96-24-7244
MOTC-IOT-95-H1DB005

交通工程防災預警系統建立之研究 (2/2)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中華民國 96 年 4 月

96-24-7244
MOTC-IOT-95-H1DB005

交通工程防災預警系統建立之研究 (2/2)

著 者：李豐博、饒　正、鄭明淵、葉錦勳
林詠彬、陳志偉

交 通 部 運 輸 研 究 所

中華民國 96 年 4 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. (2/2) / 李豐博等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民96
面 ; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-00-9225-7(平裝)

1. 橋樑工程 - 管理 2. 防災工程 - 管理

441.8 96005865

交通工程防災預警系統建立之研究 (2/2)

著　　者：李豐博、饒　正、鄭明淵、葉錦勳、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 96 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：600 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：1009600755　　ISBN：978-986-00-9225-7 (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。

96

交通工程防災預警系統建立之研究(2/2)

交通部運輸研究所

GPN：1009600755
定價 600 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(2/2)**

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
978-986-00-9225-7 (平裝)	1009600755	96-24-7244	95-H1DB005

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：葉錦勳、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 95 年 3 月 至 95 年 10 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梁災害應變流程，橋梁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 的橋梁基本資料和 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，可協助橋梁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
96 年 4 月	568	600	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 Transportation Bridges (2/2)**

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-00-9225-7 (pbk)	1009600755	96-24-7244	95-H1DB005

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 2006
TO October 2006

RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology, Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center.

PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng Min-Yuan
PROJECT STAFF: Yeh Chin-Hsieh, Lin Yung-Bin
ADDRESS: #43, Sec.4, Keelung Rd. , Taipei , 106 , Taiwan , R.O.C
PHONE: (02) 27376663

KEY WORDS:

Transportation facilities; 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 consequent damages to human life, property and transportation facilities are serious. The purpose of this project is to study the disaster prevention of bridge structures. An extensive literature on the developed bridge management information systems and the bridge disaster prevention, alert and prediction systems is collected. Disasters considered in this project include earthquakes, scour, debris flow, corrosion and senescence. This research establishes the bridge disaster emergency procedure for various disasters. Bridge management unit can follow the disaster prevention / action procedure to reduce the loss caused by nature disasters.

In order to exchange data between different systems, this research establishes the data exchange platform. The system can automatically exchange data to / from TBMS, TELES, Central Weather Bureau, Water Resources Agency, and the Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture. When disasters happen the system can be automatically activated, and used to collect different information from various resources to identify the damage conditions of bridges. Furthermore, the appropriate actions suggested by the system can assist bridge managers for decision-making.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2007	568	600	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ▒UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

交通工程防災預警系統建立之研究(2/2)

目　　錄

中文摘要.....I

英文摘要.....II

圖目錄.....IX

表目錄.....XVII

第一章　緒論.....1-1

1.1 計畫背景.....1-1

1.2 計畫目的及範圍.....1-2

1.3 計畫流程與內容.....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.....2-94
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.....3-30
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.....4-15
4.1.3 橋梁地震災害緊急復原.....4-22
4.1.4 橋梁地震災害應變所需交換資料.....4-31
4.2 橋梁沖刷災害應變.....4-33
4.2.1 橋梁沖刷災害預防.....4-35
4.2.2 橋梁沖刷災害緊急應變.....4-42
4.2.3 橋梁沖刷災害應變所需交換資料.....4-46
4.3 橋梁土石流災害應變.....4-51
4.3.1 橋梁土石流災害應變所需交換資料.....4-53
4.4 橋梁老化腐蝕災害.....4-54
4.4.1 橋梁老化腐蝕災害所需交換資料.....4-55
4.5 橋梁監測流程與機制.....4-56

4.5.1 監測目的 4-57
4.5.2 監測項目與內容 4-58
4.5.3 本系統與橋梁監測系統間之資料交換 4-61
4.6 系統所需資料及資料交換對象之彙整 4-62
第五章 交通工程防災預警系統架構及運作 5-1
5.1 前言 5-1
5.2 系統使用需求分析 5-2
5.3 系統發展概念研擬 5-3
5.3.1 對話介面 5-4
5.3.2 資料管理 5-4
5.3.3 模式管理 5-5
5.4 系統架構擬訂 5-6
5.5 定義系統應用模式 5-8
5.6 系統開發工具與環境 5-9
5.7 資料交換平台 5-10
5.7.1 Database to Database 資料交換模式 5-11
5.7.2 網頁對資料庫交換機制 5-12
5.7.3 Web Service 交換機制 5-14
5.7.4 各種交換機制比較 5-15
5.7.5 軟體代理人 5-16
5.7.6 軟體代理人系統開發工具 5-18

5.7.7 軟體代理人系統開發模式.....5-18
5.7.8 軟體代理人系統畫面.....5-20
5.8 系統功能規劃與發展.....5-21
5.8.1 災害資訊管理模組.....5-22
5.8.2 橋梁基本資料管理模組.....5-26
5.8.3 檢測表單管理模組.....5-29
5.8.4 資料管理模組.....5-33
5.8.5 決策輔助模組.....5-38
5.8.6 案例管理模組.....5-43
5.8.7 使用維護模組.....5-47
5.8.8 GIS 圖層資料管理模組.....5-48
5.9 系統連線模式介紹.....5-51
5.10 通報機制介紹.....5-54
第六章 系統測試與教育訓練.....6-1
6.1 系統測試.....6-1
6.1.1 資料交換平台(軟體代理人)測試.....6-1
6.1.2 TELES 橋梁地震災損評估測試.....6-4
6.1.3 簡訊通報發送功能測試.....6-4
6.1.4 系統開放使用測試.....6-5
6.2 教育訓練.....6-12
第七章 結論與建議.....7-1

7.1 結論.....7-1
7.2 建議.....7-3
參考文獻.....8-1
附錄一 期中審查委員意見及辦理概況.....附錄一-1
附錄二 第一次專家座談會重要意見參酌.....附錄二-1
附錄三 期末審查委員意見及辦理概況.....附錄三-1
附錄四 橋梁防災預警系統操作手冊.....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 計畫目的及範圍 1-3

圖 1-2 計畫流程圖.....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 壓力式河川沖刷監測 2-50

圖 2-18 重力懸垂式河川沖刷監測 2-51

圖 2-19 即時攝影式河川沖刷監測 2-51
圖 2-20 音波回音式河川沖刷監測 2-52
圖 2-21 電磁式河川沖刷監測 2-52
圖 2-22 超音波式河川沖刷監測（日本） 2-53
圖 2-23 台一線大度橋光纖沖刷監測機構 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沖刷監測 2-68
圖 2-26 艾利颱風大度橋下游橋墩局部沖刷監測 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 TELES 地震潛勢分析橋梁震損評估結果(景美中和工務段省道橋梁).....4-15
圖 4-11 橋梁地震災害災害緊急應變階段應變流程.....4-16
圖 4-12 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時).....4-17
圖 4-13 橋梁災害緊急復原流程圖.....4-23
圖 4-14 中央氣象局地震報告(1).....4-32
圖 4-15 中央氣象局地震報告(2).....4-32
圖 4-16 地震災害發生時系統所需交換資料及對象.....4-33
圖 4-17 橋梁沖刷災害應變流程圖.....4-34

圖 4-18 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」.....4-41
圖 4-19 水災防救作業支援系統水位監測查詢.....4-42
圖 4-20 水災防救作業支援系統累積雨量監測查詢.....4-42
圖 4-21 封橋水位示意圖.....4-43
圖 4-22 颱洪期間封橋作業應變流程.....4-43
圖 4-23 TBMS 橋梁基本資料—最高橋墩高度.....4-50
圖 4-24 橋梁沖刷災害發生時系統所需交換資料及對象.....4-50
圖 4-25 橋梁土石流災害應變流程.....4-51
圖 4-26 全國橋梁位置圖層.....4-52
圖 4-27 土石流潛勢溪流圖層.....4-52
圖 4-28 水土保持局發佈之土石流潛勢溪流紅色警戒清冊.....4-53
圖 4-29 橋梁土石流災害發生時系統所需交換資料及對象.....4-53
圖 4-30 TBMS 橋梁檢測資料—U 值.....4-56
圖 4-31 橋梁老化腐蝕災害系統所需交換資料及對象.....4-56
圖 4-32 沖刷淘空監測系統操作流程.....4-60
圖 4-33 橋梁監測系統所需交換資料及對象.....4-62
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.....5-7
圖 5-5 系統應用模式.....5-9

圖 5-6 系統作業環境.....5-10
圖 5-7 資料交換模式.....5-11
圖 5-8 資料庫對資料庫資料交換流程 5-12
圖 5-9 網頁對資料庫資料交換 5-13
圖 5-10 網頁對資料庫資料交換流程 5-13
圖 5-11 Web Service 架構圖 5-15
圖 5-12 Web Service 資料交換 5-15
圖 5-13 軟體代理人類別圖 5-19
圖 5-14 軟體代理人循序圖 5-20
圖 5-15 軟體代理人資料擷取圖 5-21
圖 5-16 軟體代理人系統設定圖 5-21
圖 5-17 交通工程防災預警系統功能架構 5-22
圖 5-18 災害資訊管理模組功能架構 5-23
圖 5-19 災害資訊管理模組發展流程 5-24
圖 5-20 災害資訊管理模組—災害警訊更新災害資訊 5-25
圖 5-21 災害資訊管理模組—災害資訊查詢 5-26
圖 5-22 橋梁基本資料管理模組功能架構 5-26
圖 5-23 橋梁基本資料管理模組發展流程 5-27
圖 5-24 橋梁基本資料管理模組—功能選單 5-28
圖 5-25 橋梁基本資料管理模組—新增橋梁基本資料 5-28
圖 5-26 檢測表單管理模組功能架構 5-29

圖 5-27 檢測表單管理模組發展流程 5-30
圖 5-28 檢測表單管理模組—檢測表單選擇 5-32
圖 5-29 檢測表單管理模組—新增橋梁受沖刷災害檢查表 5-33
圖 5-30 破壞模式資料管理模組功能架構 5-34
圖 5-31 破壞模式資料管理模組發展流程 5-35
圖 5-32 破壞模式資料管理模組—功能選單 5-37
圖 5-33 破壞模式資料管理模組—破壞模式參考圖例 5-37
圖 5-34 補強技術資料管理模組—補強工法選擇 5-38
圖 5-35 補強技術資料管理模組—補強工法說明與圖例 5-38
圖 5-36 補強方案評估模組功能架構 5-39
圖 5-37 補強方案評估模組發展流程 5-40
圖 5-38 案例推理模組發展流程 5-42
圖 5-39 橋梁破壞案例管理模組功能架構 5-44
圖 5-40 橋梁破壞案例管理模組發展流程 5-45
圖 5-41 使用者管理模組功能架構 5-47
圖 5-42 GIS 圖層資料管理模組功能架構.....5-48
圖 5-43 GIS 圖層資料管理模組發展流程.....5-49
圖 5-44 GIS 圖層資料管理模組—災害資訊查詢.....5-51
圖 5-45 GIS 圖層資料管理模組—危險橋梁查詢.....5-51
圖 5-46 系統連線架構圖 5-52
圖 5-47 系統連線架構圖(網路連線中斷情形).....5-53

圖 5-48 簡訊通報系統帳號密碼設定圖 5-54
圖 5-49 簡訊雙向傳輸架構圖 5-55
圖 6-1 調整後欄位符合 6-2
圖 6-2 地震災害區域顯示 6-3
圖 6-3 河川水位站即時水位 6-3
圖 6-4 土石流警戒區顯示 6-4
圖 6-5 測試前系統使用說明會相關資訊 6-5
圖 6-6 測試前系統使用說明會紀實 6-6
圖 6-7 待辦事項提醒功能 6-7
圖 6-8 使用者帳號權限設定 6-8
圖 6-9 權限不足(不正確)無法進行動作之警告.....6-8
圖 6-10 資料交換平台依帳號權限登入 6-10
圖 6-11 資料交換平台僅擷取網頁上橋梁並無侵入資料庫 6-10
圖 6-12 上傳照片.....6-11
圖 6-13 選擇要上傳的照片 6-11
圖 6-14 教育訓練課程紀實 6-14
圖 7-1 預警系統基本運作機制流程 7-3

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.....2-20

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 本計劃蒐集文獻分類歸納表(1/3).....2-95

表 2-16 本計劃蒐集文獻分類歸納表(2/3).....2-96

表 2-17 本計劃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 4-19
表 4-5 緊急調查之調查項目 4-20
表 4-6 震後橋梁緊急調查記錄表 4-21
表 4-7 震後橋梁緊急措施內容 4-22

表 4-8 緊急評估調查項目 4-24
表 4-9 震後橋梁緊急評估表(1/3).....4-25
表 4-10 震後橋梁緊急評估表(2/3).....4-26
表 4-11 震後橋梁緊急評估表(3/3).....4-27
表 4-12 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 A）.....4-29
表 4-13 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 B）.....4-30
表 4-14 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 C）.....4-31
表 4-15 橋梁耐洪能力初步評估表 4-36
表 4-16 橋梁遭受沖刷之災害分級快速檢查表 4-45
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 ...4-47
表 4-18 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」雨量測站列表 ...4-48
表 4-19 D.E.R.U 檢測系統之檢測表 4-55
表 4-20 系統所需資料及資料交換對象彙整表(1/3) 4-63
表 4-21 系統所需資料及資料交換對象彙整表(2/3) 4-64
表 4-22 系統所需資料及資料交換對象彙整表(3/3) 4-65
表 4-23 本計劃所收集使用之 GIS 圖層 4-66
表 5-1 交換方式比較表 5-16
表 5-2 連線方式比較表 5-54
表 6-1 TBMS 橋梁基本資料交換測試說明.....6-1
表 6-2 災害資訊交換測試說明 6-2
表 6-3 TELES 橋梁地震災損評估測試 6-4

表 6-4 坡地及橋梁防救災研究系列之成果說明與應用訓練課程 6-12

表 6-5 成果說明與應用訓練課程參與人員 6-13

第一章　緒論

1.1 計畫背景

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。

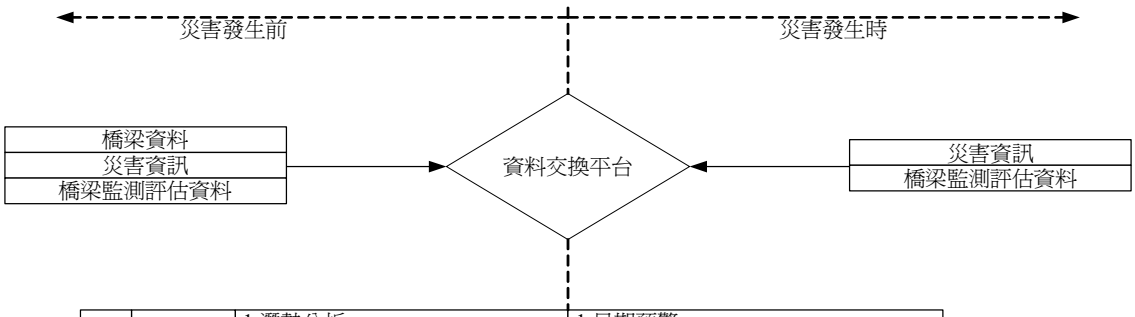
有鑑於地震、颱風等重大災害造成橋梁損壞導致交通中斷、居民受困甚或是人員傷亡等事件的發生，為了維護橋梁之安全，交通部運輸研究所委託台灣科技大學生態與防災工程研究中心進行交通工程防災預警系統建立之研究，根據現有之防災體制、系統、資訊及橋梁管理系統，建立一有效之橋梁預警系統，將以往僅著重於災害救援的層級更向前推進至災害預防，藉由對橋梁現況有效的監控管理，平時就對安全性有疑慮之橋梁進行補強等預防措施，可降低災害來臨時所造成之損害；而災害來臨時第一時間系統性緊急措施的實行也有助於減少災害擴大的可能性。

1.2 計畫目的及範圍

本計畫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，因此本計畫將主題鎖定在橋梁，並針對台灣地區發生最頻繁、影響最嚴重的天然災害：地震、颱洪沖刷、

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，而本計畫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。

本計畫之範圍如圖 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)。



交通工程防災預警系統	評估方法	1.潛勢分析 2.評估表單 3.橋梁監測評估值 4.橋梁檢測資料	1.早期預警 2.緊急調查表、評估表 3.橋梁監測評估值 4.災害資訊
	系統輸出	1.橋梁破壞機率及程度(地震) 2.橋梁所在溪流水位高度(沖刷) 3.橋梁耐洪能力(沖刷) 4.橋梁老化腐蝕現況(老化腐蝕)	1.橋梁進行緊急調查之優先順序(地震) 2.超過警戒水位之橋梁(沖刷) 3.土石流警戒區內之橋梁(土石流) 4.其他(監測)
	具體作爲	1.對危險橋梁發出警訊 2.建議採取補強措施	1.對危險橋梁發出警訊 2..緊急措施(交通管制、封橋作業) 3.建議採取補強、修復措施

圖 1-1 計畫目的及範圍

1.3 計畫流程與內容

計畫流程如圖 1-2 所示。本計畫為兩年期計畫，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：

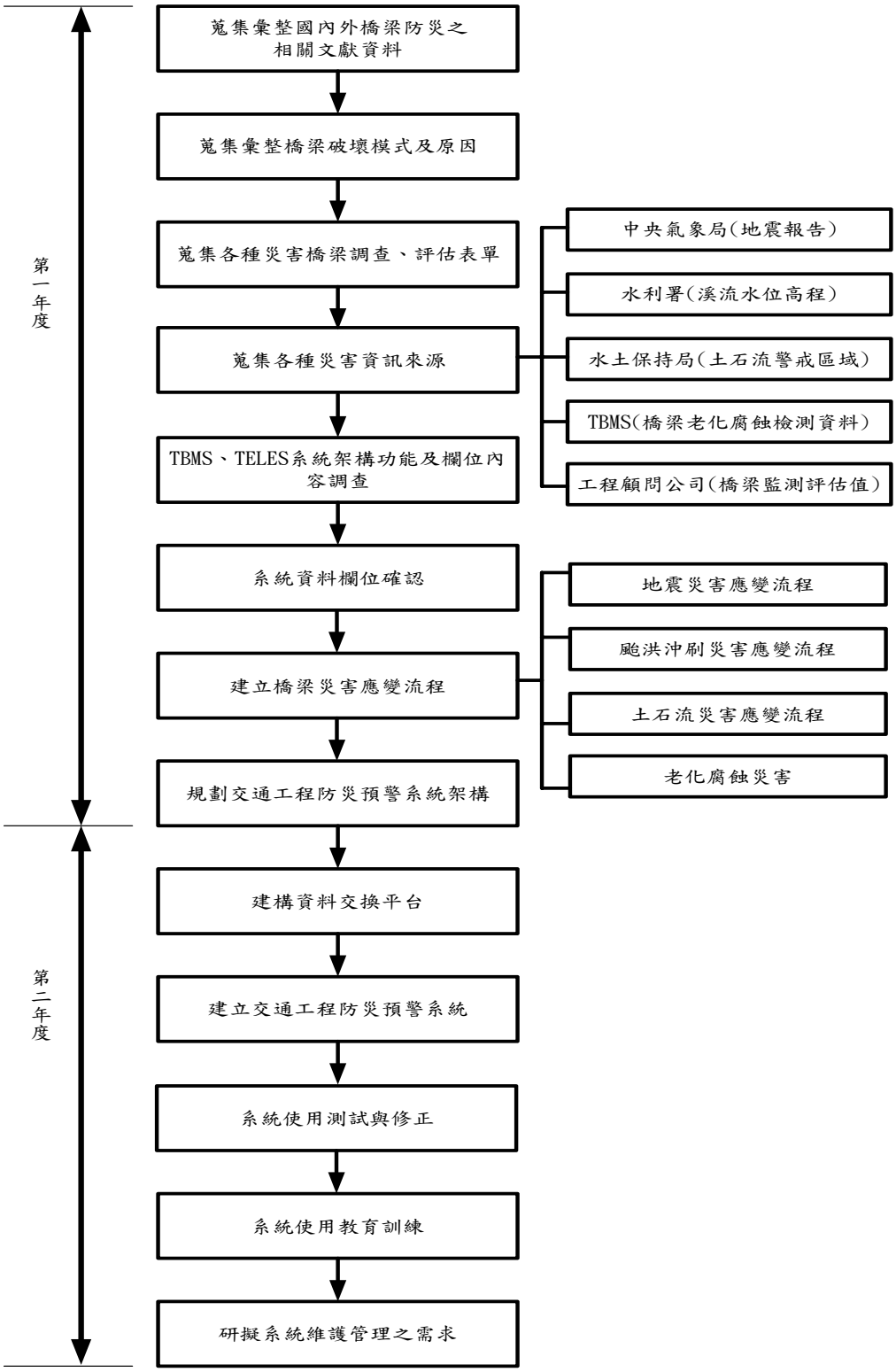

第一年度
第二年度
蒐集彙整國內外橋梁防災之相關文獻資料
蒐集彙整橋梁破壞模式及原因
蒐集各種災害橋梁調查、評估表單
蒐集各種災害資訊來源
中央氣象局(地震報告)
水利署(溪流水位高程)
水土保持局(土石流警戒區域)
TBMS(橋梁老化腐蝕檢測資料)
工程顧問公司(橋梁監測評估值)
TBMS、TELES系統架構功能及欄位內容調查
系統資料欄位確認
建立橋梁災害應變流程
地震災害應變流程
颱洪沖刷災害應變流程
土石流災害應變流程
老化腐蝕災害
規劃交通工程防災預警系統架構
建構資料交換平台
建立交通工程防災預警系統
系統使用測試與修正
系統使用教育訓練
研擬系統維護管理之需求

圖 1-2 計畫流程圖

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。本計畫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、颱洪沖刷、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：與公路總局第一區養護工程處的景美工務段、中和工務段及公路總局第二區養護工程處的苗栗工務段、谷關工務段，實際上線進行系統測試，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：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(葉錦勳，2003)：

(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。

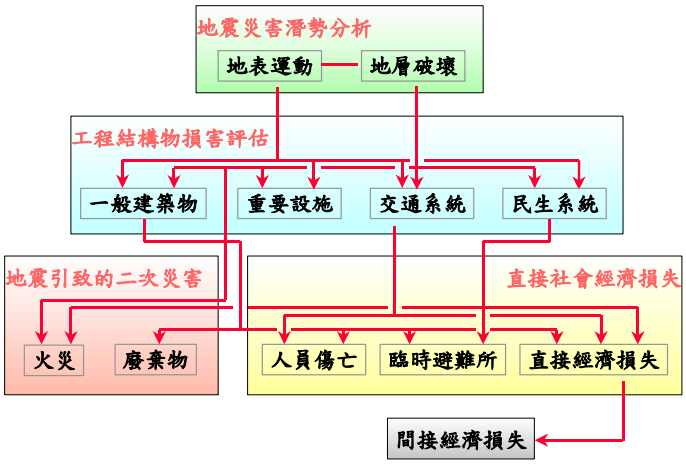


圖 2-1 TELES 的分析流程與架構 (葉錦勳，2003)

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和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(葉錦勳，2003)：

(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(葉錦勳，2003)。

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(葉錦勳，2003)。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(葉錦勳，2003)。

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(葉錦勳，2003)。

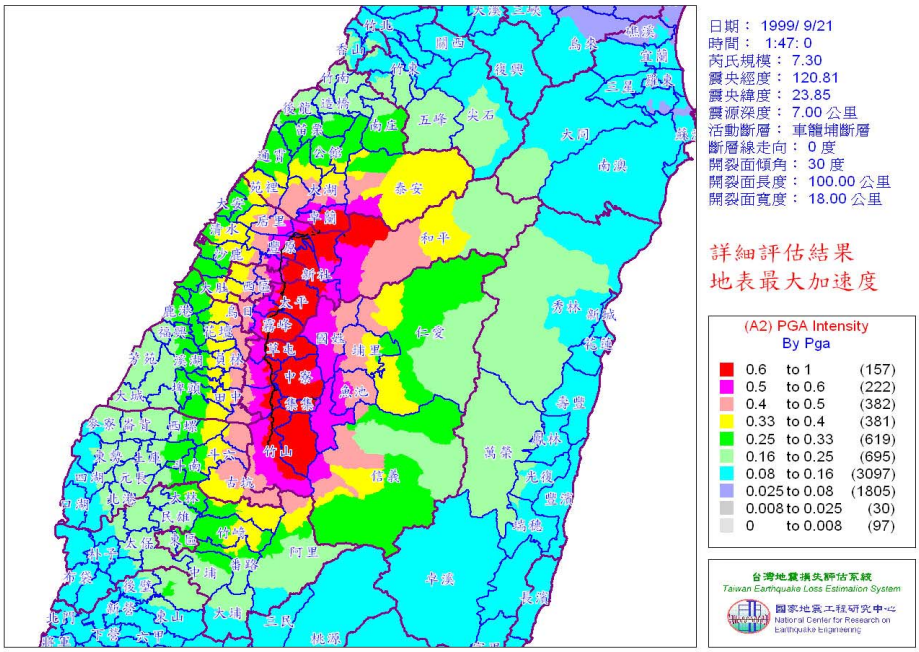


圖 2-2 民國 88 年集集地震，車籠埔斷層開裂所引致 PGA 的分佈 (葉錦勳，2003)

(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
	Conventional (less than 500 ft span)
24	Multiple simple spans
25	Continuous monolithic (includes simple span)
30	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
			S			HWB7
	連續橋	單柱、箱型梁	C			HWB8
			S			HWB9
		其他	C			HWB10
			S			HWB11
預力橋	簡支橋、構架式橋柱		C		非加州	HWB17
					加州	HWB18
			S			HWB19
	連續橋	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	非加州	HWB12
					加州	HWB13
				<20 m	非加州	HWB24
					加州	HWB25
			S			HWB14
	連續橋		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 (葉錦勳，2003)

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	簡支多跨橋 連續多跨橋	□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

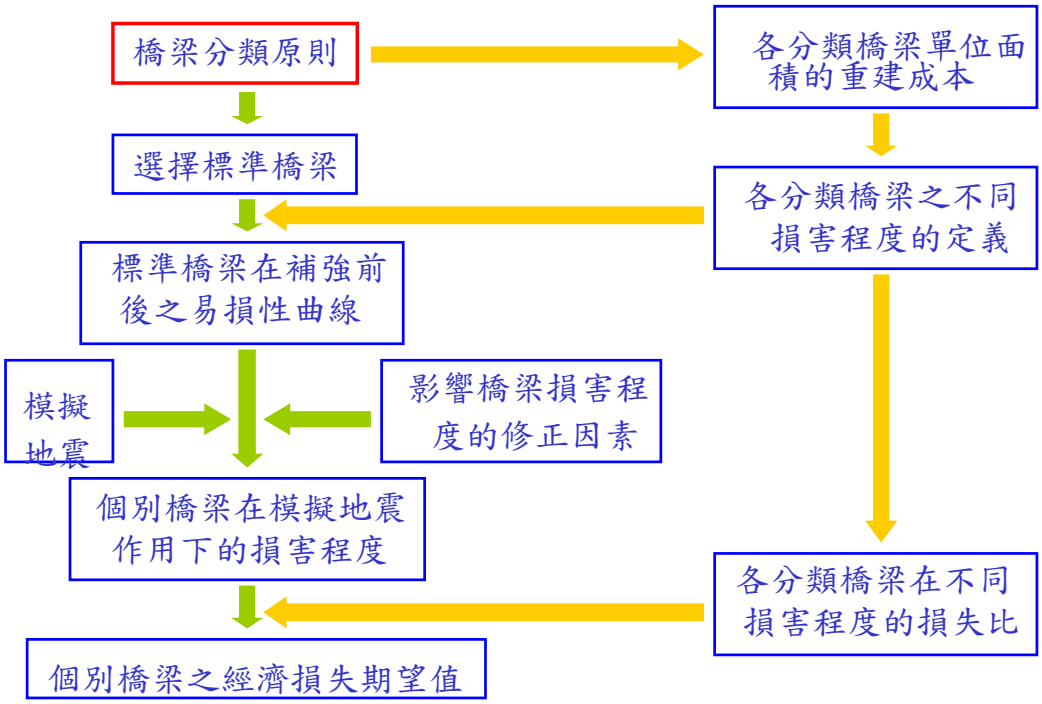


圖 2-3 橋梁損失評估流程的示意圖 (葉錦勳，2003)

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 (林同棪工程顧問股份有限公司，2002)

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 (葉錦勳，2003)

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版產生細微之裂縫，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，並可能造成橋面版之崩塌；基礎之破壞造成下部結構嚴重傾斜。	R=9	$R \geqq R_f$ 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
(林同棪工程顧問股份有限公司，2002)

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和 K_{skew} 和 K_{3D} 並可表為下式

(葉錦勳，2003)：

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

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

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 $K_{skew}K_{3D}$。

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 (林同棪工程顧問股份有限公司，2002)

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(葉錦勳，2003)：

$$f_1=\begin{cases}1 & I_{pgd}=1\\ \dfrac{2NW\sin\alpha}{L} & I_{pgd}=2\\ 1 & I_{pgd}=0\end{cases} \quad \cdots\cdots(2\text{-}3)$$

$$f_2=\begin{cases}1 & I_{pgd}=1\\ \dfrac{2NW\sin\alpha}{L} & I_{pgd}=2\\ \sin\alpha & I_{pgd}=0\end{cases} \quad \cdots\cdots(2\text{-}4)$$

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(葉錦勳，2003)：

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

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
(葉錦勳，2003)

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≥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
(林同棪工程顧問股份有限公司，2002)

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≧0.50 if n≧3*
		2S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
	構架式	3C	27,950	22,100	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		3S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
	壁式	4C	27,950	22,100	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		4S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
多跨連續	單柱式	5C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		5S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
	構架式	6C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		6S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
	壁式	7C	35,750	29,900	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		7S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧3*
其他	—	8C	42,250	36,400	0.03	0.15	0.40	2/n≧0.50 if n≧3*
		8S			0.01	0.04	0.10	2/n≧0.125 if n≧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。

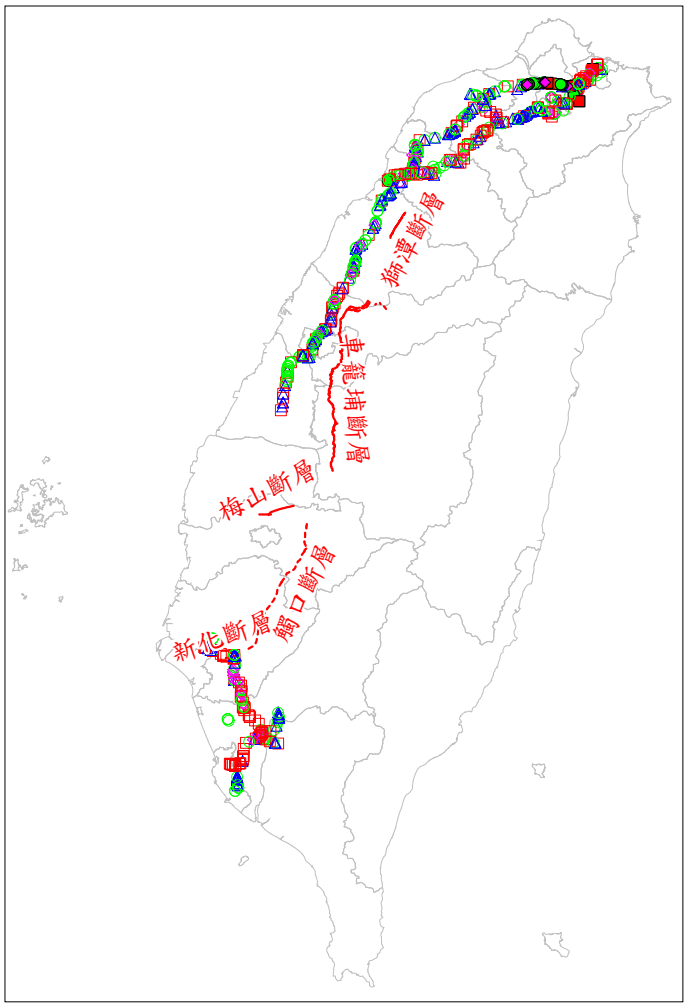


圖 2-4 中山高速公路南北兩段的橋梁分布圖 (葉錦勳，2003)

表 2-11 模擬地震事件的定義 (葉錦勳，2003)

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(葉錦勳，2003)

