEE 802.11 標準。IEEE 802.11 無線區域網路的存取設計方式可以分為三類，窄頻微波(Narrow Band Microwave)、展頻(Spread Spectrum)及紅外線(Infrared)。目前無線區域網路的產品中大部分都使用展頻技術中的跳頻展頻(FHSS)及直序展頻(DSSS)。跳頻展頻和直序展頻是兩種不同的傳輸方式。跳頻展頻的優點在於成本較低，而直序展頻傳輸距離較遠、單位時間傳輸量較大但是成本也較高。

## (3)光纖網路

光纖通訊是指一種利用光與傳遞資訊的一種方式，光經過調變後便能攜帶資訊，將需傳送的資料由發送端輸入到發送機中，將信息調變為信號載體的載波上，然後將已調製的載波通過傳輸媒質傳送到遠處的接收端，由接收機解調出原來的信息。光纖通信具有傳輸容量大，保密性好等許多優點，因此光纖為目前主要有線通信方式之一，在數位時代裡扮演非常重要的角色。

目前光纖網路系統為通信網路中重要的基礎建設。光纖具備高頻寬、不受干擾及長距離信號傳遞的特性。原屬高價位的光纖

通信現在建設成本逐漸降低，所以在新的通信網路建設上光纖技術大量的被引用。

#### (4)WIMAX(4G)

WIMAX 是在 INTEL 等大型跨國公司的主導下研發的技術研發成果。它是一項基於 IEEE 802.16 標準的寬帶無線接入城域網技術，能提供全城範圍內面向互聯網或其他業務的高速連接。目前 WIMAX 技術主要是基於 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e 兩大標準，其中 IEEE802.16d 是固定無線接入的空中介面標準，即通常所說的「固定 WIMAX」，能夠實現漫遊方式網路；IEEE802.16e 是移動無線接入的空中介面標準，即通常所說的「移動 WIMAX」。

WIMAX 使用的工作頻段 2G~66GHz 之間，無線信號傳輸距離最遠可達 50 公里，網速可以達到每秒 75MB，是 3G 基站傳輸速度的 30 倍，網路覆蓋面積是 3G 基站的 10 倍。WIMAX 用戶終端平臺成本低、功耗低、擴展方便、架設靈活、性能優良。由於採用 OFDM、MIMO 等先進技術，WIMAX 改善了非視距性能，可以提供更強的遠距離穿透及繞射能力，確保了端到端網路架構對流量的回程、匯聚、無線接入控制及核心網路和應用，具備了端到端的 QoS 架構和標準的安全機制，使其能夠滿足目前最終用戶對業務應用的傳輸頻寬和高移動性需求。MO 由於採用 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 調製技術，根據傳輸距離的遠近以及穩定性等因素，智慧地決定使用哪種調製技術，用於實時監控等特殊應用現場，還可應用於緊急通信、防災指揮等極端和複雜條件。因為其寬頻的特性，被稱為第四代無線通訊(4G)。傳輸距離長，大幅改善前身 WLAN 的缺點，將此技術與需要授權或免授權的微波設備相結合之後，基地台數目將大為減少。且 WIMAX 不必拉線，被視為取代固網的最後一哩路，或稱 Wireless ADSL。

#### (5)衛星傳輸

專用衛星通訊網路係利用衛星地面站，經由衛星網路提供公

司所租用之衛星鏈路以單路載波之方式連接衛星作數據電報傳真語音或視訊會議通信，提供衛星網路做點對點或點對多點之通信。VSAT 為小型地面站之簡稱（Very Small Aperture Terminal），以中心站為核心透過衛星轉頻器與遠端站作數據通信，衛星波束具有廣大之涵蓋面，在涵蓋範圍下之各地點均可相互通訊，不受地理環境之限制，除了點對點通訊，其在單點對多點的廣播應用、多點對單點的資料蒐集傳送均頗具效益優勢。而高頻寬之衛星信號更能攜帶大量數據資料，為其他通訊媒介所不能及。近年來 VSAT 衛星小型地面站系統在降低成本、擴大服務範圍、與各種使用者設備或地面網站連接以及開發更為方便、靈活的網路系統等方面已有重大發展，因此能提供天線直徑小、設備價格低、系統功能強、架設靈活之設備。

#### (6)GSM/GPRS

號稱 2.5 代的 GPRS 系統為整合封包無線電服務（General Packet Radio Service）的縮寫，是跨入第三代行動通訊的重要技術標準。它彌補了 GSM 在數據傳輸能力上的缺點，以「封包交換」取代「電路交換」，大幅提昇傳輸速率，達到更有效的頻譜資源分配。因此，「快速傳輸」、「瞬間上線」、「持續連網」、「按量計價」可謂 GPRS 的四大特性。透過 GPRS 技術，現行 GSM 的每秒傳輸位元數可從 9.6K 提昇到 120K 左右，但目前的技術實際可達 40K，大幅的改善 GSM 手機上網速度。

#### (7)3.5G

(High Speed Downlink Packet Access 的縮寫 HSDPA)是一種基於 3G 的行動電話技術之行動通訊協議，亦稱為 3.5G。採用 3GPP Rel5 技術標準，該協議在 WCDMA 下行鏈路中提供封包數據業務，在一個 5MHz 載波上的傳輸速率可達 8-10Mbit/s（如採用 MIMO 技術，則可達 20Mbit/s），涵蓋範圍約在 0.5~5Km 間。在具體實現中，採用了自適應調變和編碼(AMC)、多輸入多輸出

(MIMO)、混合自動重傳請求(HARQ)、快速調度、快速小區選擇等技術。

表 12-2 各種通訊方式比較表

通訊方式	上行速度 通信容量	無線電波 頻段	穩定度	主要業者	基本費率	優缺點/限制
ADSL	最大 640K	實體線路	佳	中華 電信	一般線路 8M/640K 月租費每站約 428 元 雙相對稱專線 512K 含線路費用，月租費 每站約 2,000 元(外 加接線費 1,500 元； 設定費 200 元)	專線不需要與他人共 享頻寬，受限於業者 提供服務之機房距離 距機房遠時，需輔以 WiFi 基站無線傳輸至 機房。
微波	最大 311M	2.4G\5.8G	可	自行 架設	微波站及中繼站設 備架設費用每站 360,000 元	訊號穩定，畫質清 晰，不受天候不良的 影響，訊號易受地 形、建物阻擋而無法 順利傳送。亦受定向 性與通視需求而有所 限制。
光纖	最大 10M	實體線路	佳	中華 電信	光 世 代 速 率 100M/10M 線路月租 費每站 700 元(外加 接線費 1,500 元；設 定費 200 元)	高頻寬,通訊量大，衰 減小、傳輸距離遠、 監控點偏遠建置費用 高。使用在山區很易 於因為光纖斷裂而失 效。
WiMAX	最大 70M	2-6 GHz	可	全球 一動	目前業者仍在建置 中，收費機制未建 立，未來需與業者以 專案配合。	傳輸距離長（最長可 達 50 公里，實測 2-5 公里）網路涵蓋範圍 廣高頻譜效率、高傳 輸速率。唯目前廠商 已退出市場，另可考 慮固接 WiMAX 系 統，是具有發展性的 監測傳輸技術。

衛星 (VEST)	最大 128 kbps	4GHz\6G Hz (C 頻)	佳	中華   電信	衛星 VSAT 設備架 設費用每站 600,000 元 VSAT(512Kbps/512 Kbps)月租費 35,000 元	適用於長距離或不便 佈線的場合。通信範 圍大、信號易有延 遲，傳輸延遲時間約 270ms，易受干擾。 10GHZ 以上容易受天 候影響。
GPRS	最大 115 kbps	1800MHz	可	中華、 臺灣、 遠傳	月租費 1,100 元 (含 國內 75 萬封包之資 料傳輸量，上限費率 4,000 元)	高網路延遲、封包易 遺失、連線易中斷。 封包交換技術，頻道 並非獨佔，而是讓大 家共用，當多個感測 器同時使用時效能就 會下滑。
3.5G	最大 144 kbps	5MHz	可	中華、 臺灣、 遠傳	無限上網月租費約 850 元	部署容易、建置快速 涵蓋範圍仍有限，圖 像顯示效果不佳。

由表 12-2 可知，有線通訊方式雖然有成本低，通訊品質不受天候干擾，且頻寬較大等優點，但對於在山區道路預警監測之適用性而言，則需多做考量，如中華電信的基礎設施配合度，以及邊坡運動是否容易使有線設施損毀，導致通訊中斷等。而無線通訊方式雖可以全天候的傳輸，設備對於惡劣氣候耐候性亦較佳，但目前其昂貴的通訊費用則是在成本考量下較難克服之困難。因此，對於山區道路預警監測之最佳化配置，建議應建置主、輔助兩種不同的傳訊方式，一方面可作為備援，另一方面對於監測品質將可有效提升。

NEC 於 2010 年推出最新精簡型無線傳輸系統 (ePASOLINK)，具有高達 2.5Gbps 的超高速連結傳輸量。該系統與光纖網路相比，在人口稠密的區域顯得更有經濟效益，此為設立用來進行行動通訊的網路。目前無線通訊技術發展已越趨成熟，但是仍有速度越快，越易受干擾的瓶頸。過去所常用的通訊方式，目前多已漸淘汰。因此，思考在更先進的通訊傳輸方式應用在自然災害監測應是未來的重點方向，例如目前正發展的固接式 WiMAX，其不僅傳輸量大，相對亦不易受干擾。為其穩定性及耐候性仍須經實際驗證得知。

### 3. 資料儲存、展現單元

山區道路邊坡監測系統攸關用路人使用道路時安全性，同時亦牽涉整體防救災決策擬定，涵蓋層面甚廣。因此，為了能夠使整體系統穩定性提昇，系統規劃上分為四個部份，分別為資料接收層、整合層、展示層及資料儲存層，如圖 12.3 所示。

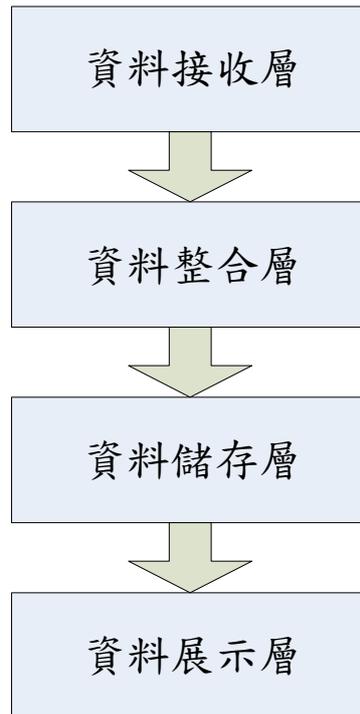


圖12.3 系統規劃層級圖

#### (1) 資料接收層

資料接收層主要負責接收各種監測儀器訊號，譬如雨量計、地表傾斜儀、管內傾斜儀、地表伸縮計及地下水位計等儀器設備。規劃建置上，資料接收層將由具備高穩度性的工業級電腦群所構成之資料接收中心負責接收所有監測儀器訊號，並透過即時資料傳輸模組將監測資料即時傳送回監控中心。資料接收層建置規劃上將包括資料擷取模組及資料傳輸兩個模組：

##### a. 資料擷取模組

資料擷取模組負責接收各種邊坡監測儀器所傳回的訊

號，並經過資料擷取模組將儀器訊號轉換為電腦資料格式。

#### b. 資料傳輸模組

資料傳輸模組負責將資料擷取模組所處理完成資料，透過傳輸設備傳送回監控中心。

### (2) 資料整合層

資料整合層主要負責將監測站所接收的各種資料處理成有用的資訊，並配合監測危險評估模式，評估道路邊坡危險等級提供資料展示層使用。因此規劃上在資料整合層包含資料接收及資料處理兩個模組，資料接收模組負責接收來自資料接收中心所傳回之即時資料，而資料處理模組則負責將所接收資料經由處理後變成有用的資訊並儲存至資料庫。

### (3) 資料儲存層

資料儲存層主要將監測站所接收到的各種監測儀器資料經系統歸類儲存以累積各監測站之歷史資料，提供未來進行現地研究之重要資料來源。資料儲存層規劃上將使用大型資料庫軟體(如 MS SQL Server 或 Oracle)儲存大量監測資料，一方面可藉由資料庫軟體高效率存取能力提供資料使用性，另一方面可藉由資料庫軟體完善的資料管理能力提高資料安全性。

### (4) 資料展示層

資料展示層主要負責將資料整合層所加值處理後得到資訊，顯示於監控中心監控畫面，監控中心人員可經由資料展示層掌握即時道路邊坡狀態，並將監控結果立即通報相關單位，以避免人員傷害。

#### a. 網頁展示模式

網路地理資訊系統架構(Web Based GIS)系統是目前監測及災害防救系統的趨勢，其最大的優勢是客端電腦不需要安裝

額外 GIS 軟體，直接利用系統內建瀏覽器即可連結到系統直接讀取各項空間資料，因此，這也意謂著監測結果亦可提供更多防災單位做為防災應變重要的空間資訊來源。

#### b. 無線通報模式

資料整合層經過監測危險評估模式分析後，如經評估模式分析後達警戒狀態時，可由系統以行動電話簡訊或其他無線通報立即通知相關人員，相關人員立即以人員方式進行狀態確認，如確認達警戒狀態時即可立即進行緊急通報。

### 4. 電源供應單元

#### (1) 電力部分

以 UPS 搭配加大蓄電池，一般時期 UPS 直接取用市電，既可穩壓另一方面充電蓄電池，預算許可的情形下資料接收中心皆應建置一台 5KW 發電機以作為備援電力來源。

#### (2) 用電取得

資料接收中心電力依程序向當地台電申請，並配置獨立電錶，所有設備、儀器之電源供應由最近之電源端頭拉標準 cable 連接，並配合 UPS、發電機及蓄電池使用。一般時期由市電供應電力，災害發生時若對外電力損毀則由備援電力供應。

#### (3) 遠端控制電力

有鑑於部分儀器必須重新啟動或遠端控制其電力開啟時間，每個資料接收中心應配置一台電源管理器，其可設定排程驅動必要的設備可定時開、關機或重新啟動，而控制介面除由 WEB 進入外亦可使用衛星電話以傳統電話音控制。

## 12.2 臺 18 線與臺 21 線易致災路段監測系統規劃

為確實避免豪大雨導致道路邊坡破壞，進而影響行車用路安全，目前規劃之監測設備，希望配合易致災性分析結果，以雨量為主要監測預警值，並搭配長期的土壤含水及土壓或地滑計監測數據，未來除可作為預警功能之外，亦可了解當地降雨與土壤含水關係，以做為未來進一步分析研判。監測系統於規劃階段除針對雨量進行紀錄，再依據現地歷史道路災害頻繁處進行監測系統之規劃與執行外，需合宜地應用監測與預警系統，以確實掌握現況、降低災害。此外，對於山區道路災害類型區分為土石坍方、路基下陷或缺口以及路基流失三大類，其中土石坍方為上邊坡災害，出現頻率最高，臺 18 線之道路災害中有 86.72% 皆屬此種破壞方式，臺 21 線更高達 91.06%，影響用路安全甚鉅。路基下陷或缺口與路基流失屬於下邊坡災害，發生頻率相較於土石坍方的發生頻率來的低，因此本研究規劃之監測重點為土石坍方之災害模式，密切注意山區道路上邊坡的穩定狀況。

本研究經易致災性分析結果並比對歷史災害資料，如圖 12.4~12.7 所示，其中臺 18 線為 15K~30K、30K~45K、45K~60K、60K~75K 以及 75K~90K 路段災害較多，於臺 21 線為 0K~20K、80K~100K、100K~120K 以及 120K~140K 亦然。又以臺 18 線之 20K、42.5K、55K、63.5K 以及 80K 處，臺 21 線之 6K、12K、95K、114K 以及 127K 處為兩線歷史災害高危險段中災害發生數量最多處。然囿於監測設備建置經費所需經費不貲，本研究建議先期可挑選四處作為監測點，後續再逐年建置。因此，依據前述易致災性分析成果，本研究規劃以臺 18 線 20K 與 63.5K 處，臺 21 線 12K 與 114K 處做為重點監測處，實施監測系統規劃。如圖 12.8~12.11 所示。監測站具備三種物理量之監測系統，其中包括雨量計、土壤含水量計(視有無擋土工程而定)及土壓計。將可於颱風或豪雨來臨時，利用即時監測系統傳輸相關數據，透過長期監測資料，分析雨量與含水量特性，進而作為修正監測管理值之參考。各監測量應注意事項如下：

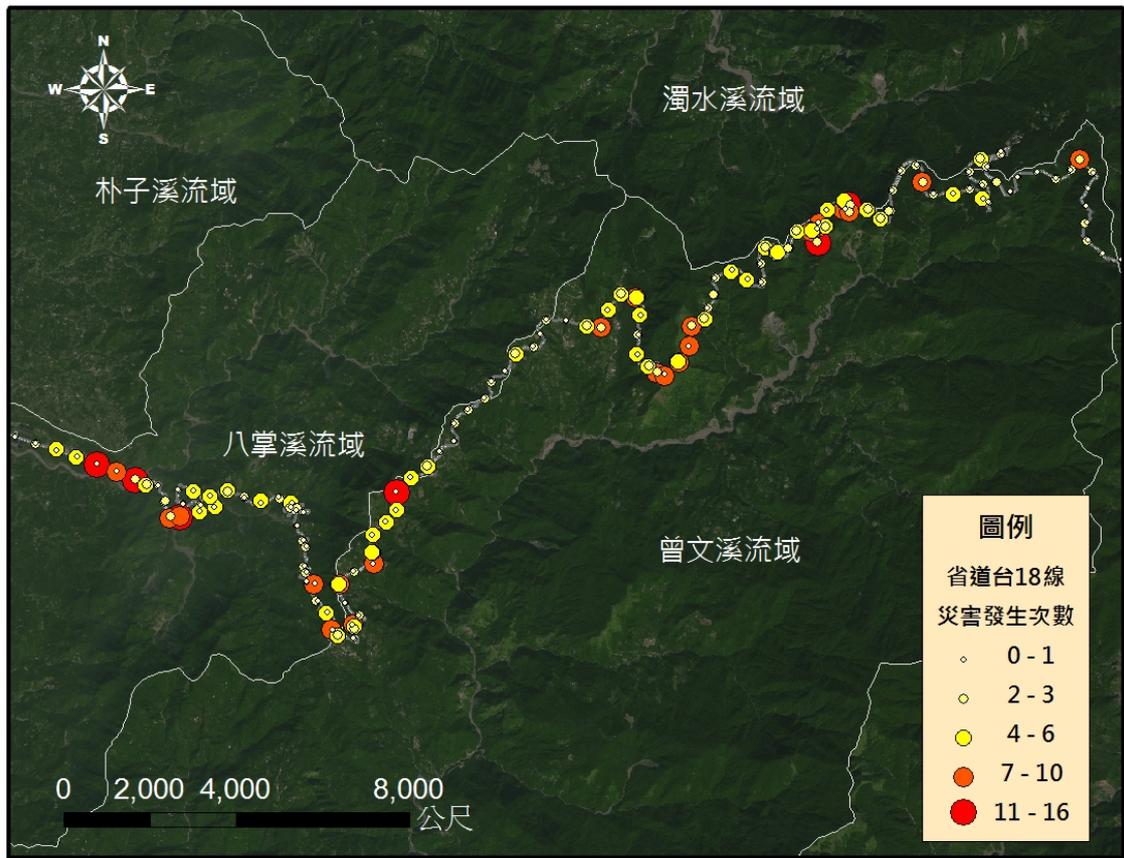


圖12.4 臺18線山區道路歷史災害數量分布圖



圖12.5 臺21線山區道路歷史災害數量分布圖(圖一)



圖12.6 臺21線山區道路歷史災害數量分布圖(圖二)

