

95-21-7168

MOTC-IOT-94-H1DB005

交通工程防災預警系統建立 之研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

95-21-7168

MOTC-IOT-94-H1DB005

交通工程防災預警系統建立 之研究(1/2)

著 者：鄭明淵、陳生金、呂守陞、鄭 繁、黃慶東
葉錦勳、林主潔、林詠彬、陳志偉

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

交通工程防災預警系統建立之研究. (1/2) / 鄭明淵等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民95
面：公分

ISBN 986-00-4732-4(平裝)

1. 橋樑工程 - 管理 2. 防災工程 - 管理

441.8

95005473

交通工程防災預警系統建立之研究(1/2)

著者：鄭明淵、陳生金、呂守陞、鄭藝、黃慶東、葉錦勳、林主潔、林詠彬、陳志偉

出版機關：交通部運輸研究所

地址：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 95 年 3 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 130 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：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009500622

ISBN：986-00-4732-4 (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。

95

交通工程防災預警系統建立之研究
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN：1009500622

定價 300 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：交通工程防災預警系統建立之研究(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-4732-4（平裝）	政府出版品統一編號 1009500622	運輸研究所出版品編號 95-21-7168	計畫編號 94-HIDB005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：李豐博 研究人員：饒正 聯絡電話：04-26587192 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立台灣科技大學生態與防災 工程研究中心 計畫主持人：鄭明淵 研究人員：陳生金、呂守陞、鄭繁、黃慶東、 葉錦勳、林主潔、林詠彬 地址：台北市基隆路四段 43 號 聯絡電話：02-27376663	研究期間 自 94 年 3 月 至 94 年 11 月	
關鍵詞：交通工程；防災預警；災害預防；災害應變；資料交換平台			
摘要： 臺灣地區因自然環境因素關係，天然災害頻傳，每當天然災害發生時對交通工程之影響皆非常嚴重，對居民之生命財產造成重大損失，為此，本計畫擬針對交通工程中之橋樑工程進行防災之研究，針對國內各單位已發展之橋樑災害防災系統、橋樑災害預警系統或橋樑管理系統等進行資料之蒐集，所研究之災害類型包括地震、沖刷、土石流及老化腐蝕。本研究中確立了地震及沖刷之橋樑災害應變流程，橋樑管理單位按照應變流程的步驟可系統性的完成災害預防、災害緊急應變及緊急復原各階段所應執行之災前評估、災害調查並採取緊急措施，以收防災和減災之功效。 本研究中，開發了資料交換平台，藉以與各系統進行資料交換，包括 TBMS 的橋樑基本資料和 TELES 地震潛勢分析結果；災害資訊的交換包括中央氣象局地震報告、水利署河川水位監測、水保局土石流紅色警戒區域等。本系統以災害資訊為啟動機制，配合災害之應變流程，可協助橋樑管理單位進行災害之預防及災害緊急應變之各階段任務。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
95 年 3 月	332	300	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: Computer-aided Decision Support System for Hazard Prevention of Traffic / Transportation Engineering Infrastructure (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-4732-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500622	IOT SERIAL NUMBER 95-21-7168	PROJECT NUMBER 94-HIDB005
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee, Feng-Bor PROJECT STAFF: Jao, Cheng PHONE: (04) 26587192 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM March 2005 TO November 2005
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng, Min-Yuan PROJECT STAFF: Chen, Sheng-Jin, Leu, Sou-Sen, Jeng, Van, Huang, Ching-Tung, Yeh, Chin-Hsieh, Lin, Chu-Chieh , Lin, Yung-Bin ADDRESS: #43, Sec.4, Keelung Rd, Taipei, 106, Taiwan, R.O.C PHONE: (02) 27376663			
KEY WORDS: Traffic and Transportation Engineering, Early warning, Disaster prevention, Data exchange platform			
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 transportation facilities are serious. Considering the disaster prevention of bridge infrastructure, literatures involving developed bridge management information systems and bridge disaster prevention, alert and prediction systems are collected, including earthquake, scour, debris flow, corrosion and senescence. This research establishes a bridge disaster emergency procedure for various types of disasters. Bridge management unit can follow the disaster prevention / action process to reduce the loss caused by nature disasters. In order to exchange data between different systems, this research establishes a data exchange platform. The system is able to automatically exchange data to / from TBMS, TELES, Central Weather Bureau, Water Resources Agency, The Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture. In case of natural disasters, the system can be automatically activated, and used to collect different information from various resources to identify the damage conditions of bridges. Accordingly, the appropriate actions provided by the system can assist bridge managers for desirable decision-making.			
DATE OF PUBLICATION March 2006	NUMBER OF PAGES 332	PRICE 300	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	VIII
表目錄	XV
第一章 緒論	1-1
1.1 研究背景	1-1
1.2 研究目的及範圍	1-2
1.3 研究流程與內容	1-3
第二章 相關橋梁防災預警及管理系統介紹	2-1
2.1 TELES 橋梁災損評估模組與其應用	2-1
2.1.1 分析流程與架構	2-2
2.1.2 TELES 橋梁震損評估核心技術介紹	2-4
2.1.3 TELES 於橋梁震損評估之架構	2-20
2.2 TBMS 台灣地區橋梁管理系統	2-24
2.3 橋梁監測技術	2-34
2.3.1 橋梁監測常用儀器與系統	2-35
2.3.2 河川橋梁沖刷監測發展	2-45
2.3.3 光纖監測系統	2-57
2.4 PONTIS	2-70
2.4.1 PONTIS 系統特性與功能彙總	2-81

2.4.2	PONTIS 4.4 版	2-83
2.5	CAESAR	2-85
2.6	文獻蒐集彙整	2-95
第三章	各種災害橋梁破壞模式及原因	3-1
3.1	橋梁構件單元分類	3-1
3.2	橋梁震害破壞模式及原因	3-2
3.2.1	上部結構損壞型式	3-3
3.2.2	下部結構損壞型式	3-7
3.2.3	基礎損壞型式	3-8
3.2.4	支承損壞型式	3-9
3.2.5	橋台引道損壞型式	3-10
3.2.6	其他設施損壞型式	3-11
3.3	橋梁洪水沖刷破壞模式	3-14
3.3.1	河川水理輸砂機制	3-14
3.3.2	河道與橋基沖刷之成因	3-17
3.3.3	橋梁基礎沖刷災害	3-20
3.3.4	橋梁遭受洪水沖刷下部結構損壞型式	3-21
3.4	橋梁老化腐蝕破壞模式	3-22
3.4.1	混凝土橋之劣化現象	3-22
3.4.2	鋼橋材料腐蝕原因	3-28
3.5	橋梁土石流破壞模式	3-29

3.6	橋梁構件單元破壞模式之彙整	3-31
3.6.1	橋梁單元損壞模式之彙整與建立	3-31
3.6.2	橋梁單元損壞現象之彙整與建立	3-31
3.6.3	橋梁災害損壞型式矩陣表	3-32
第四章	橋梁災害應變機制、流程與評估方法	4-1
4.1	橋梁地震災害應變	4-1
4.1.1	橋梁地震災害預防	4-5
4.1.2	橋梁地震災害緊急應變	4-14
4.1.3	橋梁地震災害緊急復原	4-21
4.1.4	橋梁地震災害應變所需交換資料	4-30
4.2	橋梁沖刷災害應變	4-32
4.2.1	橋梁沖刷災害預防	4-33
4.2.2	橋梁沖刷災害緊急應變	4-40
4.2.3	橋梁沖刷災害應變所需交換資料	4-44
4.3	橋梁土石流災害應變	4-47
4.3.1	橋梁土石流災害應變所需交換資料	4-49
4.4	橋梁老化腐蝕災害	4-50
4.4.1	橋梁老化腐蝕災害所需交換資料	4-51
4.5	橋梁監測流程與機制	4-52
4.5.1	監測目的	4-53
4.5.2	監測項目與內容	4-54

4.5.3	本系統與橋梁監測系統間之資料交換.....	4-57
4.6	系統所需資料及資料交換對象之彙整.....	4-58
第五章	交通工程防災預警系統架構規劃.....	5-1
5.1	前言	5-1
5.2	系統使用需求分析	5-1
5.3	系統發展概念研擬.....	5-3
5.3.1	對話介面	5-3
5.3.2	資料管理	5-4
5.3.3	模式管理	5-4
5.4	系統架構擬訂	5-6
5.5	定義系統應用模式	5-7
5.6	系統開發工具與環境.....	5-8
5.7	資料交換平台	5-9
5.7.1	Database to Database 資料交換模式	5-10
5.7.2	軟體代理人網頁資料交換模式.....	5-11
5.7.3	軟體代理人系統開發工具.....	5-13
5.7.4	軟體代理人系統發展模式.....	5-14
5.8	系統功能規劃與發展	5-16
5.8.1	橋梁基本資料管理模組.....	5-17
5.8.2	破壞模式資料管理模組.....	5-21
5.8.3	補強技術資料管理模組.....	5-25

5.8.4	GIS 圖層資料管理模組.....	5-26
5.8.5	評估表單管理模組.....	5-28
5.8.6	災害資訊管理模組.....	5-32
5.8.7	使用維護模組.....	5-35
第六章	結論與建議.....	6-1
6.1	結論.....	6-1
6.2	建議.....	6-1
	參考文獻.....	7-1
附錄一	期中審查委員意見暨辦理概況.....	附錄一-1
附錄二	期末審查委員意見暨辦理概況.....	附錄二-1
附錄三	第一次專家座談會意見.....	附錄三-1
附錄四	第二次專家座談會意見.....	附錄四-1
附錄五	期末報告簡報資料.....	附錄五-1

圖 目 錄

圖 1-1 研究目的及範圍.....	1-3
圖 1-2 研究流程圖.....	1-4
圖 2-1 TELES 的分析流程與架構.....	2-3
圖 2-2 民國 88 年集集地震，車籠埔斷層開裂所引致 PGA 的分佈	2-6
圖 2-3 橋梁損失評估流程的示意圖.....	2-11
圖 2-4 中山高速公路南北兩段的橋梁分布圖.....	2-19
圖 2-5 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前).....	2-20
圖 2-6 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時).....	2-21
圖 2-7 以第三類震源建置 87,000 筆的台灣地區震災模擬資料庫	2-24
圖 2-8 TBMS 系統架構圖.....	2-26
圖 2-9 基本資料模組畫面.....	2-28
圖 2-10 統計分析模組畫面.....	2-29
圖 2-11 檢測資料模組示意圖.....	2-31
圖 2-12 維修記錄模組功能示意圖.....	2-33
圖 2-13 地理資訊系統模組圖面查詢.....	2-34
圖 2-14 sonar 河川沖刷監測.....	2-49
圖 2-15 TDR 河川沖刷監測.....	2-49
圖 2-16 利用溫差變化進行河川沖刷監測.....	2-50

圖 2-17 壓力式河川冲刷監測.....	2-50
圖 2-18 重力懸垂式河川冲刷監測.....	2-51
圖 2-19 即時攝影式河川冲刷監測.....	2-51
圖 2-20 音波回音式河川冲刷監測.....	2-52
圖 2-21 電磁式河川冲刷監測.....	2-52
圖 2-22 超音波式河川冲刷監測（日本）	2-53
圖 2-23 台一線大度橋光纖冲刷監測機構.....	2-67
圖 2-24 艾利颱風後三天之大度橋流況.....	2-68
圖 2-25 艾利颱風大度橋上游橋墩局部冲刷監測.....	2-68
圖 2-26 艾利颱風大度橋下游橋墩局部冲刷監測.....	2-69
圖 2-27 PONTIS 系統主功能畫面（2.0 版）	2-72
圖 2-28 NBI 資料輸入畫面.....	2-73
圖 2-29 構件狀態與可行方案資料畫面.....	2-74
圖 2-30 構件劣化狀態之編輯畫面.....	2-75
圖 2-31 構件劣化速率預測模組畫面.....	2-77
圖 2-32 路網整體結構狀況畫面.....	2-78
圖 2-33 路網中各構件 MR&R 方案之加總.....	2-79
圖 2-34 改善措施及其成本效益畫面.....	2-80
圖 2-35 維修改善方案之時程安排畫面.....	2-81
圖 2-36 檢視主畫面.....	2-83
圖 2-37 結構元件修復檢視畫面.....	2-84

圖 2-38 防腐專案計畫檢視畫面	2-84
圖 2-39 MR&R 模組資訊檢視畫面	2-84
圖 2-40 CAESAR 之主程式視窗	2-87
圖 2-41 CAESAR 橋梁基本資料畫面	2-87
圖 2-42 CAESAR 橋梁斷面繪圖畫面	2-88
圖 2-43 CAESAR 橋梁資料附註畫面	2-88
圖 2-44 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 橋台與橋墩資料	2-89
圖 2-45 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 河床斷面資料	2-89
圖 2-46 CAESAR 橋梁構件資料畫面	2-90
圖 2-47 CAESAR 橋梁檢測圖	2-90
圖 2-48 CAESAR 照片編輯目錄畫面	2-91
圖 2-49 CAESAR 照片檔案編輯畫面	2-91
圖 2-50 CAESAR 分析結果畫面	2-92
圖 2-51 CAESAR 邏輯尋跡功能畫面	2-92
圖 2-52 CAESAR 繼續分析畫面	2-93
圖 2-53 CAESAR 線上系統示意圖	2-94
圖 3-1 橋梁構件單元分類架構圖	3-2
圖 3-2 鋼梁挫屈破壞	3-4
圖 3-3 主梁之破壞模式	3-4
圖 3-4 橋面版破壞模式之一	3-6
圖 3-5 橋面版破壞模式之二	3-7

圖 3-6 橋柱及帽梁剪力破壞.....	3-8
圖 3-7 撓剪破壞.....	3-8
圖 3-8 基礎損壞型式.....	3-9
圖 3-9 支承及防落裝置之破壞.....	3-10
圖 3-10 橋台、引道損壞型式.....	3-11
圖 3-11 河川橋梁沖刷.....	3-21
圖 4-1 災害應變流程.....	4-2
圖 4-2 橋梁地震災害應變流程.....	4-4
圖 4-3 橋梁地震災害災害預防階段應變流程.....	4-5
圖 4-4 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前).....	4-6
圖 4-5 集集地震引致的橋梁損害調查結果.....	4-9
圖 4-6 根據集集地震的震源參數所作的橋梁震災境況模擬結果	4-10
圖 4-7 宜蘭外海地震各里地表最大加速度分佈圖.....	4-11
圖 4-8 前十座最高損壞機率橋梁位置.....	4-12
圖 4-9 新城斷層地震各里地表最大加速度分佈圖.....	4-12
圖 4-10 橋梁地震災害災害緊急應變階段應變流程.....	4-15
圖 4-11 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時).....	4-16
圖 4-12 橋梁災害緊急復原流程圖.....	4-22
圖 4-13 中央氣象局地震報告(1).....	4-31
圖 4-14 中央氣象局地震報告(2).....	4-31
圖 4-15 地震災害發生時系統所需交換資料及對象.....	4-32

圖 4-16 橋梁沖刷災害應變流程圖.....	4-33
圖 4-17 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」	4-39
圖 4-18 水災防救作業支援系統水位監測查詢.....	4-40
圖 4-19 封橋水位示意圖.....	4-41
圖 4-20 颱洪期間封橋作業應變流程.....	4-41
圖 4-21 TBMS 橋梁基本資料—計畫洪水位.....	4-46
圖 4-22 橋梁沖刷災害發生時系統所需交換資料及對象	4-46
圖 4-23 橋梁土石流災害應變流程.....	4-47
圖 4-24 全國橋梁位置圖層.....	4-48
圖 4-25 土石流潛勢溪流圖層.....	4-48
圖 4-26 水土保持局發佈之土石流潛勢溪流紅色警戒清冊	4-49
圖 4-27 橋梁土石流災害發生時系統所需交換資料及對象	4-49
圖 4-28 TBMS 橋梁檢測資料—U 值.....	4-52
圖 4-29 橋梁老化腐蝕災害系統所需交換資料及對象.....	4-52
圖 4-30 沖刷淘空監測系統操作流程.....	4-56
圖 4-31 橋梁監測系統所需交換資料及對象.....	4-58
圖 5-1 規劃設計流程.....	5-1
圖 5-2 橋梁災害處理流程.....	5-2
圖 5-3 系統組成.....	5-3
圖 5-4 系統架構.....	5-6
圖 5-5 系統應用模式.....	5-8

圖 5-6 系統作業環境.....	5-9
圖 5-7 資料交換模式.....	5-9
圖 5-8 Database to Database 資料交換模式	5-10
圖 5-9 軟體代理人網頁資料交換模式.....	5-12
圖 5-10 軟體代理人類別圖.....	5-15
圖 5-11 軟體代理人循序圖.....	5-16
圖 5-12 交通工程防災預警系統功能架構.....	5-17
圖 5-13 橋梁基本資料管理模組功能架構.....	5-18
圖 5-14 橋梁基本資料管理模組發展流程.....	5-19
圖 5-15 橋梁基本資料管理模組—功能選單.....	5-21
圖 5-16 橋梁基本資料管理模組—新增橋梁基本資料.....	5-21
圖 5-17 破壞模式資料管理模組功能架構.....	5-22
圖 5-18 破壞模式資料管理模組發展流程.....	5-23
圖 5-19 破壞模式資料管理模組—功能選單.....	5-25
圖 5-20 破壞模式資料管理模組—破壞模式參考圖例.....	5-25
圖 5-21 補強技術資料管理模組—補強工法選擇.....	5-26
圖 5-22 補強技術資料管理模組—補強工法說明與圖例	5-26
圖 5-23 GIS 圖層資料管理模組功能架構	5-27
圖 5-24 評估表單管理模組功能架構.....	5-28
圖 5-25 評估表單管理模組發展流程.....	5-29
圖 5-26 評估表單管理模組—評估表單選擇.....	5-31

圖 5-27 評估表單管理模組—新增震後橋梁緊急調查表	5-32
圖 5-28 災害資訊管理模組功能架構.....	5-32
圖 5-29 災害資訊管理模組發展流程.....	5-33
圖 5-30 災害資訊管理模組—啟動軟體代理人系統更新災害資訊	5-35
圖 5-31 災害資訊管理模組—災害資訊查詢.....	5-35
圖 5-32 使用者管理模組功能架構.....	5-36

表 目 錄

表 2-1 ATC-13 之橋梁分類.....	2-8
表 2-2 HAZUS 97 之橋梁分類 (S 表耐震設計，C 表傳統設計) ..	2-8
表 2-3 HAZUS 99 之橋梁分類	2-9
表 2-4 TELES 橋梁屬性資料調查表.....	2-10
表 2-5 高速橋梁分類系統.....	2-12
表 2-6 橋梁損害狀態之描述.....	2-13
表 2-7 因地表振動引致損害的典型橋梁之易損性曲線的參數 .	2-14
表 2-8 因土層破壞引致損害的典型橋梁之易損性曲線的參數 .	2-16
表 2-9 HAZUS 所建議的橋梁修復成本與重置成本的比率	2-18
表 2-10 高速橋梁之直接經濟損失評估參數與數值.....	2-18
表 2-11 模擬地震事件的定義.....	2-19
表 2-12 模擬地震作用下，考慮土壤液化之補強前後的可能損失與 直接經濟效益評估	2-19
表 2-13 系統欄位概述.....	2-27
表 2-14 美國橋梁檢測維修補強準則與手冊.....	2-47
表 2-15 本研究蒐集文獻分類歸納表(1/3).....	2-95
表 2-16 本研究蒐集文獻分類歸納表(2/3).....	2-96
表 2-17 本研究蒐集文獻分類歸納表(3/3).....	2-97
表 3-1 橋梁構件單元分類表.....	3-2
表 3-2 震後橋梁單元損壞型式(1/2).....	3-12

表 3-3 震後橋梁單元損壞型式(2/2).....	3-13
表 3-4 混凝土常見之損壞現象.....	3-23
表 3-5 龜裂之原因及相關特徵.....	3-25
表 3-6 橋梁損壞型式代號表.....	3-31
表 3-7 橋梁損壞現象代號表.....	3-32
表 3-8 橋梁單元震後損壞型式.....	3-33
表 3-9 橋梁單元洪水沖刷損壞型式.....	3-34
表 3-10 橋梁單元土石流損壞型式.....	3-35
表 3-11 橋梁單元老化損壞型式(1/2).....	3-36
表 3-12 橋梁單元老化損壞型式(2/2).....	3-37
表 3-13 橋梁單元損壞矩陣(1/3).....	3-38
表 3-14 橋梁單元損壞矩陣(2/3).....	3-39
表 3-15 橋梁單元損壞矩陣(3/3).....	3-40
表 3-16 橋梁單元損壞型式及災害原因歸納表.....	3-41
表 4-1 TELES 橋梁震損評估所需輸入之橋梁資料.....	4-7
表 4-2 台北市地區模擬地震事件可能受損之橋梁.....	4-13
表 4-3 TELES 橋梁震損評估結果.....	4-14
表 4-4 震後災情調查表.....	4-18
表 4-5 緊急調查之調查項目.....	4-19
表 4-6 震後橋梁緊急調查記錄表.....	4-20
表 4-7 震後橋梁緊急措施內容.....	4-21

表 4-8 緊急評估調查項目	4-23
表 4-9 震後橋梁緊急評估表(1/3)	4-24
表 4-10 震後橋梁緊急評估表(2/3)	4-25
表 4-11 震後橋梁緊急評估表(3/3)	4-26
表 4-12 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 A）	4-28
表 4-13 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 B）	4-29
表 4-14 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 C）	4-30
表 4-15 橋梁耐洪能力初步評估表	4-34
表 4-16 橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表	4-43
表 4-17 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」水位測站列表	4-45
表 4-18 D.E.R.U 檢測系統之檢測表	4-51
表 4-19 系統所需資料及資料交換對象彙整表(1/3)	4-59
表 4-20 系統所需資料及資料交換對象彙整表(2/3)	4-60
表 4-21 系統所需資料及資料交換對象彙整表(3/3)	4-61
表 5-1 各類代理開發工具類型與開發程式	5-13
表 5-2 各代理人與 JAVA 函式庫對應表	5-14

第一章 緒論

1.1 研究背景

台灣地區山多、河川多，橋梁除具有跨越河川或山谷以聯絡兩地之功能外，隨著工商業之發達，亦負擔起維繫經濟動脈之重要使命。對於人口密集的都會區，為有效利用有限之土地，採用多層的高架橋逐漸成為未來的趨勢；而對人煙稀少的偏遠地區，橋梁更成為人民生命物資補給或產品輸出入之重要維生線。

然而台灣地理位置特殊，每年 5~6 月間會有異常梅雨，7~10 月間則有頻仍之颱風侵襲，此等特殊氣候，常帶來豪雨及造成土石流；85 年七月的賀伯颱風帶來的豪雨，使得南投縣陳有蘭溪沿線橋梁十餘座，遭洪流或土石流沖毀；新竹地區的鐵路竹東大橋、頭前溪橋等多座橋梁及高屏地區的寶來一號橋、高美大橋、里港大橋等也因水患沈陷或崩塌致交通中斷。89 年在碧利斯颱風過後數天，才突然崩塌的高屏大橋事件，更是震驚社會。90 年 7 月底桃芝颱風帶來豪雨，加上 921 集集地震造成台灣中部山區土層鬆動，使得中部地區共計二十餘座橋梁，遭洪流沖毀。93 年 7 月敏督利颱風帶來龐大雨量，再次使得中南部地區有多座橋梁及便橋，遭洪流沖毀以致交通中斷。

另外，台灣位於歐亞大陸板塊與太平洋的菲律賓海板塊交界之處，平均每年大小地震超過四千個，其中有感地震可達兩百餘個，為世界上有感地震最頻繁的地區之一；地震與颱風、豪雨等天然災害，每每對公共工程造成重大的傷害，更導致人民生命財產嚴重的傷害與損失，因此，社會各界對於災害的問題一向非常關心，政府與民間都非常努力於防救災工作。近年來人民水準提昇，對保護生命財產安全的要求逐漸增高，拜科技進步之賜，應用高科技進行防救災，為政府與學界所重視，政府也體認到必須儘速研訂具體有效的防災救災對策，並加強將防災科技研究成果落實於防災業務。

交通部統計，國內大小橋梁約有兩萬座，其中由交通部公路總局及國道高速公路局管理的公路橋梁有一萬多座，部份橋梁因受限於地方政府無充足預算，缺乏管理、維修及相關資訊，對於民眾生命財產安全構成威脅，除維修、管理問題，台灣地區橋梁尚且面臨沖刷、超載、老化、劣化等問題；而潛在性問題則為耐震強度普遍不足，一旦發生颱風、地震或水災等大規模天然災害時，橋梁倒塌或斷裂的機率很高。

89 年高屏溪斷橋後，交通部曾對所管轄的 7580 座鐵公路橋梁進行安全檢測，其中公路橋梁有 34 座、鐵路有 76 座橋梁受損。公路橋梁部份，因河川沖刷受損的有 28 座，其餘六座為劣化、超載或地震造成橋梁傷害。

有鑑於地震、颱風等重大災害造成橋梁損壞導致交通中斷、居民受困甚或是人員傷亡等事件的發生，為了維護橋梁之安全，交通部運輸研究所委託台灣科技大學生態與防災工程研究中心進行交通工程防災預警系統建立之研究，根據現有之防災體制、系統、資訊及橋梁管理系統，建立一有效之橋梁預警系統，將以往僅著重於災害救援的層級更向前推進至災害預防，藉由對橋梁現況有效的監控管理，平時就對安全性有疑慮之橋梁進行補強等預防措施，可降低災害來臨時所造成之損害；而災害來臨時第一時間系統性緊急措施的實行也有助於減少災害擴大的可能性。

1.2 研究目的及範圍

本研究的主要研究目的是建立橋梁災害應變流程及交通工程防災預警系統。系統包含一資料交換平台，透過網路資料交換技術與其他橋梁管理系統、災害潛勢分析軟體、網站資料進行資料交換，利用交換所得之資料彙整分析後評估橋梁之安全性並做後續應採取措施之建議。而由於交通工程範圍廣泛，因此本研究將主題鎖定在橋梁，並針對台灣地區發生最頻繁、影響最嚴重的天然災害：地震、颱風沖刷、

土石流、老化腐蝕，對橋梁所造成之危害建立系統性的橋梁災害應變流程。依據災害防救法所制定，災害防救對策分為三階段：災害預防、災害緊急應變、災害復原重建，而本研究由於主題在橋梁預警，因此著重在災害預防及災害緊急應變兩階段，災害復原重建則不在研究範圍內。

本研究之範圍如圖 1-1 所示，包括橋梁在災害發生前及災害發生時所需收集之資料、評估方法、系統輸出、具體作為(採取之措施)。

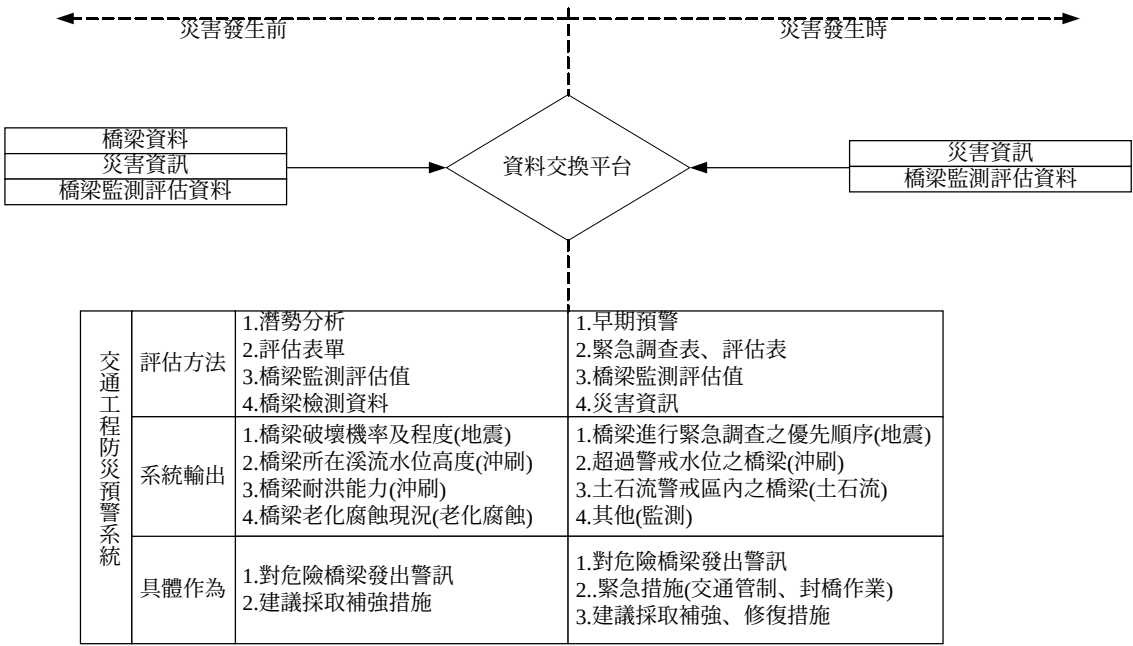


圖 1-1 研究目的及範圍

1.3 研究流程與內容

研究流程如圖 1-2 所示。本研究為兩年期計劃，第一年主要工作為文獻收集彙整、建立災害應變流程及預警系統架構之規劃；第二年則進行系統開發及教育訓練。工作內容條列如下：

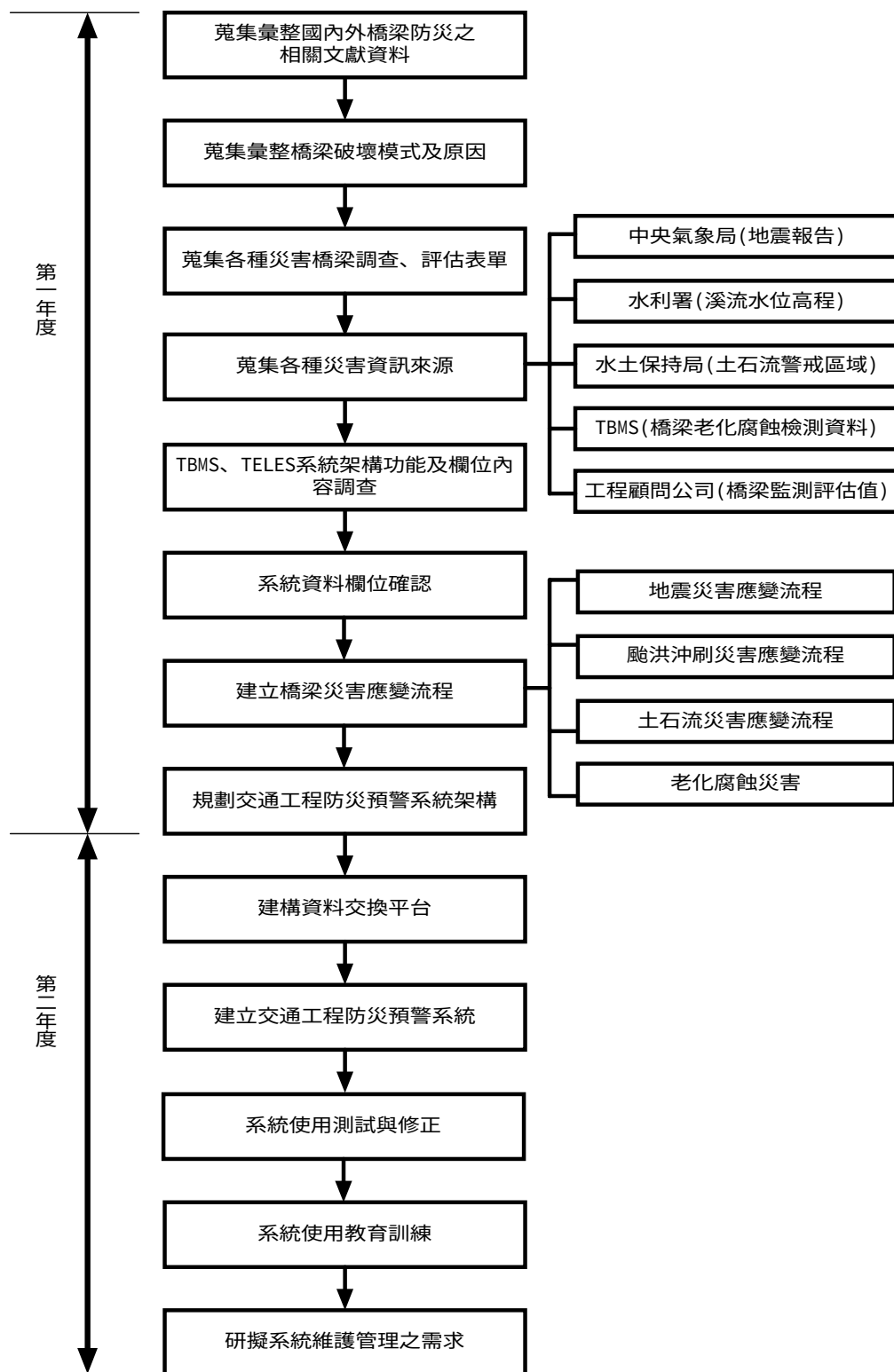


圖 1-2 研究流程圖

第一年工作內容：

- (1)蒐集彙整國內外橋梁防災之相關文獻資料：蒐集國內外橋梁、公路等之防災文獻，範圍包括專家研討會、研究成果報告論文集等相關書籍，另外也針對橋梁防災、管理系統進行資料收集如 TBMS、TELES、PONTIS 等。詳細內容於第二章做介紹。
- (2)蒐集彙整橋梁破壞模式及原因：根據以往之研究成果，將橋梁依災害類型、構件單元、破壞型式、主要損壞現象做系統性的分類及歸納。詳細內容於第三章做介紹。
- (3)蒐集各種災害橋梁調查表：包括地震、沖刷、老化腐蝕災害，在平時及災時之橋梁調查表，主要蒐集範圍為國內之研究報告，且評估表單多為目前各道路、橋梁工程單位所使用。詳細內容於第四章做介紹。
- (4)蒐集各種災害資訊來源：由於台灣地區天然災害頻繁，因此政府機關大多會將災害之預測資訊發佈於網頁上，但分散在各個單位網站上並不集中。本研究對於橋梁所可能遭受之重大災害之資訊來源加以收集，擬以資料交換技術將所需之災害資訊收集加以利用於橋梁預警分析，包括中央氣象局(地震報告)、水利署(溪流水位高程)、水土保持局(土石流警戒區域)、TBMS(橋梁老化腐蝕檢測資料)、工程顧問公司(橋梁監測評估值)。詳細內容於第四章做介紹。
- (5)TBMS、TELES 系統架構功能及欄位內容調查：TBMS(台灣地區橋梁管理系統)目前是國內各橋梁管理機關所使用之橋梁管理系統，使用機關包括公路總局、國道高速公路局、鐵路局及各縣市政府等。本預警系統所需之橋梁基本資料、檢測資料大多可以資料交換技術與 TBMS 進行資料交換。TELES(台灣地震損失評估系統)為國家地震工程研究中心所開發之地震境況模擬潛勢分析軟體，可針對橋梁進行災前及災時之境況模擬，得到橋梁損壞程度、通行失敗機率等分析結果。本系統與 TBMS 及 TELES 有許多的資

料需要交換，因此需對兩個系統的架構及內容做深入的了解。詳細內容於第二章及第四章做介紹。

- (6)系統資料欄位確認：經過上述(1)~(5)步驟所蒐集之調查評估表、災害資訊、橋梁基本資料、橋梁檢測資料、地震潛勢分析資料等，必須確認出系統與系統間或是系統與表單之間是否有資料是可互通的，將來可透過資料交換平台來進行資料交換，省去資料重新調查之工作。詳細內容於第四章做介紹。
- (7)建立橋梁災害應變流程：此部份為預警系統之重點，將來預警系統將以應變流程做為主要架構進行設計。應變流程主要分為災前預防階段及災時應變階段，由災害資訊、調查評估表單、潛勢分析軟體、應變措施等組成整個應變流程。共有四項災害之應變流程，即地震、颱風沖刷、土石流、老化腐蝕。詳細內容於第四章做介紹。
- (8)規劃交通工程防災預警系統架構：依據(7)步驟所建立之應變流程為主要架構進行規劃。系統主要包含一資料交換平台，以網路資料交換技術建構，另外還有八個主要模組，用以管理調查評估表、災害資訊、橋梁基本資料、GIS 圖層、橋梁修復技術等。詳細內容於第五章做介紹。

第二年工作內容：

- (9)建構資料交換平台：資料交換平台在本預警系統是相當重要的角色，其功能為災害資訊之收集和 TBMS 及 TELES 間資料之交換。資料交換平台以網路資料交換技術建構，網路資料交換技術有兩種：(a)Database to Database，(b)Agent server(軟體代理人)。
- (10)建立交通工程防災預警系統：依據第一年所做之系統架構規劃進行各個模組之建立，包含數位表單的建置、GIS 圖層顯示橋梁基本資料庫、橋梁修復技術資料庫之建立等。
- (11)系統使用測試與修正：與橋梁管理單位合作，實際上线進行系統測試，並依使用狀況做系統修正。

- (12)系統使用教育訓練：本預警系統最後擬交由橋梁管理單位使用，因此在開發完成後將舉辦教育訓練課程，說明並示範本預警系統之功能。
- (13)研擬系統維護管理之需求：即編寫系統使用手冊。

第二章 相關橋梁防災預警及管理系統介紹

2.1 TELES 橋梁災損評估模組與其應用

國家科學委員會與經濟部於民國 87 年引進美國 FEMA(Federal Emergency Management Agency)所發展的地震災害損失評估系統 HAZUS (RMS, 1997)，並加以本土化稱為 HAZ-Taiwan。初版的 HAZ-Taiwan 系統是委託美國的 Risk Management Solution, Inc. (RMS) 撰寫應用軟體，但相關本土化的資料庫和分析模式，由國家科學委員會防災辦公室和國家地震工程研究中心整合協調各專家或單位提供。

依據資策會委託 RMS 開發應用軟體的合約，初版 HAZ-Taiwan 所具有的功能為美國所用的 HAZUS 97 的分析模式；換言之，並未完全使用本土化的分析模式和參數值。隨著科技進步與數位化資料庫的日益完備，在評估地震災害的潛勢或評估工程結構物的損害狀態機率時，可採用較精確的分析模式和參數值。但受制於應用軟體在開發時無法兼顧未來的發展，適時的修改原始程式碼或增加新的分析功能是有必要的。

有鑒於初版 HAZ-Taiwan 系統的軟體架構不易更動，因此有必要開發一套新的系統，不但在分析模式和架構上採用模組化設計，應用軟體也採物件化語言撰寫及模組化設計，以方便未來適時更新和增加分析功能。因此國家地震工程研究致力於「台灣地震損失評估系統—TELES (Taiwan Earthquake Loss Estimation System)」之研發與更新，乃希望結合地震與地震工程、社會與經濟等各領域的知識，提供各級政府與民間業者如保險業、高科技產業等有關地震災害損失評估工具，作為研擬相關都市防災規劃、震災初期動員機制、震災模擬演練、地震保險與風險管理策略…等等的參考，藉以減低地震對社會與經濟的衝擊。

TELES 之研究是一項以實用為導向、跨領域的科技研究案。主要

目的之一是提供標準且一致的地震災害損失評估方法，且須適應不同使用者的需求與不同精確度的資料來源，以作為地區性或全國性的地震災害損失評估之用。台灣地震損失評估系統之研發目標至少包含下列三項功能[1]：

- (1) 提供震災早期評估的功能：在地震發生後能自動啟動或以人工方式啟動，在短時間內推估地表振動強度、工程結構物(一般建築物、橋梁)的損害狀態機率與數量、人員傷亡程度與數量、經濟損失評估…等等數據，可供各級災害應變中心參考，作為救災人力物力和醫療資源派遣的決策支援系統。緊急評估項目依使用者需求和現實資料庫的建置進度而定。
- (2) 地震災害境況模擬功能：根據模擬地震的震源參數和活動斷層分佈資料，推估地表振動強度和土層破壞機率與永久位移量，並可進行各項工程結構物的損害評估及對社會經濟的衝擊等等。
- (3) 地震風險評估的功能：由於地震發生的時間、地點和規模具有極大的不確定性，配合實際工程結構物的分佈不均，因此引致的損失金額或其他可量化的風險也有許多的不確定性。為真實反應評估對象(如一般建築物、橋梁或高科技廠房)受地震影響的危害度，有必要結合地震危害度分析和工程結構物的易損性分析，進行一系列的等危害度之模擬地震的震災境況模擬，根據統計分析的結果得到評估對象受地震影響的風險程度，如年平均損失金額及其信賴區間等資訊。

2.1.1 分析流程與架構

TELES 的分析架構與流程如圖 2-1 所示，大體上分為震災潛勢分析模組、工程結構物損害評估模組、地震引致二次災害評估模組、和社會經濟損失評估模組等，各模組依評估的對象又可細分為若干個次模組。圖中箭號表示，各模組間彼此相關，某些模組的輸出資料可作為其它模組的輸入資料。

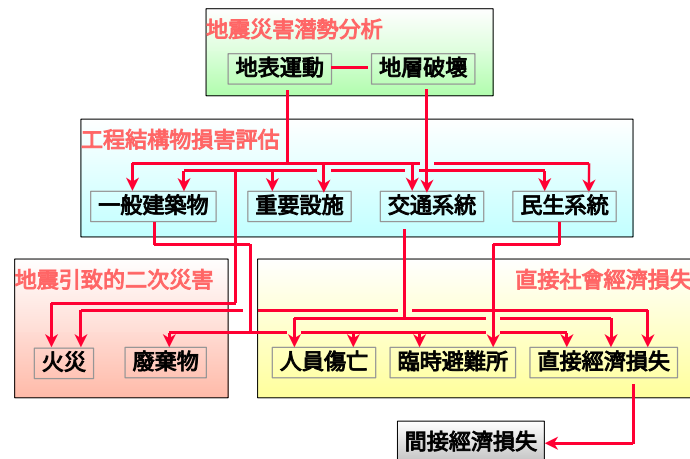


圖 2-1 TELES 的分析流程與架構 [1]

經由上述分析流程的模組化設計，未來可針對單一分析模組進行更新而不會影響其他分析模組的適用性。為便利未來更新應用軟體以增加或修改既有功能，「台灣地震損失評估系統—TELES」的軟體架構也採物件導向的程式語言撰寫，並採用模組化設計使軟體架構與分析架構一致。

在進行各種工程結構物損害評估或社會經濟損失評估之前，使用者必須儘可能的收集相關資料，譬如欲評估一般建築物在模擬地震作用下的損害程度和數量，使用者必須提供一般建築物以模型建物 and 耐震能力分類的總樓地板面積；欲評估人員傷亡或建築物的直接經濟損失則須有一般建築物以用途分類的總樓地板面積。如欲評估橋梁的損害狀態機率，則必須建置橋梁的基本資料庫，包含橋梁位置、結構型態分類和耐震等級、跨數、歪斜角、土壤液化敏感類別和地盤種類等屬性資料。建置相關資料庫後在進行分析與評估的工作。

為提高實用性，各分析模組所用的參數值與資料庫內容，可隨使用者經費與人力多寡提供不同程度的分析精度。TELES 在資料使用的彈性乃參照 HAZUS 技術手冊所提供的三種層級分類[1]：

- (a)第一級的分析，使用者僅提供極少量的輸入資料，其它分析模式所用的參數值用系統提供的預設值。

(b)第二級的分析，使用者須提供較詳細的地區性資料，譬如各地區的土壤類別、液化或山崩敏感類別、一般建築物或重要設施的數量和耐震特性，並適當地修改分析參數值。評估結果的準確性與可信度隨資料品質而定，使用者可根據需求選擇全部或部份的分析模組。

(c)第三級的分析需工程或經濟專家提供諮詢，配合其它更精確的分析模式，詮釋分析所得的結果並提供建議。

目前配合實際已收集的資料項目和分析模式的研發或更新的進度，TELES 目前已可進行地震災害潛勢分析、一般建築物和橋梁的損害評估、一般建築物損害所引致的人員傷亡評估、一般建築物和橋梁的直接經濟損失評估等。雖然所包含的分析項目比圖 2-1 所示的分析項目少，但主要因相關的資料庫尚未建置完備，在進行各項損失評估之前，使用者必須儘可能的收集詳細且正確之資料，方可獲得有意義的評估結果。目前 TELES 在一般建築物的資料收集上較為詳細，而在橋梁、維生管線(自來水、瓦斯與電力系統)與重要設施(如醫院、學校、消防局)等方面的資料庫仍在逐年收集建置當中，未來一旦相關資料達到可應用的程度，將可輕易地整合到 TELES 系統內[1]。

2.1.2 TELES 橋梁震損評估核心技術介紹

2.1.2.1 地震災害潛勢分析技術

地震災害潛勢分析目前包含地表振動強度、土壤液化機率和引致永久位移量的推估。地表振動強度主要以最大地表加速度(PGA)、短週期(0.3 秒)和長週期(1.0 秒)的譜加速度來表示。土壤液化的評估結果可輸出在設定的地震規模和各地不同 PGA 作用下，各地發生土壤液化的機率(可能性)和引致的永久變位。山崩和斷層開裂所引致的永久位移也是影響工程結構物損害評估的參數[1]。但一方面山崩潛勢分析所需的基本資料尚未建置齊全，另一方面斷層開裂對斷層附近土層的影響尚未進一步研究。因此，本文僅就地表振動和土壤液化兩因素，進行一

般建築物的損害評估。

(a)震源參數設定

TELES 在模擬地震的設定方面，使用者可選擇進行歷史地震的境況模擬，或已知活動斷層開裂的境況模擬。為提高系統的實用性，使用者也可任意假設活動斷層的位置、走向、開裂長度、寬度與開裂面傾角，或提供自訂的地表振動強度的分佈圖，以供後續結構物損害及社會經濟損失評估之用。震源參數設定主要包含地震發生的日期、時間、地震規模、震央位置、震源深度等。如假設地震是斷層錯動所引起的，則可設定開裂斷層的相關屬性資料，譬如斷層的走向、開裂面的傾角、開裂的長度和寬度等。換言之，TELES 可模擬和比較不同震源模式(點震源、線震源和面震源)所產生的影響和衝擊[1]。

譬如民國 88 年發生的集集地震，是因車籠埔斷層錯動而引起的。由於斷層面的傾角才 30~40 度左右，斷層兩側之上、下盤的地表振動強度和災情有明顯的不同。如以點震源或線震源型式來推估地震災害潛勢，將無法真實反應實際觀測到的現象。反之，以面震源型式來模擬則較切合地震監測資料和災情調查的結果。圖 2-2 顯示集集地震之震災境況模擬的 PGA 分佈。由下圖可知，以面震源型式進行境況模擬，可反應斷層兩側上、下盤的差異，對後續損害或損失評估影響極大[1]。

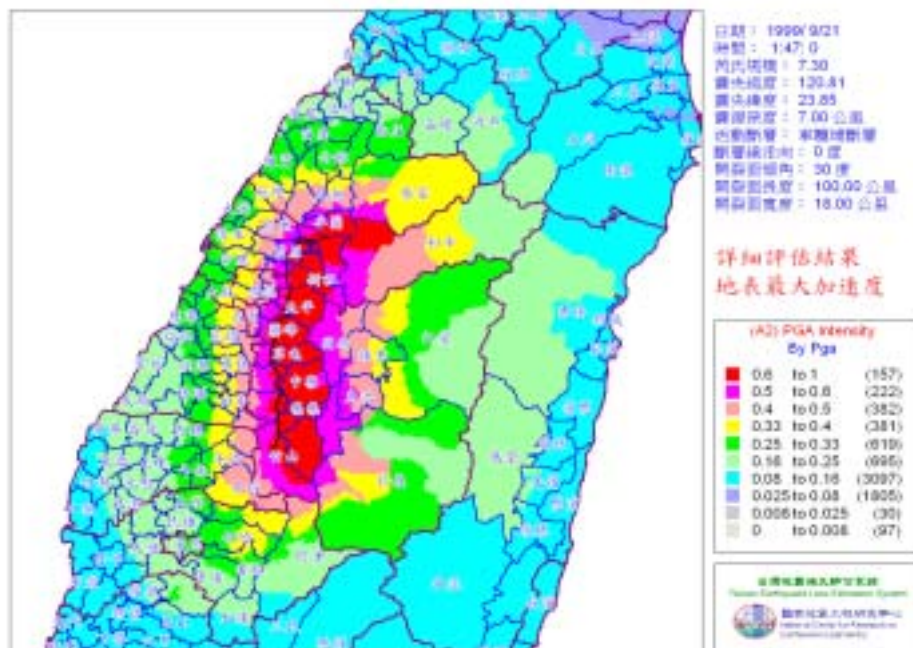


圖 2-2 民國 88 年集集地震，車籠埔斷層開裂所引致 PGA 的分佈 [1]

(b)地表振動強度推估

TELES 採用傳統的推估模式，亦即利用震度衰減律來概估強地動參數在堅實岩盤處的大小，再利用場址修正係數來調整不同地區的土壤動態特性或地形地貌所引致的場址效應。如獲得中央氣象局或其他設有強震儀監測系統的單位提供實測的地震歷時紀錄，且經初步分析得 PGA 和短週期、長週期譜加速度的值，這些實測值也可用來微調上述地表振動強度推估的結果，使各地地表振動強度的推估值較符合實際觀測的結果。

(c)土壤液化評估

根據國家地震工程研究中心所收集的工程地質鑽探資料，可求出有鑽孔資料的地區以村里為單位的土壤液化敏感類別圖。由於工程鑽孔資料的分佈不均勻，大多集中於都會區和重大公共工程建設(如捷運與高速鐵路沿線)的附近；土壤液化敏感類別圖的製作尚須配合地質圖、河流流域分佈圖、古河道分佈資料等，目前仍有許多改進的空間。在不同的地震規模、地下水位和 PGA 等條件下，不同的土壤液化敏感

類別發生液化的機率、引致的沉陷量和側移量也可利用統計迴歸的方式求得經驗公式，作為後續推估結構物或地下管線損害的評估參數。

2.1.2.2 橋梁損害評估技術

國道高速公路、省道、縣道、快速道路、市區道路…等等都有橋梁或高架道路的設置。這些橋梁或高架道路為數眾多，如須對每一座橋梁作詳細的耐震能力評估則所需的資料量和資料內容可能需長時間的建置，更何況有些橋梁建造年代較早，可能無法收集到完整的結構設計參數。因此，現階段評估橋梁在模擬地震作用下損害程度的可行方式之一是：根據可收集到的橋梁資料庫，檢視資料欄位內容並依結構型態和耐震能力等因素給予適當分類；建立每一類別之典型橋梁的易損性曲線；根據其他耐震評估參數調整個別橋梁的易損性曲線。這是目前 HAZUS 和 TELES 所採用的方法，其優點是可以在短時間內得到粗略的損害評估的結果，而且不需詳細的結構系統設計參數；但也因個別橋梁的變異性大，其缺點是僅以少數的耐震評估資料無法得到精確的損害評估結果。

就分類系統而言，ATC-13(ATC Reports : Reports of Applied Technology Council)依橋長和上部結構系統的連續性將橋梁粗分為三類，如表 2-1 所示。HAZUS 97 以 ATC-13 的分類為基礎，加上耐震設計與否和高風險性(high risk)的考量因素，將橋梁區分成 12 類，參見表 2-2。在此所謂具高風險性的橋梁是指(1)未經耐震設計的橋梁，(2)上部結構系統具不規則的幾何形狀，(3)多跨簡支的橋梁。依 HAZUS 97 技術手冊的說明：在相關的橋梁耐震設計規範生效前所建造的橋梁，或橋墩與車行方向彎斜達 45 度以上的橋梁，或曲線橋且弧度大於 90 度的橋梁都屬於高危險性的橋梁。

表 2-1 ATC-13 之橋梁分類

Facility number	Description
24	Conventional (less than 500 ft span)
25	Multiple simple spans
30	Continuous monolithic (includes simple span)
	Major (greater than 500 ft span)

表 2-2 HAZUS 97 之橋梁分類 (S 表耐震設計，C 表傳統設計)

危險別	跨度與連續性	耐震別	類別
	長跨橋(L>500 ft)	S	HBR1
		C	HBR2
	連續橋	S	HBR3
		C	HBR4
	簡支橋	S	HBR5
		C	HBR6
高危險	長跨橋(L>500 ft)	S	HBR7
		C	HBR8
	連續橋	S	HBR9
		C	HBR10
	簡支橋	S	HBR11
		C	HBR12

參考 HAZUS 99 的橋梁分類系統進一步依據(1)耐震設計與否，(2)跨數為單跨或多跨，(3)結構系統主要為鋼筋混凝土構造、預力混凝土構造或鋼構造等，(4)橋墩型式為單柱、構架式或壁式橋墩，(5)橋台型式，(6)支承型式，(7)上部結構系統的連續性，如連續、跨間簡支(in-span hinges)或簡支等結構系統的特性，總共分為 28 類。每一類典型橋梁之

易損性曲線的參數值可依理論分析或震災經驗求得。個別橋梁的在模擬地震作用下的易損性曲線的參數則進一步根據跨數、橋墩與車行方向夾角、橋寬與跨長比、橋墩基礎型式等調整。

由 HAZUS 97 與 99 在橋梁損害評估模組所用之分類系統的演進可知：橋梁分類系統訂定的最重要原則是現有可收集到的資料內容能否提供相關耐震評估的資訊。如果現有橋梁資料庫的內容僅包含極少數的耐震評估參數，則分類系統應盡量簡化；反之，如果現有橋梁資料庫的內容包含建造或維修年代、依據的耐震設計規範、上部結構系統的型式、橋墩型式、橋墩基礎型式、支承型式、橋面版線形、橋墩與車行方向夾角、跨數或振動單元數、橋寬與跨長比等耐震評估參數，則可考慮參考 HAZUS 99 的分類系統。

表 2-3 HAZUS 99 之橋梁分類

材料	上部結構		下部結構	耐震別	跨度	州別	類別		
長跨橋				C	>150 m		HWB1		
				S			HWB2		
單跨橋				C			HWB3		
				S			HWB4		
鋼筋混凝土	簡支橋、構架式橋柱			C		非加州	HWB5		
						加州	HWB6		
	連續橋			S			HWB7		
				單柱、箱型梁	C			HWB8	
					S			HWB9	
				其他	C			HWB10	
					S			HWB11	
				預力橋				C	
	加州	HWB18							
連續橋	S							HWB19	
	單柱、箱型梁	C							HWB20
		S							HWB21
	其他	C							HWB22
		S							HWB23
	鋼橋	簡支橋、構架式橋柱 構架式橋柱						C	>20 m
					加州	HWB13			
<20 m					非加州	HWB24			
					加州	HWB25			
連續橋			S			HWB14			
			C	>20 m		HWB15			
				<20 m	非加州	HWB26			
				加州	HWB27				
			S			HWB16			

交通部國道高速公路局於民國 90 年委託 T. Y. Lin 工程顧問公司進行「國道高速橋梁耐震分析評估及補強工程—國道通車路段可行性研究」研究計畫，藉以評估已通車路段之高速橋梁補強的經濟效益。為達成此目標 T. Y. Lin 工程顧問公司收集已通車路段且需進行耐震評估的高速橋梁的詳細資料，並建置橋梁耐震評估所需參數的資料表(表 2-4)，進行橋梁初步耐震評估分析。其中部分欄位的資料則配合後續經濟損失評估與補強效益研究的需求而填寫 圖 2-3 為橋梁在模擬地震作用下之經濟損失評估的流程示意圖。

表 2-4 TELES 橋梁屬性資料調查表 [1]

橋梁屬性資料調查表					
填寫人員：_____		調查日期：____年____月____日			
橋梁名稱	_____		國道高速公路局橋梁編號	_____	
道路名稱	_____	道路等級	☐ 1 省道 ☐ 2 縣道 ☐ 3 縣道		
橋梁管理單位	_____	附掛維生管線	☐ 1 有 ☐ 2 無		
跨越河川/道路	☐ 1 河川 ☐ 2 道路 ☐ 3 橋樑 名稱 _____				
座標	橋頭座標	N _____ E _____			
	橋尾座標	N _____ E _____			
橋梁主體狀況	橋梁結構型態	☐ 1 吊橋 ☐ 2 拱橋 ☐ 3 桁架 ☐ 4 連續 ☐ 5 箱涵 ☐ 6 簡支 ☐ 9 其他 _____			
	橋梁主梁形式	☐ 1 I 型梁 ☐ 2 B 型梁 ☐ 3 T 型梁 ☐ 4 U 型梁 ☐ 5 版梁 ☐ 6 箱型梁 ☐ 9 其他 _____			
	橋墩形式	☐ 1 無橋墩構造 ☐ 2 T 型 ☐ 3 重力式 ☐ 4 半重力式 ☐ 5 柱狀 ☐ 6 多柱 ☐ 7 樁排架式 ☐ 8 牆式 ☐ 9 其他 _____			
	橋墩基礎形式	☐ 1 無橋墩基礎 ☐ 2 基礎 ☐ 3 沉箱基礎 ☐ 4 直接基礎 ☐ 5 開放基礎 ☐ 9 其他 _____			
	橋台形式	☐ 1 無橋台構造 ☐ 2 扶壁式 ☐ 3 重力式 ☐ 4 半重力式 ☐ 5 懸臂式 ☐ 6 樁排架式 ☐ 7 支柱型式 ☐ 8 鋼型式 ☐ 9 其他 _____			
	橋台基礎形式	☐ 1 無橋台基礎 ☐ 2 樁基礎 ☐ 3 沉箱基礎 ☐ 4 直接基礎 ☐ 5 開放基礎 ☐ 9 其他 _____			
	支撐墊形式	☐ 1 無支承墊式 ☐ 2 單軸式 ☐ 3 多軸式 ☐ 4 直式 ☐ 5 點軸 ☐ 6 球軸 ☐ 7 筒式連節 ☐ 8 平面滑動 ☐ 9 橡膠薄板 ☐ 10 彎軸葉狀 ☐ 11 壺狀 ☐ 12 彎軸插梢 ☐ 99 其他 _____			
	防落設施	☐ 1 無止震設施 ☐ 2 混凝土止震塊 ☐ 3 預力混凝土止震塊 ☐ 9 其他 _____			
	線形	☐ 1 直橋 ☐ 2 曲橋			
橋梁分類	☐ 1 單跨橋 ☐ 2 單柱 ☐ 3 構架式 ☐ 4 壁式 ☐ 5 單柱 ☐ 6 構架式 ☐ 7 壁式 ☐ 8 其他橋樑		設計使用規範	☐ 傳統 C ☐ 耐震/補強 S	
橋長	公尺	橋寬	公尺	單跨最大跨度	公尺
跨數	振動單元數		歪斜角	度	

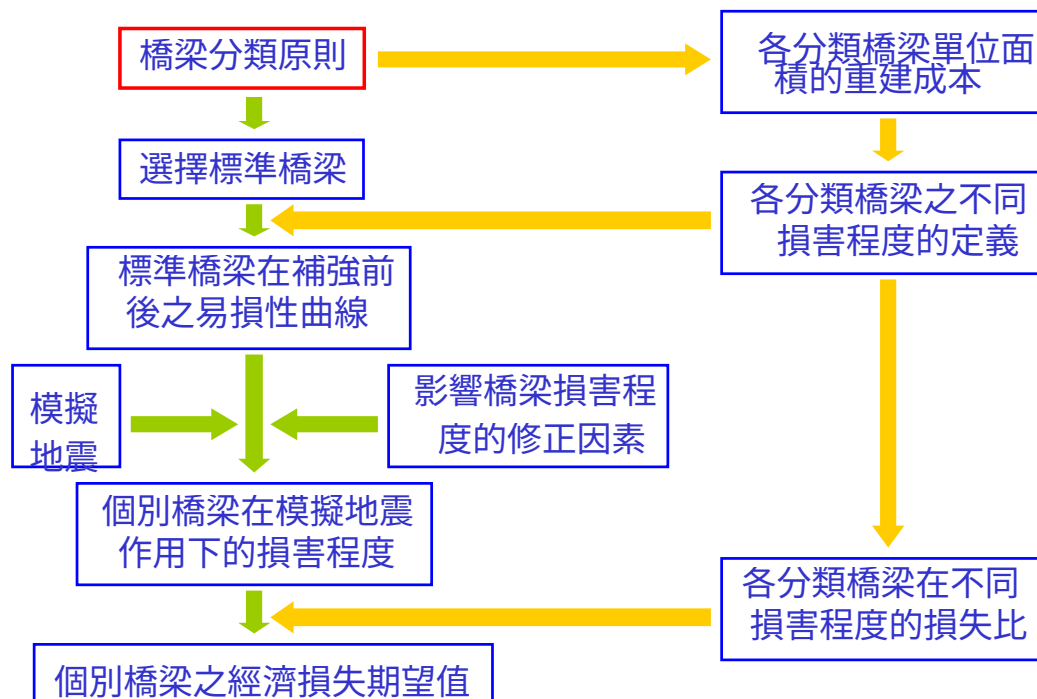


圖 2-3 橋梁損失評估流程的示意圖 [1]

首先依現有高速橋梁的結構型式進行橋梁分類系統的訂定。參考 HAZUS 99 的橋梁分類系統，但由於國內高速公路大多數為預力混凝土橋，且混凝土橋和預力混凝土橋在數值模擬分析時不易顯現其差異性，所以在超大跨距與特殊橋梁不列入評估的情形下，將橋梁區分為 8 種主要的類型如表 2-5 所示。除鋼橋與少見的結構型式歸於其他類型外，依跨數概分為單跨或多跨的橋梁，多跨的橋梁依上部結構的連續性概分為簡支橋或連續橋，依橋墩型式則又概分為單柱、構架式或壁式橋墩。每一主要類型的橋梁再依是否符合最新耐震設計標準(由耐震設計規範或建造年代決定)分為兩個子類，其中 C 代表傳統設計，S 代表符合最新耐震設計規範。由於橋梁結構在補強後須達現行耐震設計規範的標準，所以補強後的橋梁皆視為經耐震設計的橋梁。

表 2-5 高速橋梁分類系統 [2]

跨數	上部結構	橋墩型式	設計	分類
單跨			傳統	TYPE 1C
			耐震/補強	TYPE 1S
多跨	簡支橋	單柱	傳統	TYPE 2C
			耐震/補強	TYPE 2S
		構架式	傳統	TYPE 3C
			耐震/補強	TYPE 3S
		壁式	傳統	TYPE 4C
			耐震/補強	TYPE 4S
	連續橋	單柱	傳統	TYPE 5C
			耐震/補強	TYPE 5S
		構架式	傳統	TYPE 6C
			耐震/補強	TYPE 6S
		壁式	傳統	TYPE 7C
			耐震/補強	TYPE 7S
其他橋梁			傳統	TYPE 8C
			耐震/補強	TYPE 8S

每一類橋梁選擇數座具代表性的標準橋梁進行耐震評估，藉以求得每一類標準橋梁的易損性曲線的參數。在進行易損性曲線的參數研究前，須依據損害評估模式定義橋梁不同的損害狀態。如一般建築物的損害評估，將橋梁損害狀態概分為無、輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害等五級，如表 2-6 對橋梁不同損害狀態的描述。當橋梁受強烈地表振動而導致局部損害時，必然由整體結構系統較弱的元件開始損害。依橋柱和支承墊的相對強度，將橋梁概分為強支承-弱橋柱和弱支承-強橋柱兩類。屬於弱橋柱之橋梁的損害狀態主要由橋柱在模擬地震作用下的韌性需求描述；屬於弱支承之橋梁的損害狀態則主要由橋面版和橋柱在模擬地震作用下的相對位移來決定。當橋柱的相對強度較弱時，橋柱先損害，此時須根據橋梁是否經妥善韌性設計決定達不同損害狀態的韌性需求，如表 2-6 所示。若支承較弱，橋面版與橋柱可能因相對位移過大而損害。根據一般支承墊的寬度決定達不同損害狀態的相對位移量，如表 2-6 所示。

表 2-6 橋梁損害狀態之描述 [1]

損壞狀態	說明	強支承-弱橋柱		弱支承-強橋柱(側向位移)
		耐震設計	傳統設計	
輕微損害	橋台處產生細微之裂縫並發生輕微之混凝土剝落現象，橋台剪力鋼棒及橋面板產生細微之裂縫，橋柱有輕微混凝土剝落現象。	韌性需求 $R=2$	韌性需求 $R=1$	支承達降伏強度
中度損害	橋柱出現中度之剪力裂縫及混凝土剝落，橋柱結構似仍安全；橋台發生中度之位移(小於 5 公分)；剪力鋼棒出現嚴重之裂縫及混凝土剝落現象；橋台連結鋼筋破壞，失去錨錠作用；剛性支承破壞或發生中度沈陷現象。	$R=4$	$R=\min(1+\frac{R_f-1}{2}, 2)$	側向位移達 10 cm
嚴重損害	橋柱因剪力破壞造成強度嚴重下降，橋柱結構屬不安全狀態，但尚未崩塌；在交接處產生明顯之殘餘移動量或發生明顯之沈陷；橋台產生垂直之位移；剛性支承破壞或發生中度沈陷。	$R=6$	$R=\min(R_f, 3)$	側向位移達 20 cm
完全損害	橋柱傾倒崩塌，連接處失去支承能力，並可能造成橋面板之崩塌；基礎之破壞造成下部結構嚴重傾斜。	$R=9$	$R \geq R_f$ 或 $R=4.5$ ，橋柱達耐震能力極限	側向位移達 $\min(40, 2N/3)$
N：防落長度(cm) R_f：橋柱產生彎矩剪力破壞時對應之韌性				

T. Y. Lin 進行高速橋梁耐震評估及補強工程的研究計畫成果，表 2-7 所示為該計畫所推導之典型橋梁，在堅實地盤、車行方向與橋墩正交及不考慮橋面版的三維效應下，因地表振動引致損害之易損性曲線的參數。參考 HAZUS 99 的技術手冊，在對數常態分布的假設下， m_i 和 β_i ， $i=2, 3, 4$ 和 5 分別為超過輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害程度之一秒週期的譜加速度 S_{a1} 的中值和變異係數。TELES 系統假設傳統設計的橋梁沒有考慮在中等地盤或軟弱地盤時的耐震需求須適當提高，因此傳統設計的橋梁所對應的易損性曲線的中值不因地盤種類而改變。但經耐震設計或補強的橋梁，由於已考慮提高橋梁的強度或韌性，因此在中等地盤或軟弱地盤的橋梁，其易損性曲線的中值分別乘以 1.3 和 1.5，以反應其耐震能力提高。

表 2-7 因地表振動引致損害的典型橋梁之易損性曲線的參數 [2]

Class	a	b	m_2	β_2	m_3	β_3	m_4	β_4	m_5	β_5
TYL1C	0.250	1	0.30	0.50	0.60	0.45	0.98	0.40	1.39	0.40
TYL1S	0.250	1	0.30	0.50	0.60	0.45	0.98	0.40	1.39	0.40
TYL2C	0.250	1	0.20	0.50	0.28	0.45	0.46	0.40	0.58	0.40
TYL2S	0.250	1	0.22	0.50	0.35	0.45	0.65	0.40	0.83	0.40
TYL3C	0.250	1	0.20	0.50	0.30	0.45	0.52	0.40	0.66	0.40
TYL3S	0.250	1	0.22	0.50	0.40	0.45	0.72	0.40	0.90	0.40
TYL4C	0.250	1	0.20	0.50	0.30	0.45	0.38	0.40	0.50	0.40
TYL4S	0.250	1	0.22	0.50	0.35	0.45	0.55	0.40	0.70	0.40
TYL5C	0.330	0	0.20	0.50	0.28	0.45	0.40	0.40	0.50	0.40
TYL5S	0.330	1	0.22	0.50	0.40	0.45	0.60	0.40	0.80	0.40
TYL6C	0.330	0	0.23	0.50	0.38	0.45	0.53	0.40	0.70	0.40
TYL6S	0.330	1	0.26	0.50	0.42	0.45	0.75	0.40	0.95	0.40
TYL7C	0.330	0	0.23	0.50	0.32	0.45	0.40	0.40	0.50	0.40
TYL7S	0.330	1	0.25	0.50	0.35	0.45	0.57	0.40	0.70	0.40
TYL8C	0.330	0	0.22	0.50	0.35	0.45	0.52	0.40	0.69	0.40
TYL8S	0.330	1	0.24	0.50	0.41	0.45	0.69	0.40	0.90	0.40

橋梁車行方向與橋墩的彎斜，以及橋面版的三維效應則仿照 HAZUS 99 的公式，令其修正係數分別為 K_{skew} 和 K_{3D} 並可表為下式 [1]：

$$K_{\text{skew}} = \sqrt{\cos(90 - \alpha)} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$K_{3D} = 1 + \frac{a}{N - b} \dots\dots\dots(2-2)$$

其中 α 代表橋梁之車行方向與橋墩的夾角，各類典型橋梁的 a 和 b 分別列於表 2-7。除輕微損害外，超越其他各損害程度之易損性曲線 S_{a1} 的中值須乘以 $K_{\text{skew}} K_{3D}$ 。

因土壤液化或其他土層破壞而引起的永久位移也會造成橋梁損害，參考 HAZUS 99 對土層破壞引致的橋梁損害評估模式，但根據現有橋梁資料表的內容略作修改。由於高速橋梁之基本資料表所對應的振動單元資料表有基礎型式的紀錄，可以區分每一座橋梁之振動單元的基礎型式為深基礎、淺基礎或混合基礎型式。根據經驗，具深基礎的橋梁較能抵抗土壤的沉陷或滑移，因此與永久位移相關之易損性曲線的中值應適度放大。在此，假設經耐震設計或補強後的橋梁基礎與傳統設計的橋梁基礎比較，其易損性曲線的中值可提高三倍；在相同耐震設計規範下，深基礎與淺基礎相比，其因土層破壞引致之易損性曲線的中值提高兩倍。表 2-8 所示為具淺基礎型式之典型橋梁的永久位移相關之易損性曲線的參數。某些橋梁之不同振動單元採用不同的基礎型式，則以振動單元數量加權平均的方式求得該座橋梁易損性曲線之中值的調整係數。

表 2-8 因土層破壞引致損害的典型橋梁之易損性曲線的參數 [2]

Class	I_{pgd}	m_2	β_2	m_3	β_3	m_4	β_4	m_5	β_5
TYL1C	1	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	45.0	0.2
TYL1S	1	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	135.0	0.2
TYL2C	2	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	35.0	0.2
TYL2S	2	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	105.0	0.2
TYL3C	2	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	35.0	0.2
TYL3S	2	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	105.0	0.2
TYL4C	2	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	35.0	0.2
TYL4S	2	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	105.0	0.2
TYL5C	0	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	25.0	0.2
TYL5S	0	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	75.0	0.2
TYL6C	0	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	25.0	0.2
TYL6S	0	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	75.0	0.2
TYL7C	0	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	25.0	0.2
TYL7S	0	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	75.0	0.2
TYL8C	0	10.0	0.2	10.0	0.2	15.0	0.2	25.0	0.2
TYL8S	0	30.0	0.2	30.0	0.2	45.0	0.2	75.0	0.2

TELES 系統也參考 HAZUS 99 對具彎斜角或簡支承之橋梁的易損性曲線的中值作修正。茲分為三種情況，第一種情況($I_{pgd}=1$)為單跨橋梁，第二種情況($I_{pgd}=2$)為多跨簡支承橋梁，第三種情況($I_{pgd}=0$)為多跨連續橋梁。各橋梁分類的 I_{pgd} 值如表 2-8 所示。超過輕微損害、中度損害與嚴重損害的易損性曲線的中值須乘以 f_1 ，超過完全損害的易損性曲線的中值則須乘 f_2 。 f_1 與 f_2 分別以下兩式表示[1]：

$$f_1 = \begin{cases} 1 & I_{pgd} = 1 \\ \frac{2NW \sin \alpha}{L} & I_{pgd} = 2 \\ 1 & I_{pgd} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(2-3)$$

$$f_2 = \begin{cases} 1 & I_{pgd} = 1 \\ \frac{2NW \sin \alpha}{L} & I_{pgd} = 2 \\ \sin \alpha & I_{pgd} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(2-4)$$

其中 N 為跨數，W 為橋寬，L 為橋長， α 為彎斜角。

2.1.2.3 橋梁的直接經濟損失評估技術

假設各座橋梁在模擬地震作用下的損害狀態機率(damage state probability)已經由上述的橋梁損害評估模組推估而得。各座橋梁於模擬地震作用下，屬於輕微損害、中度損害、嚴重損害或完全損害狀態的機率，分別以 p_2 、 p_3 、 p_4 和 p_5 代表。為簡化經濟損失的評估模式，假設各類橋梁在不同損害狀態下的修復成本與重建成本的比值已知，並以 d_2 、 d_3 、 d_4 和 d_5 代表損失比，則各座橋梁在模擬地震作用下的直接經濟損失的期望值 $E[L]$ ，依總機率原理(total probability theory)可表為下式[1]：

$$E[L] = \left[\sum_{i=2}^5 (p_i \cdot d_i) \right] \cdot C \dots\dots\dots(2-5)$$

其中 C 代表該座橋梁的重建成本。由於各項外在環境因素如交通便利與否、一旦中斷對週遭環境的衝擊等，理論上每一座橋梁的重建成本須個別評估。但為簡化分析流程，無法逐一推估每一座橋梁的重建成本，在 TELES 裡則假設重建成本僅與橋梁類型和基礎型式有關。

在不同損害程度下的損失比 d_i ，根據 HAZUS 99 的技術手冊應在某一範圍內，如表 2-9 所示。為突顯經耐震設計和補強後的效果，假設在相同的損害程度下，經耐震設計或補強後的橋梁將使損害集中在較小的範圍，因此可以減小損失比。在輕微損害、中度損害與嚴重損害程度下的損失比如表 2-10 所示，約可減少 2/3 至 3/4。在完全損害程度下，假設損失比與跨數(或振動單元數)有關，但為避免小於嚴重損害的損失比而訂有下限值，如表 2-10 所示。各類橋梁單位面積的重建成本也列於表 2-10，各橋梁的總重建成本可合計各振動單元的重建成本而得。

表 2-9 HAZUS 所建議的橋梁修復成本與重置成本的比率 [1]

損害狀態	最佳的修復成本比率	修復成本比率的範圍
輕微損害	0.03	0.01 0.03
中度損害	0.08	0.02 0.15
嚴重損害	0.25	0.10 0.40
完全損害	1.0 if $n < 3$; $2/n$ if $n \geq 3$	0.30 1.00

表 2-10 高速橋梁之直接經濟損失評估參數與數值 [2]

上構 型式	橋墩 型式	分 類	重建費(元/M2)		損害比(Damage Ratio)			
			深基礎	淺基礎	輕微	中度	嚴重	完全損害
單跨 簡支	—	1C	22,750	18,200	0.03	0.15	0.40	1.00
		1S			0.01	0.04	0.10	0.30
多跨 簡支	單柱式	2C	27,950	22,100	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		2S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
	構架式	3C	27,950	22,100	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		3S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
	壁式	4C	27,950	22,100	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		4S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
多跨 連續	單柱式	5C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		5S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
	構架式	6C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		6S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
	壁式	7C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		7S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$
其他	—	8C	42,250	36,400	0.03	0.15	0.40	$2/n \geq 0.50$ if $n \geq 3^*$
		8S			0.01	0.04	0.10	$2/n \geq 0.125$ if $n \geq 3^*$

*振動單元數等於 2 時，完全損害狀態的損害率設為 0.67。

圖 2-4 表示包含中山高速公路南北兩段的橋梁分佈圖，根據 TELES 內所建置之分析參數與假設條件下，在不同模擬地震作用下(如表 2-11 所列)，表 2-12 為考慮土壤液化現象時，高速橋梁於補強前後之直接經濟損失的比較，其差值即為橋梁補強的直接經濟效益。

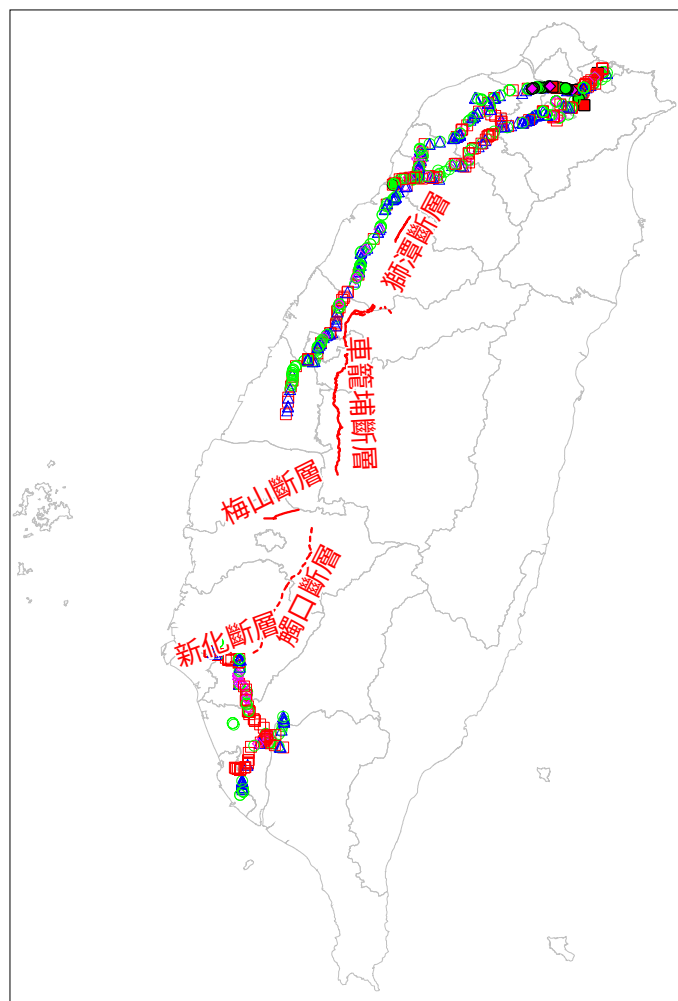


圖 2-4 中山高速公路南北兩段的橋梁分布圖 [1]

