

102-39-7687

MOTC-IOT-101-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策 模式之研發(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-39-7687

MOTC-IOT-101-H1DB007a

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策 模式之研發(2/4)

著 者：邱永芳、林雅雯、邱建國、鄭明淵

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發. (2/4) /
邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，
民 102.02
面；公分
ISBN 978-986-03-6152-0(平裝)

1.橋樑工程

441.8

2003177

10

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(2/4)

著者：邱永芳、林雅雯、邱建國、鄭明淵
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 (中文版>中心出版品)
電話：(04)26587176
出版年月：中華民國 102 年 2 月
印刷者：
版(刷)次冊數：初版一刷 80 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：250 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：1010200344

ISBN：978-986-03-6152-0 (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。

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：橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(2/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6152-0(平裝)	政府出版品統一編號 1010200344	運輸研究所出版品編號 102-39-7687	計畫編號 101-H1DB007a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 研究人員：林雅雯 聯絡電話：04-26587192 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣科技大學營建工程系 計畫主持人：邱建國 協同主持人：鄭明淵 研究人員：黃沁琪、張乃文、劉佳旺、陳美儒 地址：臺北市基隆路四段 43 號 聯絡電話：02-27376663	研究期間 自 101 年 1 月 至 101 年 10 月	
關鍵詞：橋梁檢測、橋梁殘餘壽齡、保全評估、經濟效益			
摘要： 臺灣橋梁飽受天然災害侵害，又海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。因此，如何從現有橋梁之健康度評估在不同時間點進行維護之延壽與經濟效益，或是在考量公路橋梁管理單位維護經費限制下，如何將有限資源做最有效運用將是迫切的課題。 目前，公路橋梁管理單位可根據檢測作業進而評估橋梁目前現況，但缺乏一套有效評估橋梁未來趨勢與損壞風險之方法，如何確認橋梁未來受災損之可能性與損壞程度，與橋梁所在地發生災害機率以及構件現有性能相關。其損壞亦可分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)兩種，國內現行檢測作業多以可視老化為主，對於潛勢危害較少著墨。然而，地震、耐洪或是材料劣化(鋼筋腐蝕等)等損壞因素皆是屬於潛勢危害範圍中。因此本研究導入風險發生頻率，以可靠度分析方法計算橋梁風險值，藉由本研究所確立模式可分別計算因可視老化、地震潛勢及沖刷潛勢之橋梁維修風險，讓管理單位經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能，了解可能風險，加強維護管理，達到橋梁延壽目的。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 2 月	306	250	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： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 (解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密) ☒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

TITLE: Development of A Bridge Lifetime Detection and Analysis Model			
ISBN 978-986-03-6152-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200344	IOT SERIAL NUMBER 102-39-7687	PROJECT NUMBER 101-H1DB007a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Ya-Wen PROJECT STAFF: PHONE: (04) 26587192 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2012 TO October 2012
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Chien-Kuo, Cheng Min-Yuan PROJECT STAFF: Huang Cin-Ci, Chang Nai-Wen, Liou Jia-Wang, Chen Mei-Ju ADDRESS: #43, Sec.4, Keelung Rd., Taipei 106, Taiwan, R.O.C PHONE: (02) 27376663			
KEY WORDS: Bridge inspection, Bridge Lifetime Detection, security assessment, economic benefits			
ABSTRACT: Due to the location and environment of Taiwan, the frequency of nature disaster is high and the caused damages to the human life, properties and highways are serious. Therefore, how to determine the bridge lifetime becomes a serious problem. Road managements can assign the budget to different bridges based on the bridge inspection and evaluation. Currently, the bridge management can detect the current status of the bridge, but cannot evaluate the future trends and assess the risk of damage. Therefore, how to confirm the possibility of bridge damage and the future extent of damage is an important topic. The damage can be divided into visual aging (visible) and the potential harm (invisible). Therefore, this study will also consider the visual aging (visible) and the potential harm (invisible) damage factor. Based on calculate the frequency of the risk to reliability analysis and the risk of the bridge, management can understand the possible risks and maintenance or management.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 306	PRICE 250	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(2/4)

目 錄

中文摘要	I
英文目錄	II
圖目錄	IX
表目錄	XIII
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 計畫目的	1-2
1.3 研究範圍與對象	1-3
1.4 研究方法及進行步驟	1-3
1.5 工作項目及內容(本年度，101 年)	1-6
第二章 相關文獻收集	2-1
2.1 公路相關維護檢測作業	2-1
2.2 橋梁破壞模式	2-7
2.3 橋梁構件單元分類	2-7
2.4 橋梁震害破壞模式及原因	2-8
2.4.1 上部結構損壞型式	2-9
2.4.2 下部結構損壞型式	2-12
2.4.3 基礎損壞型式	2-13
2.4.4 支承損壞型式	2-14

2.4.5 橋台引道損壞型式	2-15
2.4.6 其他設施損壞型式	2-15
2.5 橋梁洪水沖刷破壞模式	2-17
2.5.1 河川型態	2-17
2.5.2 沖淤行為	2-18
2.5.3 橋梁橋基周圍沖刷	2-18
2.5.4 橋梁基礎沖刷災害	2-19
2.6 橋梁老化腐蝕破壞模式	2-20
2.6.1 混凝土橋之劣化現象	2-20
2.7 橋梁風險管理	2-26
2.8 橋梁性能指標	2-28
2.9 國外文獻	2-32
2.9.1 美國橋梁檢測	2-33
2.9.2 日本橋梁檢測	2-38
2.9.3 中國橋梁檢測	2-40
2.10 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集	2-41
2.10.1 一般檢測	2-53
2.10.2 耐震檢測	2-55
2.10.3 沖刷檢測	2-56
2.10.4 橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發 (1/4) ...	2-57
2.11 最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬	2-61
2.11.1 震源參數分析	2-61
2.11.2 震源型態	2-61

2.12 地表震動分析模式	2-63
2.12.1 地表震動分析模式簡介	2-63
2.12.2 測站地盤分類	2-64
2.12.3 衰減模式	2-65
第三章 橋梁風險因子辨識	3-1
3.1 橋梁因子彙整及分類	3-1
3.2 建立風險因子及影響圖	3-2
3.3 分析橋梁風險因子之來源	3-3
3.4 橋梁各構件破壞模式分析	3-3
第四章 分析橋梁風險因子之因果關係	4-1
4.1 橋梁各構件破壞模式分析	4-1
4.2 檢測表單對應破壞項目	4-3
4.2.1 填表項目對應更新項目-以填表項目 TELES 說明	4-9
4.2.2 填表項目對應更新項目-以填表項目 D3(河道)說明	4-10
4.2.3 填表項目對應更新項目-以填表項目 D5(橋台基礎) 說明	4-10
4.2.4 填表項目對應更新項目-以填表項目 D6(橋台)說明	4-11
4.2.5 填表項目對應更新項目-以填表項目 D12(橋墩保護措施) 說明	4-11
4.2.6 填表項目對應更新項目-以填表項目 D13(橋墩基礎) 說明	4-12
4.2.7 填表項目對應更新項目-以填表項目 D14(橋墩墩體/帽梁) 說明	4-12
4.2.8 填表項目對應更新項目-以填表項目 D15(支承/支承墊)	

說明	4-13
4.2.9 填表項目對應更新項目-以填表項目 EfG110(基礎裸露深度)說明	4-14
4.2.10 填表項目對應更新項目-以填表項目 EdG208 (基礎裸露深度)說明	4-15
4.2.11 填表項目對應更新項目-以填表項目 EdG212(橋柱與基礎劣化程度)說明	4-15
4.2.12 填表項目對應更新項目-以填表項目 EfG111(支承狀況)說明	4-16
4.2.13 填表項目對應更新項目-以填表項目 S6(沖刷相關構件之 D.E.R.&U.評分)說明	4-17
4.2.14 填表項目對應更新項目-以填表項目 S16(基礎裸露深度)說明	4-17
4.3 估計衝擊影響程度	4-18
第五章 橋梁風險因子量化分析	5-1
5.1 橋梁性能指標建立(可視老化)	5-1
5.2 橋梁性能指標建立(潛勢危害-地震)	5-2
5.3 橋梁性能指標建立(潛勢危害-洪水)	5-3
第六章 橋梁風險分析	6-1
6.1 橋梁可靠度分析-地震	6-1
6.1.1 潛勢地震發生機率模型	6-2
6.1.2 地表震動分析模式	6-13
6.1.3 橋梁地震損傷評估	6-22
6.1.4 橋梁地震風險與壽命評估	6-39

6.2 橋梁可靠度分析-洪水.....	6-44
6.2.1 橋梁分類(依所在流域)	6-44
6.2.2 統計分析	6-44
6.2.3 洪水事件產生器	6-45
6.2.4 失敗門檻訂定	6-46
6.2.5 蒙地卡羅模擬	6-47
6.3 橋梁可靠度分析-構件老化.....	6-48
6.3.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)	6-49
6.3.2 統計分析(CI 與橋齡)	6-50
6.3.3 失敗門檻訂定	6-51
6.3.4 轉換為可靠度指標	6-51
6.4 橋梁綜合能力評量表	6-52
6.5 整合展示分析成果	6-54
第七章 後續研究方向建議(第三年度、第四年度).....	7-1
7.1 蒐集彙整國內外相關橋梁維護工法之資料.....	7-2
7.2 橋梁維護工法評估及量化	7-3
7.3 單橋成本維護最佳化	7-4
7.4 單橋橋梁風險管理策略訂定	7-5
7.5 蒐集國內公路管理單位維護管理制度	7-6
7.6 橋梁非直接成本評估	7-6
7.7 群橋成本維護最佳化	7-8
7.8 群橋橋梁風險管理策略訂定	7-9
第八章 結論與建議	8-1

8.1 結論	8-1
8.2 建議	8-2
8.3 研究成果與效益	8-2
參考文獻	參-1
附錄一 期中審查委員意見處理情形表	附錄 1-1
附錄二 期末審查委員意見處理情形表	附錄 2-1
附錄三 期末報告簡報資料	附錄 3-1

圖 目 錄

圖 1.1 研究內容架構圖	1-4
圖 1.2 研究執行流程圖	1-6
圖 2.1 橋梁構件單元分類架構圖	2-8
圖 2.2 鋼梁挫屈破壞	2-9
圖 2.3 主梁之破壞模式	2-10
圖 2.4 橋面版破壞模式之一	2-11
圖 2.5 橋面版破壞模式之二	2-12
圖 2.6 橋柱及帽梁剪力破壞	2-13
圖 2.7 撓剪破壞	2-13
圖 2.8 基礎損壞型式	2-14
圖 2.9 支承及防落裝置之破壞	2-14
圖 2.10 橋台、引道損壞型式	2-15
圖 2.11 河川橋梁沖刷	2-20
圖 2.12 美國 NBI 橋梁檢測流程	2-33
圖 2.13 日本橋梁巡檢表單範例圖	2-39
圖 3.1 橋梁風險因子影響圖	3-2
圖 3.2 橋梁風險因子分類	3-3
圖 6.1 橋梁風險分析流程圖	6-1
圖 6.2 潛勢地震發生機率模型之流程圖	6-2
圖 6.3 地震發生機率計算模型	6-11
圖 6.4 新城斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$ 。	6-12

圖 6.5 屯子腳斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$	6-12
圖 6.6 米崙斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$	6-13
圖 6.7 中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖.....	6-14
圖 6.8 剪力波速度量測 V30 進行場址分類.....	6-15
圖 6.9 臺灣規模 4.0~7.0 之地震記錄與(Campbell, 1997)衰減曲線之關係.....	6-17
圖 6.10 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值 PGA 分佈 ...	6-19
圖 6.11 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈	6-20
圖 6.12 臺灣歷年大地震:集集地震之實測值與預測值比較。	6-21
圖 6.13 臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較。	6-21
圖 6.14 臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較。	6-22
圖 6.15 橋梁地震損傷評估流程圖。	6-23
圖 6.16 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係	6-25
圖 6.17 為橋梁通阻之 SAP2000 牛鬥橋模型。	6-26
圖 6.18 為牛鬥橋之 XTRACT 斷面分析。	6-26
圖 6.19 為 SAP2000 三星橋模型。	6-26
圖 6.20 為三星橋之 XTRACT 斷面分析.....	6-27
圖 6.21 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料.....	6-28
圖 6.22 震後結構性能修正示意圖	6-33
圖 6.23 三星橋未來 50 年內之損傷超越機率.....	6-42
圖 6.24 三星橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本).....	6-42
圖 6.25 牛鬥橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本).....	6-43
圖 6.26 牛鬥橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本).....	6-43

圖 6.27 臺灣主要河系分布圖(水利署).....	6-44
圖 6.28 發生 50 年洪水時對應 SSI 指標下降.....	6-46
圖 6.29 發生 100 年洪水時對應 SSI 指標下降.....	6-46
圖 6.30 失敗門檻建議值.....	6-46
圖 6.31 洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖.....	6-47
圖 6.32 橋梁 CI 下降曲線.....	6-48
圖 6.33 以梁式橋-復興三橋為例	6-50
圖 6.34 以距海 300 公尺內車流量 6000 輛內(梁式橋)為例.....	6-51
圖 6.35 可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖.....	6-51
圖 6.36 系統新增功能模組.....	6-54
圖 6.37 條件搜尋.....	6-55
圖 6.38 不同機率展示成果.....	6-55
圖 6.39 不同排序條件結果.....	6-56
圖 7.1 橋梁維修策略.....	7-1
圖 7.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式.....	7-4
圖 7.3 KCGA 架構.....	7-5
圖 7.4 單橋殘餘強度與時間之關係.....	7-5
圖 7.5 單橋維修策略與方案.....	7-6
圖 7.6 群橋生命週期成本策略.....	7-8

表 目 錄

表 2-1 公路橋梁檢測規範與手冊	2-2
表 2-2 橋梁檢測分類別表	2-3
表 2-3 橋梁構造物檢測評定標準	2-5
表 2-4 橋梁定期檢測項目	2-5
表 2-5 橋梁構件單元分類表	2-8
表 2-6 震後橋梁單元損壞型式(1/2).....	2-16
表 2-7 震後橋梁單元損壞型式(2/2).....	2-17
表 2-8 混凝土常見之損壞現象	2-21
表 2-9 龜裂之原因及相關特徵	2-23
表 2-10 橋梁構件重要性指數	2-29
表 2-11 橋梁構件權重	2-30
表 2-12 國外相關文獻整理表	2-32
表 2-13 美國橋梁檢測表	2-35
表 2-14 美國橋梁基本資料與評量(SI&A)表	2-37
表 2-15 日本橋梁定期檢測報告書(範例).....	2-38
表 2-16 日本道路公團橋梁構件劣化綜合評等基準	2-39
表 2-17 日本道路公團橋梁裂隙之評等準則	2-40
表 2-18 中國大陸公路橋梁各部位與權重	2-40
表 2-19 中國大陸公路橋梁技術評估標準	2-41
表 2-20 國內相關文獻列表(研究報告或書籍).....	2-42
表 2-21 國內相關文獻列表(規範、手冊與系統).....	2-42

表 2-22 公路橋梁耐震能力初步評估表-落橋評估	2-43
表 2-23 公路橋梁耐震能力初步評估表-強度韌性評估	2-43
表 2-24 公路橋梁耐震能力評估表-落橋評估(一般橋梁)	2-44
表 2-25 公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估(一般橋梁)	2-45
表 2-26 公路橋梁耐洪能力初步評估表	2-46
表 2-27 公路橋梁沖刷潛能初步評估表	2-46
表 2-28 公路橋梁耐洪評估表(跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表)	2-47
表 2-29 TELES 橋梁屬性資料調查表	2-49
表 2-30 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表	2-50
表 2-31 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集	2-51
表 2-32 構件功能失效可能性矩陣	2-59
表 3-1 D.E.R.&U.目視檢查表	3-1
表 3-2 橋梁損壞現象代號表	3-4
表 4-1 橋梁單元地震損壞型式	4-1
表 4-2 橋梁構件洪水損壞型式	4-2
表 4-3 橋梁構件老化損壞型式(1/2)	4-2
表 4-4 橋梁構件老化損壞型式(2/2)	4-2
表 4-5 橋梁各構件破壞模式分析-落橋	4-4
表 4-6 橋梁各構件破壞模式分析-強度韌性	4-4
表 4-7 橋梁各構件破壞模式分析-沖刷	4-5
表 4-8 橋梁各構件破壞模式分析-構件老化	4-6
表 4-9 表單間重複之評估項目	4-7
表 4-10 重複評估項目的代號定義	4-8

表 4-11 填表項目對應更新項目	4-8
表 4-12 填表項目對應更新項目-以填表項目 TELES 為例	4-9
表 4-13 填表項目對應更新項目-以填 D3(河道)為例	4-10
表 4-14 填表項目對應更新項目-以 D5(橋台基礎)為例	4-10
表 4-15 填表項目對應更新項目-以 D6(橋台)為例	4-11
表 4-16 填表項目對應更新項目-以 D12(橋墩保護措施)為例	4-12
表 4-17 填表項目對應更新項目-以 D13(橋墩基礎)為例	4-12
表 4-18 填表項目對應更新項目-以 D14(橋墩墩體/帽梁)為例	4-12
表 4-19 填表項目對應更新項目-以 D15(支承/支承墊)為例	4-13
表 4-20 填表項目對應更新項目-以 EfG110(基礎裸露深度)為例	4-14
表 4-21 填表項目對應更新項目-以 EdG208(基礎裸露深度)為例	4-15
表 4-22 填表項目對應更新項目-以 EdG212(橋柱與基礎劣化程度)為例	4-16
表 4-23 填表項目對應更新項目-以 EfG111(支承狀況)為例	4-16
表 4-24 填表項目對應更新項目-以 S6(沖刷相關構件之 D.E.R.&U.評分)為例	4-17
表 4-25 填表項目對應更新項目-以 S16(基礎裸露深度)為例	4-18
表 4-26 震後橋梁補強技術適用表	4-19
表 4-27 震後橋梁修復經費參考表	4-24
表 5-1 構件老化常見損傷模式對部位及橋梁之影響	5-2
表 5-2 耐震能力折減係數 η	5-3
表 5-3 洪水常見損傷模式對部位及橋梁之影響	5-4
表 6-1 為宜蘭 ZS01，未來 50 年地震計算結果發生次數為 10 次	6-5

表 6-2 為花蓮 ZS02，未來 50 年地震計算結果發生次數為 12 次	6-5
表 6-3 為宜蘭 ZS01，未來 100 年地震計算結果發生次數為 20 次 ...	6-5
表 6-4 為花蓮 ZS02，未來 100 年地震計算結果發生次數為 24 次 ...	6-6
表 6-5 宜蘭區域地震未來 50 與 100 年發生機率	6-9
表 6-6 花蓮區域地震未來 50 與 100 年發生機率	6-10
表 6-7 為本研究設定之斷層參數(**為無相關資料提供發生時間) ..	6-10
表 6-8 各斷層地震未來 50 年與 100 年之發生機率。	6-11
表 6-9 各斷層地震未來發生時間。	6-11
表 6-10 為宜蘭(ZS01)未來 50 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值...	6-29
表 6-11 為花蓮(ZS02)未來 50 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值...	6-29
表 6-12 為宜蘭(ZS01)未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值....	6-30
表 6-13 為花蓮(ZS02)未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值 ...	6-31
表 6-14 為 RC 結構物之損傷指標	6-32
表 6-15 未來 50 年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損傷指標	6-34
表 6-16 未來 50 年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損傷指標	6-34
表 6-17 未來 50 年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損傷指標	6-35
表 6-18 未來 50 年花蓮(ZS02)對三星橋模型損傷指標	6-35
表 6-19 未來 100 年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損壞指標	6-36
表 6-20 未來 100 年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損壞指標	6-37
表 6-21 未來 100 年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損壞指標	6-38
表 6-22 未來 100 年花蓮(ZS02)對三星橋模型損壞指標	6-39
表 6-23 損害狀況及損害比之關係	6-40
表 6-24 臺灣主要河系洪水重現期對應 SSI 指標下降表	6-45

表 6-25 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄).....	6-47
表 6-26 橋梁分組分布表	6-49
表 6-27 梁式橋調查資料筆數	6-49
表 6-28 相關參數表(以梁式橋為例).....	6-50
表 6-29 可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄).....	6-52
表 6-30 橋梁綜合能力評量表	6-53
表 7-1 非跨河橋維修案例	7-2
表 7-2 跨河橋維修案例	7-3
表 7-3 非直接成本概算表（元/天）	7-7

第一章 緒論

1.1 計畫背景

臺灣受季風氣候影響及位處地震帶，颱風與地震頻傳，橋梁飽受天然災害侵害。其中地震造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋梁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；海島型氣候使環境中充滿鋼筋腐蝕劣化的因子，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，嚴重造成政府財政的負擔；在人為使用方面，亦有車輛超載問題。近年來，許多橋梁由於過去施工技術不足，加上施工品質未能嚴謹控制，造成未屆設計年限，卻面臨拆除或需花費龐大金額進行維修補強，對於政府日漸拮据之財務狀況，無疑是雪上加霜。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。如何評估現有橋梁之健康度，進而計算不同時間點進行維護之延壽與經濟效益是迫切的課題。

要保全甚至延長橋梁壽命，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了規劃設計與施工恰當妥善以外，維修養護非常重要，這有賴於完整適當的橋梁檢測制度與系統之建立，安全檢測工作的實施，以及檢測後所做的性能評估、修繕、補強與維護管理。

依照公路養護手冊規定，橋梁檢測結果採用 D.E.R.&U. 方式評定，但因 D.E.R.&U. 是以目視方式進行，檢測成果常常會因檢測人員之訓練程度、經驗與主觀意識而有不一致之現象，橋梁管理單位檢測的人力、機具、經費、檢測是否確實及彙整至橋梁管理系統之正確性，皆為公路橋梁管理單位了解橋梁狀況及排列維護優先順序之關鍵，攸關橋梁及用路人之安全。本研究前期已探討分析國內目前橋梁檢測作

業規定及其執行情形，找出檢測作業問題點及不同檢測人員結果之變異性，研擬建議橋梁檢測有效施行之方法。

根據前一年度研究成果，公路橋梁管理單位可根據檢測作業進而評估橋梁目前現況，但缺乏一套有效評估橋梁未來趨勢與損壞風險之方法，如何確認橋梁未來受災損之可能性與損壞程度，與橋梁所在地發生災害機率以及構件現有性能相關。其損壞亦可分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)兩種，國內現行檢測作業多以可視老化為主，如 D.E.R.&U.檢測方式，對於潛勢危害較少著墨。然而，地震、耐洪或是材料劣化(鋼筋腐蝕等)等損壞因素皆是屬於潛勢危害範圍中，故如僅採用現有檢測作業方式，難以評估橋梁現況與殘餘能力。因此本研究同時考量可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)，確認各風險來源與風險因子，並建立構件損傷模式、部分功能影響及橋梁功能之對應關係，最後導入風險發生頻率，以可靠度分析方法計算橋梁風險值，即可以本研究所建立之本土化橋梁綜合能力評量表，應用風險管理之觀念，讓管理單位經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能，了解可能風險，加強維護管理，達到橋梁延壽目的。

後續研究中可根據橋梁檢測評估結果，針對單一橋梁及群橋風險程度建議維修補強策略。輔助公路管理單位進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時機與工法策略。

1.2 計畫目的

本研究探討國內、外橋梁風險管理、破壞模式、性能指標等技術面，發揮與國際技術接軌功能，並讓橋梁檢測結果與橋梁性能評估結合，讓管理單位更重視檢測工作。同時掌握橋梁性能，使得橋梁管理單位能有效確實評估橋梁狀況，在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理機關維護補強經費。最後，提供風險來源與因子，以有效方式降低風險衝擊，確保橋梁安全，解除社會大眾之安全疑慮。

1.3 研究範圍與對象

根據統計，臺灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，95%以上為混凝土橋梁，且 75%以上橋齡均在二十年以上，橋梁強度堪慮。為保障用路人安全，混凝土橋梁的維護管理為公路管理單位未來重要課題，故本計畫以鋼筋混凝土橋梁為研究範疇。

1.4 研究方法及進行步驟

本研究期程為四年，第一年度計畫中已針對現有檢測作業問題進行探討，並提出橋梁檢測建議。此年度為第二年度計畫，依據本研究目的，擬定本年度研究內容，分列為第一階段至第五階段。第一階段，本研究蒐集國內外橋梁文獻，包含地震、洪水、構件老化及各部位的破壞模式。第二階段，進行風險因子辨識，將橋梁因子彙整及分類，在建立風險因子以及風險因子影響圖。第三階段，以風險來源分類，分別建立風險因子與破壞模式間的關係，在依其破壞程度的嚴重性估計衝擊影響程度。第四階段，本研究探討構件損傷對橋梁單元構件的影響，又此構件損傷會對橋梁整體功能造成的影響，最後建立橋梁性能指標以及本土化橋梁綜合能力評量表。第五階段，使用可靠度分析建立風險管理應用於橋梁檢測與評估整合實施之方式，後續研究(第三年度與第四年度)為第六階段至第十三階段，如圖 1.1 所示。

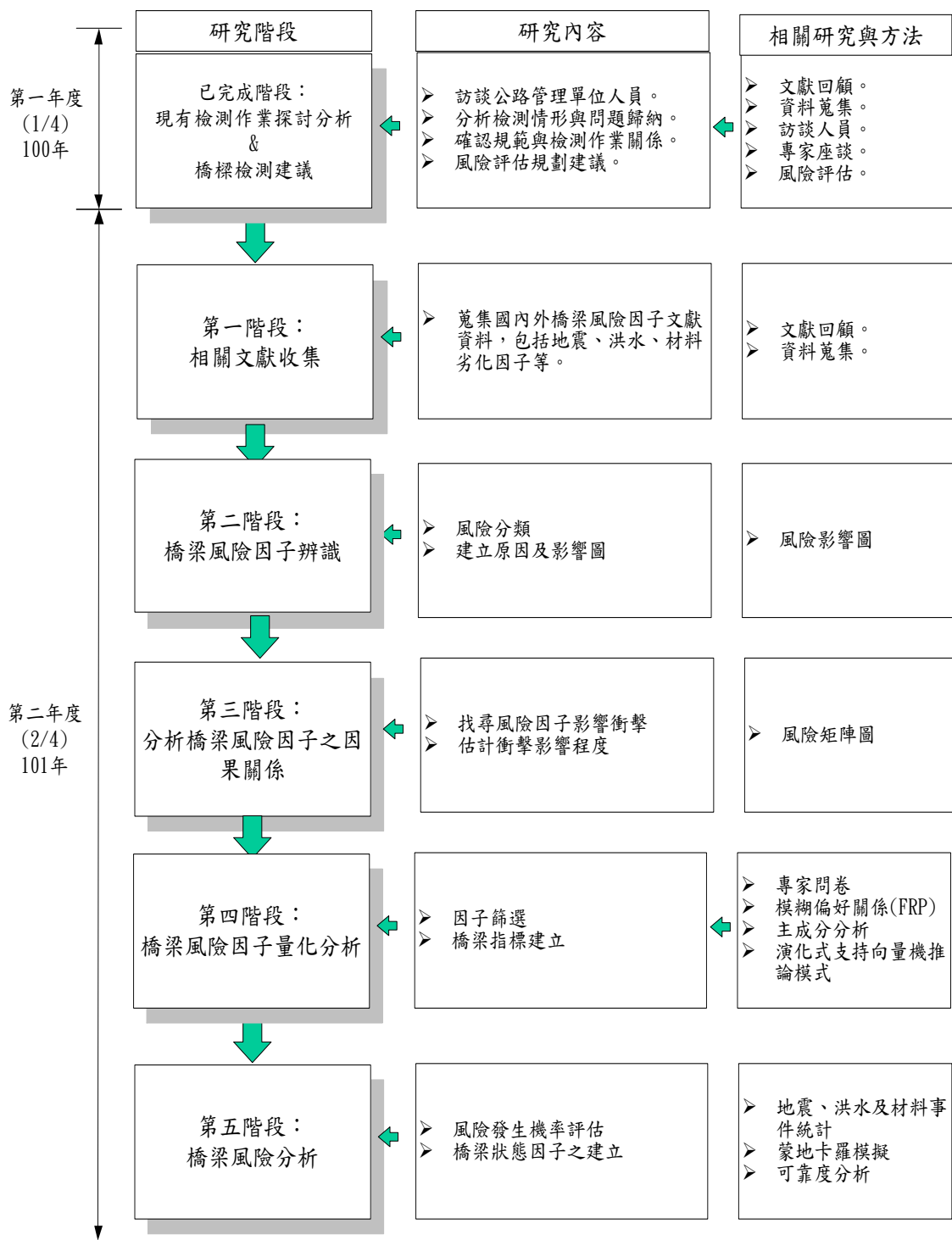


圖 1.1 研究內容架構圖

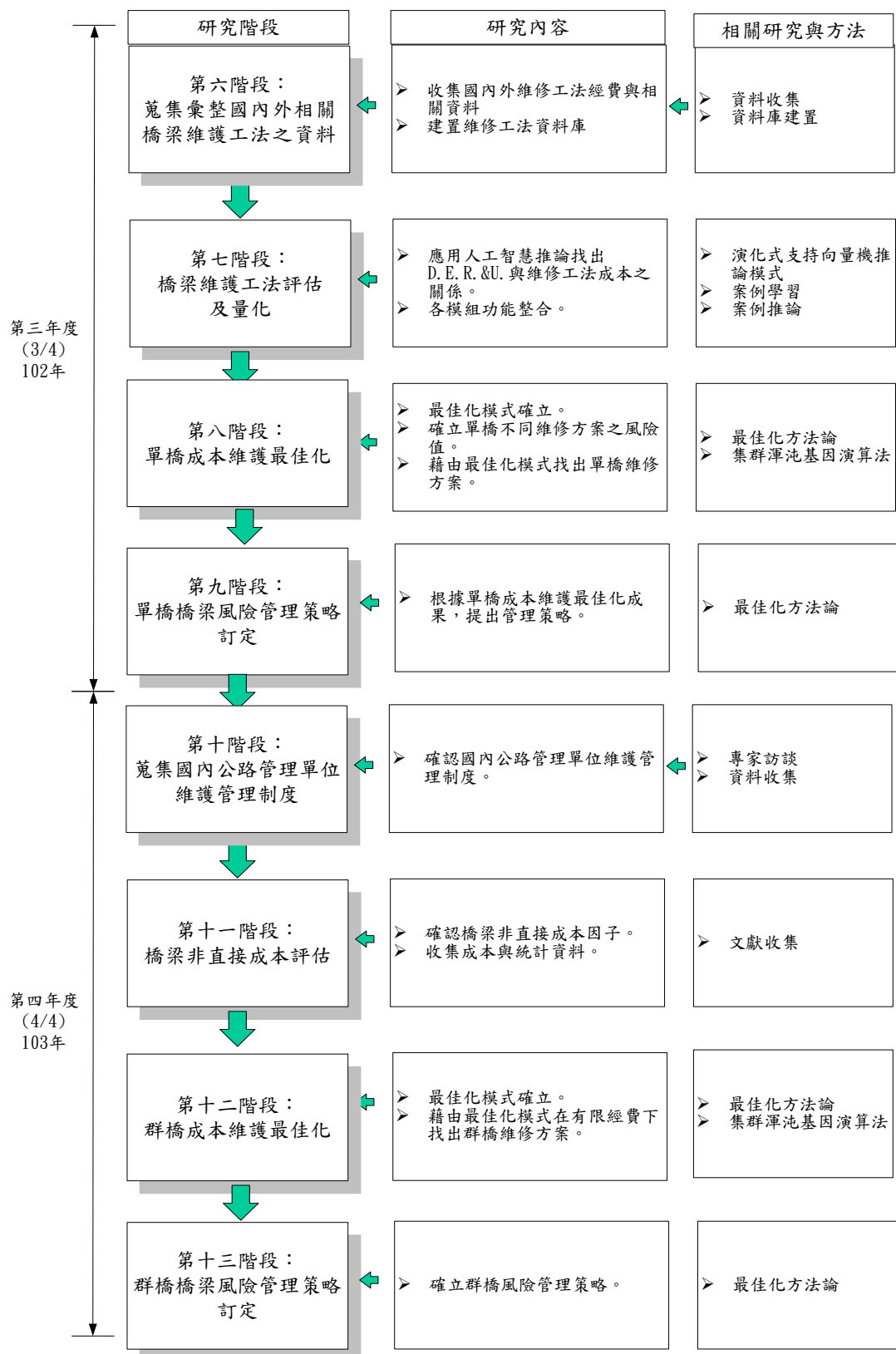


圖 1.1 研究內容架構圖(續)

1.5 工作項目及內容 (本年度，101 年)

本年度根據五個階段，擬訂本研究執行流程且其所涵蓋之契約工作項目，如下圖 1.2 所示：

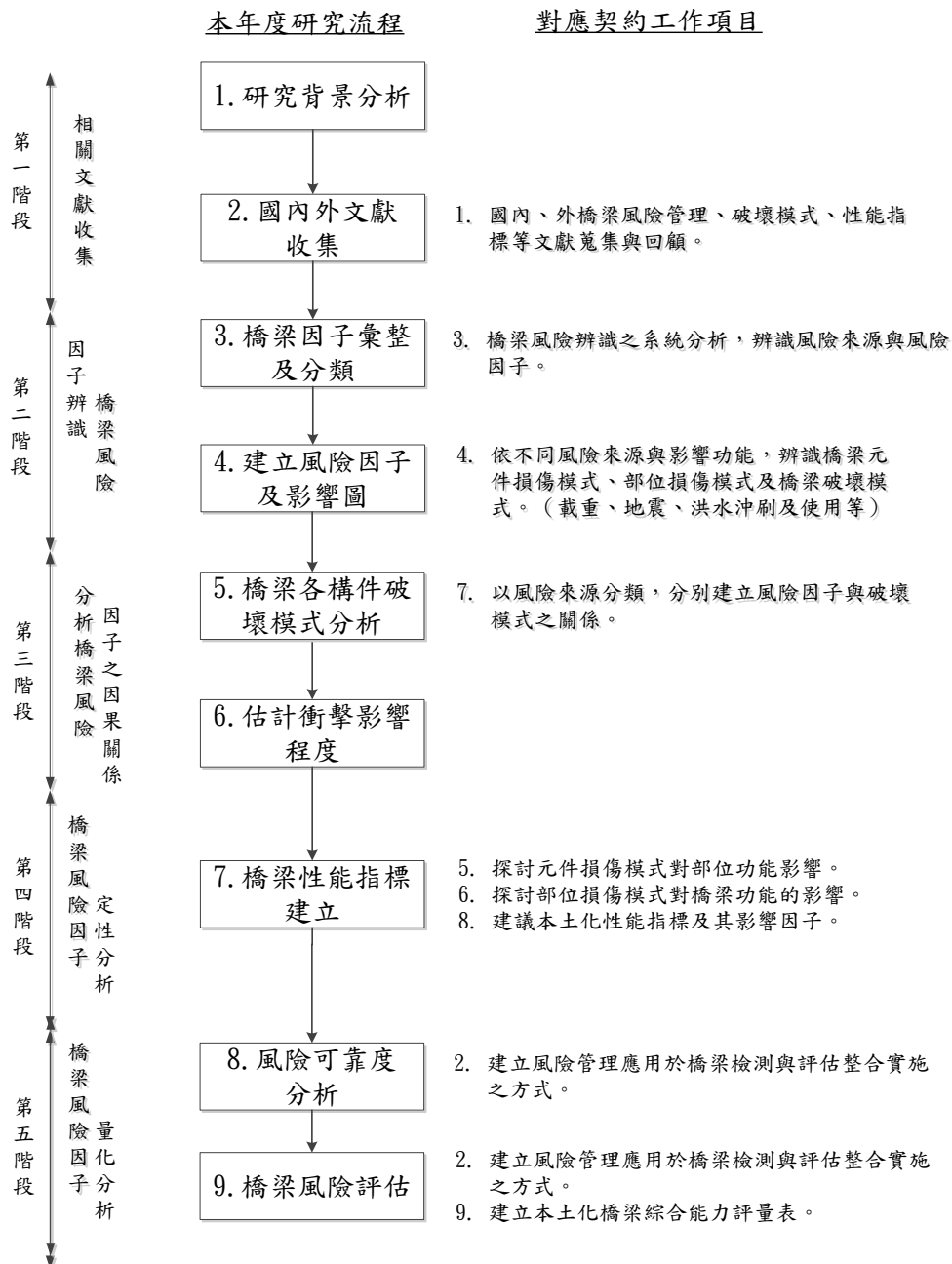


圖 1.2 研究執行流程圖

各工作項目如下所述：

第一階段：本研究同時考量可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)損壞因素，確認各風險來源與風險因子，並建立構件損傷模式、部分功能影響及橋梁功能之對應關係，最後導入風險發生頻率，以可靠度分析方法計算橋梁風險值，如此即可以本研究所建立之本土化橋梁綜合能力評量表，應用風險管理之觀念，讓管理單位經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能，了解可能風險，加強維護管理，達到橋梁延壽目的。整理之成果請參考第二章文獻回顧內容。

第二階段：橋梁是由許多不同構件組成，各構件功能不一，受風險損傷狀況也不近相同，難以就橋梁整體進行風險評估。故本階段對各構件進行分類，並分析各風險因子可能對那些橋梁構件造成影響，以利找出各風險因子可能造成之破壞。

第三階段：本階段根據上階段所定義三種風險來源與因子，包含可視老化(構件老化)、潛勢危害(地震及洪水沖刷)，找出各風險所造成橋梁損傷及破壞模。

第四階段：造成橋梁損害的風險因子甚多，故需先對因子進行選擇主要造成橋梁危害因子，並建立橋梁性能指標以利進行危害發生機率。

第五階段：本階段根據上階段所建議橋梁性能指標進行量化分析，評估橋梁危害發生之機率，結合風險衝擊影響程度。

第二章 相關文獻收集

臺灣地形山高谷深和溪河眾多，橋梁亦成為連絡河流兩岸之重要交通工程設施，但因臺灣屬季風型氣候夏季多雨、又處於環太平洋地震帶，乃至橋梁常遭受地震、洪水、土石流等災害之威脅，再加上嚴重之交通負荷，使得橋梁劣化或損害情況日趨嚴重。有鑑於此因此橋梁定期檢測與維護就更顯得重要，方得確保橋梁的安全性能。

橋梁隨著建設路網飽和，因而老舊橋梁愈來愈多，此時橋梁重點由新建轉成維護，在橋梁邁入高齡化的時代後，橋梁功能及服務品質因材料劣老化而下降，加上天災如颱風、地震、水害，人禍如盜採河川砂石、偷工減料等，均增加橋梁損壞之潛在危險，此時尚未採取適當管理機制，恐日後發生災害，造成國家、個人重大成本甚或生命付出，由此可見橋梁維護在未來之重要性，公路養護之目的，在使公路、橋梁、隧道及其附屬設施等，能經常維持其原有良好行車及安全狀態；必要時，可依據各級公路之需求分別予以改善。以下分別針對公路相關維護檢測作業、風險管理、破壞模式、性能指標與國內外等相關文獻進行整理與探討。

2.1 公路相關維護檢測作業

養護人員，應經常或定期巡查轄區內公路，並依據公路現況及實際需要訂定養護計畫，利用機具及人力，針對不同設施之養護基本原則與維護方法，辦理各項養護工作。復因公路極易遭受颱風、地震、豪雨及冰雪之侵襲，以及人為之破壞，致使公路阻斷或危及行旅安全，養護單位應立即通報並予以搶修或修復，使公路隨時提供良好之服務水準。

公路養護工作，並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安全、舒適及便利之原則下使用公路。

公路養護作業分別就路基及邊坡、鋪面、橋梁、隧道、排水設施、交通安全設施、交控及通信設施、沿線路權內附屬設施、景觀及植生、養路車輛機械等各項養護工作，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。

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。下表列舉歷年各公路橋梁管理單位相關檢測規範與手冊。

表 2-1 公路橋梁檢測規範與手冊(橋梁殘餘壽齡 1/4，2011)

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	101	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

橋梁構造物之檢測，必須先瞭解其位置、形態、種類及構造特性，俾利檢測能發現其缺點。以下將依據公路養護手冊對於橋梁的檢測時效、檢測評估、檢測項目敘述之：

1. 橋梁的檢測時效：

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，包括檢測種類、檢測頻率，以表 2-2 進行比較分析。

表 2-2 橋梁檢測分類別表(橋梁殘餘壽齡 1/4，2011)

	高公局	公路總局	鐵路局
巡查種類	1. 經常巡查 (1)日間巡查 (2)夜間巡查	1. 經常巡查 (1)日間巡查 (2)夜間巡查	1. 平時巡查 2. 定期檢查 3. 臨時檢查
檢測種類	1. 半年檢測 2. 定期檢測 3. 特別檢測 4. 詳細檢測	1. 定期檢測 2. 特別檢測	1. 定期複檢 2. 安全檢測
巡查頻率	1.經常巡查 日間巡查每日一次；夜間巡查，每月至少一次。 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。 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、 π 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。	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。 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、 π 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	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。 2.定期檢查 每年 10 月~12 月間由轄區之工務段指定主辦工程司、轄區監工、班長等組成檢查小組，以步行目視檢查。 3.臨時檢查 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。 4.定期複檢

	高公局	公路總局	鐵路局
	4.特別檢測 飈風(地區侵襲)、豪雨(地區 24 小時累計雨量 200 mm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。 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。	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。 3.特別檢測 天災(如飈風、豪雨、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。	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。 5.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。

2. 橋梁檢測評估方法

目前臺灣公路總局主要是採用 D.E.R.&U. 方法，此評估法乃根據交通部國道高速公路局所開發之橋梁管理系統基礎，委託 CSIR 公司與昭凌顧問工程股份有限公司制定之目視評估準則。檢測人員於定期檢測時參照橋梁檢測表格，表列各構件之劣化情形，分別依劣化程度 (Degree, D)、劣化範圍 (Extent, E)、劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度 (Relevancy, R) 等三項予以評定後；再評估該劣化構件需維修之急迫性 (Urgency, U)。

為評估劣化情形，D.E.R.U 以 1 至 4 之四個等級予以具體評估劣化程度，但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時，則以 0 予以記錄，如表 2-3。並由橋梁檢測人員於檢測現場予以評等。橋梁檢測員得參考相關檢測手冊並接受適當之橋梁檢測培訓，以期了解 D.E.R.U 檢測評估方法及評定準則。

表 2-3 橋梁構造物檢測評定標準

分數 項目	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	<10%	10%~30%	30%~60%	>60%
R	無法判定重要性	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內	1年內	緊急處理維護

資料來源：(公路養護手冊，2003)

3. 橋梁檢測項目

根據公路養護手冊闡述，橋梁檢測可分為影響橋梁結構安全及影響交通安全兩大層面。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，詳表 2-4 所示。其 21 項檢測評估項目皆採用 D.E.R.U 評估法進行評分。

表 2-4 橋梁定期檢測項目

定期橋梁檢測項目		
影響橋梁結構安全	影響交通安全	其他
12. 橋墩保護設施	1. 引道路堤	21 其他
13. 橋墩基礎	2. 引道護欄	
14. 橋墩墩體	3. 河道	
15. 支承墊	4. 引道路堤之保護設施	
16. 止震塊/防震拉桿	5. 橋台基礎或沉箱	
17. 伸縮縫	6. 橋台	
18. 主構件（大梁）	7. 翼牆/擋土牆	
19. 副構件（橫隔梁）	8. 摩擦層	
20. 橋面板/絞接版	9. 橋面板排水設施	
	10. 緣石及人行道	
	11. 護欄及欄杆	

資料來源：橋梁定期檢測資料表(交通部運輸研究所，2011)

4. 橋梁構件狀況指標(李有豐，2000)

D.E.R.&U.檢測法其含意考慮橋梁結構性、安全性、重要性等，運用橋梁構件狀況指標 Ic_i 進行橋梁評估，當 Ic_i 愈小，表示該橋梁構件損壞愈嚴重，最後將依據 Ic_i 大小加以排列，其橋梁構件狀況指標 Ic_i 計算公式如式(2.1)敘述：

$$Ic_{ij} = 100 - 100 \frac{D \times E \times R^a}{(4+4) \times 4^a} \dots\dots\dots(2.1)$$

Ic_{ij} ：梁構件狀況指標。

D 、 E 、 R ：表示 D.E.R.&U.檢測表格之各構件評分結果，分數範圍為 0~4 分。

a :表示相當中重要之參數，通常內定值為 1，若使用者欲強調構件之重要性，可取 2。

當各構件 Ic_{ij} 評估完畢後，再將所各構件 Ic_{ij} 值帶入式(2.2)中可獲得該構件 i 之狀況值 Ic_i 。最後把 Ic_i 、 w_i 代入式(2.3)即可求出橋梁整體狀況指標 CI 。橋梁整體狀況指標 CI 愈高，則表示橋梁整體狀況越好， CI 愈低則反之。

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} Ic_i \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i} \dots\dots\dots(2.3)$$

Ic_{ij} ：梁構件狀況指標。

Ic_i ：為構件 i 之狀況值。

n ：橋梁各構件之總數。

CI ：橋梁整體狀況指標。

w_i ：構件 i 相對橋梁之權重。

2.2 橋梁破壞模式

本研究將橋梁之構件單元進行分類，以瞭解各構件單元之特性；並回顧過去常見之橋梁災害損壞現象，建構橋梁災害損壞現象分類。最後根據各橋梁構件單元及其損壞型式，彙整並建立各橋梁單元可能之損壞型式及損壞現象對照表。

2.3 橋梁構件單元分類

橋梁構件既多且複雜，各構件使用情況及維修方式均有所不同，亦各有不同的損壞情形。為了瞭解各橋梁構件在災害發生時之損壞情況，需先架構出橋梁之構件分類，以利受損橋梁損壞型式之建立及補強技術之選擇。

基本上，橋梁結構可分為上部結構（Superstructure）與下部結構（Substructure）兩大主體。上部結構與公路線形連續，承受本身之重量與交通載重，下部結構之主要目的則為承受上部結構傳遞下來之荷重，與土層相聯繫進而增強橋梁本身之穩定性。兩個主體以支承墊為分界，而支承墊一般歸為上部結構之構件。

為配合災害發生後，針對特定橋梁部位進行修復與補強，本研究藉由文獻整理(李有豐，2000)，將「橋梁構件」分為上部結構（Superstructure）、下部結構（Substructure）、基礎（Foundation）、支承（Supporting Element）、橋台引道（Abutment）、其他設施（Other Elements）六大部分，再針對「橋梁構件」向下細分成「橋梁單元」，包含大梁、橋面版、橫隔梁、帽梁、橋墩柱、基礎構造、支承、防落裝置、橋台、引道、伸縮縫、及附屬設施共十二項，建立橋梁構件單元分類架構圖，如圖 2.1 所示，以及橋梁構件單元分類表，如表 2-5 所示。

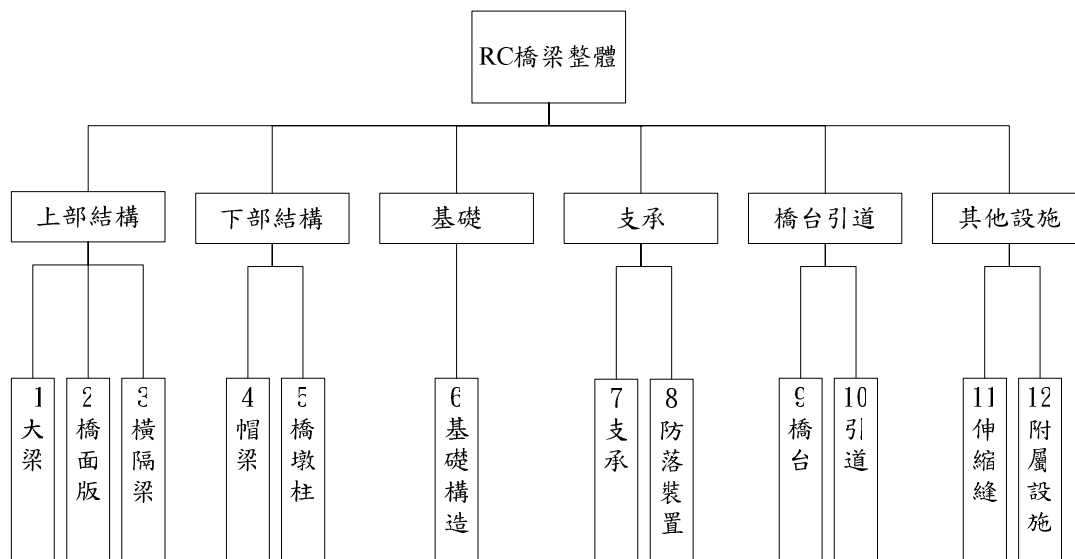


圖 2.1 橋梁構件單元分類架構圖(李有豐，2000)

表 2-5 橋梁構件單元分類表(李有豐，2000)

橋梁構件	構件代號	橋梁單元	單元代號
上部結構	Sup.	大梁；橋面版；橫隔梁	Sup.1；Sup.2；Sup.3
下部結構	Sub.	帽梁；橋墩柱	Sub.1；Sub.2
基礎	F.	基礎構造	F.1
支承	S.	支承；防落裝置	S.1；S.2
橋台引道	A.	橋台；引道	A.1；A.2
其他設施	O.	伸縮縫；附屬設施	O.1；O.2

2.4 橋梁震害破壞模式及原因

在橋梁結構之損壞型式中，損壞一詞甚難定義，更不易量化，任何一座橋梁或其一部份只要在正常機能之外均屬“不完美”，其中包括缺陷、瑕疵、損壞、破壞、失敗等。如果某一橋梁構件或單元於地震災害發生後，其損壞現象已甚明顯，損及橋梁結構本身之機能性、安全性與服務性，需立即進行補強加固，則此損壞現象為探討之重點。

探討國內外震後橋梁損壞型式，除了有助於對橋梁在地震下之結構行為瞭解外，亦有助於篩選影響橋梁耐震能力之影響參數，作為橋梁往後耐震補強方法選擇及耐震能力評估準則建立之依據。如九二一

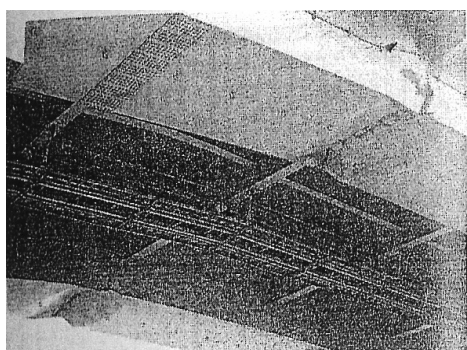
集集大地震中，較為常見且嚴重的損壞型式包含落橋、橋柱剪力或撓曲破壞、主梁位移、基礎破壞、橋台破壞等。

一般而言，橋梁結構之損壞型式可以下列方法分類之，即：(1)以橋梁結構組成(2)以造成因素(3)以受力狀態之特性(4)以構材本身之缺陷 (5)以缺陷對結構物之危害程度。

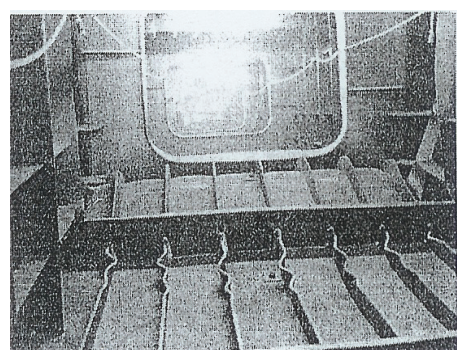
由於橋梁損壞型式與其結構特性或使用材料有密切之關係，如上部結構與基礎之影響參數不同、鋼筋混凝土橋與鋼橋損壞型式亦不同，因此在進行震後橋梁損壞型式之探討時，將以橋梁結構組成分類為主，即根據所定義之橋梁構件與單元，進行損壞型式分類，探討如下。

2.4.1 上部結構損壞型式

地震中上部結構之破壞除落橋外，另外常見之破壞模式包括主梁、橋面版等之破壞。如阪神地震中因側向力過大使鋼梁與橋柱產生垂直車行向之相對位移，而造成主梁在弱軸方向瞬間作用力過大而導致腹板挫屈，或主梁受擠壓導致下翼板、加勁板挫屈(圖 2.2)。此外，主梁亦可能因支承或防落裝置如防落拉桿、止震塊等之破壞，或因主梁變位過大而導致主梁自支承滑落承受過大之剪力而破壞，921 地震中即有此類主梁破壞之模式，如烏溪橋、東豐橋及炎峰橋(圖 2.3)。

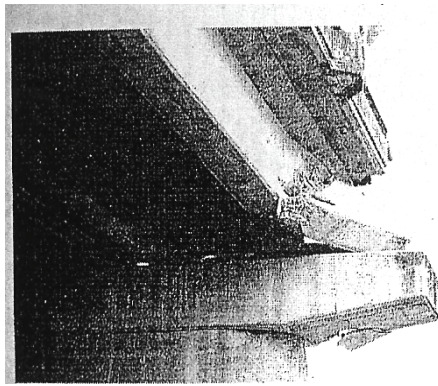


(a)主梁挫屈



(b)加勁板挫屈

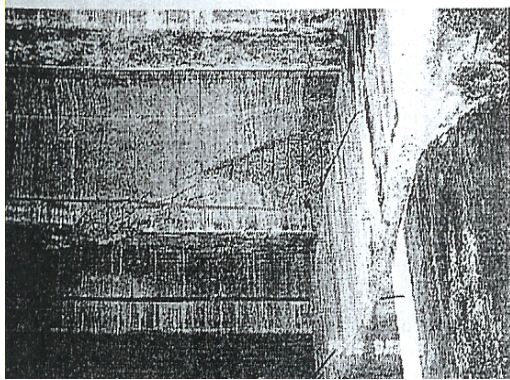
圖 2.2 鋼梁挫屈破壞(李有豐，2002)



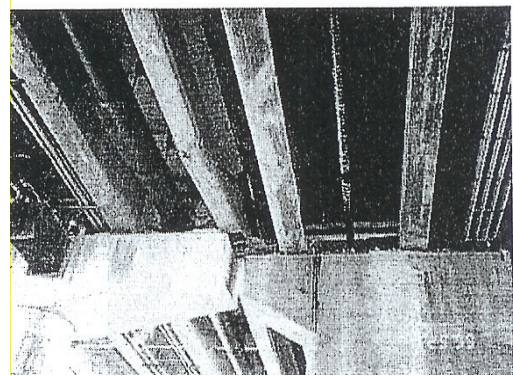
(a)烏溪橋



(b)炎峰橋



(c)東豐橋

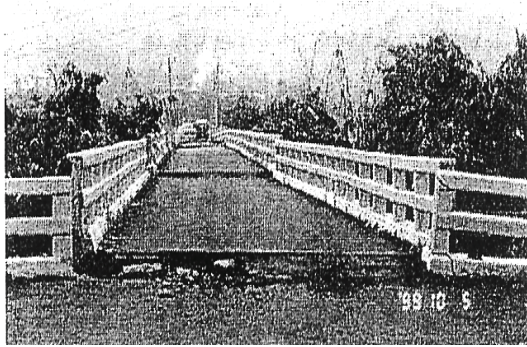


(d)東豐橋

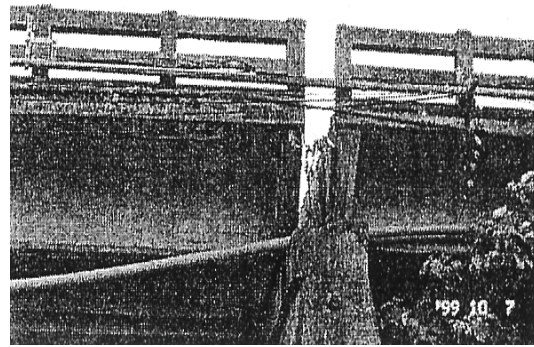
圖 2.3 主梁之破壞模式(李有豐，2002)

大梁常見的震害損壞現象包含位移、傾斜、變形、混凝土剝落、鋼筋外露、因支承或防落裝置之破壞致使大梁自支承滑落而損壞。大梁亦可能因原本已存有裂縫或混凝土劣化之現象，以致構件強度之衰減情形超過預期，使得大梁在地震侵襲之下發生斷裂。

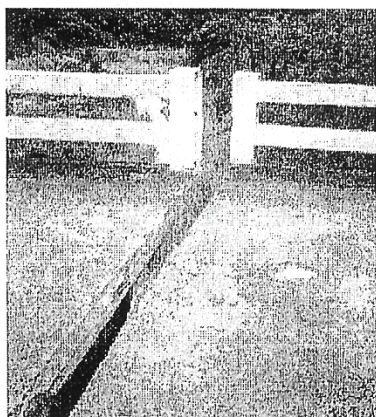
上部結構之破壞除主梁外，嚴重者可能發生橋面高低差、橋面車行向或垂直車行向分離等破壞模式，損壞較輕微者則為護欄擠壓、標誌架或照明設備等附屬設施傾倒等(圖 2.4)。國內老舊橋梁往往因車流量增大而擴建，影響地震時橋梁之破壞模式。921 地震中即有新舊橋梁因振動單元不同，地震下產生相對變位而造成新舊橋梁分離之破壞模式，如東豐橋、大峰橋及一江橋等(圖 2.5)。橋面版主要的損壞現象包含橋面版破裂分離、橋面擠壓隆起、變形、或因支承、橋柱、基礎等之破壞所導致橋面產生傾斜或高低差等。



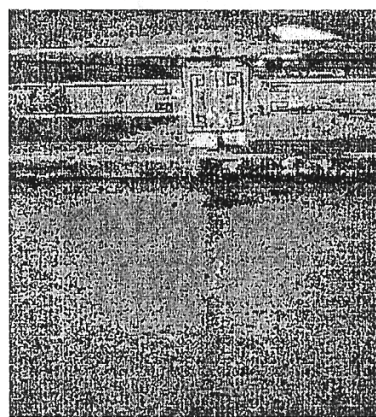
(a) 鯉魚橋橋面高低差



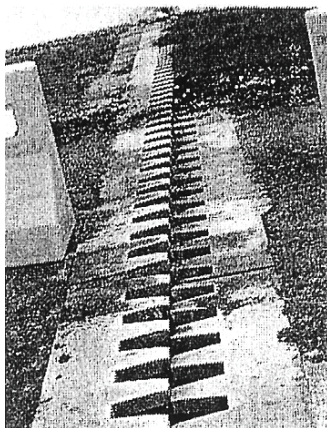
(b) 一江橋橋面分離



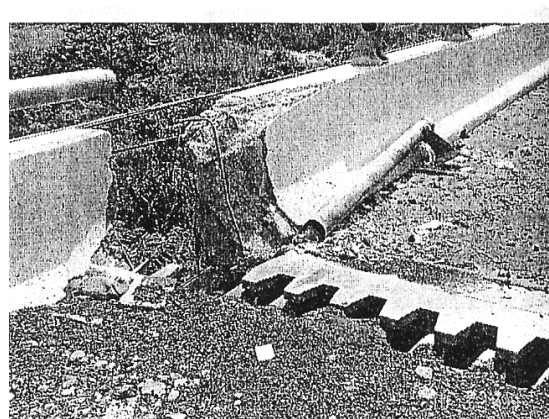
(c) 光龍橋橋面分離



(d) 龍安橋護欄橋面擠壓

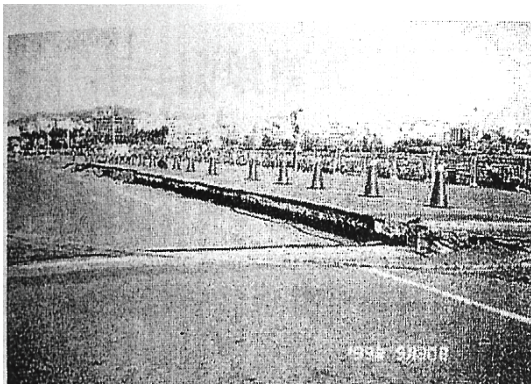


(e) 炎峰橋橋面高低差



(f) 炎峰橋橋面錯位

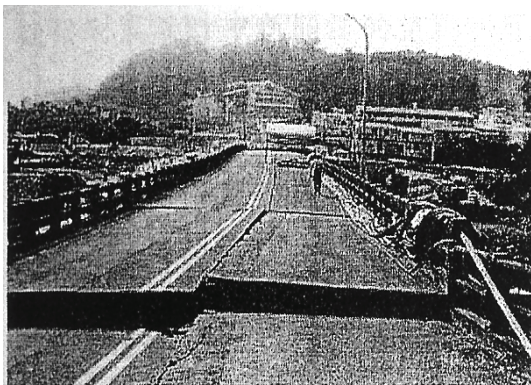
圖 2.4 橋面版破壞模式之一(李有豐，2002)



(a)東峰橋



(b)大峰橋



(c)一江橋

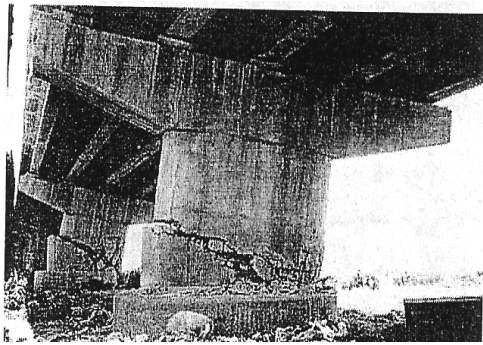
圖 2.5 橋面版破壞模式之二(李有豐，2002)

由於上部結構之損壞通常是其他橋梁構件，如橋柱或支承之破壞而導致之結果，故未來研判上部結構之損壞現象時，應先探討其他構件可能造成上部結構損壞之原因，再提出後續修復補強之計畫與措施。

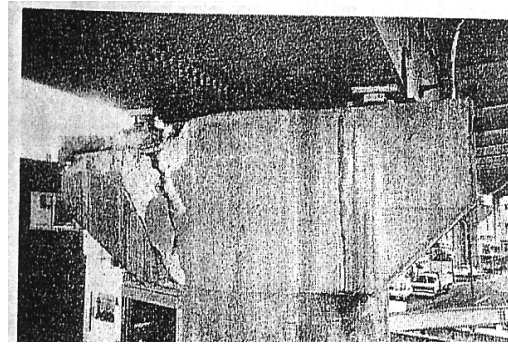
2.4.2 下部結構損壞型式

下部結構主要之損壞型式為帽梁及橋墩柱之破壞。帽梁常見的震害損壞現象有外表混凝土的剝落或裂縫、帽梁開裂等。橋墩柱之損壞型式若以力學行為來分，主要有因主筋搭接長度不足或圍束不佳致使橋柱損壞的「撓曲破壞」、橋柱剪力箍筋配置不足致使發生脆性損壞的「剪力破壞」(圖 2.6)，及主筋搭接長度不足或未考慮鋼筋應變硬化所造成彎矩位移而過早截斷主筋所造成的「撓剪破壞」(圖 2.7)。損壞現

象包括橋墩柱位移、傾斜、變形、沉陷、開裂、內部混凝土破碎、外部混凝土剝落或裂縫、鋼筋外露等。

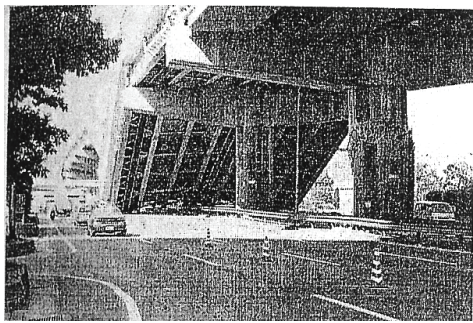


(a)烏溪橋橋柱剪力破壞

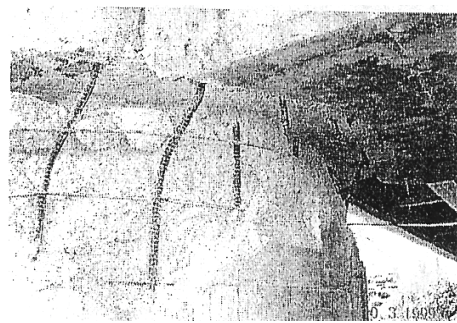


(b)阪神 RC 橋柱帽梁剪力破壞

圖 2.6 橋柱及帽梁剪力破壞(李有豐，2002)



(a)阪神 RC 橋撓剪破壞



(b)炎峰橋撓剪破壞

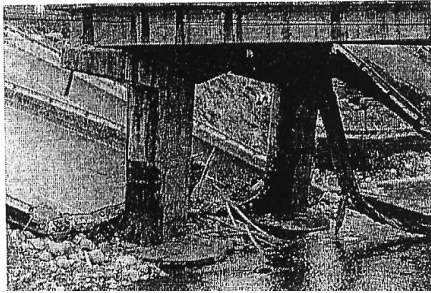
圖 2.7 撓剪破壞(李有豐，2002)

由於抵抗地震力所需韌性主要是由橋墩柱來提供，因此，有關橋墩柱破壞行為的探討及耐震設計與補強等均是震後橋梁能否快速修補的關鍵。

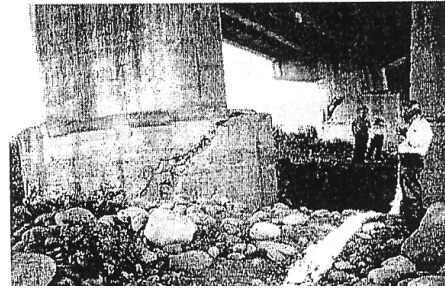
2.4.3 基礎損壞型式

本研究將基礎構造作為橋梁單元之一；基礎構造主要包含基礎版、基樁、沉箱基礎等。因此震後橋梁基礎損壞現象不外乎是從上述構造之破壞來探討，常見的損壞如基礎版或沉箱基礎的破裂或壓碎、基樁的傾斜或折斷等(圖 2.8)。基礎之損壞型式可能因地表錯動或承載

土層發生液化沉陷，造成基礎變位或是結構破壞等。損壞現象如裂縫、破裂、壓碎、變形、折斷等。



(a)石圍橋基礎傾斜導致落橋

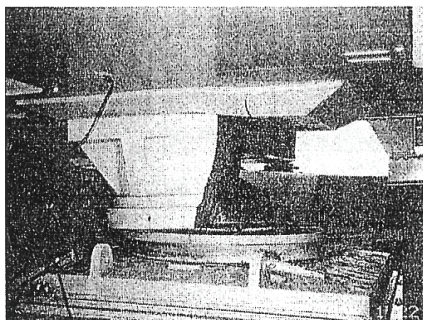


(b)烏溪橋沉箱剪力破壞

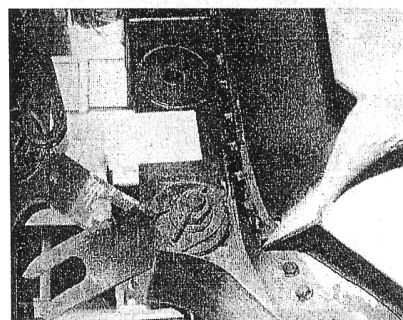
圖 2.8 基礎損壞型式(李有豐，2002)

2.4.4 支承損壞型式

支承或防落裝置主要之損壞型式為構造本身之損壞或失去功能兩方面。支承或防落裝置之本體構造可能因無法承受過大的垂直地震力而發生損壞，常見之損壞型式有構造發生裂縫、破裂、變形或壓碎等；支承或防落裝置亦可能因水平地震力過大造成支承構件發生不當位移或脫落，致使支承構件失去其正常的功能(圖 2.9)。