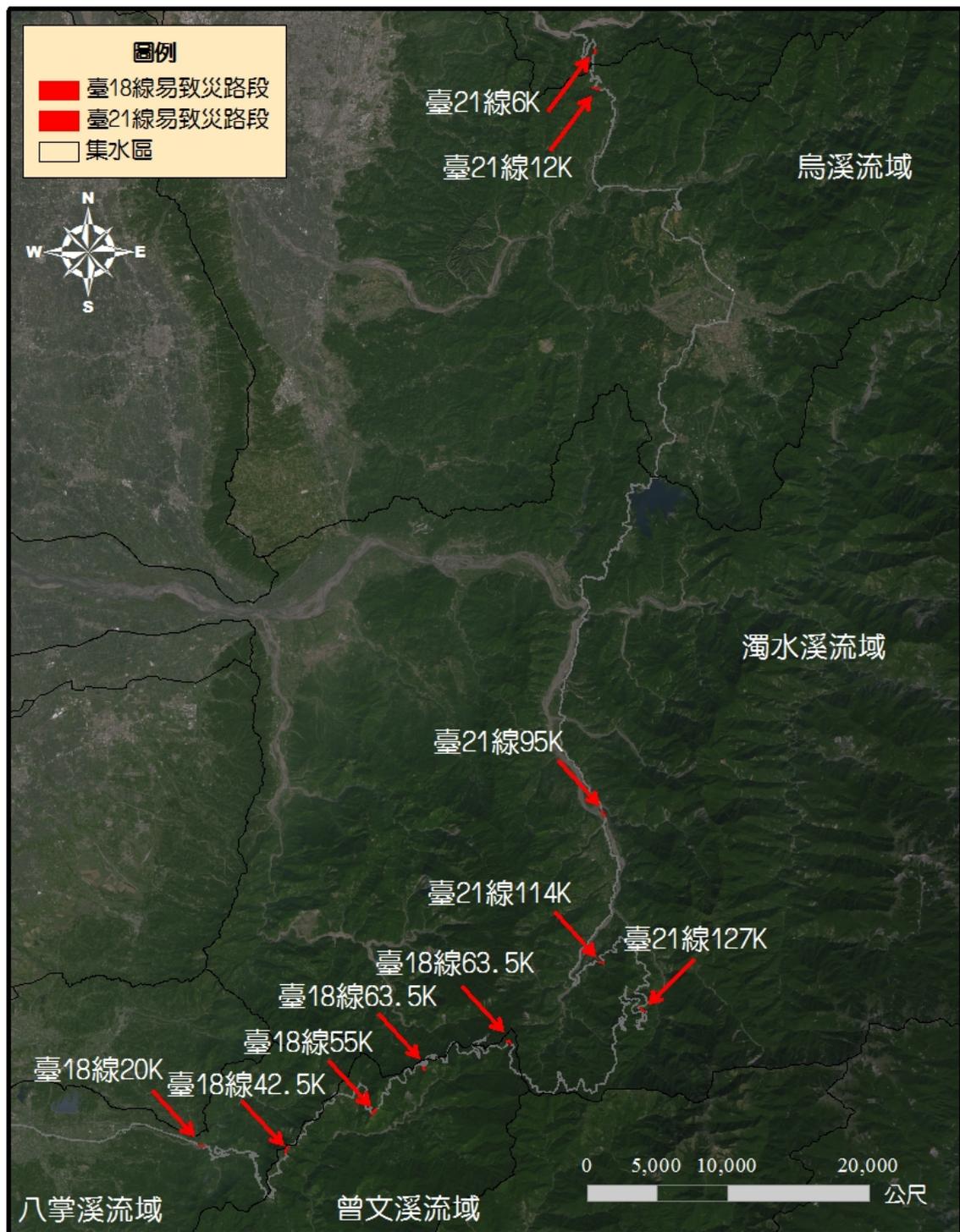


圖12.7 臺18線與臺21線山區道路高易致災路段圖



圖12.8 臺18線20K處監測儀器配置圖

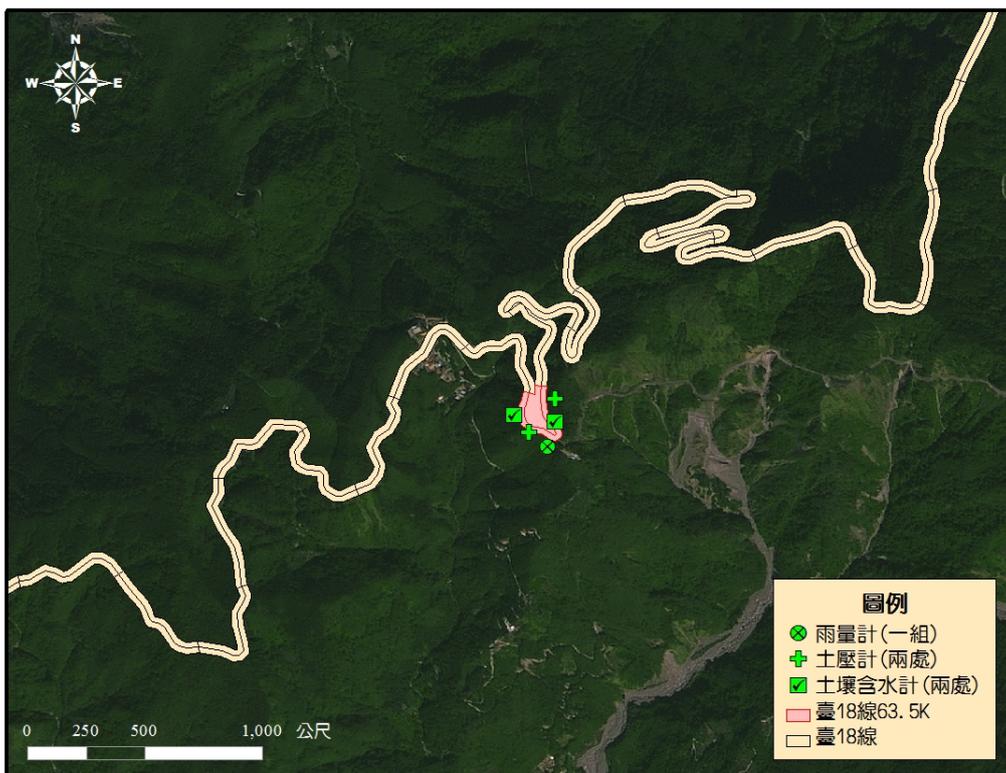


圖12.9 臺18線63.5K處監測儀器配置圖

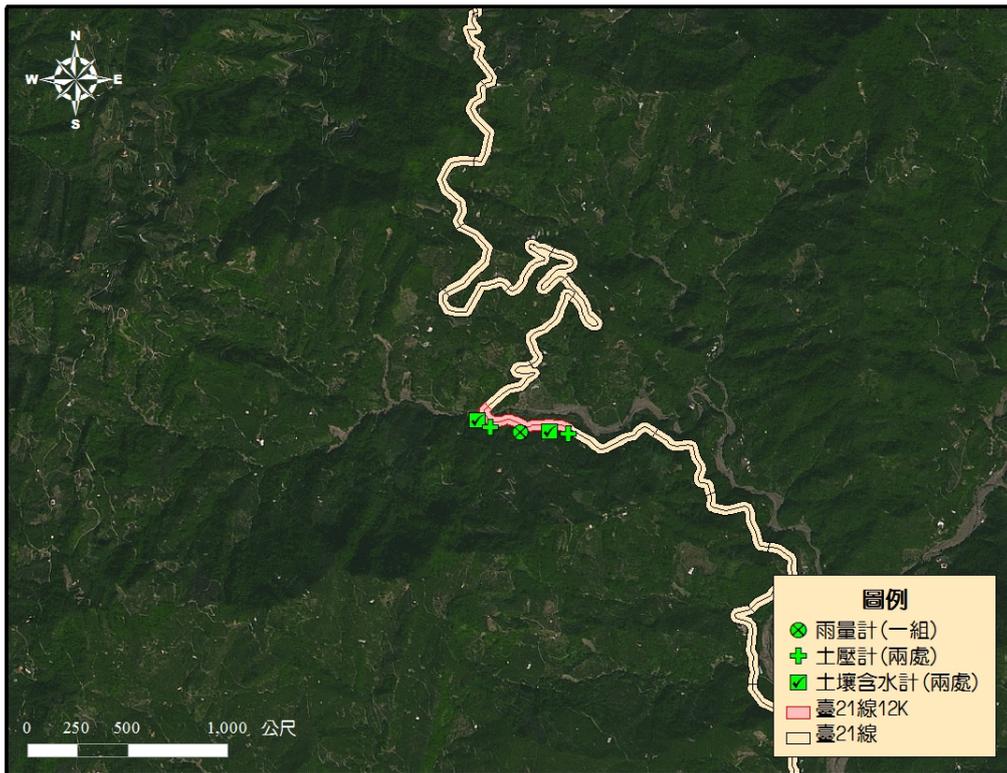


圖12.10 臺21線12K處監測儀器配置圖



圖12.11 臺21線114K處監測儀器配置圖

## 1. 雨量計

在本研究的危害度與易致災性分析中，降雨量為主要之山區道路災害驅動因子，為了收集現地雨量資料做為山區道路致災機率之研究，因此雨量計的設置地點能否反應出致災當時之降雨量為監測之重點，每處監測點規劃一座雨量計。本研究雨量計設置地點有下列考量：

- (1)鄰近崩塌地。
- (2)設置地點開闊，附近無高大喬木生長。
- (3)雨量計設置於圍牆或紐澤西護欄時，雨量計開口應高出圍牆或紐澤西護欄。
- (4)設置地點宜避開持續崩塌地或易遭崩落物淹埋處。
- (5)附近有適當掩避地點，研究設備便於藏匿，避免遭竊與人為破壞。

一般雨量計設置於氣象觀測坪上，設置環境為了能在不受干擾的情況下確實反應實際之現場降雨情況，其設置條件如下：

- (1)地勢平坦寬闊，排水良好，無積水之患，並避免人煙密集的地方。
- (2)地面鋪種淺草並需經常修剪，保持適當長度，不可使用水泥地、石子地或裸地。
- (3)不可設於靠近陡坡、山脊、懸崖、山谷及凹地或不便瞭望處。
- (4)足以影響氣象之巨大建築物、溪流、湖泊及密林均應遠離。
- (5)四周如有障礙物，觀測坪與障礙物指距離應至少為障礙物高度之四倍以上。
- (6)觀測坪之面積視安置儀器多少而定，普通長 10 公尺，寬 8 公尺即可夠用。
- (7)觀測坪四周為以稀疏之矮木柵或竹籬，如用鐵絲網更加，以免開

人或牲畜闖入毀損儀器。

(8)觀測坪如為方形，以正南北向為佳，裨益於辨認方向。

然而雨量計的設置地點為山區，建議臺 18 線與臺 21 線雨量計設置場所條件如下：

- (1)避免強風吹襲之地帶。
- (2)避免上升氣流之地帶。
- (3)半徑 50m 內為開曠地。
- (4)考慮通信、維護之方便。
- (5)考慮地形、高程因素，需具代表性。
- (6)避免設置於屋頂、山脊。

由上述之設置條件與本研究山區道路旁所設置雨量站比較，發現本研究設置基本條件與一般雨量站設置條件有若干差距，所量得之降雨量將受到山坡地地形、障礙物、風向等影響，且雨量計設置地點可能無法取得土地使用權，可能只能利用山區道路旁有限空地設置雨量計，需經現地評估各項設備及系統通訊、用電之可行性後再做調整。

## 2. 土壤含水量計

降雨是引發山區道路崩塌災害的因子，水激發土石坍方的力學機制是經由入滲，降低土壤內固體顆粒的摩擦力與凝聚力，並增加土壤內的孔隙壓力，減少土壤內的有效應力。當水持續入滲，孔隙壓力逐漸增加，有效應力趨近於零時，使得上邊坡的土石滑落。到底需要多少水才會使土壤液化，這與土壤成分、結構、臨前含水量及入滲強度等條件有關。由於山區道路災害都發生在山區，要量測土石坍方發生前道路邊坡土體的孔隙水壓及地下伏流水狀況困難度很高，降雨資料的取得相對較為容易，因此在過去的研究中，大部份都藉由土石坍方之前的降雨量(前期降雨)來說明土體的含水狀況

(即孔隙水壓)，間接探討土壤含水量與土石坍方之關係。

由於本研究易致災道路之影響因子以地層因子為重要考量，未來配合長期現地監測資料，律定土壤含水參數來了解現地土壤條件，輔以土壓計觀測，將可作為後續應變作為的啟動依據。因此，目前規劃每個監測點共設置兩處土壤含水監測，每處依土層深淺設置兩座土壤含水量計。共計四支。

需特別注意的是，土壤含水量計感測器受附近電場影響分佈，當電磁波進入電介質中時，所求出視介電常數，並非整體土壤之介電常數，而是具有一定範圍內部分區域土塊權重較高、較具代表性。同時要注意土壤含水量計的設置範圍內不要有金屬物體在附近，避免對測量結果產生干擾。溫度將對電介質材料之介電常數值造成影響。溫度上升時，水的介電常數會下降。因此，如進行土壤長時間或季節性含水量變化之監控，也必須將溫度納入探討範圍，需注意量測到的是季節性溫度變化還是含水量的變化。

### 3. 土壓計或地滑計

土壓計又稱為總壓力計，設計用來量測堆填體內部總壓力分佈，或土體與混凝土或其他剛性結構物接觸壓力大小之儀器。一般可將數個總壓力計於水平方向排成一列，以測定堆填體內部拱效應之大小，或將數個總壓力計不同角度埋設在同一處，以測定該處之應力狀態。土壓計之安裝目的在於量測大壩填方在施工時及蓄水後之應力狀況，作為評估壩體安全之參考。

土壓計由背板、感應板、信號傳輸電纜、振弦及激振電磁線圈等組成，是除了可量測土壓力變化外，部分設計可同步量測埋設點的溫度，可長期持續放置於土壤中進行監測工作。可用以監測土石壩、土堤、道路邊坡、道路路基等結構物內部之土壤壓力變化。

當待測土壤內部應力發生變化的時候，土壓計感應板同步感受壓力變化，感應板將會產生變形，變形傳遞給振弦轉變為振弦應力

變化，導致振弦的振動頻率發生變化。電磁線圈激發振弦並量測振弦之振動頻率，頻率訊號經電纜傳輸至量測系統，記錄土壤內部應力變化。

地滑計主要由一鋼製可轉動之圓盤及電壓測讀主體所構成，圓盤邊緣設有溝槽，上跨鋼鋼線，鋼鋼線一方連接一重錘設於邊坡上方之假設不動點，另一方則固定於斜坡上之滑動區內。當邊坡滑動時鋼鋼線隨著土體往下邊坡拉扯，圓盤亦跟著轉動並改變測讀系統之輸出電壓。

除此之外，各監測站尚需包含控制系統、傳輸系統、儲存系統、電源系統及建置展示系統。由於監測伺服器必須在服務期間內 24 小時不間斷運作，需要配合穩壓器以及不斷電模組保護監測資料安全。各站監測設備詳如表 12-3。此外，規劃之監測系統之取樣頻率，前端(現地)皆為每分鐘取樣一次，後端則每 5 分鐘儲存一筆資料(資料庫)。而對於監測傳輸系統之選取，則取決於監測之目的及所採取的監測元件、數據量及傳輸方式。整體而言，目前監測站所規劃之雨量計、土壤含水量計及土壓計所需流量並不大，通訊介面應無須採用昂貴的衛星或微波。在考量現地環境可及性、穩定性及經濟性下，建議以 ADSL 或光纖為最佳通訊模式，若經現地實測無通訊中斷之虞，亦可考量以 3.5G 無線網路傳輸。

表 12-3 監測站儀器數量一覽表

項次	監測系統儀器設備	數量	備註
1	雨量計	1	
2	土壤含水量計	4	
3	土壓計	2	

此外，監測系統於安裝後須以例行巡檢的方式維護監測系統儀器與設備之功能，檢核感測器量測物理量之正確性。儀器維修及保養時程可分為定期保養及不定期保養，其主要保養項目如下：

### 1. 功能測試

工程師赴現場，將自動監測系統改為手動操作方式，操作設定的資料蒐集系統，紀錄並列表，查看每一個頻道的資料是否正常，軟體運作是否正常，輸出波形、電壓是否正常，並逐一比對安裝完成時的原始資料。

## **2. 校正測試**

部分可做校正之儀器，可輸入必須的測試訊號，將輸入與輸出的訊號做一次比對，若兩者的差異不大，則可視為該儀器式功能正常的。反之，則需對該組儀器做一次檢查，以查出是為何原因，造成訊號的不正常，並藉此將儀器做校正或修理或更換，以保持整個監測系統的正常運作。

## **3. 傳輸測試**

與遠端的傳輸單位連線（即資料蒐集單位或是處理單位）測試數據機連線是否正常，並記錄一筆現地的資料，並將傳輸結果存檔。

## **4. 電源供應測試、檢查**

以三用電表檢測供應電源是否正常，必須檢查太陽能電池與太陽能板控制器是否正常，並測試不斷電系統之免保養電瓶充電及輸出是否正常，若有老化則應提早更換。

# 第十三章 臺18線與臺21線道路各類型易致災路段之應變計畫

公路總局今年已將預判、部署、預警、應變等四階段為山區道路防災預警應變機制之重點，並修訂以往之管理觀念，為求服務導向，不再被動式的等候通報，改採主動告知預警訊息並提前應變。為將各道路災害防救單位由單兵作戰擴展至聯防，提升為全方位掌控防救災資訊動態及與橫向聯防單位之無縫通報聯繫，整合所有區域內「山、河、橋、路」之主管機關（公路總局、氣象局、水利署、水保局）防救災資訊及內政資訊（警消、戶政），山區道路防救災預警機制流程如圖 13.1 所示。

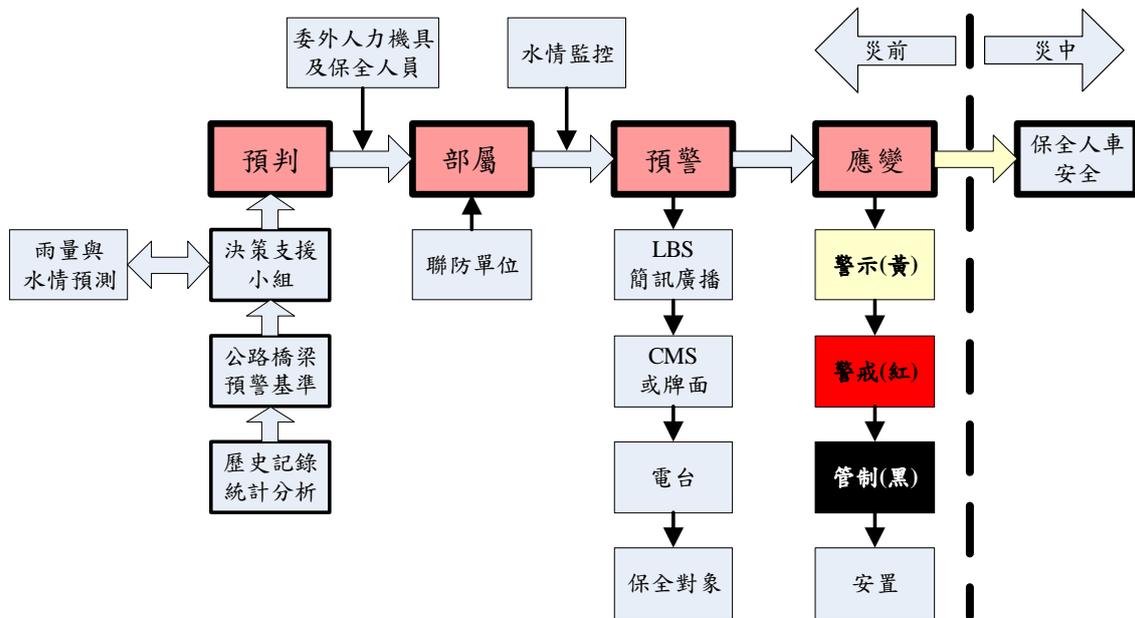


圖 13.1 公路預警機制 4 階段

## 13.1 國內山區道路災害應變機制與計畫

### 13.1.1 國內山區道路災害應變機制

公路總局於民國 99 年 1 月 22 日完成修正「交通部公路總局封橋封路標準作業程序 (SOP)」，但是近年來氣候極端異常，使得原有作業

程序需進行更週延的考量。除特別巡查外，針對封路標準作業程序，已邀集各養護工程處開會研商，於民國 100 年 4 月 30 日補充修訂完成，正式將危害度分析所得之「降雨觀測指標」、易致災性之「風險管理」、監測系統規劃之「重點監控路段」、等觀念納入標準作業程序內，並已於 4 月 14 日完成該 SOP 修訂工作。

該 SOP 中重點監控路段預警、警戒、行動降雨觀測指標之標準，除時雨量外，業已將最前端之預警值納入 10 分鐘累積雨量為參考，避免無法預測之短時間強降雨所帶來的衝擊，期以較為精準謹慎方式，進一步保護民眾的人身安全。

公路防災預警應變機制在觀念上，以「流域管理」之概念，利用空間縱深之特性取得橋梁預警應變之前置時間。暨以「風險管理」之概念，利用統計公路歷史災情之風險值為基本架構，律定重點監控路段，並以其歷史降雨事件致災前之降雨特徵值為預警觀測指標，啟動保全機制，降低人員於該路段致災之機率。同時於標準作業程序方面，以預判、部署、預警、應變等 4 階段實施操作，並利用多重降雨觀測指標啟動預警應變 3 級制。以下針對 3 級降雨指標之定義、交通管制方式以及用路人資訊加以說明。

### 1. 預警等級(黃色警示)

- (1) 定義：氣象局發布劇烈天氣特報時預測降雨量達到降雨觀測指標行動值或實測降雨量累積達降雨觀測指標預警值時，可介定為此等級。
- (2) 交通管制方式：路段維持通行，並通報地方政府、當地派出所及管制站人員對現場進行警戒。
- (1) 用路人資訊：為因應可能因降雨規模而提升道路應變等級，用路人於收聽警廣時特別注意該路段管制應變訊息。

## 2. 警戒等級(紅色警戒)

- (1)定義：視各路段不同情形，當實測累積降雨量達降雨觀測指標警戒值以上，可劃分為此類等級。
- (2)交通管制方式：路段維持通行，惟可能出現零星落石及小規模土石坍流，並採隨坍隨清，管制點人員勸導遊客避免進入該區域。
- (3)用路人資訊：勸導近端用路人提早撤離，遠端用路人避免行經該路段。

## 3. 行動等級(管制封閉，黑色燈號)

- (1)定義：視各路段不同情形，當實測降雨量累積達降雨觀測指標行動值以上，可劃分為此類等級。
- (2)交通管制方式：路段封閉。
- (3)用路人資訊：發佈道路封閉訊息，請用路人前往安全停駐空間或緊急暫停空間或行走路況良好的替代道路。