表 2-11 模擬地震事件的定義 [1]

事件	活動斷層	規模	深度	破裂長度	歷史最大地震事件
1	車籠埔斷層	7.3	10 公里	100 公里	1999/09/21, M=7.3
2	獅潭斷層	7.1	10 公里	12 公里	1935/04/21, M=7.1
3	梅山斷層	7.0	10 公里	15 公里	1906/03/17, M=7.0
4	觸口斷層	7.1	10 公里	57 公里	1941/12/17, M=7.1
5	新化斷層	6.3	10 公里	6 公里	1946/12/05, M=6.3

表 2-12 模擬地震作用下，考慮土壤液化之補強前後的可能損失與直接經濟效益評估 [1]

地震事件	活動斷層	規模	補強前可能損失(千元)	補強後可能損失(千元)	直接經濟效益(千元)
1	車籠埔斷層	7.3	3,322,756	976,395	2,346,361
2	獅潭斷層	7.1	2,664,026	464,131	2,199,895
3	梅山斷層	7.0	127,970	7,399	120,571
4	觸口斷層	7.1	8,593,980	1,140,065	7,453,915
5	新化斷層	6.3	4,136,867	637,474	3,499,393

2.1.3 TELES 於橋梁震損評估之架構

2.1.2 節介紹了 TELES 橋梁震損評估的核心技術後，此節將介紹 TELES 在橋梁震損評估時的架構流程。圖 2-5 和圖 2-6 為災前、災時 TELES 於橋梁震損評估之架構及應用。由此二圖中可看出災前及災時的分析架構相同，主要差異在於災時 TELES 會接收中央氣象局的地震資訊來進行查詢分析，另外則是災前係進行震災風險評估而災時是進行震災早期損失評估，此兩個模組將會在 4.1.1 節及 4.1.2 節分別介紹。以下針對地震危害度分析、震災境況模擬分析模組及橋梁震損模擬資料庫作一說明：

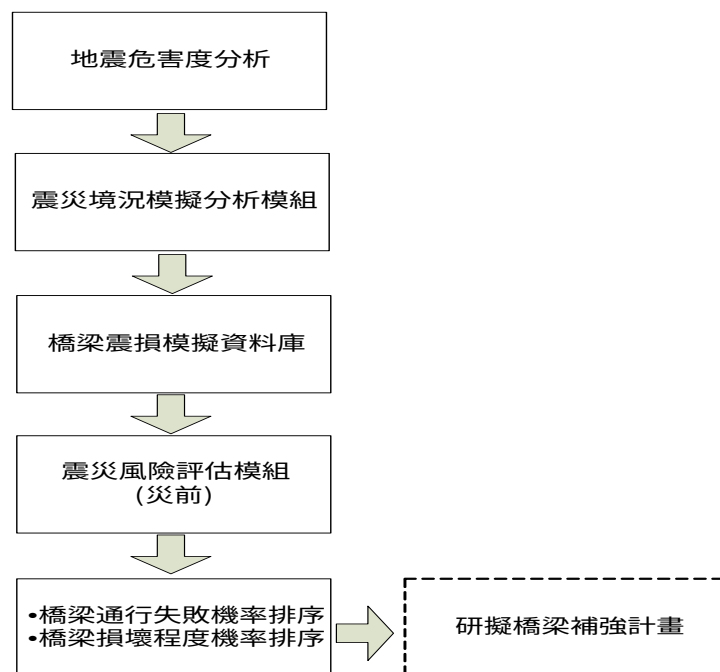


圖 2-5 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前)

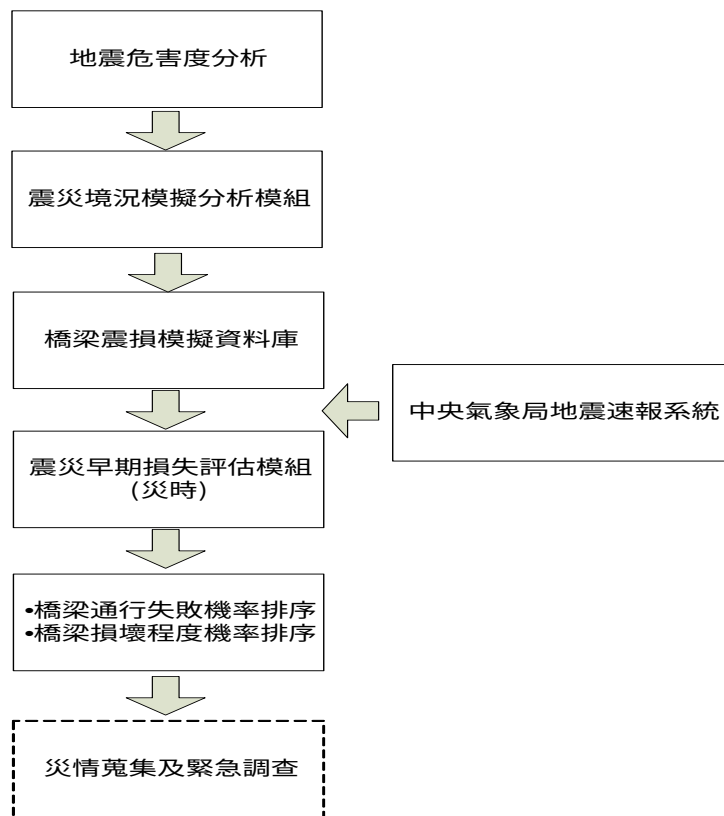


圖 2-6 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時)

2.1.3.1 地震危害度分析

地震危害度分析(seismic hazard analysis)是評估研究區域在未來某一定期間內，因地震而引致的地表振動強度參數的可能數值。地表振動強度通常視評估的對象，以地震波的極值(如 PGA、PGV)、結構反應譜值(如 $S_a(T=0.3)$ 、 $S_a(T=1.0)$)或其它適當的參數來表示。機率式地震危害度分析(probabilistic seismic hazard analysis)的結果常以危害度曲線(hazard curve)或不同回歸期的震度分佈圖來表示，是許多地震工程應用的基礎。然而，根據研究也顯示土壤液化現象或結構物損害程度的判識，除地表振動強度的因素外，尚須考慮地震延時(規模)、地下水位深度、結構物在強震作用下的非線性行為(如遲滯阻尼和勁度與強度弱化現象)等。因此，應用傳統地震危害度分析的結果，亦即單純地利用危害度曲線，可能無法真實反應未來結構物可能承受的損害或損失風險。

機率式震災境況模擬的第一步為瞭解研究區域附近之地震發生的時空分佈和可能的地震規模。根據前人的研究和一般對地震震源的分類方式，將震源大致分為三類：

- (a)第一類是活動斷層的位置和方向已知。
- (b)第二類是斷層方向已知但位置不確定。
- (c)第三類則是斷層的方向和位置都不確定(Der Kiureghian and Ang, 1977)。

第一類震源的歷史性紀錄不足，通常利用地質探測或槽溝開挖等方式，推估活動斷層錯動的再現期和可能引致的特徵地震規模。由於各活動斷層未來發生地震的機率，與該活動斷層上次發生錯動的時間有關，因此不能以穩態卜桑過程(stationary poisson process)模擬。最新趨勢乃改以特徵地震的分析模式處理第一類活動斷層的危害度(Youngs and Coppersmith, 1985)。

在地震目錄收集較齊全的地區，由於有較充足的資訊，包含地震發生的時間、震央位置、震源深度和地震規模等，第三類震源大多以統計分析的方式，先根據各地區的地質或板塊構造進行分區，再利用地震目錄推估各震源分區的地震發生率和地震規模的機率分佈(Weichert, 1980)。目前根據中央氣象局提供的台灣地區地震目錄和對有疑慮之地震事件的校正(Taipower Company, 2004)，較可靠的地震目錄涵蓋約一百年的紀錄。第三類線震源的位置和方向未知，一般假設震央在平面上均勻分佈，斷層開裂於各方向均勻分佈。斷層開裂長度與地震規模的關係、地表振動衰減律和場址效應微分區等分析模式，可應用與單一地震事件之震災境況模擬相同的參數值。

根據地震危害度分析的結果，各震源分區或活動斷層發生地震的頻率、規模和深度都具有不確定性，但可以機率理論來推估不同地點(含震央和震源深度)發生不同地震規模的年平均發生率。

2.1.3.2 震災境況模擬分析模組

震災境況模擬即是根據震源參數、活動斷層特性、各地地盤特性、各項工程結構物的分佈和數量統計等，利用先進科技的評估模式，依據使用者的需求推估前述各項地震引致的災害狀態。經由對地震引致災害的了解，可研擬防震減災的對策。譬如各縣市政府的地區防災計畫可依歷史性地震紀錄和活動斷層的分布，以機率理論推估影響該地區的最大可能地震，包含地震的規模和震央位置等資訊，利用震災境況模擬技術，了解地震災害的分佈和數量，藉以規劃救災的人員和機具、橋梁補強順序、醫療的設施和病床數、臨時避難所的數量和分佈、民生必需品的庫存和調度機制、自來水、瓦斯和電力系統的緊急搶修策略和人力物料的調度…等等。

震災境況模擬由於沒有時間上的限制，因此資料越詳細越好，只要資料夠充分，所採用的評估模式可盡量符合真實的狀況；交通系統的損害評估不必侷限於單一設施的損害評估，也可進行網路分析或其他較複雜的損失評估。總而言之，使用者應根據需求盡量收集相關資料庫，根據現有資料的內容決定分析模式的複雜度和評估結果的項目。

2.1.3.3 橋梁震損模擬資料庫

TELES 可結合機率式地震危害度分析的理論和震災境況模擬技術的研發成果，進行機率式震災境況模擬 (probabilistic seismic scenarios)，擬訂各地區未來可能發生地震的震央位置、震源深度、地震規模，以及可能伴隨的斷層開裂面走向、傾角、長度和寬度等，利用 TELES 震災境況模擬技術進行地震潛勢分析和橋梁之災損評估，並以數千個以上的模擬地震事件作為輸入，建立各模擬地震事件之評估結果的震災模擬資料庫。

台灣地區的震源以第三類震源模擬，以長寬各 0.2 度為單位，自經度 119~123 度與緯度 21~26 度間定義出 500 個網格，如圖 2-7 所示，每一網格各取六種震源深度，每個深度再取 12 種不同的地震規模作為

模擬腳本，且不同的地震規模假設不同的斷層開裂可能。對應任意地震規模的斷層開裂長度 L ，以式 $L = \exp[1.06M_L - 3.232]$ 計算。當斷層開裂長度較小時(<15 公里)，假設其開裂方向為南北向。當開裂長度漸次增加時，以每 15 公里為區間，逐漸增加開裂方向的模擬個數。但為減少計算量，同一震央位置、震源深度和地震規模，最多僅計算四個斷層開裂方向的境況模擬。根據上述條件設定批次模擬地震的震源參數共 87,000 組，並進行震災境況模擬。

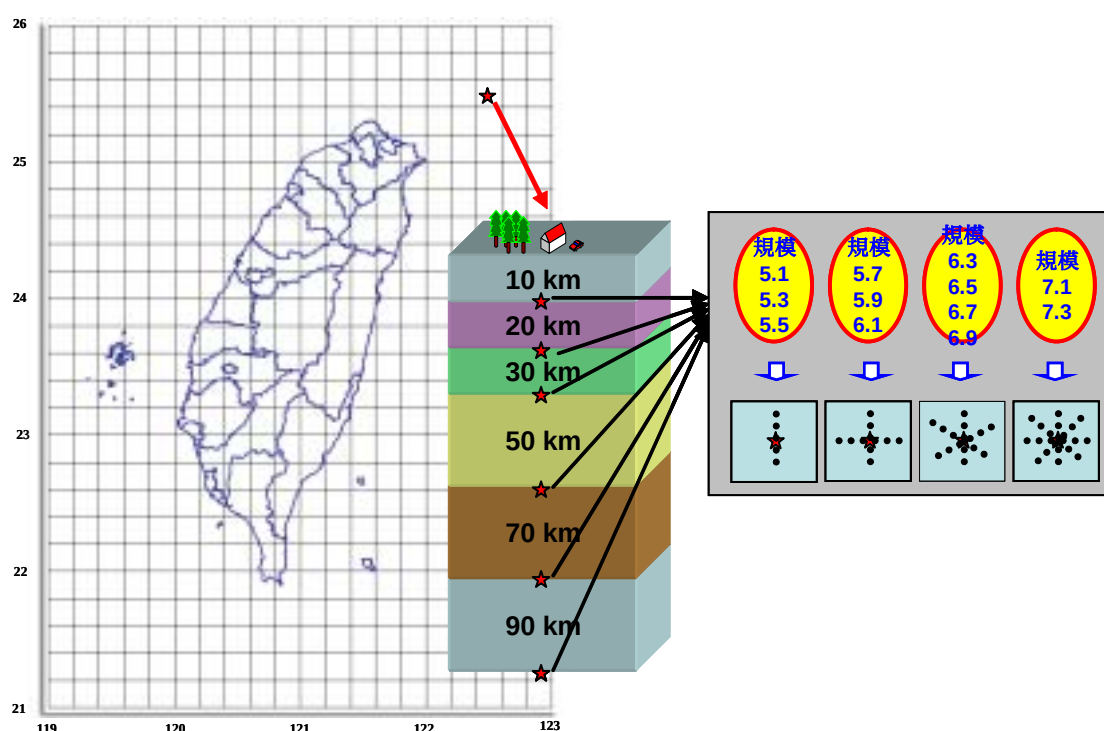


圖 2-7 以第三類震源建置 87,000 筆的台灣地區震災模擬資料庫 [1]

2.2 TBMS 台灣地區橋梁管理系統

行政院於八十四年起即責成交通部積極進行各項橋梁安檢維護作業，交通部於八十六年七月完成「台灣地區橋梁安全管理策略探討與制定」研究，將建立中央橋梁管理系統及適合各橋梁主管單位使用之管理系統，列為現階段重點工作之一，希望利用有系統、有效率的電

腦化管理方法，結合 GIS(Geographic Information System)、GPS(Global Positioning System)及網路技術，以協助橋梁管理機關進行橋梁之管理，而提高橋梁服務水準，確保結構穩定性與安全性，俾維護陸路運輸機能，有效運用資源，降低使用及維修成本，並延長橋梁使用年限。交通部運輸研究所依此規劃，於民國八十八年委託國立中央大學研究團隊進行「建立台灣地區橋梁管理系統」研究案，並於民國八十九年開發完成。

TBMS 為目前國內橋梁管理單位所統一使用之橋梁管理系統，使用單位有交通部台灣區國道高速公路局、交通部公路總局、台灣鐵路管理局、各縣市政府以及各鄉鎮市公所。TBMS 共有十一個模組[3]：

- (1)橋梁基本資料模組
- (2)統計分析模組
- (3)檢測資料模組
- (4)維修記錄模組
- (5)地理資訊系統模組
- (6)績效稽核模組
- (7)參數更新模組
- (8)橋梁構件劣化預測模組
- (9)決策者成本效益模組
- (10)用路人成本模組
- (11)最佳化優選子模組

其系統架構如圖 2-8 所示：

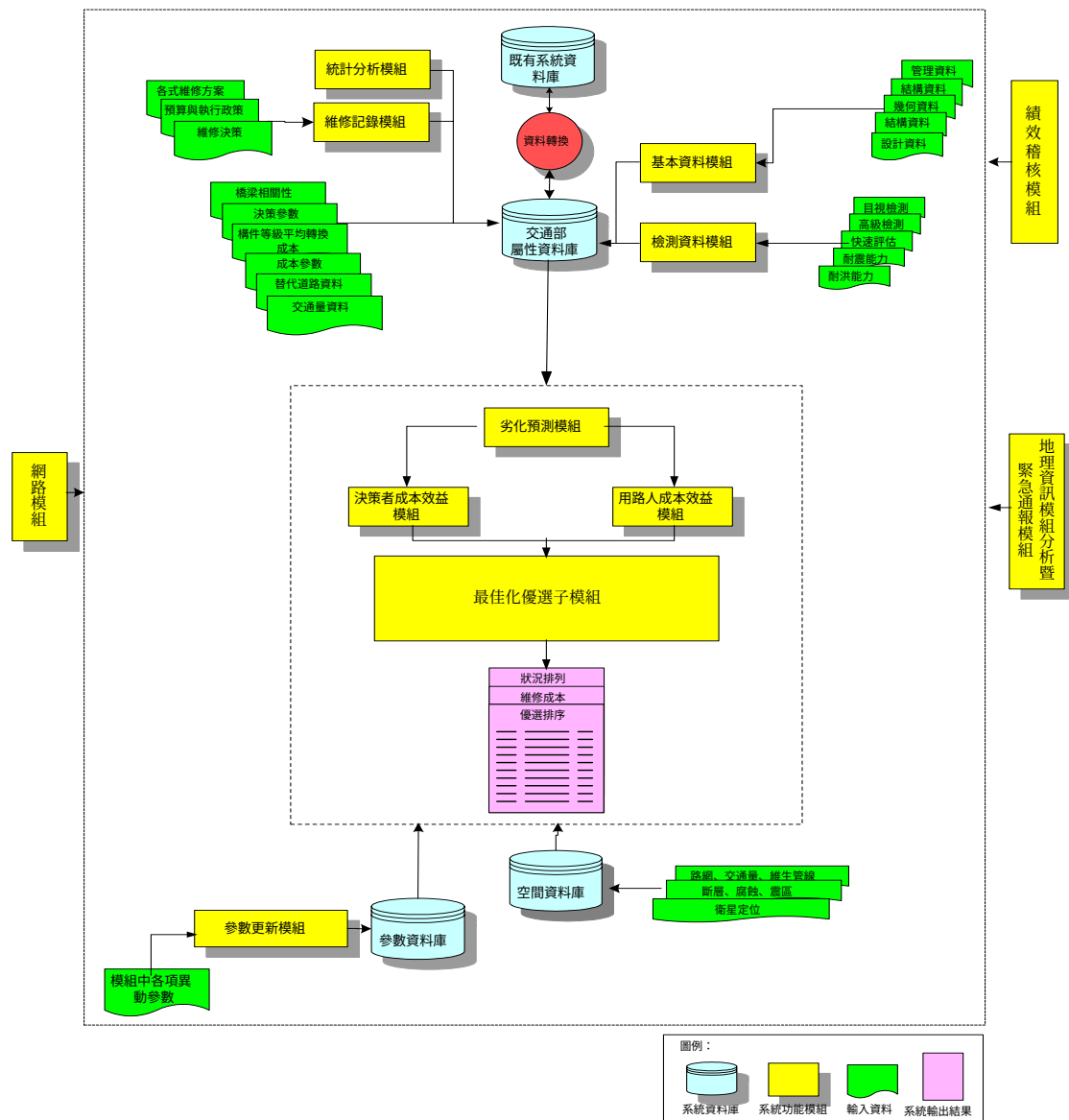


圖 2-8 TBMS 系統架構圖 [3]

以下針對較為常用的五個模組做介紹[3]：

(1)橋梁基本資料模組：

完整的資料庫可謂是橋梁管理系統之核心，TBMS 基本資料模組將橋梁資料分為管理資料、幾何資料、結構資料及設計資料共計 55 個項目以詳細記載每座橋梁之基本資料，橋梁基本資料庫欄位概述如表 2-13 所示，基本資料模組系統畫面如圖 2-9。

表 2-13 系統欄位概述 [3]

資料類別	欄位名稱
管理資料	橋梁名稱、管理機關、所在地、道路等級、路線、里程樁號、竣工年度、竣工月份、合約編號、設計單位、施工單位、竣工圖說保存地點、最近一次維修年度、最近一次維修月份、跨越物體、參考地標、造價、附註
幾何資料	橋梁總長、橋梁最大淨寬、橋梁最小淨寬、最高橋墩高度、橋面版面積、橋上淨高、橋下淨高、總橋孔數、總車道數、最大跨距、其他跨距、橋頭 GPS 座標東經、橋頭 GPS 座標北緯、橋尾 GPS 座標東經、橋尾 GPS 座標北緯
結構資料	結構型式、橋墩型式、橋墩材質、橋墩基礎型式、主梁型式、主梁材質、橋台型式、橋台基礎型式、翼牆型式、支承型式、防震設施
設計資料	設計活載重、防落橋長度、設計地表加速度、計畫洪水位、計畫堤頂高程、計畫河床高度、地盤種類、橋基保護工法
橋梁照片	橋梁近端全景、橋梁遠端全景、橋梁上游全景、橋梁下游全景



圖 2-9 基本資料模組畫面 [3]

(2)統計分析模組：

橋梁管理機關在面臨管理工作時，首先關注的主題為其所管轄之橋梁年代的分布、橋齡的分布或是各種橋梁長度的統計與分布等等問題，藉由獲得這些資料，可進一步了解該管理機關所面臨之橋梁維護管理工作的範圍與負擔程度。統計分析模組可將傳統須以人工進行之統計分析及分析圖表繪製的工作，藉由電腦化系統迅速完成並輔以報表輸出，將所得之結果供作橋梁管理相關工作決策分析之參考。

統計分析模組可進行對橋梁基本資料、檢測記錄及維修記錄進行統計分析查詢並配合圖表之輸出以彙整成報告及清冊，其模組畫面如圖 2-10 所示：

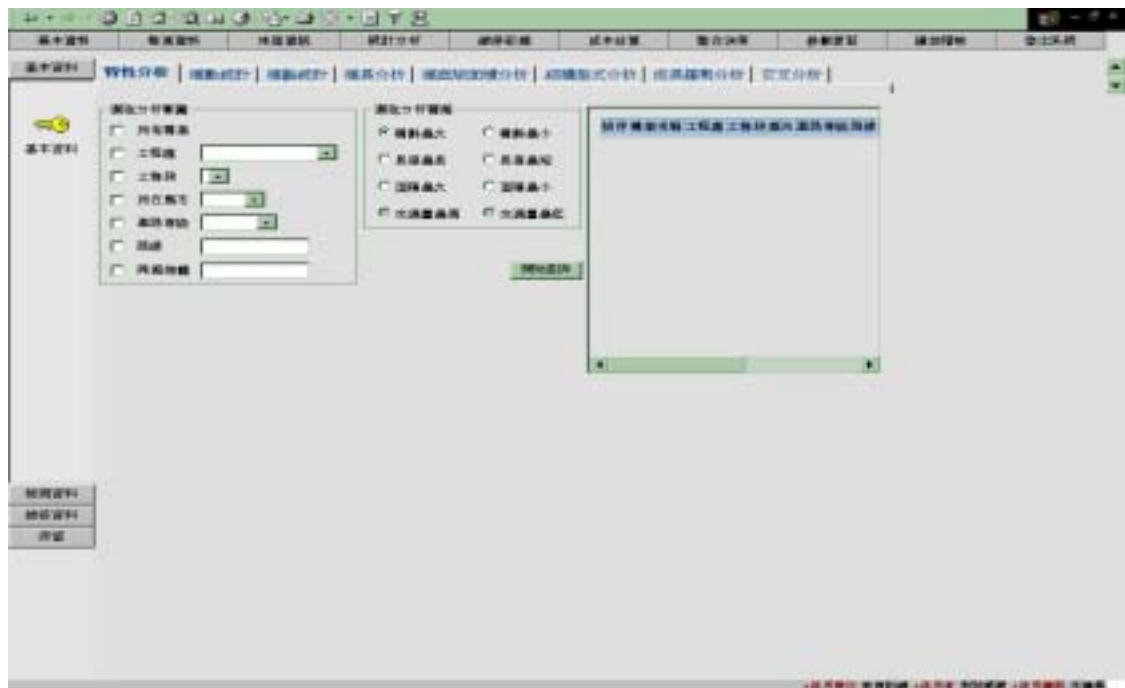


圖 2-10 統計分析模組畫面 [3]

統計分析模組包含以下 9 項統計分析功能：

(a)橋梁特性分析：

所謂橋梁之特性分析，乃是針對不同的橋梁分佈範圍及種類，找出在此限制之下，有關橋梁的橋齡、橋長、橋版面積、交通量等特性之排序，排序可分為從小至大、從大至小兩種順序。此分析可提供給橋梁管理機關了解其轄區內橋齡最老的前幾座橋梁、或是橋長最長及橋面版面積最大之前幾座橋梁，有助於了解轄區內所管理橋梁之排列狀況。

(b)橋梁數量統計：

橋梁數量統計係用以提供使用者查詢不同統計範圍中橋梁的分布狀況，此項功能可對各個單位管轄橋梁、某一縣市橋梁及不同道路等級之數量分等進行統計分析並輸出圖表進行列印及匯出成檔案以利彙整成報告。

(c)橋齡統計：

橋齡統計係用以提供使用者繪製不同統計範圍之橋梁年齡結構分佈圖。其分析並可提供使用者選擇以建造年代或以橋齡為橫軸，以繪製不同主題之橋齡分佈統計圖。

(d)橋梁長度統計：

橋梁長度統計可提供使用者繪製不同長度區間內之橋梁數量統計圖，或是各年代中所建造之橋梁總長度比較圖。

(e)橋版面積統計：

橋版面積統計可提供使用者繪製不同面積區間中之橋梁數量統計圖。

(f)結構型式統計：

結構型式統計可提供使用者繪製橋型數量統計與橋長之關係。所謂與橋長之關係為某種結構型式之橋梁之平均長度分析圖；而橋型分析則是顯示特定結構型式（如梁式、版橋、拱橋等）之分佈狀況，以利各使用單位對不同結構型式之橋梁進行統計分析。

(g)成長趨勢分析：

成長趨勢分析功能可提供使用者繪製橋梁總長及橋面版總面積於不同時間區間內之成長趨勢圖表。

(h)交叉分析：

本功能提供使用者選擇統計圖表不同的縱軸及橫軸，進行橋梁基本資料之交叉分析。

(i)橋梁檢測資料排序及統計：

透過系統所採用之 D.E.R.&U.目視檢測可具體掌握橋梁使用現況，即可使檢測員掌握各橋梁的劣化狀況，並給予各項劣化適當的評分，以作為橋梁優劣順序排定的主要依據之一。也就是說，當一檢測員對上述檢測方法非常熟悉後，其便可對於 D.E.R.&U.目視檢測方法中

共 66 種劣化狀況類別，以劣化程度 (Degree)、範圍 (Extend) 及重要性 (Relevancy) 三個層面來加以分析、評分。另外再考慮橋梁之結構安全性、服務性、重要性等因素後，系統即可運用上述橋梁檢測評分資料及因素進行橋梁構件狀況指標 (Icij) 及橋梁分年進行排序及統計。因此，各層級之使用者便可依此對其所轄橋梁目前之結構安全與使用狀況有一全面性的瞭解，並配合圖表之輸出即可將其排序及統計資料匯整成報告。

(3) 檢測資料模組：

目視檢測是對於橋梁使用現況具體的管理方式之一，TBMS 系統是採用 D.E.R.&U.之目視檢測準則，模組畫面如圖 2-11 所示，模組提供下列功能：

圖 2-11 檢測資料模組示意圖 [3]

(a) 列印空白檢測評估表：

使用者可針對各座橋梁列印空白檢測評估表，系統將於表上自動

填入橋梁名稱、路線別、里程樁號、總長、淨寬、結構型式等基本資料。

(b)輸入、編輯及列印橋梁檢測資料：

當橋梁檢測進行完畢之後，將檢測資料輸入系統中，系統將以不同檢測日期記錄單座橋梁之檢測記錄。此外，使用者可於系統中修改原有之檢測資料或增加新的檢測資料，填入描述各個瑕疵的位置、所需之修復工法、數量、修復的急迫性及對各個瑕疵可能發生原因的判斷，並且初步評估所需維修工法，或者建議做進一步的補強，以便往後進行各項分析或決策工作。

(c)檢測照片資料庫：

為更加詳實記載每座橋梁進行檢測時之各構件之劣化破損狀況，此模組亦提供登錄檢測照片，讓使用者能更確實了解該橋梁之損壞狀況，並可同時記載檢測員對此項損壞之照片說明。

(d)維修工作項目：

提供檢測人員依定位系統中定義的編號，描述各個瑕疵的所在位置、所需的維修工法、數量、修復的急迫性及對各個瑕疵的詳細說明。檢測人員可充分利用此欄描述瑕疵的現象，填寫個人對瑕疵可能發生原因的判斷，並且初步評估所需的修復工法。

(e)檢測員意見：

提供檢測員填寫個人對此橋的意見，包括對整體結構安全性及服務性的評估及是否應安排作進一步之詳細檢測。

(4)維修記錄模組：

維修記錄模組之功能，在於管理及監控橋梁維修工作之進度。同時，亦可由橋梁維修資料之累積，發現橋梁劣化之趨勢，若發現維修工作之頻率異常，或服務年限過短，橋梁管理單位便可針對此一現象深入探討其成因，以做出適當之決策，避免不必要之花費。

橋梁在進行檢測之後，便可以本模組針對不同構件所建議維護工作之方法、數量與急迫性，記錄其維修工作承包商名稱、統一編號、實際維修數量、實際維修金額、維修開工日期及維修完成日期，使用者可經由此一功能進行橋梁破損狀況之維修工作管理、考核。俟一維修工作項目完成後，使用者登錄完成之修復工作後，系統亦會同時更新此項記錄於功能畫面中，使用者可輕易辨識橋梁破損狀況維修工作是否完成。模組畫面如圖 2-12 所示：

圖 2-12 維修記錄模組功能示意圖 [3]

(5)地理資訊系統模組：

地理資訊系統可以有效掌握、規劃及管理空間資訊，使得建立科學化及最佳化之分析模式，並可提高工作效率及降低成本。傳統橋梁管理系統僅著重於文字與數值計算之表現，然而橋梁所處位置周遭的空間資訊實不易以平面文字或數字表示之，因此，若能加入地理資訊系統技術，而於系統內顯示橋梁之空間位置及周遭環境之資訊，更有助於管理者對相關環境獲得全盤了解。模組畫面如圖 2-13 所示：



圖 2-13 地理資訊系統模組圖面查詢 [3]

2.3 橋梁監測技術

台灣地處環太平洋地震帶西側，地震活動相當頻繁，而橋梁在運輸系統中的角色特殊，橋梁結構之使用效能及耐用年限，與設計、施工及所使用材料之品質息息相關；若在地震中遭破壞，則會直接威脅到使用者及當地居民生命財產之安全，甚至造成交通中斷，延誤救援和補給的工作，其影響層面擴及到社會經濟及民心安定，此外，台灣地區的公路系統中，許多早期建造的橋梁已屆其壽命年限，而今日之交通卻又日益頻仍，由於交通量急速增加、加上超載、天候變化與維修人力及經費不足等因素，更加速橋梁老舊與劣化，各級橋梁損壞情形嚴重，使得橋梁維修工作益趨繁重，除了無法維持公共投資效益外，更造成社會大眾行之安全問題。再加上台灣地區由於夏季颱風頻繁、砂石重車違規行駛、橋梁上下游違規盜採砂石、公權力不彰等因素，

使台灣地區橋梁往往未達到其設計生命期限前，便遭受許多破壞，造成許多民眾交通不便，甚至影響生命財產安全。因此，為維護橋梁安全與功能，有必要對橋梁進行詳細的安全檢測評估的工作，然則因為橋梁數目龐大，欲有效管理橋梁，並提供檢測評估之重要資訊，亟須建立一套橋梁系統安全監測預警系統以維護橋梁安全與人民生命財產。以美國橋梁為例，根據美國運輸部（US Department of Transportation, US DOT）之資料，現有 39%之橋梁，均有結構功能不足之現象（包含因為腐蝕造成之重大缺陷），於 1950 年或 1960 年代所建造之高齡橋梁，都必須進行修復、改建與補強加固，估計 2010 年時，每年平均要花費 760 億美元來改善、維修這些公共建設。美國歷年規範如 Bridge Railing Manual (Texas Department of Transportation, 2002)、U.S. Code for Bridge Inspection (Title 23, USC-Highway, 2000)、Oregon NBI Coding Guide (Oregon Department of Transportation, 1999)、Manual for Maintenance Inspection of Bridges (AASHTO, 1970)、Manual for Maintenance Inspection of Bridges (AASHTO, 1974, 1978, 1983, and 1993)、Manual for Condition Evaluation of Bridges (AASHTO, 1994)、National Bridge Inspection Standards (FHWA, 1971, 1979, and 1988)、Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation 's Bridges (FHWA, 1972, 1979, 1988, 1991, and 1995)、The Bridge Inspector's Manual for Movable Bridges (FHWA, 1977)、Bridge Inspector 's Training Manual 70 (FHWA, 1979)、Culvert Inspection Manual (FHWA, 1979)、Inspection of Fracture Critical Bridge Members (FHWA, 1986)、Scour at Bridges, a technical advisory (FHWA, 1988)、Hydraulic Engineering Circular No. 18 (FHWA, 1988)、Bridge Inspector 's Training Manual 90 (FHWA, 1991)等等相關準則、施工手冊即對橋梁的檢測、維修與橋梁安全監測有所規範。

2.3.1 橋梁監測常用儀器與系統

傳統橋梁維護多以技術人員的現場檢測為主，已難以適應現今大型橋梁正常營運狀態的監控，亦無法針對橋梁整體安全性做出客觀準

確的評估。而橋梁監測系統方法不僅攸關結構的健康安全和道路交通的正常運作，並與結構維修經費密切相關。因此需儘快發展其規模與功能相適應的現代橋梁監測技術，對橋梁進行即時監測或定期檢測，及早發現結構的異常與病害並提供預警，避免重大事故造成巨大經濟損失。通常橋梁監測系統可分為硬體和軟體兩部分，其中硬體部分包括四個子系統，即感測器系統、資料擷取系統、資料通信與傳輸系統及資料分析和處理系統，各子系統藉由通信網路連結並搭配相應之系統程式軟體，構成完整的監測系統。

橋梁監測系統設備依監測系統功能及監測內容不同而有所差異，監測系統功能及監測項目取決於橋梁的型式、結構材料及橋梁的一般狀況。監測系統功能包含瞭解橋梁於各種工作環境下的結構荷載變化、日常營運管理、各主要構件實際工作狀況、主要構件有無任何損壞或累積性的損傷、是否存在潛在性的損壞以評估剩餘使用壽命及橋梁整體健康狀況、結構安全可靠性和並設立警報系統等。

2.3.1.1 橋梁監測系統應具有之條件

一般而言，完整的橋梁監測系統，在工程方面應具備以下幾項條件[4]：

1.穩定性及可靠度高之感測器

感測器本身對於應變或溫度變化等物理量之改變靈敏度要高，量測之原始數據雜訊要小，而且橋梁監測環境非常嚴苛，例如日曬雨淋等高溫、高濕、灰塵之作用，因此，感測器必須要有能抵抗惡劣環境不損壞之能力，才能在橋梁使用年限中發揮功效。

2.全自動監測

監測項目主要分為一般長期服務性量測及突發狀況量測，一般量測乃針對橋梁靜載、劣化，每隔一段固定之時間間隔蒐集所有感測器量得之數據。而突發性量測對象則是活載，當橋梁受到足以造成損壞之載重，如大型超載卡車經過時、地震力、豪雨河川沖刷作用等，將

瞬間之橋梁反應以高頻率記錄器記錄下來。長期之監測系統應由已程式化之電腦來進行定時量測，並且有自動觸發紀錄突發量測之功能，而非由技術人員，以人工紀錄之方式日以繼夜地操作儀器。

3.後處理及儲存能力

對於原始資料(raw data)，系統必須能自動地定期整理數據，算出其平均值、極大極小值和標準差，再將原始資料加以處理，以免佔據無謂之空間，且儲存裝置的容量要夠大才能儲存大量的數據。並且能即時計算出一些分析結果，如振動模態，來掌握結構物之健康狀況。

4.遠方監控

建立橋梁監測站與控制中心之網路連線，讓感測系統量測得到的結果能自動被下載，而技術人員也可以於控制中心直接改變遠方監測系統的設定，依目前技術而言，遠端傳輸技術已相當成熟，可用無線傳輸與有線傳輸兩種，其中有線傳輸技術新近之發展大都採用光纖網路進行資料傳輸。

5.保護措施及完善之電力系統

精密之量測儀器及電腦必須安置在環境良好之測站中，透過空調及防震設施讓儀器能正常地運作，測站需有保全系統以免儀器遭竊或被破壞，在電力方面應準備不斷電系統，以免停電而使得監測中斷。

2.3.1.2 橋梁監測常用之感測元件

橋梁監測系統應依據監測系統功能及監測項目不同，選擇各式的感測元件所構成，並藉由各感測器之量測原理，提供橋梁安全服務狀況所需之各種參數，監測儀器的種類甚多，在眾多的監測儀器中，一般常用之橋梁監測儀器包括應變計、應力計、荷重計、橋墩傾斜計、橋墩沈陷計、水位計、水壓計等。如下說明常應用於橋梁監測系統之設備與感測單元，並依橋梁各部結構敘述各感測器可能安裝之位置[5]。

1.應變計

欲知結構局部變形最直接有效的方法，莫過於在結構體安裝高精度之應變感測器，簡稱應變計。與待測元件或結構體表面緊密貼合，能忠實反應局部應變是應變感測器最基本的要件。由於價格相較於其他感測器低廉、體積小、容易安裝等優勢，應變計已成為一般橋梁監測系統中最常見之感測器，但其所感測之訊號僅能代表結構體局部狀態，故安裝時採多點分佈式為原則，建構一套應變監測網，量測結構體形變行為。事實上，以應變計組合或加工，應用設計精巧的機械元件，可製作成多種其他類型的感測器，諸如應力計、荷重計、傾斜計、位移計等，各式專利不下數千種，實際應用於橋梁監測系統時，則需慎選使用環境限制及條件。

2. 荷重計

荷重計可用於量測橋梁結構承載狀況，通常將荷重計裝置於橋面版或支承位置，進行橋梁承載監測，以掌握及規範橋梁使用情形。常見之荷重計內部為應用單組或多組應力計組合之感測機制，依使用技術可分為應變計式、油壓應變計式、撓曲版式、電容式及壓電晶體式，將感測範圍內各荷重計之荷重值加總即為總承載重，可設置於橋梁兩側橋台聯絡道，監測進入橋梁之車輛，進行超載或過重之違規取締、交通資料蒐集、機動查核及篩選可疑車輛等。

3. 傾斜計

傾斜計主要用於監測邊坡和結構之側向傾斜程度，包含傾斜角度、側向位移量、滑動深度等，通常電子式傾斜計較機械式準確但價格較高，量測方向分單向及雙向兩種。目前已有靈敏度及重複性相當高之傾斜計（電解式傾斜計靈敏度可達 1mm/Km），並已應用於多種工程監測系統。橋梁之橋面版、墩柱、基礎、橋台或橋塔等均可能發生傾斜破壞，故擬定監測系統架構時，應適當地選擇傾斜計之安裝數量及位置。

4. 位移計

位移監測之方法種類眾多，可分為接觸式與非接觸式兩類，一般應用於橋梁結構位移監測多採用接觸式之位移感測器，其靈敏度理論上為無限小。所量測之位移多為相對位移量，如帽梁與墩柱間、橋面版與橋台等結構連接處，安裝時需考量可能位移方向及位移衝程是否足夠。

5. 沈陷計

其工作原理與位移計類似，但沈陷計所量測之位移多為絕對位移量，即監測初期需訂定一參考基準點，日後進行監測時以參考點為直線座標原點測定沈陷量。安裝位置為橋墩基礎或橋台位置，用以監測整體橋梁可能的沈陷量。

6. 裂縫計

裂縫計用於監測結構裂縫寬度長期變化，依據裂縫計之監測資料，可判別結構是否有裂縫產生及既有裂縫有無延伸之現象。裂縫計安裝應考慮應力集中效應，並藉由適當監測間距掌握裂縫延伸趨勢及速率。

7. 水準儀

測量高程差為工程放樣基本工作之一，以水準儀可精確測繪結構各部高程變化，並量測基地各地面型沉陷點與永久性水準點差距並與初值相互比較。於橋梁監測系統中，水準儀多用於橋面版定位檢測及各部節塊組立修正。

8. 水位計

橋梁多為跨河結構物，所跨越之河川因自然環境因素必存在水位高程的變化，而河川水位變化直接影響水流衝擊橋墩及橋台之迎水受力面積，進而影響橋梁結構的穩定性，故水位高程監測對於跨河結構而言，屬於必要的監測項目。應用於橋梁監測之水位計多附屬於橋墩或基礎結構，並需對感測器及線路加以適當封裝保護。

9.水壓計

土中水壓計主要用於坡地地下水位變化之監測，配合地層與安裝目的之不同，有水井式與開口式水壓計兩種，其設備組成包括地層鑽孔，與專業量測用之測讀儀。應用於橋梁監測系統可監測兩側橋台位址地下水位及基礎壁體水壓力變化，並可藉不同深度的水壓計監測記錄，進行橋址土壤液化潛能評估。

10.風向風速計

風速計一般應用於空調設備系統、風車業者、戶外氣象等測試控制。近年因橋梁設計概念已逐漸由傳統的短跨徑、矮橋墩配置，轉為長跨徑、高橋墩的結構型式，其功能亦漸由單純地交通需求提升為兼顧運輸及景觀等多元化服務。為滿足多元化的設計需求，橋型的選擇必須具有創意，而斜張橋的配置則是所有橋梁型式中最具有變化空間的一環，在於其主要構件鋼纜系統及橋塔型式可依設計者的理念進行調整。因此斜張橋鋼纜抗風穩定性問題已廣泛的引起討論，針對橋梁風力作用監測亦成為監測項目之一，通常將設備安裝於橋梁結構主要部位的迎風面，紀錄隨時間變化之風力方向及風速，推估作用力大小進行評估及監測。

11.溫度計

於橋梁結構體裝置溫度感測器，不僅可得知外界環境溫度變化情形外，若同時將溫度感測器安裝於結構體內，則可得知結構體受外界環境溫度影響的關係。尤其對於橋梁上部結構，溫度效應之影響因橋梁施工法的演進而受到重視，綜觀影響環境溫度因素包含空氣溫度、太陽輻射、雲量、風速、日照率等。橋梁的溫度效應含有平均橋梁溫度變化及梁斷面溫度梯度對結構體所造成之影響，均會造成橋梁結構相當的變位及內應力之再分配。而溫度感測元件種類繁多，最常用於橋梁監測系統為電子式溫度感測器，可蓋分為接觸式與非接觸式，常見的接觸式感測器有熱電偶、電阻式與熱敏電阻，非接觸式為紅外線溫度感測器。其中電阻式溫度感測器因高準確度（可達 $0.01\sim 1^{\circ}F$ ）、穩

定性佳、量測範圍適當（ $-15 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ），最適合用於橋梁監測系統使用。

12.速度計

速度計可量測橋梁各部振動速率及振動量，與加速度計均屬動態監測儀器，是基於動態量測技術理論所製造的精密機電裝置。主要技術指標有感測彈性體的自然頻率、靈敏度、阻尼係數、失真度、直流電阻及頻響特性等。因感測器及量測系統較複雜，一般選定橋梁重要部位進行安裝。

13.加速度計

加速度微感測器的應用已相當廣泛，用來作為測量結構的運動加速度或振動狀態。感測方式最常用的是壓阻式與電容式，感測器體積與量測精度也越來越符合監測需求。藉由量測橋梁各部之振動訊號，經訊號處理分析可得結構動力特性，如振動頻率、振動模態及阻尼比等。此動力特性代表結構狀態，若動力特性發生變化則表示結構本質上產生變異，達到橋梁監測之目的。因加速度計為動態監測儀器，所需之軟硬體需求較高，維護費用亦較靜態量測系統為多，除重要橋梁或特殊橋梁需於橋梁各部（如橋面版、纜索、主梁及墩柱等）加裝數量較多的加速計監測之外，建議選擇中間跨度之重要部位安裝，以得到所需最低限度之動力數據。

14.地震儀

當地震發生時，地面上結構體均隨之振動，藉由地震儀架設之地震監測網，可用以計算地震的發生時間、位置及地震規模。地震儀內部的重錘由於慣性與相對地動的關係，經由適當處理可視為不動點，用來記錄地動。依重錘擺動方向不同，可分別記錄水平及垂直方向的地動，而為了能讀取地震歷時資料，地震儀均配置精密的時間系統。各式地震儀之機械及電磁原理裝置，其構造、性能、狀態等依使用的目的而異。通常於重要聯絡橋梁或者建構於特殊地質條件之結構裝置地震儀，用以紀錄地動記錄。地震儀所集錄之資料並非直接連結至橋

梁監測系統，而是傳輸各地震觀測站，至資料處理中心將各地震觀測資料彙整後進行評估，對橋梁結構提出建議。

15. 冲刷監測計

橋墩冲刷監測之方式依所使用的感測器不同而有所差異。理想的冲刷監測計應能包括水位高程變化、河床深度變化、基礎冲刷外露高度等主要監測項目。量測冲刷深度之監測機制攸關儀器裝置位置，可概分為埋入式、表面式及附加式，但所安裝之橋梁結構位置不外乎橋墩或基礎版，因此需搭配適當之保護設施，避免監測儀器及傳輸線路遭受水流作用破壞。

16. 電源供應系統

幾乎所有監測儀器皆須電源的供應，且橋梁監測主要目的在於瞭解橋梁長期運作條件下，各狀態參數的變化情形。故橋梁監測系統需具備穩定且能連續的電源供應，即使遭受外在因素造成系統連續性電源供應中斷，需能以替代電源供應感測元件持續進行量測工作，即所謂的不斷電系統功能。可以說，電源供應系統是橋梁監測系統運作能否順暢的重要關鍵。電源供應系統可分電源供應器、氣候控制系統、電源管理三大部分，其中電池容量扮演著相當重要的角色。一般電池容量約可提供四至八小時的備電時間，目前電源設備供應商可提供至約二十四小時的備援時間，一般建議採用兩套電源供應系統與電池，若發生狀況可相互提供備援。電源供應系統設置位置需避免過於潮濕、甚至淹水及人為蓄意破壞，一般將電源供應系統置於配電箱或另建電器房，並做好防潮及上鎖管制。

17. 檢測系統

監測系統本身可能因環境影響或人為破壞因素造成感測單元故障、傳輸線路斷裂或訊號失真等問題，藉由監測系統本身或附加的檢測系統，可判別監測系統是否處於正常運作狀態。檢測系統需將儀器及線路分開測試，可使得測試較為簡易，一般以三用電表量測線路是

否導通或短路，使用測讀器對儀器進行檢測，以電腦對傳訊號檢測訊號轉換功能及測試通信網路。檢測系統可架設於控制中心做遠端檢測量測或定期派員至監測點做現地檢測。

18.監視系統

藉由監視系統及影像監測技術可監控橋梁車流量、交通狀況及進行情境錄影，可提高運輸品質及避免橋梁設施遭人為蓄意破壞及利用。一般將監視器架設於橋梁附屬設施，如照明設施、交通指示牌、號誌燈、配電箱等，亦可建構專用高架支撐平台，架設可變向或多個不同方向之監視器，集中架設點可方便儀器管理與維護的工作。

19.警報通報系統

警報通報系統之目的在於提供橋梁監測人員及使用者事先預估危險，並有足夠的時間採取適當措施及預防性的行動。即當系統感知橋梁結構或監測系統本身有異常狀況時，能立即警告使用者及通報監測人員作緊急之應變與處理。一般警報系統設施為蜂鳴警報器及警示燈，如有封閉橋梁之必要則需加裝活動柵欄及道路封閉指示標誌，藉由監測通信網路通報控制中心、警消救助單位及相關工程單位等派員至現場查看並執行後續處理作業。警報設施一般安裝於橋頭兩端，即橋梁出入口位置，兩側護欄可裝設警示燈，警告橋梁使用者採取疏散措施。設置活動柵欄封閉橋梁則需以橋面車輛及人員能立即疏散為原則，佐以道路封閉指示標誌疏導交通，將尚未進入橋梁之車輛及人員引致其它替代路線。

20.GPS 定位測量技術

GPS 精密定位測量系統已廣泛應用於高精度的地殼運動監測、大壩、橋梁及高層建築變形監測等許多方面。主要研究相對於基準點的整體位移，不僅精度高、而且可實現 24 小時全天候的連續監測。目前，GPS 靜態相對定位測量技術已日趨成熟，在採用優良的 GPS 接收機的條件下，只要環境觀測條件良好（能長時間收到四顆以上衛星信號），

量測邊長不超過幾公里，並經較長時間的測試資料累積及有效的資料處理，測量之點位誤差可達毫米級或更高。此系統監測單元由高精度之 GPS 信號接收機和專門且具有良好相位中心穩定性的天線組成。於結構位址地質穩定的基礎上埋設參考基準點，將天線強制對中並固定於專用觀測墩上。資料傳輸及控制單元由指令發生器、控制器等設備組成，功用在於控制每一 GPS 接收機依照需求進行監測及資料傳輸。資料處理、分析及管理單元主要由伺服器 and 相關專用軟體組成，附加設備包括印表機和繪圖設備，主要目的在於資料下載、GPS 基線向量解算和對 GPS 網測量的資料進行平差處理、結構變形分析和資料管理。此套系統於設備安裝調試完成後，即可藉由軟體控制自動運作，由資料擷取、傳輸、下載，完成計算輸出最後結果，實現人機對話方式下的連續自動監測。因橋梁監測系統設備大多直接暴露在外，易受環境濕氣、浸水、電源供應不正常或雷擊等因素影響而故障，為避免儀器過度損壞，需加裝防潮設施、裝設避雷針和穩壓器等，並定期巡查維護監測系統，包含感測元件校正、軟硬體功能測試、監測結果分析評估等。若經歷颱風、豪雨、地震及其他災害後，應立即檢測監測系統及警報系統是否能正常運作及橋梁有無異常狀況。應用 GPS 技術來監測人工和自然結構變形是一個強有力的觀測手段，它在測量相對幾何參數上，具有傳統經典測量技術所無法比擬的優點，GPS 技術具有高精度，高效率，高自動化和低勞動強度的特點。儘管如此，GPS 技術在變形監測應用中也存在著它的缺陷，最主要因素就是高投資。若選擇常規的 GPS 變形監測方法，需在每一個變形觀測點上安置一台永久 GPS 接收機，照此情況，若是有大量的變形觀測點，那麼 GPS 硬體設備的購置費用將是非常可觀的，從而限制了 GPS 技術在該領域的應用。利用全球定位系統監測建物是近年來才逐漸興起的研究課題，主要的原因是美國軍方對全球定位加入干擾，防止它國用來作為軍事用途，直到柯林頓政府下台前數年，才停止干擾，提供精確的訊號給使用者，目前的精度可達公分等級以下。使用全球定位系統最大的優點是可獲得「變形變位資料」，國外已有許多機構應用全球定位系統監測斷層活動和橋梁變位問題。此一系統最大的缺點是無法得到精準的

加速度資料（透過對時間微分位移歷時會引致相當大的誤差）。另一缺點是衛星定位有「遮蔽」問題，建物並非每處都適合定位，惟長跨橋梁，工址空曠，才較合適使用全球定位系統對橋梁進行監測。

21.地理資訊系統(GIS)

地理資訊系統為一種整合資料庫作為統計判斷之工具，通常地理資訊系統關心的不是某一特定建築，而是整體性質的判斷。以國家地震中心 Hazard Taiwan 計劃為例，其橋梁耐震評估為抽樣式的分析橋梁耐能曲線，配合上地震衰減律、地震規模和工址土壤情形，評估橋梁受損情形。地理資訊系最大的優點是其宏觀性，但缺點則是統計行為未必代表特定橋梁的行為，再者就科技的發展角度而言，需要實驗資料與理論模式的進步才能對結構行為有真切的了解。

2.3.2 河川橋梁沖刷監測發展

橋梁橋基沖刷之研究十分重要，因此無論在實驗室中或現場的量測技術皆受實務界或學術界視為重要的研發對象。實驗室中可設計各種沖刷之條件，包括水流、泥砂顆粒、橋梁橋基形式等，可量測橋梁橋基周圍之沖刷深度。然而，在現場中之沖刷深度之變化就沒有如此易於觀測與分析，特別是洪水期間上游巨大的水流與夾帶的泥砂，常在洪水歷線升段及洪峰處快速沖刷而達到最大沖刷深度，當洪水退去時則有回淤現象，使沖刷坑範圍縮小，自然沖刷深度又變小了；事後進行量測，則所得之沖刷深度可能過份低估，但在最大沖刷發生前可能已危及橋基之安全。因此，觀測技術是否具有準確性及實用性十分重要。

橋梁橋基沖刷安全問題牽涉因素十分廣泛，舉凡自規劃設計之前的河川水文、河床狀況、地質狀況調查，規劃設計階段考量之橋梁線形、跨度、設計載重、耐震能力、基礎承载力、河床沖刷或淤積問題之防範、橋梁結構安全檢核、施工階段各項施工品質管制、施工期間對於河床與水流狀況之掌握、施工便道及便橋之安全，以及橋梁完成

後長期的維護、監測、檢測、修復補強工作等，均應確實規劃。台灣河川多屬坡陡流急，於洪水期間，橋墩或橋基之河床受到劇烈的沖刷，常導致橋梁傾倒而造成交通中斷的情況。例如 85 年 8 月 1 日賀伯颱風造成新竹縣內灣支線油羅溪鐵路橋、上坪溪竹東鐵路橋及高屏溪高美大橋等重要橋梁之毀害。87 年 3 月 3 日跨越濁水溪之台 19 線自強大橋，因開挖側向導水路而使水流匯聚、急劇沖刷河床，造成六支 PC 基樁嚴重斷裂，影響橋面通行安全。88 年 7 月高屏溪上之高美大橋，其第六橋墩基礎則因受豪雨沖刷再次下陷，造成交通中斷。89 年 8 月 27 日碧利斯颱風時高屏溪上之高屏大橋，其第 22 號橋墩基礎亦再次因受側向洪流淘空下陷，致橋面塌落，造成 22 人輕重傷及交通中斷數月之事故。90 年 7 月 30 日之桃芝颱風造成陳有蘭溪十八重溪、仁和橋等斷橋，90 年 9 月 17 日之納莉颱風更造成八堵鐵路橋、筏子溪鐵路橋之損壞，南坎溪坎下橋、田底寮橋斷橋，及大漢溪武嶺橋下陷等災情[6]。以上案例顯示洪流沖刷致橋墩及橋台基礎之毀壞淘空，實為橋梁破壞之主要因素。

河床沖淤演變是天然河川中常見的重要現象，但是當輸砂不平衡時會造成河道的淤積或刷深。臺灣近二十年來，因公共工程建設之蓬勃發展而對河床沖淤演變產生嚴重之影響，例如在河道內採挖砂石、或修建攔水閘、攔沙壩等工程，均促使河床上下游輸砂不平衡的情況更為嚴重。由於本省砂石供應體系始終以開採河川砂石為主要來源，其年平均生產量約佔砂石總生產量 93% 以上，經歷長期以來之超限開採及濫盜採，已然造成本省西部各大流域中下流之主河道的河床高程嚴重下降，以高屏溪 65 斷面至 99 斷面之河床高程縱斷面變化圖為例，民國 64 年到民國 84 年，在 20 年間平均河床下降高達 10 公尺以上，更加上本省河川坡陡流急，每逢暴雨洪水迅速漲落且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，導致原本已裸露之橋基更形惡化，甚至橋梁傾斜、倒塌，造成交通中斷，對人民生命安及財產全造成莫大的傷害[6]。因河床面之逐年下降，裸露橋基之迎水面寬變大，使得橋基周圍形成更大之局部沖刷、基礎淘空下陷之潛勢增高。而目前常用

之局部橋基保護工如包墩或蛇籠護坦等，若規劃或施工不當，則可能因攔阻水流而造成河道內或相鄰橋墩間之束縮沖刷，進而使橋墩及橋基保護工破損且危及橋梁之安全。

關於河川沖刷安全評估規範，美國在 Scour at Bridges, a technical advisory (FHWA, 1988)、Inspection of Fracture Critical Bridge Members (FHWA, 1986)、Hydraulic Engineering Circular No. 18 (FHWA, 1988)等準則與手冊(表 2-14)，規範其相關評估步驟與規定。

表 2-14 美國橋梁檢測維修補強準則與手冊 [4]

組織協會	年代	規範手冊名稱
Texas Dept. of Trans.	2002	Bridge Railing Manual
USC-Highway	2000	U.S. Code for Bridge Inspection
Oregon Dept. of Trans.	1999	Oregon NBI Coding Guide
AASHTO	1970	Manual for Maintenance Inspection of Bridges
AASHTO	1974, 1978, 1983, 1993	Manual for Maintenance Inspection of Bridges
AASHTO	1994	Manual for Condition Evaluation of Bridges
FHWA	1971, 1979, 1988	National Bridge Inspection Standards
FHWA	1972, 1979, 1988, 1991, 1995	Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation 's Bridges
FHWA	1977	The Bridge Inspector's Manual for Movable Bridges
FHWA	1979	Bridge Inspector 's Training Manual 70
FHWA	1979	Culvert Inspection Manual
FHWA	1986	Inspection of Fracture Critical Bridge Members
FHWA	1988	Scour at Bridges, a technical advisory
FHWA	1988	Hydraulic Engineering Circular No. 18
FHWA	1991	Bridge Inspector 's Training Manual 90

台灣河川水系之特性因地區而異，為確切進行橋台及橋墩沖刷之安全評估與探討，須對台灣地區河川特性進行了解，至於跨河構造物設施之水理考量主要為流量與水位，而其基礎之安全性則和橋梁橋基之水系、地文、雨量、流量、輸砂量、河床質、河寬等有關。一般為維護橋基之安全通常採用：拋石工法、蛇籠工法、鼎塊排置工法、混凝土長（方）塊與異形塊排置工法、包墩或混凝土圍繞工法、混凝土護坦工法、排樁工法、柔性攔砂堰工法、剛性攔砂堰（含消能工）工法等進行保護。然而，當橋基遭受嚴重沖刷而大幅裸露時，由於原包覆橋基之周邊土壤的卵礫砂石層(或軟岩層)已被大量地沖刷流失，結構

強度將大幅降低與橋梁系統穩定性產生惡化，包含結構勁度降低、基樁內力加大、 $P-\Delta$ 效應增大、基樁承載能力下降、抗剪能力減低、抗側向抵抗能力降低、與抗彎矩能力的折損[6]。若不幸再遭逢強度較大的地震來襲，可能會產生更大程度的破壞。因此，目前橋基嚴重裸露的橋梁除了面臨抵抗洪水沖刷的能力不足外，亦須面對因沖刷而衍生之耐震能力不足的困境。

遭沖刷橋梁之安全評估分析，應考慮的部份可分為兩大部分，第一部份為颱風或豪雨來襲前及其期間的原則分析，此一部分需要長期對於橋梁的結構狀況及橋址處的河川水力、地形、地質環境之變化作記錄，在颱風或豪雨來襲前，判斷是否具有因洪流的沖刷問題而造成對橋梁的危害之潛勢，進而在洪流來襲前及其期間針對不同情況，更能快速、有效擬定相對的因應對策方案。包括橋梁基礎情況、基礎是否嚴重裸露、基礎為淺基礎或擴展基腳、橋址環境情況、河道是否有相對侵蝕弱勢面、橋梁是否位於河川之匯流或彎道處、河道是否阻塞、淤積以及該橋梁是否位於土石流危險或潛勢溪流；第二部份為洪流來襲期間，利用橋梁安全監測預警系統，作為是否需要封橋的判斷依據[7]。

一般來說，橋梁沖刷之安全評估和下列因素有關[6]：最大沖刷發生機率、沖刷耐震設計回歸期之評估，包括：(1) 下部結構強度與韌性之評估，主要依據橋柱實際尺寸、配筋及材料實際強度等資料，計算斷面標稱撓曲強度並繪製軸力與彎矩交互影響曲線，求取橋柱開始降伏時對應之地表加速度 A_y 。其次，再根據箍筋配置情形計算斷面標稱剪力強度，求取橋柱剪力破壞時對應之地表加速度 A_y^* ，並由實際箍筋配置情形估算橋梁結構之韌性容量 R ，據此即可評估下部結構之破壞模式為撓曲破壞、由撓曲轉為剪力破壞或剪力破壞等型式，並推求該破壞模式對應之地表加速度。(2) 基礎強度與穩定性之評估，此一部分乃根據基礎實際尺寸、配筋及實際材料強度計算基礎結構之現有強度，並與下部結構傳遞到基礎之力量相比較，即可推求基礎結構破壞時對應之地表加速度。

自民國七十五年中興大橋發生斷裂事件，即已經凸顯出國內橋梁的安全與沖刷問題，國外針對河川橋梁沖刷監測研究如圖 2-14 到圖 2-22 所示。

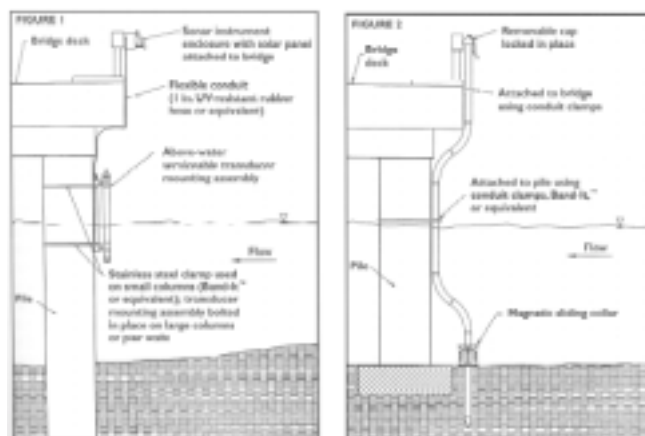


圖 2-14 sonar 河川沖刷監測 (James D. Schall, 1999) [4]

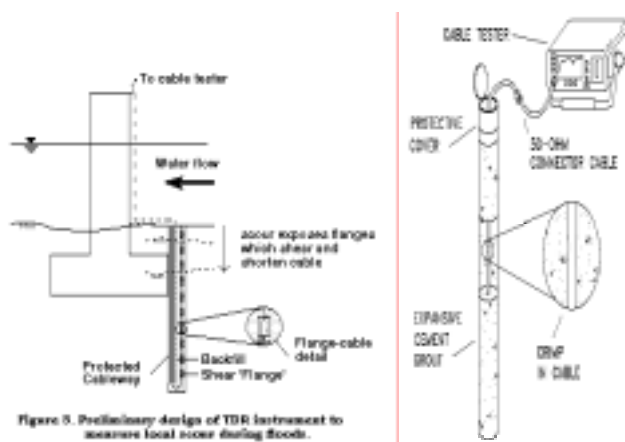


圖 2-15 TDR 河川沖刷監測 (Charles H. Dowding, 1994) [4]

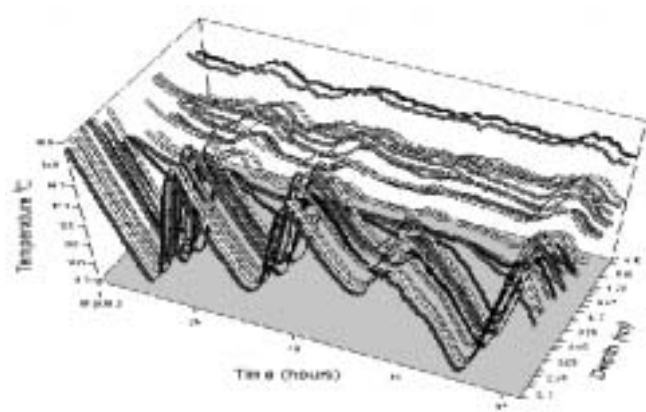


圖 2-16 利用溫差變化進行河川沖刷監測 (Tom Edwards, 1998) [4]

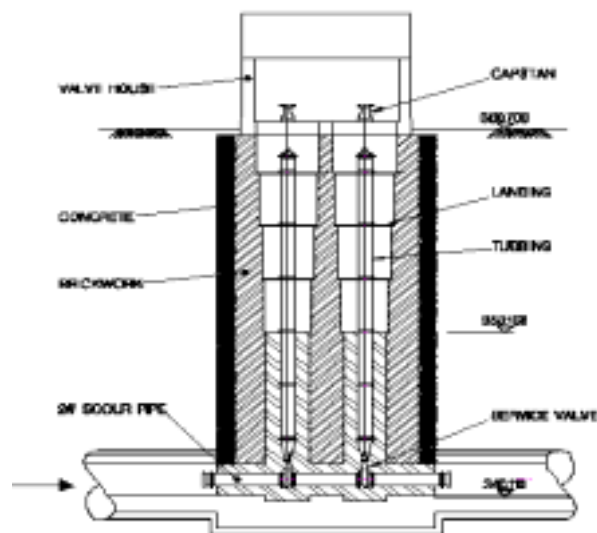


圖 2-17 壓力式河川沖刷監測 (I. C. Carter, et al., 1998) [4]

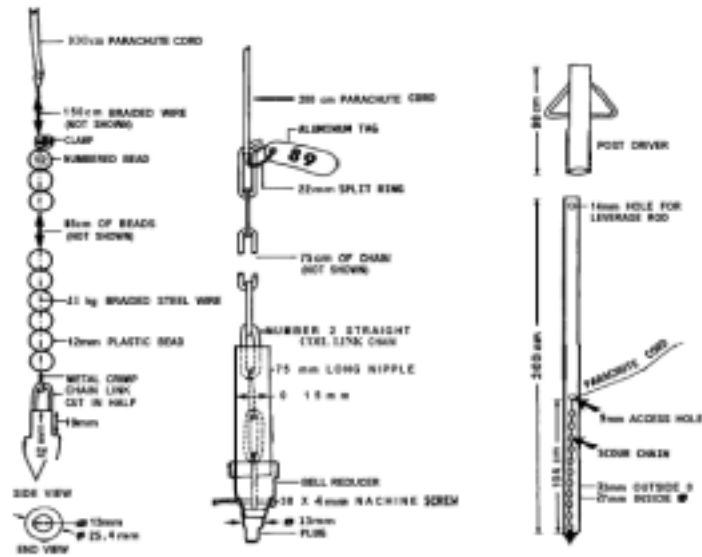


圖 2-18 重力懸垂式河川沖刷監測（Richard K. Kawa, 1993） [5]



圖 2-19 即時攝影式河川沖刷監測（NOAA, US, 2000） [5]

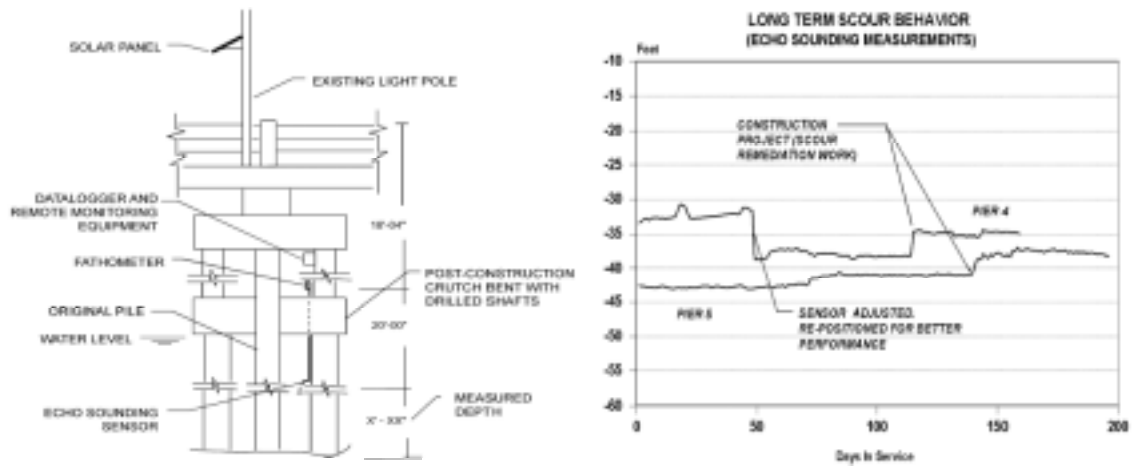


圖 2-20 音波回音式河川沖刷監測 (Ivan R. Lasa, 1998) [5]

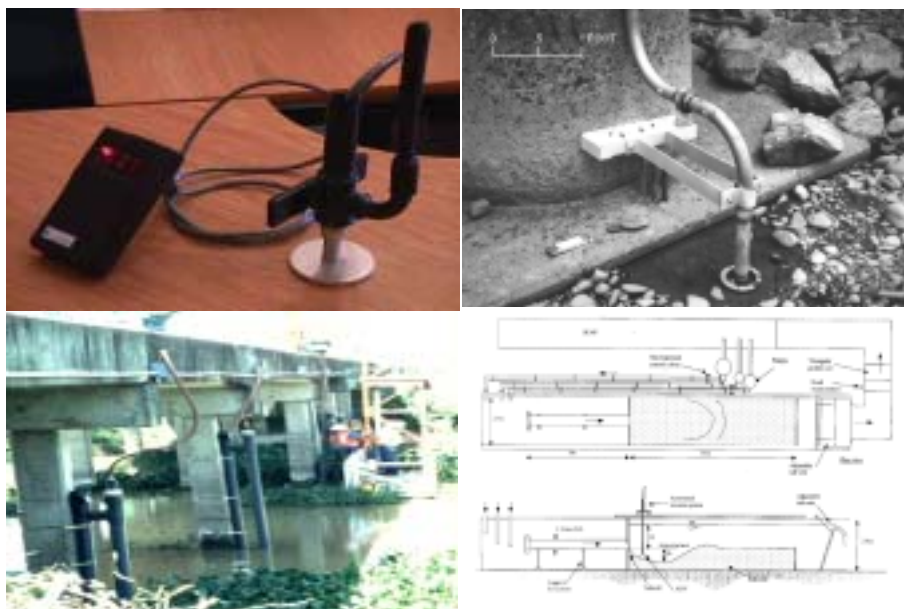


圖 2-21 電磁式河川沖刷監測 (HR wallingford Ltd, 2002) [5]



圖 2-22 超音波式河川冲刷監測（日本） [5]

民國 89 年高屏溪斷橋後，交通部曾對所管轄的七千五百八十座鐵路公路橋梁進行安全檢測，其中公路橋梁有三十四座、鐵路有七十六座橋梁受損。公路橋梁部分，因河川冲刷受損的有二十八座，其餘六座為劣化、超載或地震造成橋梁傷害[6]。近年來，除 921 集集地震所引致的斷落橋事件，台灣老舊橋梁受損的方式與過去迥異，最嚴重的當屬因地質條件改變，如盜採砂石，河道改變，以致於橋墩遭河水冲刷，原先規劃的橋墩基礎、受力點發生改變，嚴重影響橋梁安全，以濁水溪沿線中沙、溪州、西螺、自強及西濱等橋梁為例，過去十數年間因不肖砂石業者的濫盜採、及颱風夾帶洪水的衝擊後，目前均出現嚴重的橋墩基樁裸露情況、甚至有部份基樁還會斷裂過，由於部分已屬危險橋梁，公路總局甚至已計劃予以拆除重建。

雖然目前國內橋梁之災害中，以基礎遭冲刷而裸露之問題最為普遍與嚴重，但是現今公路總局各區養護工程處所發標建立各橋梁之監測預警系統，大都著重於監控橋梁主體結構之傾斜、變位或沉陷等物理量之變化；對於橋梁基礎遭冲刷之監測並無多所研擬、開發，或相關已開發之冲刷監測系統於功能上並不健全或完整。

2.3.2.1 傳統河川橋梁沖刷監測方法

傳統上國內外所研發之沖刷監測系統，包括預先埋入式或透過非接觸式進行量測，相關原理大都藉由電磁感應進行橋梁基礎沖刷深度量測；約可簡述如下[4]：

1. 沖刷深度量測

- (1)埋設橋址之磚塊：將特別標註之磚塊事先埋設於橋址處附近之河道中，藉由洪水過後流失磚塊之數量估算河床遭沖刷之深度，屬於早期無任何適當儀器可使用之方法。
- (2)無線電小型訊號器：監測儀器具無線電發射功能之小型訊號器，將之事先埋於河道中。在靜止狀態時不會發出信號，表示該位置尚未受洪水沖刷，但經河水沖刷浮出後，內建機械裝置將觸動體內發報系統，送出無線電密碼，由接受器接收後予以解碼、傳輸，進而辨識出河床之沖刷深度。
- (3)聲納、超音波沖刷測深計：其原理和無線電發報機類似，係藉由聲納或超音波方式直接讀取沖刷深度，由接受器接收後予以解碼、傳輸，進而辨識出河床之沖刷深度。
- (4)埋入型沖刷測深計：埋入型之設備包括感應器、顯示器、資料彙集盒及自動數據紀錄器等所組成，其中感應器是裝設在橋墩基礎上，例如電磁式反射儀（TDR），國內外有許多學者進行研究。
- (5)表面型沖刷測深計：表面型設備則是利用重力式探頭、重力式漏斗，或是以海底、水底攝影的 Web-Cam 網路視訊攝影沖刷監測機構方式，藉由攝影器材以直接拍攝紀錄的方式，紀錄河床高程，進而測知河床深度變化。
- (6)重錘式沖刷測深計：重錘式沖刷測深計之原理是藉由重錘自由落下時牽引一捲取器，此捲起機內有一數位編碼器，當此重錘由馬達上下捲取時，編碼器便有一數位訊號輸出，經由微電腦控制器讀取此資料，並經過計算得出重錘上升下降之距離。

(7)非接觸式沖刷測深：此一非接觸式河川沖刷測深方法，包括定期河床溫度量測與透地雷達量測等方式，係利用一小船定期掃瞄河床深度之溫差效應或是河床高程，以判別河川橋梁之沖刷、淤積情形。

(1)、(2)兩項之監測方法兼具成本經濟和簡便之優點，然而該儀器設備於洪水來襲之時，僅能測知洪峰通過時之可能沖刷深度，於洪水侵襲歷時過程中之退水階段，仍無法得知相關沖刷深度的情形，且只能使用一次，無法回收更不能監測回淤情形，發報機之電池壽命與相關機械設備之長期效能仍需驗證，且其訊號之接收與雜訊等仍須考量其精準。

至於第（3）項為應用現代科技所組成，具有相當可行性，也是目前國外普遍使用之方法，然而，洪流暴雨挾雜許多污泥與石塊等漂流物，若無適當之保護可能沖毀，且污泥與流石等漂流物也可能影響其訊號之接收，因此，此等儀器大都使用於洪水過後之河川量測用。

第 4 項比較重要者為 TDR 之研究，國外有專門為此一技術之發展所組成之固定研討會，相關學者也利用此一技術開發許多專利，然而，因為諸如電磁效應之干擾等問題，仍有賴進一步之研究後，才能於實際的應用上發揮適當的功能。

其餘 5、6、7 項需要關注者則為 Web-Cam 網路視訊攝影沖刷監測機構之開發與研究；水底攝影技術之發展，如眾所知，影像處理藉由 CCD 和 CMOS 晶片等相關技術之逐次發展與成熟，可以說是近年來相當熱門的一個研究領域，從數位攝影機與照相手機的熱賣，我們就可以知道影像已在我們日常生活佔了非常重要的地位了。而且拜科技發達之賜，電腦的微處理器速度愈來愈快，對於處理複雜影像的品質也大大提升，再加上寬頻網路的普及，即時的網路影音商品已慢慢的成為市場上重要的主流了。例如近來流行的線上網路影音直撥，都是寬頻影音的產品。至於手機的桌面圖案、開機動畫，以及未來即將出現的影音電話等，這些都是要運用到影像處理的知識，由此可見未來影

像在我們生活中扮演著非常重要的角色。而且由於網際網路的普及與資訊科技的發達，透過網路進行遠端監控已經成為目前熱門的研究主題之一。

Webcam 沖刷監測機構，可藉由具有主動偵測能力之遠端監控系統，並植基於網路服務技術的監控閘道器（web-services-based monitoring and control gateway, WSMCG）之方式，透過網路聯結分散部署之 ethernet-ready I/O 模組與安全偵測模組（safety detection modules）等元件或方法組成，除可提供一般的遠端監控功能外，同時具備了主動偵測裝置耗電異常與確保裝置安全的機制。監控閘道器之設計更可將各式遠端監控功能製作成網路服務方式，並設計成行動裝置介面元件（如 PDA 或手機），以便讓使用者可透過網路，在任何時間、任何地點，從任何可上網的裝置，利用瀏覽器或應用程式來操作使用 Webcam 沖刷監測機構這些功能或介面。

2.水流流速與水位監測儀器

一般常用的有下列三種：

- (1)聲納、超音波水位與流速計：聲納、超音波水位計與流速計它的功能是以超音波測量水流流速，以及水體中各個層次的水流速度，這類儀器主要使用水中聲波都卜勒(Doppler)效應，藉由同時向多個方向射出聲波，例如於河流分別往上下游方向射出聲波，當聲波遇到水中懸浮顆粒時，懸浮顆粒會將部分聲波反射回發射的儀器，儀器收到之後就可以加以分析。如果這些懸浮顆粒是向著儀器迫近，反射的頻率會高於發射的頻率，如果是遠離則會低於發射頻率，藉著這種頻率差異就可以代入都卜勒定律算出水流速度。一般的聲納、超音波水位計與流速計都有三到四個發射音鼓，根據幾何學原理，三個以上方向的測量即可計算出整個平面的流速流向。不同深度的流速，水越深處的資料回來得越慢，將各個時段傳回的資料分別運算可知各層次的流速流向。