(a)阪神鋼支承破壞



(b)阪神防落裝置破壞斜撐挫屈

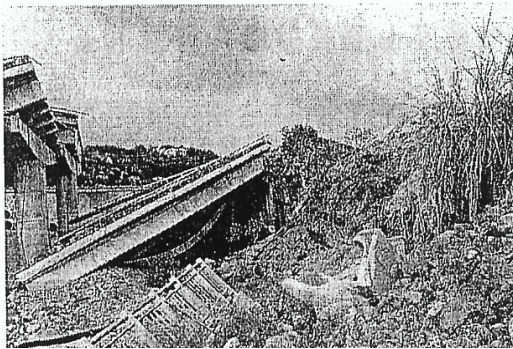
圖 2.9 支承及防落裝置之破壞(李有豐，2002)

由於支承構件主要功能為上部結構與下部結構力量傳遞之裝置，或防止橋梁發生落橋之設施，因此支承之損壞型式亦為分析橋梁耐震評估或補強之重點項目。

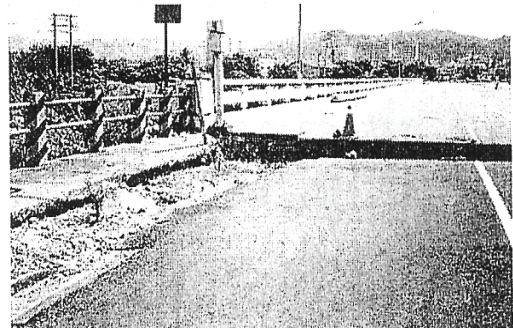
2.4.5 橋台引道損壞型式

橋台破壞模式大多與軟弱土質有關，除了地震時軟弱土壤所造成之液化外，與橋台回填土不確實亦有相當大之關係。

橋台常見之損壞型式包含因地表錯動或土壤液化造成構造之傾斜、傾倒、沉陷或位移，橋台後仰或旋轉損壞造成落橋。橋台本身亦可能發生壁體外表裂縫或破裂之損壞。引道則常因橋台或擋土牆之滑動或位移，造成引道填土沉陷、擠壓隆起或變形(圖 2.10)。



(a)橋台傾倒及落橋



(b)大峰橋橋台、引道高低差

圖 2.10 橋台、引道損壞型式(李有豐，2002)

2.4.6 其他設施損壞型式

摩擦層及伸縮縫常見之損壞型式為破裂、擠壓變形、錯位產生高低差等；附屬設施為促進交通安全之附屬構件，破壞型式不一，常見之損壞包含護欄斷裂或脫落、照明設施受損或故障、排水設施破裂、防撞設施損壞、標誌受損或故障等。

綜合前述之震害模式分類分為上部結構、橋柱、橋台與引道、支承與防落橋裝置基礎等部位彙整損害型式和狀況如表 2-6 及表 2-7。

表 2-6 震後橋梁單元損壞型式(1/2) (李有豐，2000)

	橋梁構件	橋梁單元	損壞情形
橋梁 整體	上部結構	大梁	(a)大梁破裂、折斷 (b)混凝土剝落、鋼腱外露 (c)鋼梁扭曲、變形 (d)梁端支承處嚴重破碎 (e)梁端支承處發生裂縫
		橋面版	(a)橋面版破裂、變形或下陷 (b)橋面版與大梁接合處開裂、分離 (c)橋面版發生裂縫
		隔梁	(a)隔梁破裂、變形 (b)隔梁與大梁接合處分離 (c)鋼隔梁構件挫屈、變形 (d)混凝土剝落、鋼筋外露 (e)隔梁發生裂縫
	下部結構	帽梁	(a)嚴重開裂、支承附近破碎 (b)混凝土剝落、鋼筋外露 (c)混凝土外表裂縫
		橋墩柱	(a)墩柱產生嚴重開裂 (b)內部混凝土破碎、鋼筋彎曲變形 (c)外側混凝土剝落、鋼筋外露 (d)墩柱外表裂縫 (e)施工接縫處或斷面尺寸變化處開裂 (f)鋼柱鋼板挫屈、變形
	基礎	基礎	(a)因承载力等因素，造成基礎下陷 (b)基礎嚴重傾斜、位移 (c)河床下陷、穩定性不足 (d)基礎裸露且受損 (e)沈箱基礎嚴重裂縫

表 2-7 震後橋梁單元損壞型式(2/2) (李有豐，2000)

	橋梁構件	橋梁單元	損壞情形
橋梁整體	支承	支承	(a)橡膠支承墊移位、變形或破壞 (b)鋼板支承墊移位、變形 (c)混凝土支承座破壞 (d)鋼支承構造傾倒、變位或脫離 (e)鋼支承構造變形、破壞
		防落裝置	(a)剪力鋼棒彎曲變形 (b)混凝土固定處破裂 (c)止震塊嚴重破碎 (d)與帽梁接合處分離 (e)止震塊發生裂縫
	橋台引道	橋台引道	(a)橋台嚴重傾斜、滑動或沈陷，並造成落橋 (b)橋台位移、變形，並造成上部結構位移 (c)橋台位移，造成引道填土下陷或擠壓隆起 (d)擋土牆滑動、位移，造成路面下陷、變形 (e)橋台與引道擋土牆間產生錯動、分離 (f)橋台、擋土牆嚴重破裂 (g)橋台、擋土牆外表裂縫 (h)翼牆損壞擋土牆間產生錯動、分離
	其他設施	伸縮縫	(a)破裂 (b)變形 (c)沉陷隆起
		附屬設施	(a)附屬設施破壞

2.5 橋梁洪水冲刷破壞模式

2.5.1 河川型態

以整個河川流域之觀點來看，河流型態常因有人為人工結構物而形成河型轉化；因此，來水、來砂與河床邊界條件的改變所引起的各種河流類型間的相互轉變過程所。例如在河流上流建水壩後，流向下游的水砂過程會有較大的改變，因而破壞了下游河床形態與水流間以相互適應的相對平衡，下游河床必將作出相應的調整，以適應新的來水、來砂過程，這樣就可能導致下游河型的轉化，而有壩上游淤積、下游冲刷之情形發生。

此外，河流因汛期流量變幅大，因漫溢至高灘上，使河寬加寬；非汛期水流匯聚主河槽，兩岸有較高的淤積高灘地，當河床下切作用因床面出現粗化層而受到遏制時，河床沖刷可能表現為側向侵蝕，使兩側岸灘不斷崩塌，形成新的河心砂洲和邊灘，原洪水河床範圍內灘槽高差減小，主槽不明顯，也不穩定，河道乃出現辮狀之特性。若原來在非辮狀河流上，由於其他原因使水流帶來大量卵礫石顆粒時，下游原來較穩定的河槽可能淤積抬高，使水流經常漫灘，形成辮狀河道。此種情形常使水工結構物如橋梁、橋台、丁埧等經常受到沖刷之威脅。

2.5.2 沖淤行為

對於河道中之沖淤行為，基本上是水理與輸砂之問題，單就其彼此之相互關係即十分複雜，但若再考慮實際在河道中所建構之水工結構物如橋梁、堰、埧、取水工等，則在水工結構物附近之水流則更為複雜，而沈載之運移亦隨之而變化多端。以河段考量之長度，其可考慮為一維、二維或三維性之分析，可利於歸納分析之用。

2.5.3 橋梁橋基周圍沖刷

臺灣地區河川坡陡流急、地質脆弱，加上地震頻繁及颱風豪雨造成河川豐枯流量懸殊及河道輸砂量產生極大變化，導致河道產生強烈沖淤變化，以及深水河槽容易變遷。在河流上修建橋梁後將使河流演變規律發生變化，橋梁兩端常需修建引堤，引堤及橋墩惡化了水流條件，常引起河床的沖刷，河床的沖刷又危及橋梁的安全。因此，為了改善橋梁上、下游水流條件，穩定主流方向，調整水流結構，削弱其沖刷能力，往往需要對橋渡附近的河道進行整治。

如任其自然演變不加治導，將使淤積段河道通洪斷面不足危及河道防洪標準及影響橋梁行車安全；如為刷深型河段水流集中沖刷將造成橋梁基礎深度不足，影響橋梁結構安全。舉例而言，如朴子溪月眉潭橋上下游即屬於河道普遍淤積，以致通洪斷面不足，使得水流集中刷深沖蝕。此段河道治理河道全斷面寬 600 公尺，低水深槽卻僅 54 公

尺寬，其中低水深槽通過橋孔僅約 20 公尺寬已有多座橋墩基礎明顯裸露，基礎刷深約 5m。且公路單位歷年置放橋基保護工蛇籠、混凝土頂塊亦受嚴重破壞，造成橋梁上下游低水深槽有 2-3m 高程落差。此外，高屏溪流域高美大橋上下游河段，則屬於因鄰近河床砂石長期遭盜採濫抽，使得採砂運移所造成溯源沖刷效應，而造成高美大橋橋墩基礎嚴重裸露，嚴重危害橋梁安全(王仲宇，2002)。

2.5.4 橋梁基礎沖刷災害

近年來，臺灣經濟突飛猛進，促使河川開發利用密集，不論是水庫新建、山坡地開發、河川採砂石等，都直接或間接改變河川之水文、水理特性，進而影響河流之演變趨勢，使得橋梁沖刷問題日益嚴重。國內多位土木、水利、橋梁方面學者及專家一致表示，橋基裸露是目前最嚴重的橋梁安全問題。而橋墩沖刷造成橋基裸露是全面性的橋梁安全問題，不只是傳統上以為的個別橋墩局部沖刷而已。

一座橋梁斷面可能遭受之總沖刷深度係為一般沖刷 (General Scour) 及局部化沖刷 (Localized Scour) 兩大型態所組成，如圖 2.11；一般沖刷(全面沖刷)係指河床全面的下降，其成因主要為自然或人為因素，使河川泥砂運移喪失平衡所致。局部化沖刷可再區分成束縮沖刷 (Contraction Scour) 與橋墩及橋台之局部沖刷 (Local Scour)。其中束縮沖刷係指因設置橋梁造成通水斷面減小增加流速而導致之河床沖刷行為。局部沖刷則指洪水流經橋墩或橋台周圍時，橋基周圍底床受到渦流侵蝕所導致之橋墩或橋台周圍淘刷現象(王仲宇，2002)。

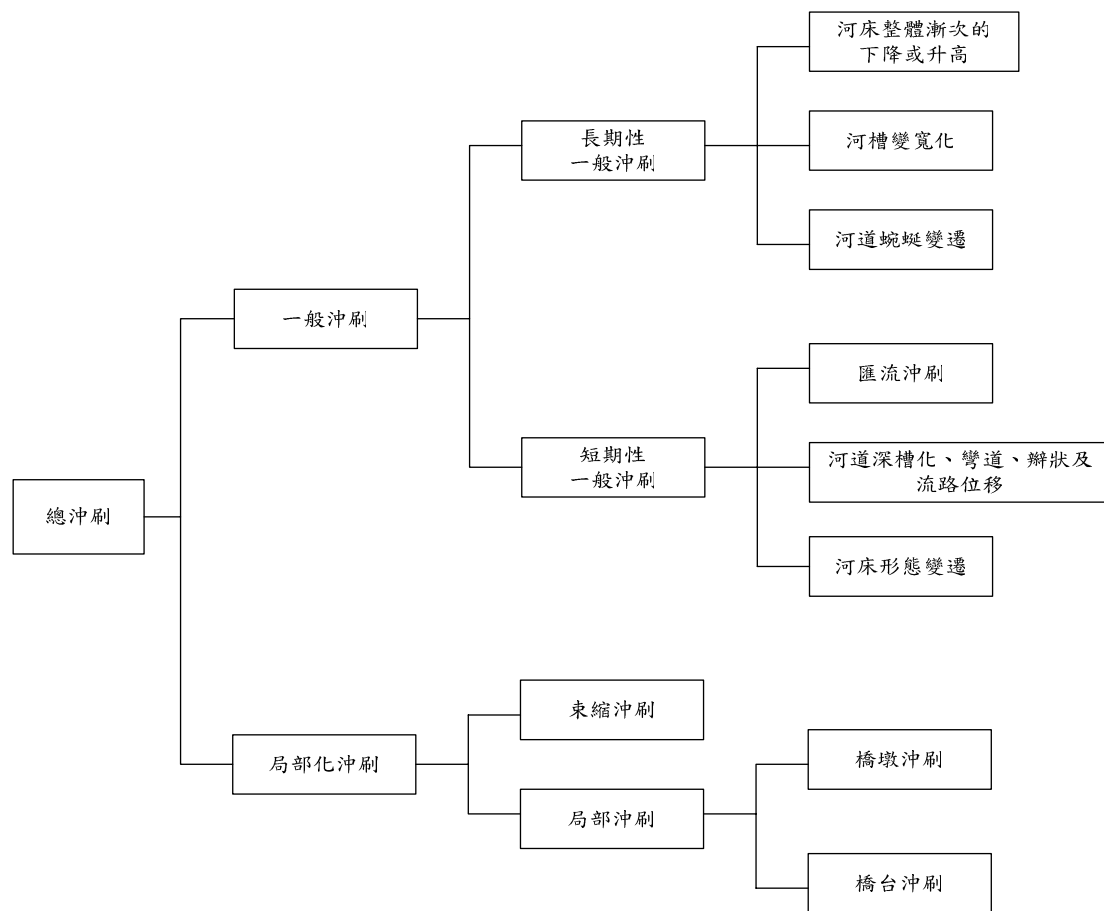


圖 2.11 河川橋梁沖刷 (交通部，2003)

2.6 橋梁老化腐蝕破壞模式

2.6.1 混凝土橋之劣化現象

臺灣地處亞熱帶，氣候潮溼又多鹽份，對鋼筋混凝土而言是屬高腐蝕性環境，加上施工品質不良或摻用未經處理的海砂，使得近年來鋼筋混凝土結構腐蝕問題頻傳。腐蝕影響的結構種類除了鋼筋混凝土橋(Reinforced Concrete Bridge, RCB)以外，也包括預力混凝土橋(Prestressed Concrete Bridge, PCB)，預力橋的腐蝕會嚴重影響到其結構安全。美國統計在 1950 年到 1978 年之間，預力混凝土橋因腐蝕而影響其結構安全的案例有 28 個，而在 1978 到 1987 年間，腐蝕的案例激增了十倍。一般而言，混凝土橋常見之損壞如表 2-8 所列。

表 2-8 混凝土常見之損壞現象(沈永年，2001)

	損壞名稱	損壞現象
1	劣化(Deterioration)	混凝土結構不可避免的老化現象，可解釋為混凝土組成份子中之力學、物理與化學特性的改變。
2	鱗狀剝落(Scaling)	混凝土表面水泥砂漿脫離所造成，剝落的過程中會造成粗骨材外露，最後之結果則是鬆脫。
3	表皮髮裂(Crazing)	混凝土結構表面層之微細裂紋，其形狀通常不具規則性。由於裂紋非常細小，因此亦可稱為毛細裂縫。
4	剝離(Spalling)	混凝土結構物呈片塊狀之脫落現象，其主要形成原因為鋼筋銹蝕或混凝土受力超過其容許值。
5	爆開(Popout)	爆開係接近混凝土表面處之不健全粗骨材顆粒所造成。在冷天如結冰易造成更進一步的惡化。
6	窪坑(Pitting)或碎裂	混凝土之碎裂範圍大約呈網狀之圓形，自混凝土面成平行或傾斜之剝離，低窪之邊緣常與表面成直角，有時會導致鋼筋暴露。
7	蜂窩(Honeycombing)	蜂窩是由於施工時漏漿使得水泥砂漿無法填充骨材間之孔隙所形成。
8	白華、析晶(Efflorescence)	表面分解最常見的是混凝土風化及滲出物。風化是一種鹽分解作用，通常呈現白色，它是由於混凝土內部氫氧化鈣溶液流出到表面所形成，此現象稱為白華。風化與滲出物一般都會和裂縫同時出現。
9	脫層(Delamination)	混凝土結構之裂紋並不一定是在表面，可能隱藏在表面下某一距離。如鋼筋銹蝕膨脹後將混凝土向外推擠，在混凝土尚未剝落前亦會形成條狀甚至於片狀之空洞區域，此亦為脫層現象之一種。
10	孔蝕(Cavitation)	孔蝕之外觀非常類似蜂窩，通常在混凝土澆置後數月或數年才會出現。一般均認為突出物突然出現水流漩渦造成的氣泡，是導致孔蝕現象的主因。
11	失色(Discoloration)	混凝土結構物完工後顏色必屬均勻一致，失色則是指混凝土某一部份之色澤退化，形成混凝土結構物表面整體色澤不一致之現象。失色不只影響結構物之美觀，更有可能是結構物內部缺陷的表面徵兆。
12	脫皮(Peeling)	混凝土表面薄片狀之脫皮現象，通常由於混凝土之劣化或因模版拆除而造成。
13	滲膠(Exudation)	某種液狀或膠狀之物質自混凝土之裂縫或孔隙流出，滯留在混凝土表面之現象。
14	滲漏(Leaching)	主要發生於橋面版，水份由橋面版表面滲透而由橋面版底部漏出。

	損壞名稱	損壞現象
15	鹼骨材反應 (Alkali-Aggregate Reaction)	鹼骨材反應係混凝土內水泥的鹼化物與骨材中的活性二氧化矽(活性骨材)在足夠的濕氣及溫度環境的催化下所產生的一種膨脹性化學反應，反應的結果將造成混凝土衍生膨脹應變、混凝土的龜裂及強度隨時間降低等劣化現象。
16	裂縫(Cracks)	裂縫基本上可視為固體材料中某種不連續之現象，混凝土一旦產生裂縫，則外界之濕氣及氧氣或氯化物等將更容易與鋼筋接觸造成鋼筋快速腐蝕。造成混凝土結構物在荷重階段發生裂縫之原因有超載與設計施工不良、基礎之不均勻沈陷及疲勞裂縫。
17	鋼筋腐蝕(Corrosion)	在鋼筋腐蝕時相伴之生成物的體積比鋼筋體積為大，最高可達六倍，因此鋼筋銹蝕膨脹後會對混凝土產生推擠，使混凝土受到向外推力。

影響混凝土腐蝕之劣化現象主要有下列六種：龜裂、鹽害、鹼骨材反應、中性化、特殊環境引致之劣化、硫酸鹽侵蝕，分別說明如下(周健捷等，2000)：

1. 龜裂

龜裂是混凝土構造最常見的劣化損害現象，亦是導致內部鋼筋腐蝕的主因之一。在力學強度上，混凝土材料之特性為抗壓強、抗拉弱(拉力強度約僅壓力強度之 1/7 至 1/10)，由於其不耐拉之特性使得龜裂成為混凝土構造很常見之劣化缺陷。茲就各種龜裂之成因及其相關特徵歸納如表 2-9，該表可做為初步判斷裂縫原因之依據。當難以明確地判別其原因時，須施行非破壞檢測，或用其他方法作進一步之診斷。

表 2-9 龜裂之原因及相關特徵

龜裂之原因			龜裂之特徵
混凝土材料性質	水泥之異常凝結		早期發生不規則之龜裂，裂縫寬度大，長度小
	水泥之異常膨脹		放射形之網狀龜裂
	混凝土收縮變形		澆築後 1~2 小時內，鋼筋上面或牆及版之交界處斷續產生 (※1)
	骨材含泥量		隨著混凝土表面乾燥，產生不規則網狀龜裂
	水泥之水化熱		斷面大之混凝土在一二周內開始發生約略成等間隔規則的直線狀裂縫，有祇在表面產生裂縫亦有貫穿構材之裂縫產生
	混凝土之硬化、收縮		自 2~3 月開始逐漸地產生 (※2)
	反應性骨材或風化岩		自混凝土內部產生爆裂狀，多發生於潮濕之場所
施工缺陷之相關事項	長時間攪拌		全面網狀之裂縫或長度短之不規則裂縫
	泵送時水泥量，水量增		產生※1 及※2 之現象
	配筋不良，保護層不足		沿版周邊產生圓形裂縫或沿鋼筋表面產生裂縫
	快速澆築		產生※1、※3 之現象
	蜂窩		易成為各種裂縫之起源
	模板變形		平行模板變動方向，局部產生龜裂 (※3)
	施工縫處理不良		混凝土澆築位置或冷縫處產生裂縫
	硬化前之振動或積載		與外力有關之裂縫相同
	初期養生不良	急速乾燥	澆築之後，表面各部份不規則地發生短裂縫
		初期凍結	產生細裂縫、剝離
	鷹架沈陷		構材端部中央及中間處下端產生裂縫
環境條件之相關事項	環境溫・濕度之變化		類似※2 之裂縫，發生裂縫係因溫、濕度變化而產生
	構材二面之溫・濕度差		低溫或低濕側之表面產生直角轉折之裂縫
	反覆凍結・融解		表面剝離
	水災・表面加熱		表面全體產生微細龜甲狀之裂縫
	內部鋼筋之生銹膨脹		沿鋼筋產生大裂縫，混凝土保護層剝落，銹汁流出
結構及外力等之相關事項	酸・鹽類之化學作用		混凝土表面受侵蝕，全面產生膨脹性物質
	超載 (地震、積載荷重)	撓曲	在拉力側垂直方向產生裂縫
		剪力	在主要構材 45° 方向產生裂縫
	斷面、鋼筋量不足		與撓曲、剪力同，在平行垂下方向產生裂縫
	構造物之不等沈陷		沿 45° 方向產生裂縫

2. 鹽害

引起鹽害之原因有二種。其一為在製造混凝土時由海砂或水等使用材料直接引入鹽化物而形成；另一則為鄰近海岸地區之結構物，混凝土表面附著海鹽粒子等，由於吸水或擴散使得超過容許含量之鹽化物自混凝土中侵入，經過數年後，混凝土之品質將因鋼筋腐蝕而大受影響。

混凝土由於外界鹽份侵入或使用含鹽份材料，使鋼筋表面氯離子含量超過某一臨界值時，則鋼筋表面的鈍化膜便會遭受破壞而產生腐蝕。在鹽害方面，當混凝土中鋼筋表面的氯離子超過一定的量時，鋼筋表面的保護性鈍化膜開始破壞，接著鋼筋開始腐蝕膨脹造成混凝土龜裂。

3. 鹼質與粒料反應

混凝土為含有連續微細空隙之孔質材料，易造成氧或水份等之浸透。鹼質與粒料反應為混凝土之細孔溶液內含有氫氧化鹼(KOH 或 NaOH)，與粒料中之活性物質形成化學反應，此種化學反應在化學產物的形成過程中，因吸水產生膨脹而引致混凝土產生裂縫，裂縫發生後，不僅直接造成混凝土結構物構材強度降低，且將降低對於抵抗鹽害或化學物質侵蝕之能力，亦增大混凝土內鋼筋腐蝕之可能性。鹼質與粒料反應將造成混凝土產生有害的膨脹現象，此反應的產生肇基於下列三項因素：1.材料中存在有反應性粒料，2.混凝土中存有充分的 KOH 或 NaOH 溶液，3.混凝土處於多濕或維持濕潤狀態。

混凝土中鹼之主要來源係由水泥所供應，水泥原料的粘土礦物等含有鹼成份，因此，混凝土配比單位體積中水泥含量越高者，產生鹼質與粒料反應之機率就越高。水泥以外之鹼供應來源為自海砂附著 NaCl 等鹽化物，鹼質與粒料反應所引致之膨脹現象有賴水份或濕氣之供給，對於易受雨淋之結構物或內部水份乾燥不易之巨積結構物而言，特別容易形成損傷。

4. 中性化

中性化作用是空氣中二氧化碳或其他具酸性氣體侵入混凝土而產生之化學變化。新鮮混凝土具高鹼性，可使鋼筋表面形成鈍態氧化膜，保護鋼筋防止腐蝕。當混凝土材料暴露在大氣中，尤其是工業污染的環境下，會使混凝土的 PH 值降低，而使鋼筋的表面狀態由鈍化區變為具腐蝕之狀態，若混凝土繼續受碳化作用，碳酸鈣會轉變成溶解性較高的碳酸氫鈣析出混凝土而增加混凝土的孔隙，造成強度遞減現象，使有害物質更易滲入混凝土中，因為混凝土中的 Ca(OH)_2 遇水後，會解離為 Ca^{2+} 離子及 OH^- 離子，所以混凝土的酸鹼度一般為 PH 12~14。在此酸鹼度下，鋼筋表面會形成一層鈍化膜。當鈍化膜形成後，鋼筋即受到此鈍化膜保護而不再腐蝕。然而混凝土的 Ca(OH)_2 會和空氣中的二氧化碳反應產生中性的 CaCO_3 (PH 值為 7)，使得混凝土的酸鹼度由 PH 12~14 降至 PH 7。此一反應稱為中性化反應。當表面混凝土產生中性化反應後，二氧化碳接著由混凝土中的孔隙滲入混凝土中，逐漸將較深的混凝土轉變為中性。

鋼筋混凝土結構中對混凝土中性化的影響，一般可分為材料因素和環境介質因素。材料對混凝土中性化速度的影響，分成下列五種情況：1.水灰比 2.水泥種類和水泥用量 3.摻和劑 4.施工品質和養護條件 5.混凝土的強度。而環境因素對混凝土中性化的影響包含了 1.大氣的相對濕度 2.大氣的溫度 3.酸性介質的濃度 4.外界風壓 5.應力狀態。

5. 特殊環境引致之劣化

混凝土結構物在工業地區等惡劣的環境下，很容易造成中性化、鋼筋腐蝕、表面劣化及強度降低等劣化現象。工業地區空氣中二氧化碳濃度高，容易促使混凝土結構產生中性化現象，另空氣中含有污染物質與氧作用後形成有害物，將自混凝土表面緩緩弱化混凝土品質，此即為表面劣化或強度降低之主要因素。除上述之不利

影響外，工業地區亦常常設立於鄰海區域，若再加上海鹽粒子與雨水之作用，將侵蝕混凝土而造成鋼筋腐蝕，產生鹽害。

6. 硫酸鹽侵蝕

硫酸鹽侵蝕是造成混凝土損壞的主要原因之一，硫酸鹽的存在常給混凝土帶來不等程度的傷害，多數的土壤中均含有某些以石膏形式存在的硫酸鹽，部份硫酸鹽係由使用高硫酸燃料之化學工業或電廠之煙囪落塵與雨水逐漸累積而成。地下水中含有因硫酸錳與硫酸鹼化合物造成之硫酸鹽。遍存之硫酸鹽隨著工業化(硫酸錳、硫酸鈉、硫酸鉀之存在於地下水中)，農業生產(化學肥料硫酸氨)，能源(高硫燃料)而散佈於空氣、土壤與水中。有關硫酸鹽侵蝕造成混凝土失效的案例在全世界多有。早在一九三六年，由美國墾務局(U.S. Bureau of Reclamation)出版的混凝土結構建造手冊已說明，土壤中可溶性硫酸鹽濃度超過 0.1% (水中含 SO_4 150mg/liter) 則可能造成混凝土的嚴重傷害。

2.7 橋梁風險管理

所謂風險管理(Risk Management)就是人們對潛在的意外損失進行辨識評估，並根據具體情況採取相對應的措施進行處理，即在主觀上盡可能有備無患或在無法避免時亦能尋求切實可行的補償措施，從而減少意外損失或進而使風險為我所用。

然而，風險並不等於厄運。因主觀上重視風險管理客觀上採取適當措施，從而化險為夷，甚至獲得巨大效益的實例亦不在少數，許多事實證明風險是可以駕馭，可以成功地管理，關鍵在於人們是否重視，進而認真研究，妥善管理所面臨的各種風險。

以風險管理手段(技術)來降低損失幅度及損失發生頻率，現代風險管理技術不脫風險辨識、分析、處置與評估等階段。

其中橋梁風險評估中，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、承载力、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，颱洪、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(橋梁殘餘壽齡 1/4，2011)。

「行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準」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，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)。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，如下式 2.4 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)。

$$R = F_m \times C_q = H_z \times V_u \times C_q \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

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、單一橋梁或單一構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。

2.8 橋梁性能指標

1. 平時檢測指標

臺灣地區橋梁檢測依交通部所頒佈之「公路養護手冊」分為經常巡查、定期檢測及特別檢測。其中定期檢測所使用之方法為 D.E.R.&U. 目視檢測評估法，該法將橋梁分為 21 項構件，並將各構件之狀況分數加權後可得到狀況指標（Condition Index, CI）以及優先指標（Priority Index, PI）。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。

改善後之新 CI 及新 PI，透過橋梁構件重要性指數，如表 2-10 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 之公式計算，得到新 CI 及新 PI。系統會自動判斷 D.E.R.&U. 檢測表中各構件是否存在，如該構件之評估項目出現 D=0 或 E=0，甚或 DER 完全空白，系統均視該構件不存在，去除不存在之構件，其餘均為存在構件。

簡單舉例，A 橋為 1 孔之跨河橋，長度為 20 公尺，其存在之構件如表 2-11，由表 2-11 中挑出 A 橋存在構件之重要性指數，經正規化成為各構件權重，各構件權重相加為 100，再以此權重計算 CI 及 PI，即為新 CI 及新 PI。

表 2-10 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
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

表 2-11 橋梁構件權重

存在構件	重要性指數	構件權重
引道路堤	1.855	7.392
引道護欄	1.351	5.384
河道	2.424	9.660
引道護坡	1.351	5.384
橋台基礎	3.487	13.896
橋台	3.441	13.713
翼牆/擋土牆	2.002	7.978
摩擦層	1.230	4.902
橋面排水設施	1.230	4.902
欄杆	1.351	5.384
支承/支承墊	2.185	8.708
止震塊/拉桿	1.727	6.882
伸縮縫	1.459	5.814
	25.093	100.000

2. 沖刷指標

(1) SSI 值計算

SSI 是 Scouring Stability Index 的縮寫，為橋梁的『沖刷穩定指標』，以 0~100 的整數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，包含「河道」、「橋台基礎」、「橋台」、「橋墩保護設施」、「橋墩基礎」及「橋墩墩體」六項，當該些構件檢測狀況不佳時，SSI 值下降，代表該其對於水流之衝擊抵抗能力下降，因沖刷而斷橋之機率增大。六項構件 Ic_i 之計算法與 PI 相同，取最具代表性之 Ic_{ij} 再加以平均。SSI 值之計算公式如下：

公路橋(所有結構型式)：

$$SSI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_5 \times w_5 + Ic_6 \times w_6 + Ic_{12} \times w_{12} + Ic_{13} \times w_{13} + Ic_{14} \times w_{14}}{w_3 + w_5 + w_6 + w_{12} + w_{13} + w_{14}} \dots\dots\dots(2.5)$$

鐵路橋(所有結構型式)：

$$SSI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_4 \times w_4 + Ic_6 \times w_6 + Ic_8 \times w_8 + Ic_9 \times w_9}{w_3 + w_4 + w_6 + w_8 + w_9} \dots\dots\dots(2.6)$$

Ic_i 計算公式如下：

$$Ic_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ic_{ij}}{n} \dots\dots\dots 2.7$$

公式 2.6 中， n 為各構件之總數，由於部分構件有多組 DER 評分。舉例一座橋橋墩有 A01、P01、P02、P03、A02，而分別計算出之 Ic_{ij} (Ic_{ij} 之計算公式同公式 5) 為 50、30、100、50、100，利用如下所示 Ic_i 取法規則，先找出 Ic_{ij} 最小值，即 $Ic_{ij}(min)$ 為 30 因 $Ic_{ij}(min)$ 小於 50，將小於 50 中的值平均，此範圍中只有一個數值符合，故 $n=1$ 。此例之 $Ic_i = \frac{30}{1} = 30$ 。

Ic_i 值之取法如下：

- a. 先找出各檢測項目中構件 Ic_{ij} 之最小值，即 $Ic_{ij}(min)$ 。
- b. 若 $Ic_{ij}(min)$ 值小於 50，將小於 50 的 Ic_{ij} 值挑選出來平均，視為 Ic_i 值。
- c. 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，視為 Ic_i 值。
- d. 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，視為 Ic_i 值。

(2) OSSI 值計算

OSSI 為整橋之沖刷穩定指標，由於沖刷問題將導致橋梁中斷，任一跨中斷則全橋便無法使用，因此 OSSI 為各分段 SSI 中取最嚴重，即最小值代表之。

2.9 國外文獻

交通運輸是一個國家經濟與建設重要關鍵指標，橋梁更是公路運輸互相串連之命脈，以下內容將各別介紹美國、英國、日本、中國大陸這些在國際上的經濟強權，如何去檢測維護自己國家的橋梁設施，諸如各國的檢測方式，亦可做為臺灣後續對於橋梁檢測方向之參考與調整，相關文獻整理如下表 2-12。

表 2-12 國外相關文獻整理表(本研究整理)

國別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
美國	National Bridge Inspection Standards,(Federal Highway Administration)	1.橋梁檢測員參考手冊 2.橋梁檢測員培訓手冊	1.Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges(1995 , Federal Highway Administration)。 2.臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘、許阿明，2008)	1.National Bridge Inventory Database 2.PONTIS
日本	橋梁定期点検要領（案）	1.橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案） 2.橋梁における第三者被害予防措置（案）	1.混凝土構造物の健全度診断技術開發報告書(日本構造物診断技術協會，1994)。	J-BMS
英國	英國公路橋梁檢測優先權標準	-	1.Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects (Woodward,1999)	BridgeMan
中國	公路橋涵養護規範	公路工程質量檢驗評定標準	1.橋梁損傷診斷(劉效堯等人，2002)	CBMS

2.9.1 美國橋梁檢測

美國主要所使用之橋梁檢測方法為 NBI 檢測，此法源起源需追朔 1967 年美國俄亥俄州發生銀河橋(Silver Bride)斷橋事件，迫使美國必須重視橋梁老舊之問題，為了避免憾事再度發生，美國聯邦公路總署 (Federal Highway Administration, FHWA) 開始針對全美國橋梁進行資料調查與整理，將橋梁調查之結果並輸入「全國橋梁清冊(National Bridge Inventory)」資料庫中，為使橋梁調查人員能快速且統一填寫每一座的橋梁之基本現況，故訂定了全國橋梁檢測準則 (National Bridge Inspection Standards, NBIS)，根據此準則對調查人員進行專業培訓，並要求全美各州政府每兩年必須對於負責之管轄橋梁進行全面檢測作業。NBI 法主採用目視檢測方式，以達快速檢測之目的(李有豐、林安彥，2000)。NBI 評量步驟如圖 2.12 所示。

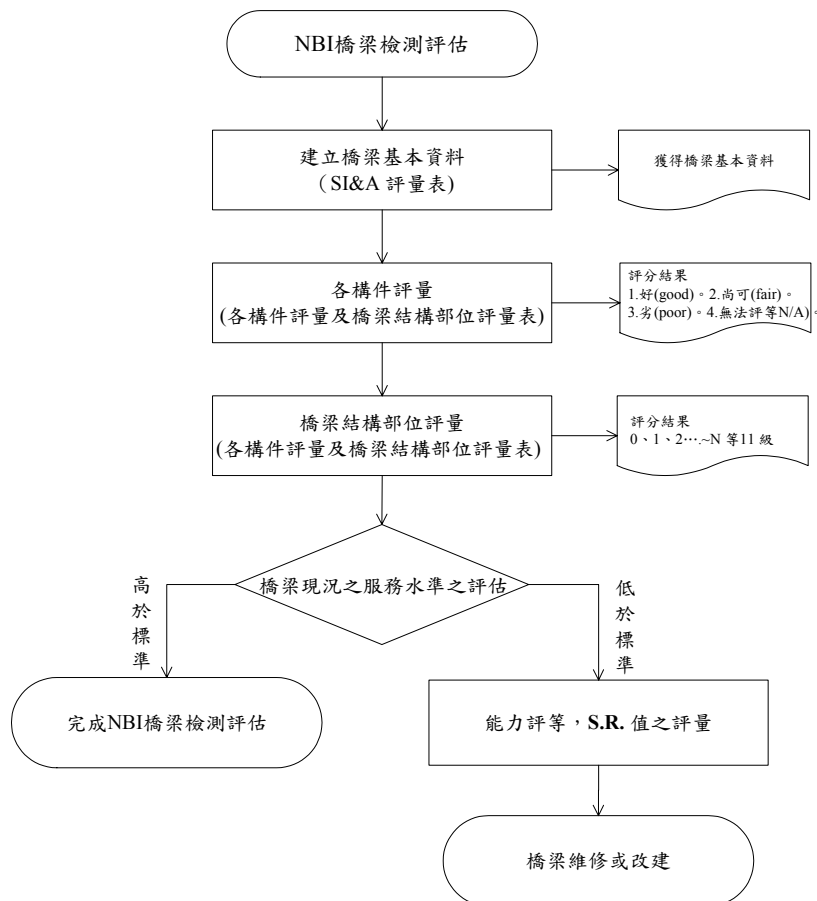


圖 2.12 美國 NBI 橋梁檢測流程

美國當地若以橋梁檢測類型區分，共可分為 5 種類型，分別為初始檢測（Initial）、定期檢測（Routine）、破壞檢測（Damage）、深化檢測（In-Depth）及特別檢測（Special）（陳永銘、許阿明，2008）。

初始檢測（Initial）：此法即利用「NBI 檢測表單」來獲得橋梁狀態。該項檢測目地在於建立橋梁初始檢測資料檔案。以提供全美橋梁資料庫建置，並透過 NBI 檢測來評估之該橋梁結構安全之最初評量結果。

定期檢測（Routine）：使用「NBI 檢測表單」並以週期例行性對於橋梁進行檢測，如美國為 2 年 1 次，主要目地是希望透過定期的檢測，來判斷該橋梁結構是否符合服務安全性之要求。

破壞檢測（Damage）：此檢測時機主要乃因「環境災害或人為因素」導致橋梁有受損之可能，進而透過「NBI 檢測表單」結果，作為判斷該橋梁是否需採補強或整建措施之參考。

深化檢測（In-Depth）：該種檢測目的是為彌補定期檢測（目視檢測）判斷之盲點，亦可稱為非破壞性檢測。例如：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。

特別檢測（Special）：此種檢測主要運用在監測系統之檢測工具，通常針對基礎沉陷、河冲刷等進行監測。

NBI 檢測表單如下表 2-13 所示。

表 2-13 美國橋梁檢測表(National Bridge Inventory Information System)

OVERALL SUPERSTRUCTURE CONDITION RATING: N 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
COMMENTS:

<u>Superstructure Elements</u>		<u>Rating</u>				<u>Remarks</u>
stringers	G	F	P	N/A		
Floor beams	G	F	P	N/A		
floor system bracing	G	F	P	N/A		
Multi beams	G	F	P	N/A		
girders	G	F	P	N/A		
truss-general	G	F	P	N/A		
upper chords	G	F	P	N/A		
web members	G	F	P	N/A		
lower chords	G	F	P	N/A		
lateral bracing	G	F	P	N/A		
lateral bracing	G	F	P	N/A		
sway bracing	G	F	P	N/A		
portals	G	F	P	N/A		
arches	G	F	P	N/A		
cables	G	F	P	N/A		
paint	G	F	P	N/A		
bearing devices	G	F	P	N/A		
connections	G	F	P	N/A		
welds	G	F	P	N/A		
	G	F	P	N/A		
	G	F	P	N/A		
	G	F	P	N/A		
timber decay						
concrete deterioration						
steel corrosion						
collision damage						
LL deflection						
vibration						
member alignment						
utilities						

Exhibit 3-22 Bridge Condition Rating Categories

Rating	Condition Category	Description
9	Excellent	
8	Very Good	
7	Good	No problems noted.
6	Satisfactory	Some minor problems.
5	Fair	All primary structural elements are sound but may have minor section loss, cracking, spalling, or scour.
4	Poor	Advanced section loss, deterioration, spalling, or scour.
3	Serious	Loss of section, deterioration, spalling, or scour have seriously affected the primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.
2	Critical	Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may be removed substructure support. Unless closely monitored, it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
1	Imminent Failure	Major deterioration or section loss present in critical structural components, or obvious loss present in critical structural components, or obvious vertical or horizontal movement affecting structural stability. Bridge is closed to traffic, but corrective action may put back in light service.
0	Failed	Out of service; beyond corrective action.

Exhibit 3-25 Bridge Appraisal Rating Categories

Rating	Description
N	Not applicable.
9	Superior to present desirable criteria.
8	Equal to present desirable criteria.
7	Better than present minimum criteria.
6	Equal to present minimum criteria.
5	Somewhat better than minimum adequacy to tolerate being left in place as is.
4	Meets minimum tolerable limits to be left in place as is.
3	Basically intolerable requiring a high priority of corrective action.
2	Basically intolerable requiring a high priority of replacement.
1	This value of rating code is not used.
0	Bridge closed.

此外，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 2-14 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(陳永銘，2008)。

表 2-14 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 -	CODE		
(44) STRUCTURE TYPE APPR: MATERIAL -	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 -	CODE		
UNDER -			
(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		
***** CLASSIFICATION *****			
(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 *****			
(58) DECK			
(59) SUPERSTRUCTURE			
(60) SUBSTRUCTURE			
(61) CHANNEL & CHANNEL PROTECTION			
(62) CULVERTS			
***** LOAD RATING AND POSTING *****			
(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 *****			
(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) /	

(陳永銘，2008)

2.9.2 日本橋梁檢測

日本地形與臺灣類似，同樣具有山高谷深、溪流眾多之特徵，以致橋梁在交通運輸佔有極重要之地位。國土交通省的「橋梁定期點檢要領(案)」也提供檢測報告書格式作為參考，如表 2-15 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 2-15 日本橋梁定期檢測報告書(範例)

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		橋梁編碼						
所在地	自	里程數	自	至		事務所		報告書更新日期		年 月 日				
	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											
下部構造形式		備註										大型車混合率	%	
基礎形式			載重限制	t										
綜合檢查結果														

(橋梁殘餘壽齡1/4，2011)

政府所公布橋梁定期點檢要領(案)中有訂定其橋梁檢測表單，如圖 2.13 所示。政府單位之「日本道路公團」對於橋梁檢測方式主要是制定一套「橋梁構件評等系統」，藉此檢測全日本之橋梁。此法主要針對橋梁構件之裂隙情況加以描述並量化，再依據裂隙量化結果之給予構

件劣化評等，其判定之評等級數為 I、II、III、IV，如表 2-16 所示(日本構造物診斷技術協會，1994)。對於裂縫之量化準則可參考表 2-17 所述。

記入例		点検調査（その1） 橋梁の諸元と総合検査結果																	
フリガナ 橋梁名	〇〇市 〇〇橋		路線名		一般国道〇〇号 現道		管 轄	〇〇 地方整備局		橋梁コード		####							
	所在地	自	〇〇市〇〇町		自	123.0 km + 45 m		〇〇 事務所		調査更新年月日		〇〇〇〇年〇〇月〇〇日							
		至	〇〇市〇〇町		至	123.0 km + 73 m		〇〇 出張所											
供用開始日		昭和 63 年 4 月 1 日		橋長	100.00 m		活荷重・等級	TL-20 1等橋		適用示方書		昭和 47 年 道路橋示方書				交通 条件	調 査 年	1997 年	
上部構造形式		鉄桁橋	幅員	全 幅 員	11.80m		地覆幅	歩道幅	車道幅・車線		車道幅・車線	歩道幅	地覆幅	中央帯	中央 分離部		交 通 量	8,833 台	
				有効幅員	10.80m		0.60m	—	—	—	6.50 m	2	2.50 m	0.40m	—			—	昼間 12 時間
下部構造形式		橋台		備考													大型混入率	58.0 %	
基礎形式		直接基礎															荷重制限	t	
総合 検査 結果	例 1：本橋は、竣工後 7 年経過しており、下部構造において、アルカリ骨材反応が疑われる網目状のひび割れが確認されたことから、アルカリ骨材反応に関する詳細調査を実施する必要がある。なお、ひび割れ幅は小さく、判定区分は「損傷が軽微で補修を行う必要がない」に相当する程度である。																		
	例 2：本橋は、竣工後 10 年経過しており、主要部材については「損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない」損傷が局部的に発生している程度であるが、伸縮装置や排水施設の損傷により漏水が生じ局部的な支承の腐食が見られ、「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷と判定している。対策に際しては、支承、伸縮装置、排水施設の交換では同様の損傷が繰り返されることが懸念され、伸縮装置を損傷させた根本原因を突き止めた上での対策が必要である。																		
	例 3：本橋は、竣工後 20 年経過しており、「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷が局部的に発生し、「損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない」程度の損傷が橋梁全体に発生している。また、山間部に架かる橋梁のため凍結防止剤の使用により塩害が懸念される。現在損傷は全体的に軽微であるが、鋼部材及びコンクリート部材共々劣化が促進する可能性があり、凍結防止剤の影響を詳細調査し、対策を検討することが望まれる。																		
	例 4：本橋は、竣工後 40 年経過しており、主桁 5 本のうち 1 本に発生している亀裂は「速やかに補修等を行う必要のある」損傷であり、床版のひびわれは「状況に応じて補修を行う必要がある」損傷である。原因は、経年劣化により橋梁全体が老朽化していることに加え、大型車交通量が非常に多い状況から、疲労と推定される。対策に際しては、構造の耐力向上を含めた抜本的な補強を検討する必要がある、主桁と床版の同時対策が望まれる。																		

圖 2.13 日本橋梁巡檢表單範例圖(日本交通省)

表 2-16 日本道路公團橋梁構件劣化綜合評等基準

劣化等級	橋梁狀況	後續處理
I	有明顯損傷，交通安全有障礙	緊急對策
II	損傷度較大，需進行補強	詳細調查
III	確定損傷	追蹤調查
IV	輕度損傷	損傷程度紀錄
OK	無損傷	-

資料來源：(日本構造物診斷技術協會，1994)

表 2-17 日本道路公園橋梁裂隙之評等準則

		高← 對耐荷重、及耐久性之影響 →低					
		大		中		小	
裂隙形狀 (X)		雙向裂紋		--		單向裂紋	
裂隙幅度 (Y)		拌有銹跡0.3mm以上		漏水、游離石灰 0.2mm~0.3mm		0.2mm以下	
裂隙間隔 (Z)		50cm未滿		--		50cm以上	
X	Y	Z	評等	X	Y	Z	評等
大	大	大	II	小	大	大	III
		小	II			小	III
	中	大	II		中	大	III
		小	III			小	IV
	小	大	III		小	大	IV
		小	IV			小	IV

2.9.3 中國橋梁檢測

對於中國大陸在橋梁檢測評估方法，由劉效堯等人於橋梁損傷診斷書中提到，中國大陸之交通部頒發「公路橋涵養護規範」，其規範內容將橋梁切分成 17 項部位(詳如表 2-18)，各部位必須先各別評分($R_i=0\sim5$)，並根據各部位重要性給予權重(W_i)，所佔權重越高者，表示橋梁該部位重要性越高，再將 R_i 與 W_i 代入式(2.8)中，方可獲得全橋技術狀況評分($D_r=0\sim100$)，其表 2-19 為全橋技術狀況評分後各分數範圍之意義。

表 2-18 中國大陸公路橋梁各部位與權重

部件	部件名稱	權數(W_i)	部件	部件名稱	權數(W_i)
1	翼牆、背牆	1	10	橋頭與路堤連接處	3
2	錐坡、護坡	23	11	伸縮縫	1
3	橋台與基礎	24	12	人行道	1
4	橋墩與基礎	8	13	欄杆、護具	1
5	地基沖刷	3	14	燈具、標誌	1
6	支座	20	15	排水設施	3
7	上部主要承重構件	5	16	調治結構物	1
8	上部一般承重構件	1	17	其他	1
9	橋面鋪裝	3			

資料來源：劉效堯 等人，2002

$$Dr = 100 - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n RiWi \dots\dots\dots (2.8)$$

Dr：全橋技術評分(0~100)，高分表示橋梁狀況越好。

Ri：橋梁各部位評分標準(0~5)，對於標度的定量描述為橋梁技術狀況。

Wi：橋梁各部位權重。

表 2-19 中國大陸公路橋梁技術評估標準

判定等級	狀況描述	狀況
一類橋梁	(好)	Dr>88
二類橋梁	(較好)	88 >Dr>60
三類橋梁	(差)	60 >Dr>40
四類橋梁	(危險)	Dr<40

資料來源：劉效堯等人，2002

2.10 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

橋梁檢測依使用的方法大致可以分為一般檢測及特別檢測兩種，因為臺灣屬於地震發生頻繁的地區而且河川坡陡流急，這兩項因素將造成橋梁嚴重損害，故以下除了整理出一般檢測的相關文獻外，在特別檢測部份將會對於橋梁的耐震檢測及沖刷檢測相關文獻加以論述。另外文獻蒐集的內容將以檢測規範、檢測手冊、檢測相關研究報告、檢測資訊系統以及檢測表單等類別進行編排，整理結果如下表 2-20 及表 2-21 所示。又地震、洪水及原件老化有不同的檢測方式及表單，本研究將地震檢測表整理如表 2-22~表 2-25，洪水沖刷表單整理如表 2-26~表 2-28，TELES 檢測表單如表 2-29，構件老化表單整理如表 2-30。並彙整相關文獻如表 2-31。

表 2-20 國內相關文獻列表(研究報告或書籍)

類別	檢測相關研究報告或書籍
耐震檢測	1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999，行政院公共工程委員會) 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(張國鎮等，2009，國家地震工程研究中心) 3.考量基礎冲刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010) 4.災時高效率高經濟行橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金，2005，公路總局)
冲刷檢測	1.公路橋梁檢測評估(陳清泉等，1996) 2.訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範之研究(王仲宇等，2010，交通部運輸研究所)
一般檢測	1.機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷等，2000，內政部營建署) 2.橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001) 3.應用無線技術於橋樑檢測管理之研究(饒珉菘等，2002) 4.我國橋樑維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002) 5.建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)(李有豐等，2002，交通部運輸研究所) 6.橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等，2002，交通部) 7.高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文，2004) 8.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(延允中，2004) 9.臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰，2005) 10.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005) 11.拱橋與 π 型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007) 12.橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008) 13.台灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等，2008) 14.應用透地雷達與超震波法於老舊橋樑橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008) 15.橋梁的健康診斷(王仲宇，2009) 16.應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008) 17.橋梁檢測方法與應用(中國土木工程學會，2010) 18.橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研發(1/4)(交通部運輸研究所，2011)

表 2-21 國內相關文獻列表(規範、手冊與系統)

類別	檢測規範或手冊	檢測資訊系統
耐震檢測	1. 1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部，1997)	1. 橋梁地震損失評估系統(TELES)
冲刷檢測	2. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點(交通部，2001)	
	3. 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部，2008)	1. 跨河橋梁安全預警系統
一般檢測	4. 鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部，2010)	1. 公路防救災決策支援系統
	5. 公路養護手冊(交通部，2003)	2. 臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)

表 2-22 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： ☐ 民國49年以前 ☐ 民國49~76年 ☐ 民國76~84年 ☐ 民國84~89年 ☐ 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_0 : 設計之工址等值水平加速度係數		
環境	液 化 潛 能	8	☐ 橋址位於液化區 (1.0); ☐ 砂質土層 (0.5); ☐ 無 (0);		
	基礎裸露深度	8	☐ 基樁裸露或 $R \geq 2.0$, (W=1.0); ☐ $1.0 \leq R < 2.0$, (W=R-1); ☐ $R < 1.0$, (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	☐ 有 (1.0); ☐ 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	$W=\theta^\circ/45^\circ \leq 1.0$; θ° : 斜交角度		
	縱坡坡度	4	$W=\text{縱坡坡度}/6 \leq 1.0$		
	基礎型式	4	☐ 具直接基礎 (1.0); ☐ 具樁基礎 (0.5); ☐ 沉箱基礎 (0);		
	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		
結構細部	防 落 裝 置	15	☐ 兩向均無裝置 (1.0); ☐ 僅垂直車行向有裝置 (0.5); ☐ 僅車行向有裝置 (0.25); ☐ 兩向皆有裝置 (0);		
防 落 長 度 N_e	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_e : 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。					

表 2-23 公路橋梁耐震能力初步評估表-強度韌性評估

橋梁名稱：_____ 編號：_____ 振動單位：P ~ P					
設計年度： ☐ 民國49年以前 ☐ 民國49~76年 ☐ 民國76~84年 ☐ 民國84~89年 ☐ 民國89年以後					
	項 目	配分	評 估 內 容	權 重	評 分
工 址	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		
環境	液 化 潛 能	4	☐ 橋址位於液化區 (1.0); ☐ 砂質土層 (0.5); ☐ 無 (0);		
	基礎裸露深度	8	☐ 基樁裸露或 $R \geq 2.0$, (W=1.0); ☐ $1.0 \leq R < 2.0$, (W=R-1); ☐ $R < 1.0$, (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	靜 不 定 度	6	☐ 兩向均單柱式 (1.0); ☐ 壁式橋墩或橋台 (0.5); ☐ 一向具多柱式 (0.25); ☐ 兩向均多柱式 (0);		
	橋柱高寬比	8	$R < 4$, $W=(4-R)/2 \leq 1.0$; $R \geq 4$ W=0, R: 橋柱高寬比		
	橋柱高度	4	$W=\text{橋柱高度}H(m)/15 \leq 1.0$; $H \geq 15$ m, W=1.0		
	振動單位中橋柱最高與最低之比值	6	☐ 大於 1.5 (1.0); ☐ 1.5 ~ 1.1 (0.5); ☐ 小於 1.1 (0);		
	斜交角度	6	$W=\theta^\circ/45^\circ \leq 1.0$; θ° : 斜交角度		
	基礎型式	4	☐ 具直接基礎 (1.0); ☐ 具樁基礎 (0.5); ☐ 沉箱基礎 (0);		
	橋柱裂損程度	10	☐ 嚴重裂損 (1.0); ☐ 裂損 (0.5); ☐ 微裂損 (0.25); ☐ 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	☐ 民國76年以前 (1.0); ☐ 民國76~84年 (0.75); ☐ 民國84~89年 (0.5); ☐ 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。					

表 2-24 公路橋梁耐震能力評估表-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：		□民國 49 年版以前	□民國 49 年及 76 年版	□民國 84 及 89 年版	□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	□是(1.0) □否(0)		
G102		地盤類別	4	□臺北盆地(1.0) □軟弱地盤(0.67) □普通地盤(0.33) □堅實地盤(0)		
G103		相鄰橋墩間地表土質變化	2	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)		
G104		液化可能性	6	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
G105	結 構 系 統	相鄰兩振動單位結構系統差異性	8	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)		
G106		外懸梁	2	□有(1.0) □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	$w1=1-(r/100)$ ； $w2=(\alpha/30)-1$ ； $w=\max(w1,w2)$ ； r：半徑； α ：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	□極差(1.0) □不良(0.67) □尚可(0.33) □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	□兩向均無裝設(1.0) □僅垂直行車向裝設(0.5) □僅行車向裝設(0.25) □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			

表 2-25 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：		☐ 民國 49 年版以前		☐ 民國 49 年及 76 年版		☐ 民國 84 及 89 年版		☐ 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	☐ 是(1.0) ☐ 否(0)								
G202		地盤類別	6	☐ 臺北盆地(1.0) ☐ 軟弱地盤(0.67) ☐ 普通地盤(0.33) ☐ 堅實地盤(0) ☐ 76 年以後設計(0)								
G203		液化可能性	6	☐ 高(1.0) ☐ 中(0.67) ☐ 低(0.33) ☐ 無(0) ☐ 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	☐ 兩向均靜定(1.0) ☐ 一向具靜不定(0.5) ☐ 兩向均靜 不定(0)								
G208		基礎裸露程度	24	樁 基 礎 : $w = 2.0 - 2.0(\text{hleft/h})$; 沉 箱 基 礎 : $w = 1.43 - 1.43(\text{hleft/h})$								
G209	結 構 細 部	一 般 橋 柱	柱底搭接與否	8	☐ 有搭接(1.0) ☐ 無搭接(0)							
G210			塑鉸區箍筋細部	8	☐ 不符合耐震規定(1.0) ☐ 部分符合耐震規定 0.5) ☐ 符合耐震規定(0)							
G211			主筋斷點與箍筋細部	4	☐ 有斷點且箍筋較柱底少(1.0) ☐ 有斷點但箍筋不少於柱 底 (0.5) ☐ 無斷點(0)							
G212			橋柱與基礎劣化程度	8	☐ 嚴重 (1.0) ☐ 差(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 微(0)							
G209		壁 式 橋 墩	壁式橋墩底部鋼筋 搭接與否	6	☐ 有搭接(1.0) ☐ 無搭接(0)							
G210	縱、橫向鋼筋比與細 部		8	☐ 不符合耐震規定(1.0) ☐ 部分符合耐震規定(0.5) ☐ 符合耐震規定(0)								
G211	主筋斷點與箍筋細部		6	☐ 有斷點且箍筋較墩底少(1.0) ☐ 有斷點但箍筋不少於墩 底(0.5) ☐ 無斷點(0)								
G212	橋墩與基礎劣化程度		8	☐ 嚴重 (1.0) ☐ 差(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 微(0)								
G209	鋼 橋 柱	橋柱板之寬厚比	8	矩形柱 $\frac{b}{t} \leq \frac{43}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; $\frac{43}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} \leq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\frac{63}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} \leq \frac{145}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; 圓形柱 $\frac{D}{t} \leq \frac{145}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; $\frac{145}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{D}{t} \leq \frac{232}{\sqrt{F_y}}$ (0.5) ; $\frac{D}{t} \geq \frac{232}{\sqrt{F_y}}$ (1.0)								
G210		縱向加勁板寬厚比	6	$\frac{b}{t} \leq \frac{63}{\sqrt{F_y}}$ (1.0) ; $\frac{63}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} \leq \frac{16}{\sqrt{F_y}}$ (0) ; unit : tonf-cm ²								
G211		人孔位置	6	☐ 內灌混凝土高/人孔位置高 ≥ 0.4 (1.0) ; ☐ 內灌混凝土 高/人孔位置高 < 0.4								
G212		橋柱銲接細部	8	☐ 全滲透銲(0) ; ☐ 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									

表 2-26 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	☐ 嚴重變遷(1.0) ☐ 輕微變遷(0.5) ☐ 無(0.0)					
5002	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理(1.0) ☐ 1000公尺以內完成，其他尚未辦理(0.5) ☐ 已完成(0.0)					
5003	河川冲刷潛能	5	☐ 高(1.0) ☐ 中(0.5) ☐ 低(0.25) ☐ 無(0.0)					
5004	鄰近有無採砂	10	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)					
5005	上游攔河堰	5	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)					
5006	上游橋梁	3	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)					
5007	橋台及橋墩之基礎型式	5	☐ 具淺基礎(1.0) ☐ 具深基礎(0.0)					
5008	橋墩型式	4	☐ 單柱橋墩(1.0) ☐ 雙柱橋墩(0.5) ☐ 多柱或壁式橋墩(0)					
5009	支承現況	4	☐ 劣(1.0) ☐ 尚可(0.5) ☐ 良好(0.0)					
5010	基礎裸露深度與容許冲刷深度比值 R_H	15	$R_H = \frac{H_s}{H_{st}}$; H_s : 裸露深度、 H_{st} : 容許深度或 $H_{st} = \frac{1}{5} H_p$; H_p : 基樁(沉箱)長度					
5011	本河川附近其他橋梁有無冲刷問題	5	☐ 嚴重(1.0) ☐ 中等(0.5) ☐ 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(θ°)	4	$1.0 \geq \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq 0$					
5015	橋墩形狀	4	☐ 平頭墩(1.0) ☐ 圓頭墩(0.5) ☐ 尖頭墩(0.0)					
5016	基礎保護設施	5	☐ 不良(1.0) ☐ 中等(0.5) ☐ 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		

表 2-27 公路橋梁冲刷潛能初步評估表

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	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)					
2	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理或已辦理但僅施設簡易式拋卵石護岸工(1.0) ☐ 1000公尺以內完成，其他尚未辦理(0.5) ☐ 已完成(0.0)					
3	近年內主河道河床下降的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)					
4	鄰近有無採砂	10	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)					
5	上游攔河堰	3	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)					
6	上游橋梁；下游側具束縮河道之其他構造物	4	☐ 400公尺以內(1.0) ☐ 400~1000公尺之間(0.5) ☐ 1000公尺以上(0.2) ☐ 無(0.0)					
7	基礎型式	3	☐ 具淺基礎或擴展式基腳(1.0) ☐ 具沉箱基礎但貫入深度 $\leq 10\text{m}$ (0.5) ☐ 具深基礎(0.0)					
8	基礎裸露程度	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)					
9	本河川附近其他橋梁有無冲刷問題	3	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0.2) ☐ 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	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)					
12	橋墩(基)方向與河川流向之角度(θ°)	4	$(1.0) \geq \xi = \frac{\theta^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq 0$; 惟 $\theta < 50$, $\xi = 0$; $\theta > 300$, $\xi = 1.0$					
13	河床軟岩之風化冲刷	5	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0)					
14	具側向侵蝕或水躍(或跌水)冲刷的潛在冲刷因素	15	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)					
15	其他會影響橋梁冲刷穩定之(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		

表 2-28 公路橋梁耐洪評估表(跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表)

橋梁名稱: OO 大橋			檢測單位: 中華顧問			檢測人員: 洪紹勛																																																																																			
路線名稱及里程: 台 XX 線 152 公里處			檢測日期: 99/9/9																																																																																						
(A) 資料 紀 錄 項 目	項次	項目	紀 錄 內 容																																																																																						
	1	橋梁竣工圖	橋墩基礎型式: 沉箱 橋台基礎型式: 橋基貫入深度 H_p : 12 公尺 容許沖刷深度 H_{sa} : 6 公尺 ☐ H_p 未知, 需進行非破壞檢測																																																																																						
	2	結構穩定度 分析成果	臨界沖刷深度 SI : 尚未分析 臨界水位高度 WI : 尚未分析																																																																																						
	3	衛星影像或航照圖	橋梁是否位於河川彎曲處: ☐ 是 ☒ 否 上游攔河堰或水庫等設施與橋址距離: 1500 公尺																																																																																						
	4	河床斷面測量結果 或相關報告	三年內河床降低幅度: 2 公尺 計畫洪水位: 公尺 主河道寬度: 15 公尺 計畫河道寬度: 公尺																																																																																						
	5	歷史災損及沖刷最 嚴重情形	災損時間、位置及原因: 無 ◆是否已改善:																																																																																						
6	沖刷相關構件之 DER&U 評分 SSI 指標:	<table border="1"> <tr> <td>橋台基礎</td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>橋台</td> <td>A1</td> <td>A2</td> <td>橋墩基礎</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>橋墩墩體</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>P</td> <td>河道</td> <td></td> <td>橋墩保護設施</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td>D</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>E</td> <td></td> <td>E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>R</td> <td></td> <td>R</td> <td></td> </tr> </table>																橋台基礎	A1	A2	橋台	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	橋墩墩體	P	P	P	河道		橋墩保護設施		D			D			D				D				D		D		E			E			E				E				E		E		R			R			R				R				R		R	
橋台基礎	A1	A2	橋台	A1	A2	橋墩基礎	P	P	P	橋墩墩體	P	P	P	河道		橋墩保護設施																																																																									
D			D			D				D				D		D																																																																									
E			E			E				E				E		E																																																																									
R			R			R				R				R		R																																																																									
(B) 室 內 評 估 項 目	項次	項目	配分	評 估 內 容												權數 ξ	得分																																																																								
	7	上游攔河堰 或水庫等設施	7	☐ 1000 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 1000 公尺~3000 公尺 ($\xi=0.5$) ☐ 3000 公尺以上或無 ($\xi=0$)												0.5	3.5																																																																								
	8	基礎型式	7	☐ 淺基礎或擴展基腳 ($\xi=1.0$) ☐ 沉箱基礎 ($\xi=0.5$) ☐ 樁基礎 ($\xi=0$) (請參閱橋梁管理系統或竣工圖資)												0.5	3.5																																																																								
	9	橋梁是否位於河川 彎曲處或束縮處	6	☐ 是 ($\xi=1.0$) ☐ 否 ($\xi=0$) (請參閱衛星影像或航照圖)												0	0																																																																								
	10	河床下降情形 $h=$ 公尺	8	◆ ($\xi=1.0$) $\geq \xi = 1 - \frac{0.75}{3.5}(4-h) \geq (\xi=0.25)$; $h < 0.5$ 公尺, $\xi=0$ (請參閱河床斷面測量結果或相關報告)												0.57	4.56																																																																								
	11	河床材料	2	☐ 泥、砂 ($\xi=1.0$) ☐ 砂礫混合 ($\xi=0.75$) ☐ 卵礫石 ($\xi=0.5$) ☐ 軟弱岩盤(泥岩、頁岩等) ($\xi=0.3$) ☐ 堅硬岩盤 ($\xi=0$)												0.5	1																																																																								
12	主河道位置	5	☐ ◆離橋台 5 公尺以內 ($\xi=1.0$) ☐ 離橋台 10 公尺以內, 且有逐年向橋台侵蝕之趨勢 ($\xi=0.75$) ☐ 離橋台 10 公尺以內 ($\xi=0.5$) ☐ 此河為辨狀河道, 不易判定主河道 ($\xi=0.3$) ☐ 離橋台 10 公尺以上或橋台基礎為非直接基礎 ($\xi=0$)												0	0																																																																									
(B)小計			35													12.56																																																																									
(C) 現 地 評 估 項 目	13	跌水效應 (高程差 D_h : 公尺)	5	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{1}{3} D_h \geq (\xi=0)$																																																																																					
	14	橋墩(基)方向與河 川流向間之角度 $\theta^\circ =$	7	$(\xi=1.0) \geq \xi = \frac{\theta^0 - 5^0}{25^0} \geq (\xi=0)$; $\theta < 5^\circ$, $\xi=0$; $\theta > 30^\circ$, $\xi=1$																																																																																					
	15	阻水面積比 RA	4	☐ 極嚴重 ($RA > 12\%$) ($\xi=1.0$) ☐ 嚴重 ($9\% \leq RA \leq 12\%$) ($\xi=0.75$) ☐ 輕微 ($RA < 9\%$) ($\xi=0.4$) ☐ 無 ($RA < 3\%$) ($\xi=0$)																																																																																					

表 2-28 公路橋梁耐洪評估表(跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表)續

16	基礎裸露程度 Hs(基礎裸露深度) Hp(初始基礎深度) S(基礎裸露比) S=Hs/Hp	18	沉箱或 樁基礎	☐ ◆Hs ≥ 1.5Hsa 或 S ≥ 40% (ξ=1.0) ☐ 1.5Hsa > Hs > 1.0Hsa 或 40% > S > 25% (ξ=0.5~0.9) ☐ Hs ≤ 1.0Hsa 或 S ≤ 25% (ξ=0.2) ☐ 無(ξ=0)	橋墩(橋台)編號					
					Hs(公尺)					
					Hp(公尺)					
					權數					
			分數							
			淺基礎	☐ 置於砂礫層或◆已有裸露情形(ξ=1.0) ☐ 置於岩盤表層(ξ=0.5) ☐ 深入岩盤(ξ=0)						
17	橋墩阻水情形 be: 橋墩等值寬度	12	當 $b_e > 8$, $\zeta = 1.0$; 當 $2 \leq b_e < 8$, $\zeta = [-1/3 + (1/6)b_e]$; 當 $b_e < 2$, $\zeta = 0$	橋墩(橋台)編號						
				be						
				權數						
				分數						
18	SSI 指標評分	10	☐ SSI > 90(ξ=1.0) ☐ 80 > SSI > 70 (ξ=0.2) ☐ 90 > SSI > 85 (ξ=0.8) ☐ SSI < 70 (ξ=0)							
19	護岸工現況	4	☐ 不具保護作用(ξ=1.0) ☐ 河岸無須保護(ξ=0) ☐ 僅具部分保護作用(ξ=0.75) ☐ 護岸工良好(ξ=-0.2) ☐ 尚有一定之保護作用(ξ=0.3)							
20	護床工現況	5	☐ 不具保護作用(ξ=1.0) ☐ 河床無須保護(ξ=0) ☐ 僅具部分保護作用(ξ=0.75) ☐ 護床工良好(ξ=-0.2) ☐ 尚有一定之保護作用(ξ=0.35)							
(C)小計		65								
(B)+(C)總計										
檢測員意見			1.◆此橋是否具備其他沖刷潛在危害因素 是:□ 否:□ 說明:							