目前公路總局第二區養護工程處轄區重點監控路段，於民國 100 年 11 月 17 日二工養字第 1001013829 號核定(第 22 版)，採多重降雨觀測指標啟動預警應變 3 級制，已本研究範圍為例詳見表 13-1。然而該表中並未對於臺 18 線與臺 21 縣所有路段建立雨量管理值。因此，本計畫透過易致災性分析，將管理值訂定之方式，初期建議以易致災性分析成果，建立 300mm(預警)、600mm(警戒)以及 900mm(行動)不同事件累計降雨量下之管理標準。經由臺 18 線與臺 21 線的危害度的變化，將可建議不同易致災性下之初步降雨量管理建議。未來則建議經由規劃建議之長期監測數據進一步檢討其預警、警戒以及行動值。各路段易致災性分布詳見圖 11.6~圖 11.11。

表 13-1 公路總局第二區養護工程處重點監控路段降雨管理值

各工務 段、所	重點監控 路段	行政區	緊臨或跨 溪流名稱 (無則免填)	實體參 考雨量 站	預警值			警戒值			行動值		
					多重降雨指標 (一)(10分鐘雨 量(mm))	多重降雨指 標(二)(時雨 量(mm/hr))	多重降雨指標 (三)(連續24 小時累積雨量 (mm))	時雨量 (mm/hr)	連續24 小時累積 雨量 (mm)	水位(無 則免填)	時雨量 (mm/hr)	連續24小 時累積雨 量(mm)	水位(無 則免填)
信義工 務段	臺21線 80K	南投縣	陳有蘭溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2時	60	350	達便道 2/3H時
		水里鄉											
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 100K	南投縣	陳友蘭溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2時	60	350	達便道 2/3H時
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 103K+500	南投縣	和社溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2時	60	350	達便道 2/3H時
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 105K	南投縣	和社溪	神木村	10	40	250	50	300	達便道 H/2時	60	350	達便道 2/3H時
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 112K	南投縣	頭坑溪	新高口	10	40	250	50	300	-----	60	350	-----
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 122K+600	南投縣	烏乾溪	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 133K	南投縣	-	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
信義工 務段	臺21線 134K+700	南投縣	-	新高口	10	30	50	40	70	-----	50	100	-----
		信義鄉											
阿里山 工務段	臺18線 59k+100 便道	嘉義縣		阿里山	6	25	150	30	200		60	300	
阿里山 工務段	臺18線 71k+100 便道	嘉義縣		阿里山	6	25	150	30	200		60	300	

以往防救災體系著重於區域聯防，惟全省有 34 個流域，25 個行政區，顯現流域劃分與行政區劃分並不對等，然而以近年來之災害類型，均係因風災挾帶超量豪雨而致災。然而，降雨後地表逕流之流經區域即為流域，流域內之降雨—逕流水—匯入野溪—匯入支流—匯入本流—出海等過程中，即造成大小規模不一之災害，而流域內之「山、河、橋、路」所對應之主管機關則分別為農委會、經濟部、交通部，管理機關則為水保局、林務局、河川局、公路總局等單位。因此，整合上述單位防救災資訊於共同平台分享，進而以「人」為保全標的，分析研判各自主管事項之災害及與其他機關之防救災協議事項，整合為一、共同防禦，即為『流域聯防』，由於各管理機關各自擁有歷史災情資料庫，因此可透過流域聯防體系發佈地方政府所屬聯防之預警通報。

公路總局為流域聯防體系成員之一，主管公路與橋梁，依據歷史災害記錄與經驗，於防救災期間分災前、災中、災後等階段循序統整出決策支援資訊，以利指揮官更快速下達正確之指令，重要決策支援資訊如下；

1. 降雨集中區域研判及重點警戒流域。
2. 重點警戒流域聯防事項。
3. 單日累積雨量達 500 毫米以上，可能因公路阻斷 2 日以上，造成孤島地區及人數。
4. 重要觀光風景軸線團客動態。
5. 橫向聯防單位協議事項如下；

(1)觀光局：重要風景觀光軸線，於啟動預警階段時，即應同步啟動與觀光局之聯繫平台：

- a.發送道路訊息予觀光局通報專線俾利傳遞予導遊工會、旅遊業者。
- b.篩選降雨區域之團客名單並發送道路訊息。

c. 遇人車受困時，取得聯繫並引導至安全停駐空間等候救援。

(2) 高公局：

a. 於隧道強制廣播前方省道道路訊息。

b. 於高速公路 CMS 系統播送前方省道道路訊息。

(3) 中華電信：啟動 LBS 播送道路訊息。

(4) 氣象局：QPESUMS 劇烈天氣監測系統未來 3 小時熱線諮詢。

(5) 警消單位：協助配合預警應變作為實施路段管制，維持用路人駕駛安全。

(6) 國軍及內政部空中勤務總隊：若發生居民受困事件時，請進行救援，派遣軍官兵、救援機具、直升機以陸空方式進場受創地區進行緊急救災。

(7) 縣府民政單位：因災害而可能形成孤島之虞路段，應事先擬妥備糧、撤村等因應計畫，並請事前宣導。

(8) 縣府應變中心：工務段接獲轄區邊緣路段災情通報訊息，因路程遙遠而無法迅速前往搶救災時，除工務段搶救災人員仍依規定出勤救災外，另請再通報轉相關救災單位支援或當地派出所。

(9) 流域內各橫向聯防事業單位(水利署、水保局、林務局…)：藉由公路為防救災物資運補路線之聯防單位，請特別注意本局利用雨量站監測實施公路預警應變管制作為，提前因應。

山區道路防災整備方面，可分為觀念、作法以及硬體設備三方面作為，如圖 13.2 所示，其中紅色粗框為 100 年新增策進作為。顯示除了整合各單位聯防及防災資源外，對於非工程防災措施以及如何納入新型防災科技成果，將是未來的重點。

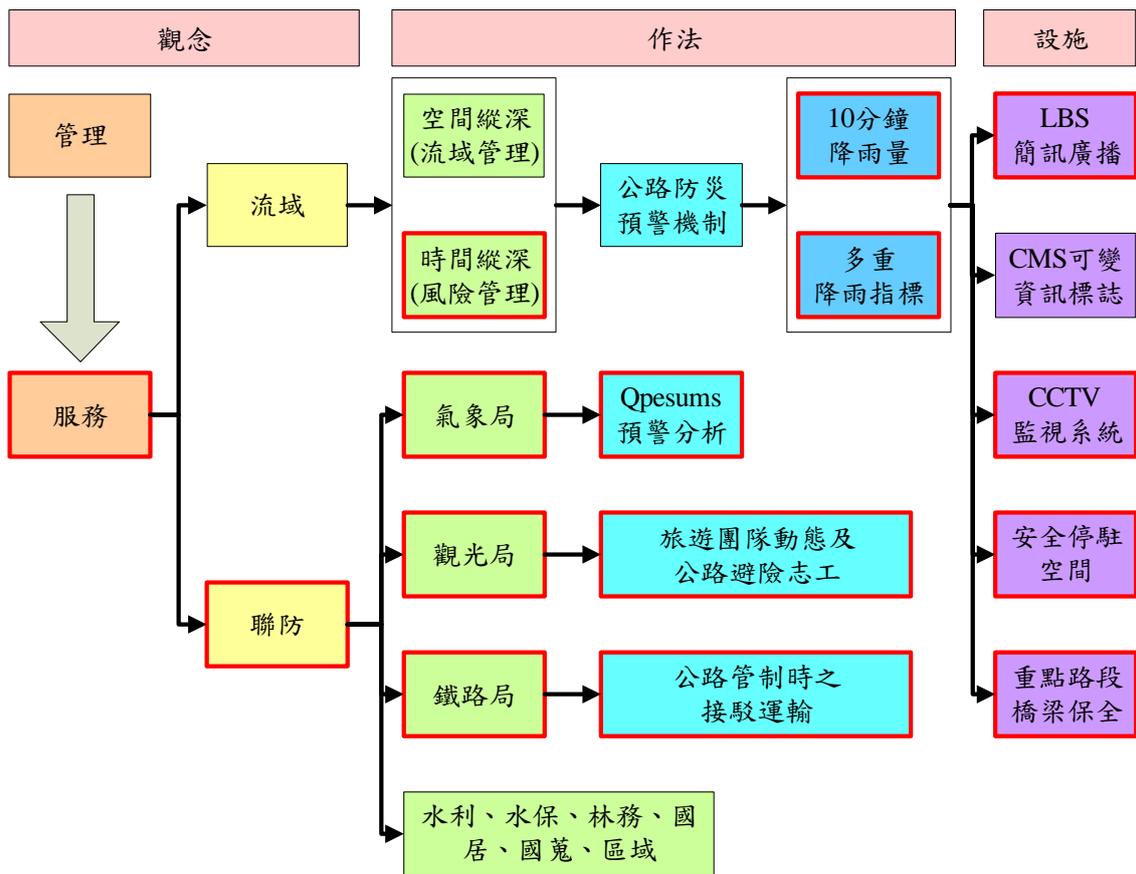


圖 13.2 100 年新增策進作為(以紅色粗框標示)

### 13.1.2 國內山區道路災害應變計畫

一般而言，防救災管理區分為減災、整備、應變及及復建四個階段。目前公路總局針對國內防救災預警機制，已明確將應變計畫分為「災前整備」、「災中應變」及「災後復建」等三個階段。分述如后：

#### 1. 災前整備

本階段主要的實施工作係以崩坍易發生率等潛勢分析模式進行災前(平時)的災害潛勢分析。密切注意中央氣象局發佈之劇烈天氣特報，於特報中預測颱風侵臺前 3 日時，檢視颱風可能路徑造成之山區道路歷史災情記錄，由記錄中發生災害路段與災害類型判斷應進行之預警封路作為。若本次降雨量超過歷史記錄，可能導致災情擴大，則考慮增加管制路段。聯繫其他聯防單位，於 2 小時後與各工務段進視訊會議，研商警戒區域與災害規模。颱風侵臺前 2 日啟動

區域聯防機制，召開應變協商會議。海上颱風警報發佈前，成立防災應變小組。

## 2. 災中應變

本階段是在災害發生時，依災害之類別與強度，搜尋潛勢分析資料庫中對應之分析結果，作為後續緊急應變作業之依據。供業務管理單位作為災後山區道路緊急安全性調查先後順序之參考依據。按分析結果，道路養護管理單位應隨即展開災後山區道路緊急安全性調查，持續監看降雨量與水情，並隨雨量修正應變等級此階段分為三步驟：

- (1) 災情蒐集：持續監看降雨量等基本資料。
- (2) 緊急調查：迅速掌握高易致災路段受損情形。
- (3) 緊急措施：根據緊急調查所採取可通行、管制通行與禁止通行等，並針對受損道路狀況提出替代道路方案。

## 3. 災後復建

中央氣象局解除劇烈天氣特報，天氣狀況較為穩定後緊急復原分為兩步驟：

- (1) 緊急評估：主要的實施工作包含實施初步維修方針及安全等級分類而進行之調查作業。
- (2) 緊急復原：防止災害持續擴大及快速搶通機制，對災害路段採取快速臨時性緊急復原的補強措施。

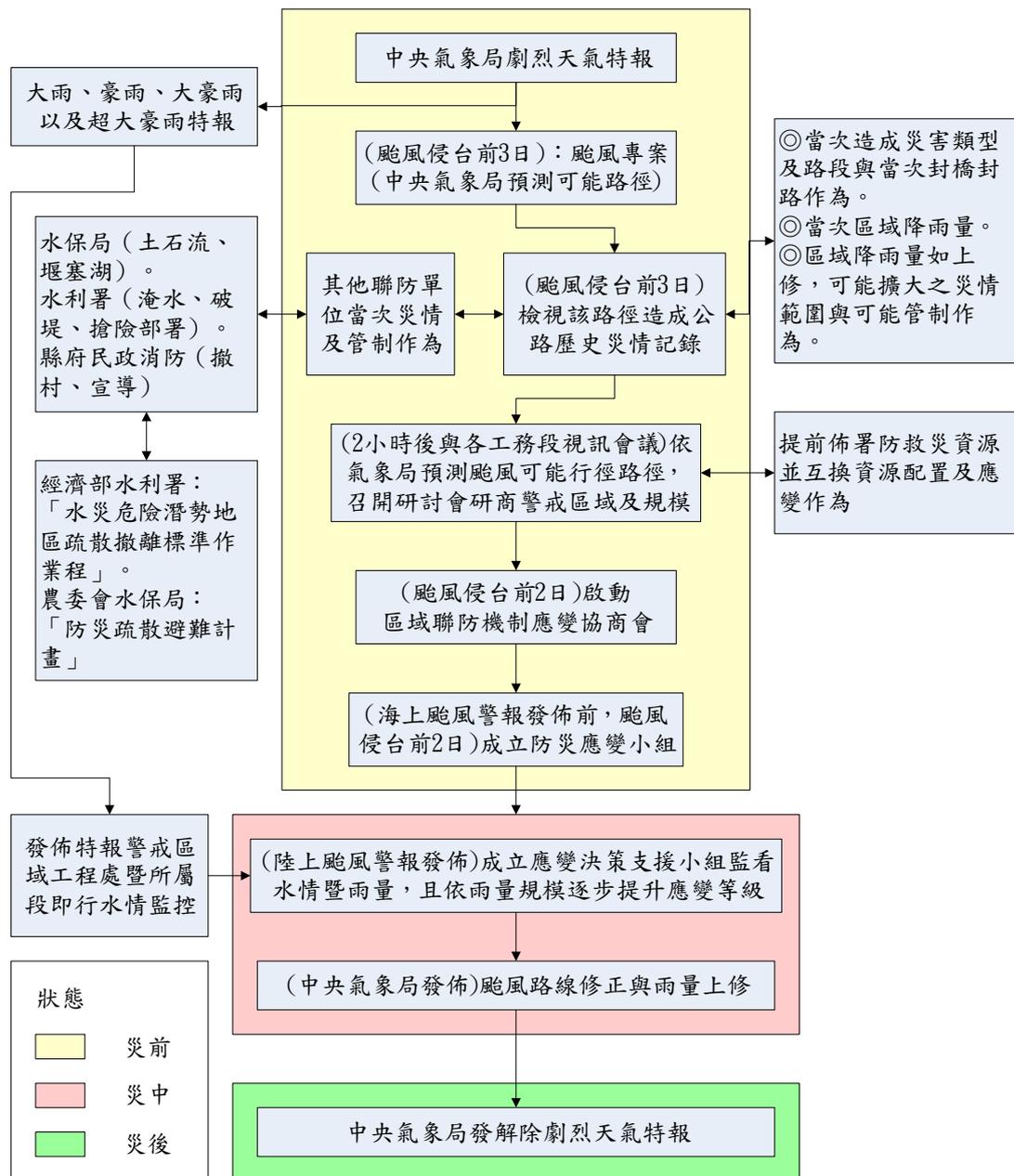


圖 13.3 公路防救災預警機制流程圖

## 13.2 易致災路段之應變計畫

本計畫之主要目的，除了彙整國內山區道路災害類型，並研提易致災路段災害應變計畫。依據前述公路總局制定之標準作業程序，以及「災害防救基本計畫」與「陸上交通事故災害防救業務計畫」之概念，參考交通部公路總局「蘇花公路改善工程處緊急應變計畫」內容。

### 13.2.1 執行計畫之依據及目的

#### 1. 計畫執行依據

- (1)災害防救法及其施行細則
- (2)行政院「災害緊急通報作業規定」
- (3)交通部「陸上交通事故災害防救業務計畫」
- (4)交通部「災害緊急應變小組作業要點」
- (5)交通部「災害緊急通報作業要點」
- (6)交通部「工程災害緊急處理原則」
- (7)交通部公路總局「公路重大災害緊急應變作業要點」
- (8)交通部公路總局「公路總局災害現場指揮體系」標準作業程序

#### 2. 計畫執行目的

健全既有災害防救體系，強化災害防救功能及緊急應變措施，有效執行災害搶救、通報及善後復原重建處理，期能提高各工務處及工務段同仁對防災及救災之應變能力，達成災害防災減災、應變整備以及災後復原重建之目的。

### 13.2.2 各項災害及緊急事故處理作業

#### 1. 工程災害緊急應變小組組織架構以及任務分配

工程災害緊急應變小組於工程處方面，小組召集人、副召集人以及執行秘書分別由該工程處之處長、副處長與主任工程司擔任；其下分為「資訊提供組」、「行政聯繫組」、「新聞聯絡組」、「後勤支援組」以及「災情作業組」組長分別由勞安科科長、工程科科長、設計科科長、秘書室主任以及各工務段段長擔任，如圖 13.4 所示。各小組成員之任務執掌，如表 13-2 所示，其下各組之任務分配如表 13-3 所示。

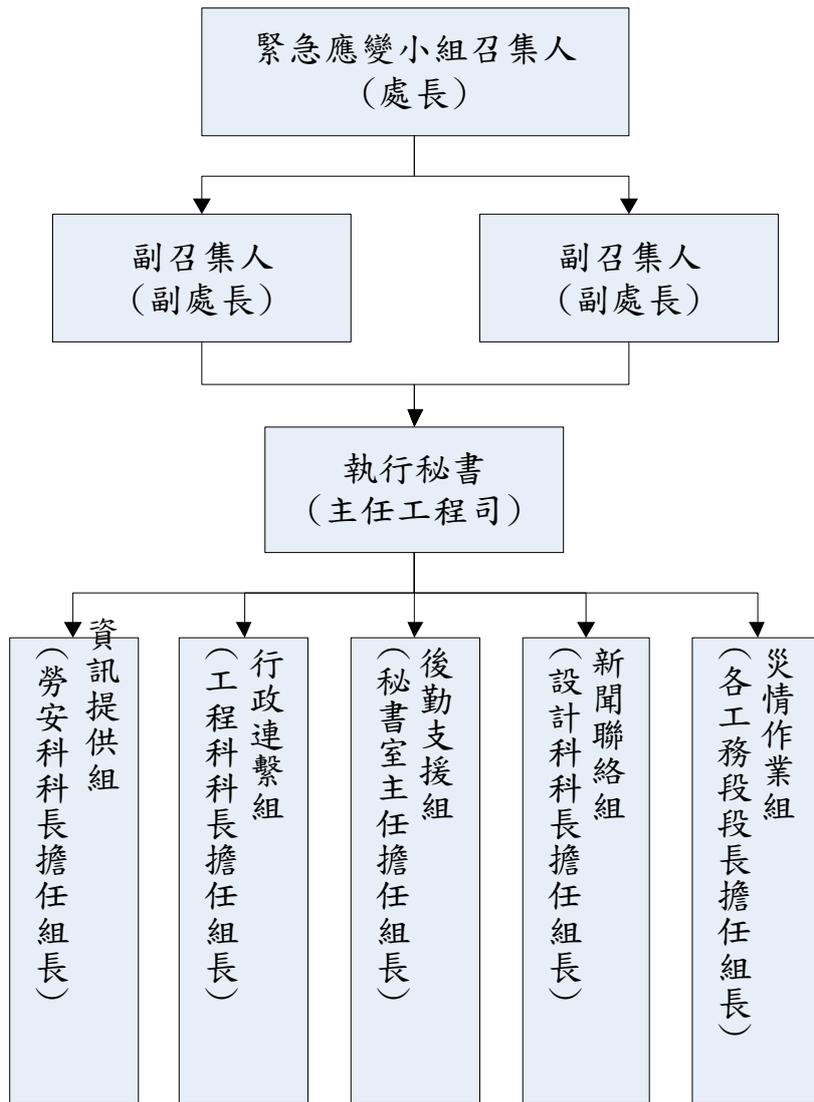


圖 13.4 災害緊急應變小組組織架構(工程處)

表 13-2 工程處緊急應變小組任務職掌

工程災害緊急應變小組職稱	單位職稱	任務分工	備註
召集人	處長	督導指揮緊急狀況處理情形	本處所屬各工務段(所)依權責負責處理緊急狀況，應同時知會政風室。
副召集人	副處長	協助指揮緊急狀況處理事宜	
執行秘書	主任工程司	緊急狀況處理執行、訊息彙整及回報	
資訊提供組長	資訊中心主任	處理資訊提供事宜及臨時交辦任務	
行政聯繫組長	工務課課長	處理行政聯繫事宜及臨時交辦任務	
後勤支援組長	秘書室主任	處理後勤支援事宜及臨時交辦任務	
新聞聯絡組長	勞安課課長	處理新聞聯絡事宜及臨時交辦任務	
災情作業組長	各工務段段長	處理災害搶救事宜及臨時交辦任務	