- (2)自記式水位計：所謂自記式水位計乃是將水位資料記錄於電腦，可利用遠端傳輸方式，將資料傳回辦公室，以便進行分析。一般而言，根據測量感應器的不同，大致上分為水壓式自記水位計、浮筒式自記水位計。兩者相同的地方為長期水位觀測系統，可將水位資料記錄於現場資料記憶體內，不同的地方在於測量的感應器不同，水壓式水位計利用壓力式感應器，感應水壓並換算成需要的水位高程值。浮筒式水位計則利用浮筒、重槌之間的平衡得到水位值。
- (3)螺旋、旋杯測速儀：螺旋、旋杯流速計可量測水流的速度，藉指針旋轉可以顯示河中水流速度，流水沖擊的力量會使螺旋槳葉片旋轉，每轉一圈產生一個訊號，水流速度愈快，每秒鐘記錄的訊號次數則愈多，將數個讀數平均即可得到平均值，且若我們知道該測量點河道的截面積，單位時間流過的水量即可算出。

2.3.3 光纖監測系統

以光纖作為傳輸介質的光波通訊，是通訊網路上的一個很重要特徵，因為光纖具有低損失、寬頻帶的傳輸優點。光纖感測器感測技術隨著光纖的逐漸精進與改善而被開發，自 1970 年代中期，不需要其他物質當作中間轉換器，而直接利用光纖作為感測材料的全光纖(all-fiber)感測器在世界各地的實驗室中被實現。近 30 年來光纖感測器技術及其應用快速成長，它不但具有將資料傳遞各處的能力且成本愈來愈低。又可免於一般有線或無線通訊介質所受的干擾。光纖感測器不但取代舊有技術，且在近 25 年來在成長快速的全球通訊領域中扮演了重要的角色。

一般來說，光纖感測器技術具有以下特質，如：光纖對 EMI、RFI 及 EMP 容忍度較高，不會釋放輻射能量、低傳輸損失、寬廣傳輸頻段、不受閃電影響、重量較輕、不會生鏽。此外亦具有在操作環境下絕對安全、升級擴充時具有彈性、不受接地影響、安全性高、資訊不易被竊取等優點。光纖的性質，一般來說光纖感測器由於具有寬頻帶(可達

幾萬 GHz)、低損失(最低 0.154dB/Km)、質輕(約 30g/Km)、細徑(約 25nm)、可撓性(最小彎曲曲率半徑 2mm)、具機械性強度(一般光纖可耐 7kg 的抗拉負荷,仍可視不同用途加強之)、無相互干涉性(無所謂串音現象)、無感應性(不受電、磁場影響,除非特殊用途光纖)、高絕緣性、並且耐腐蝕,此外,光纖感測器在不良的氣溫、壓力或具毒性及生鏽的環境下仍夠有效運作,在爆炸下的環境中仍十分安全,且應用領域無遠弗屆,包括化學、溫度、生化、電磁量、磁量、旋轉、振動、壓力及流量等皆可運用,在通訊系統及感測系統上,具有非常大的開發潛力。

2.3.3.1 光纖感測器之優勢

基於光纖感測技術越趨成熟,光纖感測器的應用更加多樣化,特別在其雷射光源與單模聯結器等元件成本下降,及全球製造設備自動化等趨勢下,光纖感測器在未來通訊產業市場中更有舉足輕重的地位。

光纖感測器的優勢主要有下列幾點[8]:

1.體積小、重量輕、柔軟性高

光纖的外徑細小(125 μm),可撓性高,易於表面黏貼或內埋於結構物中。其構成材料是玻璃,由於細小質輕故重量很輕,而傳統應變計則至少需要兩條到四條的訊號線連接至放大器上,當量測點、量測數量或量測儀器逾數十點以上時,不同種類的傳統感測器與傳統監測儀器將變的非常龐雜與複雜,相關儀器與感測器之管理、維護將變的一大問題,維修問題更難以解決;至於光纖感測系統其感測器如光纖光柵感測器則同時可以串接於單一光纖,而光纖量測數據採集系統可以同步即時記錄光纖光柵感測器所量測之有關溫度、應變、壓力、加速度等等物理量訊號之變化,與傳統量測儀器比較,光纖感測監測系統於監測數量與距離明顯優於傳統監測技術,加上光纖彎曲曲率半徑小,光纖監測系統極適合用於土木、水工結構、航空飛行器,地下導管等空間狹小的結構物。

2.不受電磁及輻射干擾

傳統應變計易受電磁與周圍環境的影響，或因感測器、感測線路、量測儀器因素而導致雜訊很大，尤其在線路繁多時更會互相干擾，光纖為玻璃材質所製成不受電磁及輻射干擾，而且光纖包覆有非常強韌之材料，具高強韌並且耐候之特性，此特性讓光纖感測器更適合用於埋設於地下、河川、橋梁、海洋、電廠、電塔、核能廠房等特殊結構物作為長期監測。

3.低傳輸損失

光纖的傳輸損失極低，在工作波長 1550 nm 處，其損失低至 0.16 dB/km，使光纖感測器適合用於長距離的遠端監測，目前較為先進的數據資料傳輸皆改為光纖網路進行高速度與高容量的資訊傳輸可佐證之。

4.高靈敏度

傳統感測器由於電子雜訊，其靈敏度常被限制在 $1\mu\epsilon$ 左右，光纖光柵感測器的解析度則小於 $1\mu\epsilon$ 高靈敏度，且動態的量測範圍較為廣大，已被用於結構物的動態量測。

5.長期使用之準確度、穩定性與可靠度

傳統感測器主要靠電壓、電阻變化或電流大小來偵測，但電壓、電阻或電流常因線路問題，容易伴隨時間而產生飄移，使量測值產生誤差，而且量測訊號為類比訊號其穩定性與可靠性堪虞，甚且相關黏貼膠體則因為老化脆性關係，其使用壽命無法超過 2 年，一般來說，土木結構建築體的使用期限至少為 50 年至 100 年，再加上雜訊問題，傳統感測器顯然無法使用於長期監測。光纖感測器量測數據為數位式資料不但容易處理而且因為沒有電磁雜訊因素，不必進行濾波，光纖且可直接埋入於土木結構建築物或是固定於結構物表面無須利用膠體黏貼，沒有膠體老化問題，而且量測系統為光學元件所組成，具高準確性、高穩定性與高可靠度特性，極適合作為長期監測系統。

6.抵抗惡劣環境能力佳及遠端傳輸

使用環境溫度以光纖光柵感測器而言至少可達 650°C，且光纖本體為非金屬製成，不會有生鏽腐蝕的問題，具抗腐蝕能力，耐候耐濕不怕水，不像傳統感測器遇到較為嚴苛之環境便產生問題。以監測預警目的而言，最重要的監測量測時間點是颱風、豪雨來臨與作用期間，颱風豪雨帶來大量雨量，水災、災害往往於此時發生，傳統感測器與監測系統卻經常於此時當機或毀損，無法發揮功能。因此，傳統監測系統即使於風和日麗時具有量測效能。但是，最重要的量測監測時機卻經常失去監測量測功能，錯失並遺漏最重要的量測數據。傳統監測系統明顯不具監測預警功能，光纖監測系統因本身耐候耐濕不怕水之特性，且可透過遠端控制傳輸技術，於遠端控制存取、分析量測資料，即時傳送分析資料供工程單位分析預警，並可同步傳輸分析資料給管理決策單位，同步採取必要之安全措施。作為即時監測預警之功能，光纖監測系統明顯優於傳統監測系統。

7.具有極大的頻寬

光載波信號頻率在 10,000 GHz 以上，其頻寬遠大於金屬傳輸媒體（同軸電纜頻寬為 500 MHz）。

8.可多工(multiplexing)性質

個別的光纖感測器可經過設計，串接在同一條光纖上，藉由同一個數據採集系統來同時感測許多點，並可利用光學時域多工（Time division multiplexing, TDM），光學波長多工（Wavelength division multiplexing, WDM），空間多工（Spatial division multiplexing, SDM）等光學多工技術，將光纖鋪佈成點、線、面網路監測感測系統。如此一來，更將大大地減低量測線路的複雜度，並可增廣量測數量，非常適合用於規模龐大之土木結構與水工建築物量測。

因此，近年來已有許多不同感測機制的光纖感測器問世，而光纖光柵感測器(Fiber Bragg Grating, FBG)提供多工及直接即時量測的功

能，此外，由於光纖感測器技術中的光源回饋較傳統感測系統更快速且準確，加上光纖感測器適用於惡劣環境的好處，因此在環境監控相關之領域非常受歡迎，此舉更加保障光纖感測技術的市場發展潛力，因為有上述之優點，在近 10 年來成為許多領域所感興趣的感測研究題目。光纖光柵感測器對溫度與應變的反應，一般來說可以量測 0.1°C 與小於 $1\mu\epsilon$ 的解析能力，至於掃描取樣頻率約為 100 Hz。

2.3.3.2 光纖橋梁監測文獻回顧

光纖感測應用於光纖通訊系統的監測研究已在歐、美、日等國家相繼的展開，包括光纖系統之腐蝕、穩定性監測等，展望因應光纖通訊的蓬勃發展，其相關的研究必會加緊展開。部分光纖感測系統的發展趨勢已漸漸地進入商品化的量產階段，預期將很快地進入商業市場，尤其是日本的土木工程學會已大力地推展光纖光柵感測器應用於橋梁監測的商品化階段，並有相關的公共工程建設，包括河海工程皆已進行光纖感測器鋪埋的實例；因此國內在大地震後，實應以光纖感測為相關結構監測，以降低地震災害。

光纖光柵首先在 1978 年 K. O. Hill et al 利用氫離子雷射光耦合入光纖時，因量測駐波造成之相位光柵所發現，但直到 1989 年 Meltz et al 利用紫外光在光纖上以干涉方式側寫製成光柵，以及後來利用浸氫或加入其他元素以提高光纖感光性等技術相繼開發後，光纖光柵可以大量製造，甚至在製造光纖時便可直接寫入光柵，相關研究才快速地展開。

光纖光柵的光學性質如布拉格波長的條件，及其對環境變化的飄移情形、單一及陣列光纖光柵之反射強度等，已有許多基礎研究。製作光纖光柵的方式有數種，其中以覆蓋光罩法(Phase Mask method)由於它的可重複製造性、簡易性及穩定性，而廣被使用。在製作光纖光柵時，需要將外層披覆去除再用曝光在紫外光雷射下，其剝除方式及雷射強度將會大大影響感測器的力學強度及光學性質。在製作完畢後，裸光纖相當脆弱，再披覆(re-coating)可以讓光纖光柵感測器受到足夠的

保護，以增加其使用性[8]。

由於光纖光柵感測器對於溫度的變化極為靈敏，其中心反射波長飄移量可能是由溫度及應力共同產生，因此有許多同時量測應變及溫度之文獻，如無應變(strain free)之溫度參考光纖光柵、不同中心反射波長之光纖光柵疊加、結合光纖光柵與長週期光纖光柵(Long Period Fiber Grating, LPG)、非本質式費布里—佩洛干涉式感測器 (Extrinsic Fabry-Perot Interferometric sensors, EFPI)、串接兩個不同直徑之光纖光柵、光纖光柵組合摻鉕光纖放大器(Erbium-doped fiber amplifier, EDFA)或偏振過濾器(polarization-rocking filter, PRF)等。而一般在實驗室通常是用光譜分析儀來量測中心反射波長飄移量，但是卻因價格昂貴且體積大，而不容易用在實作環境感測應用，且為了達到波長多工之感測，解波長(demultiplexing)技術也得到了廣泛的研究，如加入校正光纖光柵之可調式費布里—佩洛光學濾波器(fiber Fabry-Perot tunable filter)解調、影像光譜儀解調等[8]。

以光纖光柵製成的量測儀器，經過設計還可以用來量測各種物理量，如磁場。以歐洲的兩個發明為例。光纖光柵線路設計成花結狀，形成平行四邊形或三角形花結，黏貼在共同的基材上，被拿來作為壓力感測器，以量測兩個主軸的應變和方向。而在丹麥，則有把懸掛在橋狀的波導上之一個 1.55mm 3mm 長的光纖光柵感測器與矽晶元上以化學異向蝕刻製作的 4.2mg 振動質量組合成為加速度計，可達到的動態應變解析度是 $6 \times 10^{-10} \text{Hz}^{1/2}$ 。

黏貼或內埋於智慧結構物的光纖光柵感測器，最早是應用於航太工業，如作為蜂巢式複合材料板之分佈式動態應變量測、聽覺品質測試及飛行物中精密結構的超高靈敏度靜態應變量測。其它例子尚有將光纖光柵黏貼在槍管上，量測子彈射出時其瞬間極大應變。將線型的光纖光柵黏貼在兩層片狀物的接點，以量得的反射波長及強度來得知沿著光柵軸向的應變分佈。還有把再披覆過的光纖光柵埋入用細線包捆之壓力容器中，用波長多工及空間多工之儀器，來量測其養護過程之溫度及應變。利用光纖光柵作為感測器的例子不勝枚舉，而且大

多都有很不錯的成果。

各種光纖感測器在土木工程上的應用近年來與日遽增，如以麥克生干涉式感測器即時量測，以調整三根桿件之損壞情形來製造數種結構形式之縮尺桁架，中點受載時之桿件應變，以及其製成之位移計置於瑞士 Geneva 的 Versoix 混凝土橋大梁中，以量得之曲率換算成位移，對橋梁做分佈式多點量測。用於長時間監測時，傳統應變計之電阻值會隨著時間拉長而有微小變化，因此其量測值的基準會改變，而光纖光柵感測器由於對物理量之改變表現出線性的波長飄移響應，並不因時間之影響而使基準變化，更是受到土木工程界的青睞。數個光纖光柵可以經過設計串接，內埋於載重計(load cell)中作為控制，同樣的設計也可以用在機械的墊圈(washer)上，而將光纖光柵貼附於可彎曲的桿子上，埋置於橋墩旁的土壤裡當作水流沖刷的預警計，當地基流失時桿子會裸露在水流中而彎曲，且露出部分愈多應變值會愈大。於實驗室中，有將 7 個不同波長、波段在 820~840nm 的光纖光柵串接，貼附在碳纖維(carbon fiber lamella)薄板補強之懸臂 T 型梁底部作為應變計，施予靜態載重量測數值反應並與傳統應變計比較。有把光纖光柵以各種不同之方式內埋於有碳纖維薄片補強之混凝土試體中，或者貼附在兩者之介面間，施予單軸向之壓力來量測軸向應變、混凝土擴張時之徑向壓力、以及遏制擴張之複合材料之張力，以研究玻璃纖維包裹補強之混凝土結構物強度增加情形。大地工程方面，為了瞭解土壤在地震下之動態反應，設計了兩種模型將光纖光柵貼附其上，與位移計相互比較於振動台上作動態實驗。

在現地結構物的安裝 瑞士的 Mont-Terri 隧道由於其高度非對稱應力導致隧道有橫斷面變形，為了連續監測，在混凝土壁特別預留了開口，將光纖光柵串列連接於兩個錨定點之間，於 Luzzzone 的一座新建水壩中，光纖光柵串接後黏貼在特製桿件上，於灌漿前固定在底部的大型混凝土塊中，作為應變及溫度之監測。在法國的核電廠遠端監測計畫中，光纖光柵被發展成伸長量測儀器表面貼附或埋入高品質預力混凝土之核子屏蔽體巨壁內，以確保在發生核子意外時，此圍阻物可

承受極高的壓力[4]。

橋梁之非破壞檢測方法如類神經網路(Neural network)法、震動特性(vibration characteristics)分析法、系統識別(system identification)法、自我診斷智能結構(self-diagnosis intelligent materials)與完整之橋梁監測系統應具備的硬體條件與管理，近年來已獲得廣泛的研究。光纖光柵的應用方面，於美國佛蒙特(Vermont)州，有座跨距為 67m 之新建鋼構桁架橋 Waterbury 橋的縱向及橫向鋼筋上黏貼了 8 個光纖光柵感測器作為監測。在瑞士有一座新建供行人及腳踏車行走的 Emmen 橋，在橋的底板下使用了以 91 條碳纖維絞線組成的纜線來施加預力，為了檢視這種新型之結構物之行為，進行了許多再披覆試驗來將光纖光柵內埋入纜線中，並分別使用 24 個及 8 個光纖光柵感測器在每條纜線及錨定端，於施工開始即展開監測。美國奧勒岡(Oregon)州的一座百年歷史古橋 Horsetail Falls 橋使用了玻璃纖維包裹在在梁上來作為補強增加其強度，並於適當位置外貼光纖光柵感測器量測受力時應變之大小，來作車流的監測及控制，現已有許多的發明是以光纖光柵感測器作為元件應用在交通上，如內埋光纖光柵於橋梁的支承墊或溝渠中，量測車輛經過或積水結冰時，橋梁的局部應變，以即時掌握橋梁之健康狀況。於美國新墨西哥(New Mexico)州的一座州際橋梁之大梁上，將兩個光纖光柵感測器串接後分別黏貼於翼版及腹版，以量測各種車輛經過時大梁之即時動態應變。結合光纖光柵感測器及全球定位系統(global positioning system, GPS)之智慧型橋梁大梁監測系統也由美國之聯邦高速公路管理局與海軍研發實驗室提出並裝設於 Ledyard 鋼構橋上[5]。

由於參考文獻眾多，此處僅列舉幾樣，光纖光柵智慧型結構已是世界上科技研究的新潮流，其優越性及可行性已獲證實，並且邁入實用化及商品化的階段。

2.3.3.3 光纖光柵感測系統監測方法簡介

依擾動所施加方式和來源的不同，一般現地試驗常用的有以下數種方法：(1)微振(ambient)振動試驗；(2)對結構體施加初始位移或初始

速度，而後任結構體自由擺動的「自由振動法」；(3)利用振動產生器對結構體施加各種頻率和已知大小之正弦力的「強迫振動法」；(4)地震反應實測[8]。其中「自由振動法」之缺點為須選擇適當的施力及著力點，微振振動量測法常應用於結構物動態特性之量測；強迫振動法雖可提供較可靠之結構物反應，但須要有一套精確穩定之振動產生器，而「地震反應實測」則須等待適當地震之發生，此非人力所能控制及預估。

橋梁監測系統是以電腦系統為基礎，主要由一個主控站(Main Station)以及數個分站(Local Station)所構建而成；主控站是橋梁維修中心之電腦系統，專門解譯來自分站之資料與訊息，它的工作是依靠永久放置於結構上的感測器所傳過來之訊號以及橋梁結構診斷軟體來監測構體之動態行為；分站則是由長期安置在結構上的電子感測器例如應變計(Strain Gage)或加速計(Acceleration)與一個經過特殊設計之資料掃描與搜集系統所組成，分站工作是搜集結構動態資料，作資料初步解譯與分析的工作，然後將資料傳送到主站去做進一步的處理與判斷。

1. 激振法

橋梁現場試驗所採用的激振方法，需要視試驗時對橋梁所進行激振的方法與條件，一般激振法為使用激振產生器的方法，除此之外還有許多種激振方法；激振法可分為兩大類(1)規則振動激振法(2)不規則振動激振法。在進行振動試驗計畫與實施計畫時，也要考慮工程與經濟，最好能夠利用常時微振振動法來做比較，利用兩種實驗方法得到較可靠的分析結果。在挑選激振方法時，必須考慮橋體重量與激振物體之重量比、激振頻率範圍及激振力等條件。

2. 強迫振動試驗

強迫振動試驗乃是現地試驗中最直接且準確的方法之一，強迫振動試驗係利用振動產生器(Shaker 或 vibration generator)對橋體施加一已知頻率之簡諧外力，待結構體達到穩態振動後，記錄該結構體振動的振幅與相位差，如此逐一改變振動頻率，從低頻至高頻，記錄結構體在不同頻率下之穩態反應，即可得到結構體之頻率反應曲線，藉以瞭

解結構體的動力特性之試驗裝置。所記錄之歷時資料經處理分析，就可獲得結構體之振態特性如自然頻率、阻尼比與振態。

3.微振量測系統

微振試驗是最常用於現地量測方法，主要是藉由微震儀器直接量測結構受到週遭環境擾動影響下，所產生之輕微振動反應，經由隨機資料理料理論分析處理後，即可獲得結構之基本特性。此法假設外力之輸入為隨機過程，無需加以量測，僅量取受測物之反應即可，因此不須建立結構系統分析模型，即可獲得結果，可大幅節省研究時間，此外在試驗過程中不需架設激振設備，對結構體本身不會造成影響。

4.車載試驗

車載試驗的目的，主要是結合靜態及動態載重資料做分析，其結果可以配合其他試驗與理論分析值及設計資料做比較，以便更進一步瞭解橋梁之動態特性。靜力試驗之目的，主要求取橋梁實際的勁度，以繪製出荷重與位移之關係曲線，並驗證有限元素分析模型之正確性，以期能深入瞭解橋梁之結構特性。動態載重試驗，主要是將載重卡車以不同之時速行駛於橋面，將其所造成之振動反應記錄下來，藉由動態訊號之分析，以求得橋梁結構之動態特性。動態煞車試驗，是藉由互制效應，橋梁結構因受載而產生振動行為，蒐集並分析此過程之動態反應，即可獲知此橋梁結構之動態特性。

2.3.3.4 光纖河川橋梁沖刷監測

水流遇阻礙物產生淘刷之流況，最直接的現象為河床砂面之變化，即河床沖刷深度的改變，流速增加，沖刷深度亦相對增加，反之流速減少則將會產生砂石回淤填補沖刷坑之現象。一般來說，當河流寬度並無急遽之變化時，若河水流量因颱風洪水等天然因素暴增時，河流流速對於橋墩之沖刷現象更趨明顯，將造成基樁裸露，影響橋梁側向穩定安全。光纖沖刷監測系統係於橋墩裝置光纖沖刷監測機構並配置適當之保護設施，諸如鋼套管等，以防止河水中的浮木、砂石直

接衝擊感測器造成損壞。

由於目前先進的光電產業技術，可以快速製造光纖光柵感測器，相關光纖光柵感測器已有市場商品，極易獲得；利用光纖光柵的反射波長與應變呈線性關係的特性，並藉其多點、同步、即時、高靈敏度與低雜訊干擾的優點，將此光纖光柵的特性應用於橋墩沖刷狀態之量測；基本的光纖沖刷監測機構概念係於懸臂梁安裝複數個不同波長之光纖光柵感測器並予以串接，藉由不同位置光纖感測器之反應，可光纖沖刷監測機構即時監測河床沖刷狀態，訊號可透過光纖網路傳回監測中心，若達沖刷預警深度值則提供預警，以便橋梁管理單位採取適當應變措施。

圖 2-23 為大度橋光纖之安裝示意圖，圖 2-24 到圖 2-26 係艾利颱風侵襲台灣時，於大度橋所進行之即時光纖沖刷監測結果。

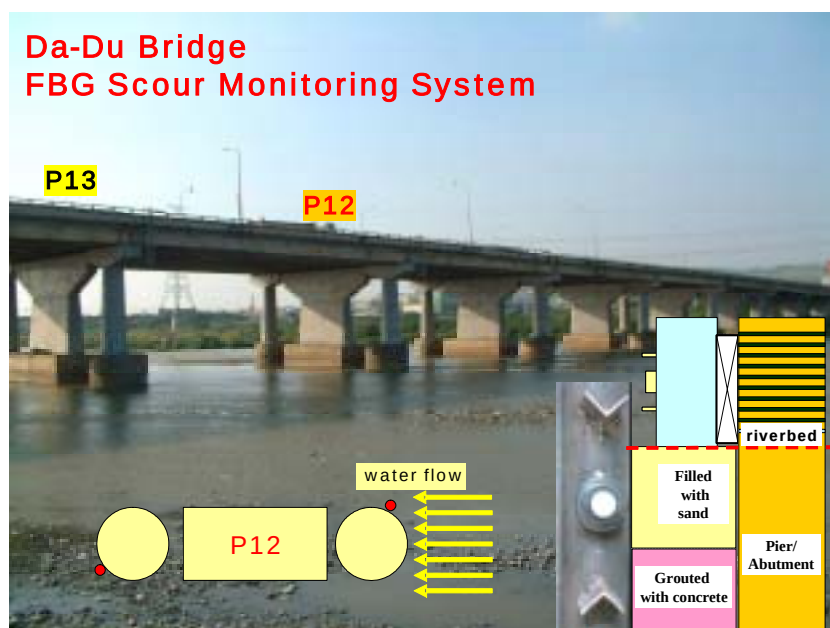


圖 2-23 台一線大度橋光纖沖刷監測機構 [4]



圖 2-24 艾利颱風後三天之大度橋流況 [4]

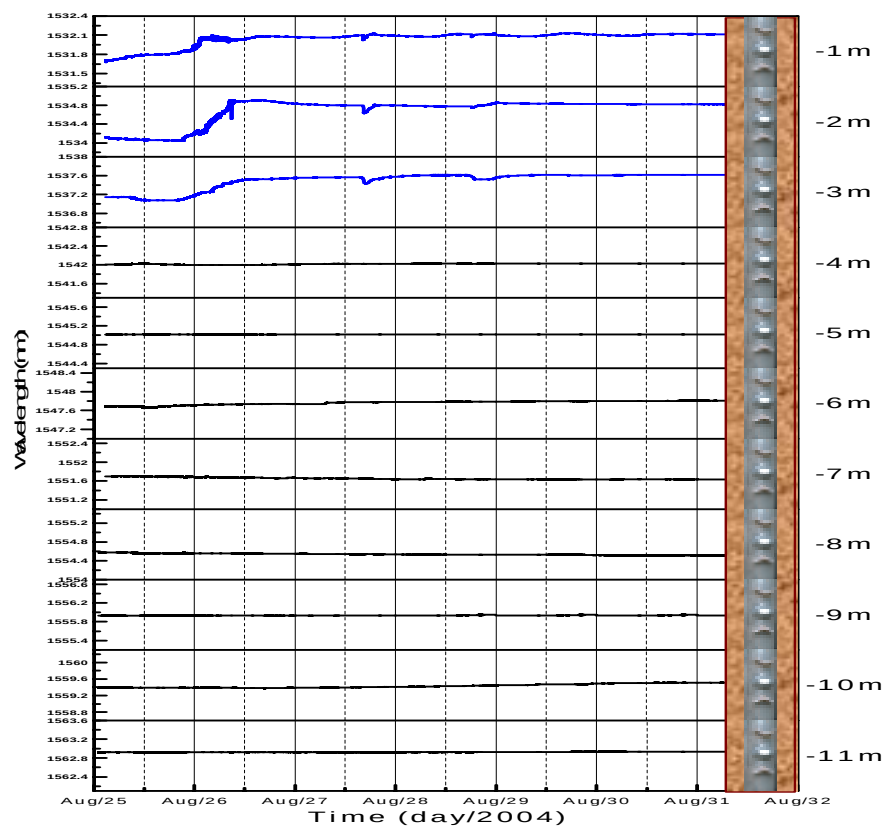


圖 2-25 艾利颱風大度橋上游橋墩局部沖刷監測 [4]

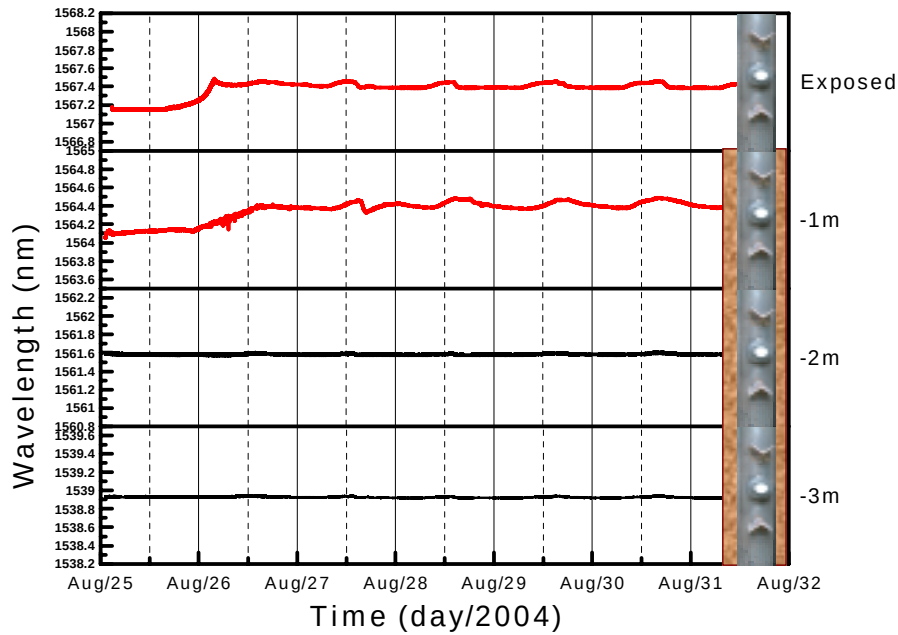


圖 2-26 艾利颱風大度橋下游橋墩局部冲刷監測 [4]

圖 2-25 為上游處所獲得之艾利颱風豪雨對大度橋冲刷深度資料，最上面之感測器起初為埋入於河床內，監測資料顯示有三個訊號出現明顯變化情形，其意義為此次颱風豪雨對上游橋墩造成三公尺左右的冲刷，若依大度橋原始設計基本資料，其允許冲刷深度為三公尺，但是河床在安裝光纖冲刷監測機構之前，已經裸露約二 三公尺，顯示此次艾利颱風對河床上游橋墩有進一步之冲刷，約 6 公尺，豪雨時應加以持續之觀測，以確保其安全[4]。

圖 2-26 為下游處所獲得之艾利颱風豪雨對大度橋冲刷深度資料，最上面之感測器起初為露出於河床底部約 1 公尺，每一個感測器之間距為一公尺，監測資料顯示有兩個訊號出現明顯變化情形，除原先已裸露之感測器外，仍有一個感測器有變化訊號，其意義為此次颱風豪雨對下游橋墩造成一公尺左右的冲刷[4]。

光纖冲刷監測機構安裝於台一線大度橋之 P12 橋墩，歷經敏督利颱風及艾利颱風之洪水與流石、流木衝擊下，驗證可於颱風時進行 橋梁河床冲刷深度之即時監測，其成果可協助交通部相關單位與水利署

對其所管轄之河川橋梁進行颱風即時監測，此一光纖沖刷監測系統，亦可應用於港灣、河海岸、水庫之沖刷與淤泥、流速、流向之監測。

2.4 PONTIS

美國境內約有 56 萬 5 千座橋梁，而其中建於 1935 年之前的橋梁約有 40 萬座，也就是約有 70% 的橋梁橋齡已超過 60 年，由於這些橋梁當初皆設計於較小的交通量、較低的車速、較輕的載重，經過長時間自然環境所造成的劣化，與日益增加的交通量及超載、超速對橋梁所造成的破壞，使得老舊橋梁不堪負荷，相繼暴露出各種安全上與服務功能上的問題。為維持運輸之需求，並確保社會大眾安全，各界對於橋梁的維護與管理也日益重視。

而美國橋梁管理之發展源於西元 1967 年之俄亥俄州銀橋斷橋事件，其後國會於 1968 年通過聯邦公路法案，並由美國聯邦公路總署 (FHWA) 建立「全國橋梁清冊」(National Bridge Inventory, NBI)，進行全國橋梁相關資料之收集與整理，並訂定「全國橋梁檢測標準」(National Bridge Inspection Standards, NBIS)，要求各州政府須每兩年將其所管轄之橋梁進行一次檢測作業，且檢測人員皆須符合相關資格限制並通過專業課程的培訓。為確保檢測資料之一致性，FHWA 同時訂定「全國橋梁登錄及評估指南(Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of Nation's Bridges)」，以作為各州進行橋梁檢測工作之參考依據。其中包含了符合 NBI 需求之橋梁登錄評估表 (Structure Inventory and Appraisal Sheet, SI&A sheet)，涵蓋橋梁的基本資料、幾何資料、結構型式與材料性質資料等共 90 個項目，作為各州政府執行橋梁檢測作業之報告表單。各州政府進行橋梁檢測所得之資料，需能符合 SI&A sheet 之格式，並轉換成電腦檔案，彙整交由 FHWA 進行資料記錄與更新。

除了責成基層單位進行橋梁現況調查外，為協助主管機關評定橋梁進行維修補強之優先順序，FWHA 同時發展了一套「有效評分法

(Sufficiency Rating)」，有效評分範圍為 0~100 分，有效評分 100 分表示此座橋梁在安全性與服務性等功能皆為充分有效，介於 50 至 80 者，可向聯邦政府申請補助橋梁整建（Rehabilitation）經費，低於 50 分者，可申請補助橋梁重建（Replacement）經費。

若依 FHWA 所訂定之標準加以評估，全美將有高達 42%之橋梁需進行維修補強或整建(Maintenance, Repair, and Rehabilitation, MR&R)。根據估計，欲解決上述問題，美國政府每年必須花費 30 億元的經費來進行橋梁的各項改善工作，然而現有經費顯然無法滿足如此龐大之需求。因此，為能於有限經費下進行最佳化分配，以達最大效益，引進營建自動化系統進行整體橋梁維護管理之考量乃為不可避免之趨勢。利用電腦科技系統性地分析各項維修、整建之需求，並妥善分配現有資源的橋梁管理系統，便成為相關單位研究發展之重要課題。

有鑑於此，FHWA 於 1987 年著手推動橋梁維護管理系統之相關研究，並分為兩個階段（FHWA DP 71/I, FHWA DP 71/II）進行。第一階段的研究重點在於[39]：

- 1.資料庫架構之建立；
- 2.服務水準特性與目標之探討
- 3.優選排序公式之建立
- 4.維護作業之分類
- 5.劣化速率與使用年限之預測
- 6.專案與路網層級計畫成本之分析

第二階段則是整合上述之研究成果，實際開發完成一套路網層級之橋梁管理系統－PONTIS。PONTIS 係由 FHWA 與加州運輸部（California Department of Transportation, CALTRANS）共同出資，委託 Optima, Inc.與 Cambridge Systematics, Inc.兩家公司合作開發，並結合明尼蘇達、北卡羅萊納、田納西、佛蒙特及華盛頓等五個州之運輸

部代表共同組成技術諮詢委員會（Technical Advisory Committee, TAC），於系統開發過程中提供指導與建議。PONTIS 於 1991 年開發完成，並於 1993 年 11 月完成第二版之修正。其中結合七大模組[40]：

1. 資料庫
2. 構件狀態及其可行方案模組
3. 劣化速率預測模組
4. 用路人成本模組
5. MR&R 最佳化模組
6. 改善最佳化模組
7. 整合與規劃模組

每個模組皆有其獨立之功能，協助相關人員進行資料搜集與分析、劣化速率預測、維修整建需求分析、各項方案之成本計算、預算編列與時程規劃等一連串的橋梁管理作業與決策工作。圖 2-27 為 PONTIS 之主要功能表單畫面。



圖 2-27 PONTIS 系統主功能畫面（2.0 版） [39]

本文將以 DOS 環境下操作的 PONTIS 2.0 版，分別就系統資料庫

與其他六個模組探討其運作方式與功能[39]。

PONTIS 資料庫之內容，除了涵蓋各座橋梁之基本資料與檢測資料外，尚包含了預測模式、成本模式及各個最佳化模組之組成資料，圖 2-28 為系統中 NBI 格式之橋梁資料輸入畫面。這些資料來自於各州之橋梁清冊、定期更新之檢測報告、專家知識庫、交通量與肇事率回報系統等。如此龐大且完整的資料庫可謂是 PONTIS 之核心，系統之各項模組皆須架構於此一資料庫上，方能發揮其應有之功能。

```
54 0002 EDIT BRIDGE DATABASE
NBI STRUCTURE INVENTORY AND APPRAISAL - PART 1 of 2 54 0002

***** IDENTIFICATION *****
(1) State: 05 (2) District: 0
(3) Inventory Site - OM: 1 3 1 00000 0 (3) County: 71
(4) Structure No: 54 0002 (4) Place: 59451
(5) Fear Intercept: COLUMBIA RIVER (11) Milepoint: 4.980
(7) Facil Carried: (15) Latitude: 36006.4'
(9) Location: (17) Longitude: 117036.0'
(98) Border Bridge State Code: X Share: X
(99) Border Bridge Structure No:

***** STRUCTURE TYPE AND MATERIAL *****
(41) Structure Type Main Material: 1 Concrete
-Type: 1 Slab
(44) Structure Type Appr-Material: 0 Not Applicable
-Type: 0 Not Applicable
(45) # Spans in Main Unit: 1 (46) # Approach Spans: 0
(107) Deck Structure Type: 1 Concrete Cast-in-Place

Arrows, FgUp, FgDn, Ctrl-FgUp, Ctrl-FgDn=Move F1=Help Ctrl-F=Comments
Ctrl-Q=Exit Ctrl-E=Case Ctrl-F=Find Esc=Cancel/Revert
View: NBI_1 Manual: TEST Auto: OFF_ON Index: Bridge_13
User: NIT Database: 00 Segment: none
```

圖 2-28 NBI 資料輸入畫面 [39]

一座橋梁通常是由數種構件所組成，由於過去各方對橋梁之分解方式不一，對於構件之名稱及定義亦多混淆不清，為確保資料的一致性以利於後續之分析與統計，在 PONTIS 中建有 160 種構件之資料庫，每種構件皆可由其型式與材料清楚區分。針對每一種構件並建有 3~5 種劣化狀態(condition state)描述構件可能的損壞情形，而對於每一種構件狀態則有 1~3 種 MR&R 可行方案(feasible action)之建議。此外 PONTIS 同時建立了每項可行方案之單位成本表，使用者僅須輸入橋梁各項構件所需進行之 MR&R 方案及其數量，系統便會自動概估橋梁維修整建所需之經費。由於構件狀態之認知較為抽象，且檢測員易受其主觀概念之影響，故技術諮詢委員會(TAC)在建立此一模組時，便特別強調每一種構件狀態之明確定義，並於系統中建有具體且詳細之描

述，以避免檢測人員在狀態上認定產生困擾。圖 2-29 即為編號 106 號構件(未上漆鋼構開放式隔梁)之說明。



圖 2-29 構件狀態與可行方案資料畫面 [39]

此外，由於構件之劣化行為亦受其所處環境之天候、地質、水文等自然條件及交通狀況所影響，故在 PONTIS 中定義了良好(Benign)、一般(Low)、中等(Moderate)與惡劣(Severe)四種環境，作為預測構件劣化速率之考量依據，如圖 2-30 所示。系統中對於四種環境的定義如下：

- 1.良好：無論是環境因素或使用狀況，皆不會明顯改變構件之狀態。
- 2.一般：環境因素或使用狀況並不會對構件造成不利的影響。
- 3.中等：構件狀態的改變，皆為環境因素或使用狀況所引起。
- 4.惡劣：環境因素或使用狀況將對構件造成嚴重的破壞。

EDIT MR&R UNIT COSTS				
Gr St	Design	Low	Med	Severe
0 1	0.00	0.00	0.00	0.00
0 2	0.00	0.00	0.00	0.00
0 3	0.00	0.00	0.00	0.00
0 4	0.00	0.00	0.00	0.00
0 5	0.00	0.00	0.00	0.00
1 1				
1 2	31.00	31.00	31.00	31.00
1 3	40.00	40.00	40.00	40.00
1 4	40.00	40.00	40.00	40.00
1 5	70.00	70.00	70.00	70.00
2 1				
2 2				
2 3	70.00	70.00	70.00	70.00
2 4	80.00	80.00	80.00	80.00
2 5	100.00	100.00	100.00	100.00
Pail	500.00	500.00	500.00	500.00

ELEMENT: 26 - Concrete Deck
 - Protected w/ Coated Bars
 DOLLARS PER: CSF/EA

Alt+F10: P-Menu Ctrl+F: Quit Esc: Reset Ctrl+F: Find Ctrl+S: Save Ctrl-I: Inflate
 Insert: RTT MR&R Costs: Files: DEMO2

圖 2-30 構件劣化狀態之編輯畫面 [39]

雖然 PONTIS 中詳細建立了 160 種構件資料，但實際上一座橋梁通常僅含有 6~12 種構件。藉由【構件狀態與可行方案模組】之執行，檢測人員在現地執行檢測作業時，便有具體之依據協助其評估橋梁損壞情形，記錄構件劣化狀態，並選擇其所處環境，待資料輸入完畢之後，系統便會建議適當之 MR&R 方案並計算構件所需之 MR&R 成本，以提供使用者決策之參考。

【劣化速率預測模組】為 PONTIS 中相當重要的一部分。此一模組係整合專家的經驗與檢測的歷史資料，利用相關數學理論，建立各種構件之劣化速率預測模式，以做為最佳化模組長期規劃之依據。各構件劣化速率預測模式的建立可分為兩個階段進行：第一階段係藉由訪談或問卷調查的方式，將所有不確定因子透過專家之知識與經驗，以簡單的數學計算予以量化，建構初步的劣化速率模式。第二階段則是利用每兩年更新一次的檢測資料，由系統自動修正各構件之劣化速率預測模式，以使預測結果能愈趨符合實際狀況。為便於預測模式之建立，在第一階段中有以下兩個基本的假設：

- 1.在兩年中，構件最多只能劣化至下一種狀態。
- 2.構件狀態的改變與時間無關(time-independent)。

由於多數資深工程師與檢測員並不熟悉機率理論，因此在第一階

段中，最重要也是最困難的工作便在於問題之設計，須使受訪者易於回答，而答案又能合乎邏輯地轉化為數值資料。在 PONTIS 中附有 160 種構件之相關問題，以輔助訪談人員能夠獲取明確且可用之資訊。舉例而言，若欲得知 A 構件由〈狀態一〉劣化至〈狀態二〉的機率，訪談問題可設計為：

“假設有 100 座橋梁具有 A 構件，且目前皆處於〈狀態一〉。若不執行任何維護改善措施，經過多少年之後，會有 50 座橋梁之 A 構件將劣化至〈狀態二〉，而另外 50 座橋梁之 A 構件仍維持於〈狀態一〉？”

若 P_{12} 表示 A 構件在兩年內由〈狀態一〉劣化至〈狀態二〉之機率，而 T_1 為專家對於上述問題之答案，即經過 T_1 年後，會產生上述問題之結果。經由下列簡單之計算，即可求得 P_{12} ：

$$P_{12} = 1 - 0.5^{(2/T_1)}$$

經由完整的專家訪談或問卷調查之後，便可建立構件劣化速率機率矩陣 P ，並可依同樣步驟預測不同 MR&R 方案的實施對構件狀態之影響。在圖 2-31 中，由左至右分別為構件之劣化速率機率矩陣，以及實施兩種方案對構件劣化速率之影響。矩陣內的任一元素 P_{ij} 表示此構件在兩年內由狀態 i 劣化至狀態 j 之機率，以百分比表示之。其中， i 表示今年之構件狀態， j 則代表兩年後之構件狀態。而後藉由每兩年檢測資料之輸入，系統將應用 Markovian 理論及 Bayesian 定理，自動由歷史資料中學習，修正各構件之劣化速率預測模式。

EDIT ELICITATION FILE																
Element: 180-Pointed Steel Open Girder										Fact: HENON						
30-NOTHING TRANSITION PROBS																
STATE ON		STATE IN 2 YEARS					IMMEDIATE PROBS WHEN ACTION TAKEN					STATE AFTER ACTION 1				
NOV	YRS	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	37.9	99	1	0	0	0	100	0	0	0	0	94	5	1	0	0
2	48.6	98	2	0	0	0	0	100	0	0	0	94	5	1	0	0
3	45.5	97	3	0	0	0	94	5	1	0	0	97	3	0	0	0
4	58.6	96	2	0	0	0	90	6	4	0	0	100	0	0	0	0
5	58.6	98	2	0	0	0	91	8	1	0	0	100	0	0	0	0

INITIAL STATE: There is no evidence of active corrosion and the paint system is sound and functioning as intended to protect the metal surface.

TARGET STATE:

Suppose that 100 bridges have this element and all have just entered state 1. How many years will it take before 50 of them have entered state 2 and 50 are still in state 1, if no action is taken?

F1=Help Ctrl-Q=Quit Ctrl-S=Save/Exit Esc=Reset Ctrl-N=Normalize Ctrl-R=Comment Ctrl-F=Element Ctrl-U=Environment Ctrl-O=Collect other experts' opinions

Users: KIT Files: DEMO2

圖 2-31 構件劣化速率預測模組畫面 [39]

在【改善最佳化模組】中，用路人成本為一重要影響因子。在此，用路人係指該座橋梁的使用者。橋梁寬度過窄、垂直淨空過小、載重限制過低等功能性缺陷產生時，常導致用路人的不便，甚至造成意外事故的發生，而增加用路人額外的成本。在 PONTIS 中，這項成本定義為用路人成本 U，其計算方式如下：

$$U=A+O+T$$

其中，A：肇事成本(accident costs)，即發生意外事故造成人員傷亡及財物損失時之花費。O：車輛運行成本(vehicle operating costs)，係指因橋梁載重或車速之限制，導致用路人須繞道而行所增加之燃料費與車輛折舊費。T：用路人旅行時間成本(travel time costs)，係指因橋梁載重或車速之限制，導致用路人須繞道而行所增加之旅行時間成本。因此當橋梁服務功能不足時，系統便會在【改善最佳化模組】中，分別計算各項改善措施實施後所將節省之用路人成本，並分別加以比較，而建議節省最多成本之方案為最佳改善措施。

PONTIS 將橋梁之改良方案分為兩種，一種是針對結構性的損壞所進行之維護、修補與整建(Maintenance, Repair, and Rehabilitation, MR&R)；另一種則是針對功能性缺陷所做的改善(Improvement)，如拓寬、提高垂直淨空、甚至重建等。而 MR&R 最佳化模組之主要目的，

由於一座橋梁是由多種構件所組成，而各種構件之型式、材質與劣化狀況皆不盡相同，是故很難以一個具體的指標來描述整座橋梁的損壞情形；即使能將各種影響因子加以量化，利用相關決策分析技巧計算各座橋梁之劣化指標，這樣的一個數值，亦未必能夠顯示該橋梁所需進行之維修整建工作。舉例而言，劣化指標相同的橋梁，可能有許多不同的組合方式，並不表示橋梁的損壞情況完全相同，而所需要之維修整建工作自然也不同。故在 PONTIS 中，整體路網結構狀況的評估，摒棄一般運用量化指標的方式，對所有橋梁進行排序，而以構件做為其評估的重點。

```

COUNTIES and PERCENT state distributions by environment and element
BENIGN environment          LOW environment          MODERATE environment
Page 1 =

ELEMENT: 12-Concrete Deck - Bare
Quant      1217              1624              8725
Bridges    14              17              78
1          0.00              35.22              19.44
2          6.57              7.02              6.85
3          29.81              45.28              31.88
4          68.33              12.56              41.94
5          4.13              8.00              8.79
Quantity units in (SP/EA)

ELEMENT: 13-Concrete Deck - Segregated w/ AC Overlay
Quant      25              238              773
Bridges    3              3              17
1          0.00              0.00              13.87
2          0.00              0.00              22.51
3          0.00              87.00              35.96

```

圖 2-33 為路網中所有構件 MR&R 方案成本與效益之統計結果。在此，任一 MR&R 方案之效益係指此一方案於現階段實施將比兩年後實

施所能減少的成本。

EMUT: 1-BENIGN				EMUT: 2-LOW				EMUT: 3-MODERATE				EMUT: 4-SERIOUS				
St	Pct	A	Cost	Benfit	Pct	A	Cost	Benfit	Pct	A	Cost	Benfit	Pct	A	Cost	Benfit
ELEMENT: 205 - Reinforced Case Column or Pile Extension																
1	98	0	0	0	94	0	0	0	98	0	0	0	91	0	0	0
2	2	0	0	0	6	1	100	1	9	1	100	14	17	1	100	57
3	0	1	300	43	0	1	300	190	0	1	300	361	2	1	300	720
4	0	1	5000	871	0	1	5000	1995	0	1	5000	3691	0	1	5000	7594
ELEMENT: 215 - Reinforced Case Abutment																
1	98	0	0	0	94	0	0	0	98	0	0	0	91	0	0	0
2	2	1	1	0	6	1	1	2	9	1	1	5	17	1	3	14
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
4	0	1	160	938	0	1	160	1087	0	1	160	2301	0	1	160	4605
St-Condition state Pct-Percent in state R-Recommended action Cost-Unit c																
Screen/F1/F2/F3/F4/F5/F6/F7/F8/F9/F10/F11/F12/F13/F14/F15/F16/F17/F18/F19/F20/F21/F22/F23/F24/F25/F26/F27/F28/F29/F30/F31/F32/F33/F34/F35/F36/F37/F38/F39/F40/F41/F42/F43/F44/F45/F46/F47/F48/F49/F50/F51/F52/F53/F54/F55/F56/F57/F58/F59/F60/F61/F62/F63/F64/F65/F66/F67/F68/F69/F70/F71/F72/F73/F74/F75/F76/F77/F78/F79/F80/F81/F82/F83/F84/F85/F86/F87/F88/F89/F90/F91/F92/F93/F94/F95/F96/F97/F98/F99/1000																

圖 2-33 路網中各構件 MR&R 方案之加總 [39]

【改善最佳化模組】係針對橋梁之功能性缺陷，如橋寬過窄、垂直淨空過小、載重容量過低等，建議適當之改善措施，評估其所需之經費以及所能節省之用路人成本，定出成本效益最大之方案。

在此一模組中，使用者可自行訂定橋梁載重、寬度及垂直淨空等項目之標準與服務水準之目標，用以界定橋梁是否需要進行改善，並建議適當之改善措施。PONTIS 並依據「美國公路運輸官員協會幾何設計政策(AASHTO Geometric Design Policy)」建立各項改善措施之單位成本，系統在建議合適之改善措施時，便會同時附上相關的成本資料提供使用者參考。圖 2-34 即為一座橋梁各項改善措施之成本與效益之計算結果。



圖 2-34 改善措施及其成本效益畫面 [39]

【MR&R 最佳化模組】與【改善最佳化模組】所產生之結果，皆是在未考慮資源限制的情況下，就橋梁之劣化情形或使用現況列出所有的 MR&R 與改善方案，以及各方案之成本與效益。然而面對如此龐大之需求，主管機關在經費的限制下，並無法同時執行所有維修改善工作。【整合與規劃模組】便是整合上述兩個模組之結果，在預算有限的情況下，規劃各項作業之時程，以達到最大效益。【整合與規劃模組】係依循下列步驟進行維修改善方案之規劃工作：

- (a)將所有橋梁構件及其建議方案依照益本比(Benefit/Cost ratio)之高低排序。
- (b)將第一年之經費依序分配予各個橋梁專案，直到所有經費用盡為止。
- (c)而後再將第二年之經費繼續依序分配予各個橋梁專案，直到所有經費用盡為止。

此時，系統將重新計算各座橋梁之益本比：

- (d)將每項橋梁構件依其劣化速率，預測下一週期之狀態。
- (e)由 MR&R 最佳化模組重新分析各構件構件所需進行之 MR&R 方案，並計算其益本比。

(f)若有橋梁之改善方案尚未執行，便須將改善方案之成本與效益加入 MR&R 方案之成本與效益，以計算橋梁整體性之益本比。

而後再回到步驟 1 便可繼續執行下一週期之規劃作業。根據上述程序，系統將可預估整個路網在 30 年內所有維修整建之經費需求，如圖 2-35 所示。

P2 - Scheduled needs and backlog Sample Page 1

Type of Action	1995	1996	1997-98	1999-00	2001-
TOTAL UNCONSTRAINED NEEDS					
Long-term steady-state MR&R needs	0	0	0	0	0
Backlog MR&R needs	0				
Improvement needs	0				
Replacement needs	37000000				
Pipeline needs	0				
Total needs	37000000	0	0	0	0

All amounts are in thousands of dollars
 PROGRAM SEGMENT: SAMPLE AUTO: BAD_COND MANUAL: none

Screen/PgUp/PgDn/Ctrl-Home/Ctrl-End-Home/Ctrl-Q-Quit/Ctrl-P-Print/Ctrl-C-Go to
 C:\PONTIS\DATA\GENREP\REPORT\SAMPLE.RP2

圖 2-35 維修改善方案之時程安排畫面 [39]

2.4.1 PONTIS 系統特性與功能彙總

綜合以上所言，PONTIS 之特點及功能包括：

- (1)著重於結構安全與服務功能：將橋梁的改良措施分為針對結構性損壞所進行的 MR&R 方案，以及針對功能性缺陷所進行的改善方案，以使橋梁在結構安全與服務功能兩方面皆能維持於一定目標之上。
- (2)考量整體路網之表現：整個路網的結構損壞狀況評估，係以構件為評估重點，而非以橋梁為其基本單位。如此將可避免利用單一指標描述整座橋梁損壞狀況之缺點，並使系統所建議之 MR&R 方案更為符合實際需求。
- (3)建立完整之構件資料庫：包括 160 種構件及其劣化狀態、可行方案與單位成本之資料，提供了檢測者具體的參考依據，使不同人

員之檢測資料具有一致性，以便於系統進行各種需求分析與時程規劃。

(4)提供劣化速率預測功能：利用劣化速率預測模組，一方面可針對構件之劣化情形進行動態的調整，另一方面更可提供系統作為整體路網長期規劃之依據。

(5)美國橋梁管理系統 PONTIS 之模組及界面皆相當簡單，使用者極易入門，如基層人員可依簡單的功能畫面進行資料鍵入及查詢，而管理單位可很容易的得到維修成本成本之估算，於使用上極具親和性，至於專家資料庫雖納入專業之理論，但提供查詢之資料輸出亦十分簡潔。

綜觀 PONTIS 系統開發之精神，其中隱藏兩項重要觀念，主要意義為形式之開放與標準之統一，說明如下：

- (a)容許各州於建立橋梁資料時，可依個別管理模式自行調整，惟其資料需滿足 PONTIS 核心資料庫之轉換格式與資料項目。
- (b)建立構件資料庫，定義構件名稱及特性，提供常見之劣化狀態及維修補強對策，同時輔以文字及圖像說明。

由於美國採聯邦制，各州有其獨立之道路橋梁管理體制，因此 FHWA 在發展 PONTIS 時，便將之界定為各州發展橋梁管理系統之基礎，而各州可依不同的自然環境與地區特性，調整建構合適之成本模式、預測模式等，並可依自身之管理需求，編輯修改系統之畫面配置與資料輸入、輸出格式等，以便於個別管理作業之執行。基於上述考量，PONTIS 在資料庫設計之初，便特別注重各種資料格式間的轉換、資料之儲存容量與取用速度、後續發展之彈性等因素，以利未來各州之修正與使用。

PONTIS 為一功能強大且完整之橋梁管理系統，然而 PONTIS 的各項功能模組皆須架構於其豐富詳盡的資料庫之上，方能發揮其具體功效。我國目前之各級主管機關由於人力、經費之限制，對於其所管轄之橋梁，尤其是老舊橋梁，鮮少保存有完整的資料，以及歷史損壞狀

況的記錄。如何運用有限資源進行橋梁之維護管理或預警，以減少未來橋梁損壞可能對社會經濟造成之衝擊，排定維護管理之優先順序，對具較高危險性及功能重要性之橋梁予以優先檢測或維修補強，以將有限之人力及經費充分有效運用。為目前國內各橋梁管理機關所面臨之重要課題。

2.4.2 PONTIS 4.4 版

PONTIS 目前最新版本為 4.4 版，主要模組與 2.0 版相同，但增加了以下功能[41]：

- (1)PONTIS 現已內建多媒體撥放程式，支援連結至照片或圖說，加強網路安全性，以及 FHWA 編輯更新功能。
- (2)NBI 轉換程式亦內建於 PONTIS 程式中，可將 PONTIS 橋梁構件資料轉換成 NBI 狀況評分(Condition codes)。
- (3)4.4 版將新增兩項功能。第一將增加介面標籤的自由度，第二將允許管理者自行設定所需的橋梁表現目標，並進行在此目標下的路網需求分析。

圖 2-36 至圖 2-39 為 PONTIS 系統畫面。

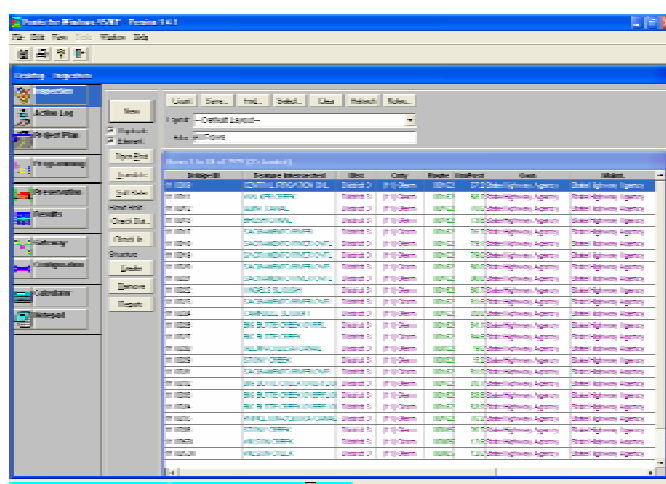
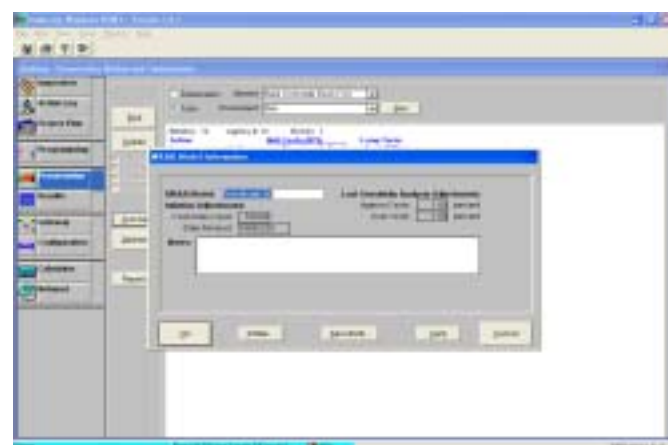
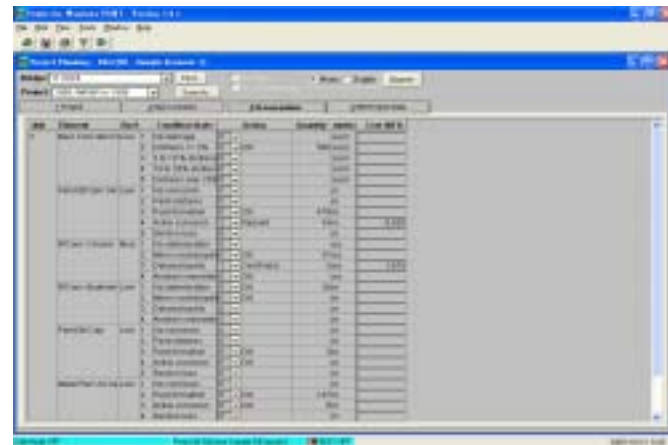
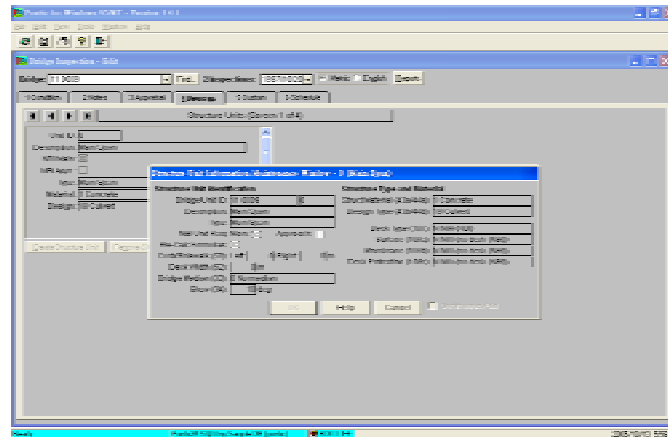


圖 2-36 檢視主畫面 [41]



2.5 CAESAR

CAESAR 是橋梁分類與沖刷風險及河川穩定性評估專家系統(An Expert System for Cataloging And Expert Evaluation of Scour Risk And River Stability at Bridge Sites)的簡稱。由華盛頓大學西雅圖分校開發，經費由國家公路合作研究計畫和華盛頓州運輸部補助(Palmer and Turkiyyah, 1997)。

CAESAR 使用的對象為未經過嚴格的河川水力學或沖刷機制教育訓練現場工作人員，因此將經驗老道檢測人員的知識和能力結合到系統中，提供圖形供檢測人員與系統使用人員參考；並且提供輸入 FHWA 橋梁基本資料手冊中 Item 60, 61, 71, 113 評等的協助。如此則可以提高輸入資料的一致性和精確度。

CAESAR 有 80 個和所有橋梁下部構件與河道相關的基本資料項目用來計算沖刷風險，其中和橋台相關的有 10 個項目、和橋墩相關的則每座橋墩有 8 個項目。根據這些基本項目的資料，系統可能提出其他 23 個項目的資料要求。部分資料系統中有內建的預設值(Default Value)而不一定需要輸入。CAESAR 所需要的資料中，因係針對橋梁沖刷潛能之評估，因此有許多不在 NBI 資料庫中。若使用 CAESAR 則所有的橋梁都必須依照其資料需求重新檢測，以分析採取對策的優先順序；但是 CAESAR 可以作為這些較為詳細資料的儲存庫。每座橋梁的分析時間約在一個小時之內。程式的輸出為每個橋梁下部構件（各個橋台和橋墩）加權後的受沖刷性(Scour Susceptibility)、河道穩定性(Stream Stability)、河道適當性(Waterway Adequacy)[42]。

CAESAR 是一個使用一群沖刷專家和檢測人員的卓見和判斷來提供對於沖刷可能性和可行對策的專家系統。因為沖刷風險的判斷是一項複雜且不易掌握的程序，因而在考量所有影響沖刷的因子狀況之下，簡單的分析方法往往是不恰當的。專家系統的邏輯是利用一系列的『IF-THEN-ELSE』形式的敘述來代表現場狀況和沖刷的潛勢。專家系統可產出一個現場的一些結論，正如由一群沖刷專家可以提出來的

結論相似。專家系統根據檢測者提供的檢測資料來權衡並支持這些結論。透過沖刷專家的協助、文獻資料回顧、現場測試，建立一個涵蓋所有橋梁沖刷的相關事項的 Bayesian 網路(Bayesian Network)。

CAESAR 結合了現場資料並提供橋墩和橋台沖刷風險的結論。此外，它也提供有關河川側向穩定、河川垂直向穩定、束縮沖刷風險的結論。根據這些結論，系統產出特定的建議。CAESAR 的邏輯包括沖刷的所有條件，包括：束縮沖刷、局部沖刷、長期沖刷(Long-term Degradation)，以及和河川不穩定性(Stream Instability)相關的沖刷風險。為了讓開發、瞭解、追蹤、測試比較簡單，且因為系統邏輯的分割，CAESAR 的決策支援邏輯區分為五的次邏輯網路(Sub Logic Networks)：(1) 河川垂直向穩定(Vertical Stream Stability)；(2) 河川側向穩定(Lateral Stream Stability)；(3) 束縮沖刷(Contraction Scour)；(4) 橋墩穩定(Pier Stability)；(5) 橋台穩定(Abutment Stability)[42]。

以橋墩穩定為例，影響因素包括：河川垂直向穩定性(長期河道下降)、束縮沖刷、局部沖刷。橋墩穩定性則受到更複雜的河川穩定因子影響，例如深泓線穩定性和河道側向遷移。橋台穩定性也與河道側向遷移相關。此外，這些沖刷的因子本身又受到其他因子的影響，彼此之間的邏輯關係十分複雜(Palmer and Turkiyyah, 1997)。

CAESAR 包括使用者介面和評估模組兩個部分。每一座橋梁的每次檢測結果儲存於一個『.bdg』檔案中，CAESAR 每次僅能開啟一個橋梁檔案進行分析與編輯。圖 2-40 為 CAESAR 的主程式視窗，圖 2-41 為橋梁基本資料(Static Information)編輯頁面，圖 2-42 則為斷面圖。圖 2-43 顯示橋梁資料的『附註欄』，橋梁的資料可以加註在『附註欄』中，這些資料包括橋梁的維護工作、水力問題、沖刷現象等。

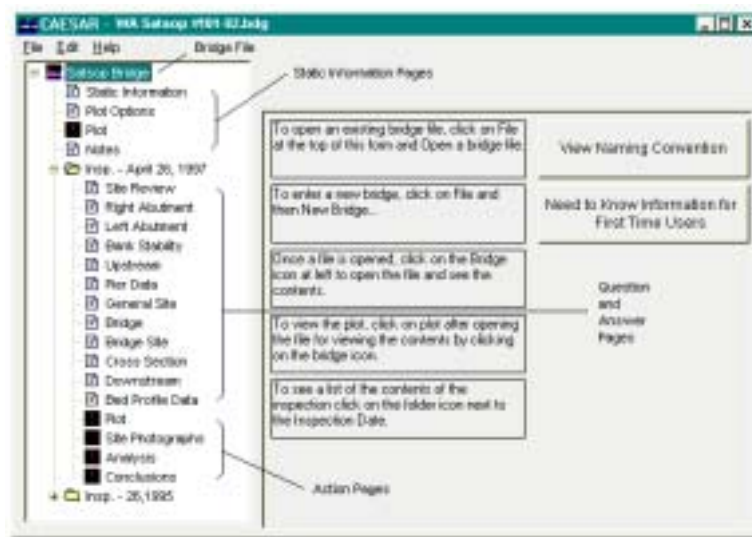


圖 2-40 CAESAR 之主程式視窗(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

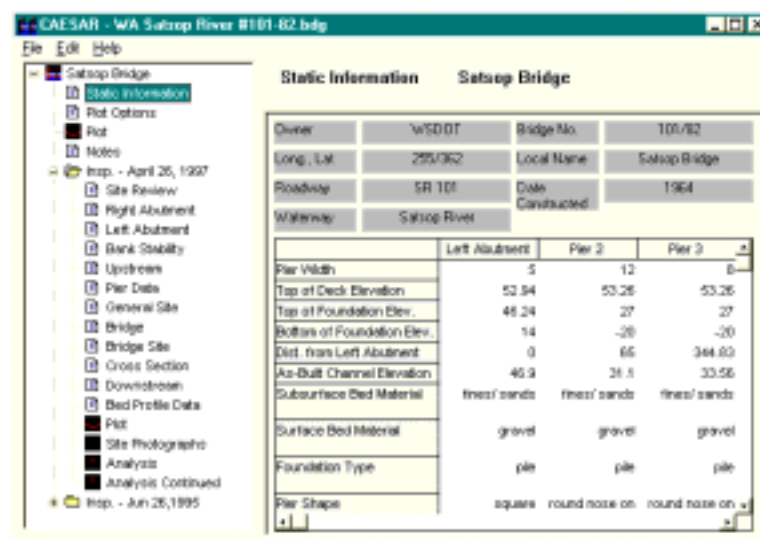


圖 2-41 CAESAR 橋梁基本資料畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

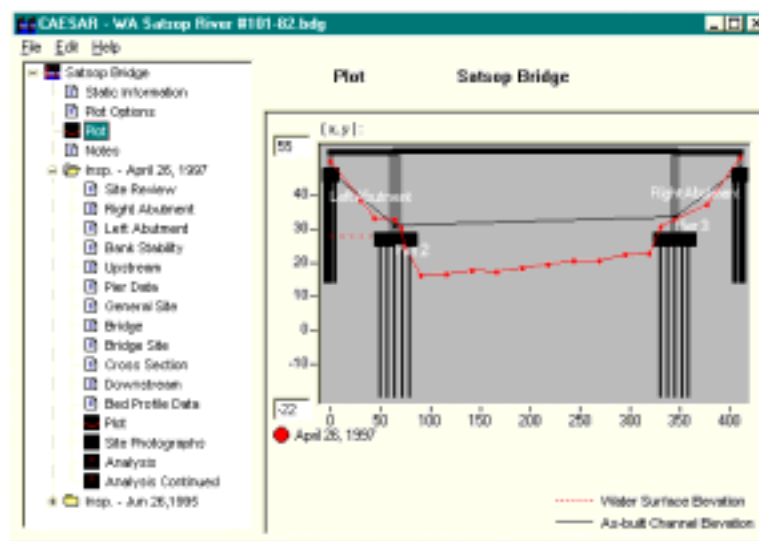


圖 2-42 CAESAR 橋梁斷面繪圖畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

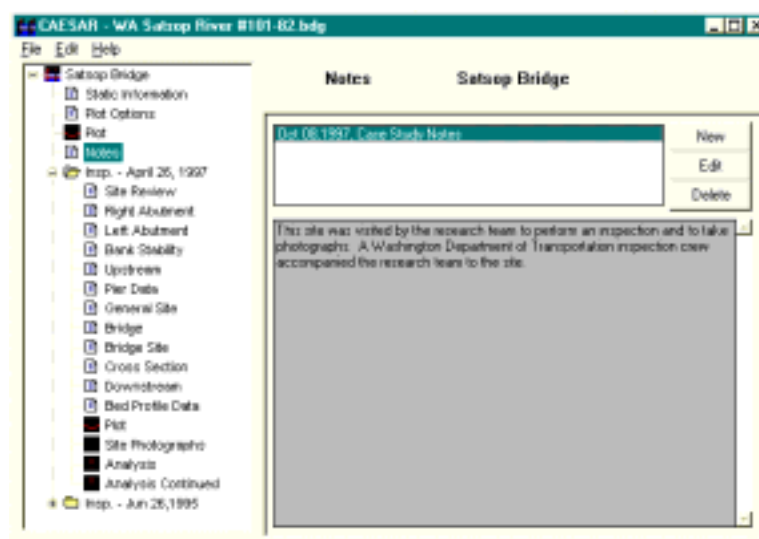


圖 2-43 CAESAR 橋梁資料附註畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

橋梁檢測資料夾中則包括了橋梁下部結構各構件的檢測結果資料，圖 2-44 與圖 2-45 為檢測資料編輯畫面，圖 2-46 中所示為左側橋台於 1997/04/26 的資料，檢測結果亦可呈現於斷面圖中(圖 2-47)；橋梁檢測斷面圖中，顯示了水面、檢測的河道斷面高程、預估的局部沖刷和總沖刷斷面高程、保護工位置。CAESAR 也可以儲存每一次檢測的記錄照片，讓檢測者可以用圖文描述橋梁的狀況，橋梁的記錄更為完

整(圖 2-48 與圖 2-49)。

Inspection Data

General Site | Bridge | Bridge Site | Cross Section | Downstream | Bed Profile Data |
Right Abutment | Left Abutment | Bank Stability | Upstream | Pier Data | Site Review

Observation Method: Table Format Width:

Copy Column(s)

	Left Abutment	Pier 2	Pier 3	Right Abutment
Calculated Local Scour				
Calculated Contraction Scour				
Footing Exposed	no	no	no	no
Foundation Location	buried in a	floodplain	floodplain	buried in a
Countermeasures Present	no	yes	yes	no
Countermeasure Damage		none/mino	none/mino	
C.M. Performance History		survived a	survived a	
Historical Scour	not critical	not critical	not critical	not critical
Abutment Orientation	no skew			no skew
Flow Impact Location	away from			away from

Help Save Done Cancel

圖 2-44 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 橋台與橋墩資料(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

Inspection Data

Right Abutment | Left Abutment | Bank Stability | Upstream | Pier Data | Site Review |
General Site | Bridge | Bridge Site | Cross Section | Downstream | Bed Profile Data |

☒ Auto Calculate Vertical distance w/t to the Reference Pier Rail Height:

Vertical readings are taken from the: ☐ Deck ☒ Rail

	Reference Pier	Horizontal w/t pier	Vertical w/t pier	Vertical to Bed
1	Left Abutment	0	0	5.6
2	Pier 2	0	0	29.4
3	Pier 3	0	0	29.3
4	Right Abutment	0	0	4.0
5	Pier 2	25.5	0	39.9
6	Pier 2	51	0	39.6
7	Pier 2	76.5	0	38.5
8	Pier 2	102	0	38.0
9	Pier 2	127.5	0	38
10	Pier 2	153	0	36.8
Surface	Pier 2	76.5	0	28.5

Help Save Done Cancel

圖 2-45 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 河床斷面資料(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

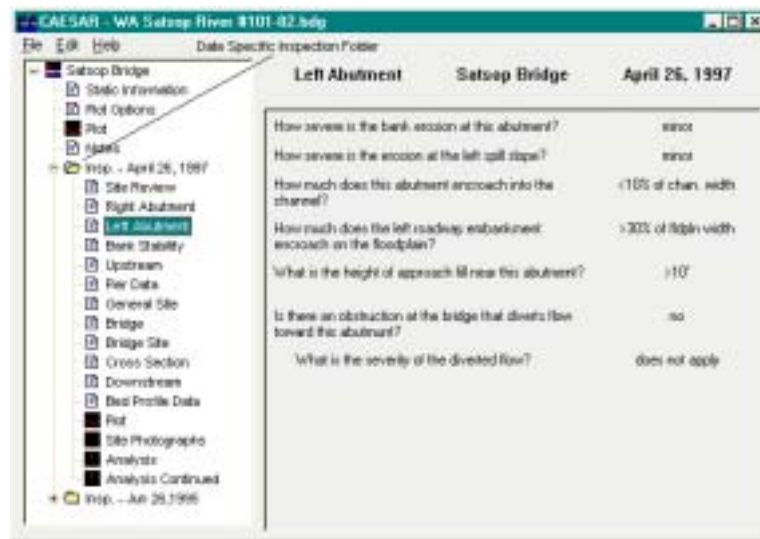


圖 2-46 CAESAR 橋梁構件資料畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

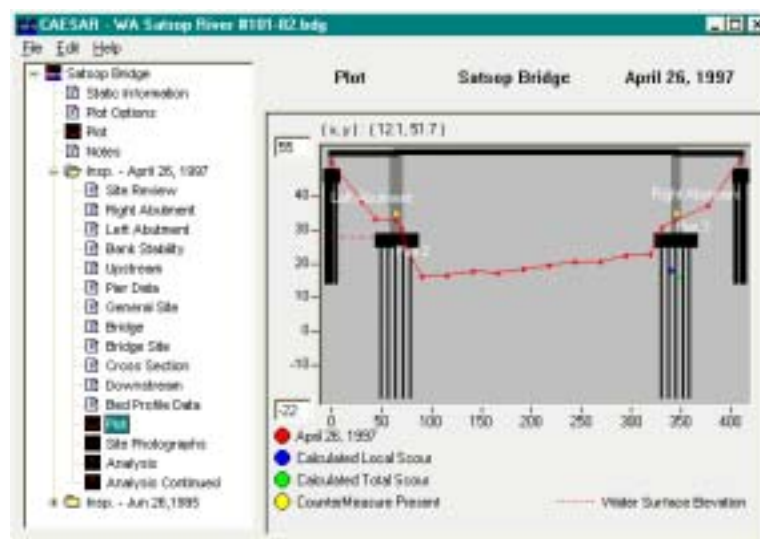


圖 2-47 CAESAR 橋梁檢測圖(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

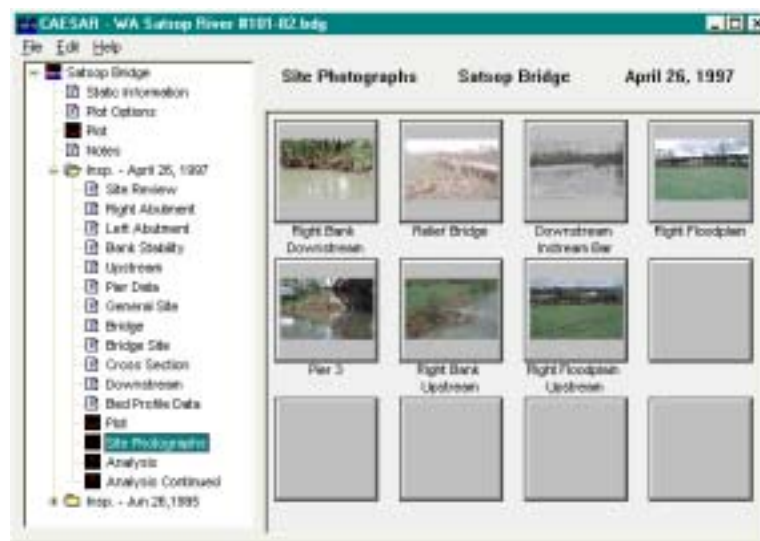


圖 2-48 CAESAR 照片編輯目錄畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

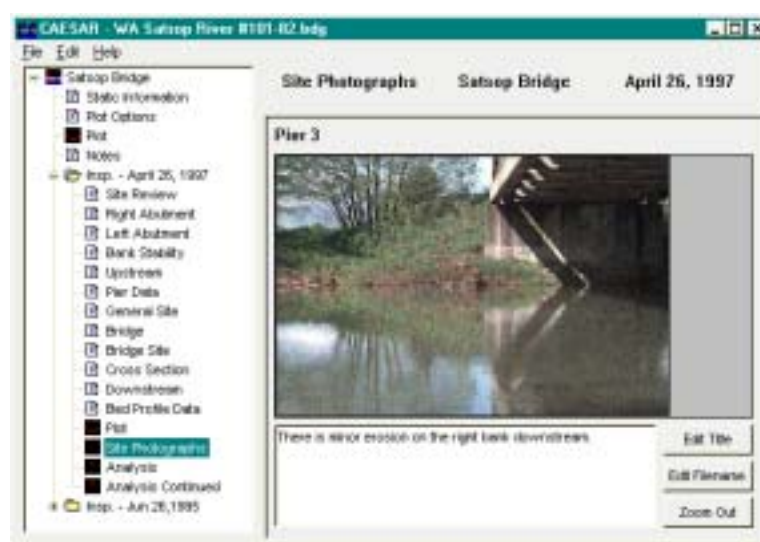


圖 2-49 CAESAR 照片檔案編輯畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

當有了檢測資料之後，CAESAR 即可進行沖刷分析。分析的結果可以用數值和文字方式呈現；數值係直接由程式分析所得，文字部分則為詮釋數值所得。評估結果中的百分比是由邏輯網路分析所得。圖 2-50 為分析結果畫面，畫面中有三個選項：『重新評估』(Re-Evaluation) 按鈕、『邏輯尋跡』(Logic Tracking) 按鈕、『評估結果』(Evaluation Results) 按鈕。『重新評估』選項可進行沖刷風險和河道穩定分析，畫面會過去