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：

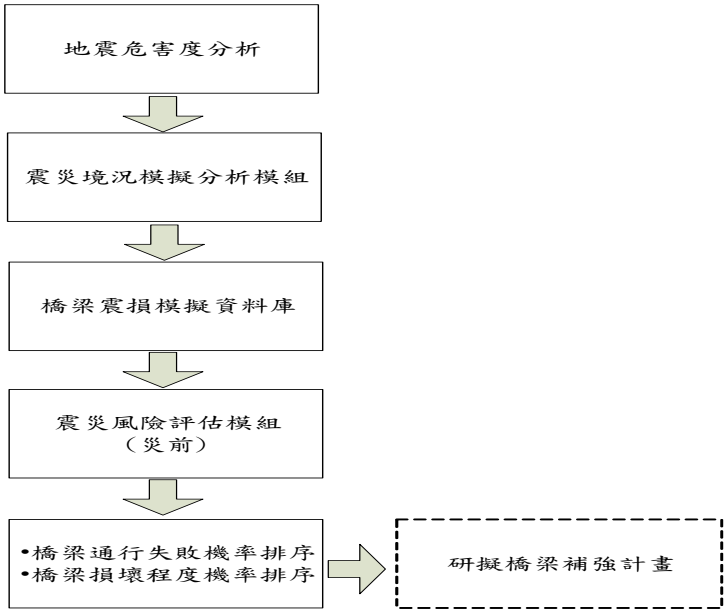


圖 2-5 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前)

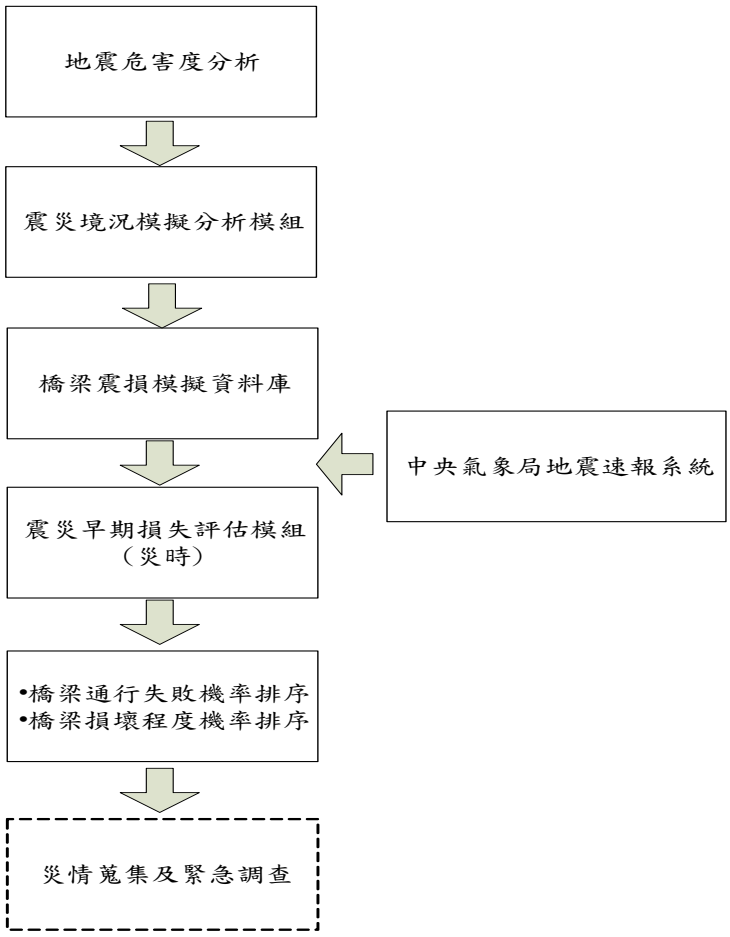


圖 2-6 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時)

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 poison 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。

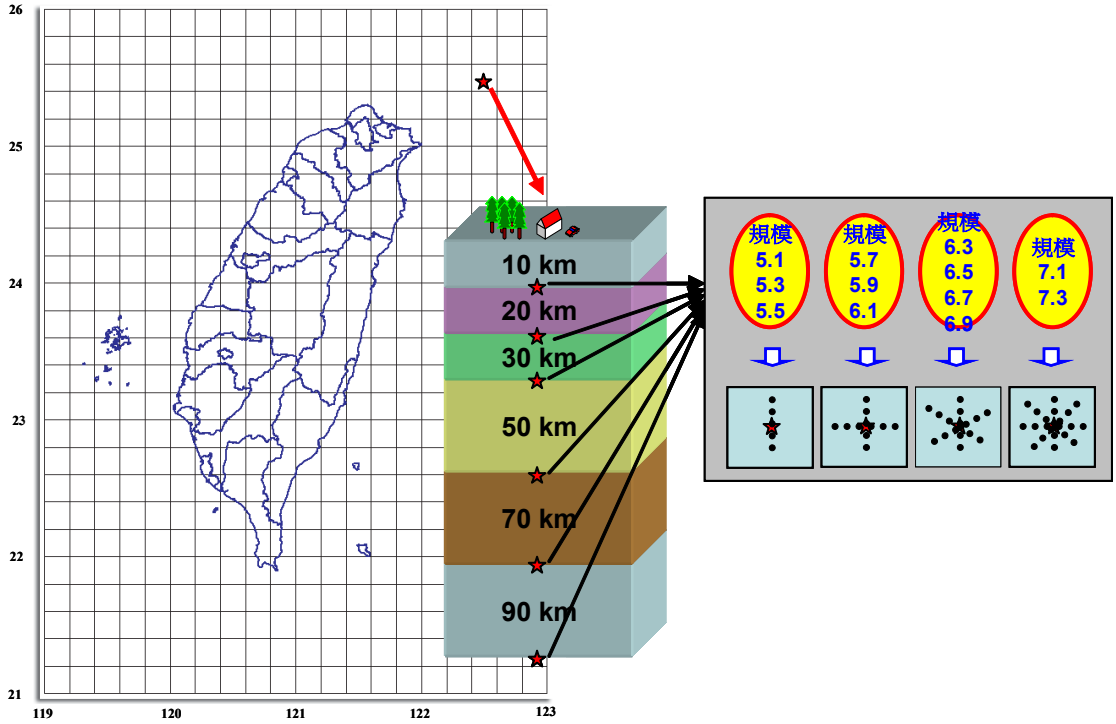


圖 2-7 以第三類震源建置 87,000 筆的台灣地區震災模擬資料庫 (葉錦勳，2003)

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 共有八個模組(姚乃嘉等，2000)：

(1)基本資料模組

(2)檢測資料模組

(3)維修記錄模組

(4)統計分析模組

(5)成本估算模組

(6)系統參數設定

(7)地理資訊模組

(8)整合性決策模組

其系統架構如圖 2-8 所示：

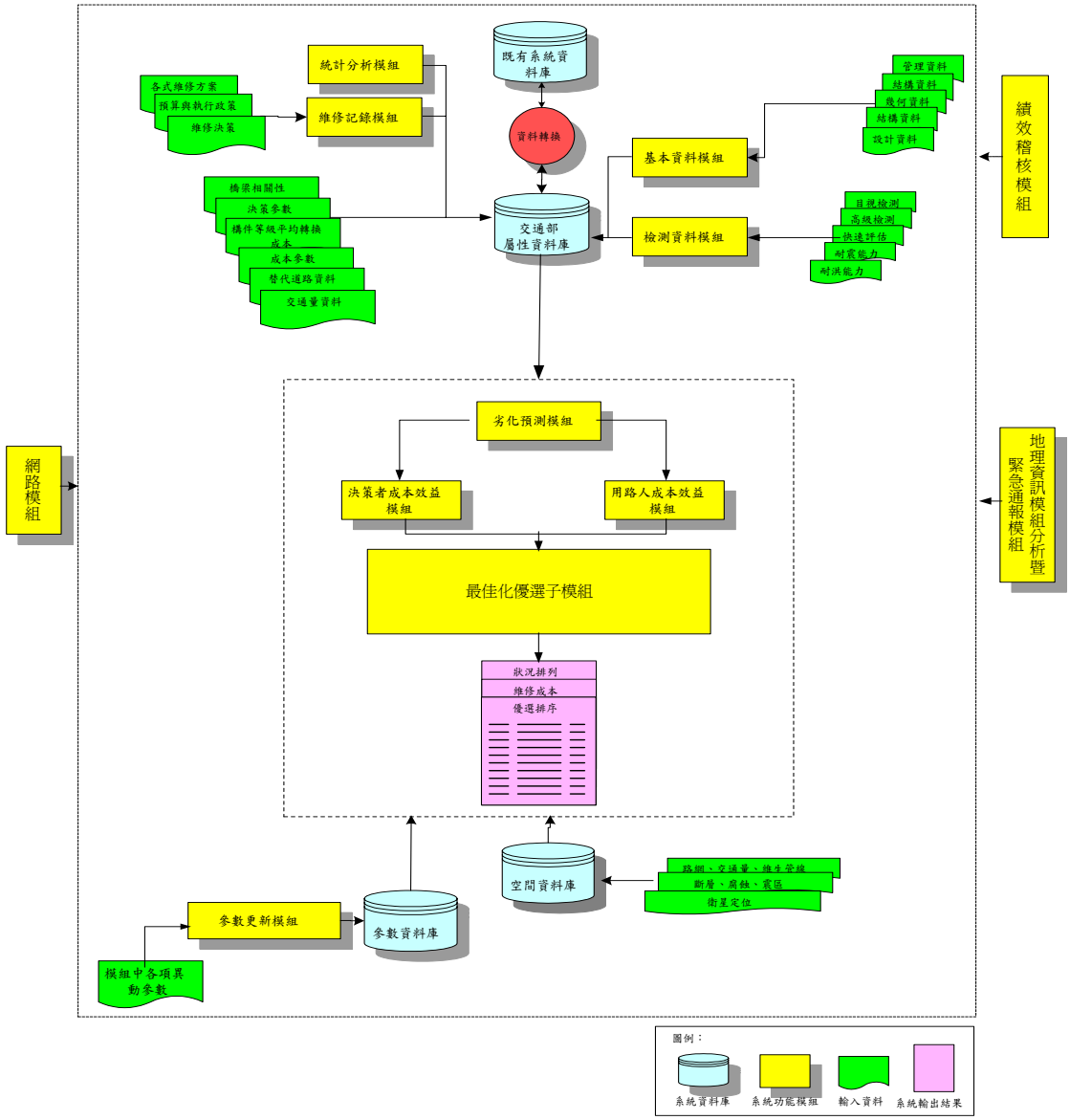


圖 2-8 TBMS 系統架構圖 (姚乃嘉等，2000)

以下針對較為常用的五個模組做介紹(姚乃嘉等，2000)：

(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(姚乃嘉等，2000)

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

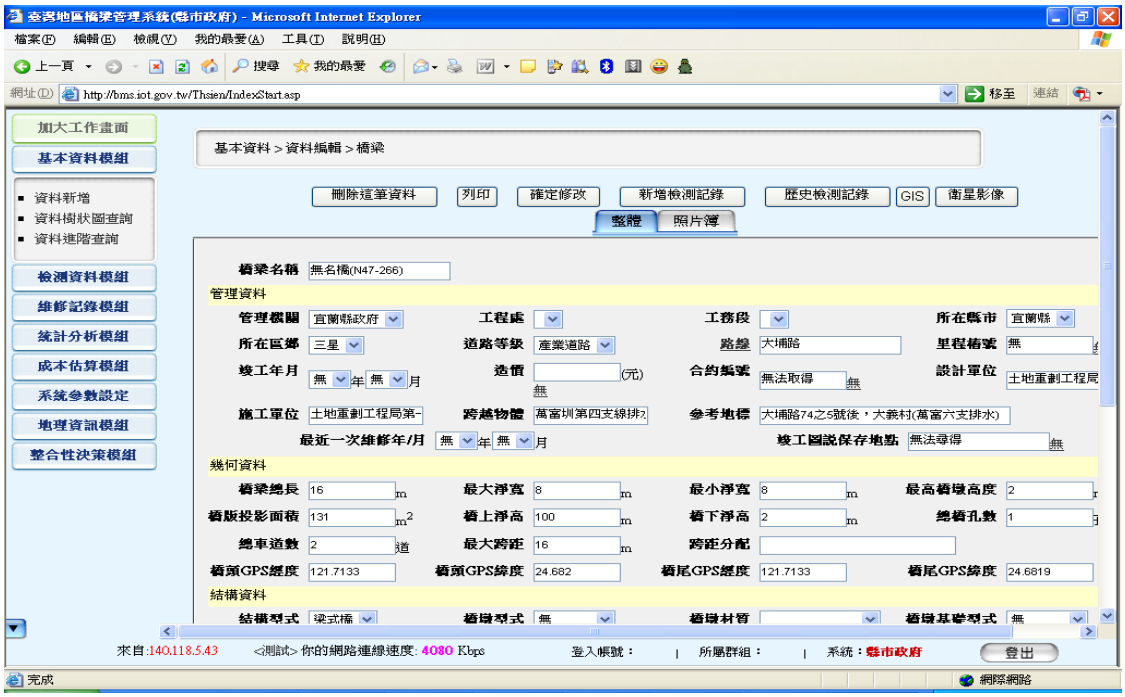


圖 2-9 基本資料模組畫面

(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：

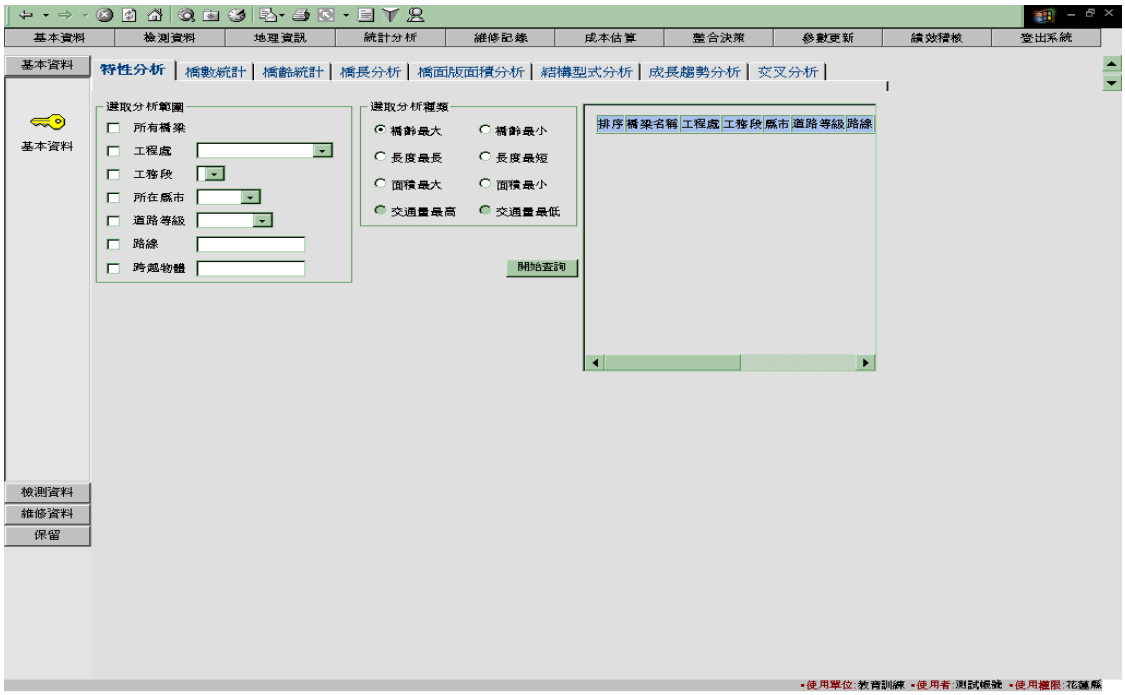


圖 2-10 統計分析模組畫面

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：

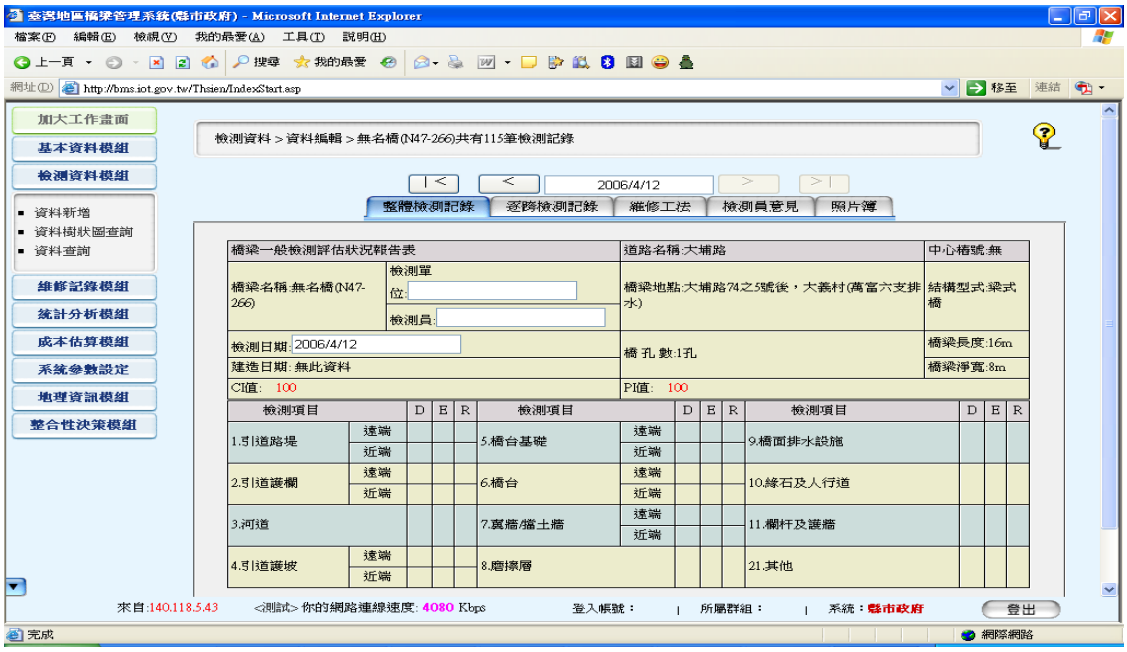


圖 2-11 檢測資料模組示意圖

(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：

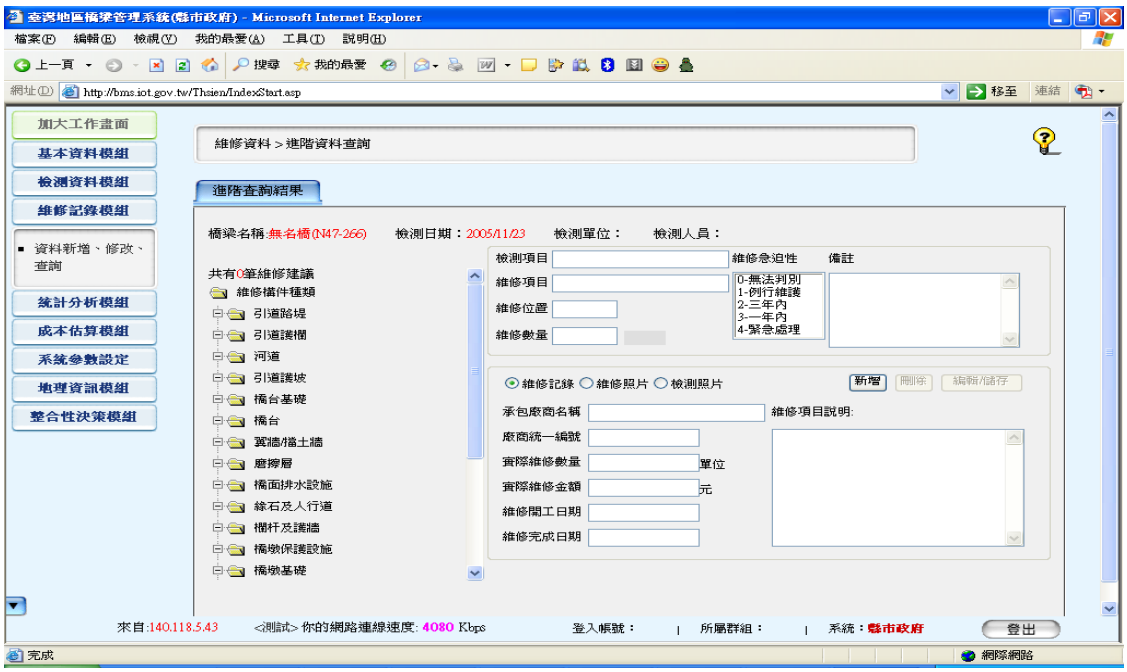


圖 2-12 維修記錄模組功能示意圖

(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

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(張國鎮等，2004)：

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(張國鎮等，2003)。

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確度之應變感測器，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、電阻式與熱敏電組，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0.01~1°F）、穩定性佳、量測範圍適當（–15~70°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.沖刷監測計

橋墩沖刷監測之方式依所使用的感測器不同而有所差異。理想的沖刷監測計應能包括水位高程變化、河床深度變化、基礎沖刷外露高度等主要監測項目。量測沖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和相關專用軟體組成，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 計畫為例，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、基礎承載力、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，南坎溪崁下橋、田底寮橋斷橋，及大漢溪武嶺橋下陷等災情(陳清泉等，2004)。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(陳清泉等，2004)。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 (張國鎮等，2004)

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-Δ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(陳清泉等，2004)。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，第一部份為颱洪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，在颱洪或豪雨來襲前，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(陳清泉等，2005)。

一般來說，橋梁沖刷之安全評估和下列因素有關(陳清泉等，2004)：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 Ay。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 Ay^*，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。

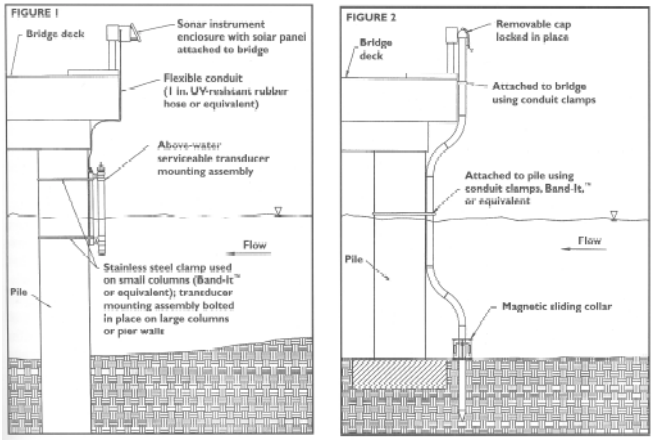


圖 2-14 sonar 河川沖刷監測（James D. Schall, 1999）(張國鎮等，2004)

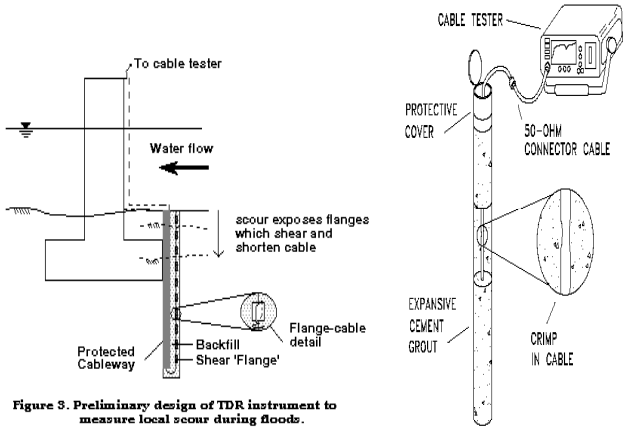


Figure 3. Preliminary design of TDR instrument to measure local scour during floods.

圖 2-15 TDR 河川沖刷監測（Charles H. Dowding, 1994）(張國鎮等，2004)

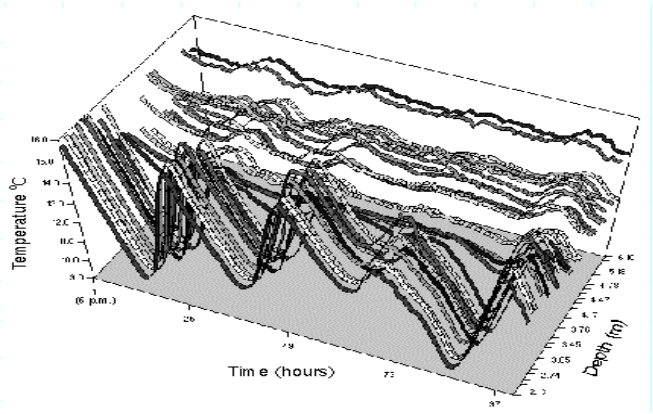


圖 2-16 利用溫差變化進行河川沖刷監測（Tom Edwards, 1998）(張國鎮等，2004)

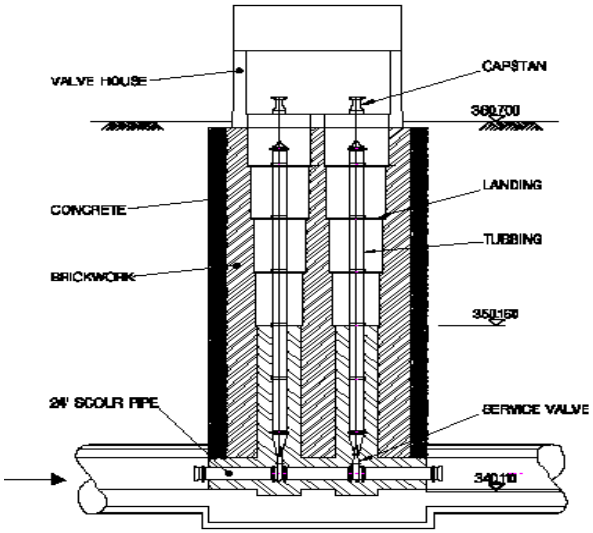


圖 2-17 壓力式河川沖刷監測（I. C. Carter, et al., 1998）(張國鎮等，2004)

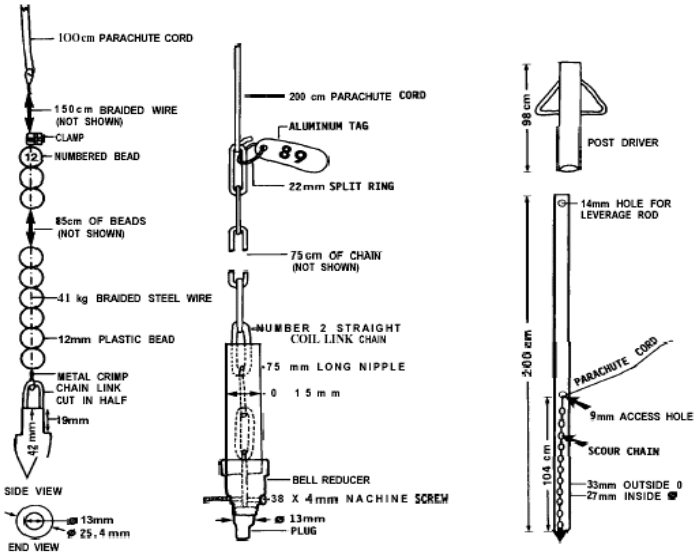


圖 2-18 重力懸垂式河川沖刷監測（Richard K. Kawa, 1993）(張國鎮等，2003)

圖 2-19 即時攝影式河川沖刷監測（NOAA, US, 2000）(張國鎮等，2003)

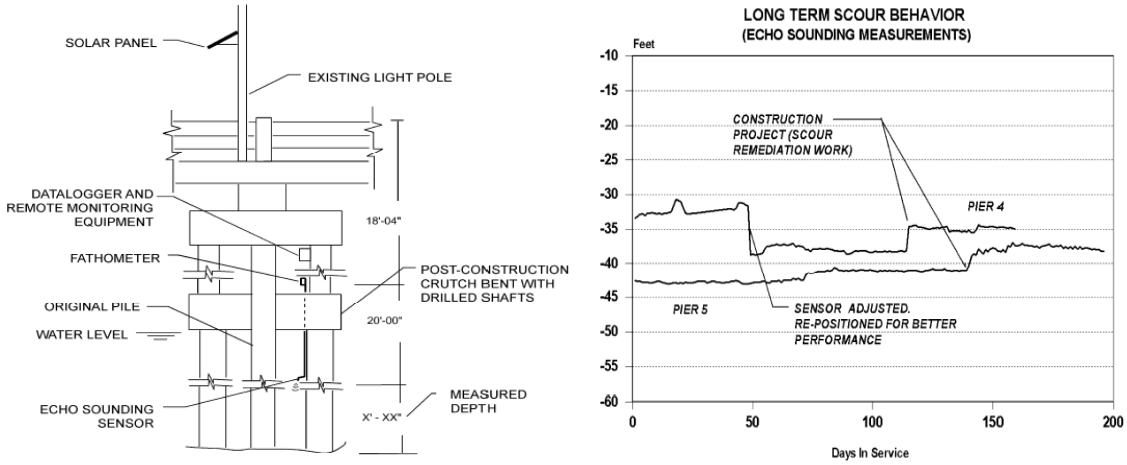


圖 2-20 音波回音式河川沖刷監測（Ivan R. Lasa, 1998）(張國鎮等，2003)

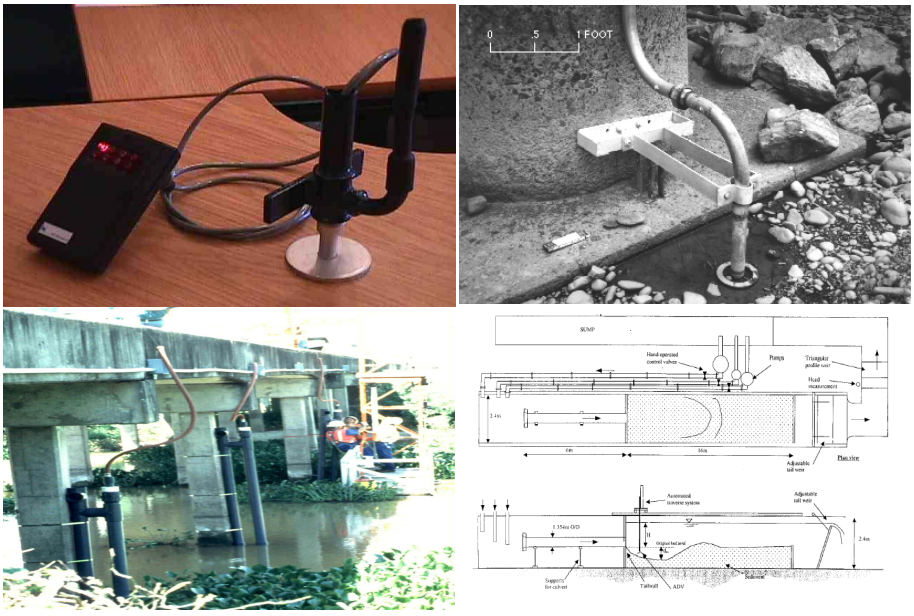


圖 2-21 電磁式河川沖刷監測（HR wallingford Ltd, 2002）(張國鎮等，2003)

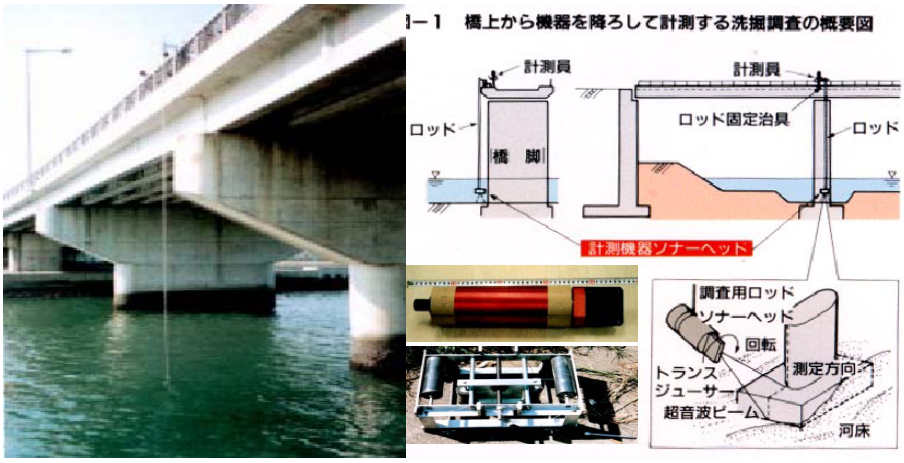


圖 2-22 超音波式河川沖刷監測（日本）
(張國鎮等，2003)

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，因河川沖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(陳清泉等，2004)。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，以致於橋墩遭河水沖刷，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、甚至有部份基樁還曾斷裂過，由於部分已屬危險橋梁，公路總局甚至已計畫予以拆除重建。

雖然目前國內橋梁之災害中，以基礎遭沖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；對於橋梁基礎遭沖刷之監測並無多所研擬、開發，或相關已開發之沖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(張國鎮等，2004)：