表 13-3 工程處緊急應變小組任務分配

組別	負責單位	小組任務
資訊提供組	由資訊中心主任擔任組長，工務課及勞安課協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維護及建置本局網站中之最新訊息與通阻查詢項目。</li> <li>2. 檢核災害現場通報資料之完整性及後續通阻情形之確認。</li> <li>3. 辦理本處、交通部緊急應變小組及中央災害應變中心指示交辦事項，並彙整辦理情形陳報。</li> <li>4. 支援各小組電腦操作及相關資訊問題。</li> <li>5. 臨時交辦任務。</li> </ol>
行政聯繫組	由工務課課長擔任組長，勞安課、秘書室、人事室及政風室協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擔任本處緊急應變小組與各級單位之行政聯繫工作。</li> <li>2. 負責本處緊急應變小組之各組別聯絡與協調事項。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
後勤支援組	由秘書室主任擔任組長，勞安課、會計室、用地課及工務課協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 負責災害現場及各工作小組所需資源及物資之聯絡與提供。</li> <li>2. 相關後勤支援之提供。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
新聞聯絡組	由勞安課課長擔任組長，工程課及資訊中心協辦。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作及發佈新聞稿。</li> <li>2. 注意媒體報導，如對該災害相關訊息有不實之報導，立即向該媒體反映並要求更正。</li> <li>3. 臨時交辦任務。</li> </ol>
災情作業組 現場指揮官	由各工務段(所)主管擔任現場指揮官，工務段(所)人員協助辦理。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 災情蒐集及災害搶救之指揮、統籌、協調及請求災害現場各項救災資源的調度及彙整與陳報。</li> <li>2. 定時查填網路災情通報系統及指揮所屬組員適時依本局災害通報程序及交通部災害緊急通報作業要點規定辦理通報。</li> <li>3. 繪製「工程災害地點示意圖」電腦圖檔，並上傳公路總局網站與救災指揮中心。</li> <li>4. 評估災害現場之情勢及救災工作進度，適時下達解除全部或部分各項救災資源配置及各編組任務命令。</li> <li>5. 擔任或授權指定人，為災害現場救災工作進度及</li> </ol>

組別	負責單位	小組任務
		<p>救災運作情形發言人。</p> <p>6.對災害現場損害情形進行初步評估，依據應變計畫及作業要點，建立救災任務編組，並監督各編組確實執行救災工作。</p> <p>7.考量災害現場環境及安全等因素，決定是否於現場設立指揮所。</p> <p>8.災害現場如涉及聯合指揮救災，應隨時與其他機關救災工作團隊保持密切聯繫。</p> <p>9.得依災害型態、影響程度與救災工作進度，或因故無法執行職務時，指派副指揮官或其他適合人員代理，代理人對所代理之職責應負完成之責任。</p> <p>10.建立災害事件須優先處理的目標，適時向本處緊急應變小組召集人、副召集人陳報檢討結果，及修正目標順位。</p>
<p>災情作業組 現場副指揮官</p>	<p>由各工務所工程主辦工程司或經各工務所現場指揮官指派擔任</p>	<p>1.依現場指揮官指派，承接現場指揮官職責綜理救災業務。</p> <p>2.擔任各分組窗口聯絡人，彙整所有災情資訊提供給予現場指揮官作為決策參考。</p> <p>3.襄助現場指揮官，聯繫各任務編組執行救災工作，確保救災工作依計畫持續進行。</p> <p>4.依據事先擬定應變計畫，協助現場指揮官推動各任務編組應辦理事項，並持續追蹤辦理情形，將結果轉達現場指揮官。</p>
<p>災情作業組</p>	<p>由各工務所現場指揮官指派工務所同仁進駐擔任。</p>	<p>1.通知承包商派遣機具至災害現場進行搶修或修復作業，倘災害現場人員遇險有搶救之需要時，立即通報醫療或救護業務權責單位。</p> <p>2.規劃救災機具、車輛及司機之調度、派遣、輪休等管理事宜。</p>
<p>現場作業組</p>	<p>承包商負責交通管制及警戒組。</p>	<p>3.負責轉達搶救命令（含通知承包商利用各種器材設備、觀測儀器進行災害現場加固及監測，加強防範災害現場因突發事故所造成的二次災害），監看及通報現場災情處理進度。</p>

組別	負責單位	小組任務
災情作業組	由各工務所現場指揮官指派工務所同仁進駐擔任。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.視需要協請地方警力支援。</li> <li>2.依據指揮官指示，劃定現場警戒區，維持災害現場秩序，嚴禁非救災工作人員進入警戒線內，並確保救災工作不因外力因素而中斷。</li> <li>3.依據指揮官指示設置或撤除活動式紐澤西護欄、交通錐、拒馬、警告標誌，夜間時應加設警示燈及反光警告設施等交維設施。</li> </ol>
後勤支援組	承包商負責交通管制及警戒組。	<ol style="list-style-type: none"> <li>4.規劃替代道路，於重要路口設立警告及改道標示，並疏通及引導車輛、人員改道。</li> <li>5.利用警廣、媒體、機關網站、電話語音轉達用路人改駛替代道路。</li> <li>6.與工務所人員保持聯繫，並報告救援人員數量及位置。</li> </ol>
災情作業組	由各工務所災情作業組	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.與緊急應變小組後勤支援組互為協調辦理採購、供給及運送救災工作人員所需民生必需品、庶務用品等事宜。</li> <li>2.辦理災害期間經費編列及開支核銷及陳報事宜。</li> <li>3.紀錄災害發生歷程及災害現場工作狀態。</li> <li>4.準備發布新聞所需資料，並注意媒體報導，如有不實報導，應立即向該媒體反映並要求更正。</li> </ol>
行政聯繫組	組長指派工務所同仁擔任	<ol style="list-style-type: none"> <li>5.視需要連繫工程顧問公司、技師公會等專家學者到場評估受損程度及研擬修復方案，提供工程單位修復及專業救援意見。</li> <li>6.視需要通知轄區消防及衛生單位請求支援。</li> </ol>

工務段方面，各段段長除了在應變小組中處理災害搶救事宜等，同時對於他區或是本區其他相關工務段進行橫向聯繫之工作，並隨時掌控監造單位與承包商施工所之作業狀況，如圖 13.5 所示。

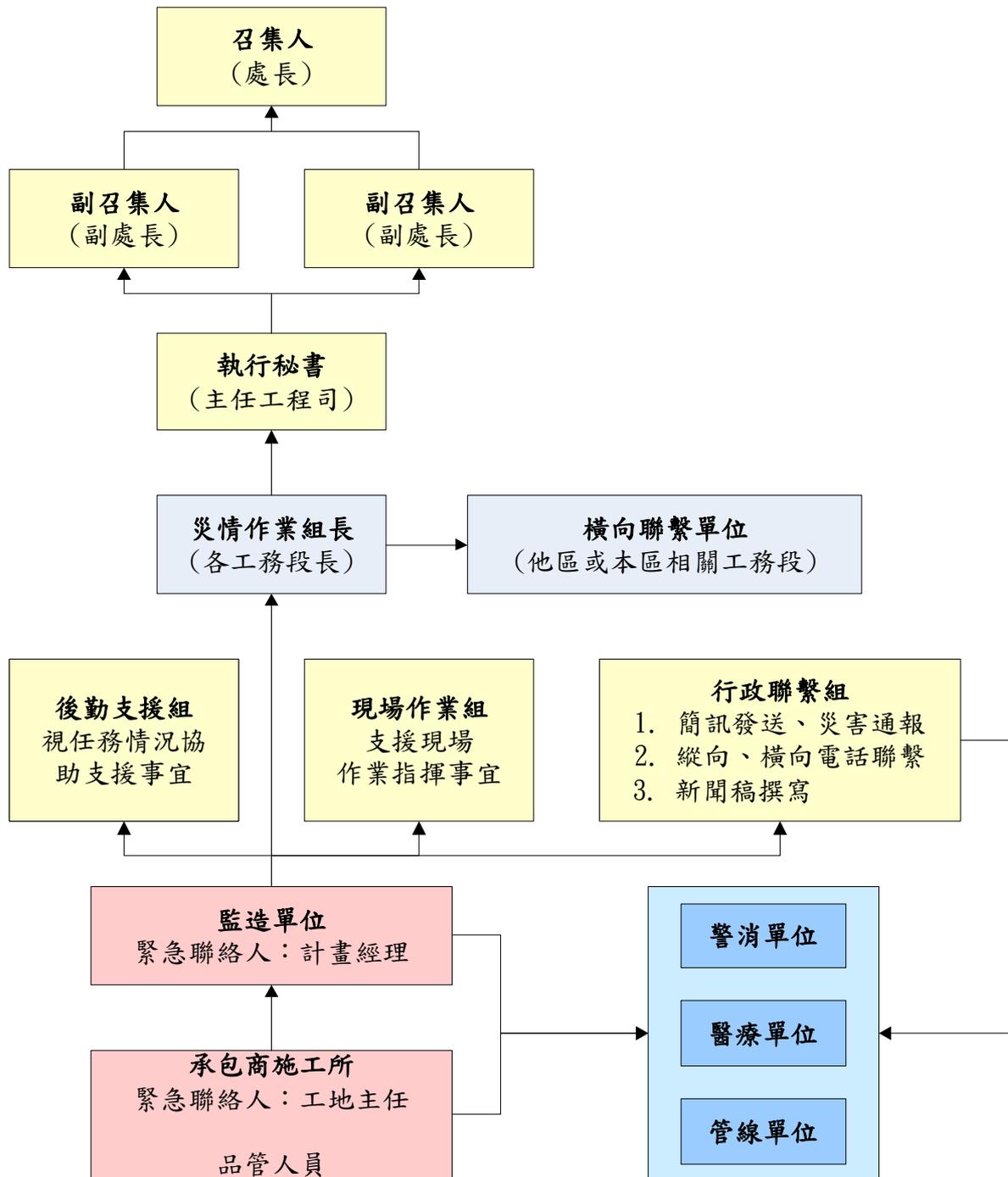


圖 13.5 工程災害緊急應變小組組織架構(工務段)

## 2. 緊急應變小組開設(及撤除)時機及流程

緊急應變小組應於災害發生或有發生之虞時即行運作，主動互相聯繫協調通報，並執行災情蒐集、查證、彙整、通報、災害搶救及救災資源調度等緊急措施，持續運作至災害狀況解除為止。

(1)開設時機：依據交通部公路總局民國 93 年 12 月 22 日路新施字第 0931003852 號函示，就下列事故研判認為具有新聞性、政治性、社會敏感性者，成立緊急應變小組，開設流程圖如圖 13.6 所示。

- a. 因人員、機械、設備、材料等不當的設施與管理，而引起人員及工地設施遭受損害；或天然災變致工程因而停頓延誤。
- b. 工程施工造成管線破損、桿線斷落、基礎或結構物塌陷龜裂傾倒、鄰房龜裂毀損或傾倒等情形嚴重者。
- c. 模板或灌漿工程塌陷、支撐挫屈變形下陷、大樑搬運或吊裝損壞、水中構造物或臨時圍堰損壞等情形嚴重者。
- d. 施工中工程或設施疑遭人為蓄意破壞或放置爆裂物等危險物品，有造成人員及工地設施損害之虞者。
- e. 所轄工區經交通部中央氣象局發布為海上颱風警報之警戒區域。
- f. 其他經上級指示應成立緊急應變小組因應者。
- g. 所轄工區如有人員傷亡(職災)時，依交通部公路總局民國 94 年 08 月 09 日路新勞字第 0941005015 號函規定通報。

(2)撤除時機

- a. 災變或事故之狀況已不再繼續擴大，或災情已趨緩和時，由小組召集人(指揮官)視情形裁示宣布縮小應變小組規模，或對已無執行應變任務需要者宣布解除任務。
- b. 於事件處理至狀況已穩定控制，進入後續處理階段時，經應變

小組召集人(指揮官)宣布撤除後撤除之。

- c. 因颱風來襲而成立緊急應變小組者，於陸上颱風警報解除後撤除之。

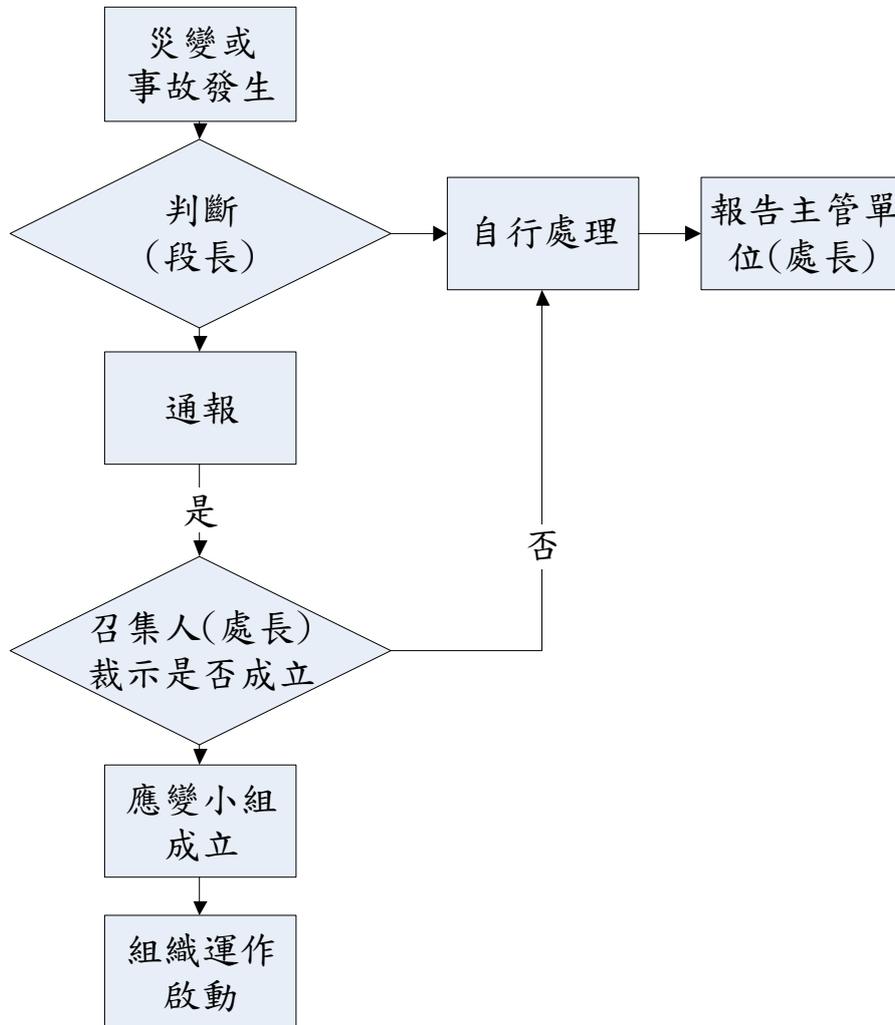


圖 13.6 緊急應變小組開設流程

### 3. 緊急應變作業程序

工程災害事故處置方式依據交通部公路總局民國 94 年 09 月 26 日路新施字第 0940042024 號函轉頒布「交通部工程災害緊急處理原則」辦理：

#### (1) 通報

- a. 依據交通部頒「交通部災害緊急通報作業要點」辦理。
- b. 應督導承商主動辦理相關通報作業。
- c. 當工區發生工程災害事故或有發生之虞時，段長獲悉後應立即依「災害通報流程」於第一時間通報處長，並召集工務段人員成立緊急應變小組，迅速通知施工承包商及相關單位，採取各種必要之應變措施並防止災害擴大，搶救傷患減少人員(民)生命財產損失。

## (2)救災

- a. 處長應即指派指揮官進駐現場督導、連絡、協調。
- b. 承包商
  - (a)動員人力、機具、材料全力救災。
  - (b)洽請管線單位關閉電力、自來水、瓦斯等，以抑制災情擴大。
  - (c)請求消防隊協助救災與受傷人員就醫。
  - (d)請求警力協助維持工地鄰近之交通。
  - (e)成立協調小組辦理災民安置、慰問與撫恤。
  - (f)成立工務小組辦理災害監控與協助支援單位排除衍生性之危險。

## (3)復原

- a. 工程處；
  - (a)調查災害經過，並於一週內提報意外事件檢討報告書。
  - (b)邀集承商、受災戶及其他相關單位召開協調會處理相關事宜。
  - (c)邀集相關單位包括保險公司等，辦理災情調查與善後救助出

險事宜。

(d)提報意外事件結案報告書。

b. 承包商：

(a)與受災戶協商選定同意之鑑定單位，辦理鑑定工作。

(b)參加協調會並與受災戶儘速達成協議。

(c)辦理受災戶賠償事宜。

(d)提送工地復原與改善計畫。

(4)協議

a. 鑑定報告完成後，由處長召開協調會，協調受災戶達成協議，並依協調決議辦理後續結案。

b. 若未能達成協議，則商請當地地方政府機關或其他公正機關、調解委員會協助再行協調，至達成協議為止。若未能達成協議，則商請當地地方政府機關或其他公正機關、調解委員會協助再行協調，至達成協議為止。

如遇颱風、豪大雨時之處置方式如下：

(1)奉交通部公路總局電傳單指示(或處長指示)成立緊急應變小組，本處立即配合排定輪值人員(課長級或資深工程司)留守，並依「颱風豪雨防災準備機制」立即進行防災準備檢查之紀錄及統計。

(2)當豪大雨或海上颱風警報發布時，奉交通部公路總局電傳單指示(或處長指示)成立緊急應變小組時，本處即依權責排定輪值人員(課長級或資深工程司)共同留守。本處輪值人員則先由工程課排定輪值順序及製表(含行動電話及家中電話)，依順位通知值勤人員依相關規定辦理。本處所屬工務段緊急應變小組成員隨即進駐段，並通知所轄工程承包商施工所因應可能發行之災害及進行搶修(救)。

#### 4. 緊急應變工作要項（※按輕重緩急依序執行以下救災措施）

- (1) 災害發生時：災害通報、動員廠商進行搶救災工作、同時成立緊急應變小組，全力展開救援事宜。
- (2) 受災人員處理：
  - a. 受傷者：緊急送鄰近醫院急救。
  - b. 罹難者：即刻通知家屬善後，並予協助處理；協調當地檢察署儘速進行罹難者屍體相驗工作。
  - c. 蒐證：通報消防、警察、勞檢等機關進行鑑識蒐證，以備後續責任調查處理需要。
- (3) 安全維護警戒：本處人員視災情狀況決定於災變現場協助及配合警力設置警戒線，以利救災及鑑識調查工作進行。
- (4) 災害控制：防制災情擴大，避免二次災害發生。
- (5) 新聞發佈：如係重大工安事件，應發佈新聞稿刊登交通部公路總局網頁對外說明。如發現有媒體報導錯誤不實，應予澄清。
- (6) 善後檢討：於災情經控制趨於穩定緩和或無擴大之虞後，進行善後處理並檢討事故原因，防範未然。

本研究檢討前述公路總局災害應變作為，建議適合之山區道路易致災路段之應變計畫，應於災前針對不同階段之應變作為，予以更清楚的釐清，如圖 13.7 所示。尤其於災時應變階段，各分組任務分工極易由於權屬不同、資源缺乏，而導致災時混亂的應變指揮體系，將降低應變之有效性。因此，本研究建議應擬定不同作業單位配合不同時機之動態措施，釐清各項工作啟動標準，使各負責小組有所依循，未來更應配合標準作業程序的擬定，強化各區工程處與各工務段(所)之山區道路災害預警與防救能力。

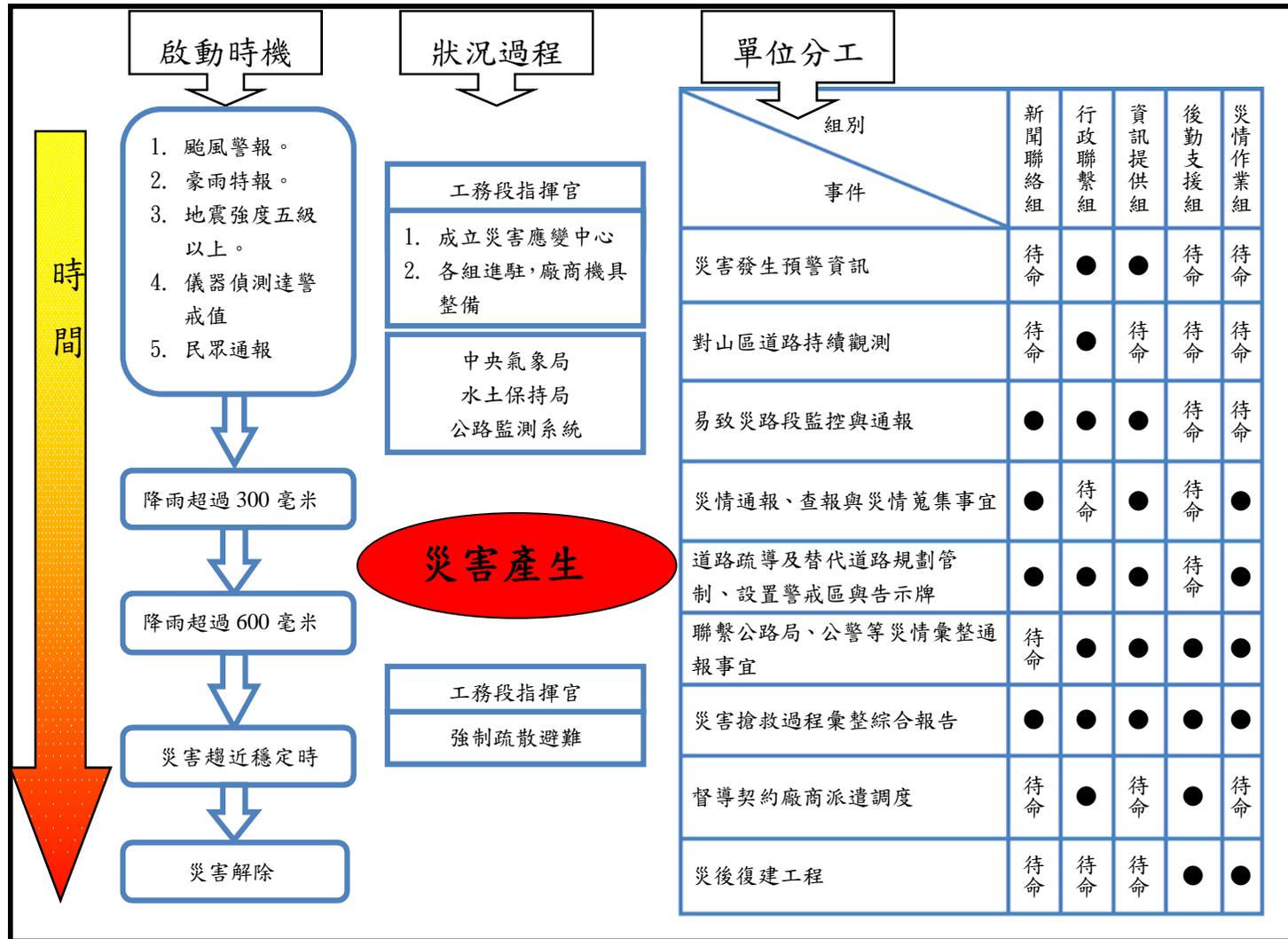


圖 13.7 應變計畫單位分工動態表

## 第十四章 國內外道路快速搶險機制回顧與檢討

臺灣位於亞熱帶西太平洋颱風路經要衝，境內河川流短坡陡流速湍急，因此經常發生風災、水災等天然災害。近年來臺灣山區道路邊坡災害頻傳，其致災原因固與先天環境因素不良，地質地形條件惡劣有關，然而山區道路之規劃、設計、分析、施工與維護等工程作為，並未針對臺灣山區環境特性與國人民族習性詳予考量亦具有顯著影響。如何防災避險或提昇災後搶修復建成效實為現階段政府相關主管單位當務之急。