的檢測與評估結果，直到使用者要求進行一次新的評估。因此，每次有新資料輸入時，應該進行『重新評估』。『邏輯尋跡』選項容許使用者追蹤程式計算每一個子項評等的過程，使用者可以據之找出來影響評等最大的項目。此功能可以追蹤束縮分析(Lateral/Vertical/Contraction, L/V/C)、橋墩分析(Pier Logic)、橋台分析(Abutment Logic)三項分析(圖 2-51)。

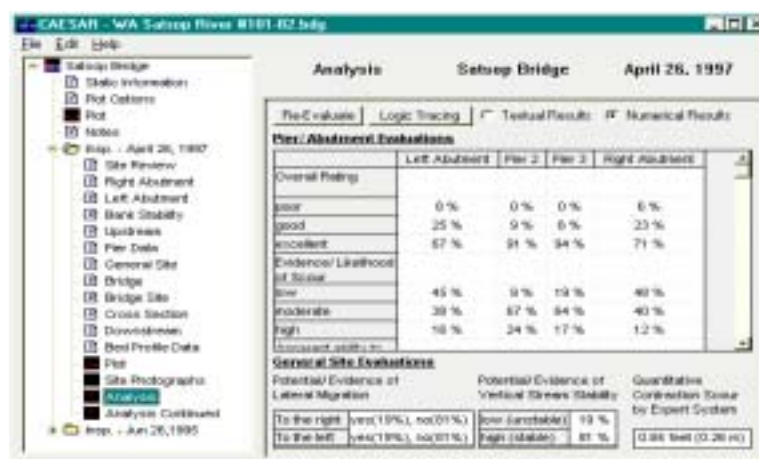


圖 2-50 CAESAR 分析結果畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

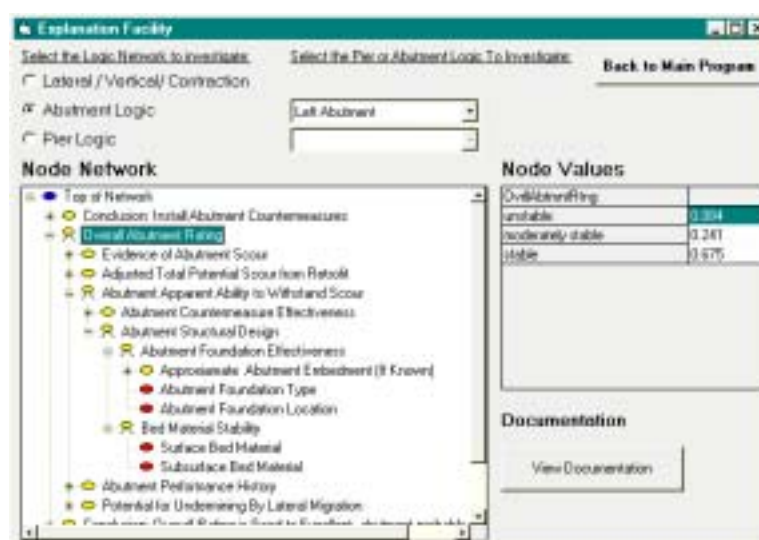


圖 2-51 CAESAR 邏輯尋跡功能畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

『評估結果』選項提供『橋墩與橋台』 (Pier/Abutment)以及『整體場址』 (General Site)評估結果。『橋墩與橋台』評估提供三個類別的結果：(1) 整體評等 (Overall Rating)；(2) 沖刷的證據和可能性 (Evidence/Likelihood of Scour)；(3) 抗沖刷能力 (Apparent Ability to Withstand Scour)。『整體場址』評估區分為：(1) 側移潛能與證據 (Potential/Evidence of Lateral Migration)；(2) 垂直向河川穩定性潛能與證據 (Potential/Evidence of Vertical Stream Stability)。

『繼續分析』頁面呈現每個下部結構構件的摘要結論和額外的觀察結果，以提供評估沖刷風險的評估參考(圖 2-52)。程式會根據評估結果提出八種附帶結論，包括『估計總沖刷深度』 (Estimated Total Scour)、『橋墩保護工』 (Pier Countermeasures)、『左/右岸保護工』 (Left/Right Bank Countermeasures)、『垂直向深泓線降低』 (Vertical Thalweg Degradation)、『垂直向河道穩定性』 (Vertical Stream Stability)、『深泓線側向位移』 (Lateral Thalweg Migration)、『側向河道遷移』 (Lateral Channel Migration)、『淺基礎保護工』 (Shallow Foundation Embedment, and Bank Countermeasure Protection)。

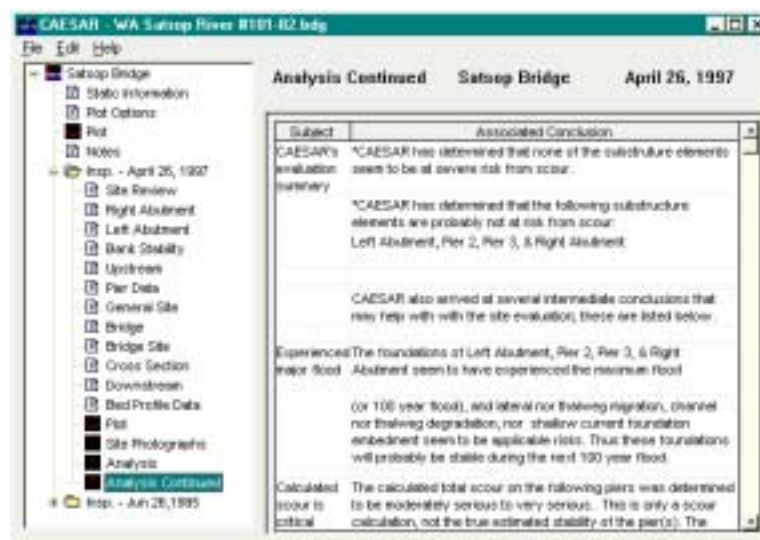


圖 2-52 CAESAR 繼續分析畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997) [42]

目前 CAESAR 已開發出網路版(圖 2-53)，橋梁管理單位可以利用網際網路上傳相關的檢測資料；另一方面，也可以利用 PDA 或其他設備透過網路下載資料庫中的資料以便隨時檢視。

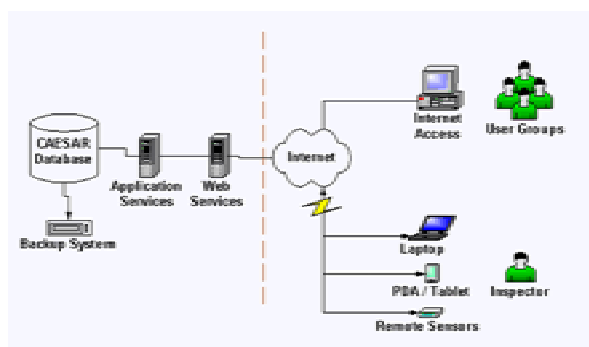


圖 2-53 CAESAR 線上系統示意圖(Palmer and Turkiyyah, 2005) [43]

2.6 文獻蒐集彙整

本研究所蒐集之文獻分類列表如表 2-15、表 2-16、表 2-17。

表 2-15 本研究蒐集文獻分類歸納表(1/3)

類型	文獻	出品處 (作者)	出版年份
地震	災時高效率及高經濟型橋梁補強及檢核技術之研發	交通部公路總局	2004
	橋梁耐震評估準則之建立	交通部公路總局	2004
	橋梁耐震能力評估準則之建立	交通部公路總局	2004
	大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究(二)	交通部科技顧問室	2002
	橋梁設計維修支援系統之建立	交通部科技顧問室	1999
	橋梁耐震補強準則(期末報告)	交通部	1998
	公路橋梁耐震設計規範	交通部	1995
	公路橋梁設計規範之補充研究	交通部	1997
	設計地震力之探討	陳生金、鄭繁	1995
	強震速報系統之研究	美國南加州大學	
	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	行政院公共工程委員會	1999
	道路震災對策便覽－震前對策篇	社團法人日本道路協會	1998
	既設道路橋の耐震補強に関する參考資料	社團法人日本道路協會	1998
	市區道路橋梁安全檢測手冊	內政部營建署	1998
	新舊鋼筋混凝土橋柱耐震行為之試驗研究	國家地震工程中心	
	鋼筋混凝土橋柱耐震分析與 FRP 補強之研究	國家地震工程中心	
	臺灣區地震危害度分析及其應用	國家地震工程中心	
	台北都會區捷運系統高架橋耐震設計建議規範	國家地震工程中心	
	國道高速公路橋梁耐震分析評估及補強工程(國道通車路段)可行性研究	交通部高速公路局	2002
	Axial testing of rectangular column models confined with composites	Rochette.and Labossiere	2000
	Composite jacketed concrete under uniaxial compression-verification of simple design equations	Karbhari, V. M. and Gao	1997
	Bridge Design Specification	Caltrans	1986
	Stiffened Steel Box Columns.Part2: Ductility Evaluation	Usami, T., Gao, S., Ge, H	2000
	Shear Retrofit of RC Bridge Columns Subjected to Earthquakes	Saiid, M., Wehbe, N. I., Sanders, D. H., and Caywood, C. J	2001
	Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members	Khalifa, A., Gold, W. J., Nanni, A. and Aziz, A	1998
	Theoretical solutions on interfacial stress transfer of externally bonded steel/composite laminates	Yuan, H., Wu, Z. S. and Yoshizawa, H	2001
颱風	橋梁颱風水害之成因分析與防治對策	土木技術第 1 期(水利工程專輯)	1998
	防災國家型科技計畫報告颱風觀測、預報與警報研究成果	行政院國家科學委員會	1996
	橋梁颱風水害之成因分析與防治對策	土木技術第 1 期(水利工程專輯)	
	國家型科技計畫報告-颱風觀測 預報與警報研究成果	行政院國家科學委員會	
	水文資訊與防災科技整合運用之研究	經濟部水利署	2002
	水災防救資料庫擴充及供應系統建立之研究	經濟部水利署	2003
	水災災情即時影像通報及水利設施災害防救決策支援系統整合建置計畫	經濟部水利署	2003
	颱風、豪雨災害資料庫與應用系統建置計畫	經濟部水利署	2001
	颱風特性及風對結構物影響	行政院國科會	1987

表 2-16 本研究蒐集文獻分類歸納表(2/3)

類型	文獻	出品處 (作者)	出版年份
洪水	建立鹽水溪流域洪水預警系統	經濟部水資源局	1999
	高屏溪河川監測研究計畫	台灣營建研究院	1996
	洪水預報系統整合計畫	經濟部水利署	2001
	建立洪水預警系統暨水利設施災害防救體系整合計畫	經濟部水資源局	2001
	洪水預警報標準作業程序規劃	經濟部水資源局	2001
	曾文溪洪水預報模式之研究	行政院國家科學委員會	1993
沖刷	集集共同引水計畫攔河堰工程集集大橋橋墩及基礎保護工程	台灣省水利局	1996
	變量流橋墩冲刷模式之試驗驗證與應用	行政院國家科學委員會	2000
	123 線竹林大橋溫妮颱風橋基保護工程	台灣省公路局第一區工程處	1997
	橋墩局部冲刷與蛇籠保護工法之實驗研究	國立中央大學	2002
	預防橋基冲刷與施作橋基保護工之相關問題探討	台灣公路工程	1998
	橋台與橋墩冲刷防制工法	交通部委託研究計畫	2001
	河川橋梁冲刷並補強後之安全評估(第一年期末報告)	交通部公路總局	2004
	跨河構造物件預警系統開發	交通部科技顧問室	1999
	跨河橋梁訂定封橋水位	交通部公路總局	2004
	橋梁監測預警系統及冲刷保護措施及補強等策略之研究	交通部公路總局	2005
老化腐蝕	道路橋梁之安全檢測及評估宣導示範計畫	交通部科技顧問室	1996
	常見之橋梁損害現象與檢測、補強重點	台灣營建研究院	1998
	橋梁構件劣化與耐久性評估	台灣營建研究院	2000
	台灣鐵路管理局橋梁維護手冊橋梁維修材料說明書	台灣鐵路管理局	1997
	橋梁設計維修支援系統之建立—腐蝕、地震、河川冲刷之潛勢分析及相關技術整合	中央大學橋梁研究中心	1999
	橋梁材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策(二)報告	交通部科技顧問室	
	橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策	交通部科技顧問室	
土石流	台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究(三)(偵測)	交通部科技顧問室	
	台灣地區道路橋涵系統土石流危險區觀測與預警之研究(三)(預警)	交通部科技顧問室	
	臺灣地區土石流危險區道路橋涵系統觀測與預警之研究(一)	交通部科技顧問室	
橋梁管理及防災系統	台灣地震損失評估系統—TELES	國家地震工程研究中心	2003
	2004 台灣地震損失評估系統(TELES)講習會	國家地震工程研究中心	2004
	台灣地區橋梁管理系統之建立	交通部運輸研究所	2000
	HAZ-Taiwan 地震災害評估軟體之分析模式與資料庫建置計畫	行政院國家科學委員會	1999
	災害管理決策支援雛型系統建置及防災地理資料庫之規劃	防災國家型科技計畫辦公室	2002
	防救災地理資料庫及災害管理決策支援系統之建置	國家災害防救科技中心	2004
	災害管理決策支援雛型系統之建置	防災國家型科技計畫辦公室	2000

表 2-17 本研究蒐集文獻分類歸納表(3/3)

類型	文獻	出品處（作者）	出版年份
橋梁監測	橋梁系統安全監測及預警系統之建立	交通部公路總局	2004
	橋梁監測技術手冊	交通部公路總局	2004
	光纖與光柵用於橋梁監測之研究(2/2)	交通部	2004
	光纖分佈式橋梁及高架道路結構監測技術開發(二)	交通部科技顧問室	2000
	光纖分佈式橋梁及高架道路結構監測技術開發計劃	交通部	1998

第三章 各種災害橋梁破壞模式及原因

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。

3.1 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[9]，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 3-1 所示，以及橋梁構件單元分類表，如表 3-1 所示。

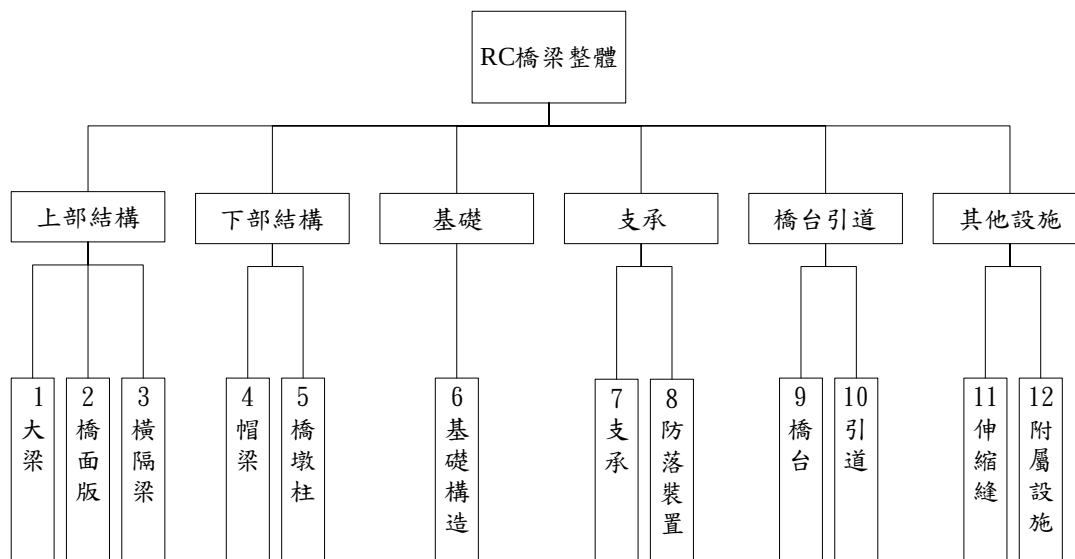


圖 3-1 橋梁構件單元分類架構圖 [9]

表 3-1 橋梁構件單元分類表 [9]

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

3.2 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。

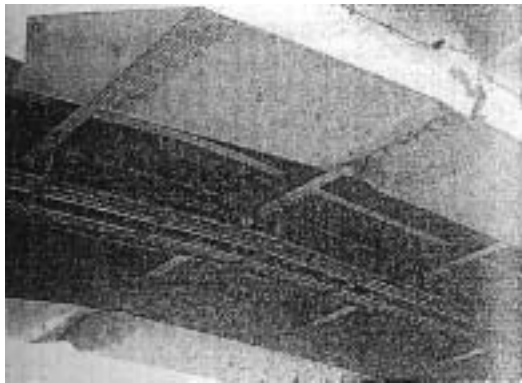
探討國內外震後橋梁損壞型式，除了有助於對橋梁在地震下之結構行為瞭解外，亦有助於篩選影響橋梁耐震能力之影響參數，作為橋梁往後耐震補強方法選擇及耐震能力評估準則建立之依據。如九二一集集大地震中，較為常見且嚴重的損壞型式包含落橋、橋柱剪力或撓曲破壞、主梁位移、基礎破壞、橋台破壞等。

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)以災害原因(6)以缺陷對結構物之危害程度。

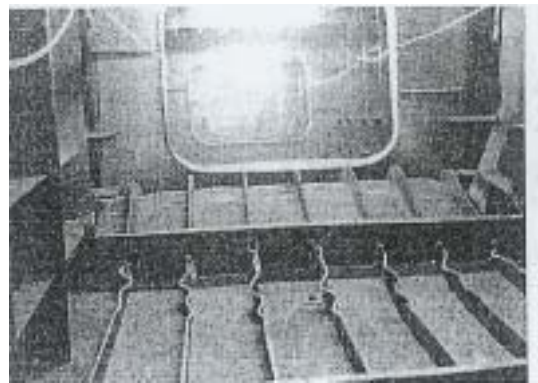
由於橋梁損壞型式與其結構特性或使用材料有密切之關係，如上部結構與基礎之影響參數不同、鋼筋混凝土橋與鋼橋損壞型式亦不同，因此在進行震後橋梁損壞型式之探討時，將以橋梁結構組成分類為主，即根據所定義之橋梁構件與單元，進行損壞型式分類，探討如下。

3.2.1 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 3-2)。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 3-3)。

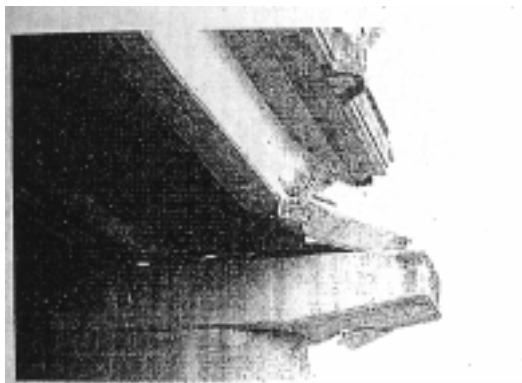


(a)主梁挫屈



(b)加勁板挫屈

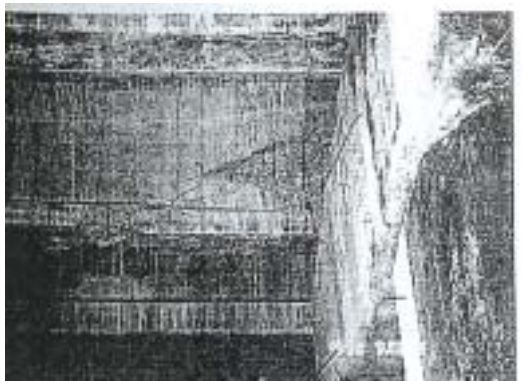
圖 3-2 鋼梁挫屈破壞 [10]



(a)烏溪橋



(b)炎峰橋



(c)東豐橋



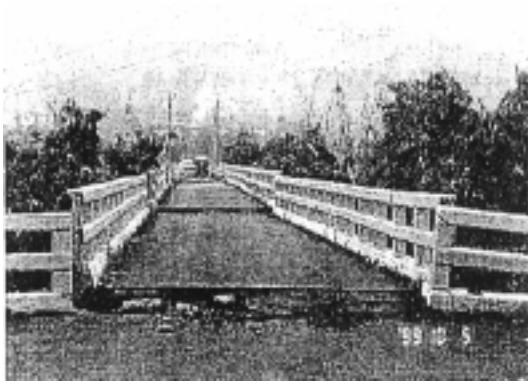
(d)東豐橋

圖 3-3 主梁之破壞模式 [10]

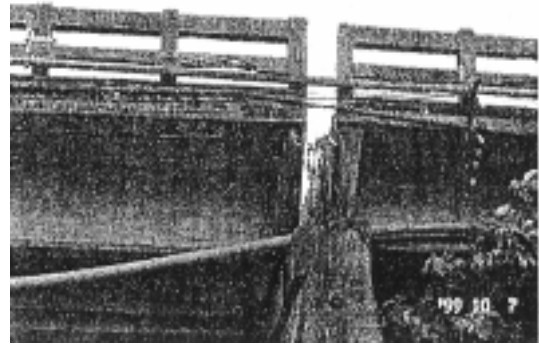
大梁常見的震害損壞現象包含位移、傾斜、變形、混凝土剝落、鋼筋外露、因支承或防落裝置之破壞致使大梁自支承滑落而損壞。大

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 3-4)。國內老舊橋梁往往因車流量增大而擴建，新舊橋梁間橋面是否連結除為設計施工時較為困難之抉擇外，亦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 3-5)。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



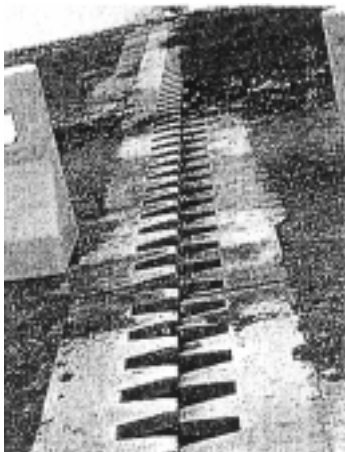
(b) 一江橋橋面分離



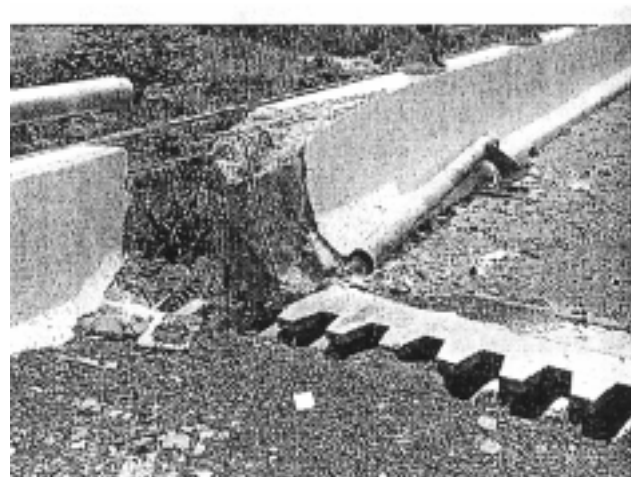
(c) 光龍橋橋面分離



(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

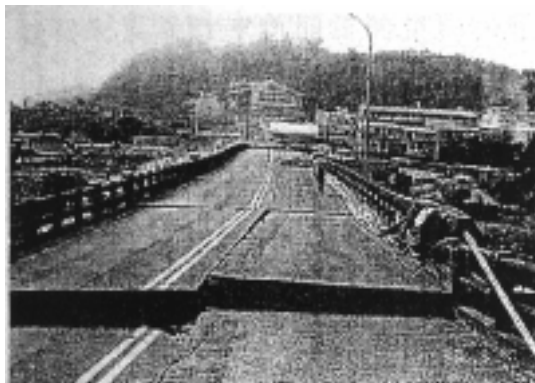
圖 3-4 橋面版破壞模式之一 [10]



(a)東峰橋



(b)大峰橋



(c)一江橋

圖 3-5 橋面版破壞模式之二 [10]

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。

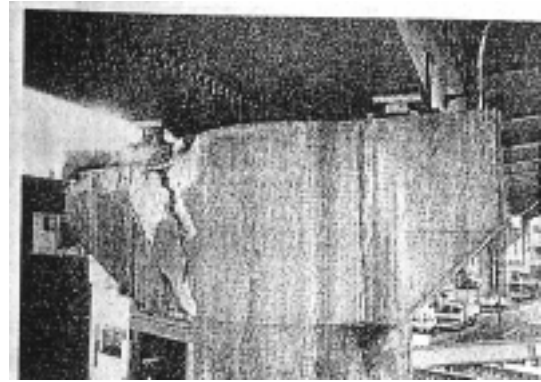
3.2.2 下部結構損壞型式

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 3-6)，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 3-7)。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

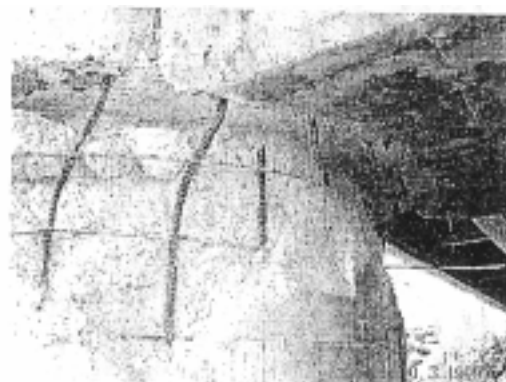


(b)阪神 RC 橋柱帽梁剪力破壞

圖 3-6 橋柱及帽梁剪力破壞 [10]



(a)阪神 RC 橋撓剪破壞



(b)炎峰橋撓剪破壞

圖 3-7 撓剪破壞 [10]

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。

3.2.3 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 3-8)。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

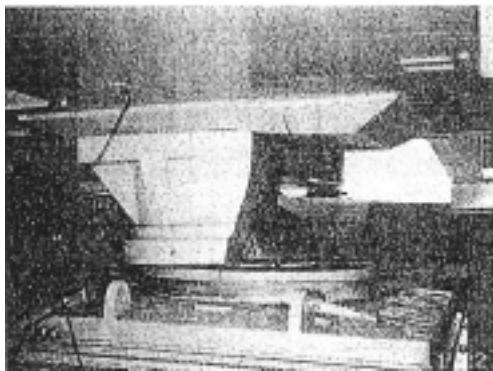


(b)烏溪橋沉箱剪力破壞

圖 3-8 基礎損壞型式 [10]

3.2.4 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 3-9)。



(a)阪神鋼支承破壞



(b)阪神防落裝置破壞斜撐挫屈

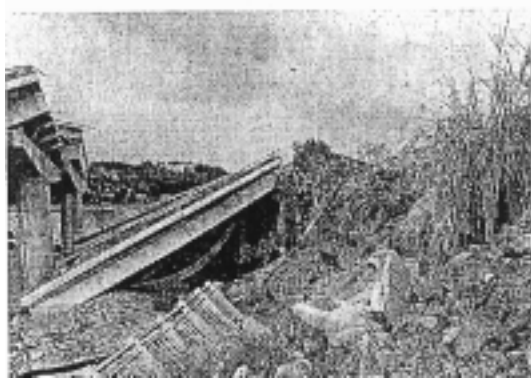
圖 3-9 支承及防落裝置之破壞 [10]

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。

3.2.5 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 3-10)。



(a)橋台傾倒及落橋



(b)大峰橋橋台、引道高低差

圖 3-10 橋台、引道損壞型式 [10]

3.2.6 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 3-2 及表 3-3。

表 3-2 震後橋梁單元損壞型式(1/2) [9]

	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 3-3 震後橋梁單元損壞型式(2/2) [9]

	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

3.3 橋梁洪水沖刷破壞模式

3.3.1 河川水理輸砂機制

3.3.1.1 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、下游沖刷之情形發生。

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、丁壩等經常受到沖刷之威脅。

3.3.1.2 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、壩、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。

3.3.1.3 橋梁橋基周圍沖刷

台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[6]。

橋基周圍河床沖刷包括河槽的河川演變沖刷、橋梁窄縮河槽所引起的橋下一般沖刷和橋墩周圍的局部沖刷，而這三種沖刷是相互關連的，橋墩附近的最大沖刷深度，必須一齊考慮。河流演變所引起的河床變形一般有下列幾種情形[6]：

- (1)水流主流擺動引起的沖刷，這類沖刷稱為集中沖刷。由於水流動力軸線的變遷，可能導致灘槽易位，這類河床變化的速度視河段的穩定程度不同而異。
- (2)河流發展過程中產生的縱向變形，如上游河床的逐漸下切，下游及河口段河床的逐漸淤高等，這類變形速度極為緩慢，橋渡設計

中，可以利用一些較長時期的觀測或調查資料，推算在橋梁使用期限內，河床可能升降的幅度，合理的加深基礎埋深或提高橋下淨空。

(3)河道上修建建築物所引起的再造床過程，如修建水庫庫區的淤積和壩下游的沖刷，其沖淤量可用河床變形數值計算方法進行估算，也可分析實測資料或模型試驗加以確定。在水庫蓄水範圍內，由於水庫河床不斷淤高及蓄水的影響，流速減小，橋址上、下游水位差也較小，因而橋下通過的設計流量有所改變。

影響河道演變的因素極為複雜，目前計算精度不夠，橋梁設計所採用的原始斷面都是建橋前測量的中、枯水斷面。因此，橋渡設計中，一般不採用上述橋渡處實測斷面，而採用附近水深較大的斷面作為設計斷面，並以斷面最大水深或最大單寬流量作為設計依據。

由於建橋窄縮水流而在橋下河床全斷面內發生的普遍沖刷，稱為一般沖刷。河流上興建橋梁後，橋下過水斷面因橋渡中的引堤、橋台和橋墩等建築物的窄縮而減小，為通過建橋前同樣大小的流量，橋下流速增大，水流挾沙能力也相應增加，這樣就要在橋下產生新的沖刷，沖刷可分為兩種情況：一種是上游來清水，此時河床必須沖深到流速小於起動流速時，沖刷才會終止，故最大沖刷深度應按床沙起動流速計算。另一種是上游來渾水，此時必須通過河床的沖深，使水流挾沙能力降低到恢復原有的輸砂平衡，沖刷才會終止，故最大沖刷深度應按水流輸砂平衡計算。隨著沖刷的發展，橋下游床加深，過水面積增大，流速逐漸下降，待達到新的輸砂平衡狀態或橋下流速降低到土的容許不沖刷流速時，沖刷停止。

河道中設置橋墩後，周圍的水流情況會發生很大變化，由於橋墩阻水，在橋墩上游而之水位壅高，至墩前達到最高，兩側水流收縮集中，動能增加，水面逐漸下降，在墩後很大範圍內，水面較不穩定。

3.3.2 河道與橋基沖刷之成因

台灣地區有六項最明顯的水害特徵：颱風與豪雨、河短流急、極大的降雨強度、超大的洪比流量、地盤下陷與窪地淹水、水資源分布不均等。而且台灣地區因中央山脈偏東，所以河流東短西長，具下列特徵：主流短、河身短、坡度大、水流湍急、侵蝕與輸砂堆積大，最長的濁水溪，其坡度則達四十六分之一。

沖刷災害之成因可分為下列幾類[6]：

- (1)砂石濫盜(超)開採：砂石濫盜開採對橋基與橋基保護工的最重要負面影響，即為因河床的下降而導致橋基的嚴重裸露與橋基保護工的崩毀或受損。就河川砂石開採之效應而言，若在橋梁上下游之禁採範圍外之主河道上進行長期的砂石開採，則於洪流沖刷後常導致該河段之主河道河床的逐年下降，因而形成“一般沖刷”的情形；若僅於橋梁下游側進行砂石開採者，對橋址處之河床而言，則可形成“向源侵蝕”的致災機理。
- (2)取水堰壩興築後所造成之一般沖刷：廣義之一般沖刷係指不論有無橋墩(或水中結構物)之設置，水流對河床沖刷所造成河段之高程下降的情形。
- (3)橋基周邊之局部沖刷：指由於橋墩或水中結構物的存在對水流產生局部阻礙或干擾的現象，並進而造成橋基周邊局部河床之沖刷侵蝕與高程下降的情形。若就橋基或橋台的局部沖刷來說，則專指橋基或橋台與水流的干涉作用，而在墩台周邊形成強烈下降流、馬蹄形渦流、迴流區、尾跡渦流及局部沖刷坑的現象。
- (4)束縮沖刷或保護工未合攏：束縮沖刷一般係指橋梁的引道與橋台延伸進入河川之洪水平原內以致佔據部份之河寬或由於橋基(或墩)之設置形成阻水效應，造成水流之通水斷面束縮，因而導致迴水效應、通過橋址處之流速大為增加、進而對河床所衍生之沖刷現象。

- (5)保護工興築後所造成之跌水或水躍沖刷：橋基保護工形成一近似阻牆的作用，雖在上游側可發揮淤積砂石的作用，然而，在下游側卻由於保護工最頂面與原河床面間存在相當的落差，因而再促使水流加速沖擊河床，引致跌水或水躍沖刷、形成沖刷坑的現象。
- (6)向源侵蝕：係專指河床受水流的侵蝕作用為由下游往上游方向發展。向源侵蝕並非大多是在水流沖刷下直接形成的結果，相反的，它是在某些外在條件下才會伴隨著發生，例如：砂石開採的效應；中下游段因一般沖刷造成河床下降，亦造成河川上游段的坡度調整及高程變化；束縮沖刷或保護工未合攏形成缺口導致深槽向上游側發展延伸；跌水或水躍沖刷造成沖刷坑的擴大延伸至橋址或橋基保護工施作處；側向高灘地弱勢面(未施作保護工)的侵蝕形成水流繞道、向上(下)游側刷深河床。
- (7)保護工施作後引致之側向侵蝕：側向侵蝕是指水流朝岸側方向侵蝕的情形。由於一般沖刷所造成之(縱向)河床刷深，亦常衍生出側(橫)向侵蝕的情形，其最顯著之特徵為主河道深槽區變寬、或主河道兩岸高灘地因沖蝕崩塌而流失的現象。
- (8)保護工興築後大尺度二次流侵蝕：係專指由於保護工的施作造成側向侵蝕，或由於洪汛期前保護工未合攏形成束縮沖刷、再導致平行於橋軸或結構物軸線之水流沿結構物上游面流動而刷深河床的情形。
- (9)主河道之通水斷面不足或通水寬度太小：一般在河道窄縮處，或即使是寬廣的河床，然而主河道或深槽區的寬度僅佔整個河寬的小部份時，相對來說，就容易形成通水斷面不足或通水寬度太小的情形。其結果常導致洪峰水位暴漲水流加速的情形，因而也常伴隨著形成一般沖刷、局部沖刷、束縮沖縮或側向侵蝕等致災因素。
- (10)流石流木之撞擊或磨損：在高速洪流的作用下河床上之卵礫砂石常會被帶動翻滾，以懸浮載或推移的方式往河川下游輸送，其中尤以山區或卵礫石層所構成之河床上所施建之橋基或橋基保

護工，最易受到流石的直接撞擊與磨損、甚至毀壞。另外一種情形是在湍急洪流的水面附近亦常伴隨著高速運動的流木，此對中下游河段已大幅下降之河床，且以 PC 基樁作為橋梁之橋基者莫不構成極大的威脅。

(11)橋址位於河川彎道處：一自然河道中之蜿蜒(彎曲)變遷，亦是河川為因應外在環境的變化，而利用其特徵之自我調整機制所進行的一種精細調變過程。當橋址恰位在一彎道而無施作任何保護時，則會發生凹岸處之河岸逐漸被水流(沿側向)侵蝕而造成橋基裸露、甚至是導致橋台或引道周邊之翼牆被沖毀的情形。

(12)河床軟岩之風化與沖蝕：本省西部多數流域中、下游的河床質，在早期的砂石開採階段大都是由卵礫砂石層構成，厚度一般是介於數公尺至數十數公尺之間。惟近十餘年砂石的過量開採、或濫盜與洪水沖刷(某些河段是完全由水庫或攔水壩下游的跌水沖刷)，而導致許多流域之主河道河床持續下降至今日岩盤裸露的地步。

(13)河道匯流於橋址或橋梁附近上下游：係指於河流的支流與支流交會處或於支流與本(幹)流會合處所形成之水流匯聚現象，由於每一分支流於洪峰時均有其貢獻的流量，此乃是河道匯流後流量增加的原因。就匯流後之河道兩岸側已受制約(如已設置堤防)、或河道已深槽化的情形來說，常導致水位的抬升或流速的變大而益增沖刷的潛能，因而可能形成一般沖刷或向源侵蝕之河床下降、或側向侵蝕之岸側灘地的崩塌流失；而於匯流處更易造成附近構造物周圍之局部沖刷的加劇。

(14)橋基貫入深度相對不足：就早期國內橋梁之興建時空背景而言，當時無論是處在沖淤平衡段或是淤積段之主河道，河床高程較高，相較於目前河床已然大幅下降的情形，可謂不可同日而語。即在當時利用較淺之沉箱橋基或擴展基腳所構成之穩固橋基，於目前多數河段之河床高程已大幅下降的事實下，今日觀之

更凸顯出橋基之穩定性有不足之慮，嚴重者常須進行橋基保護措施。

(15)導水路之開挖、挑水：此為河川中遂行各種工事所常需進行的前置作業，其中尤以沿橋址之某區段施作橋基保護工時將水流挑向另一未施作保護工、而已開挖導水路的區段或高灘地帶，當工程施作期間遭逢豪雨颱風而未及完工復原，洪水乃匯聚於相對較深槽的導水路，而使人工開挖之導水路寬度因側向侵蝕而變寬、且因縱向刷深而更形深槽化，除了可能造成河流改道外，甚至導致未施作保護工之區段或高灘地帶的橋基益為嚴重裸露乃至於引致橋基或橋基保護工的災害。

(16)尾跡渦流沖刷：一般而言，尾跡渦流的沖刷並不會對橋基的穩定性或河床刷深構成威脅；然而，當一座橋毗鄰另一座橋而建時，或同一座橋梁之兩相鄰橋基由於接近或是具有較大之迎水面積及大攻角時，尾跡渦流的沖刷效應將會大幅提升。

3.3.3 橋梁基礎沖刷災害

近年來，台灣經濟突飛猛進，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 3-11；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[6]。

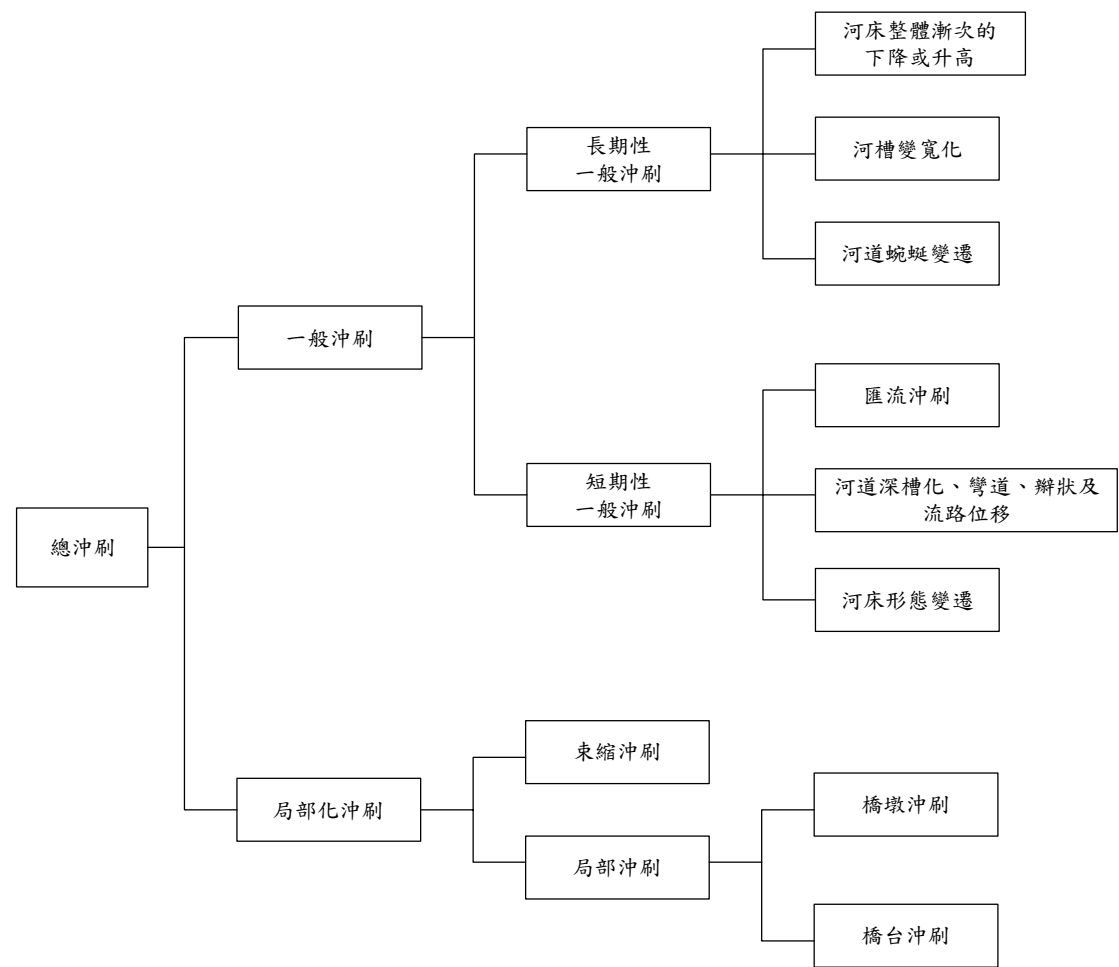


圖 3-11 河川橋梁沖刷 [6]

3.3.4 橋梁遭受洪水沖刷下部結構損壞型式

橋墩在河道中經年累月受到河床質及水流沖刷，將導致橋墩基礎裸露，破壞原有橋墩保護工。洪水破壞方面，當超量降雨導致河道中水量漫淹過橋面形成壓力流時，將因水壓或流速過快之超臨界流導致大梁及橋面版掉落，有可能因為洪水導致橋台及橋墩被沖毀。或者是河道中之河床載直接衝擊橋墩基礎，當河床載粒徑過大，或發生土石流時，將直接淘空基礎，破壞橋墩基礎。

河川沖刷造成橋梁破壞大多出現在下部結構部位，以下針對下部

結構可能出現損壞型式進行討論。根據文獻，下部結構主要損壞形式包括[6]：

- (1)沖淤破壞：河道中長期之水流沖刷及淤積行為，可能導致橋墩及橋台產生破壞之行為。
- (2)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。
- (3)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。
- (4)落橋：當超量降雨導致河道中水量漫淹過橋面形成壓力流時，將因水壓或流速過快之超臨界流導致大梁及橋面版掉落。
- (5)基礎結構破壞：當豪雨時，河道中之河床載直接衝擊橋墩基礎，當河床載粒徑過大，或發生土石流時，將直接淘空基礎，破壞橋墩基礎。
- (6)橋墩破壞：當河道中流速大及水位過高時，將導致橋台及橋墩被沖毀。

3.4 橋梁老化腐蝕破壞模式

3.4.1 混凝土橋之劣化現象

台灣地處亞熱帶，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 3-4 所列。

表 3-4 混凝土常見之損壞現象 [11]

	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。
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[12]：

(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 3-5，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 3-5 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
環境條件之相關事項	鷹架沈陷		構材端部中央及中間處下端產生裂縫
	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
	內部鋼筋之生鏽膨脹		沿鋼筋產生大裂縫，混凝土保護層剝落，銹汁流出
之結構及外力等相關事項	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	撓曲	在拉力側垂直方向產生裂縫
	(地震、積載荷重)	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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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。

3.4.2 鋼橋材料腐蝕原因

鋼結構物之腐蝕特性與其所處之環境條件關係至為密切。依據「日本陸上鋼骨構造防蝕研究會」的研究結果顯示，同一種鋼料依其曝露環境之不同，腐蝕量也隨著不同，工業地區之鋼料腐蝕較其他地區嚴重。又根據同研究會之報告指出，防蝕塗膜亦受大氣中之各種氣象條件的影響，隨時間之經過而逐漸劣化。影響防蝕塗膜劣化之氣象因素，包括紫外線、水份、海鹽粒子、二氧化硫及其他污染性物質等。

防蝕塗裝的主要目的，就是利用塗裝來隔離水、氧及其他腐蝕性物質。防蝕塗料是應用不透氣絕緣塗膜與防銹塗料之雙層功能來保護鋼鐵。塗膜劣化主要有以下五種：

- (1)剝離：塗膜剝離產生於塗膜與表面處理之界面或多層塗膜之層間處，主要原因有塗料附著力不良或被塗面附著有水分、油脂及鹽分等污染物未予以充分去除，或因塗膜下有腐蝕現象發生等。塗膜剝離後，將降低油漆之防蝕性能，剝離面積較小，呈不規則形狀者稱為 flaking；剝離面積較大，呈片狀剝落者稱為 scaling；若大部份塗膜均已剝離者則稱為 peeling。
- (2)浮腫：浮腫係為局部塗膜自底部產生往上浮腫脹之現象，造成塗膜分離。其主要因為塗膜與鋼材表面或塗膜與塗膜之間產生氣壓或液壓而造成此種現象。對於常有遭水浸泡之鋼結構，非常容易產生塗膜浮腫。此外，若有水溶性物質或鹽分附著於鋼結構材上，當水分侵入時，將助長塗膜浮腫之發生。另外塗膜下方若有金屬腐蝕發生，因腐蝕反應生成物中存有鹼性物質，對塗膜將起軟化作用，因而造成浮腫。
- (3)龜裂：塗膜產生龜裂主要是由於塗料組合不合宜、乾燥條件不佳、膜厚過大及塗膜老化等原因，使得塗膜產生較大的收縮應力而造成。塗膜依其龜裂產生之型態可分為以下三種：(a)Checking—

僅面漆塗膜產生細長裂紋，(b)Cracking—自面漆至鋼構表面產生裂縫，(c)塗膜龜裂後將使的腐蝕物質得以與鋼構材接觸，進而產生銹蝕。

(4)變褪色：塗膜變色主要是由於塗膜中之著色顏料受到紫外線之影響而變質，使得塗料之特定顏料失落導致色系平衡遭到破壞而產生變色。褪色則是由於塗膜受到紫外線之影響，自塗膜表面分離成粉狀的阻塞物，使得塗膜中顏料的性能受到影響造成顏色變薄、變淡。變褪色並不會對塗膜防蝕性能之降低有直接的影響，惟若當塗膜表面已分解粉狀的阻塞物，且由肉眼可觀測到底漆塗膜時，則其防蝕性能將受到影響。污穢或光澤降低與防蝕性能並無直接關係，但會影響景觀。塗膜產生污穢與橋梁設置之環境或交通量大小有很大的關係。污穢物可分成油性與非油性等二種，油性污染物很難以清水沖刷乾淨，就美觀上言，鋼橋產生污穢後宜考量予以施補塗裝。

(5)生銹：塗膜產生龜裂或剝離等劣化現象後，或由於表面處理不當或受腐蝕物質侵入將產生銹蝕，銹蝕發生將會促進塗膜劣化的加速進行，故生銹為塗膜劣化之重要指標。依照鋼構表面銹蝕之型態，銹可分成浮腫銹及龜裂銹。浮腫銹發生在金屬表面，在塗膜表面並不會顯現。線狀銹為浮腫銹之一種，在塗膜與鋼構材介面之間若有水分侵入時，將於附著力較弱的部份產生細線狀之銹蝕。龜裂銹亦發生在金屬表面，但亦會顯現在塗膜表面，容易觀察得到。

3.5 橋梁土石流破壞模式

土石流對橋梁的致災因素，主要包含以下四大部分：淨空(Clearance)、撞擊(Collision)、沖刷(Erosion)及淤積(Deposit)，任何一項因素未符合土石流活動需求，便有導致災害發生的可能。四項致災因素分述如下[13]：

1.與淨空有關的災害型態主要有下列數項：

- (1)橋梁高度不足，河川通水斷面減少，橋梁遭遇土石流災害時，將造成橋梁結構因土石、流木撞擊而損壞。
- (2)改建橋梁時，新橋台比鄰舊橋台興建(跨距大於舊橋台)，完工後未拆除舊橋台，造成橋下河道斷面寬度的縮減，造成危險。
- (3)具有保護河床功能的固床工(如鼎型塊)及保護橋墩的消波塊，可能會加速或引發河床泥沙的淤積，減少橋梁淨空。
- (4)因河床自然淤積或前次土石流來襲所留的淤積砂石，造成橋梁梁底淨空縮減，低於橋梁設計值。
- (5)流體會由於橋墩的阻礙，在橋墩處造成亂流，妨礙了流體的流動，造成土石流流深增加的結果。
- (6)橋梁於設計之初未考慮土石流的流量，導致設計之梁底淨空不足。

2.與撞擊相關的災害型態主要有下列數項：

- (1)保護橋台之翼牆承受土石流衝擊，造成上游側的翼牆受損或胸牆磨損。
- (2)土石流流經橋梁時，造成橋墩被沖毀路面流失，或墩體受撞擊而損壞。
- (3)大規模的土石流，其流深超過了橋梁的垂直淨空，土石流直接衝擊到橋梁的上部結構(如大梁)，造成橋梁構件損毀。

3.與淤積相關的災害型態主要有下列數項：

- (1)土石流含有巨礫，將道路涵洞阻塞。
- (2)土石流躍上道路沿路面流動，沖入並淤積於旁邊民舍或農園。
- (3)土石流於坡度平緩地區淤積覆蓋流經地區之建築物。

3.6 橋梁構件單元破壞模式之彙整

3.6.1 橋梁單元損壞模式之彙整與建立

本研究彙整各種災害所造成橋梁損壞型式，將橋梁損壞型式區分如表 3-6：

表 3-6 橋梁損壞型式代號表

損壞型式	代號	損壞型式	代號
大梁損壞	M1	基礎結構破壞	M10
橋面版損壞	M2	支承損壞	M11
橫隔梁損壞	M3	支承座損壞	M12
帽梁損壞	M4	防落裝置損壞	M13
撓曲破壞	M5	橋台壁體損壞	M14
剪力破壞	M6	引道損壞	M15
撓剪破壞	M7	伸縮縫損壞	M16
橋柱傾斜	M8	混凝土老化	M17
基礎變位	M9	鋼板損壞	M18

3.6.2 橋梁單元損壞現象之彙整與建立

本研究彙整各種災害所造成橋梁損壞現象，將橋梁損壞現象區分如表 3-7：

表 3-7 橋梁損壞現象代號表

損壞代表	代號	損壞代表	代號
裂縫	D1	剝離	D19
破裂	D2	爆開	D20
變型	D3	窪坑	D21
壓碎	D4	蜂窩	D22
折斷	D5	白華	D23
傾斜	D6	脫層	D24
傾倒	D7	孔蝕	D25
位移	D8	失色	D26
沉陷隆起	D9	脫皮	D27
脫落	D10	滲膠	D28
混凝土剝落	D11	滲漏	D29
鋼筋外露	D12	鹼骨材反應	D30
沖淤破壞	D13	裂縫	D31
束縮沖刷破壞	D14	鋼筋腐蝕	D32
局部沖刷破壞	D15	浮腫	D33
劣化	D16	變腿色	D34
鱗狀剝落	D17	生鏽	D35
表皮髮裂	D18	龜裂	D36

3.6.3 橋梁災害損壞型式矩陣表

根據 3.1 節表 3-1 橋梁構件單元分類代號及 3.6 節表 3-6 橋梁損壞型式代號、表 3-7 之橋梁損壞現象代號，彙整成為橋梁災害損壞型式矩陣表，如表 3-8 至表 3-15，表 3-16 則是損壞型式與災害類型關係矩陣。

表 3-8 橋梁單元震後損壞型式

構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)											
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
Sup. 上部結構	Sup1 大梁	M1 大梁損壞	○	○	○		○	○		○			○	○
	Sup2 橋面版	M2 橋面版損壞	○	○	○			○		○	○			
	Sup3 橫隔梁	M3 橫隔梁損壞	○	○	○	○							○	○
Sub. 下部結構	Sub1 帽梁	M4 帽梁損壞	○	○	○			○					○	○
	Sub2 橋墩柱	M5 撓曲破壞	○	○	○	○	○	○	○					○
		M6 剪力破壞	○	○	○	○	○	○	○					○
		M7 撓剪破壞	○	○	○	○	○	○	○					○
		M8 橋柱傾斜	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
F. 基礎	F1 基礎構造	M9 基礎變位								○	○			
		M10 基礎結構破壞	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○
S. 支承	S1 支承	M11 支承損壞		○	○	○				○		○		
		M12 支承座損壞	○	○	○	○								
	S2 防落裝置	M13 防落裝置損壞	○	○	○	○				○		○		
A. 橋台引道	A1 橋台	M14 橋台壁體損壞	○	○	○			○	○	○	○		○	○
	A2 引道	M15 引道損壞			○						○			
O. 其他設施	O1 伸縮縫	M16 伸縮縫損壞	○	○	○						○			

表 3-9 橋梁單元洪水沖刷損壞型式

構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)		
			D13	D14	D15
Sup. 上部結構	Sup1 大梁	\			
	Sup2 橋面版	\			
	Sup3 橫隔梁	\			
Sub. 下部結構	Sub1 帽梁	\			
	Sub2 橋墩柱	M8 橋柱傾斜	◎	◎	◎
F. 基 礎	F1 基礎構造	M9 基礎變位		◎	◎
		M10 基礎結構破壞		◎	◎
S. 支 承	S1 支承	\			
	S2 防落裝置	\			
A. 橋 台 引 道	A1 橋台	\			
	A2 引道	\			
O. 其 他 設 施	O1 伸縮縫	\			

表 3-10 橋梁單元土石流損壞型式

[illegible]

表 3-11 橋梁單元老化損壞型式(1/2)

[illegible]

表 3-12 橋梁單元老化損壞型式(2/2)

[illegible]

表 3-13 橋梁單元損壞矩陣(1/3)

損壞 現象	橋梁單元										
	大梁 Sup.1	橋面版 Sup.2	橫隔梁 Sup.3	帽梁 Sub.1	橋墩柱 Sub.2	基礎構造 F.1	支承 S.1	防落裝置 S.2	橋台 A.1	引道 A.2	伸縮縫 O.1
裂縫 D1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
破裂 D2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎
變形 D3	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
壓碎 D4			◎		◎	◎	◎	◎			
折斷 D5	◎				◎	◎					
傾斜 D6	◎	◎		◎	◎	◎			◎		
傾倒 D7					◎				◎		
位移 D8	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎		
沉陷隆起 D9		◎			◎	◎			◎	◎	◎
脫落 D10							◎	◎			
混凝土剝落 D11	◎		◎	◎	◎	◎			◎		
鋼筋外露 D12	◎		◎	◎	◎	◎			◎		
沖淤破壞 D13					◎				◎		

表 3-14 橋梁單元損壞矩陣(2/3)

損壞 現象	橋梁單元										
	大梁 Sup.1	橋面版 Sup.2	橫隔梁 Sup.3	帽梁 Sub.1	橋墩柱 Sub.2	基礎構造 F.1	支承 S.1	防落裝置 S.2	橋台 A.1	引道 A.2	伸縮縫 O.1
束縮沖刷破壞 D14					◎	◎					
局部沖刷破壞 D15					◎	◎					
劣化 D16	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎		
鱗狀剝落 D17	◎	◎	◎	◎	◎				◎		◎
表皮髮裂 D18	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
剝離 D19	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
爆開 D20	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
窪坑 D21	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
蜂窩 D22	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
白華 D23	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
脫層 D24	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
孔蝕 D25	◎	◎	◎	◎	◎				◎		
失色 D26	◎	◎	◎	◎	◎				◎		

表 3-15 橋梁單元損壞矩陣(3/3)

損壞 現象	橋梁單元										
	大梁 Sup.1	橋面版 Sup.2	橫隔梁 Sup.3	帽梁 Sub.1	橋墩柱 Sub.2	基礎構 造 F.1	支承 S.1	防落裝 置 S.2	橋台 A.1	引道 A.2	伸縮縫 O.1
脫皮 D27	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
滲膠 D28	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
滲漏 D29	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
鹼骨材反應 D30	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
裂縫 D31	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
鋼筋腐蝕 D32	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
浮腫 D33	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
變褪色 D34	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
生銹 D35	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
龜裂 D36	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		

表 3-16 橋梁單元損壞型式及災害原因歸納表

構件		破壞模式																	
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Sup. 上部 結構	Sup1	E/S																D	D
	Sup2		E/S															D	D
	Sup3			E/S														D	D
Sub. 下部 結構	Sub1				E/S													D	D
	Sub2					E	E	E	E/F/S									D	
F. 基礎	F1									E/F	E/F/S							D	
S. 支承	S1											E/D/S	E/D/S						
	S2													E/D					
A. 橋台 引道	A1														E/S			D	
	A2															E			
O. 其他 設施	O1																E/D		

災害原因代碼(E：地震，F：洪水沖刷，S：土石流，D：老化腐蝕)

第四章 橋梁災害應變機制、流程與評估方法

4.1 橋梁地震災害應變

依據「災害防救基本計畫」[14]所訂定之目標在「提昇國內從減災、預防、應變到重建等災害防救各階段工作之執行能力，健全推動落實之災害防救體系，以減少災害發生與民眾生命財產損失，進而建立低災害風險並邁向永續發展之城鄉與國土」。為達此目標，行政院災害防救委員會將震災災害防救對策分為災害預防、災害緊急應變及災害復原重建等三階段。

第一階段災害預防之目的在降低災害發生時人民生命財產及國家的損失所採取之預防措施，其內容包含減災、應變機制建立、宣導及震災對策之研究與觀測及防災教育訓練等。第二階段災害緊急應變之目的在災害發生後確保災情正確傳達、災區維生線之暢通及避免二次災害發生或災害持續擴大。第三階段災後復原重建包含緊急復原及計畫性復原重建；緊急復原乃指在實施第三階段計畫性復原重建以前，防止災害持續擴大或發生二次災害，並恢復橋梁正常交通功能，而對結構物所採取的臨時性修復補強措施。計畫性復原重建則以建立安全耐震之橋梁為目標，除了恢復具有立即危險之橋梁原有使用功能所實施之補強外，必要時亦包含拆除重建、結構系統變更及承載能力或耐震能力等功能性之補強或提升[15]。

「災害防救基本計畫」中災害應變流程如圖 4-1 所示。

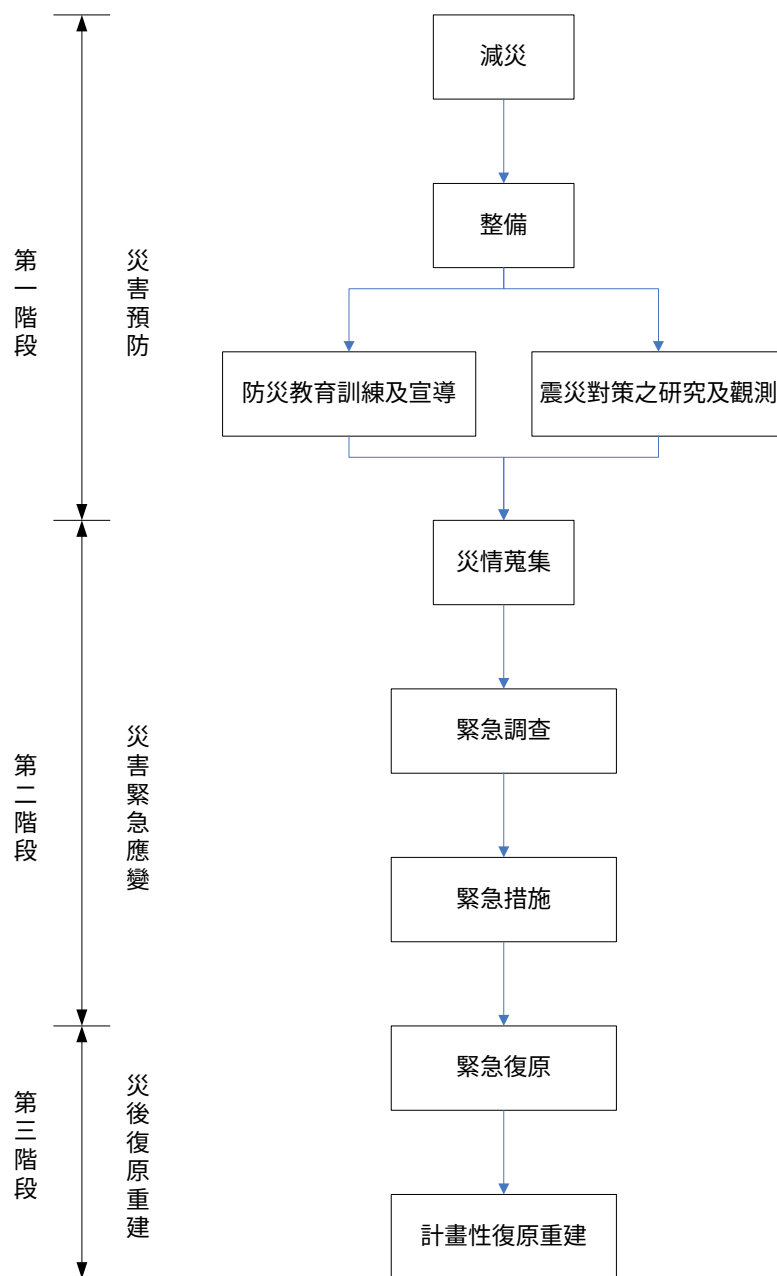


圖 4-1 災害應變流程 [15]

本研究依據「災害防救基本計畫」建立橋梁地震災害應變流程。橋梁地震災害應變流程主要分為「災害預防」、「災害緊急應變」、「緊急復原」及「計畫性復原重建」等四個階段，如圖 4-2 所示。

「災害預防」階段主要的實工作係以 TELES 進行災前(平時)的

地震災害潛勢分析，所得之結果為橋梁在地震發生時橋梁通行失敗之機率、橋梁各種損壞程度之機率，此兩者可提供橋梁管理單位作為橋梁補強先後順序之依據。

「災害緊急應變」階段是在地震發生時，以 TELES 進行災時的地震潛勢分析，同樣可得到橋梁通行失敗之機率、橋梁各種損壞程度之機率，供橋梁管理單位做為震後橋梁緊急安全性調查的先後順序之依據。按 TELES 分析結果，橋梁管理單位隨即應展開橋梁緊急安全性調查，本調查首先要進行各災區維生線是否暢通及地震規模等基本資料的「災情蒐集」、迅速掌握重要地點之橋梁結構及周邊結構物之受損情形的「緊急調查」，及根據緊急調查所採取可通行、管制通行與禁止通行等的「緊急措施」。

「緊急復原」階段主要的實施工作包含實施初步維修方針及橋梁安全等級分類而進行之調查作業的「緊急評估」、以及防止災害持續擴大或發生二次災害和避免餘震再次發生時造成橋梁損壞甚至崩塌，對結構物採取快速臨時性「緊急復原」的補強措施。

「計畫性復原重建」階段的實施工作包含掌握橋梁現況、震災原因、損壞範圍及最終計畫性復原所需之各相關檢測調查資料的「詳細安全檢測」及對受損橋梁進行拆除重建或提升橋梁耐震能力所採行補強措施的「永久性復原重建」等。橋梁災害應變流程，如圖 4-2 所示，本研究的範圍則是「災害預防」、「災害緊急應變」、「緊急復原」三個階段。

橋梁地震災害應變流程係根據交通部於民國 94 年委託台灣營建研究院陳生金等所執行之「災時高效率及高經濟型橋梁補強及檢核技術之研發」[9]及「災害防救基本計畫」[15]所建立的。其中，災害預防階段為本研究所增加。緊急復原及計畫性復原重建在「災害防救基本計畫」中屬於第三階段，但由於執行工作的時間點不同且執行項目頗多，因此將此階段細分為兩個階段，整個流程共為四個階段。

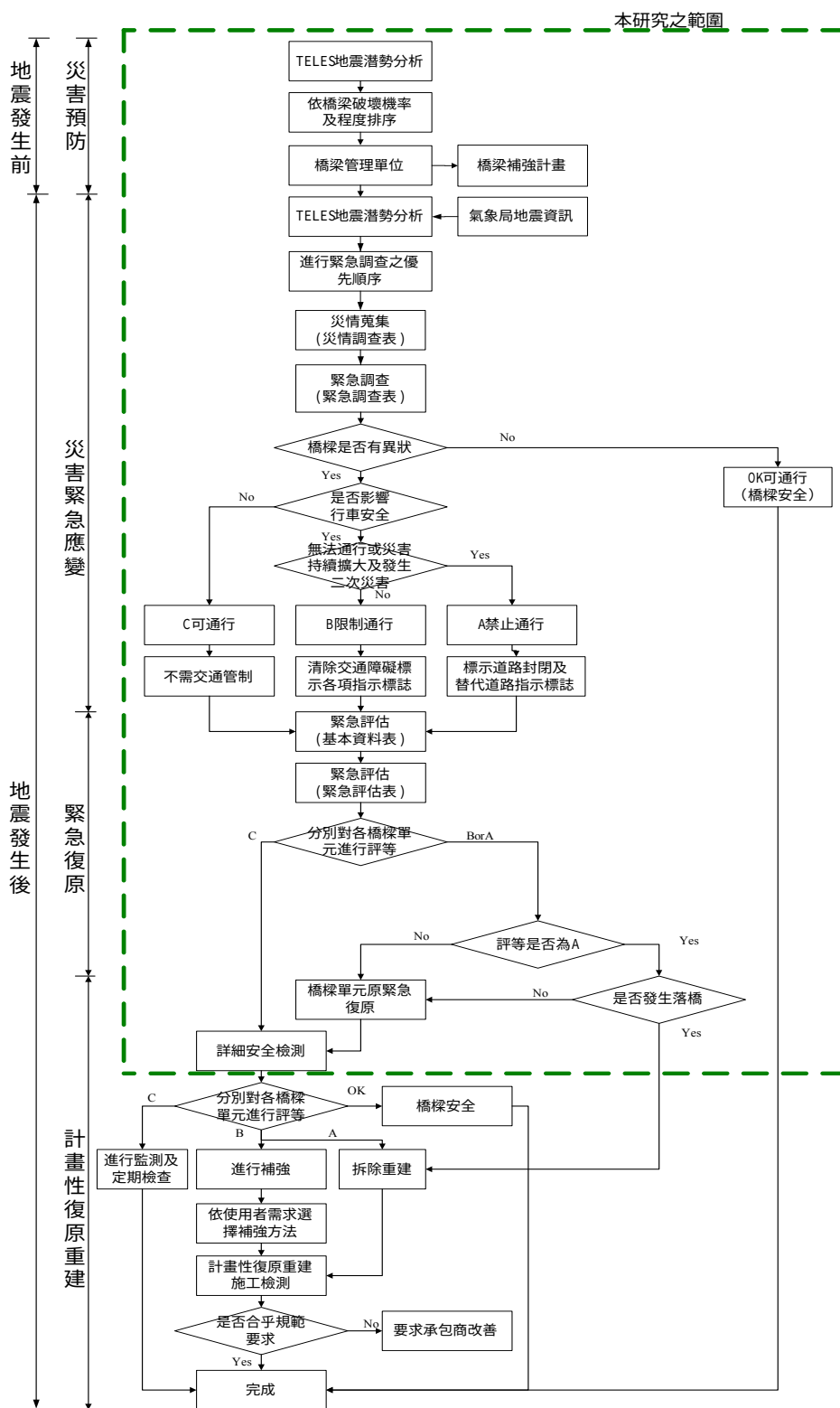


圖 4-2 橋梁地震災害應變流程

以下針對「災害預防」、「災害緊急應變」、「緊急復原」三個階段分別說明其中之工作內容，4.1.1 為橋梁地震災害預防，4.1.2 為橋梁地震災害緊急應變，4.1.3 橋梁地震災害緊急復原。

4.1.1 橋梁地震災害預防

橋梁地震災害「災害預防」階段應變流程如圖 4-3 所示。

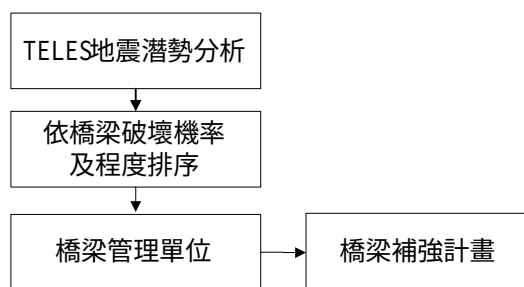


圖 4-3 橋梁地震災害災害預防階段應變流程

地震災害以目前的科學方法仍無法有效的預測地震發生的時間、地點、規模，因此在災害的預防上平時最重要的工作就是對於容易受到震損的橋梁預先做補強的工作，降低地震來臨時橋梁的損壞程度。然而，全國大大小小橋梁約兩萬座，有震害損壞可能的橋梁全都要進行補強在財政及人力上都是相當困難的，因此如何做有效的預防工作就需要一個優先順序，如何產生優先順序，在本研究中是採用國家地震工程研究中心所開發的「TELES—台灣地震損失評估系統」進行地震災害潛勢分析，所產生的結果做為橋梁補強及緊急調查的優先順序的依據。參考第二章 TELES 的核心技術，本節介紹 TELES 在橋梁 TELES 在橋梁震損評估時的應用架構流程。圖 4-4 中地震危害度分析、震災境況模擬分析模組、橋梁震損資料庫之說明，請參考 2.1.3 節，此節針對震災風險評估模組做進一步說明。在下面這個小節將說明 TELES 橋梁震損評估所需之橋梁資料及評估結果。

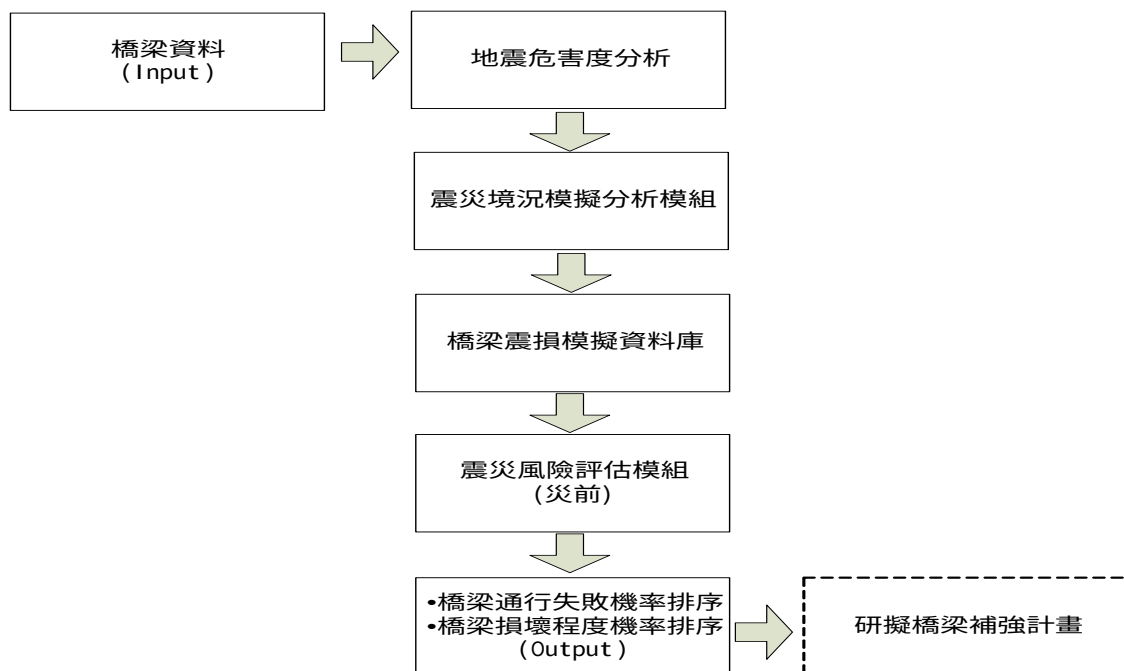


圖 4-4 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前)

4.1.1.1 TELES 橋梁震損評估所需輸入之橋梁資料

表 4-1 TELES 橋梁震損評估所需之橋梁資料，陰影部份為 TELES 進行橋梁分析所需的必要資料，使用者必須填入，而非陰影部份則是由國家地震中心利用陰影部份的資料及空間地理資料進行分析處理可得。這些資料應盡可能詳細的提供，然而 TELES 在未填入的欄位都會給予預設值，因此資料不完整或不正確並不會造成程式無法進行分析，但分析的結果則會因輸入的資料詳細、正確程度而有精確度上的差異。

表 4-1 TELES 橋梁震損評估所需輸入之橋梁資料 [1]

欄位名稱	說明	欄位名稱	說明
ID	橋梁分段識別碼	XI	GPS 座標(N)
ID2	橋梁單一識別碼	YI	GPS 座標(E)
TPEC_ID	運研所橋梁識別碼	MANAGER	管理單位
NAME	橋梁名稱	DESIGN_YR	設計年份
CLASS	橋梁類別	DESIGN_COD	設計規範
Z_CODE	震區係數	CODE_YR	保留
SOILTYPE	土壤類別	DESIGNER	設計單位
SOILLQF	土壤液化敏感類別	SUPERVISOR	監工單位
LANDSLIDE	山崩敏感類別	COMPET_DAT	完工日期
WATERDEPTH	地下水位深度	LINE_CURVE	直橋或曲橋
LENGTH_GRH	保留	GIRDER_TYP	大梁形式
LENGTH_SHT	保留	STR_TYPE	簡支或連續
LENGTH	橋梁長度	FALL_TYPE	防止落橋設施種類
WIDTH	橋梁寬度	SUP_TYPE	支承形式
NUMUNITS	振動單元數	PIER_TYPE	橋柱形式
NUMSPANS	跨數	BASE_TYPE	基礎形式
DECK_AREA	橋面板面積	ABU_TYPE	橋台形式
COST	重建成本(百萬)	SPAN_STATU	跨度配置與長度
MAXSPANLEN	單跨最大跨度	NOTES	備註
SKEWANGLE	歪斜角(車行方向與橋柱方向之夾角)	NOTES2	備註
FT_VAL	(深基礎數目/總基礎數)+1	DANGERCLAS	保留

4.1.1.2 震災風險評估模組(災前)

TELES 在橋梁資料輸入後，在地震發生前 TELES 震災風險評估模組將進行橋梁震災損失評估與可靠度分析以及最大可能地震境況模擬。

1. 橋梁震災損失評估與可靠度分析

以 921 集集地震為例，進行橋梁震害損失評估，評估結果與實際橋梁損壞調查資料相互驗證，以提高 TELES 所採用分析模式與參數的可信度。將集集地震時受損橋梁的分布與損害程度示於圖 4-5；利用 TELES 之橋梁損害評估模組所進行的境況模擬結果則展示於圖 4-6 由於並未調查集集地震災區完整的橋梁基本資料，尤其缺乏受損橋梁的基本資料，因此無法逐一比對實際受損橋梁與境況模擬結果是否吻合。目前僅能比較圖 4-5 和圖 4-6 的橋梁損害程度的分布。大致而言，境況模擬結果已能反映「越靠近斷層且位於上盤處的損害程度較嚴重」的現象；其次，境況模擬結果無明顯系統性高估或低估橋梁損害程度的現象。因此，TELES 分析結果應能區分不同類型的橋梁在單一地震作用下的相對損害程度。