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裡的知識，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、不會生銹。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、壓力或具毒性及生銹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：

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 1με左右，光纖光柵感測器的解析度則小於 1με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℃，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^{o}C 與小於 1με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 利用氬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。

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-Preot Interferometric sensors, EFPI)、串接兩個不同直徑之光纖光柵、光纖光柵組合摻鉺光纖放大器(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。

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 $6\times10^{-10}Hz^{1/2}$。

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。其它的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 Luzzone 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(張國鎮等，2004)。

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(張國鎮等，2003)。

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。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。

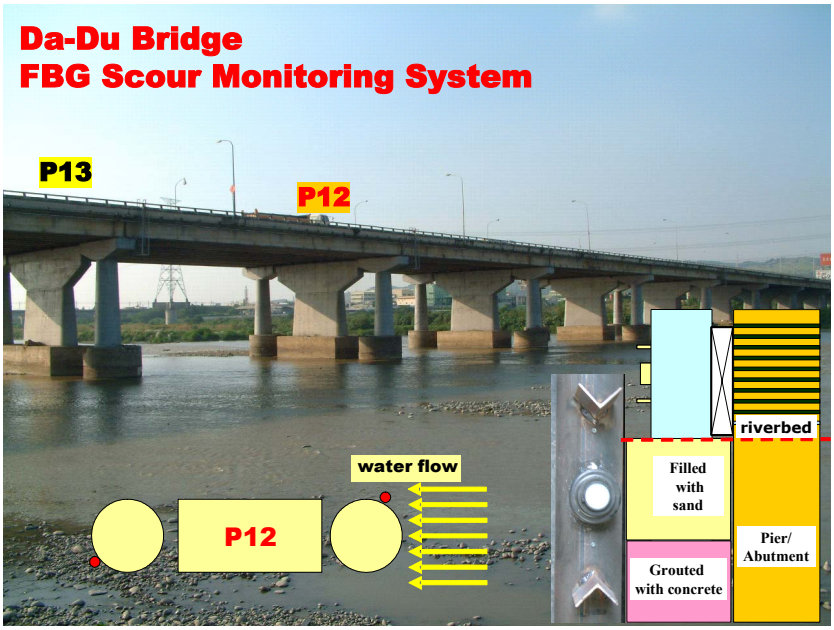


圖 2-23 台一線大度橋光纖沖刷監測機構 (張國鎮等，2004)

圖 2-24 艾利颱風後三天之大度橋流況 (張國鎮等，2004)

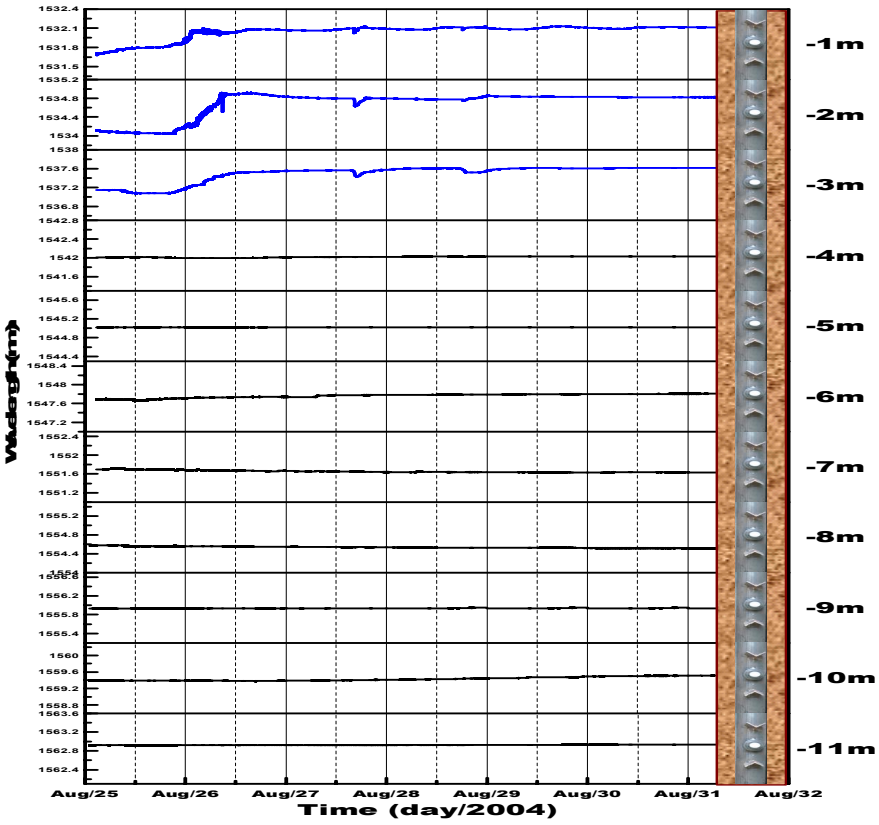


圖 2-25 艾利颱風大度橋上游橋墩局部沖刷監測 (張國鎮等，2004)

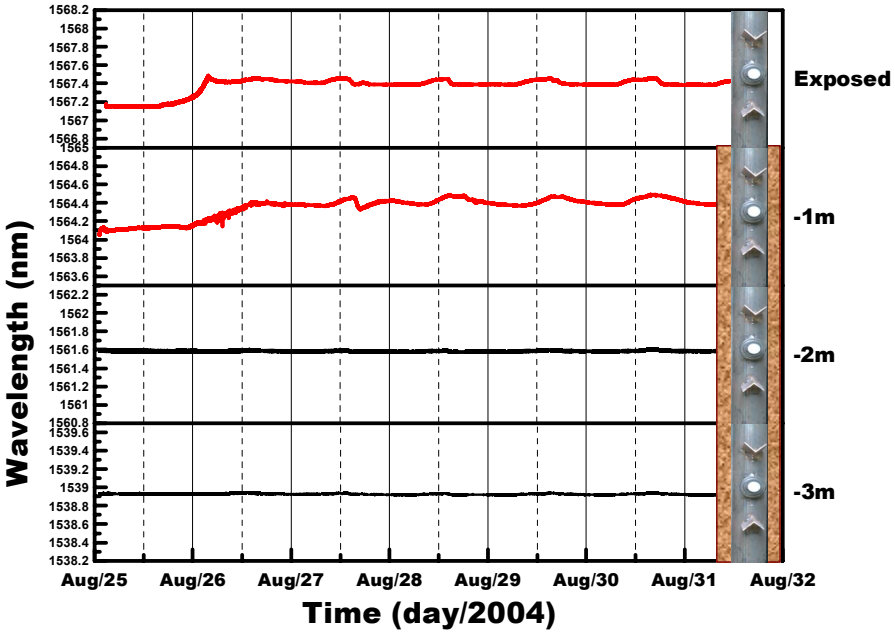


圖 2-26 艾利颱風大度橋下游橋墩局部沖刷監測 (張國鎮等，2004)

圖 2-25 為上游處所獲得之艾利颱風豪雨對大度橋沖刷深度資料，最上面之感測器起初為埋入於於河床內，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沖刷，若依大度橋原始設計基本資料，其允許沖刷深度為三公尺，但是河床在安裝光纖沖刷監測機構之前，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沖刷，約 6 公尺，豪雨時應加以持續之觀測，以確保其安全(張國鎮等，2004)。

圖 2-26 為下游處所獲得之艾利颱風豪雨對大度橋沖刷深度資料，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沖刷(張國鎮等，2004)。

光纖沖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

梁河床沖刷深度之即時監測，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：

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：

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。

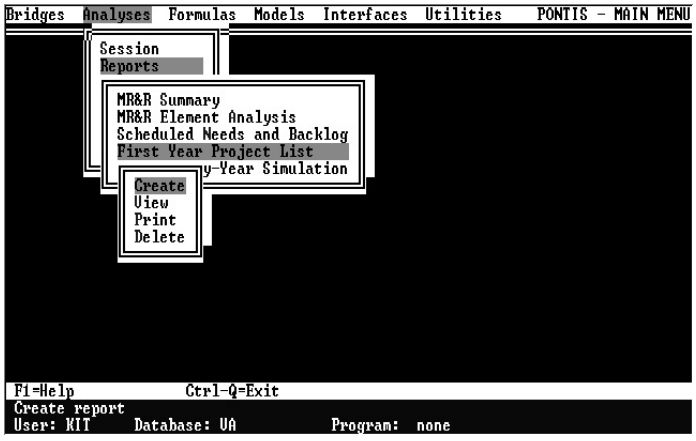


圖 2-27 PONTIS 系統主功能畫面（2.0 版）

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。

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。

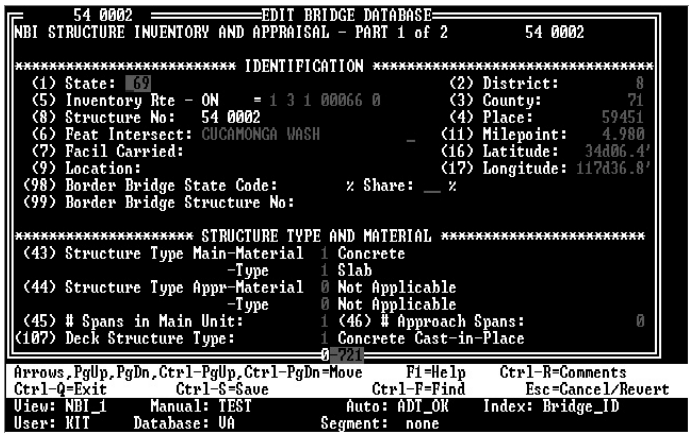


圖 2-28 NBI 資料輸入畫面

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。

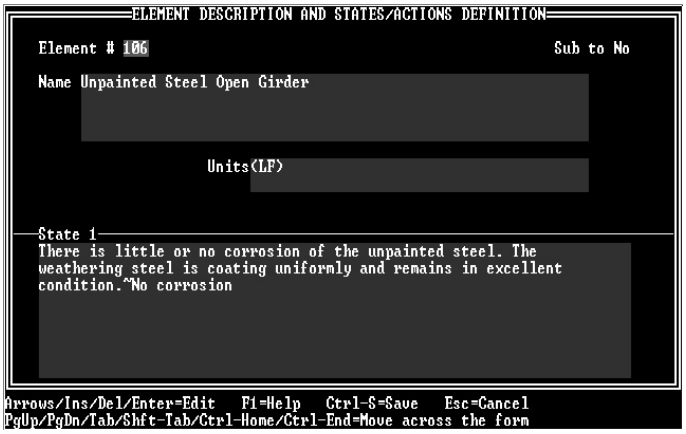


圖 2-29 構件狀態與可行方案資料畫面

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。

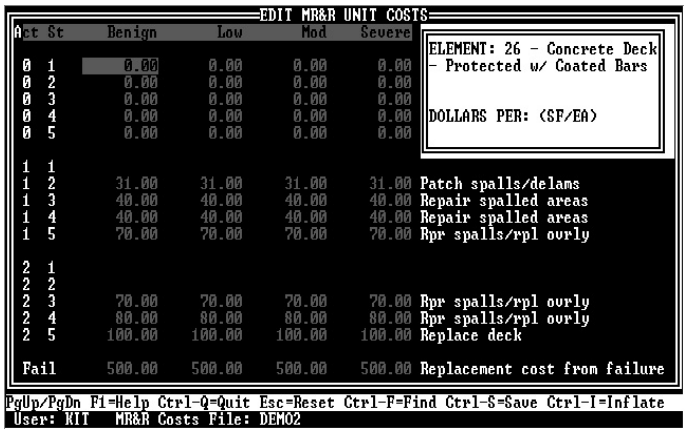


圖 2-30 構件劣化狀態之編輯畫面

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}：

$$P_{12}=1-0.5^{(2/T1)}$$

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 Pij 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。

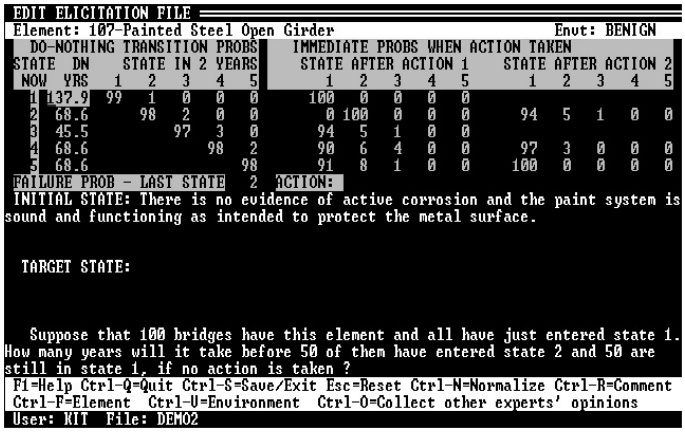


圖 2-31 構件劣化速率預測模組畫面

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，

便是以維持構件於安全狀態為前提，考慮路網整體之長期利益，訂定構件維護成本最小化之決策。

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。

在【MR&R 最佳化模組】中，首先便將路網中所有橋梁之構件進行分類加總，即將路網中型式、材質、功能相同之橋梁構件數量依其劣化狀態做一統計。圖 2-32 為路網中所有構件於各種環境、狀態下之統計結果，並計算各種構件所需要的 MR&R 成本及實行 MR&R 方案後所得到的效益。

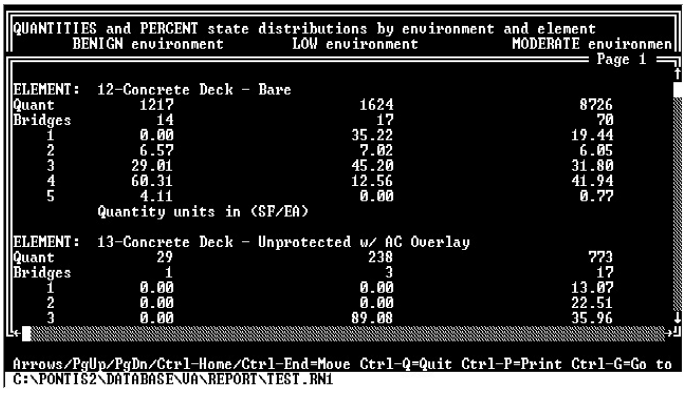


圖 2-32 路網整體結構狀況畫面

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。

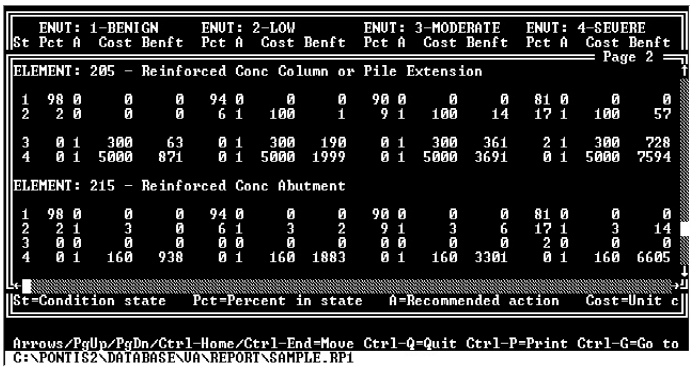


圖 2-33 路網中各構件 MR&R 方案之加總

【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的計算結果。

圖 2-34 改善措施及其成本效益畫面

【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。

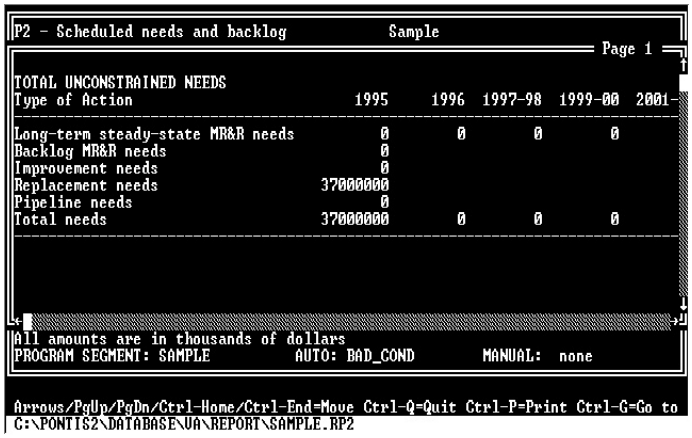


圖 2-35 維修改善方案之時程安排畫面

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：

(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。

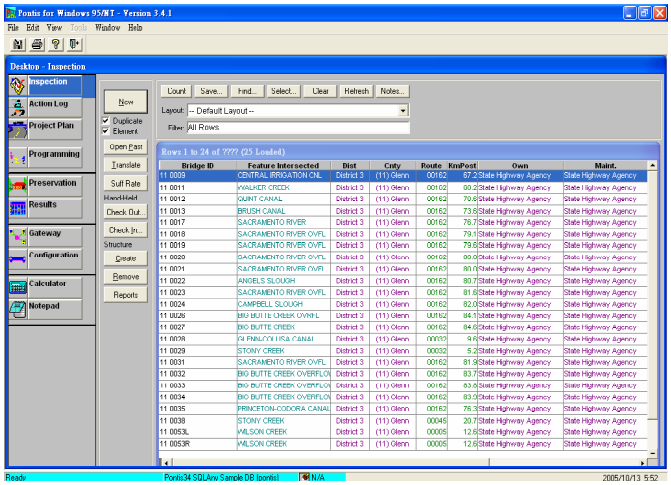


圖 2-36 檢視主畫面

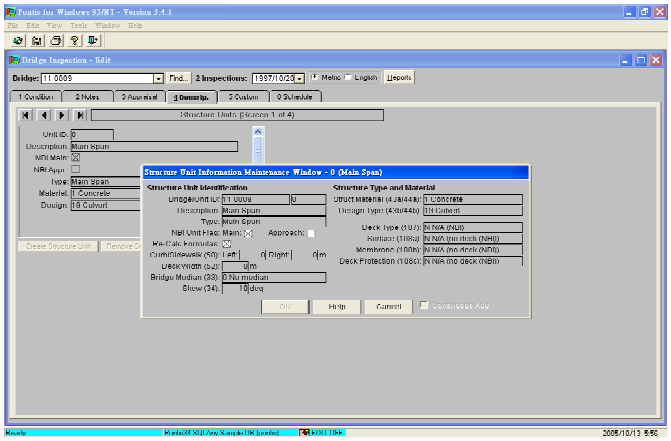


圖 2-37 結構元件修復檢視畫面

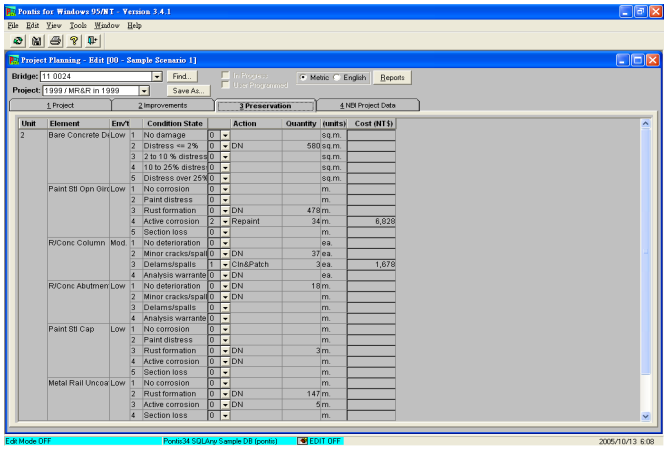


圖 2-38 防腐專案計畫檢視畫面

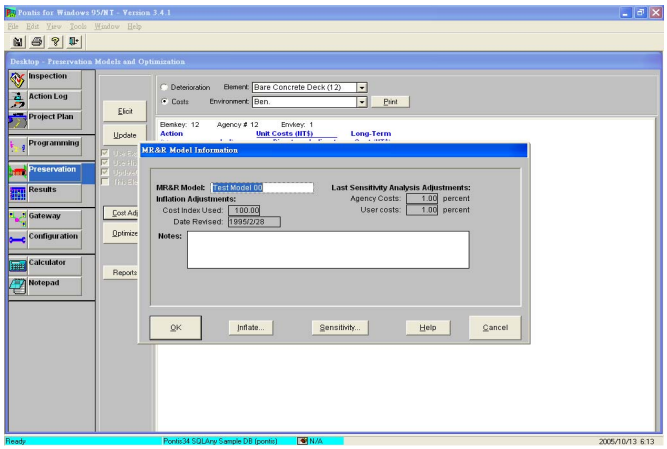


圖 2-39 MR&R 模組資訊檢視畫面

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，因此將經驗老道撿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)。

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)。

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。

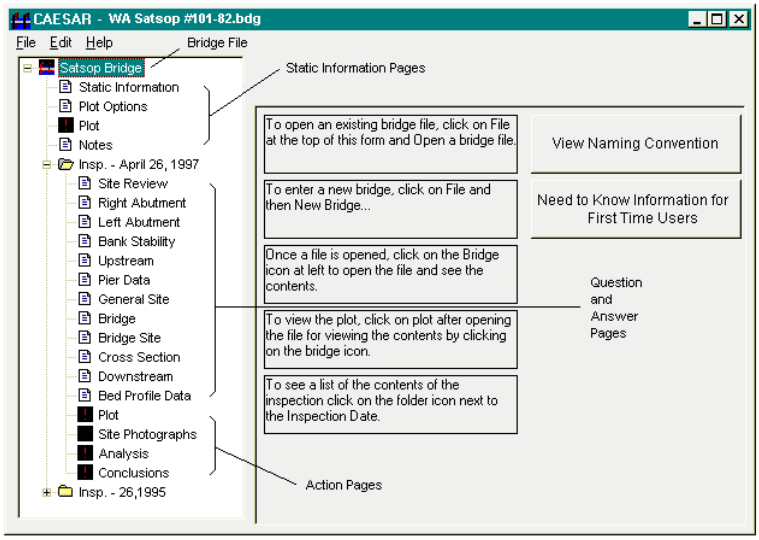


圖 2-40 CAESAR 之主程式視窗(Palmer and Turkiyyah, 1997)

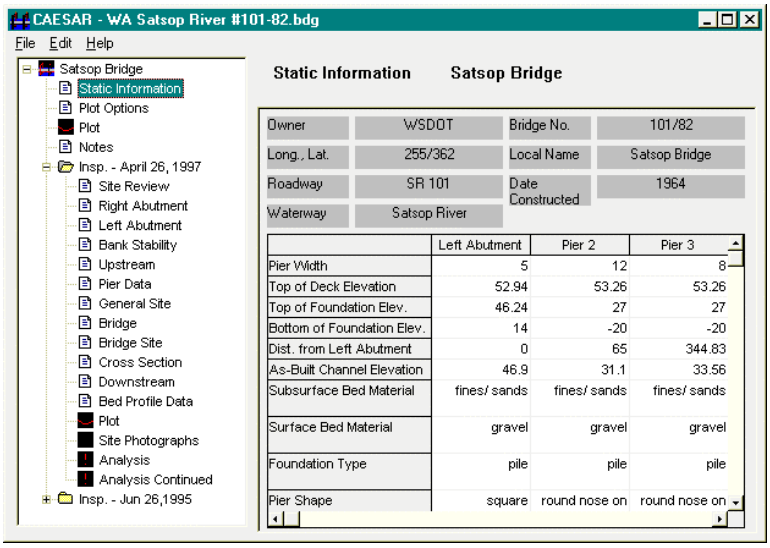


圖 2-41 CAESAR 橋梁基本資料畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

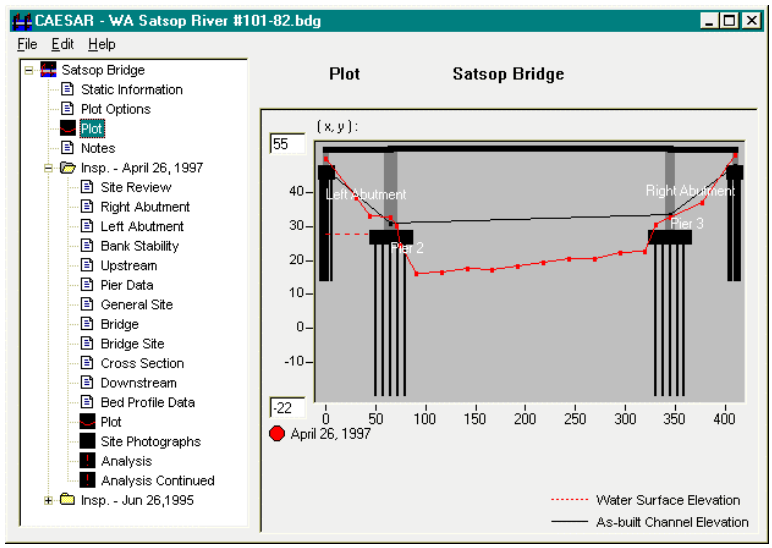


圖 2-42 CAESAR 橋梁斷面繪圖畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

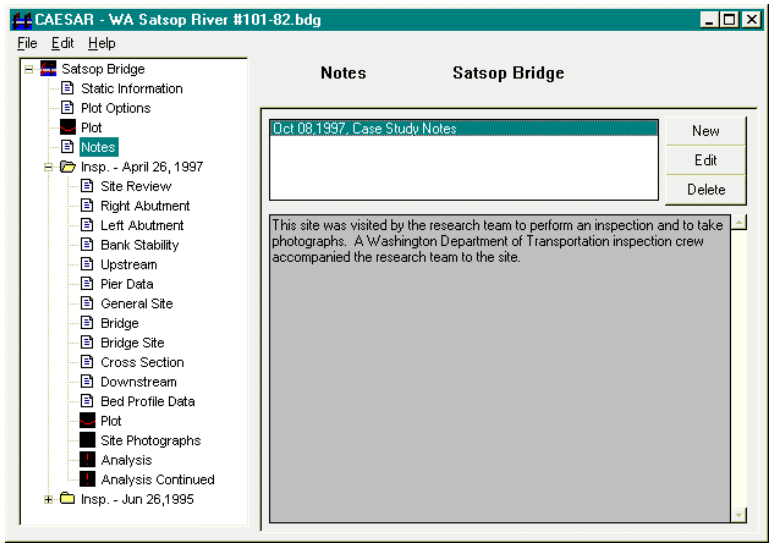


圖 2-43 CAESAR 橋梁資料附註畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

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)。

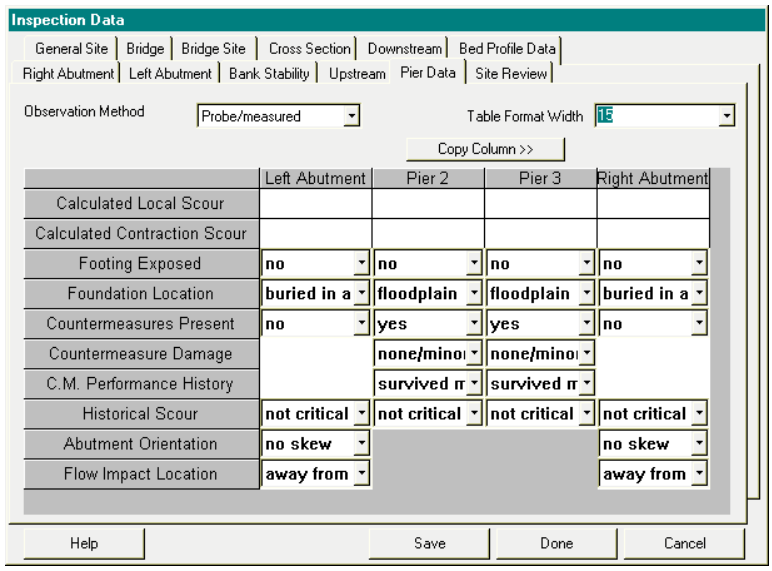


圖 2-44 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 橋台與橋墩資料(Palmer and Turkiyyah, 1997)

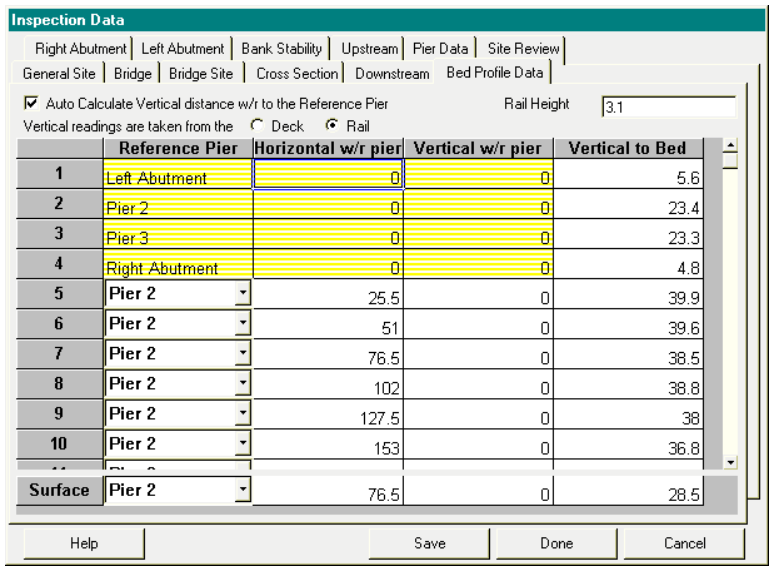


圖 2-45 CAESAR 檢測資料編輯頁面 – 河床斷面資料(Palmer and Turkiyyah, 1997)

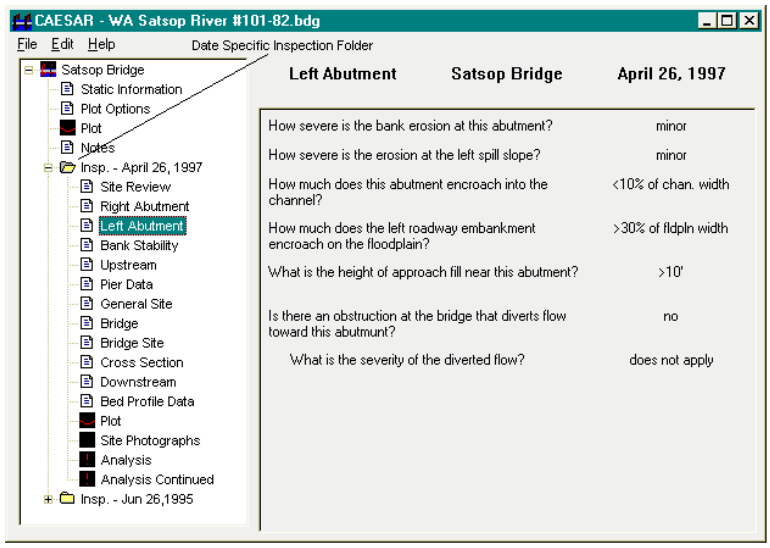


圖 2-46 CAESAR 橋梁構件資料畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

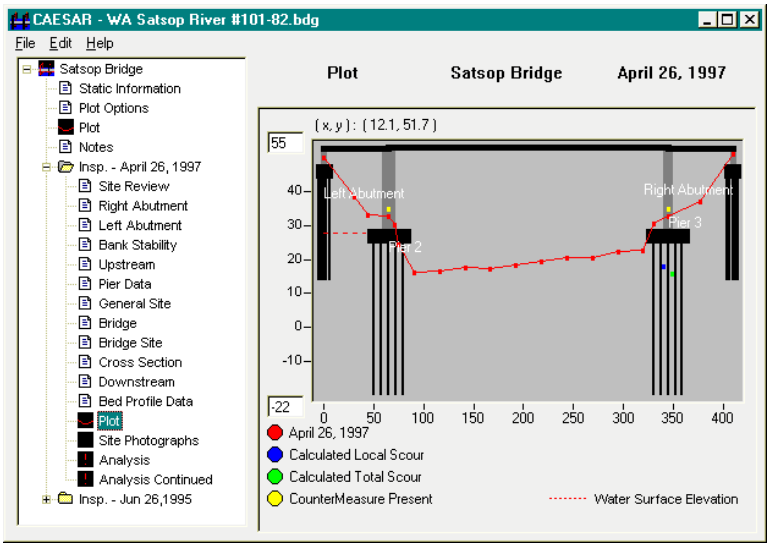


圖 2-47 CAESAR 橋梁檢測圖(Palmer and Turkiyyah, 1997)