備註: 1.本表不適用於土石流潛勢區

2.滿足◆之評估項目表示可直接列為具沖刷潛勢之橋梁

3.ξ=權數

表 2-29 TELES 橋梁屬性資料調查表

路線名／里程數／橋梁名稱／管理單位					
道路等級		☐ 1 省道 ☐ 2 縣道 ☐ 3 鄉道 ☐ 4 市區道路			
跨越河川/道路	☐ 1 河川 ☐ 2 道路 ☐ 3 橋梁 ☐ 4 無			附掛維生管線	☐ 1 有 ☐ 2 無
座標	橋頭座標	N _____ E _____ (經緯度，均填至小數點以下 6 位)			
	橋尾座標	N _____ E _____ (經緯度，均填至小數點以下 6 位)			
橋梁主體狀況	結構型式	☐ 1 梁橋(簡支式) ☐ 2 梁橋(連續式) ☐ 3 桁架橋 ☐ 4 拱橋 ☐ 5 斜張橋 ☐ 6 吊橋 ☐ 7 其它 _____			
	主梁形式	☐ 1 I 型梁 ☐ 2 T 型梁 ☐ 3 U 型梁 ☐ 4 箱型梁 ☐ 5 版梁 ☐ 6 其它 _____			
	橋墩形式	☐ 1 無橋墩(單跨) ☐ 2 單柱式 ☐ 3 構架式 ☐ 4 壁式 ☐ 5 其它 _____			
	橋墩基礎	☐ 1 無橋墩基礎 ☐ 2 直接基礎 ☐ 3 樁基礎 ☐ 4 沉箱基礎 ☐ 5 其它 _____			
	橋台形式	☐ 1 無橋台 ☐ 2 重力式 ☐ 3 懸臂式 ☐ 4 扶壁式 ☐ 5 剛構式 ☐ 6 樁排架式 ☐ 7 其它 _____			
	橋台基礎	☐ 1 無橋台基礎 ☐ 2 直接基礎 ☐ 3 樁基礎 ☐ 4 沉箱基礎 ☐ 5 其它 _____			
	支承裝置	☐ 1 無支承 ☐ 2 合成橡膠支承 ☐ 3 鋼製支承 ☐ 4 盤式支承 ☐ 5 其它 _____			
	防落設施	☐ 1 無 ☐ 2 鋼製止震塊 ☐ 3 RC 止震塊 ☐ 4 防震拉桿 ☐ 5 剪力鋼棒 ☐ 6 其它 _____			
橋 長：_____公尺		橋 寬：_____公尺		歪斜角：_____度	
跨 數：_____跨		振動單元數：_____個		單跨最大跨度：_____公尺	
橋墩防落長度：_____cm		橋台防落長度：_____cm		基樁裸露：_____公尺	
車道數：___ ☐ 另有慢車道			竣工年代：_____年_____月		
TELES 橋梁分類	☐ 1 單跨橋 ☐ 2 多跨簡支橋—單柱橋墩 ☐ 3 多跨簡支橋—構架式橋墩 ☐ 4 多跨簡支橋—壁式橋墩 ☐ 5 多跨連續橋—單柱橋墩 ☐ 6 多跨連續橋—構架式橋墩 ☐ 7 多跨連續橋—壁式橋墩 ☐ 8 其它橋梁	橋墩 尺寸	高：_____m 寬：_____m 厚：_____m 最高橋墩：_____m	地盤 類別	☐ 1 堅實地盤 ☐ 2 中等地盤 ☐ 3 軟弱地盤 ☐ 4 臺北盆地
		設計 水準	☐ 1 傳統設計 ☐ 2 耐震設計 ☐ 3 經耐震補強	線形	☐ 1 直 ☐ 2 曲
調查日期	年 月 日		填寫人員		

表 2-30 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表

橋梁定期檢測評估總表							
橋梁名稱			橋梁編號				
管理機關			養護工程處		養護工務段		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		規範 PI		冲刷指標
新 CI			新 PI				

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								
2.引道護欄	遠端				6.橋台	遠端				10.緣石及人行道				
	近端					近端								
3.河道					7.翼牆/擋土牆	遠端				11.欄杆及護牆				
						近端								
4.引道護坡	遠端				8.摩擦層					21.其他				
	近端													

墩資料															橋孔資料														
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/支承墊			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.橋面版		
	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

N/A-無此項目						U/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		例行維護	3年	1年	緊急處理	維修
0	1	2	3	4		0	1	2	3	4		0	1	2	3	4	1	2	3	4	

表 2-31 國內目前橋梁檢測相關文獻蒐集

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
一般檢測	1.1067 公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部, 1997) 2.國道高速公路局橋梁檢測作業要點(交通部, 2001) 3.公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部, 2008) 4.鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部, 2010) 5.1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部, 1997) 6.國道高速公路局橋梁檢測作業要點(交通部, 2001) 7.公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部, 2008) 8.鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範(交通部, 2010)	公路養護手冊(交通部, 2003)	1.機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷等, 2000, 內政部營建署) 2.橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等, 2001) 3.應用無線技術於橋樑檢測管理之研究(饒珉菘等, 2002) 4.我國橋樑維護管理績效評估之探討(曾惠斌等, 2002) 5.建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)(李有豐等, 2002, 交通部運輸研究所) 6.橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等, 2002, 交通部) 7.高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文, 2004) 8.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(延允中, 2004) 9.臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰, 2005) 10.橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政, 2005) 11.拱橋與π型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎, 2007) 12.橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等, 2008) 13.臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等, 2008)	臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)

類別	檢測規範	檢測手冊	檢測相關研究報告或書籍	檢測資訊系統
			14.應用透地雷達與超震波法於老舊橋樑橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008) 15.橋梁的健康診斷(王仲宇，2009) 16.應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008) 17.橋梁檢測方法與應用(中國土木工程學會，2010)	
耐震檢測			1.震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999，行政院公共工程委員會) 2.公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(張國鎮等，2009，國家地震工程研究中心) 3.考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010) 4.災時高效率經濟行橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金，2005，公路總局)	橋梁地震損失評估系統 (TELES)
沖刷檢測			1.公路橋梁檢測評估(陳清泉等，1996) 2.訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇等，2010，交通部運輸研究所)	跨河橋梁安全預警系統

2.10.1 一般檢測

在現行的規範外，國內有許多學者專家對於檢測的方法、管理、規範準則及檢測系統進行討論與建議。檢測方法大致可分破壞性檢測及非破壞性檢測，而國內目前對於不破壞結構體的非破壞性檢測投入相當多的心力及研究。

非破壞性檢測(Nondestructive Testing, NDT)，即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的一種檢測方法，原理是藉由如聲、光、電、磁等媒介物進行間接量測，有別於一般直接檢測的方式。非破壞性檢測最簡單的方法是利用目視來檢測結構物是否有異常現象；若目視無法檢測的問題，則可利用非破壞性檢測儀器來協助進一步的檢測，其包括透地雷達法、超音波法、敲擊回音法、地電阻法、聲納檢測法及超震波法等。在橋梁檢測方法上進行研討的有：機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷，2000)、橋梁非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等，2001)、應用無線技術於橋梁檢測管理之研究(饒珉菴等，2002)、橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政，2005)、拱橋與 π 型橋目視檢測評估方法之研究(廖家禎，2007)、橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等，2008)、應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測(羅國峯等，2008)、應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源，2008)、橋梁的健康診斷(王仲宇，2009)、橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會，2010)等。

檢測除了方法之外，橋梁更需要有一定的橋梁檢測管理機制對於橋梁的健康狀況加以掌控，一方面能保障通過橋梁的用路人的安全及財產，另一方面能節省財政支出，所以國內學者亦有對於此部份提出相關的看法，如下：

1. 我國橋梁維護管理績效評估之探討(曾惠斌等，2002)一文中以技術面及政治面考量，闡明國內橋梁公共工程維護管理績效評估之機制、建立國內橋梁公共工程維護管理績效評估指標以及國內橋梁公

共工程維護管理績效評估方法之應用。

2. 臺灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等，2008) 則是以臺灣目前使用之 D.E.R.&U. 檢測系統，與美國 NBI 檢測系統作比較，反應兩種制度與系統之相異處、優缺點，可供相互交流與學習

在過去橋梁的一般檢測準則與規範上國內的專家及學者曾提出相關的研究如建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)(李有豐等，2002)、橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等，2002)等，對於後續國內研究規範的擬定皆有所助益。

國內在於橋梁的管理上最常使用的即為臺灣橋梁管理系統(TBMS)，但在使用上還是有所限制性現行，故專家學者們亦進行了相關的研討，如下：

1. 高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文，2004)，其評估方式是以現有之橋梁劣化評估系統 ABCD 及 DERU 評等法為主，分析橋梁管理系統應用於高屏溪斜張橋的適用性。
2. 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(延允中，2004)，此文則是就現行公路總局採用之橋梁管理系統(TBMS)進行檢討提出改進意見，以對橋梁維護管理發揮加倍功效；又就需維修的橋梁提出較符實際的概算經費編列方式；另在現行三級品管架構下，設計橋梁查核機制，並透過問卷後 AHP 權重分析，制定量化評分表來評定維護績效。
3. 臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰，2005)，此文對橋梁管理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。
4. 在臺灣橋梁管理系統(TBMS)的應用上，公路防救災決策支援系統建立之研究(鄭明淵等，2010)中，則應用 TBMS 所提供的橋梁基本資料對於公路及橋梁進行預警及通報，輔助公路及橋梁管理者進行決策判斷。

2.10.2 耐震檢測

在橋梁耐震的規範上大致與上述一般檢測規範相同，但學者專家們亦有對於其他的震後檢測評估及補強方式進行研究與建議，包括：

1. 震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等，1999)，文中主要目的即在建立橋梁震後勘災作業準則，其三大目標為：
 - (1)勘災組織、勘災人資格、權責與作業流程之建立
 - (2)震後橋梁快速安全評估方法及訓練手冊之建立
 - (3)震後橋梁緊急應對安全措施與補強方法與作業流程之建立
2. 公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(國震中心，2009)，則對於臺灣橋梁耐震評估法之沿革作概略性介紹，並重點式的說明交通部現階段靜力側推分析耐震評估法的原理、分析程序及評估標準與 Federal Emergency Management Agency(FEMA)所頒布之耐震評估法的差異做比較。另外再以中興工程橋梁耐震評估實際案例，針對評估所得之構件塑性行為及結構破壞機制進行討論
3. 考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等，2010)，文中提出進行耐震能力評估時應適時考量基樁裸露的因素，SERC-BRIDGE 配合 SAP2000 軟體之非線性靜力側推分析模組，分別針對構架式橋墩有、無考慮基樁裸露二種情況，進行橋梁耐震能力評估及補強，本文將介紹具體作法，提供工程界參考。
- (4)災時高經濟及高效率型橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金等，2005)考量震後之急迫性，建立災時檢測表單，並可快速填寫並找出對應等級。此外目前工程師往往無法於震災後迫切時間內，提出合適之補強方案決策，此研究以震後橋梁補強方案經濟效益評估模式，提出各構件單元最具經濟效益之補強方案，提升決策效率與經濟性。

震災相關的系統方面：

1. 目前由國震中心開發的臺灣地震損失評估系統(簡稱 TELES)提供了更方便的使用者介面、可客製化的資料分類系統、更有效率的模擬技術外，也研發地震早期損失評估和風險評估功能。臺灣地震損失評估系統結合地理資訊系統(GIS)技術，提供震災境況模擬、震災早期評估以及震災風險評估等三大功能。
2. 公路防救災決策支援系統(TRENDS)，係由交通部運輸研究所委託執行計畫。
 - 1.整合目前公路設施管理、防災系統於資料交換平台架構下，將各類型設施模組化。
 - 2.系統之優點，(1)不同單位可互相分享資料，不致重覆建置的浪費(2)擴充功能模式有利於其他交通設施加入系統中(3)公路設施防災能力可從單一設施的點範圍提昇至整體綜觀範圍。其特色為於防災領域中首次採用「災害預警資料交換機」所建置之災害資料交換平台，自動擷取及彙整各系統之災害資訊。輔以自動通報機制有效提升設施管理及災害應變之整體縱觀能力，決策者能即時掌握災害資訊，擬定最佳防救災之策略。

2.10.3 冲刷檢測

在橋梁冲刷檢測上目前已定出標準規範，專家學者對於相關的草案進行研討包括公路橋梁檢測評估(陳清泉，1996)及訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範之研究(王仲宇，2010)。在公路橋梁檢測評估此書中有對於公路橋梁安全之河川冲刷影響評估進行草案擬定，包含了評定的標準、後續處理及評分的人員等皆有進行初步的討論。

目前交通部運研所港灣技術研究中心已完成之「訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範之研究」也是為了能對於冲刷檢測訂定出一套適合臺灣橋梁使用的冲刷檢測規範，包括檢測表單的擬定，檢測儀器適用性的研究以及檢測後封橋的標準皆有所研究及建議。

並整理現行臺灣橋梁管理系統所使用之 DER&U 評估表內容，根據橋梁結構目視檢測所判定之損傷程度進行評分，雖與冲刷並無直接

之關係，但橋梁下部構件之健全程度亦屬於影響沖刷潛勢高低因素之一，因此採用現有之沖刷穩定指標(SSI)，將 DER&U 評估項目中與橋梁下部構件、河道情形相關之六個項目之評分結果計算 SSI 值，以進行沖刷潛勢之評估。

沖刷穩定指標評估所需之六個項目為：『河道』、『橋台基礎』、『橋台』、『橋墩保護設施』、『橋墩基礎』及『橋墩墩體』等項目，此報告建議修改相關權重，如下式，計算 I_c 值及 SSI 值。

$$I_{c_i} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{c_{ij}}}{n}, \quad I_{c_{ij}} = 100 - 100 \times \frac{D \times E \times R^a}{4 \times 4 \times 4^a}$$

$$SSI = \frac{I_{c_{\text{河道}}} \times 5 + I_{c_{\text{橋台基礎}}} \times 6 + I_{c_{\text{橋台}}} \times 5 + I_{c_{\text{橋墩保護設施}}} \times 6 + I_{c_{\text{橋墩基礎}}} \times 8 + I_{c_{\text{橋墩墩體}}} \times 7}{(5+6+5+6+8+7)}$$

SSI 值愈高代表該橋梁的沖刷危險愈低，反之沖刷穩定指標 SSI 值過低的話則可能有較大的遭受沖刷損害的危險，若低於(含等於)85 分以下，表示此橋之橋體構件狀況有較高的機會因沖刷而產生破壞。

目前國內沖刷檢測的相關的系統，有整合上述「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」研究成果的「跨河橋梁安全預警系統」，該系統目前僅針對大甲溪流域上的跨河橋梁在颱風來臨時進行安全預警，系統未來將納入上述研究計畫研究成果的沖刷檢測表單，可提供現場人員可在災前、災中及災後填寫，並另設有簡訊通報及回傳表單機制，使橋梁管理者可以快速掌握跨河橋梁的即時現況。

2.10.4 橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發 (1/4)

1. 強化 D.E.R.&U.檢測結果之應用

(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、新 CI、新 PI、SSI、SFI、SRI、USI 等指標，可分別針對鋼筋混凝土橋或鋼橋進行評估，但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 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；橋梁綜合重要度指標雖考慮地震、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。

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應用。【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。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，橋梁通阻檢測分模式建立之研究第一年度中建議採用矩陣圖表(表 2-32)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 2-32 構件功能失效可能性矩陣

$D \backslash E$	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_{cij} 平均值做為該項 I_{ci} 之精神，2) 亦可參考 PI 指標將細項 I_{cij} 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確，此處照理可以由表 2-20 之可能性 P_{ij} 值為 25%、50%作為分界點，但表 2-20 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 ，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，取計算 SSI 指標之構件權重，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。

(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。

2.11 最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬

決定潛勢地震，主要根據斷層調查資料及臺灣發生過的歷史地震紀錄，其資料來源的確定性是影響分析結果的重要來源之一。在地震目錄方面，已有一定精確度，可提高分析結果的可信度。而在活動斷層部分則根據實際觀測資料作為訂定其特徵地震之活動參數的相關參考。本章節主要以簡單的數學模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型的分析方法，同時說明本研究決定斷層特徵地震參數的參考依據。

2.11.1 震源參數分析

震源特性之相關參數包含：發生次數 N 、不同規模的相對發生率 b 值、最小規模 m_0 、上限規模 m_u 等，分析時需進一步對於震源的時、空分佈情形以各大小規模的地震活動度進行分析並確定各項參數，需建立之參數如下所列：(1)該震源區地震目錄之確定；(2)震源幾何形貌(斷層位態、斷層破裂長度與深度)；(3)評估各地震規模的發生率；(4)評估該震源區的最大可能地震。

2.11.2 震源型態

地震主要是因為地層斷裂(或破裂)而發生，然而，在地震危害潛勢評估上，仍可以將地震震源概分為活動斷層震源及區域震源。前者是指地震時地層斷裂面延伸至地表而在地表留下錯動的痕跡，亦即斷層線，例如臺灣地區的第一類活動斷層即屬此類震源；後者則是指地震時因為震源深度較深或地震規模較小，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，亦即一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源。

2.11.2.1 區域地震 (Regional source)：

就工程特性而言，主要認為規模大於 6.0 且深度淺的地震，是最具影響的地震種類，臺灣過去約一百年地震目錄中地震規模 ≥ 6.0 的地

震特性主要集中於臺灣花東縱谷沿線、蘭陽平原、臺灣本島等部分。而深、淺層地震主要以 35 公里作為區分，但由於過去地震震源特性之訂定在深度方面存在一定的誤差性，故本研究在分析時將深、淺地震以 50 公里做為分界，取深度 ≤ 50 公里內的地震進行分析。由地震紀錄的統計分析發現，在某些區域範圍內的地震常具有類似的統計特性，而將之劃為同一區域震源(包含許多的地層斷裂面)，通常以 G-R 關係式來描述地震規模與再現頻率(發生率)的關係。區域地震之地震目錄：

1. 一般工程上認為會有重大災害之地震規模皆在 6.0 以上，且震源深度為 35 公里以內的淺源地震。
2. 而為考慮震源定位可能的誤差，震源深度的篩選條件取至 50 公里。
3. 移除各地震相關之前、餘震資料，以符合地震於時間序列上之獨立性，對於前、餘震之處理，乃根據發生時間順序及時間間隔作為判斷條件。
4. 1936 年前在地震測量儀器不發達的時代，僅能用地震災害範圍來判定可能之規模、深度及發震時間、位置，對於同一筆地震會有不同的參數定義。此狀況於目錄中需予以篩選並剔除。

2.11.2.2 活動斷層特徵地震(Characteristic Earthquake):

1. 新城斷層：

- (1) (Tang, 1968)認為新城斷層北段由關西南方至頭前溪段呈東北東走向，長約 12 公里；南段由頭前溪延伸至頭份東北方的頂埔里，呈東北走向，長約 16 公里，兩段合計長約 28 公里。
- (2)認定新城斷層為頭前溪以南，即東北—西南走向的這一段，全長約 15 公里。

針對新城斷層共開挖 3 處槽溝，由槽溝剖面來看，至少發現有兩次的古地震事件(李元希等，2002)。最近一次的地震發生約於 300 以來(陳文山，2005)。目前新城斷層的長期活動性或週期尚未

有足夠的資料，但以目前資料可評估最近一次活動造成的地表抬升量。首先由頭前溪第二層礫石層的錯移量來看，地表垂直抬升高度可達 3.4 公尺。雖然各槽溝的古地震事件都沒有年代資料，但是頭前溪剖面的斷層活動可能是最近一次地震所造成，因此推測槽溝內最後一次的古地震事件可能代表最近期活動所造成的錯移。

2. 屯子腳斷層(含獅潭斷層及神卓山斷層)：

1935 年 4 月 21 日晨 6 時 2 分，在苗栗縣大安溪中游附近 (24.35°N, 120.82°E, 震源深度 5 公里)發生規模 7.1 的強烈災害地震，有感區域幾乎遍及全島。此次地震的災區範圍甚大，南北約 110 公里、東西寬約 40 公里，以新竹、苗栗與臺中三縣受害最為嚴重，共造成 3,276 人死亡、12,053 人受傷、17,907 間房屋全倒、36,781 間房屋受損。此次地震伴隨三條地震斷層，即獅潭斷層、神卓山斷層及屯子腳斷層。由地震觀測方面判定其目前仍具有潛在之活動性。其斷層長度分別為 12、5 及 14 公里。

3. 米崙斷層：

花東縱谷北段以米崙斷層為主，最近的一次歷史地震為 1951 年的花蓮外海地震，造成米崙斷層地表破裂，顯示米崙斷層的分佈可延伸至花蓮北側外海，而米崙斷層的南端到了花蓮市區內則逐漸趨於不明顯。1951 年共發生三個規模大於 7.0 的災害地震，由於此三個地震發生的時間緊湊，無法詳細區分出個別的災害，此三個地震共造成 68 人死亡、856 人受傷、2,382 間房屋受損（包含全倒）。過去在 1815 年發生在花蓮外海地震，其規模達 $M=7.7$ 修正後為 $ML7.2$ 之地震紀錄亦造成 113 人傷亡。

2.12 地表震動分析模式

2.12.1 地表震動分析模式簡介

本研究地震強度衰減模式採用中央大學(張毓文，2002)與(詹皓

凱，2008)碩士論文為主要參考文獻。根據文獻中衰減模式之研究，發現影響其預測結果的因素，主要包括震源規模和破裂過程的震源效應(source effect)，地震波的傳遞路徑效應(path effect)及地震波因局部地質所引起的場址效應(site effect)。場址效應的探討於(Campbel，1981)，將測站場址分為岩盤及軟弱地盤土層，分析不同的衰減模式，此結果反映出在相同規模及距離下，沖積層於地表震動分析上衰減模式所預估的值皆大於岩盤，與同年 Joyner et al.的結果相似。而對於測站場址特性的分類，(Boore and Joyner et al，1997)則將北美西部的測站場址以地表下 30 公尺剪力波速之平均值為分類之依據，分為軟弱地盤及岩盤的衰減模式。在臺灣方面(郭鎧紋，1992，1993，1994)將臺灣部分測站依場址特性分類，(Lee et al，2001)綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之 N 值和頻譜分析等方法，將全臺灣自由場強震站的場址分為 B、C、D、E 四類。而臺灣集集地震發生後，(趙曉玲，2001)使用集集地震資料，利用二水平向及垂直向最大加速度值剩餘值分佈，分析出各測站的場址放大因子，其結果與 Wu et al.相似，場址放大較高的區域為臺北盆地、宜蘭平原、嘉南平原及高屏地區。

2.12.2 測站地盤分類

Boore 等人(1993)以近地表 30 公尺以內之地層的 S 波平均速度作為場址分類的依據，將場址分成四類：(A)S 波平均速度大於每秒 750 公尺；(B)S 波平均速度於每秒 360 至 750 公尺之間；(C)S 波平均速度介於每秒 180 至 360 公尺；(D)S 波平均速度小於每秒 180 公尺，美國加州地區工程界所採用的建築技術規範(ICBO，1991)將地盤分為 S1、S2、S3、S4 四類。郭鎧紋(1992、1993、1994)於中央氣象局的專題研究中，分別對臺北地區、桃竹苗地區及嘉南地區部份自由場強震站進行分類，其分類依據即是以 ICBO(1991)為分類標準。1997 年 UBC 將地盤分類分為 A、B、C、D、E 和 F 六類(ICBO，1997)。另外在工程方面亦有研究加入 (Lee et al，2001)以綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之 N 值和頻譜分析等方法將全臺灣自由場強震站的場址分為 B、C、D、E 四類。

2.12.3 衰減模式

Campbell 於 1981 年為了研究近場水平向 PGA 的衰減情形，利用 1993 至 1980 年共 28 個淺源地震，震源深度在 25 公里以內之地震事件。其中，依據震源距離 20、30 及 50 公里以內，並將震矩規模以 6.0 為界， $M_W \geq 6.0$ 時，取 M_S 為分析的地震參數，反之，當 $M_W < 6.0$ 時，則取 M_L 為震源參數。分析時採用兩水平方向紀錄的平均值進行最小平方迴歸分析得到最大加速度衰減式為：

$$PGA = 0.0185e^{1.28M} (R + 0.147e^{0.732M})^{-1.75} \dots\dots\dots(2.9)$$

上式中 M 為地震規模， R 為測站與地表斷層破裂(fault rupture)間之距離。

第三章 橋梁風險因子辨識

橋梁是由許多不同構件組成，各構件功能不一，受風險損傷狀況也不近相同，難以就橋梁整體進行風險評估。故本階段將對各構件進行分類，並分析各風險因子可能對那些橋梁構件造成影響，以利找出各風險因子可能造成之破壞

3.1 橋梁因子彙整及分類

目前國內橋梁管理單位評估橋梁自身狀況，依照公路養護手冊將橋梁分為二十種構件，如表 3-1 所示；另外，第二十一項其他於本研究不予討論。根據財團法人台灣營建研究院(2004)報告，將分為主要構件及次要構件。主要構件定義為該構件損壞會造成橋梁有結構安全疑慮者；次要構件定義為對用路人使用上之安全性及舒適性。

表 3-1 D.E.R.&U.目視檢查表

<u>主要構件(安全性)</u>	<u>次要構件(服務性)</u>
3.河道	1.引道路堤
5.橋台基礎或沉箱	2.引道護欄
6.橋台	4.引道路堤保護措施
12.橋墩保護設施	7.翼牆/擋土牆
13.橋墩基礎	8.摩擦層
14.橋墩墩體	9.橋面板排水設施
15.支承墊	10.緣石及人行道
16.止震塊/防震拉桿	11.欄杆及護欄
18.主構件(大樑)	17.伸縮縫
19.副構件(橫隔樑)	
20.橋面版、鉸接版	

3.2 建立風險因子及影響圖

本計畫需考量之風險因子包含：乘載、地震、洪水及使用等。其中之乘載及使用是屬於橋梁構件老化所造成之風險，故直接以構件老化視為其風險因子，加上地震及洪水等共三項風險因子。故本步驟將以此三項風險因子為對象，進行造成橋梁損傷及破壞之影響原因辨識；根據文獻回顧，本團隊擬定之橋梁風險因子影響圖可參照圖 3.1 所示。

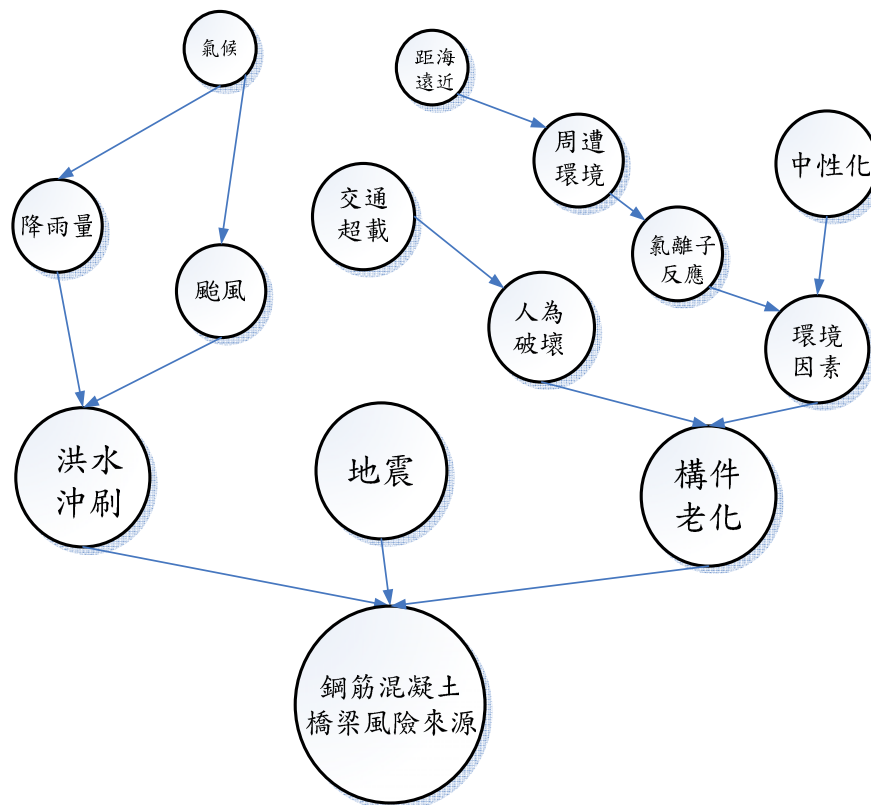


圖 3.1 橋梁風險因子影響圖

考量上述風險因子，本研究將風險類別分為可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)，如圖 3.2 所示。其中可視老化中構件老化為風險因子，其風險指標為平時 D.E.R.&U.檢測可得之綜合評判分數為 CI 值，本研究參考過去之 CI 值統計資料，擬以可靠度指標方式進行風險評估。潛勢危害部分可分為地震及洪水沖刷為主要原因，地震風險指標

將使用考慮材料劣化影響之結構耐震容量(A_y 及 A_c)，並輔以蒙地卡羅模擬生命週期地震事件與受損結構性能修正模型以評估含累積損傷影響之風險。洪水沖刷採用現行 SSI 值作為風險指標，亦採用蒙地卡羅模擬洪水事件以進行風險評估。

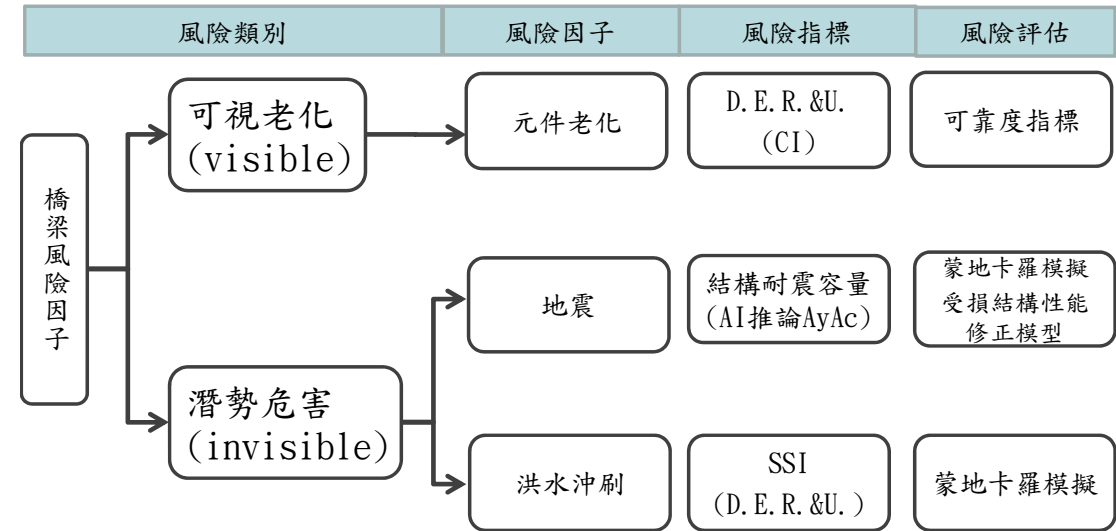


圖 3.2 橋梁風險因子分類

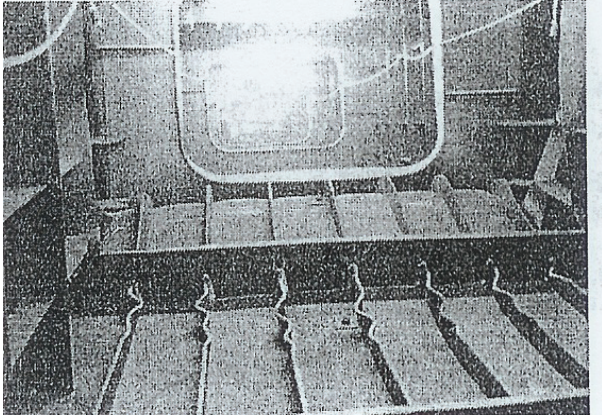
3.3 分析橋梁風險因子之來源

本階段依上述所定義三種風險因子，包含可視老化(構件老化)、潛勢危害(地震及洪水)，找出各風險所造成橋梁損傷及破壞模式，並估計該破壞後，需恢復原構件性能條件下橋梁管理單位所需花費維護成本。

3.4 橋梁各構件破壞模式分析

本團隊彙整及整理文獻中各種災害所造成橋梁損壞現象，將橋梁損壞現象以不同風險區分如表 3-2 所示，表中將不同風險所造成破壞模式以不同代號表示，並將風險來源對應不同的破壞模式；初步將地震造成的破壞模式分為 9 項、洪水 5 項以及構件老化 22 項。

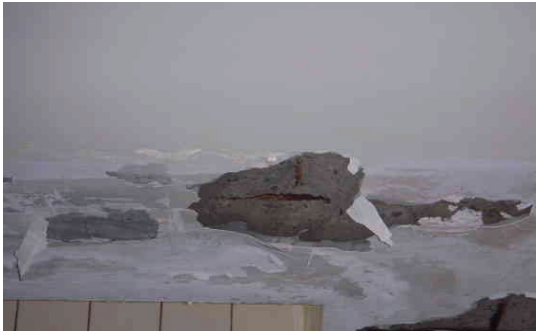
表 3-2 橋梁損壞現象代號表

風險	破壞模式	代號	相關圖像
地震	變型	d1	 (李有豐，2000)
	傾斜	d2	 (國研院國震中心)
	傾倒	d3	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
地震	位移	d4	 (國研院國震中心)
	沉陷隆起	d5	 (國研院國震中心)
	剪力破壞	d6	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
地震	落橋	d7	 (國研院國震中心)
	基礎承载力不足	d8	-
	韌性不足	d9	-
	沖淤破壞	d10	-
洪水	束縮沖刷破壞	d11	-
	局部沖刷破壞	d12	-
	河床掏空	d35	 (國研院國震中心)
	沖刷或侵蝕	d36	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
構件老化	滑動	d13	-
	裸露	d14	-
	掏空	d15	 (國研院國震中心)
	裂縫	d16	 (國研院國震中心)
	混凝土裂縫	d17	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
構件老化	混凝土破損	d18	 (國研院國震中心)
	混凝土鱗狀剝落	d19	 (國研院國震中心)
	混凝土塊狀剝離	d20	 (國研院國震中心)
	混凝土碎裂	d21	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
構 件 老 化	混凝土蜂窩	d22	
	混凝土白華	d23	 (國研院國震中心)
	混凝土剝落	d24	 (國研院國震中心)
	鋼筋外露	d25	 (國研院國震中心)
	混凝土間隙 (孔洞)	d26	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
構 件 老 化	基樁外露	d27	 (國研院國震中心)
	腐蝕	d28	 (國研院國震中心)
	螺栓鬆脫	d29	-
	偏移	d30	 (國研院國震中心)
	支承座損壞	d31	 (國研院國震中心)

風險	破壞模式	代號	相關圖像
構件老化	遺失	d32	-
	老化	d33	 (國研院國震中心)
	墊片損壞	d34	 (國研院國震中心)

第四章 分析橋梁風險因子之因果關係

本階段針對前一章節所確立之風險：可視老化(構件老化)、潛勢危害(地震及洪水)，分別找出各風險造成橋梁損傷原因及對應破壞模式和部位。此外，並收集相關維修工法所需經費及適用部位，當構件破壞後，即可參考此資料估算所需花費維護成本。

4.1 橋梁各構件破壞模式分析

本團隊彙整各種災害所造成橋梁損壞現象，將橋梁損壞現象分別以潛勢危害(地震、洪水)與可視老化(構件老化)之原因區分可參考表 3-2，橋梁構件相關破壞模式如表 4-1 至表 4-4 所示。

1. 潛勢危害

(1)地震破壞型式

表 4-1 橋梁單元地震損壞型式

橋梁構件	破壞模式(d)						
	d1	d2	d4	d5	d6	d7	d8
6. 橋台	◎	◎	◎				◎
12. 橋墩保護措施		◎		◎	◎	◎	◎
13. 橋墩基礎	◎	◎		◎	◎	◎	◎
14. 橋墩墩體		◎		◎	◎	◎	◎
18. 主構件(大樑)	◎				◎		
19. 副構件(橫隔樑))	◎						
20. 橋面版、鉸接版							◎

在地震破壞中，橋台構件容易受地震影響產生傾斜而發生位移，又地震影響後可能發生乘載力不足而落橋的現象。

b.洪水破壞型

表 4-2 橋梁構件洪水損壞型式

橋梁構件	破壞模式(d)				
	d10	d11	d12	d35	d36
13. 橋墩基礎		◎	◎	◎	◎
14. 橋墩墩體	◎	◎	◎	◎	◎

在洪水破壞中，主要破壞結構大多集中於橋墩部位，其破壞模式可能有沖淤破壞、束縮沖刷破壞及局部沖刷破壞。

(2)可視老化(構件老化)

表 4-3 橋梁構件老化損壞型式(1/2)

橋梁構件	破壞模式(d)												
	d2	d5	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23
5. 橋台基礎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎
6. 橋台	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎
12. 橋墩保護措施	◎	◎	◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
13. 橋墩基礎	◎	◎	◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
14. 橋墩墩體	◎	◎	◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
15. 支承墊						◎							
16. 止震塊/防震拉桿						◎							
18. 主構件(大樑)						◎			◎	◎	◎	◎	◎
19. 副構件(橫隔樑)						◎			◎	◎	◎	◎	◎
20. 橋面版、鉸接版							◎	◎			◎	◎	◎

表 4-4 橋梁構件老化損壞型式(2/2)

橋梁構件	破壞模式(d)											
	d24	d25	d26	d27	d28	d29	d30	d31	d32	d33	d34	
5. 橋台基礎	◎	◎										
6. 橋台	◎	◎										
12. 橋墩保護措施		◎		◎								
13. 橋墩基礎		◎		◎								
14. 橋墩墩體		◎		◎								
15. 支承墊					◎	◎	◎	◎	◎	◎		
16. 止震塊/防震拉桿						◎	◎		◎	◎	◎	
18. 主構件(大樑)		◎										
19. 副構件(橫隔樑))		◎										
20. 橋面版、鉸接版			◎									

4.2 檢測表單對應破壞項目

本團隊收集現有橋梁管理單位所採用之檢測表單。根據前一階段所確立破壞模式與結構部分之關係，擬定檢測項目、結構部位及破壞模式之對應性，其主要目的為釐清並確認既有表單是否可完全檢測出橋梁不同部位可能發生之破壞模式。以下分別針對地震破壞-落橋評估(表 2-22)、地震破壞-強度韌性(表 2-23)、洪水沖刷(表 2-26)及構件老化(表 2-28)分別彙整成表 4-5 至表 4-8。

如下表 4-5 所示，橋梁管理單位需在不同時機針對不同災害填寫表單，因此本研究將彙整各種檢測表單之檢測項目，從檢測項目間找出不同的風險來源對應破壞模式，並匯出矩陣表(表 4-5 至表 4-8)表單的檢測項目位於左欄，而其對應的構件部位及破壞模式於上方列，例如：在公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-落橋評估(表 4-5)中，第三個檢測項目『相鄰橋墩間地表土質之變化』，其目的是為了檢測橋台基礎橋墩基礎之間土質是否有明顯之變化，以判定是否有可能造成傾斜或是位移，而判斷結果為嚴重的話則可能對橋梁整體造成落橋危害。

如下表 4-7 所示，從公路橋梁耐洪評估表(表 2-26)中，檢測項目間找出不同的風險來源對應破壞模式，並匯出矩陣表(表 4-7)，表單的檢測項目位於左欄，而其對應的構件部位及破壞模式於上方列，例如：在公路橋梁耐洪破壞模式對應檢測項目(表 4-7)中，第七個檢測項目『上游攔河堰或水庫設施』，其目的是為了判斷有無攔河堰或水庫設施，如果有的話會加速橋墩沖刷或是基礎流失則會造成沖淤破壞、局部沖刷破壞，束縮沖刷破壞。

如下表 4-8 所示，從 D.E.R.&U.定期檢測表中，檢測項目間找出不同的風險來源對應破壞模式，並匯出矩陣表(表 4-8)，破壞模式位於左欄，而其對應的檢測項目位於上方列，例如：在公路橋梁老化破壞模式對應檢測項目(表 4-8)中，像是橋台基礎與橋台呈現的老化破壞模式有滑動、裸露、沉陷、傾斜...等。

本研究整理的破壞模式對應檢測項目矩陣表，主要用於針對不同

災害填寫表單，彙整表單之檢測項目，找出重複性之欄位或可轉換之項目，更新其餘表單內容(表 4-13 至表 4-26)，確保各表單檢測結果能保持最新的數值。

表 4-5 橋梁各構件破壞模式分析-落橋

公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-落橋評估															
橋梁構件部位	5橋台基礎 6橋台			12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體					15支承墊	16止震塊/ 防震拉桿	18主構件(大梁) 19副構件(橫隔梁)	20橋面板、 銲接板	9項服務性 構件	3河道	橋梁 整體
破壞模式 檢測項目	d4 位 移	d5 沉 陷	d2 傾 斜	d4 位 移	d2 傾 斜	d6 剪 力 破 壞	d8 基 礎 承 載 力	d9 韌 性 不 足	材料老化	材料老化	d1 變 形	d4 位 移	材料老化	沖刷	d7 落 橋
是否為第一類活動斷層近域 (與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
地盤類別 (與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
相鄰橋墩間地表土質變化 液化可能性 (與現有規範相比,耐震能力不足)	◎		◎	◎	◎										◎
相鄰兩震動單位結構系統差異性	◎		◎	◎	◎							◎			◎
外懸梁	◎			◎							◎				◎
梁端橋墩或橋台之斜角 (整體耐震能力下降(強度,韌性))	◎		◎	◎	◎						◎				◎
縱坡坡度S(%)	◎			◎							◎				◎
曲線橋(半徑≤100m或交角≥30°)	◎		◎	◎	◎										◎
基礎揭露程度	◎	◎	◎	◎	◎										◎
支承狀況	◎		◎	◎	◎										◎
防落長度	◎			◎											◎
防落設施	◎			◎											◎
其他異常現象															◎

表 4-6 橋梁各構件破壞模式分析-強度韌性

公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-強度韌性評估															
橋梁構件部位	5橋台基礎 6橋台			12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體					15支承墊	16止震塊/ 防震拉桿	18主構件(大梁) 19副構件(橫隔梁)	20橋面板、 銲接板	9項服務性 構件	3河道	橋梁 整體
破壞模式 檢測項目	d4 位 移	d5 沉 陷	d2 傾 斜	d4 位 移	d2 傾 斜	d6 剪 力 破 壞	d8 基 礎 承 載 力	d9 韌 性 不 足	材料老化	材料老化	d1 變 形	d4 位 移	材料老 化	沖刷	d7 落 橋
是否為第一類活動斷層近域 (與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
地盤類別 (與現有規範相比,耐震能力不足)															◎
液化可能性(與現有規範相比,耐震能力不足 (84年後規範要考慮液化問題))															◎
梁端橋墩或橋台之斜角 (整體耐震能力下降(強度,韌性))	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎			◎				◎
震動單位中橋柱、墩最高與最低之比 (低估地震力)				◎	◎	◎	◎	◎							
橋柱或壁式橋墩高寬比R							◎								
橋柱或壁式橋墩靜不定度								◎							
基礎揭露程度	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎							◎
柱底銲接與否(壁式橋墩)							◎	◎							
塑鉸區箍筋細部							◎	◎							
主筋斷點與箍筋細部(壁式橋墩)							◎	◎							
橋柱與基礎劣化程度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎							
壁式橋墩底部鋼筋銲接與否							◎	◎							
縱、橫向鋼筋比與細部(壁式橋墩)							◎	◎							
主筋斷點與箍筋細部(一般橋柱)							◎	◎							
其他異常現象															◎
支承狀況															◎

表 4-7 橋梁各構件破壞模式分析-沖刷

公路橋梁耐洪破壞模式對應檢測項目												
橋梁構件部位	5橋台基礎 6橋台	12橋墩基礎 13橋墩基礎 14橋墩墩身	15支承墊	16止震擋/ 防震拉桿	18主構件(大梁) 19副構件(橫梁)	20橋面板、 銜接板	9項服務性 構件	3河道			橋梁整體	
檢測項目	材料老化 或 地震危害	沖刷 破壞	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	沖淤 破壞	表層 沖刷 破壞	局部 沖刷 破壞	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害
橋梁竣工圖												
結構穩定度分析成果		③										
衛星影像或航照圖								③	③	③		
河床斷面測量結果或相關報告								③	③	③		
歷史災損及沖刷最嚴重情形												
沖刷相關構件之DERU評分		③						③	③	③		
SSI指標:												
上游壩河堰或水庫等設施		③						③	③	③		
基礎型式		③										
橋梁是否位於河川彎曲處或束縮處								③	③	③		
河床下降情形								③	③	③		
h=公尺												
河床材料								③	③	③		
主河道位置								③	③	③		
跌水效應(高程差Dh:公尺)		③						③	③	③		
橋墩(基)方向與河川流向間之角度 θ°		③						③	③	③		
阻水面積比RA		③						③	③	③		
基礎裸露程度		③										
橋墩阻水情形		③										
be: 橋墩等值寬度												
SSI指標評分		③									③	③
護岸工現況								③	③	③	③	③
護床工現況								③	③	③	③	③

表 4-8 橋梁各構件破壞模式分析-構件老化

公路橋梁老化破壞模式對應檢測項目										◎代表以DRU檢測	
橋梁構件部位	5橋台基礎 6橋台	12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體	15支承 墊	16止震塊/防 震拉桿	18主構件(大梁) 19副構件(橋隔梁)	20橋面板、 板接板	9項服務性構件	3河道	橋梁整體		
破壞模式											
滑動	◎	◎							◎		
裸露	◎								◎		
沉陷	◎	◎							◎		
傾斜	◎	◎							◎		
沖刷或侵蝕	◎	◎							◎		
掏空	◎		◎	◎	◎				◎		
裂縫	◎					◎			◎		
移動	◎					◎			◎		
混凝土裂縫	◎					◎			◎		
混凝土破損				◎		◎			◎		
混凝土剝落	◎								◎		
混凝土鱗狀剝落	◎				◎				◎		
混凝土塊狀剝離	◎				◎				◎		
混凝土碎裂	◎				◎	◎			◎		
混凝土蜂窩	◎				◎	◎			◎		
混凝土白華	◎				◎	◎			◎		
混凝土間隙(空洞)						◎			◎		
混凝土受撞擊	◎				◎				◎		
混凝土火害	◎				◎				◎		
鋼筋外露	◎	◎			◎				◎		
排水孔阻塞	◎								◎		
基樁外露		◎							◎		
腐蝕			◎						◎		
螺栓鬆脫			◎	◎					◎		
偏移			◎	◎					◎		
支承座損壞			◎						◎		
遺失			◎	◎					◎		
老化			◎	◎					◎		
墊片損壞				◎					◎		
河床掏空								◎	◎		
堤防沖刷或侵蝕								◎	◎		

本團隊根據文獻與現有橋梁管理現行規定，建議各檢測表單之使用時機，可參考文獻回顧中表 2-2。橋梁管理單位需在不同時機針對不同災害填寫表單，將造成填寫人員極大負擔，亦需要大量人力更新資料。因此本研究將彙整上述表單之檢測項目，找出重複性之欄位或可轉換之項目(表 4-9)，並定義檢測項目之代號(表 4-10)，找出填表項目對應更新項目(表 4-11)。未來填寫表單時將可依此規則更新其餘表單內容(表 4-12 至表 4-25)，確保各表單資料項目能同步更新。

表 4-9 表單間重複之評估項目

TELES (T)	公路橋梁耐震評估表-落橋(E_d)	公路橋梁耐震評估表-強度韌性(E_f)	公路橋梁耐洪評估表(S)	DERU (D)
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	3.河道
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	6.橋台
—	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分	12.橋墩保護設施
基礎裸露__公尺	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度	5.橋台基礎
基礎裸露__公尺	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度	13.橋墩基礎
—	—	G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分	14.橋墩墩體/帽梁
—	G111支承狀況	—	—	15.支承/支承墊

表 4-10 重複評估項目的代號定義

代號	對應表單	檢測項目
T1	TELES	基礎裸露__公尺
D3	DER&U	3.河道
D5	DER&U	5.橋台基礎
D6	DER&U	6.橋台
D12	DER&U	12.橋墩保護措施
D13	DER&U	13.橋墩基礎
D14	DER&U	14.橋墩墩體/帽梁
D15	DER&U	15.支承/支承墊
E _f G110	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G110基礎裸露深度
E _d G208	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G208基礎裸露深度
E _d G212	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G212橋柱與基礎劣化程度
E _f G111	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G111支承狀況
S6	跨河公路橋梁冲刷潛勢評估表	6.冲刷相關構件之DER&U評分 包含(3.河道、5.橋台基礎、6.橋台、12.橋墩保護措施、13.橋墩基礎、14.橋墩墩體/帽梁)
S16	跨河公路橋梁冲刷潛勢評估表	16.基礎裸露深度

表 4-11 填表項目對應更新項目

		更新項目													
		T1	D3	D5	D6	D12	D13	D14	D15	E _f G 110	E _d G 208	E _d G 212	E _f G 111	S6	S16
填 表 項 目	T1	◎		◎			◎			◎	◎	◎		◎	◎
	D3		◎											◎	
	D5			◎								◎		◎	
	D6				◎							◎		◎	
	D12					◎								◎	
	D13						◎					◎		◎	
	D14							◎				◎		◎	
	D15								◎				◎		
	E _f G110	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G208	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G212			◎	◎		◎	◎				◎		◎	
	E _f G111								◎				◎		
	S6		◎	◎	◎	◎	◎	◎				◎		◎	
	S16	◎		◎						◎	◎				◎

4.2.1 填表項目對應更新項目-以填表項目 TELES 說明

如下表 4-12 所示，填寫 TELES 檢測表單時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-12 填表項目對應更新項目-以填表項目 TELES 為例

代號	說明	轉換式								
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。若未知實際初始基礎深度時，則以較保守之方式估計基礎長度 為10公尺。	TELES 基樁裸露：____公尺  DERU <table><tr><th>等級</th><th>定義</th></tr><tr><td>2</td><td>樁基尚未露出</td></tr><tr><td>3</td><td>樁基露出未超過樁長1/4</td></tr><tr><td>4</td><td>樁基露出超過樁長1/4</td></tr></table>	等級	定義	2	樁基尚未露出	3	樁基露出未超過樁長1/4	4	樁基露出超過樁長1/4
等級	定義									
2	樁基尚未露出									
3	樁基露出未超過樁長1/4									
4	樁基露出超過樁長1/4									
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。									
E _d G212	若以知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。									
S6	若以知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。									
S16	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“S16”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。									
E _f G110	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“E _f G110”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。	此項目僅需將填表項目更新至表中在計算即可								

1. T1(基礎裸露)轉換 D5(橋台基礎)時，若已知原基礎長度則可以依照中國土木水利學會建議，在 D.E.R.&U.中基礎沖刷的劣化程度^[1]算出 D 值(劣化程度)，若未知原基礎長度時，則假設原基礎長度為 10 公尺。(經濟部水利署，2010)

局部沖刷使得樁基露出，但露出的部分未超過所有樁長度的 1/4；在擴展基腳周邊基腳的小部分沖刷已經造成易沖蝕材料的露出。評估等級為 3。

在擴展基腳已造成易沖蝕物質的露出；沖刷已造成樁帽以下超過 1/4 長度的露出。評估等級為 4。

2. T1(基礎裸露)轉換 D13(橋墩基礎)時，可參考 1.

^[1] 中國土木水利學會建議在 D.E.R.&U.中基礎沖刷劣化程度為橋墩基礎有局部的輕微沖刷，但樁帽基底尚未露出；樁基礎因沖刷而有部分露出。評估等級為 2。

3. T1(基礎裸露)轉換 EfG 110(橋墩基礎)時，因檢測 T1 中所填的基礎裸露深度，與 EfG 110 檢測項目相同，故可以不須轉換即可更新。僅需將填表項目更新至表中在計算即可。
4. T1(基礎裸露)轉換 EdG 212 (橋墩基礎)時，可參考 1.
5. T1(基礎裸露)轉換 S6(橋台基礎)時，可參考 1.
6. T1(基礎裸露)轉換 S16(橋墩基礎)時，因檢測 T1 中所填的基礎裸露深度，與 EfG 110 檢測項目相同，故可以不須轉換即可更新。僅需將填表項目更新至表中在計算即可。

4.2.2 填表項目對應更新項目-以填表項目D3(河道)說明

如下表 4-13 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D3(河道)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-13 填表項目對應更新項目-以填 D3(河道)為例

代號	說明	轉換式
S6	檢測項目與D3完全相同	無轉換問題

1. 檢測項目兩者相同，內容依樣，無轉換問題。

4.2.3 填表項目對應更新項目-以填表項目D5(橋台基礎)說明

如下表 4-14 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D5 (橋台基礎) 時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-14 填表項目對應更新項目-以 D5(橋台基礎)為例

代號	說明	轉換式
EdG212	公路橋梁耐震評估檢查表 (強度韌性評估)	與D.E.R.&U.評分相同
S6	檢測項目與D5完全相同	無轉換問題

1. D5(橋台基礎)轉換 EdG 212 (橋墩基礎) 時，在 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表中，檢測項目與公路橋梁耐洪評估表中相同，故無表單間轉換格式之問題，又(交通部公路總局，2009)指出，橋梁如曾進行 D.E.R.&U.檢測，可由橋柱(墩)與基礎判定的等級來勾選。
2. D5(橋台基礎)轉換 S6(橋台基礎)時，因檢測項目完全相同，故無轉換的問題。

4.2.4 填表項目對應更新項目-以填表項目D6(橋台)說明

如下表 4-15 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D6(橋台)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-15 填表項目對應更新項目-以 D6(橋台)為例

代號	說明	轉換式
EdG 212	填表項目可參考D.E.R.&U.中的評估方法	與D.E.R.&U.評分相同
S6	檢測項目與D6完全相同	無轉換問題

1. D5(橋台基礎)轉換 EdG 212 (橋墩基礎) 時，在 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表中，檢測項目與公路橋梁耐洪評估表中相同，故無表單間轉換格式之問題，又(交通部公路總局，2009)指出，橋梁如曾進行 D.E.R.&U.檢測，可由橋柱(墩)與基礎判定的等級來勾選。
2. D5(橋台基礎)轉換 S6(橋台基礎)時，因檢測項目完全相同，故無轉換的問題。

4.2.5 填表項目對應更新項目-以填表項目D12(橋墩保護措施)說明

如下表 4-16 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D12(橋墩保護措施) 時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-16 填表項目對應更新項目-以 D12(橋墩保護措施)為例

代號	說明	轉換式
S6	檢測項目與D12完全相同	無轉換問題

1. 檢測項目兩者相同，內容依樣，無轉換問題。

4.2.6 填表項目對應更新項目-以填表項目D13(橋墩基礎)說明

如下表 4-17 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D13(橋墩基礎)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-17 填表項目對應更新項目-以 D13(橋墩基礎)為例

代號	說明	轉換式
EdG212	填表項目可參考D.E.R.&U.中的評估方法	與D.E.R.&U.評分相同
S6	檢測項目與D13完全相同	無轉換問題

1. D13(橋墩基礎)轉換 EdG212 (橋墩基礎) 時，在 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表中，檢測項目與公路橋梁耐洪評估表中相同，故無表單間轉換格式之問題，又(交通部公路總局，2009)指出，橋梁如曾進行 D.E.R.&U.檢測，可參考橋柱(墩)與基礎的等級。

2. D13(橋墩基礎)轉換 S6(橋墩基礎)時，因檢測項目完全相同，故無轉換的問題。

4.2.7 填表項目對應更新項目-以填表項目D14(橋墩墩體/帽梁)說明

如下表 4-18 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D14(橋墩墩體/帽梁)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-18 填表項目對應更新項目-以 D14(橋墩墩體/帽梁)為例

代號	說明	轉換式
EdG212	填表項目可參考D.E.R.&U.中的評估方法	與D.E.R.&U.評分相同
S6	檢測項目與D14完全相同	無轉換問題

1. D14(橋墩墩體/帽梁)轉換 EdG212 (橋墩墩體) 時，在 D.E.R.&U.橋梁定期檢測表中，檢測項目與公路橋梁耐洪評估表中相同，故無表單間轉換格式之問題，又(交通部公路總局，2009)指出，橋梁如曾進行 D.E.R.&U.檢測，可參考橋柱(墩)與基礎的等級。
2. D14(橋墩墩體/帽梁)轉換 S6(橋墩墩體)時，因檢測項目完全相同，故無轉換的問題。

4.2.8 填表項目對應更新項目-以填表項目D15(支承/支承墊)說明

如下表 4-19 所示，填寫 D.E.R.&U.檢測表單項目 D15(支承/支承墊)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-19 填表項目對應更新項目-以 D15(支承/支承墊)為例

代號	說明	轉換式																																			
E _f G111	由D15，16個等級轉換為E_fG111表中的四個等級， 參考1-4可將矩陣分數分為四個等級區間。	橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4) <table><tr><th> E \ D </th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><th>1</th><td>0</td><td>7</td><td>21</td><td>41</td></tr><tr><th>2</th><td>15</td><td>28</td><td>48</td><td>68</td></tr><tr><th>3</th><td>35</td><td>55</td><td>75</td><td>88</td></tr><tr><th>4</th><td>62</td><td>82</td><td>94</td><td>100</td></tr></table> 公路橋梁耐震評估表(落橋) <table><tr><th>G</th><th>結構細部</th><th>支承狀況</th><th>4</th><th> 極差(1.0) 尚可(0.33) 不良(0.67) 良好(0) </th></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr></table>	E \ D	1	2	3	4	1	0	7	21	41	2	15	28	48	68	3	35	55	75	88	4	62	82	94	100	G	結構細部	支承狀況	4	極差(1.0) 尚可(0.33) 不良(0.67) 良好(0)	1	1	1	1	
E \ D	1	2	3	4																																	
1	0	7	21	41																																	
2	15	28	48	68																																	
3	35	55	75	88																																	
4	62	82	94	100																																	
G	結構細部	支承狀況	4	極差(1.0) 尚可(0.33) 不良(0.67) 良好(0)																																	
1	1	1	1																																		

1. 參考(中興顧問，2011)可將 D.E.R.&U. 中 D 值與 E 值所構成的矩陣，將 16 個等級分成 4 個區間，分別是良好(0)、尚可(7~28)、不良(35~68)、極差(75~100)。

例如；評估等級 D 為 2，E 為 3，則評估分數為 48 等級為不良。

4.2.9 填表項目對應更新項目-以填表項目EfG110(基礎裸露深度)說明

如下表 4-20 所示，填寫檢測表單項目 EfG110(基礎裸露深度)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-20 填表項目對應更新項目-以 EfG110(基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式
T1	填寫欄位時須特別註明h的數值	建議需紀錄EfG110欄h的數值
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	參考下列解釋(2)
D6	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
D14	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
EdG208	與EfG110評估項目相同	
S6	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出D.E.R.&U.中的D值	
S16	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出D.E.R.&U.中的D值，再由h計算出該欄位	建議需紀錄EfG110欄h的數值

1. EfG110(基礎裸露深度)轉換 T1(基礎裸露)時，建議紀錄 EfG110(基礎裸露深度)時須特別寫出基礎露深度的數字，以便更新 TELES 表單。
2. EfG110(基礎裸露深度)轉換 D5(橋台基礎)時，若已知原基礎長度則可以依照中國土木水利學會建議，在 D.E.R.&U.中基礎沖刷的劣化程度算出 D 值(劣化程度)，若未知原基礎長度時，則假設原基礎長度為 10 公尺。(經濟部水利署，2010)
3. EfG110(基礎裸露深度)轉換 D6(橋台)時，參考 2。
4. EfG110(基礎裸露深度)轉換 D13(橋墩基礎)時，參考 2。
5. EfG110(基礎裸露深度)轉換 D14(橋墩敦體/帽梁)時，參考 2。
6. EfG110(基礎裸露深度)轉換 EdG208(基礎裸露深度)時，因檢測項目完

全相同，故完轉換之問題。

7. EfG110(基礎裸露深度)轉換 S16(基礎裸露深度)時，建議紀錄EfG110(基礎裸露深度)時須特別寫出基礎露深度的數字，則可以依照中國土木水利學會建議，在D.E.R.&U.中基礎沖刷的劣化程度算出D值(劣化程度)。

4.2.10 填表項目對應更新項目-以填表項目EdG208(基礎裸露深度)說明

如下表 4-21 所示，填寫檢測表單項目 EdG208 (基礎裸露深度)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下述說明。

表 4-21 填表項目對應更新項目-以 EdG208(基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式
T1	填寫欄位時須特別註明h的數值	建議需紀錄EdG208欄h的數值
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
D6	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
D14	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	
E _f G110	與EdG208評估項目相同	G208基礎裸露深度
S6	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出D.E.R.&U.中的D值	
S16	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出D.E.R.&U.中的D值，再由h計算出該欄位	建議需紀錄EdG208欄h的數值

4.2.11 填表項目對應更新項目-以填表項目EdG212(橋柱與基礎劣化程度)說明

如下表 4-22 所示，填寫檢測表單項目 EdG212 (橋柱與基礎劣化程度)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-22 填表項目對應更新項目-以 EdG212(橋柱與基礎劣化程度)為例

代號	說明	轉換式
D5	此檢測項目可參考D.E.R.&U.值	無轉換問題
D6	此檢測項目可參考D.E.R.&U.值	
D13	此檢測項目可參考D.E.R.&U.值	
D14	此檢測項目可參考D.E.R.&U.值	
S6	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表S6又與D.E.R.&U.數值相同，因此可以直接參考D.E.R.&U.來檢測此項目	

1. EdG212(橋柱與基礎劣化程度)轉換 D5(橋台基礎)時，在 D.E.R.&U. 橋梁定期檢測表中，檢測項目與公路橋梁耐洪評估表中相同，故無表單間轉換格式之問題，又(交通部公路總局，2009)指出，橋梁如曾進行 D.E.R.&U.檢測，可由橋柱(墩)與基礎判定的等級來勾選。
2. EdG212(橋柱與基礎劣化程度)轉換 D6(橋台)時，參考 1。
3. EdG212(橋柱與基礎劣化程度)轉換 D13(橋墩基礎)時，參考 1。
4. EdG212(橋柱與基礎劣化程度)轉換 D14(橋墩敦體/帽梁)時，參考 1。
5. EdG212(橋柱與基礎劣化程度)轉換 S6(基礎裸露程度)時，參考 1。

4.2.12 填表項目對應更新項目-以填表項目EfG111(支承狀況)說明

如下表 4-23 所示，填寫檢測表單項目 EfG111(支承狀況)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-23 填表項目對應更新項目-以 EfG111(支承狀況)為例

代號	說明	轉換式
E _f G111	由D15，16個等級轉換為E _f G111表中的四個等級， 參考(中興顧問，2011)可將矩陣分數分為四個等級區間。	建議用D.E.R.&U.來直接評分

1. 參考第一年成果報告(中興顧問，2011)可將 D.E.R.&U.中 D 值與 E 值所構成的矩陣，將 16 個等級分成 4 個區間，分別是良好(0)、尚可(7~28)、不良(35~68)、極差(75~100)。

例如；評估等級 D 為 2，E 為 3，則評估分數為 48 等級為不良

4.2.13 填表項目對應更新項目-以填表項目S6(沖刷相關構件之D.E.R.&U.評分)說明

如下表 4-24 所示，填寫檢測表單項目 S6(沖刷相關構件之 D.E.R.&U.評分)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-24 填表項目對應更新項目-以 S6(沖刷相關構件之 D.E.R.&U.評分)為例

代號	說明	轉換式
D5	此檢測項與D.E.R.&U.檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D6	此檢測項與D.E.R.&U.檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D12	此檢測項與D.E.R.&U.檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D13	此檢測項與D.E.R.&U.檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D14	此檢測項與D.E.R.&U.檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題

- 1.此項目檢測內容完全相同

4.2.14 填表項目對應更新項目-以填表項目S16(基礎裸露深度)說明

如下表 4-25 所示，填寫檢測表單項目 S16(基礎裸露深度)時可更新對應欄位項目，其轉換式如下所述：

表 4-25 填表項目對應更新項目-以 S16(基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式
T1	由TELES的數值計算S16	無
E _f G110	填寫此項目時會記錄h數值，可用來計算E _f G110項目	
E _d G208	填寫此項目時會記錄h數值，可用來計算E _d G208項目	

註：1.S16(基礎裸露深度)轉換 T1(基礎裸露)時，填寫時可記錄更新。

2.S16(基礎裸露深度)轉換 T1(基礎裸露)時，填寫時可記錄更新。

4.3 估計衝擊影響程度

目前本團隊先針對地震風險因子造成破壞模式，所對應適用維修補強工法整理如表 4-26~表 4-32 所示。表 4-33 為各工法所需花費之成本，今年度本團隊將橋梁破壞後所花費維修成本達原設設水準視為衝擊影響程度。故本步驟根據上步驟找出橋梁破壞模式後，即可找尋對應之維修工法並估算破壞所需維護經費，視為風險對公路管理單位所造成之衝擊影響。

表 4-26 震後橋梁補強技術適用表

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13、14、15、16、18、20	適合小斷面之修復	D1 裂縫、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	a. 表面修補工法	水泥砂漿、環氧砂漿、瀝青、甲基丙稀酸脂類、防銹材	極容易	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、15、16、17、18、20	適合裂縫之修復抑制裂縫擴大	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	b. 壓力灌漿工法	水泥灌漿材、環氧樹脂灌漿材、甲基丙稀酸脂類	容易	3.5~4.5m/工作天	低	5~10 年	無明確需求，以恢復構件單元外觀及維持原構件單元強度
3、6、13、14、18、20	將構件部分或全部拆除而重新澆注混凝土或針對混凝土構件局部剝落而修復	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎	c. 重新澆注工法	水泥砂漿、混凝土	容易	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	維持原構件單元強度及耐久性
3、18、20	大樑位移有落橋之虞、橋墩墩體支承處破損產生高低差	D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起	d. 止震塊/防震拉桿設置工法	混凝土、環氧樹脂黏著劑；鋼製托架；預力鈎材；防落裝置	可	2 工作天/塊	中	5~10 年	防落裝置無明確需求規定；防落長度規定 $N=50+0.25L+H$

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、18、20、14、	修補裂縫、增加結構物強度與剛度	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	e. 鋼板表面黏貼修補工法	環氧樹脂黏著劑、鋼板材料	可	快，視現場施工環境而定	低	5~10 年	維持原構件單元強度
3、6、13、14、15、16、18、20	單元結構損傷變形，承載力降低之虞	D1 裂縫、D2 破裂變形、D4 壓碎、D6 折斷、D8 位移、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	f. 千斤頂及臨時支撐工法	千斤頂、型鋼構材	可	5 工作天/座	中	5 年以下	恢復構件單元原位及提升橋梁單元結構穩定性
1、2、3、4、17、20	橋面板發生高低差、伸縮縫開口	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	g. 鋪設臨時覆蓋版工法	鋼面板	容易	快，視現場施工環境而定	低	5 年以下	無明確需求，旨在提升行車穩定性
20	加高梁版的有效高度	D1 裂縫、D2 破裂、變形	h. 橋面加鋪加固工法	混凝土或鋼筋混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	低	5~10 年	增加梁版的抗彎能力、改善荷重橫向分佈
3、14、18	以承受暫時性載重為主	D1 裂縫 D2 破裂 D11 混凝土剝落 D12 鋼筋外露	i. 鋼板補強工法	環氧樹脂黏著劑或螺栓、鋼板材料（鋼皮夾克）	可	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重力