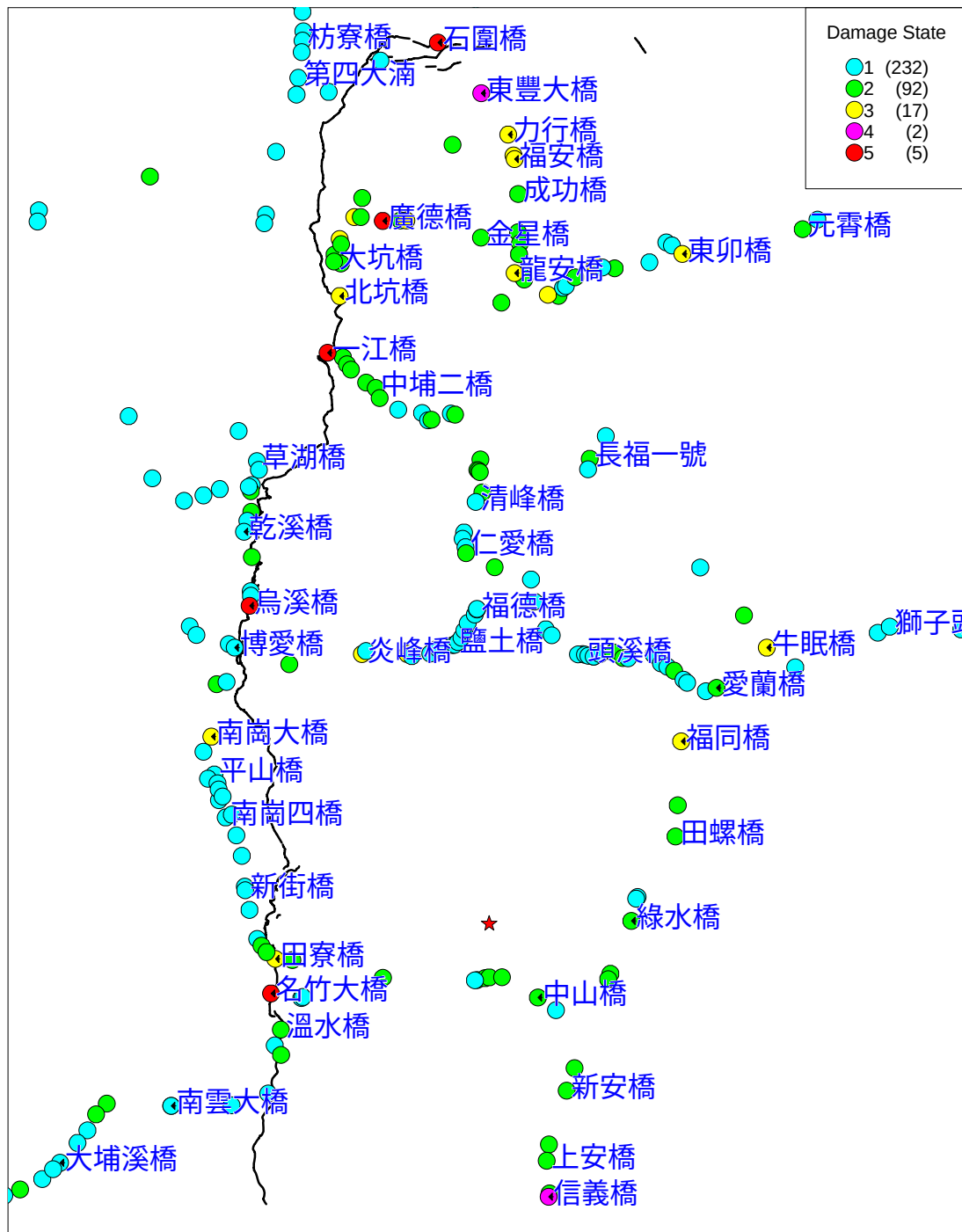


圖 4-5 集集地震引致的橋梁損害調查結果 [1]

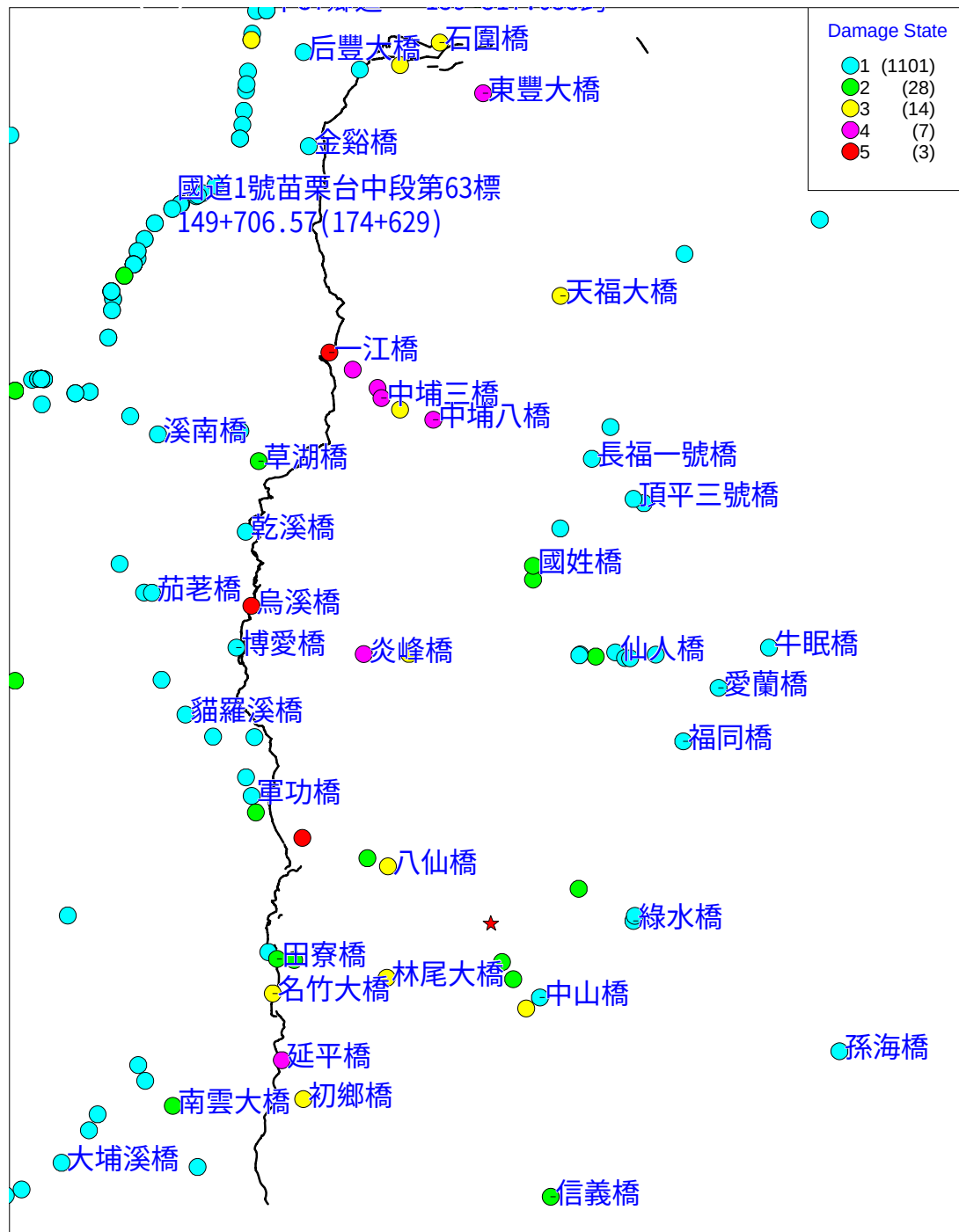


圖 4-6 根據集集地震的震源參數所作的橋梁震災境況模擬結果 [1]

2. 最大可能地震境況模擬

利用地震危害度分析，計算不同回歸期的地震規模和距離，同時

考慮地震發生的機率，再根據活斷層和歷史性震源分佈，可以推估出地區性最大可能地震事件發生的位置和斷層開裂機制。以臺北市地區防災計畫所擬定的兩個模擬地震事件(葉錦勳、羅俊雄，2002)進行分析，分別如下：

- (1)事件一：宜蘭外海地震，東經 121.82、北緯 24.35，地震規模 7.9，深度 10 公里。因為震央來自於東半部，所以最大地表加速度出現在臺北盆地東南方，以文山區最高，信義區次之(圖 4-7)。在交通系統之損壞評估方面，本案也列出了十座損壞機率最高的橋梁位置如圖 4-8。
- (2)事件二：新城斷層地震，東經 121.08、北緯 24.79，地震規模 7.5，深度 10 公里。不同於事件一，事件二震央來自於臺北市西南方的新成斷層，所以在臺北盆地西南方出現最大地表加速度，以萬華區最高，文山區次之(圖 4-9)。道路與橋梁損害評估結果發現：兩次模擬地震的十座損壞機率最高的橋梁完全相同，分別為新生高架橋、舊環河高架(中興橋段)以及部分新環南高架。這些橋梁或高架道路是亟需補強的路段。

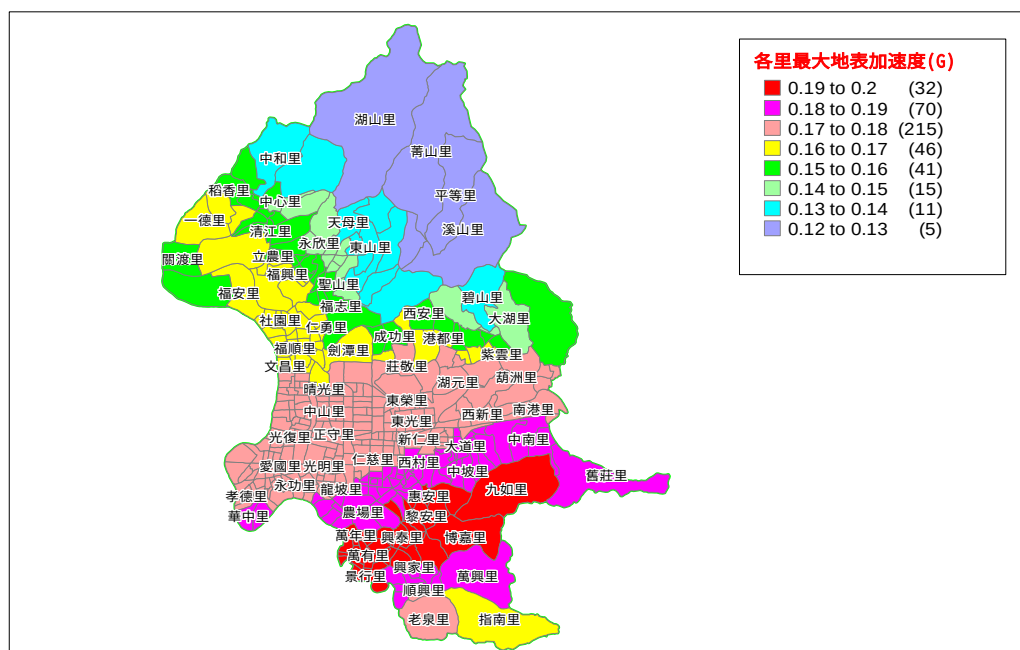


圖 4-7 宜蘭外海地震各里地表最大加速度分佈圖 [1]



圖 4-8 前十座最高損壞機率橋梁位置 [1]

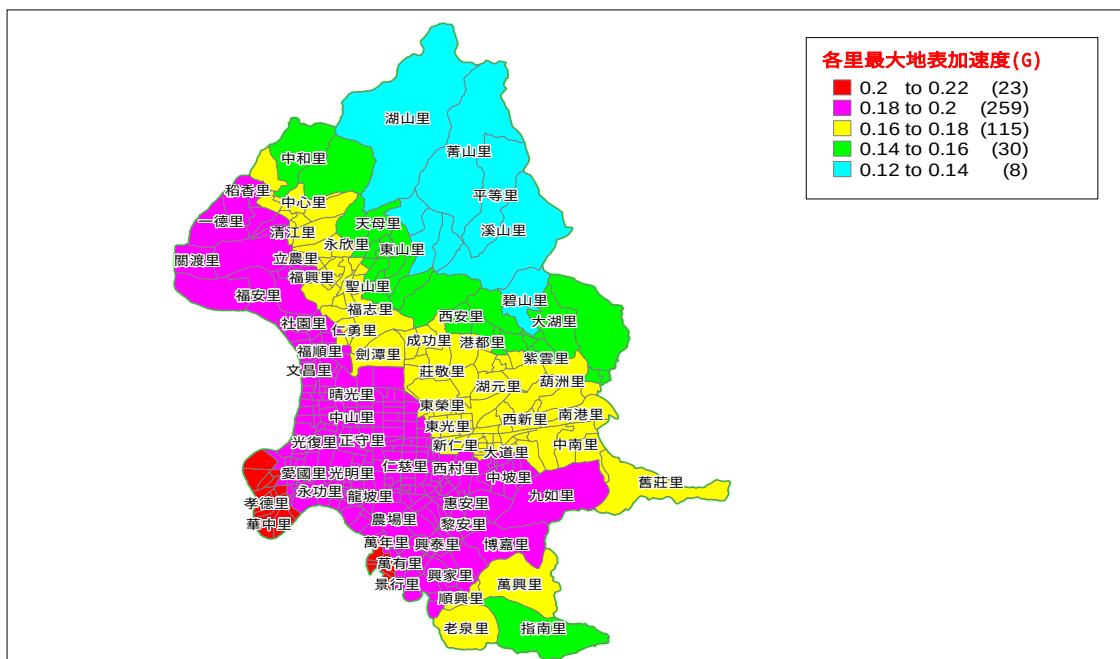


圖 4-9 新城斷層地震各里地表最大加速度分佈圖 [1]

表 4-2 為 TELES 針對臺北市兩百餘座橋梁與人行天橋，總計 755 筆資料進行橋梁耐震可靠度分析，可能受損之橋梁清單，評估結果可提供相關權責單位於平時進行檢測與補強之參考。

表 4-2 台北市地區模擬地震事件可能受損之橋梁 [1]

橋梁 ID	失敗機率	橋梁名稱
B053S003	0.015608813	新生高架橋(松江大橋)*
B075N002	0.015350232	舊環河高架(中興橋段)
B075S008	0.013890169	舊環河高架(中興橋段)
B053N006	0.012553544	新生高架橋(松江大橋) *
B053N005	0.010350965	新生高架橋(松江大橋) *
B053S004	0.010337200	新生高架橋(松江大橋) *
B075N006	0.008970367	舊環河高架(中興橋段)
B075N001	0.007981575	舊環河高架(中興橋段)
B075S001	0.006896769	舊環河高架(中興橋段)
B075S002	0.005093337	舊環河高架(中興橋段)
B053N004	0.004309267	新生高架橋(松江大橋) *
B045S004	0.004255331	建國高架
B053S005	0.004000222	新生高架橋(松江大橋) *
B053N007	0.003934948	新生高架橋(松江大橋) *
B056X001	0.003884340	光華僑
B053N008	0.003777210	新生高架橋(松江大橋) *
B076N004	0.003699829	新環南高架*
B053S002	0.003661682	新生高架橋(松江大橋) *
B075S003	0.003653466	舊環河高架(中興橋段)
B075S004	0.003549677	舊環河高架(中興橋段)
B075S006	0.003328250	舊環河高架(中興橋段)
B056X002	0.003266544	光華僑*
B045N009	0.003134396	建國高架
B045N002	0.003008560	建國高架
B045S010	0.003007988	建國高架
B045N010	0.003001620	建國高架
B035N003	0.002968652	北二高
B011X001	0.002697734	文昌橋
B045N011	0.002635342	建國高架

標示(*)之橋梁為臺北市政府所劃定之震後危險橋梁

上述兩個分析及例子即本研究在地震災害預防的示範做法，利用具有代表性的歷史地震或是區域性最大可能地震進行震災風險分析模擬，可得到表 4-2 此類橋梁通行失敗機率(或是損壞程度機率)排序的結果，提供予橋梁管理單位作為橋梁補強優先順序之依據。

4.1.1.3 TELES 橋梁震損評估輸出之結果

表 4-3 為 TELES 橋梁震損評估之結果參數。以本研究之目的而言，可取 Prob_Fail(通行失敗機率)或 D5(完全損壞機率)、D4(嚴重損壞機率)、D3(中度損壞機率)等進行排序，做為災前災害預防橋梁補強計畫及災時橋梁緊急調查的優先順序之依據。

表 4-3 TELES 橋梁震損評估結果 [1]

欄位名稱	說明	欄位	說明
ID	橋梁分段識別碼	D2	輕微損壞機率
ExceedD2	超越輕微損壞機率	Prob_Fail	橋梁通行失敗機率
ExceedD3	超越中度損壞機率	DmgState	損壞狀態
ExceedD4	超越嚴重損壞機率	DmgRatio	修復成本與拆除重建成本值
D5	完全損壞機率	Cost	拆除重建成本(百萬)
D4	嚴重損壞機率	Loss	經濟損失(百萬)
D3	中度損壞機率		

4.1.2 橋梁地震災害緊急應變

橋梁地震災害「災害緊急應變」階段應變流程如圖 4-10 所示。

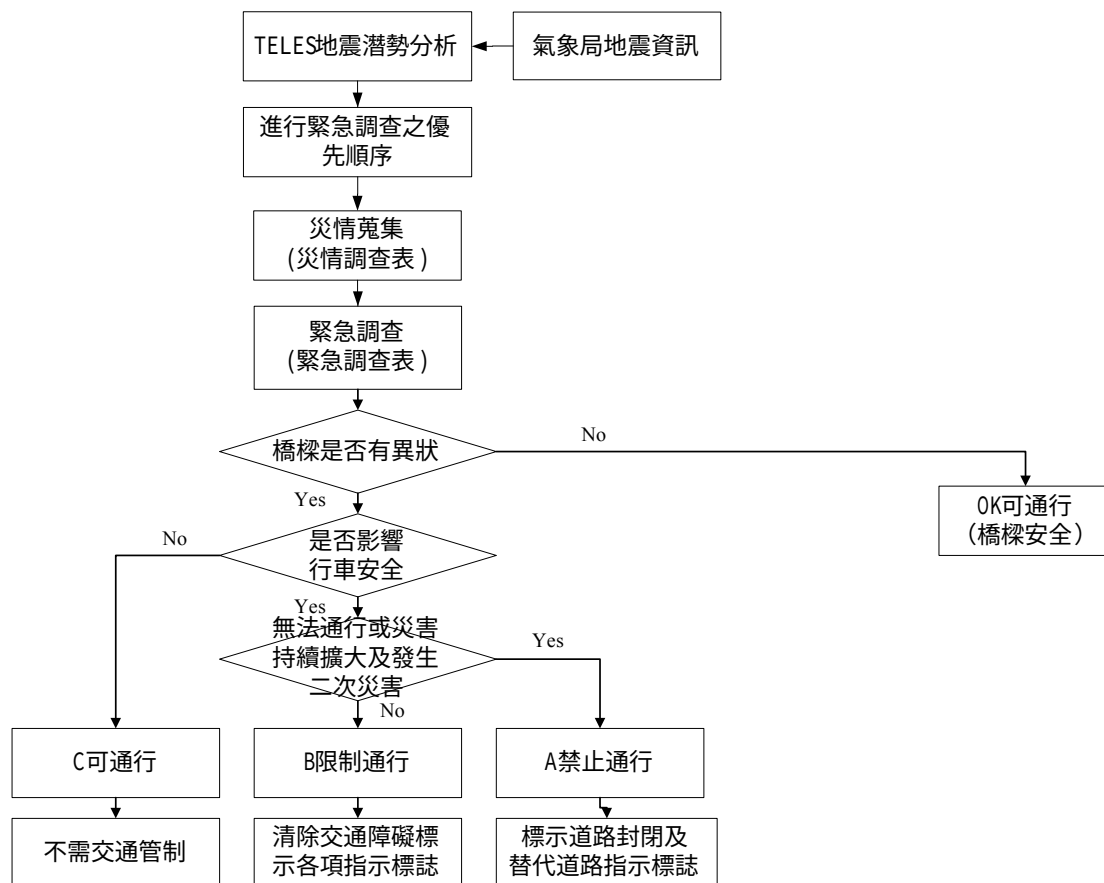


圖 4-10 橋梁地震災害災害緊急應變階段應變流程

地震發生後，第一時間所需採取的應變措施是緊急調查橋梁是否損壞，然而此階段同樣有「災害預防」階段所面臨的問題，全台大小橋梁計約有兩萬多座，每座橋梁都要第一時間做緊急調查在人力及時間上是不可能的，因此緊急調查的橋梁優先順序是第一要務，TELES的震災早期評估模組在地震發生後接到中央氣象局即時傳送的地震資訊，最快可在 30 秒內得到橋梁通行失敗機率及橋梁損壞程度做為緊急調查之優先順序。根據緊急調查的優先順序，工程人員至現場進行緊急調查，並填寫震後災情調查表及震後橋梁緊急調查表，調查完畢後依緊急調查表所得之評估值採取相對應之緊急措施。

4.1.2.1 TELES 地震潛勢分析(災時)

圖 4-11 為 TELES 橋梁震損評估在震災發生時之架構與應用，將圖 4-11 與圖 4-4 比較來看，兩個流程在前面都是地震危害度分析、震災境況模擬、橋梁震損模擬資料庫的架構，在 2.1.3 節已作介紹，在此就不再重覆。在輸入資料的部份，橋梁資料和災前震災風險評估模組相同(請參考 4.1.1.1 節及表 4-1)，而兩者不同的在於此時地震已發生，中央氣象局的速報系統會將地震資訊，包含地震時間、地震規模、震源位置、震源深度、地表加速度 PGA 值傳送給 TELES 系統，亦會公佈於中央氣象局網站，本系統的資料交換平台可交換此資料；另外此時的評估模組為震災早期評估模組。

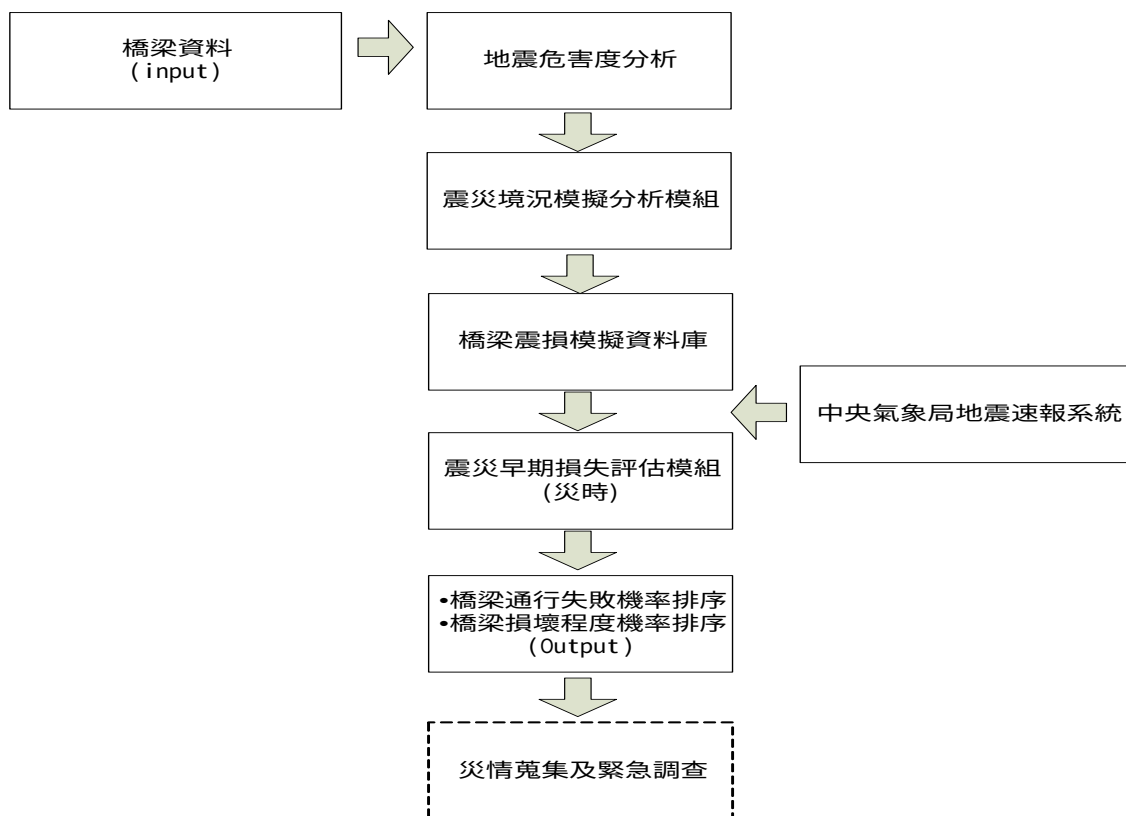


圖 4-11 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時)

中央氣象局之地震速報系統所公佈的地表振動強度以 PGA 表示。

根據以往的耐震設計標準和歷史震災經驗，如 PGA 達 0.16g 以上時，建築物、橋梁、其它工程結構物或地下管線即可能因振動而損害。然而，建築物、橋梁、其它工程結構物的損害程度和數量並非單純地僅是 PGA 的函數，人員傷亡的數量更與地震發生的時間、人口分布和建築物損害的程度有密切關係；因此無法以簡單的迴歸公式來預估複雜的災情規模。如何有效精確地推估地震災害潛勢、橋梁損壞狀況已如上節震災境況模擬所述，但所需計算時間隨地震規模、震源位置和評估時的最小地理單元而變。

強震發生後六小時內的震災早期評估，可概略分為三個階段。第一階段為根據中央氣象局所提供的點震源資訊，第二階段根據假設的活動斷層開裂長度、寬度和開裂面傾角等資訊，第三階段則以實際觀測結果的活動斷層資訊，進行各種震災境況模擬。以往根據中央氣象局所提供的點震源資訊，以鄉鎮區為單元進行第一階段震災早期評估，約需 5~15 分鐘的時間。如為更精確推估強震所可能引致的災情，必須以線震源的分析模式且以村里為單元；此時所需的計算時間必大幅增加。如藉助前述所建置的震災模擬資料庫，當強震發生時，不須根據中央氣象局所公佈的點震源參數重新計算可能的災情規模和分佈。震災早期評估系統於收到中央氣象局之地震報告郵件後將自動啟動，根據郵件內之點震源的資訊，查詢橋梁震災模擬資料庫內與震源相近的模擬地震事件及其所引致的橋梁損壞評估結果。所需查詢和統計時間在 30 秒以內可以完成。一旦獲得可能的災情規模，摘要資訊即可利用警報、簡訊或語音等方式，通知駐守人員警戒，或召集在外的應變支援人力回應變中心待命[1]。

震災早期評估模組分析所得的結果參數格式和災前的震災風險評估模組一樣，以橋梁通行失敗機率(或橋梁損壞程度機率)排序，提供給橋梁管理單位作為橋梁安全性緊急調查優先順序的依據。在災害緊急應變階段，即依此調查優先順序進行接下來的災情蒐集和緊急調查。

4.1.2.2 災情蒐集

經由正確迅速之災情調查可使地方政府或中央相關主管機關充分掌握災情，以利於有效動員救援之人力及物力。相關主管機關為了確保救災所需之機具、儀器設備及醫療民生物資能順利送達災區，確認災區影響範圍、維生線上之橋梁是否中斷及二次災害發生之可能性為災情蒐集主要目的。災情蒐集的工作內容除了包含地震規模、震源、地震形態、震害範圍等地震基本資料外，主要著重於各災區維生線是否暢通之調查。災情蒐集所需建立之基本資料可參考表 4-4 之內容填寫。

表 4-4 震後災情調查表 [9]

地震基本資料				維生線上 橋梁狀況	二次災害發生 可能性
地震規模	震源	地震形態	震害範圍		
				☐ 暢通 ☐ 阻礙	☐ 無 ☐ 低 ☐ 高

4.1.2.3 緊急調查

一旦災害發生後，救災之首要任務即為迅速掌握災情，故應實施緊急調查，掌握橋梁損壞狀況、維生線橋梁之通阻情形，及發生二次災害或災害持續擴大之危險性等。緊急調查結果可作為採取緊急措施判斷之依據，用以排定採取後續緊急復原或計畫性復原重建之優先次序。緊急調查可依各橋梁主管單位之人員編制、維護管理機制，及橋梁之區域特性、災損規模等來實施，且必須在最短時間內瞭解橋梁及其附屬設施之受損概況，並掌握災害持續擴大或發生二次災害之可能性。

因此，災害發生後，橋梁管理單位須立即派遣基層工程人員赴災害現場，以目視或捲尺、相機等簡易器材進行調查，調查重點為橋梁損害程度及確認是否可安全通行，是否有發生二次災害或災害持續擴

大之危險性，並立即研判應採取之緊急措施。緊急措施是以採取交通管理措施主，不包括實際橋梁修復施工。

緊急調查之重要在於時程之掌控，故其調查項目宜簡單明確，緊急調查之重點以是否影響行車安全為主，依據表 4-5 緊急調查項目及本研究第三章所分類的橋梁構件，擬定震後橋梁緊急調查紀錄表，可參考表 4-6 來進行。包含橋梁基本資料、調查項目、損壞狀況及綜合研判等，緊急調查項目可依實際狀況加以增減。

表 4-5 緊急調查之調查項目 [9]

橋梁構件		調查項目
1. 橋梁整體		落橋、縱斷面高低差、橫斷面錯位
2. 上部結構 (Sup)		主梁或副構件損壞、變形
3. 下部結構/橋柱 (Sub)		傾斜、沉陷、開裂；構件損壞、變形
4. 基礎 (F)		沉陷；沖刷裸露傾斜；土壤液化
5. 支承 (S)		支承損壞、防落橋裝置損壞
橋台引道 (A)	6. 橋台	傾斜位移；胸牆、翼牆損壞；護坡坍滑；背牆損壞
	7. 引道	傾斜位移；擋土牆損壞；路基流失、坍滑
其他設施 (O)	8. 伸縮縫	開裂、擠壓、錯位、高低差
	9. 附屬設施	護欄破損脫落；照明設施、管線、排水設施受損
其他		落石、坍方

表 4-6 震後橋梁緊急調查記錄表 [9]

橋梁基本資料			
橋梁名稱		調查日期	
橋梁位置		調查人員	
橋梁現況資料			
調查項目		損壞狀況	
		A B C OK	備註
1. 橋梁整體		落橋 縱斷面高低差 橫斷面錯位	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
2. 上部結構 (Sup)		主梁損壞 副構件損壞 主梁變形 副構件變形	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
3. 橋柱 (Sub)		帽梁損壞 副構件損壞 傾斜、沉陷、開裂	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
4. 基礎 (F)		坍塌 傾斜、沉陷 沖刷裸露 土壤液化	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
5. 支承 (S)		支承裝置損壞 防止落橋裝置損壞	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
橋台引道 (A)	6. 橋台	傾斜位移 胸牆、翼牆損壞 護坡坍塌 背牆損壞	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
	7. 引道	傾斜位移 擋土牆損壞 路基流失、坍塌	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
其他設施 (O)	8. 伸縮縫	開裂擠壓 錯位、高低差	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
	9. 附屬設施	護欄破損脫落 照明設施受損 管線受損 排水設施受損	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
其他		落石坍方	☐ ☐ ☐ ☐
綜合研判		OK:無異狀可通行 A: 禁止通行 B: 管制通行 C:可通行	
A:有嚴重傾斜、沉陷、橋面版掉落，支承或附屬設備拉壞等異常現象，致無法通行，或有災害持續擴大及發生二次災害的狀況，需禁止通行。B:有傾斜、沉陷、位移、高差、支承破壞等異狀，影響通行安全，需管制通行。C:輕微異狀，不影響行車安全，可通行。OK:無異狀，可通行。註：在 1 到 8 中，只要有一項等級為 C，則綜合研判等級為 C，依此類推。			

4.1.2.4 緊急措施

橋梁發生災害後之緊急措施主要為確保救援及物資輸送道路之暢

通，於緊急調查範圍內進行之初步交通管理措施，包含可通行、管制通行、禁止通行等，稱為緊急措施。依據緊急調查結果若橋梁無異狀或橋梁輕微損傷，可不需進行交通管制；若無法確定是否有災害持續擴大或發生二次災害的危險性時，必須實施禁止通行或管制通行；若發現橋梁有災害持續擴大或發生二次災害之可能性時，為避免危及用路人或擴大周邊地區之受害程度，應實施禁止通行及標示道路封閉等。震後橋梁緊急措施內容如表 4-7 所示。

表 4-7 震後橋梁緊急措施內容 [9]

緊急調查結果		緊急措施內容	
A	落橋;下部結構嚴重傾斜 沉陷;路基流失、支承毀壞等使交通中斷或有災害持續擴大及發生二次災害之可能	禁止通行	標示道路封閉及替代道路等指示標誌
B	傾斜、沉陷、位移、高低差、路基鬆動、支承破壞等，影響行車安全	可通行	清除交通障礙、標示限重限速、車道限制、單線雙向通行等警告標誌
C	橋梁輕微損壞，但不影響行車安全	管制通行	不需交通管制、標示注意行車安全之警告標誌
OK	無異狀	可通行	不需交通管制

4.1.3 橋梁地震災害緊急復原

災害緊急復原流程如圖 4-12 所示。

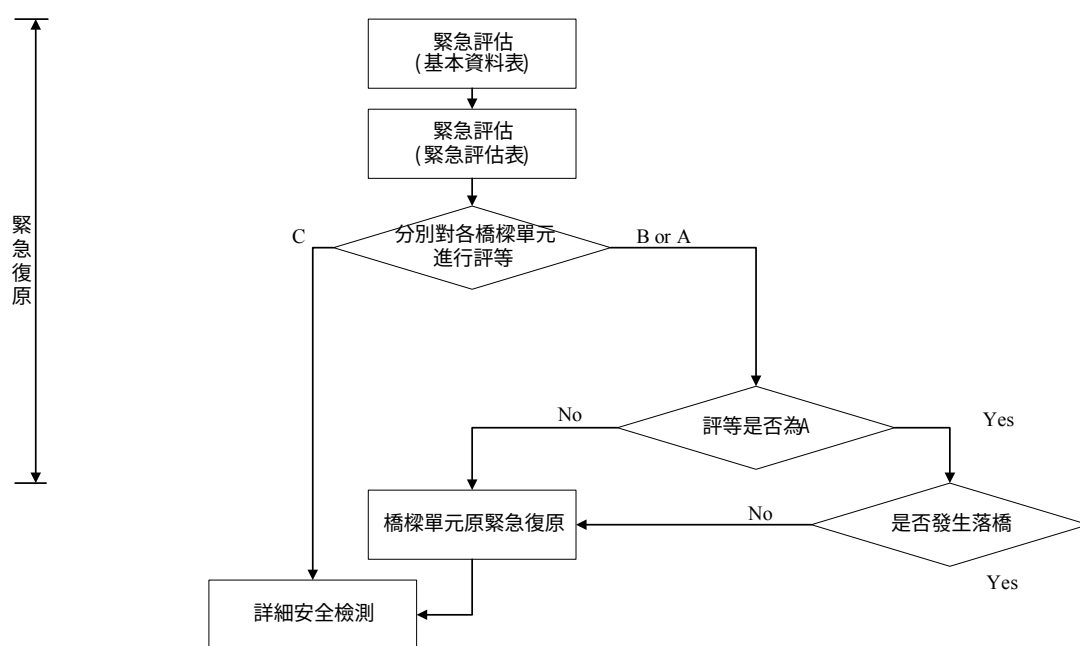


圖 4-12 橋梁災害緊急復原流程圖

4.1.3.1 緊急評估

緊急評估之目的為於緊急措施實施後，進一步瞭解橋梁受災現狀，並持續掌握橋梁損壞程度及進展情況，以研判是否採取緊急復原處理對策，以確保交通安全與順暢，並防止異狀再度發生或擴大。緊急評估是指在掌握橋梁整體受害狀況同時，為實施初步維修方針而進行之調查作業，主要是以目視方式掌握全盤性受害情況，且仍以行車安全為主要之橋梁安全等級分類重點，若發現影響行車安全之異狀，應即採取緊急復原，並檢討進一步實施安全檢測之必要性，以深入瞭解橋梁之實際穩定狀態。緊急評估調查項目如表 4-8 所示，震後橋梁緊急評估記錄表如表 4-9 至表 4-11 所示。

表 4-8 緊急評估調查項目 [9]

橋梁構件	緊急評估調查項目
1. 橋梁整體	落橋、二次災害可能性、災害擴大可能性
2. 上部結構 (Sup)	混凝土裂縫、剝離、鋼筋挫屈、鋼筋斷裂
3. 下部結構 (Sub)	混凝土裂縫、剝離、鋼筋挫屈、鋼筋斷裂、傾斜、沉陷
4. 基礎 (F)	傾斜、沉陷、基礎裸露、河床沖刷
5. 支承 (S)	支承裝置損壞、防落裝置損壞
6. 橋台引道 (A)	混凝土裂縫、剝離、鋼筋斷裂、橋台引道傾斜、沉陷、路基流失
7 其他設施 (O) (伸縮縫)	伸縮縫開裂、擠壓
其他	護欄、照明設施、管線受損、排水設施等受損，影響人車通行、落石、坍方

表 4-9 震後橋梁緊急評估表(1/3) [9]

橋梁基本資料			
橋梁名稱		調查日期	
橋梁位置		調查人員	
橋梁淨空:長度 m, 寬度 m, 高度 m			
橋梁結構型式: ☐ 簡支 ☐ 斜張 ☐ 懸臂 ☐ 桁架 ☐ 吊橋 ☐ 拱橋 ☐ 連續 ☐ 其他			
橋梁結構配置:			
主梁型式: ☐ I 型梁 ☐ 箱型梁 ☐ T 型梁 ☐ 桁架式 ☐ U 型梁 ☐ 其他			
主梁材質: ☐ 混凝土 ☐ 預力混凝土 ☐ 鋼結構			
橋墩型式: ☐ 壁式 ☐ 單柱式 ☐ 構架式 ☐ 樁排架式 ☐ 其他			
橋墩材質: ☐ 混凝土 ☐ 鋼結構 ☐ 其他			
支承型式: ☐ 鋼支承 ☐ 盤式支承 ☐ 鑄銅支承 ☐ 滑板支承 ☐ 合成橡膠 ☐ 搖滾支承 ☐ 其他			
其他附屬設施: ☐ 照明 ☐ 護欄 ☐ 其他			
鄰近道路			
(1)路線名稱:			
(2)路線型式:			
(3)路線淨空:			
(4)路線現況:			
橋梁平、立面及地理位置示意圖			
(備註)橋梁淨空為橋下車行之淨高			

表 4-10 震後橋梁緊急評估表(2/3) [9]

構件分類	評估項目	A B C	A. 危險	B. 無立即危險	C. 尚屬安全	里程	構件編號	備註
1 橋梁整體	落橋發生可能性	□□□	»落橋	»二次災害可能性高 »災害擴大可能性高	»無二次災害可能性 »無災害擴大可能性			
	二次災害可能性	□□□						
	災害擴大可能性	□□□						
2 上部結構 (Sup)	混凝土裂縫	□□□	»主梁自支承滑落或錯位 »主梁支承端混凝土開裂大量脫落 »裂縫寬度介於 0.5~2mm »鋼筋(腱)外露	»支承端混凝土開裂 »裂縫寬度介於 0.5~2mm »部份混凝土剝落	»無損壞或劣化現象 »裂縫輕微寬度小於 0.5mm »不影響行車及結構安全			
	混凝土剝離	□□□						
	鋼筋挫屈	□□□						
	鋼筋斷裂	□□□						
3 下部結構 (Sub)	橋柱傾斜	□□□	»主筋斷裂 »主筋挫屈 »橋柱傾斜 »短柱斜剪裂縫貫穿，裂縫寬度大於 2mm »混凝土剝落 »支承處帽梁損壞	»水平或斜向裂縫貫穿橋柱 »斜剪裂縫貫通，並出現垂直裂縫 »斜剪裂縫長度介於 1/2 至一倍柱寬 »短柱(高寬比 3 以下)斜剪裂縫貫穿，裂縫寬介於 0.5~2mm »塑鉸形成、混凝土開裂，主筋露出	»無損壞或劣化現象 »輕微水平裂縫或斜向裂縫但未貫穿 »斜剪裂縫長度小於 1/2 柱寬 »短柱(高寬比 3 以下)斜剪裂縫貫穿，裂縫寬小於 2mm			
	橋柱沉陷	□□□						
	混凝土裂縫	□□□						
	混凝土剝離	□□□						
	鋼筋挫屈	□□□						
	鋼筋斷裂	□□□						
4 基礎 (F)	基礎傾斜	□□□	»基樁裸露超過容許值且受損 »沉箱裸露超過容許值且受損	»基礎裸露深度大於 1.2m 但基樁未裸露 »沉箱裸露深度介於於 1.2m 及一倍直徑間	»基礎裸露深度小於基礎版厚度或 1.2m »沈箱裸露深度小於 1.2m			
	基礎沉陷	□□□						
	基礎裸露	□□□						
	河床冲刷	□□□						

表 4-11 震後橋梁緊急評估表(3/3) [9]

構件分類	評估項目 A B C	A. 危險	B. 無立即危險	C. 尚屬安全	里程	構件編號	備註
5 支承 (S)	支承裝置損壞 ☐ ☐ ☐	»上下支承座鋼構件破壞、鬆脫 »螺栓剪斷有落橋可能 »帽梁支承部混凝土破壞	»支承座鋼構件變形 »錨碇螺栓鬆動 »支承墊位移、變形、破裂 »防落桿變形斷裂，螺栓剪斷 »砂漿墊碎裂或混凝土開裂，局部剝落	»上下支承座鋼構件輕微變形 »錨碇螺栓鬆弛，安全無影響			
	防落裝置損壞 ☐ ☐ ☐						
6 橋台引道 (A)	橋台傾斜 ☐ ☐ ☐	»沉陷、高差大於 20cm	»沉陷、高差介於 10-20cm	»無損壞或劣化現象 »沉陷、高差小於 10cm			
	橋台沉陷 ☐ ☐ ☐						
	翼牆傾斜 ☐ ☐ ☐						
	翼牆沉陷 ☐ ☐ ☐						
	引道沉陷 ☐ ☐ ☐						
	路基流失 ☐ ☐ ☐						
	混凝土裂縫 ☐ ☐ ☐						
	混凝土剝離 ☐ ☐ ☐						
	鋼筋挫屈 ☐ ☐ ☐						
7 其他 設施 (O) (伸縮縫)	開裂、擠壓 ☐ ☐ ☐	»發生顯著損傷並造成交通障礙	»發生顯著損傷但未造成交通障礙	»發生損傷			
	錯位、高低差 ☐ ☐ ☐						
其他	損壞情形 ☐ ☐ ☐	»斷裂、缺損阻礙通行	»損壞，影響行車安全。	»無損壞或劣化現象 »損壞，但不影響行車安全			

4.1.3.2 緊急復原

緊急復原係指在實施第三階段計畫性復原重建以前，防止災害持續擴大或發生二次災害，並恢復橋梁正常交通功能，而對結構物所採取的臨時性修復補強措施，如架設臨時支撐、便橋、填土夯實等。

緊急復原之目的在儘速恢復橋梁交通輸送功能所實施之維修或補強工作，使災害對於社會及民眾的影響減至最低，因此可能採取之補強方案以快速便捷為重點，不宜作為永久結構使用。緊急復原的選擇主要根據下列三項原則：(1)避免已經受損的構件部分再度惡化(2)在短期時間內提供並確保橋梁的服務功能(3)以緊急能夠恢復結構的運輸機能[9]。

緊急復原必須利用較易取得之材料資源及勞力，使救援輸送車輛得以通行，並進行緊急復原工作；在緊急評估階段，若橋梁之整體結構雖無立即危險但可能影響其他路線或其他結構下之用路人行車安全時，應須立即採行緊急復原措施；若判定為危險，但經快速補強或臨時支撐後可情況實施管制通行措施，並在震後橋梁緊急評估表備註欄中予以附記，並同時進行緊急復原。

根據上述目的及原則，可知緊急復原階段強調以快速恢復橋梁交通功能為主，參考第二章之橋梁構件單元分類及公路總局研究報告-「災時高效率及高經濟型橋梁補強及檢核技術之研發」[9]，可歸納得到當橋梁發生損壞時可優先採行的緊急復原補強技術，針對緊急評估所判定出來橋梁構件之安全等級，彙整出緊急復原階段各構件單元可行之修復補強方案，如表 4-12、表 4-13、表 4-14 所示，以供橋梁管理決策者參考之依據。

表 4-12 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 A） [9]

緊急評估等級 A		優先緊急復原補強技術		其他緊急復原方案	
橋梁構件	橋梁單元				
上部結構 (Sup)	1.大 梁	千斤頂/臨時支撐法		壓力灌漿工法 鋼板補強工法 增設防落桿件 增設防落檔版 外加鋼纜索束	
	2.橋 面 版				
	3.隔 梁				
下部結構 (Sub)	4.帽 梁	千斤頂/臨時支撐法		壓力灌漿工法 鋼板補強工法 外加鋼纜索束	
	5.橋 墩 柱				
基 礎 (F)	6.基 礎	千斤頂/臨時支撐法		擴大基版工法 增樁補強工法 增設基礎保護設施	
支 承 (S)	7.支 承	千斤頂/臨時支撐法		支承修補工法 更換支承 增設防落桿件 增設防落檔版	
	8.防落裝置				
橋台引道 (A)	9.橋 台	千斤頂/臨時支撐法			
	10.引 道	鋪設臨時覆蓋版		挖/填土夯實	
其他設施 (O)	11.伸 縮 縫	鋪設臨時覆蓋版		更換伸縮縫	
	12.附屬設施	附屬設施修復			
橋梁整體（落橋）		架設臨時便橋			

表 4-13 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 B） [9]

緊急評估等級 B		優先緊急復原補強技術		其他緊急復原方案	
橋梁構件	橋梁單元				
上部結構 (Sup)	1.大 梁	千斤頂臨時支撐工法 鋪設臨時覆蓋版		壓力灌漿工法 鋼板補強工法 增設防落桿件 增設防落檔版 外加鋼纜索束	
	2.橋 面 版				
	3.隔 梁				
下部結構 (Sub)	4.帽 梁	千斤頂/臨時支撐法		表面修補工法 壓力灌漿工法 鋼板補強工法 外加鋼纜索束	
	5.橋 墩 柱				
基 礎 (F)	6.基 礎	千斤頂/臨時支撐法		增設基礎保護設施	
支 承 (S)	7.支 承	千斤頂/臨時支撐法		支承修補工法 更換支承 增設防落桿件 增設防落檔版	
	8.防落裝置				
橋台引道 (A)	9.橋 台	千斤頂/臨時支撐法			
	10.引 道	鋪設臨時覆蓋版		挖/填土夯實	
其他設施 (O)	11. 伸 縮 縫	鋪設臨時覆蓋版		更換伸縮縫	
	12.附屬設施	附屬設施修復			

表 4-14 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 C） [9]

緊急評估等級 C		優先緊急復原補強技術	其他緊急復原方案
橋梁構件	橋梁單元		
上部結構 (Sup)	1.大 梁	表面修補工法 壓力灌漿工法 鋼板表面黏貼修補法	
	2.橋 面 版		
	3.隔 梁		
下部結構 (Sub)	4.帽 梁	表面修補工法 壓力灌漿工法 鋼板表面黏貼修補法	
	5.橋 墩 柱		
基 礎 (F)	6.基 礎	表面修補工法 壓力灌漿工法 千斤頂/臨時支撐法	增設基礎保護設施
支 承 (S)	7.支 承	表面修補工法 壓力灌漿工法	增設防落桿件 增設防落檔版
	8.防落裝置		
橋台引道 (A)	9.橋 台	表面修補工法 壓力灌漿工法 重新澆注工法	
	10.引 道	鋪設臨時覆蓋版	挖/填土夯實
其他設施 (O)	11.伸 縮 縫	鋪設臨時覆蓋版	
	12.附屬設施	附屬設施修復	

4.1.4 橋梁地震災害應變所需交換資料

在地震發生時，中央氣象局會立刻發佈地震相關參數如圖 4-13 及圖 4-14 所示。地震相關參數包括：

- (1)地震發生日期
- (2)地震發生時間
- (3)震源位置(經、緯度)
- (4)震源深度
- (5)地震規模(芮氏規模)

(6)各地最大震度

(7)地表振動加速度(PGA 值)

地震數據在氣象局網站發佈後，本系統的資料交換平台會自動將這些數據交換至本系統資料庫中，以提供給 TELES 進行橋梁震災早期損失評估之用。橋梁地震災害應變所須進行交換資料的對象如圖 4-15 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-19 至表 4-21。



圖 4-13 中央氣象局地震報告(1) [16]



圖 4-14 中央氣象局地震報告(2) [16]

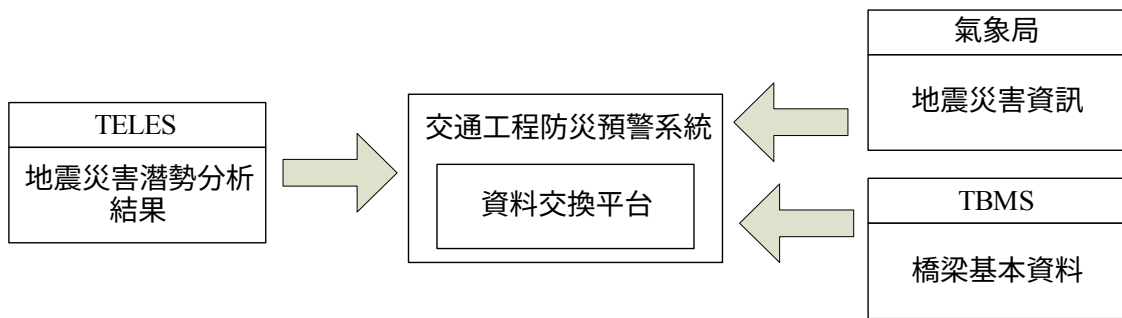


圖 4-15 地震災害發生時系統所需交換資料及對象

4.2 橋梁沖刷災害應變

橋梁沖刷災害的應變流程主要分為兩個階段即「災害預防」和「災害緊急應變」。

「災害預防」階段以耐洪能力評估表對橋梁進行耐洪能力的評估，評估結果可提供給橋梁管理單位做為進行橋梁補強計畫之依據；此外河川溪流的水位高程是影響橋梁安全性的重要指標，因此持續對水位監測是必要的，水利署在全國重要的河川溪流設置有水位測站，並且即時的在網站上發佈水位監測值，本研究將同步交換此水位監測資料做為橋梁安全的監控之用。

當橋梁水位高程超過警戒水位時，表示橋梁使用上的安全性有疑慮，這時候就進入了「災害緊急應變階段」，此時超過警戒水位的橋梁所屬的橋梁管理單位須派工程人員至現場觀察該橋之現況水位，以國內現行的封橋判定是根據水位與橋面版的距離是否小於 1.5 公尺，小於 1.5 公尺則需封橋禁止通行，大於 1.5 公尺則需以監測儀器或橋梁沖刷災害分級快速檢查表等輔助判斷是否實施封橋或交通管制措施。

橋梁沖刷災害應變流程如圖 4-16 所示。

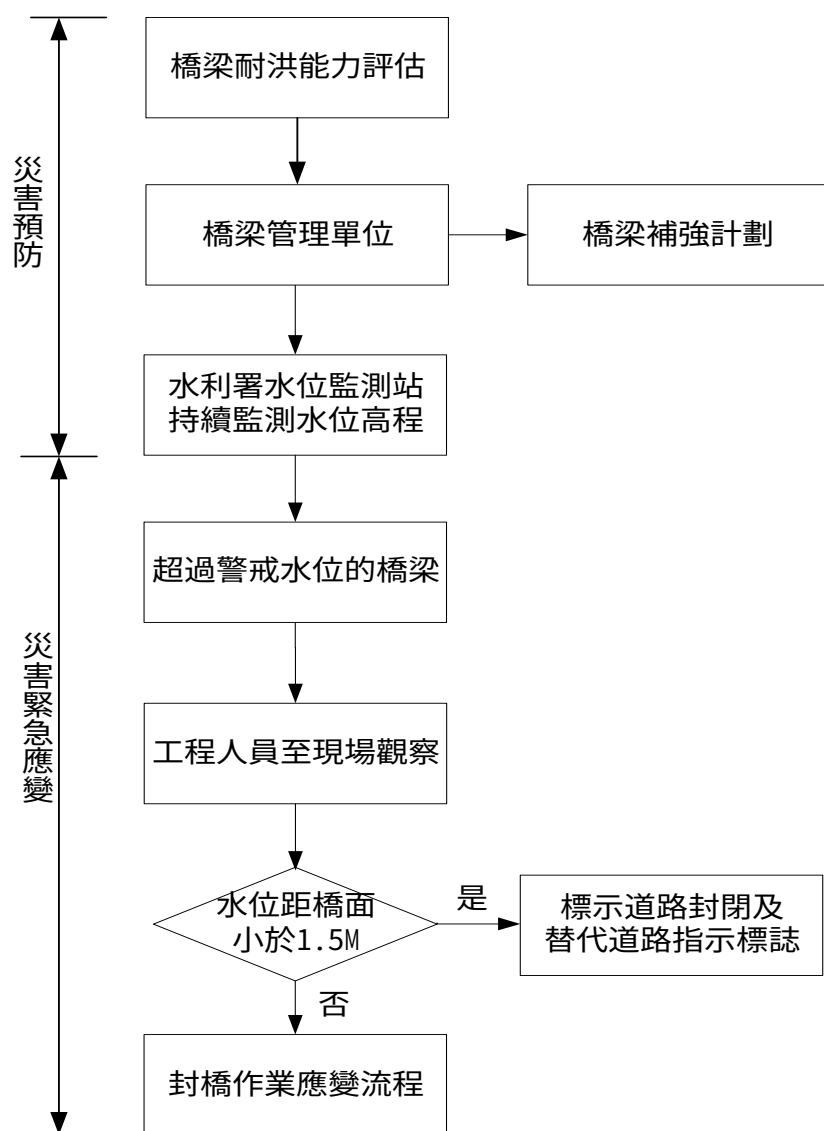


圖 4-16 橋梁沖刷災害應變流程圖

4.2.1 橋梁沖刷災害預防

4.2.1.1 橋梁耐洪能力評估

橋梁沖刷災害預防階段，首先需以橋梁耐洪能力初步評估表[7]，進行橋梁的耐洪能力評估，耐洪能力初步評估表如表 4-15 所示。

表 4-15 橋梁耐洪能力初步評估表 [7]

項次	項目		配分	評估內容	權重	評分
001	河川環境	主河道變遷	5	☐ 嚴重變遷(1.0) ☐ 輕微變遷(0.5) ☐ 無(0)		
002		河川整治辦理情形	5	☐ 尚未辦理(1.0) ☐ 1000 公尺以內完成，其他未辦理(0.5) ☐ 已完成(0)		
003		河床垂直向長期冲刷潛能	5	☐ 高(1.0) ☐ 中(0.5) ☐ 低(0)		
004		鄰近有無採砂	7.5	☐ 1000 公尺以內(1.0) ☐ 1000 公尺以外(0.5) ☐ 無(0)		
005		上游攔河堰	5	☐ 1000 公尺以內(1.0) ☐ 1000 公尺以外(0.5) ☐ 無(0)		
006		下游攔河堰	5	☐ 無(1.0) ☐ 1000 公尺以外(0.5) ☐ 1000 公尺以內(0)		
007		橋基保護工現況	7.5	☐ 不良(1.0) ☐ 中等(0.5) ☐ 良好或無需保護(0)		
008	橋梁配置	橋墩形式	5	☐ 單柱橋墩(1.0) ☐ 雙柱橋墩(0.5) ☐ 多柱或壁式橋墩(0)		
009		基礎剩餘長度與原有長度之比值	15	基樁：當 $(H_{left}/H) < 0.6$ ， $w=1.0$ ；當 $0.6 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=2.5-2.5(H_{left}/H)$ 沉箱：當 $(H_{left}/H) < 0.4$ ， $w=1.0$ ；當 $0.4 \leq (H_{left}/H) \leq 1.0$ ， $w=3/5-3/5(H_{left}/H)$ 直接基礎： ☐ 置於砂礫層，有冲刷之虞(1.0) ☐ 置於岩盤表層(0.5) ☐ 1 深入岩盤(0)		
010		橋墩等值寬度 b_{eff}	7.5	當 $b_{eff} > 8$ ， $w=1.0$ ；當 $2 \leq b_{eff} < 8$ ， $w=-1/3+(1/6) b_{eff}$ ；當 $b_{eff} < 2$ ， $w=0$		
011		橋墩方向與水流方向夾角 θ	5	當 $K_{\theta} \leq 2.0$ ， $w=K_{\theta}-1$ ；當 $K_{\theta} > 2.0$ ， $w=1.0$ ； $K_{\theta}=[(l/b)\sin \theta +\cos \theta]0.65$ l ：橋墩沿垂直行車方向深向； b_{eff} 橋墩等值寬度		
012		阻水面積比 $R_A(\%)$	5	$w=(RA-5)/5 \leq 1.0$		
013		梁底高程	5	$1.0 \geq w=1-\frac{(\text{梁底高程}-\text{計畫洪水位})}{2.0\text{公尺}} \geq 0$ 或 $1.0 \geq 1-\frac{(\text{梁底高程}-\text{堤頂高度})}{1.5\text{公尺}} \geq 0$		
014		支承狀況與防落長度	7.5	☐ 不良(1.0) ☐ 普通(0.5) ☐ 良好(0)		
015		橋墩形狀	5	☐ 平頭墩(1.0) ☐ 圓形或圓頭墩(1.0) ☐ 尖頭墩(0)		
016		其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋墩及基礎變位傾斜、下部結構被撞擊損害等		
分數總計			100			

耐洪能力初步評估表共有 16 個項目，其中與河川環境有關的項目有七項，配分佔四十分；與橋梁配置有關的項目有九項，配分佔六十分。評估表主要以民國八十七年七月交通部科技顧問室委託研究『建立公路橋梁安全檢測評估子系統軟體研究計畫』中提出之『公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)』為藍本，進一步加以增刪而得。各項目之評估內容說明如下[7]，評估者可據此了解評估要點所在，不致因不同的人評估而有差異極大的結果：

1.主河道變遷

河川之河道，事實上是隨時在變遷的。只是有的河川變遷大，有的變遷小。同一條河流，有些河段變遷大，其他河段變遷小。選擇橋址時，原則上要選在河道穩定的處所，惟諸多其他因素之併合考量，橋址附近河道變遷仍勢所難免。譬如河川彎道的頂點，最容易受到河水的沖蝕，支流併入主河川的附近，也是河道不夠穩定之處。河道之變遷，往往是由歷次洪水逐漸累積而成的，如有以往詳實的記錄，不難判定橋址主河道變遷的嚴重性。主河道一經變遷，有可能高灘地變成深槽區，致使橋墩基礎可能嚴重裸露而造成危險。實際評估時可參考下列資訊：

- (1)嚴重變遷：主河道在五年內如有變遷超過一橋孔，或每次洪水過後主河道之變遷超過半橋孔者。
- (2)輕微變遷：主河道雖有變遷，但沒有上述那麼嚴重者。
- (3)無：主河道無明顯變遷。

2.河川整治辦理情形

河川經過整治，河道就比較穩定，橋梁也較不會受到沖刷的威脅。譬如在彎道上游處設置丁壩，就可避免流速高的河水沖蝕彎道，橋台或其附近的橋墩就可降低沖刷之危險。

3.河床垂直向長期沖刷潛能

河床垂直向長期沖刷，就是所謂一般沖刷(general scour)。譬如高

屏大橋附近，自 1975 年至 1995 年的 20 年間，河床降低約八公尺。影響一般沖刷的因素甚多，與河川特性、水文、河床地質均有關係，但只要橋址過去一直有河床高程之測繪，不難了解其垂直向長期沖刷潛能之嚴重與否。

4.鄰近有無採砂

採砂為造成台灣地區河床降低及主河道改變之重要影響因素。雖然部分河川或河段目前仍然允許在橋梁上下游 1000 公尺以上範圍可以採砂，但資料顯示如此之距離採砂仍會造成河床之降低。

5.上游攔河堰

如橋梁之上游建有攔河堰，將會阻攔河流中之輸砂，致使橋梁附近泥砂補充不足而往下刷深。

6.下游攔河堰

如橋梁之下游建有攔河堰，相反地泥砂會在橋梁附近淤積，對防止沖刷有利。

7.橋基保護工現況

台灣地區由於河川易於沖刷，因此重要橋梁如有基礎裸露情形，歷年來都會進行橋基保護工的施作，如拋石、蛇籠等。如果橋基保護工現況良好，則在下一場洪水中或許可發揮作用，使河床不會往下刷深，但如果其狀況不良，則極易在下一場洪水中被沖毀，連帶使其下河床往下刷深一段深度，危及橋梁之安全。惟如河床無需保護，譬如河床質為堅硬的岩盤，就不應在此項目中得分，所以權重要填 0。

8.橋墩型式

橋墩附近洪水時造成之局部沖刷，通常上游側較深，而使得群樁或沉箱承载力不足並非全面發生。對垂直行車向為多柱或壁式橋墩者，其基礎沿垂直行車向之長度較大，靜不定度較高，穩定性就會好些。

9.基礎剩餘長度與原有長度之比值

基樁如果目前裸露的程度已很嚴重，其剩餘長度與原有長度之比值只剩 0.6，極可能在下一次洪水中再進一步刷深而造成不穩定。沉箱基礎之穩定性依靠底面承載力的程度較重，所以其剩餘長度與原有長度之比值達 0.4 時才須視為嚴重。基礎剩餘長度尚未達此程度前，其權重則依線性內差計算之。至於直接基礎，如置於卵礫石層，極有可能在下次洪水中沖毀，但如深入岩盤，應不致在少數幾次洪水中因岩盤沖蝕而受損。

10.橋墩等值寬度

根據 Melville 的局部沖刷公式，當水位較高的情形下，局部沖刷深度以 2.4 倍的橋墩寬度為上限。但當橋梁基礎已裸露時，橋墩的寬度與基礎的寬度不同，需以橋墩等值寬度取帶橋墩寬度來計算。計算橋墩等值寬度時，有點加權平均的意味，可按 Melville 建議的公式計算。如果說計算出來的橋墩等值寬度 b_{eff} 已達 8.0m 時，則洪水時產生的局部沖刷深度就甚為可觀，因此權重取為 1.0；如橋墩等值寬度 b_{eff} 僅為 2.0m，則尚屬輕微，權重取為 0，至於其間之變化則以線性內差處理之。

11.橋墩方向與水流方向夾角

橋墩方向與水流方向如不平行，則會增加橋墩面寬，而使局部沖刷深度增加。大部份局部沖刷公式均以一修正係數 $K_\theta = [(l/b)\sin\theta + \cos\theta]^{0.65}$ 計算此效應，其中 θ 為橋墩方向與水流方向夾角， l 為橋墩沿垂直行車方向深度。如基礎已經裸露，式中 b 應以橋墩等值寬度 b_{eff} 取代。 K_θ 如已超過 2.0，權重取 1.0；如小於 2.0，則線性遞減之。

12.阻水面積比 R_A (%)

阻水面積比 R_A (%) 為橋墩構造在計畫洪水位以下之檔水面積佔河道斷面積之百分比，其值越大，束縮沖刷(contraction scour)就較嚴重。

13.梁底高程

橋梁上部結構底部應在計畫洪水位或堤頂高度之上，且應有足夠之出水高度，以防止壅水、水浪與漂流物撞擊或頂住上部結構的可能性。上部結構遭撞擊或頂住，承受的水平力頗大，自然影響橋梁的穩定與安全性。

14.支承狀況與防落長度

基礎結構如因沖刷過深引發承载力不足而產生變位時，支承可能會承受額外的力量，若支承狀況不良，可能發生破壞致使位移加大而有造成落橋之可能。如果防落長度又不足，落橋的可能性就會增加。

15.橋墩形狀

橋墩形狀越流線型，局部沖刷深度就較淺，而作用在橋體上之水流力較小，對基礎之穩定與安全性有幫助。

16.其他影響耐洪能力之異常現象

除上述 15 個項目外，其他如尚有影響耐洪能力之異常現象時，可以在本項目中計分。例如橋墩與基礎已有變位傾斜，或下部結構已有受撞而產生損害者。

橋梁經初步評估表評定，其危險度評分超過 50 分者為沖刷潛勢嚴重之橋梁，該橋梁應進行耐洪能力補強。補強方法則包括河川、橋基之保護工、橋梁之結構性補強與監測。實際補強宜經詳細分析設計，取上述方法中的一種或多種合併補強之。

4.2.1.2 水利署水位高程監測

經濟部水利署目前在全國的四個區域(北、中、南、東)，34 條重要溪流，設置共有 122 個水位測站，水位高程監測值即時的發佈於「水災防救作業支援系統」網站上(<http://fhic.wra.gov.tw/html/center.htm>)。本研究擬以資料交換平台的網路資料交換技術將水位監測值擷取至本

系統之資料庫，將此資料匯入 GIS 地理資訊系統中，將河川溪流與橋梁的地理位置加以交叉比對，能夠即時動態的掌握各河川溪流之水位以及所有跨越該河川溪流的橋梁是否有水位過高之異常情形，橋梁水位超過警戒水位值時系統將會立刻發出警告訊息，橋梁管理單位就可以立即派遣工程人員至該橋現場觀察實際情形，並做出必要之措施。圖 4-17、圖 4-18 為經濟部水利署「水災防救作業支援系統」網站及水位高程監測畫面。



圖 4-17 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」 [17]



圖 4-18 水災防救作業支援系統水位監測查詢 [17]

4.2.2 橋梁沖刷災害緊急應變

在 4.2.1 節中介紹了橋梁沖刷災害預防階段流程及工作內容，其中水位高程監測在川水位達警戒值時，系統將會對所有跨越該河川之橋梁發出警告訊息，此時就進入了「災害緊急應變」階段。在此階段中首先橋梁管理單位得到本系統所發出的警告訊息後，須立即派遣工程人員至危險橋梁現場進行現地觀察。在目前國內橋梁封橋措施最直接的判斷指標就是橋面版下水位面與橋面版之距離是否小於 1.5m，圖 4-19 為示意圖。當封橋水位小於 1.5m 時應實施封橋，禁止車輛人員通行，若封橋水位尚大於 1.5m 時應進行更為詳細的封橋作業應變流程[18]來研判是否實施封橋或是交通管制等措施。圖 4-20 為颱風期間封橋作業應變流程。

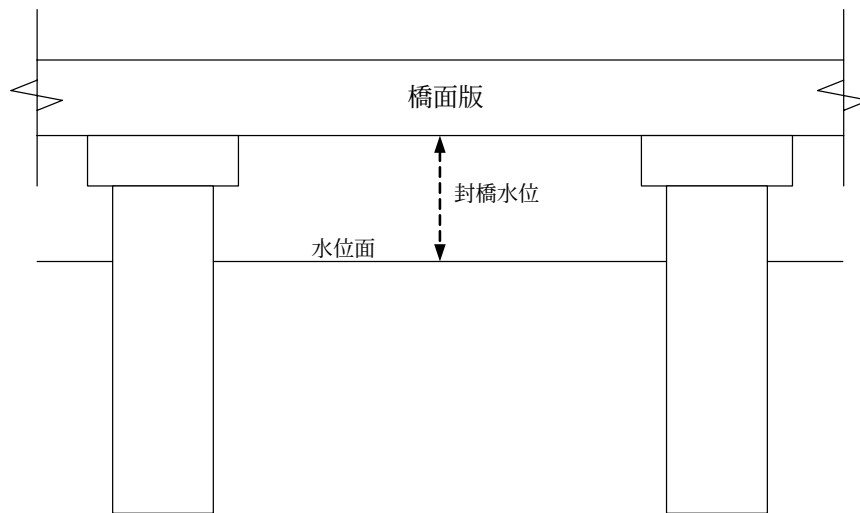


圖 4-19 封橋水位示意圖

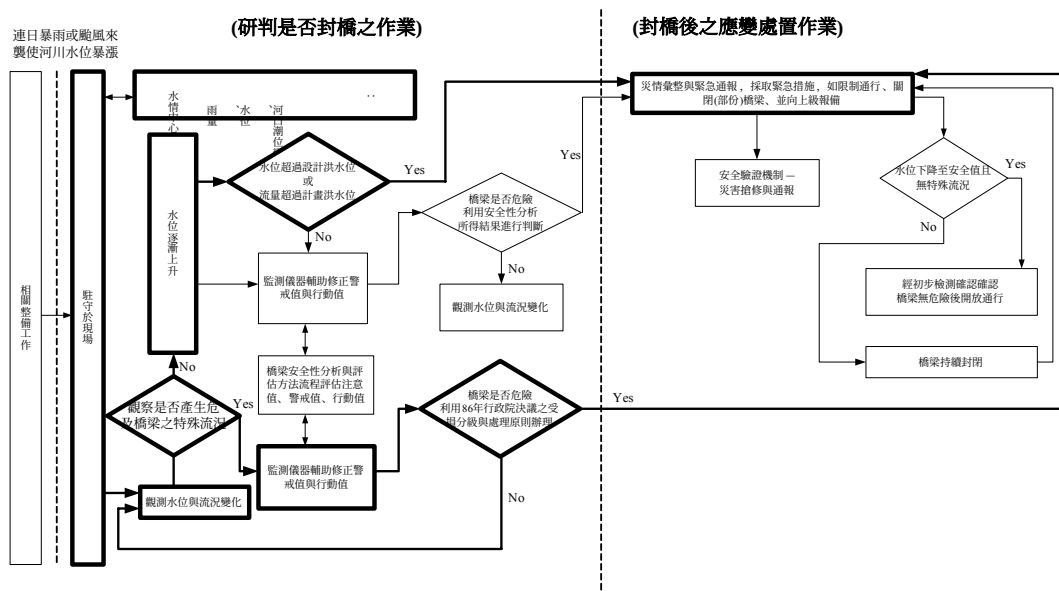


圖 4-20 颱洪期間封橋作業應變流程 [18]

颱洪期間封橋作業應變流程可概分為兩大部份，前半段為研判是否封橋，後半段為封橋後之應變處置作業。由於封橋後橋梁要再開放通行必須經過許多安全性的檢測如重錘測深、觀察橋墩冲刷情形、觀測河水流速是否降低、橋基河床回淤，有時還有其他許多的因素(政治)必須考量，因此本研究的範圍僅達封橋為止，封橋後的應變及開放通

行則不在研究範圍內。研判是否封橋之作業需說明的重點如下[18]：

- (1)駐守現場時需持續注意本系統所提供之溪流水位高程變化。
- (2)持續觀測水位變化，水位上升期間需隨時注意是否產生危及橋梁的特殊流況，若產生特殊流況，則以 86 年行政院所頒訂之依據表 4-16 為準。
- (3)水位達到設計流量(計畫洪水位)所對應之水位則實施封橋。(計畫洪水位可由 TBMS 資料交換取得)。
- (4)採取限制通行或關閉(部份)橋梁後，應將災情及處理情形向該橋梁管理單位回報。

表 4-16 橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表(利用民國 86 年行政院決議之受損分級與處理原則辦理) [18]

橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表		日期	
路線與橋梁名稱			
管理單位			
說明			
受損分級	橋梁受損情形	是否發生(勾選)	
極嚴重	橋梁有落橋、崩塌情形。		
	橋梁構造有顯著傾斜、沈陷、位移情形。		
	橋台或橋墩擴展基礎(或沉箱)已被洪水掏空大半。		
	橋台或橋墩樁基礎遭流木或土石流衝斷，有造成橋梁失去穩定、危及通行安全之虞。		
潛在極嚴重	損害情形界於極嚴重與嚴重間者。		
嚴重	橋台或橋墩擴展基礎已被洪水沖刷外露。		
	橋台或橋墩擴展基礎(或沉箱)被洪水沖刷裸露深度超過設計容許範圍。		
	橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝斷，但未立即危害通行安全。		
	橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝擊造成損壞，但未立即危害通行安全。		
	上部結構主構件(主梁)已腐蝕剝落或發生超過容許之結構裂縫。		
	橋面板混凝土產生格網狀裂縫，且出現白華及銹水或保護層剝落。		
潛在嚴重	損害情形界於嚴重與輕微間者		
輕微	橋梁雖有受損，尚不致影響通行安全		
附註： 極嚴重：橋梁發生崩塌、重大變形或損傷顯著，而導致結構物功能降低。受損橋梁經檢查有上述之情形，為避免影響通行安全，建議完全禁止通行，俟補強、補修完成或拆除重建後，再行開放通行。 嚴重：橋梁損傷顯著，且有持續擴大跡象，其功能可能有降低之虞。受損橋梁經檢查上述情形，為避免影響通行安全，建議須封閉部份車道、車速、車流量，待損壞部份補強補修後，再解除管制；如因考量交通需要，而未予管制，但應隨時注意橋梁狀況，並儘速完成補強、修補。 輕微：橋梁雖有受損，尚不致影響通行安全，可不須管制，但應儘速予以修復。			

*依 1997.3.27 行政院「繼續研商保護橋基措施及面臨之各種問題解決方案」會議決議同意辦理之橋梁分級定義彙整編成。

4.2.3 橋梁沖刷災害應變所需交換資料

1.重要河川溪流水位高程監測值

在本系統中為了能夠即時動態的掌握橋梁所在河川溪流的水位高程，本研究擬與經濟部水利署「水災防救作業支援系統」(網頁畫面如圖 4-17、圖 4-18)做資料交換，以得到重要河川溪流的即時水位高程。目前「水災防救作業支援系統」所提供之水位測站範圍共有四區(北、中、南、東)，計 34 條溪流，122 個測站。詳列如表 4-17。

表 4-17 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」水位測站列表 [17]

區域	溪流	水位測站
北區	北海岸、淡水河、桃園沿海、頭前溪、竹南沿海、後龍溪、南澳沿海、蘭陽溪、頭城沿海	石門後池、新海大橋、入口堰、屈尺、中正橋、五堵、寶橋、台北橋、獅頭橋、土地公鼻、三鶯橋、三峽、橫溪、秀朗、介壽橋、南崁溪橋、竹林大橋、經國橋、新埔、上坪、內灣、關西、平安橋、永興橋、打鹿坑、北勢大橋、彼岸橋、中平、五湖、南澳橋、南澳圳、澳尾橋、希能埔、蘭陽大橋、興蘭橋、中山橋、牛鬥、家源橋
中區	大安溪、大甲溪、烏溪、彰化沿海、濁水溪	桶頭、玉峰橋、彰雲橋、自強大橋、水里、內茅埔、永興橋、溪洲大橋
南區	北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪、高雄沿海、高屏溪、東港溪、林邊溪、南屏東、澎湖地區	溪口、土庫大橋、北港、大湖口溪橋、灣內橋、蒜頭、牛稠溪橋、華興橋、軍輝橋、義竹、常盤橋、觸口、八掌溪橋、青葉橋、新營、麻善大橋、左鎮、山上、玉田、新中、新市、南雄橋、崇德橋、前洲橋、杉林大橋、荖農、里嶺大橋、萬大大橋、六龜、大津橋、三地門、阿其巴橋、楠峰橋、潮洲、新埤、石門橋
東區	太魯閣、花蓮溪、豐濱沿海、秀姑巒溪、海岸山脈東側、卑南溪、南台東	仁壽橋、平林、萬里溪橋、馬鞍溪橋、花蓮大橋、箭瑛大橋、玉里大橋、立山、瑞穗大橋、馬遠橋、卓樂橋、崙天大橋、新武呂、台東大橋、大崙、延平、瑞源、利嘉、知本

2. 橋梁之計畫洪水位

在研判是否封橋作業時需要橋梁的計畫洪水位作為是否實施封橋的參考指標之一。橋梁之計畫洪水位值可自 TBMS 中以資料交換方式取得。(圖 4-21)

The screenshot shows the 'TBMS Bridge Basic Information' form. The left sidebar contains a tree view with the following items: 'Add Work Item', 'Basic Information', 'Bridge Location', 'Bridge Section', 'Bridge Design', 'Bridge Construction', 'Bridge Maintenance', 'Bridge Inspection', 'Bridge Evaluation', 'Bridge Management', 'Bridge Safety', 'Bridge Environment', 'Bridge History', 'Bridge Data', 'Bridge Report', 'Bridge Query', 'Bridge Print', 'Bridge Export', 'Bridge Import', 'Bridge Backup', 'Bridge Restore', 'Bridge Upgrade', 'Bridge Patch', 'Bridge Config', 'Bridge Log', 'Bridge Help'. The main area contains various input fields for bridge data. The 'Plan Flood Level' field is circled in red.