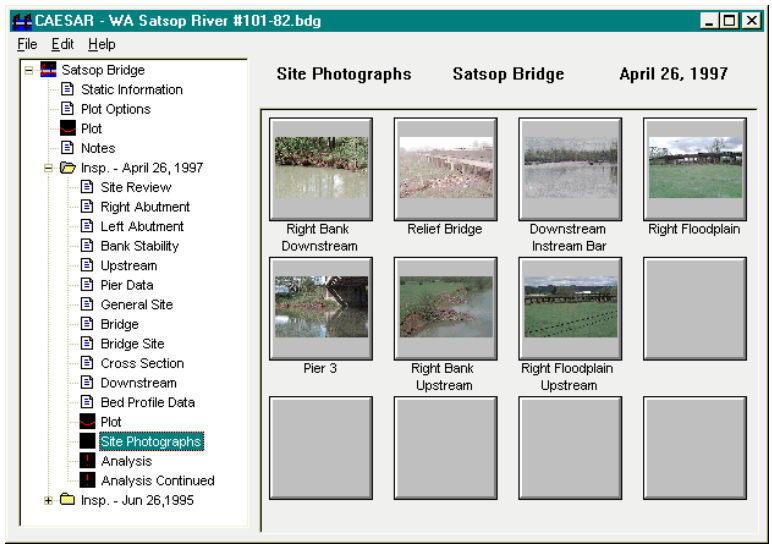


圖 2-48 CAESAR 照片編輯目錄畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

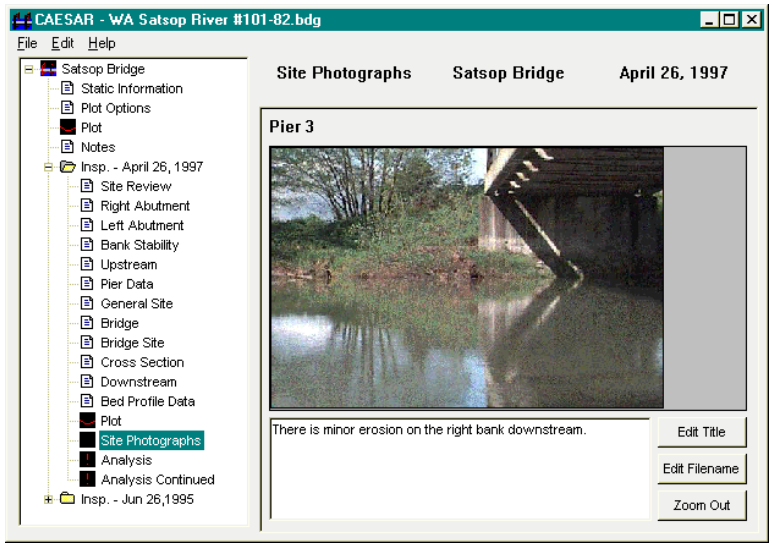


圖 2-49 CAESAR 照片檔案編輯畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

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)。

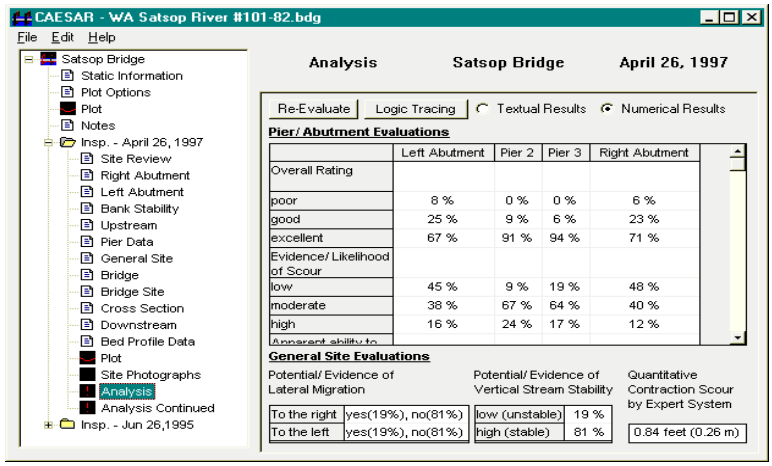


圖 2-50 CAESAR 分析結果畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

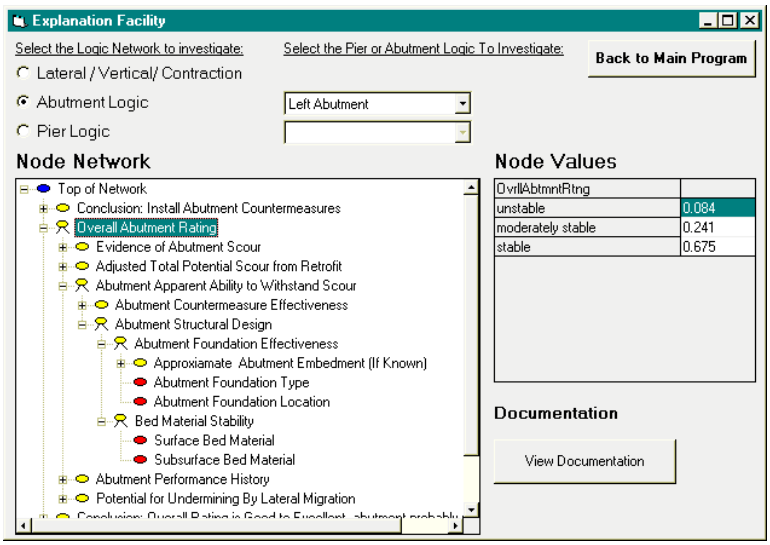


圖 2-51 CAESAR 邏輯尋跡功能畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

『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)。

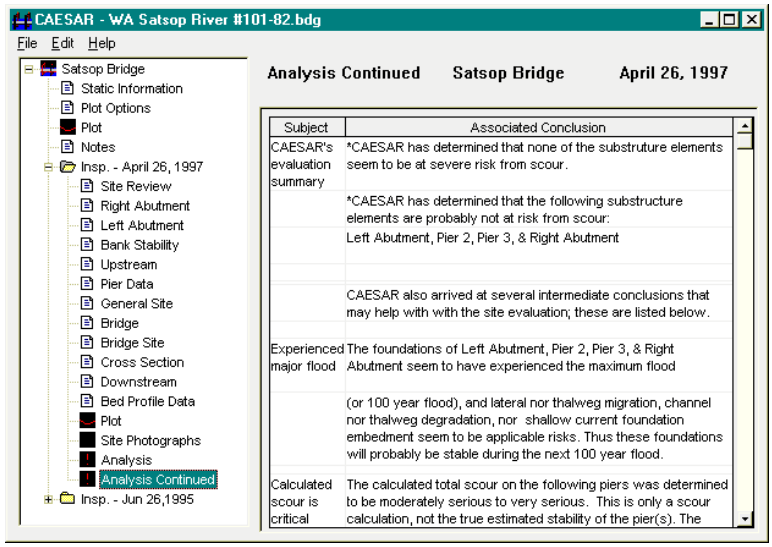


圖 2-52 CAESAR 繼續分析畫面(Palmer and Turkiyyah, 1997)

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。

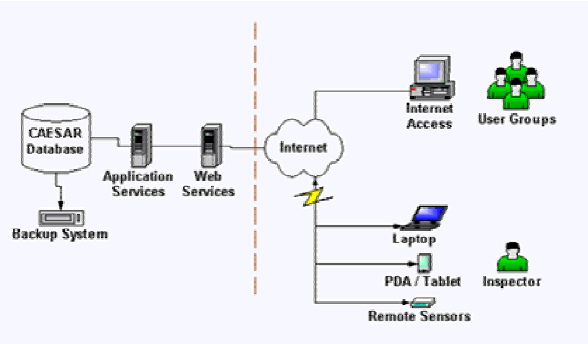


圖 2-53 CAESAR 線上系統示意圖(Palmer and Turkiyyah, 2005)

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、鄭蟄	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關する參考資料	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
	變量流橋墩沖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
	橋墩局部沖刷與蛇籠保護工法之實驗研究	國立中央大學	2002
	預防橋基沖刷與施作橋基保護工之相關問題探討	台灣公路工程	1998
	橋台與橋墩沖刷防制工法	交通部委託研究計畫	2001
	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
	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沖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、河川沖蝕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畫	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(陳生金等，2005)，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。

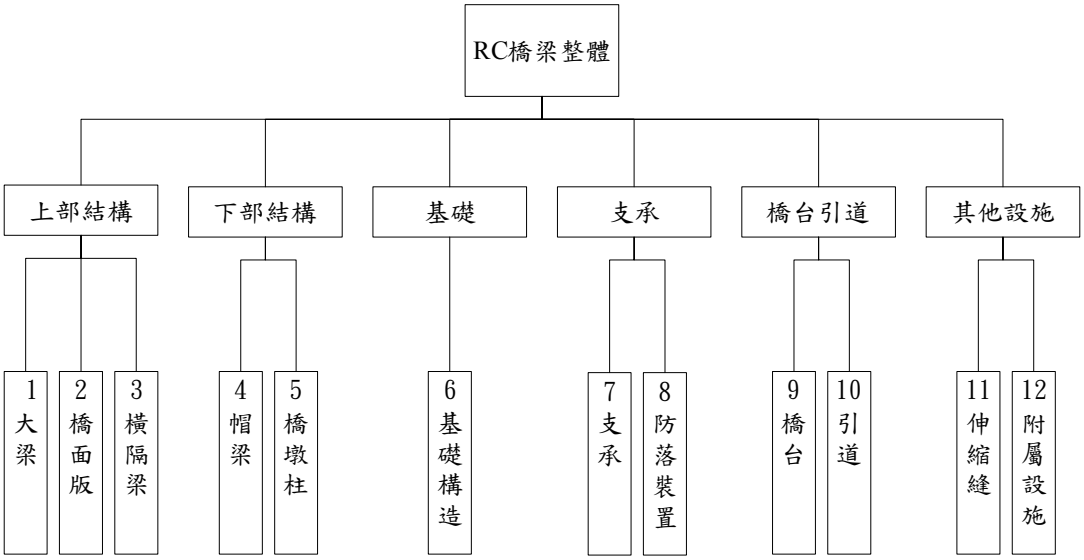


圖 3-1 橋梁構件單元分類架構圖 (陳生金等，2005)

表 3-1 橋梁構件單元分類表 (陳生金等，2005)

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。

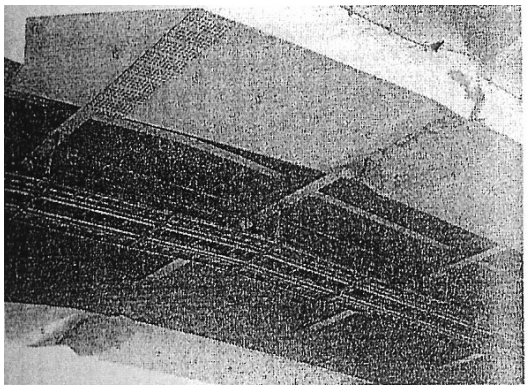
探討國內外震後橋梁損壞型式，除了有助於對橋梁在地震下之結構行為瞭解外，亦有助於篩選影響橋梁耐震能力之影響參數，作為橋梁往後耐震補強方法選擇及耐震能力評估準則建立之依據。如九二一集集大地震中，較為常見且嚴重的損壞型式包含落橋、橋柱剪力或撓曲破壞、主梁位移、基礎破壞、橋台破壞等。

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。

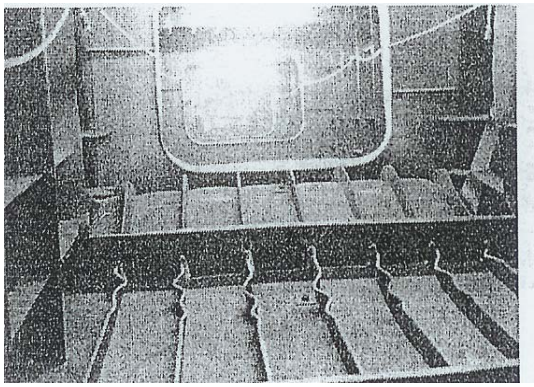
由於橋梁損壞型式與其結構特性或使用材料有密切之關係，如上部結構與基礎之影響參數不同、鋼筋混凝土橋與鋼橋損壞型式亦不同，因此在進行震後橋梁損壞型式之探討時，將以橋梁結構組成分類為主，即根據所定義之橋梁構件與單元，進行損壞型式分類，探討如下。

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)。

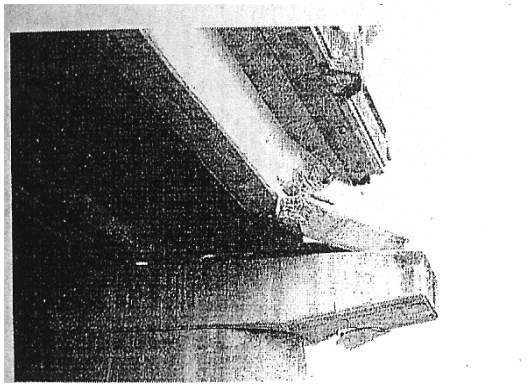


(a)主梁挫屈

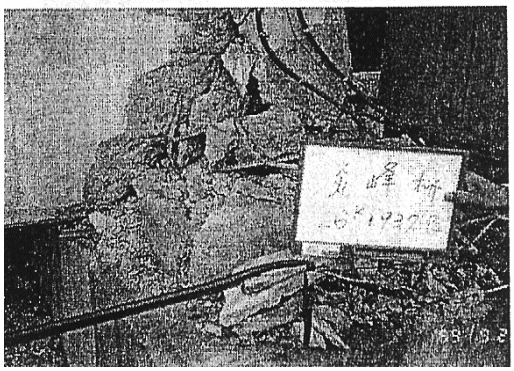


(b)加勁板挫屈

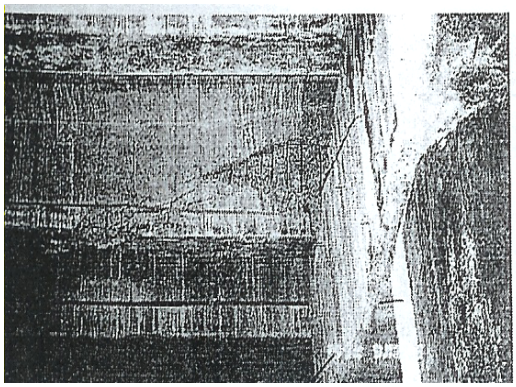
圖 3-2 鋼梁挫屈破壞 (陳生金等，2003)



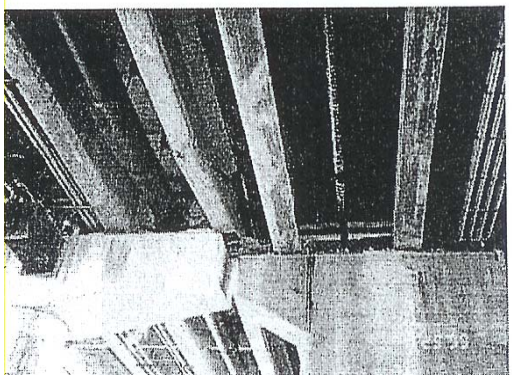
(a)烏溪橋



(b)炎峰橋



(c)東豐橋

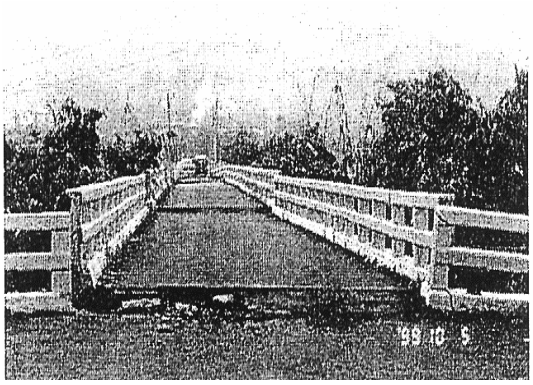


(d)東豐橋

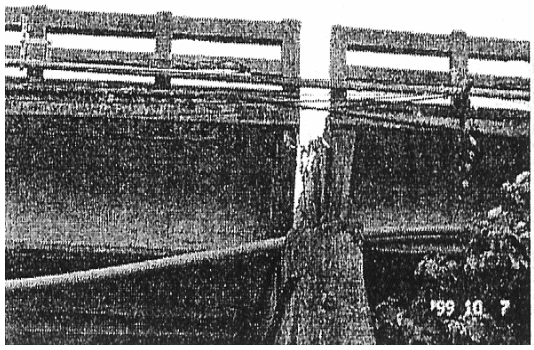
圖 3-3 主梁之破壞模式 (陳生金等，2003)

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

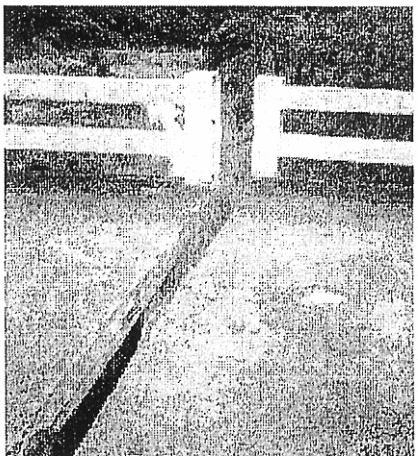
上部結構之破壞除主梁外，嚴重者可能發生橋面高低差、橋面車行向或垂直車行向分離等破壞模式，損壞較輕微者則為護欄擠壓、標誌架或照明設備等附屬設施傾倒等(圖 3-4)。國內老舊橋梁往往因車流量增大而擴建，新舊橋梁間橋面是否連結除為設計施工時較為困難之抉擇外，亦影響地震時橋梁之破壞模式。921 地震中即有新舊橋梁因振動單元不同，地震下產生相對變位而造成新舊橋梁分離之破壞模式，如東豐橋、大峰橋及一江橋等(圖 3-5)。橋面版主要的損壞現象包含橋面版破裂分離、橋面擠壓隆起、變形、或因支承、橋柱、基礎等之破壞所導致橋面產生傾斜或高低差等。



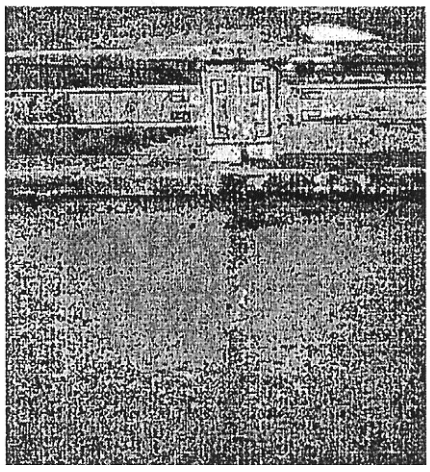
(a)鯉魚橋橋面高低差



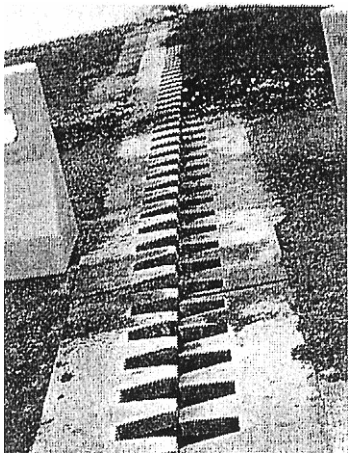
(b)一江橋橋面分離



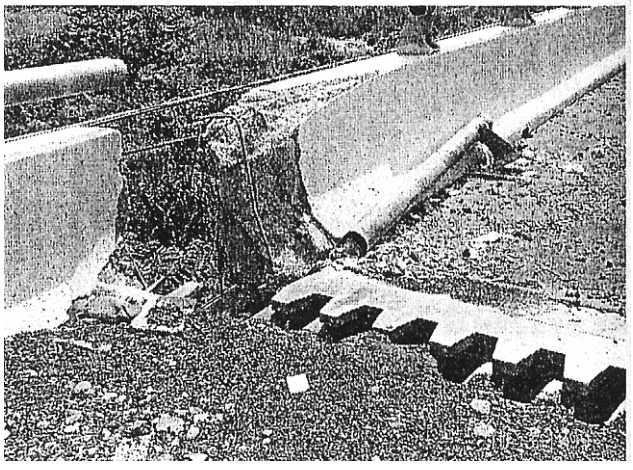
(c)光龍橋橋面分離



(d)龍安橋護欄橋面擠壓

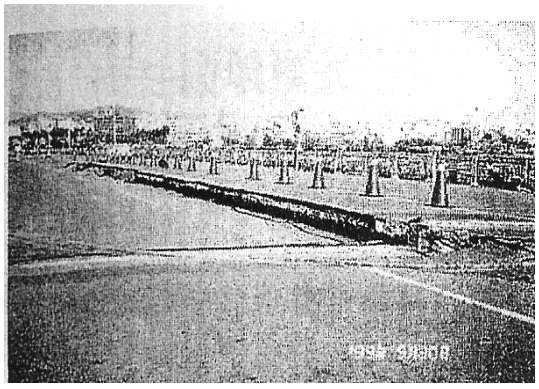


(e)炎峰橋橋面高低差



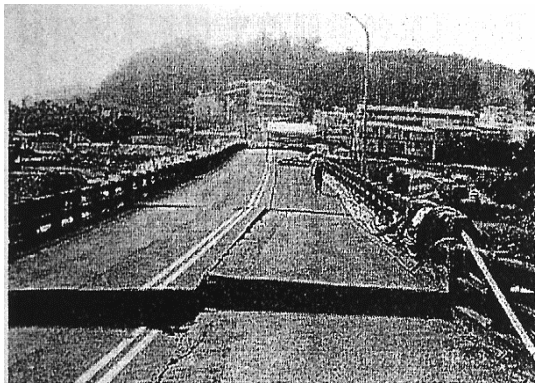
(f)炎峰橋橋面錯位

圖 3-4 橋面版破壞模式之一 (陳生金等，2003)



(a)東峰橋

(b)大峰橋



(c)一江橋

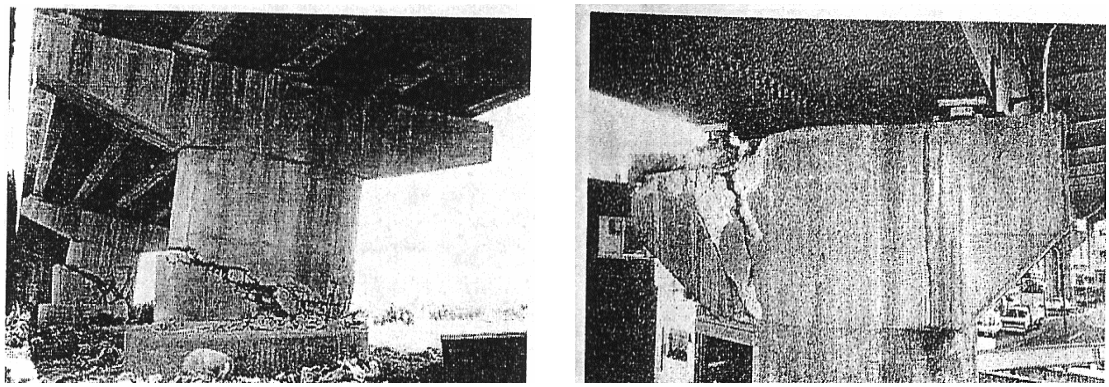
圖 3-5 橋面版破壞模式之二(陳生金等，2003)

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

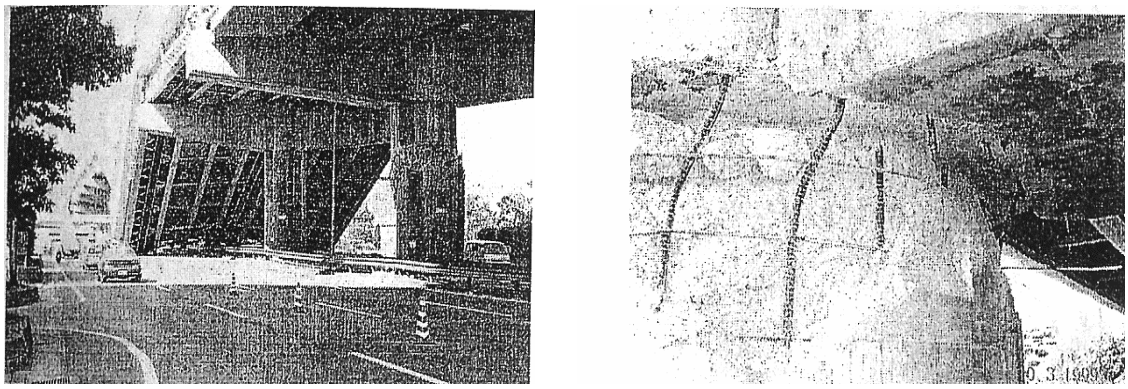
下部結構主要之損壞型式為帽梁及橋墩柱之破壞。帽梁常見的震害損壞現象有外表混凝土的剝落或裂縫、帽梁開裂等。橋墩柱之損壞型式若以力學行為來分，主要有因主筋搭接長度不足或圍束不佳致使橋柱損壞的「撓曲破壞」、橋柱剪力箍筋配置不足致使發生脆性損壞的「剪力破壞」(圖 3-6)，及主筋搭接長度不足或未考慮鋼筋應變硬化所造成彎矩位移而過早截斷主筋所造成的「撓剪破壞」(圖 3-7)。損壞現

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 (陳生金等，2003)



(a)阪神 RC 橋撓剪破壞　　(b)炎峰橋撓剪破壞

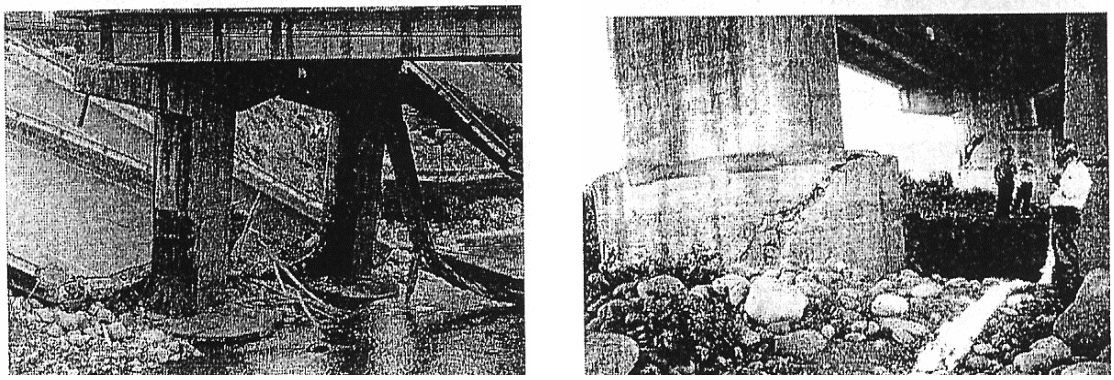
圖 3-7 撓剪破壞 (陳生金等，2003)

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。

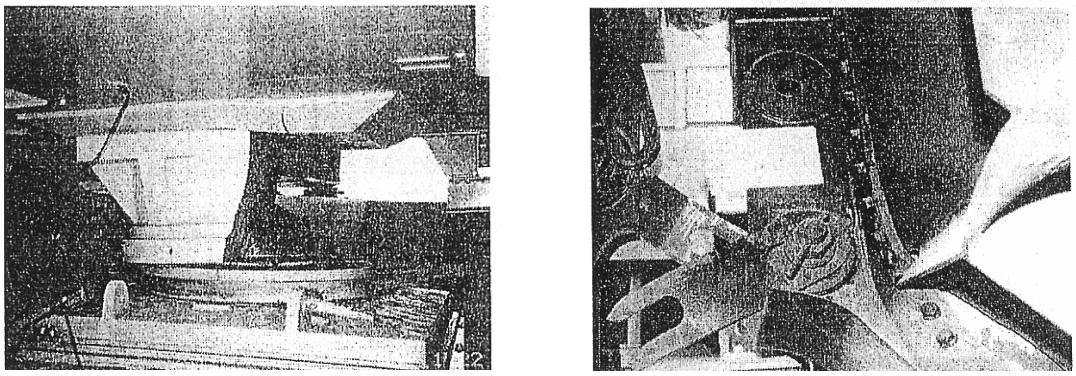


(a)石圍橋基礎傾斜導致落橋　　**(b)烏溪橋沉箱剪力破壞**

圖 3-8 基礎損壞型式 (陳生金等，2003)

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

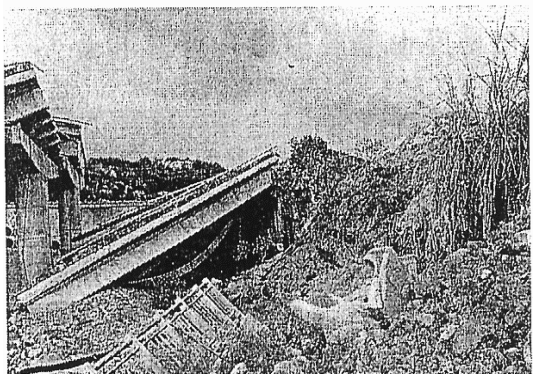
圖 3-9 支承及防落裝置之破壞 (陳生金等，2003)

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。

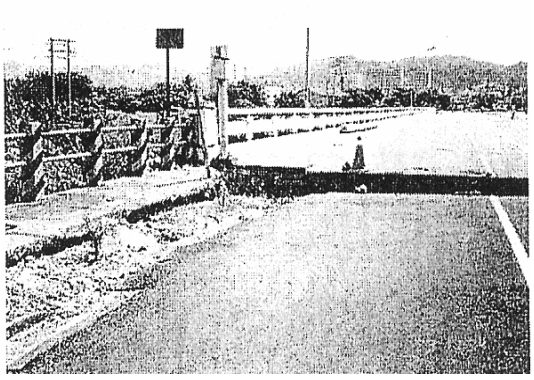
3.2.5 橋台引道損壞型式

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 (陳生金等，2003)

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) (陳生金等，2005)

	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)因承載力等因素，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) (陳生金等，2005)

	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，而有堰上游淤積、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、丁堰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、堰、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(陳清泉等，2004)。

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述幾種情形(陳清泉等，2004)：

(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堰下游的沖刷，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。另一種是上游來滓水，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 (陳清泉等，2004)：

(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)取水堰霸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洪而未及完工復原，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(陳清泉等，2004)。

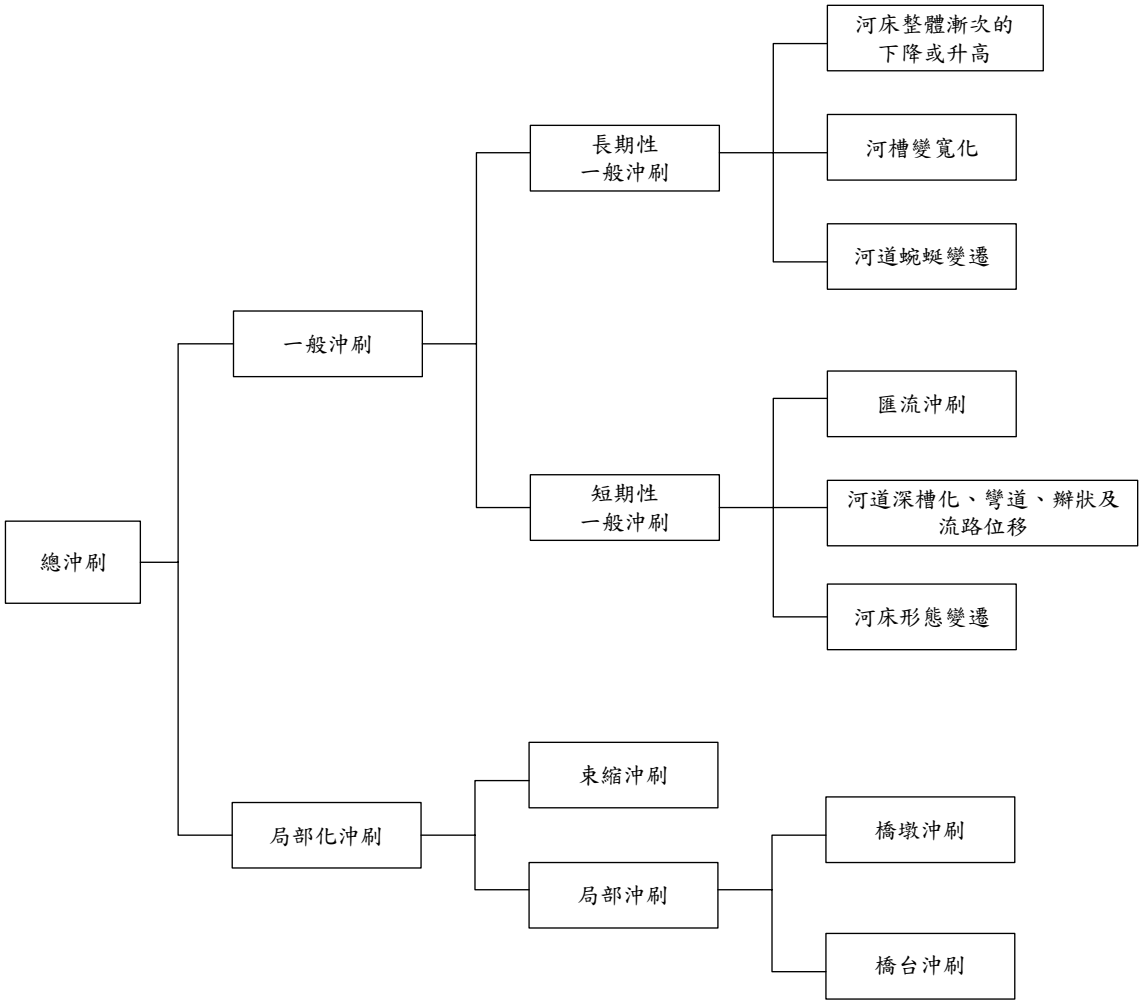


圖 3-11 河川橋梁沖刷 (陳清泉等，2004)