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13、14、18、20	材料具高強度、高抗腐性、重量輕、剪裁容易、造價高，應用範圍廣	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	j. 纖維強化高分子複合材料工法	纖維材料(碳纖維、玻璃纖維)、環氧樹脂	不易	60m/工作天	高	25~50 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
3、14、18	當梁構件強度、剛度、穩定性及抗裂能力不足時	D1 裂縫、D2 破裂、變形	k. 增大梁截面工法	混凝土或鋼筋混凝土、環氧樹脂黏著劑	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪及抗彎能力
14	主要用於增加橋柱之強度及主筋截斷部位補強	D1 裂縫、D2 破裂、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	l. 鋼筋混凝土包覆工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	10~25 年	提高耐震能力、增加抗剪、抗彎及承重能力
13	欲穩固基礎及增加基礎版垂直及側向承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	m. 擴大基礎版工法	鋼筋、混凝土	容易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	增強垂直及側向承載力

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
13	欲穩固基礎及增加地工承載力	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移	n. 增樁補強工法	鋼殼樁材、預鑄樁材、型鋼材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增強垂直及側向承載力
13	欲提升基礎剛性，施工空間受限、施工時間成本高	D1 裂縫、D2 破裂、D4 壓碎、變形、D5 折斷、D6 折斷、D8 位移、D9 沉陷隆起、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	o. 增設連續壁工法	穩定藥液、鋼筋、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	提升基礎剛性
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起、D6 折斷、D7 傾倒、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	p. 加勁擋土牆工法	碎石材、加勁材、混凝土	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向位移
6	欲抑制擋土牆身折斷位移或沉陷	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D11 混凝土剝落、D12 鋼筋外露	q. 地錨補強工法	預力鋼材、水泥砂漿	可	慢，視現場施工環境而定	高	25~50 年	增加牆身抗彎抗剪能力；穩定背填土、防止側向位移

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
17	伸縮縫有錯位或變形時應予以更換	D2 破裂、變形、D9 沉陷隆起	r. 置換伸縮縫工法	伸縮縫裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復伸縮縫原有功能
15	支承墊有裂紋或變形時應予以更換	D1 裂縫、D2 破裂、變形、D4 壓碎、D8 位移、D10 脫落	s. 置換/修補支承墊工法	無收縮水泥砂漿、支承墊裝置	可	快，視現場施工環境而定	中	10~25 年	主要目的在恢復支承墊原有功能
13	以固結灌漿、將低承載地盤地下水或置入加勁材料來增加土層承載力	D9 沉陷隆起、D8 位移、D6 折斷	t. 地盤改良工法	灌漿 / 止水藥液、水泥砂漿、砂料、生石灰	不易	慢，視現場施工環境而定	中	25~50 年	穩定軟弱土層、增加土壤承載力

表 4-27 震後橋梁修復經費參考表

	工法	構件單元	單位	單價 (元)
a 表面封閉修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	710
		橋墩柱	m ²	1,000
		基礎版/地工	m ²	1,000
		橋台	m ²	1,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
b 壓力灌漿修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面版/防落裝置/支承	處	830
		橋墩柱	m ²	1,300
		基礎版/地工	m ²	1,300
		橋台	m ²	1,500
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
c 重新澆注工法	混凝土破損修補	大梁/橫隔梁/帽梁	處/m ³	830/5,6650
		橋面版	m ³	3,000
		橋墩柱	m ³	3,000
		基礎版/地工	m ³	1,000
		橋台	m ³	3,000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
d 置設 防落裝置	止震塊/防震拉桿	大梁/橋面版/橫隔梁	塊/組	7,800
e 黏貼 鋼板表面 修補工法	鋼板貼附修補	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/橋台	m ²	8,100
f 千斤頂 及時支撐 工法	千斤頂架設		處	200,000
	型鋼構架及製作安裝	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/支承/防落裝置/橋台	噸	32,500

版工法 時鋪設 蓋臨	鋪設臨時覆工版	橋面版/摩擦層/伸縮縫/引道	噸	33,500
工法 加鋪 加固	混凝土鋪設修補	橋面版	處/m ³	830/56,650
	摩擦層修補	摩擦層	m ²	6,000
強工法 鋼板補	鋼板補強	大梁/橫隔梁/橋墩柱/帽梁	m ²	8,500
工法 FRP 補強	強化碳纖維貼附補強	大梁/橋面版/橫隔梁/橋墩柱/帽梁/基礎版/地工/橋台	m ²	3,950 (單層單向)
			m ²	6,250 (雙層雙向)
截面工法 k 增大梁	梁斷面施作	大梁/橫隔梁/帽梁	m ³	6,400
工法 RC 包覆	RC 包覆施作	橋墩柱	m ³	6,925
版工法 m 擴大基	基礎版施作	基礎版	m ³	35,000
補強工 (補) 樁 n. 增	全套管基樁施作	地工	m	25,000
0 增設連續壁工法	連續壁 60cm 施工/棄土	基礎版/地工	m ²	2,000
	連續壁 60cm 劣質打除		m	1,000
	連續壁沈澱池及棄土坑		m	200,000
	連續壁鋪面		m ²	80

p 牆工法 加勁擋土	加勁擋土牆施工	橋台	m ²	5,000~6,000
q 工法 預力地錨	預力地錨施工	橋台	m	3,600
r 縮縫工法 置換伸	更換伸縮縫（橡膠單元）	伸縮縫	m	200
s 修補工法 置換支承	更換支承（橡膠）	支承	組	36,500
t 良工法 地盤改	地盤改良施作	基礎版/地工	m ²	100,000

資料來源：翁明全，2005

第五章 橋梁風險因子量化分析

造成橋梁損害的風險因子甚多，故需先對因子進行選擇主要造成橋梁危害因子，並建立橋梁性能指標以利進行危害發生機率。由於本研究風險因子共有三項：包含可視老化(材料老化)、潛勢危害(地震、洪水)。故本步驟將分別就這三項風險因子建立橋梁性能指標。本研究將可視老化以 D.E.R&U 評估法之狀況指標(CI, Condition Index)作為性能指標；地震以耐震能力作為性能指標；洪水則以 SSI 作為性能指標。以下將分別說明之。

5.1 橋梁性能指標建立(可視老化)

CI 以 0~100 的整數代表橋梁目前的狀況，分數越高代表橋梁的狀況越好，相關計算方式請參考 2.1 小節。

可藉由 CI 之計算方式，探討損傷模式對部位功能影響，並藉此進而檢討對橋梁功能的影響。以常見損壞模式為例，整體而言，構件老化通常對橋梁整體使用功能性並無急迫之影響，如表 5-1 所示。

表 5-1 構件老化常見損傷模式對部位及橋梁之影響

損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
傾斜	傾斜	若持續傾斜對橋梁後續使用功能性影響甚鉅
裂縫	開裂寬度小，但沒有水穿透或鋼筋鏽蝕現象。	對橋梁整體無迫切影響
混凝土塊狀剝落	造成鋼筋裸露，進而腐蝕	如無處理，將影響橋梁使用功能性；腐蝕嚴重者會影響結構安全性能
混凝土蜂窩	鋼筋外露，且可能造成腐蝕現象。	對橋梁整體無迫切影響
混凝土白華	混凝土之白華顯示遭到硫酸鹽侵蝕，且可能造成腐蝕現象。	如無處理，威脅橋梁使用功能性
鋼筋外露	鋼筋完全露出，且有腐蝕現象。	威脅橋梁整體使用功能性；腐蝕嚴重者會影響結構安全性能

5.2 橋梁性能指標建立(潛勢危害-地震)

結構物若承受中小地震或非災害型地震且震後並未進行修補，當地震再度發生時，其損傷必有所累積且非線性累加。一般而言，建地震損傷指標可使用 Park and Ang Model，如式(5.1)所示，主要結合地震作用下之最大反應變位與消散能量以定義結構物受損情形。因此，本研究將參考上述模型選擇鋼筋混凝土橋梁適用之震後損傷評估指標外，並進一步決定震後且未進行任何修復工程條件下之耐震性能；有關震損傷結構之耐震性能折減模型將於下一章節闡述。

$$D_{P\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

其中， $D_{P\&A}$ ：地震損傷指標(若 $D_{P\&A} > 1.0$ ，結構物可視為全損或倒塌)； δ_M ：地震作用下結構物之最大反應變位； δ_u ：結構物之極限變位； F_y ：靜載重作用下結構物之降伏基底剪力； dE ：消散能量增量 (Incremental absorbed hysteretic energy (excluding potential energy))； β ：反覆載重影響係數(一般鋼筋混凝土建築物為設為 0.05)。

本研究並針對常見地震損傷模式，探討損壞模式對部位功能影響，並藉此進而檢討對橋梁功能的影響，如表 5-2 所示。

表 5-2 地震常見損傷模式對部位及橋梁之影響

損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
傾斜、位移、基礎承载力不足	傾斜	若持續傾斜對橋梁後續影響甚鉅，進而影響結構安全性能
剪力破壞	當發生彎矩降伏後，混凝土的剪力強度降低，極易發生剪力破壞。	橋墩柱能力不足發生破壞，進而影響結構安全性能
變型	喪失強度	橋墩柱能力不足發生破壞，進而影響結構安全性能
基礎承载力不足	造成下部結構傾斜、位移	發生落橋情形，而結構安全性能喪失

5.3 橋梁性能指標建立(潛勢危害-洪水)

SSI 是 Scouring Stability Index 的縮寫，為橋梁的『沖刷穩定指標』，以 0~100 的整數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，包含「河道」、

「橋台基礎」、「橋台」、「橋墩保護設施」、「橋墩基礎」及「橋墩墩體」六項，當該些構件檢測狀況不佳時，SSI 值下降，代表該其對於水流之衝擊抵抗能力下降，因沖刷而斷橋之機率增大。

可藉由 SSI 之計算方式，探討洪水損壞模式對部位功能影響，並藉此進而檢討對橋梁功能的影響，如表 5-3 所示。

表 5-3 洪水常見損傷模式對部位及橋梁之影響

損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
沖淤破壞	河道中長期之水流沖刷及淤積，可能導致橋墩及橋台產生破壞	橋墩遭受洪水侵蝕沖刷作用勢必影響基礎之承載能力，進而影響橋梁結構安全。
束縮沖刷破壞	由於河道斷面的束縮，或因水流通過橋墩時通水斷面積減少之影響，使得水流流況於近橋墩及基礎處可能產生超臨界流或水躍情形造成橋墩及基礎的破壞	橋墩基礎遭局部沖刷進而導致基礎裸露，基礎承載能力及橋梁穩定亦隨之而降低。
局部沖刷破壞	河道中由於水流長期沖刷影響，有可能對橋墩及基礎產生局部沖刷效應，進而造成其破壞	橋墩基礎遭局部沖刷進而導致基礎裸露，基礎承載能力及橋梁穩定亦隨之而降低。
河床掏空、沖刷或侵蝕	橋墩基礎沖刷，可能造成樁帽基礎露出	橋墩遭受洪水侵蝕沖刷作用勢必影響基礎之承載能力，進而影響橋梁結構安全。

第六章 橋梁風險分析

本階段將根據上階段所建議橋梁性能指標進行量化分析，評估橋梁危害發生之機率，結合風險衝擊影響程度計算流程如圖 6.1 所示。

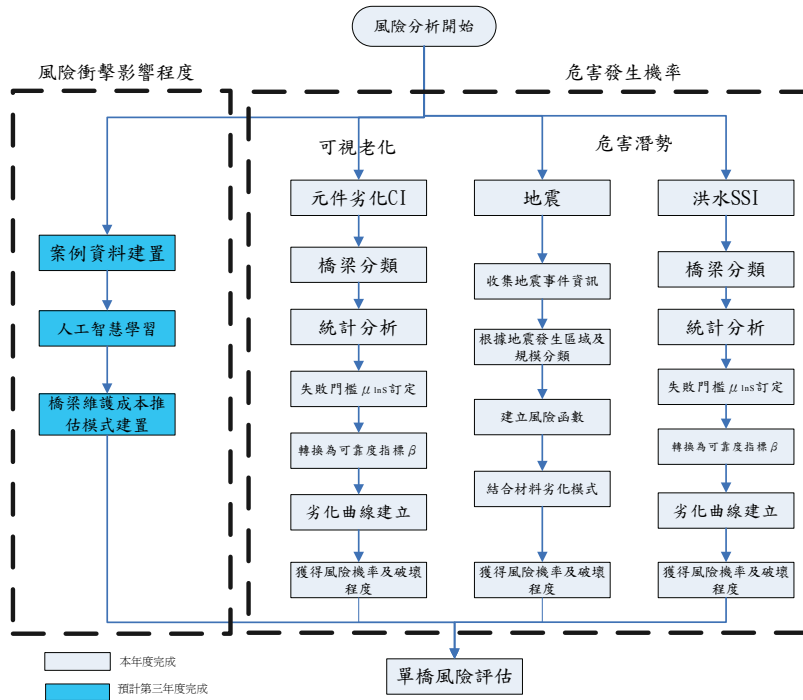


圖 6.1 橋梁風險分析流程圖

由於風險因子中可視老化及洪水皆出於 D.E.R.&U. 評分表，僅計算分數方式有差異，故以下說明可視老化(構件老化)及潛勢危害(洪水)將合併說明。分別依橋梁地震、洪水及可視老化之順序介紹。

6.1 橋梁可靠度分析-地震

此階段皆分為四部份介紹，分別為(1)潛勢地震發生機率模型；(2)地表震動分析模式；(3)橋梁地震損傷評估；(4)橋梁地震風險與壽命評估。詳細步驟如下：

6.1.1 潛勢地震發生機率模型

本研究主要參考文獻：國家地震工程研究中心(最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，2005)；(簡稱：國震中心報告書，2005)，依據報告書內容資料。本章節將以簡單的數學機率模型，建立臺灣地區一般性震源、活動斷層之潛勢地震發生機率模型，並依機率模型推估未來臺灣 50 年及 100 之地震發生次數與機率。圖 6.2 為此模型研究流程，對於潛勢地震發生機率模型將依循此流程進行研究分析。

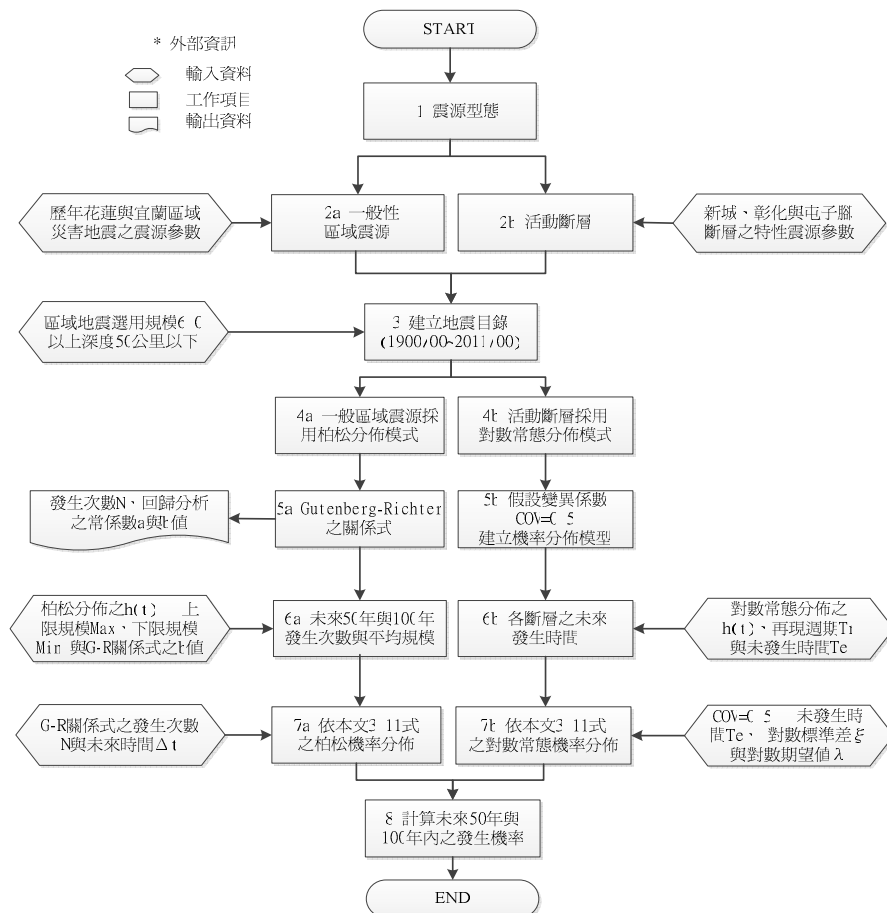


圖 6.2 潛勢地震發生機率模型之流程圖。

6.1.1.1 震源型態之介紹

震源型態地震發生，主要是因為地層斷裂或滑移，然而，在地震危害潛勢評估上，仍可以將地震震源概分為活動斷層地震及區域地震。斷層震源是指地震時地層斷裂面延伸至地表；在地表留下錯動的

痕跡，可稱為斷層線，臺灣地區將第一類活動斷層即屬於此類震源地震，當此類斷層地震發生時；造成地震規模較大且災情較為嚴重。區域震源則是指地震時因為震源深度較深或地震規模較小，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源，此類地震較為頻繁且規模一般較小。本研究依震源型態選取可能對臺北盆地造成危害之區域地震與活動斷層，而求取震源參數進行分析數據，是依據文獻(國震中心報告書，2005)首先需建立之參數如下所列：

- (1)該震源區地震目錄之確定。
- (2)震源幾何形貌(斷層位態、斷層破裂長度與深度)
- (3)評估各地震規模的發生率。

6.1.1.2 建立地震目錄及研究對象

根據中央氣象局所一百餘年的地震紀錄(1900 年-2011 年的地震參數)，可掌握臺灣各區域地震；發生之地震次數、年份時間、地震歷時及規模 M_L 等，即可依地震特性建立地震目錄。而本研究因考量遠域強震震波經傳遞過程，一般而言，造成結構危害的地震規模為 $6.0M_L$ ，故將研究之地震規模區間選取在 $6.0 \leq M_L \leq 8.0$ ；決定規模區間後，依據文獻(國震中心報告書，2005)，將歷史區域地震資料進行篩選以建立本研究的區域地震目錄：

- (1)一般工程震源深度為 35 公里，為考慮震源定位可能的誤差，故將深度篩選條件取至 50 公里。
- (2)移除各地震相關之前、餘震資料，以符合地震於時間序列上之獨立性，對於前、餘震之處理，乃根據發生時間順序及時間間隔作為判斷條件。
- (3)1936 年前在地震測量儀器不發達的時代，僅能用地震災害範圍來判定可能之規模、深度及發震時間、位置，對於同一筆地震

會有不同的參數定義。此狀況於目錄中需予以篩選並剔除。

建立區域地震目錄完成，依據一般區域震源型態之地震特性，可藉由(Gutenberg and Richter, 1944)年提出之地震規模與再現頻率關係式(簡稱：G-R 關係式)，以呈現該區域之地震特性。一般形式為式 6.1：

$$\log N(m)=a-bm, m_0 \leq m \leq m_u \dots\dots\dots(6.1)$$

式中，m：地震規模；本研究以芮氏規模 M_L 為主，N(m)：地震規模大於等於 m 之地震發生次數，a 及 b 為常係數可由回歸分析而得，a 值為該區域地震發生的頻率、b 值為該區域地震規模的大小，(3.1) 式有一上、下限規模 (m_u, m_0) 之範圍，取決方式於工程考量或地震紀錄。

6.1.1.3 平均規模與未來地震發生次數之公式

根據 (V. K. Gupta and V. Srimahavishnu, 2006) 未來地震發生次數之公式；主要是依各機率分佈模型之風險函數推算求得，而對於風險函數的影響參數；主要依該區域之地震發生頻率、時間長度、等待時間及預設未來時間等相關參數，計算公式可遵循依此式 6.2：

$$N_l(T_0 + Y | T_0) = \int_{T_0}^{T_0 + Y} h_l(\tau) d\tau \dots\dots\dots(6.2)$$

式中， N_l ：未來發生的次數， T_0 ：上次地震發生後至今尚未發生地震之等待時間，Y：預設的未來數年的時間， $h_l(\tau)$ ：機率模型之風險函數。

對於未來平均規模求取方法，可經由各區域地震建立的地震目錄，依式 6.1 之 G-R 關係式運算回歸 b 值，並依照本研究選取規模區間 $6 \leq M_L \leq 8$ 中不同的地震規模大小，以求算出不同規模發生機率密度函數與累積機率，並依公式 i 之順序決定未來平均規模大小。本研究對於未來 50 年及 100 年之宜蘭 ZS01 與花蓮 ZS02；經由式 6.3-式 6.6 可計算宜蘭與花蓮區域之平均規模與次數，下式為(V. K. Gupta and V. Srimahavishnu, 2006)未來發生平均規模公式：

$$p(m) = b \ln 10 \frac{10^{-b(m-M_{\min})}}{1 - 10^{-b(M_{\max}-M_{\min})}} \dots\dots\dots(6.3)$$

$$F(m) = \frac{10^{-b(m-M_{\min})} - 10^{-b(M_{\max}-M_{\min})}}{1 - 10^{-b(M_{\max}-M_{\min})}} \dots\dots\dots(6.4)$$

$$p_i(m) = \frac{\tilde{N}!}{(\tilde{N}-i)!(i-1)!} [F(m)]^{i-1} [1-F(m)]^{\tilde{N}-i} p(m) \dots\dots\dots(6.5)$$

$$E[M_i] = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} m p_i(m) dm \dots\dots\dots(6.6)$$

式中，b 值：G-R 關係式之回歸參數，m：地震規模， $M_{\max}$ 及 $M_{\min}$ ：為本研究決定之上及下限規模， $\tilde{N}$ ：未來發生的次數、i：未來平均規模順序由大至小；(例：i=1,2,3...N，當 i=1 時為最大平均規模 M_L 、i=2 為次大平均規模以此類推，依表 6-1-表 6-4 所示)， $E[M_i]$ ：平均規模；規模大小依 i 決定。

表 6-1 為宜蘭 ZS01，未來 50 年地震計算結果發生次數為 10 次

M_L1	M_L2	M_L3	M_L4	M_L5	M_L6	M_L7	M_L8	M_L9	M_L10
7.2	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.2	6.0

表 6-2 為花蓮 ZS02，未來 50 年地震計算結果發生次數為 12 次

M_L1	M_L2	M_L3	M_L4	M_L5	M_L6
7.2	6.9	6.7	6.6	6.5	6.4
M_L7	M_L8	M_L9	M_L10	M_L11	M_L12
6.3	6.2	6.2	6.1	6.1	6

表 6-3 為宜蘭 ZS01，未來 100 年地震計算結果發生次數為 20 次

M_L1	M_L2	M_L3	M_L4	M_L5	M_L6	M_L7	M_L8	M_L9	M_L10
7.4	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3
M_L11	M_L12	M_L13	M_L14	M_L15	M_L16	M_L17	M_L18	M_L19	M_L20
6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

表 6-4 為花蓮 ZS02，未來 100 年地震計算結果發生次數為 24 次

M _L 1	M _L 2	M _L 3	M _L 4	M _L 5	M _L 6	M _L 7	M _L 8
7.4	7.1	7.0	6.8	6.7	6.6	6.6	6.5
M _L 9	M _L 10	M _L 11	M _L 12	M _L 13	M _L 14	M _L 15	M _L 16
6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2
M _L 17	M _L 18	M _L 19	M _L 20	M _L 21	M _L 22	M _L 23	M _L 24
6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0	6.0

1. 柏松與對數常態分佈之風險函數

風險函數的定義為地震在一段時間 t 內未發生地震，故在 $t+\Delta t$ 時間內可能發生地震的機率，故稱此機率為風險函數。而本研究區域地震所採用柏松模式之發生率，就物理意義來說意味著一個地震的發散的能​​量並不影響下一個地震系列的時間，因此其過程並不符合地震的回彈理論(Elastic Rebound Theory)。區域地震發生次數頻繁可視為符合穩態柏松分佈(Stationary Poisson Distribution)且與時間無關，穩態柏松過程主要假設地震發生之風險函數(Hazard Function)為一定值，故柏松之風險函數(Hazard Function)，(簡稱： $h(t)$)可推導式 6.7：

$$f(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{k!}$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{1 - (1 - e^{-\lambda t})} = \lambda \dots\dots\dots(6.7)$$

式中， $f(t)$ ：機率密度函數(簡稱：PDF)，依柏松特性假設短時間 Δt 發生兩次事件的機率可忽略； k ：為短時間 Δt 發生事件($k=1$)， λ ：單位時間或空間內之地震平均發生率； $F(t)$ ：累積函數為 $f(t)$ 之積分(簡稱：CDF)； $h(t)$ ：風險函數(Hazard Function)，推算結果柏松的風險函數等於 λ 。

對於具有威脅性之災害潛勢地震，斷層地震數百年一次大地震；在時間上為可預期事件 (Time-Predictable)，因此該類型地震事

件之再現週期為可預期。假設再現週期在統計上依循對數常態分佈 (Log-Normal Distribution)；其公式如下所示式 6.8：

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi(T_r)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}\right)^2\right], (0 \leq T_r \leq \infty) \quad \dots\dots\dots(6.8)$$

式中， T_r ：地震事件的再現週期或再現間隔，由地震目錄或地震學調查研究決定，對數常態分佈之標準差 ξ 與期望值 λ ，分別為採用地震間隔時間統計的平均值及標準偏差再取對數。

對數常態分佈 (Log-Normal distribution) 風險函數推導式 6.9：

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi(T_r)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}\right)^2\right], (0 \leq T_r \leq \infty) \\ \text{令 } u &= \frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi} \sim du = \frac{dt}{T_r \xi} \\ t \Rightarrow u &= \frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}, 0 \Rightarrow u = -\infty, \\ F(u) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \Rightarrow \Phi\left[\frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}\right] \\ h(t) &= \frac{f(t)}{1 - \Phi(t)} \quad \dots\dots\dots(6.9) \end{aligned}$$

式中， $f(t)$ ：對數常態的機率密度函數(簡稱：PDF)； $F(u)$ ：對數常態之累積函數(簡稱：CDF)；可用梯形法求解面積或用 Φ 查常態分佈機率表求解； Φ ：標準常態分佈的累積分佈函數又稱誤差函數， $h(t)$ ：對數常態分佈之風險函數。

2. 臺灣未來50年與100年之地震發生機率

本研究推算未來 50 年與 100 年發生機率，採用未來發生機率之模式採文獻(國震中心報告書，2005)分為兩種：一為穩態的柏松模式 (Stationary Poisson Model)，二為對數常態分佈模型 (Lognormal Distribution Model)。穩態柏松模式乃假設每個地震的發生機率在靜待時間(Elapse Time)內都是獨立發生的，因此在未來 Δt 年內，發生機率計算如下式 6.10：

$$P = 1 - \exp(-r\Delta t) = 1 - \exp(-N) \dots\dots\dots(6.10)$$

式中， r ：特定規模下的發生率(為再現週期的倒數)； N ：在 Δt 年內同樣地震可能的發生次數。宜蘭 ZS01 與花蓮 ZS02 未來 50 與 100 年地震發生機率可依表 6-5 及表 6-6 所示。

對數常態分佈模型考慮到地震事件的再現週期及已發生的等待時間(T_e)。將 $P(T_e|E_m)$ 定義為考慮大於等於地震規模 E_m 的回歸週期 T_r 所建立的機率密度函數，而 T_e 則為上次地震發生時間自今的靜待時間(elapse time)，因此在未來 T_p 年內發生地震規模大於等於 E_m 之發生機率為 $P(T_e+T_p|E_m)$ ，說明之。故未來發生規模 E_m 的機率為式 6.11：

$$P(T_p | E_m, T_e) = 1 - \frac{1 - P(T_e + T_p | E_m)}{1 - P(T_e | E_m)} \dots\dots\dots(6.11)$$

式 6.11 可依圖 6.3 中之說明進行運算，其中推導如下式 6.12：

$$\begin{aligned} A + B + C &= 1 \Rightarrow 1 - C = A + B \\ \therefore 1 - P(T_e | E_m) &= A + B \\ B &= 1 - (A + C) \\ \therefore B &= 1 - P(T_e + T_p | E_m) \\ A \text{ 區間發機率} &= 1 - \frac{1 - P(T_e + T_p | E_m)}{1 - P(T_e | E_m)} = 1 - \frac{B}{A + B} = \frac{A}{A + B} \dots\dots\dots(6.12) \end{aligned}$$

式 6.12 依據表 6-7 本研究建立的斷層參數，可推算未來 50 年與 100 年之新城斷層、屯子腳斷層及米崙斷層發生機率。推算結果如表 6-8 所示。

3. 推估新城、屯子腳與米崙斷層之未來發生時間

依據(國震中心報告書，2005)內容資料：新城斷層位於新竹縣，認為新城斷層最長約 28 公里。由於該活動斷層在目前所帶來的資訊並不完整，因此假設 1000 年為新城斷層之再現期(T_r)。而調查資料仍缺乏有效的證據推估上一次發生地震時間，但(陳文山教授等人，

2005)以槽溝開挖調查結果認為其最近一次可能的錯動時間約在 300 年前(T_e)。屯子腳斷層位在臺中縣后里台地的南側，跨越大甲溪至大肚台地北側，全長約 14 公里，回歸期約 300 年(T_r)。屯子腳斷層是因 1935 年新竹-臺中地震所引發的地震斷層，造成附近有崩塌及地陷現象，使得河流改道，斷層錯動量不大卻引起嚴重災情，足以知其重要性。花東縱谷北段以米崙斷層為主 1951 年共發生三個規模大於 7.0 的災害地震，由於此三個地震發生的時間緊湊，無法詳細區分出個別的災害，斷層自七星潭海邊向西南往花東縱谷方向延伸，全長可能超過 25 公里，回歸期約 135 年(T_r)。(國震中心報告書，2005)依古地震研究結果將變異係數(Coefficient Of Variation，簡稱： $COV(\sigma_{Tr}/Tr)$)設定為 0.5，歸納各斷層地震特性資料建立表 6-7 所示，並依照式 6.2 及式 6.9 未來發生地震次數之公式與對數常態分佈之風險函數，推算未來新城斷層、屯子腳斷層與米倫斷層之 m 可能發生時間，如表 6-9 與圖 6.4-圖 6.6 所示。

表 6-5 宜蘭區域地震未來 50 與 100 年發生機率

M_L	N	Δt	發生機率 (%)	Δt	發生機率 (%)
6.0	0.183	50	99.990	100	100.000
6.1	0.147	50	99.936	100	100.000
6.2	0.118	50	99.727	100	99.999
6.3	0.095	50	99.125	100	99.992
6.4	0.076	50	97.768	100	99.950
6.5	0.061	50	95.270	100	99.776
6.6	0.05	50	91.358	100	99.253
6.7	0.039	50	85.982	100	98.035
6.8	0.032	50	79.335	100	95.729
6.9	0.025	50	71.784	100	92.038
7.0	0.020	50	63.772	100	86.875
7.1	0.016	50	55.726	100	80.398
7.2	0.013	50	47.995	100	72.955
7.3	0.010	50	40.825	100	64.984
7.4	0.008	50	34.364	100	56.919
7.5	0.007	50	28.671	100	49.122

表 6-6 花蓮區域地震未來 50 與 100 年發生機率

M_L	N	Δt	發生機率 (%)	Δt	發生機率 (%)
6.0	0.276	50	100.000	100	100.000
6.1	0.219	50	99.998	100	100.000
6.2	0.174	50	99.983	100	100.000
6.3	0.138	50	99.901	100	100.000
6.4	0.110	50	99.586	100	99.998
6.5	0.087	50	98.718	100	99.984
6.6	0.069	50	96.854	100	99.901
6.7	0.055	50	93.582	100	99.588
6.8	0.044	50	88.697	100	98.722
6.9	0.035	50	82.285	100	96.862
7.0	0.027	50	74.691	100	93.595
7.1	0.022	50	66.406	100	88.714
7.2	0.017	50	57.936	100	82.306
7.3	0.014	50	49.717	100	74.716
7.4	0.011	50	42.062	100	66.432
7.5	0.009	50	35.163	100	57.962

表 6-7 本研究設定之斷層參數(**為無相關資料提供發生時間)

斷層 編號	斷層名稱	本研究使用之參數					歷史地震
		Mu	R.P	Te	λ	ξ	
1	新城斷層	6.8	1000	307	6.796	0.4724	**
2	屯子腳斷層	6.9	300	78	5.592	0.4724	1935
3	米崙斷層	7.0	135	61	4.794	0.4724	1951

表 6-8 各斷層地震未來 50 年與 100 年之發生機率。

斷層編號	斷層名稱	發生機率 50 年(%)	發生機率 100 年(%)
1	新城斷層	1.476	3.737
2	屯子腳斷層	5.436	18.885
3	米崙斷層	37.545	70.228

表 6-9 各斷層地震使用參數列表。

斷層編號	斷層名稱	本研究使用之參數				
		Mu	R.P	Te	λ	ξ
1	新城斷層	6.8	1000	307	6.796	0.4724
2	屯子腳斷層	6.9	300	78	5.592	0.4724
3	米倫斷層	7.0	135	61	4.794	0.4724

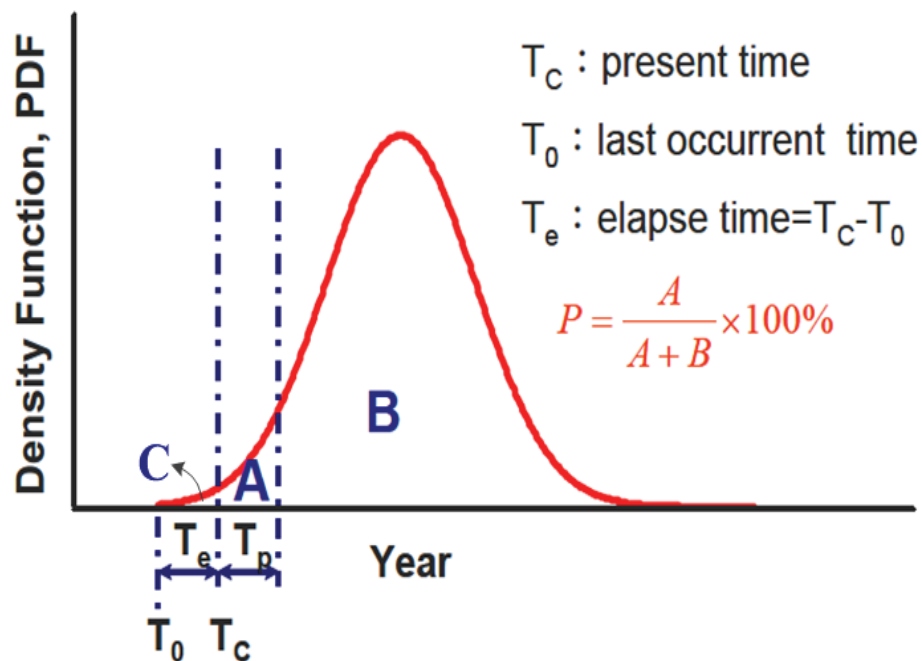


圖 6.3 地震發生機率計算模型

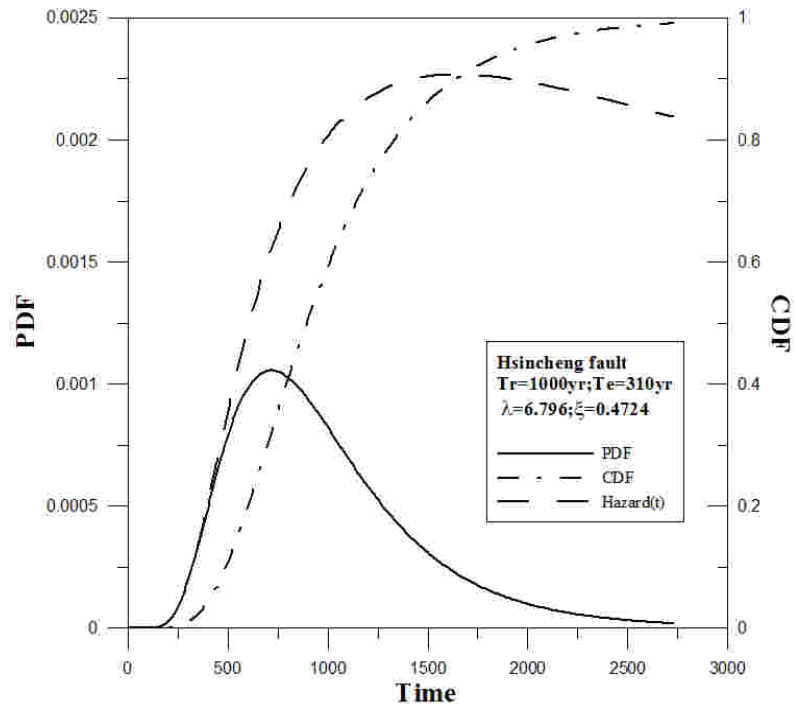


圖 6.4 新城斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$

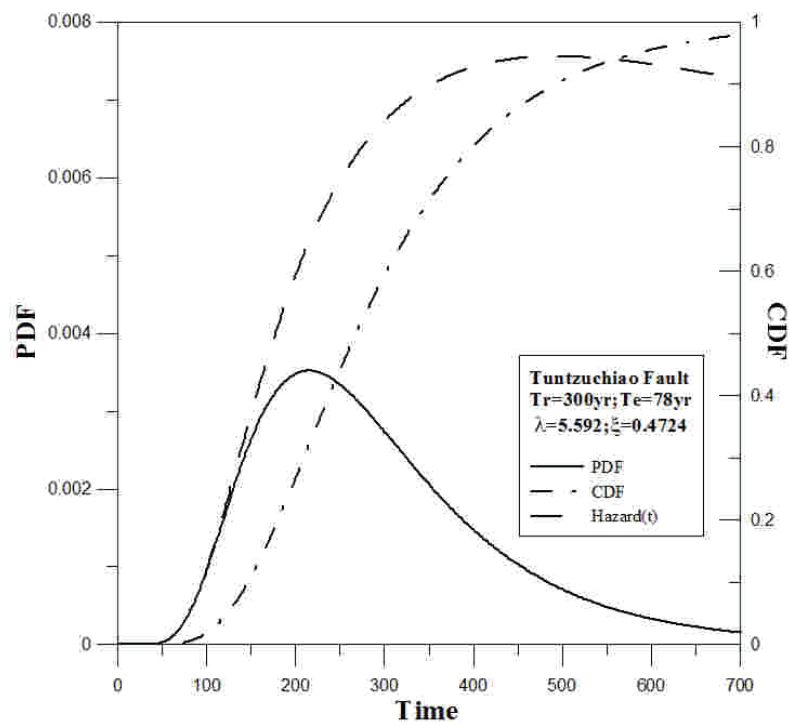


圖 6.5 屯子腳斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$

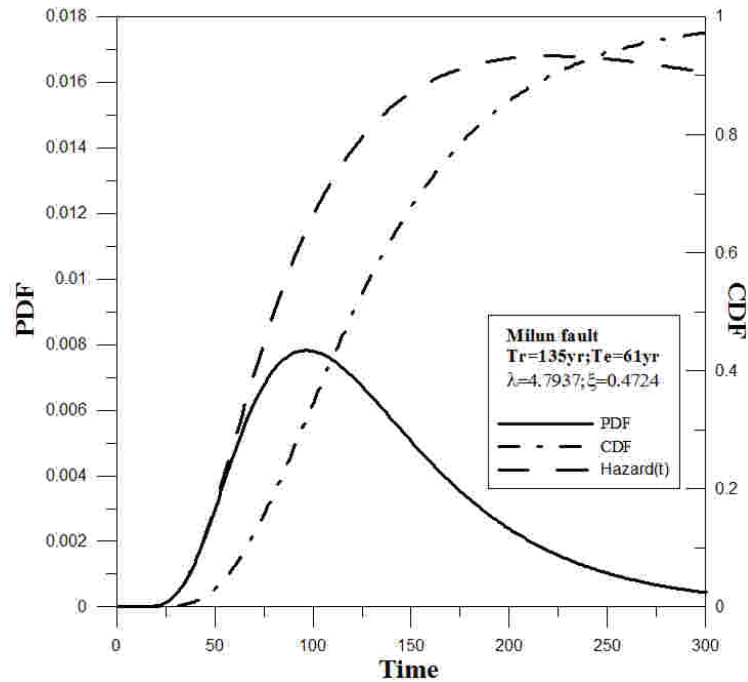


圖 6.6 米崙斷層推估未來發生時間之 PDF、CDF 及 $h(t)$

6.1.2 地表震動分析模式

本研究之人造地震模擬地表加速度值，需考量距離衰減律與地盤場址分類，乃採用國立中央大學碩士論文(張毓文，2002)之地表震動模式；將地震震央位置、規模與深度等參數為輸入，可做為全臺灣各區域測站之 PGA、Sas 及 Sa1 為輸出，故可依第三章分析結果之未來地震發生次數與規模，模擬未來 50 年及 100 年之三星橋與牛鬥橋梁因遠域地震發生所造成的結構耐震損失。

6.1.2.1 地表震動模式介紹

1. 地表震動模式之測站點位

臺灣地質構造複雜，震源傳遞過程經由地形、地層與地質構造影響差異極大，可能會影響地震波的振幅、頻譜等特性。(張毓文，2002)資料收集使用中央氣象局自由場強地動觀測網(TSMIP)之強震紀錄，根據氣象局測站名稱編號將全省測站分為七區，涵蓋範圍包括臺北地區(TAP)、臺中地區(TCU)、嘉南地區(CHY)、高屏地區

(KAU)、臺東地區(TTN)、花蓮地區(HWA)及宜蘭地區(ILA)，除中央山脈外，各測站平均間距約為 5 公里，並加入了中央研究院地球科學研究所之山區強震站(簡稱：CMA)的強震紀錄。依圖 6.7 所示，為中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖 (張毓文，2002) 三角形△符號表示臺灣自由場強地動觀測網之測站分佈位置，正方形□符號表示中央研究院山區強震站之測站分佈位置。

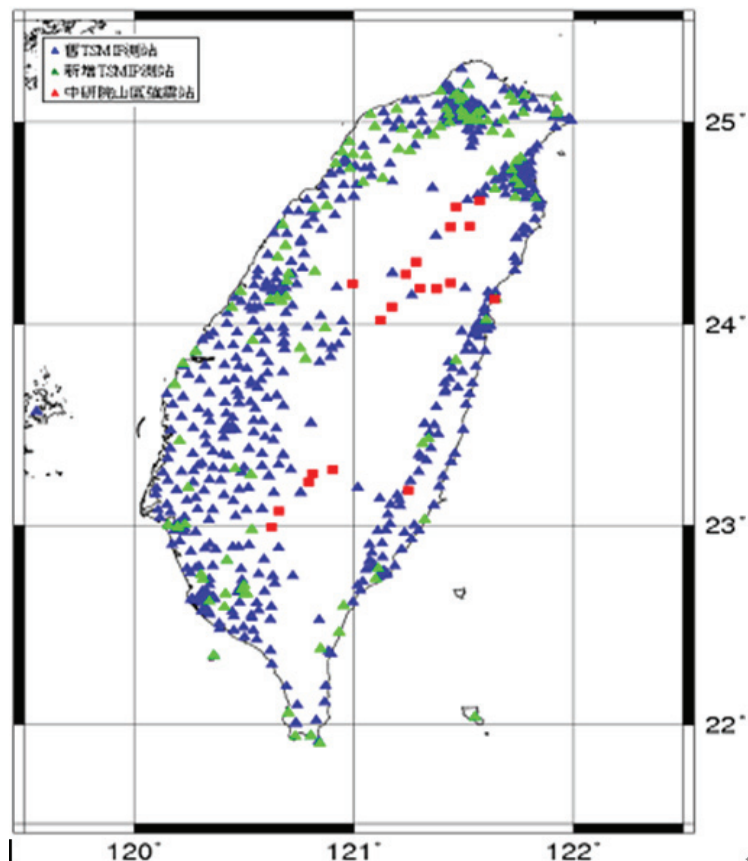


圖 6.7 中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖。

資料來源：張毓文，2002

2. 地表震動模式之場址分類

場址的分類主要依測站的地質狀況及其土層的剪力波速而定，美國加州地區所採用的建築技術規範(ICBO，1991)將地盤分為 S1、S2、S3、S4 四類。另外在工程方面有研究依據(Lee et al，2001)以綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之 N 值和頻譜分析等方法

將全臺灣自由場強震站的場址分為 B、C、D、E 四類。(蔡璧孺, 2007) 利用氣象局已完成調查的 266 個強震站址鑽探資料、中央地質調查所 GEO2000 工程地質資料庫及其他蒐集到的工程地質資料, 依據剪力波速度量測 V_{30} 進行場址分類; 如圖 6.8 所示。

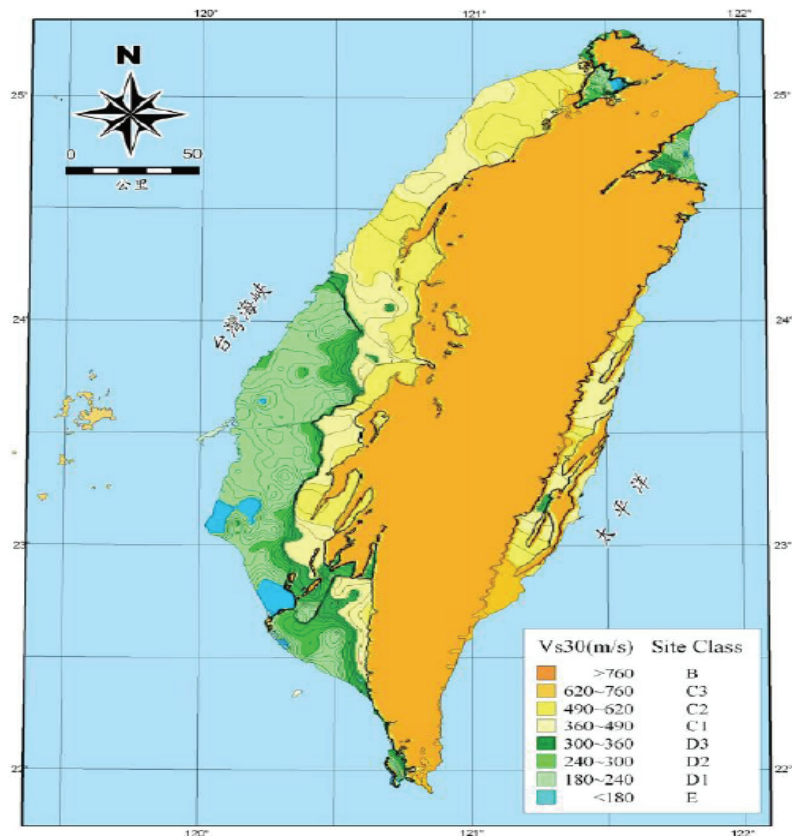


圖 6.8 剪力波速度量測 V_{30} 進行場址分類

資料來源: 蔡璧孺(2007)所畫出全臺灣 V_{s30} 分佈等值線圖

3. 地表震動模式之地震參數選取

(張毓文, 2002)參考的地表震動衰減模式(簡文郁, 2001)所使用的地震資料主要是針對芮氏規模 5.0 以上及震源深度 35 公里以內, 對工程結構物較有危害的地震。並且排除臺北盆地(Wen et al, 1998)及宜蘭盆地有明顯場址放大效應的測站紀錄為原則進行挑選, 選取的條件如下:

(1)選取芮氏規模 5.0~7.5 的地震, 其中包含集集主震及其餘震。

(2)震源深度在 35 公里以內。

(3)採用符合上述條件地震所觸發的測站歷時紀錄，包含全部即時站地震紀錄及 25 公里以內的自由場強震站地震紀錄，以避免回歸分析時權重不一的現象。

(4)使用地震紀錄中兩水平方向(EW, NS)地表最大加速度值的幾何平均值來進行回歸分析，求得參考衰減公式之係數。

(5)在進行分析時，為了避免進行分析時有過大的誤差，故先排除有明顯場址放大效應的臺北盆地與宜蘭盆地的測站紀錄，來取得精確度較佳的衰減模式。

最後選取符合條件的 59 個地震，在進行回歸分析時使用了所有速報系統即時站的紀錄。由於強震網測站設置大多都設置在人口集中的都會區，導致在某些設站密集的都會區會有相當多的地震資料，這種現象會在分析時造成權重不一的情形，因此加入了在地理上分佈較均勻的速報站的地震紀錄，來避免這種情形發生。而本研究將會先探討此地表震動衰減模式之精確度，再依據可能之誤差來源採用較合理的測站區域做為人工地震模擬。

6.1.2.2 衰減模式與場址特性

衰減原理，簡易來說就是地表震動會隨距離增加而衰減，但地震波從震源傳遞到接收測站之間的過程卻十分複雜，涉及諸多變數，即接收測站所收到的地動值受到震源、路徑以及場址效應的影響。當地震規模越大時，地表震動強度越強，而衰減模式較為緩慢；反之，規模小地震，能量消逝較快速。而場址效應參考之衰減模式，採用地表下 30 公尺剪力波速之平均值為分類之依據，並分為軟弱地盤及岩盤的衰減模式，由於衰減公式是使用所有測站的平均場址特性，只適用於一般性地盤，因此在岩盤地區其地動預測值可能會有高估的情形，反之沖積層會低估。

場址特性，一般而言，位於沖積層的測站所記錄到的振幅值會比

位於岩盤的測站所記錄到的振幅值高。(溫和葉，1986)研究 SMART-1 陣列所記錄三大地震指出：沖積層測站的主要共振頻率較岩盤為低，且振幅較大。地震紀錄，發現到位於沖積層的測站收到的水平最大加速度與速度值，跟位於岩盤的測站紀錄相比，分別大了二到三倍，此差異間接影響到衰減模式對於地震危害度評估的準確性。(張毓文，2002)使用不同顏色的實線來代表規模 4.0~7.0 的衰減曲線，依圖 6.9 所示，由不同規模的實測值分佈顯示，在岩盤測站隨規模越大，地震紀錄偏差的現象越大，也就是說，Campbell 的衰減區線在規模愈大時地表加速度會越大，但依衰減模式是平均各測站場址特性；因此預測值會有偏低的現象，同樣地，在沖積層的衰減曲線也有低估的情形出現。

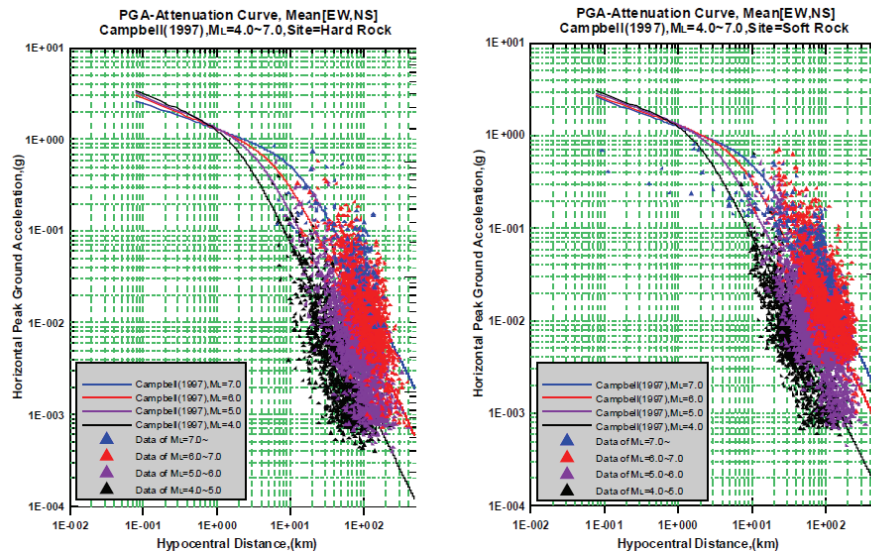


圖 6.9 臺灣規模 4.0~7.0 之地震記錄與(Campbell, 1997)衰減曲線之關係

資料來源：張毓文，2002

(張毓文，2002)在參考衰減模式方面，係採用 (Chien，2001)，於規模 5.0 以上之地震，表現在岩盤衰減較緩慢的現象，故選用其為參考且較適用於臺灣地區的衰減模式。而採用分析模式為 Chien 對 (Campbell，1981)之衰減模式迴歸分析如下式 6.13：

$$PGA(g)=f(M,R)=b_1e^{b_2M}[R+b_4\exp(b_5M)]^{b_3} \dots\dots\dots(6.13)$$

式中， $b_1 \sim b_5$ 為常係數可由回歸分析求得；PGA：震度強度值；M：芮氏規模；R：場址到斷層線最短距離。衰減律分析資料庫包括 921 主震及餘震資料。除了 921 主震採用地表斷層距離外，其餘地震均採用震源距離。

第一階段，利用上式參考之衰減模式得到各測站預測初步之 PGA 值，由於其分析時並未對測站場址特性加以分類，因此所得結果為一般性場址適用。而第二階段分析時，則將其對各測站實際觀測值的系統偏差量作校正分析。將第一階段參考之衰減模式的預估結果與實測值作迴歸分析；由迴歸分析可得到各測站的場址修正係數 C_0 及 C_1 值。其間之關係式為式 6.14：

$$\ln(Y_0) = C_0 + C_1 \times \ln(Y_a) \quad \dots\dots\dots(6.14)$$

式中， Y_a ：參考衰減模式的預測值； Y_0 ：實測地震動值； C_0 及 C_1 ：各測站之場址修正係數。

6.1.2.3 地表震動模擬與真實災害地震之驗證

1. 地表震動衰減模式

(詹皓凱，2008)根據(張毓文，2002)碩士論文之地表震動衰減模式，對於地震模擬進行測試，此測試對於地震模擬器程式所需要輸入資料條件：震央經緯度座標、震源深度(Km)、地震規模(M_L)等參數，而地震模擬器模式測試過程，需考量震源效應(Source Effect)、地震波傳遞的路徑效應(Path Effect)及局部地質特性所引起的場址效應(Site Effect)。依據地震模擬器程式分佈全臺灣的地動強度參數 PGA，評估程式是否符合該研究探討衰減模式與場址放效應，而(詹皓凱，2008)之第一階段測試結果只參考地震動衰減律與實測值的全臺灣地表加速度，比較結果如圖 6.10 所示；(a)為九二一發生時測站實值與(b)為只考慮衰減模式未加入場址效應之模擬 PGA。

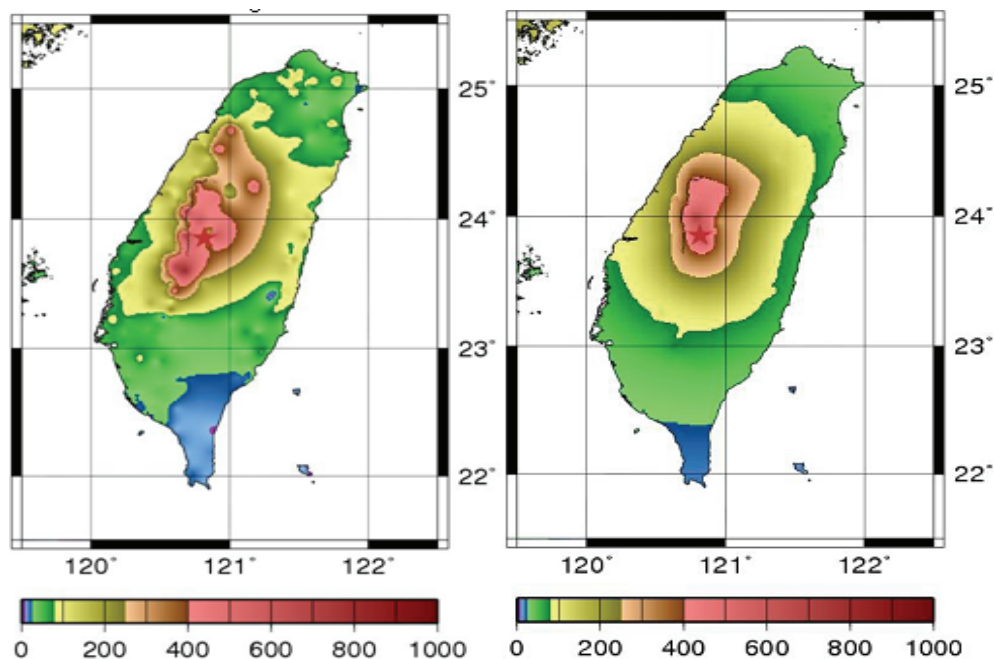


圖 6.10 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值 PGA 分佈

資料來源:詹皓凱，2008

2. 地表震動衰減模式之場址修正

(詹皓凱，2008)於第二階段測試中在衰減模式中加入場址效應考量，新增 TSMIP 與 CMA 測站的場址特性。而使用兩階段步驟對各測站之場址效應進行分析，來得到更可靠的場址修正函數。針對新增之 TSMIP 與 CMA 測站的正規化誤差殘值，故於分析場址特性時，採用即時站地震紀錄及自由場強震站之地震紀錄，在資料的選取分析上增加了芮氏規模 5.0 以上的地震資料來增強分析之準確性，依圖 6.11 所示，經由場址函數修正過後的二階段預測結果明顯的更接近實際觀測值，得到較為可靠的預測結果。由此可知，測站之場址特性對衰減模式造成的影響，可藉由測站之場址函數修正其場址效應，來降低其系統的標準偏差，提升系統之準確性來得到更加可靠之預測結果。

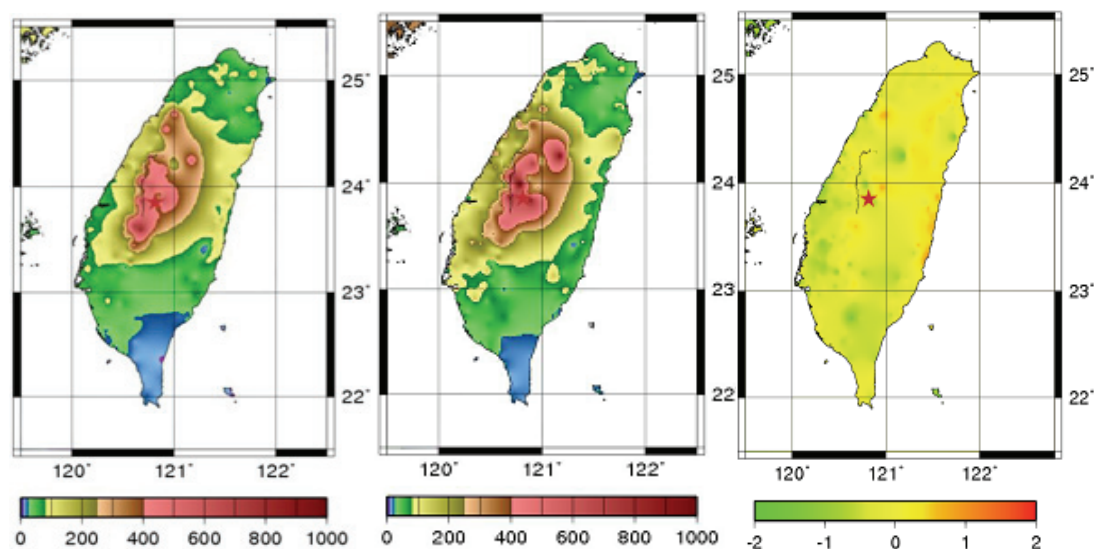


圖 6.11 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈

資料來源:詹皓凱，2008

3. 整合評估資料

(張毓文，2002)研究地表震動模式之研究與修正結果，而修正後地表震動模式之模擬較符合臺灣地盤效應之 PGA 值。本研究將歷年地震(集集地震、花蓮地震及嘉義地震)震源特性資料輸入，分析全臺之最大地表加速度 PGA 值為輸出，在依據中央氣象局地震測站之量測真實值加以比較，其測試結果依圖 6.12-圖 6.14 所示(實現為實測值與虛線為預測值)。可觀察地震模擬結果與測站量測真實 PGA 值趨勢相近，但地表震動模式之模擬 PGA；有些區域尚有局部誤差值較高或低的情形，本研究會加以評估若有不合理之震度參數將不取用，而造成此誤差來源可歸類有三點：

- (1)迴歸誤差：是採用多數歷年地震迴歸分析而非單一地震特性，所以會有所誤差。
- (2)場址資料不完整：由於中央氣象局測站多集中架設於都會區屬於沖積層，使得場址特性並無完整的參考資料。
- (3)衰減曲線之限制：由於參考的衰減曲線之場址特性，只適用於第二類場址及第三類場址，故場址效應在第一類及第四類會有所誤差。

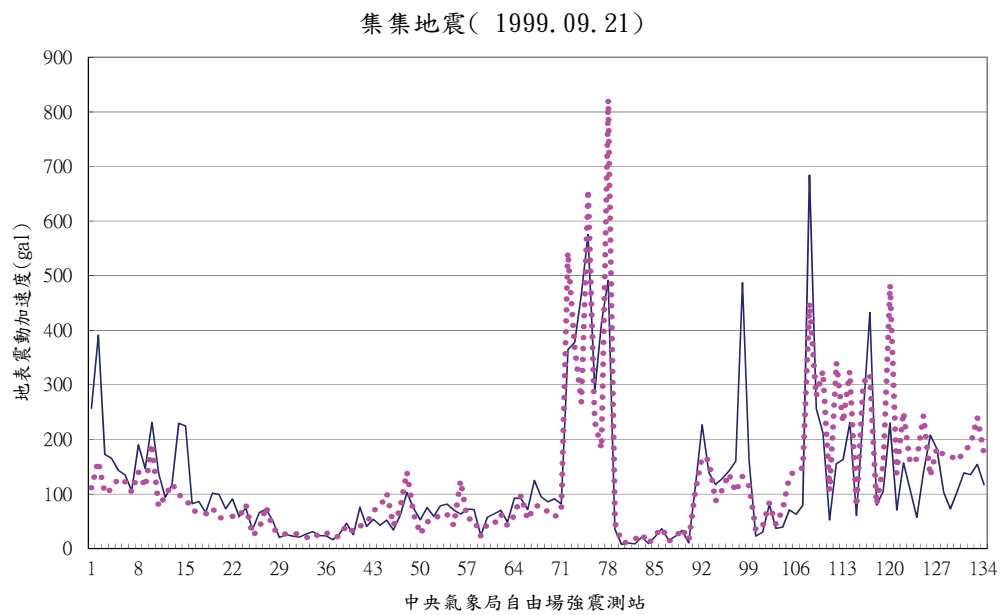


圖 6.12 臺灣歷年大地震：集集地震之實測值與預測值比較

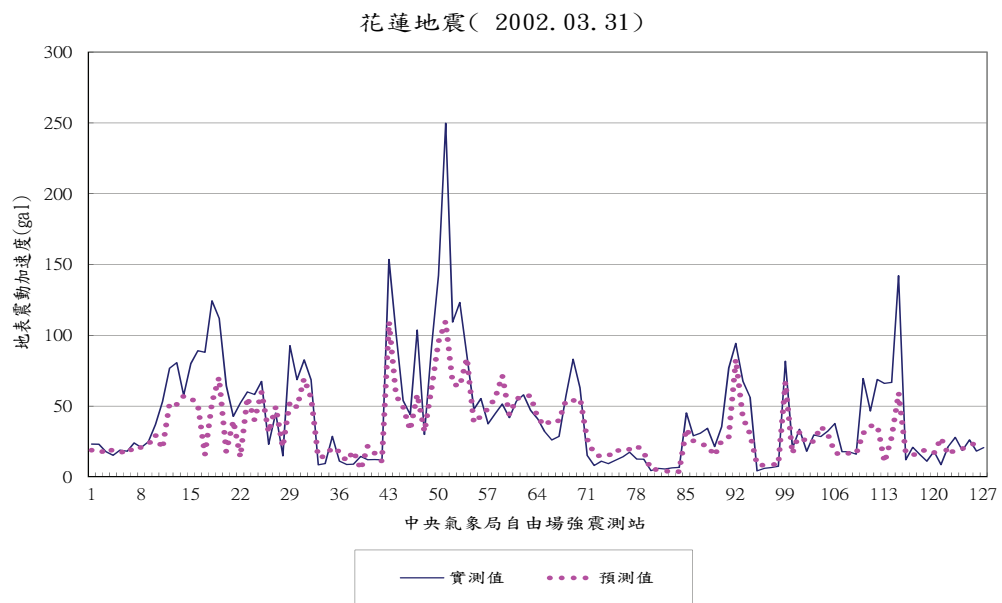


圖 6.13 臺灣歷年大地震：花蓮地震之實測值與預測值比較

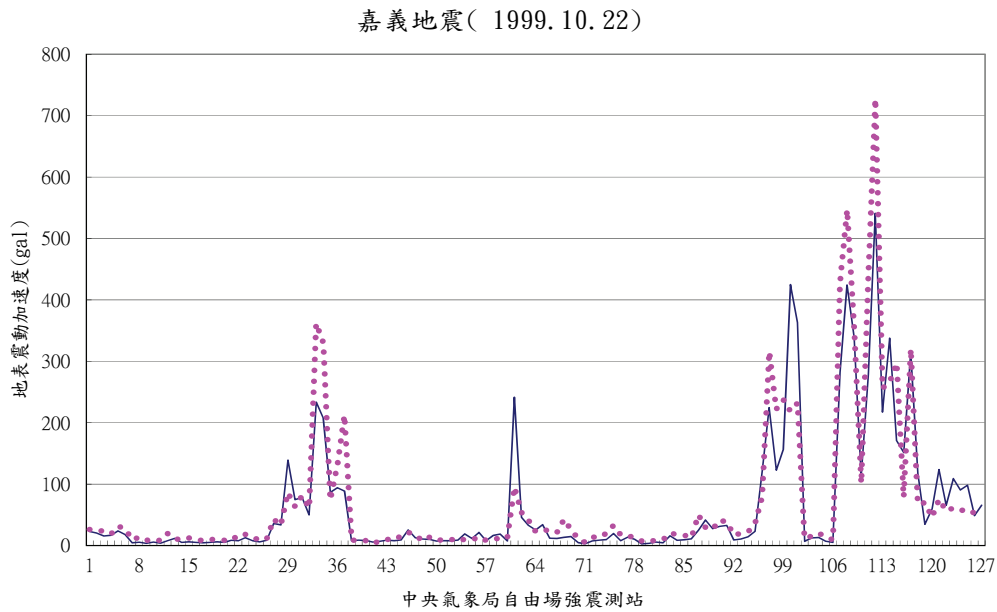


圖 6.14 臺灣歷年大地震：嘉義地震之實測值與預測值比較

6.1.3 橋梁地震損傷評估

本章將採用交通部運輸研究所之橋梁通阻跨河橋梁分析模型(簡稱：橋梁通阻，2011)，依側推分析(Pushover)所得之等值單自由度結構特性參數，並利用武田模式(Takeda model)進行橋梁之非線性動力分析。依橋梁所在位置之劣化影響及考慮 50 年與 100 年之可能遭遇地震以計算其地震損傷指標，分析流程可參考圖 6.15 所示。此外，本研究以牛鬥橋(宜蘭)和三星橋(宜蘭)為例，進行其地震損傷與風險評估。