Field Name	Field Name	Field Name	Field Name
基本資料模組	最大淨寬	最小淨寬	最高橋墩高度
資料群組	橋上淨高	橋下淨高	總橋孔數
資料關係圖查詢	最大跨距	其他跨距	
資料維護查詢	橋頭GPS緯度	橋尾GPS緯度	橋尾GPS經度
輸運資料模組	橋墩型式	橋墩材質	橋墩基礎型式
維修記錄模組	主梁材質	橋台型式	橋台基礎型式
統計分析模組	伸縮縫	震害型式	支承型式
成本估算模組			
系統參數設定	防淤壅長度	地表加隆度	計畫洪水位
地理資訊模組	計畫壅水高程	計畫河床高程	地圖類型
整合性決策模組	橋基保護工法		

圖 4-21 TBMS 橋梁基本資料—計畫洪水位 [19]

橋梁沖刷災害應變所須進行交換資料的對象如所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-19 至表 4-21。

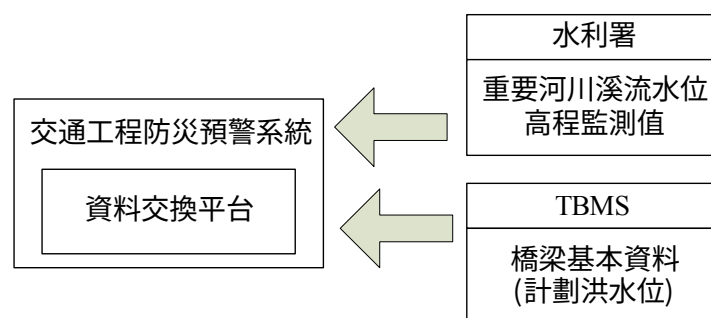


圖 4-22 橋梁沖刷災害發生時系統所需交換資料及對象

4.3 橋梁土石流災害應變

行政院農業委員會水土保持局標示出全省共有 1420 條土石流潛勢溪流，分佈於 19 縣市、159 鄉鎮、625 村里，並且建置為 GIS 圖層(民國 92 年 12 月調查建檔完成)。在颱風或豪雨來臨時，水保局以中央氣象局雨量預測及各地所量測得之雨量累積值為依據，自己標訂之 1420 條土石流潛勢溪流中再標示出可能爆發土石流之溪流，並發佈「土石流潛勢溪流紅色警戒清冊」於水保局「土石流防災應變系統」網站中發佈。橋梁土石流災害應變流程如圖 4-23 所示。

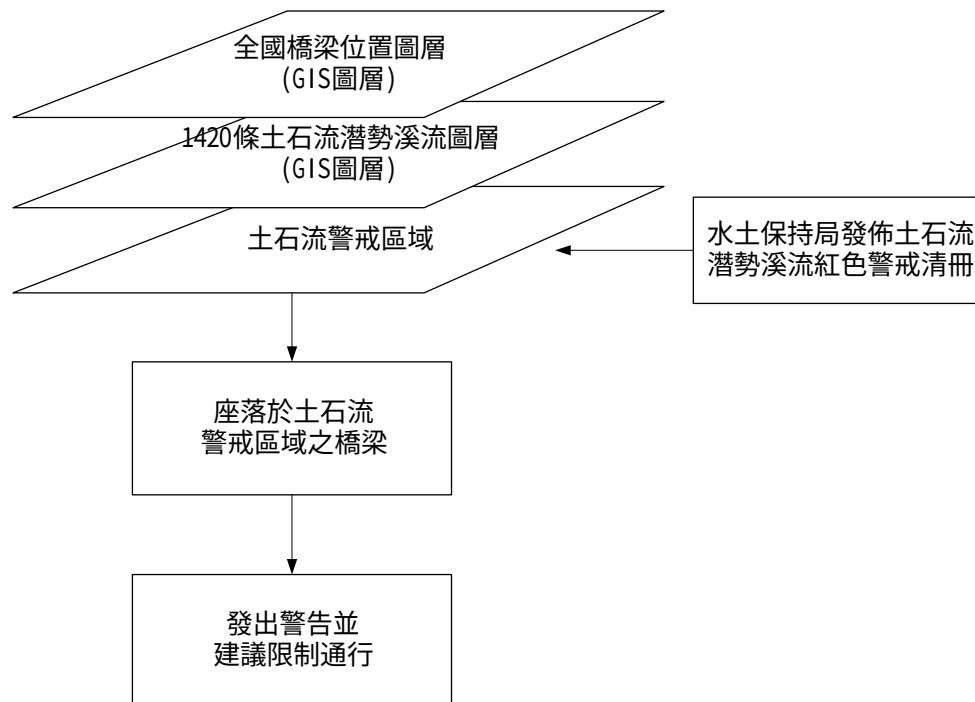


圖 4-23 橋梁土石流災害應變流程

本研究目前已取得全國橋梁位置圖層(交通部運輸研究所提供，GIS 圖層)(圖 4-24)，以及土石流潛勢溪流圖(水土保持局提供，GIS 圖層)(圖 4-25)。將兩圖層套疊後可比對分析出哪些橋梁是位於土石流潛勢區。而在水保局發佈土石流潛勢溪流紅色警戒清冊(圖 4-26)時，本系

統可以資料交換平台的網路資料交換技術將土石流潛勢溪流紅色警戒清冊擷取至本系統的資料庫中，並且立刻與所有座落於土石流潛勢區的橋梁進行比對，進一步標示出座落於土石流紅色警戒區域之橋梁，發出警訊，橋梁管理單位可立即進行封橋、交通管制等措施。

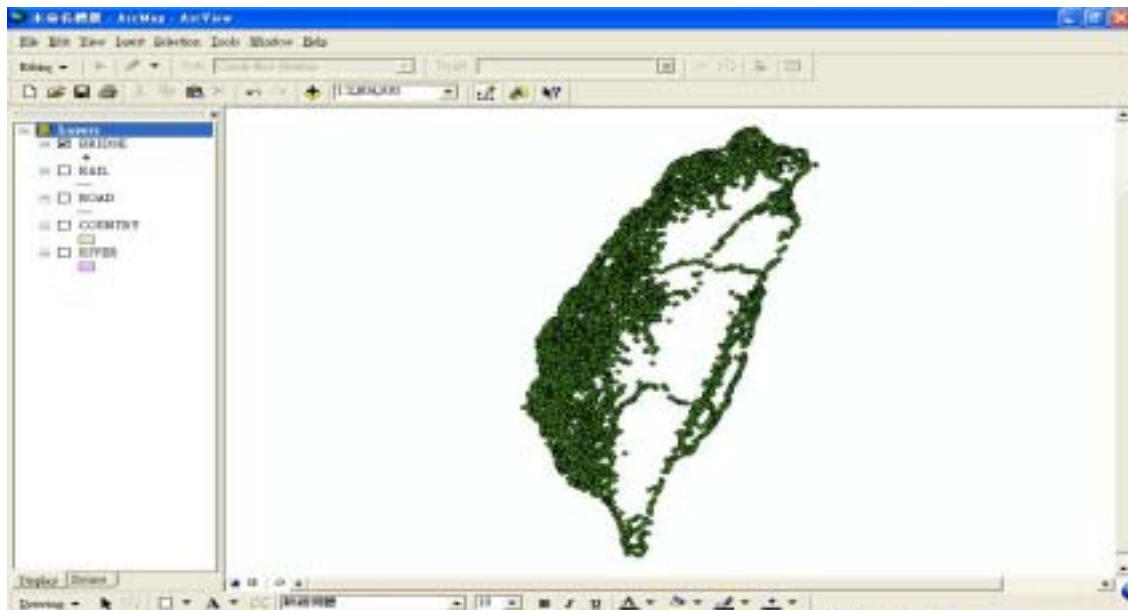


圖 4-24 全國橋梁位置圖層

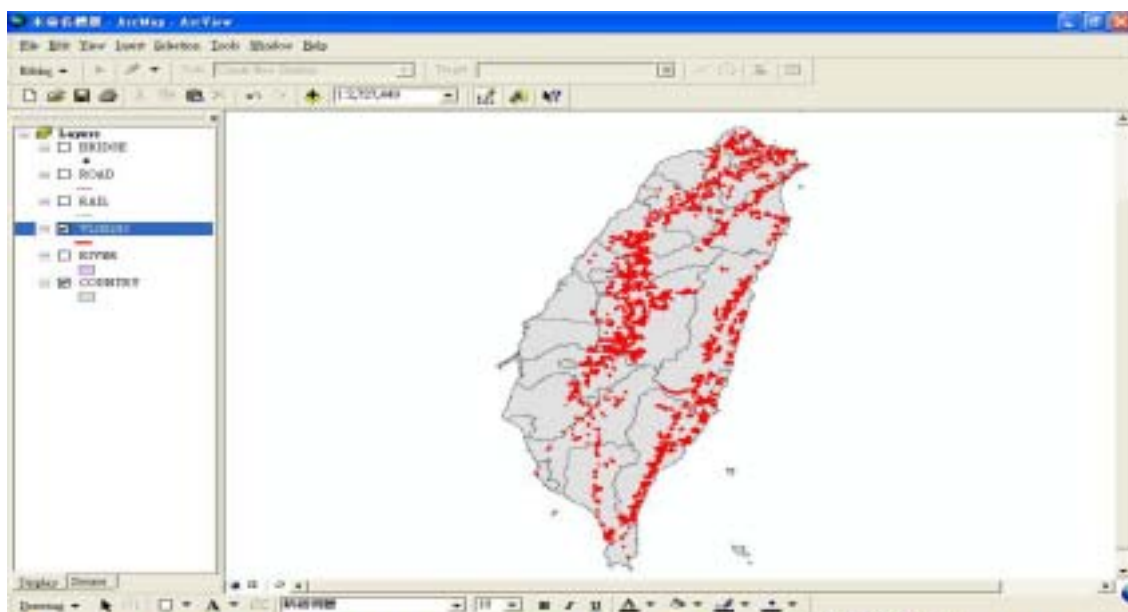


圖 4-25 土石流潛勢溪流圖層

縣市	鄉鎮	村里	潛勢溪流編號	合計
台東縣	大武壠	大武村	台東056、台東057、台東058	3
		大武村	台東062	1
		大武村	台東059、台東060、台東061、台東A226	4
		大武村	台東063、台東064、台東065、台東A227、台東A128、台東A129、台東A130、台東A131	8
		南興村	台東066、台東A231、台東A133	3
	達仁鄉	土庫村	台東062、台東063、台東064、台東065	4
		台東村	台東061	1
台東縣	大武壠	大武村	台東A037	1
	五峰鄉	豐里村	台東A033	1
	白河鎮	大林里	台東A003、台東A004、台東A005	3
		六溪里	台東A003	1
		仙草里	台東001、台東A006	2
		麟蹄里	台東A007、台東A008、台東A009、台東A011	4
	東山鄉	南興村	台東A017、台東A022、台東A023、台東A024、台東A025、台東A026	6
	萬化鄉	玉山村	台東002、台東A006、台東A007、台東A008	4
		麟蹄村	台東A034、台東A035	2
	麟蹄鄉	忠誠村	台東A039、台東A031	2
		麟蹄村	台東A033、台東A029	2
		麟蹄村	台東A032	1
	麟蹄鄉	麟蹄村	台東A039	1
南投縣	中寮鄉	和興村	南投A072、南投A073	2
		和興村	南投A073、南投A071	2
		和興村	南投A078	1
	仁愛鄉	五峰村	南投018、南投019、南投A032、南投A106	4
		五峰村	南投011、南投019、南投A034	3
		五峰村	南投011、南投014	2
		五峰村	南投000、南投001、南投002、南投003、南投004	5

圖 4-26 水土保持局發佈之土石流潛勢溪流紅色警戒清冊 [20]

4.3.1 橋梁土石流災害應變所需交換資料

在土石流災害應變中所需要交換的資料主要為水保局所發佈的土石流潛勢溪流紅色警戒清冊中的所有警戒潛勢溪流的編號。將紅色警戒溪流的編號和本系統資料庫中原有的 1420 條潛勢溪流編號進行比對，可在 GIS 圖層上標示出紅色警戒的溪流，再和全國橋梁圖層套疊則可找出座落於警戒區之橋梁並標示在圖層上。

橋梁土石流災害應變所須進行交換資料的對象如圖 4-27 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-19 至表 4-21。

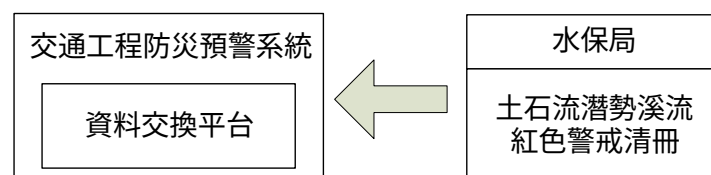


圖 4-27 橋梁土石流災害發生時系統所需交換資料及對象

4.4 橋梁老化腐蝕災害

老化腐蝕造成橋梁損壞通常須經過相當長的時間，因此老化腐蝕並不像地震、颱風沖刷、土石流所造成的橋梁損害來的劇烈和突然。橋梁的老化腐蝕問題需靠定期的橋梁檢測維護來解決。國內橋梁的檢測評估系統多採用 D.E.R.U.構件劣化評估方式(表 4-18)。所謂 D.E.R.U.評等法，就是將橋梁劣化情形，分成劣化的嚴重程度(Degree)、劣化範圍(Extend)及該種劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度(Relevancy)三部份加以評估，並由檢查員依據劣化構件維修的急迫性(Urgency)作處置對策之評估建議。

D.E.R.U.評等法將判定等級分成 1~4 級予以評等，但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時，則以 0 記錄之。對於構件維修的急迫性(U)為 1 時表示例行性維護即可；U 值等於 2 時表示 3 年內進行維護即可；U 值等於 3 時，表示 1 年內應進行維護；U 值等於 4 時，表示需緊急維修處理[13]。

在 TBMS 中的檢測資料模組就是以 D.E.R.U.建構的，並且詳細的記載了各橋梁的檢測資料。於是在本研究中就不再重覆建構檢測系統，本系統將以資料交換平台的網路資料交換技術與 TBMS 進行資料交換，擷取橋梁的 U 值，即該座橋梁需要維修的急迫性評估值。

一座橋梁的 U 值代表其必須進行維修之急迫性，亦即反應該座橋梁的體質狀況，當重大災害來臨時可能會影響其抵抗災害的能力(耐震、耐洪等)，因此當本系統在發生地震災害、颱風沖刷災害、土石流災害對危險橋梁發出警訊時，將同時提供該座橋梁的 U 值以供工程人員做為緊急調查的參考。

表 4-18 D.E.R.U 檢測系統之檢測表 [13]

公路編號： 日期： 年 月 日 天氣狀況(晴/陰/雨)：

檢測單位				橋梁名稱				橋梁編碼						
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		近端			5. 橋台基礎		近端			9. 橋面排水設施				
		遠端					遠端			整體				
2. 引道護欄		近端			6. 橋台		近端			10. 緣石及人行道				
		遠端					遠端			整體				
3. 河道		整體			7. 翼牆/擋土牆		近端			11. 欄杆及護牆				
							遠端			整體				
4. 引道護坡		近端			8. 磨擦層		整體			12. 其他				
		遠端												
橋台或橋墩	12. 橋墩保護設施	13. 橋墩基礎		14. 橋墩墩體		15. 支承/支承墊		16. 止震塊/拉桿		17. 伸縮縫				
										橋孔號				
	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R	D E R			
檢測人員意見：														
N/A：無此項目		U/I：無法檢測		R/U無法判定相關重要性										
評估等級 D		範圍 E		對橋梁重要性 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	5 年內	1 年內	緊處理維修
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
主管：								檢測人員：						

4.4.1 橋梁老化腐蝕災害所需交換資料

橋梁老化腐蝕所須交換的資料為 TBMS 中檢測資料模組內各橋梁 D.E.R.U.檢測資料的 U 值(維修急迫性)。如圖 4-28 所示。

橋梁老化腐蝕災害所須進行交換資料的對象如圖 4-29 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-19 至表 4-21。

Figure 4-28 shows the TBMS Bridge Inspection Data Entry Interface. The interface includes a sidebar with navigation menus and a main data entry area. The 'Unit' column in the table is highlighted with a red circle, indicating the 'U' value field.

圖 4-28 TBMS 橋梁檢測資料—U 值 [19]

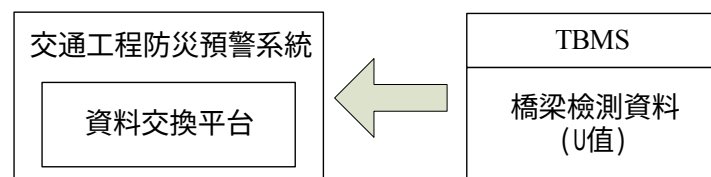


圖 4-29 橋梁老化腐蝕災害系統所需交換資料及對象

4.5 橋梁監測流程與機制

橋梁監測的目的，在監測並記錄各橋梁構件於外在環境之作用下的反應，適時提供預警，保障行車安全。本節以橋梁沖刷監測系統為例說明橋梁監測流程與機制。

台灣地型較特殊河流長度短且流速急，尤其颱風帶來豪雨造成山洪暴發，使得許多橋梁基礎受到沖刷淘空嚴重，危及橋梁安全；加上盜採超採砂石，橋墩基礎沖刷更形嚴重，與地震結合可能造成更大的災害。因橋墩或基樁所在之河床經沖刷後，基樁裸露，橋梁之下部結構勁度減低，自然週期提高(自然頻率降低)，致橋梁之耐震能力減弱。

橋梁沖刷監測系統主要目的在於透過監測儀器，隨時量測並記錄沖刷深度。橋墩基礎沖刷淘空監測系統為一個相當有效的裝置，國外有許多橋梁已相繼採用監測系統做為橋墩沖刷淘空之監測，並於現場設置警報器以做即時之危急警告，該裝置可再裝上數據傳送機將資料傳回控制室，供了解現場沖刷淘空深度的情形。

4.5.1 監測目的

橋梁沖刷監測系統之監測目的為[13]：

1. 監測河床底部基礎淘空深度

監測系統最主要的目的，在以儀器監測橋墩旁河床之沖刷淘空狀況，以此等監測資料為基礎，可規劃初步之橋梁安全監測系統，及爾後之完整橋梁安全監測系統。

2. 提供完整河床淘空深度之實際監測結果

橋梁安全監測系統可提供完整及實際之河床淘空深度記錄。所蒐集之資料經過整理分析，可獲得包括月報表及年度報表等之統計數據，及了解河川枯水期、洪水期以及土石流來襲時之河床淘空淤積狀況，以提供預警系統發佈警訊，並供橋梁主管單位參考。

3. 自動預警系統

橋梁安全監測系統配合全自動預警系統，可設定河床沖刷深度之預警值與危險值，於危險發生前可即時告知橋梁管理單位採取警告及補救措施，使通過該橋梁之行人與車輛有所警覺，也讓橋梁管理單位有更多的緩衝時間派員至現場處理，除可減少橋梁管理單位派員至現場啟動預警設施之人力外，並可降低人員的危險。

4. 全天候 24 小時監測及記錄河床深度

土石流與洪水，在尖峰流量期間，對河床產生大量的沖刷，造成橋基的淘空，待流量與流速降低後，流體所攜帶的土石逐漸沈澱，重

新淤積河床。據日本監測資料，曾有先淘深後再回淤過程，範圍達數公尺的例子。此先淘再淤之過程，對橋梁基礎影響甚大，故對河床沖刷過程加以偵測記錄，並結合自動預警系統，對橋梁安全的維護有其必要性。

5.危險區域自動偵測及顯示系統

若一座橋梁的不同點設定多套橋梁沖刷預警系統感應器，於現場設置危險區域自動顯示系統，顯示危險區域範圍，可使搶救人員於最短時間掌握狀況，以利進一步處理。

4.5.2 監測項目與內容

為完成 4.5.1 節所述橋梁沖刷監測之目的，所需工作項目及工作內容如下[4][13]：

1.相關資料蒐集與分析

系統規劃初期，應蒐集監測位置現地附近之地質資料、河川水位及水文分析、鄰近橋址之保護工作及該橋結構資料與圖說，並將所得資料進行分析研判。

2.現場踏勘

為了各種監測儀器均能正確裝置於適當位置，規劃安裝儀器設備之前，應赴現場進行詳細踏勘，並實地瞭解發生劣化之橋體損壞情形，以利規劃及監測。

3.監測儀器系統安裝

橋墩沖刷淘空監測系統，可分為表面型及埋入型兩種監測系統。安裝監測系統時必須依現況及上述兩種監測系統之施工、操作之難易度及監測結果之正確性，作一全面評估。

4.自動訊號處理系統

監測儀器所測得之現場數據，透過數據處理機傳至監測站，隨時

進行數據判讀及分析，另透過處理器將數據轉化為數位訊號，連接傳送至監測中心，當監測值超過預訂警戒值時，便發出警告訊號，以達到預警之目的。

5. 監測報表

監測結果定期提報監測數據及判讀資料，以提供儀器檢測與未來之應用。

圖 4-30 為沖刷淘空監測系統操作流程，預警分為兩階段，若沖刷已超過警戒基準時發佈第一次警戒警報，使通行車輛與鄰近居民能提高警覺，橋梁維修單位亦需儘快採取補強措施，避免沖刷情況更惡化。其次當暴雨超過立即封橋行動值時，即發佈第二次警報，並封鎖橋梁禁止人車通行，橋梁管理單位需儘快採取相關應變措施，並依需要提醒居民立刻移至安全地點避難，以維護人車安全。

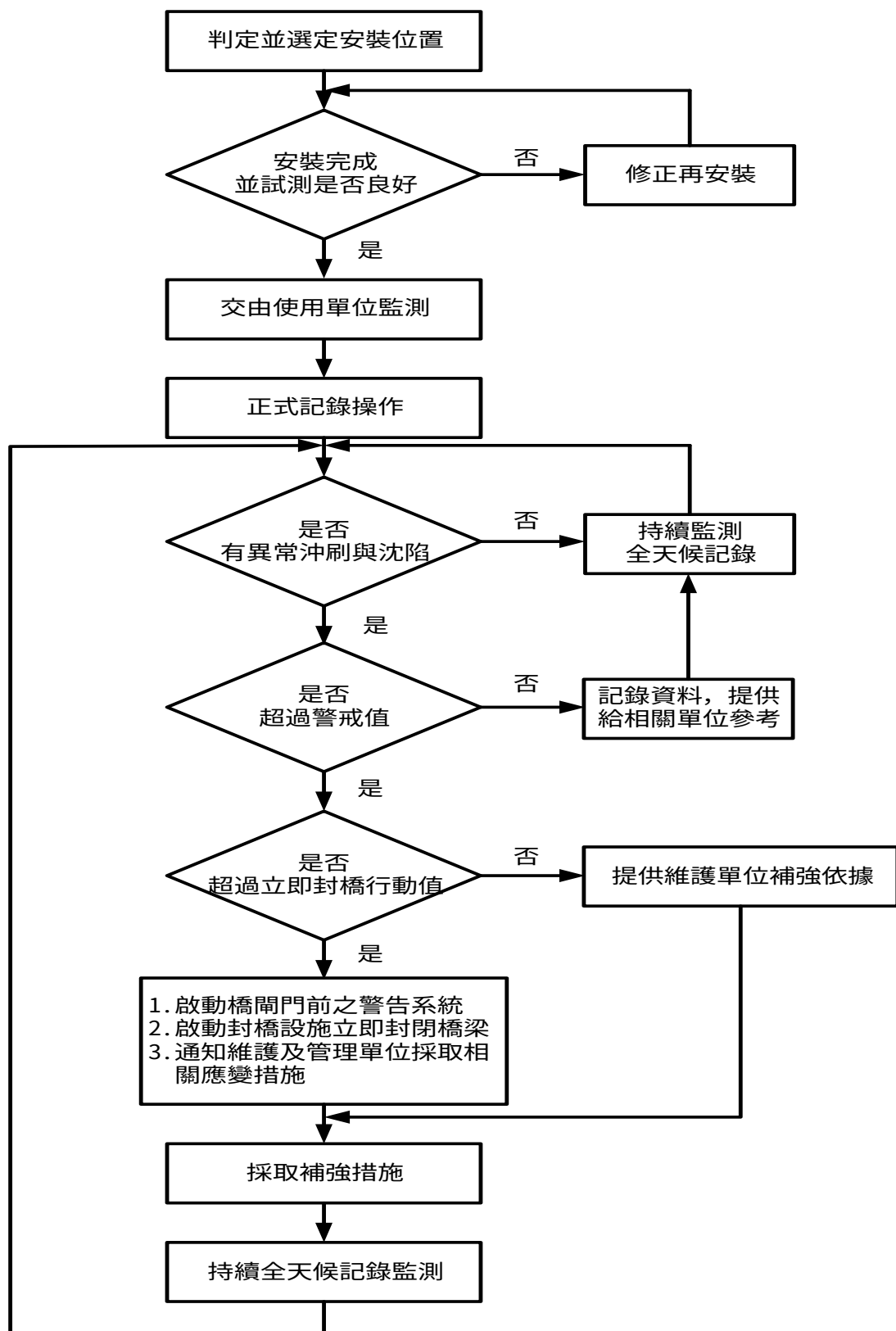


圖 4-30 沖刷淘空監測系統操作流程 [13]

4.5.3 本系統與橋梁監測系統間之資料交換

橋梁監測系統所提供的監測數據精度高、具即時性，是橋梁災害預警中不可或缺的一環。而在本案所舉行的兩次專家座談會中，多位專家學者也強調本系統應與監測系統或資訊有所結合。

本研究團隊經過多次討論後以及與國內執行橋梁監測工程經驗豐富的兩間工程顧問公司—萬鼎工程顧問公司、昭凌工程顧問公司進行討論。考量到本系統並非針對分析或判讀橋梁監測數據所設計，因此大量的監測數據是不須要交換的，但為了能達到預警的效果，系統將交換監測系統對橋梁之評估值即警戒、行動值，此為一簡單直接但有效之做法。

另外，顧問公司表示監測系統的類別很多，不同的顧問公司所採用的監測系統未必相同，資料儲存欄位格式不一致，有時甚至同一個公司在不同的監測工程中所使用的系統也不相同，因此本系統的資料交換技術要主動向監測系統交換資料的困難度相當高。最後，本研究採用顧問公司所建議的方法，當橋梁監測系統測得橋梁有警戒值或行動值出現時，監測系統主動發出 E-mail(文字格式)給交通工程防災預警系統，其中記錄的內容包括：

- (1)橋名
- (2)測得異常的時間
- (3)測得異常的監測項目
- (4)測得異常的位置
- (5)評估值(警戒、行動值)

交通工程防災預警系統收到此 E-mail 後將自動讀取其中內容，對該橋梁發出警訊並通知管理單位進行緊急處置。此方法不僅簡單直接且不失時效性。

橋梁監測所須進行交換資料的對象如圖 4-31 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-19 至表 4-21。

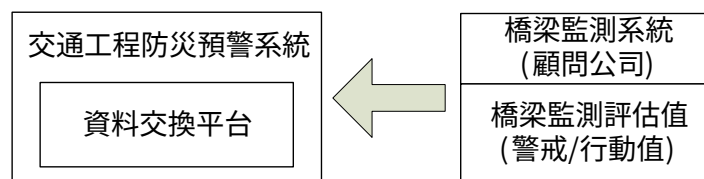


圖 4-31 橋梁監測系統所需交換資料及對象

4.6 系統所需資料及資料交換對象之彙整

彙整前述各項災害在本系統中所需要之資料及這些資料的交換對象彙整如表 4-19、表 4-20、表 4-21。

表 4-19 系統所需資料及資料交換對象彙整表(1/3)

災害類別	所需交換資料	資料交換對象						備註
		TBMS	中央氣象局	水利署	水保局	顧問公司橋梁監測系統	TELES	
地震	ID2(橋梁單一識別碼)							
	NAME(橋梁名稱)	AS						
	Class(橋梁類別)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	SOILTYPE(土壤類別)							
	LENGTH(橋梁長度)	AS						
	WIDTH(橋梁寬度)	AS						
	NUMUNITS(振動單元數)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	NUMSPANS(跨數)	AS						
	DECK_AREA(橋面版面積)	AS						
	COST(重建成本)							
	MAXSPANLEN(單跨最大跨度)	AS						
	SKEWANGLE(歪斜角)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	FT_VAL(深基礎數/總基礎數+1)							
	XI(GPS 座標 N)	AS						
	YI(GPS 座標 E)	AS						
	DESIGN_YR(設計年份)							
	DESIGN_COD(設計規範)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	COMPET_DAT(完工日期)	AS						
	LINE_CURVE(直橋或曲橋)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	GIRDER_TYP(大梁形式)	AS						
	STR_TYPE(簡支或連續)							TELES 橋梁屬性調查表調查
	FALL_TYPE(防止落橋設施種類)	AS						
	SUP_TYPE(支承形式)	AS						
	PIER_TYPE(橋柱形式)							
	BASE_TYPE(基礎形式)	AS						

資料交換方式：AS—軟體代理人(本系統之資料交換技術)，E—E-mail，DB—資料庫對資料庫(本系統之資料交換技術)

表 4-20 系統所需資料及資料交換對象彙整表(2/3)

災害類別	所需交換資料	資料交換對象						備註
		TBMS	中央氣象局	水利署	水保局	顧問公司橋梁監測系統	TELES	
地震	ABU_TYPE(橋台形式)	AS						
	SPAN_STATU(跨度配置與長度)							
	地震日期		AS					
	地震時間		AS					
	震源位置(經緯度)		AS					
	地震深度		AS					
	芮氏規模		AS					
	各地最大震度		AS					
	各測站所測得之 PGA 值		AS					
	ID(橋梁分段識別碼)						DB	
	ExceedD2(超越輕微損壞機率)						DB	
	ExceedD3(超越中度損壞機率)						DB	
	ExceedD4(超越嚴重損壞機率)						DB	
	D5(完全損壞機率)						DB	
	D4(嚴重損壞機率)						DB	
	D3(中度損壞機率)						DB	
	D2(輕微損壞機率)						DB	
	Prob_Fail(橋梁通行失敗機率)						DB	
	DmgState(損壞狀態)						DB	
	DmgRatio(修復成本與拆除重建成本值)						DB	
	Cost(拆除重建成本)						DB	
	Loss(經濟損失)						DB	
	Prob_Fail(橋梁通行失敗機率)						DB	
	DmgState(損壞狀態)						DB	

資料交換方式：AS—軟體代理人(本系統之資料交換技術)，E—E-mail，DB—資料庫對資料庫(本系統之資料交換技術)

表 4-21 系統所需資料及資料交換對象彙整表(3/3)

災害類別	所需交換資料	資料交換對象						備註
		TBMS	中央氣象局	水利署	水保局	顧問公司橋梁監測系統	TELES	
沖刷	重要河川溪流水位高程			AS				
	橋梁計畫洪水位	AS						
土石流	土石流潛勢溪流紅色警戒清冊				AS			
老化腐蝕	DERU 評估值 U	AS						
橋梁監測	橋名					E		
	測得異常之時間					E		
	測得異常之監測項目					E		
	測得異常之位置					E		
	評估值(警戒、行動值)					E		

資料交換方式：AS—軟體代理人(本系統之資料交換技術)，E—E-mail，DB—資料庫對資料庫(本系統之資料交換技術)

第五章 交通工程防災預警系統架構規劃

5.1 前言

在第四章的內容中，已確立出橋梁災害的應變流程。為維護管理各項資料，本章將介紹目前交通工程防災預警系統之架構規劃，系統之規劃與發展步驟主要包含：「系統使用需求分析」、「系統發展概念研擬」、「系統架構擬定」、「定義系統應用模式」、「選用系統開發工具」、「開發資料交換技術」及「系統功能規劃與發展」。規劃設計流程如圖 5-1 所示。

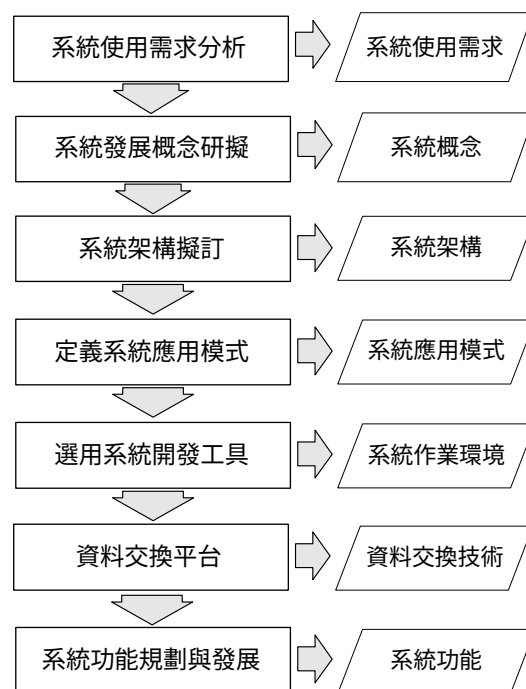


圖 5-1 規劃設計流程

5.2 系統使用需求分析

橋梁災害處理流程如圖 5-2 所示。

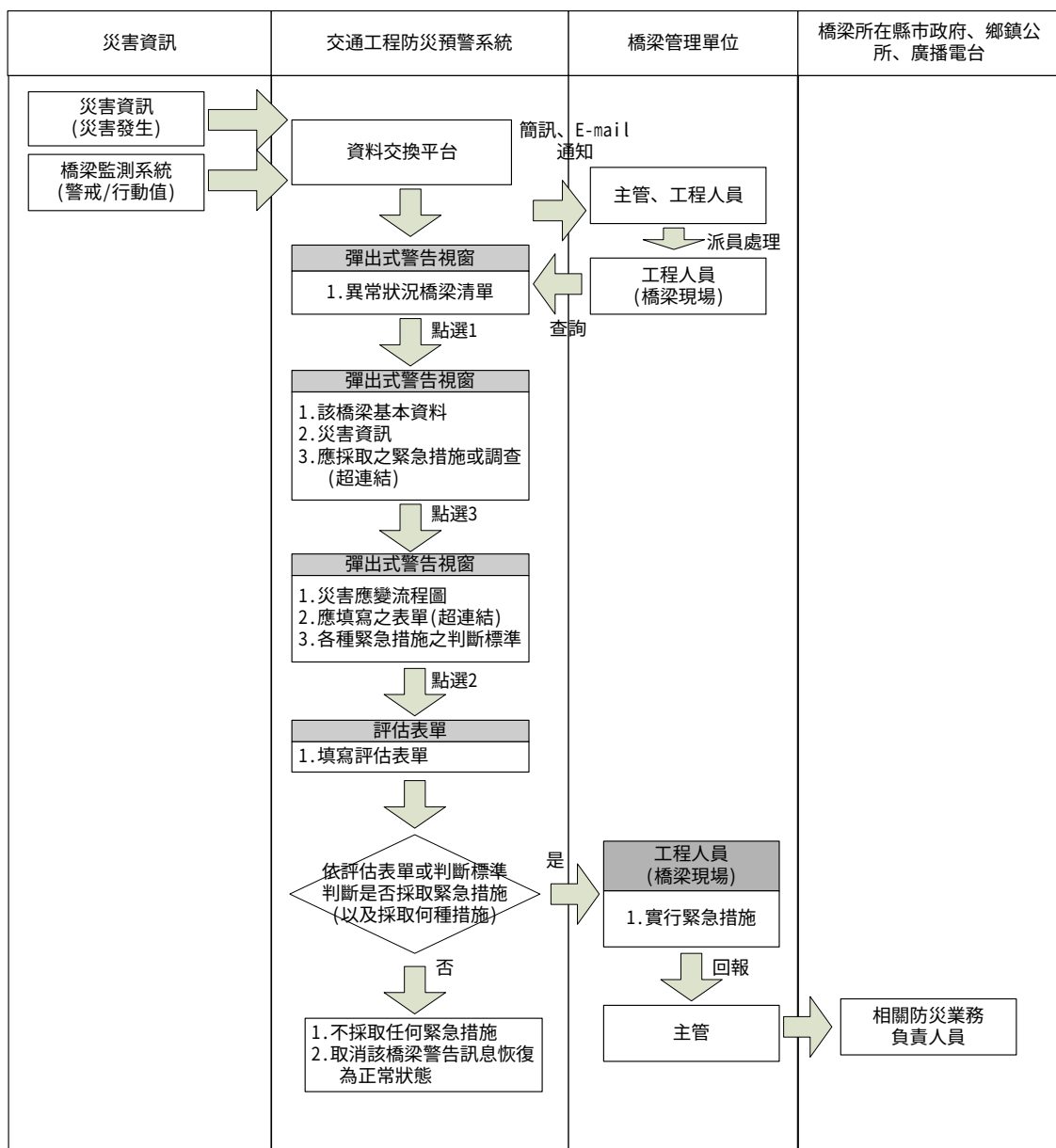


圖 5-2 橋梁災害處理流程

由橋梁災害流程圖可知系統使用之需求如下：

- (1)災害預警的啟動機制
- (2)災害資訊與橋梁資料的提供
- (3)災害應變措施及調查表單之系統性流程
- (4)自發性的通報系統

(5)跨平台使用環境

(6)友善的人機介面

5.3 系統發展概念研擬

圖 5-3 為本研究擬定之系統組成，圖中將本系統分成對話介面、資料管理、模式管理、資料交換平台等三部分。

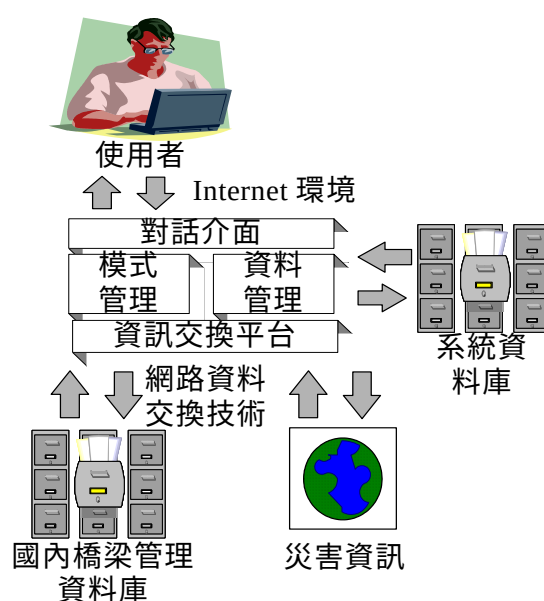


圖 5-3 系統組成

5.3.1 對話介面

「對話介面」係使用者與系統間溝通之主要管道，亦稱之為「使用者介面」(User Interface)，設計時係從使用者的角度來建構系統，以確保使用者操作時之親善性，同時有效地傳達控制指令與變數。以下分別針對「人機配合」與「設計技巧」兩部份加以說明：

1.人機配合

對話格式是系統與使用者間之溝通方式，本系統之人機介面對話格式有下列兩種：

- (1)清單對話（Menu Dialogs）：可讓使用者在一個列有所有功能的清單中選擇欲執行之功能。
- (2)輸入／輸出表對話（Input /Output Form Dialogs）：輸入表格提供使用者輸入命令與資料，輸出表格為系統所產生之回應訊息。

2.設計技巧

設計技巧的首要考量，在於系統如何傳達訊息給使用者，及接受使用者的操作指令。本研究將系統架構於伺服器（Server）上，以瀏覽器（Browser）作為對話管理之介面軟體，並使用下拉式清單(Menu)、命令鈕(Command Button)、選項鈕(Option Button)及捲軸(Scroll Bar)等工具，讓使用者在操作與執行時，淺顯易懂，因而減少使用者學習系統操作所需之時間，並降低操作指令輸入次數，提升作業效率。

5.3.2 資料管理

本系統中文字及數值等資料均是以資料庫的形態儲存，並且以關聯式資料庫（Relational DataBase）來聯結不同資料庫間的資料，然後再運用資料庫結構式查詢語言（Structured Query Language,SQL），以Select, Form, Where 等組合子句來存／取、查詢、修改、刪除及新增資料庫中的資料，進而達到資料管理的功能。

本系統之資料庫包括橋梁基本資料、災害資訊資料、破壞模式、補強技術、評估表單資料等。在資料的建構與管理方面，本研究規劃以 Microsoft SQL SERVER 2000 作為制定資料表之工具，並採用瀏覽器作為資料管理之介面軟體。

5.3.3 模式管理

本系統各個模式均以模式庫方式呈現，而且各個模式均可配合資料的改變來更新模式中的參數，使模式能應付現實狀況的改變，同時

亦可反覆執行指定模式，以確保使用者可以得到所需之決策支援，進而達到模式管理的功能。本系統之模式庫可分為以下七個部分：

1. 橋梁基本資料管理

橋梁基本資料管理部分主要提供使用者對橋梁基本資料進行管理維護的功能。

2. 破壞模式管理

本模組依據橋梁可能發生破壞模式進行管理，確認橋梁可能破壞方式與不同程度。

3. 補強技術資料管理

補強技術資料管理部分主要提供使用者對現有橋梁補強技術資料進行管理維護的功能。

4. GIS 圖層資料管理

此模組運用 ARC-GIS Server 建構線上地理資訊系統，以地理圖層方式呈現使用者所查詢之橋梁位置、狀況異常橋梁、災害資訊等之資訊。

5. 評估表單管理

評估表單管理部分主要提供使用者對災前、災時所填寫之評估表單進行管理維護的功能。

6. 災害資訊管理

此模組提供使用者對資料交換平台交換所得之災害資料進行管理維護的功能。

7. 系統維護

本模式之建立在於提供系統管理者對使用者之權限進行管控。

5.4 系統架構擬訂

系統架構如圖 5-4 所示。

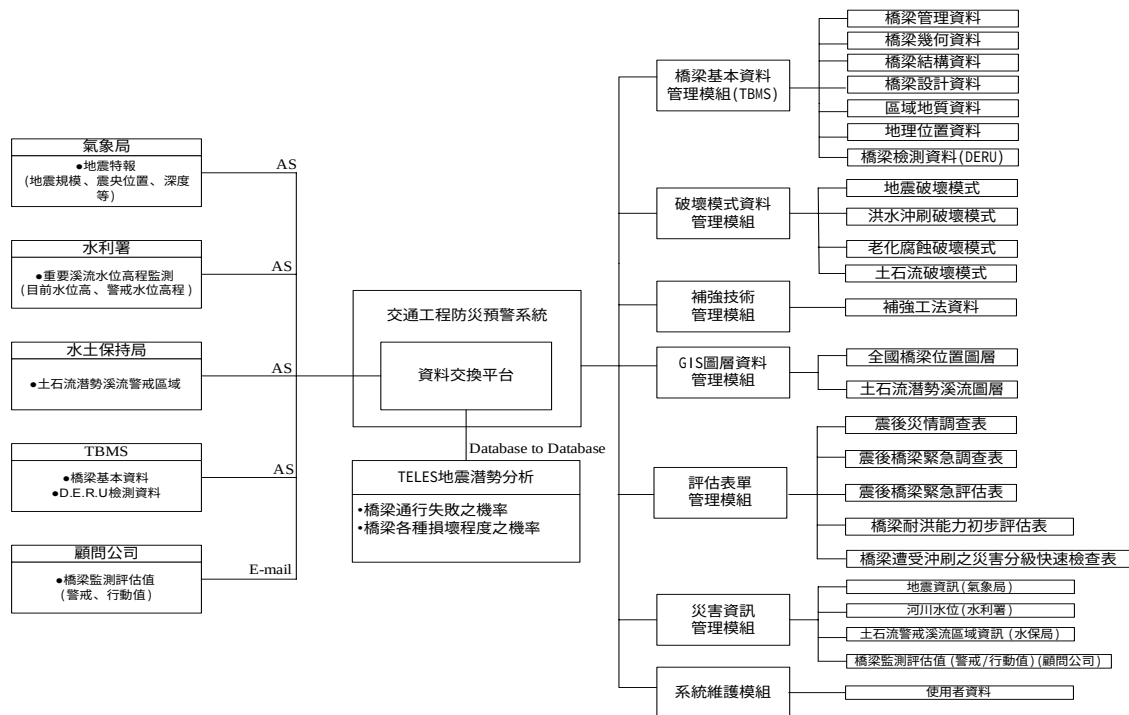


圖 5-4 系統架構

交通工程防災預警系統包括七個主要模組：

1. 橋梁基本資料管理模組

橋梁基本資料管理模組主要提供使用者對資料庫進行查詢、新增、刪除、修改等的基本功能。

2. 破壞模式資料管理模組

依據橋梁可能發生破壞模式進行管理，確認橋梁可能破壞方式與不同程度。另外可提供使用者對現有橋梁破壞圖例及判定標準圖資料進行上傳圖檔、查詢、新增、刪除、修改等功能。

3. 補強技術資料管理模組

補強技術資料管理模組主要提供使用者對現有橋梁補強技術資料進行上傳圖檔、改變評估等級或是查詢、新增、刪除等功能。

4. GIS 圖層資料管理模組

GIS 圖層資料管理模組提供使用者在圖層上查詢地理資料、橋梁資料，以及提供圖層套疊交叉比對分析功能。災害資訊亦可即時顯示在圖層上(地震規模、河川水位、土石流警戒區)，標示狀況異常之橋梁。

5. 評估表單管理模組

評估表單管理模組主要提供使用者對災前、災時所需填寫之評估表單進行列印空白表單、查詢、新增、刪除、修改等功能。

6. 災害資訊管理模組

災害資訊管理模組可提供使用者對交換平台交換所得的災害資料進行查詢、刪除等功能。

7. 系統維護模組

本模組之由系統管理者對使用者之系統權限進行各種管控之功能。

5.5 定義系統應用模式

系統應用模式如圖 5-5 所示，介紹說明本系統之資訊傳遞流程，圖中方形部份代表功能模組；六邊形部分代表輸入資訊；箭線則是代表資料傳遞之內容與流向；輸出資訊代表圖形見圖 5-5 所示。

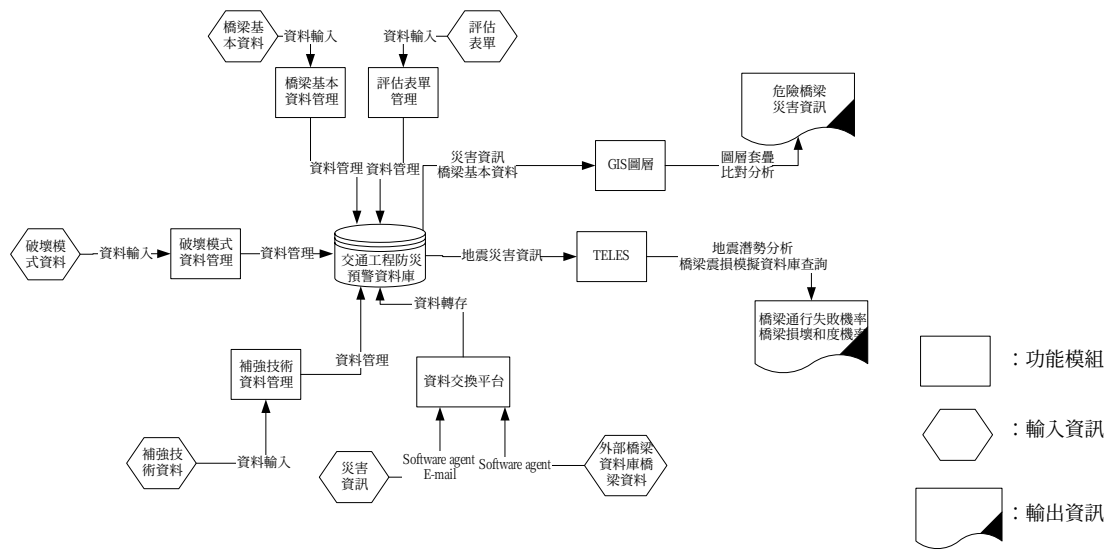


圖 5-5 系統應用模式

5.6 系統開發工具與環境

「交通工程防災預警系統」所規劃之作業環境如圖 5-6 所示，而所需之軟硬體設備如下：

- (1)PC586 以上之個人電腦（具備 128MB 以上記憶體）
- (2)Microsoft Windows XP Professional 中文視窗軟體
- (3)Microsoft SQL Server 應用軟體
- (4)Sun JavaServer Pages
- (5)Java 2 SDK
- (6)ESRI Arc-GIS Server

「交通工程防災預警系統」使用者所需具備之軟硬體如下：

- (1)PC586 以上之個人電腦（具備 128MB 以上記憶體及網路連線環境）
- (2)Microsoft Windows XP Professional 中文視窗軟體
- (3)Microsoft Internet Explorer 5.0 以上版本

(4)ESRI Arc-GIS

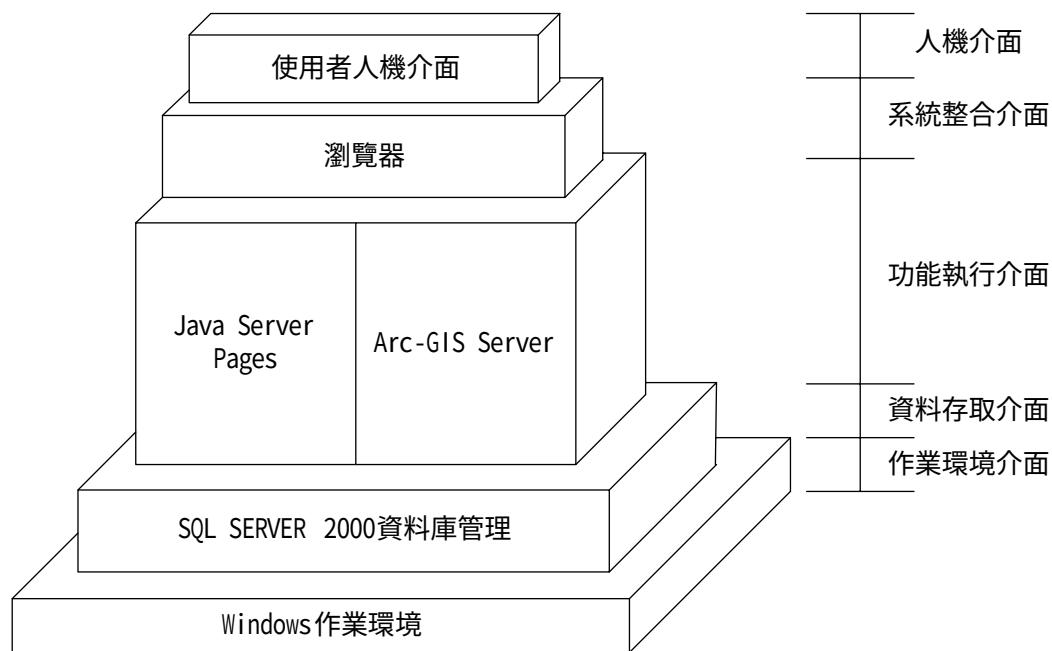


圖 5-6 系統作業環境

5.7 資料交換平台

在本系統中資料交換模式有兩種, Database to Database 資料交換模式及軟體代理人網頁資料交換模式, 如圖 5-7 所示。

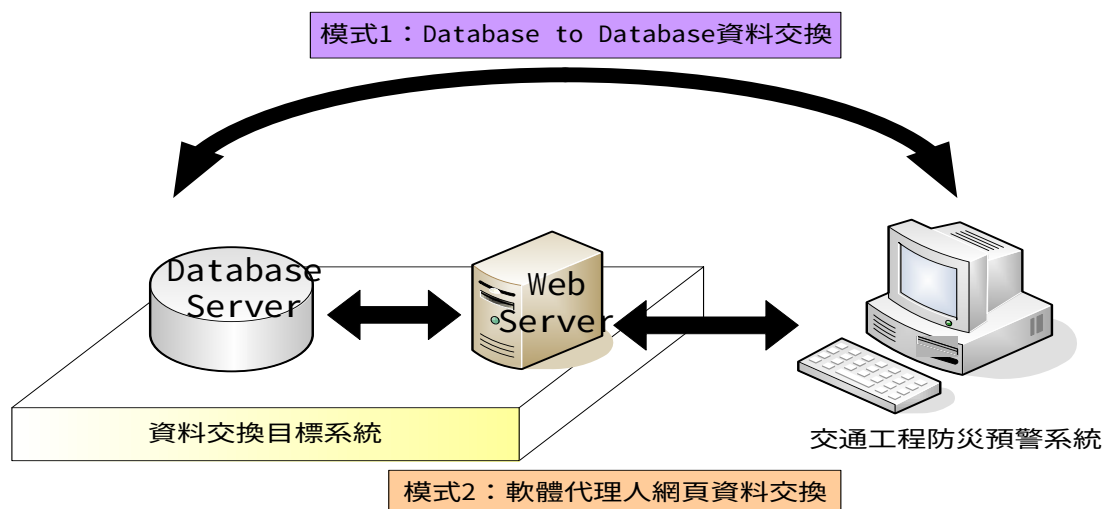


圖 5-7 資料交換模式

5.7.1 Database to Database 資料交換模式

Database to Database 資料交換模式是最簡單直接的資料交換方法，所需步驟如圖 5-8 所示。

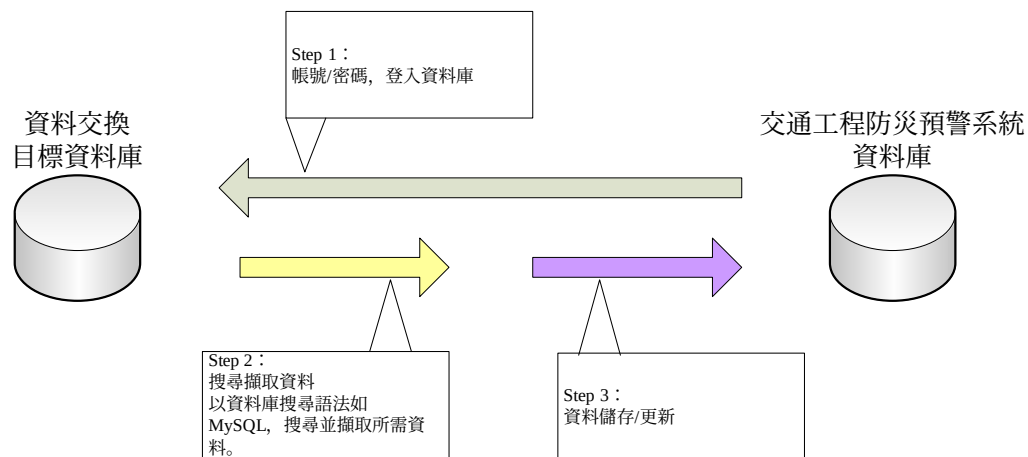


圖 5-8 Database to Database 資料交換模式

(1)Step1：帳號/密碼，登入資料庫

在此步驟中需要輸入對方資料庫的使用者帳號及密碼才能進入該資料庫進行資料存取的動作。

(2)Step2：搜尋擷取資料

進入對方資料庫後接著進行資料搜尋的動作，運用資料庫結構式查詢語言 (Structured Query Language,SQL) 以 Select, Form, Where 等組合子句來搜尋所需要交換的資料。

(3)Step3：資料儲存更新

搜尋到所需要的資料後便可以將該筆資料儲存到本系統的資料庫中或是更新資料庫中的資料。

交通工程防災預警系統與 TELES 交換地震潛勢分析的結果資料就是以 Database to Database 資料交換模式進行。

5.7.2 軟體代理人網頁資料交換模式

軟體代理人(Software Agent)為一針對網頁資料擷取而設計之資料交換程式，其功能如下：

- 1.軟體代理人能夠接受使用者的指派搜尋目標。
- 2.代理人能夠在目標網站中分析出所需要的內容為何。
- 3.代理人能夠判斷網站內容是否已存在資料庫中。
- 4.代理人能夠將新資料依照資料庫欄位自動下載更新及儲存資料。
- 5.代理人經指派後，不需人工之介入便能定期執行任務。

為了達成以上五項軟體代理人之功能，本系統之軟體代理人系統 (Agent Server)中包括四種代理人：

1.資料擷取代理人

能夠在使用者指定的目標網站中，擷取網站的內容。

2.資料過濾代理人

能夠將資料擷取代理人所擷取之內容自動分析過濾，僅留下所需的資料內容。

3.資料比對代理人

能夠比對擷取的資料與資料庫中現有的資料是否相同。

4.資料更新儲存代理人

能夠將新的資料依照資料庫欄位之設計儲存或更新資料庫中之資料。

軟體代理人網頁資料交換模式其執行步驟如圖 5-9 所示：

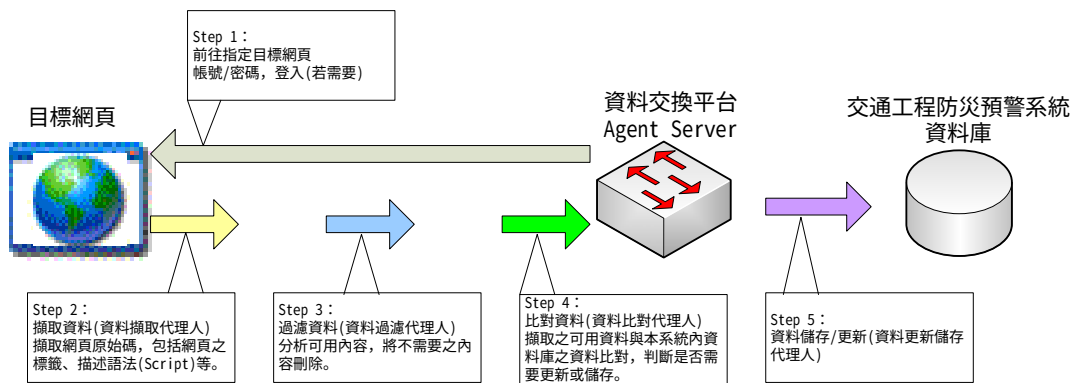


圖 5-9 軟體代理人網頁資料交換模式

(1)Step1：前往指定網頁

當軟體代理人系統(Agent Server)啟動後，會自動找到指定的網頁，如果需要使用者帳號/密碼登入，軟體代理人系統會自動輸入(使用者需在系統中設定)。

(2)Step2：擷取資料(資料擷取代理人)

找到目標網頁後資料擷取代理人便開始擷取網頁的原始碼。

(3)Step3：過濾資料(資料過濾代理人)

所謂資料過濾，顧名思義就是要將資料中需要的部分留下，不需要的部分捨棄。資料過濾代理人的工作就是將資料擷取代理人所擷取的網頁原始碼過濾，留下使用者所需要的資料，所以可以將資料過濾代理人視為一種解析器。

(4)Step4：比對資料(資料比對代理人)

資料比對代理人之工作，是將資料過濾代理人過濾出的資料與原系統中的資料做比較(資料的更新日期或編號)，判斷是否需要更新或儲存。

(5)Step5：資料更新/儲存(資料更新儲存代理人)

在經過資料比對代理人比對資料後，若需要更新，則會將資料交由資料更新儲存代理人。資料庫更新儲存代理人將會依照資料庫之欄位更新或儲存資料。

5.7.3 軟體代理人系統開發工具

隨著代理人技術的蓬勃發展，許多學術機構及軟體業者相繼發展各式代理人系統開發工具。各種代理人系統開發工具都具備著不同的特色，但是相同的是，他們幾乎全部都是用 JAVA 語言作為開發程式。表 5-1 為不同代理人開發工具之類型與開發程式。

表 5-1 各類代理開發工具類型與開發程式 [21]

工具名稱 \ 屬性	代理人類型	開發程式
Voyager	行動代理人	JAVA
JATLite	多重代理人	JAVA
JAFMAS	多重代理人	JAVA
ZEUS	多重代理人	JAVA

JAVA 程式本身具有跨平台之特性。豐富的函式庫，對於網路技術提供強大的支援，針對代理人在網路上遷移或是做資料擷取等等，都相當適合作為發展程式。本研究所建置的代理人系統，也採用 JAVA 語言作為開發程式。表 5-2 針對各代理人所引用的函式庫名稱做一整理。

表 5-2 各代理人與 JAVA 函式庫對應表 [21]

代理人名稱	函式庫名稱
資料擷取代理人	java.net.*、java.io.*、java.io.IOException
資料過濾代理人	java.net.*、java.io.*、java.io.IOException
資料比對代理人	java.sql.*
資料更新儲存代理人	java.sql.*

java.net.*、java.io.*與 java.io.IOException 函式庫對於代理人在國際網路上的連結與資料的擷取方面，提供許多的方法（method）支援；java.sql.* 則是所有關於資料庫連結、存取之工作之函式庫。在 Agent Server 方面，應用 java.awt.*、java.awt.event.*與 java.swing.*作為對事件（event）之掌握與使用者介面設計（User Interface）之工具。

5.7.4 軟體代理人系統發展模式

軟體代理人系統發展模式規劃為四個類別（class）：(1)frame、(2)startRun、(3)extract 與(4)DatabaseLink。透過四個類別之相互合作，實現軟體代理人之目標。以下針對四個類別負責之工作做說明[21]。

(1)frame

frame 類別負責掌握代理人程式之所有事件與產生跟使用者之間的溝通介面。使用者對於代理人程式之所有要求將透過此類別傳遞給代理人。

(2)startRun

startRun 類別負責啟動代理人之工作，並接受使用者所指定之執行週期進行工作。

(3)extract

extract 類別負責所有與網路連結相關之工作，資料擷取代理人與資料過濾代理人將在此類別中進行工作。

(4)DatabaseLink

DatabaseLink 類別負責所有與資料庫連結、存取有關之工作，資料比對代理人與資料更新儲存代理人將在此類別中進行工作。

圖 5-10、圖 5-11 利用統一塑模語言（UML）中的類別圖與循序圖說明代理人程式之類別關係與執行之順序等資訊。

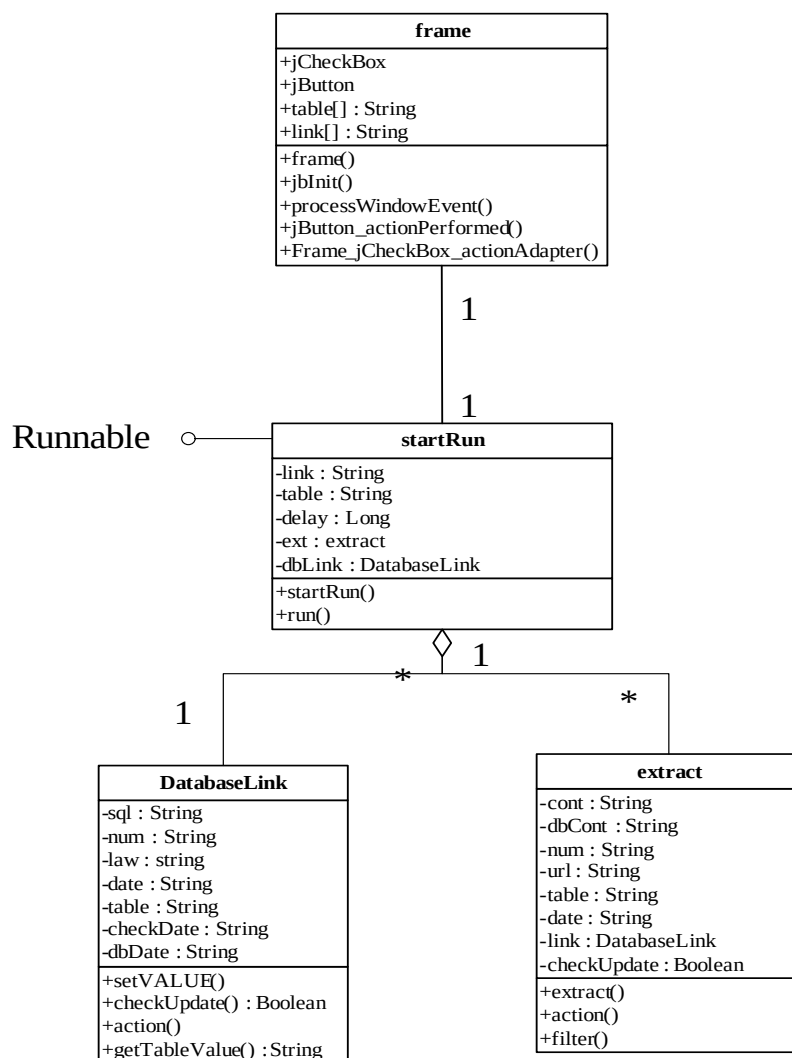


圖 5-10 軟體代理人類別圖 [21]

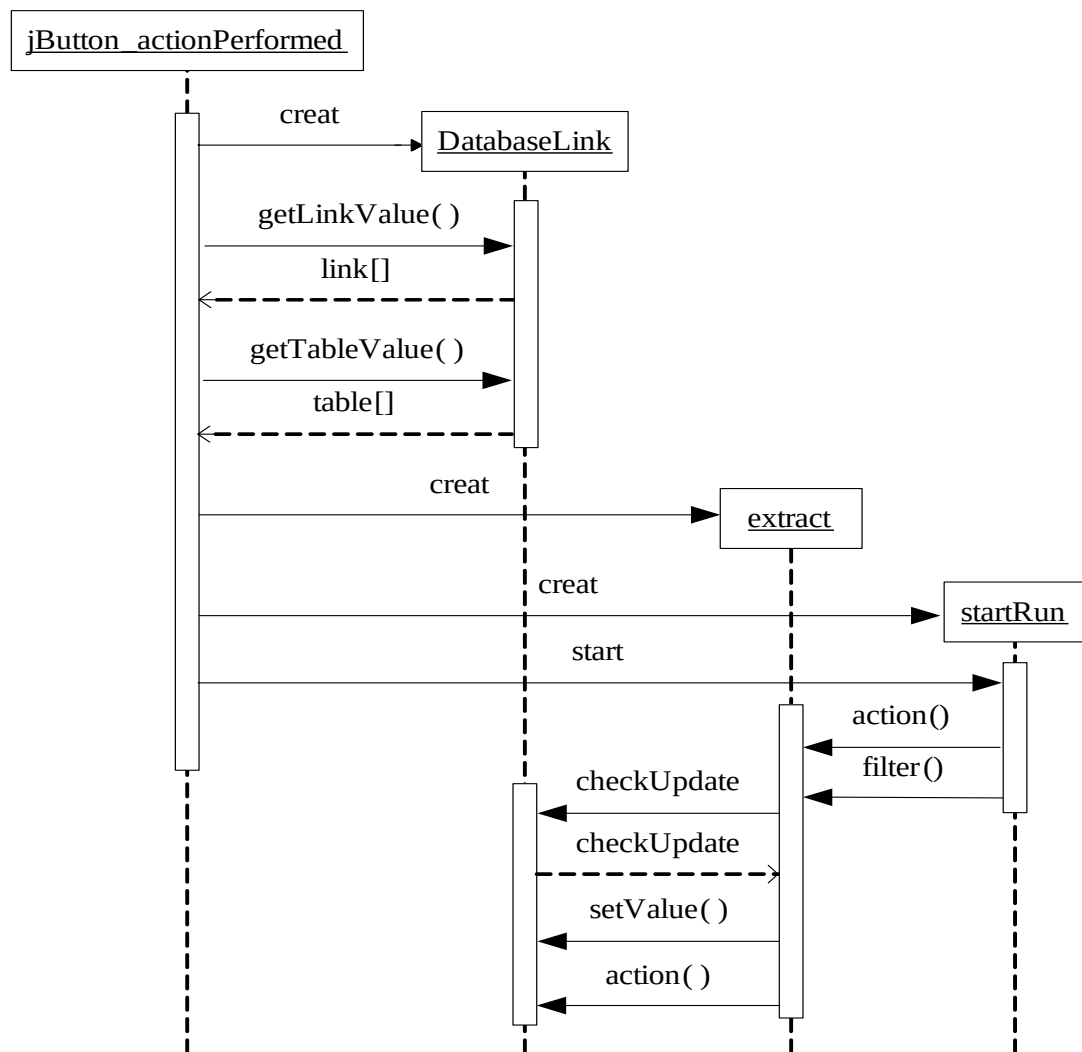


圖 5-11 軟體代理人循序圖 [21]

5.8 系統功能規劃與發展

本研究所建構之系統可供多人同時線上使用的瀏覽器介面，瀏覽器介面下之功能架構規劃如圖 5-12 所示，共分為 7 個功能模組。以下針對此 7 個模組之功能規劃、發展，加以說明。