### 14.1 國內外道路工程緊急搶修作業相關文獻

道路工程緊急搶修屬於災後的救災作業，已有學者對災害疏散路線、搶修工程排程與復舊排程等方面進行研究，例如國外學者 Fiedrich 等人(2000) 開發一適合災後搜救時期(search-and-rescue, SAR)的最佳化資源配置決策支援系統。由於目前常見之災難管理決策系統較屬被動性資訊管理系統，缺乏主動性決策輔助資訊，於救災實務功能發揮有限。模式中區分出傷患受困區、二次災害高風險區及需立即搶修之道路設施區等三類災後救援作業區域。Shangyao Yan (2008)運用時空網路架構模型建立緊急道路搶險與救濟物資分送計畫，用以改善傳統以決策者忽視道路搶險與物資分送兩者間關連性，單憑經驗進行之決策過程。Bhoj Raj Pantha 等人(2010) 運用地理資訊系統建立尼泊爾山區道路之邊坡穩定與鋪面維護模式，以國際糙度指標作為鋪面狀態指標，繪製道路邊坡與鋪面之維護優先順序地圖。

近年來由於防災意識之提高，使得國人更加重視防救災相關問題之研究。例如官佩穎(2011)以阿里山道路臺 18 線為例。莫拉克颱風重創嘉義縣山區道路，部落或鄉鎮的唯一聯外道路臺 18 線受損嚴重，以臺 18 線 71 公里處為例，雖然道路崩落僅 300 公尺，卻足足費了 20 個工作天才完成，顯見連續災點搶修作業排程模式之重要性。該研究探

討如何動用最少機具能量搶修，達緊急搶修法定時間，以協助主管單位災害搶修排程決策之參考。魏耀烈(2008)針對臺 7 線山區道路 93、94 年災害搶修工程資料彙整檢討分析，總計 77%的災害點是在颱風來臨時發生，76%的搶修經費是花在颱風災害上，75%的災害點發生在上邊坡災害，而 86%的搶修經費是花在下邊坡災害上，因此若能於平時養護加強下邊坡安全之補強，必能減少颱風來臨所造成的道路災害損失。吳心琪(1996)曾就公路工程的實務觀點論述搶修工程之指揮調度得宜與否將影響災後復舊與救災工作之效率。該文以多場站車輛路線問題模式為基礎，建構一災後公路網搶修工程排程模式。求解方法以簡單遺傳演算法之基本精神發展一啟發式求解法求解。陳郁文(1999)曾應用模糊多目標規劃以求解大規模救災及災區復舊問題，以提昇運輸系統災後應變效率。

吳水威、連振盛等人(2001)研究利用系統分析法與文獻收集評析法而依循危機管理理論，提出交通管制時所需之相關配套措施，確保實施順暢的避難行動及地震防救災緊急應變措施有關的緊急運輸。張立偉(2001)曾建立一套緊急應變指派方法，供決策單位決定災害搶修及搶救點之順序，在有限時間內找出最大搶救及搶修效益之計畫排程。該研究架構上主要在探討一組合最佳化問題，考量之目標則以搶修單位之旅行時間最小化、搶修時間最小化及災點之搶修風險最小化構建多目標式，配合上時窗限制之考量，以 C 語言自行撰寫基因演算法求解問題。馮正民、林楨家等人(2001)曾研究經由震災物流系統運作機制之探討與設計，以數學規劃方法構建決策模式，用以進行物流據點區位分布與運輸路線之規劃。

鄭欣蓉、曾國雄(2003)曾探討如何有效又公平的配送賑災物資，以避免無謂的浪費，並採用模糊多目標線性規劃的手法求解問題，以供災變賑災物資緊急配送考量之參考。王允中、賀寶福(2003)曾建立一套緊急應變路網重建的方法，供決策單位做大規模災害時，路網道路搶修的決策依據。李志華(2003)對路網搶修以基因演算法為架構，考慮搶修處理時間之模糊性，於演算法設計上整合模糊數排序方法及利用共

生式進化演算法，有效求解多重專案與多單位工程資源之排程問題。

施佑林(2004)曾針對實務上兼顧災點搶修時間與物資配送時間最短之目標，並考量災後搶修與緊急物資配送之相關限制，構建一多目標之災後搶修工程與緊急物資配送模式，以供決策單位有效率決定災害搶修與緊急物資配送之順序，並於有限時間內找出最佳搶修效益和物資配送之計畫排程。該研究利用時空網路流動技巧，分別構建災點搶修時空網路與賑災物流時空網路。作者並利用 C 程式語言配合數學規劃軟體發展一有效之啟發解法以有效求解問題。邱裕鈞、賴宇軒(2005)曾建立一個不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式，並採用遺傳演算法選擇最佳管制路段，結合逐次增量指派法及 K 條最短路徑演算法進行交通量指派及最短路徑之求解。

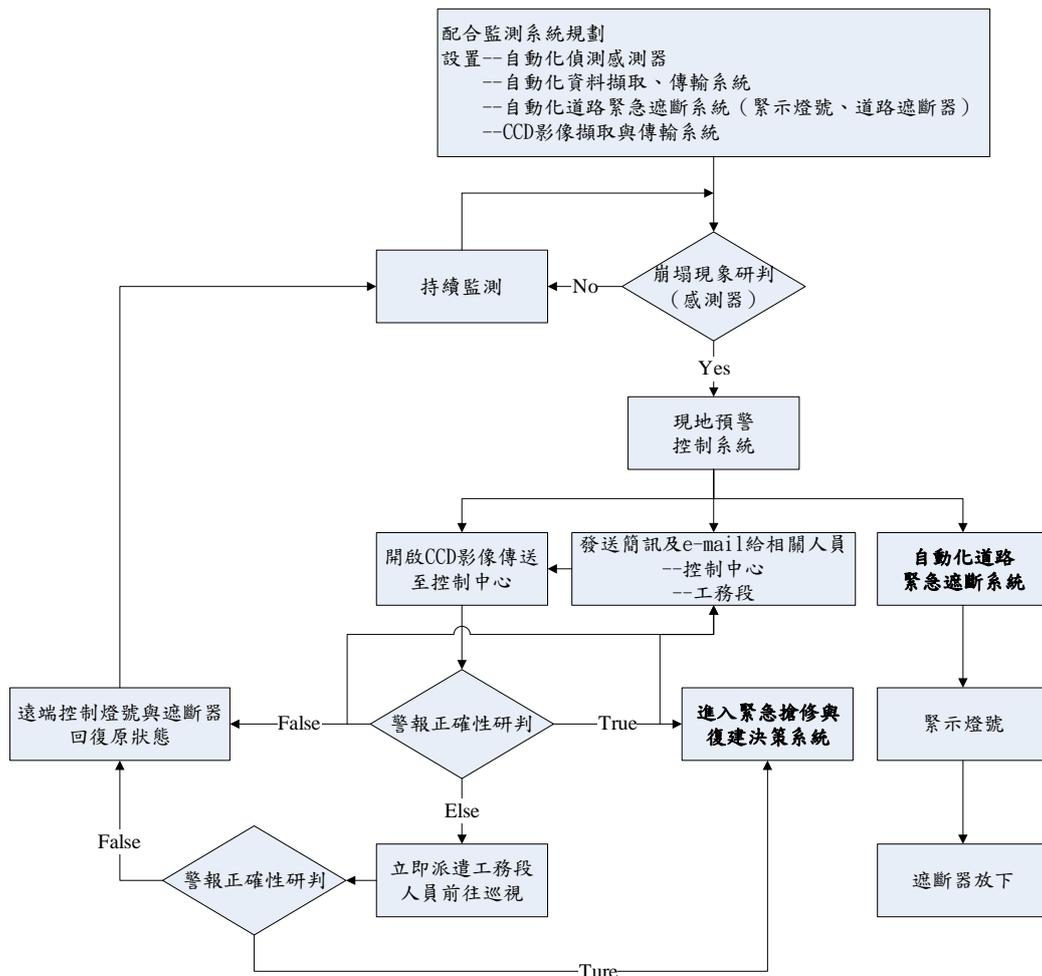


圖 14.1 含監測預警系統之處理流程與搶險機制

如何更進一步提升機關執行重大緊急救災工程效率之基礎。王允中、嚴國基(2005)曾研究建立一套災後路網信賴度評估方法以瞭解路網是否滿足災後疏散的需求量，並針對路段容量退化的關鍵路段進行修復，進而提供災害應變單位有效的決策支援。自動化監測有相當之功能性，尤其是邊坡崩塌事發之自動偵測、警告與自動封閉道路。設置邊坡崩塌自動化應變系統，可避免車輛直接撞擊崩落土石或墜落流失路基之意外事故發生。董家鈞(2003)曾建議，為達防災目的，建立偵測邊坡崩塌之自動化應變系統有其重要性如圖 14.1 所示。

## 14.2 山區道路快速搶修機制檢討

根據各工務段辦理養護作業規定，如遭遇重大災害時，若無周詳緊急應變作為做為處理藍本，則搶修作業將雜亂無章，導致搶通時間延遲，甚至危害用路人之生命安全。然而各轄區皆有不同地質、水文及環境，再因天然災害或其他重大災害而造成道路阻斷時，為求能在短時間內有系統的動員，達到快速搶修的目的，維持交通順暢，各轄區單位得研擬決策支援，將防災應變流程化，做有效之動員處理。

對於現場工程師而言，災害最為重要的工作為「搶通>搶修>加固>復健」，搶通主要原因係因為要先讓搶修救災機具能夠更快速進入災區，以減少災區的人員傷亡。然而，在搶通過程中對於臨時建物的安全值並無法明確計算安全性及穩定性，但在時間的壓力下，必須在最短時間內將道路搶通，以提供救災人員或救援物資進入災區，因此在搶修的過程中，只要邊坡不在滑動或產生落石即可。搶通過程中大多數皆為臨時設施，因此需限制通過時的車速、載重，並適當進行管制，於必要時進行封路作業禁止人車通行。

美國於 1979 年成立之聯邦緊急事務管理總署(FEMA)，該單位負責研擬與推動災害應變計畫及輔導地方復建經費，雖然 FEMA 負責統籌全國災害防治與緊急應變工作，然而其公路系統防救災相關計畫與執行手冊之編撰則是由美國運輸交通研究委員會(TRB)進行規劃與執

行。TRB 資料庫現有自 1980 年至 1999 年與交通建設防災相關之研究報告共約 250 篇，其討論之範圍涵蓋防止邊坡滑動、防洪水以及防地震等。美國運輸研究委員會(Transportation Research Board, TRB)成立於 1974 年，是隸屬在美國國家研究會議(National Research Council)之下部門。該委員會是藉由研究，以及研究者與實務工作者間的交流，來促進運輸研究之創新與進步，並強調及鼓勵研究成果的落實。除了在美國國會及政府單位的要求下，主導運輸相關的特別研究外，並負責舉辦運輸年會。參加展示單位包括許多美國交通部的部門(FHWA Office of Safety R&D、NHTSA 等)、TRB、以及美國交通部的重要計畫與研發單位，例如：FHWA Exploratory Advanced Research (EAR) Program、FHWA Highways for Life、FHWA Office of Innovative Program Delivery (IPD)、美國國家駕駛模擬器(NADS)、McTrans Center 等。

TRB 目前正在積極進行 1 項多年期的 SHRP II 計畫(Strategic Highway Research Program II)，此計畫為應用研究型的計畫，目標包(1)進行對公路安全明顯改善的措施，(2)提供公路系統可靠的旅行時間，(3)提供可支援國家經濟、環境及社會目標的公路容量等。SHRP 的第 1 階段在 1987 年到 1993 年間進行，SHRP II 是採行類似的執行程序。

SHRP II 共有 5 個委員會：監督(Oversight)、容量(Capacity)、更新(Renewal)、可靠度(Reliability)及安全(Safety)。其中安全委員會共成立下列 4 個主要的技術專家團(Expert Task Group, ETG)來引導及監督 SHRP II 計畫，道路資訊擷取 ETG 為其中之一。SHRP II 中之安全委員會所監督執行的計畫主要有 12 項，其中多數為進行中及尚在規劃中的計畫。由這些計畫可窺見，透過各種車內、路側儀器設備，自動化紀錄駕駛者車內行為，結合路側資訊，並搭配資料分析計畫為近年及未來幾年內 TRB SHRP II 安全領域的發展重點。其中包涵：

1. 道路量測系統評估。
2. 道路資訊的擷取。
3. 道路資訊資料庫發展與技術整合，及行動資料蒐集計畫的品質確保。

在日本，其救災交通管理系統並非如同美國般設有專責之救災交通管理體系，日本的救災體系與我國相近，皆是設置防災會報，分為中央與地方二級，日本對於中央政府各部會所進行之防災科技研究課題涵蓋面很廣，其交通建設工程建設方面的防災計畫包含地文、地質、水文等天然環境特性，以及維生管線、防洪、防土石流設施等人為環境之特性皆納入資料庫，依其可能產生之災害給予不同之境況模擬，並評估其受損程度，進而據以研擬救災計畫，依此作業方式對於防災維生科技之推動、災害緊急應變對策之擬定以及災後重建之加速等，都有顯著之成效。

在國內以公路單位而言，交通部針對防救災系統規劃之研究自2001年起即委託財團法人臺灣營建研究院辦理「大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究(一)(二)」、「臺灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用(一)(二)」以及「山區道路邊坡崩塌防治工法最佳化研究」等研究計畫，在計畫中彙整了公路方面之防救災系統規劃，並且針對較具代表性之山區道路(臺9線、臺18線、臺21線以及國道3號)沿線進行相關資料蒐集與建置工作。

在公路易發生災害點之研究方面，農業委員會水土保持局亦針對治山防災工作，推動每四年為一期之防治措施相關績效與風險評估，曾委託辦理「治山防災績效及風險評估(87至89年度)」等工作，確實針對其績效與風險進行檢討與分析作業。行政院經濟建設委員會亦針對山區道路修建工程進行成本效益之分析，可作為山區道路修建工程之決策機制。上述計畫仍多以公路工程防救災之研究為主，目前各公路機關實際已運作之系統如交通部公路防救災資訊系統查詢、臺灣地區橋梁管理系統、國道高速公路-交通資訊系統等系統，仍多著重在「監測與養護」方面。

近年來國內各單位也陸續完成許多防救災應用系統，例如內政部、交通部、環保署、經濟部、農委會以及各縣市政府等單位，但是部分單位開發之系統(例如以消防體系為主之應用系統)，多著重在救人資源之掌握，尚未著重於公路系統之工程修建工作。

## 第十五章 結論與建議

臺灣橋梁面臨地震頻繁、老舊、每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等問題，使得橋基裸露，橋梁易受沖刷而導致損壞橋梁材料腐蝕劣化，在人為使用方面，亦有車輛超載問題。因此，橋梁耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮。而山區道路方面，以目前之科技，公路單位儘可能利用歷史災情統計預判可能致災點，並提前應變措施，惟仍有一定之風險值存在，又各地複雜之地質條件再加上氣候之急遽變遷下，並非可全然掌握山區道路何處會崩塌。本研究藉由資料蒐集與彙整分析、現地檢測作業問題與變異性分析、意見回饋等方式，探討國內目前橋梁檢測作業規定及執行面之困難與問題，提出借鏡國外經驗、國內橋梁檢測有效施行以及橋梁檢測評估與國內相關規範、資訊系統有效結合施行之具體建議，最後規劃橋梁風險評估之方向與議題，研究成果可以改善橋梁檢測作業，讓管理單位確實掌握橋梁狀況以便進行維護，達到延壽目的。在山區道路方面，除了彙整國內山區道路災害類型，並且分析國內山區道路各類型易致災路段之危害度分析與易致災性分析，規劃國內山區道路各類型易致災路段之監測系統、應變計畫，檢討道路快速搶險機制，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。期望透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。

### 15.1 結論

1. 國外橋檢作法在人員編制的部分，美日都有相關的規定，以落實檢測工作分工，也對不同職位的人員，有不同的資格要求限制，以確保檢測品質與結果的正確。未來可以借鏡美國的資格認證制度。
2. 國內橋檢人員資格標準與專業認證制度有待落實。
3. 檢測項目僅對橋梁本體評估，並無包括外部危害因素考量，橋梁仍有損傷風險。

4. 一縣多治或偏遠地方，橋梁檢測品質良莠不一。
5. 本研究配合邏輯斯迴歸評估模式，採用三種不同方式選取事件資料。將分析結果中驗證資料的預測崩塌機率以 10% 為界進行分組，並與實際崩塌資料繪圖比較。選取最能表現機率趨勢的方法，作為危害度及易致災性的模式。結果顯示可適切的表現各目標降雨量下之易致災性。
6. 評估結果運用了地理資訊軟體繪製危害度與易致災性分布圖，取其中高危害度與高易致災性路段分布與歷史災害事件發生頻率較高處比對，結果大致吻合。顯示本模式對於危險路段判定有一定可靠性。然而部份相異之處，推估原因可能是目前所使用之致災性因子，對於地層結構之致災性因子考量較少(並未考慮道路邊坡之向斜層與背斜層等)。
7. 針對邏輯斯迴歸結果中高易致災性路段規劃設置監測系統，結合沿線雨量站觀測之降雨量歷時資料，將可做為擬定監測預警系統之降雨量管理標準。
8. 本研究建議之災害應變計畫單位分工表，將可作為公路部門與業務單位在行政管理與救災搶險上應變標準作業程序之參考，有效達成快速應變與防救災機制完善的目標。

## 15.2 建議

1. 推行橋檢人員資格認證制度，以確保橋檢結果正確性。
2. 在人力有限之情況下，確保橋檢人員資格素質；招標契約中明訂承包商檢測人員資格，特別是受訓時數及檢測經驗實績；另針對橋管單位之相關人員提供在職訓練，提升專業與技術能力。
3. 建議橋梁初始檢測愈早愈好。
4. 各地複雜之地質條件再加上氣候之急遽變遷下，並非可全然掌握山區道路何處會崩塌，或是不會崩塌。公路單位為積極保全用路人，

建議未來可以風險管理概念評估選出致災風險較大之山區道路及降雨因素作為重點監控路段及觀測指標。

5. 山區道路的長期道路災害資料庫與雨量歷時資料庫需要每年度持續進行資料的建置與更新，建議此類型調查與評估計畫能持續進行，尤其對於各路線道路災害潛勢因子因其所處條件的不同，亦應進行詳細評估，此外對於其他重要道路的評估，如省道臺 7、臺 8、臺 9、臺 20、臺 21 南端、臺 27、臺 28 等路線實有必要比照辦理調查與評估。
6. 以目前現階段的評估成果，對於降雨量較小的颱風、豪雨災害事件的量體以及崩塌的降雨量進行更進一步的評估，以提高整體評估系統之可信度與準確性。
7. 規劃中之監測系統除了以降雨量作為管理值的參考標準，土壤含水量的資料對於土壤排水能力、有效承载力以及土壤自重等邊坡災害相關係數有直接關係，亦建議納入管理值的參考項目。

本期研究成果與效益有：1.本研究成果可以讓管理單位經由維護管理前端工作-檢測作業開始，確實掌握橋梁狀況與各項性能，了解可能風險，包括災損可能性與嚴重性，據以掌握轄區內之關鍵橋梁以及各橋梁之關鍵構件，將有限經費有效用於加強重點維護管理工作，控制橋梁災損風險，達到維護甚至延長橋梁壽齡之目的。2.透過管理模式的建立，可以有效瞭解易致災路段之災害潛勢，作為道路管理機關維護管理之參考依據。3.了瞭解山區道路對風險程度外，對於整體山區道路搶救災的整體應變計畫有所瞭解與提出改善建議，做為公路管理機關應變之用。4.本計畫之執行經驗及成果可做為本所後續相關研究之基礎。

## 參考文獻

1. Alberta Infrastructure and Transportation, Bridge Inspection Manual(BIM) Inspection Manual-Level 2, version 1, Edmonton, AB, Canada, 2004.
2. Alberta Infrastructure and Transportation , Bridge Inspection Manual(BIM) Inspection Manual, version 3, Edmonton, AB, Canada, 2005.
3. BRIME, Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects, Bridge Management in Europe, 1999.
4. FHWA, Bridge Inspector' s Reference Manual, FHWA Report NHI 03-001, Federal Highway Administration, Washington,D.C., 2002.
5. German Federal Department of Transportation, Construction, and Housing, Guideline for the Structural Design and Equipment of Bridges for Monitoring, Inspection and Maintenance, Berlin, 1997.
6. Norwegian Public Roads Administration, Handbook for Bridge Inspections, Oslo, 2001.
7. Danish National Road Directorate, Inspection of Bridges, Copenhagen, Denmark, 1994.
8. AASHTO, Manual for Condition Evaluation of Bridges, 2nd ed., American Association of State Highway and Transportation Officials,

Washington, D.C., 1994, as amended by 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2008 and 2010 interim revisions.