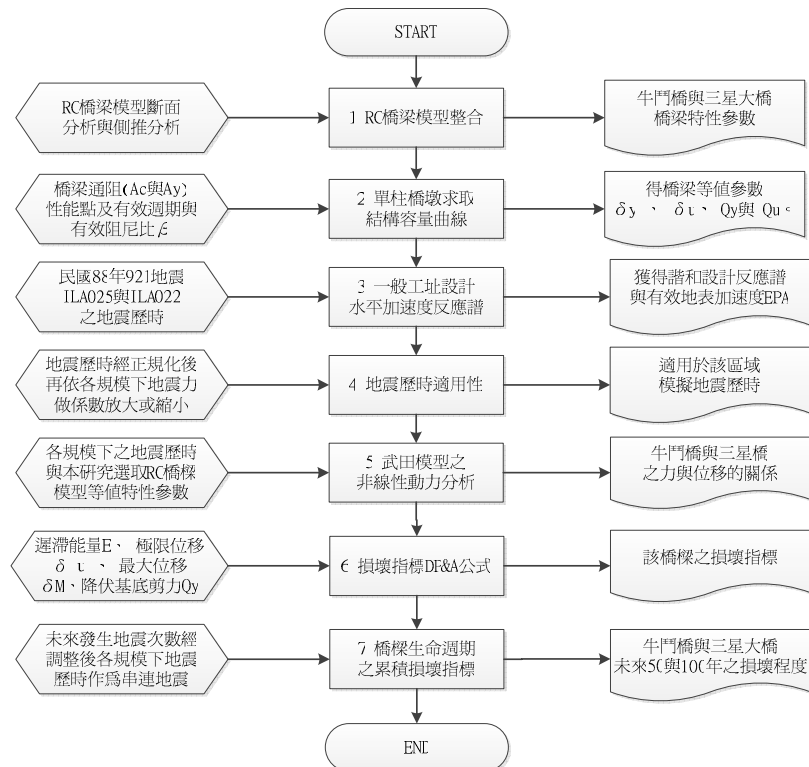


圖 6.15 橋梁地震損傷評估流程圖

6.1.3.1 性能曲線與容量震譜

當橋梁進行側推分析(Pushover)時之力與位移的關係曲線，稱為結構容量曲線；可代表該橋梁結構抵抗外力之能力，SAP2000 程式可將結構之性能曲線(Performance curve, P- Δ 關係曲線)經 ATC-40 轉換為其結構容量震譜(Capacity spectrum; S_d - S_a 關係曲線)，並依據該區域所對應之耐震規範設計反應譜，可稱為該區地震需求譜，而結構容量曲線譜與規範設計下之需求譜所交會的點，即性能點(Performance point)，在工程實務上性能點為表示該結構物之耐震能力重要指標，而性能點 A_y 為降伏地表加速度與 A_c 為崩塌地表加速。換言之，亦可依現有之 A_y 及 A_c 推求其結構容量震譜，以定義其等值單自由度下之結構特性參數。

由已知之 A_y 及 A_c 性能點推求結構之容量震譜時，須先求取該區之設計地震水平加速度反應譜；以一般工址為例，依橋梁所在位置可依耐震設計規範查詢該區域之震區短週期與一秒週期水平譜加速度係數 S_F^P 、 S_1^P ，並依地盤類別(依剪力波速度進行分類)求取其對應之反應

譜等速度段及等加速度段工址放大係數 F_v 、 F_a ，如此可推算其工址短週期與一秒週期之設計地震水平譜加速度係數 S_{DS} 、 S_{D1} 與轉角週期 T_0^D ，如式 6.15-6.17。另外，若橋梁工址臨近第一類活動斷層則須依考慮近斷層調整因子，以修正其譜加速度係數。

$$S_{DS} = F_a S_S^D \dots\dots\dots(6.15)$$

$$S_{D1} = F_v S_1^D \dots\dots\dots(6.16)$$

$$T_0^D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(6.17)$$

依橋梁等值單自由度基本振動週期 T 與其工址轉角週期，參照耐震計畫規範以決定其反應譜所屬週期區段。若基本振動週期小於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等加速度反應段，而其降伏譜加速度 S_{ay} 則為 $2.5A_y$ ；若基本振動週期大於工址轉角週期，則本研究假設該座橋梁屬等速度反應段，而其降伏譜加速度則須依式 6.19 計算。

$$S_{aD} = \begin{cases} S_{DS} (0.4 + 3T / T_0^D) & ; T \leq 0.2T_0^D \\ S_{DS} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ S_{D1} / T & ; T > T_0^D \end{cases} \dots\dots\dots(6.18)$$

$$S_{ay} = 2.5 \times A_y \times (T_0^D) / T \dots\dots\dots(6.19)$$

本研究依橋梁 A_y 與 A_c 之比值以決定其地震力折減係數 F_{uD} ，參照耐震設計規範以計算其系統韌性容量，如式 6.20 所示。

$$F_{uD} = \begin{cases} R_a & ; T \geq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (R_a - \sqrt{2R_a - 1}) \times \frac{T - 0.6T_0^D}{0.4T_0^D} & ; 0.6T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq 0.6T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (\sqrt{2R_a - 1} - 1) \times \frac{T - 0.2T_0^D}{0.2T_0^D} & ; T \leq 0.2T_0^D \end{cases} \dots\dots(6.20)$$

6.1.3.2 非線性動力分析模式

非線性動力分析主要是在於模擬結構受地震力之反覆載重時之非線性反應，本研究主要參考武田模型(Takeda model)以進行非線性動力分析乃為工程上 RC 構材在反覆載重時的受力-變形行為使用最廣泛之模型，其力量與位移關係則如圖 6.16 所示。主要輸入資訊為：(1)橋梁單自由度下之等值結構容量譜，以識別其結構特性參數包含：彈性勁度 k_y 、降伏基底剪力 $F_y(=M \cdot S_{ay})$ 、極限基底剪力 F_u (本研究假設其與 F_y 相同)、降伏位移 δ_y 、極限位移 $\delta_u(=R_a \cdot \delta_y)$ 、降伏後勁度修正係數 η (本研究假設為 0)及勁度折減參數 $\alpha(=0.4)$ ；(2)與設計加速度反應譜協合之地震歷時，並參考過去所發生之災害型地震記錄，以決定該區適用之地震加速度地震歷時。

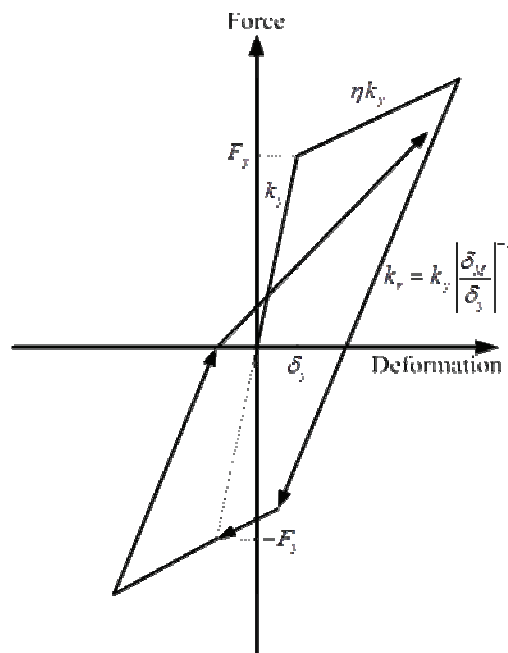


圖 6.16 武田模型(Takeda model)之力量與位移關係

6.1.3.3 RC橋梁模型

牛鬥橋橋長(L)：7@36.6= 256 m；橋柱高(h)：1080 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：180 cm；軸力(N)：347 t；箍筋間距(s)：20 cm；主筋#10根數(n)：30。

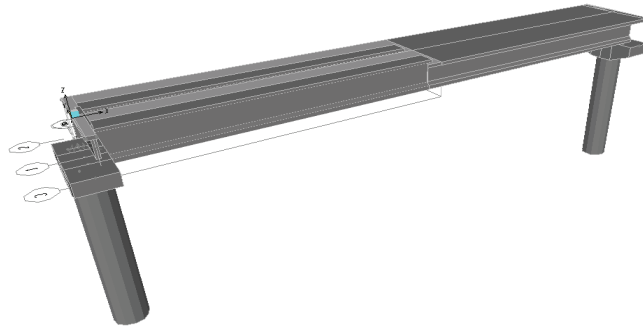


圖 6.17 橋梁通阻之 SAP2000 牛鬥橋模型

資料來源:橋梁通阻，2011

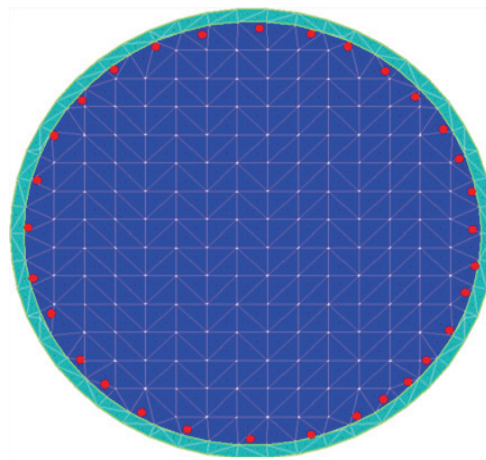


圖 6.18 牛鬥橋之 XTRACT 斷面分析

資料來源：橋梁通阻，2011

三星橋橋長(L)： $4@30=120$ m；橋柱高(h)：600 cm；橋柱斷面圓形直徑(D)：300 cm；軸力(N)：793 t；箍筋間距(s)：20 cm；主筋#9根數(n)：84。

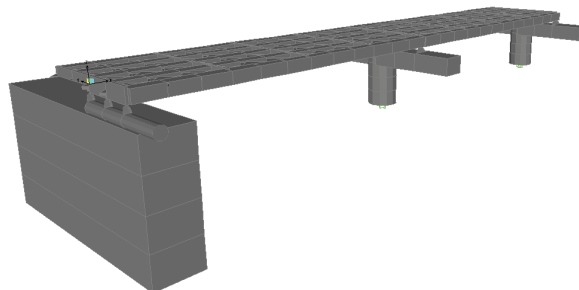


圖 6.19 SAP2000 三星橋模型

資料來源：橋梁通阻，2011

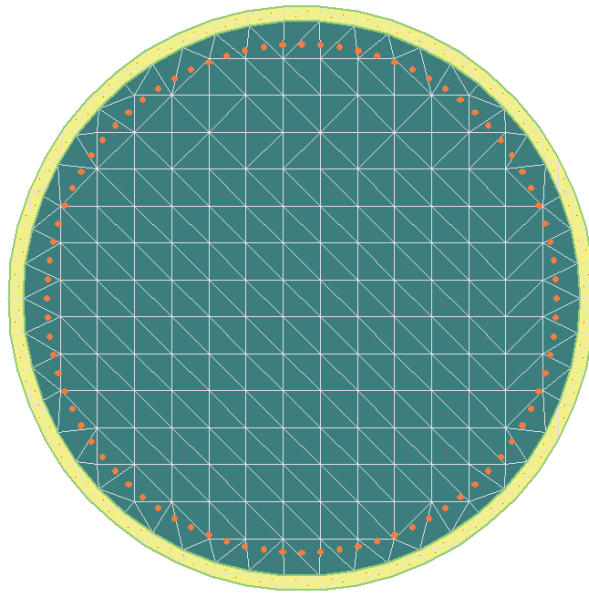


圖 6.20 三星橋之 XTRACT 斷面分析。來源 :橋梁通阻，2011

6.1.3.4 譜和加速度地震歷時

地震事件除其 PGA 外，地震加速度歷時紀錄亦會影響結構物反應，而考慮人造地震歷時適用性；以符合工址的地質狀況與預期之地震強度。因此需要採用歷年災害真實地震力與耐震設計規範做為該地區譜和地震歷時，本研究主要參考災害地震為發生於民國八十八年九月二十日的 921 地震，震央位於臺灣南投縣集集鎮，車籠埔斷層上面，規模高達芮氏 7.3，是臺灣近百年來具有代表性之大地震。工程應用上，有許多方法可以製作與設計反應譜相符之人造地震，概分為頻率域分析與時間域分析方法兩種，如 SIMQUAKE 程式即屬於頻率域分析方法，主要根據頻率域之反應譜值誤差量比例修正其對應頻率之富氏譜振幅值，逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。時間域分析方法可以由原始地震紀錄開始，在各個既定頻率(或週期)計算其反應譜值，根據其與目標反應譜之誤差，在時間域原地震紀錄發生反應極值(即反應譜值)之時間點附近加減一個微小地震紀錄改變量。對每個既定頻率均進行微小地震紀錄改變量之修正。逐次迭代修正致人造地震之反應譜與目標(耐震設計)反應譜一致，而得到人造地震加速度歷時。本研究所使用國震中心

建議之人造地震歷時模擬方法，依據本文第三章分析結果未來 50 年及 100 年之地震發生次數與各規模做為輸入檔，由第四章地表震動模擬分析各規模下之 PGA 值輸出檔，可依表 6-10-表 6-13 所示。並依表 6-12 公路橋梁耐震設計規範之阻尼比(5%)一般工址設計水平加速度反應譜與選取民國八十八年 921 地震歷時進行諧和地震歷時分析如圖 6.21 所示，經由分析可得(1)諧和設計水平反應譜(2)諧和地震歷時，本研究使用地震諧和設計水平反應譜之 EPA 值與表 6-10-表 6-13 該區域各規模下之 PGA 值進行正規化，並依正規化後之地震係數，做為各規模下之該區域諧和地震歷時放大或縮小之依據，即可獲得適用本研究之人造地震歷時。

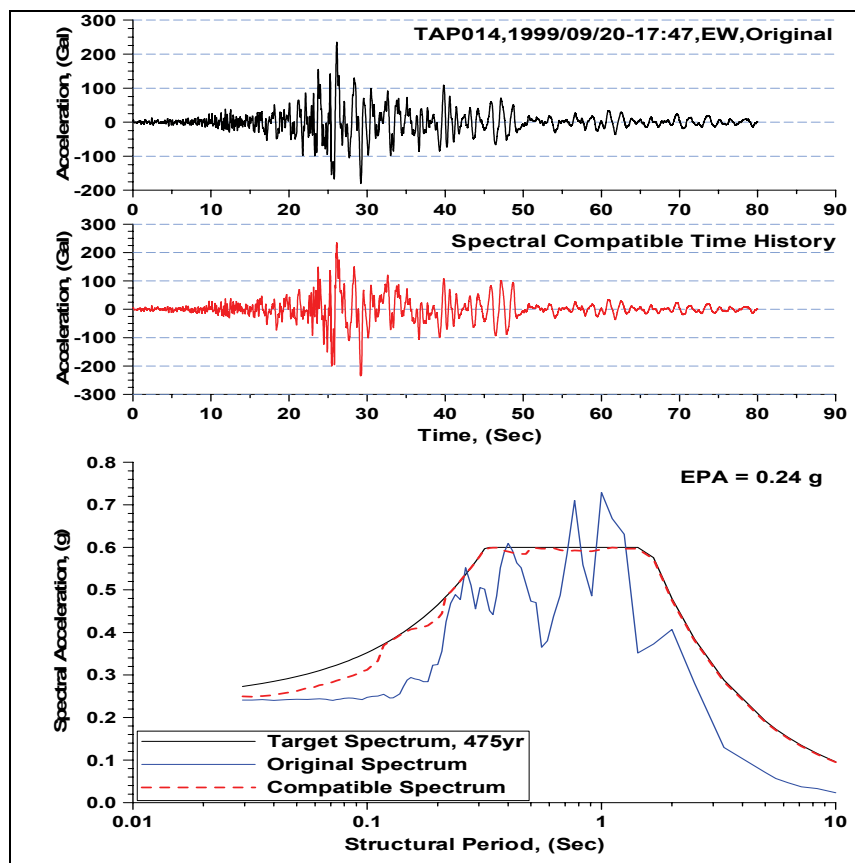


圖 6.21 原始地震歷時與修正後之加速度歷時資料
(使用國震中心提供程式分析)

表 6-10 為宜蘭(ZS01)未來 50 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模 (M _L)	ILA025 (gal)	ILA022 (gal)
7.2	102	96
6.8	64	60
6.7	57	52
6.6	51	45
6.5	45	40
6.4	40	33
6.3	35	28
6.2	32	24
6.2	32	24
6.0	25	18

表 6-11 為花蓮(ZS02)未來 50 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模 (M _L)	ILA025 (gal)	ILA022 (gal)
7.2	116	93
6.9	92	62
6.7	55	50
6.6	47	43
6.5	40	37
6.4	34	32
6.3	29	27
6.2	24	23
6.2	24	23
6.1	21	20
6.1	21	20
6.0	18	18

表 6-12 為宜蘭(ZS01)未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模(M_L)	ILA025 (gal)	ILA022 (gal)
7.4	127	121
7.1	91	85
6.9	72	67
6.8	64	60
6.7	57	52
6.6	51	45
6.5	45	40
6.4	40	33
6.4	40	33
6.3	35	28
6.3	35	28
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.2	32	24
6.1	28	21
6.1	28	21
6.1	28	21
6.0	25	18
6.0	25	18

表 6-13 為花蓮(ZS02)未來 100 年發生規模大於 6.0ML 之 PGA 值

規模 (M_L)	ILA025 (gal)	ILA022 (gal)
7.4	144	116
7.1	104	82
7.0	93	73
6.8	63	61
6.7	55	50
6.6	47	43
6.6	47	43
6.5	40	37
6.5	40	37
6.4	34	32
6.4	34	32
6.3	29	27
6.3	29	27
6.3	29	27
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.2	24	23
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.1	21	20
6.0	18	18
6.0	18	18

6.1.3.5 橋梁地震損傷評估

Park and Ang(1985)所發展出之 PA 準則主要用於結構物震後損壞程度判斷依據，目前已被廣泛使用於 RC 結構桿件或系統；其損壞程度共分為五個等級，而與地震損傷指標關係可參照表 6-14(主要參考日本

阪神大地震之統計分析結果)。PA 模型之損壞指標主要依據地震作用下結構物之最大變形反應與反覆載重下遲滯迴圈之消散能量(即每一振動迴圈遲滯阻尼所消散之能量)進行評估，如式 6.21 所示。一般而言，當其損壞指標大於等於 1.0 時，則結構物可視為完全損壞或倒塌。

$$D_{P\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE \quad \dots\dots\dots(6.21)$$

式中， $D_{P\&A}$ ：地震損壞指標； δ_M ：地震作用下結構物之最大反應變位； dE ：消散能量增量(Incremental absorbed hysteretic energy (excluding potential energy))； β ：反覆載重影響係數(一般鋼筋混凝土建築物為設為 0.05)。

表 6-14 為 RC 結構物之損傷指標。

損壞分級	損傷指標	損壞程度之描述
無損傷	<0.1	外部輕微裂縫非結構元件出現
輕微損傷	0.1-0.2	結構元件出現微小裂縫
中度損傷	0.2-0.4	隔間住上下兩端出現撓剪裂縫。非結構元件出現明損壞。
重度損傷	0.4-0.1	混凝土橋柱之核心混凝土碎裂，箍筋嚴重鬆脫，主筋挫屈。
完全崩塌	>1.0	混凝土橋柱之核心混凝土嚴重碎裂脫離，喪失承載能力，橋柱倒塌趨勢。

結構物若承受中度地震或非災害型地震且震後並未進行修補，當地震再度發生時，其損傷必有所累積且非線性累加。本研究利用地震作用後所得之最大反應變位及殘留變位，依式 6.22-6.23 修正其結構性能；其中，(i-1)為第 i 次地震發生前，而 i 為第 i 次地震發生後。

$$\delta_y^i = \delta_M^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \dots\dots\dots(6.22)$$

$$\delta_u^i = \delta_u^{i-1} - \delta_r^{i-1} \quad \dots\dots\dots(6.23)$$

本研究除修正上述所列之降伏位移與極限位移外，其結構彈性勁度也會依圖 6.22 所示進行修正。然而，本研究主要分析橋梁於未進行任何維護下之地震風險評估，因此每次地震後之損傷指標計算，除遲滯消散能量須累計外，最大反應變形則取各地震作用下之最大值進行評估，如式 6.24 所示。

$$D_{P\&A}^i = \frac{\max\{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i\}}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \sum_{i=1}^i \int dE \quad \dots\dots\dots (6.24)$$

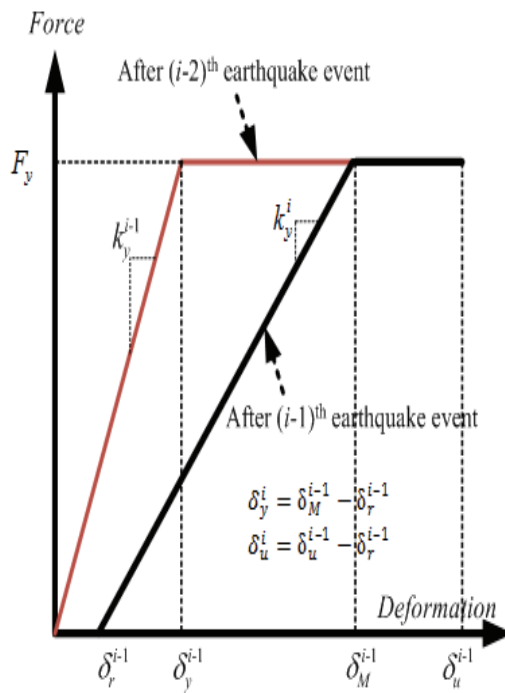


圖 6.22 震後結構性能修正示意圖

本研究對於未來發生地震損壞指標累積分析，依據第三章地震發生次數規模，而第四章求得各規模下之 PGA 值，一般而言規模要大於 ML6 才會造成災害，且研究中發現 PGA 值小於 80gal 以下時，對橋梁造成的損壞相當小不足以影響 DP&A 的判斷，因此本研究不考量 PGA 值為 80gal 以下之地震。為求未來各規模地震發生次數序列真實性，本研究依據蒙地卡羅運算模擬地震序列發生，並假設橋梁於不修復條件下之未來 50 年與 100 地震累積損傷。對於未來 50 年與 100 年之牛鬥橋與三星橋損壞分析結果；如表 6-15 表 6-25。依分析結果可知，無論

為 ZS01 或 ZS02 之區域震源，對三星橋之損害並不顯著，均落於輕度損傷範圍；但就牛鬥橋而言，以 50 年為其設定使用年限，則 ZS01 或 ZS02 之區域震源均會使其產生中度損傷，若使用年限延長為 100 年，則橋梁會進入重度損傷等級。

表 6-15 未來 50 年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損傷指標

牛鬥橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	102	0.28
損傷指標(02)	64	0.28
損傷指標(03)	57	0.28
損傷指標(04)	51	0.28
損傷指標(05)	45	0.28
損傷指標(06)	40	0.28
損傷指標(07)	35	0.28
損傷指標(08)	32	0.28
損傷指標(09)	32	0.28
損傷指標(10)	25	0.28

表 6-16 未來 50 年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損傷指標

三星橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	96	0.15
損傷指標(02)	60	0.15
損傷指標(03)	52	0.15
損傷指標(04)	45	0.15
損傷指標(05)	40	0.15
損傷指標(06)	33	0.15
損傷指標(07)	28	0.15
損傷指標(08)	24	0.15
損傷指標(09)	24	0.15
損傷指標(10)	18	0.15

表 6-17 未來 50 年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損傷指標

牛鬥橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	116	0.30
損傷指標(02)	92	0.33
損傷指標(03)	55	0.33
損傷指標(04)	47	0.33
損傷指標(05)	40	0.33
損傷指標(06)	34	0.33
損傷指標(07)	29	0.33
損傷指標(08)	24	0.33
損傷指標(09)	24	0.33
損傷指標(10)	21	0.33
損傷指標(11)	21	0.33
損傷指標(12)	18	0.33

表 6-18 未來 50 年花蓮(ZS02)對三星橋模型損傷指標

三星橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	93	0.14
損傷指標(02)	62	0.14
損傷指標(03)	50	0.14
損傷指標(04)	43	0.14
損傷指標(05)	37	0.14
損傷指標(06)	32	0.14
損傷指標(07)	27	0.14
損傷指標(08)	23	0.14
損傷指標(09)	23	0.14
損傷指標(10)	20	0.14
損傷指標(11)	20	0.14
損傷指標(12)	18	0.14

表 6-19 未來 100 年宜蘭(ZS01)對牛鬥橋模型損壞指標

牛鬥橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	127	0.30
損傷指標(02)	91	0.37
損傷指標(03)	72	0.37
損傷指標(04)	64	0.37
損傷指標(05)	57	0.37
損傷指標(06)	51	0.37
損傷指標(07)	45	0.37
損傷指標(08)	40	0.37
損傷指標(09)	40	0.37
損傷指標(10)	35	0.37
損傷指標(11)	35	0.37
損傷指標(12)	32	0.37
損傷指標(13)	32	0.37
損傷指標(14)	32	0.37
損傷指標(15)	32	0.37
損傷指標(16)	28	0.37
損傷指標(17)	28	0.37
損傷指標(18)	28	0.37
損傷指標(19)	25	0.37
損傷指標(20)	25	0.37

表 6-20 未來 100 年宜蘭(ZS01)對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS01)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	121	0.17
損傷指標(02)	85	0.18
損傷指標(03)	67	0.18
損傷指標(04)	60	0.18
損傷指標(05)	52	0.18
損傷指標(06)	45	0.18
損傷指標(07)	40	0.18
損傷指標(08)	33	0.18
損傷指標(09)	33	0.18
損傷指標(10)	28	0.18
損傷指標(11)	28	0.18
損傷指標(12)	24	0.18
損傷指標(13)	24	0.18
損傷指標(14)	24	0.18
損傷指標(15)	24	0.18
損傷指標(16)	24	0.18
損傷指標(17)	21	0.18
損傷指標(18)	21	0.18
損傷指標(19)	18	0.18
損傷指標(20)	18	0.18

表 6-21 未來 100 年花蓮(ZS02)對牛鬥橋模型損壞指標

牛鬥橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA025 (D _{P&A})
損傷指標(01)	144	0.33
損傷指標(02)	104	0.39
損傷指標(03)	93	0.43
損傷指標(04)	63	0.43
損傷指標(05)	55	0.43
損傷指標(06)	47	0.43
損傷指標(07)	47	0.43
損傷指標(08)	40	0.43
損傷指標(09)	40	0.43
損傷指標(10)	34	0.43
損傷指標(11)	34	0.43
損傷指標(12)	29	0.43
損傷指標(13)	29	0.43
損傷指標(14)	29	0.43
損傷指標(15)	24	0.43
損傷指標(16)	24	0.43
損傷指標(17)	24	0.43
損傷指標(18)	24	0.43
損傷指標(19)	21	0.43
損傷指標(20)	21	0.43
損傷指標(21)	21	0.43
損傷指標(22)	21	0.43
損傷指標(23)	18	0.43
損傷指標(24)	18	0.43

表 6-22 未來 100 年花蓮(ZS02)對三星橋模型損壞指標

三星橋 (ZS02)	PGA (gal)	ILA022 (D _{P&A})
損傷指標(01)	116	0.14
損傷指標(02)	82	0.17
損傷指標(03)	73	0.17
損傷指標(04)	61	0.17
損傷指標(05)	50	0.17
損傷指標(06)	43	0.17
損傷指標(07)	43	0.17
損傷指標(08)	37	0.17
損傷指標(09)	37	0.17
損傷指標(10)	32	0.17
損傷指標(11)	32	0.17
損傷指標(12)	27	0.17
損傷指標(13)	27	0.17
損傷指標(14)	27	0.17
損傷指標(15)	23	0.17
損傷指標(16)	23	0.17
損傷指標(17)	23	0.17
損傷指標(18)	23	0.17
損傷指標(19)	20	0.17
損傷指標(20)	20	0.17
損傷指標(21)	20	0.17
損傷指標(22)	20	0.17
損傷指標(23)	18	0.17
損傷指標(24)	18	0.17

6.1.4 橋梁地震風險與壽命評估

本研究主要針對橋梁未進行任何維護下之地震風險與壽命評估，除可依前述方法決定特定震源下之地震事件(包含設定時間內之發生次數與大小)以進行損傷評估外，然而橋梁管理單位更關心未指定特定震

源下之分析結果。因此，本研究建議地震危害度分析法以同時考慮了可能地震及其發生機率、震源可能位置及震度衰減特性，並建立工址某一地震參數(地表最大加速度、地表最大速度、地表最大位移及反應譜等)的年超越機率曲線，亦可稱為危害度曲線(Hazard curve)。

一般工程師不易取得地震危害度分析結果以獲得工址所須之地震危害度曲線，因此本研究為實用性與便利性考量，依耐震設計規範所定之最大地震考量下之工址水平譜加速度係數(再現週期為 2500 年)及設計地震之工址水平譜加速度係數(再現週期為 475 年)，並依自然指數函數近似以求得工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線。依工址水平譜加速度係數之地震危害度曲線，本研究採用蒙地卡羅運算模擬設定時間內之地震事件以計算未進行任何維護下之損傷評估，並以各損傷狀態之超越機率表示。此外，本研究依完全崩塌之發生機率定義其未進行維護下之使用壽命。

當結構物受地震損壞時，一般會以結構物損壞狀況之損害比(Damage ratio)此一量化標準來描述地震損壞狀況，如式 6.25。本研究參考 ATC-13(1985)及 HAZUS(FEMA(1997))之損害程度定義及其損害比之關係，將結構物各損壞狀況對應之損害比定義如表 6-23 表。

$$\frac{C_L}{C_I} \dots\dots\dots (6.25)$$

上式， C_L ：結構物受損所需之修復成本； C_I ：結構物之建造成本。

表 6-23 損害狀況及損害比之關係

損害分級	損害比
無損傷	0.00
輕微損傷	0.02
中度損傷	0.10
重度損傷	0.50
完全崩塌	1.00

地震風險成本 CE 為此年度結構物受地震外力作用所造成可能之年損失金額，即為考量各程度之地震發生機率及其所造成之損失總和。由上述方法求取各損傷指標之超越機率及損害分級，可得各損傷分級之發生機率。將其乘上此損害分級之損害比，即為此損傷等級可能造成之年損失金額。依此方式即可評估結構物於使用年限下，每年之地震風險成本，詳如式 6.26 所示。

$$C_E = \sum (C_E^i \times P_E^i) \dots\dots\dots (6.26)$$

上式， C_E^i ：建築物第*i*損壞等級之損害比； P_E^i ：建築物第*i*損壞等級之發生機率。

以三星橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 0.40cm) 而其初始崩塌地表加速度為 0.19g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 6.23 及圖 6.24 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則三星橋於無任何維護工作下之壽命約為 15 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.8 倍。

以牛鬥橋為例，其初始降伏地表加速度為 0.13g(降伏位移為 3.3cm) 而其初始崩塌地表加速度為 0.37g。依其所在位置宜蘭縣三星鄉屬第二類地盤，耐震設計規範所載之震區短週期及一秒週期之設計水平譜加速度係數分別為 0.8 及 0.45(迴歸期為 475 年)，而震區短週期之最大水平譜加速度係數為 0.9(迴歸期為 2500 年)。依本研究所提之分析模式進行壽命評估與地震風險計算，如圖 6.25 及圖 6.26 所示，若以完全崩塌損傷狀態之超越機率 0.5(常態分佈假設下之可靠度值為 0)為限界點決定其壽命，則牛鬥橋於無任何維護工作下之壽命約為 25 年；而 50 年之地震風險成本則為重建成本之 0.75 倍。

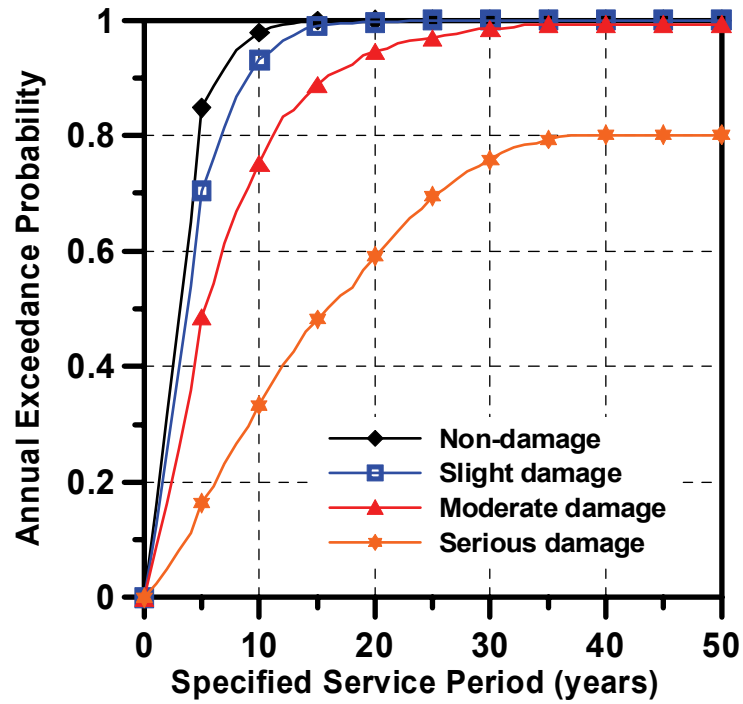


圖 6.23 三星橋未來 50 年內之損傷超越機率

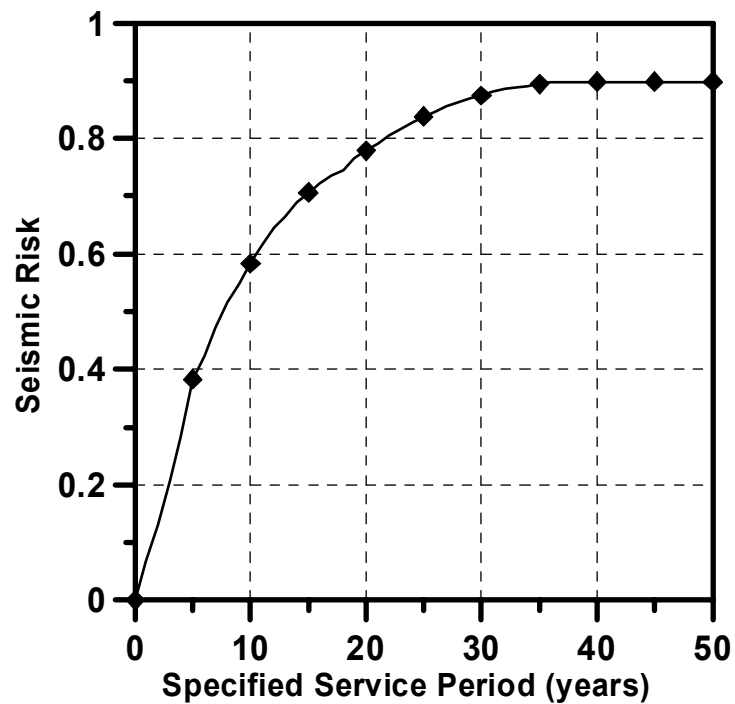


圖 6.24 三星橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

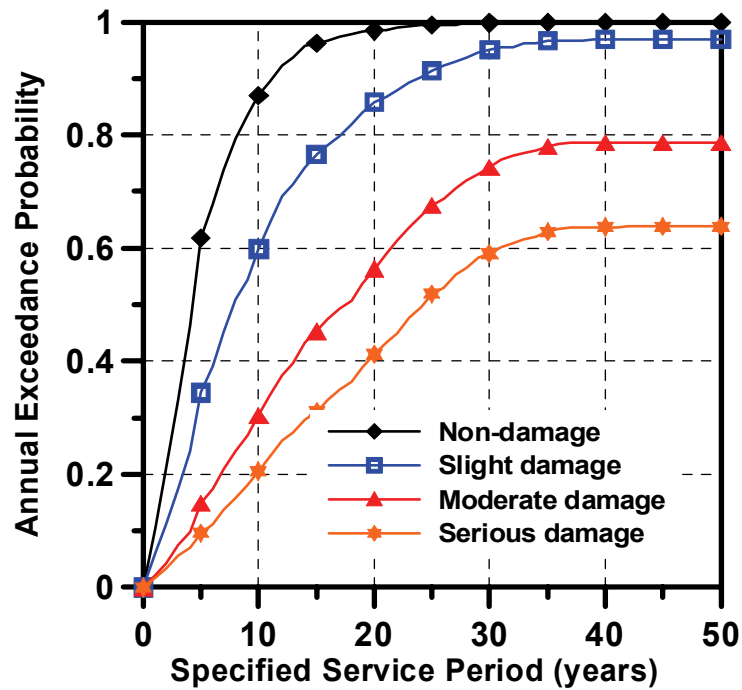


圖 6.25 牛鬥橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

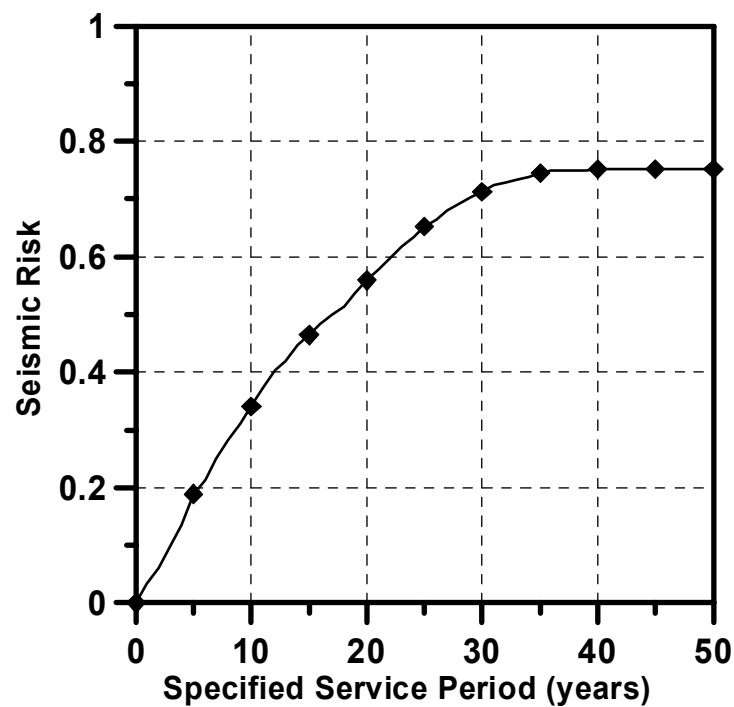


圖 6.26 牛鬥橋未來 50 年內之地震風損成本(單位為重建成本)

6.2 橋梁可靠度分析-洪水

6.2.1 橋梁分類(依所在流域)

因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，故本研究將依橋梁所屬流域分群進行研究評估。參考水利署臺灣主要河川之流域定義，分為二十四個流域，如圖 6.27 所示。

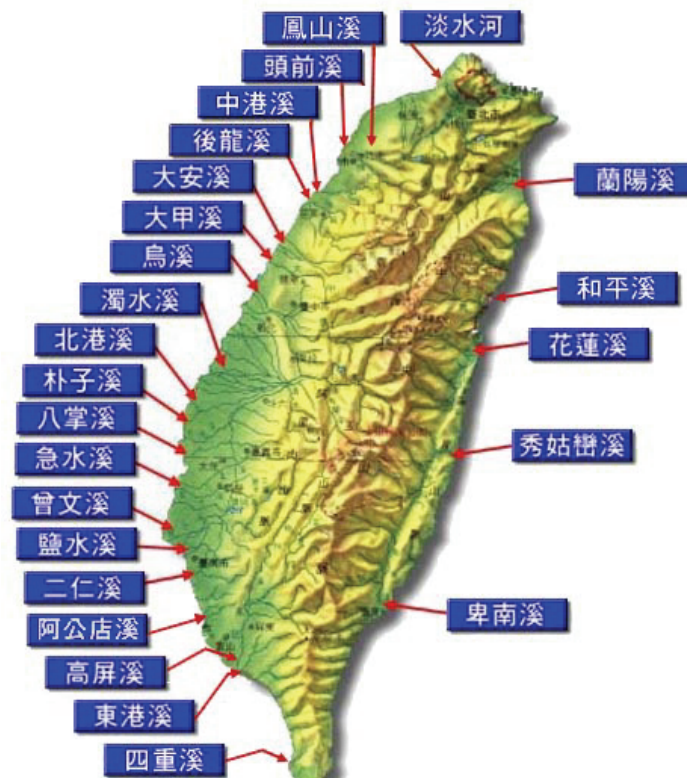


圖 6.27 臺灣主要河系分布圖(水利署)

6.2.2 統計分析

根據橋梁管理系統 TBMS 歷年 SSI 調查記錄與水利署水位站監測記錄，找出各年度 SSI 下降值與當年對應之洪水重現期，統計分析紀錄結果如表 6-24 所示。表格中的數字為此流域橋梁在遭遇該洪水重現期時，SSI 對應下降分數。以淡水河跨河橋梁為例，曾經遭遇洪水重現期為五年的洪水，所對應 SSI 的下降值為 2 分。因阿公店溪無對應之歷年觀測之水位資料，故無法計算對應 SSI 下降值。

表 6-24 臺灣主要河系洪水重現期對應 SSI 指標下降表

洪水重現期 臺灣主要河系	1 年	2 年	5 年	20 年	50 年	200 年
淡水河			2			
鳳山溪		1	7			
頭前溪		1				
中港溪		3				
後龍溪		1				
大安溪		10				
大甲溪		9				
烏溪	1	1				
濁水溪				18		30
北港溪		13				
朴子溪			0			
八掌溪			3			
急水溪			2			
曾文溪	1					
鹽水溪	1					
二仁溪		1				
高屏溪					3	
東港溪	1					
四重溪		3				
卑南溪	2					
秀姑巒溪	1					
花蓮溪	1					
和平溪			11			
蘭陽溪	1	2				

6.2.3 洪水事件產生器

本研究根據不同的洪水重現期，在橋梁未來生命週期中產生不同的洪水事件，如圖 6.28、圖 6.29 所示。分別為發生 50 年及 100 年洪水重現期時對應 SSI 值下降曲線示意圖，如發生的洪水較小下降趨勢亦較為和緩。

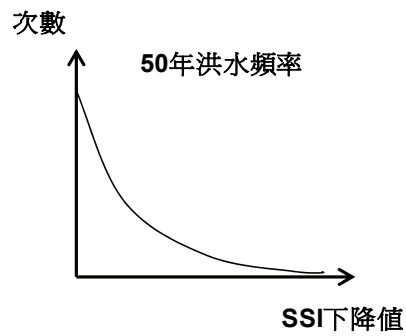


圖 6.28 發生 50 年洪水時對應 SSI 指標下降

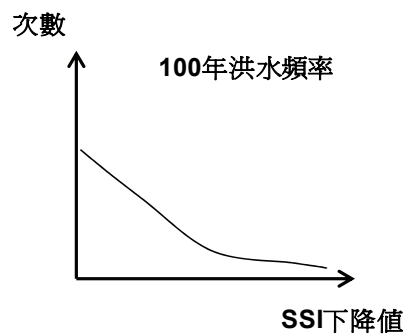


圖 6.29 發生 100 年洪水時對應 SSI 指標下降

6.2.4 失敗門檻訂定

本研究根據各河系橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時 SSI 值為建議維修門檻，如圖 6.30 所示，濁水溪流域預設之維修門檻值為 68。未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值，以符合現況。

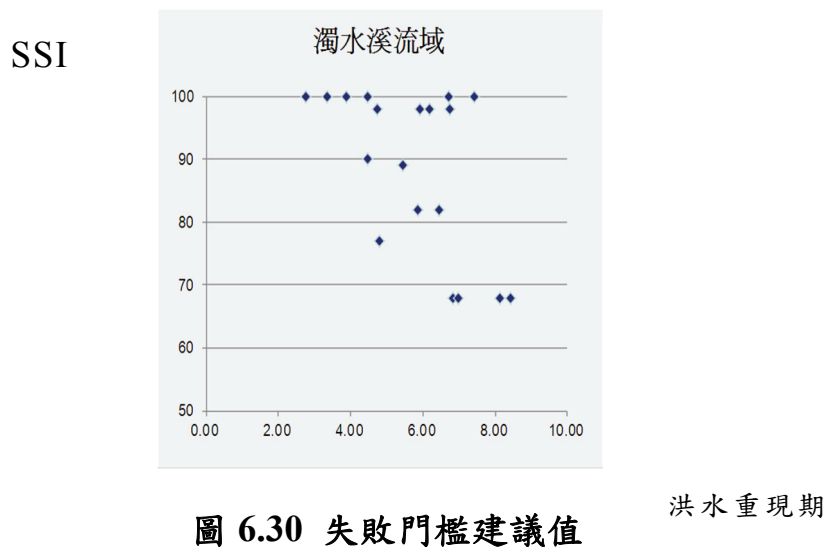


圖 6.30 失敗門檻建議值

6.2.5 蒙地卡羅模擬

此階段使用蒙地卡羅模擬橋梁未來 50 年洪水可能發生事件，流程如圖 6.31 所示，將模擬計算 10000 次，依 SSI 下降趨勢表，計算可能之 SSI 值，找出橋梁在洪水沖刷下破壞的機率。

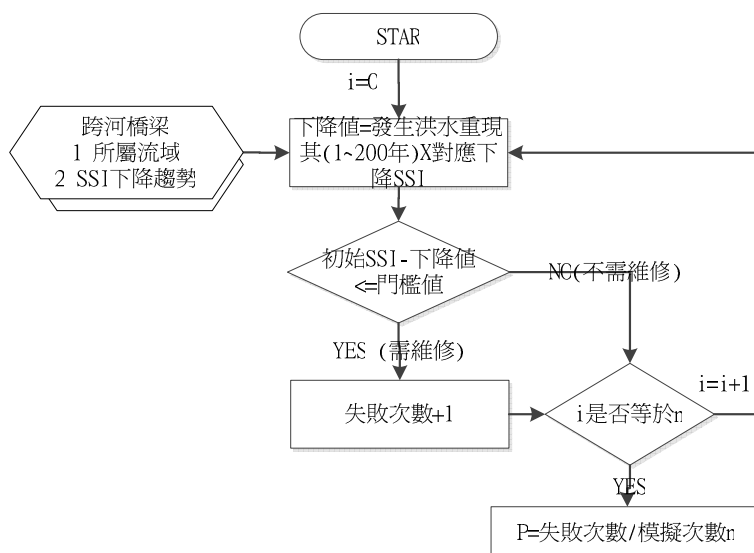


圖 6.31 洪水造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

公路總局跨越主要河川橋梁依此流程計算，成果如表 6-25 所示。

表 6-25 蒙地卡羅模擬洪水造成維修機率結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	67.02
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	33.39
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	20.72
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	12.35
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	12.03

-

-

A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0.01
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0.0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0.0

6.3 橋梁可靠度分析-構件老化

可視老化中橋梁構件之狀況，會隨著時間的變化，但每年的狀況值是否為固定或是同時可能存在很多種狀況值，呈現在同一時間區段、類似的老化環境裡，同樣的橋梁構件可能存在著不同的狀況值。構件老化狀況隱含了相當多的不確定性，此不確定性使得橋梁的同一構件的狀態值，可能同時以不同的性能狀態表現出來，各種狀況值皆有可能存在的機率，以機率的觀念表示同一時期相同橋梁構件的性能表現比僅以單一狀態值表示較為合理，因此導入可靠度的觀念配合統計分析與機率理論合理解釋橋梁構件老化的狀態。建立步驟如下：

1. 橋梁分類：將具相同老化狀況橋梁視為同類型橋梁（如：距海遠近、交通流量、結構型式等），假設相同橋齡老化狀況類似。
2. 統計分析：將同類型同橋齡橋梁 CI(樣本資料數需大於 30 筆)進行統計，將視為對數常態分佈，求出每一年度之平均值與標準差。
3. 失敗門檻訂定：透過文獻、訪談或歷史資料找尋失敗門檻。
4. 建立下降曲線：將每一年度橋齡轉換為可靠度指標後，即可透過統計迴歸建立下降曲線，如圖 6.32 所示，即可推估未來橋梁 CI 值及維修發生機率。

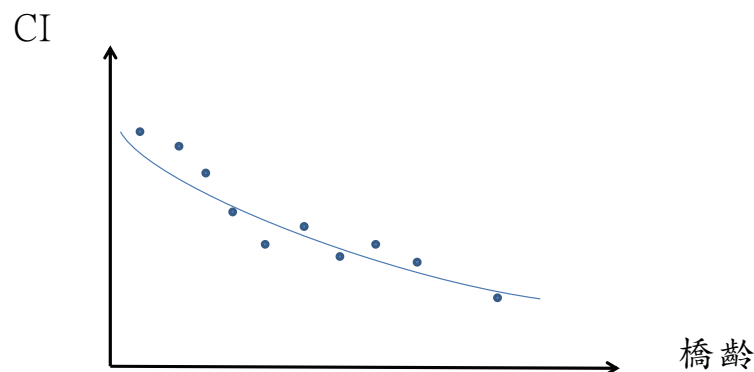


圖 6.32 橋梁 CI 下降曲線

6.3.1 橋梁分類(依橋型、交通量、與海岸距離)

本研究將影響可視老化之因素(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)作為分群之依據，收集整理臺灣橋梁管理系統中歷年調查結果如表 6-26 所示。

表 6-26 橋梁分組分布表

橋型	數量
桁架橋	63
矩形箱涵	187
斜張橋	62
梁式橋	31778
箱型橋	1201
簡支梁	130
π 橋	115
版橋	8319
拱橋	289
剛架橋	243

此報告以梁式橋為例，進行步驟說明，其橋梁資料分組數量如下表 6-27 所示。

表 6-27 梁式橋調查資料筆數

距海(m) 車流量(次/日)	<300	300~1000	1000~3000	>3000
<6000	127	75	151	798
6000~12000	5	15	3	39
>12000	0	0	0	10

6.3.2 統計分析(CI與橋齡)

根據檢測歷史資料，依不同分組橋梁(橋梁型式、交通量多寡、橋梁與海岸距離)之檢測結果，將每座橋的橋齡(X軸)與 CI(Y軸)資料匯出成圖，如圖 6.33 所示。根據迴歸分析找出橋梁橋齡與 CI 之關係式，進一步求得各橋 CI 之下降斜率。

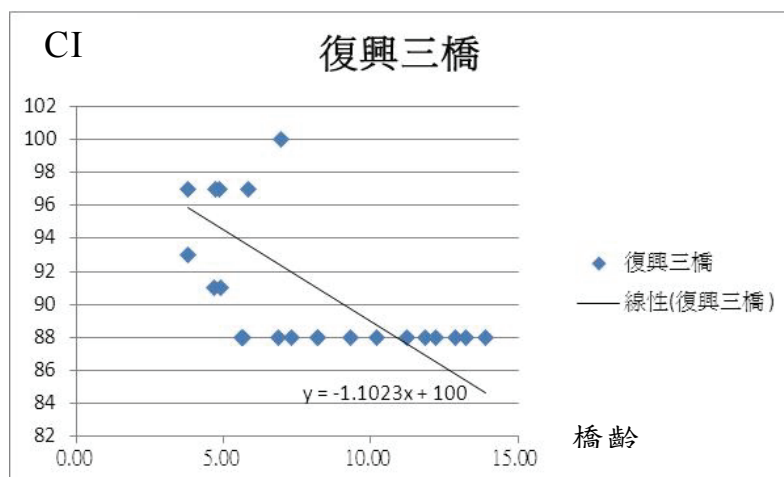


圖 6.33 以梁式橋-復興三橋為例

並以同組橋梁進行統計分析，找出該組橋梁的平均值與變異數，如下表 6-28 所示。

表 6-28 相關參數表(以梁式橋為例)

橋型	距海遠近 (m)	車流量 (次/日)	平均值	變異數
梁式橋	<300	<6000	0.230	0.047
	<300	6000~12000	0.056	0.001
	<300	>12000	0.405	0.000
	300~1000	<6000	0.229	0.094
	300~1000	6000~12000	0.060	0.001
	300~1000	>12000	0.405	0.000
	1000~3000	<6000	0.201	0.096
	1000~3000	6000~12000	0.048	0.001
	1000~3000	>12000	0.405	0.000
	>3000	<6000	0.275	0.552
	>3000	6000~12000	0.242	0.053
	>3000	>12000	0.284	0.048

6.3.3 失敗門檻訂定

本研究根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時 CI 為建議維修門檻，經過統計梁式橋梁維修前的 CI 平均值為 75 分。未來相關管理單位可根據需求調整此門檻值。

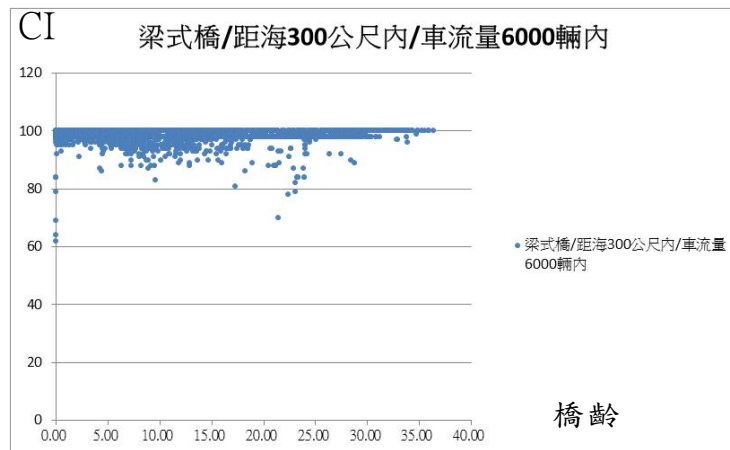


圖 6.34 以距海 300 公尺內車流量 6000 輛內(梁式橋)為例

6.3.4 轉換為可靠度指標

綜合上述統計結果做為蒙地卡羅模擬之輸入，以模擬 10000 次方式，找出橋梁於未來各時間點 CI 小於門檻值之機率，即為橋梁因可視老化所造成之維修機率。節錄計算結果如表 6-29 所示。

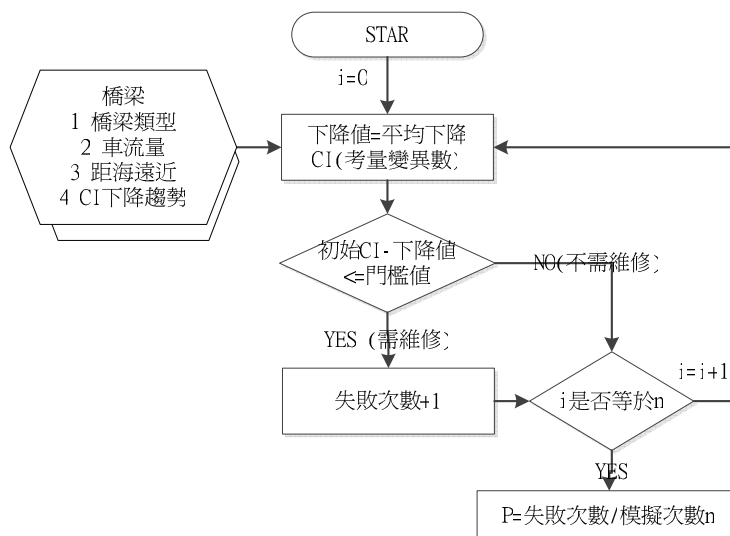


圖 6.35 可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算流程圖

表 6-29 可視老化造成維修機率蒙地卡羅計算結果(節錄)

TELES_ID	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	洪水造成維修機率
A01-0020-098A	一區	景美	臺北縣	貢寮	0
A01-005A-006A	一區	景美	臺北縣	汐止	7.97
A01-0050-017B	一區	景美	臺北縣	汐止	38.83
A01-0050-016A	一區	景美	臺北縣	汐止	14.51
A01-0020-026A	一區	景美	臺北縣	石門	0
A01-0020-017A	一區	景美	臺北縣	汐止	36.69

-

-

A01-0020-052A	一區	景美	臺北縣	萬里	0.0
A01-0020-075A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0.0
A01-0020-076A	一區	景美	臺北縣	瑞芳	0.0

6.4 橋梁綜合能力評量表

本研究綜合上述地震、洪水、老化等風險因素，分別建置不同風險評估模式，模式中需要不同橋梁相關參數與數據，如地震分析需要地盤種類、初始狀態下之降伏位移、所在鄉鎮、鄰近斷層、降伏及崩塌地表加速度值等資料，此資料分散於不同系統與單位(TBMS、TELES等)，本研究整理相關需求彙整建置橋梁綜合能力評量表，未來公路管理單位可依據風險調查項目分別進行巡檢與數據更新，即可重新計算橋梁之綜合能力。目前本研究所採用之資料分別為：TBMS(101 年 9 月更新之資料)、TELES(100 年公路橋梁早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究)、結構分析或人工智慧推論、橋梁通阻檢測計畫成果(100 年橋梁通阻檢測分析模式建立之研究)。

本研究初擬橋梁綜合能力評量表如下。

表 6-30 橋梁綜合能力評量表

類別	需填寫欄位	資料來源				
		TBMS		TELES	結構分析或人工智慧推論	橋梁通阻檢測計畫成果
		基本屬性	DERU			
基本資料	橋梁名稱	V				
	工程處	V				
	工務段	V				
	重建成本			V		
地震	地盤種類			V		
	初始狀態下之降伏位移				V	
	所在鄉鎮	V				
	是否鄰近第一類活動斷層及其名稱			V		
	降伏及崩塌地表加速度值(考慮材料劣化影響)			V		V
洪水	是否為跨河橋	V				
	所屬流域	V				
	SSI		V			
可視老化	橋梁類型	V				
	車流量	V				
	距海遠近					V
	CI		V			
綜合能力指標 $E[COST]$						

$E[COST]$ 計算公式如式6.27所示。

$$E[COST] = P_D \times C_D + P_E \times C_E + P_S \times C_S \dots\dots\dots (6.27)$$

其中

P_D 、 P_E 、 P_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在一定時間內破壞之機率。

C_D 、 C_E 、 C_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在破壞後所需維修成本。

6.5 整合展示分析成果

本研究整合上述研究成果，將橋梁風險評估結果(橋梁因老化、洪水、地震所造成維修機率)整合建置於網頁系統中，如下圖所示。



圖 6.36 系統新增功能模組

使用者可根據橋梁名稱、所屬工程處、所屬工務段及不同老化、洪水、地震造成維修機率等複合性查詢條件，進行搜尋，如下圖所示。

- 橋梁基本資料管理
- 橋梁破壞模式管理
- 橋梁補強技術管理
- 橋梁評估表單管理
- 橋梁風險評估資料
- 橋梁保護工法資料
- 橋梁法規資料
- 返回主選單

西元 112 年 10 月 22 日
星期 一
S M T W T F S
1 2 3 4 5 6
7 8 9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27
28 29 30 31
中午 12:01:28

橋梁資料管理

查看基本資料表

請勾選需要的條件

☐ 依橋梁名稱查詢

☐ 依所屬工程處查詢

☐ 依所屬工務段查詢

☐ 依老化造成維修機率查詢

☐ 依洪水造成維修機率查詢

☐ 依地震造成維修機率查詢

送出查詢

選取條件

圖 6.37 條件搜尋

其結果將以表格條列方式顯示，如下圖所示。

- 橋梁基本資料管理
- 橋梁破壞模式管理
- 橋梁補強技術管理
- 橋梁評估表單管理
- 橋梁風險評估資料
- 橋梁保護工法資料
- 橋梁法規資料
- 返回主選單

西元 112 年 10 月 23 日
星期 二
S M T W T F S
1 2 3 4 5 6
7 8 9 10 11 12 13
14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27
28 29 30 31
下午 3:55:00

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	老化造成維修機率	洪水造成維修機率	地震造成維修機率
A01-0020-001A	竹園橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	15.0
A01-0020-002A	外北橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	14.5
A01-0020-003B	廣源橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	16.5
A01-0020-004A	倉山橋	一區	景美	台北縣	淡水	18.19	0.0	13.5
A01-0020-005A	徐田橋	一區	景美	台北縣	淡水	33.9	0.0	13.0
A01-0020-002B	井里橋	一區	景美	台北縣	淡水	19.21	0.0	22.0
A01-0020-006A	水庫橋	一區	景美	台北縣	淡水	10.94	0.0	16.0
A01-0020-006B	水庫橋	一區	景美	台北縣	淡水	17.37	0.0	24.5
A01-0020-006C	金雞橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	18.5
A01-0020-006D	三塊厝橋	一區	景美	台北縣	淡水	7.93	0.0	18.5
A01-0020-007A	廣工橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	16.5
A01-0020-008A	梅里橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	19.0
A01-0020-010A	廣仁橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	16.5
A01-0020-010B	福源橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	18.5
A01-0020-011A	新橋橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	13.5
A01-0020-012A	藍季橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	0.0	16.5
A01-0020-011A	大屯橋	一區	景美	台北縣	淡水	0.0	6.54	15.5
A01-0020-014A	光榮橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	16.5
A01-0020-015A	流水灣橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	16.0
A01-0020-016A	交趾橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	18.0
A01-0020-016B	智成橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	18.0
A01-0020-018A	福泉橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0	23.0
A01-0020-021A	新莊子橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	23.5
A01-0020-021B	大隆橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	16.5
A01-0020-021C	三和橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	16.0
A01-0020-021A	白沙灣橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	13.0
A01-0020-023B	海灣橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	15.0
A01-0020-024A	狹子腳橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.0	0.0	16.5
A01-0020-021A	富貴橋	一區	景美	台北縣	三芝	0.05	0.0	15.0
A01-0020-023B	機杆橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	14.5
A01-0020-026A	老梅橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	11.5
A01-0020-026B	虎山橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	16.0
A01-0020-027A	第13號橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	15.0
A01-0020-028A	第15號橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	18.5
A01-0020-029A	第17號橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	20.5
A01-0020-030A	王公橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.5	73.5
A01-0020-031A	第19號橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	12.0
A01-0020-032A	第11號橋	一區	景美	台北縣	石門	0.0	0.0	17.5

計算結果

圖 6.38 不同機率展示成果

使用者亦可點選老化、洪水、地震造成維修機率按鈕，將依機率大小分別排列顯示，如下圖所示。

● 橋梁基本資料管理 ● 橋梁破壞模式管理 ● 橋梁補強技術管理 ● 橋梁評估表單管理 ● 橋梁風險評估資料 ● 橋梁維護工法資料 ● 橋梁法規資料 ● 返回主菜單	重新查詢									
	橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	老化造成維修機率	洪水造成維修機率	地震造成維修機率	
	A01-0620-000B	18K~66~18K~700匝道2	一區	景美	台北縣	瑞芳	100.0	0.0	46.5	
	A01-1020-011A	瑞相路橋	一區	景美	新北市	瑞芳	65.62	0.0	57.0	
	A01-1020-041	挖子路橋	一區	景美	新北市	實業	64.94	0.0	22.5	
	A01-1010-001	瑞橋橋	一區	景美	新北市	三芝	64.66	0.0	18.0	
	A01-1010-001	第二瑞橋橋	一區	景美	新北市	三芝	64.47	0.0	20.0	
	A01-1020-039	新社橋	一區	景美	新北市	實業	64.4	0.0	19.5	
	A01-1020-007	瑞軍1號橋	一區	景美	新北市	瑞芳	63.66	0.0	26.0	
	A01-0620-014AW	14K~950~15K~480西行線	一區	景美	台北縣	瑞芳	63.52	0.0	38.5	
	A01-0620-014AE	14K~950~15K~480東行線	一區	景美	台北縣	瑞芳	63.5	0.0	35.0	
	A01-1020-008	瑞軍2號橋	一區	景美	新北市	瑞芳	63.03	0.0	20.0	
	A01-1020-011B	北平橋	一區	景美	新北市	瑞芳	62.83	0.0	25.5	
	A01-1020-010	瑞龍橋	一區	景美	新北市	瑞芳	62.77	0.0	41.5	
	A01-1020-037	寶寧橋	一區	景美	新北市	實業				
	A01-0620-000AW	第一種西行線18K~046-480	一區	景美	基隆市	七堵區				
	A01-0620-000AE	第一種東行線18K~131.5-360	一區	景美	基隆市	七堵區				
	A01-1020-014	六等斜橋	一區	景美	新北市	瑞芳				
	A01-0620-011EA	18K~565~18K~440東行線	一區	景美	台北縣	瑞芳				
	A01-0620-011C	廣利橋	一區	景美	台北縣	汐止				
	A01-001B-000A	貨櫃場站道橋-4K~218m	一區	景美	台北縣	汐止	60.23	0.0	60.2	
	A01-002D-006A	上天橋	一區	景美	台北縣	瑞芳	39.52	0.0	14.5	
	A01-0050-011B	新原長化溝橋	一區	景美	台北縣	汐止	38.83	20.72	29.0	
	A01-0050-017A	瑞軍二號橋	一區	景美	台北縣	汐止	38.69	19.3	34.5	
	A01-002C-002B	丁雙橋	一區	景美	台北縣	雙溪	35.73	0.0	60.5	
	A01-002D-003A	龍林橋	一區	景美	台北縣	瑞芳	33.17	0.0	20.0	
	A01-002C-009A	平溪二號橋	一區	景美	台北縣	平溪	34.94	0.0	0.0	
	A01-001B-000B	貨櫃場站道橋-4K~370m	一區	景美	台北縣	汐止	34.66	0.0	44.0	
	A01-0020-005A	廣田橋	一區	景美	台北縣	淡水	33.9	0.0	13.0	
	A01-002C-000C	平溪四號橋	一區	景美	台北縣	平溪	33.17	0.0	1.5	
	A01-0050-011B	瑞老月橋	一區	景美	台北縣	汐止	30.49	0.0	59.5	
	A01-002C-011A	平溪七號橋	一區	景美	台北縣	平溪	30.06	0.0	4.0	
	A01-0050-013A	瑞樹湖路橋	一區	景美	台北縣	汐止	28.18	0.0	1.5	
	A01-002C-0022A	坤源橋	一區	景美	台北縣	雙溪	27.34	0.0	69.0	
	A01-005A-000A	汐止橋	一區	景美	台北縣	汐止	27.18	0.0	16.5	
	A01-0020-005A	3K~960	一區	景美	基隆市	七堵區	23.36	0.0	52.5	
	A01-0050-011B	白龍湖橋	一區	景美	台北縣	汐止	21.79	8.98	60.5	
	A01-002C-011B	平溪八號橋	一區	景美	台北縣	平溪	21.77	0.0	16.0	
	A01-002C-010D	平溪五號橋	一區	景美	台北縣	平溪	21.05	0.0	4.5	
	A01-0020-000B	永豐橋	一區	景美	台北縣	淡水	19.21	0.0	22.0	

圖 6.39 不同排序條件結果

綜合以上成果，公路管理單位可依據各轄區或是風險造成維修機率大小等條件進行搜尋，系統將彙整顯示符合條件之橋梁，有利於管理單位整體性維修策略之訂定與規劃。

本年度僅先考量老化、洪水及地震等風險所造成維修機率，尚未考量此狀況下可能維修成本，下一年度中將擴充建置風險成本等相關欄位，並搭配維修策略最佳化等方法，提供管理單位訂定維修策略時之參考。

第七章 後續研究方向建議 (第三年度、第四年度)

本階段提出後續研究方向之建議，以國內現有橋梁殘餘能力評估方法為基礎，並加入生命週期成本導向之概念建置「橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式」。此外，考量橋梁維護修復工法眾多，對於橋梁延壽之效果亦有所不同。目前相關研究對於延壽技術如何施工、何時施工、施工數量等問題較少探討，可收集目前公路總局採用的 RC 橋梁維修補強工法與國內外延壽策略等相關文獻，確立不同 RC 橋梁維修補強工法之適用性與可提升橋梁壽齡之能力。依此建置 RC 橋梁各部位維修補強工法資料，建置工法資料庫，並藉由人工智慧推論模式找出案例資料中，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值維修案例經費之映射關係。因此可根據不同橋梁之 D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