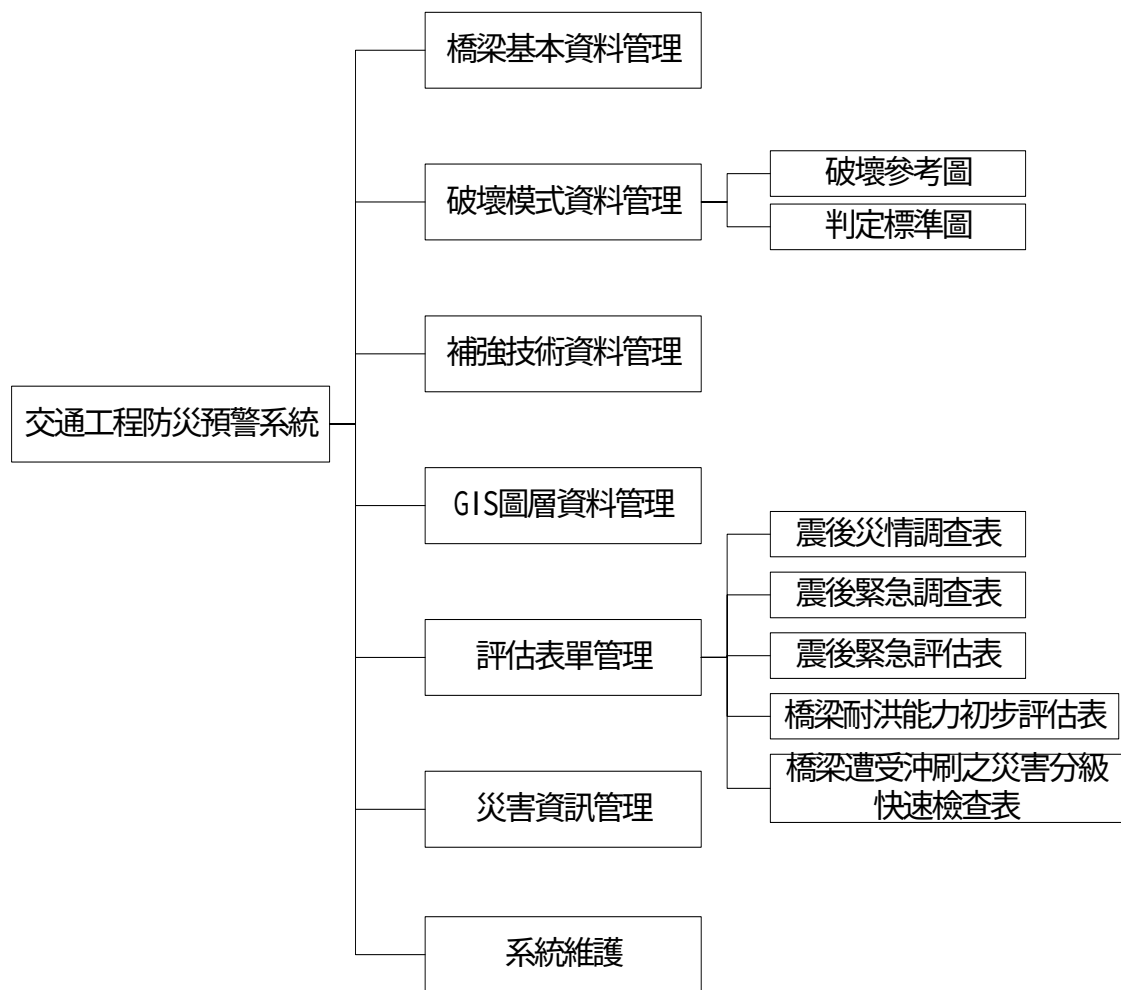


圖 5-12 交通工程防災預警系統功能架構

5.8.1 橋梁基本資料管理模組

5.8.1.1 橋梁基本資料管理模組功能規劃

如圖 5-13 所示，橋梁基本資料管理模組可分為資料查詢、資料修改、資料新增與資料刪除等四項功能，說明如下。

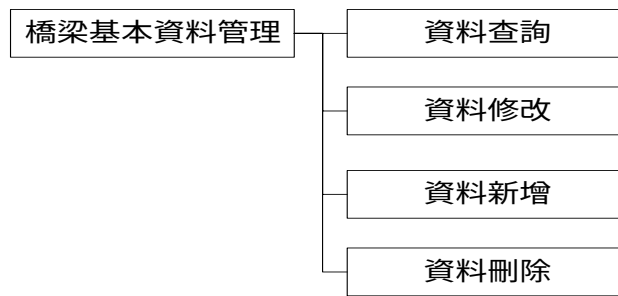


圖 5-13 橋梁基本資料管理模組功能架構

1.資料查詢

資料查詢功能包括：橋梁基本資料內容查詢。查詢內容有：橋梁名稱、橋梁位置、橋梁淨空長度、寬度、高度、橋梁結構型式、橋梁結構配置、鄰近道路資料等。

2.資料修改

針對資料庫內橋梁基本資料內容進行修改。

3.資料新增

提供橋梁基本資料新增。

4.資料刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之橋梁基本資料。

5.8.1.2 橋梁基本資料管理模組發展

本節說明橋梁基本資料管理模組之發展步驟及執执行程序，如圖 5-14 所示。

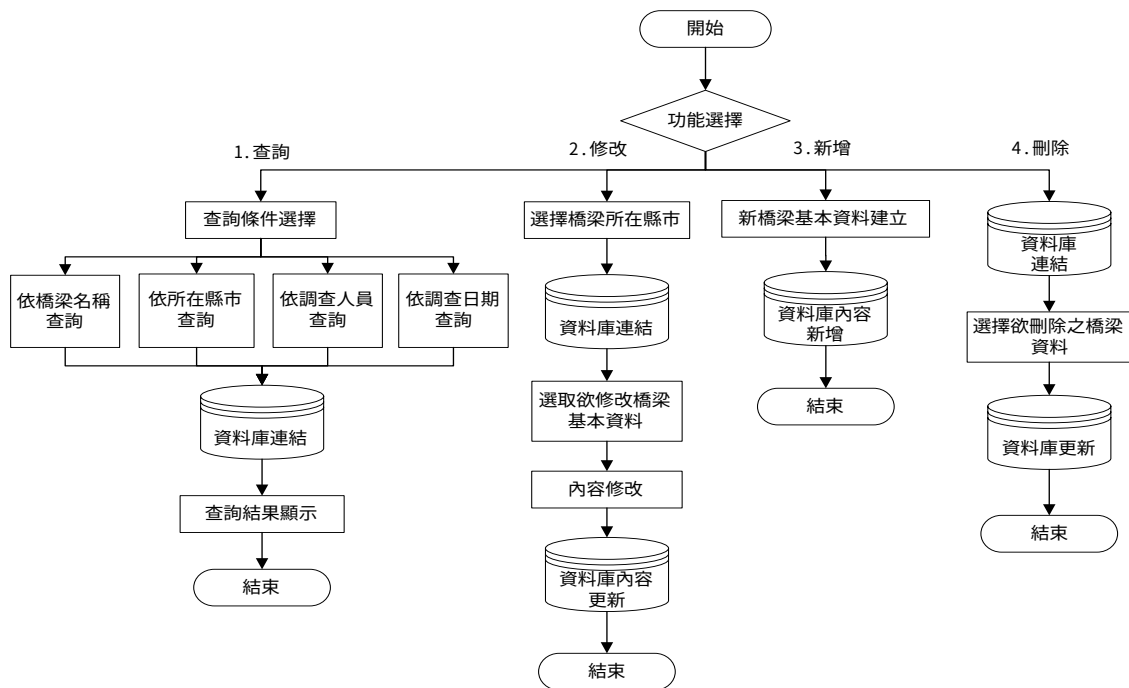


圖 5-14 橋梁基本資料管理模組發展流程

1.查詢

Step1.查詢條件選擇

選取本功能後，使用者可根據橋梁名稱或是橋梁所在縣市進行橋梁基本資料搜尋。

Step2.資料庫連結

依據 Step1 之查詢條件，連結至伺服器端資料庫，透過結構化查詢語言（SQL）篩選出符合之資料。

Step3.查詢結果顯示

符合查詢條件之資料，顯示於瀏覽器上。

2.修改

Step1.選擇橋梁所在縣市

選擇欲修改橋梁資料所在縣市。

Step2.資料庫連結

依據橋梁所在縣市的選擇，連結至資料庫，列出符合條件之資料。

Step3.選取欲修改橋梁基本資料

選擇欲修改之橋梁名稱。

Step4.內容修改

經由使用者輸入修改橋梁基本資料。

Step5.資料庫內容更新

將修正後之資料回存至伺服器端資料庫中。

3.新增

Step1.新橋梁基本資料建立

輸入橋梁名稱等必填項目，按照調查之結果，輸入其餘項目。

Step2.資料庫內容新增

將新增完成之資料儲存至資料庫中。

4.刪除

Step1.資料庫連結

連結資料庫，系統列出所有橋梁資料。

Step2.選擇欲刪除之橋梁資料

使用者選取欲刪除資料之橋梁名稱。

Step3.資料庫更新

針對使用者選取的橋梁，刪除資料庫內該筆資料的內容。

5.8.1.3 橋梁基本資料管理模組系統畫面

橋梁基本資料管理模組系統畫面如圖 5-15、圖 5-16 所示。



圖 5-15 橋梁基本資料管理模組—功能選單



圖 5-16 橋梁基本資料管理模組—新增橋梁基本資料

5.8.2 破壞模式資料管理模組

5.8.2.1 破壞模式資料管理模組功能規劃

如圖 5-17 所示，破壞參考圖例管理模組可分為修改、新增、刪除、查詢等四項功能，說明如下。

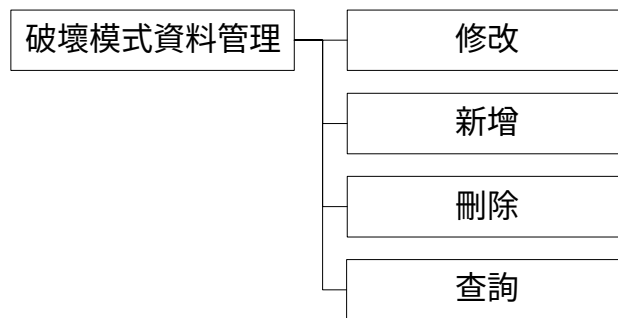


圖 5-17 破壞模式資料管理模組功能架構

1.修改

針對資料庫內破壞模式資料內容進行修改。

2.新增

提供新增破壞模式資料。

3.刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之破壞模式資料。

4.查詢

查詢資料庫現有圖片資料。

5.8.2.2 破壞參考圖例管理模組發展

本節說明破壞參考圖例管理模組之發展步驟及執执行程序，如圖 5-18 所示。

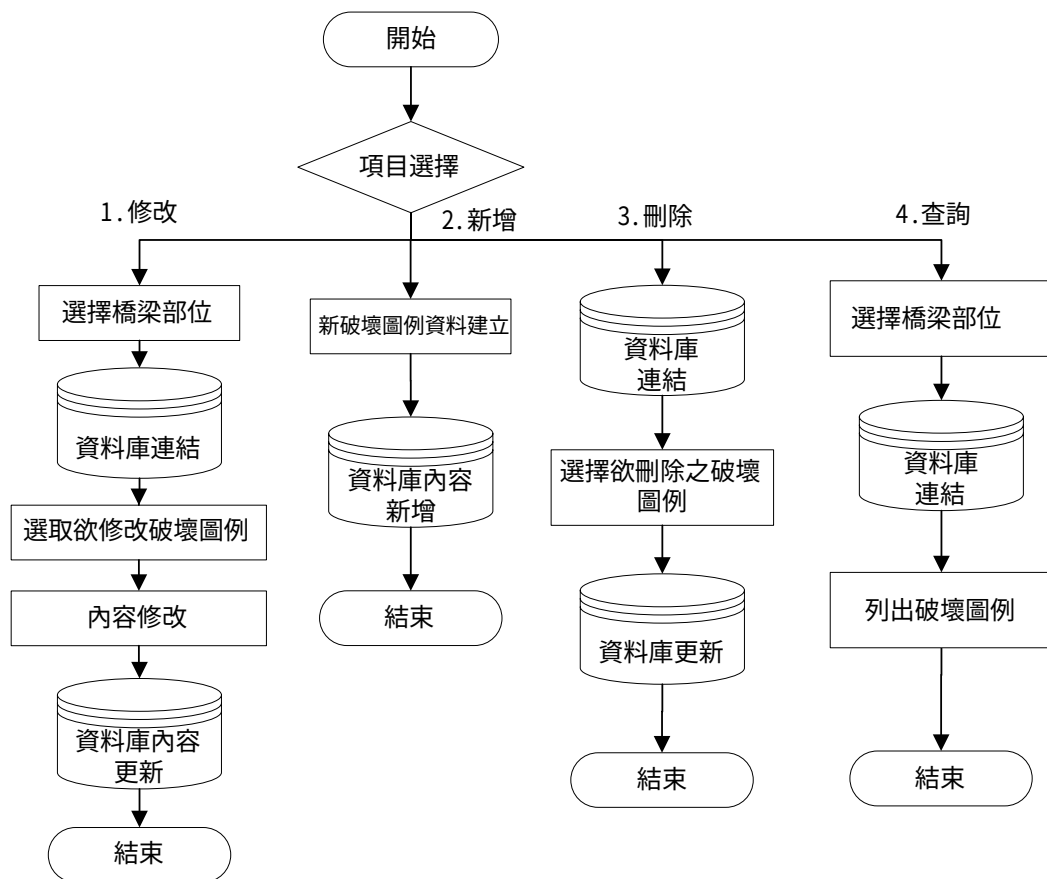


圖 5-18 破壞模式資料管理模組發展流程

1.修改

Step1.選擇橋梁部位

選擇欲修改破壞圖例所在橋梁部位。

Step2.資料庫連結

依據破壞圖例所在橋梁部位，連結至資料庫，列出符合條件之破壞圖例資料。

Step3.選取欲修改破壞圖例

選擇欲修改之破壞圖例資料。

Step4.內容修改

經由使用者輸入修改破壞圖例資料。

Step5.資料庫內容更新

將修正後之資料回存至伺服器端資料庫中。

2.新增

Step1.新破壞圖例建立

輸入破壞圖例名稱，按照調查之結果，輸入破壞圖例詳細說明與評估等級或是上傳圖檔。

Step2.資料庫內容新增

將新增完成之資料儲存至資料庫中。

3.刪除

Step1.資料庫連結

連結資料庫，系統列出所有破壞圖例。

Step2.選擇欲刪除之破壞圖例

使用者選取欲刪除之破壞圖例資料。

Step3.資料庫更新

刪除資料庫內該筆資料的內容。

4.查詢

Step1.選擇橋梁部位

選擇欲查看之圖例所屬結構部位。

Step2.資料庫連結

搜尋符合條件之破壞圖例資料。

Step3.列出破壞圖例

條列出破壞圖例供使用查看。

5.8.2.3 破壞模式資料管理模組系統畫面

橋梁基本資料管理模組系統畫面如圖 5-19、圖 5-20 所示。



圖 5-19 破壞模式資料管理模組—功能選單



圖 5-20 破壞模式資料管理模組—破壞模式參考圖例

5.8.3 補強技術資料管理模組

模組發展流程與破壞圖例管理模組相同。補強技術資料管理模組系統畫面如圖 5-21、圖 5-22 所示。



圖 5-21 補強技術資料管理模組——補強工法選擇



圖 5-22 補強技術資料管理模組——補強工法說明與圖例

5.8.4 GIS 圖層資料管理模組

在本研究中，GIS 圖層資料管理模組的開發排定為第二年工作項目，因此目前進度為功能規劃。

5.8.4.1 GIS 圖層資料管理模組功能規劃

如圖 5-23 所示，GIS 圖層資料管理模組可分為修改、新增、刪除、

查詢等四項功能，說明如下。

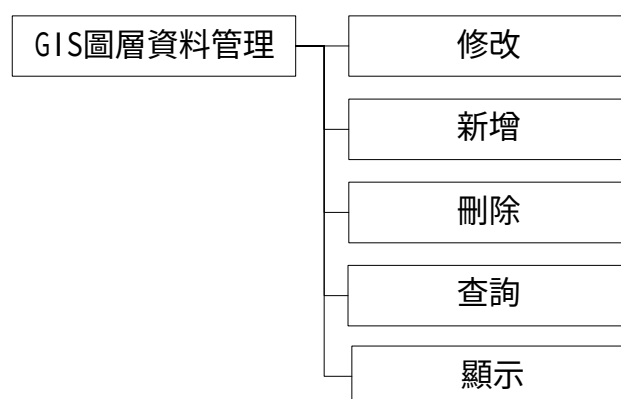


圖 5-23 GIS 圖層資料管理模組功能架構

1.修改

針對資料庫內橋梁基本資料、空間資料內容進行修改。

2.新增

提供新增橋梁基本資料、橋梁空間資料。

3.刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之橋梁基本資料、橋梁空間資料。

4.查詢

查詢資料庫現有橋梁基本資料及標示橋梁位置、橋梁所在河川溪流水位、橋梁所在地區地震規模、土石流警戒區域標示等。

5.顯示

以圖形顯示警戒橋梁之地理位置與橋梁名稱，提供橋梁管理單位作進一步之調查評估。

5.8.5 評估表單管理模組

5.8.5.1 評估表單管理模組功能規劃

如圖 5-24 所示，評估表單管理模組可分為查詢、修改、新增、刪除與列印等五項功能，說明如下。

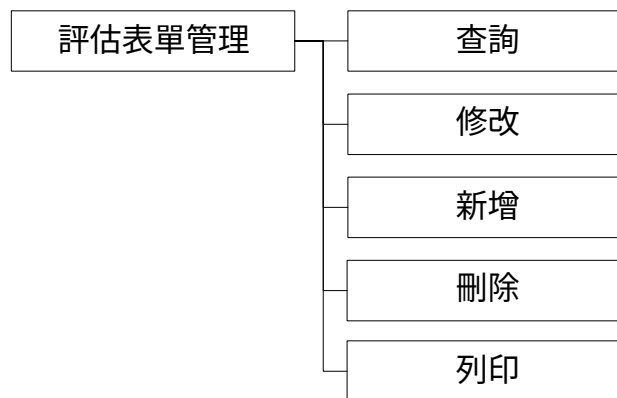


圖 5-24 評估表單管理模組功能架構

1.查詢

搜尋資料庫中所儲存之評估表單，並將評估表單表格內容顯示於視窗畫面。

2.修改

針對資料庫內評估表單內容進行修改。

3.新增

提供新增評估表單資料。

4.刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之評估表單。

5.列印

列印空白評估表單或是資料庫中所儲存評估表單。

5.8.5.2 評估表單管理模組發展

本節說明評估表單管理模組之發展步驟及執执行程序，如圖 5-25。

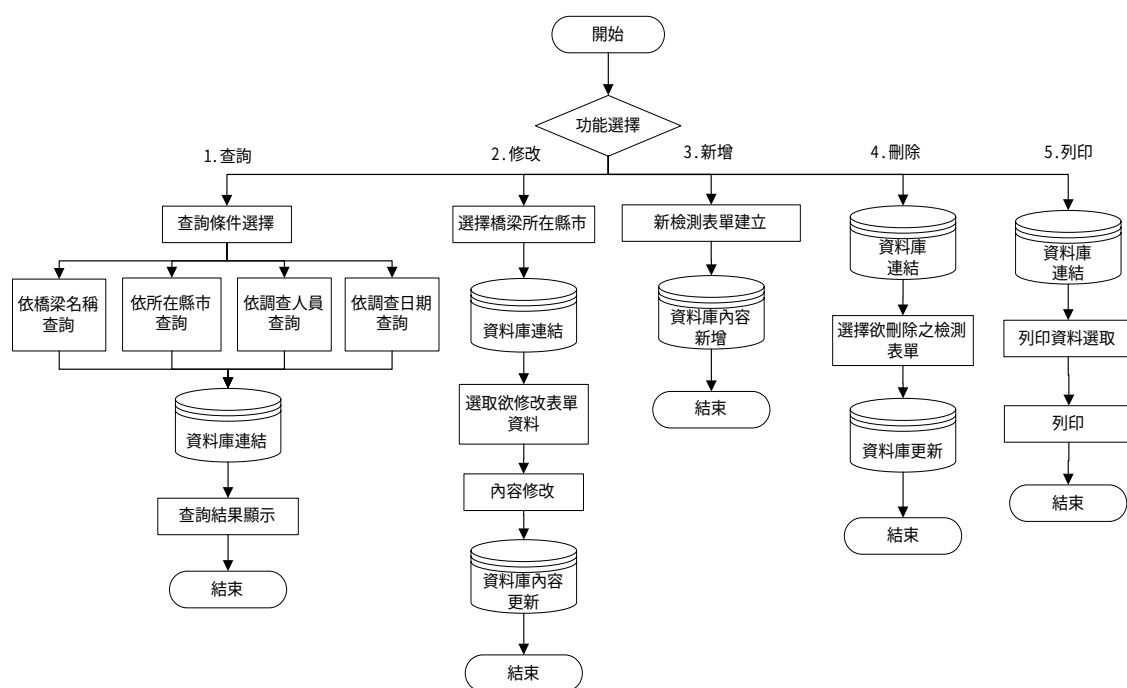


圖 5-25 評估表單管理模組發展流程

1.查詢

Step1.查詢條件選擇

選取本功能後，使用者可根據橋梁名稱或是橋梁所在縣市、調查人員、調查日期進行評估表單搜尋。

Step2.資料庫連結

依據 Step1 之查詢條件，連結至伺服器端資料庫，透過結構化查詢語言（SQL）篩選出符合之資料。

Step3.查詢結果顯示

符合查詢條件之資料，顯示於瀏覽器上。

2.修改

Step1.選擇橋梁所在縣市

選擇欲修改橋梁資料所在縣市。

Step2.資料庫連結

依據橋梁所在縣市的選擇，連結至資料庫，列出符合條件之橋梁評估表單。

Step3.選取欲修改表單資料

選擇欲修改之橋梁評估表單。

Step4.內容修改

經由使用者輸入修改表單基本資料。

Step5.資料庫內容更新

將修正後之資料回存至伺服器端資料庫中。

3.新增

Step1.新評估表單建立

輸入橋梁名稱與填表人員、調查日期等必填項目，按照調查之結果，輸入其餘項目或是上傳圖檔。

Step2.資料庫內容新增

將新增完成之資料儲存至資料庫中。

4.刪除

Step1.資料庫連結

連結資料庫，系統列出所有評估表單。

Step2.選擇欲刪除之評估表單

使用者選取欲刪除之評估表單。

Step3.資料庫更新

刪除資料庫內該筆資料的內容。

5.列印

Step1.列印表單選取

在伺服器端資料庫連結後，系統列出所有橋梁及此橋梁之評估表單供使用者選擇欲列印之表單類型或是各階段評估空白表單。

Step2.刪除選取資料內容

針對使用者選取的表單進行列印。

5.8.5.3 評估表單管理模組系統畫面

評估表單管理模組系統畫面如圖 5-26 所示。



圖 5-26 評估表單管理模組—評估表單選擇

交通工程防災預警系統

系統資訊

系統名稱: [] 系統版本: [] 系統日期: [] 系統使用者: [] 系統密碼: []

系統名稱	系統版本	系統日期	系統使用者	系統密碼
1. 系統名稱	系統名稱	系統日期	系統使用者	系統密碼
2. 系統版本	系統版本	系統日期	系統使用者	系統密碼
3. 系統日期	系統日期	系統使用者	系統密碼	
4. 系統使用者	系統使用者	系統密碼		
5. 系統密碼	系統密碼			

圖 5-27 評估表單管理模組—新增震後橋梁緊急調查表

5.8.6 災害資訊管理模組

5.8.6.1 災害資訊管理模組功能規劃

如圖 5-28 所示，災害資訊管理模組可分為啟動軟體代理人系統、查詢、刪除等三項功能，說明如下。

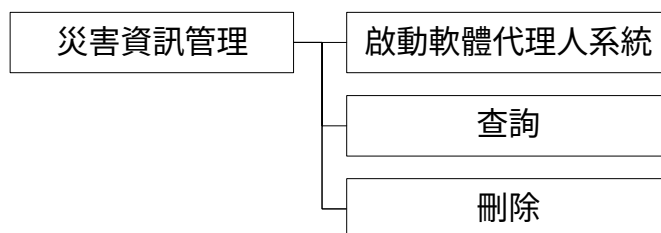


圖 5-28 災害資訊管理模組功能架構

1.啟動軟體代理人系統

提供啟動軟體代理人系統前往指定網頁擷取最新災害資訊並更新至資料庫。

2.資料查詢

資料查詢功能包括：查詢最新或歷史災害資訊，包括地震資訊、河川溪流水位、土石流警戒區域、橋梁監測資料等。

3.資料刪除

刪除資料庫內不必要或超過保留期限之災害資訊。

5.8.6.2 災害資訊管理模組發展

本節說明害資訊管理模組之發展步驟及執执行程序，如圖 5-29 所示。

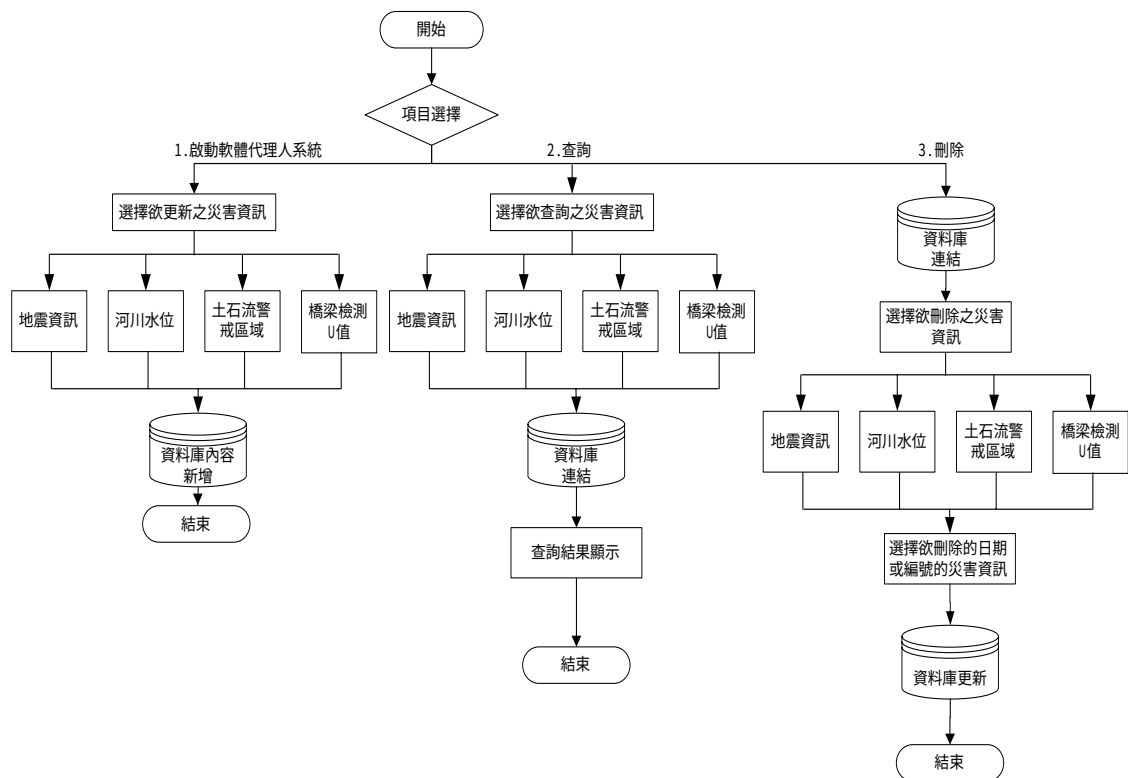


圖 5-29 災害資訊管理模組發展流程

1.啟動軟體代理人系統

Step1.選擇欲更新之災害資訊

選取本功能後，使用者可選擇要更新的災害資訊或全選，軟體代理人便會開始至指定的網頁進行擷取作業。

Step2.資料庫內容更新

將軟體代理人擷取、過濾、比對完成之資料儲存至資料庫中。

2.查詢

Step1.選擇欲查詢之災害資訊

選取本功能後，使用者可選擇要查詢的災害資訊

Step2.資料庫連結

依據 Step1 之查詢條件，連結至伺服器端資料庫，透過結構化查詢語言（SQL）篩選出符合之資料。

Step3. 查詢結果顯示

符合查詢條件之資料，顯示於瀏覽器上。

4.刪除

Step1.資料庫連結

連結資料庫，系統列出所有災害資訊依災害類型。

Step2.選擇欲刪除之災害類型

使用者選取欲刪除資料之災害類型。

Step3.選擇欲刪除之日期或編號

使用者選取欲刪除資料之日期或編號。

Step4.資料庫更新

針對使用者選取災害資訊，刪除資料庫內該筆資料的內容。

5.8.6.3 災害資訊管理模組系統畫面

災害資訊管理模組系統畫面如圖 5-30、圖 5-31 所示。



圖 5-30 災害資訊管理模組—啟動軟體代理人系統更新災害資訊

站名	水位	流速	流向	水位	流速	流向	水位	流速	流向	水位	流速	流向	水位	流速	流向
二龍潭或水(公尺)	7.7	3.3	32.3	8.4	12	15	6.7	3.7		43.6	36.4	38.3	6.3	48.3	
10114304-001	10.50	-0.07	0.00	46.32	0.00	1.05	0.00	-1.18	0.00						118
10114304-002	10.50	-0.04	0.00	46.33	0.00	1.07	0.00	-1.11	0.00						111
10114304-003	10.50	-0.06	0.00	46.33	0.11	1.07	0.00	-1.09	0.00						118
10114304-004	10.50	-0.10	0.00	46.33	0.11	1.08	0.00	-1.08	0.00						113
10114304-005	10.50	-0.15	0.00	46.33	0.12	1.08	0.00	-1.03	0.00						117
10114304-006	10.50	-0.12	0.00	46.33	0.13	1.09	0.00	-0.97	0.00						117
10114304-007	10.50	-0.20	0.00	46.33	0.17	1.09	0.00	-0.91	0.00						116
10114304-008	10.50	-0.25	0.00	46.33	0.18	1.1	0.00	-0.81	0.00						116
10114304-009	10.50	-0.25	0.00	46.32	0.24	1.11	0.00	-0.75	0.00						116

圖 5-31 災害資訊管理模組—災害資訊查詢

5.8.7 使用維護模組

5.8.7.1 使用維護模組功能規劃

本系統係以網際網路的方式呈現，透過系統架設於伺服器端，可讓多位使用者利用瀏覽器，由遠端同時登入操作。但隨著作業之網路化，系統之安全機制亦相形重要。為避免重要資料之洩漏之虞，本系

系統將給予每位使用者一組名稱與密碼，同時規劃使用者管理模組以對系統使用者進行權限管理。本模組所包括之功能有：使用者查詢、使用者新增、使用者修改及刪除等，如圖 5-32 所示，其說明如下：

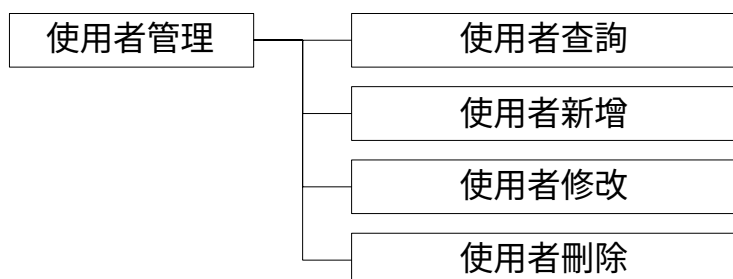


圖 5-32 使用者管理模組功能架構

1.使用者查詢

針對使用者名稱輸入關鍵字，搜尋條件相符之人員或直接進行所有使用者之名稱、密碼瀏覽。

2.使用者新增

依據使用者之需求新增名稱、密碼於資料庫中，供其具備系統使用之權限。

3.使用者修改

為避免名稱、密碼已有人使用，或基於使用者之要求，系統得以對使用者之資料進行修改。

4.使用者刪除

相對於新增功能，對於不適用之人員，系統得以刪除其資料，取消使用權限。

於實際應用上，基於系統使用之安全性，使用者之名稱、密碼將由系統管理者透過本模組負責維護。為因應管理者之權限，系統將設

定一組固定之名稱、密碼供其使用。當新作業人員要使用本系統時，可經由電子郵件（E-Mail） 之方式，告知管理者要求新增一組使用權限。

第六章 結論與建議

6.1 結論

- 1.本研究經由文獻蒐集和調查國內橋梁管理系統、災害潛勢分析軟體內容、橋梁監測系統、各單位所提供之災害資訊，確認出本系統所需之資料參數並透過資料交換平台交換取得，使得不同系統、單位的資料得以互為利用整合達到橋梁防災預警之目的。
- 2.本系統透過所發展之網路資料交換平台技術交換取得各單位之災害資訊，包括地震資訊、河川溪流水位、土石流警戒區域，作為本系統預警之啟動機制，災害資訊的發佈及其警戒值即為本預警系統之預警基準值，此為本預警系統建立之重要指標。災害資訊來源皆為政府單位(氣象局、水利署、水保局)根據監測儀器所得數據及分析結果，具有即時性與精確性。
- 3.各項災害應變流程的確立，有助於橋梁管理單位及工程人員在面臨災害發生時能夠按照流程步驟進行橋梁安全的調查評估，而經由調查評估的結果可確認應採取何種緊急措施。
- 4.TELES 震災風險評估的分析結果(橋梁失敗機率排序 橋梁損壞程度排序)，可提供給橋梁管理單位作為橋梁補強計劃優先順序的依據，降低地震時橋梁發生重大災害之風險，達到災害預防之目的。
- 5.本系統所包含連結之 TELES 可在地震發生時以本系統交換得到中央氣象局的地震資訊，分析橋梁失敗機率及橋梁損壞程度機率並加以排序，橋梁管理單位便可依據此優先順序進行緊急的災情調查，針對可能受損嚴重的橋梁優先處理，減少二次災害及人員傷亡的可能性。

6.2 建議

第二年計畫執行重點：

- 1.根據第一年所調查彙整之系統所需資料，依災害類別(地震、颱洪沖刷、土石流、老化腐蝕)及橋梁資料屬性，訂定系統資料庫欄位，並將兩種資料交換技術發展完成，建立功能完整之資料交換平台。
- 2.GIS 地理資訊系統模組為本系統操作的介面之一，GIS 主要之應用包括「分析及模擬」、「查詢及瀏覽」、「決策及推演」三類。本系統將在 GIS 的圖層上顯現各種災害的資訊，如區域地震強度、各溪流水位高程、土石流警戒區域等，另外橋梁的安全狀況將以紅黃綠顏色顯示行動、警戒、安全狀態。利用 GIS 圖層顯示方式可協助使用者綜觀該區域所有的橋梁狀況。
- 3.系統開發初步完成後將與橋梁管理單位(公路總局或台灣區國道高速公路局)合作，進行系統測試、上線實際操作，針對實作所遭遇之問題作系統的修正。
- 4.本系統開發完成後，將交由橋梁管理單位使用，因此應舉辦教育訓練示範系統之操作，並且經由與橋梁管理單位進行意見交流將能使系統設計的更加貼近實務。
- 5.研擬系統轉移至使用單位之機制，包括使用單位所需之軟、硬體設備、系統維護管理辦法、資料庫更新等。編寫系統使用手冊。

未來系統擴充建議：

- 1.本研究中橋梁基本資料主要交換對象為 TBMS，TBMS 擁有國內最為完整之橋梁資料庫，然而該資料庫並非針對地震災損評估所設計，因此所具備之橋梁資料並無法完全符合 TELES 所需要輸入的資料，使得 TELES 某些資料欄位無法輸入確實之資料，雖然 TELES 在此種情形下仍然可以預設值進行分析，並且得到結果，但會影響結果之精確度。因此建議 TBMS 中可增加 TELES 所需要之欄位，本系統與 TBMS、TELES 之間可以更為密切的合作。(建議 TBMS 增加之欄位請見表 4-19、表 4-20 中陰影的部份)。
- 2.本系統提供資料交換的平台，使得各單位或系統的資料得以互通利用，但資料的正確性無法在資料交換平台中進行檢驗校正的工作，

因此所得到的資料也許並不正確，以 TELES 地震潛勢分析為例，經由資料交換平台所得之橋梁資料再交換給予 TELES 做為輸入資料，若資料並不正確則會影響到分析結果的正確性。因此建議在資料交換後應建立一資料檢驗校正的機制，以確保交換資料之正確性。

3. 為維護管理曾經受災損壞之橋梁，橋梁補強的歷史資料必須有效收集與管理，因此，建立補強資料庫將有助維護管理受災損壞橋梁，其所收集的資料除可保存受災損壞橋梁完整診斷證明之外，亦可作為平時橋梁保養維護使用，此外，藉由過去所收集的損壞橋梁歷史資料，亦可進一步預測受災損壞橋梁未來的表現，及早訂定橋梁維護管理計劃，建議適當補強技術，亦可提供其他橋梁於受損時可以快速補強方法。
4. 國內混凝土橋梁普遍的問題是使用年限過長老劣化嚴重，未來十年後使用達五十年以上者將陸續增多。橋梁老化腐蝕的問題主要有賴於橋梁管理單位定期對所轄橋梁進行檢測，並依檢測結果確實進行維護工作，不僅保障橋梁使用安全亦可延長橋梁的使用年限。因此建議應制定橋梁檢測時機與項目的標準作業程序，定期舉辦檢測工程人員的教育訓練，政府應加以重視編列預算進行橋梁檢測維護工作及相關研究。

參考文獻

1. 葉錦勳，「台灣地震損失評估系統—TELES」，國家地震工程研究中心，2003。
2. 林同棧工程顧問股份有限公司，「國道高速公路橋樑耐震分析評估及補強工程（國道通車路段）可行性研究」，交通部台灣區國道高速公路局，2002
3. 姚乃嘉、蔣偉寧，「台灣區橋梁管理系統之建立」，交通部運輸研究所，2000。
4. 張國鎮、羅俊雄、林詠彬、鍾昇財，「橋梁系統安全監測及預警系統之建立」，交通部公路總局，2004。
5. 張國鎮..等，「橋梁系統安全監測及預警系統之建立(期末報告)」，交通部科技顧問室，台北，2003。
6. 陳清泉、蔡益超、張國鎮、李鴻源、李有豐、謝尚賢、單信瑜、許志揚、游進裕、林詠彬，「河川橋梁沖刷並補強後之安全評估」第一年期末報告，交通部公路總局，2004。
7. 陳振川、蔡益超、張國鎮，「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等之研究」第二階段策略研擬期中報告，交通部公路總局，2005。
8. 「光纖與光柵用於橋梁監測之研究(2/2)」，交通部，2004。
9. 陳生金、鄭明淵、楊國珍、黃世建、王昭烈、張光甫，「災時高效率高經濟型橋梁補強及檢核技術之研發」第三年期末報告，交通部公路總局，2005。
10. 陳生金、鄭明淵、楊國珍、黃世建、王昭烈、張光甫，「災時高效率高經濟型橋梁補強及檢核技術之研發」第一年期末報告，交通部公路總局，2003。
11. 洪宏基，詹穎雯，張荻薇等，「橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策(一)」，交通部科技顧問室，1999。

12. 張荻薇、王炤烈、宋裕祺，「橋梁劣化與災害損傷之現況及原因探討」，橋梁安全維護與管理研討會論文集，台灣營建研究院，1999。
13. 李有豐、林安彥，「橋梁檢測評估與補強」，全華科技圖書，2000。
14. 「災害防救法」，行政院內政部，2000。
15. 「災害防救法施行細則」，行政院內政部，2001。
16. 交通部中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>。
17. 經濟部水利署，水災防救作業支援系統，
<http://fhic.wra.gov.tw/asp/gqwmain.asp>
18. 林呈、施邦築、羅慶瑞、黃進坤，「跨河橋梁訂定封橋水位」，交通部公路總局，2004。
19. 台灣地區橋梁管理系統 <http://bms.iot.gov.tw/>
20. 農業委員會水土保持局，土石流防災應變系統，
http://fema.swcb.gov.tw/main/index_01.asp
21. 林家年，「智慧型代理人在工程爭議處理決策支援系統之應用」，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程研究所，2005。
22. 「921 集集大地震橋梁及道路設施勘災報告」，國家地震工程研究中心，1999。
23. 阪神淡路大震災調查報告編輯委員會，「阪神淡路大震災調查報告-土木構造物被害(橋樑)」，土木學會，1996.12。
24. 王炤烈，「橋梁腐蝕原因探討—設計與力學面」，橋梁腐蝕與防治研討會論文集，pp.27-53，1994。
25. 王仲宇、唐治平、周憲德、莊秋明、林呈、周憲德，「橋梁設計支援系統之建立—腐蝕、地震、河川沖蝕之潛勢分析及相關技術整合」，交通部科技顧問室，1999。
26. 蔡益超，「由阪神地震探討國內橋樑耐震工程之發展方向」，財團法人台灣營建研究院，1996。

27. 林主潔..等，「大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究（二）」，交通部科技顧問室，台北，2002。
28. 「臺灣區地震危害度分析及其應用」，國家地震工程中心報告，台北。
29. 王炤烈，「常見之橋樑損害現象與檢測、補強重點」，財團法人台灣營建研究院，1998。
30. 黃震興、張國鎮、羅俊雄、李有豐、楊岳勳、葉啟輝，「橋樑耐震補強準則」，交通部，台北，1998。
31. 道路震災對策委員會、耐震調查法檢討小委員會，「道路震災對策便覽—震災復舊篇」，社團法人日本道路協會，東京，1988。
32. 蔣偉寧、戴中、莫若揖、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，台北，1999。
33. 國立中央大學橋樑工程研究中心，「台灣省公路局橋樑管理系統開發計畫—系統操作手冊」，台灣省交通處公路局，1998。
34. 黃兆龍，「橋樑與公路鋪面混凝土結構非破壞檢測技術研習會論文集」，國立台灣工業技術學院營建系，1995。
35. 「混凝土鋼橋一般檢測手冊」，台灣省住宅及都市發展局，1996。
36. 黃然，葉為忠，張建智，楊仲家，吳建國，「混凝土品質對鋼筋混凝土構件腐蝕影響及探討」，防蝕工程，第十卷，頁38-48，1996。
37. 「橋樑設計與耐震補強」，台灣營建研究院，1999。
38. 阪神高速道路公團，「兵庫縣南部地震鋼構造物被災原因分析研究」，平成 12 年 6 月。
39. PONTIS Version 2.0 User's Manual, FHWA-SA-93-083, 1993.12.
40. PONTIS Version 2.0 Technical Manual, FHWA-SA-93-083, 1993.12.

41. Cambridge Systematics, Inc. Pontis Release 4 Technical Manual. AASHTO, Washington, D.C., 2001.
42. Palmer, R., and Turkiyyah, G., 1997, CAESAR, An Expert System for Cataloging and Expert Evaluation of Scour Risk And River Stability at Bridge Sites, The User's Guide, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, USA.
43. Palmer, R., and Turkiyyah, G., 2005, CAESAR Version 2.2.2 Homepage, <http://hotmix.ce.washington.edu/caesa>, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, USA.
44. The Performance of Concrete Bridges, Department of Transport, HMSO 1989.Press Notice NO.260-1992 Pub. by Department of Transport, London.
45. M.J.N. Priestly, F. Seible, and G.M. Calvi, "Seismic Design and Retrofit of Bridge", John Wiley & Sons, Inc, New York, 1996.
46. Broomfield, J.P., "Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures " , p1, "Corrosion and Corrosion Protection of steel in Concrete" , Vol. 1, Ed. by R. N. Swamy , 1994, Sheffield Academic Press.
47. Clark, L. A. and Saifullah, M., "Effect of Corrosion Rate on the Bond Strength of Corroded Reinforcement", p.591, "Corrosion and Corrosion Protection of steel in Concrete" , Vol. 1, Ed. by R. N. Swamy , 1994, Sheffield Academic Press.
48. Johnson, R.E. and Agarwala, V.S., "Fluorescence Based Chemical Sensors for Corrosion Detection", Paper 304, Corrosion 97, 1997.
49. Laenzen, C. and Raine, A., "Additional Applications with the Alternating Current Field Measurement (AFCM) technique", Insight, Vol. 40, No.12, Dec. 1998.
50. David S.Brookshire,Stephanie E Chang , Hal Cochrane , Robert A.Olso, Asam Rose,and Jerry Steenson, 「Direct and Indirect Economic Losses from Earthquake Damage」, Earthquake Spectra, Volume 13,No.4,pp.683-701,November 1997.

附錄一 期中審查委員意見及辦理概況

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
☑期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：交通工程防災預警系統建立之研究

執行單位：台灣科技大學生態與防災工程研究中心

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)張總工程司弘義 (高速公路局)： 1. 本報告對橋梁破壞原因及模式內容完整。 2. 本報告對橋梁災害應變機制、流程與評估方法，內容敘述相當豐富，但應變分三階段(1)災害預防(2)災害緊急應變(3)緊急復原，請參考行政院公共工程委員會所作研究報告之三階段內容。 3. 預警系統包括哪些內容？請補述。 4. 國內橋梁監測系統使用光纖系統，技術相當成熟，請補述。 5. 本研究擬建置之預警系統，如何融入已開發	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員指導 本研究所提出之地震災害應變是根據「災害防救法」中的「災害防救基本計劃」原則所整理歸納，詳細說明請參考 P.4-1，4.1 節。 3. 感謝委員指導 預警系統共包括四種災害(地震、沖刷、土石流及老化腐蝕)詳細說明於第四章，系統架構詳細說明於第五章。 4. 感謝委員指導 光纖監測系統已增列說明於 P.2-58，2.3.3 節。 5. 感謝委員指導 橋梁監測機制與流程已增列於	

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
之監測系統，請補述。 6. 預警系統警示值之擬定，請依震災與沖刷災害，分別詳述。 (二)汪副處長海鄂（公路總局重大橋梁工程處）： 1. 第 4 頁(一)蒐集彙整國內外相關防救災系統之資料，蒐集範圍，應將本計劃蒐集了哪些研究資料，詳細列表並敘述其內容。 2. 第 2 頁內容敘述防災系統，而在第 4 頁為防救災系統，請將名詞統一。 3. 第 55 頁災害緊急應變及災害復原重建分三階段，最後第四行敘述是第二階段「災害緊急應變」的主要實施工作，第 56 頁所述為第	P.4-52，4.5 節，本系統與橋梁監測系統之資料交換在 P.4-57，4.5.3 節說明。 6. 感謝委員指導 本系統震災之警示值以 TELES 地震潛勢分析結果為依據，詳細說明於 4.1.1.2 及 4.1.1.3 節。沖刷災害之警示值則以水利署之河川水位監測值為依據，詳細說明於 4.2 節。 1. 感謝委員指導 已增列於 P.2-95，2.6 節。 2. 感謝委員指正。謹遵辦理。 3. 感謝委員指導 期末報告中已全面更正增加說明	

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
三階段的主要實施工作，而缺乏第一階段的主要實施工作，請補充。 4. 第 58 頁既然採用 TELES 地震潛勢分析，請將該模組更詳細的補充說明。 (三)林助理教授大傑 (逢甲大學)： 1. 與其他 BMS(如 TBMS)之關聯性，請說明如何整合或合作 2. 危險等級評估方法，宜參考國外相關研究並考量本地橋梁之特性來制定。 3. 國內外相關資料之蒐集與彙整可詳述於報告中，供委託單位參考，如 PONTIS 亦不需受限於 BMS，其他工程設施管理系統亦可參考。	4. 感謝委員指導 已增列於 P.2-1, 2.1 節、P.4-5, 4.1.1 節、P.4-14, 4.1.2 節中。 1. 感謝委員指導 本系統主要與 TBMS 交換橋梁基本資料及檢測資料，可見 P.4-32, 圖 4-15、P.4-46, 圖 4-22、P.4-52, 圖 4-29 及 P.4-59, 表 4-19 至表 4-21 之說明。 2. 感謝委員指導 本研究所使用之表單 危險等級判定、緊急措施，皆為交通部科顧室 公路局等單位委託之研究案所擬定。 3. 感謝委員指導 已增列於第二章。	

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)李教授賢華 (中山大學)： 1. 報告中列出橋梁破壞之各種模式及表格，但表格間有相互重複項目或不相容者，應有整合之比較。 2. 評估方法中針對耐震能力及洪災兩大項，但兩種評估方法與破壞模式或各種表格結果之關係似乎無法詳細表達或關聯，如洪災安全評估中與橋梁破壞程度完全無關，顯不合理。 3. 本案若進入預警系統時，其整合性宜更加強，否則在應用階段時複雜的表格都無法反應映現況時，將無法實際發揮效用。 4. 學者專家座談會之內容與結果，未列入報告中，請補充。 (五)張研究員金機 (港灣技術研究中心)： 1. 如何建立預警機制，如何提供預警，請說明。	1. 感謝委員指導 已全面修正於 P3-30，3.6 節。 2. 感謝委員指導 評估表單及破壞模式已全面檢討修正。 3. 感謝委員指導。謹遵辦理。 4. 感謝委員指正。謹遵照辦理。 1. 感謝委員指導 已增列說明第四章各災害流程說	

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
2. 如無法於災前提出預警資訊，發展橋梁安全監測，方可能提出即時預警。 3. 建立橋梁災害通報標準(為災後通報)，並非預警。 4. 第 8 頁表 2.2 基內，河床下陷與河床沖刷不同，d,e,f 均為基礎破裂。 (六)朱科長金元 (港灣技術研究中心)： 1. 根據第一年度之研究內容(一)及(二)與研究流程，必須先彙整國內外相關之防救災系統資料，並分析國內交通工程防救災需求，但在期中報告內容看不到此部份成果，宜有專章說明。	明中, 或見圖 5-2 之說明。 2. 感謝委員指導 沖刷災害及土石流災害經由災害資訊的交換取得可達到災前提出預警資訊的功能。P4-57, 4.5.3 節增列說明本系統研擬交換橋梁監測系統之橋梁狀況評估值。 3. 感謝委員指導 已更正修改為 P.5-2, 圖 5-2。 4. 感謝委員指導 已修改為 P.3-12, 表 3-2, 此處河床下陷是指地震所造成的確與沖刷不同, 原 d,e,f 項目已修正為 d,e。 1. 感謝委員指導 已增列於第二章。	

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
2. 橋梁分類是否包括陸地上橋梁與跨越河川橋梁。	2. 感謝委員指導 本系統主要分類是以災害類型分類 並沒有對橋梁做陸上橋梁或跨河橋梁做分類	
3. 研究流程中是否需先確認橋梁破壞模式，再來分析橋梁災害之救災需求。	3. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
4. 橋樑或橋梁？請確認並統一使用。	4. 感謝委員指正。謹遵辦理。	
5. 第 79 頁橋梁耐洪能力評估是否部頒之基準？否則應有檢討空間，評估表仍偏靜態評估，缺乏雨量等動態資料，雨量累積多大可能爆發土石流？橋梁影響程度如何？	5. 感謝委員指導 本研究所使用之表單 危險等級判定、緊急措施，皆為交通部科顧室 公路局等單位委託之研究案所擬定 動態資料的取得在本系統中主要是以交換災害資訊方式取得。	
6. 橋梁沖刷破壞牽涉一連串力學，但報告中都看不到。	6. 感謝委員指導 本研究所使用之評估表單都是經過長期的研究所擬定的，關於力學性的探討及研究在相關的報告中皆有詳述 而本研究主要是整合應用這些研究成果，因此學理性的探討並沒有納入報告中。	

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)邱主任永芳 (港灣技術研究中心)： 1. 事前(平時)檢查項目與判斷準則應有規劃。 2. 整個預警系統之作業程序和作業化之規劃應有說明。 3. 颱風期間或豪雨期間，如何預警或評估處理方式與作業化程序。 4. 洪水位之調查，為影響橋梁最重要的參數。 5. 預警系統之架構，請詳細說明。 ~~~~以下空白~~~~	1. 感謝委員指導 已增列說明於各災害流程說明中，詳細說明於第四章。 2. 感謝委員指導 已增加說明於 P.5-2，圖 5-2。 3. 感謝委員指導 本系統可交換取得水利署對河川水位之監測值，做為預警之根據，詳細流程說明於 P.4-32，4.2 節。 4. 感謝委員指導 本系統已經能夠與水利署河川水位監測資料進行交換。 5. 感謝委員指導 詳細說明於 P.5-6，5.4 節及 P.5-16，5.8 節。 ~~~~以下空白~~~~	

附錄二 期末審查委員意見及辦理概況

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
□期中☑期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：交通工程防災預警系統建立之研究

執行單位：台灣科技大學生態與防災工程研究中心

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)許技正書王 (交通部科技顧問室)： 1. 第 1-7 頁第二年工作內容中，(11)前應加入試行(演練)、修正再進行教育訓練。 2. 第 1-7 頁(12)編寫使用手冊，應有審查手冊之機制。 3. 第 3-23 頁 AAR 內文疑義，請說明。 4. 全文文獻未註記出處部份，請修正(含圖表)。 5. 報告中不清楚之照片如第 3-24 頁，表格文字字體未統一，第 3-18 頁多一橫，第 3-24 頁腐蟲，請修正。 6. 結論 2 提及取得政府各單位之災害資訊包括地震、水位...，對於交通工程而言，前述資料	1. 感謝委員指導 已增列於 P.1-4, 圖 1-2, P.1-6, (11) 及(12)。 2. 感謝委員指導 使用手冊擬與第二年期末報告一併送交由委員審查。 3. 感謝委員指正 已更正於 P.3-26 第 7 行。 4. 感謝委員指正。已修正。 5. 感謝委員指正 已更正於 P.3-20、P.3-26 倒數第 5 行。 6. 感謝委員指正 已修正於 P.6-1 結論 2。	

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
梁使用達 50 年以上將陸續增多，以政府目前財政及施政計畫尚無明顯重視，請提建議。 (三)汪副處長海鄂 (公路總局重大橋梁工程處)： 1. 第 2-6 頁建議 TBMS 中可增加 TELES 的所需欄位，究竟要增加些什麼欄位，請加以補充。 2. 本計畫係交通工程防災預警系統建立之研究(1/2)，未來應該還有計畫(2/2)，由研究報告第 6-2 頁未來系統擴充建議 1.2.3.點，似乎看不出未來研究的重點為何，為能繼續研究並使系統更完整，請補充加強。 3. 第 2-4 頁「主要因相關的資料庫尚未建置完備」，相關的資料庫是指那些，請補充。 4. 第 4-1 頁行政院災害防救委員會設置三階段的防救災對策，而第 4-2 頁本計畫分成四個階段，為何如此分，請	1. 感謝委員指導 已補充說明於 P.6-2，未來系統擴充建議 1。 2. 感謝委員指導 已補充於 P.6-1，第二年計劃執行重點建議增加為五點。 3. 感謝委員指正 已補充說明於 P.2-4 第 14 行。 4. 感謝委員指導 已補充說明於 P.4-3 倒數第 6 行。	

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
說明。 5. 簡報資料比較豐富，研究報告內未顯示者應予加入。 (四)林助理教授大傑 (逢甲大學交管系)： 1. 期末報告大致已針對期中報告之缺失與委員之建議加以補強，值得肯定。 2. 監測與預警系統之關聯，可再深入說明。 3. 資料庫之欄位未加以確立說明，而放入明年實施，進度是否可在第二期完成？ 4. 原則本人同意期末報告通過。	5. 感謝委員指導 簡報資料都是期末報告所包含的內容，只是某些圖表為配合簡報資料的呈現方式而有些改變，兩者內容應無差異。 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員指導 目前本系統與監測之關聯為資料(預警評估值)之交換。是否需要更深入的合作將納入討論於第二年研究計畫中。 3. 感謝委員指導 本年度完成系統所需資料的調查，資料庫之欄位規劃設計在第二年執行為既定的工作項目規劃。 4. 感謝委員指導。	

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
(五)李教授賢華 (中山大學海工系)： 1. 本報告經期中報告意見交流後，有相當部份已經修正有大幅度改進。 1. 本計畫目前以橋梁之評估及預警為主，其中包括地震、洪災、老化...等破壞評估，但就現況與各災害間之聯結，包含評估預警等似乎不夠清楚，請再敘明。 3. 預警系統架構之規劃較為複雜，未來在使用上之便利性及深入程度與使用者之訓練或背景宜一併思考。	1. 感謝委員指導與肯定。 2. 感謝委員指導 現況與各災害間之聯結 本研究目前以災害(預測)資訊作為預警之啟動基準值 在第二年研究計畫中將繼續討論並修正。 3. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。	
(六)游稽查行健 (審計部交通建設審計處)： 1. 第 5-6、5-16 頁之圖 5-4、5-12 介紹系統功能架構已堪稱完備，惟對於資料庫之資料增加、修改、刪除...等動作，宜有一個檢核機制，定期由系統產出異動清單，供系統管理者及橋梁管理單位核對	1. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。	

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
參考，以便使資料庫之資料隨時保持最新及正確。 2. 本系統依研究團隊規劃為採瀏覽上網方式操作，建議第二年時能依據調查橋梁個數，提出同時上網人數等容量建議值，供作建置資料庫系統大小之參考及網路流量管控之依據。 3. 第 2-24 頁對於公務機關之名稱可以再精確點，如公路局—公路總局、高速公路局—台灣區國道高速公路局…。 4. 第 1-2 頁敘及受損橋梁中鐵路橋梁比公路橋梁多，惟期中、期末審查會未邀請台鐵人員參與，國道之高公局亦未邀請，建議明年能邀請。 (七)林副總工程司坤田 (基隆港務局)： 1. 期末報告內容已很完整，值得肯定。	2. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。 3. 感謝委員指導 已更正於 P.2-26 第 9 行。 4. 感謝委員指導。 1. 感謝委員肯定。	

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
2. 預警系統之建立在架構上似乎較複雜，使用者之訓練應規劃納入下一期之研究。 (八)張研究員金機 (港灣技術研究中心)： 1. 本研究橋梁災害應變分地震及洪水沖刷(水位)，在救災前風險評估、災後(時)調查管制及措施復原...等程序，符合需求，建議對過去所建立之評估因子及評量尺權重...等，可再檢討。 2. 第 2-16 頁直接經濟損失，損害機率小於 P5 時，期望值 E(L)會等於 $\left(\sum_{i=2}^5 (P_i \cdot d_i) \right) \cdot C$ 嗎？ 3. 第 2-18 頁表 2-12 如果補強後遭受較大規模地震造成完全損害，則效益為負值？	2. 感謝委員指導 第二年工作項目中已包括系統測試及教育訓練，如 P.1-4 及 P.1-6(11)(12)所述。 1. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。 2. 感謝委員指導。由於 P_1 為沒有損壞狀態，d_1 為對應之損失比。針對橋梁的直接經濟損失而言，在沒有損壞狀態的條件下，無需推估重建成本，因此 $i=2\sim5$。 3. 感謝委員指導 若橋梁補強後，在大規模地震造成影響下仍造成完全損壞，直接經濟損失之效益當然為負值。不過，就實際情況而言，橋梁補強技術乃可有效降地強震對橋梁結構系統之衝擊，對	

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
4. 第 2-33 頁監測技術缺乏校核、驗證、檢核等機制，同頁倒數第三行「主管機關人力不足」應為公權力不彰。 5. 第 4-13 頁表 4-2 失敗機率精確至小數點後九位數？ (九)朱科長金元 (港灣技術研究中心)： 1. 資料蒐集網路技術研發結果值得肯定，尤其能直接取得政府相關單位之災害資料套疊在本系統中，對於預警能力提昇大有幫助。 2. 結論 1 中本系統所需之相關參數，請詳列，其與相關系統之關係請再詳述。	於災後的重建工作而言，可降低重建成本，提升經濟效益。 4. 感謝委員指導 已更正於 P.2-35 最後一行。 5. 感謝委員指導 橋梁通行的失敗機率乃由電腦計算產生，實際上只需參考至小數點以下 3 位或 4 位即可。 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員指導 本系統所需之相關參數請見 P.4-59, 表 4-19、表 4-20、表 4-21 所示，詳列了系統所需資料及資料交換對象。	

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. 建議 2 說之 GIS 功能，似乎非本研究重點，而是 GIS 到底在本系統所能發揮之功能為何？	2. 感謝委員指導 已補充說明於 P.6-2 建議第 2 點。	
4. 未來移給橋梁管理單位，其所準備之軟硬體為何？費用自行負擔或交通部支應？	4. 感謝委員指導 所需之軟硬體已補充說明於 P.5-8。至於費用將由哪一方負擔建議由交通部與使用單位協商決定。	
5. 第 2-55 頁...感測器如本研究團隊所採用之光纖光柵...，感覺上這部份都是由其它報告直接移植而來？	5. 感謝委員指導 已更正於 P.2-58。	
6. 第 4-33 頁沖刷災害應變流程是否有改善空間，當水位距橋面＜1.5m 時，如何讓民眾知道相關訊息，尤其是在山區水利署之水位站並不是很普遍。	6. 感謝委員指導 工程人員現場觀察到水位達 1.5m 封橋水位時，會採取封橋的緊急措施並回報給單位主管，單位主管再將狀況通報予該橋梁所在之縣市政府、鄉鎮公所，並透過廣播 電視等媒體告知民眾，流程請見 P5-2，圖 5-2。	
(十)邱主任永芳 (港灣技術研究中心)：		
1. 與計畫原定目標相符。	1. 感謝委員肯定。	