9. AASHTO, Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2003.
10. Ontario Ministry of Transportation, Ontario Structure Inspection Manual (OSIM), Toronto, ON, Canada, 2000.
11. FHWA, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, Report FHWAPD-96-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1996.
12. Abteilung Strassenbau, Recording and Assessment of Damages, Preservation and Maintenance, Guideline RI-EBW-PRÜF, Strassenverkehr, Dortmund, Germany, 2004.
13. Abteilung Strassenbau, Structure Inventory, Strassenverkehr, Dortmund, Germany, 2004.
14. 中華人民共和國交通部，公路橋涵養護規範，2004。
15. 劉效堯、蔡鍵、劉暉，橋梁損傷診斷，人民交通出版社，2002。
16. 陳永銘、許阿明，臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度，臺灣公路工程，第34卷第10期，民國97年10月。
17. TRB，NCHRP Synthesis 375 - Bridge Inspection Practices, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.

18. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書股份有限公司，民國 89 年。
19. AASHTO, Guide for Commonly Recognized(CoRe) Structural Elements, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1997 with 2002 Interim's.
20. AASHTO, Bridge Element Inspection Guide Manual, 1st Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.
21. 日本道路公團，道路構造物点檢要領(案)，2003。
22. 國土交通省，橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)，2003。
23. 國土交通省，橋梁定期点檢要領(案)，2004。
24. 國土交通省，PCT 桁橋の間詰めコンクリート点檢要領(案)，2003。
25. 交通技術標準規範公路類公路工程局，公路養護手冊，民國 92 年 3 月。
26. 臺灣鐵路管理局，橋梁檢查及評估手冊，民國 88 年 6 月。
27. 交通部，鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範，交通技術標準規範鐵路類工務部，民國 99 年 12 月。
28. 國立中央大學橋梁中心，橋梁目視檢測評估手冊(草案)之研擬，交通部運輸研究所，民國 99 年 12 月。
29. 交通部運輸研究所，臺灣地區橋梁管理資訊系統 (<http://bms.iot.gov.tw/bms2/>)，民國 100 年 7 月。

30. JCI committee, Inspection Technology of Concrete, Japan Concrete Institute, 03,(Vol.of fundamental), 2003.
31. Lin, J.M., and Sansalone, M., Impact-Echo Response of Hollow Cylindrical Concrete Structures Surrounded by Rock, Part II - Experimental studies, ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 17, No. 2,June, pp. 220-226, 1994.
32. Bakht, B. and Jaeger, L.G., Bridge Testing - a Surprise Every Time, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.116, No.5, May, 1990.
33. Highway Agency, SETRA, TRL, LCPC, Post-Tensioned Concrete Bridges, Thomas Telford Publishing, London, 1999.
34. ASTM C 1383, Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method , Annual Book of ASTM Standards , Vol.04.02, 1998.
35. Florida Department of Transportation Central Structures Office, Test and Assessment of NDT Methods for Post-Tensioning Systems in Segmental Balanced Cantilever Concrete Bridges, State of Florida Department of Transportation, 2003.
36. Cheng, C. and Sansalone, M., Determining the Minimum Crack Width That Can Be Detected Using the Impact-Echo Method- Part II: Numerical Fracture Analyses, RILEM: Material and Structures, Vol. 28, pp. 125-132, 1995.
37. Lin, Y., and Su, W.C., Use of Stress Waves for Determining the Depth of Surface-Opening Cracks in Concrete Structures ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 5, pp. 494-505, 1996.

38. Gupta, S., Itoh, Y., and Niwa, J.-I., An Objected-Oriented Diagnostic System for Prestressed Concrete Bridges, *Microcomputers in Civil Engineering*, vol. 9, 1994.
39. Brito, J.D., Branco, F.A., Ibañez, M., A Knowledge-Based Concrete Bridge Inspection System, *Concrete International*, Feb. 1994.
40. 徐耀賜，公路橋梁之養護與維修(V.1~V.3)，大學圖書供應社，民國85年。
41. 李有豐、謝尚賢、王隆昌、陳清泉、詹麒璋、鄭育祥、常斐春，建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)，交通部運輸研究所，民國91年1月。
42. 溫國維，斜張橋目視檢測評估標準之建立，國立中央大學碩士論文，民國94年7月。
43. 廖家禎，拱橋與 $\pi$ 型橋目視檢測評估方法之研究，國立中央大學碩士論文，民國97年7月。
44. 陳冠伶，長橋目視檢測評估方法之研究，國立中央大學碩士論文，民國95年7月。
45. 國立中央大學，臺灣地區橋梁管理資訊系統橋梁資料查核計畫，交通部運研所，民國99年。
46. 楊振翰，臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究，國立中央大學碩士論文，民國94年7月。
47. 交通部，公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範，交通技術標準規範公路類公路工程部，民國97年12月。

48. 國立中央大學，縣市政府老舊橋梁改善可行性評估，交通部運研所，民國 97 年 8 月。
49. 國立中央大學，橋梁重要程度等級之建立，交通部公路總局，民國 93 年 3 月。
50. 國立中央大學，都市計畫區內橋梁檢測、監測、維修及管理計畫，內政部營建署，民國 94 年 12 月。
51. 中國土木水利工程學會，橋梁檢測方法與應用，科技圖書，民國 99 年。
52. 張國鎮、蔡益超、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、洪曉慧、劉光晏、吳弘明、戚樹人、陳彥豪，公路橋梁耐震評估及補強準則之研究，交通部公路總局，民國 98 年。
53. 國立臺灣科技大學生態與防災工程研究中心，跨河橋梁安全預警系統之建立研究及整合作業，交通部運研所，民國 99 年 12 月。
54. 中華顧問工程司，跨河橋梁安全預警系統之建立研究-訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究，交通部運研所，民國 100 年 6 月。
55. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，公路橋梁地震早期損失評估之資料庫建制與模組開發之研究，交通部公路總局，民國 99 年 12 月。
56. 國立中央大學橋梁工程研究中心，非破壞性橋梁結構安全檢測專案-期中報告，臺灣省交通處公路局，民國 85 年 1 月。
57. 林主潔，非破壞性檢測之新技術及應用，臺灣營建研究院，民國 90 年。

58. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書股份有限公司，民國 89 年。
59. 李有豐、蔡益超、張國鎮、宋裕祺、彭康瑜、劉光晏、羅馨宜，橋梁功能評估及方法建立(承載能力分析評估及耐震能力評估)，交通部臺灣區國道高速公路局，民國 93 年。
60. 薛強，地震工程性能設計法之應用(一)—單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計，財團法人中興工程顧問社專案研究報告 R-ST-02-06，民國 91 年 8 月。
61. 中興工程顧問公司，橋墩沖刷計算模式之建立研究，交通部運輸研究所，民國 98 年。
62. Melville, B.W., and Coleman, S.E., Bridge Scour, Water Resources Publications, 2000.
63. 蔡益超，橋梁耐洪能力評估，中華技術，2006 年 7 月。
64. 盧恭君、林裕家、羅俊雄，為結構物把脈·無線感應器佳-無線感應器於結構物健康、損壞識別與結構物控制之應用，中國土木水利工程學會會刊，34(3)，第 19-29 頁，民國 96 年。
65. 張國鎮、林詠彬、李政寬、陳俊仲、王柄雄、李路生，光纖與無線感測網路技術於結構之安全監測，第五屆公共工程非破壞檢測技術研討會，民國 96 年。
66. 楊國湘、鄧智豪，夾式位移計用於預力混凝土橋梁健康監測之研究，第五屆公共工程非破壞檢測技術研討會，民國 96 年。
67. 陳威廷，生命週期導向橋梁評估系統之研究，國立中央大學碩士論文，民國 93 年 7 月。

68. 黃榮堯、許鎧麟，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立，交通部科技顧問室，民國 93 年。
69. 許鎧麟、黃榮堯、林主潔、彭康瑜、羅天健、何鴻文、葉韓生、簡臣佑、陳屏甫、許文政，生命週期成本導向之橋梁設計研究(2/2)，交通部科技顧問室，民國 93 年。
70. 財團法人臺灣營建研究院，高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託研究計畫，交通部臺灣區國道高速公路局，民國 93 年。
71. 國立中央大學，縣市政府老舊及受損橋梁整建計畫(二)-期末報告，交通部運輸研究所，民國 98 年。
72. 交通部運研所，RC 橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測之研究，民國 99 年。
73. Sung, Y.C., Su, C.K., Tsai, I.C., and Chang, D.W., Optimal Strategy of Seismic Retrofitting for Deteriorated Reinforced Concrete Bridges, International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan, September 17~21, 2009.
74. Bridge Management System, Pontis Software Update [http://www.ltrc.lsu.edu/ltrc\\_11/pdf/BMS%20Pontis%20Update.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/ltrc_11/pdf/BMS%20Pontis%20Update.pdf)
75. 交通部，臺灣地區橋梁管理資訊系統—公路總局使用者手冊，民國 97 年。
76. 林安彥，高速公路橋梁管理系統，土木工程技術，第 2 卷，第 2 期，第 97-110 頁，民國 87 年。
77. 工研院材料所，基隆港西岸高架橋檢測資料光碟系統操作手冊，臺灣省交通處基隆港務局，民國 84 年 12 月。

78. 工研院材料所，基隆港西岸高架橋管理資訊系統使用手冊，臺灣省交通處基隆港務局，民國 87 年 6 月。
79. 李有豐、謝尚賢、林永信，網路層級之橋梁管理系統開發與研究，土木技術，第 12 期，第 119-132 頁，民國 88 年。
80. 林永信，含非破壞性檢測模組之橋梁管理系統，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 87 年。
81. 陳瑞霽，公路鋼筋混凝土橋梁檢測評估系統初步研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 86 年。
82. 廖先格，橋梁目視檢測自動化系統之研究，國立中央大學營建管理研究所碩士論文，民國 94 年 7 月。
83. 王詠民，橋梁檢測評估專家系統之研究，國立臺灣工業技術學院營建工程技術研究所碩士論文，民國 86 年。
84. 柯天祥，知識庫專家系統於橋梁目視檢測之應用，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 89 年。
85. 饒珉菘，PDA 無線模組應用於橋梁檢測之研究，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 91 年。
86. 延允中，橋梁維護管理機制、成效查核與經費編列探討-以公路總局為例，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 93 年。
87. 交通部臺灣區國道高速公路局，高速公路養護手冊，民國 100 年 2 月。
88. 交通部臺灣區國道高速公路局，交通部臺灣區國道高速公路局橋梁檢測作業要點，民國 90 年 5 月。

89. 交通技術標準規範鐵路類工務部，1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範，民國 86 年 12 月。
90. Ang, A.H.S. and Tang, W.H., Probability Concepts in Engineering: Emphasis on Applications to Civil and Environmental Engineering, 2nd Edition, Wiley, John & Sons, ISBN 978-0-471-72064-5, 2007.
91. 行政院研究發展考核委員會，行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準，民國 97 年。
92. 劉明怡、薛強，大壩風險評估程序之探討，中興工程，第 93 期，pp.11-18，2006 年 10 月。
93. 交通部運輸研究所，99 年度橋梁維護管理訓練講習訓練教材，民國 99 年。
94. Chambers, R. (2006). Vulnerability, Coping and Policy. IDS bulletin, 37 (4), 33-40.
95. Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to Environmental Hazards. Progress in Human Geography, 20 (4), 529-539.
96. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. Social Science Quarterly, 84 (2), 242-260.
97. IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. v. d. Linden & C. E. Hanson (Eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

98. Morgan, G.C., Rawlings, G.E. and Sobkowicz, J.C. 1992 “Evaluating total risk to communities from large debris flows” , In Geotechnique and natural hazards, pp.225-236.
99. Page M. J., N. A. Trustrum, J. R. Dymond (1994) Sediment budget to assess the geomorphic effect of a cyclonic storm, New Zealand. Geomorphology 9: 169-188.
100. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (2001), USBR, “ Design standards No.13 Embankment Dams”
101. USBR, 1987 - Design of Small Dams, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington, D. C., 1987.
102. 江山宏 (2005) , 「九九峰崩塌地變遷監測之研究」 , 明道管理學院環境規劃暨設計研究所碩士論文。
103. 交通部(2009) , 「公路路線設計規範」 , 2009年修訂完整版。
104. 吳從龍(2009) , 山區道路邊坡崩塌潛勢之研究 , 逢甲大學運輸科技與管理學系碩士在職專班碩士論文。
105. 吳淵洵、周南山(2006) , 「臺灣山區道路邊坡災害及搶修處理工法之探討」 , 臺灣公路工程 , 第32卷 , 第12期 , 第2-32頁。
106. 吳傳威、范正成、鄭大偉、吳銘塘、陳嘉明、王玉瑞、翁祖炘、歐辰雄(1999) , 「臺灣區道路落石坍方危險度資訊系統建構(二)」 , 交通部科技顧問室。
107. 吳久雄、蔡銖華、胡錦地(1989) , 「臺灣省山坡地崩坍調查報告」 , 臺灣省水土保持局 , 139頁。
108. 吳臻燾(2005) , 「利用現地監測驗證國道礫石土邊坡土釘工法之研究」 , 朝陽科技大學營建工程系碩士論文。
109. 何春蓀(1975) , 「臺灣地質概論」 , 經濟部中央地調所 , 53-57頁。

- 110.李豐博、饒正、鄭明淵、蔡明修、吳育偉、張于漢(2009)，「公路防救災決策支援系統建立之研究(2/4)」，交通部運輸研究所研究計畫報告。
- 111.林孟龍、林俊全(1998)，「蘭陽溪上游集水區(家源橋以上)崩山之規模與頻率分布關係」，臺灣之第四紀第七次研討會論文集，34-38頁。
- 112.周彥士(2006)，「山區道路破壞模式與復建工法研究-以桃園縣鄉道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
- 113.周南山、吳淵洵、陳海島，「臺灣地區山區道路規劃與設計參考手冊之研究」，堅尼士工程顧問公司，行政院公共工程委員會委託研究報告，臺北，2006。
- 114.陳幸欣(2005)，「地理資訊系統應用於大甲溪事業區森林火災危險度製圖」，國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- 115.陳建忠、洪鴻智(2005)，「桃園縣龍潭石門地區都市防災空間系統示範計畫」，內政部建築研究所研究計畫報告。
- 116.陳禹銘、許秋玲、樊國恕(2009)，「我國複合災害風險系統架構之探討」，Journal of Crisis Management. 2009 Vol. 6 No. 2。
- 117.陳冠華(2010)，「AHP 應用於山區道路邊坡生態工法之評估」，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。
- 118.郭彥廉、蕭代基(2009)，「天然災害脆弱性與社經脆弱性因子介紹」，國研科技。
- 119.倪柏寧(2009)，「土砂災害潛勢區風險評估模式之建置」，長榮大學土地管理與開發學系碩士論文。
- 120.張石角(1992)，「臺灣各地質分區邊坡崩坍類型及其預測方法(一)-技術轉移講習班講義」，臺灣大學地理系，49-111 頁。

- 121.張政亮(2004)，「地理資訊系統應用於蘭陽地區環境地質災害分佈之調查分析」，蘭陽溪生命史—「宜蘭研究」第五屆學術研討會論文集。宜蘭文獻叢刊 22: 73-108。
- 122.張石角(2004)，「太魯閣國家公園大同、大禮聯外交通設施工程之工程地形和地質之調查分析與可行性評估」，太魯閣國家公園管理處，98 頁。
- 123.國立成功大學防災研究中心(1998)，「地質危險區公路及河川橋樑之維護管理與防救災對策之研擬-以台十一線及台二十一線為例期末研究報告」，臺灣省交通處公路局。
- 124.國家災害科技中心(2010)，「易致災區域脆弱性因子調查分析」，成果發表會論文集。
- 125.黃漢淨(2006)，「德基水庫集水區崩塌地潛感分布與林地使用衝突之研究」，國立屏東科技大學森林系研究所碩士論文。
- 126.黃靖柏(2008)，「運用地理資訊系統結合邏輯斯迴歸進行崩塌潛勢之評估」，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士論文。
- 127.黃安斌、林志平、董家鈞、廖志中、潘以文(2003)，「道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定」，91 年度防救災專案計畫成果研討會，臺北。
- 128.廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂、李三畏、劉桓吉、吳啟瑞、魏佳韻、游行健(2003)，「臺灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用」，交通部。
- 129.潘國樑(2009)，「遙測學大綱—遙測概念、原理與影像判釋技術」，科技圖書股份有限公司。
- 130.潘國樑(2007)，「山坡地的地質分析與有效防災」，科技圖書，臺北。

- 131.劉盈劭(2001)，「地形敏感性的比較研究-以陳有蘭溪北段小支流為例」，師大地理所碩士論文，138 頁。
- 132.劉名翔（2010），「利用監督式分類並配合 NDVI 指標進行植生分佈探討—以南投縣竹山鎮林境為例」，朝陽科技大學營建工程系研究所碩士論文。
- 133.蕭國鑫、尹承遠、劉進金、遊明芳、王晉倫（2003），「SPOT 影像與航照資料應用於崩塌地辨識之探討」，航測與遙測學刊 8(4)：29-42。
- 134.簡碧梧(1995)，「臺灣的崩塌地災害」，工程環境會刊 6: 23-47。
- 135.張道光、蘇仁輝、李維峰、連惠邦、林秉賢、王昭雯(2011)，「山區道路坡地災害防治技術整合研究(4/4)」期末報告，交通部運輸研究所。
- 136.饒正、林雅雯、洪本善、李樹莊、李秉乾、周天穎、蕭泰中、方耀民（2008），「全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)」，交通部運輸研究所。

## 附錄一

# 橋梁維護管理作業評鑑方式

## 97 年度橋梁維護管理作業評鑑方式-交通部部屬機關

### 壹、橋梁管理系統使用情形(此項目總分 20 分)

#### 1. 橋梁管理系統中，橋梁基本資料之完整性 10 分

- ✓已填欄位/應填欄位×10。
- ✓非河川橋梁或無計畫堤防之河川橋梁，其計畫洪水位、堤防法線長度、計畫堤頂高程、計畫河床高程等欄位可填入『無』值。
- ✓非應填欄位規定如備註。
- ✓97 年度(含)之前完工新橋列入計算範圍，運研所會發送新橋清單請各單位確認並回報該清單，未於規定日期前回報清單者，則以原始清單之橋梁數量進行統計。

#### 2. 97 年度密碼更新次數 2 分

- ✓密碼更新次數：每半年更新 1 次得 1 分，超過仍以 1 分計。
- ✓密碼與帳號相同者不計分。

#### 3. 97 年度橋梁資料新增筆數 8 分

- ✓包含基本資料、檢測及維修資料。
- ✓新增筆數/(所轄橋梁數+跨河橋梁數)×8，超過 8 分者以 8 分計。

### 貳、橋梁維護管理作業(此項目總分 80 分)

#### 1. 工程處或局本部自評 12 分

#### 2. 橋梁維護管理業務承辦人 97 年度是否曾參加相關訓練或研討會 8 分

✓每人日 2 分，主辦單位不拘。

✓需填列姓名及所參加之相關訓練或研討會送運研所備查。

3.檢測作業 30 分

✓97 年度已檢測橋梁數/97 年度應檢測橋梁數(或 97 年度已檢測橋面版面積/97 年度應檢測橋面版面積，擇其大者)×30，以 97.12.31 系統資料為準。

4.維修作業 30 分

✓97 年度已維修構件數/97 年度應維修構件數×30，以 97.12.31 系統資料為準。

✓「應維修構件」定義為：該構件之  $D \geq 3$  且  $R \geq 3$  者。

✓應維修構件將以不含當年之前 3 年檢測紀錄為計算基礎，即 97 年評鑑係以 94.1.1~96.12.31 止檢測結果所得之應維修構件計算。

✓已維修構件定義：達到應維修標準之構件，於日常維修或定期維修紀錄中填寫該應維修構件之維修資料，且其維修日期於 94.1.1 之後，即認定該構件為已維修構件。

5.交通部或運研所不定期抽查(扣分項) 上限 20 分

✓基本資料錯誤，每座橋扣 0.5 分。

✓檢測資料填寫不實，每座橋扣 0.5 分。

✓維修資料填寫不實，每座橋扣 0.5 分。

✓代管養橋梁未確實通報移轉，每座橋扣 0.5 分。

✓經檢測具「應維修構件」(定義同第 4 項)之橋梁，其檢測紀錄應附檢測相片，未檢附照片者每座橋扣 0.5 分。

✓「96 年度『臺灣地區橋梁管理資訊系統』資料檢核計畫」完整性檢核未達 100%之工務段，未於 97.5.31 前全數完成者，扣 5 分。

✓定期檢測資料中若有  $D \geq 3$  之檢測項目而無建議維修工法者每檢測項目扣 0.5 分。(例如 A 橋今年之定期檢測表中『8.磨擦層』之  $D=3$ 、S01 之『18.主構件』 $D=4$ ，其餘構件  $D$  均為 1，則在建議維修工法中至少要有 2 筆資料。)