最後，將導入生命週期成本導向之概念，建置橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益。即維修方案執行後使設施保持堪用狀態或延續壽命的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之殘餘能力曲線，針對單一橋梁求得殘餘能力，再依狀況分析，決定橋梁因年限、外力影響受損之最佳維修時機與工法，進一步求得所需工期、成本，如圖 7.1 所示。

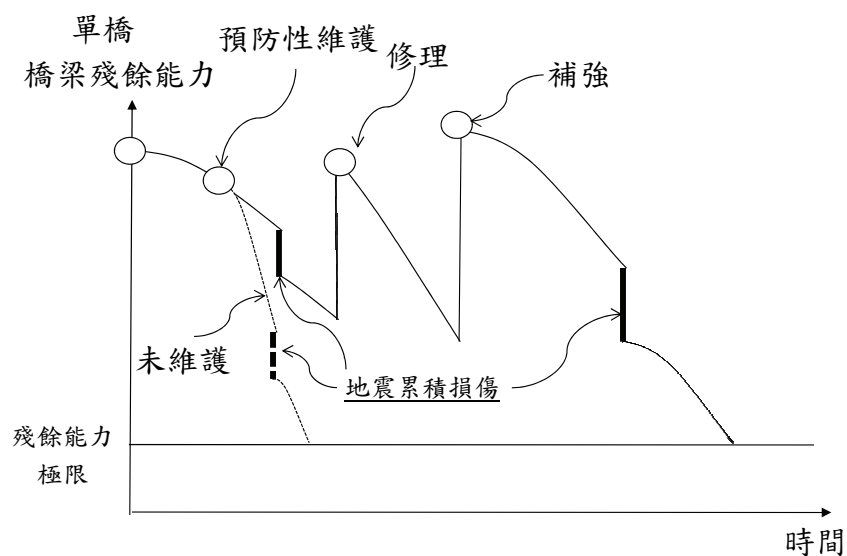


圖 7.1 橋梁維修策略

此外，在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式將同時考量各橋梁所評估之健康度現況、所需維修工法成本與工期及重要性，輔助公路管理單位針對單一及群體橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

其規劃工作項目與內容，分述如下：

●第三年度(102 年)

7.1 蒐集彙整國內外相關橋梁維護工法之資料

收集目前公路總局採用的 RC 橋梁維修補強工法與國內外延壽策略等相關文獻，確立不同 RC 橋梁維修補強工法之適用性與可提升橋梁壽齡之能力。依此建置 RC 橋梁各部位維修補強工法資料，建置工法資料庫。

本研究初步收集歷史劣化維修紀錄，分別收集非跨河(如表 7-1)及跨河橋維修案例(如表 7-2)，建置維護資料庫。

表 7-1 非跨河橋維修案例

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中壢工務段	省道	臺1甲線	16K+500M	>0.3mm混凝土裂縫修補	10	公尺	12000	2009-10-01	2009-10-31
⋮											
三仙橋	公路總局第三區養護工程處	臺東工務段	省道	臺11線	110K+226M	>0.3mm混凝土裂縫修補	2	公尺	1400	2005-01-22	2005-09-20

表 7-2 跨河橋維修案例

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
寶隆大橋	公路總局第三區養護工程處	甲仙工務段	省道	臺21線	242K+467M	10t消波塊	70	個	65,975	2011-04-10	2011-05-11
武嶺橋	公路總局第一區養護工程處	復興工務段	省道	臺3線	37K+335M	140kg/cm ² 預拌混凝土及澆置	9533	立方公尺	12,917,215	2009-03-02	2009-06-02
大甲溪橋	公路總局第二區養護工程處	臺中工務段	省道	臺1線	155K+848M	15T鼎形塊拋放及下游側施打9米鋼軌樁	424.5	公尺	120,110,131	2009-03-25	
⋮											
大安溪橋	公路總局第二區養護工程處	臺中工務段	省道	臺1線	148K+450M	15T鼎形塊拋放及下游側施打9米鋼軌樁	499.3	公尺	127,802,420	2009-03-25	2009-08-28
白雲橋	公路總局第三區養護工程處	甲仙工務段	省道	臺20線	66K+409M	3000psi混凝土	2694	立方公尺	4,600,000	2011-05-16	2011-08-16
急水溪橋	公路總局第五區養護工程處	新營工務段	省道	臺1線	291K+14M	350kgfcm ² 不收縮水泥砂漿	0.5	立方公尺	10,900	2011/5/14	2011/5/23

7.2 橋梁維護工法評估及量化

本研究擬收集橋梁維護經費資料，藉由人工智慧推論模式找出案例資料中(日常巡檢表單)，輸入值(D.E.R.&U.)之調查結果與輸出值(維修案例經費)之映射關係。因此可根據不同橋梁之 D.E.R.&U.調查結果推論可能維護經費。

目前，人工智慧推論模式多採用類神經網路、支持向量機等學習模式，但這些模式均有參數設定與初始化問題。考量尋優速度與推論準確性，因此本研究將應用快速混雜基因演算法融合支持向量機發展

一「人工智慧機械學習推論模式」，透過快速混雜基因演算法搜尋模式最適參數值，應用支持向量機分析迴歸輸入(日常巡檢表單，D.E.R.&U.)與輸出(維修案例經費)之映射關係，進而發展出一最佳化推論模式。此推論模式之優點為可藉由案例資料庫之更新與新增案例數，提升模式預測準確率。所採用模式如圖 7.2 所示。

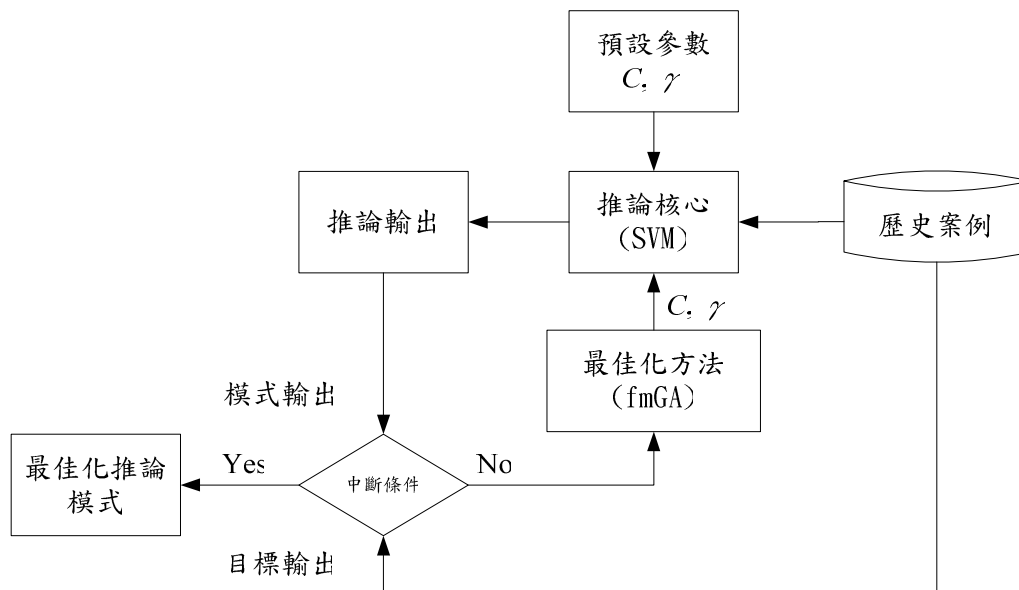


圖 7.2 人工智慧橋梁耐震能力推論模式

7.3 單橋成本維護最佳化

由於單橋五十年橋梁生命週期中，不同構件損傷與不同工法之維護方案與維修時間點組合項次難以估計，將高達數億種組合方案，如以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內達到答案。

因此，本研究規劃使用集群渾沌基因演算法(KCGA)作為最佳化模式之理論，其方法延續基因演算法(GAs)，而率先使用類聚分群方法(K-means Clustering)，與混沌演算法(Chaotic Algorithm)結合；以保持演化時的多樣性及加速收斂的效果。由於可以不受連續性的限制，而得以廣泛應用於解決離散式及一般數量化模式的目標問題。其架構如圖 7.3 所示。

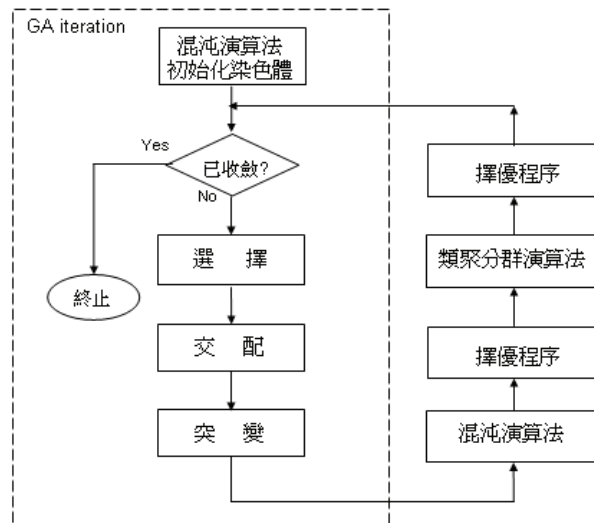


圖 7.3 KCGA 架構

另以營建管理常見之組合式最佳化問題作為系統測試，證實模式之實際應用性。其主要優點為大幅減少模式運算時間，而且能維持滿意的準確度。

7.4 單橋橋梁風險管理策略訂定

根據前一階段單橋成本維護最佳方案成果，可分別評估維修時間點與方案，如圖 7.4 中，如進行預防性維護或是維修將提升橋梁使用期限。

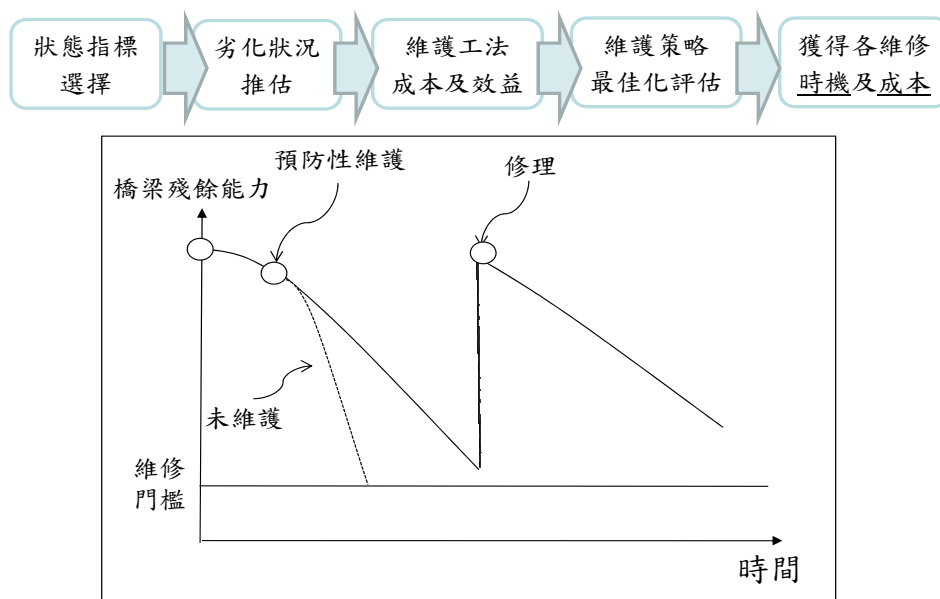


圖 7.4 單橋殘餘強度與時間之關係

如圖 7.5，因此可考量單橋各構件之維修方案與加總後之生命週期總成本，就可提出符合工務段需求且之提前維修方案。

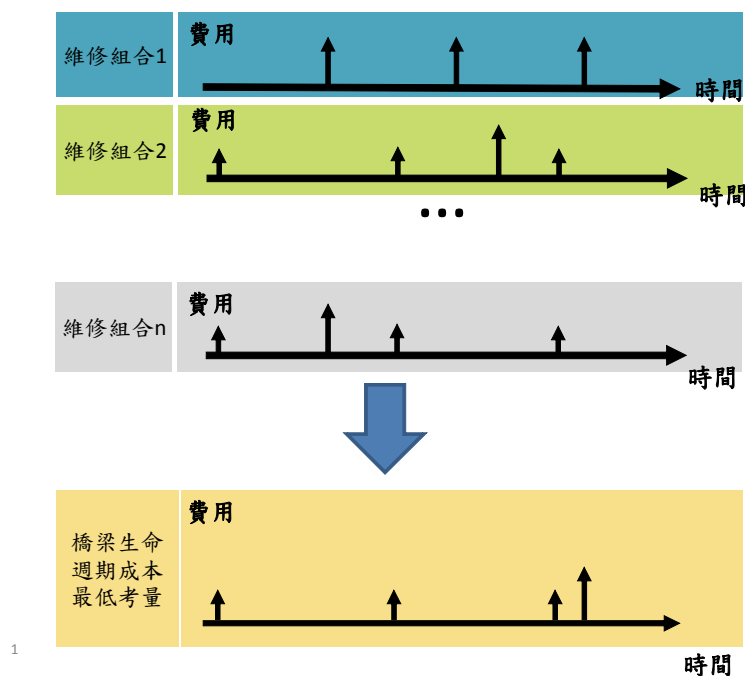


圖 7.5 單橋維修策略與方案

●第四年度(103 年)

7.5 蒐集國內公路管理單位維護管理制度

本研究將與公路管理單位進行訪談，取得其平時維護之制度與手冊，確立既有之維修管理制度，後續即可以此制度，提出群橋維護之建議。

7.6 橋梁非直接成本評估

橋梁為交通運輸之重要管道，若發生破壞，勢必將對民生經濟造成重大衝擊。根據第八階段及第九階段成果可得到各構件單元可行之修補工法組合、成本與工期，隨後利用地理資訊系統 ArcGIS 進行中斷橋梁之最短替代道路規劃，再運用運輸規劃工具分析橋梁中斷前後之

交通流量與行車速度變化，概算出車輛繞行替代道路所額外增加之非直接成本。社會成本概算模式係在求得橋梁中斷後，車輛行經替代道路每日所額外增加之社會成本。本模式目的在計算橋梁中斷後行經替代道路每日所額外增加之社會損失，初步擬定非直接成本如表 7-3 所示。

表 7-3 非直接成本概算表（元/天）

成本項目	計算公式	說明
駕駛人延時成本	$\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{S_{ai}} - \frac{L_i}{S_{ni}} \right) \times ADTi \times w$	L_i：替代道路路段 i 之長度 (Km) L：行經替代道路長度 (Km) S_{ai}：震後行經替代道路路段 i 時車行速度(Km/hr)
車輛運行成本	$\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{S_{ai}} - \frac{L_i}{S_{ni}} \right) \times ADTi \times r$	S_{ni}：震前行經替代道路路段 i 時車行速度(Km/hr) $ADTi$：替代道路路段 i 之每日平均交通流量（輛/日） ADT：替代道路全段之每日平均交通流量（輛/日）
事故發生成本	$\triangle L \times \triangle ADT \times A_n \times C_a$	W：駕駛人平均每小時時間價值（元/hr） r：車輛平均每小時燃料及折舊成本（元/hr） $\triangle L$：橋梁中斷後車輛額外行走長度（KM）
噪音污染成本	$\triangle N_c = 15.314035 \triangle dB + 1412.052631$	$\triangle ADT$：替代道路全段之每日平均交通流量差值（輛/日） C_a：每次事故成本（元/次） A_n：替代道路平均事故發生率（次/百萬輛公里） N_c：噪音降低願支付金額（元）
空氣污染成本	$\triangle APC = (244.146637 \times \triangle CW + 608.940294) \times L$	$\triangle dB$：噪音分貝值差值 $\triangle APC$：每日額外增加空氣污染成本（元） $\triangle CW$：施工封閉寬度與原道路比值（m）

資料來源(黃榮堯，2003；林慧敏，1993)

7.7 群橋成本維護最佳化

本研究於第八階段及第九階段，已找出單橋成本維護最佳化與單橋橋梁風險管理策略。

然而，在考量公路橋梁管理單位橋梁現況且維護經費有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作。因此，將有限資源做最有效運用更顯重要。如圖 7.6 所示，工務段內橋梁與其構件將有不同維修經費成本與時間，可加總得到群橋生命週期成本。

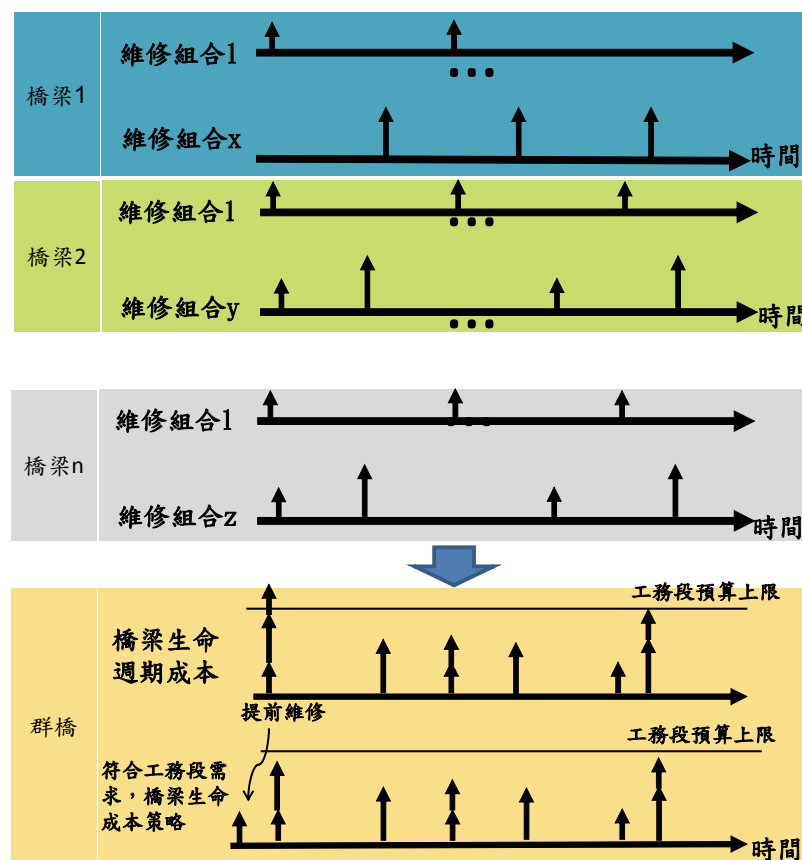


圖 7.6 群橋生命週期成本策略

如何針對群體橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作，為一重要課題。因此，本研究將延續採用集群渾沌基因演算法(KCGA)作為最佳化模式之理論，建立最佳化方程式，以管理單位之預算為限制式，找出群橋成本維護方案。

7.8 群橋橋梁風險管理策略訂定

本階段將根據前一階段所確立之群橋成本維護方案，建議橋梁管理單位群橋風險管理策略。依風險順序排列並依據預算限制找出需修護之橋梁名單。

第八章 結論與建議

臺灣橋梁面臨地震、颱洪及老劣化等問題，保全橋梁殘餘壽齡以達到工程永續迫在眉睫，要保全甚至延長橋梁壽命，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了規劃設計與施工恰當妥善以外，維修養護非常重要，這有賴於完整適當的橋梁檢測制度與系統之建立，安全檢測工作的實施，以及檢測後所做的性能評估、修繕、補強與維護管理。本研究以強化橋梁檢測與評估補強工作之結合性為目的，應用風險管理之觀念，結合檢測結果，建立橋梁性能評量表與指標。

8.1 結論

國內現行檢測作業多以可視老化為主，如 D.E.R.&U.等檢測方式，對於潛勢危害較少著墨。然而，地震、耐洪或是材料劣化(鋼筋腐蝕等)等損壞因素皆是屬於潛勢危害範圍中，故如僅採用現有檢測作業方式，難以評估橋梁現況與殘餘能力。

有鑑於此，本研究檢視可視老化與潛勢危害現行之檢測表單，並探討其檢測項目與性能橋梁指標之關係，確認各表單之重複性與相關性，確認轉換各表單間相似欄位之轉換公式與計算方法，未來可依此轉換方法更新相關欄位。

並同時考量可視老化(visible)與潛勢危害(invisible)等損壞因素，導入風險概念，並以可靠度分析方法計算橋梁風險值。所建置之風險分析模式可分別求得因可視老化、地震潛勢及沖刷潛勢之原因所造成維修風險機率。並建議合併相關檢測表單，建置本土化橋梁綜合能力評量表。所完成之風險評估程式將可引用各檢測表單項目，進行風險評估計算與資料更新。

8.2 建議

本研究根據歷史維修檢測紀錄探討各橋梁之風險潛勢時，發現既有橋梁檢測(D.E.R.&U.)之方法有以下問題需改進：

1. 目視檢測之過程中，人為因素影響結果甚大，為避免此問題，建議未來建立完整之檢測員訓練與認證機制，培養專業人才進行調查，避免檢測結果之偏差。
2. 沖刷檢測目前尚未有標準表單，且 D.E.R.&U.檢測項目中，對於沖刷之調查因子過少，無法完整描述河川之特性與沖刷潛勢，未來建議採用「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究」中所確立之表單進行相關調查。
3. 建議管理單位可經由定期的檢測工作確實掌握橋梁狀況與各項性能可能風險，並了解影響衝擊，以利橋梁管理單位依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。

8.3 研究成果與效益

根據本研究結論，研究成果與效益分別可達到：

1. 完成分析橋梁風險因子之因果關係。管理單位可檢討各風險之來源，經由橋梁檢測掌握橋梁性能與風險。
2. 繪製橋梁各部位破壞模式與檢測項目對應矩陣表。釐清現有表單是否可檢測各類破壞模式。並使橋梁檢測結果與橋梁性能評估結合，讓橋梁管理單位更能重視檢測工作，同時掌握檢測結果與風險所反映之橋梁性能。
3. 依機率模型建置事件模擬器，評估橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能風險。橋梁管理單位能有效掌握橋梁狀況與風險排序，未來結合維修成本之評估，可在有限維護經費下達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。此外，本研究

所建置方法亦可評估各致災因子下之安全可靠度，並可建議其未任何維護下之使用壽命。

4. 建置風險評估程式，管理單位可依實際狀況更新本研究所定義之風險計算參數，程式將依此進行風險評估計算，降低維護更新之人力及經費所需。本研究並將相關模組建置於 TRENDS 系統中，使用者可於網頁系統中查詢相關資料與成果。

參考文獻

1. 中國土木水利工程學會，「橋梁檢測方法與應用」，科技圖書，2010。
2. 日本構造物診斷技術協會，混凝土構造物的健全度診斷技術開發報告書，1994。
3. 王仲宇，「橋梁的健康診斷」，科學發展(第 434 期，18 -23 頁)，2009。
4. 王仲宇，連惠邦，楊明德，李維峰，「訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究」(第二次期中報告書)，2010。
5. 王仲宇主編，橋樑安全維護檢測手冊(草案)，交通部，研究報告，2002。
6. 交通部，公路養護手冊，2003。
7. 臺灣世曦，公路橋梁耐震能力評估即補強工程可行性研究，公路總局，2009。
8. 李有豐、林安彥，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書，2000。
9. 李有豐、謝尚賢，「建立橋梁檢測制度方法及準則之研究」，交通部運輸研究所，2002。
10. 林俊豪，橋梁構件破壞狀態值預測及優選排序模式之研究，中央大學碩士論文，1999。
11. 沈永年，曾明生，鄭傳璋，「橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例」，第二屆鋪面工程師生研究成果發表會論文集(P.135-P.144)，2001。

12. 周健捷、蔣偉寧、唐治平、董必正，「機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用」，內政部營建署，研究報告，2000。
13. 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，2004
14. 邱毅宗，王俊穎，宋裕祺，「考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強」，第十屆中華民國結構工程研討會論文，2010。
15. 崔國強，林志明，「橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例」，臺灣林業(14-24)，2008。
16. 張國鎮、蔡益超、張荻薇、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、洪曉慧、劉光晏、吳弘明、戚樹人、陳彥豪，「公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究」，國家地震工程研究中心，報告編號:NCREE-09-028，2009。
17. 張耀文，「高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立」，國立雲林科技大學營建工程系，碩士班論文，2004。
18. 許文政、黃榮堯，「橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究」，國立中央大學營建管理研究所，碩士論文，2005。
19. 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 34 卷，2008。
20. 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，2008。
21. 陳昱源，「應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究」，成功大學土木工程學系，碩士論文，2008。
22. 陳清泉，「公路橋梁檢測評估」，臺灣營建研究中心，1996。
23. 陳俊仲，臺灣地區橋梁管理系統維護管理決策支援模組之建立-以公路總局為例，中央大學碩士論文，2007。

24. 陳屏甫，國道預力混凝土橋與鋼橋生命週期成本評估個案之研究，中央大學碩士論文，2005。
25. 曾惠斌、鍾金龍，「我國橋樑維護管理績效評估之探討」，臺灣大學臺大工程學刊，2002。
26. 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」，國立中央大學營建管理研究所，碩士論文，2004
27. 廖家禎，「拱橋與 π 型橋目視檢測評估方法之研究」，中央大學營建管理研究所，碩士論文，2007。
28. 劉效堯、蔡鍵、劉暉，橋梁損傷診斷，人民交通出版社，2002。
29. 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，高公局，2004
30. 財團法人臺灣營建研究院，橋梁生命週期成本評估方法與結構使用年限之建立 II，交通部，2003
31. 蔣偉寧、戴忠、莫若楫、唐治平，「震後橋樑結構快速診斷手冊之建立與震後橋樑快速補強手段」，行政院公共工程委員會，1999。
32. 連夷佐，橋梁維護管理生命週期成本評估模式之研究，中央大學碩士論文，2003。
33. 羅國峯，倪勝火，黃烟宏，「應用透地雷達與超震波法於老舊橋梁橋墩基礎非破壞檢測」，臺灣公路工程(第 34 卷，第 5 期，2-16 頁)，2008。
34. 國震中心，公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，港灣中心，2011。
35. 饒珉菴、陳俊杉、謝尚賢，“應用無線技術於橋樑檢測管理之研究”，第七屆中華民國結構工程研討會，2002。

36. 中興工程，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4)，交通部運輸研究所，2011。
37. 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(2/2)」，交通部，臺北，2003。
38. 林慧敏，「社會成本問題之研究」，大同商專學報，第六期，1993。
39. 張毓文，「場址特性分析及最大加速度衰減模式校正」，碩士論文，國立中央大學，(2002)。
40. 詹皓凱，「加速度地動潛勢預估」，碩士論文，國立中央大學，(2008)。
41. 許京穎，「臺灣潛勢地震之發生機率評估」，碩士論文，國立中央大學，(2008)。
42. 鄭明淵等，「橋梁通阻檢測分析模式建立研究」，交通部運輸研究所，(2011)。
43. 溫國樑、簡文郁、張毓文，「最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬」，國家地震工程研究中心，(2005)。
44. 張國鎮、張荻薇、黃震興、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、鄧崇任、劉光晏、洪曉慧、陳長佑，「公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究」，國家地震工程研究中心，(2007)。
45. 「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」，交通部公路總局，(2009)。
46. 張毓文，「場址特性分析及最大加速度衰減模式校正」，碩士論文，國立中央大學，(2002)。
47. 詹皓凱，「加速度地動潛勢預估」，碩士論文，國立中央大學，(2008)。

48. 許京穎，「臺灣潛勢地震之發生機率評估」，碩士論文，國立中央大學，(2008)。
49. 生態與防災工程研究中心，「橋梁通阻檢測分析模式建立研究」，交通部運輸研究所，(2011)。
50. 溫國樑、簡文郁、張毓文，「最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬」，國家地震工程研究中心，(2005)。
51. 張國鎮、張荻薇、黃震興、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、鄧崇任、劉光晏、洪曉慧、陳長佑，「公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究」，國家地震工程研究中心，(2007)。
52. 「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」，交通部公路總局，(2009)。
53. Bridge Management in Europe “Review of current practice for assessment of structural condition”,1999.
54. Dan M. Frangopol(2010), Industrial Short Course on Reliability Engineering 講義，臺灣科技大學，2010, P47~100.
55. Federal Highway Administration, 12, 1995: Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.
56. J.S.Kong, D.M. Frangopol, F.ASCE, LIFE PREDICTION OF HIGHWAY BRIDGES WITH OR WITHOUT PREVENTIVE MAINTENANCE, 8TH asce Specialty Conference on Probabilistic Mechanic and Structural Reliability
57. Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects，R. J. Woodward，1999.
58. R. Kumar, P. Gardoni, M. Sanchez-Silva，Effect of cumulative seismic damage and corrosion on the life-cycle cost of reinforced

concrete bridges , Earthquake Engineering and structural dynamics
38 , P887-905 , 2009

59. H. Ping Tserng, Chin-Lung Chung(2007), Health assessment and maintenance strategy for bridge management system: lessons learned in Taiwan, Journal of Infrastructure systems,2007/9, p235-246
60. H. Ping Tserng, Samuel Yen-Liang Yin, Chin-Lung Chung(2009), Maintenance Strategy for bridge components on the basis of performance, Journal of performance of constructed,2009/7~8, p234-243
61. Huang, R. Y., Mao, I. S.(2010), Estimation of bridge life cycle maintenance costs using reliability-based model, ISARC 2010, p450-460
62. S. Das , V. K. Gupta,and V. Srimahavishnu , 「Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model」 , (2007) 。
63. Chien-Kuo Chiu , 「Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method」 , (2012) 。
64. S. Das , V. K. Gupta,and V. Srimahavishnu , 「Damage-based design with no repairs for multiple events and its sensitivity to seismicity model」 , (2007) 。
65. Chien-Kuo Chiu , 「Analysis of Lifetime Losses of Reinforced Concrete Buildings Attacked by Corrosion and Earthquakes Using a Novel Method」 , (2012) 。

附錄一

期中審查委員意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研究(2/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
一、臺北科技大學施邦築教授 1.本年度為第二年，但主要成果仍以文獻、資料蒐集、回顧為主，建議加強文獻的比較分析及深度評論，例如 DERU、TELES 等，在資料建置及分析時有何問題及限制。	1.第一年度為中興工程執行，主要著重於國內橋梁檢測執行情形與問題點之探討分析，並提出檢測有效施行之建議。本年度延伸此課題，進行橋梁風險評估與分析，因此本研究仍須針對風險評估所需表單與資料進行探討，並依可視老化及潛勢危害方向分別進行文獻收集。其中 DERU、TELES 等之表單填寫問題及限制已於第一年度中探討。	同意
2.橋梁綜合能力指標以 E〔COST〕維修成本期望值代表之，E〔COST〕是否含橋梁的重要性及交通影響？E〔COST〕的計算公式看似簡單，但內含很多複雜的問題，有無找幾個代表性橋梁試算過，、 、 …等項目的內含細項是否都有充份、正確的資料及其數值可供計算？相關的表格內的項目，如何轉算為失敗的或然率？不同失敗的類型有很多不同的維修工法，是否可得正確的維修成本？	2. E〔COST〕為本研究提出之風險成本值計算概念，目前此年度將僅計算其機率值，後續年度才將考量其成本值，此成本值亦將考慮橋梁之重要性及其交通影響(平均車流量)等。感謝委員建議，本研究後續完成時，亦會以示範案例計算。本次報告書中已列出計算維修機率時所需參數，並建議未來於維修工法推估時可能計算方法。	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
3.期中報告的內容豐富，但撰寫上仍有錯落字，或前後無法一致的地方，如老、劣化之不同等，建議在期末報告時改善。	3.感謝委員之建議，將於期末報告書中訂正相關用詞與文字。	同意
二、逢甲大學徐耀賜教授 1.橋梁中可能有數單元，可能有 RC、PC、STEEL 皆有，宜先界定。 2.「殘餘壽齡」之定義宜清楚定義，以設計年限為準。 3.簡報 P.33 破壞模式足夠？例如上下部結構之剪切破壞。 4.表面損傷且可修復者應與結構損傷分開討論。 5.簡報 P.73 人工智慧推論背景之維修工法資料庫如何取得。維修工法對大構件而言可能不具普遍性。 6.高屏溪橋在洪水過後的第三天崩落，何以致之？實乃因不可目視之深基樁。如以此計畫而言，何能預估？	1.研究礙於研究範圍限制，僅限於探討 RC 橋梁。 2.本研究殘餘壽齡即以橋梁普遍設計年限 50 年為計算標準。 3.經案例探討，洪水所造成破壞模式難以發現上下部結構之剪切破壞，故未納入。 4.有鑒於此，本研究考量可視老化(針對表面損傷)與潛勢破壞(結構損傷)分別探討，符合委員建議。 5.橋梁管理系統(TBMS)中已儲存歷年之維修工法紀錄，其中詳細記錄工法、部位及數量。 6.本研究所探討之問題為橋梁未來生命週期可能遭遇之風險評估，故以風險發生頻率為輸入事件，因此將以高屏溪各洪水發生頻率為模擬事件，評估未來可能須維修機率，以風險角度而言僅能評估各橋風險之排序，無法確切告知是否可能發生危險。	同意 同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
7.最新之橋梁狀況乃以頻譜分析為準，或可參考之（僅針對重要性高之橋梁）。 8.沖刷之預測不可行，故交通部以「流域管理」之觀念為之。 9.DERU 只是初步結果，據此，數個專家至現場勘查而後決定維修、補強、改建、重建。彰化縣即是如此。	7.本研究以大範圍橋梁為評估對象，以風險角度進行評估，故難以針對單一橋梁進行詳細評估與計算，委員之建議可供主辦單位未來研擬重要橋梁評估之參考。 8.本研究如委員所建議以流域為群組，分別以各流域之洪水頻率為輸入參數，計算洪水造成維修機率。 9.本研究同時考量可視老化(DERU)與潛勢破壞(耐震、耐洪結構損傷)分別探討，並不僅是考量DERU外在損傷因素。	同意 同意 同意
三、交通部公路總局養路組何鴻文副組長 1.報告內所用名詞及其內容應予統一，如： (1)Visible 有稱「可視劣化」亦有稱「可視老化」。 (2)材料劣化有時歸於 Visible，有時又歸類於 invisible。 (3)橋梁構件與橋梁元件混用，建議統一採橋梁構件。 2.本案預定工作項目列有橋梁「風險管理」、「破壞模式」、「性能指標」之文獻回顧，惟報告內對橋梁風險管理及國外橋梁性能指標部份均未見敘述。	1.感謝委員建議，報告書已修正，Visible 為「可視老化」，invisible 中耐震所考量的是材料劣化因素，如鋼筋鏽蝕所造成耐震能力降低。參考委員意見統一構件名稱。 2.橋梁性能指標請參閱 2.8 橋梁性能指標章節，內容已針對國內橋梁性能評估方法與表單進行探討，並新增橋梁風險管理相關內容；國外橋梁相關文獻請參閱 2.9 節。	同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
3.92 年版交通部頒公路養護手冊已廢止，目前係依部頒養護規範由各局自訂養護手冊，相關敘述內容請修正。 4.公路防救災決策支援系統並非檢測資訊系統，類似表 2-29 內容請修正。 5.2.5 節有關橋梁沖刷破壞模式及一般沖刷、束縮沖刷、局部沖刷等敘述請整體 review 修正。 6.本案擬發展之決策模式如期望有利用價值，需資料庫正確性、劣化因子與破壞模式對應之正確性，維修工法-費用選擇之正確性等相關因素配合，故第四、五章內容應慎重檢討，必要時建議請教實際執行橋梁維護管理單位人員意見。 7.D.E.R.U 第 21 項之「其他」非指特殊構件，P4-1 內容請修正。	3.遵照委員建議，分別依公路總局、高速公路局、鐵路局等單位規定，參閱相關文獻。 (1)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。 (2)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。 (3)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。 4.感謝委員建議，已修正相關文字。 5.感謝委員建議，已修正相關內容。 6.本研究所採用之資料參考「橋梁管理系統」及交通部運輸研究所「公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究」之橋梁相關資料，具有較新及正確之資料。 7.謝謝委員校正，期末報告已修正相關文字說明。	同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
四、中興大學林炳森教授 1.決策模式採用 D.E.R.U.，應針對橋梁特性，考慮不同河川，讓現場工程人員容易填寫，(如元件劣化、老化…等)，方能發揮決策模式效果。 2.P.1-2 第一段 D.E.R.U.應打字清楚。 3.P.2-5 表 2-2，縱座標為何？ 4.P.2-6 狀況指標中第七行 應為，第八行 應為。 5.P.2-9 圖 2-1 橋梁構件單元分類圖中，支承下又有支承及防落裝置，應作區分。 6.P.4-1 表 4-1 目視檢查表項目與 P.2-6 表 2-3 不一致。 7.P.5-23 表 5-21 中 在轉換式說明欄應為空白，不必列 G208 基礎裸露深度。 8.P.7-1 可視劣化或老化及潛勢危害應再加強說明，如表 4-2 地震元件老化之破壞模式應再檢討，如、。 9.P.7-26 表 7-11 建議不要預測各斷層未來發生時間。 10.P.8-7 表 8-1 文獻【10】應按本報告編號。 11. P.9-1 結論與建議應重寫。	1.本研究如委員所建議洪水沖刷評估時以流域為群組，分別以各流域之洪水頻率為輸入參數。 2.感謝委員建議，已修正相關內容。 3.其縱座標為 DERU 值，已補充相關說明。 4.感謝委員建議，已修正相關內容。 5.感謝委員建議，已修正相關內容。 6.感謝委員建議，已修正相關內容。 7.感謝委員建議，已修正相關內容。 8.感謝委員建議，期末報告已增加可視老化及潛勢危害計算方法，並修正相關內容。 9.遵照委員意見，有關未來發生時間部份會予以刪除！。 10.感謝委員建議，已修正相關內容。 11.感謝委員建議，已修正相關內容。	同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意
五、清雲科技大學許書王教授 1. 2-91 頁第 12 行「完善」？與文中表達意思似有不符，請研究團	1.感謝委員建議，已修正相關內容。	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
隊再審酌。 2.同上最後一行寫到一半，後面都沒有了，為維報告品質請研究團隊全面審視修正。 3. 3-1 頁有多處錯字請審酌修正。 4.本年度所列研究內容，建議考量成果之正確及實務性，規畫進行成果驗證，更利未來後續研究。 5.P4-2 圖 4-1 聚海遠近？ 6.P4-2 圖 4-1 所提中性化及氯離子的問題，卻未提到另一項重要的鹼質與粒料反應的問題，建議團隊考量。 7.P4-4 及 4-5 頁相關破壞模式應量化並以圖示及文字詳細說明，以避免各自解讀並利未來應用（例如：裂縫、破損、混凝土裂縫、混凝土碎裂、混凝土剝落、混凝土鱗狀剝落…）。 8.P5-1---5-4 頁橋樑構件老化損壞型式表，內容有討論空間情團隊再酌，因為此部分影響後續研究甚鉅。 9.老化與劣化之定義。	2.此部分參閱第一年度成果報告，部分字句有所缺失，感謝委員建議，期末報告書將加強相關文字校正工作。 3.感謝委員建議，已修正相關內容。 4.因本年僅先計算各風險所造成橋梁維修機率，後續年度將針對成本及整體風險進行探討，屆時可對研究成果正確及實務性進行探討。 5.感謝委員建議，已修正相關內容。 6.目前鹼骨材部份之預測或評估模式尚未完整不易進行定量模擬，因此本研究僅以塩害／中性化為主。 7.感謝委員建議，期末報告中增加相關圖例及說明，有助於讀者閱讀。 8.感謝委員建議，期末報告中已參閱本次各委員之建議，修正各損壞模式之對應表單。 9.本研究中之元件老化為目視可視破壞之現象如混凝土剝落等。材料劣化則是耐震計算時考量中性化及	同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
10.各元件可能的破壞模式應再審酌。	鹽害對結構內鋼筋與強度之影響。 10.感謝委員建議，期末報告中已參閱本次各委員之建議，修正各損壞模式之對應表單。	同意
六、本所港研中心第一科謝明志科長 1.報告內有些符號、表格錯誤，如 P.2-7 第 5 行 應改為 a，第 7 行 應改為 ，第 8 行 應改為 。 2.P.2-48 第 3 行表 1 應改為表 2-10，倒數第 3 行表 2-10 應改為表 2-11。 3.第二章沖刷指標 SSI 的討論 (P.2-50 及 P.2-51) 依據 91 年的「公路養護手冊」而得，其中構件的取法與 PI 相同，此取法描述在本節最後，但舉例放在此描述之前，建議此例子宜放在本節最後，同時刪除公式 2.6，因此式為 CI 之計算法，另外 P.6-6 及 P.6-7 也重列 SSI 求法，建議一併修改。 4.另本所 100 年出版「沖刷檢測作業規範(草案)」已對 SSI 之計算提出修正，如 之計算法，是與 CI 相同，而 SSI 公式內之權重值，已都有改變，建議增列此部份。 5.P.2-68 評估表少了第 16 項，請修正。	1.感謝委員建議，修正其字句。 2.感謝委員建議，已於期末報告訂正相關內容。 3.感謝委員建議，已於期末報告訂正相關內容。 4.本研究所納入之沖刷檢測表單即參考交通部運研所訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究成果，並已於期末報告增加相關內容。 5.感謝委員建議，已於期末報告補充相關內容。	同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
七、本所運工組巫柏蕙研究員 1.計畫摘要、1.1 節 (P1-2)、第 9 章 (P9-1) 等處一再提及現有的檢測方式『過度樂觀且高估橋梁現況與殘餘能力』,惟現行目視檢測旨在紀錄描述橋梁外部可視劣化,估算殘餘能力也不是目視檢測工作要做及能做的,所謂『過度樂觀且高估橋梁現況與殘餘能力』一方面把評估殘餘能力當成現行目視檢測的直接功能,會不會『過度樂觀且高估』也與檢測人員素質有關,變成檢測方式的缺點並不適合。 2.報告有多處『追蹤修訂』的痕跡,請注意。 3.P2-1 第 2 段提及『相關單位有各自發展的橋梁檢測評估手冊...對評估及補強尚無一致之參考使用規範...訂定一套橋梁檢測、評估、維修及補強規範有其迫切必要性。』事實上交通部有頒佈一些檢測維修規範(表 2-29 都有列出),交通部的規範基本上就是各管理機關的最高指導原則,報告中說沒有一致規範並不正確。 4.本所 100 年度有出版「橋梁目視檢測評估手冊(草案)之研究」報告,因為交通部未來原則上不再頒佈手冊,故該報告所擬手冊並未頒行,惟未來各管理機關應該都會以該報告所擬手冊為基礎訂立各自的檢測規章。	1.感謝委員建議,修正相關文字,「故如僅採用現有檢測作業方式,難以評估橋梁現況與殘餘能力」。 2.感謝委員建議,將於期末報告訂正相關項目。 3.感謝委員建議,已於期末報告刪除不適宜內容。 4.本研究參考交通部運研所研究案報告成果「跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究」,未來各管理機關可參閱擬定各自規章。	同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
5.P2-2 的公路養護手冊目前交通部已授權各局自訂，建議再瞭解各局的自訂手冊。	5.遵照委員建議，分別依公路總局、高速公路局、鐵路局等單位規定，參閱相關文獻。 (1)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。 (2)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。 (3)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。	同意
6.P2-4 DERU 的 R 值應為『劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度』。	6.感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。	同意
7.P2-10 第 3 段，橋梁結構損壞型式的分類方式中，(2) 造成因素 及 (5) 災害原因，似乎一樣。	7. 感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。	同意
8.2.9.1 節提到的是美國的檢測類型、P2-57 提到的是英國的『檢測優先順序』評估方法、P2-58 是日本的『裂隙』評分方法，2.9.4 節中國的部分則是較符合本計畫的檢測評估方法描述，各小節方向不同，很難比較，應再補充。	8.感謝委員建議，修改美國與日本檢測表單，移除英國之介紹。	同意
9.P2-61，Ri 分為四類五種，四類是表 2-18 的 4 類嗎？五種又是哪五種？表 2-18 中『判定等級』同為二類的有 3 行？	9.感謝委員校正，已修正相關文字。	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
10.P2-61 最後一行提到的表 2-19 漏掉未放。	10.感謝委員校正，已於期末報告補充相關圖表。	同意
11.P2-62 的各表來自於哪些研究案建議要標示，文字中寫『現行使用』，不知道是哪個單位使用，似乎不是正式制度中的表單。	11.本研究參考相關文獻找出各公路單位曾委託研究計畫案中，對於不同風險災害所擬定之表單。故非全現行使用，參考委員建議刪除相關文字。	同意
12.橫式表格的排列方式要一致。(如 P2-76)	12.感謝委員建議，於期末報告印製時將修正此問題。	同意
13.P2-78 公路總局應已自訂養護手冊，建議再蒐集比對。	13.感謝委員建議，於期末報告修正此內容。	同意
14.2.10.3 節第 2 段提及『目前…正在進行中的訂定跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範之研究…』，按同節第 1 段應在 2010 年已完成，而非正在進行中。	14.感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。	同意
15.2.10.4 節中有部分指標（如：OPI、CSI、SR）似僅出現在鋼結構橋梁檢測規範，公路鋼筋混凝土橋並未使用，本期計畫既以鋼筋混凝土橋為標的，如果一定要提到鋼結構的指標，建議要敘述清楚。	15.感謝委員建議，於期末報告修正相關內容。	同意
16.第 3 章建議詳細說明本期的研究方法、進行步驟及執行進度就好，後 2 期及前 1 期的篇幅比本期還多，且本期只放一張流程圖，並不妥當。	16.感謝委員建議，已將相關研究流程移至第一章並補充說明流程。	同意
17.報告中有時候用橋梁『構件』、有時候用『元件』是否有特殊用意？若無，建議一致。	17.參考委員意見統一構件名稱。	同意
18.表 4-2 地震洪水風險的破壞模式跟元件老化的破壞模式不對稱，	18.此階段找出各風險破壞模式之主要目的為確認各破	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
舉例來說，地震引起的變形、剪力破壞，就可能讓混凝土開裂、鋼筋外露。如果後續還要找出對應的工法、經費，用變形、傾斜、傾倒…應是無法估價。 19.表 4-2，元件老化風險中，D15、D35、D36 有何不同？D19 跟 D20 應該包含於 D24，再細分用意為何？另 D36 應該屬於洪水風險。 20. 表 5-1，地震發生時，橋台、橋墩也可能變形；主構件也可能剪力破壞，表中都未標示。建議破壞模式要重新檢視。 21. 表 5-9，TBMS 用的檢測制度就是 DERU，何以分開？TBMS 不是 5 年 1 次，DERU 也不是每年；表中所謂特殊狀況也不對，如果是特別檢測，並不是 DERU 表，橋梁重建後，對 TBMS 而言就是一座全新橋梁，沒有什麼特殊狀況。 22. 表 5-11 的代號 D3、D5…容易跟表 4-2 的代號重複，建議調整。 23.表 5-12 的意思不太能理解。	壞模式有對應檢測表單，並不直接使用破壞模式做為成本評估之依據。後續是以破壞程度如地震損傷指標或 CI 作為工法經費計算之用。 19.因放置錯誤，造成委員誤解。D35 與 D36 應為洪水風險之破壞模式，而 D15 是屬於材料破壞模式。相關內容於期末報告已更正。 20.感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。 21.參照委員意見刪除此表，參照表 2-2 各更新頻率之說明。 22.感謝委員建議，修正破壞模式代號為 d，以避免混淆。 23.以第一項 T1 為例，填寫 T1 項目可藉由本研究所確立之轉換公式可同時更新 D5、D13、EfG110、EdG208、EdG212、S6、S16 欄位項目。	同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
6.這次主要報告是橋梁保全評估，但殘餘壽齡評估方法是否可以補充說明一下。	錄，找出不同橋梁類型、使用量等因素，應用迴歸分析找出不同橋梁之元件老化下降趨勢，並據此計算未來橋梁元件老化風險。 6.期末報告中已補充計算橋梁生命週期各風險造成維修機率，可以此機率評估橋梁殘餘壽齡。	同意

附錄二

期末審查委員意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研究(2/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
一、逢甲大學運輸科技與管理系徐耀賜教授： 1. P.2-34，「橋梁風險管理」之內容可再修飾，與橋梁之關連性可再深入。 2. P.2-45，表 2-10、表 2-11，其數值之物理意義為何？ 3. 簡報 P.56 破壞模式可再補充。Local bucking pile broken~，上下部結構間之剪切 failure。 4. ppt.79，如何由破壞模式尋找對應之維修工法？可再詳述。 5. ppt.83，似可再補強；ppt.87，蜂窩與 Seismic 無關。 6. ppt.96，維修機率數值何以會如此大？ 7.此研究成果日後之實用性可稍補強。	1. 感謝委員建議，本研究針對橋梁風險管理進行探討，並刪除其餘基本風險評估方法。 2. 橋梁構件重要性指數，其數字越大則代表該構件在未來越需重視可能遭受之風險。 3. 感謝委員建議，因造成橋梁破壞的風險因子有很多，簡報內僅舉例列出數個常見之風險因子，。 4. 相關破壞模式對應維修工法以整理成表，請參照表 4-26 到表 4-33 5. 感謝委員建議，相關內容已經修正。 6. 此處考量橋梁在 50 年內不維修時所遭遇之風險，因此在第 50 年時之維修機率之機率較大，代表該橋梁在未來可能需要維修的機會極高。並不代表橋梁完全破壞之機率。 7. 感謝委員建議相關內容以補充。	同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
8. 橋梁本身問題非常複雜，無法具體描述，故以安全係數等概念涵蓋之。	8. 本研究以綜合風險評估之方式代表橋梁可能遭遇之危險程度，可做為橋梁維修排序之建議。	同意
二、臺北科技大學土木工程系施邦築教授： 1. 本計畫所定義之可視老化與一般老化、劣化的定義不太一致，老化與時間有關，而 DERU 的檢測項目主要是與劣化有關，建議把可視老化改為可視劣化。 2. 可視老化所計算出的「老化造成維修機率」是否經仔細檢核？所謂的「維修」是結構安全的維修或一般為行車舒適、橋梁外觀所作的維修，又如何反應到殘餘壽齡？ 3. 耐震分析需考慮整橋或某些結構單元，破壞的模式是否應以破壞至無法修復為主要考慮，若可輕易修復，是否會大大影響殘餘壽命？另補強後的效應亦應可考慮，以合理提升壽命。 4. 洪水沖刷主要考慮洪水頻率，但河川上、下游橋梁的破壞模式差異很大，不同河川的型態(如砂質、卵石河床)亦不同，不同橋梁設計	1. 本研究考量目視調查之評分結果(可視老化)，而耐震能力所考量之材料劣化因素往往不能藉由目視調查得到，故以兩項名詞區分。本團隊並重新審視報告內容，將相關文字統一。 2. 老化造成維修機率，根據橋梁的現況進行未來維修之預測，每次由程式模擬該橋梁造成的維修機率，結果為機率值，僅反映該橋梁的現況對維來可能造成的維修機率。本研究範圍除了「可視老化」，還有「潛勢危害」來評估橋梁殘餘壽齡。 3. 本研究在程式模擬階段，已有考慮橋梁破壞致無法修復與一般震損造成維修的機率。 4. 本研究已根據不同流域的橋梁，分別根據歷史洪水資料比對歷史 SSI 值下降的趨勢做統計與迴歸分	同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
的洪水頻率亦不同，河川的水文、環境因素影響很大，如護岸、固床工、鄰近工程結構物等，是否需考慮？	析，做為未來之風險趨勢評估。假若需考慮該橋梁的環境影響因素，即現況耐洪能力，仍需仰賴檢測人員填寫詳細耐洪潛勢表單評估。	
三、中興大學土木工程學系 林炳森教授： 1. 研究內容與成果尚符合計畫工作項目。 2. 橋樑殘餘壽命與保全評估決策模式應再加強說明，如 SSI、CI 值如何獲得，其評估值是否可靠。 3. 報告中需修正部份： (1) 維修機率應說明需維修原因？ (2) P.6-56，SSI 值應說明如何獲得？ (3) P.4-13，表 4-10，重複評估項目代號定義中，G110、G111、G208、G212 前面之代號有誤，如表 4-10 第 9 項 Ef G110(...落橋之評估) → 應為 Ed。	1. 感謝委員建議。 2. 本研究所採用之 SSI 值與 CI 值，參考現行公路橋梁管理單位規定，亦參考王仲宇等人之研究成果及書籍，相關參考資料已列於報告書後面參考文獻。 3. 感謝委員建議相關內容已修正 (1) 本研究模擬之維修機率依可視老化、潛勢破壞之原因，依橋梁之不同影響因子，模擬分析未來五十年之維修機率。 (2) 根據橋梁管理系統 TBMS 歷年 SSI 調查記錄與水利署水位站監測記錄，找出各年度 SSI 下降值與當年對應之洪水重現期。 (3) 此部分代號的表示 E 為地震方面的表單，d 與 f 分別是不同的檢測評估表單；如 d 為強度韌	同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	性評估表、f 為落橋評估表。	
四、前交通部公路總局養路組 吳鎮封組長： 1. 首頁為何不採用運研所研究計畫出版品摘要表。 2. 橋梁風險因素分為可視老化及潛在危害兩種，又潛在危害分地震與洪水沖刷，是否也有交通量與超載潛在問題要考量？ 3. P4-11 填寫表單量大，研究彙整後看起來更繁雜。 4. P5-1、P3-3 研究風險因子有 3 項應寫成材料老化(可視老化)，地震、洪水(潛勢危害)較不會誤導(請討論)。 5. P7-1...維修案例經費支映射關係，支映射？ 6. P8-1 未來建置本土化橋梁綜合能力評量表時，有無可能整合高公局、公路局及地方政府等單位之表單全國一致，請專列一章附上填表單位及填表說明，若有符號也應列出說明。(可否先告知綜合能力評量大概內容)	1. 感謝委員建議，相關內容已參照運研所格式修正。 2. 本研究在可視老化部分已考量交通超載造成橋梁老化原因。 3. 本研究已將原本繁雜的表單，去除重複填寫項目，精簡為橋梁綜合評估表單。 4. 感謝委員建議，本研究考量目視調查之評分結果(可視老化)，而耐震能力所考量之材料劣化因素往往不能藉由目視調查得到，故以兩項名詞區分。本團隊並重新審視報告內容，將相關文字統一。 5. 感謝委員建議，相關內容已經修正。原文應為”之”映射。 6. 本期研究針對公路總局所管轄之三千多座橋梁，分析結果而得綜合評估表，若未來需整合高公局、公路局、地方政府或其他單位之橋梁，可將資料重新彙整辦理。	同意 同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
7. 附錄 B 橋樑維修機率計算結果是公路局管橋樑，有無提供該局參考價值，若有錯誤儘量改正以免日後出版造成誤解。	7. 附錄 B 經審查委員建議，不放入報告書中。	同意
五、交通部公路總局養路組 何鴻文副組長： 1. 依意見回覆，Visible 已修正為「可視老化」，惟報告之計畫摘要與結論仍稱可視劣化。 2. 報告使用名詞仍有未統一之處，如特殊檢測或特別檢測。 3. 2003 年部頒公路養護手冊已廢止，公路總局已依新頒之公路養護規範另訂有養護手冊，請依最新版本撰寫。 4. 巡查與檢測係不同概念工作，報告內請明確區分，另巡查除定期巡查外尚有特別巡查，亦請更正。 5. 依意見回覆，橋樑性能指標已補充於 2.4 節，惟查應為 2.8 節，且僅有國內部份，請更正。 6. 圖 7-4 之「修理」建議改為「維修或補強」。 7. 本報告之三項風險因子之風險指標有兩項係 CI 與 SSI，報告內對該二指標之敘述請再檢核。	1. 感謝委員建議，相關內容已經修正。 2. 感謝委員建議，相關內容已經修正為特別檢測。 3. 感謝委員建議，公路養護手冊以參考最新民國 101 年 3 月頒布之手冊。 4. 感謝委員建議，相關內容已經修正。 5. 橋樑性能指標請參閱 2.8 橋樑性能指標章節，內容已針對國內橋樑性能評估方法與表單進行探討，並新增橋樑風險管理相關內容；國外橋樑相關文獻請參閱 2.9 節。 6. 感謝委員建議，相關內容已經將內容由修理改為維修。 7. 感謝委員建議。本研究所採用之 SSI 值與 CI 值，參考現行公路橋梁管理單位規定，亦參考王仲宇等人之研究成果及書籍，相關	同意 同意 同意 同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
8. 報告內分析舉例之牛鬥橋及附錄 B 內之多座橋梁均已完成改建或已完成耐洪、耐震之維修補強，其老化、洪水、地震造成之維修機率是否如表列所示，請在校核。	參考資料已列於報告書後面參考文獻 8. 本研究為模式驗證需求，牛鬥橋為初除前之橋梁，非改建後之新橋。維修機率根據橋梁的現況進行未來維修之預測，每次由程式模擬該橋梁造成的維修機率，結果為機率值，僅反映該橋梁的現況對應未來可能造成的維修機率。	同意
六、本所港研中心第一科 謝明志科長： 1. 部分文字修正：如 P.1-6、圖 1-2 部分文字模糊，P2-8 第二行，IC_i 應改為 IC_{ij}，P.5-6 公式 5.5，PI 宜改為 SSI。 2. 建議表 4-1 至表 4-4 內容代號，如 d_1、d_2 等，引用自表 3-2，是否在 4.1 節宜用註記加以說明。 3. 2.1 節談 DERU 檢測作業，在 P2-8 裡敘述 CI 的求法，在 2.8 節進一步提到新 CI 及權重 w_i 的求法，到了第 5 章 5.1 節應是描述本研究 CI 的求法，幾乎與 2.1 節相同，但未提到 w_i 如何得到，這幾處宜整合，好使讀者能知道本研究狀況指標 CI 是如何求得。 4. 沖刷指標 SSI 的描述，也有類似狀況，2.8 節、2.10 節在文獻回顧時，分別描述，而 5.3 節的 SSI 介紹，幾乎與 2.8 節相同，但感覺上 2.10.3 節介紹得最清楚，只是缺少構件 IC_i 的取法，這幾處	1. 感謝委員建議，相關內容已經將內容修正。 2. 感謝委員建議，相關內容已經將內容修正。 3. 感謝委員建議，相關內容已經將內容以合併整理。W_i 為 CI 構件計算權重指標以專家訪談方式決定，請參考(陳屏甫，2005)。 4. 感謝委員建議，相關內容已經將內容以合併整理。	同意 同意 同意 同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
也請整合，使讀者能確知本研究 SSI 的求法。		
5. 簡報中提到有些調查因子，忽高忽低，表示不同時間點，不同調查人員檢測結果的差異，若這個問題會影響本研究的風險評估，是否應探討其變異性，請考慮。	5. 在前一期研究案已針對橋樑檢測的變異性作深入探討，本研究延續前一期的研究案，做後續風險因子的建置與說明。	同意
6. 本研究 SSI 是從 DERU 表中取 6 個項目來推算，依 P.2-47 描述是針對公路橋(非鐵路橋)做推求，是故本研究之對象是否定義為 RC 橋及公路橋，請確認。	6. 本報告於 1-3 節說明，將選定公路總局所管理的鋼筋混凝土橋梁，為本研究研究範疇。	同意
七、本所港研中心第一科 林雅雯研究員：		
1. 報告中只撰寫「結論」，建議章節改為「結論與建議」，結論部份簡要撰寫研究成果，摘要之撰寫建議亦將成果納入，以相互呼應。	1. 感謝委員建議，於結論與建議加入相關說明，並修正摘要文字。	同意
2. 報告圖 6-30、圖 6-33 橫座標及縱座標皆無標示代表何數值。	2. 感謝委員建議，相關內容已經將內容修正。	同意
3. 目前沖刷以流域劃分，但同一流域內上、下游橋梁破壞型式不同，且各別橋梁所處環境亦不同，建議可再細分並將詳評表納入考量。	3. 根據不同流域的橋梁，分別根據歷史洪水資料比對歷史 SSI 值下降的趨勢做統計與迴歸分析，本研究亦已於建議中加入詳評表之需求。	同意
4. 簡報第 109 頁洪水沖刷溪州大橋圖並未置入報告。	4. 感謝委員建議，相關內容已經將內容統一。	同意
5. 橋梁補強後、維修後、全部改建、部份改建後於研究分析上的考量為何，是否有更新這些資料並	5. 感謝委員建議，P6-61 中，可根據本研究所建議之橋梁綜合能力評量表更新相	同意

參與審查人員及其 所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
納入考量，建議於報告中補充說明。 6. 附錄 B 建議目前研究階段暫不納入，建議日後與橋管單位研討後再考量放入報告。	關資料，目前本研究所採用之資料分別為：TBMS (101 年 9 月更新之資料)、TELES(100 年公路橋梁早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究)、結構分析或人工智慧推論、橋梁通阻檢測計畫成果(100 年橋梁通阻檢測分析模式建立之研究)。 6. 感謝委員建議，附錄 B 於日後研討後再放入。	同意

附錄三
期末報告簡報資料

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(2/4) 工作報告

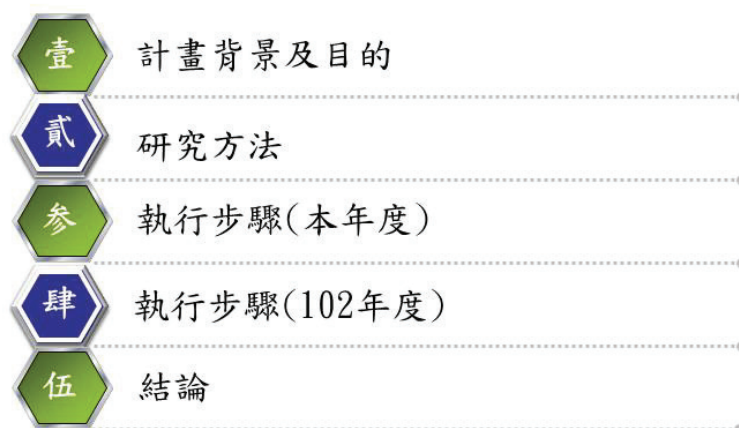


委託單位：交通部運輸研究所
執行單位：台灣科技大學營建工程系
簡報者：邱建國 教授

中華民國一百零一年十一月十三日

1

簡報流程



壹

計畫背景及目的(1/2)

- 台灣橋梁經常遭受地震、風災與鋼筋鏽蝕之影響。以致橋梁壽齡減低，必須投入龐大維護補強經費。



壹

計畫背景及目的(2/2)

計畫目的

1. 文獻蒐集

2. 量化橋梁風險

3. 評估橋梁危害程度

蒐集橋梁風險因子

- 橋梁風險因子辨識
- 橋梁風險量化

風險評估

專家意見	意見回復
一、臺北科技大學施邦築教授 1. 本年度為第二年，但主要成果仍以文獻、資料蒐集、回顧為主，建議加強文獻的比較分析及深度評論，例如DERU、TELES等，在資料建置及分析時有何問題及限制。 2. 橋梁綜合能力指標以E〔COST〕維修成本期望值代表之，E〔COST〕是否含橋梁的重要性及交通影響？E〔COST〕的計算公式看似簡單，但內含很多複雜的問題，有無找幾個代表性橋梁試算過，、…等項目的內含細項是否都有充份、正確的資料及其數值可供計算？相關的表格內的項目，如何轉算為失敗的或然率？不同失敗的類型有很多不同的維修工法，是否可得正確的維修成本？	1. 第一年度為中興工程執行，主要著重於國內橋梁檢測執行情形與問題點之探討分析，並提出檢測有效施行之建議。本年度延伸此課題，進行橋梁風險評估與分析，因此本研究仍須針對風險評估所需表單與資料進行探討，並依可視老化及潛勢危害方向分別進行文獻收集。其中DERU、TELES等之表單填寫問題及限制已於第一年度中探討。 2. E〔COST〕為本研究提出之風險成本值計算概念，目前此年度將僅計算其機率值，後續年度才將考量其成本值，此成本值亦將考慮橋梁之重要性及其交通影響(平均車流量)等。感謝委員建議，本研究後續完成時，亦會以示範案例計算。本次報告書中已列出計算維修機率時所需參數，並建議未來於維修工法推估時可能計算方法。

專家意見	意見回復
一、臺北科技大學施邦築教授 3. 期中報告的內容豐富，但撰寫上仍有錯落字或前後無法一致的地方，如老、劣化之不同等建議在期末報告時改善。	3. 感謝委員之建議，將於期末報告書中訂正相關用詞與文字。
二、逢甲大學徐耀賜教授 1. 橋梁中可能有數單元，可能有RC、PC、STEEL皆有，宜先界定。 2. 「殘餘壽齡」之定義宜清楚定義，以設計年限為準。 3. 簡報P.33破壞模式足夠？例如上下部結構之剪切破壞。	1. 本研究礙於研究範圍限制，僅限於探討RC橋梁。 2. 本研究殘餘壽齡即以橋梁普遍設計年限50年為計算標準。 3. 經案例探討，洪水所造成破壞模式難以發現上下部結構之剪切破壞，故未納入。

專家意見	意見回復
二、逢甲大學徐耀賜教授 4. 表面損傷且可修復者應與結構損傷分開討論 5. 簡報P.73人工智慧推論背景之維修工法資料庫如何取得。維修工法對大構件而言可能不具普遍性。 6. 高屏溪橋在洪水過後的第三天崩落，何以致之？實乃因不可目視之深基樁。如以此計畫而言，何能預估？	4. 有鑒於此，本研究考量可視老化(針對表面損傷)與潛勢破壞(結構損傷)分別探討，符合委員建議。 5. 橋梁管理系統(TBMS)中已儲存歷年之維修工法紀錄，其中詳細記錄工法、部位及數量。 6. 本研究所探討之問題為橋梁未來生命週期可能遭遇之風險評估，故以風險發生頻率為輸入事件，因此將以高屏溪各洪水發生頻率為模擬事件，評估未來可能須維修機率，以風險角度而言僅能評估各橋風險之排序，無法確切告知是否可能發生危險。

專家意見	意見回復
二、逢甲大學徐耀賜教授 7. 最新之橋梁狀況乃以頻譜分析為準，或可參考之（僅針對重要性高之橋梁）。 8. 沖刷之預測不可行，故交通部以「流域管理」之觀念為之。 9. DERU只是初步結果，據此，數個專家至現場勘查而後決定維修、補強、改建、重建。彰化縣即是如此。	7. 本研究以大範圍橋梁為評估對象，以風險角度進行評估，故難以針對單一橋梁進行詳細評估與計算，委員之建議可供主辦單位未來研擬重要橋梁評估之參考。 8. 本研究如委員所建議以流域為群組，分別以各流域之洪水頻率為輸入參數，計算洪水造成維修機率。 9. 本研究同時考量可視老化(DERU)與潛勢破壞(耐震、耐洪結構損傷)分別探討，並不僅是考量DERU外在損傷因素。

專家意見	意見回復
三、交通部公路總局養路組何鴻文副組長 1. 報告內所用名詞及其內容應予統一，如： (1) Visible有稱「可視劣化」亦有稱「可視老化」。 (2) 材料劣化有時歸於Visible，有時又歸類於invisible。 (3) 橋梁構件與橋梁元件混用，建議統一採橋梁構件。 2. 本案預定工作項目列有橋梁「風險管理」、「破壞模式」、「性能指標」之文獻回顧，惟報告內對橋梁風險管理及國外橋梁性能指標部份均未見敘述。	1. 感謝委員建議，報告書已修正，Visible為「可視老化」，invisible中耐震所考量的是材料劣化因素，如鋼筋鏽蝕所造成耐震能力降低參考委員意見統一構件名稱。 2. 橋梁性能指標請參閱2.4橋梁性能指標章節，內容已針對國內外橋梁性能評估方法與表單進行探討，並新增橋梁風險管理相關內容。