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(陳清泉等，2004)：

(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 (洪宏基等，1999)

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

影響混凝土腐蝕之劣化現象主要有下列六種：龜裂、鹽害、鹼質與粒料反應、中性化、特殊環境引致之劣化、硫酸鹽侵蝕，分別說明如下 (張荻薇等，1999)：

(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
	鷹架沈陷		構材端部中央及中間處下端產生裂縫
環境條件之相關事項	環境溫・濕度之變化		類似※2 之裂縫，發生裂縫係因溫、濕度變化而產生
	構材二面之溫・濕度差		低溫或低濕側之表面產生直角轉折之裂縫
	反覆凍結・融解		表面剝離
	水災・表面加熱		表面全體產生微細龜甲狀之裂縫
	內部鋼筋之生銹膨脹		沿鋼筋產生大裂縫，混凝土保護層剝落，銹汁流出
	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
結構及外力等之相關事項	超載(地震、積載荷重)	撓曲	在拉力側垂直方向產生裂縫
		剪力	在主要構材 45°方向產生裂縫
	斷面、鋼筋量不足		與撓曲、剪力同，在平行垂下方向產生裂縫
	構造物之不等沈陷		沿 45°方向產生裂縫

(2)鹽害

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

混凝土由於外界鹽份侵入或使用含鹽份材料,使鋼筋表面氯離子含量超過某一臨界值時，則鋼筋表面的鈍化膜便會遭受破壞而產

生腐蝕。在鹽害方面，當混凝土中鋼筋表面的氯離子超過一定的量時，鋼筋表面的保護性鈍化膜開始破壞，接著鋼筋開始腐蝕膨脹造成混凝土龜裂。

(3)鹼質與粒料反應

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

混凝土中鹼之主要來源係由水泥所供應，水泥水化後其孔隙溶液中會產生鈉（帶一個正電荷）、鉀（帶一個正電荷）、鈣（帶二個正電荷）、氫氧根（帶一個負電荷）等離子，若混凝土中含有活性粒料，氫氧根離子會打斷粒料中結合能量較低的矽氧鍵結（結晶不完整），產生帶負電的-Si-O,帶負電的-Si-O-基於平衡原則須與帶正電的陽離子結合，形成穩定的反應產物，反應過程中，鈉和鉀離子因帶一個正電，其原子比鈣小較容易和-Si-O-先結合成鹼矽膠體（alkali-silica gel）。此鹼矽膠體在有水的情況下會吸水膨脹，造成混凝土內部產生膨脹壓力，混凝土本身無法承受此內部壓力時，混凝土體積增加導致龜裂以釋放內部壓力。鹼矽膠體在形成初期，因尚未吸水呈較乾的膠體，吸水後除會造成體積膨脹外，膠體黏度亦會降低，若持續吸水，會變成流體狀物質，流至混凝土中的孔隙而降低鹼矽膠體的膨脹壓力。

(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泥凝土而

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

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

(5)特殊環境引致之劣化

混凝土結構物在工業地區等惡劣的環境下，很容易造成中性化、鋼筋腐蝕、表面劣化及強度降低等劣化現象。工業地區空氣中二氧化碳濃度高，容易促使混凝土結構產生中性化現象，另空氣中含有污染物質與氧作用後形成有害物，將自混凝土表面緩緩弱化混凝土品質，此即為表面劣化或強度降低之主要因素。除上述之不利影響外，工業地區亦常常設立於鄰海區域，若再加上海鹽粒子與雨水之作用，將侵蝕混凝土而造成鋼筋腐蝕，產生鹽害。

(6)硫酸鹽侵蝕

硫酸鹽侵蝕是造成混凝土損壞的主要原因之一，硫酸鹽的存在

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

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(李有豐等，2000)：

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	鹼質與粒料反應	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	生銹	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

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	\												
		\												
		\												
		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	\												

表 3-11 橋梁單元老化損壞型式(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 橋面版	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				◎								
	Sub2 橋墩柱	M17 混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
F. 基　礎	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	◎											

表 3-12 橋梁單元老化損壞型式(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 橋面版	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						◎	◎	◎	◎
	Sub2 橋墩柱	M17 混凝土老化	◎	◎	◎	◎	◎				
F. 基　　礎	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									

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	◎	◎	◎	◎	◎	◎			◎		
鹼質與粒料反應 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」(行政院內政部，2000)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(行政院內政部，2001)。

「災害防救基本計畫」中災害應變流程如圖 4-1 所示。

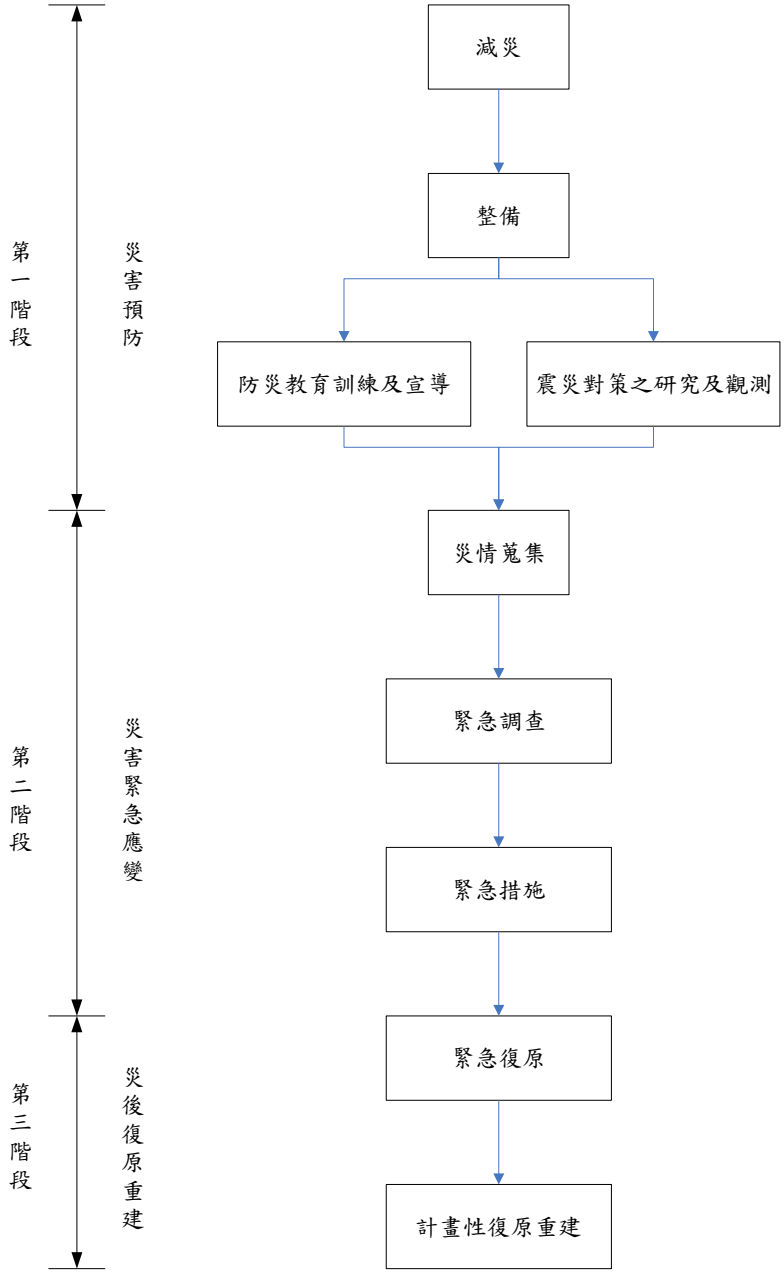


圖 4-1 災害應變流程 (行政院內政部，2001)

本計畫依據「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」階段主要的實施工作係以 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，本計畫的範圍則是「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」(陳生金等，2005)及「災害防救基本計畫」(行政院內政部，2001)所建立的。其中，災害預防階段為本計畫所增加。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。

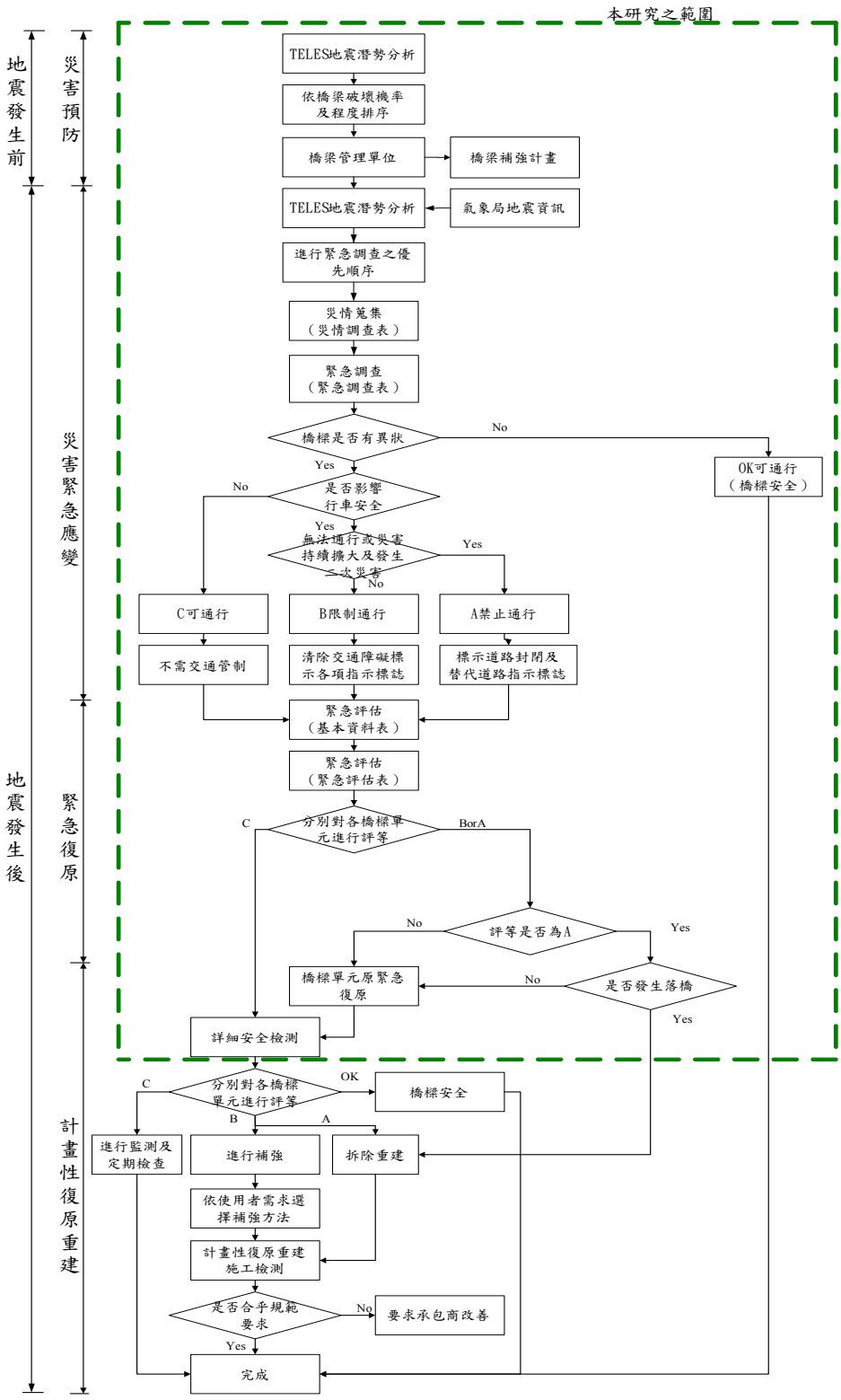


圖 4-2 橋梁地震災害應變流程 (陳生金等，2003)

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。

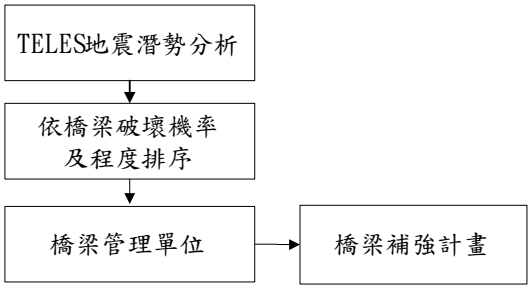


圖 4-3 橋梁地震災害災害預防階段應變流程

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，在本計畫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。

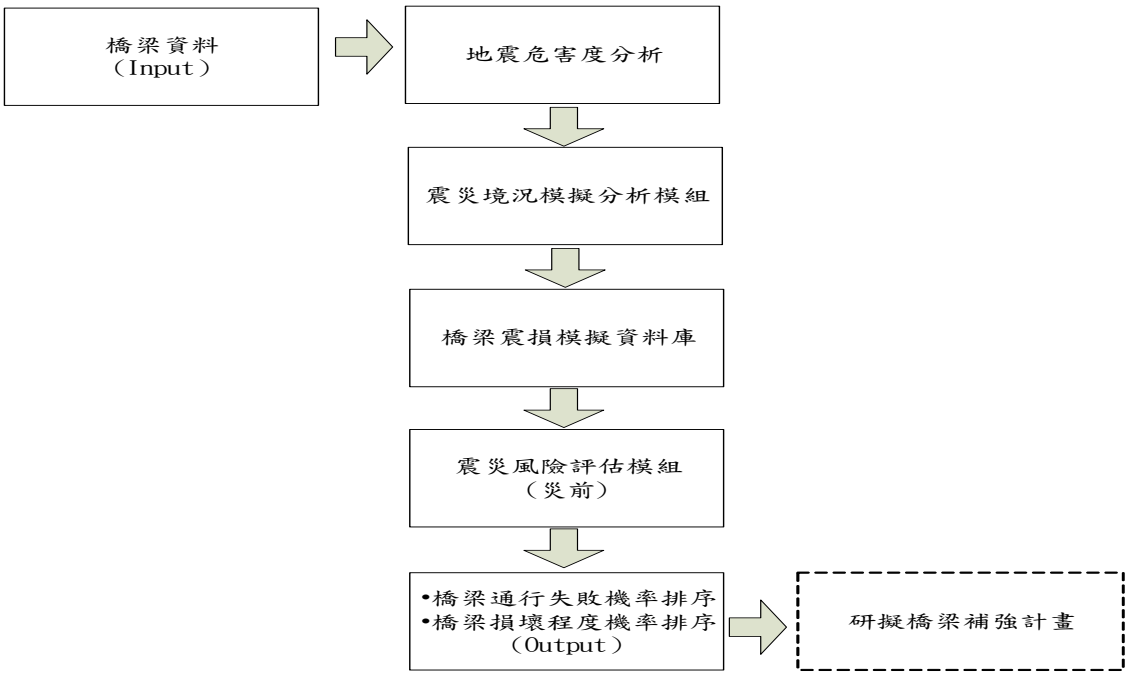


圖 4-4 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災前)

4.1.1.1 TELES 橋梁震損評估所需輸入之橋梁資料

表 4-1TELES 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 (葉錦勳，2003)

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，各別橋梁的損壞程度或有差異，但整體損壞趨勢已相當符合。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。

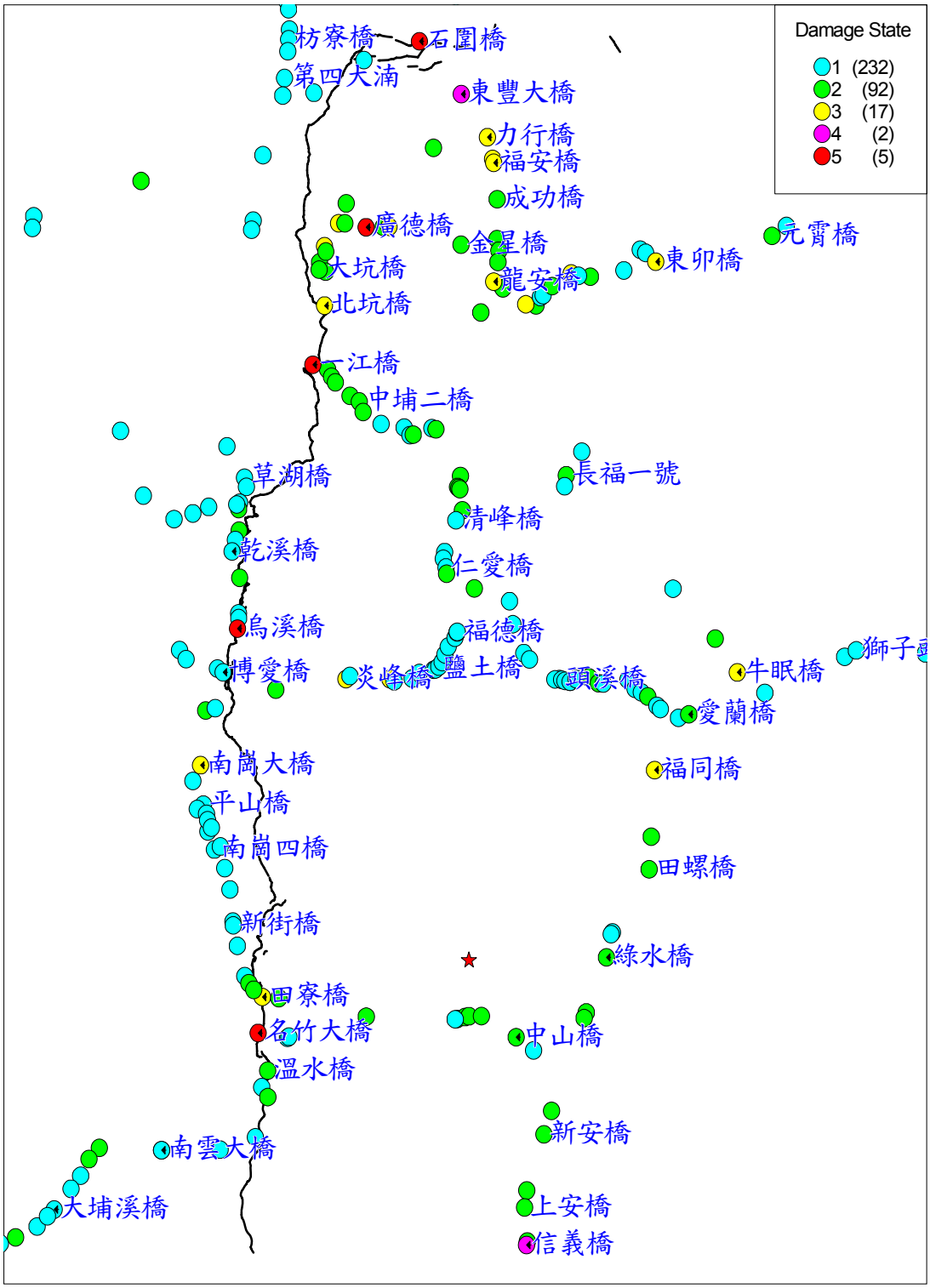


圖 4-5 集集地震引致的橋梁損害調查結果 (葉錦勳，2003)

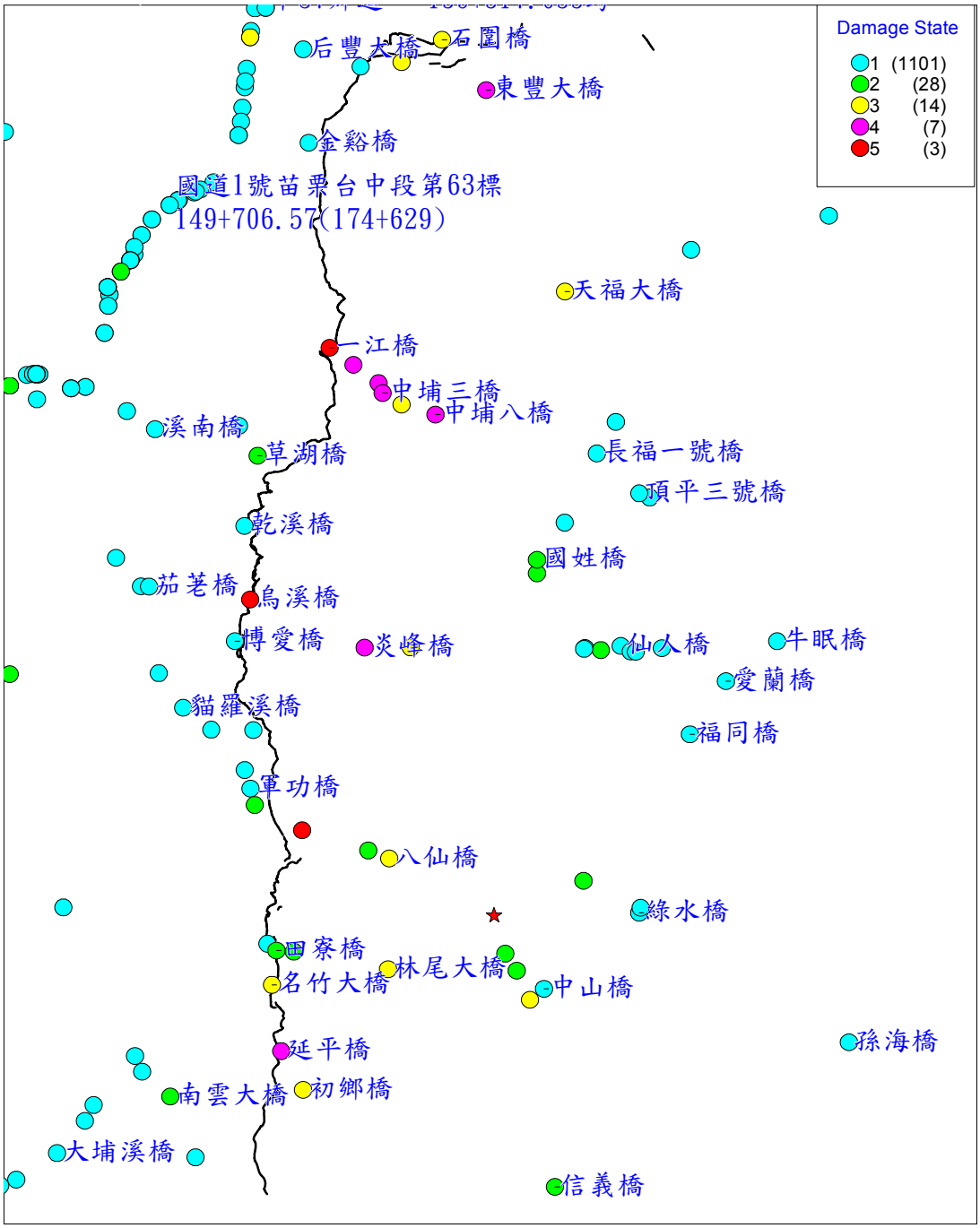


圖 4-6 根據集集地震的震源參數所作的橋梁震災境況模擬結果 (葉錦勳，2003)

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。

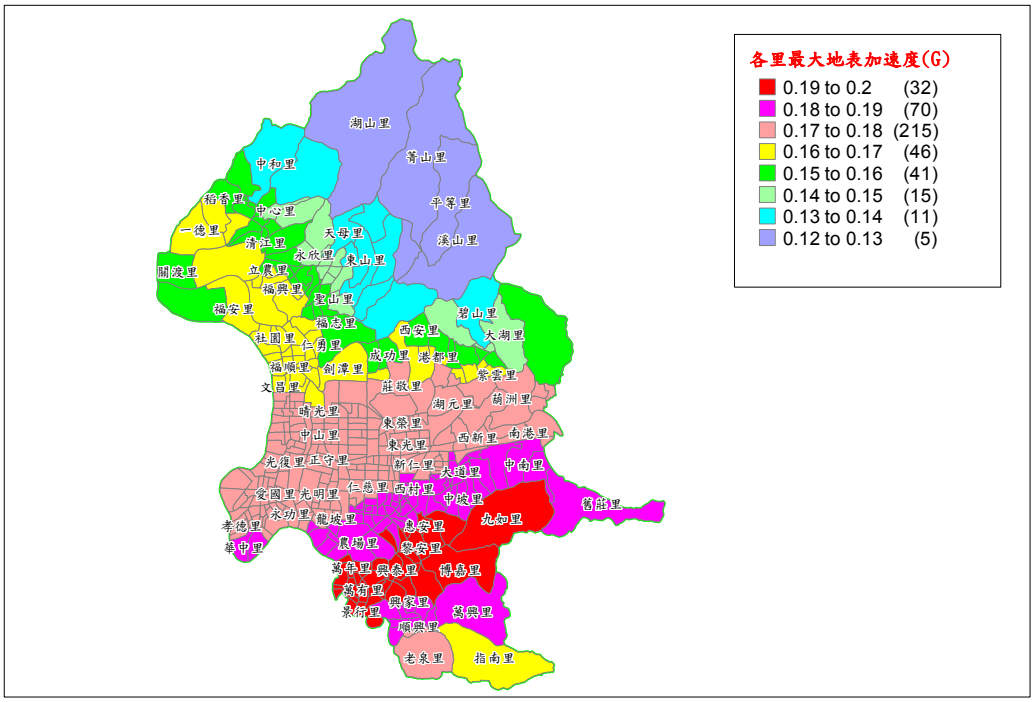


圖 4-7 宜蘭外海地震各里地表最大加速度分佈圖 (葉錦勳，2003)

圖 4-8 前十座最高損壞機率橋梁位置 (葉錦勳，2003)

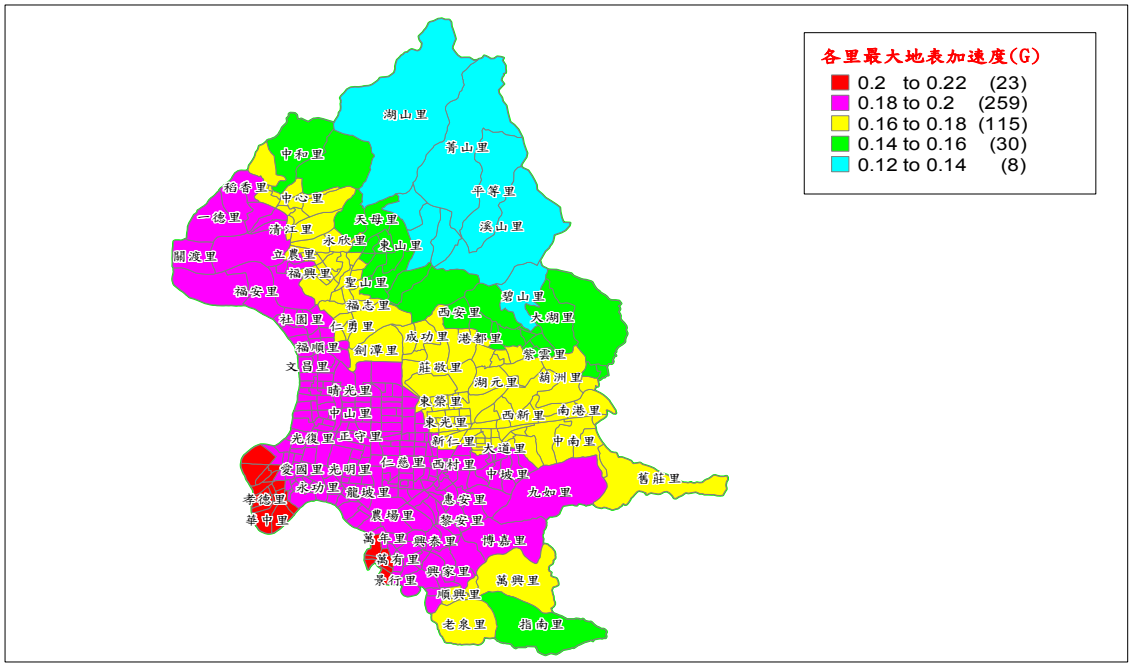


圖 4-9 新城斷層地震各里地表最大加速度分佈圖 (葉錦勳，2003)

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 (葉錦勳，2003)

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計畫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。本計畫取 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 (葉錦勳，2003)

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		

本計畫與公路總局第一區養護工程處的景美、中和兩工務段合作，由工務段提供橋梁基本資料，TELES 進行省道橋梁地震潛勢分析橋梁震損評估，結果如圖 4-10 所示。

圖 4-10 TELES 地震潛勢分析橋梁震損評估結果(景美中和工務段省道橋梁)

本防災預警系統所包含之 TELES 主要功能是在地震發生時接收到中央氣象局的地震資訊後，以地震資訊為查詢條件進入橋梁震損模擬資料庫搜尋符合或近似的分析結果，再以橋梁通行失敗機率進行排序以做為緊急調查的先後順序之依據。本預警系統主要是引用 TELES 橋梁震損模擬結果，所建置之資料庫，提供查詢顯示，而潛勢分析及產生橋梁震損模擬資料庫，則是在事前由國家地震工程研究中心(NCREE)進行分析。因此，將來使用本系統時，考量橋梁損壞機率會隨時間歷程而改變，為反應橋梁之即時狀況，建議應定時更新、新增或刪除橋梁現況資料並由國家地震工程研究中心進行潛勢分析更新橋梁震損模擬資料庫，更新頻率需由橋梁管理單位與國家地震工程研究中心共同協商。

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 4-11 所示。

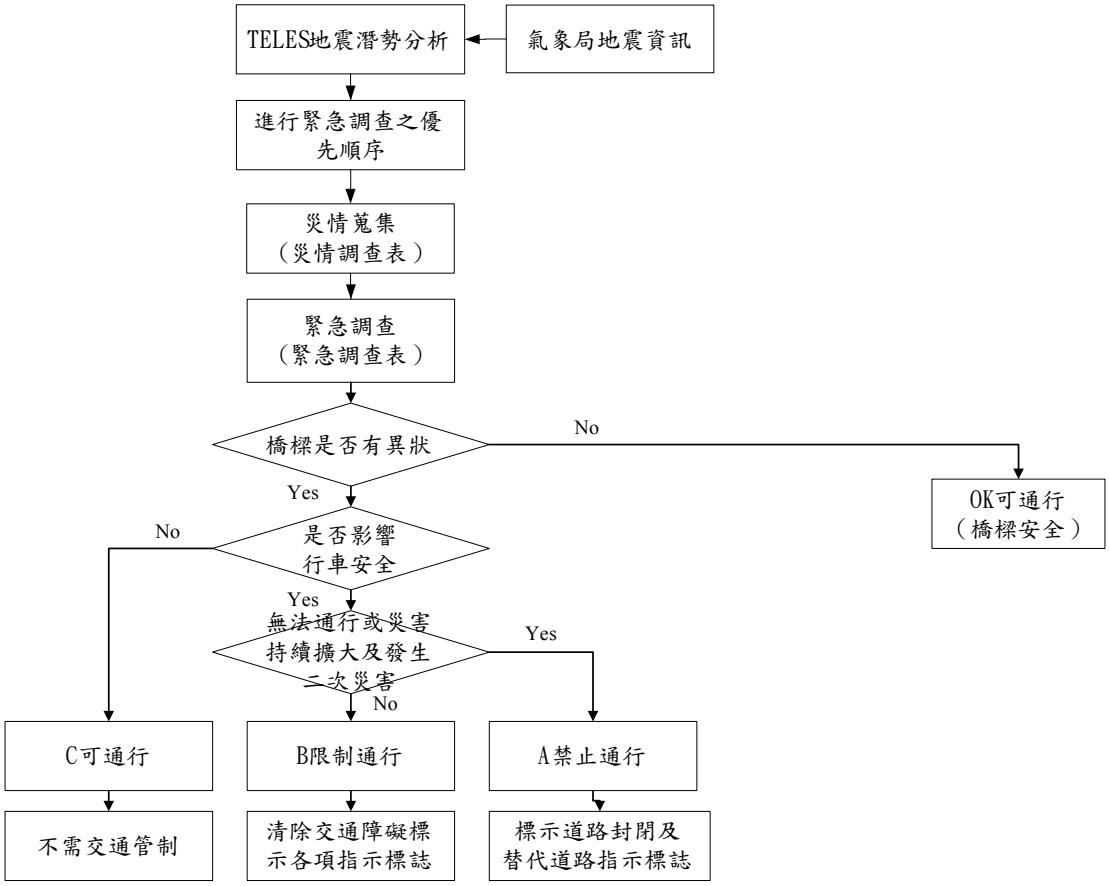


圖 4-11 橋梁地震災害緊急應變階段應變流程

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 4-12 為 TELES 橋梁震損評估在震災發生時之架構與應用，將圖 4-12 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。