✓其他經交通部或運研所認定之重大違失。

6.新版橋梁管理系統(含 PDA 版)使用測試(加分項) 上限 5 分

✓測試期間自新版系統教育訓練完成後至 97.12.31 止。

✓提出程式錯誤(bug)，或提出系統功能建議經採用者，每個錯誤或建議得 0.5 分。

✓應於新版系統中指定留言處提出，以為佐證。

✓所提出之錯誤或建議重複者，由最先提出者得分。

✓加分後之總分不得超過 100 分。

## 97 年度橋梁維護管理作業評鑑方式-縣市政府

### 壹、橋梁管理系統使用情形(此項目總分 32 分)

#### 1. 橋梁管理系統中，橋梁基本資料之完整性 20 分

- ✓ 已填欄位/應填欄位 $\times 20$ 。
- ✓ 非河川橋梁或無計畫堤防之河川橋梁，計畫洪水位、堤防法線長度、計畫堤頂高程、計畫河床高程等欄位可填入『無』值。
- ✓ 依據「96 年度『臺灣地區橋梁管理資訊系統』資料檢核計畫」完整性檢核結果，應補登入系統之橋梁將納入計算。運研所會發送完整性檢核結果清單請各單位確認並回報該清單，未於 97 年 11 月 30 日前回報清單者，則以原始清單之橋梁數量進行統計。

#### 2. 97 年度密碼更新次數 2 分

- ✓ 密碼更新次數：每半年更新 1 次得 1 分，超過仍以 1 分計。
- ✓ 密碼與帳號相同者不計分。

#### 3. 97 年度橋梁資料新增筆數 10 分

- ✓ 包含基本資料、檢測及維修資料。
- ✓ 新增筆數/所轄橋梁數 $\times 10$ ，超過 10 分者以 10 分計。

### 貳、橋梁維護管理作業(此項目總分 68 分)

#### 1. 內政部營建署綜評 8 分

#### 2. 橋梁維護管理業務承辦人 97 年度是否曾參加相關訓練或研討會 6 分

- ✓ 每人日 2 分，主辦單位不拘。

✓需填列姓名及所參加之相關訓練或研討會送運研所備查。

3. 檢測作業 26 分

✓97 年度已檢測橋梁數/97 年度應檢測橋梁數(或 97 年度已檢測橋面版面積/97 年度應檢測橋面版面積，擇其大者)×26，以 97.12.31 系統資料為準。

4. 維修作業 26 分

✓97 年度已維修橋梁數/97 年度應維修橋梁數×26，以 97.12.31 系統資料為準。

✓「應維修橋梁」定義為：檢測維修構件之  $D \geq 3$  且  $R \geq 3$  者。

✓應維修橋梁將以不含當年之前 3 年檢測紀錄為計算基礎，即 97 年評鑑係以 94.1.1~96.12.31 止檢測結果所得之應維修橋梁計算。

✓已維修橋梁定義：達到應維修標準之橋梁，於日常維修或定期維修紀錄中填寫任一該應維修構件之維修資料，且其維修日期於 94.1.1 之後，即認定該座橋為已維修橋梁。

5. 請提出府內(含鄉鎮市公所)97 年度橋梁維護管理實際執行經費總金額 2 分

✓單位為萬元。

✓檢測、維修、修建、改建均可，惟新建不得計入。

✓未提出或執行經費總金額為 0 者不給分。

6. 未回報「96 年度『臺灣地區橋梁管理資訊系統』資料檢核計畫」完整性檢核結果清查資料(扣分項) -2 分

✓未於 97.11.30 前回報扣 1 分。

✓回報資料不完整扣 1 分，未於 97.11.30 前回報者視為不完整。

7. 新版橋梁管理系統(含 PDA 版)使用測試 (加分項) 上限 5 分

- ✓測試期間自新版系統教育訓練完成後至 97.12.31 止。
- ✓提出程式錯誤(bug)，或提出系統功能建議經採用者，每個錯誤或建議(兩者皆應於新版系統中指定留言處提出，以為佐證)得 0.5 分。
- ✓所提出之錯誤或建議重複者，由最先提出者得分。
- ✓加分後之總分不得超過 100 分。

備註：

1. 本評鑑標的如下：交通部公路總局、高速公路局及縣市政府為 6 公尺(含)以上之正常使用中橋梁；交通部臺灣鐵路管理局則為 6 公尺(含)以上營運中之橋梁、箱涵、涵洞。
2. 基本資料運研所將洽工程會索取歷年新建橋梁發包決標資料進行比對，並據以計算應填欄位。
3. 所稱「應檢測橋梁」交通部屬機關以 1 年至少(含)檢測 1 次，縣市政府以 2 年檢測 1 次為基本頻率，若管理單位自訂檢測規則內有頻率規定或另訂有檢測計畫(不得超過 2 年)，則可從其規定，惟請先行知會運研所。
4. 交通部屬機關以工務段為最基層比較單位。
5. 交通部屬機關與縣市政府分別評鑑及排名。
6. 民國 90 以前完工橋梁，高速公路局及公路總局非應填欄位：竣工月、造價、合約編號、設計單位、施工單位、參考地標、最近一次維修年、最近一次維修月、備註、橋梁出水高、河川管理單位。
7. 民國 90 以前完工橋梁，臺鐵非應填欄位：竣工月、造價、合約編號、設計單位、施工單位、參考地標(2 欄)、每日通過噸數、最近一次維修年、最近一次維修月、備註、橋梁出水高、河川管理單位。
8. 民國 90 以前完工橋梁，縣市政府非應填欄位：竣工月、造價、合約編號、設計單位、施工單位、參考地標、最近一次維修年、最近一次維修月、竣工圖說保存地點、備註、橋梁出水高、河川管理單位。

9. 民國 90 以後完工橋梁，交通部屬機關與縣市政府非應填欄位：合約編號、參考地標、每日通過噸數(臺鐵)、最近一次維修年、最近一次維修月、備註、橋梁出水高、河川管理單位。

## 100 年度橋梁維護管理作業評鑑方式－縣市政府

### 壹、橋梁管理系統使用情形

#### 一、基本項目(總分 20 分)

##### 1. 橋梁管理系統中，橋梁基本資料之完整性 10 分

✓已填欄位/應填欄位×10。

✓非跨河橋梁，河川資料(跨越河川類別、河川管理單位、河川名稱、上游 500 公尺構造物、下游 500 公尺構造物、上游最近水位站、計畫洪水位、計畫河寬、計畫堤頂高程、計畫河床高程、設計橋梁出水高)不需填寫。

✓民國 90 年以後完工且有計畫堤防之河川橋梁，其計畫洪水位、堤防法線長度、計畫堤頂高程、計畫河床高程等欄位不可為『無』值。

##### 2. 100 年度橋梁資料新增筆數 2 分

✓包含基本資料、檢測(含定期檢測、特別檢測、巡查、河床斷面高程測量)及維修資料。

✓新增筆數/所轄橋梁數×10，超過 10 分者以 10 分計。

#### 二、加分項目(上限 15 分，加分後之總分不得超過 100 分)

##### 1. 將河川橋之現地量測資料(含橋墩/台最低支承底部高程、橋墩/台基礎頂部高程、基礎深度(公尺)、河床/地面高程)登入橋梁管理資訊系統(加分項) 上限 10 分

✓100 年度登入者始得計分。

✓必須完整登入始得加分，即同一橋梁須『所有橋墩/台最低支承底部高程』、『所有橋墩/台基礎頂部高程』、『所有橋墩基礎深度』或『所有河床斷面高程測量』完整輸入。

✓1 座橋加 1 分。

2. 新增（補正）尚未登入系統之橋梁 上限 5 分

✓100 年度新增（補正）者始得計分。

✓1 座橋加 0.5 分。

貳、橋梁維護管理作業(此項目總分 65 分)

1. 橋梁維護管理業務承辦人 100 年度是否曾參加相關訓練或研討會 6 分

✓每人日 2 分，主辦單位不拘。

✓需填列姓名及所參加之相關訓練或研討會送運研所備查。

2. 檢測作業 25 分

✓100 年度已檢測橋梁數/100 年度應檢測橋梁數（或 100 年度已檢測橋面版面積/100 年度應檢測橋面版面積，擇其大者） $\times 25$ ，以 100.12.31 系統資料為準。

3. 維修作業 30 分

✓100 年度已維修橋梁數/100 年度應維修橋梁數，以 100.12.31 系統資料為準。

- 維修比率在 1%~20%，5 分
- 維修比率在 21%~40%，10 分
- 維修比率在 41%~60%，15 分
- 維修比率在 61%~80%，20 分
- 維修比率在 81%以上，25 分

✓「應維修橋梁」定義為：檢測維修構件之  $D \geq 3$  且  $R \geq 3$  者。

✓應維修橋梁將以不含當年之前 3 年檢測紀錄為計算基礎，即 100 年評鑑係以 97.1.1~99.12.31 止檢測結果所得之應維修橋梁計算。

- ✓已維修橋梁定義：達到應維修標準之橋梁，於日常維修或定期維修紀錄中填寫任一構件之維修資料，且其維修開工日期於 97.1.1 之後，即認定該座橋為已維修橋梁。

4. 府內（含鄉鎮市公所）100 年度橋梁維護管理實際執行經費總金額  
4 分

- ✓單位為萬元。
- ✓檢測、維修、修建、改建均可，惟新建不得計入。
- ✓未提出或執行經費總金額為 0 者不給分。
- ✓中央政府補助款及府內自籌款請分別列出，未分別列出者扣 2 分。
- ✓參、專家學者綜合評分(此項目總分 15 分)
- ✓由運研所邀請專家學者依據各縣市政府之管轄橋數、投入經費、橋梁維護管理作為（含特別檢測次數）、自辦相關訓練講習及實際成效等，綜合評分。

備註：

1. 本評鑑標的為 6 公尺（含）以上之正常使用中橋梁，即使用狀態為『正常使用』及設施種類為『橋梁』。
2. 所稱「跨河橋梁」不含跨大排、排水溝之橋梁。
3. 所稱「應檢測橋梁」縣市政府以 2 年檢測 1 次為基本頻率，橋梁跨徑超過 150 公尺或特殊類型橋梁，如斜張橋、 $\pi$  型橋或鋼拱橋等，每年應檢測 1 次，若管理單位自訂檢測規則內有頻率規定或另訂有檢測計畫（頻率不得超過 2 年），則可從其規定，惟請先行知會運研所。
4. 民國 90 以前完工橋梁，縣市政府非應填欄位：竣工月、最近一次維修年、最近一次維修月、造價、合約編號、起始橋墩編號 P、交流/匝道、匝道編號、設計單位、監造單位、施工單位、竣工圖說保存地點、參考地標、特殊結構資料\*、年平均每日交通量、備註。

5. 民國 90 以後完工橋梁，縣市政府非應填欄位：最近一次維修年、最近一次維修月、合約編號、起始橋墩編號 P、交流/匝道、匝道編號、參考地標、特殊結構資料\*、年平均每日交通量、備註。

\*橋塔材質、橋塔型式、主纜索型式、吊索型式、吊索佈置型式、索面系統型式、索面佈置型式、拱上結構形式、橋面版位置、拱圈材質、橫桿材質、吊材材質、立柱材質、鋼纜型式、錨定裝置

## 附錄二

臺 18 線、臺 21 線易致災性分布  
(以 718 豪雨為例)

## 臺 18 線、臺 21 線易致災性分布

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.0K	R	中	中	高	0.0K	L	中	中	高
0.5K	R	中	中	高	0.5K	L	低	低	低
1.0K	R	低	低	低	1.0K	L	低	低	低
1.5K	R	低	低	低	1.5K	L	低	低	低
2.0K	R	低	低	低	2.0K	L	低	低	低
2.5K	R	低	低	低	2.5K	L	低	低	低
3.0K	R	中	中	高	3.0K	L	中	中	高
3.5K	R	低	低	低	3.5K	L	低	低	低
4.0K	R	低	低	低	4.0K	L	低	低	低
4.5K	R	低	低	低	4.5K	L	低	低	低
5.0K	R	低	低	低	5.0K	L	低	低	低
5.5K	R	低	低	低	5.5K	L	低	低	低
6.0K	R	低	低	低	6.0K	L	低	低	低
6.5K	R	低	低	低	6.5K	L	低	低	低
7.0K	R	低	低	低	7.0K	L	低	低	低
7.5K	R	低	低	低	7.5K	L	低	低	低
8.0K	R	低	低	低	8.0K	L	低	低	低
8.5K	R	低	低	低	8.5K	L	低	低	低
9.0K	R	低	低	低	9.0K	L	低	低	低
9.5K	R	低	低	低	9.5K	L	低	低	低
10.0K	R	低	低	低	10.0K	L	低	低	低
10.5K	R	低	低	低	10.5K	L	低	低	低
11.0K	R	低	低	低	11.0K	L	低	低	低
11.5K	R	低	低	低	11.5K	L	低	低	低
12.0K	R	低	低	低	12.0K	L	低	低	低
12.5K	R	低	低	低	12.5K	L	低	低	低
13.0K	R	低	低	低	13.0K	L	低	低	低
13.5K	R	低	低	低	13.5K	L	低	低	低
14.0K	R	低	低	低	14.0K	L	低	低	低
14.5K	R	低	低	低	14.5K	L	低	低	低
15.0K	R	低	低	低	15.0K	L	低	低	低
15.5K	R	低	低	低	15.5K	L	低	低	低
16.0K	R	低	低	低	16.0K	L	低	低	低

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
16.5K	R	低	低	低	16.5K	L	低	低	低
17.0K	R	低	低	低	17.0K	L	低	低	低
17.5K	R	低	低	低	17.5K	L	低	低	低
18.0K	R	低	低	低	18.0K	L	低	低	低
18.5K	R	低	低	低	18.5K	L	低	低	低
19.0K	R	低	低	低	19.0K	L	低	低	低
19.5K	R	低	低	低	19.5K	L	低	低	低
20.0K	R	低	低	低	20.0K	L	低	低	低
20.5K	R	低	低	低	20.5K	L	低	低	低
21.0K	R	中	中	高	21.0K	L	低	低	中
21.5K	R	低	低	中	21.5K	L	低	低	中
22.0K	R	低	低	低	22.0K	L	低	低	低
22.5K	R	低	中	高	22.5K	L	低	中	高
23.0K	R	低	低	中	23.0K	L	低	低	中
23.5K	R	低	低	中	23.5K	L	低	中	高
24.0K	R	低	中	高	24.0K	L	低	中	高
24.5K	R	中	中	高	24.5K	L	中	中	高
25.0K	R	中	中	高	25.0K	L	低	中	高
25.5K	R	低	中	高	25.5K	L	低	中	高
26.0K	R	低	中	高	26.0K	L	中	中	高
26.5K	R	低	中	高	26.5K	L	低	中	高
27.0K	R	低	低	中	27.0K	L	低	低	中
27.5K	R	低	中	高	27.5K	L	低	中	高
28.0K	R	低	低	低	28.0K	L	低	低	低
28.5K	R	低	低	低	28.5K	L	低	低	低
29.0K	R	低	中	高	29.0K	L	低	中	高
29.5K	R	低	中	高	29.5K	L	低	中	高
30.0K	R	低	中	高	30.0K	L	低	中	高
30.5K	R	低	中	高	30.5K	L	低	中	高
31.0K	R	低	中	高	31.0K	L	低	中	高
31.5K	R	低	低	低	31.5K	L	低	低	低
32.0K	R	低	中	高	32.0K	L	中	中	高
32.5K	R	低	中	高	32.5K	L	低	中	高
33.0K	R	低	中	高	33.0K	L	低	中	高
33.5K	R	低	中	高	33.5K	L	低	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
34.0K	R	中	中	高	34.0K	L	低	中	高
34.5K	R	低	中	高	34.5K	L	低	中	高
35.0K	R	低	中	高	35.0K	L	低	中	高
35.5K	R	低	中	高	35.5K	L	低	中	高
36.0K	R	低	中	高	36.0K	L	低	中	高
36.5K	R	中	中	高	36.5K	L	低	中	高
37.0K	R	低	中	高	37.0K	L	低	中	高
37.5K	R	低	中	高	37.5K	L	低	中	高
38.0K	R	中	中	高	38.0K	L	低	中	高
38.5K	R	低	中	高	38.5K	L	低	中	高
39.0K	R	低	中	高	39.0K	L	低	中	高
39.5K	R	低	中	高	39.5K	L	低	中	高
40.0K	R	中	中	高	40.0K	L	低	中	高
40.5K	R	低	中	高	40.5K	L	低	中	高
41.0K	R	中	中	高	41.0K	L	中	中	高
41.5K	R	中	中	高	41.5K	L	中	中	高
42.0K	R	低	中	高	42.0K	L	低	中	高
42.5K	R	低	中	高	42.5K	L	中	中	高
43.0K	R	中	中	高	43.0K	L	中	中	高
43.5K	R	低	中	高	43.5K	L	低	中	高
44.0K	R	低	中	高	44.0K	L	低	中	高
44.5K	R	低	中	高	44.5K	L	低	中	高
45.0K	R	低	中	高	45.0K	L	低	中	高
45.5K	R	中	中	高	45.5K	L	中	中	高
46.0K	R	低	中	高	46.0K	L	低	中	高
46.5K	R	低	中	高	46.5K	L	低	中	高
47.0K	R	低	中	高	47.0K	L	低	中	高
47.5K	R	低	中	高	47.5K	L	低	中	高
48.0K	R	低	中	高	48.0K	L	低	中	高
48.5K	R	低	中	高	48.5K	L	低	中	高
49.0K	R	低	中	高	49.0K	L	低	中	高
49.5K	R	低	中	高	49.5K	L	低	中	高
50.0K	R	低	低	低	50.0K	L	低	低	低
50.5K	R	低	中	高	50.5K	L	低	中	高
51.0K	R	低	中	高	51.0K	L	低	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
51.5K	R	低	中	高	51.5K	L	低	中	高
52.0K	R	低	中	高	52.0K	L	低	中	高
52.5K	R	低	中	高	52.5K	L	中	中	高
53.0K	R	中	中	高	53.0K	L	中	中	高
53.5K	R	中	中	高	53.5K	L	中	中	高
54.0K	R	中	中	高	54.0K	L	中	中	高
54.5K	R	低	中	高	54.5K	L	中	中	高
55.0K	R	低	低	中	55.0K	L	低	低	中
55.5K	R	低	低	中	55.5K	L	低	低	中
56.0K	R	低	低	中	56.0K	L	低	低	中
56.5K	R	中	中	高	56.5K	L	中	中	高
57.0K	R	中	中	高	57.0K	L	中	中	高
57.5K	R	中	中	高	57.5K	L	中	中	高
58.0K	R	中	中	高	58.0K	L	中	中	高
58.5K	R	低	中	高	58.5K	L	中	中	高
59.0K	R	低	中	高	59.0K	L	低	中	高
59.5K	R	低	中	高	59.5K	L	低	中	高
60.0K	R	低	中	高	60.0K	L	低	中	高
60.5K	R	中	中	高	60.5K	L	中	中	高
61.0K	R	中	中	高	61.0K	L	低	中	高
61.5K	R	低	中	高	61.5K	L	低	中	高
62.0K	R	中	中	高	62.0K	L	低	中	高
62.5K	R	低	中	高	62.5K	L	中	中	高
63.0K	R	中	中	高	63.0K	L	中	中	高
63.5K	R	中	中	高	63.5K	L	中	中	高
64.0K	R	中	中	高	64.0K	L	中	中	高
64.5K	R	中	中	高	64.5K	L	中	中	高
65.0K	R	中	中	高	65.0K	L	中	中	高
65.5K	R	低	中	高	65.5K	L	低	中	高
66.0K	R	低	中	高	66.0K	L	低	中	高
66.5K	R	低	中	高	66.5K	L	中	中	高
67.0K	R	低	中	高	67.0K	L	低	中	高
67.5K	R	低	中	高	67.5K	L	中	中	高
68.0K	R	低	中	高	68.0K	L	中	中	高
68.5K	R	中	中	高	68.5K	L	中	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
69.0K	R	低	中	高	69.0K	L	中	中	高
69.5K	R	低	中	高	69.5K	L	低	中	高
70.0K	R	低	中	高	70.0K	L	低	中	高
70.5K	R	低	中	高	70.5K	L	低	中	高
71.0K	R	中	中	高	71.0K	L	中	中	高
71.5K	R	低	中	高	71.5K	L	中	中	高
72.0K	R	低	中	高	72.0K	L	低	中	高
72.5K	R	低	中	高	72.5K	L	低	中	高
73.0K	R	低	中	高	73.0K	L	低	中	高
73.5K	R	中	中	高	73.5K	L	中	中	高
74.0K	R	低	中	高	74.0K	L	低	中	高
74.5K	R	低	中	高	74.5K	L	低	中	高
75.0K	R	低	中	高	75.0K	L	低	中	高
75.5K	R	低	中	高	75.5K	L	低	中	高
76.0K	R	低	中	高	76.0K	L	低	中	高
76.5K	R	低	中	高	76.5K	L	低	中	高
77.0K	R	低	中	高	77.0K	L	低	中	高
77.5K	R	低	中	高	77.5K	L	低	中	高
78.0K	R	低	中	高	78.0K	L	低	中	高
78.5K	R	低	中	高	78.5K	L	低	中	高
79.0K	R	中	中	高	79.0K	L	低	中	高
79.5K	R	低	低	中	79.5K	L	中	中	高
80.0K	R	中	中	高	80.0K	L	中	中	高
80.5K	R	低	中	高	80.5K	L	低	中	高
81.0K	R	低	中	高	81.0K	L	低	中	高
81.5K	R	低	中	高	81.5K	L	低	中	高
82.0K	R	低	中	高	82.0K	L	低	中	高
82.5K	R	低	中	高	82.5K	L	低	中	高
83.0K	R	低	低	中	83.0K	L	中	中	高
83.5K	R	低	中	高	83.5K	L	低	中	高
84.0K	R	低	中	高	84.0K	L	低	中	高
84.5K	R	中	中	高	84.5K	L	中	中	高
85.0K	R	中	中	高	85.0K	L	中	中	高
85.5K	R	中	中	高	85.5K	L	中	高	高
86.0K	R	中	中	高	86.0K	L	中	中	高