專家意見	意見回復
三、交通部公路總局養路組何鴻文副組長 3. 92年版交通部頒公路養護手冊已廢止，目前係依部頒養護規範由各局自訂養護手冊，相關敘述內容請修正。 4. 公路防救災決策支援系統並非檢測資訊系統類似表2-29內容請修正。	3. 遵照委員建議，分別依公路總局、高速公路局、鐵路局等單位規定，參閱相關文獻。 (1) 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。 (2) 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。 (3) 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。 4. 感謝委員建議，已修正相關文字。

專家意見	意見回復
三、交通部公路總局養路組何鴻文副組長	5. 感謝委員建議，已修正相關內容。
5.2.5節有關橋梁沖刷破壞模式及一般沖刷、束縮沖刷、局部沖刷等敘述請整體review修正。	
本案擬發展之決策模式如期望有利用價值，需資料庫正確性、劣化因子與破壞模式對應之正確性，維修工法-費用選擇之正確性等相關因素配合，故第四、五章內容應慎重檢討，必要時建議請教實際執行橋梁維護管理單位人員意見。	6. 本研究所採用之資料參考「橋梁管理系統」及交通部運輸研究所「公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究」之橋梁相關資料，具有較新及正確之資料。
7.D.E.R.U第21項之「其他」非指特殊構件，P4-1內容請修正。	7. 謝謝委員校正，期末報告已修正相關文字說明。

專家意見	意見回復
四、中興大學林炳森教授	1. 本研究如委員所建議洪水沖刷評估時以流域為群組，分別以各流域之洪水頻率為輸入參數。
1. 決策模式採用D.E.R.U.，應針對橋梁特性，考慮不同河川，讓現場工程人員容易填寫，（如元件劣化、老化…等），方能發揮決策模式效果。	
2. P.1-2第一段D.E.R.U.應打字清楚。	2. 感謝委員建議，已修正相關內容。
3. P.2-5表2-2，縱座標為何？	3. 其縱座標為DERU值，已補充相關說明。
4. P.2-6狀況指標中第七行應為，第八行應為。	4. 感謝委員建議，已修正相關內容。
5. P.2-9圖2-1橋梁構件單元分類圖中，支承下又有支承及防落裝置，應作區分。	5. 感謝委員建議，已修正相關內容。
6. P.4-1表4-1目視檢查表項目與P.2-6表2-3不一致。	6. 感謝委員建議，已修正相關內容。

專家意見	意見回復
四、中興大學林炳森教授	7. 感謝委員建議，已修正相關內容。
7. P. 5-23表5-21中 在轉換式說明欄應為空白不必列G208基礎裸露深度。	
8. P. 7-1可視劣化或老化及潛勢危害應再加強說明，如表4-2地震元件老化之破壞模式應再檢討如 、 。	8. 感謝委員建議，期末報告已增加可視老化及潛勢危害計算方法，並修正相關內容。
9. P. 7-26表7-11建議不要預測各斷層未來發生時間。	9. 遵照委員意見，有關未來發生時間部份會予以刪除！。
10. P. 8-7表8-1文獻【10】應按本報告編號。	10. 感謝委員建議，已修正相關內容。
11. P. 9-1結論與建議應重寫。	11. 感謝委員建議，已修正相關內容。

專家意見	意見回復
五、清雲科技大學許書王教授	1. 感謝委員建議，已修正相關內容。
1. 2-91頁第12行「完善」？與文中表達意思似有不符，請研究團隊再審酌。	
2. 同上最後一行寫到一半，後面都沒有了，為維報告品質請研究團隊全面審視修正。	2. 此部分參閱第一年度成果報告，部分字句有所缺失，感謝委員建議，期末報告書將加強相關文字校正工作。
3. 3-1頁有多處錯字請審酌修正。	3. 感謝委員建議，已修正相關內容。
4. 本年度所列研究內容，建議考量成果的正確及實務性，規畫進行成果驗證，更利未來後續研究。	4. 因本年僅先計算各風險所造成橋梁維修機率後續年度將針對成本及整體風險進行探討，屆時可對研究成果正確及實務性進行探討。
5. P4-2圖4-1聚海遠近？	5. 感謝委員建議，已修正相關內容。

專家意見	意見回復
五、清雲科技大學許書王教授	
6. P4-2圖4-1所提中性化及氯離子的問題，卻未提到另一項重要的鹼質與粒料反應的問題，建議團隊考量。	6. 目前鹼骨材部份之預測或評估模式尚未完整不易進行定量模擬，因此本研究僅以塩害／中性化為主。
7. P4-4及4-5頁相關破壞模式應量化並以圖示及文字詳細說明，以避免各自解讀並利未來應用（例如：裂縫、破損、混凝土裂縫、混凝土碎裂混凝土剝落、混凝土鱗狀剝落…）。	7. 感謝委員建議，期末報告中增加相關圖例及說明，有助於讀者閱讀。
8. P5-1---5-4頁橋樑構件老化損壞型式表，內容有討論空間情團隊再酌，因為此部分影響後續研究甚鉅。	8. 感謝委員建議，期末報告中已參閱本次各委員之建議，修正各損壞模式之對應表單。

專家意見	意見回復
五、清雲科技大學許書王教授	
9. 老化與劣化之定義。	9. 本研究中之元件老化為目視可視破壞之現象如混凝土剝落等。材料劣化則是耐震計算時考量中性化及鹽害對結構內鋼筋與強度之影響。
10. 各元件可能的破壞模式應再審酌。	10. 感謝委員建議，期末報告中已參閱本次各委員之建議，修正各損壞模式之對應表單。

專家意見	意見回復
六、本所港研中心第一科謝明志科長 1. 報告內有些符號、表格錯誤，如P.2-7第5行應改為a，第7行應改為，第8行應改為。 2. P.2-48第3行表1應改為表2-10，倒數第3行表2-10應改為表2-11。 3. 第二章沖刷指標SSI的討論（P.2-50及P.2-51）依據91年的「公路養護手冊」而得，其中構件的取法與PI相同，此取法描述在本節最後，但舉例放在此描述之前，建議此例子宜放在本節最後，同時刪除公式2.6，因此式為CI之計算法另外P.6-6及P.6-7也重列SSI求法，建議一併修改。	1. 感謝委員建議，修正其字句。 2. 感謝委員建議，已於期末報告訂正相關內容。 3. 感謝委員建議，已於期末報告訂正相關內容。

專家意見	意見回復
六、本所港研中心第一科謝明志科長 4. 另本所100年出版「沖刷檢測作業規範（草案）」已對SSI之計算提出修正，如之計算法是與CI相同，而SSI公式內之權重值，已都有改變，建議增列此部份。 5. P.2-68評估表少了第16項，請修正。	4. 本研究所納入之沖刷檢測表單即參考交通部運研所訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究成果，並已於期末報告增加相關內容。 5. 感謝委員建議，已於期末報告補充相關內容。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員 1. 計畫摘要、1.1節 (P1-2)、第9章 (P9-1) 等處一再提及現有的檢測方式『過度樂觀且高估橋梁現況與殘餘能力』，惟現行目視檢測旨在紀錄描述橋梁外部可視劣化，估算殘餘能力也不是目視檢測工作要做及能做的，所謂『過度樂觀且高估橋梁現況與殘餘能力』一方面把評估殘餘能力當成現行目視檢測的直接功能，會不會『過度樂觀且高估』也與檢測人員素質有關，變成檢測方式的缺點並不適合。 2. 報告有多處『追蹤修訂』的痕跡，請注意。	1. 感謝委員建議，修正相關文字，「故如僅採用現有檢測作業方式，難以評估橋梁現況與殘餘能力」。 2. 感謝委員建議，將於期末報告訂正相關項目。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員 3. P2-1第2段提及『相關單位有各自發展的橋梁檢測評估手冊...對評估及補強尚無一致之參考使用規範...訂定一套橋梁檢測、評估、維修及補強規範有其迫切必要性。』事實上交通部有頒佈一些檢測維修規範(表2-29都有列出)交通部的規範基本上就是各管理機關的最高指導原則，報告中說沒有一致規範並不正確。 4. 本所100年度有出版「橋梁目視檢測評估手冊(草案)之研究」報告，因為交通部未來原則上不再頒佈手冊，故該報告所擬手冊並未頒行惟未來各管理機關應該都會以該報告所擬手冊為基礎訂立各自的檢測規章。	3. 感謝委員建議，已於期末報告刪除不適宜內容。 4. 本研究參考交通部運研所研究案報告成果「跨河橋梁橋基冲刷檢測作業規範(草案)之研究」，未來各管理機關可參閱擬定各自規章。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	5. 遵照委員建議，分別依公路總局、高速公路局、鐵路局等單位規定，參閱相關文獻。 (1)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。 (2)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。 (3)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。
5. P2-2的公路養護手冊目前交通部已授權各局自訂，建議再瞭解各局的自訂手冊。	6. 感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。
6. P2-4 DERU的R值應為『劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度』。	

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	7. 感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。
7. P2-10第3段，橋梁結構損壞型式的分類方式中，(2)造成因素及(5)災害原因，似乎一樣。	
8. 2.9.1節提到的是美國的檢測類型、P2-57提到的是英國的『檢測優先順序』評估方法、P2-58是日本的『裂隙』評分方法，2.9.4節中國的部分則是較符合本計畫的檢測評估方法描述，各小節方向不同，很難比較，應再補充。	8. 感謝委員建議，修改美國與日本檢測表單，移除英國之介紹。
9. P2-61，Ri分為四類五種，四類是表2-18的4類嗎？五種又是哪五種？表2-18中『判定等級』同為二類的有3行？	9. 感謝委員校正，已修正相關文字。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	10. 感謝委員校正，已於期末報告補充相關圖表。
10. P2-61最後一行提到的表2-19漏掉未放。	
11. P2-62的各表來自於哪些研究案建議要標示，文字中寫『現行使用』，不知道是哪個單位使用，似乎不是正式制度中的表單。	11. 本研究參考相關文獻找出各公路單位曾委託研究計畫案中，對於不同風險災害所擬定之表單。故非全現行使用，參考委員建議刪除相關文字。
12. 橫式表格的排列方式要一致。（如P2-76）	12. 感謝委員建議，於期末報告印製時將修正此問題。
13. P2-78公路總局應已自訂養護手冊，建議再蒐集比對。	13. 感謝委員建議，於期末報告修正此內容。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	14. 感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。
14. 2.10.3節第2段提及『目前…正在進行中的訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究…』，按同節第1段應在2010年已完成，而非正在進行中。	
15. 2.10.4節中有部分指標（如：OPI、CSI、SR）似僅出現在鋼結構橋梁檢測規範，公路鋼筋混凝土橋並未使用，本期計畫既以鋼筋混凝土橋為標的，如果一定要提到鋼結構的指標，建議要敘述清楚。	15. 感謝委員建議，於期末報告修正相關內容。
16. 第3章建議詳細說明本期的研究方法、進行步驟及執行進度就好，後2期及前1期的篇幅比本期還多，且本期只放一張流程圖，並不妥當。	16. 感謝委員建議，已將相關研究流程移至第一章並補充說明流程。

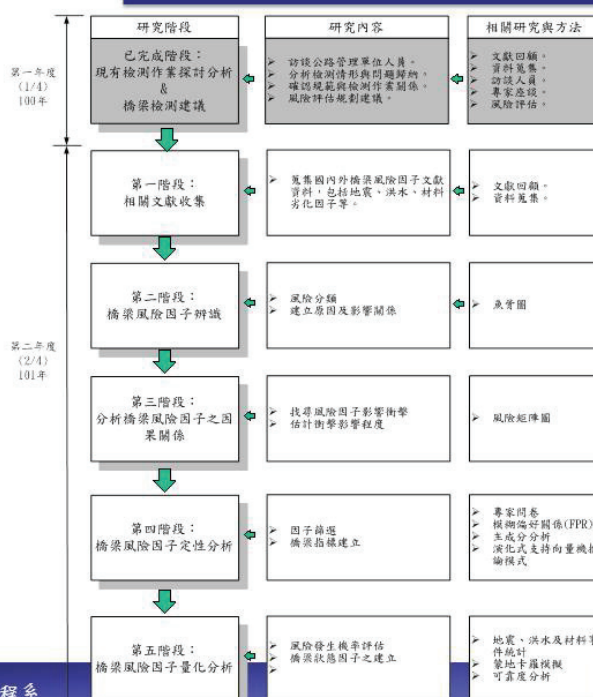
專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	17. 參考委員意見統一構件名稱。
17. 報告中有時候用橋梁『構件』、有時候用『元件』是否有特殊用意？若無，建議一致。	
18. 表4-2地震洪水風險的破壞模式跟元件老化的破壞模式不對稱，舉例來說，地震引起的變形、剪力破壞，就可能讓混凝土開裂、鋼筋外露。如果後續還要找出對應的工法、經費，用變形、傾斜、傾倒…應是無法估價。	18. 此階段找出各風險破壞模式之主要目的為確認各破壞模式有對應檢測表單，並不直接使用破壞模式做為成本評估之依據。後續是以破壞程度如地震損傷指標或CI作為工法經費計算之用。
19. 表4-2，元件老化風險中，D15、D35、D36有何不同？D19跟D20應該包含於D24，再細分用意為何？另D36應該屬於洪水風險。	19. 因放置錯誤，造成委員誤解。D35與D36應為洪水風險之破壞模式，而D15是屬於材料破壞模式。相關內容於期末報告已更正。

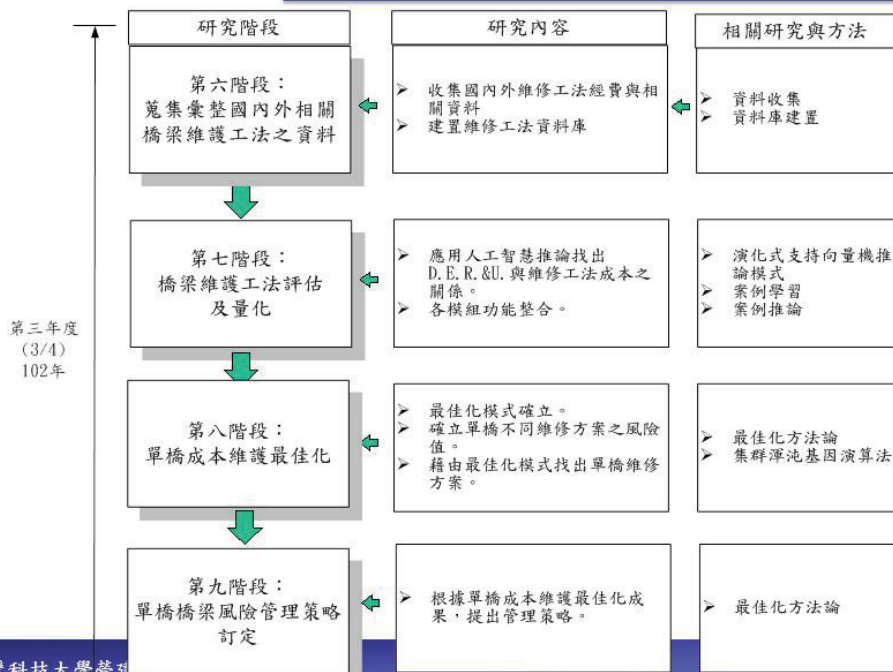
專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	20. 感謝委員建議，已於期末報告修正相關內容。
20. 表5-1，地震發生時，橋台、橋墩也可能變形；主構件也可能剪力破壞，表中都未標示。建議破壞模式要重新檢視。	
21. 表5-9，TBMS用的檢測制度就是DERU，何以分開？TBMS不是5年1次，DERU也不是每年；表中所謂特殊狀況也不對，如果是特別檢測，並不是DERU表，橋梁重建後，對TBMS而言就是一座全新橋梁，沒有什麼特殊狀況。	21. 參照委員意見刪除此表，參照表2-2各更新頻率之說明。
22. 表5-11的代號D3、D5…容易跟表4-2的代號重複，建議調整。	22. 感謝委員建議，修正破壞模式代號為d，以避免混淆。

專家意見	意見回復
七、本所運工組巫柏蕙研究員	
23. 表5-12的意思不太能理解。	23. 以第一項T1為例，填寫T1項目可藉由本研究所確立之轉換公式可同時更新D5、D13、EfG110、EdG208、EdG212、S6、S16欄位項目。
24. P6-1首段沒寫完。	24. 遵從委員建議，補充說明。
25. P9-1內容與1.1節背景分析的內容幾乎完全一樣，非常不妥。	25. 本研究於期末報告中，針對本研究之研究成果加以說明。
26. 第10章與第3章都有執行進度，建議放一處就好。	26. 遵從委員建議，刪除第十章執行進度。

專家意見	意見回復
八、國科會災害防救應用科技方案辦公室謝其泰博士	
1. 7.2至7.4節主要探討地震相關研究，橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研究有何關連，是否可以說明一下。	1. 此研究中風險考量可視老化、潛勢破壞(洪水、地震)為橋梁能力之評估項目，因此將針對地震對橋梁未來生命週期之影響進行計算。
2. 目前影響橋梁壽齡最主要的原因是什麼？	2. 本研究探討發現以可視老化、潛勢破壞(洪水、地震)為主要影響橋梁壽齡之原因，因此本研究分別以這些風險進行評估。
3. 除了採用檢測評估表單，還有什麼方法可以評估。	3. 因評估此橋梁之未來發生狀況，需考量此橋梁歷史調查結果，做為未來能力之推估之依據，故研究中仍須採用檢測評估表單結果。
4. 相關事件(地震、洪水)產生器，區域是否可以再增加，以增加其可靠度。	4. 洪水考量台灣主要流域，地震以耐震規範之規定，決定洪水與地震之事件發生頻率。

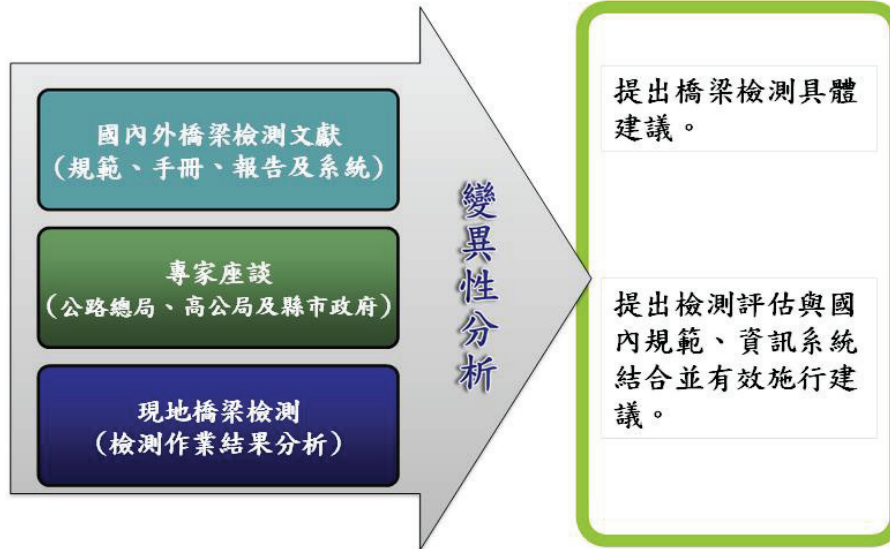
專家意見	意見回復
八、國科會災害防救應用科技方案辦公室謝其泰博士	5. 期末報告已增加此項說明，本研究採用台灣橋梁管理系統中歷年調查記錄，找出不同橋梁類型、使用量等因素，應用迴歸分析找出不同橋梁之元件老化下降趨勢，並據此計算未來橋梁元件老化風險。
5. 元件老化量化分析，尚未在這個報告中出現，未來將如何評估？	6. 期末報告中已補充計算橋梁生命週期各風險造成維修機率，可以此機率評估橋梁殘餘壽齡。
6. 這次主要報告是橋梁保全評估，但殘餘壽齡評估方法是否可以補充說明一下。	







執行步驟(100年度已完成)



出處:橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發(1/4)



研究執行流程圖(1/2)

執行步驟

本研究擬訂五階段，共計5步驟完成

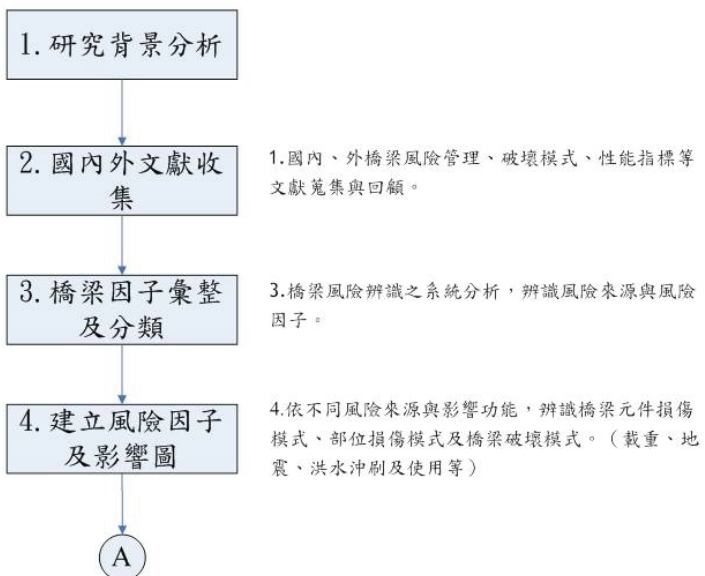
第一階段
相關文獻收集

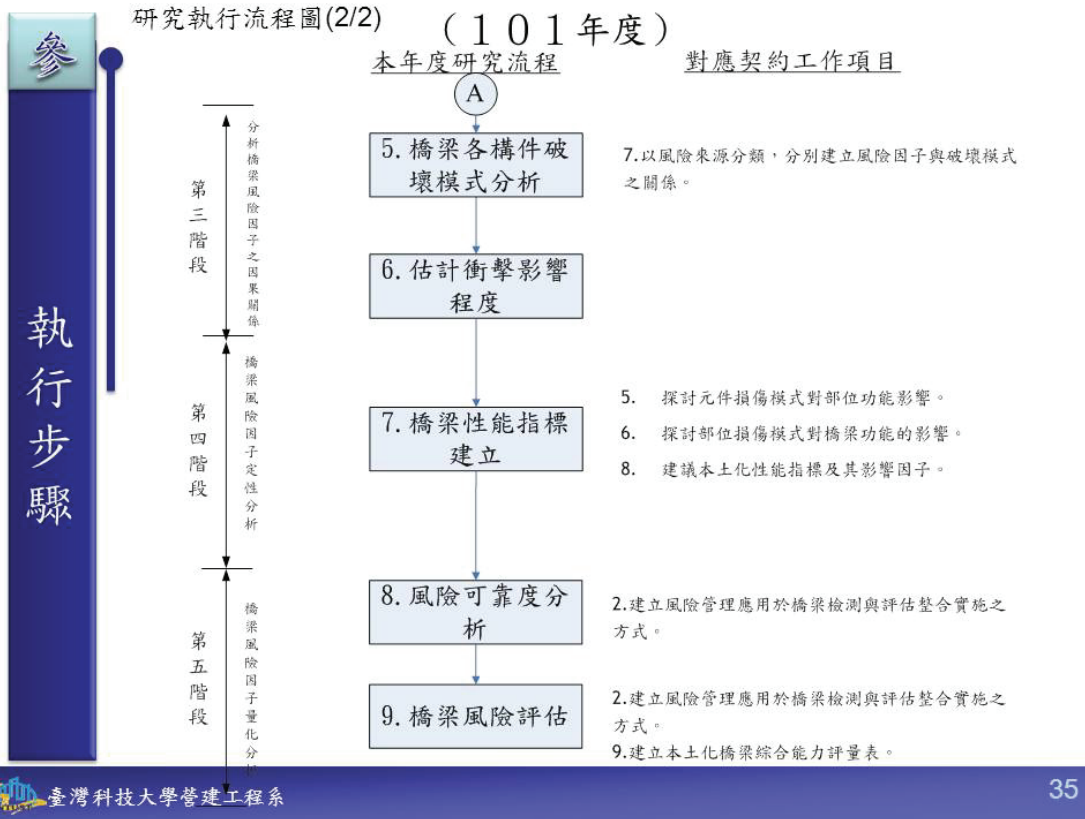
第二階段
橋梁風險因子辨識

(101年度)

本年度研究流程

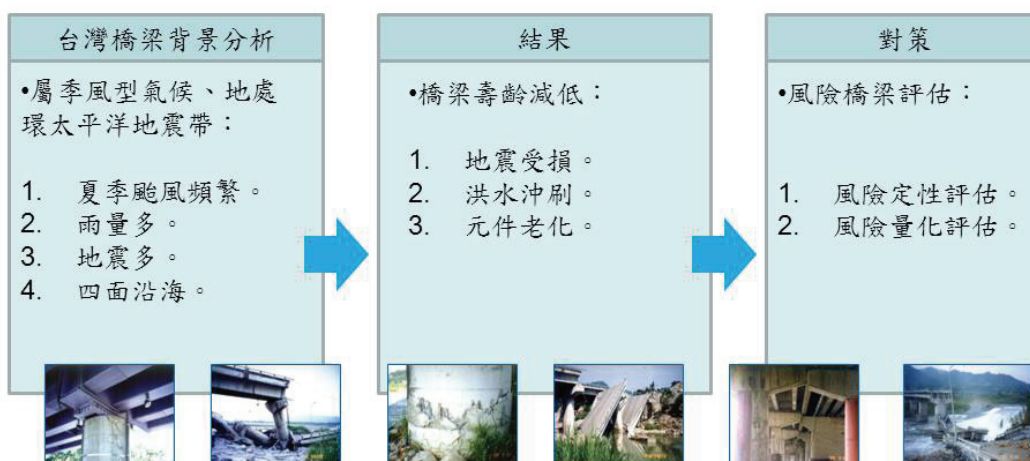
對應契約工作項目





執行步驟

一 相關文獻收集-1.研究背景分析





執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

國內相關文獻列表(規範、手冊與系統)

類別	檢測規範或手冊	檢測資訊系統
耐震檢測	1. 1067公釐軌距軌道橋隧檢查養護規範(交通部, 1997)	1. 橋梁地震損失評估系統 (TELES)
沖刷檢測	2. 國道高速公路局橋梁檢測作業要點 (交通部, 2001)	1. 跨河橋梁安全預警系統
一般檢測	3. 公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 (交通部, 2008)	1. 公路防救災決策支援系統
	4. 鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強規範 (交通部, 2010)	2. 臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)
	5. 公路養護手冊(交通部, 2003)	



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

國內相關文獻列表(研究報告或書籍)

類別	檢測相關研究報告或書籍
耐震檢測	1. 震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段(蔣偉寧等, 1999, 行政院公共工程委員會) 2. 公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究(張國鎮等, 2009, 國家地震工程研究中心) 3. 考量基礎沖刷之橋梁耐震能力評估及補強(邱毅宗等, 2010) 4. 災時高效率高經濟性橋梁補強及檢核技術之研發(陳生金, 2005, 公路總局)
沖刷檢測	1. 公路橋梁檢測評估(陳清泉等, 1996) 2. 訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範之研究(王仲宇等, 2010, 交通部運輸研究所)
一般檢測	1. 機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用(周健捷等, 2000, 內政部營建署) 2. 橋樑非破壞目視檢測法與自立陸橋實例(沈永年等, 2001) 3. 應用無線技術於橋樑檢測管理之研究(饒珮茹等, 2002) 4. 我國橋樑維護管理績效評估之探討(曾惠斌等, 2002) 5. 建立橋梁檢測制度方法及準則之研究(公路與道路橋梁)(李有豐等, 2002, 交通部運輸研究所) 6. 橋梁安全維護檢測手冊(草案)(王仲宇等, 2002, 交通部) 7. 高屏溪斜張橋劣化評估系統之建立(張耀文, 2004) 8. 橋梁維護管理機制、成效量核與經費編列探討-以公路總局為例(延允中, 2004) 9. 臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展策略之研究(楊振翰, 2005) 10. 橋梁生命週期成本評估-構件劣化預測模式之研究(許文政, 2005) 11. 拱橋與T型橋目視檢測評估方法之研究(廖家楨, 2007) 12. 橋梁檢測之探討—以宜專一線公路多望橋為例(崔國強等, 2008) 13. 台灣與美國之橋梁檢測系統與制度(陳永銘等, 2008) 14. 應用透地雷達與超聲波法於老舊橋樑橋墩基礎非破壞檢測(羅國基等, 2008) 15. 橋梁的健康診斷(王仲宇, 2009) 16. 應用地電阻影像法探測墩基深度之初步研究(陳昱源, 2008) 17. 橋梁檢測方法與應用(中國土木水利工程學會, 2010) 18. 橋梁殘餘壽命與安全評估決策模式之研發(1/4)(交通部運輸研究所, 2011)

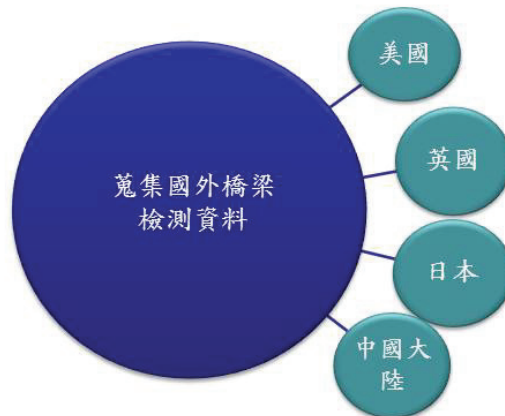


執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集

目前國內外橋梁狀態風險評估，已有許多專家學者針對橋梁不同類型風險進行因子分析，並建立不同檢測表單，以利橋梁潛勢危害評估。

本步驟將收集國內外橋梁檢測表單，找尋危害橋梁之風險因子。



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國外)

已收集到國外檢測表單

表 4.3 各構件評量及橋梁結構部位評量表
OVERALL SUPERSTRUCTURE CONDITION RATING N 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
COMMENTS:

Superstructure Elements	Rating	Remarks
stringers	G F P N/A	
Floor beams	G F P N/A	
floor system bracing	G F P N/A	
Main beams	G F P N/A	
girders	G F P N/A	
truss-general	G F P N/A	
upper chords	G F P N/A	
web members	G F P N/A	
lower chords	G F P N/A	
lateral bracing	G F P N/A	
lateral bracing	G F P N/A	
cross bracing	G F P N/A	
portals	G F P N/A	
arches	G F P N/A	
cables	G F P N/A	
piers	G F P N/A	
bearing devices	G F P N/A	
connections	G F P N/A	
welds	G F P N/A	
timber decay	G F P N/A	
concrete deterioration	G F P N/A	
steel corrosion	G F P N/A	
collision damage	G F P N/A	
LI deflection	G F P N/A	
vibration	G F P N/A	
member alignment	G F P N/A	
utilities	G F P N/A	

美

項目	說明	項目	說明
1. 橋面系	橋面系是指橋梁上部構造中，直接承受車輛荷載的部分，包括橋面、橋面系、橋面系等。	2. 橋墩系	橋墩系是指橋梁上部構造中，支撐橋面系的部分，包括橋墩、橋墩系等。
3. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。	4. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。
5. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。	6. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。
7. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。	8. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。
9. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。	10. 橋樑系	橋樑系是指橋梁上部構造中，連接橋墩系的部分，包括橋樑、橋樑系等。

部件	部件名稱	權數(Wi)	部件	部件名稱	權數(Wi)
1	翼牆、背牆	1	10	橋樑與路堤連接處	3
2	橋墩、橋墩	23	11	伸縮縫	1
3	橋台與基礎	24	12	人行通道	1
4	橋墩與基礎	8	13	燈杆、燈具	1
5	地基沖刷	3	14	燈基、橋樑	1
6	支座	20	15	排水設施	1
7	上部主要承重構件	5	16	鋼桁架梁	1
8	上部一般承重構件	1	17	其他	1
9	橋面鋪裝	3			

中國



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

公路橋梁耐震能力初步評估表—落橋評估

地震

橋梁名稱：_____ 橋梁編號：_____ 振動單位：_____

設計年度：☐民國49年以前 ☐民國49-76年 ☐民國76-84年 ☐民國84-89年 ☐民國89年以後

項次	項目	配分	評估內容	權數(W)	評分
工址環境	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_0 : 設計之工址等值水平加速度係數		
	液化潛能	8	☐ 橋址位於液化區(1.0) ☐ 砂質土層(0.5) ☐ 無(0.0)		
	基礎裸露深度	8	☐ 基礎裸露或 $R \geq 2.0(1.0)$ ☐ 1.0 $\leq R < 2.0$, (W=R-1) ☐ R<1.0, (W=0) R=基礎裸露深度(m)/1.2(m) 或 R=基樁裸露深度(m)/基礎版厚度(m)		
結構系統	外懸鉸接	5	☐ 有(1.0) ☐ 無(0.0)		
	橋柱高度	4	H<15, W=H/15; H $\geq$ 15.0, W=1.0; H: 橋柱高度(m)		
	斜交角度	4	$W=\theta^2/45^2 \leq 1.0$; θ^2 : 斜交角度		
	縱坡坡度	4	W=縱坡坡度/6% ≤ 1.0		
	基礎型式	4	☐ 非淺基礎(1.0) ☐ 異構基礎(0.5) ☐ 沉箱基礎(0.0)		
其他影響落橋之異常現象	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			
結構細部	防落裝置	15	☐ 兩向均無裝置(1.0) ☐ 僅垂直車行向有裝置(0.5) ☐ 僅車行向有裝置(0.25) ☐ 兩向皆有裝置(0.0)		
	防落長度Ne	25	$Ne \leq N/2$, W=1.0; $N/2 < Ne \leq N$, W=(N-Ne)/(N/2) ≤ 1.0 ; $Ne > N$, W=0 N: 規範規定防落長度; Ne: 實際防落長度		
分數總計			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統計所得之數值或該區中之數值。
(2) $N=50+0.25L+1.0H$ ；其中L為跨徑(m)，H為下部結構高度(m)，h的單位為cm。
(3) 落橋評估之評定標準為：
a. 得分大於60分，安全有疑慮，應立即進行安全詳細檢測及評估。
b. 得分大於30分至等於60分間，安全略有疑慮，近期應進行安全詳細檢測及評估。
c. 得分小於30分，安全無疑慮，但需繼續進行例行性檢測維護。
(4) 若基樁裸露則安全有疑慮應立即進行安全詳細檢測及評估。

41



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

公路橋梁耐震能力初步評估表—混凝土橋柱強度、韌性評估

地震

橋梁名稱：_____ 橋梁編號：_____ 振動單位：_____

設計年度：☐民國49年以前 ☐民國49-76年 ☐民國76-84年 ☐民國84-89年 ☐民國89年以後

項次	項目	配分	評估內容	權數(W)	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	☐ 橋址位於液化區(1.0) ☐ 砂質土層(0.5) ☐ 無(0.0)		
	基礎裸露深度	8	☐ 基礎裸露或 $R \geq 2.0(1.0)$ ☐ 1.0 $\leq R < 2.0$, (W=R-1) ☐ R<1.0, (W=0) R=基礎裸露深度(m)/1.2(m) 或 R=基樁裸露深度(m)/基礎版厚度(m)		
結構系統	靜不定度	6	☐ 兩向均單柱式(1.0) ☐ 雙式橋墩或橋台(0.5) ☐ 一向具多柱式(0.25) ☐ 兩向均多柱式(0.0)		
	橋柱高寬比	8	$R < 2$, W=1; $2 \leq R < 4$, W=(4-R)/2 ≤ 1.0 ; $R \geq 4$, W=0; R: 橋柱高寬比		
	橋柱高度	4	W=橋柱高度H(m)/15 ≤ 1.0 ; H ≥ 15.0 , W=1.0		
	振動單位中橋柱最高與最低之比值	6	☐ 大於1.5(1.0) ☐ 1.5-1.1(0.5) ☐ 小於1.1(0.0)		
	斜交角度	6	$W=\theta^2/45^2 \leq 1.0$; θ^2 : 斜交角度		
	基礎型式	4	☐ 非淺基礎(1.0) ☐ 異構基礎(0.5) ☐ 沉箱基礎(0.0)		
	橋樑損壞程度	10	☐ 嚴重裂損(1.0) ☐ 裂損(0.5) ☐ 微裂損(0.25) ☐ 無裂損(0.0)		
	其他異常現象	8	橋柱歪斜、跨中差異大、曲線橋、橋墩型式不同		
結構細部	設計年代	16	☐ 民國76年以前(1.0) ☐ 民國76-84年(0.75) ☐ 民國84-89年(0.5) ☐ 民國89年以後(0.25)		
分數總計			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統計所得之數值或該區中之數值。
(2) 評分標準為：
a. 得分大於60分，安全有疑慮，應立即進行安全詳細檢測及評估。
b. 得分大於30分至等於60分間，安全略有疑慮，近期應進行安全詳細檢測及評估。
c. 得分小於30分，安全無疑慮，但需繼續進行例行性檢測維護。
(3) 若基樁裸露則安全有疑慮應立即進行安全詳細檢測及評估。

42

相關文獻收集-2.國內外文獻 收集(國內)

已收集到國內檢測表單

地震

公路橋梁耐震評估檢查表—落橋評估(一般橋梁) (E_f)

公路橋梁耐震評估檢查表—落橋評估(一般橋梁)

檢評名稱：		檢評編號：		里程數：	振動單位：P ~P	評估者：	評估日期：	
設計規範版本：		□民國 49 年版以前		□民國 49 年及 76 年版	□民國 84 及 89 年版	□民國 97 年版		
項次	項目	配分	評	估	內	容	權重	評分
G101	是否為第一類活動斷層附近	8	□是(1.0) □否(0)					
G102	地盤類別	4	□臺北盆地(1.0) □軟弱地盤(0.67) □普通地盤(0.33) □堅實地盤(0)					
G103	相鄰橋墩間地土質變化	2	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)					
G104	液化可能性	6	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)					
G105	相鄰兩振動單位結構系統差異性	8	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)					
G106	外懸梁	2	□有(1.0) □無(0)					
G107	梁端檢核或檢台之斜角	4	$w = \theta / 90^\circ \leq 1.0$					
G108	縱傾坡度 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; α : 交角					
G110	基礎埋置深度	20	橋基礎: $w = 2.0 - 2.0(h/f_h)$; 沉箱基礎: $w = 1.43 - 1.43(h/f_h)$					
G111	支承狀況	4	□橋基(1.0) □不良(0.67) □尚可(0.33) □良好(0)					
G112	防落長度	20	當 $N \geq N_e$, $w = (N - N_e)/(N/2) \leq 1$; 當 $N < N_e$, $w = 0$; 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	□兩向均無設施(1.0) □僅垂直方向有設施(0.5) □僅行車方向有設施(0.25) □兩向均有設施(0)					
G114	其他異常現象	4	注: (1)防落設施功能不良者, 權重增加 0.25。 (2)當 $N \geq 12N_e$, 行車向視角具有防落設施, 且功能良好。 檢核垂直度、支承座與橋樑連繫混凝土之異常狀況等					
分數總計		100						

相關文獻收集-2.國內外文獻 收集(國內)

已收集到國內檢測表單

地震

公路橋梁耐震評估檢查表—強度韌性評估(一般橋梁) (E_d)

公路橋梁耐震評估檢查表—強度韌性評估(一般橋梁)

檢評名稱：		檢評編號：	里程數：	振動單位：P ~P	評估者：	評估日期：	
設計規範版本：		☐ 民國 49 年版以前	☐ 民國 49 年及 76 年版	☐ 民國 84 及 89 年版	☐ 民國 97 年		
項次	項目	配分	估	估	容	權重	評分
G201	橋址環境	是否為第一類活動斷層近域	8	☐ 是(1.0) ☐ 否(0)			
G202		地盤類別	6	☐ 臺北盆地(1.0) ☐ 軟弱地盤(0.67) ☐ 普通地盤(0.33) ☐ 堅實地盤(0)			
G203		液化可能性	6	☐ 高(1.0) ☐ 中(0.67) ☐ 低(0.33) ☐ 無(0)			
G204		梁端檢核或檢台之斜角	4	$w = \theta / 90^\circ \leq 1.0$			
G205		縱傾坡度或檢台高度百分比	2	$w = S / 6\% \leq 1.0$			
G206	結構系統	檢核車道中拱拱、墩梁與橋墩永久狀況	4	$w = 1 - \frac{r}{100}$; $w_1 = 1 - \frac{r}{100}$; $w_2 = \frac{\alpha}{30} - 1$; $w = \max(w_1, w_2)$			
G207		縱傾坡度或梁端檢核不良度	6	☐ 兩向均無設施(1.0) ☐ 一向與無設施(0.5) ☐ 兩向均無設施(0)			
G208		基礎埋置深度	24	橋基基礎： $w = 2.0 - 2.0(h/f_h)$ ；沉箱基礎： $w = 1.43 - 1.43(h/f_h)$			
G209		支承座與橋樑連繫	4	☐ 有結構(1.0) ☐ 無結構(0)			
G210		雙龍橋蓋梁細部	8	☐ 不符合容許規定(1.0) ☐ 部分符合容許規定(0.5) ☐ 符合容許規定(0)			
G211	一般橋樑	五龍橋與蓋梁細部	4	☐ 有斷裂且蓋梁檢核量不少於於断面(0.5) ☐ 無斷裂(0)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		管式拱檢核與鋼筋結構異常	6	☐ 有結構(1.0) ☐ 無結構(0)			
G210		管式拱鋼筋化與細部	4	☐ 不符合容許規定(1.0) ☐ 部分符合容許規定(0.5) ☐ 符合容許規定(0)			
G211		五龍橋與蓋梁細部	4	☐ 有斷裂且蓋梁檢核量不少於於断面(0.5) ☐ 無斷裂(0)			
G212	特殊橋樑	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		鋼筋化與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		鋼筋化與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		鋼筋化與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G212		鋼筋化與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G210		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G212		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G209		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G210	鋼筋化	縱傾坡度與蓋梁化程度	8	☐ 嚴重(1.0) ☐ 重(0.67) ☐ 尚可(0.33) ☐ 輕微(0)			
G211		縱傾坡度與蓋梁化程度	6	☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(1.0); ☐ 有蓋梁化蓋上/人孔檢核量不少於(0.5)			
G2							

相關文獻收集-2.國內外文獻 收集(國內)

已收集到國內檢測表單

地震

TELES橋梁屬性資料調查表(T)

路線名/里程數/橋梁名稱/管理單位		道路等級		a1 省道	a2 縣道	a3 鄉道	a4 市區道路
跨越河川/道路		a1 河川	a2 道路	a3 橋梁	a4 橋	附屬維生管線	
座標		N	E	(橋樑座標，均填至小數點以下 6 位)			
座標		N	E	(橋樑座標，均填至小數點以下 6 位)			
結構型式		a1 梁橋(簡支式)	a2 梁橋(連續式)	a3 桁架橋	a4 拱橋	a5 斜拉橋	
主梁形式		a1 I型梁	a2 T型梁	a3 U型梁	a4 箱型梁	a5 板梁	a6 其他
橋梁形式		a1 桁架橋(梁橋)	a2 梁橋	a3 梁橋	a4 梁橋	a5 梁橋	a6 其他
橋梁基礎		a1 樁基礎	a2 直柱基礎	a3 沉箱基礎	a4 沉箱基礎	a5 沉箱基礎	a6 其他
橋台形式		a1 橋台	a2 重力式	a3 懸臂式	a4 扶壁式	a5 剛性橋台	a6 其他
橋台基礎		a1 橋台基礎	a2 直柱基礎	a3 沉箱基礎	a4 沉箱基礎	a5 沉箱基礎	a6 其他
支墩位置		a1 橋支墩	a2 台成梁支墩	a3 鋼管支墩	a4 鋼管支墩	a5 鋼管支墩	a6 其他
防護設施		a1 橋	a2 欄杆	a3 欄杆	a4 欄杆	a5 欄杆	a6 其他
橋長：_____公尺		橋寬：_____公尺		重車軸：_____度			
跨數：_____跨		橋樑單元數：_____個		單跨最大跨徑：_____公尺			
橋樑防落長度：_____公尺		橋台防落長度：_____公尺		基礎埋置：_____公尺			
車道數：_____		另有慢車道		竣工年代：_____年 _____月			

臺灣科技大學營建工程系

參

執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)

洪水

項次	項目	配分	評估內容	權數	危險度 評分
5001	主河道變遷	4	☐ 嚴重變遷(1.0) ☐ 輕微變遷(0.5) ☐ 無(0.0)		
5002	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理(1.0) ☐ 1000公尺以內完成，其他尚未辦理(0.5) ☐ 已完成(0.0)		
5003	河川沖刷嚴重性	5	☐ 高(1.0) ☐ 中(0.5) ☐ 低(0.25) ☐ 無(0.0)		
5004	鄰近有無採砂	10	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)		
5005	上游攔河堰	5	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)		
5006	上游橋梁	3	☐ 1000公尺以內(1.0) ☐ 1000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)		
5007	橋台及橋墩之基礎型式	5	☐ 具淺基礎(1.0) ☐ 具深基礎(0.0)		
5008	橋墩型式	4	☐ 單柱橋墩(1.0) ☐ 雙柱橋墩(0.5) ☐ 多柱或雙式橋墩(0)		
5009	支承現況	4	☐ 劣(1.0) ☐ 尚可(0.5) ☐ 良好(0.0)		
5010	基礎埋置深度與容許沖刷深度比值 R_{H_0}	15	$R_{H_0} = \frac{H_{H_0}}{H_{H_0}}$; H_{H_0} : 橋墩高度、 H_{H_0} : 容許深度或 $H_{H_0} = \frac{1}{5} H_p$; H_p : 基槽(沉箱)長度		
5011	本河川附近其他橋梁有無沖刷問題	5	☐ 嚴重(1.0) ☐ 中等(0.5) ☐ 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 (ϕ°)	4	$1.0 \geq \frac{\phi^\circ - 5^\circ}{25^\circ} \geq 0$		
5015	橋墩形狀	4	☐ 平頭墩(1.0) ☐ 圓頭墩(0.5) ☐ 尖頭墩(0.0)		
5016	基礎保護設施	5	☐ 不良(1.0) ☐ 中等(0.5) ☐ 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	

臺灣

46

執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

公路橋梁沖刷潛能評估表

洪水

橋梁名稱：			橋梁編號：		評估內容		震動單位：			
項次	項	目	配分	評估內容				權數		
1	近年內主河道變遷的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
2	河川整治辦理情形	4	☐ 尚未辦理或已辦理但僅修設臨時式橋梁石護岸(1.0) ☐ 1000公尺以內完成(0.5) ☐ 其他尚未辦理 ☐ 已完成(0.0)							
3	近年內主河道河床下降的情形	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
4	鄰近有無淤砂	10	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)							
5	上游攔河砂	3	☐ 2000公尺以內(1.0) ☐ 2000公尺以上(0.5) ☐ 無(0.0)							
6	上游橋梁：下游側具夾縫河道之其他構造物	4	☐ 400公尺以內(1.0) ☐ 400-1000公尺之間(0.5) ☐ 1000公尺以上(0.2) ☐ 無(0.0)							
7	基礎型式	3	☐ 具基礎或擴展式基礎(1.0) ☐ 具深基礎(0.5) ☐ 具深基礎(0.0)							
8	基礎埋置程度	10	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
9	本河川附近其他橋梁有無沖刷問題	3	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
10	梁底高程	4	$1.0 \geq \frac{(\text{梁底高程}-\text{計劃水位})}{2.0 \text{公尺}} \geq 0$ 或 $1.0 \geq \frac{(\text{梁底高程}-\text{堤頂高程})}{1.5 \text{公尺}} \geq 0$							
11	阻水比效應	8	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
12	橋樑(橋)方向與河川流向之角度(°)	4	$(1.0) > \xi = \frac{\theta^2 - 5^2}{25^2} \geq 0$ ； 僅 $\theta < 50$ ， $\xi = 0$ ； $\theta > 300$ ， $\xi = 1.0$							
13	河床散石之風化沖蝕	5	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5) ☐ 輕微(0.0) ☐ 無(0.0)							
14	橋面有無蝕或水潭(或跌水)沖刷的潛在沖蝕因素	15	☐ 極嚴重(1.0) ☐ 嚴重(0.5-0.9) ☐ 輕微(0.2) ☐ 無(0.0)							
15	其他會影響橋梁沖刷穩定之(異常)現象	7	橋梁及基礎變位錯動、橋梁靠近河床陡峻之山區、下部結構遭撞擊變形、橋梁通過彎曲河道兩岸、橋梁側翼與橋梁不成形、不當的導水牆開挖而引致水流速度集中於狹窄的流路、橋基基礎垂直承载力大幅下降或形成延長橋墩效應或長橋之接橋位置已暴露出等							
分數總計			100							
估 者			評 估 日 期							



47

相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

洪水



臺灣科技大學營建工程系

公路橋梁耐洪評估表(跨河公路橋梁冲刷潛勢評估表)(S)

[illegible]



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

已收集到國內檢測表單

公路橋梁安全初步評估表(載重能力)

元件
老化

項次	項目	配分	橋梁編號:	振動單位:	評 估 內 容	權 數	危險度評分
4001	設計載重	6	☐ HS-20以下(1.0)	☐ HS-20+0-25%(0.5)	☐ (0)		
4002	重車每日流量	10	☐ (1.0)	☐ 1000-2000輛(0.5)	☐ 0-1000輛(0)		
4003	結構型式	6	☐ 簡支(1.0)	☐ 非簡支(0.5)			
4004	橋面磨耗層表面平整	4	☐ (1.0)	☐ 略不平整(0.5)	☐ 平整(0)		
4005	橋面磨耗層厚度	10	其中 h_o :磨耗層設計厚度; h_e :磨耗層實際厚度; $0.5(h_o+h_e) \leq h_o-h_e \leq \alpha$; h_p :橋面板設計厚度				
4006	混凝土橋面板	12	☐ 嚴重裂損(1.0)	☐ 裂損(0.5)	☐ 微裂損(0.25) ☐ (0)		
4007	伸縮縫構造現況及功	6	☐ 劣(1.0)	☐ 尚可(0.5)	☐ 良好(0)		
4008	主梁	12	☐ 嚴重裂損(1.0)	☐ 裂損(0.5)	☐ 微裂損(0.25) ☐ (0)		
4009	橫橋梁數	4	$\frac{L}{N+1} \leq 1.0$; 其中 L :跨度; N :不含端橋梁之中隔梁數目				
4010	橫橋梁功能	4	☐ 劣(1.0)	☐ 尚可(0.5)	☐ 良好(0)		
4011	主梁支承現況	6	☐ 劣(1.0)	☐ 尚可(0.5)	☐ 良好(0)		
4012	帽梁橋墩橋台基礎	6	☐ 嚴重裂損(1.0)	☐ 裂損(0.5)	☐ 微裂損(0.25) ☐ (0)		
4013	限重及限速	4	☐ 兩者皆無(0.0)	☐ 有其中一種(0.5)	☐ 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				

相關文獻收集-2.國內外文獻 收集(國內)

已收集到國內檢測表單

元件
老化

DERU橋梁定期檢測表(D)

DERU 橋梁定期檢測表

橋梁名稱	橋梁編號	管理機關	養護工程段	現正養護
所在縣市		所在鄉鎮	參考地點	
道路等級		路線	里程點數	
橋梁用途		橋梁淨寬	檢測次數	
檢測日期		檢測單位	檢測員	單位主管
檢測員意見				
CI		PI	規範PI	伊創估價
新CI		新PI		

橋梁名稱	本段橋長	總段數	CI	PI
路線形式				

檢測項目	評估值	檢測項目	評估值	檢測項目	評估值
1. 引道路面	1.0 0.5 0.0	2. 橋台基礎	1.0 0.5 0.0	3. 橋面排水設施	1.0 0.5 0.0
4. 引道橋樑	1.0 0.5 0.0	5. 橋台	1.0 0.5 0.0	6. 橋面及人行	1.0 0.5 0.0
7. 河道	1.0 0.5 0.0	8. 翼牆/橋主體	1.0 0.5 0.0	9. 欄杆及護欄	1.0 0.5 0.0
10. 引道現況	1.0 0.5 0.0	11. 橋樑	1.0 0.5 0.0	12. 其他	1.0 0.5 0.0

檢測資料	檢測資料	檢測資料	檢測資料	檢測資料	檢測資料
13. 橋樑現況	14. 橋樑基	15. 橋樑主	16. 橋樑主	17. 橋樑主	18. 橋樑主
19. 橋樑主	20. 橋樑主	21. 橋樑主	22. 橋樑主	23. 橋樑主	24. 橋樑主

項目	數量	單位	總量	單位	總量
材料					
人工					



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

採用之檢測評估表單

地震		公路橋梁耐震能力初步評估表-落橋評估
		公路橋梁耐震能力初步評估表-混凝土橋柱強度、韌性評估
	✓	公路橋梁耐震評估檢查表-落橋評估(一般橋梁)
	✓	公路橋梁耐震評估檢查表-強度韌性評估(一般橋梁)
	✓	TELES橋梁屬性資料調查表
洪水		公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)
		公路橋梁沖刷潛能評估表
	✓	公路橋梁耐洪評估表(跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表)
元件老化		公路橋梁安全初步評估表(載重能力)
	✓	DERU橋梁定期檢測表



執行步驟

一 相關文獻收集-2.國內外文獻收集(國內)

決定研究使用的表單與原因

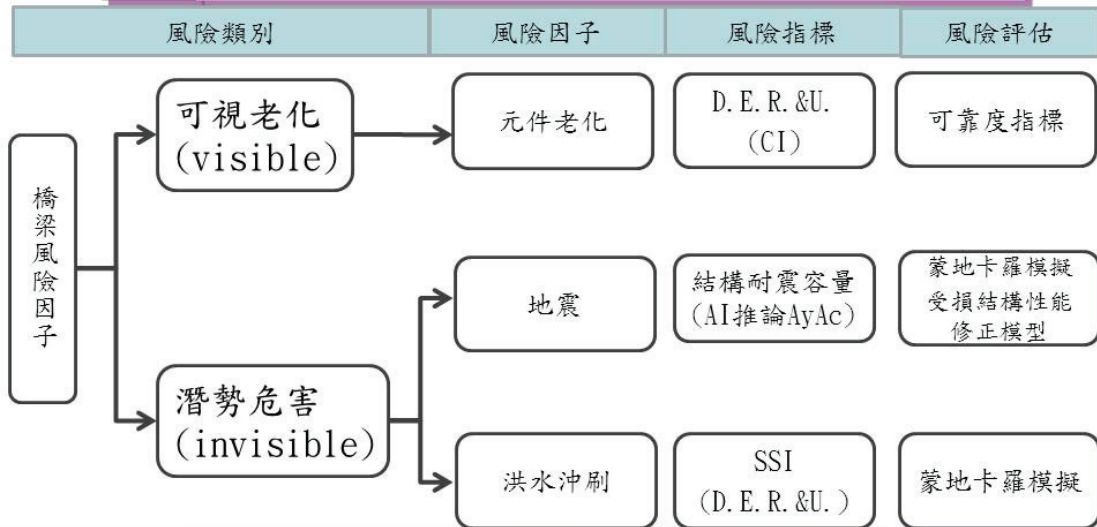
風險類別	檢測表單	選定原因	參考研究報告
地震	1.公路橋梁耐震評估表-落橋(E_d) 2.公路橋梁耐震評估表-強度韌性(E_f) 3.TELES(T)	此研究報告為對檢測表單最新之探討	1.張國鎮等人，公路橋梁耐震評估及補強準則之研究，交通部公路總局，民國98年。 2.公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，交通部運輸研究所，民國100年。
洪水沖刷	3.公路橋梁耐洪評估表	此研究報告結果為評估耐洪能力最新的評估表單	1.王仲宇等，訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究，交通部運輸研究所，民國98年。
元件老化	1.DERU橋梁定期檢測表(D)	為台灣地區隊元件老化唯一的檢測方式與表單	1.台灣地區橋梁管理資訊系統



執行步驟

二

橋梁風險因子辨識-3.橋梁因子彙整及分類



執行步驟

二

橋梁風險因子辨識-3.橋梁因子彙整及分類

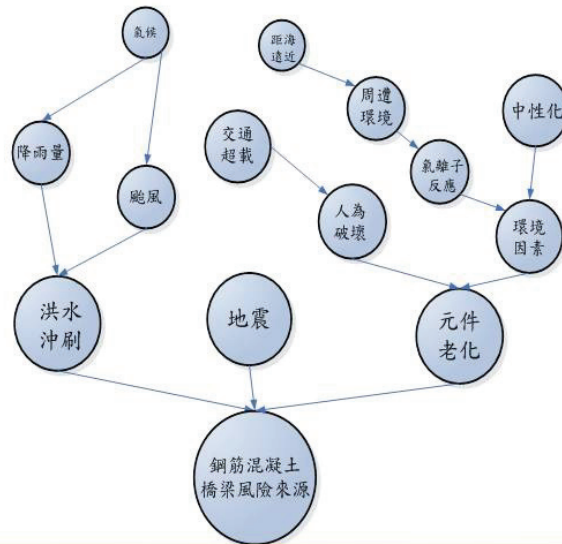
		主要構件(安全性)	次要構件(服務性)		
11 項		3. 河道	1. 引道路堤	9 項	
		5. 橋台基礎或沉箱	2. 引道護欄		
		6. 橋台	4. 引道路堤保護措施		
		12. 橋墩保護設施	7. 翼牆/擋土牆		
		13. 橋墩基礎	8. 摩擦層		
		14. 橋墩墩體	9. 橋面板排水設施		
		15. 支承墊	10. 緣石及人行道		
		16. 止震塊/防震拉桿	11. 欄杆及護欄		
		18. 主構件(大樑)	17. 伸縮縫		
		19. 副構件(橫隔樑)			
		20. 橋面板、鉸接版			



執行步驟

二

橋梁風險因子辨識-4.建立風險因子及影響圖



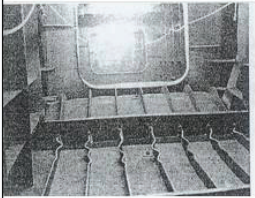
執行步驟

二

橋梁風險因子辨識-4.建立風險因子及影響圖

風險	破壞模式	代號	風險	破壞模式	代號
地震	變型	d1	元件老化	混凝土裂縫	d17
	傾斜	d2		混凝土破損	d18
	傾倒	d3		混凝土塊狀剝落	d19
	位移	d4		混凝土塊狀剝離	d20
	沉陷隆起	d5		混凝土碎裂	d21
	剪力破壞	d6		混凝土蜂窩	d22
	落橋	d7		混凝土白華	d23
	基礎承载力不足	d8		混凝土剝落	d24
	韌性不足	d9		鋼筋外露	d25
洪水	沖淤破壞	d10		混凝土間隙(孔洞)	d26
	束縮沖刷破壞	d11		基槽外露	d27
	局部沖刷破壞	d12		腐蝕	d28
	河床掏空	d35		螺栓鬆脫	d29
元件老化	沖刷或侵蝕	d36		偏移	d30
	滑動	d13		支承座損壞	d31
	裸露	d14		遺失	d32
	掏空	d15		老化	d33
	裂縫	d16		墊片損壞	d34

二 橋梁風險因子辨識-4.建立風險因子及影響圖

構件老化	混凝土破損	d18	 (國研院國震中心)	風險	破壞模式	代號	相關圖像
	混凝土鱗狀剝落	d19	 (國研院國震中心)	地震	變型	d1	 (李有豐, 2000)
洪水	河床掏空	d35	 (國研院國震中心)		傾斜	d2	 (國研院國震中心)

破壞模式範例圖

57

參

執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

地震損壞型式

橋梁構件	破壞模式(d)						
	d1	d2	d4	d5	d6	d7	d8
6. 橋台		◎	◎				◎
12. 橋墩保護措施		◎		◎	◎	◎	◎
13. 橋墩基礎		◎		◎	◎	◎	◎
14. 橋墩墩體		◎		◎	◎	◎	◎
18. 主構件(大樑)	◎						
19. 副構件(橫隔樑))	◎						
20. 橋面版、鉸接版							◎



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

洪水破壞型式

橋梁構件	破壞模式(d)				
	d10	d11	d12	d35	d36
13. 橋墩基礎		⊙	⊙	⊙	⊙
14. 橋墩墩體	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

元件老化損壞型式(1/2)

橋梁構件	破壞模式(D)												
	d2	d5	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23
5. 橋台基礎	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙
6. 橋台	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙
12. 橋墩保護措施	⊙	⊙	⊙				⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
13. 橋墩基礎	⊙	⊙	⊙				⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
14. 橋墩墩體	⊙	⊙	⊙				⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
15. 支承墊						⊙							
16. 止震塊/防震拉桿						⊙							
18. 主構件(大樑)						⊙			⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
19. 副構件(橫隔樑)						⊙			⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
20. 橋面版、鉸接版							⊙	⊙			⊙	⊙	⊙



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

元件老化損壞型式(2/2)

橋梁構件	破壞模式(D)												
	d24	d25	d26	d27	d28	d29	d30	d31	d32	d33	d34	d35	d36
5. 橋台基礎	◎	◎											
6. 橋台	◎	◎											
12. 橋墩保護措施		◎		◎									
13. 橋墩基礎		◎		◎									
14. 橋墩墩體		◎		◎									
15. 支承墊					◎	◎	◎	◎	◎	◎			
16. 止震塊/防震拉桿						◎	◎		◎	◎	◎		
18. 主構件(大樑)		◎											
19. 副構件(橫隔梁)		◎											
20. 橋面版、銜接版			◎										



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

地震 公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-落橋評估															
橋梁構件單位	5橋台基礎 6橋台		12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體					15主承墊	16止震塊/ 防震拉桿	18主構件(大樑) 19副構件(橫隔梁)	20橋面版、 銜接版	9項服務性 構件	3河道	橋梁 整體	
破壞模式 檢測項目	d4 位移	d5 沉陷	d2 傾斜	d4 位移	d2 傾斜	d6 剪力破壞	d8 基礎 承载力	d9 韌性 不足	材料老化	材料老化	d1 變形	d4 位移	材料老化	沖刷	d7 落橋
是否為第一順活動斷層近域 (與現有規範相比, 耐震能力不足)															◎
地震類別 (與現有規範相比, 耐震能力不足)															◎
相鄰橋墩間地表土質變化	◎		◎	◎	◎										◎
液化可能性 (與現有規範相比, 耐震能力不足)															◎
相鄰兩震動單位結構系統差異性	◎		◎	◎	◎							◎			◎
外懸梁	◎		◎								◎				◎
築橋墩或橋台之斜角 (整體耐震能力下降(強度, 韌性))	◎		◎	◎						◎					◎
順流坡度S(%)	◎		◎							◎					◎
兩墩間(半跨≤100m或交角≥30°)	◎		◎	◎	◎										◎
基礎沉陷程度	◎	◎	◎	◎	◎										◎
主承狀況	◎		◎	◎	◎										◎
防落長度	◎		◎												◎
防落設施	◎		◎												◎
其他異常現象															◎





執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

地震													
公路橋梁地震破壞模式對應檢測項目-強度韌性評估													
構件名稱	5橋台基礎 6橋台			12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體					15主梁墊	16主梁護/防震設備	18主橋樑(大梁) 19副橋樑(橋樑梁)	20橋面版、 縱橫板	3河運
破壞模式	d4 位 移	d5 沉 陷	d2 傾 斜	d4 位 移	d6 剪 力 破 壞	d8 基 礎 承 載 力	d9 韌 性 不 足		材料老化	材料老化	d1 變形	d4 位 移	材料老 化
檢測項目													
是否為第一類活動斷層近域 (與現有規範相比, 耐震能力不足)													
地震類別 (與現有規範相比, 耐震能力不足)													
液化可能性(與現有規範相比, 耐震能力不足 (84年後規範要考慮液化問題))													
基礎與墩台之斜角 (整體耐震能力下降(強度, 韌性))	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ				Ⓢ		
震動單位中橋樑、墩臺高度與寬度之比 (飽和地震力)				Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ						
橋樑或墩式橋樑高度比R						Ⓢ							
橋樑或墩式橋樑靜不定度							Ⓢ						
基礎與墩臺	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ						
柱底與墩臺(墩式橋樑)					Ⓢ		Ⓢ						
斷面與墩臺					Ⓢ		Ⓢ						
主梁斷面與墩臺(墩式橋樑)					Ⓢ		Ⓢ						
橋樑與基礎多元化程度	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ						
墩式橋樑在斷面與墩臺					Ⓢ		Ⓢ						
縱、橫向斷面比與墩臺(墩式橋樑)					Ⓢ		Ⓢ						
主梁斷面與墩臺(一般橋樑)					Ⓢ		Ⓢ						
其他異常現象													
主梁狀況													



執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

洪水													
公路橋梁耐洪破壞模式對應檢測項目													
構件名稱	5橋台基礎 6橋台			12橋墩保護措施 13橋墩基礎 14橋墩墩體					15主梁墊	16主梁護/防震設備	18主橋樑(大梁) 19副橋樑(橋樑梁)	20橋面版、 縱橫板	3河運
破壞模式	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害	材料老化 或 地震危害
檢測項目													
橋梁竣工圖													
結構穩定度分析結果													
衛星影像或航照圖													
河床斷面測量結果或相關報告													
歷史災損及冲刷嚴重情形													
冲刷相關構件之DERGI評分													
SSI指標:													
上游側河堤或水庫等設施													
基礎型式													
橋梁是否位於河川彎曲處或束縮處													
河床下降情形													
h= 公尺													
河床材料													
主河道位置													
跌水效應(高程差Dh: 公尺)													
橋墩(基)方向與河川流向間之角 度 θ°													
阻水面積比R1													
基礎阻水程度													
橋墩阻水情形													
be: 橋墩等值寬度													
SSI指標評分													
橋梁工況													
橋梁工況													

執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

元件老化損壞型式對應檢測項目

[illegible]

參

執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

表單間重複之評估項目

TELES (T)	DERU (D)	公路橋梁耐震評估表- 落橋(E_d)	公路橋梁耐震評估表- 強度韌性(E_p)	公路橋梁耐震評估表(S)
—	3.河道	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分
—	6.橋台	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分
—	12.橋墩保護設施	—	—	6.沖刷相關構件之DERU評分
基礎裸露__公尺	5.橋台基礎	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度
基礎裸露__公尺	13.橋墩基礎	G110基礎裸露程度	G208基礎裸露程度 G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分 16.基礎裸露程度
—	14.橋墩墩體/帽梁	—	G212橋柱與基礎劣化程度	6.沖刷相關構件之DERU評分
—	15.支承/支承墊	G111支承狀況	—	—

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

重複評估項目的代號定義

代號	對應表單	檢測項目
T1	TELES	基礎裸露__公尺
D3	DER&U	3.河道
D5	DER&U	5.橋台基礎
D6	DER&U	6.橋台
D12	DER&U	12.橋墩保護措施
D13	DER&U	13.橋墩基礎
D14	DER&U	14.橋墩墩體/帽梁
D15	DER&U	15.支承/支承墊
E _f G110	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G110基礎裸露深度
E _d G208	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G208基礎裸露深度
E _d G212	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	G212橋柱與基礎劣化程度
E _f G111	公路橋梁耐震評估檢查表(落橋評估)	G111支承狀況
S6	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表	6.沖刷相關構件之DER&U評分 包含(3.河道、5.橋台基礎、6.橋台、12.橋墩保護措施、13.橋墩基礎、14.橋墩墩體/帽梁)
S16	跨河公路橋梁沖刷潛勢評估表	16.基礎裸露深度

三 分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目

		更新項目													
		T1	D3	D5	D6	D12	D13	D14	D15	E _f G 110	E _d G 208	E _d G 212	E _f G 111	S6	S16
填 表 項 目	T1	◎		◎			◎			◎	◎	◎		◎	◎
	D3		◎											◎	
	D5			◎								◎		◎	
	D6				◎							◎		◎	
	D12					◎								◎	
	D13						◎					◎		◎	
	D14							◎				◎		◎	
	D15								◎				◎		
	E _f G110	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G208	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◎			◎	◎
	E _d G212			◎	◎		◎	◎				◎		◎	
	E _f G111								◎				◎		
	S6		◎	◎	◎	◎	◎	◎				◎		◎	
	S16	◎		◎						◎	◎				◎