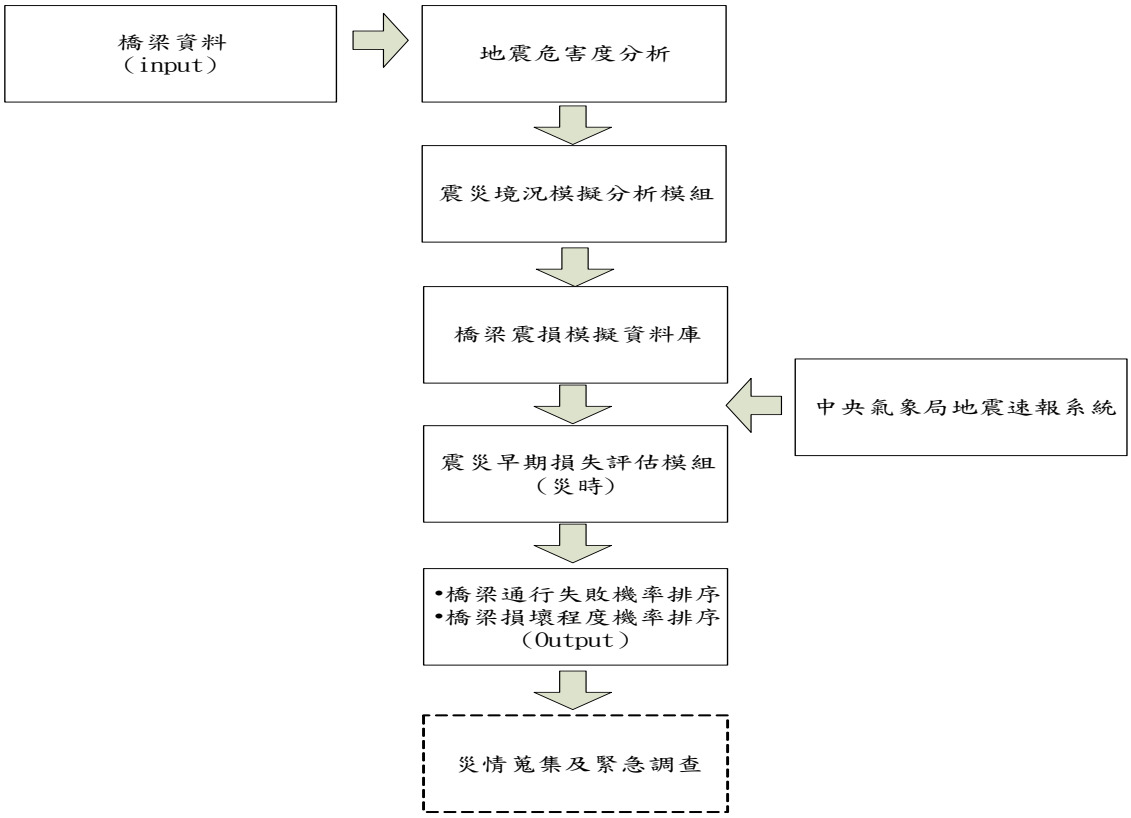


圖 4-12 TELES 橋梁震損評估之架構與應用(災時)

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(葉錦勳，2003)。

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 (陳生金等，2005)

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 緊急調查項目及本計畫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 (陳生金等，2005)

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 (陳生金等，2005)

<table>
<tr><td colspan="5">橋梁基本資料</td></tr>
<tr><td>橋梁名稱</td><td colspan="2"></td><td>調查日期</td><td></td></tr>
<tr><td>橋梁位置</td><td colspan="2"></td><td>調查人員</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">橋梁現況資料</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">調查項目</td><td colspan="2">損壞狀況</td><td rowspan="2">備註</td></tr>
<tr><td colspan="2">A B C OK</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.橋梁整體</td><td colspan="2">落橋 □□□□
縱斷面高低差 □□□□
橫斷面錯位 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">2.上部結構（Sup）</td><td colspan="2">主梁損壞 □□□□
副構件損壞 □□□□
主梁變形 □□□□
副構件變形 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">3.橋柱（Sub）</td><td colspan="2">帽梁損壞 □□□□
副構件損壞 □□□□
傾斜、沉陷、開裂 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">4.基礎（F）</td><td colspan="2">坍滑 □□□□
傾斜、沉陷 □□□□
沖刷裸露 □□□□
土壤液化 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">5.支承（S）</td><td colspan="2">支承裝置損壞 □□□□
防止落橋裝置損壞 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">橋台引道（A）</td><td>6.橋台</td><td colspan="2">傾斜位移 □□□□
胸牆、翼牆損壞 □□□□
護坡坍滑 □□□□
背牆損壞 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td>7.引道</td><td colspan="2">傾斜位移 □□□□
擋土牆損壞 □□□□
路基流失、坍滑 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">其他設施（O）</td><td>8.伸縮縫</td><td colspan="2">開裂擠壓 □□□□
錯位、高低差 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td>9.附屬設施</td><td colspan="2">護欄破損脫落 □□□□
照明設施受損 □□□□
管線受損 □□□□
排水設施受損 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">其他</td><td colspan="2">落石坍方 □□□□</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">綜合研判</td><td colspan="2">OK:無異狀可通行
A: 禁止通行
B：管制通行
C:可通行</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">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 A，則綜合研判等級為 A，依此類推。</td></tr>
</table>

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 (陳生金等，2005)

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 4-13 所示。

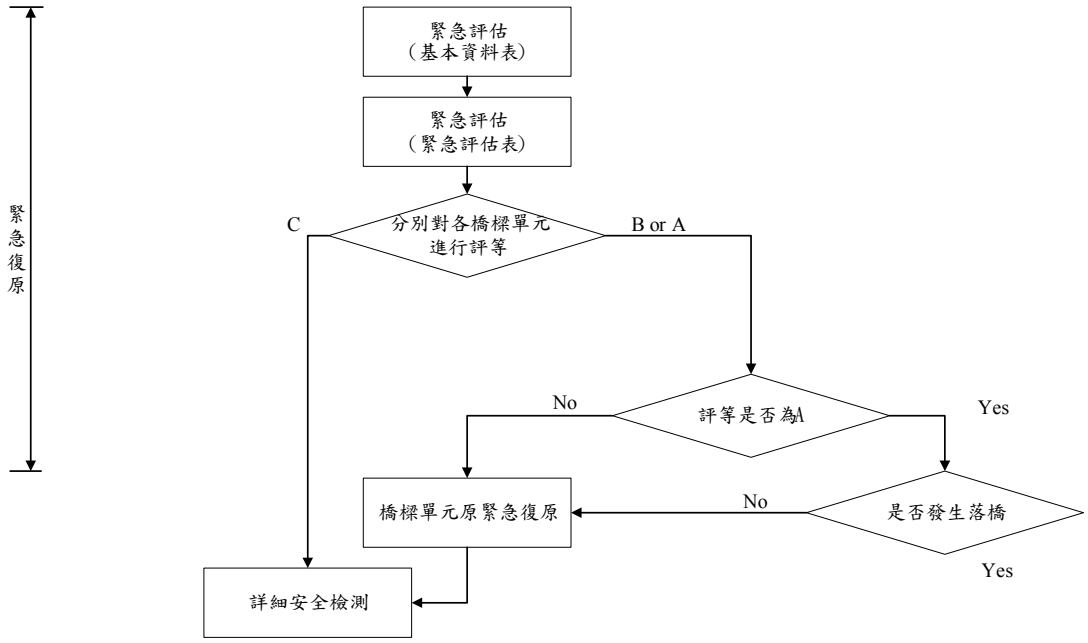


圖 4-13 橋梁災害緊急復原流程圖

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 (陳生金等，2005)

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) (陳生金等，2005)

<table>
<tr><td colspan="4">橋梁基本資料</td></tr>
<tr><td>橋梁名稱</td><td></td><td>調查日期</td><td></td></tr>
<tr><td>橋梁位置</td><td></td><td>調查人員</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">橋梁淨空:長度　　m，寬度　　m，高度　　m</td></tr>
<tr><td colspan="4">橋梁結構型式:□簡支□斜張□懸臂□桁架□吊橋□拱橋□連續□其他</td></tr>
<tr><td colspan="4">橋梁結構配置:</td></tr>
<tr><td colspan="4">主梁型式:□I 型梁 □箱型梁 □T 型梁 □桁架式 □U 型梁 □其他</td></tr>
<tr><td colspan="4">主梁材質:□混凝土 □預力混凝土 □鋼結構</td></tr>
<tr><td colspan="4">橋墩型式:□壁式 □單柱式 □構架式 □樁排架式 □其他</td></tr>
<tr><td colspan="4">橋墩材質:□混凝土 □鋼結構 □其他</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
<tr><td colspan="4">其他附屬設施:□照明 □護欄 □其他</td></tr>
<tr><td colspan="4">鄰近道路
(1)路線名稱:
(2)路線型式:
(3)路線淨空:
(4)路線現況:</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
</table>

表 4-10 震後橋梁緊急評估表(2/3) (陳生金等，2005)

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 »塑餃形成、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　□□□						
	河床沖刷　□□□						

表 4-11 震後橋梁緊急評估表(3/3) (陳生金等，2005)

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 □□□	»上下支承座銅構件破壞、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 10-2Ocm	»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(陳生金等，2005)。

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」(陳生金等，2005)，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）
(陳生金等，2005)

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

表 4-13 緊急復原階段各構件單元之修復補強方案（等級 B）(陳生金等，2005)

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）(陳生金等，2005)

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 4-14** 及圖 4-15 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 4-16 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-20 至表 4-22。

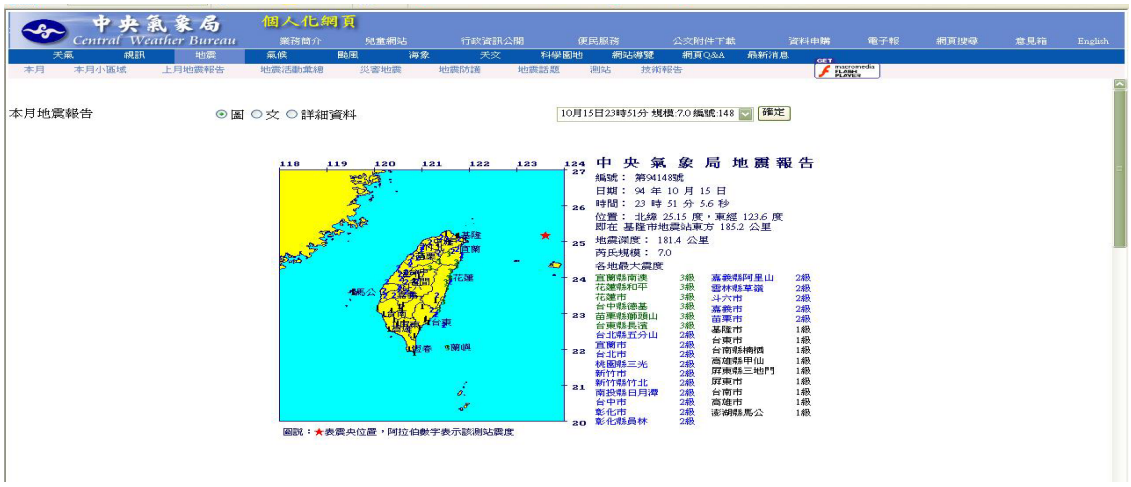


圖 4-14 中央氣象局地震報告(1)

圖 4-15 中央氣象局地震報告(2)

圖 4-16 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，本計畫將同步交換此水位監測資料做為橋梁安全的監控之用。至於沒有水位測站的橋梁則以上游且最近的水位測站所量測到的水位或上游且最近的雨量站所監測的累積雨量做為參考值，在本預警系統中將以 GIS 圖層套疊技術計算出各橋梁所在溪流上游方向有哪些水位測站及雨量站，並以該橋梁的座標與測站之座標進行比對與計算，找出最近之水位測站及雨量站做為該橋之參考值。然由於上游端降雨量與下游端水位上昇的關係，在缺乏洪峰預測相關的研究與應用下，累積雨量值僅能做為參考數據而無法做為絕對之通報標準。

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 4-17 所示。

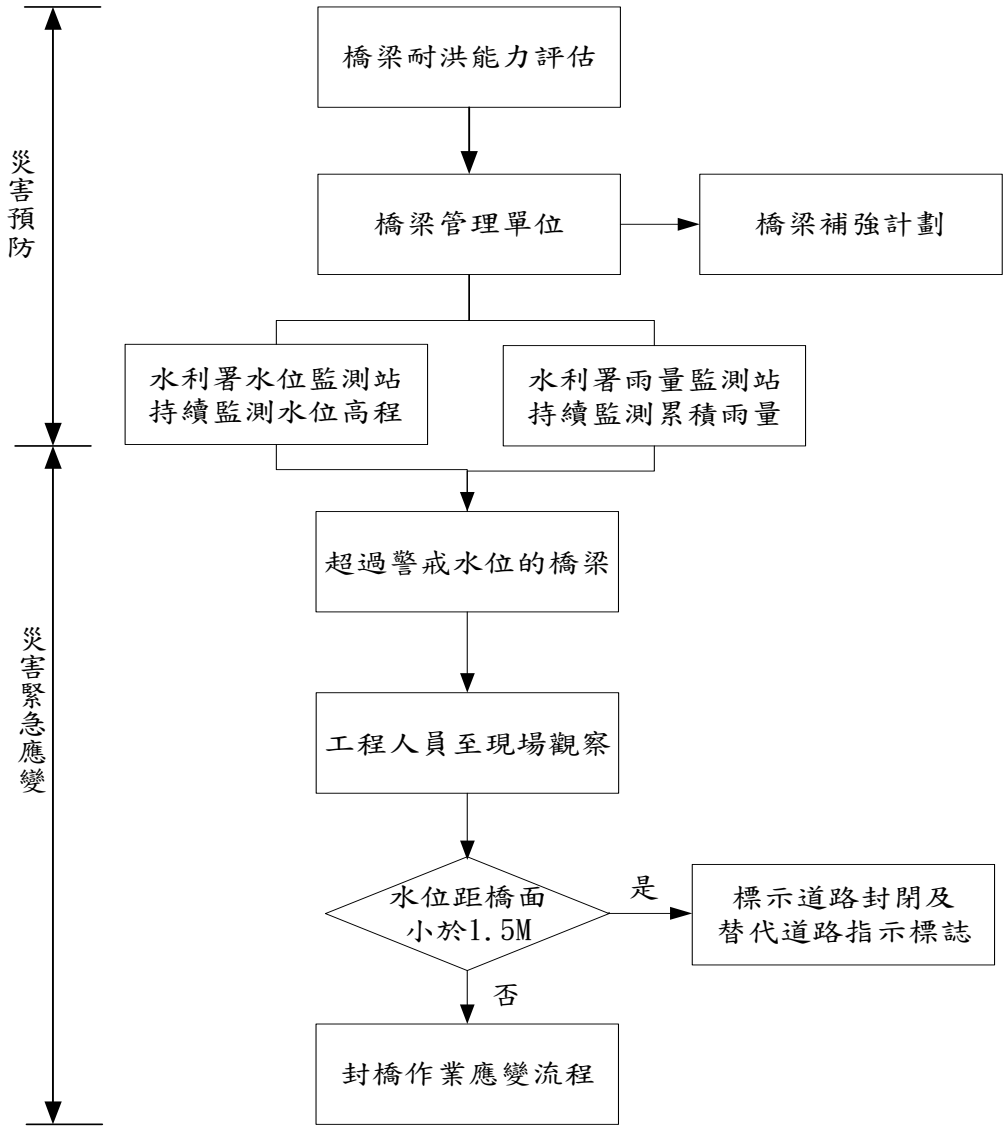


圖 4-17 橋梁沖刷災害應變流程圖

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(陳清泉等，2005)，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 (陳清泉等，2005)

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		河床垂直向長期沖刷潛能	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 $0.6\leqq(H_{left}/H)\leqq1.0$，$w=2.5-2.5(H_{left}/H)$ 沉箱：當$(H_{left}/H)<0.4$，w=1.0；當 $0.4\leqq(H_{left}/H)\leqq1.0$，$w=3/5-3/5(H_{left}/H)$ 直接基礎：□置於砂礫層，有沖刷之虞(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 $2\leqq b_{eff}<8$，$w=-1/3+(1/6)\,b_{eff}$；當 $b_{eff}<2$，w=0		
011		橋墩方向與水流方向夾角 θ	5	當 $K_\theta\leqq2.0$，$w=K_\theta-1$；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	$w=(RA-5)/5\leqq1.0$		
013		梁底高程	5	$1.0\geqq w=1-\dfrac{(\text{梁底高程}-\text{計畫洪水位})}{2.0\text{公尺}}\geqq0$ 或 $1.0\geqq1-\dfrac{(\text{梁底高程}-\text{堤頂高度})}{1.5\text{公尺}}\geqq0$		
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(陳清泉等，2005)，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

臺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載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$K_\theta = \left[(l/b)\sin\theta + \cos\theta\right]^{0.65}$計算此效應，其中$\theta$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載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，取上述方法中之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)，24 條重要溪流，設置共有 97 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)。本計畫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 4-18、圖 4-19、圖 4-20 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、雨量站累積雨量監測畫面。

圖 4-18 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」

圖 4-19 水災防救作業支援系統水位監測查詢

圖 4-20 水災防救作業支援系統累積雨量監測查詢

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

措施最直接簡單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 4-21 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(林呈等，2004)來研判是否實施封橋或是交通管制等措施。圖 4-22 為颱洪期間封橋作業應變流程。

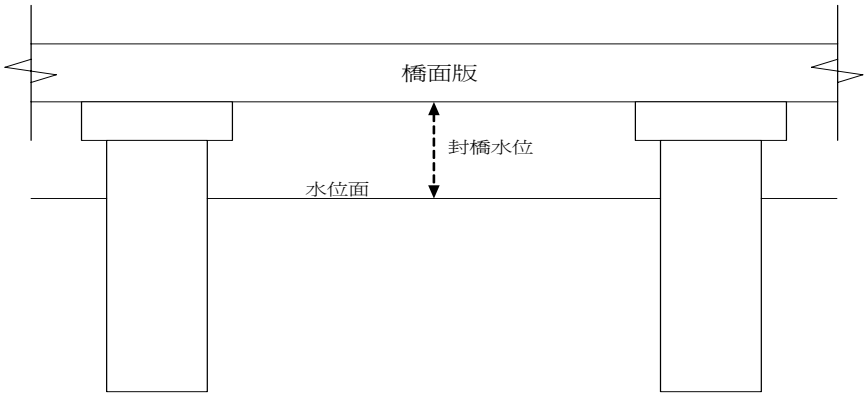


圖 4-21 封橋水位示意圖

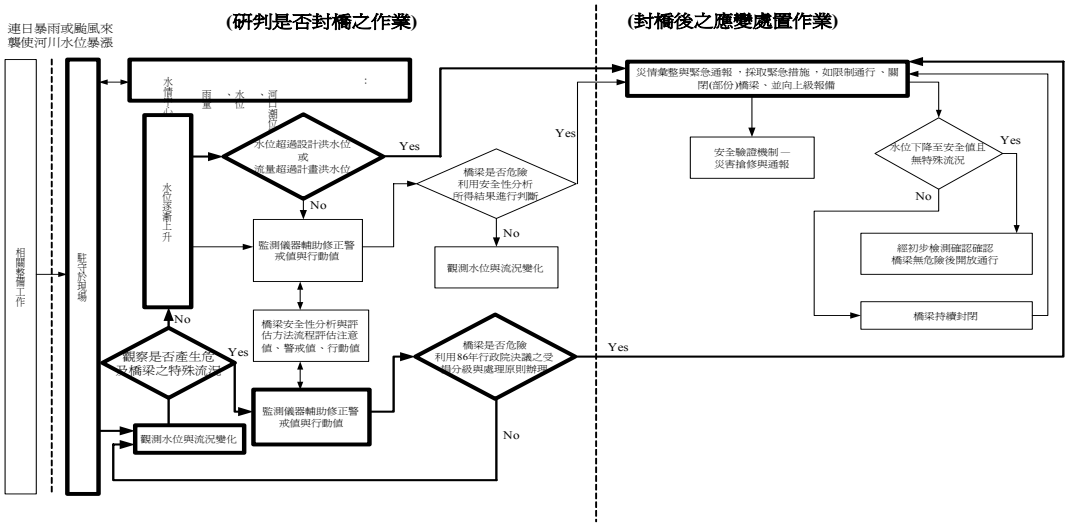


圖 4-22 颱洪期間封橋作業應變流程 (林呈等，2004)

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、觀察橋墩沖刷情形、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，因此本計畫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(林呈等，2004)：

(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) (林呈等，2004)

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，本計畫擬與經濟部水利署「水災防救作業支援系統」(網頁畫面如圖 4-18、圖 4-19)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 24 條溪流，97 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

區域	溪流	水位測站
北區	淡水河、頭前溪、竹南沿海、後龍溪、南澳沿海、蘭陽溪	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、竹林大橋、新埔、上坪、平安橋、北勢大橋、彼岸橋、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、烏溪、濁水溪	象鼻、雙崎、卓蘭、義里、南崗大橋、乾峰橋、大度橋、南北通橋、觀音橋、利民橋、育英橋、農路橋、成功橋、隘寮橋、玉峰橋、彰雲橋、自強大橋、水里、內茅埔、永興橋、西濱大橋、延平橋、寶石橋
南區	北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、鹽水溪、二仁溪、高屏溪、東港溪、林邊溪、南屏東	溪口、土庫大橋、北港、大湖口溪橋、灣內橋、華興橋、軍輝橋、義竹、常盤橋、觸口、八掌溪橋、青葉橋、新營、左鎮、玉田、新市、南雄橋、崇德橋、前洲橋、杉林大橋、茖農、里嶺大橋、六龜、大津橋、阿其巴橋、楠峰橋、潮洲、新埤、石門橋
東區	花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪、南台東	平林、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.雨量站累積雨量監測值

水利署「水災防救作業支援系統」所提供之雨量站範圍共有四區(北、中、南、東)，計 32 條流域，403 個測站。詳列如表 4-18。

表 4-18 經濟部水利署「水災防救作業支援系統」雨量測站列表

區域	流域	雨量測站
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	富貴角、鼻頭角、大坪、五指山、福隆、雙溪、三和、金山、泰平、公館、五股、關渡、瑞芳、新莊、南勢角、石碇、火燒寮、木柵、大溪、下盆、屈尺、山佳、桶後、霞雲、高義、玉峰、巴陵、池端、嘎拉賀、白石、鎮西堡、西丘斯山、石門、大豹、福山、大桶山、坪林、中正橋、五堵、竹子湖、翡翠、十三股、碧湖、坪林、太平、九芎根、社子島、大崙尾山、大直、石牌、天母、永和、士林、內湖、南港、信義、三重、福山、坪林、四堵、大尖山、大豹、四十份、林口、埔心、桃園、水尾、中壢、八德、楊梅、湖口、新屋、新埔、新竹、關西、鳥嘴山、白蘭、太閣南、打鐵坑、觀霧、梅花、竹東、峨眉、大河、鳳美、竹南、南庄、南礦、馬拉邦山、大湖、後龍、明德、和興、公館、土城、南勢、馬都安、三義、苑里、南澳沿海、思源、土場、南山、新寮、冬山、三星、壯圍、大礁溪、再連、北關、寒溪、古魯、牛鬥、雙連碑、羅東、玉蘭、太平山、東澳、頭城、三貂角、礁溪、龜山島
中區	大安溪、大甲溪、烏溪、彰化沿海、濁水溪	卓蘭、合流山、馬達拉、象鼻、新開、松安、雙崎、南勢山、南湖、八卦、泰安、雪嶺、大甲、東勢、石岡、新伯公、稍來、上谷關、梨山、合歡山、白冷、伯公龍、慶福山、烏石坑、阿眉、凌霄、清流、長福、雙冬、大肚城、北山、魚池、中寮、翠巒、瑞岩、仁愛、水湳、大坑、芬園、六分寮、草屯、橫山、大肚、翠峰、中竹林、清水林、桐林、白毛台、龍安、蘆竹湳、樟湖、九份二山、外大坪、埔里、水長流、北坑、奧萬大、楓樹林、彰化、溪湖、溪州、中西、草湖、鹿港、

		員林、濁水溪、新高口、神木村、大鞍、桶頭、溪頭、西螺、下水埔、竹山、草嶺、台西、鳳凰、武界、文文社、萬大、和社、信義、望鄉、丹大、昆陽、廬山、龍神橋、集集 、青雲、卡奈托灣、奮起湖、中心倫、水里、埔中、豐丘、上安橋、西巒、新興橋、東埔、山豬湖、石磐龍
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	崙背、褒忠、土庫、溪口、後安寮、中坑、阿丹、斗六、北港、大埔、虎尾、四湖、誼梧、內埔、朴子、鰲鼓、魚寮、東後寮、樟腦寮、馬頭山、瑞里、豐山、小公田、中埔、南靖、岸內、大湖、大棟山、東原、北門、下營、七股寮、白、東河、關子嶺、佳里、新營、王爺宮、環湖、草嶺、關山、楠西、大內、瀨頭、北寮、左鎮、馬頭山、表湖(一)、曾文、玉井、表湖(二)、里佳、水山、樂野、三角南山、龍美、頭凍、善化、虎頭埤、媽祖廟、崎頂、和順、新市、木柵、沙崙、古亭坑、三爺、岡山、竹子腳、左營、鳳雄、金山、鳳山、鳳森、路竹、阿禮、上德文、瑪家、旗山、里港、吉東、御油山、大津、溪埔、大寮、屏東、新圍、古夏、月眉、新發、高中、復興、新集、小關山、溪南、梅山、南天池、排雲、民生、美濃、尾寮山、三地門、甲仙、楠溪、龍泉、麟洛、赤山、南州、潮州、來義、力里、春日、檳榔、旭海、車城、枋山、牡丹、貓鼻頭、墾丁、佳樂水、枋寮、楓港、牡丹池山、鵝鑾鼻、石門山
東區	太魯閣、花蓮溪、秀姑巒溪、海岸山脈東側、卑南溪、南台東	太魯閣、慈恩、洛韶、布洛灣、天祥、大禹嶺、富世、和中、吉安、龍澗、銅門、吳全 、中興、西林、東壙、大觀、太安、大農、鳳林、壽豐、新城、鯉魚潭、光復、月眉山、水源、鳳林山、大坑、水璉、高寮、卓樂、明里、紅葉、立山、靜浦、池上、佳心、玉里、舞鶴、加路蘭山、豐濱、都蘭、東河、長濱、下馬、摩天、紅葉山、鹿野、向陽、紅石、華源、金崙、土阪、太麻里、知本、大溪山、壽卡、南田、金峰

3.橋梁之橋墩高度

在研判是否封橋作業時需要橋梁的橋墩高度作為是否實施封橋的參考指標之一。橋梁之橋墩高度可自 TBMS 中以資料交換方式取得。(圖 4-23)

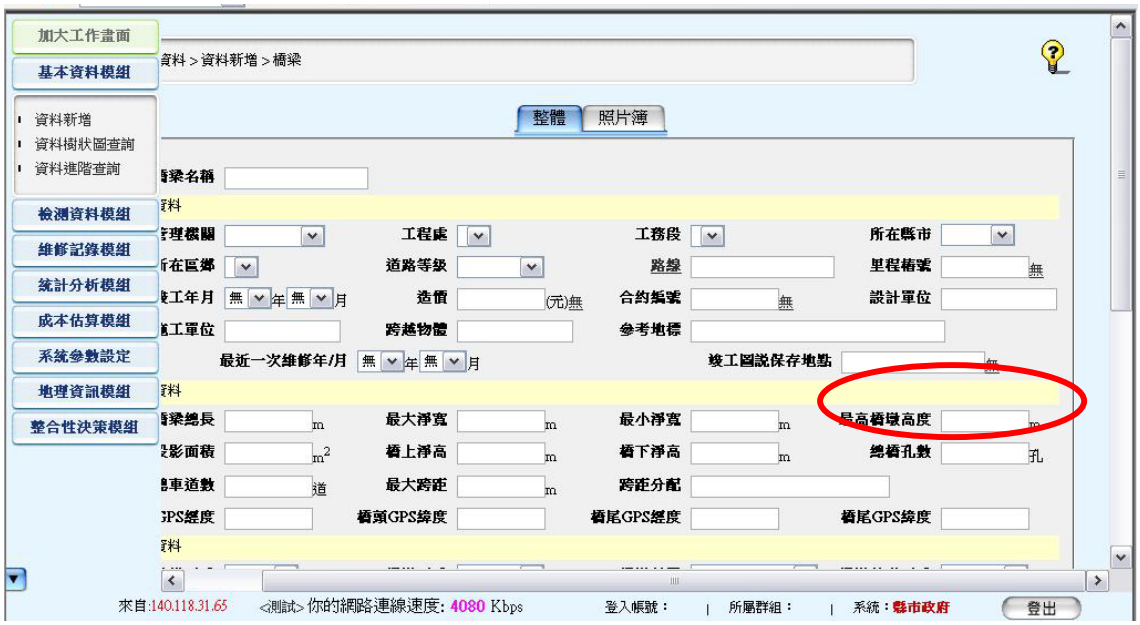


圖 4-23 TBMS 橋梁基本資料—最高橋墩高度

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 4-20 至表 4-22。

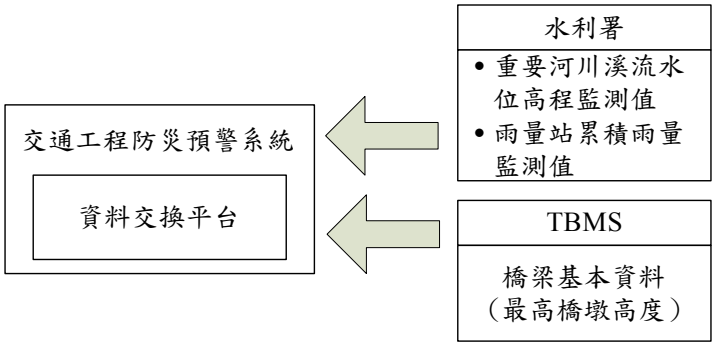


圖 4-24 橋梁沖刷災害發生時系統所需交換資料及對象

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，自已標訂之 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 4-25 所示。

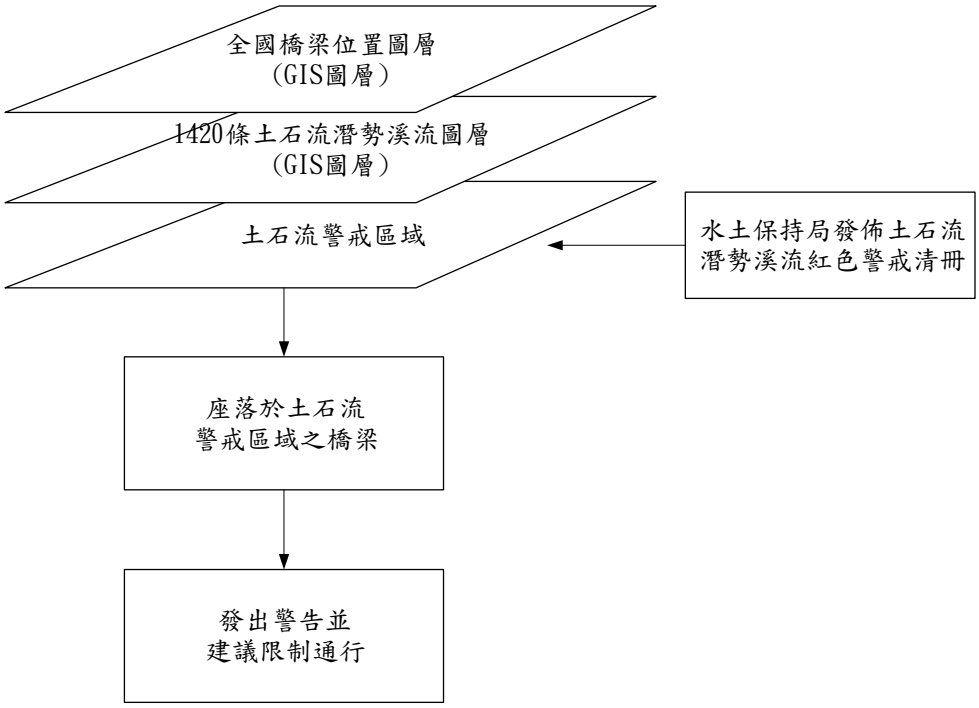


圖 4-25 橋梁土石流災害應變流程

本計畫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 4-26)，以及土石流潛勢溪流圖(水土保持局提供，GIS 圖層)(圖 4-27)。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 4-28)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。