臺 18 線					臺 18 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
86.5K	R	中	中	高	86.5K	L	中	中	高
87.0K	R	中	高	高	87.0K	L	中	高	高
87.5K	R	中	高	高	87.5K	L	中	高	高
88.0K	R	中	中	高	88.0K	L	中	中	高
88.5K	R	低	中	高	88.5K	L	低	中	高
89.0K	R	低	中	高	89.0K	L	中	中	高
89.5K	R	中	中	高	89.5K	L	中	中	高
90.0K	R	中	中	高	90.0K	L	中	中	高
90.5K	R	中	中	高	90.5K	L	中	中	高
91.0K	R	中	高	高	91.0K	L	中	高	高
91.5K	R	中	中	高	91.5K	L	中	中	高
92.0K	R	中	中	高	92.0K	L	中	中	高
92.5K	R	中	中	高	92.5K	L	中	中	高
93.0K	R	中	中	高	93.0K	L	中	中	高
93.5K	R	中	中	高	93.5K	L	中	中	高
94.0K	R	低	中	高	94.0K	L	低	中	高
94.5K	R	低	中	高	94.5K	L	低	中	高
95.0K	R	低	中	高	95.0K	L	低	中	高
95.5K	R	低	中	高	95.5K	L	低	中	高
96.0K	R	低	中	高	96.0K	L	低	中	高
96.5K	R	低	中	高	96.5K	L	低	中	高

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
0.0K	R	低	低	中	0.0K	L	中	中	高
0.5K	R	中	中	高	0.5K	L	中	中	高
1.0K	R	中	中	高	1.0K	L	中	中	高
1.5K	R	中	中	高	1.5K	L	中	中	高
2.0K	R	中	中	中	2.0K	L	中	中	中
2.5K	R	中	中	高	2.5K	L	中	中	高
3.0K	R	中	中	高	3.0K	L	中	中	高
3.5K	R	低	低	中	3.5K	L	低	低	中
4.0K	R	中	中	高	4.0K	L	中	中	高
4.5K	R	低	低	中	4.5K	L	中	中	高
5.0K	R	中	中	高	5.0K	L	中	中	高
5.5K	R	中	中	高	5.5K	L	高	高	高
6.0K	R	中	中	高	6.0K	L	中	中	中
6.5K	R	中	中	高	6.5K	L	中	中	高
7.0K	R	中	中	高	7.0K	L	中	中	高
7.5K	R	中	中	高	7.5K	L	中	中	高
8.0K	R	中	中	高	8.0K	L	中	中	高
8.5K	R	中	中	高	8.5K	L	中	中	高
9.0K	R	中	中	高	9.0K	L	中	中	高
9.5K	R	中	中	高	9.5K	L	中	中	高
10.0K	R	中	中	高	10.0K	L	中	中	高
10.5K	R	低	低	中	10.5K	L	中	中	中
11.0K	R	中	中	高	11.0K	L	中	中	高
11.5K	R	中	中	高	11.5K	L	中	中	高
12.0K	R	中	中	高	12.0K	L	中	中	高
12.5K	R	低	低	中	12.5K	L	低	低	中
13.0K	R	低	低	中	13.0K	L	低	低	中
13.5K	R	低	低	中	13.5K	L	低	低	低
14.0K	R	低	低	中	14.0K	L	低	低	中
14.5K	R	低	低	中	14.5K	L	低	低	中
15.0K	R	中	中	中	15.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
15.5K	R	中	中	中	15.5K	L	中	中	中
16.0K	R	低	低	中	16.0K	L	低	低	中
16.5K	R	中	中	中	16.5K	L	中	中	中
17.0K	R	低	低	中	17.0K	L	中	中	中
17.5K	R	低	低	中	17.5K	L	中	中	中
18.0K	R	中	中	中	18.0K	L	中	中	中
18.5K	R	低	低	中	18.5K	L	低	低	中
19.0K	R	低	低	中	19.0K	L	低	低	中
19.5K	R	中	中	中	19.5K	L	中	中	高
20.0K	R	低	低	中	20.0K	L	中	中	中
20.5K	R	低	低	中	20.5K	L	中	中	中
21.0K	R	低	低	中	21.0K	L	低	低	中
21.5K	R	低	低	中	21.5K	L	中	中	中
22.0K	R	低	低	中	22.0K	L	低	低	中
22.5K	R	低	低	中	22.5K	L	低	低	中
23.0K	R	低	低	中	23.0K	L	中	中	中
23.5K	R	低	低	中	23.5K	L	低	低	中
24.0K	R	低	低	中	24.0K	L	中	中	中
24.5K	R	低	低	中	24.5K	L	低	低	中
25.0K	R	低	低	中	25.0K	L	低	低	中
25.5K	R	低	低	中	25.5K	L	低	低	中
26.0K	R	低	低	中	26.0K	L	低	低	中
26.5K	R	低	低	中	26.5K	L	低	低	中
27.0K	R	低	低	中	27.0K	L	低	低	中
27.5K	R	低	低	中	27.5K	L	低	低	中
28.0K	R	低	低	中	28.0K	L	低	低	中
28.5K	R	低	低	中	28.5K	L	中	中	高
29.0K	R	低	低	中	29.0K	L	低	低	中
29.5K	R	中	中	中	29.5K	L	中	中	中
30.0K	R	中	中	中	30.0K	L	低	低	中
30.5K	R	低	低	中	30.5K	L	中	中	中
31.0K	R	低	低	中	31.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
31.5K	R	低	低	中	31.5K	L	低	低	中
32.0K	R	低	低	中	32.0K	L	低	低	中
32.5K	R	低	低	中	32.5K	L	低	低	中
33.0K	R	中	中	中	33.0K	L	低	低	中
33.5K	R	中	中	中	33.5K	L	中	中	中
34.0K	R	低	低	中	34.0K	L	中	中	中
34.5K	R	低	低	中	34.5K	L	中	中	中
35.0K	R	中	中	中	35.0K	L	中	中	高
35.5K	R	中	中	中	35.5K	L	中	中	中
36.0K	R	低	低	中	36.0K	L	中	中	中
36.5K	R	低	低	中	36.5K	L	低	低	中
37.0K	R	中	中	中	37.0K	L	中	中	中
37.5K	R	低	低	中	37.5K	L	中	中	中
38.0K	R	中	中	中	38.0K	L	中	中	中
38.5K	R	中	中	中	38.5K	L	中	中	中
39.0K	R	中	中	中	39.0K	L	低	低	低
39.5K	R	中	中	中	39.5K	L	中	中	中
40.0K	R	中	中	中	40.0K	L	中	中	中
40.5K	R	低	低	低	40.5K	L	中	中	中
41.0K	R	低	低	低	41.0K	L	中	中	中
41.5K	R	低	低	低	41.5K	L	中	中	中
42.0K	R	低	低	低	42.0K	L	中	中	中
42.5K	R	低	低	低	42.5K	L	低	低	低
43.0K	R	中	中	中	43.0K	L	中	中	中
43.5K	R	中	中	中	43.5K	L	中	中	中
44.0K	R	中	中	中	44.0K	L	低	低	低
44.5K	R	中	中	中	44.5K	L	低	低	低
45.0K	R	中	中	中	45.0K	L	中	中	中
45.5K	R	低	低	低	45.5K	L	中	中	中
46.0K	R	中	中	中	46.0K	L	中	中	中
46.5K	R	中	中	中	46.5K	L	中	中	中
47.0K	R	低	低	低	47.0K	L	中	中	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
47.5K	R	低	低	低	47.5K	L	中	中	中
48.0K	R	中	中	中	48.0K	L	中	中	中
48.5K	R	中	中	中	48.5K	L	中	中	中
49.0K	R	中	中	中	49.0K	L	中	中	中
49.5K	R	中	中	中	49.5K	L	中	中	中
50.0K	R	中	中	中	50.0K	L	中	中	中
50.5K	R	低	低	低	50.5K	L	中	中	中
51.0K	R	中	中	中	51.0K	L	中	中	中
51.5K	R	低	低	中	51.5K	L	中	中	中
52.0K	R	中	中	中	52.0K	L	中	中	中
52.5K	R	中	中	中	52.5K	L	低	低	中
53.0K	R	中	中	中	53.0K	L	低	低	中
53.5K	R	中	中	中	53.5K	L	低	低	中
54.0K	R	中	中	中	54.0K	L	中	中	中
54.5K	R	中	中	中	54.5K	L	低	低	中
55.0K	R	中	中	中	55.0K	L	中	中	中
55.5K	R	中	中	中	55.5K	L	中	中	中
56.0K	R	中	中	中	56.0K	L	中	中	中
56.5K	R	中	中	中	56.5K	L	中	中	中
57.0K	R	低	低	中	57.0K	L	低	低	中
57.5K	R	中	中	中	57.5K	L	低	低	中
58.0K	R	中	中	中	58.0K	L	中	中	中
58.5K	R	中	中	中	58.5K	L	中	中	中
59.0K	R	低	低	中	59.0K	L	中	中	中
59.5K	R	中	中	中	59.5K	L	中	中	中
60.0K	R	中	中	中	60.0K	L	中	中	中
60.5K	R	中	中	中	60.5K	L	中	中	中
61.0K	R	中	中	高	61.0K	L	中	中	高
61.5K	R	中	中	中	61.5K	L	低	低	中
62.0K	R	中	中	中	62.0K	L	中	中	中
62.5K	R	低	低	中	62.5K	L	中	中	中
63.0K	R	中	中	中	63.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
63.5K	R	中	中	中	63.5K	L	中	中	中
64.0K	R	中	中	高	64.0K	L	中	中	中
64.5K	R	低	低	中	64.5K	L	中	中	中
65.0K	R	中	中	中	65.0K	L	中	中	高
65.5K	R	中	中	高	65.5K	L	中	中	高
66.0K	R	低	低	中	66.0K	L	中	中	中
66.5K	R	低	低	中	66.5K	L	低	低	中
67.0K	R	中	中	中	67.0K	L	中	中	中
67.5K	R	中	中	中	67.5K	L	中	中	中
68.0K	R	中	中	中	68.0K	L	中	中	中
68.5K	R	中	中	中	68.5K	L	低	低	中
69.0K	R	低	低	低	69.0K	L	中	中	中
69.5K	R	中	中	中	69.5K	L	低	低	低
70.0K	R	中	中	中	70.0K	L	中	中	中
70.5K	R	中	中	中	70.5K	L	中	中	中
71.0K	R	低	低	低	71.0K	L	中	中	中
71.5K	R	低	低	低	71.5K	L	中	中	中
72.0K	R	中	中	中	72.0K	L	中	中	中
72.5K	R	低	低	低	72.5K	L	低	低	低
73.0K	R	中	中	中	73.0K	L	低	低	低
73.5K	R	低	低	低	73.5K	L	中	中	中
74.0K	R	低	低	低	74.0K	L	中	中	中
74.5K	R	低	低	低	74.5K	L	低	低	低
75.0K	R	低	低	低	75.0K	L	中	中	中
75.5K	R	低	低	低	75.5K	L	低	低	低
76.0K	R	中	中	中	76.0K	L	低	低	低
76.5K	R	低	低	低	76.5K	L	中	中	中
77.0K	R	低	低	低	77.0K	L	低	低	低
77.5K	R	低	低	低	77.5K	L	低	低	低
78.0K	R	低	低	低	78.0K	L	低	低	低
78.5K	R	低	低	低	78.5K	L	中	中	中
79.0K	R	中	中	中	79.0K	L	中	中	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
79.5K	R	低	低	低	79.5K	L	中	中	中
80.0K	R	低	低	低	80.0K	L	低	低	低
80.5K	R	低	低	低	80.5K	L	低	低	低
81.0K	R	中	中	中	81.0K	L	低	低	低
81.5K	R	低	低	低	81.5K	L	低	低	低
82.0K	R	低	低	低	82.0K	L	低	低	低
82.5K	R	中	中	中	82.5K	L	低	低	低
83.0K	R	中	中	中	83.0K	L	中	中	中
83.5K	R	低	低	低	83.5K	L	低	低	低
84.0K	R	低	低	低	84.0K	L	低	低	低
84.5K	R	中	中	中	84.5K	L	中	中	中
85.0K	R	中	中	中	85.0K	L	中	中	中
85.5K	R	低	低	低	85.5K	L	中	中	中
86.0K	R	中	中	中	86.0K	L	中	中	中
86.5K	R	中	中	中	86.5K	L	中	中	中
87.0K	R	低	低	低	87.0K	L	低	低	低
87.5K	R	低	低	低	87.5K	L	中	中	中
88.0K	R	中	中	中	88.0K	L	低	低	低
88.5K	R	中	中	中	88.5K	L	中	中	中
89.0K	R	中	中	中	89.0K	L	中	中	中
89.5K	R	中	中	中	89.5K	L	中	中	中
90.0K	R	中	中	中	90.0K	L	低	低	低
90.5K	R	中	中	中	90.5K	L	中	中	中
91.0K	R	低	低	低	91.0K	L	低	低	低
91.5K	R	低	低	低	91.5K	L	中	中	中
92.0K	R	低	低	低	92.0K	L	低	低	低
92.5K	R	低	低	低	92.5K	L	低	低	低
93.0K	R	中	中	中	93.0K	L	中	中	中
93.5K	R	中	中	中	93.5K	L	中	中	中
94.0K	R	低	低	中	94.0K	L	中	中	中
94.5K	R	低	低	中	94.5K	L	低	低	中
95.0K	R	低	低	低	95.0K	L	低	低	低

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
95.5K	R	中	中	中	95.5K	L	中	中	中
96.0K	R	中	中	中	96.0K	L	中	中	中
96.5K	R	中	中	中	96.5K	L	中	中	中
97.0K	R	低	低	中	97.0K	L	中	中	中
97.5K	R	低	低	中	97.5K	L	低	低	中
98.0K	R	低	低	中	98.0K	L	中	中	中
98.5K	R	中	中	中	98.5K	L	低	低	中
99.0K	R	中	中	中	99.0K	L	低	低	中
99.5K	R	中	中	中	99.5K	L	中	中	中
100.0K	R	低	低	中	100.0K	L	中	中	中
100.5K	R	中	中	中	100.5K	L	低	低	中
101.0K	R	中	中	中	101.0K	L	中	中	中
101.5K	R	中	中	中	101.5K	L	中	中	中
102.0K	R	中	中	中	102.0K	L	高	高	高
102.5K	R	中	中	中	102.5K	L	中	中	中
103.0K	R	中	中	中	103.0K	L	中	中	中
103.5K	R	中	中	中	103.5K	L	中	中	中
104.0K	R	中	中	中	104.0K	L	中	中	中
104.5K	R	低	低	低	104.5K	L	中	中	中
105.0K	R	中	中	中	105.0K	L	中	中	中
105.5K	R	中	中	中	105.5K	L	中	中	中
106.0K	R	中	中	中	106.0K	L	中	中	中
106.5K	R	中	中	中	106.5K	L	低	低	低
107.0K	R	低	低	低	107.0K	L	低	低	低
107.5K	R	中	中	中	107.5K	L	中	中	中
108.0K	R	中	中	高	108.0K	L	中	中	高
108.5K	R	中	中	高	108.5K	L	低	低	中
109.0K	R	中	中	高	109.0K	L	低	低	中
109.5K	R	低	低	中	109.5K	L	低	低	中
110.0K	R	中	中	高	110.0K	L	低	低	中
110.5K	R	中	中	高	110.5K	L	中	中	高
111.0K	R	低	低	中	111.0K	L	低	低	低

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
111.5K	R	低	低	低	111.5K	L	低	低	低
112.0K	R	中	中	高	112.0K	L	中	中	高
112.5K	R	低	低	中	112.5K	L	低	低	中
113.0K	R	中	中	中	113.0K	L	中	中	中
113.5K	R	中	中	中	113.5K	L	中	中	中
114.0K	R	中	中	中	114.0K	L	中	中	中
114.5K	R	低	低	低	114.5K	L	低	低	低
115.0K	R	低	低	低	115.0K	L	低	低	低
115.5K	R	中	中	中	115.5K	L	低	低	低
116.0K	R	低	低	低	116.0K	L	低	低	低
116.5K	R	低	低	低	116.5K	L	低	低	低
117.0K	R	低	低	低	117.0K	L	低	低	低
117.5K	R	低	低	低	117.5K	L	低	低	低
118.0K	R	低	低	低	118.0K	L	低	低	低
118.5K	R	低	低	低	118.5K	L	低	低	低
119.0K	R	低	低	低	119.0K	L	低	低	低
119.5K	R	低	低	低	119.5K	L	低	低	低
120.0K	R	低	低	低	120.0K	L	低	低	低
120.5K	R	中	中	中	120.5K	L	中	中	中
121.0K	R	中	中	中	121.0K	L	中	中	中
121.5K	R	中	中	中	121.5K	L	中	中	中
122.0K	R	低	低	低	122.0K	L	低	低	低
122.5K	R	低	低	低	122.5K	L	低	低	低
123.0K	R	中	中	中	123.0K	L	中	中	中
123.5K	R	低	低	低	123.5K	L	低	低	低
124.0K	R	低	低	低	124.0K	L	低	低	低
124.5K	R	低	低	低	124.5K	L	低	低	低
125.0K	R	低	低	中	125.0K	L	低	低	中
125.5K	R	低	低	中	125.5K	L	低	低	中
126.0K	R	低	低	中	126.0K	L	低	低	中
126.5K	R	低	低	中	126.5K	L	低	低	中
127.0K	R	低	低	中	127.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
127.5K	R	低	低	中	127.5K	L	低	低	中
128.0K	R	低	低	中	128.0K	L	低	低	中
128.5K	R	低	低	中	128.5K	L	低	低	中
129.0K	R	低	低	中	129.0K	L	低	低	中
129.5K	R	低	低	中	129.5K	L	低	低	中
130.0K	R	低	低	中	130.0K	L	低	低	中
130.5K	R	低	低	中	130.5K	L	低	低	中
131.0K	R	低	低	中	131.0K	L	低	低	中
131.5K	R	低	低	中	131.5K	L	低	低	中
132.0K	R	低	低	中	132.0K	L	低	低	中
132.5K	R	低	低	中	132.5K	L	中	中	高
133.0K	R	低	低	中	133.0K	L	低	低	中
133.5K	R	低	低	中	133.5K	L	低	低	中
134.0K	R	低	低	中	134.0K	L	低	低	中
134.5K	R	低	低	中	134.5K	L	低	低	中
135.0K	R	低	低	中	135.0K	L	低	低	中
135.5K	R	低	低	低	135.5K	L	低	低	低
136.0K	R	低	低	低	136.0K	L	低	低	低
136.5K	R	中	中	高	136.5K	L	低	低	中
137.0K	R	中	中	高	137.0K	L	低	低	中
137.5K	R	低	低	中	137.5K	L	中	中	高
138.0K	R	中	中	高	138.0K	L	中	中	高
138.5K	R	中	中	高	138.5K	L	低	低	中
139.0K	R	低	低	中	139.0K	L	低	低	中
139.5K	R	低	低	中	139.5K	L	低	低	中
140.0K	R	低	低	中	140.0K	L	低	低	中
140.5K	R	低	低	中	140.5K	L	低	低	中
141.0K	R	中	中	高	141.0K	L	中	中	高
141.5K	R	中	中	高	141.5K	L	低	低	中
142.0K	R	低	低	中	142.0K	L	低	低	中
142.5K	R	中	中	高	142.5K	L	低	低	中
143.0K	R	低	低	中	143.0K	L	低	低	中

臺 21 線					臺 21 線				
路段	邊坡	300mm	600mm	900mm	路段	邊坡	300mm	600mm	900mm
143.5K	R	低	低	中	143.5K	L	低	低	中
144.0K	R	低	低	中	144.0K	L	低	低	中
144.5K	R	低	低	中	144.5K	L	低	低	中
145.0K	R	低	低	中	145.0K	L	低	低	中
145.5K	R	低	低	中	145.5K	L	中	中	高
146.0K	R	中	中	高	146.0K	L	中	中	高
146.5K	R	中	中	高	146.5K	L	中	中	高