三

分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以填表項目TELES為例

代號	說明	轉換式								
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。 若未知實際初始基礎深度時，則以較保守之方式估計基礎長度為10公尺。	TELES 基礎裸露：____公尺 DERU <table><tr><th>等級</th><th>定義</th></tr><tr><td>2</td><td>橋基尚未露出</td></tr><tr><td>3</td><td>橋基露出未超過橋長1/4</td></tr><tr><td>4</td><td>橋基露出超過橋長1/4</td></tr></table>	等級	定義	2	橋基尚未露出	3	橋基露出未超過橋長1/4	4	橋基露出超過橋長1/4
等級	定義									
2	橋基尚未露出									
3	橋基露出未超過橋長1/4									
4	橋基露出超過橋長1/4									
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	參考D5								
E _f G110	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“E _f G110”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。	此項目僅需將填表項目更新至表中再計算即可								
E _d G212	若以知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	參考D5								
S6	若以知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	參考D5								
S16	因檢測“T1”中所填的基礎裸露深度，與“S16”檢測項目相同故可以不須轉換即可更新。	參考D5								

參

執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以填D3(河道)為例

代號	說明	轉換式
S6	檢測項目與D3完全相同	無轉換問題

填表項目對應更新項目-以D5(橋台基礎)為例

代號	說明	轉換式
E _d G212	公路橋梁耐震評估檢查表(強度韌性評估)	與DER&U評分相同
S6	檢測項目與D5完全相同	無轉換問題



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以D6(橋台)為例

代號	說明	轉換式
E _d G212	填表項目可參考DER&U中的評估方法	與DER&U評分相同
S6	檢測項目與D6完全相同	無轉換問題

填表項目對應更新項目-以D12(橋墩保護措施)為例

代號	說明	轉換式
S6	檢測項目與D12完全相同	無轉換問題



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以D13(橋墩基礎)為例

代號	說明	轉換式
E _d G212	填表項目可參考DER&U中的評估方法	與DER&U評分相同
S6	檢測項目與D13完全相同	無轉換問題

填表項目對應更新項目-以D14(橋墩墩體/帽梁)為例

代號	說明	轉換式
E _d G212	填表項目可參考DER&U中的評估方法	與DER&U評分相同
S6	檢測項目與D14完全相同	無轉換問題



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以D15(支承/支承墊)為例

代號	說明	轉換式																														
E _f G111	將D5填寫之(D、E)16種組合轉換為E _f G111表中的四個等級，參考(橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研發(1/4))可將矩陣分數分為四個等級區間。	橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研發(1/4) <table><tr><th>D \ E</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><th>1</th><td>0</td><td>7</td><td>21</td><td>41</td></tr><tr><th>2</th><td>15</td><td>28</td><td>48</td><td>68</td></tr><tr><th>3</th><td>35</td><td>55</td><td>75</td><td>88</td></tr><tr><th>4</th><td>62</td><td>82</td><td>94</td><td>100</td></tr></table> 公路橋梁耐震評估表(落橋) <table><tr><td rowspan="2">G 1 1 1 1</td><td rowspan="2">結構細部</td><td rowspan="2">支承狀況</td><td rowspan="2">4</td><td> 極差(1.0) 不良(0.67) 尚可(0.33) 良好(0) </td></tr><tr></tr></table>	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	G 1 1 1 1	結構細部	支承狀況	4	極差(1.0) 不良(0.67) 尚可(0.33) 良好(0)
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																												
G 1 1 1 1	結構細部	支承狀況	4	極差(1.0) 不良(0.67) 尚可(0.33) 良好(0)																												



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以E_fG110(基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式										
T1	填寫欄位時須特別註明h的數值	建議需紀錄E _f G110欄h的數值										
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	<table><tr><th colspan="2">DERU</th></tr><tr><th>等級</th><th>定義</th></tr><tr><td>2</td><td>樁基尚未露出</td></tr><tr><td>3</td><td>樁基露出未超過樁長1/4</td></tr><tr><td>4</td><td>樁基露出超過樁長1/4</td></tr></table>	DERU		等級	定義	2	樁基尚未露出	3	樁基露出未超過樁長1/4	4	樁基露出超過樁長1/4
DERU												
等級	定義											
2	樁基尚未露出											
3	樁基露出未超過樁長1/4											
4	樁基露出超過樁長1/4											
D6	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
D14	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
E _d G208	與E _f G110評估項目相同	G208基礎裸露深度										
S6	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出DER&U中的D值	參考D5轉換式										
S16	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出DER&U中的D值，再由h計算出該欄位	建議需紀錄E _f G110欄h的數值										



執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以 E_dG208 (基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式										
T1	填寫欄位時須特別註明h的數值	建議需紀錄E _d G208欄h的數值										
D5	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。	<table><tr><td colspan="2">DERU</td></tr><tr><td>等級</td><td>定義</td></tr><tr><td>2</td><td>樁基尚未露出</td></tr><tr><td>3</td><td>樁基露出未超過樁長1/4</td></tr><tr><td>4</td><td>樁基露出超過樁長1/4</td></tr></table>	DERU		等級	定義	2	樁基尚未露出	3	樁基露出未超過樁長1/4	4	樁基露出超過樁長1/4
DERU												
等級	定義											
2	樁基尚未露出											
3	樁基露出未超過樁長1/4											
4	樁基露出超過樁長1/4											
D6	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
D13	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
D14	若已知原基礎長度，則可算出D值(劣化程度)。											
E _f G110	與EdG208評估項目相同	G208基礎裸露深度										
S6	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出DER&U中的D值	參考D5										
S16	若填寫欄位時有註明h值，則可推算出DER&U中的D值，再由h計算出該欄位	建議需紀錄E _d G208欄h的數值										



執行步驟

三 分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以 E_dG212 (橋柱與基礎劣化程度)為例

代號	說明	轉換式
D5	此檢測項目可參考DER&U值	無轉換問題
D6	此檢測項目可參考DER&U值	無轉換問題
D13	此檢測項目可參考DER&U值	無轉換問題
D14	此檢測項目可參考DER&U值	無轉換問題
S6	跨河公路橋梁冲刷潛勢評估表S6又與DER&U數值相同，因此可以直接參考DER&U來檢測此項目	無轉換問題



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以E_rG111(支承狀況)為例

代號	說明	轉換式
E _r G111	由D15，16個等級轉換為E _r G111表中的四個等級，參考1-4可將矩陣分數分為四個等級區間。	建議用DERU來直接評分

填表項目對應更新項目-以S6(沖刷相關構件之DER&U評分)為例

代號	說明	轉換式
D5	此檢測項與DER&U檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D6	此檢測項與DER&U檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D12	此檢測項與DER&U檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D13	此檢測項與DER&U檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題
D14	此檢測項與DER&U檢查內容相同	檢測項目相同，無轉換的問題



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係- 5.橋梁各構件破壞模式分析

填表項目對應更新項目-以S16(基礎裸露深度)為例

代號	說明	轉換式
T1	由TELES的數值計算S16	
E _r G110	填寫此項目時會記錄h數值，可用來計算E _r G110項目	
E _d G208	填寫此項目時會記錄h數值，可用來計算E _d G208項目	



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-6.估計衝擊影響程度

本計畫將橋梁破壞後所花費維修成本達原設計水準視為衝擊影響程度。

根據上步驟所找出橋梁破壞模式，即可找尋對應之維修工法，並估算破壞所需維護經費，視為風險對公路管理單位所造成之衝擊影響。



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-6.估計衝擊影響程度

適用構件	適用範圍	適用損壞型式	補強技術	材料種類	材料易取性	工法施工速度	施工場所限制性	使用年限	強度需求
3、6、13 14、15、 16、18、 20	適合小断面之修復	D16裂縫 D19混凝土剝落 D25鋼筋外露	a. 表面修補工法	水泥砂漿、 環氧砂漿、 瀝青、甲基 丙稀酸脂類 防銹材	極容易	快，視 現場施 工環境 而定	低	5-10年	無明確需求 以恢復構件 單元外觀及 維持原構件 單元強度
3、6、13 14、15、 16、17、 18、20	適合裂縫之修復抑 制裂縫擴大	D16裂縫 D19混凝土剝落 D25鋼筋外露	b. 壓力灌漿工法	水泥灌漿材 環氧樹脂灌 漿材、甲基 丙稀酸脂類	容易	3.5-4.5 m/工作 天	低	5-10年	無明確需求 以恢復構件 單元外觀及 維持原構件 單元強度
3、6、13 14、18、 20	將構件部 分或全部 拆除而重 新澆注混 凝土或針 對混凝土 構件局部 剝落而修 復	D1變型 D16裂縫 D21混凝土碎裂	c. 重新澆注工法	水泥砂漿、 混凝土	容易	快，視 現場施 工環境 而定	中	10-25年	維持原構件 單元強度及 耐久性



執行步驟

三

分析橋梁風險因子之因果關係-6.估計衝擊影響程度

	維護工法	構件單元	單位	單價 (元)
a表面封閉修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面板/防落裝置/支承	處	710
		橋墩柱	m ²	1000
		基礎版/地工	m ²	1000
		橋台	m ²	1000
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270
b壓力灌漿修補	混凝土裂縫修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋面板/防落裝置/支承	處	830
		橋墩柱	m ²	1300
		基礎版/地工	m ²	1300
		橋台	m ²	1500
	鋼筋外露修補	大梁/橫隔梁/帽梁/橋墩柱	處	270



執行步驟

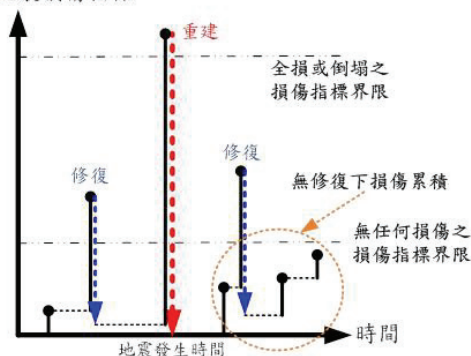
四

橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

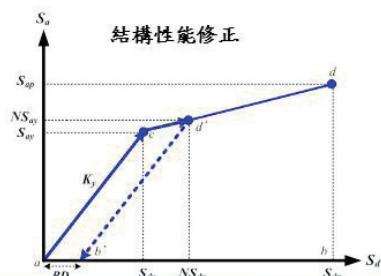
(1) 潛勢危害-地震損傷評估指標($D_{PE&A}$)

$$D_{PE\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE$$

$D_{PE\&A}$ 地震損傷指標



$D_{PE\&A}$: 地震損傷指標(若 $D_{PE\&A} \geq 1.0$, 結構物可視為全損或倒塌); δ_M : 地震作用下結構物之最大反應變位; δ_u : 結構物之極限變位; F_y : 靜載重作用下結構物之降伏基底剪力; dE : 消散能量增量; β : 反覆載重影響係數(一般鋼筋混凝土建築物為設為0.05)。



四 橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

地震常見損傷模式對部位及橋梁之影響

損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
傾斜、位移 基礎承载力 不足	傾斜	若持續傾斜對橋梁後續影響甚鉅，進而影響結構安全性能
剪力破壞	當發生彎矩降伏後，混凝土的剪力強度降低，極易發生剪力破壞	橋墩柱能力不足發生破壞，進而影響結構安全性能
變型	喪失強度	橋墩柱能力不足發生破壞，進而影響結構安全性能
基礎承载力 不足	造成下部結構傾斜、位移	發生落橋情形，而結構安全性能喪失



執行步驟

四 橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

(2) 潛勢危害-洪水沖刷SSI指標

$$SSI = \frac{Ic_3 \times w_3 + Ic_5 \times w_5 + Ic_6 \times w_6 + Ic_{12} \times w_{12} + Ic_{13} \times w_{13} + Ic_{14} \times w_{14}}{w_3 + w_5 + w_6 + w_{12} + w_{13} + w_{14}}$$

六項構件 Ic_{ij} 之計算法與 PI (優選指標) 相同

出處: 中央大學橋梁中心, 民國99年

洪水沖刷指標SSI

3. 河道
5. 橋台基礎
6. 橋台
12. 橋墩保護設施
13. 橋墩基礎
14. 橋墩墩體

四 橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

(2) 潛勢危害-洪水(P_s)

洪水常見損傷模式對部位及橋梁之影響

損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
沖淤破壞	河道中長期之水流沖刷及淤積，可能導致橋墩及橋台產生破壞	橋墩遭受洪水侵蝕沖刷作用勢必影響基礎之承載能力，進而影響橋梁結構安全。
束縮沖刷破壞	由於河道斷面的束縮，或因水流通過橋墩時通水斷面積減少之影響，使得水流流況於近橋墩及基礎處可能產生超臨界流或水躍情形造成橋墩及基礎的破壞	橋墩基礎遭局部沖刷進而導致基礎裸露，基礎承載能力及橋梁穩定亦隨之而降低。
局部沖刷破壞	河道中由於水流長期沖刷影響，有可能對橋墩及基礎產生局部沖刷效應，進而造成其破壞	橋墩基礎遭局部沖刷進而導致基礎裸露，基礎承載能力及橋梁穩定亦隨之而降低。
河床掏空、沖刷或侵蝕	橋墩基礎沖刷，可能造成橋帽基礎露出	橋墩遭受洪水侵蝕沖刷作用勢必影響基礎之承載能力，進而影響橋梁結構安全。

臺灣科技大學營建工程系



執行步驟

四 橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

(3) 可視老化(元件老化)

橋梁構件狀況指標

構件 i 之狀況值

橋梁整體狀況指標

$$I_{C_{ij}} = 100 - 100 \frac{D \times E \times R^a}{(4+4) \times 4^a}$$

$$I_{C_i} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{C_{ij}}}{n}$$

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^{20} I_{C_i} \times w_i}{\sum_{i=1}^{20} w_i}$$

D 、 E 、 R ：表示D.E.R.&U.檢測表格之各構件評分結果，分數範圍為 0-4分。

n ：橋梁各構件之總數。

w_i ：構件 i 相對橋梁之權重。

出處：TBMS

臺灣科技大學營建工程系

86

四 橋梁風險因子定性分析-7.橋梁性能指標建立

(2) 潛勢危害-元件老化 (P_D)

構件老化常見損傷模式對部位及橋梁之影響

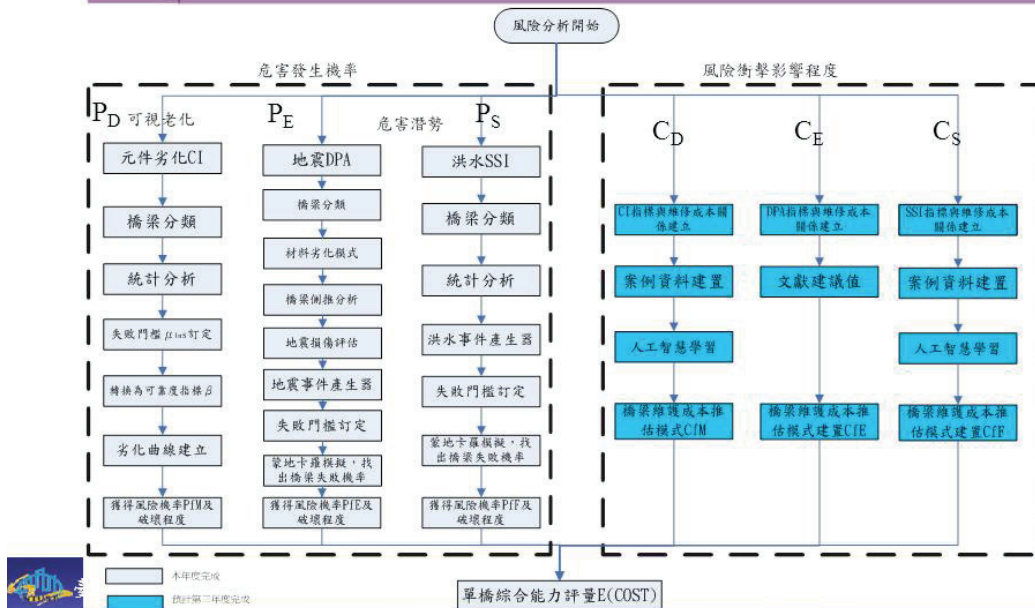
損傷模式	對部位造成影響	對橋梁功能造成影響
傾斜	傾斜	若持續傾斜對橋梁後續使用功能性影響甚鉅
裂縫	開裂寬度小，但沒有水穿透或鋼筋鏽蝕現象。	對橋梁整體無迫切影響
混凝土塊狀剝落	造成鋼筋裸露，進而腐蝕	如無處理，將影響橋梁使用功能性；腐蝕嚴重者會影響結構安全性能
混凝土蜂窩	鋼筋外露，且可能造成腐蝕現象。	對橋梁整體無迫切影響
混凝土白華	混凝土之白華顯示遭到硫酸鹽侵蝕且可能造成腐蝕現象。	如無處理，威脅橋梁使用功能性
鋼筋外露	鋼筋完全露出，且有腐蝕現象。	威脅橋梁整體使用功能性；腐蝕嚴重者會影響結構安全性能

臺灣科技大學營建工程系



執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析



88

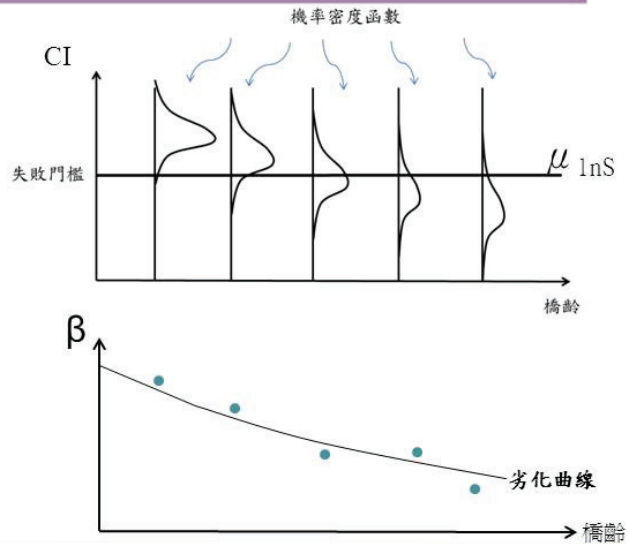


執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化) P_D

- 橋梁分類
- 統計分析(CI與橋齡)
- 失敗門檻 $\mu_{\ln S}$ 訂定
- 轉換為可靠度指標 β
- 劣化曲線建立



執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化) P_D

- 橋梁分類
將橋梁檢測紀錄依橋梁形式分為11類

橋型	數量	橋型	數量
桁架橋	63	π橋	115
矩形箱涵	187	版橋	8319
斜張橋	62	拱橋	289
箱型橋	1201	剛架橋	243
簡支梁	130	梁式橋	31778



執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化) P_D

a. 橋梁分類

在將橋梁檢測紀錄依大氣環境特性(距海遠近)及重複載重(車流量)分為十二類，分別進行分析。

所有橋

距海 資料 筆數 車流量				
	<300(m)	300~1000(m)	1000~3000(m)	>3000(m)
<6000(次/日)	6,668	2,964	5,965	38,255
6000~12000 (次/日)	360	928	499	1,572
>12000(次/日)	0	0	0	500



執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化) P_D

a. 橋梁分類

在將橋梁檢測紀錄依大氣環境特性(距海遠近)及重複載重(車流量)分為十二類，分別進行分析。

以梁式橋為例

距海 資料 筆數 車流量				
	<300(m)	300~1000(m)	1000~3000(m)	>3000(m)
<6000(次/日)	127	75	151	798
6000~12000 (次/日)	5	15	3	39
>12000(次/日)	0	0	0	10



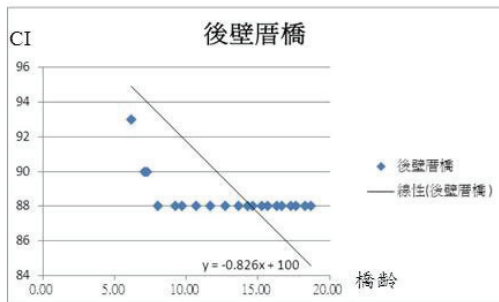
執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

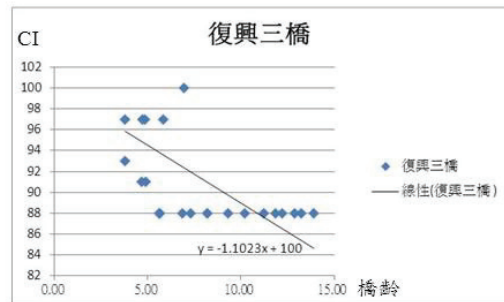
(1) 可視老化(元件老化) P_D

b. 統計分析(CI與橋齡)

根據檢測歷史資料，將每座橋的橋齡(X軸)與CI(Y軸)資料匯集成圖，並進行迴歸分析。找出各類型橋梁CI下降趨勢。



以後壁厝橋為例(版橋)



以復興三橋為例(梁式橋)



執行步驟

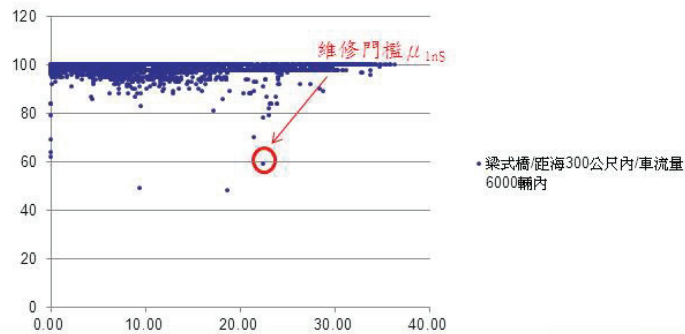
五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化) P_D

c. 失敗門檻 μ_{lnS} 訂定

根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時CI為建議維修門檻。

梁式橋/距海300公尺內/車流量6000輛內





執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

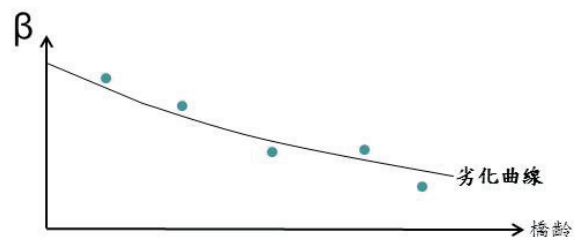
(1) 可視老化(元件老化) P_D

d. 轉換為可靠度指標

以蒙地卡羅模擬，找出各橋齡之可靠度 β

e. 劣化曲線建立

以相同步驟建立各群組之劣化曲線。



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(1) 可視老化(元件老化)-老化造成維修機率(P_D)

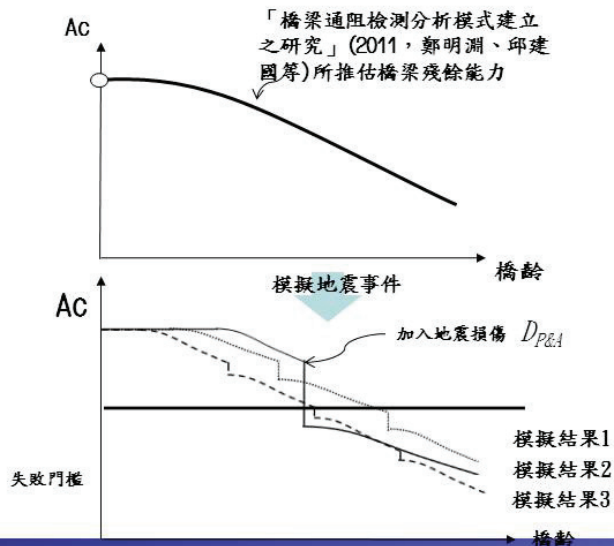
橋名	平均車流量	距海遠近	結構型式	工程處	工務段	老化造成維修機率
霧鹿橋	200	34151	Π橋	三區	關山	100
冬山河橋	1537	5838	Π橋	四區	南澳	100
長春橋	1724	5600	Π橋	四區	洛韶	100
小橋	1216	679	版橋	三區	台東	79.92
北勢寮1號橋	4572	953	版橋	三區	楓港	78.38
三九九號橋	2883	814	版橋	三區	楓港	76.33
茅橋	1216	330	版橋	三區	台東	73.71
小馬橋	1216	371	版橋	三區	台東	67.93
溫寮溪橋WH38	2305	1082	箱型橋	二區	台中	64.89
台61線 163k+300-180k+500	1057	1136	箱型橋	二區	彰化	64.37
第三田中央橋	7605	19970	版橋	二區	彰化	0.34
富興橋	8035	13229	梁式橋	四區	玉里	0.16
富貴橋	2305	494	梁式橋	一區	景美	0.05

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

- 橋梁分類
- 材料劣化模式
- 橋梁側推分析(A_y, A_c)
- 地震損傷評估($D_{P&A}$)
- 地震事件產生器
- 失敗門檻訂定
- 蒙地卡羅模擬，找出橋梁失敗機率

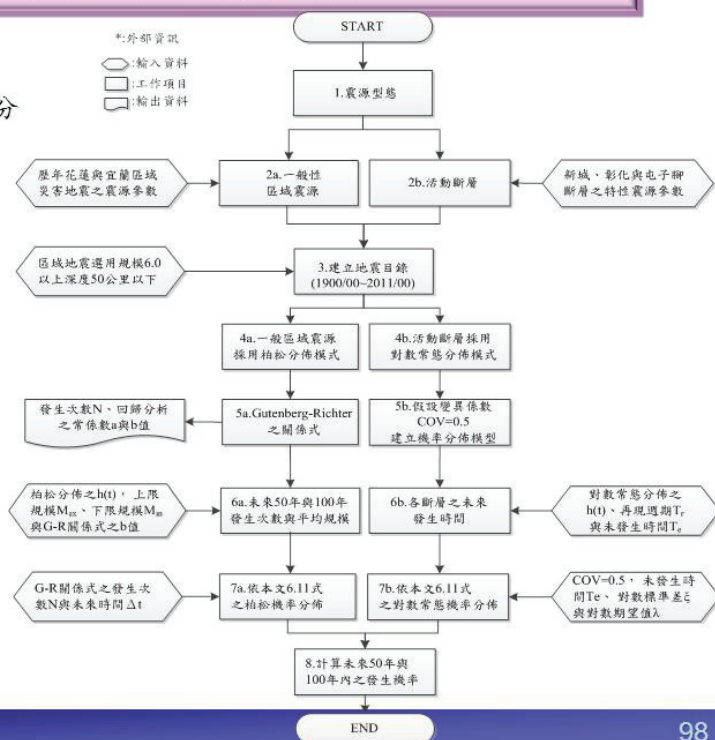
PS. 步驟b、c為「鄭明淵、邱建國等(2011)，橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」成果



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

潛勢地震發生機率模型 - 分析流程

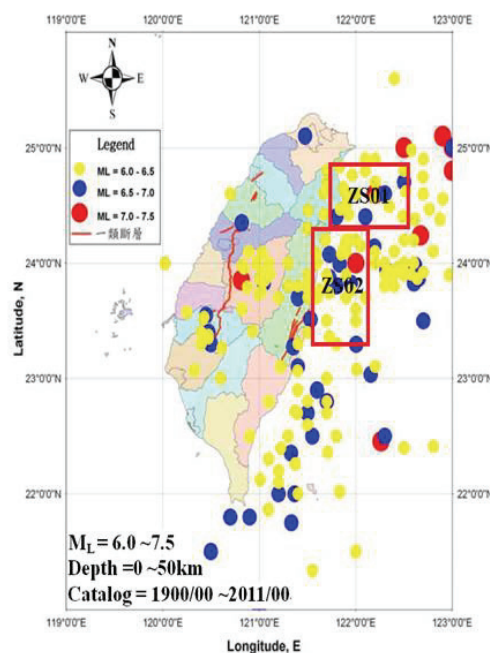
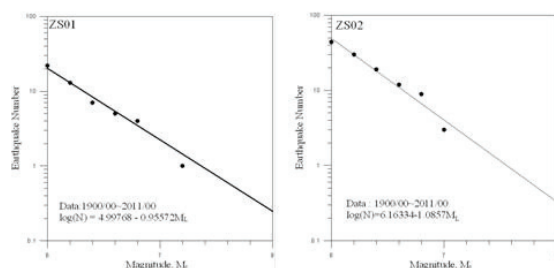


五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

震源型態及臺北盆地效應－區域地震

依據選定ZS01與ZS02區域範圍之地震目錄，經由G-R關係式回歸之發生次數N與常係數b值，可做為未來該區域地震發生機率、發生次數及規模大小之分析參數。



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

區域地震ZS01 - 新北市中和區

$$p(m) = b \ln 10 \frac{10^{-b(m-M_{min})}}{1 - 10^{-b(M_{max}-M_{min})}}$$

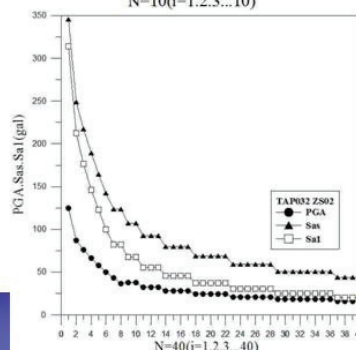
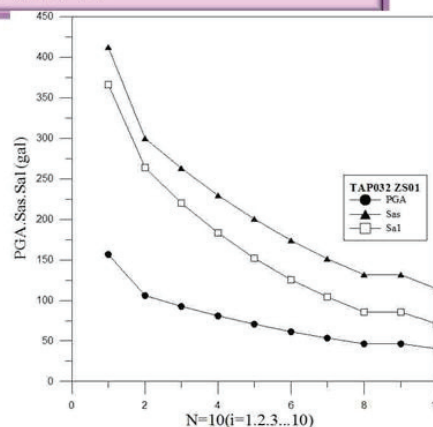
$$F(m) = \frac{10^{-b(m-M_{min})} - 10^{-b(M_{max}-M_{min})}}{1 - 10^{-b(M_{max}-M_{min})}}$$

$$pi(m) = \frac{\tilde{N}!}{(\tilde{N}-i)!(i-1)!} [F(m)]^{i-1} [1-F(m)]^{\tilde{N}-i} p(m)$$

$$E[M_i] = \int_{M_{min}}^{M_{ax}} m p_i(m) dm$$

未來發生平均規模

M _L 1	M _L 2	M _L 3	M _L 4	M _L 5	M _L 6	M _L 7	M _L 8	M _L 9	M _L 10
7.2	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.2	6.0



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

斷層地震資料乃採用文獻(國震中心報告書, 2005)建議, 依其資料選定新城斷層、屯子腳斷層及米崙斷層; 未來較可能發生地震且對臺北盆地造成威脅性災害地震。文獻(國震中心報告書, 2005)中可查得各斷層地震之再現週期、發生年份、規模及深度等地震特性參數; 並可推算該斷層地震從發生後至今之未發生等待時間, 以做該斷層未來風險函數(Hazard Function)之分析。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi(T_r)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}\right)^2\right], (0 \leq T_r \leq \infty)$$

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du \Rightarrow \Phi\left[\frac{\ln(T_r) - \lambda}{\xi}\right]$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

斷層編號	斷層名稱	本研究使用之參數				歷史地震	
		Mu	R.P	Te	λ	ξ	
1	新城斷層	6.8	1000	307	6.796	0.4724	**
2	屯子腳斷層	6.9	300	78	5.592	0.4724	1935
3	米崙斷層	7.0	135	61	4.794	0.4724	1951

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

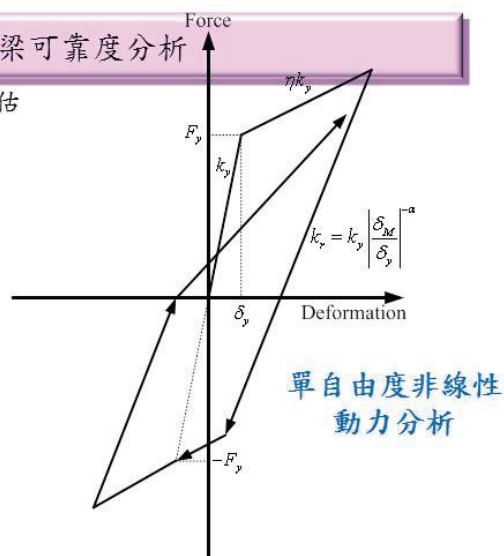
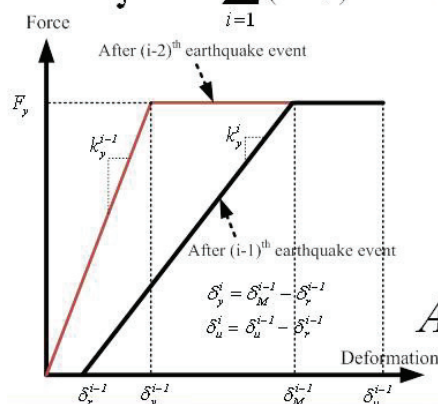
地震損傷評估

$$D_{P\&A} = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{F_y \delta_u} \int dE$$

$$\delta_M = \max(\delta_{1M}, \delta_{2M}, \dots, \delta_{iM})$$

$$\int dE = \sum_{i=1}^N (\Delta E_i)$$

累積損傷



$$\begin{aligned} & F_y - F_y^1 - F_y^2 - \dots - F_y^i \\ & K_y - K_y^1 - K_y^2 - \dots - K_y^i \\ & \delta_y - \delta_y^1 - \delta_y^2 - \dots - \delta_y^i \\ & \delta_u - \delta_u^1 - \delta_u^2 - \dots - \delta_u^i \end{aligned} \Rightarrow A_c, A_y \Rightarrow A_c^i, A_y^i$$

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

地震損傷指標定義

Parkの損傷度	損傷の程度
0 ~ 0.1	わずかな損傷 - まばらなひびわれ
0.1 ~ 0.2	軽微な損傷 - 小さなひびわれ
0.2 ~ 0.4	中程度の被害 - ひびわれ・剥離
0.4 ~ 1.0	大被害 - 圧壊・鉄筋の座屈
1.0 ~	崩壊 - 全体的、部分的崩壊

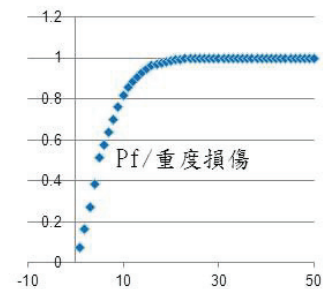
無損傷或微小損傷 ($C_{R0} = 0.0$)

輕度損傷 ($C_{R1} = 0.1$)

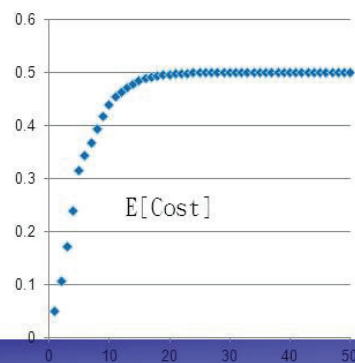
中度損傷 ($C_{R2} = 0.2$)

重度損傷 ($C_{R3} = 0.5$)

崩壞或倒塌 ($C_{R4} = 1.0$)



構造工學論文集 Vol. 44A (1998年3月)	土木学会
RC橋脚の地震被害と地震動および構造特性との関連性	
RELEVANCE OF EARTHQUAKE GROUND MOTION AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS TO DAMAGE OF REINFORCED CONCRETE PIER	
鈴木基行*・井林康**・藤原稔***・尾板芳夫****	
Motoyuki SUZUKI, Kou IBAYASHI, Minoru FUJIWARA and Yoshio OZAKA	



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

宜蘭縣三星鄉

$S(D/S) = 0.8$; $S(D/1) = 0.45$; $S(M/S) = 0.9$; $S(M/1) = 0.55$

三星橋

行車向(X)	側推結果 (tf-m)		降伏地表加速度(A_y)		崩塌地表加速度(A_c)		服務年 度	設計地表 加速度
	位移(cm)	基底剪力	PGA	位移(cm)	PGA	位移(cm)		
0%損失百分比	0.816	471.54	0.134	0.416	0.193	0.816	0	0.320
5%損失百分比	1.236	421.86	0.124	0.392	0.189	1.236	173	0.320
10%損失百分比	1.561	347.58	0.096	0.305	0.158	1.561	248	0.320
20%損失百分比	2.072	215.70	0.050	0.160	0.117	2.072	425	0.320
35%損失百分比	1.279	169.12	0.048	0.154	0.084	1.279	632	0.320
垂直型車向(Y)	側推結果 (tf-m)		降伏地表加速度(A_y)		崩塌地表加速度(A_c)		服務年 度	設計地表 加速度
	位移(cm)	基底剪力	PGA	位移(cm)	PGA	位移(cm)		
0%損失百分比	0.708	1066.10	0.220	0.346	0.347	0.708	0	0.320
5%損失百分比	1.230	961.22	0.209	0.322	0.359	1.230	173	0.320
10%損失百分比	1.556	796.68	0.162	0.257	0.307	1.556	248	0.320
20%損失百分比	2.060	504.30	0.084	0.135	0.200	2.060	425	0.320
35%損失百分比	1.276	397.94	0.081	0.130	0.159	1.276	632	0.320

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(2) 潛勢危害-地震(P_E)

- 橋名: 三星橋 (宜蘭縣三星鄉), 第二類地盤
 $S(D/S) = 0.8$; $S(D/1) = 0.45$; $S(M/S) = 0.9$; $S(M/1) = 0.55$
- $A_y (T=0) = 0.134 \text{ g}$, $A_c (T=0) = 0.193 \text{ g}$;
 $A_y (T=173\text{y}) = 0.124 \text{ g}$, $A_c (T=173\text{y}) = 0.189 \text{ g}$;
- 初始降伏位移: 0.416 cm
推求其初始振動基本週期: $0.223 \text{ sec } (T_{yo})$
- 因為 T_{yo} 小於 $T(D/O) = 0.45 * 1.1 / 0.8 = 0.618 \text{ sec}$
 $S_{ay} = 2.5 * 0.134 = 0.335 \text{ g}$;
 $F_{uo} = A_c / A_y = 0.193 / 0.134 = 1.44$; ($D_{uo} = 1.54$)

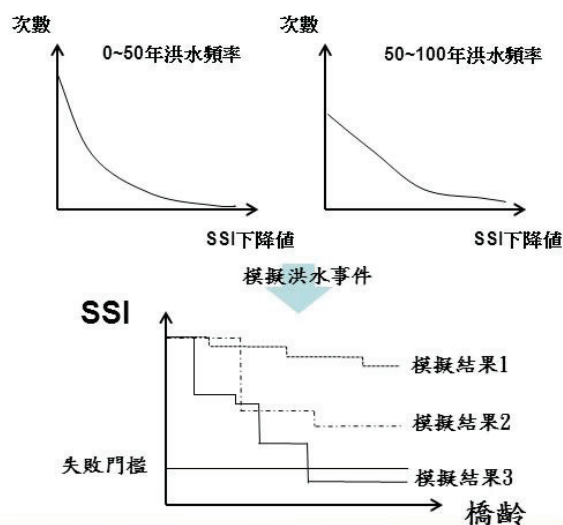


執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(3) 潛勢危害-洪水沖刷(P_S)

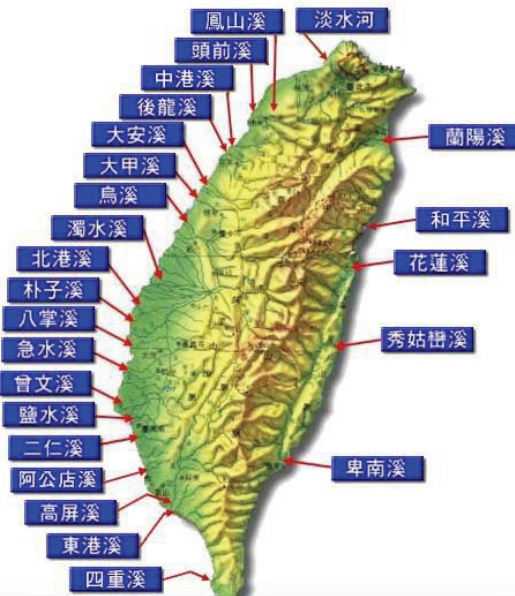
- 橋梁分類(所在流域)
- 統計分析: 根據每年最大洪水發生頻率對應SSI指標下降
- 洪水事件產生器
- 失敗門檻訂定
- 蒙地卡羅模擬, 找出橋梁失敗機率(範例: $1/3$)



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(3) 潛勢危害-洪水沖刷(P_S)

a. 橋梁分類(所在流域)



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

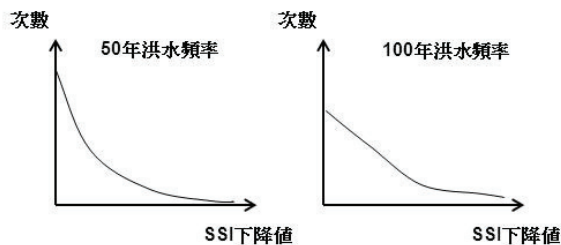
(3) 潛勢危害-洪水沖刷(P_S)

b. 統計分析：

根據每年最大洪水發生頻率
對應SSI指標下降

c. 洪水事件產生器

根據不同的洪水重現期，在橋梁生命週期中產生不同的洪水事件。



洪水重現期	1年	2年	5年	20年	50年	200年
淡水河			2			
鳳山溪		1	7			
頭前溪		1				
中港溪		3				
後龍溪		1				
大安溪		10				
大甲溪		9				
烏溪	1	1				
濁水溪				18		30
北港溪		13				
朴子溪			0			
八掌溪			3			
急水溪			2			
曾文溪	1					
鹽水溪	1					
二仁溪		1				
高屏溪					3	
東港溪	1					
四重溪		3				
卑南溪	2					
秀姑巒溪	1					
花蓮溪	1					
和平溪			11			
蘭陽溪	1	2				

* 因阿公店溪無對應之歷年觀測之水位資料，故沒有列出



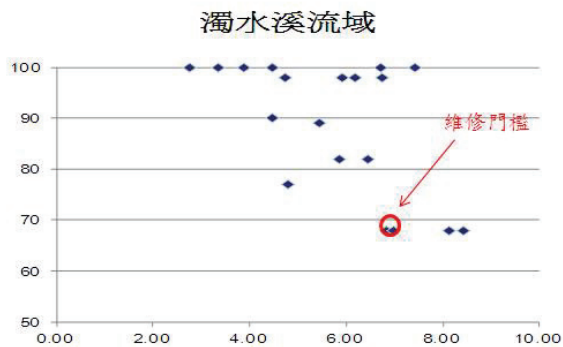
執行步驟

五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(3) 潛勢危害-洪水沖刷(P_s)

d. 失敗門檻訂定

根據各類型橋梁的歷史維修紀錄，以各類型橋梁最後一次維修時 SSI 為建議維修門檻。



五 橋梁風險因子量化分析-8. 橋梁可靠度分析

(3) 潛勢危害-洪水沖刷(P_s)

e. 蒙地卡羅模擬，找出橋梁沖刷造成維修機率 P_s

橋名	工程處	工務段	河川名稱	沖刷造成維修機率
北港大橋	五區	水上	北港溪	100
興產橋	五區	阿里山	八掌溪	100
台東大橋	三區	台東	卑南溪	99.99
花蓮大橋(舊)	四區	花蓮	花蓮溪	99.99
二層行橋(舊)	五區	新化	二仁溪	99.92
竹崎大橋	五區	阿里山	八掌溪	99.9
坑內橋	五區	阿里山	八掌溪	99.89
龍口橋	五區	阿里山	八掌溪	99.87
阿公店橋	三區	高雄	阿公店溪	0.23
後龍觀海大橋	二區	苗栗	後龍溪	0.14
玄寶大橋	二區	苗栗	中港溪	0.13
尖山大橋	二區	苗栗	中港溪	0.12
嘉南大橋	五區	水上	八掌溪	0.11
後龍溪橋	二區	苗栗	後龍溪	0.08
玉爺港橋	五區	新營	急水溪	0.03
牛埔溪橋	一區	新竹	鳳山溪	0.02
大濁水橋	四區	南澳	和平溪	0.02
臺北大橋	一區	中和	淡水河	0.01

五 橋梁風險因子量化分析-9. 橋梁風險評估

類別	需填寫欄位	資料來源		結構分析或人工智慧推論	橋梁通阻檢測計畫成果
		TBMS	DERU		
基本資料	橋梁名稱	V			
	工程處	V			
	工務段	V			
	重建成本			V	
地震	地盤種類			V	
	初始狀態下之降伏位移				V
	所在鄉鎮	V			
	是否鄰近第一類活動斷層及其名稱			V	
	降伏及崩塌地表加速度值(考慮材料劣化影響)			V	V
洪水	是否為跨河橋	V			
	所屬流域	V			
	SSI		V		
可視老化	橋梁類型	V			
	車流量	V			
	距海遠近				V
	CI		V		

綜合能力指標E[COST]

111

五 橋梁風險因子量化分析-9. 橋梁風險評估

橋梁風險因子評估決策模式

系統登入

帳號:

密碼:

驗證碼:

登入

系統首頁

橋梁風險因子評估決策模式

條件設定查詢

查詢條件:

查詢結果:

橋梁編號	橋梁名稱	橋梁類型	橋梁狀態
101001	第一類活動斷層橋	橋梁	正常
101002	第二類活動斷層橋	橋梁	正常
101003	第三類活動斷層橋	橋梁	正常
101004	第四類活動斷層橋	橋梁	正常
101005	第五類活動斷層橋	橋梁	正常
101006	第六類活動斷層橋	橋梁	正常
101007	第七類活動斷層橋	橋梁	正常
101008	第八類活動斷層橋	橋梁	正常
101009	第九類活動斷層橋	橋梁	正常
101010	第十類活動斷層橋	橋梁	正常

條件搜尋

橋梁風險因子評估決策模式

查詢結果:

橋梁編號	橋梁名稱	橋梁類型	橋梁狀態	橋梁風險因子	橋梁風險指數	橋梁風險等級
101001	第一類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101002	第二類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101003	第三類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101004	第四類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101005	第五類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101006	第六類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101007	第七類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101008	第八類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101009	第九類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101010	第十類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0

不同機率展示成果

橋梁風險因子評估決策模式

查詢結果:

橋梁編號	橋梁名稱	橋梁類型	橋梁狀態	橋梁風險因子	橋梁風險指數	橋梁風險等級
101001	第一類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101002	第二類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101003	第三類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101004	第四類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101005	第五類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101006	第六類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101007	第七類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101008	第八類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101009	第九類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0
101010	第十類活動斷層橋	橋梁	正常	1.0	1.0	1.0

不同排序條件結果

肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

本土化橋梁綜合能力評量表 (橋梁綜合能力指標 $E[COST]$)

$$E[COST] = \overbrace{P_D \times C_D}^{\text{Visible}} + \overbrace{P_E \times C_E + P_S \times C_S}^{\text{Invisible}}$$

$E[COST]$ =風險下維修成本期望值

依「步驟8. 橋梁可靠度分析」求得

P_D 、 P_E 、 P_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在一定時間內破壞之機率

C_D 、 C_E 、 C_S 分別代表可視老化、地震、洪水沖刷在破壞後所需維修成本

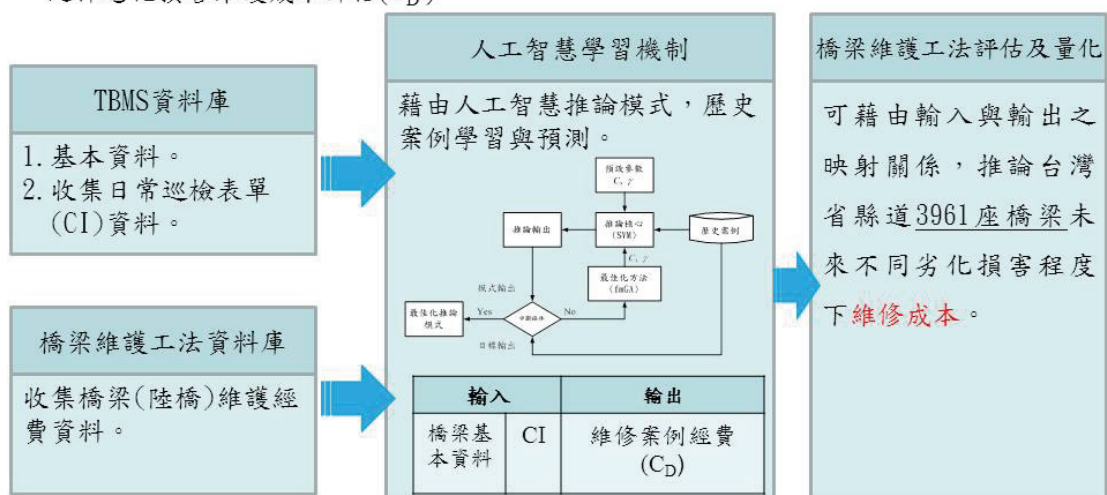
101年度考慮完全破壞下，由「步驟6.估計衝擊影響程度」求得維修成本
102年度可計算不同程度破壞之維修成本

肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

元件老化損害維護成本評估(C_D)



六~七 橋梁維護成本評估及量化

元件老化損害維護成本評估(C_D)

根據歷史劣化維修紀錄，收集**非跨河橋維修案例**，建置維護資料庫

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
第二尖山橋	公路總局第一區養護工程處	中壢工務段	省道	臺1甲線	16K+500M	>0.3mm 混凝土 裂縫修補	10	公尺	12000	2009-10-01	2009-10-31
三仙橋	公路總局第三區養護工程處	臺東工務段	省道	臺11線	110K+228M	>0.3mm 混凝土 裂縫修補	2	公尺	1400	2005-01-22	2005-09-20

六~七 橋梁維護成本評估及量化

元件老化損害維護成本評估(C_D)

根據橋梁屬性，選擇橋梁之輸入及輸出影響因，歷史案例庫共計156筆

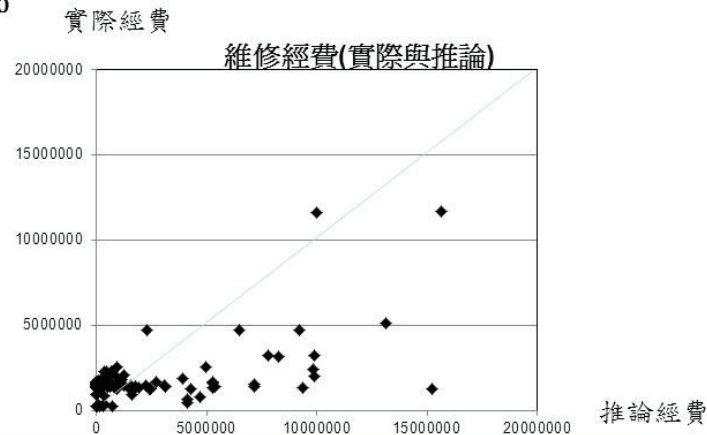
輸入因子					輸出因子
CI指標值	橋板投影面積	最低橋下淨高	結構型式	年平均每日車流量	經營建物價指數調整後之維修經費
92	228.42	3.8	梁式橋	10645	372042
96	67.2	4.82	版橋	3368	5917334

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

元件老化損害維護成本評估(C_D)

經模式訓練，推論模式學習輸入與輸出之映射關係，其均方根誤差(RMSE)為0.1236



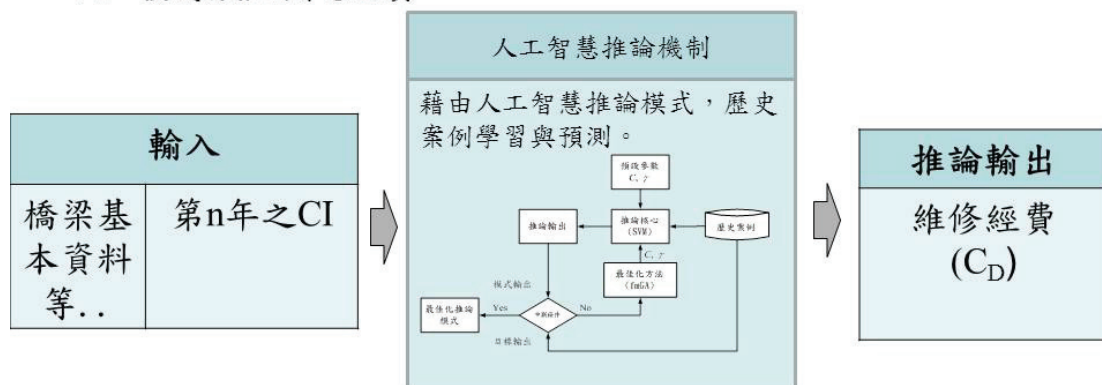
肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

元件老化損害維護成本評估(C_D)

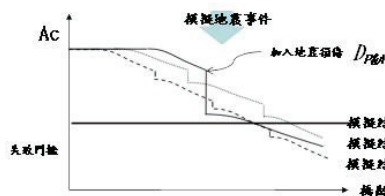
未來新案例，即可以橋梁基本屬性因子與當年之CI值作為模式輸入，模式將推論維修經費



肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

地震損害維護成本評估(C_E)

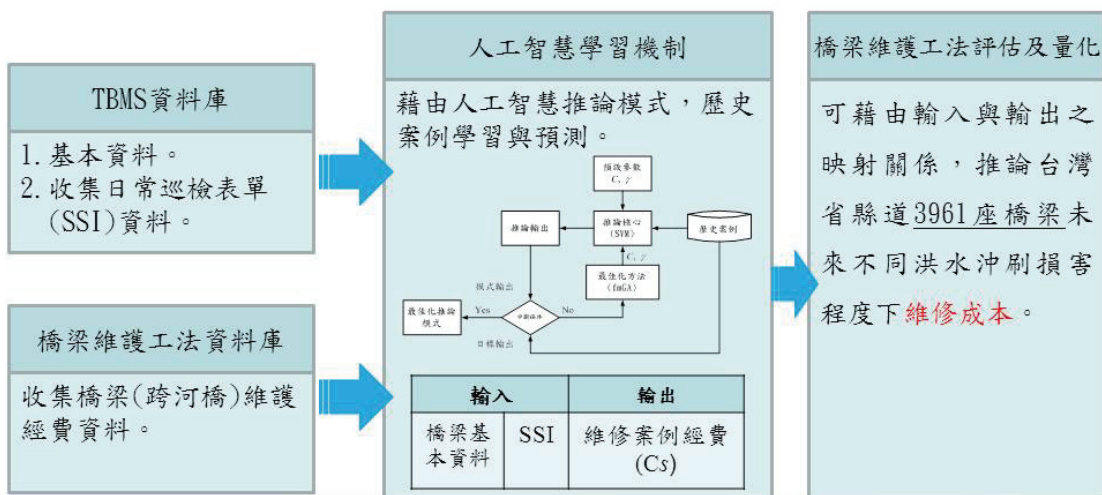
根據不同損傷度 $D_{P\&A}$
計算對應修復經費
 $C_E = \text{重建費用} * W$

損傷度 $D_{P\&A}$	損傷程度	修復工法	修復經費 權重*(W)
I	裂縫寬度0.2mm以下, 不易以肉眼識別	裂縫填補 - Sealing	0.0052
II	裂縫寬度0.2mm-1.0mm程度, 可用肉眼輕易識別	裂縫填補 - U-Cut - 樹脂等材料填充	0.032
III	較大裂縫產生, 寬度約為1mm-2mm程度, 並有少許混凝土剝落	填充工法	0.047
IV	大裂縫產生, 寬度約為2mm以上, 且混凝土剝落明顯及鋼筋外露現象發生	無收縮水泥填補, 混凝土澆置(鋼筋除鏽, 防銹等)	0.41
V	鋼筋外露且有彎曲或折斷產生, 核心混凝土崩落, 桿件於水平或垂直方向產生明顯變形(下沉或傾斜)	置換	1

肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

洪水冲刷損壞維護成本評估(C_S)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

洪水沖刷損壞維護成本評估(C_s)

根據洪水沖刷維修紀錄，收集跨河橋維修案例，建置維護資料庫

橋梁名稱	養護工程處	養護工務段	道路等級	路線	橋頭里程	維修工法	維修數量	單位	維修金額	開工日期	完工日期
寶隆大橋	公路總局第三區養護工程處	甲仙工務段	省道	臺21線	242K+467M	10t瀉波橋	70	個	65975	2011-04-10	2011-05-11
武嶺橋	公路總局第一區養護工程處	溪墾工務段	省道	臺3線	37K+335M	140kg/cm ² 預拌混凝土灰漿置	9533	立方公尺	12917215	2008-03-02	2008-06-02
大甲溪橋	公路總局第二區養護工程處	臺中工務段	省道	臺1線	155K+848M	15T晶形塊拋板及下游側施打9米鋼軌格	424.5	公尺	120110131	2008-03-25	
：											
大安溪橋	公路總局第二區養護工程處	臺中工務段	省道	臺1線	148K+450M	15T晶形塊拋板及下游側施打9米鋼軌格	499.3	公尺	127802420	2008-03-25	2008-08-28
白雲橋	公路總局第三區養護工程處	甲仙工務段	省道	臺20線	66K+409M	3000psi混凝土	2694	立方公尺	4600000	2011-05-16	2011-08-16
烏水溪橋	公路總局第五區養護工程處	新營工務段	省道	臺1線	291K+14M	350kgf/cm ² 不收缩水泥砂漿	0.5	立方公尺	10900	2011/5/14	2011/5/23

六~七 橋梁維護成本評估及量化

洪水沖刷損壞維護成本評估(C_s)

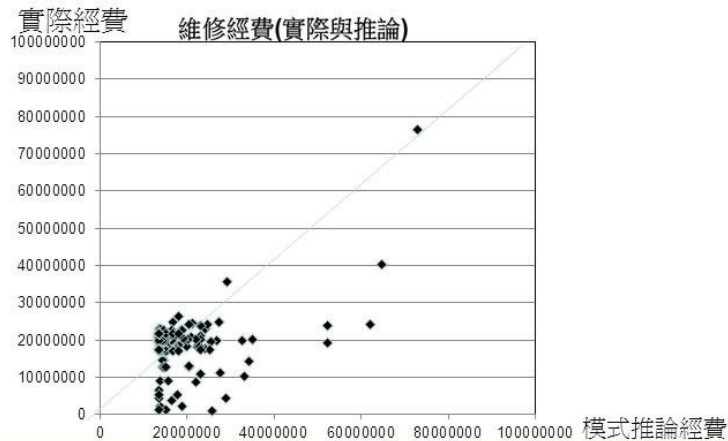
根據橋梁屬性，選擇橋梁之輸入及輸出影響因子，建置歷史案例庫共計231筆

輸入因子				輸出因子
SSI指標值	橋板投影面積	最低橋下淨高	結構型式	經營建物價指數調整後之維修經費
77	1190	5	梁式橋	2107000
86	5850	8	梁式橋	7651278

六~七 橋梁維護成本評估及量化

洪水沖刷損壞維護成本評估(C_S)

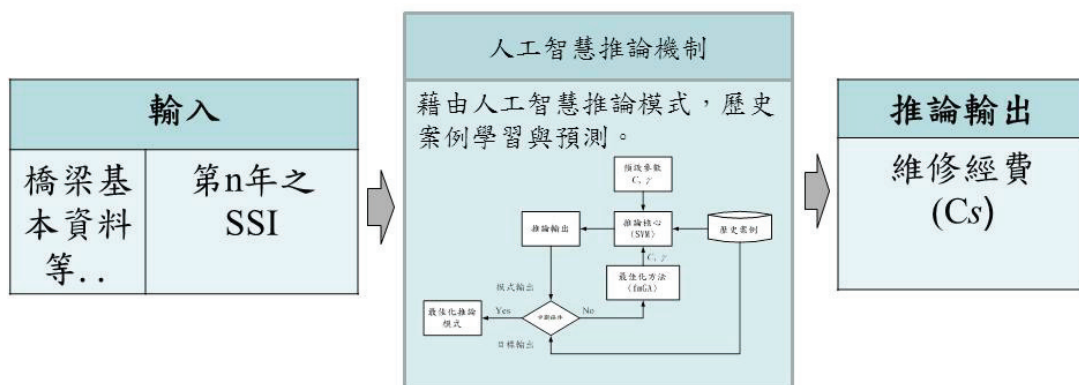
經模式訓練，推論模式學習輸入與輸出之映射關係，模式均方根誤差(RMSE)為0.1



六~七 橋梁維護成本評估及量化

洪水沖刷損壞維護成本評估(C_S)

未來新案例，即可以橋梁基本屬性因子與當年之SSI值作為模式輸入，模式將推論維修經費



肆

執行步驟(102年度)

六~七 橋梁維護成本評估及量化

以三星橋為例，經前述計算方法，可求得：

$$E[COST]_{50} = P_M \times C_M + P_D \times C_D + P_S \times C_S =$$

$$P_M \times C_M = 6,429,361 \text{ 元 (CI=80.97 時之模式推論輸出)}$$

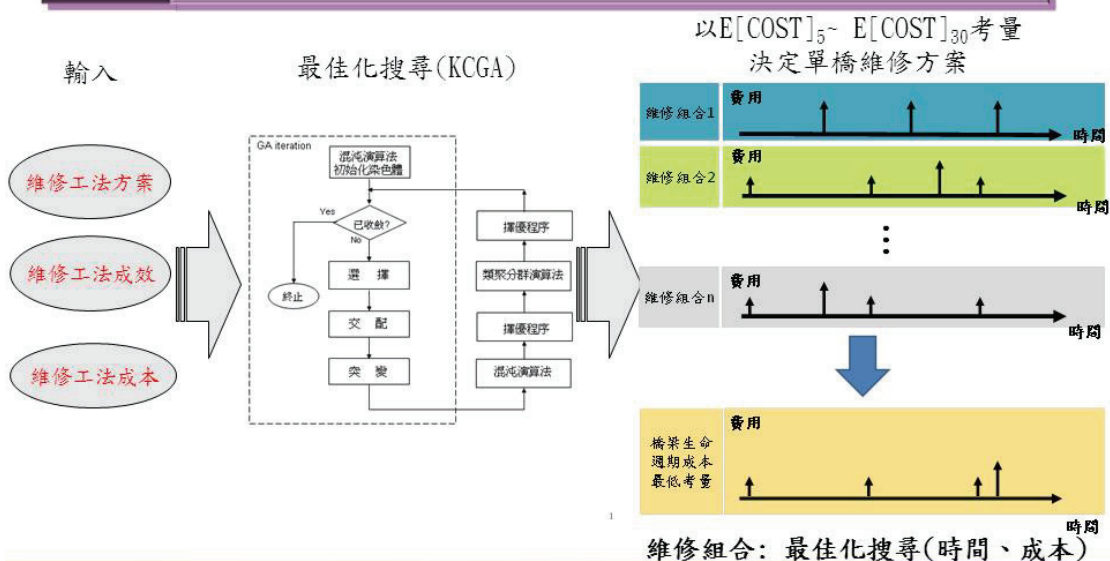
$$P_D \times C_D = 14,742,000 \text{ 元 (重新建造成本 } 70.2 \text{ (百萬元) } \times w)$$

$$P_S \times C_S = 5,030,656 \text{ 元 (SSI=68.78 時之模式推論輸出)}$$

肆

執行步驟(102年度)

八~九 單橋成本維護最佳化



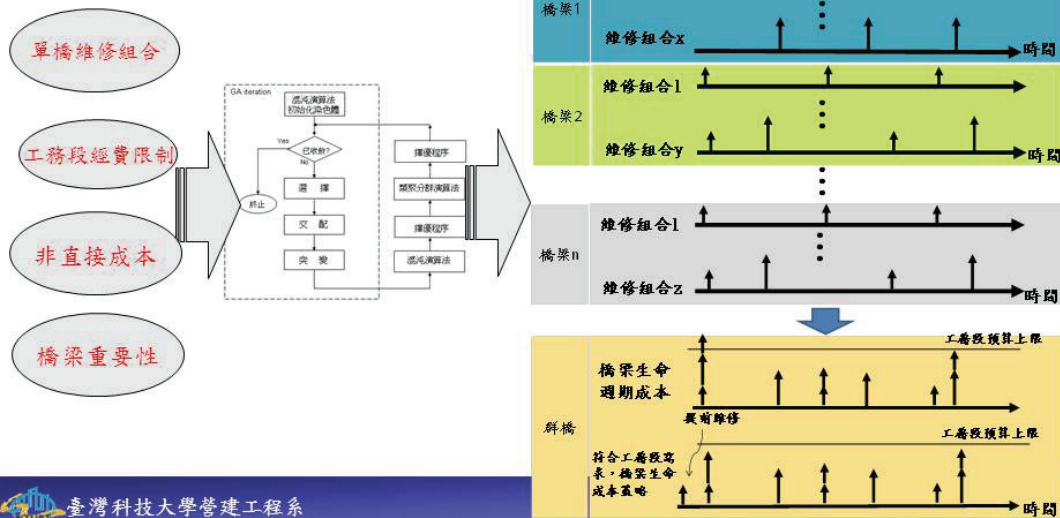
肆

執行步驟(103年度)

十~十三 群橋成本維護最佳化

輸入

最佳化搜尋(KCGA)



伍

本年度之工作項目

本年度工作項目及目前完成比例

工作大項		完成進度比例
1	相關文獻收集	2/2
2	橋梁風險因子辨識	2/2
3	分析橋梁風險因子之因果關係	2/2
4	橋梁風險因子量化分析	1/1
5	橋梁風險評估	2/2

契約項目	契約項目對應工作項目
1.國內、外橋梁風險管理、破壞模式、性能指標等文獻蒐集與回顧。	1.於本報告書中第二章文獻回顧呈現。
2.建立風險管理應用於橋樑檢測與評估整合實施之方式。	2.於本報告書中第六章橋梁風險分析中呈現。
3.橋梁風險辨識之系統分析，辨識風險來源與風險因子。	3.於本報告書中第三章橋梁風險因子辨識中呈現。
4.依不同風險來源與影響功能，辨識橋梁元件損傷模式、部位損傷模式及橋梁破壞模式。(載重、地震、洪水沖刷及使用等)	4.於本報告書中第三章橋梁風險因子辨識中呈現。
5.探討元件損傷模式對部位功能影響。	5.於本報告書中第五章橋梁風險因子量化分析中呈現。
6.探討部位損傷模式對橋梁功能的影響。	6.於本報告書中第五章橋梁風險因子量化分析中呈現。
7.以風險來源分類，分別建立風險因子與破壞模式之關係。	7.於本報告書中第五章橋梁風險因子量化分析中呈現。
8.建議本土化性能指標及其影響因子	8.於本報告書中第六章橋梁風險分析中呈現。
9.建立本土化橋梁綜合能力評量表。	9.於本報告書中第六章橋梁風險分析中呈現。

1

- 完成分析橋梁風險因子之因果關係。

2

- 繪製橋梁各部位破壞模式與檢測項目對應矩陣表。釐清現有表單是否可檢測各類破壞模式。

3

- 根據橋梁管理系統中橋梁評估歷史資料，進行迴歸分析找出橋梁性能指標下降(CI、SSI)趨勢，並評估各橋梁未來之安全程度。

4

- 考慮材料劣化影響下之耐震性能下降分析，完成橋梁未來50年地震損壞程度之預估模式。

5

- 依機率模型建立事件模擬器，評估橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁維護之機率值(P_D 、 P_E 、 P_S)。

6

- 建置風險評估程式，管理單位可依實際狀況更新本研究所定義之風險計算參數(橋梁綜合能力評量表)，程式將依此進行風險評估計算，降低維護更新之人力及經費所需。



簡報完畢

敬請指教