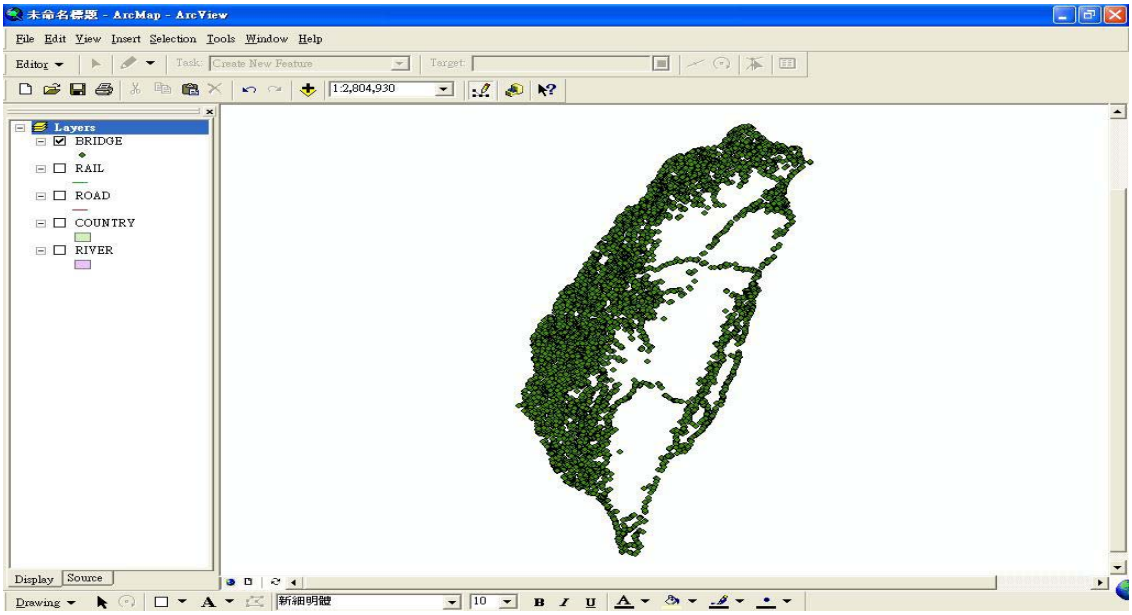


圖 4-26 全國橋梁位置圖層

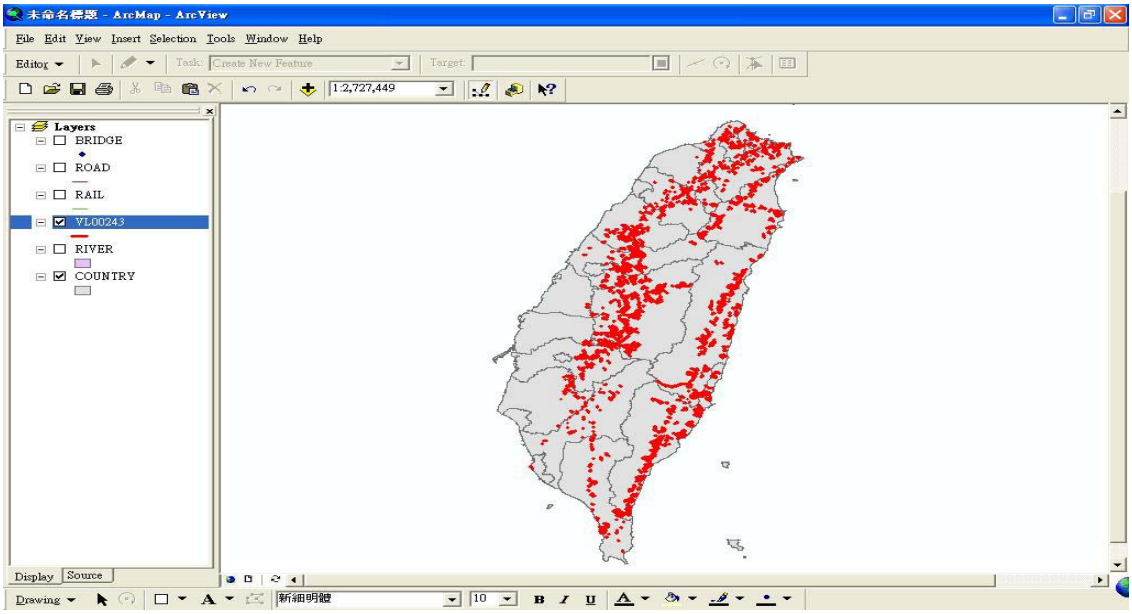
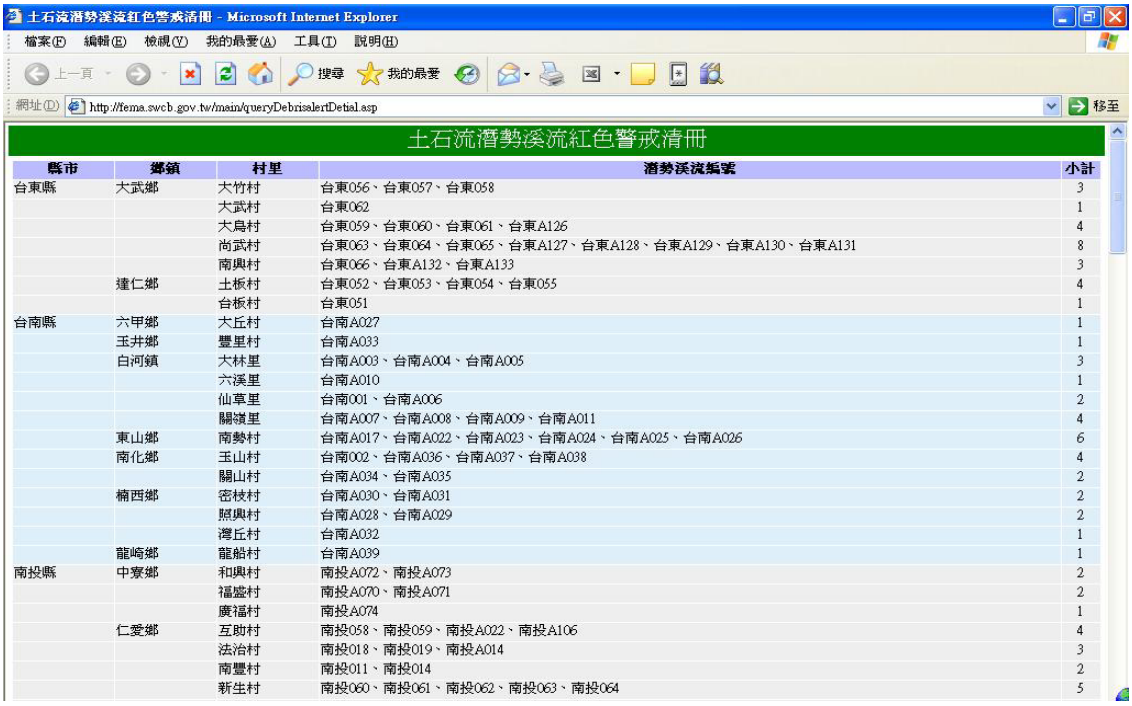


圖 4-27 土石流潛勢溪流圖層



土石流潛勢溪流紅色警戒清冊 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H)

http://fema.swcb.gov.tw/main/queryDebrisalertDetial.asp

土石流潛勢溪流紅色警戒清冊

縣市	鄉鎮	村里	潛勢溪流編號	小計
台東縣	大武鄉	大竹村	台東056、台東057、台東058	3
		大武村	台東062	1
		大鳥村	台東059、台東060、台東061、台東A126	4
		尚武村	台東063、台東064、台東065、台東A127、台東A128、台東A129、台東A130、台東A131	8
		南興村	台東066、台東A132、台東A133	3
	達仁鄉	土板村	台東052、台東053、台東054、台東055	4
		台板村	台東051	1
台南縣	六甲鄉	大丘村	台南A027	1
	玉井鄉	豐里村	台南A033	1
	白河鎮	大林里	台南A003、台南A004、台南A005	3
		六溪里	台南A010	1
		仙草里	台南001、台南A006	2
		關嶺里	台南A007、台南A008、台南A009、台南A011	4
	東山鄉	南勢村	台南A017、台南A022、台南A023、台南A024、台南A025、台南A026	6
	南化鄉	玉山村	台南002、台南A036、台南A037、台南A038	4
		關山村	台南A034、台南A035	2
	楠西鄉	密枝村	台南A030、台南A031	2
		照興村	台南A028、台南A029	2
		灣丘村	台南A032	1
	龍崎鄉	龍船村	台南A039	1
南投縣	中寮鄉	和興村	南投A072、南投A073	2
		福盛村	南投A070、南投A071	2
		慶福村	南投A074	1
	仁愛鄉	互助村	南投058、南投059、南投A022、南投A106	4
		法治村	南投018、南投019、南投A014	3
		南豐村	南投011、南投014	2
		新生村	南投060、南投061、南投062、南投063、南投064	5

圖 4-28 水土保持局發佈之土石流潛勢溪流紅色警戒清冊

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 4-29 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-20 至表 4-22。

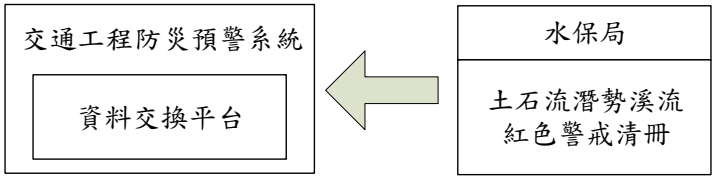


圖 4-29 橋梁土石流災害發生時系統所需交換資料及對象

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、颱洪沖刷、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 4-19)。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(李有豐等，2000)。

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。於是在本計畫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。

表 4-19 D.E.R.U 檢測系統之檢測表 (李有豐等，2000)

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 D	E	R	檢測項目		評估值 D	E	R	檢測項目		評估值 D	E	R
1.引道路堤	近端				5.橋台基礎	近端				9.橋面排水設施	整體			
	遠端					遠端								
2.引道護欄	近端				6.橋台	近端				10.緣石及人行道	整體			
	遠端					遠端								
3.河道	整體				7.翼牆/擋土牆	近端				11.欄杆及護牆	整體			
						遠端								
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	18.主構件（大梁）			19.次要構件（橫隔梁）			20.橋面版		
	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R		D	E	R	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	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 4-30 所示。

橋梁老化腐蝕災害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 4-20 至表 4-22。

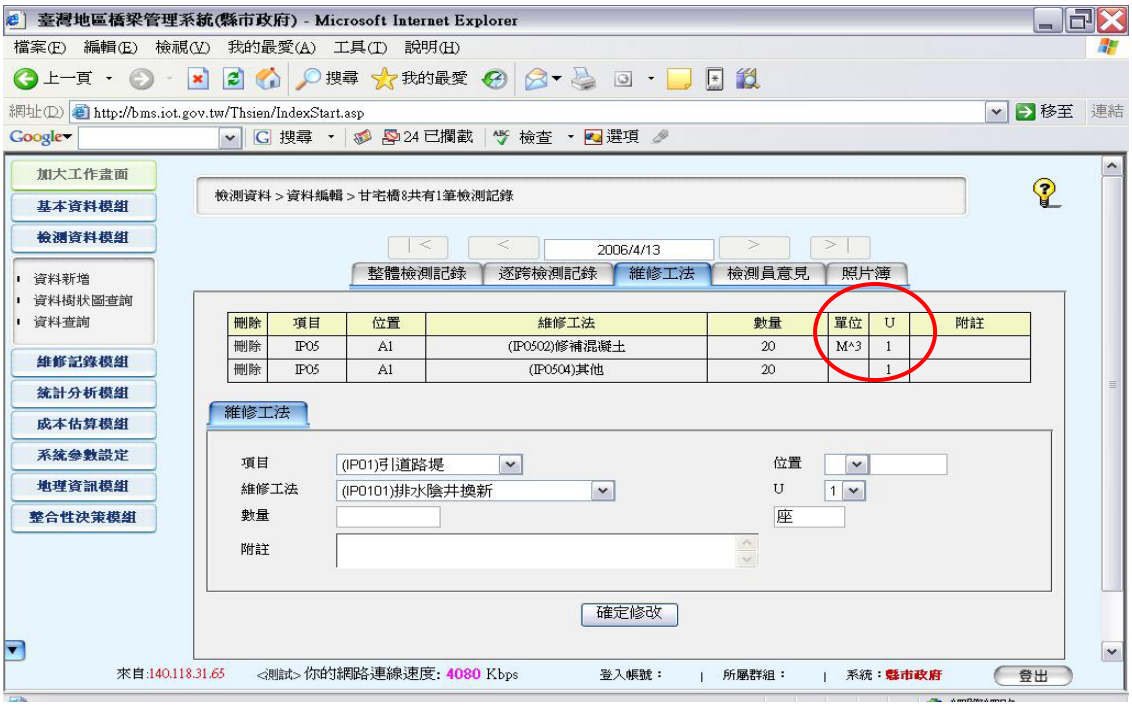


圖 4-30 TBMS 橋梁檢測資料—U 值

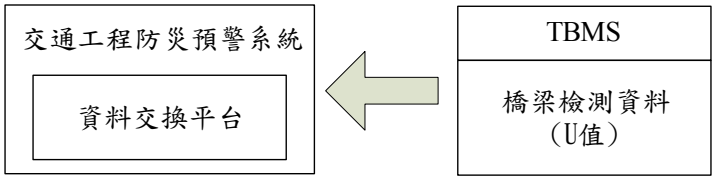


圖 4-31 橋梁老化腐蝕災害系統所需交換資料及對象

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(李有豐等，2000)：

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(張國鎮等，2004)(李有豐等，2000)：

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 4-32 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。

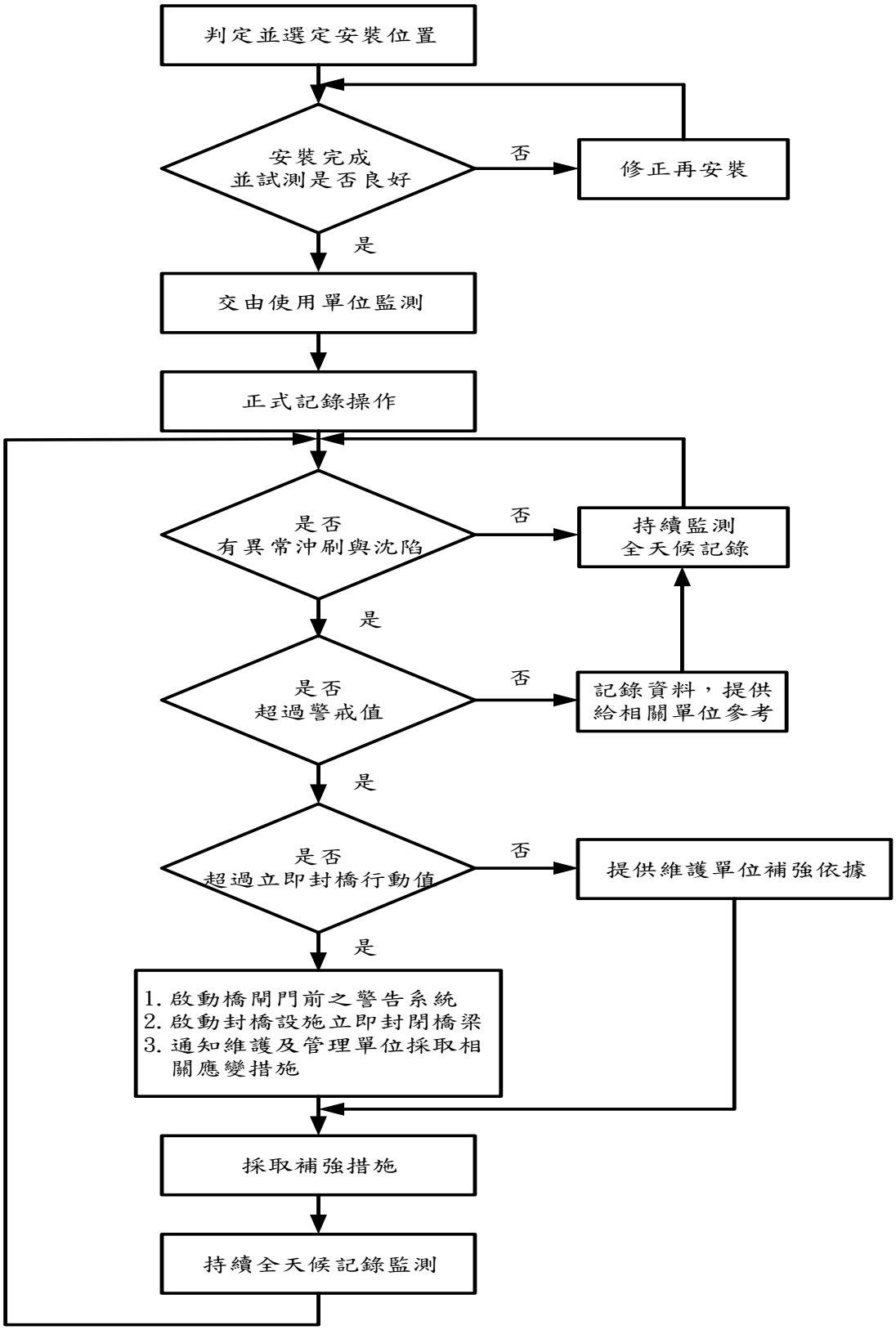


圖 4-32 沖刷淘空監測系統操作流程 (李有豐等，2000)

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。

本計畫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、昭淩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需要交換的，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，本計畫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)橋梁編號

(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。當橋梁監測的工程要開始進行時，應先進入本系統登錄將要進行監測的橋梁，登錄完成後本系統會發送一 E-mail 範例檔，監測執行單位可依範例格式發送 E-mail 至本系統。

橋梁監測所須進行交換資料的對象如圖 4-33 所示。交換資料項目詳見資料交換彙整總表，表 4-20 至表 4-22。

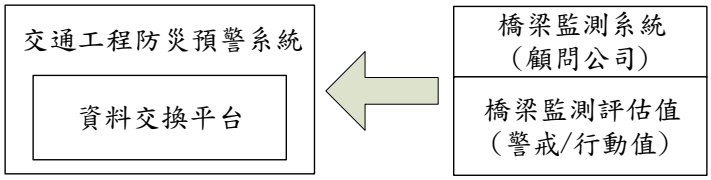


圖 4-33 橋梁監測系統所需交換資料及對象

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 4-20、表 4-21、表 4-22。所收集使用之 GIS 圖層如表 4-23 所示。

表 4-20 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 4-21 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 4-22 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				
	橋梁橋墩高度	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)

表 4-23 本計畫所收集使用之 GIS 圖層

	圖層名稱	圖層格式	屬性資料	提供單位	使用範圍
1	全國橋梁	POINT	橋梁座標、橋梁名稱	交通部運輸研究所	地震、洪水沖刷、土石流、老化腐蝕、橋梁監測
2	台灣地圖(縣市分區圖)	POLYGON	縣市名稱	交通部運輸研究所	地震、洪水沖刷、土石流、老化腐蝕、橋梁監測
3	河川流域	POLYGON	流域編號、流域名稱、	經濟部水利署	洪水沖刷
4	河川(河道)	POLYGON	河川名稱、所屬流域名稱、所屬流域編號	經濟部水利署	洪水沖刷
5	河川水位測站	POINT	測站編號、測站名稱、測站座標、水尺零點標高、測站所屬流域編號、測站所在溪流名稱	經濟部水利署	洪水沖刷
6	雨量站	POINT	測站編號、測站名稱、測站座標、測站所屬流域編號	經濟部水利署	洪水沖刷
7	土石流潛勢溪流	POLYLINE	潛勢區編號、潛勢區名稱、潛勢區所屬流域、鄰近地標物、鄰近道路	農委會水保局	土石流

第五章　交通工程防災預警系統架構及運作

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及各項災害資訊欄位等資料。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。

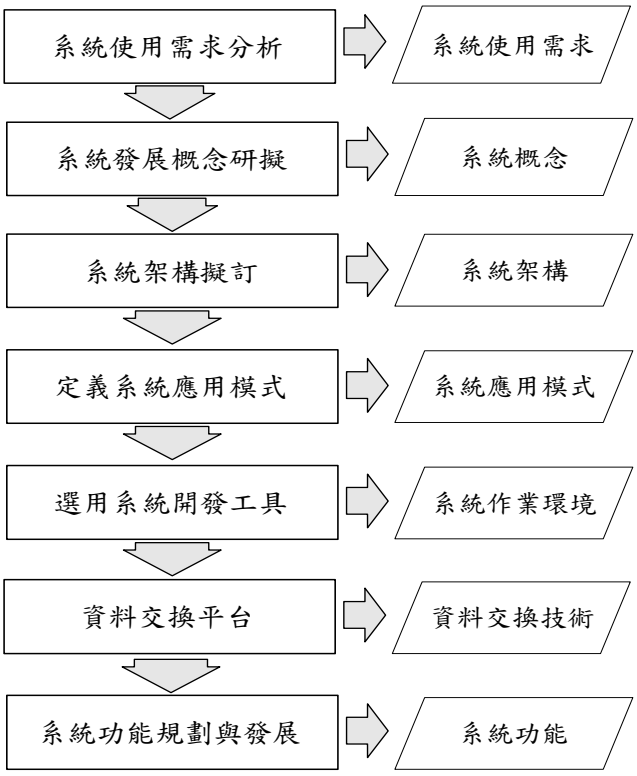


圖 5-1 規劃設計流程

5.2 系統使用需求分析

本計畫由軟體代理人、橋梁預警決策支援系統、通報機制架構出資料交換平台。資訊交換平台以軟體代理人為核心進行資料收集;橋梁預警決策支援系統則對所收集之資訊進行分析，決定出橋梁之警戒等級;通報機制為自動啟動之發佈功能，可利用 E-Mail、簡訊或廣播將通知用路人及管理單位須警戒之橋梁。

其流程為災害發生對橋梁造成危害時，由資料交換平台整合各項資訊，彈出警告視窗並主動以簡訊及 E-mail 通知工程人員到現場進行調查，然後工程人員在現場依據防災預警系統所建立之流程填寫各項檢測表單，系統將依據檢測結果提出建議之應變方案，若橋梁須採行緊急措施，此一資訊會即時回報其直屬主管作決策，而作成之決策會再通報縣市政府與廣播單位廣播橋梁狀況，用路人可依據通報消息選擇繞道避免災情發生。橋梁災害處理流程如**圖 5-2** 所示。

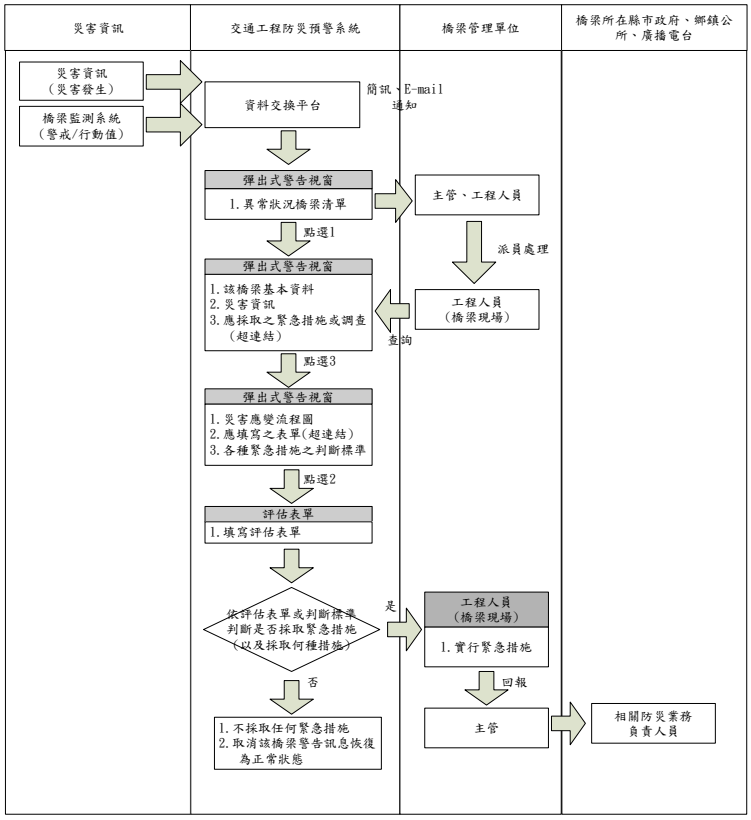


圖 5-2 橋梁災害處理流程

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

由系統使用需求進行系統發展規劃，圖 5-3 為本計畫擬定之系統組成，圖中將本系統分成對話介面、資料管理、模式管理、資料交換平台及通報機制等五部分。以下 5.3.1-5.3.3 將分別介紹對話介面、資料管理、模式管理，資料交換平台在 5.7 中有詳細的說明，通報機制則在 5.10 介紹。

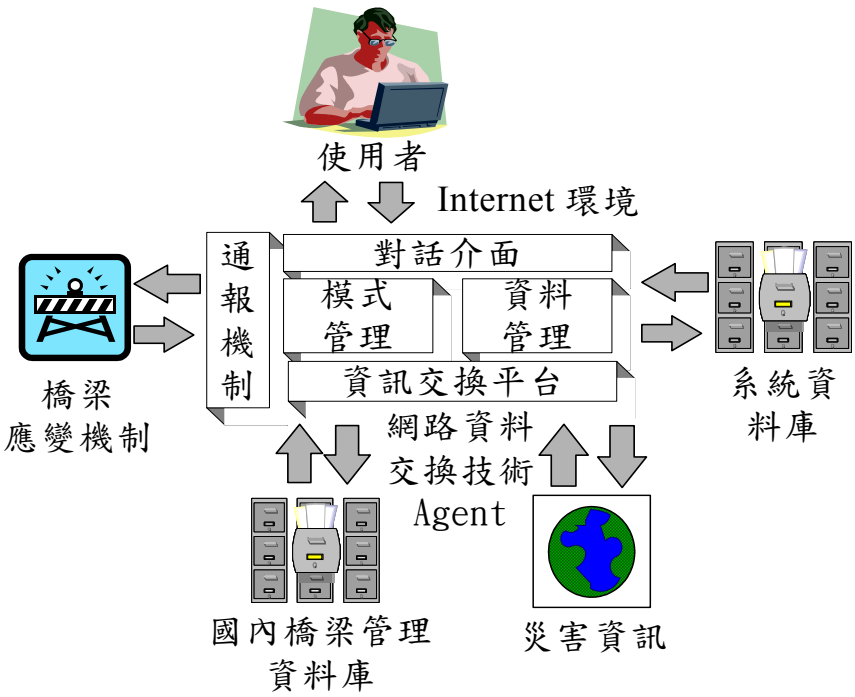


圖 5-3 系統組成

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，並利用 Internet 網際網路作為傳遞訊息之通道，可達到跨平台使用環境之需求。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。本計畫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資料、災害資訊資料、地理資訊圖層資料、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，本計畫規劃以 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八個部分：

1.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。

2.橋梁資料管理

橋梁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。

3.檢測表單管理

檢測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。

4.資料管理

資料管理分為兩部分分別為破壞模式與補強技術資料管理，破壞模式管理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。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。

5.決策輔助

本模式之建立在於提供使用者在應變流程中所需進行之補強方案之建議。

6.案例管理

此模組運用將可建立橋梁修補及破壞案例之完整紀錄。

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，及各項參數設定。

8.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。

5.4 系統架構擬訂

系統架構如圖 5-4 所示。

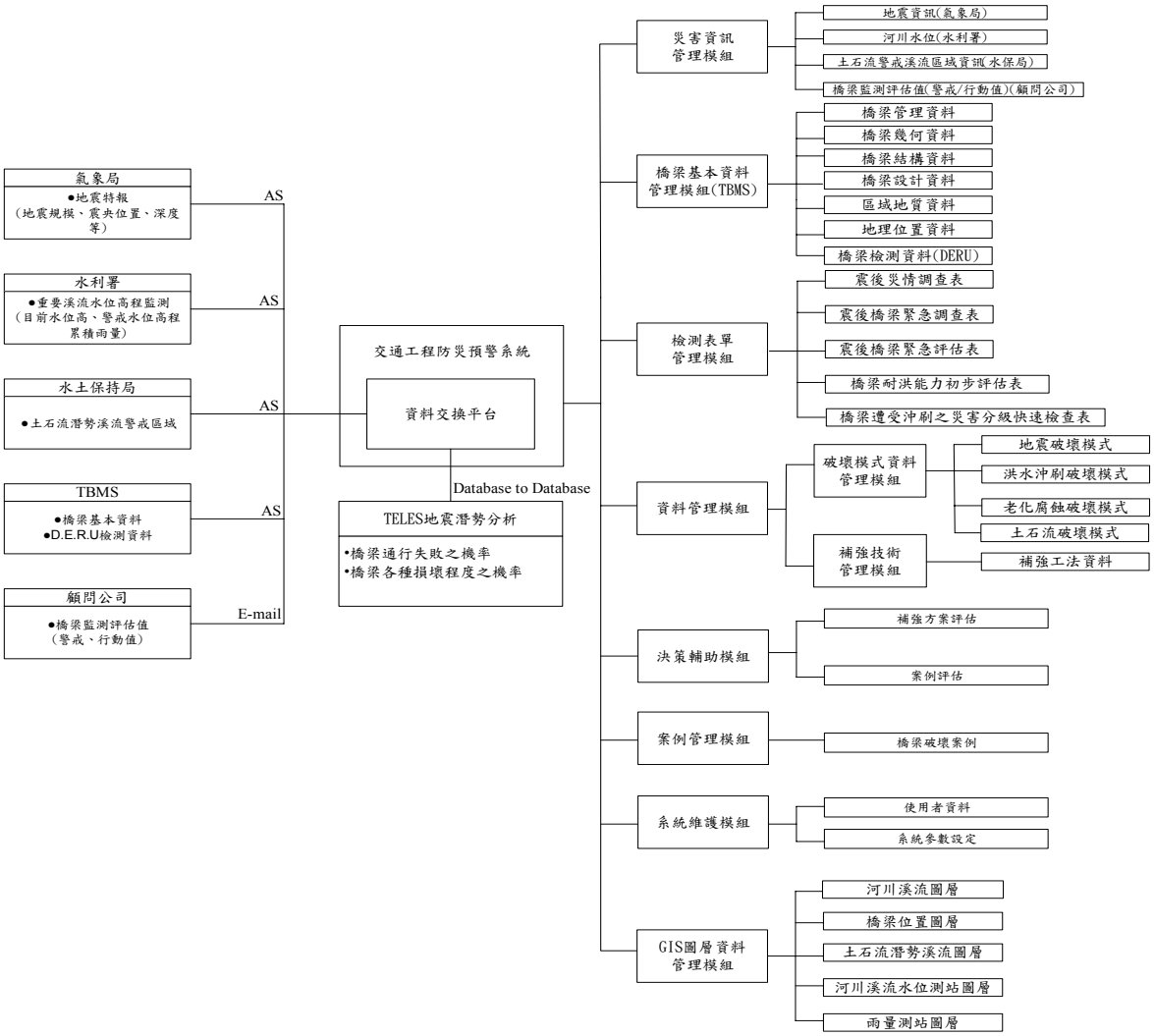


圖 5-4 系統架構

交通工程防災預警系統包括八個主要模組：

1.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。

2.橋梁資料管理模組

橋梁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。

3.檢測表單管理模組

檢測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。

4.資料管理模組

資料管理分為破壞模式與補強技術兩模組。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。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。