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
2. 預警系統與通報系統之規劃架構，應明確說明。	2. 感謝委員指導 在第一年研究計畫中，系統架構為初步規劃，第二年研究計畫會將系統完善的規劃及建構。	
3. 系統未來申請專利之可行性？	3. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。	
4. 未來推廣、教育訓練與技術轉移，應考量說明。	4. 感謝委員指導 第二年工作規劃項目中包含與橋管單位進行系統測試 系統使用之教育訓練 系統維護管理需求研擬等 請見 P.1-6、P.1-7 說明。	
5. 現場檢查後是否可用 PDA 來與系統聯繫。	5. 感謝委員指導 將納入討論於第二年研究計畫中。	
6. 監測系統之維護計畫，應說明。	6. 感謝委員指導 本系統與監測系統進行資料交換 擷取監測資料，但監測工作仍由顧問公司或橋管單位負責執行，因此監測系統的維護並不在本研究之範圍內。	
~~~~~以下空白~~~~~	~~~~~以下空白~~~~~	

## 附錄三 第一次專家座談會重要意見參酌

第一次專家談會重要意見

2005/6/10

專家意見	意見回覆
(一)許技正書王 (交通部科技顧問室)：       1. 建議除檢測系統外應考慮加入監測系統，在橋梁損壞前發現不正常現象發出警訊，預警的效果才得以顯現。     2. 若僅以文獻收集來建立系統，恐怕會與實務脫節，應先確認使用的單位，橋梁型式眾多，只用幾張表單是否能夠涵蓋適用所有的橋梁。不同型式的橋梁所使用的表單應不盡然完全相同。     3. 監測資料和檢測資料兩者的關係不同，檢測的頻率可能是三個月、半年或一年，而監測是持續在進行的，兩者似乎沒有必要結合在一起。	1. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。     2. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。     3. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。
(二)巫柏蕙 小姐(交通部運輸研究所)：       1. 在台灣地區橋梁管理系統中，已有橋梁定期檢測的資料，災害發生時也有災害管理系統的檢測資料，是否還需要特別建立一個防災檢測的系統。     2. 台灣地區橋梁管理系統中 D.E.R.U 檢測資料，即是例行性的人員檢測資料；而此計畫也是以人員檢測的方法進行橋梁資料的收集，兩個系統所執行的工作是否相同。	1. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。     2. 感謝專家指導。D.E.R.U 檢測主要是針對橋梁的老化腐蝕例行性的檢測，但對橋梁洪水沖刷、地震災害恐無法一體適用。本研究在地震及沖刷災害應變流程中所使用的表單主要目的是橋梁緊急安全性調查，並且有安全等級評等判定及緊急措施的建議。

專家意見	意見回覆
3. 如果只是要新增災時的調查表、評估表或耐震耐洪能力評估表，只需要在台灣地區管理系統下新增一個模組就可以達成了，並不需要另外建立另一套系統。	3. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。
(三)李教授賢華 (中山大學)：	
1. 建議應先定義預警之定位，災害發生前還是災害發生後。應設法找出災害發生之徵兆(如土石流)，並進行災害潛勢區人員撤離的相關措施。	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。本案將防災的目的界定在減少災害的損失，包括災害發生之前及災害發生之後的短時間。
2. 研究重點應在災害應變的流程，且要集中在預警的部份。是否能夠以一座橋梁做為範例，如此可以清楚的了解系統的架構及運作方法。	2. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。參酌辦理。
3. 以耐洪能力為例，上游的開挖只有距離的調查，但沒有規模，而橋梁現況如橋墩是否有裸露呢？有很多是沒有考慮進去的。	3. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。本研究所使用的表單皆為交通部科顧室、公路局等單位委託之研究案所擬訂或已經在使用的表單。
4. 橋梁監測建議先以一座橋梁來做，接收後處理過後的資料而非所有的原始資料都接收。	4. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。
5. 規模較小的地震雖未對橋梁造成重大損害，但橋梁經過地震後是否造成危險度增加，能否找出這些危險度增加的橋梁。	5. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。TELES 地震潛勢分析可推估出橋梁的損壞程度等級，是輕微損壞、中度損壞等。最後經由工程人員到現場依據表單調查橋梁確實的損壞狀況為何。

專家意見	意見回覆
6. 監測數據傳輸的問題, 建議在監測數據達到一限度值時才進行資料的交換擷取, 而不是所有的資料都傳到系統內。	6. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。本研究將研擬以交換監測評估值(警戒/行動值)的方式進行。
(四)汪副處長海鄂 (公路總局重大橋梁工程處)：   1. 橋梁管理系統及防災預警系統應做個區隔。   2. 建議橋梁危險等級應做為判斷的指標來決定應做哪些措施。	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。   2. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。各項危險等級及判斷標準、緊急措施將在報告及表單中提出。
(五)林副總工程司坤田 (基隆港務局)：   1. 建議將各個橋梁管理單位的監測、檢測資料透過資料交換的技術進行整合運用。   2. 模式的建立很重要, 資料收集後, 如何建立符合使用須求的模式是一大課題。	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。   2. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。
(六)何科長鴻文 (公路總局養路組)：   1. 建議參考氣象局雨量預測及水利單位的水位監測資訊進行橋梁洪水冲刷的預警研究。   2. 若以本案的時間及經費為考量, 建議先不考慮檢測與監測的資料結合。	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。   2. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。

專家意見	意見回覆
(七)朱科長台麟 (鐵路局橋隧科)：   1. 目前鐵路局採用 D.E.R.U 檢測系統，國內採用的檢測系統很多，希望系統能簡單且統一，不要一直變換。另外若系統開發成功後希望也能將隧道納入評估對象。   ~~~~~以下空白~~~~~	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。   ~~~~~以下空白~~~~~

## 附錄四 第二次專家座談會重要意見參酌



第二次專家談會重要意見

2005/7/26

專家意見	意見回覆
(一) 朱科長金元 (交通部運輸研究所港灣技術研究中心)：       1. 在系統中是否有將颱風洪與土石流災害常侵襲的橋梁做區隔，或是兩種是併行的，土石流往往是在颱風豪大雨時發生。     2. 在地震災害應變流程中，災害發生前是否有針對不同重要等級的橋梁有不同的檢查項目。在災害發生時是否有這麼多人力對這麼多的橋梁進行檢查。或者是應該將橋梁分為重要、次要來做檢查的順序，檢測的頻率是否也應該不同。     3. 橋梁受冲刷而破壞，河道的形式有很大的關係，是否應該要對河道做檢查、測量，多久測量一次？	1. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。感謝專家指導。在颱風或洪水來臨時，系統是以水利署所發佈之水位高程監測值為判定是否需派工程人員到現場檢查的標準。土石流則是以水保局所發佈的土石流警戒區為判斷依據。系統中兩項工作是同時進行的。     2. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。感謝專家指導。地震災害主要是以 TELES 為分析模擬工具，系統主要應用 TELES 分析的結果即橋梁的通行失敗機率或各種損壞程度的機率，此機率的排序即為橋梁檢查優先順序之依據。     3. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。關於河道變遷的問題，在本研究案中由於經費及權限的限制，因此並不在研究範圍內，僅就橋梁耐洪能力初步評估表中的河川環境調查項目進行評估。
(二) 李教授賢華 (中山大學)       1. 監測的問題，由國內橋梁監測的情形來看，不僅數量不多且執行情形斷斷續續的，若預警系統一定要結合監測，這個研究恐怕很難實行下去。但若監測是可行的機制，我們也不應完	1. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。本研究團隊已著手進行與橋梁監測系統進行資料交換之研擬。

專家意見	意見回覆
全排除在外。	
2. 在國內監測調查資料方面, 所謂已結束是指將來也不做監測的工作還是只是目前現階段的監測任務結束而已。	2. 在目前的橋梁監測工作中, 有些橋梁是因為即將拆除而結束監測作業, 有些則是現階段監測任務的結束。但在本系統中將會依據監測所得數據格式及項目, 預留欄位, 只要有監測的資料仍然會為本系統交換應用。
3. 破壞矩陣及修復補強矩陣, 在系統中是如何應用的?	3. 關於矩陣的問題, 災時工程師在現場調查, 緊急評估之後會有 A、B、C 等級, 根據這些等級會有修復補強的作為, 以緊急的補強修復工法來防止災害擴大。
4. 雖然系統是橋梁的防災預警系統, 但防災的理念主要是以人為考量, 而非純粹是工程結構物的考量。安全的定義為何? 是否應考慮到橋梁上通行的人車安全?	4. 感謝專家指導。本研究團隊將納入為研究方向及討論。目前國內的通行做法, 水位距離橋面板底高程小於 1.5m 時, 即必須採取封橋措施。無論橋梁結構體是否良好有無立即危險。
(三) 許技正書王 (交通部科技顧問室):	
1. TELES 裡的資料多久要更新一次, 有效期是多長?	1. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。TELES 的資料要多久更新的問題, 必須視 TELES 中的橋梁震損模擬資料庫更新一次需用多久時間而定, 橋梁資料則是一直在收集的。本研究將針對此問題進行探討。
2. 既然是預警系統, 就不應該少了監測這部份, 因為監測相對於檢測評估或潛勢分析評估是較為精確的。若是現	2. 感謝專家指導。監測資料及數據格式的調查及收集工作目前已在進行中, 本系統會納入監測的機制。

有國內的監測分析結果不容易取得，是否能夠彙整監測的機制流程、項目做法等相關資料，納入本系統及報告中作為建議。   3. 一座橋梁潛在的危機不應只侷限於外在的環境(颱風、地震)，內部環境也需考量(腐蝕、超載)，另外橋梁周圍的環境因素亦不宜忽略。   4. 橋梁重要性排序的問題，並非國道就比較重要，縣道就不重要。若要務實的去排序這可能必須配合地方政府及橋梁管理單位來共同研討。   5. 本研究完成後，是否需要安排教育訓練來應用這套系統技術移轉。對象是誰？公路局還是高公局或其他單位？   ~~~~~以下空白~~~~~	3. 感謝專家指導。將納入本研究之討論。參酌辦理。   4. 感謝專家指導。本團隊將納入未來研究方向及討論。   5. 感謝專家指導。教育訓練技術移轉是擬定安排在第二年中。對象是公路局或是高公局，以後續的接洽討論情況再做決定。   ~~~~~以下空白~~~~~
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 附錄五 期末報告簡報資料

# 交通工程防災預警系統建立之研究(1/2)

## 期末報告



委託單位：交通部運輸研究所  
執行單位：台灣科技大學生態與防災工程研究中心  
簡 報 者：鄭明淵

中華民國九十四年十一月十一日



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

1

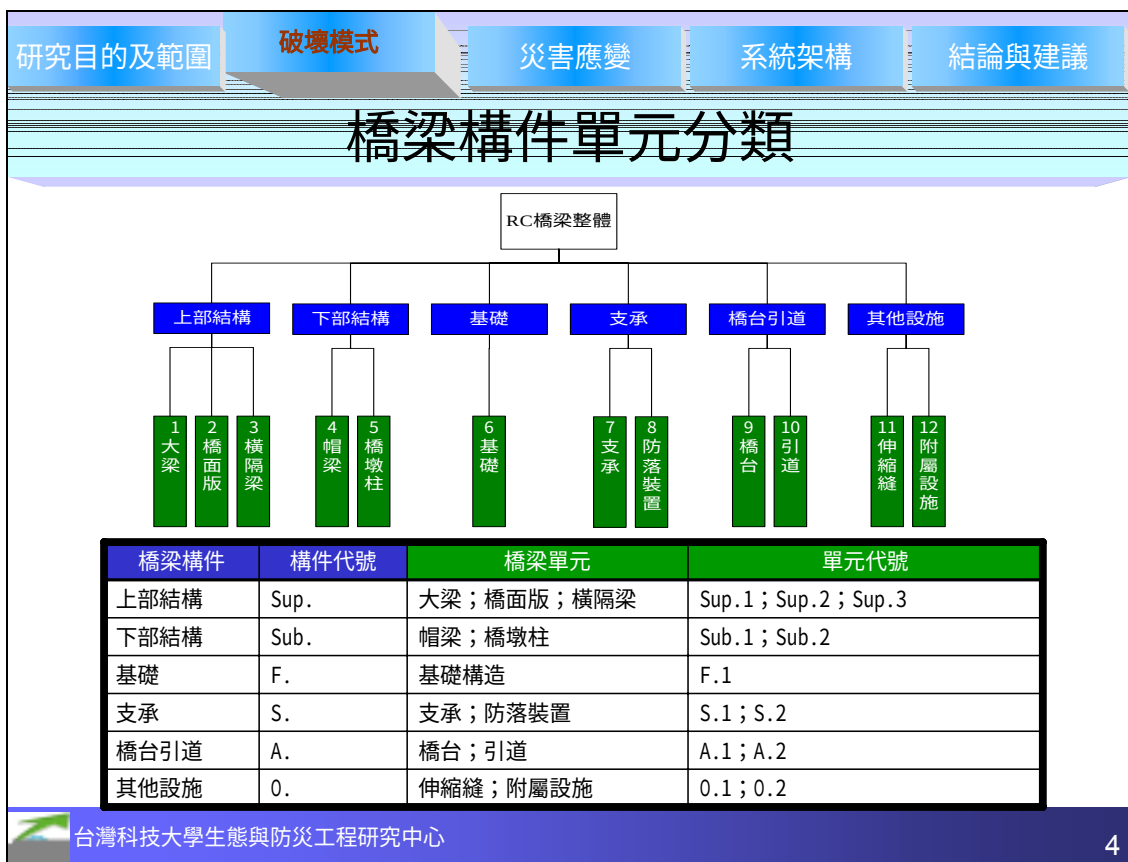
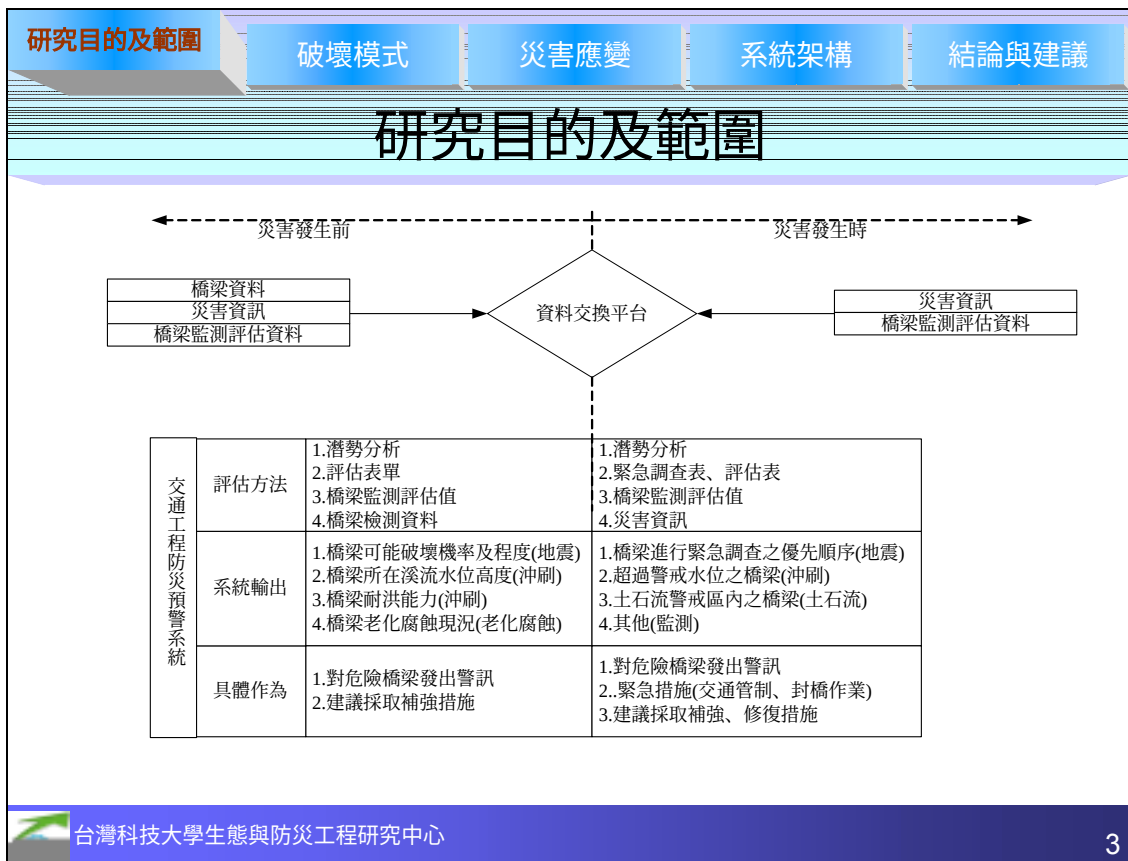
## 報告流程

- 壹、研究目的及範圍
- 貳、各種災害橋梁破壞模式
- 參、各種橋梁災害應變流程
- 肆、交通工程防災預警系統之架構及系統展示
- 伍、結論與建議



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

2



研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
橋梁損壞型式代號表				
損壞型式	代號	損壞型式	代號	
大梁損壞	M1	基礎結構破壞	M10	
橋面板損壞	M2	支承損壞	M11	
橫隔梁損壞	M3	支承座損壞	M12	
帽梁損壞	M4	防落裝置損壞	M13	
撓曲破壞	M5	橋台壁體損壞	M14	
剪力破壞	M6	引道損壞	M15	
撓剪破壞	M7	伸縮縫損壞	M16	
橋柱傾斜	M8	混凝土老化	M17	
基礎變位	M9	鋼板損壞	M18	



研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議	
橋梁損壞現象代號表					
損壞現象	代號	損壞現象	代號	損壞現象	代號
裂縫	D1	沖淤破壞	D13	孔蝕	D25
破裂	D2	束縮沖刷破壞	D14	失色	D26
變型	D3	局部沖刷破壞	D15	脫皮	D27
壓碎	D4	劣化	D16	滲膠	D28
折斷	D5	鱗狀剝落	D17	滲漏	D29
傾斜	D6	表皮髮裂	D18	鹼骨材反應	D30
傾倒	D7	剝離	D19	裂縫	D31
位移	D8	爆開	D20	鋼筋腐蝕	D32
沉陷隆起	D9	窪坑	D21	浮腫	D33
脫落	D10	蜂窩	D22	變腿色	D34
混凝土剝落	D11	白華	D23	生鏽	D35
鋼筋外露	D12	脫層	D24	龜裂	D36

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

6



研究目的及範圍		破壞模式	災害應變		系統架構		結論與建議							
橋梁單元震後損壞型式														
構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)											
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
Sup.上部結構	Sup1大梁	M1大梁損壞	◎	◎	◎		◎	◎		◎			◎	◎
	Sup2橋面版	M2橋面版損壞	◎	◎	◎			◎		◎	◎			
	Sup3橫隔梁	M3橫隔梁損壞	◎	◎	◎	◎							◎	◎
	Sub1帽梁	M4帽梁損壞	◎	◎	◎			◎					◎	◎
Sub.下部結構		M5撓曲破壞	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎					◎
	Sub2橋墩柱	M6剪力破壞	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎					◎
		M7撓剪破壞	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎					◎
		M8橋柱傾斜	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			
			M9基礎變位								◎	◎		
F.基礎	F1基礎構造	M10基礎結構破壞	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎		◎	◎
S.支承	S1支承	M11支承損壞		◎	◎	◎				◎		◎		
		M12支承座損壞	◎	◎	◎	◎								
	S2防落裝置	M13防落裝置損壞	◎	◎	◎	◎				◎		◎		
A.橋台引道	A1橋台	M14橋台壁體損壞	◎	◎	◎			◎	◎	◎	◎		◎	◎
	A2引道	M15引道損壞			◎						◎			
O.其他設施	O1伸縮縫	M16伸縮縫損壞	◎	◎	◎						◎			

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

7



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

7

研究目的及範圍		破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議		
橋梁單元洪水沖刷損壞型式							
構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)				
			D13	D14	D15		
Sup.上部結構	Sup1大梁	\					
	Sup2橋面板	\					
	Sup3橫隔梁	\					
Sub.下部結構	Sub1帽梁	\					
	Sub2橋墩柱	M8橋柱傾斜	◎	◎	◎		
F.基礎	F1基礎構造	M9基礎變位		◎	◎		
		M10基礎結構破壞		◎	◎		
S.支承	S1支承	\					
	S2防落裝置	\					
A.橋台引道	A1橋台	\					
	A2引道	\					
O.其他設施	O1伸縮縫	\					



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

8



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

8



研究目的及範圍		破壞模式	災害應變		系統架構		結論與建議							
橋梁單元土石流損壞型式														
構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 D)											
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D13	D14	D15
Sup. 上部結構	Sup1 大梁	M1 大梁損壞	○	○	○		○	○		○				
	Sup2 橋面板	M2 橋面板損壞	○	○	○		○	○		○	○			
	Sup3 橫隔梁	M3 橫隔梁損壞	○	○	○		○							
Sub. 下部結構	Sub1 帽梁	M4 帽梁損壞	○	○	○		○	○						
	Sub2 橋墩柱	\												
		\												
		\												
		M8 橋柱傾斜	○	○	○		○	○	○	○		○		
F. 基礎	F1 基礎構造	\												
		M10 基礎結構破壞	○	○	○		○	○		○				
S. 支承	S1 支承	M11 支承損壞	○	○	○					○				
		M12 支承座損壞	○	○	○									
	S2 防落裝置	\												
A. 橋台引道	A1 橋台	M14 橋台壁體損壞	○	○	○			○	○	○				
	A2 引道	\												
O. 其他設施	O1 伸縮縫	\												

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

9

研究目的及範圍		破壞模式	災害應變		系統架構		結論與建議							
橋梁單元老化腐蝕損壞型式(1/2)														
構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)											
			D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27
Sup. 上部結構	Sup1大梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		M18鋼板損壞				◎								
	Sup2橋面板	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		M18鋼板損壞				◎								
	Sup3橫隔梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		M18鋼板損壞				◎								
Sub. 下部結構	Sub1帽梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		M18鋼板損壞				◎								
F. 基礎	Sub2橋墩柱	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		F1基礎構造	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
S. 支承	S1支承	M11支承損壞	◎											
		M12支承座損壞	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	S2防落裝置	M13防落裝置損壞	◎											
A. 橋台 引道	A1橋台	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	A2引道	/												
O. 其他設施	O1伸縮縫	M16伸縮縫損壞	◎											



台灣科技大學生態與防災工程研究中心

10

研究目的及範圍		破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議							
橋梁單元老化腐蝕損壞型式(2/2)												
構件	單元	損壞型式 (M)	主要損壞現象 (D)									
			D28	D29	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36	
Sup.上部結構	Sup1大梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M18鋼板損壞						◎	◎	◎	◎	
	Sup2橋面板	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M18鋼板損壞						◎	◎	◎	◎	
	Sup3橫隔梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M18鋼板損壞						◎	◎	◎	◎	
Sub.下部結構	Sub1帽梁	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M18鋼板損壞						◎	◎	◎	◎	
F.基礎	Sub2橋墩柱	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M18鋼板損壞										
S.支承	F1基礎構造	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎					
		M11支承損壞										
	S1支承	M12支承座損壞										
		S2防落裝置										
A.橋台引道	M13防落裝置損壞				◎	◎						
		A1橋台	M17混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎				
	A2引道	/										
		O.其他設施	O1伸縮縫	M16伸縮縫損壞								

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

11

研究目的及範圍

破壞模式

災害應變

系統架構

結論與建議

橋梁單元損壞型式及災害原因歸納表

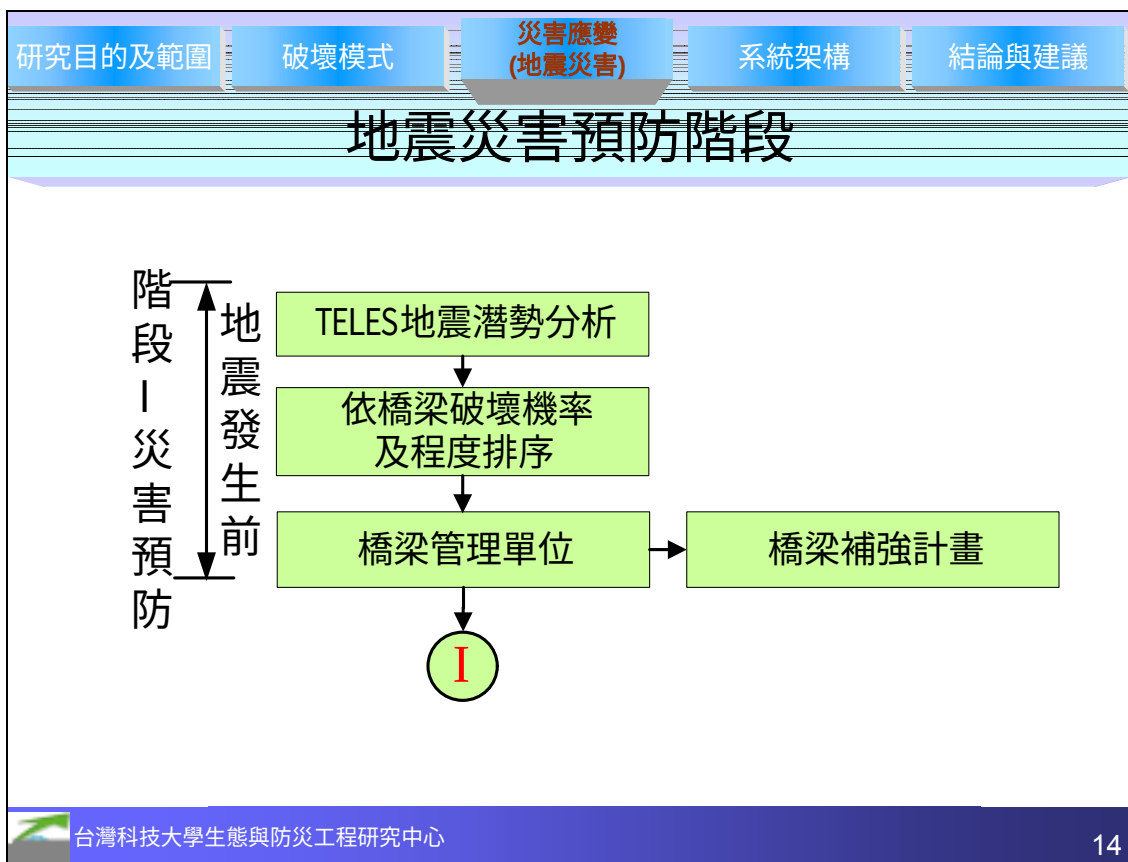
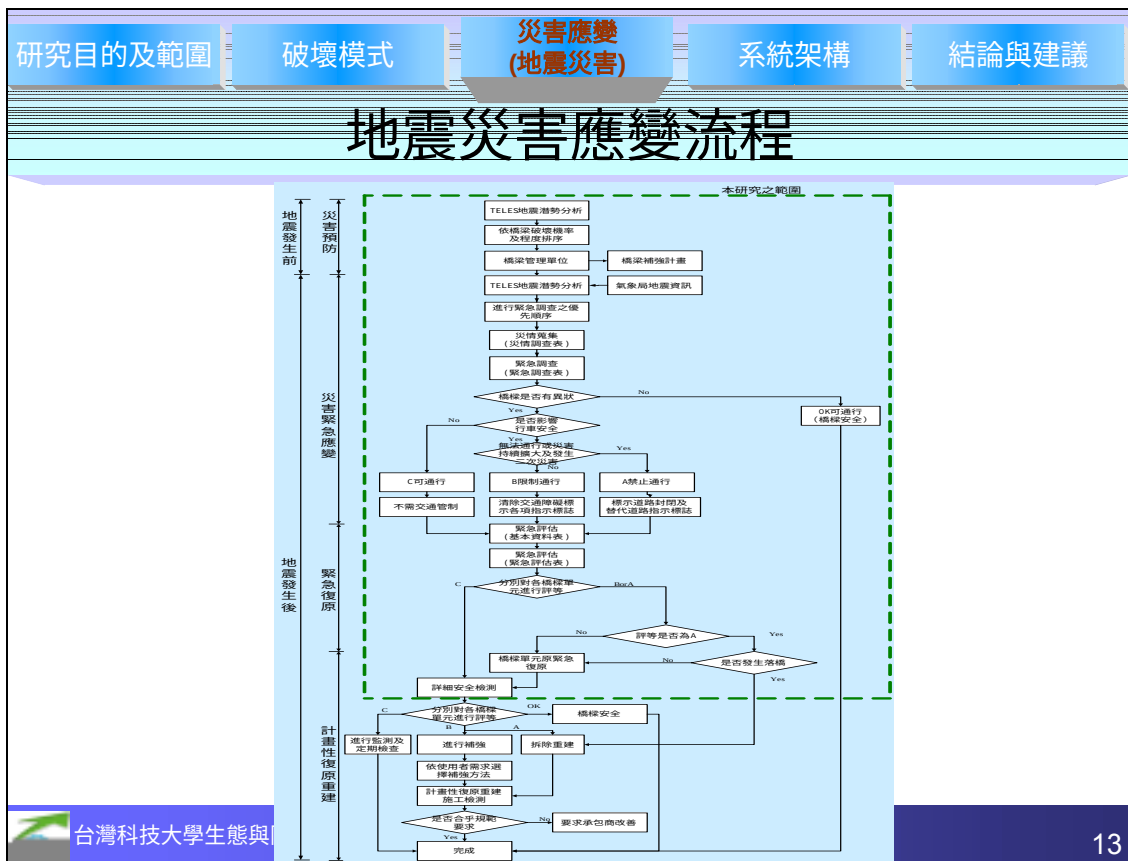
構件		破壞模式	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
Sup. 上部結構	Sup1	E/S																	D	D
	Sup2		E/S																D	D
	Sup3			E/S															D	D
Sub. 下部結構	Sub1				E/S														D	D
	Sub2					E	E	E	E/F/S										D	
F. 基礎	F1										E/F	E/F/S							D	
S. 支承	S1												E/D/S	E/D/S						
	S2														E/D					
A. 橋台引道	A1															E/S			D	
	A2																E			
O. 其他設施	O1																	E/D		

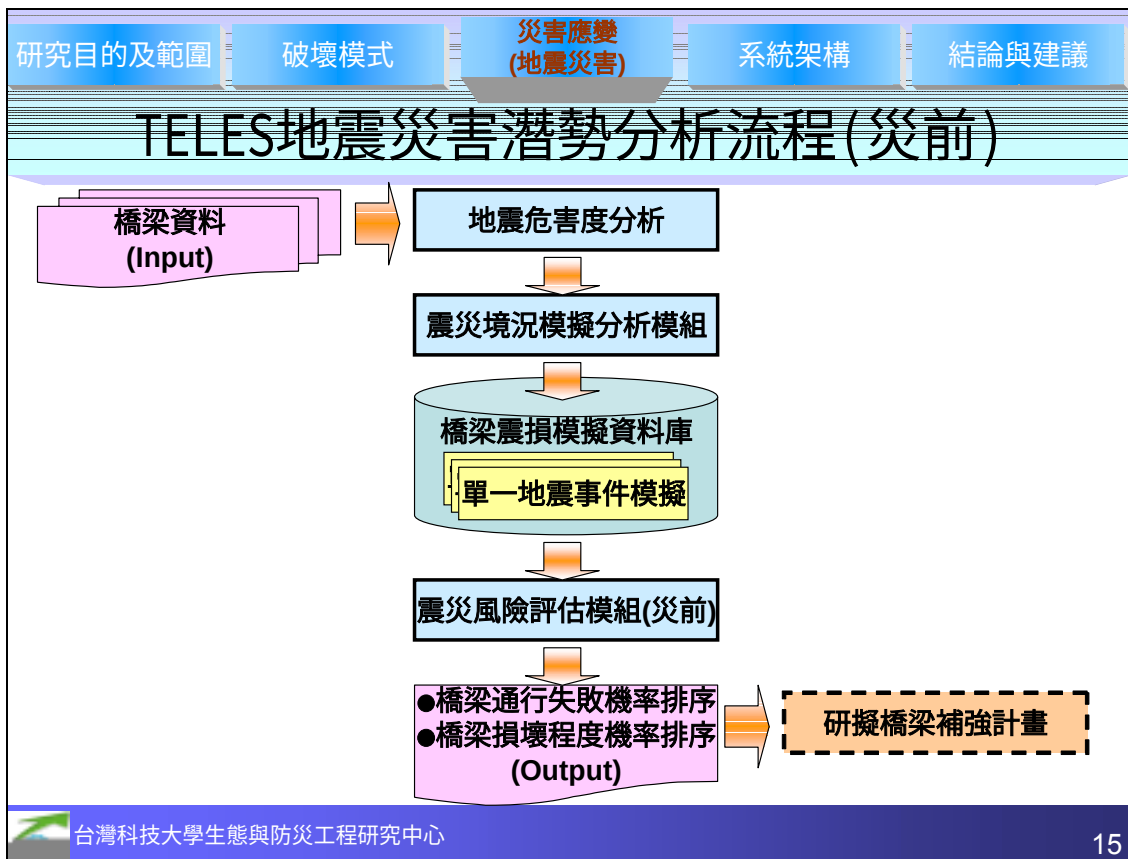
E:地震, F:沖刷, S:土石流, D:老化腐蝕

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

12

E:地震, F:沖刷, S:土石流, D:老化腐蝕





研究目的及範圍 破壞模式 災害應變 (地震災害) 系統架構 結論與建議

## TELES橋梁屬性資料調查表

橋梁屬性資料調查表				
填寫人員：_____		調查日期：____年__月__日		
橋梁名稱	公路總局橋梁編號		_____	
道路名稱	道路等級		<input type="checkbox"/> 1 省道 <input type="checkbox"/> 2 縣道 <input type="checkbox"/> 3 鄉道	
橋梁管理單位	附掛維生管線		<input type="checkbox"/> 1 有 <input type="checkbox"/> 2 無	
跨越河川/道路	<input type="checkbox"/> 1 河川 <input type="checkbox"/> 2 道路 <input type="checkbox"/> 3 橋樑 名稱 _____			
座標	橋頭座標 N _____ E _____			
	橋尾座標 N _____ E _____			
橋梁結構型態	<input type="checkbox"/> 1 吊橋 <input type="checkbox"/> 2 拱橋 <input type="checkbox"/> 3 桁架 <input type="checkbox"/> 4 連續 <input type="checkbox"/> 5 箱涵 <input type="checkbox"/> 6 簡支 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
橋梁主梁形式	<input type="checkbox"/> 1 I 型梁 <input type="checkbox"/> 2 B 型梁 <input type="checkbox"/> 3 T 型梁 <input type="checkbox"/> 4 U 型梁 <input type="checkbox"/> 5 版梁 <input type="checkbox"/> 6 箱型梁 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
橋墩形式	<input type="checkbox"/> 1 無橋墩構造 <input type="checkbox"/> 2 T 型 <input type="checkbox"/> 3 重力式 <input type="checkbox"/> 4 半重力式 <input type="checkbox"/> 5 柱狀 <input type="checkbox"/> 6 多柱 <input type="checkbox"/> 7 槽排架式 <input type="checkbox"/> 8 牆式 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
橋墩基礎形式	<input type="checkbox"/> 1 無橋墩基礎 <input type="checkbox"/> 2 基礎 <input type="checkbox"/> 3 沉箱基礎 <input type="checkbox"/> 4 直接基礎 <input type="checkbox"/> 5 開放基礎 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
橋台形式	<input type="checkbox"/> 1 無橋台構造 <input type="checkbox"/> 2 扶壁式 <input type="checkbox"/> 3 重力式 <input type="checkbox"/> 4 半重力式 <input type="checkbox"/> 5 懸臂式 <input type="checkbox"/> 6 槽排架式 <input type="checkbox"/> 7 支柱式 <input type="checkbox"/> 8 鋼型式 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
橋台基礎形式	<input type="checkbox"/> 1 無橋台基礎 <input type="checkbox"/> 2 槽基礎 <input type="checkbox"/> 3 沉箱基礎 <input type="checkbox"/> 4 直接基礎 <input type="checkbox"/> 5 開放基礎 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
支撐墊形式	<input type="checkbox"/> 1 無支承墊式 <input type="checkbox"/> 2 單軸式 <input type="checkbox"/> 3 多軸式 <input type="checkbox"/> 4 直式 <input type="checkbox"/> 5 點軸 <input type="checkbox"/> 6 球軸 <input type="checkbox"/> 7 簡式連節 <input type="checkbox"/> 8 平面滑動 <input type="checkbox"/> 9 橡膠薄板 <input type="checkbox"/> 10 彎軸葉狀 <input type="checkbox"/> 11 壺狀 <input type="checkbox"/> 12 彎軸插銷 <input type="checkbox"/> 99 其他 _____			
防落設施	<input type="checkbox"/> 1 無止震設施 <input type="checkbox"/> 2 混凝土止震塊 <input type="checkbox"/> 3 預力混凝土止震塊 <input type="checkbox"/> 9 其他 _____			
線形	<input type="checkbox"/> 1 直橋 <input type="checkbox"/> 2 曲橋			
橋梁分類	<input type="checkbox"/> 1 單跨橋 <input type="checkbox"/> 2 單柱 <input type="checkbox"/> 3 構架式 <input type="checkbox"/> 4 壁式 <input type="checkbox"/> 5 單柱 <input type="checkbox"/> 6 構架式 <input type="checkbox"/> 7 壁式 <input type="checkbox"/> 8 其他橋樑		設計使用規範	<input type="checkbox"/> 傳統 C <input type="checkbox"/> 耐震/補強 S
橋長	公尺	橋寬	公尺	單跨最大跨度 公尺
跨數		振動單元數		歪斜角 度

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 16

研究目的及範圍

破壞模式

災害應變  
(地震災害)

系統架構

結論與建議

TELES資料欄位( Input )( 1/4 )

欄位名稱	說明	TELES屬性調查表	TBMS
ID	橋樑分段識別碼		
ID2	橋樑單一識別碼		
TPEC_ID	運研所橋梁識別碼		
NAME	橋梁名稱	○	○
CLASS	橋樑類別	○	
Z_CODE	震區係數		
SOILTYPE	土壤類別		
SOILLQF	土壤液化敏感類別		
LANDSLIDE	山崩敏感類別		
WATERDEPTH	地下水位深度		
LENGTH_GRH	保留		
LENGTH_SHT	保留		

使用者須填欄位

○

可得到該資料

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

17

17

研究目的及範圍

破壞模式

災害應變  
(地震災害)

系統架構

結論與建議

# TELES資料欄位(Input) (2/4)

欄位名稱	說明	TELES屬性調查表	TBMS
LENGTH	橋樑長度	○	○
WIDTH	橋樑寬度	○	○
NUMUNITS	振動單元數	○	
NUMSPANS	跨數	○	○
DECK_AREA	橋面板面積	○	○
COST	重建成本(百萬)		
MAXSPANLEN	單跨最大跨度	○	○
SKEWANGLE	歪斜角(車行方向與橋柱方向之夾角)	○	
FT_VAL	(深基礎數目/總基礎數)+1		

使用者須填欄位

○

可得到該資料


 台灣科技大學生態與防災工程研究中心

18

18

研究目的及範圍

破壞模式

災害應變  
(地震災害)

系統架構

結論與建議

TELES資料欄位(Input) (3/4)

欄位名稱	說明	TELES屬性調查表	TBMS
XI	GPS座標(N)	○	○
YI	GPS座標(E)	○	○
MANAGER	管理單位		
DESIGN_YR	設計年份		
DESIGN_COD	設計規範	○	
CODE_YR	保留		
DESIGNER	設計單位		
SUPERVISOR	監工單位		
COMPET_DAT	完工日期		○
LINE_CURVE	直橋或曲橋	○	
GIRDER_TYP	大樑形式	○	○

：使用者須填欄位

○

：可得到該資料

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

19

研究目的及範圍

破壞模式

災害應變  
(地震災害)

系統架構

結論與建議

TELES資料欄位(Input) (4/4)

欄位名稱	說明	TELES屬性調查表	TBMS
STR_TYPE	簡支或連續	○	
FALL_TYPE	防止落橋設施種類	○	○
SUP_TYPE	支承形式		○
PIER_TYPE	橋柱形式		
BASE_TYPE	基礎形式	○	○
ABU_TYPE	橋台形式	○	○
SPAN_STATU	跨度配置與長度		
NOTES	備註		
NOTES2	備註		
DANGERCLAS	保留		

：使用者須填欄位

○

：可得到該資料

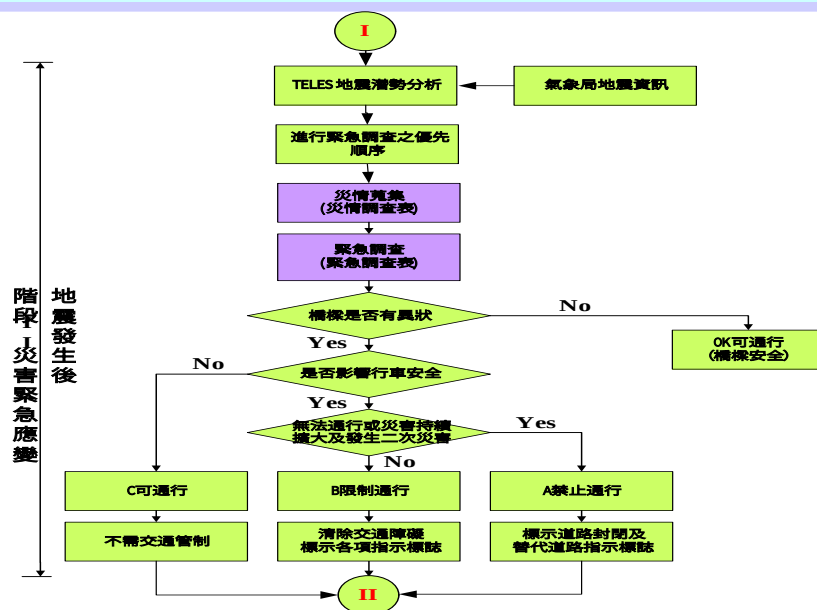
台灣科技大學生態與防災工程研究中心

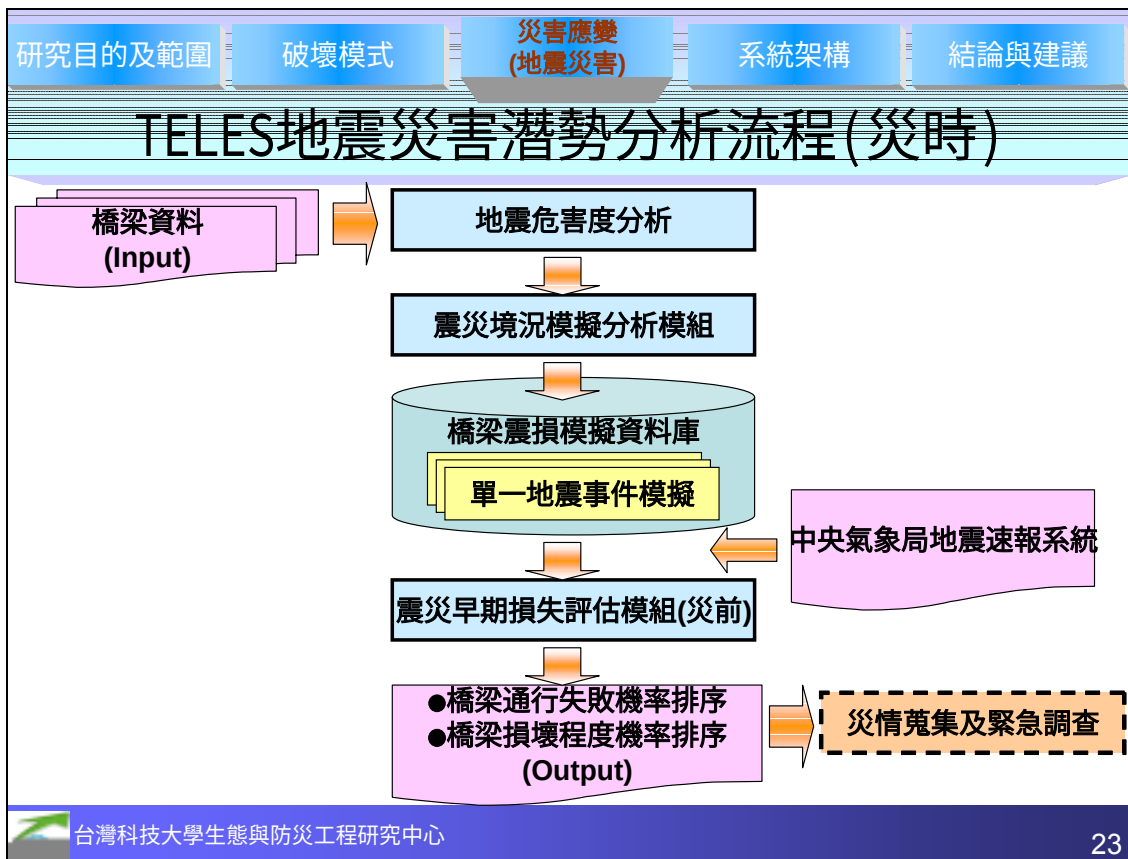
20

## TELES地震災害潛勢分析結果(Output)

欄位名稱	說明	欄位名稱	說明
ID	橋梁分段識別碼	D2	輕微損壞機率
ExceedD2	超越輕微損壞機率	Prob_Fail	橋梁通行失敗機率
ExceedD3	超越中度損壞機率	DmgState	損壞狀態
ExceedD4	超越嚴重損壞機率	DmgRatio	修復成本與拆除重建成本值
D5	完全損壞機率	Cost	拆除重建成本(百萬)
D4	嚴重損壞機率	Loss	經濟損失(百萬)
D3	中度損壞機率		

## 地震災害緊急應變階段





23

研究目的及範圍    破壞模式    **災害應變  
(地震災害)**    系統架構    結論與建議

## 震後災情調查表

地震基本資料				維生線上 橋樑狀況	二次災害發生 可能性
地震規模	震源	地震形態	震區分佈		
— 級				<input type="checkbox"/> 暢通 <input type="checkbox"/> 阻礙	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 高

(陳生金，公路總局，民94)

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

24



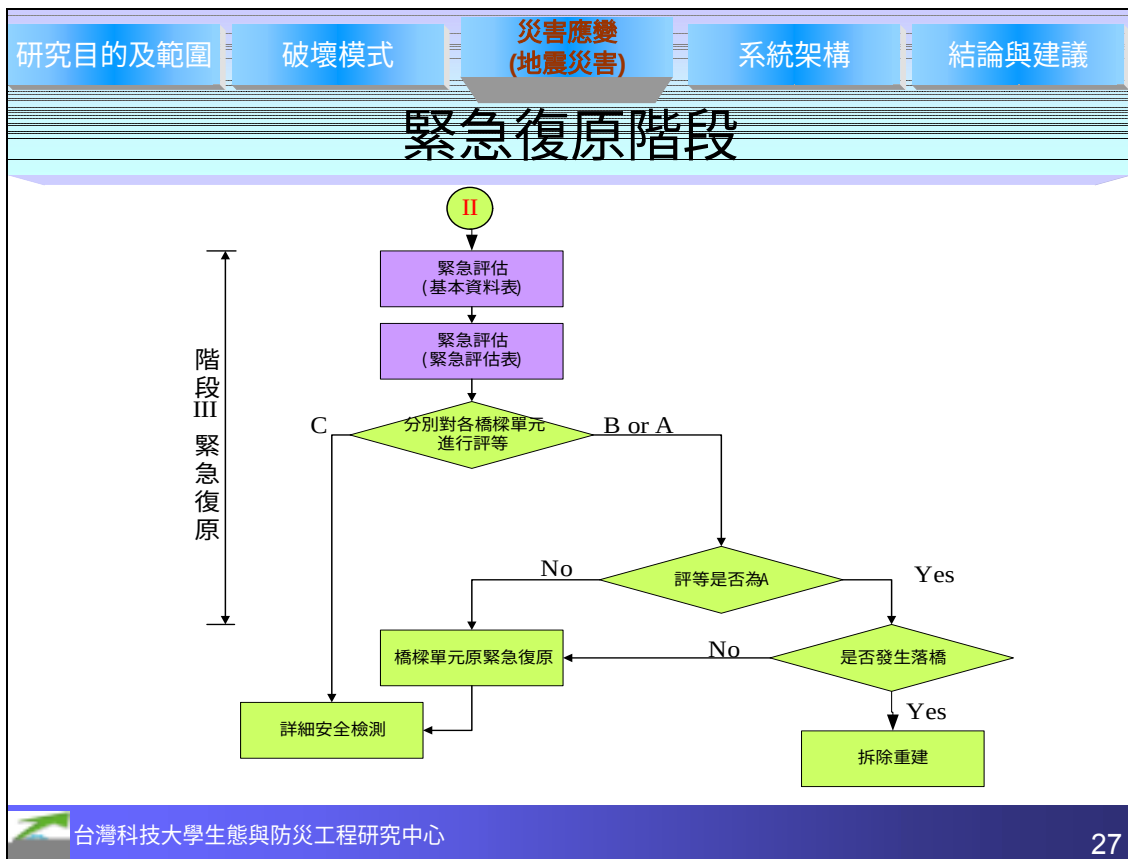
## 震後橋梁緊急調查表(1/2)

橋梁基本資料			
橋梁名稱		調查日期	
橋梁位置		調查人員	
橋梁現況資料			
調查項目	損壞狀況		
	A	B	C OK
1. 橋梁整體	落橋 縱斷面高低差 橫斷面錯位	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	備註
2. 上部結構 (Sup)	主梁損壞 副構件損壞 主梁變形 副構件變形	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
3. 橋柱 (Sub)	帽梁損壞 副構件損壞 傾斜、沉陷、開裂	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
4. 基礎 (F)	坍滑 傾斜、沉陷 沖刷裸露 土壤液化	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	

(陳生金，公路總局，民94)

## 震後橋梁緊急調查表(2/2)

5. 支承 (S)		支承裝置損壞 防止落橋裝置損壞	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
橋台引道 (A)	6. 橋台	傾斜位移 胸牆、翼牆損壞 護坡坍滑 背牆損壞	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
	7. 引道	傾斜位移 擋土牆損壞 路基流失、坍滑	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
其他設施 (O)	8. 伸縮縫	開裂擠壓 錯位、高低差	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
	9. 附屬設施	護欄破損脫落 照明設施受損 管線受損 排水設施受損	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
其他		落石坍方	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
綜合研判		<input type="checkbox"/> OK:無異狀可通行 <input type="checkbox"/> A:禁止通行 <input type="checkbox"/> B:管制通行 <input type="checkbox"/> C:可通行		



27

研究目的及範圍	破壞模式	<b>災害應變 (地震災害)</b>	系統架構	結論與建議
---------	------	------------------------	------	-------

## 震後橋梁緊急評估表(1/2)

橋樑基本資料			
橋梁名稱		調查日期	
橋梁位置		調查人員	
橋梁淨空: 長度      m, 寬度      m, 高度      m			
橋梁結構型式: <input type="checkbox"/> 簡支 <input type="checkbox"/> 斜張 <input type="checkbox"/> 懸臂 <input type="checkbox"/> 桁架 <input type="checkbox"/> 吊橋 <input type="checkbox"/> 拱橋 <input type="checkbox"/> 連續 <input type="checkbox"/> 其他			
橋梁結構配置:			
主梁型式: <input type="checkbox"/> I型梁 <input type="checkbox"/> 箱型梁 <input type="checkbox"/> T型梁 <input type="checkbox"/> 桁架式 <input type="checkbox"/> U型梁 <input type="checkbox"/> 其他			
主梁材質: <input type="checkbox"/> 混凝土 <input type="checkbox"/> 預力混凝土 <input type="checkbox"/> 鋼結構			
橋墩型式: <input type="checkbox"/> 壁式 <input type="checkbox"/> 單柱式 <input type="checkbox"/> 構架式 <input type="checkbox"/> 樁排架式 <input type="checkbox"/> 其他			
橋墩材質: <input type="checkbox"/> 混凝土 <input type="checkbox"/> 鋼結構 <input type="checkbox"/> 其他			
支承型式: <input type="checkbox"/> 鋼支承 <input type="checkbox"/> 盤式支承 <input type="checkbox"/> 鑄鋼支承 <input type="checkbox"/> 滑板支承 <input type="checkbox"/> 合成橡膠 <input type="checkbox"/> 搖滾支承 <input type="checkbox"/> 其他			
其他附屬設施: <input type="checkbox"/> 照明 <input type="checkbox"/> 護欄 <input type="checkbox"/> 其他			

(陳生金, 公路總局, 民94)

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

28

研究目的及範圍		破壞模式		災害應變 (地震災害)		系統架構		結論與建議	
震後橋梁緊急評估表(2/2)									
構件分類	評估項目	A B C	A. 危險	B. 無立即危險	C. 尚屬安全	里程	構件編號	備註	
1橋梁 整體	落橋發生可能性	□□□	»落橋	»二次災害可能性高 »災害擴大可能性高	»無二次災害可能性 »無災害擴大可能性				
	二次災害可能性	□□□							
	災害擴大可能性	□□□							
2上部 結構 (Sup)	混凝土裂縫	□□□	»主梁自支承滑落 或錯位 »主梁支承端混凝土開裂大量脫落 »裂縫寬度介於0.5~2mm »鋼筋(腱)外露	»支承端混凝土開裂 »裂縫寬度介於0.5~2mm »部份混凝土剝落	»無損壞或劣化現象 »裂縫輕微寬度小於0.5mm »不影響行車及結構安全				
	混凝土剝離	□□□							
	鋼筋挫屈	□□□							
	鋼筋斷裂	□□□							

台灣科技大學生態與防災工程研究中心

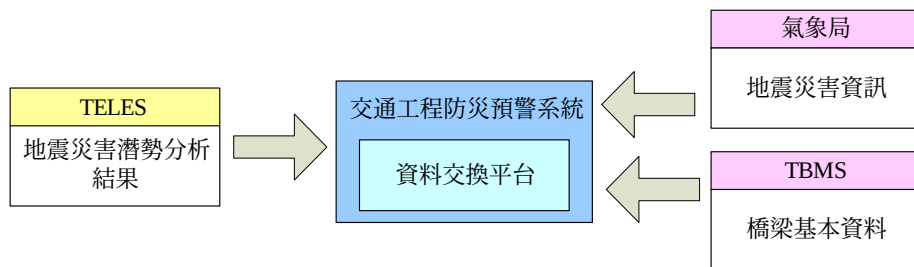
29

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變 (地震災害)	系統架構	結論與建議
緊急復原階段各構件單元之修復補強方案(等級A)				
緊急評估等級A		優先緊急復原補強技術	其他緊急復原方案	
橋梁構件	橋梁單元			
上部結構 (Sup)	1.大 梁	千斤頂/臨時支撐法	壓力灌漿工法 鋼板補強工法 增設防落樑件 增設防落檔版 外加鋼纜索束	
	2.橋 面 版			
	3.隔 梁			
下部結構 (Sub)	4.帽 梁	千斤頂/臨時支撐法	壓力灌漿工法 鋼板補強工法 外加鋼纜索束	
	5.橋 墩 柱			
基 礎 (F)	6.基 礎	千斤頂/臨時支撐法	擴大基版工法 增樁補強工法 增設基礎保護設施	
支 承 (S)	7.支 承	千斤頂/臨時支撐法	支承修補工法 更換支承 增設防落樑件 增設防落檔版	
	8.防落裝置			
橋台引道 (A)	9.橋 台	千斤頂/臨時支撐法		
	10.引 道	鋪設臨時覆蓋版	挖/填土夯實	
其他設施 (O)	11.伸 縮 縫	鋪設臨時覆蓋版	更換伸縮縫	
	12.附屬設施	附屬設施修復		
橋梁整體 (落橋)		架設臨時便橋		

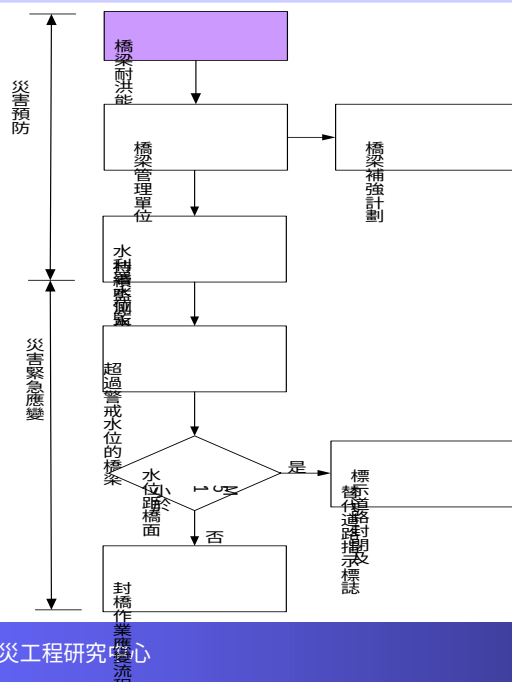
30

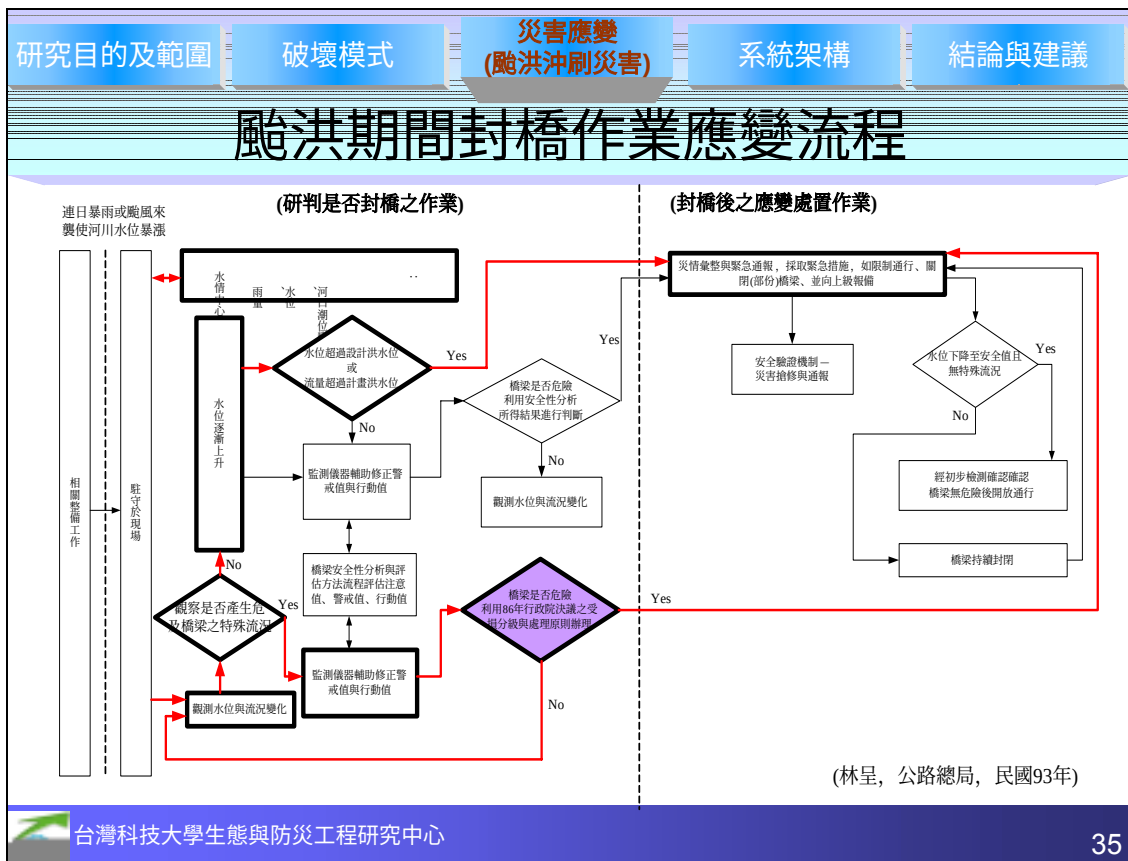


## 地震災害應變所需交換資料及對象



## 颱風沖刷災害應變





研究目的及範圍	破壞模式	<b>災害應變 (颱洪沖刷災害)</b>	系統架構	結論與建議
---------	------	--------------------------	------	-------

## 公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(1/2)

項次	項目	配分	評估內容	權重	評分
001	主河道變遷	5	<input type="checkbox"/> 嚴重變遷(1.0) <input type="checkbox"/> 輕微變遷(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)		
002	河川整治辦理情形	5	<input type="checkbox"/> 尚未辦理(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以內完成，其他未辦理(0.5) <input type="checkbox"/> 已完成(0)		
003	河床垂直向長期冲刷潛能	5	<input type="checkbox"/> 高(1.0) <input type="checkbox"/> 中(0.5) <input type="checkbox"/> 低(0)		
004	鄰近有無採砂	7.5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以外(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)		
005	上游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 1000公尺以內(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以外(0.5) <input type="checkbox"/> 無(0)		
006	下游攔河堰	5	<input type="checkbox"/> 無(1.0) <input type="checkbox"/> 1000公尺以外(0.5) <input type="checkbox"/> 1000公尺以內(0)		
007	橋基保護工現況	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 中等(0.5) <input type="checkbox"/> 良好或無需保護(0)		

(陳振川，公路總局，民94。)

研究目的及範圍		破壞模式		災害應變 (颱風沖刷災害)		系統架構		結論與建議	
公路橋梁安全初步評估表(耐洪能力)(2/2)									
008	橋梁配置	橋墩形式	5	<input type="checkbox"/> 單柱橋墩(1.0) <input type="checkbox"/> 雙柱橋墩(0.5) <input type="checkbox"/> 多柱或壁式橋墩(0)					
009		基礎剩餘長度與原有長度之比值	15	基樁：當 $(H_{\text{left}}/H) < 0.6$ ， $w=1.0$ ；當 $0.6 \leq (H_{\text{left}}/H) \leq 1.0$ ， $w=2.5-2.5(H_{\text{left}}/H)$ 沉箱：當 $(H_{\text{left}}/H) < 0.4$ ， $w=1.0$ ；當 $0.4 \leq (H_{\text{left}}/H) \leq 1.0$ ， $w=3/5-3/5(H_{\text{left}}/H)$ 直接基礎： <input type="checkbox"/> 置於砂礫層，有冲刷之虞(1.0) <input type="checkbox"/> 置於岩盤表層(0.5) <input type="checkbox"/> 深入岩盤(0)					
010		橋墩等值寬度 $b_{\text{eff}}$	7.5	當 $b_{\text{eff}} > 8$ ， $w=1.0$ ；當 $2 \leq b_{\text{eff}} < 8$ ， $w=-1/3+(1/6)b_{\text{eff}}$ ；當 $b_{\text{eff}} < 2$ ， $w=0$					
011		橋墩方向與水流方向夾角 $\theta$	5	當 $K_{\theta} \leq 2.0$ ， $w=K_{\theta}-1$ ；當 $K_{\theta} > 2.0$ ， $w=1.0$ ； $K_{\theta}=[(l/b)\sin\theta+\cos\theta]0.65$ $l$ ：橋墩沿垂直行車方向深向； $b_{\text{eff}}$ 橋墩等值寬度					
012		阻水面積比 $R_A(\%)$	5	$w=(RA-5)/5 \leq 1.0$					
013		梁底高程	5	$1.0 \geq w=1-\frac{(\text{梁底高程}-\text{計畫洪水位})}{2.0\text{公尺}} \geq 0$ 或 $1.0 \geq 1-\frac{(\text{梁底高程}-\text{堤頂高度})}{1.5\text{公尺}} \geq 0$					
014		支承狀況與防落長度	7.5	<input type="checkbox"/> 不良(1.0) <input type="checkbox"/> 普通(0.5) <input type="checkbox"/> 良好(0)					
015		橋墩形狀	5	<input type="checkbox"/> 平頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 圓形或圓頭墩(1.0) <input type="checkbox"/> 尖頭墩(0)					
016	其他影響耐洪能力之異常現象	5	橋墩及基礎變位傾斜、下部結構被撞擊損害等						
分數總計			100	(危險度評分超過50分者為冲刷潛勢嚴重之橋梁)					

37

研究目的及範圍		破壞模式	災害應變 (颱風沖刷災害)	系統架構	結論與建議			
橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表(1/2)								
橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表				日期				
路線與橋梁名稱								
管理單位								
說明								
受損分級	橋梁受損情形			是否發生(勾選)				
極嚴重	橋梁有落橋、崩塌情形。							
	橋梁構造有顯著傾斜、沈陷、位移情形。							
	橋台或橋墩擴展基礎(或沉箱)已被洪水掏空大半。							
	橋台或橋墩樁基礎遭流木或土石流衝斷，有造成橋梁失去穩定、危及通行安全之虞。							
潛在極嚴重	損害情形界於極嚴重與嚴重間者。							
(利用民國86年行政院決議之受損分級與處理原則辦理。林呈，公路總局，民93。)								
台灣科技大學生態與防災工程研究中心					38			



研究目的及範圍	破壞模式	災害應變 (颱風沖刷災害)	系統架構	結論與建議
橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表(2/2)				
嚴重	橋台或橋墩擴展基礎已被洪水沖刷外露。			
	橋台或橋墩擴展基礎(或沉箱)被洪水沖刷裸露深度超過設計容許範圍。			
	橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝斷，但未立即危害通行安全。			
	橋台或橋墩樁基礎被流木或土石流衝擊造成損壞，但未立即危害通行安全。			
	上部結構主構件(主梁)已腐蝕剝落或發生超過容許之結構裂縫。			
	橋面板混凝土產生格網狀裂縫，且出現白華及銹水或保護層剝落。			
潛在嚴重	損害情形界於嚴重與輕微間者			
輕微	橋梁雖有受損，尚不致影響通行安全			
附註： (1)極嚴重：橋梁發生崩塌、重大變形或損傷顯著，而導致結構物功能降低。受損橋梁經檢查有上述之情形，為避免影響通行安全，建議完全禁止通行，俟補強、補修完成或拆除重建後，再行開放通行。 (2)嚴重：橋梁損傷顯著，且有持續擴大跡象，其功能可能有降低之虞。受損橋梁經檢查上述情形，為避免影響通行安全，建議須封閉部份車道、車速、車流量，待損壞部份補強補修後，再解除管制；如因考量交通需要，而未予管制，但應隨時注意橋梁狀況，並儘速完成補強、修補。 (3)輕微：橋梁雖有受損，尚不致影響通行安全，可不須管制，但應儘速予以修復。				
台灣科技大學生態與防災工程研究中心				

39

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變 (颱風沖刷災害)	系統架構	結論與建議
全省重要河川溪流水位監測(1/2)				
				
台灣科技大學生態與防災工程研究中心				40



## 全省重要河川溪流水位監測(2/2)



## TBMS橋梁基本資料—計畫洪水位

橋梁一次檢核年月:  檢核人員:

基本資料欄位:  最大淨寬:  最小淨寬:  最高橋墩高度:

橋上淨高:  橋下淨高:  橋墩孔數:

最大跨徑:  其他跨徑:

橋面GPS座標:  橋底GPS座標:  橋面GPS座標:

檢核資料欄位:  檢核型式:  檢核材料:  檢核基礎型式:

檢核記錄欄位:  主梁材質:  橋台型式:  橋台基礎型式:

檢核分析欄位:  承載力:  震害型式:  支承型式:

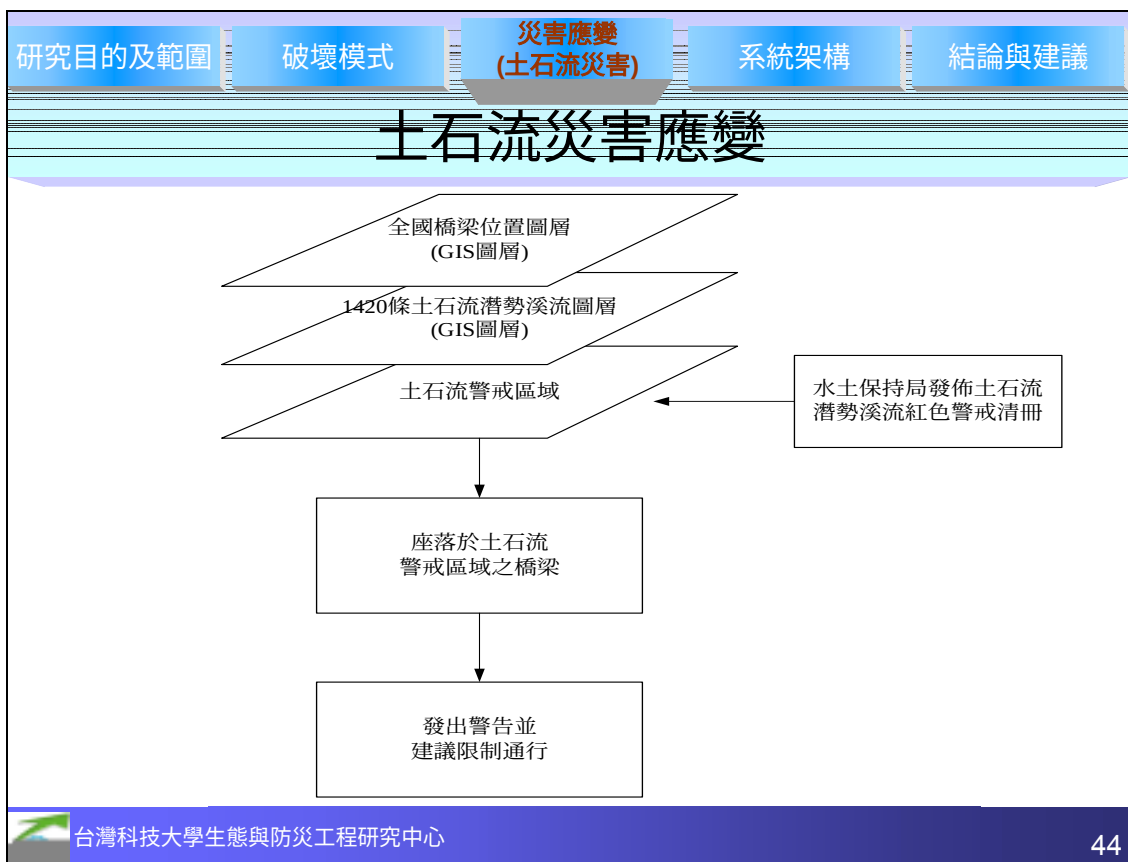
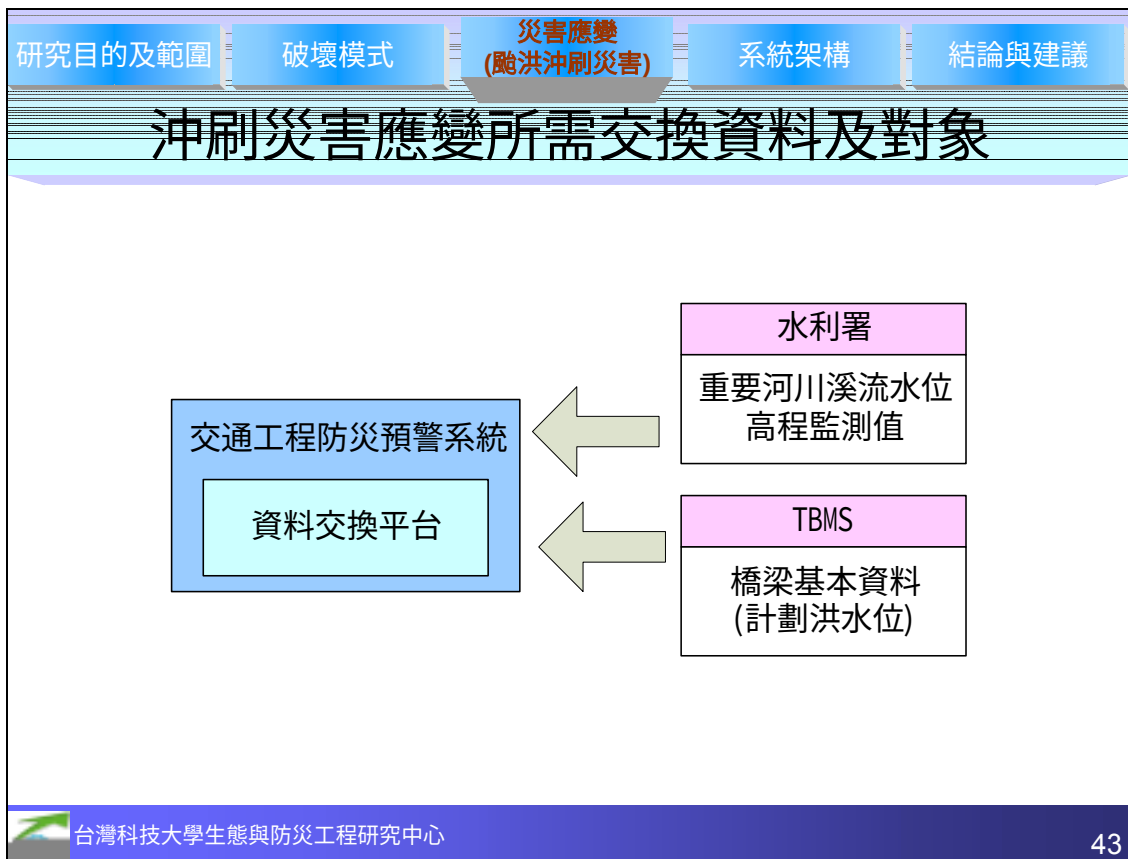
成本估算欄位:

系統參數設定:

地理資訊欄位:  防淤欄位:  地基加建:  計畫洪水位:

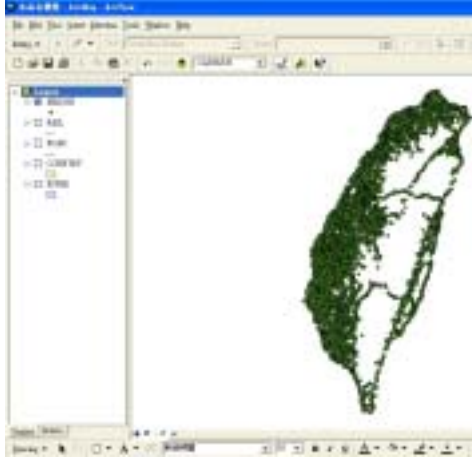
整合性決策欄位:  計畫養護高程:  計畫測岸高程:  地基種類:

檢核保護工法:

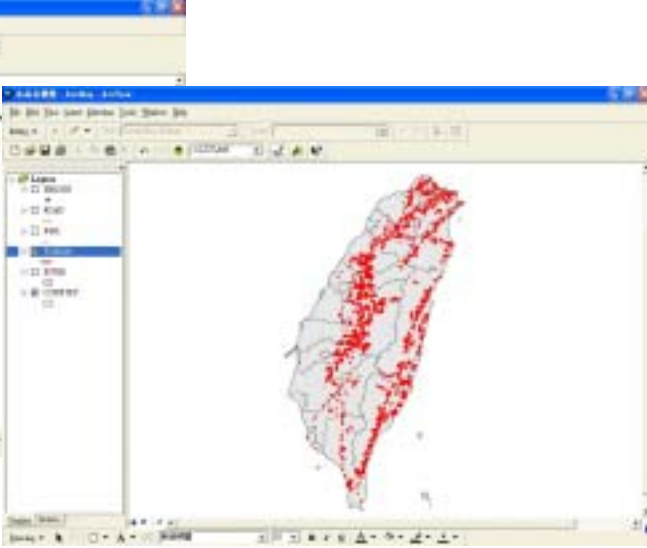


研究目的及範圍
破壞模式
**災害應變  
(土石流災害)**
系統架構
結論與建議

## 全國橋梁及土石流潛勢溪流圖層



全國橋梁位置圖層(GIS圖層)



土石流潛勢溪流圖層(GIS圖層)

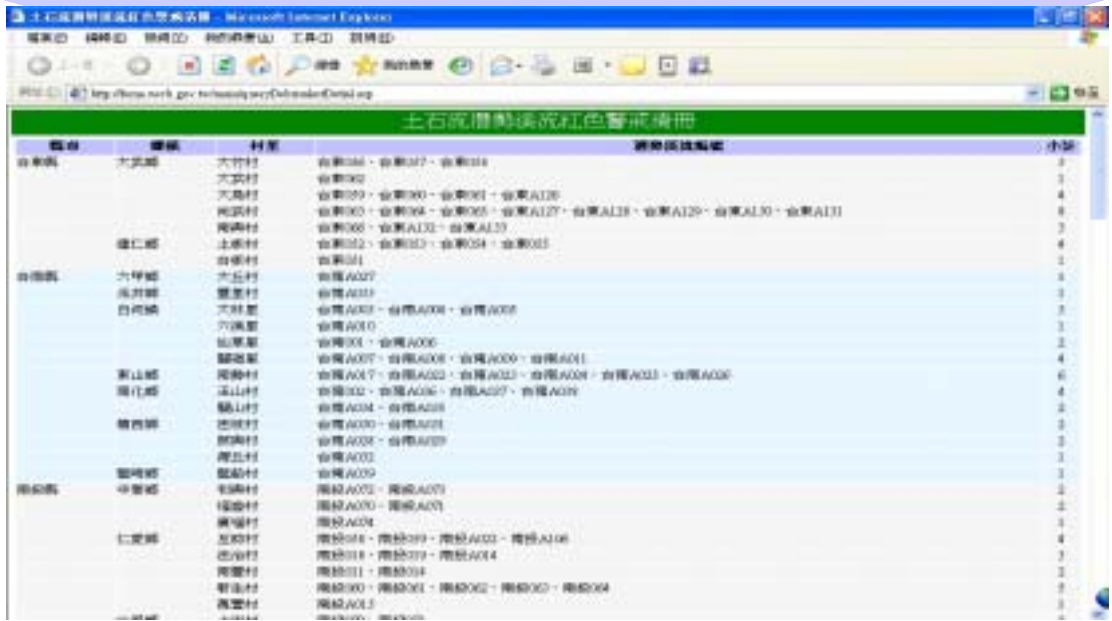


台灣科技大學生態與防災工程研究中心

45

研究目的及範圍
破壞模式
**災害應變  
(土石流災害)**
系統架構
結論與建議

## 土石流潛勢溪流紅色警戒清冊(水保局發佈)



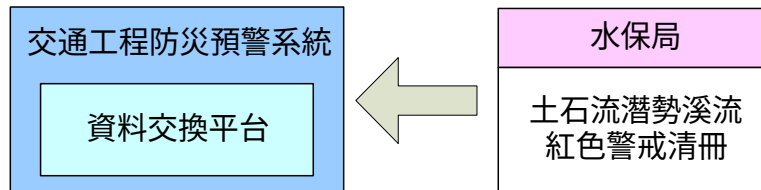
縣市	鄉鎮	村里	潛勢溪流編號	小計	
台東縣	大武壠	大武村	台東006、台東027、台東038	3	
		大武村	台東009	1	
		大武村	台東009、台東090、台東091、台東A126	4	
		鹿野村	台東060、台東064、台東065、台東A127、台東A138、台東A129、台東A130、台東A131	8	
		鹿野村	台東060	1	
	達仁鄉	土庫村	台東062、台東063、台東A132、台東A133	4	
		台東村	台東031	1	
		台東縣	大馬路	台東A027	1
			海濱村	台東A033	1
			豐里村	台東A003、台東A008、台東A009	3
六馬里	台東A010		1		
花蓮縣	瑞穗鄉	瑞穗村	台東001、台東A006	2	
		瑞穗村	台東A007、台東A008、台東A009、台東A011	4	
	瑞穗鄉	瑞穗村	台東A017、台東A022、台東A023、台東A004、台東A021、台東A036	6	
		瑞穗村	台東032、台東A036、台東A027、台東A035	4	
	瑞穗鄉	瑞穗村	台東A034、台東A038	2	
		瑞穗村	台東A030、台東A031	2	
	瑞穗鄉	瑞穗村	台東A008、台東A039	2	
		瑞穗村	台東A003	1	
	南投縣	中寮鄉	中寮村	南投A009	1
			中寮村	南投A002、南投A003	2
中寮鄉		中寮村	南投A000、南投A001	2	
		中寮村	南投A004	1	
中寮鄉		中寮村	南投018、南投019、南投A003、南投A008	4	
		中寮村	南投018、南投019、南投A004	3	
中寮鄉		中寮村	南投011、南投014	2	
		中寮村	南投000、南投001、南投002、南投003、南投004	5	
中寮鄉		中寮村	南投A005	1	
		中寮村	南投A006	1	



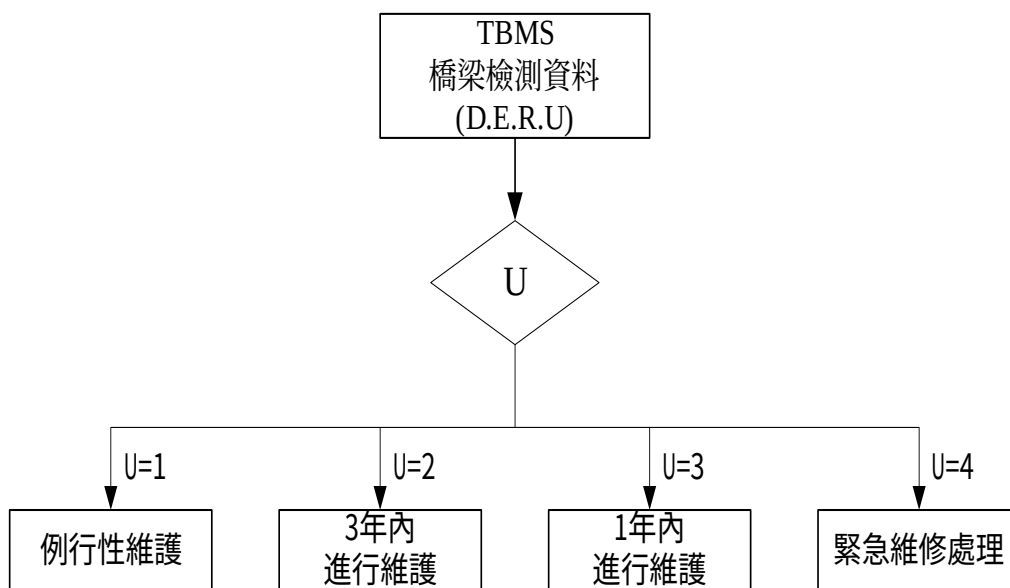
台灣科技大學生態與防災工程研究中心

46

## 土石流災害應變所需交換資料及對象



## 老化腐蝕災害



## TBMS橋梁檢測資料—U值

檢測資料 > 資料編輯 > 大都會共育[並檢測記錄]

2005/7/28

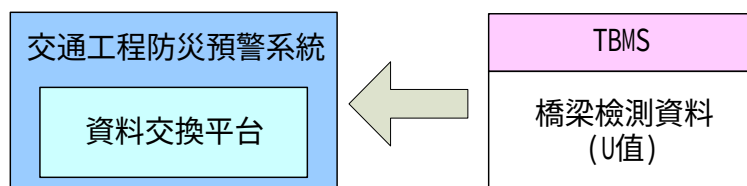
整理檢測記錄 巡迴檢測記錄 維修工法 檢測員意見 照片匯

欄別	項目	位置	維修工法	數量	單位	U	備註
維修工法	項目: (F01) 建路堤	位置: (F0101) 橋-3 臨水側橋	數量:	單位:	U: 1		

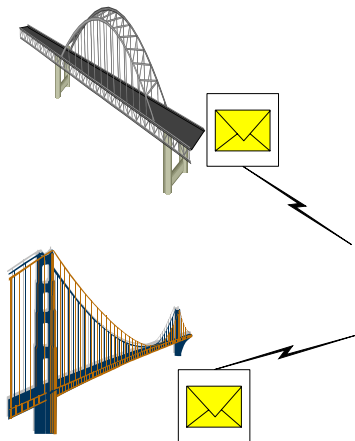
備註:

儲存資料 列印 確定修改

## 老化腐蝕災害所需交換資料及對象



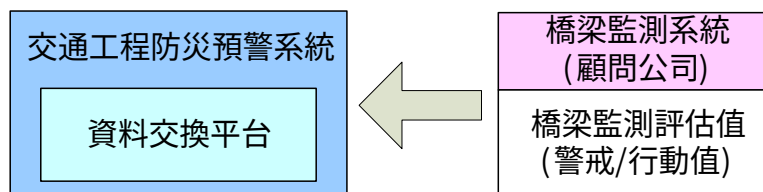
## 橋梁監測



Mail所傳遞之內容：

1. 測得異常狀況之橋名
2. 測得異常的時間
3. 測得異常的監測項目
4. 測得異常的位置
5. 評估值(危險等級：  
警戒、行動值)

## 橋梁監測所需交換資料及對象

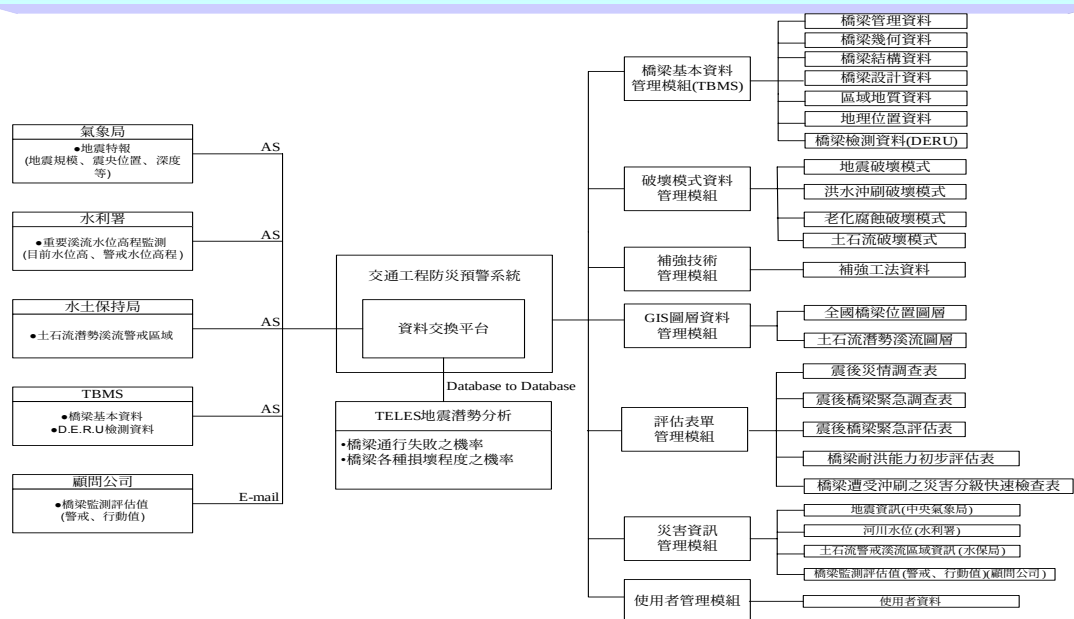


## 資料交換項目及對象彙整表

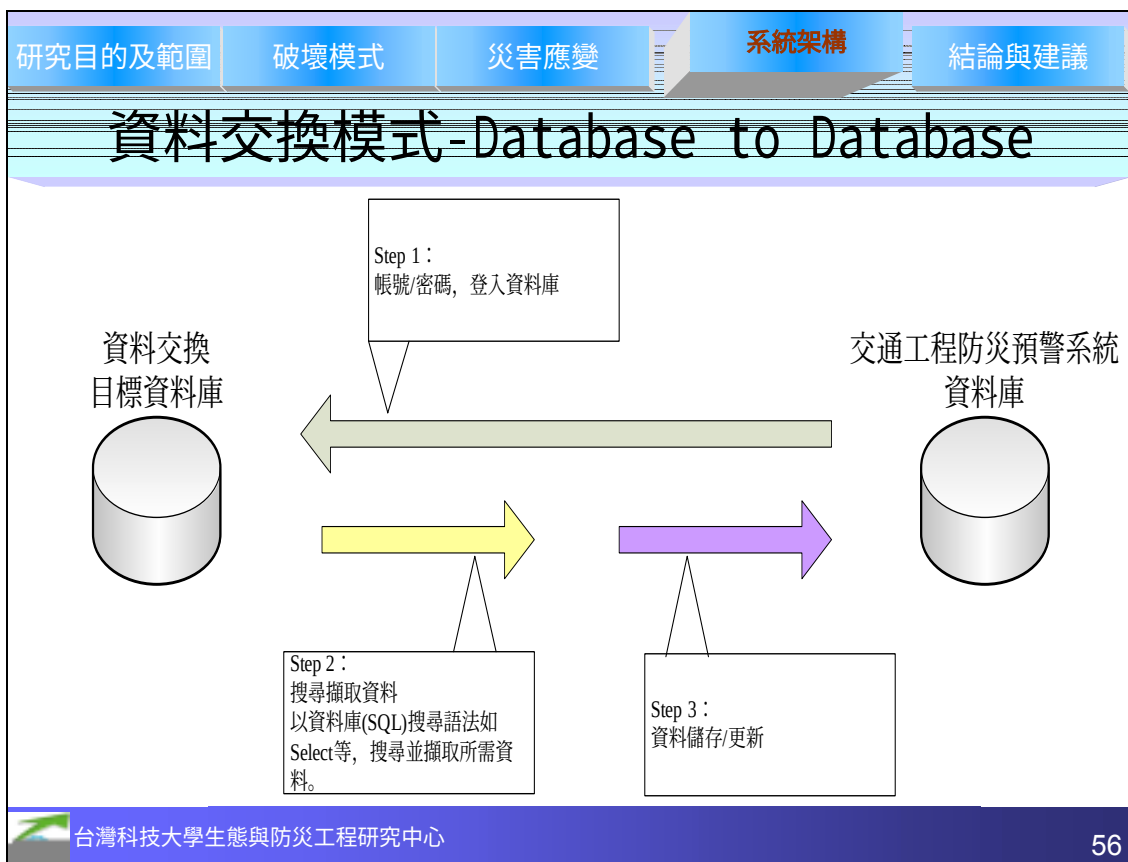
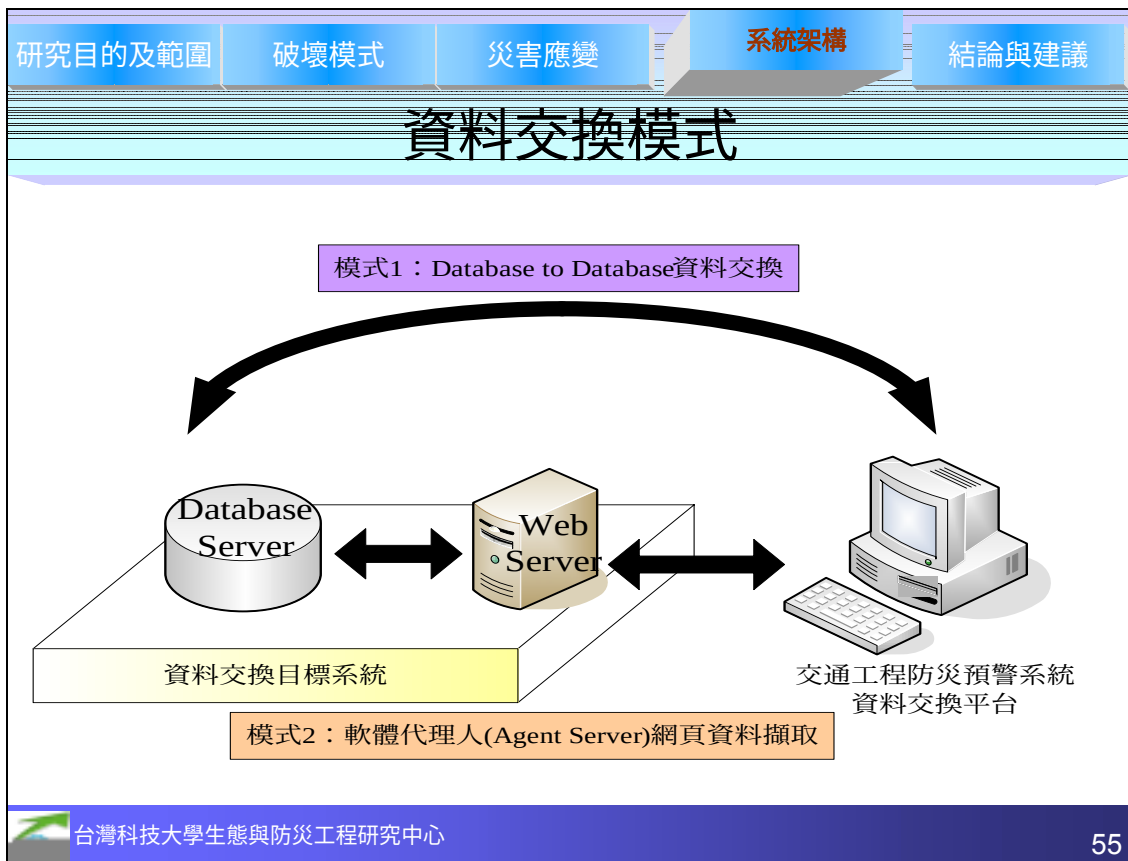
災害類別	所需交換資料	資料交換來源						備註
		TBMS	中央氣象局	水利署	水保局	顧問公司	TELES	
地震	NAME(橋梁名稱)	AS						
	LENGTH(橋梁長度)	AS						
	NUMSPANS(跨數)	AS						
	各測站所測得之PGA值		AS					
	Prob_Fail(橋梁通行失敗機率)						DB	
沖刷	重要河川溪流水位高程			AS				
土石流	土石流潛勢溪流紅色警戒清冊				AS			
老化腐蝕	DERU評估值	AS						
橋梁監測	測得異常之監測項目					E		
	評估值(警戒/行動值)					E		

AS—軟體代理人, E—E-mail, DB—資料庫對資料庫

## 系統架構





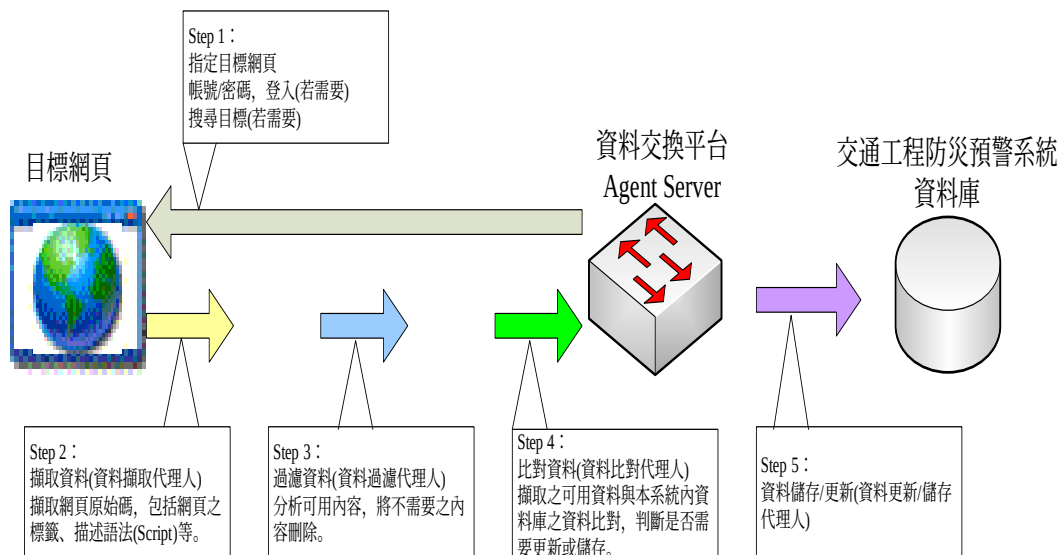


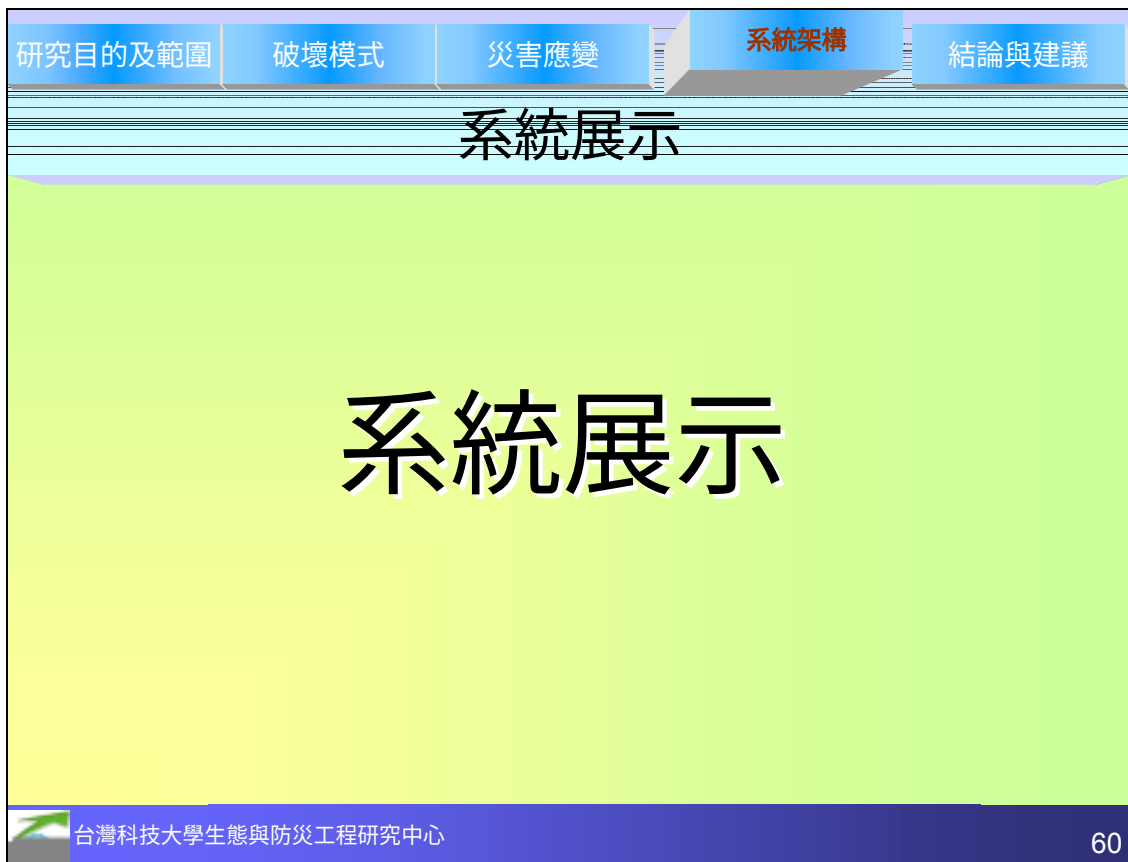
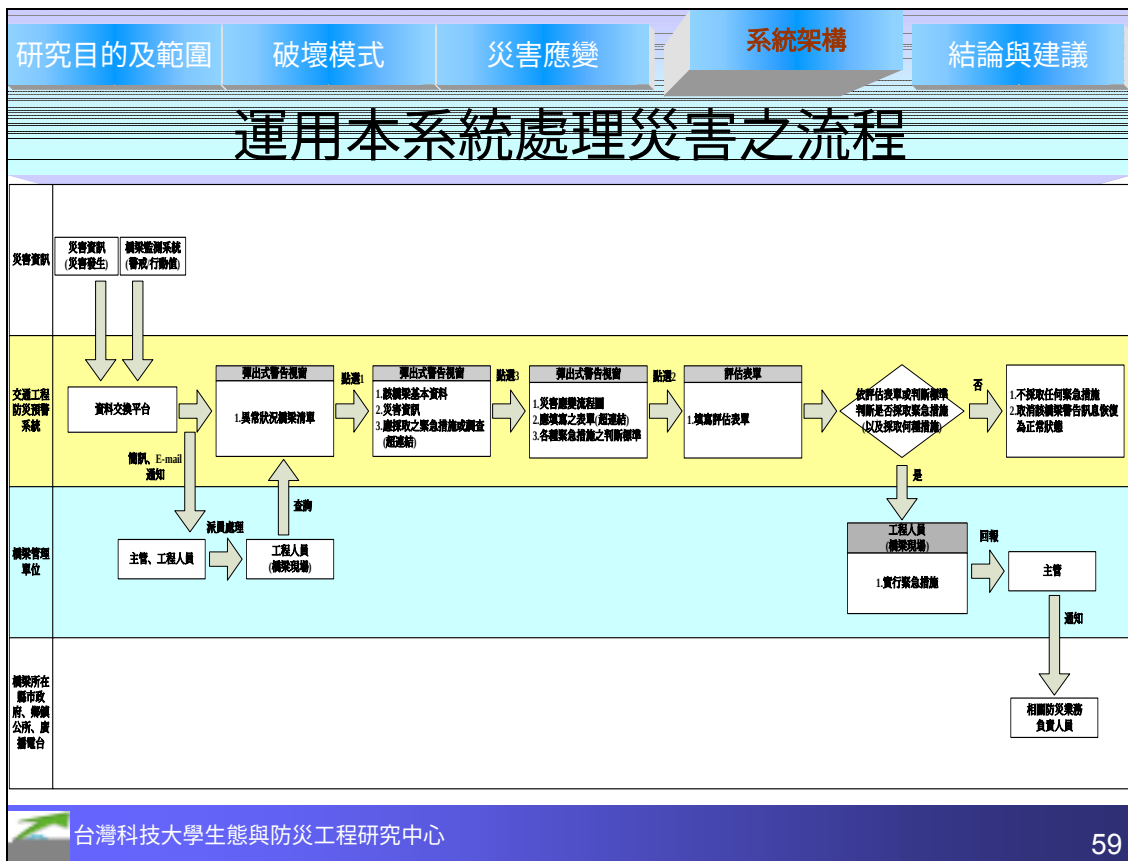


## 資料交換模式-軟體代理人(Agent Server)(1/2)

- 軟體代理人(Software Agent)為一針對網頁資料擷取而設計之資料交換程式，其功能如下：
  1. 軟體代理人能夠接受使用者的指派搜尋目標。
  2. 代理人能夠在目標網站中分析出所需要的內容為何。
  3. 代理人能夠判斷網站內容是否已存在資料庫中。
  4. 代理人能夠將新資料依照資料庫欄位自動下載更新及儲存資料。
  5. 代理人經指派後，不需人工之介入便能定期執行任務。

## 資料交換模式-軟體代理人(Agent Server)(2/2)





研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 結論(1/5)

1. 本研究經由文獻蒐集和調查國內橋梁管理系統、災害潛勢分析軟體內容、橋梁監測系統、各單位所提供之災害資訊，確認出本系統所需之資料參數並透過資料交換平台交換取得，使得不同系統、單位的資料得以互為利用整合達到橋梁防災預警之目的。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 61

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 結論(2/5)

2. 本系統透過所發展之網路資料交換平台技術交換取得各單位之災害資訊，包括地震資訊、河川溪流水位、土石流警戒區域，作為本系統預警之啟動機制。災害資訊來源皆為政府單位(氣象局、水利署、水保局)根據監測儀器所得數據及分析結果，具有即時性與精確性。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 62

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 結論(3/5)

3. 各項災害應變流程的確立，有助於橋梁管理單位及工程人員在面臨災害發生時能夠按照流程步驟進行橋梁安全的調查評估，而經由調查評估的結果可確認應採取何種緊急措施。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 63

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 結論(4/5)

4. TELES震災風險評估的分析結果(橋梁失敗機率排序、橋梁損壞程度排序)，可提供給橋梁管理單位作為橋梁補強計劃優先順序的依據，降低地震時橋梁發生重大災害之風險，達到災害預防之目的。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 64

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 結論(5/5)

5. 本系統所包含連結之TELE可在地震發生時以本系統交換得到中央氣象局的地震資訊，分析橋梁通行失敗機率及橋梁損壞程度機率並加以排序，橋梁管理單位便可依據此優先順序進行緊急的災情調查，針對可能受損嚴重的橋梁優先處理，減少二次災害及人員傷亡的可能性。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 65

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 建議(第二年發展重點)(1/3)

1. 根據第一年所調查彙整之系統所需資料，訂定系統資料庫欄位，並將兩種資料交換技術發展完成，建立功能完整之資料交換平台。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 66

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 建議(第二年發展重點)(2/3)

2. GIS地理資訊系統模組為本系統操作的介面之一，GIS主要之應用包括「分析及模擬」、「查詢及瀏覽」、「決策及推演」三類。使用者可在GIS圖層上掌握橋梁及周圍地理環境之狀況。以往GIS系統為單機使用，但Arc-GIS最新版已提供使用者網路線上查詢操作甚至做資料輸入修改功能，本系統規劃以網路GIS作為操作介面，更具有即時性、便利性。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 67

研究目的及範圍	破壞模式	災害應變	系統架構	結論與建議
---------	------	------	------	-------

## 建議(第二年發展重點)(3/3)

3. 本系統開發完成後，將交由橋梁管理單位使用，因此應舉辦教育訓練示範系統之操作，並且與橋梁管理單位進行意見交流將能使系統設計的更加貼近實務。

台灣科技大學生態與防災工程研究中心 68

簡報完畢

敬請指教