5.決策輔助

本模式之建立補強方案之組合方案，並可進行比較。

6.案例管理

此模組運用將提供案例之新增、刪除、修改等功能。

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，並設定各項系統參數值。

8.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。

5.5 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。

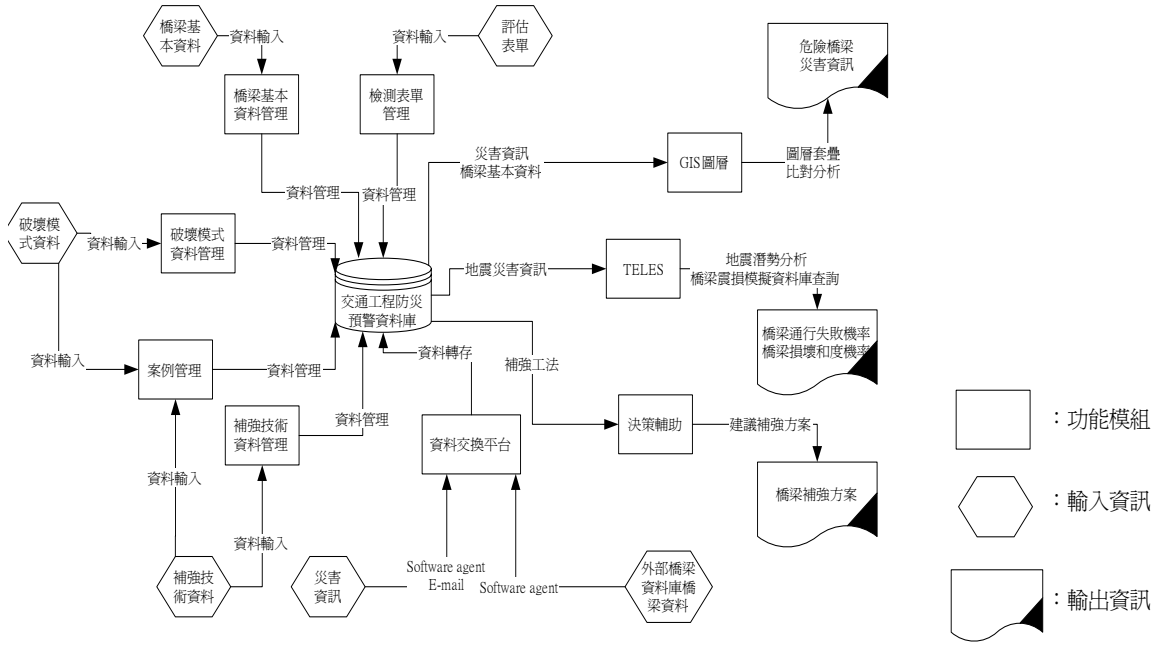


圖 5-5 系統應用模式

5.6 系統開發工具與環境

「交通工程防災預警系統」所規劃之開發環境如圖 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 512MB 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」伺服器所需具備之軟硬體如下：

(1)PC586 以上之個人電腦（具備 512MB 以上記憶體及網路連線環境）

(2)Microsoft Windows XP Professional 中文視窗軟體或 Windows 2000 作業系統

(3)Microsoft SQL Server 應用軟體或 Access 資料庫軟體

(4)Java 2 Runtime

(5)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 Internet Explorer 5.0 以上版本

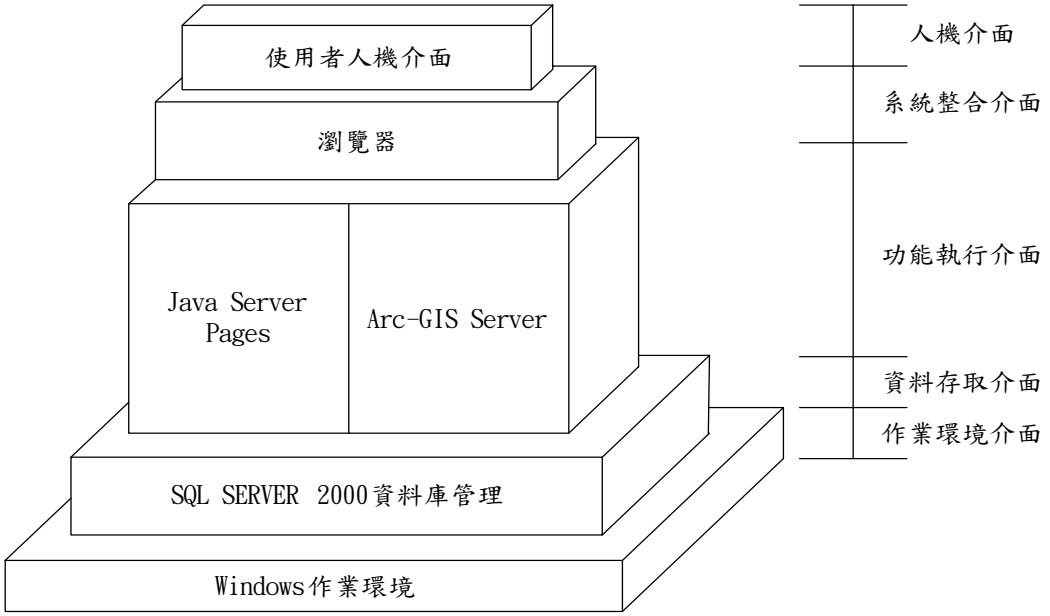


圖 5-6 系統作業環境

5.7 資料交換平台

為確保系統與系統間資料交換即時及正確，本計畫整理現行資訊交換方法並導入資料交換技術。若目標為封閉式之系統，將以資料庫對資料庫之方式進行資料交換。目標為網路上公布之網頁訊息將以網頁對資料庫之方式進行資料交換。若是目標系統有架構 Web Service 對

外窗口，其交換格式將是以 XML 為標準。以下針對三種交換機制進行介紹。

5.7.1 Database to Database 資料交換機制

資料交換之最直接方法為資料庫對資料庫之連結，如圖 5-7 所示。

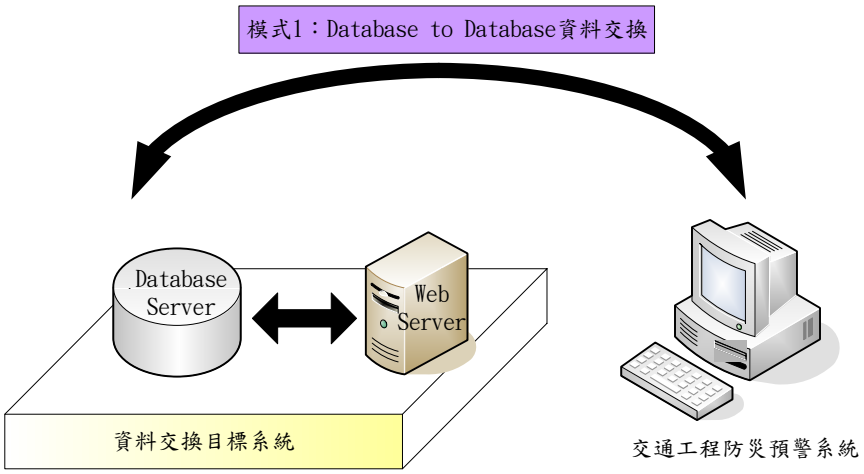


圖 5-7 資料庫對資料庫資料交換

此方法僅需針對所需資料欄位進行篩選，存入目標資料表格內，便完成交換之動作。但其限制大，需開放雙方資料庫之權限，才能進行資料交換，其資料安全性低，造成對方開放上之疑慮。因此這種資料交換方法通常使用於架構於同一內部網路之系統，在本計畫中 TELES 與交通工程防災預警系統架設於同一伺服器群組中，將利用此方式與 TELES 進行資料交換。其交換流程如圖 5-8 所示，先進行帳號密碼之確認，接著就可以將所需資料儲存至目標資料庫。

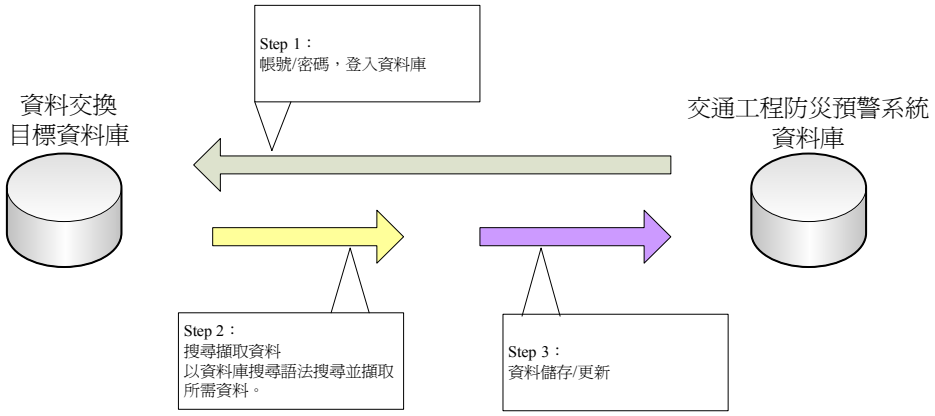


圖 5-8 資料庫對資料庫資料交換流程

(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 網頁對資料庫交換機制

由於國內大力推行政府電子化，災害資訊皆即時公布於網際網路中，呈現方式以 Html (HyperText Markup Language)為主，因此本計畫將擷取公布於網頁之內容，並分析網頁之資訊，儲存至資料庫中。其架構如圖 5-9 所示。

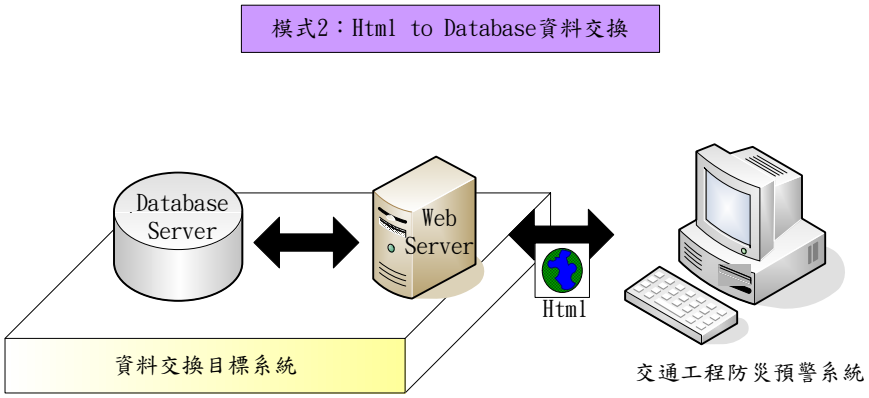


圖 5-9 網頁對資料庫資料交換

若以人工對網頁進行監視並隨時更新資訊，往往需要大量人力，且可能因為人為疏忽造成資料沒有即時更新、遺漏或錯誤，因此本計畫在此交換方法中導入智慧代理人，進行網頁資料之擷取。其擷取流程如下圖 5-10 所示。主要流程是代理人先以預設的帳號密碼登入對方網站，再擷取網頁內容，進行分析，篩選出有用之資訊，並判斷版本進行儲存。

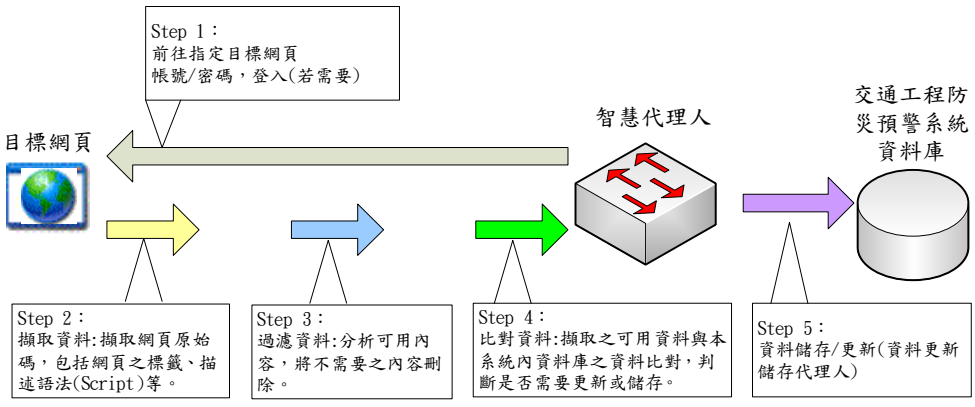


圖 5-10 網頁對資料庫資料交換流程

(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 Web Service 交換機制

本計畫為加強資料傳遞之便利性及資料格式標準化，採用 Web Service 資料交換機制取得土石流災害資訊。Web Service 為近年來所推動之技術標準。其特色為採用 XML(eXtensible Markup Language)技術傳遞結構性資料，Web Service 包含一些開放標準技術，使得網頁提供及接收資料更為方便，主要技術為 SOAP：為通訊之協定、WSDL：描述所提供之 Web Service 的介面標準、UDDI：將服務提供者的資料註冊供人查詢。三者之關係如下圖所示。

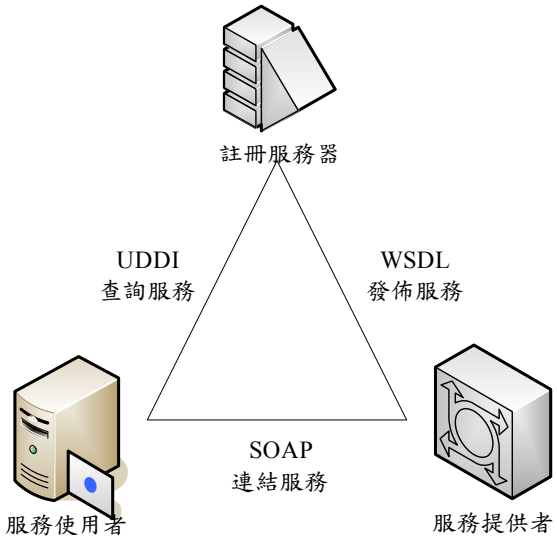


圖 5-11 Web Service 架構圖

水土保持局土石流應變系統已開放利用 Web Services 取得警戒預報資訊，因此本計畫在軟體代理人中加入 Web Service 功能與水保局進行資料交換，取得土石流警戒區之資訊。其交換機制如圖 5-12 所示。

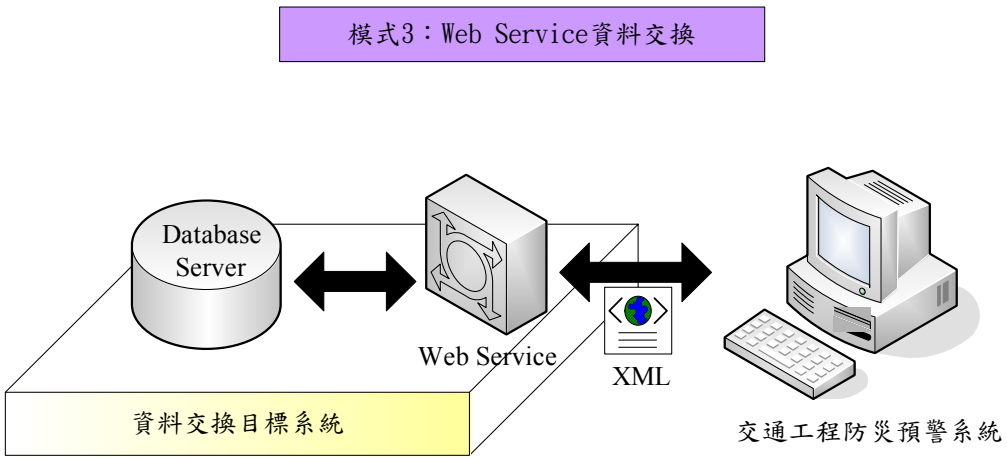


圖 5-12 Web Service 資料交換

5.7.4 各種交換機制比較

以下針對資料交換方式之資料安全性、連結速度、資料正確性及

交換便利性進行比較。

在資料庫對資料庫方面由於需開放資料庫之帳號密碼及開啟權限因此資料庫安全性降低。在連結速度方面，由於資料庫互相連結因此其速度最快，且因為欄位相對應之關係資料正確性高。但在開放資料庫方面需與對方系統管理單位協調因此其交換便利性低。

網頁對資料庫方式，因為公布資訊者僅需將欲公開之資料公布於網頁上，但網頁需避免遭受駭客的攻擊，因此其資料安全性中。且因為網頁為一開放式文件格式，所以在資料交換時必須分析其文件，造成交換速度低，更可能因為文件格式變動造成資料擷取錯誤，降低資料正確性。在交換便利性方面則是最高，因為提供者不需另外架構任何功能，僅需維持原有網頁系統即可。

最後一項是 Web Service 交換方式，此方式為未來網路資訊交換之趨勢，結合了 Html 傳遞的便利性與 XML 資料結構嚴謹特性。其認證身份機制嚴格管理，所以資料安全性高，雖然傳遞是採用 Html 模式傳遞較資料庫對資料庫慢，但是改進了 Html 格式不一的缺點，採用 XML 的格式資料的正確性高，資料提供者僅需架構 Web Service 功能於系統中，即可用帳號密碼管理其資料索取權限，由於其資料交換之優點，未來各災害系統應以此架構進行發展。各交換方式比較整理如下表所示。

表 5-1 交換方式比較表

交換方式	資料庫安全	連結速度	資料正確性	交換便利性
資料庫對資料庫	低	快	高	低
網頁對資料庫	中	慢	低	高
Web Service	高	中	高	中

5.7.5 軟體代理人

為有效且快速的完成資料之交換，本計畫將藉助代理人之幫忙，完成資料交換之工作。代理人技術已被應用在各種不同的領域，例如

計畫排程、資訊檢索等，藉由此項技術的運用可以減少工作量以及資訊量，使用者可以指派代理人完成特定的任務或是與代理人相互合作以完成共同的目標。

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。

5.7.6 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，本計畫將以 VB.NET 強大之網路模組功能為幾處開發軟體代理人。

VB.NET 中豐富的函式庫，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。本計畫所建置的代理人系統，也採用 VB.NET 語言作為開發程式。

5.7.7 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(林家年，2005)。

(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 5-13、圖 5-14 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。

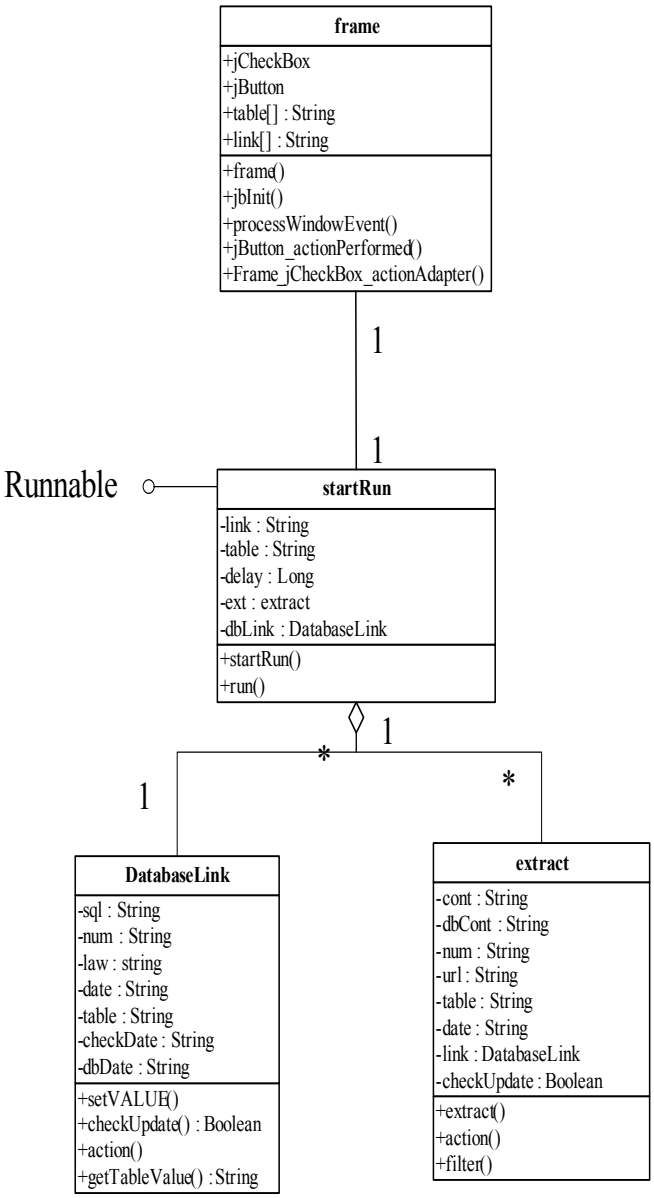


圖 5-13 軟體代理人類別圖 (林家年，2005)

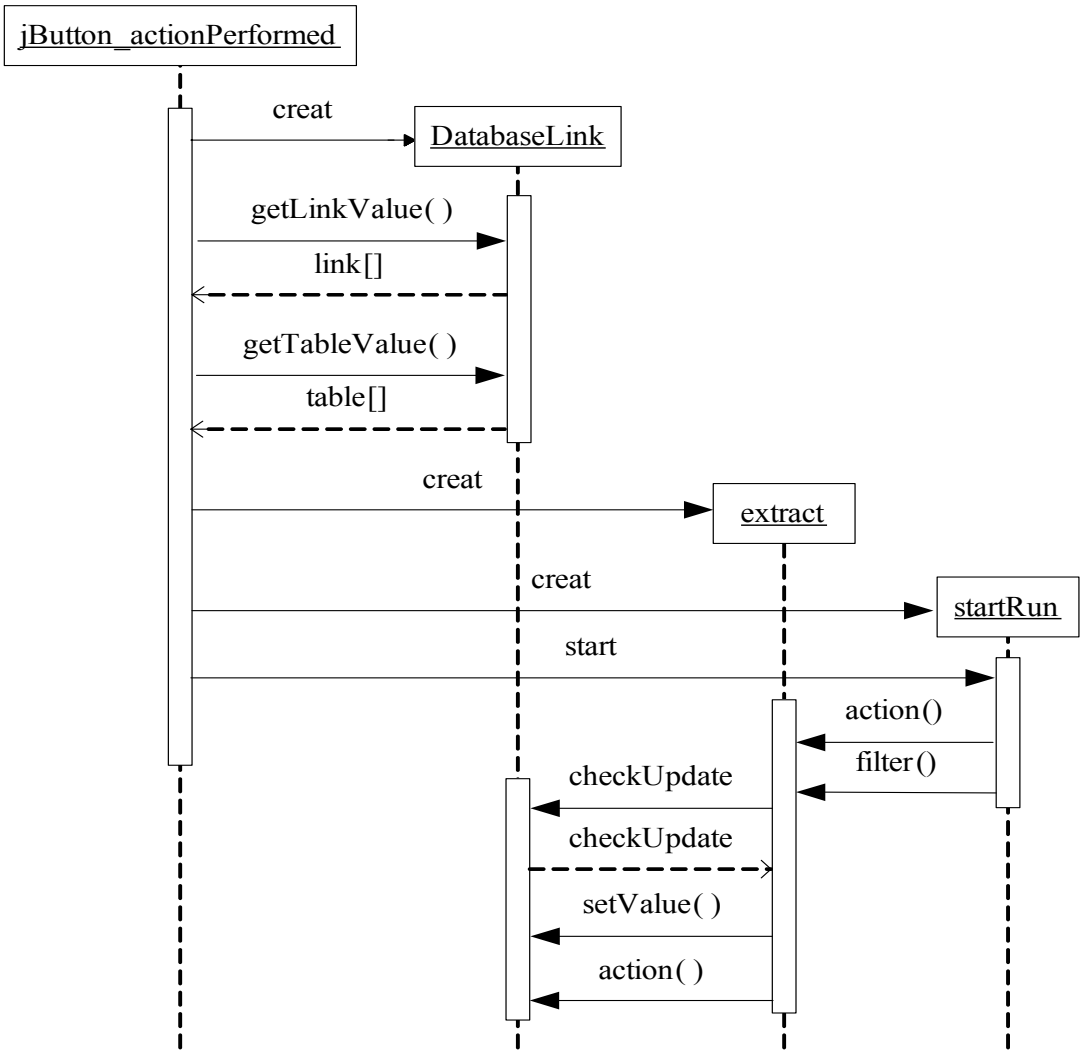


圖 5-14 軟體代理人循序圖 (林家年，2005)

5.7.8 軟體代理人系統畫面

圖 5-15、圖 5-16 分別為軟體代理人資料擷取圖與系統設定圖，圖說明代理人程式進行擷取資料之工作。

圖 5-15 軟體代理人資料擷取圖

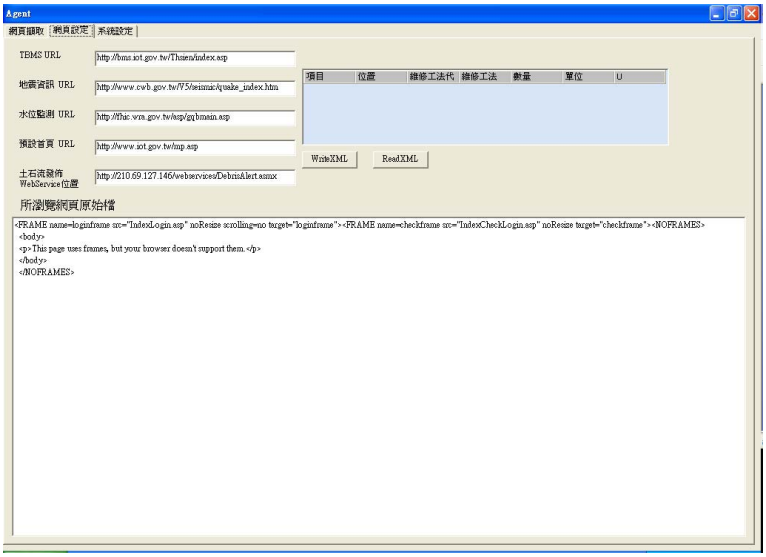


圖 5-16 軟體代理人系統設定圖

5.8 系統功能規劃與發展

本計畫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 5-17 所示，共分為 8 個功能模組。以下針對此 8 個模組之功能規劃、發展，加以說明。

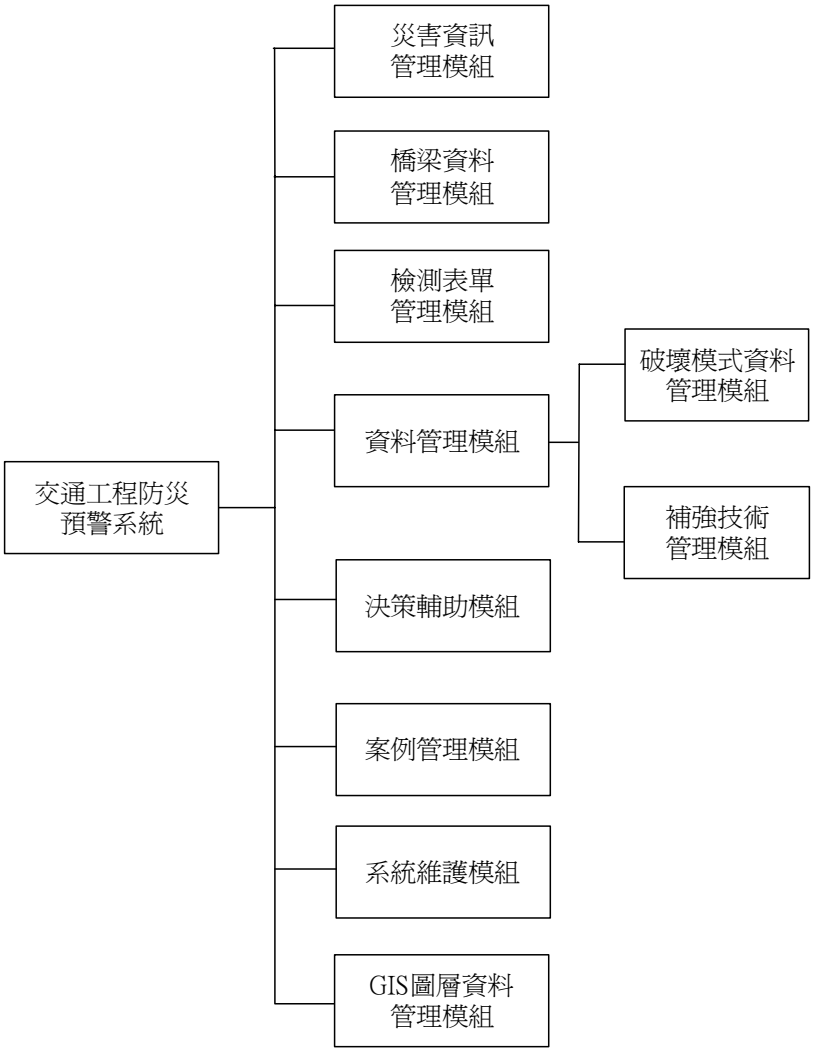


圖 5-17 交通工程防災預警系統功能架構

5.8.1 災害資訊管理模組

5.8.1.1 災害資訊管理模組功能規劃

如圖 5-18 所示，災害資訊管理模組可分災害警訊事件、監測記錄歷史資料等兩項功能，說明如下。

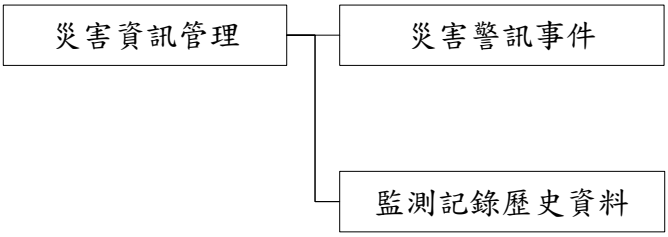


圖 5-18 災害資訊管理模組功能架構

1.災害警訊事件

經由軟體代理人監視各項災害資訊，自動更新警訊資料，並提供 GIS 之查詢。

2.監測記錄歷史資料

監測記錄查詢功能包括：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。

5.8.1.2 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行程序，如圖 5-19 所示。

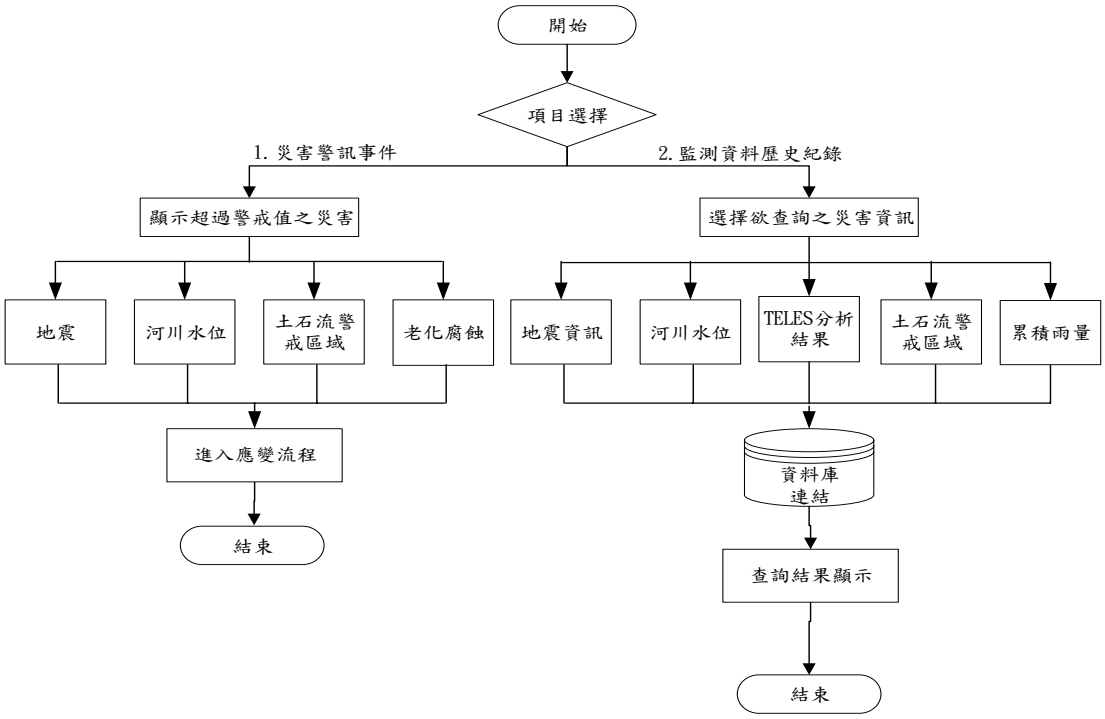


圖 5-19 災害資訊管理模組發展流程

1.災害警訊事件

Step1.顯示超過警戒值之災害資訊

系統將自動過濾災害資訊，並將超過警戒值之相關橋梁列出。

Step2.進入應變流程

使用者可開啟GIS圖層察看橋梁或進入應變流程對破壞機率較高橋梁進行調查。

2.監測記錄歷史資料

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。

5.8.1.3 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 5-20、圖 5-21 所示。

圖 5-20 災害資訊管理模組—災害警訊更新災害資訊

圖 5-21 災害資訊管理模組—災害資訊查詢

5.8.2 橋梁資料管理模組

5.8.2.1 橋梁資料管理模組功能規劃

如圖 5-22 所示，橋梁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。

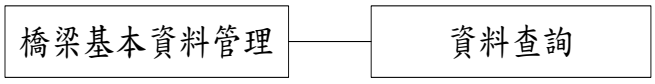


圖 5-22 橋梁資料管理模組功能架構

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。

5.8.2.2 橋梁資料管理模組發展

本節說明橋梁資料管理模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-23 所示。

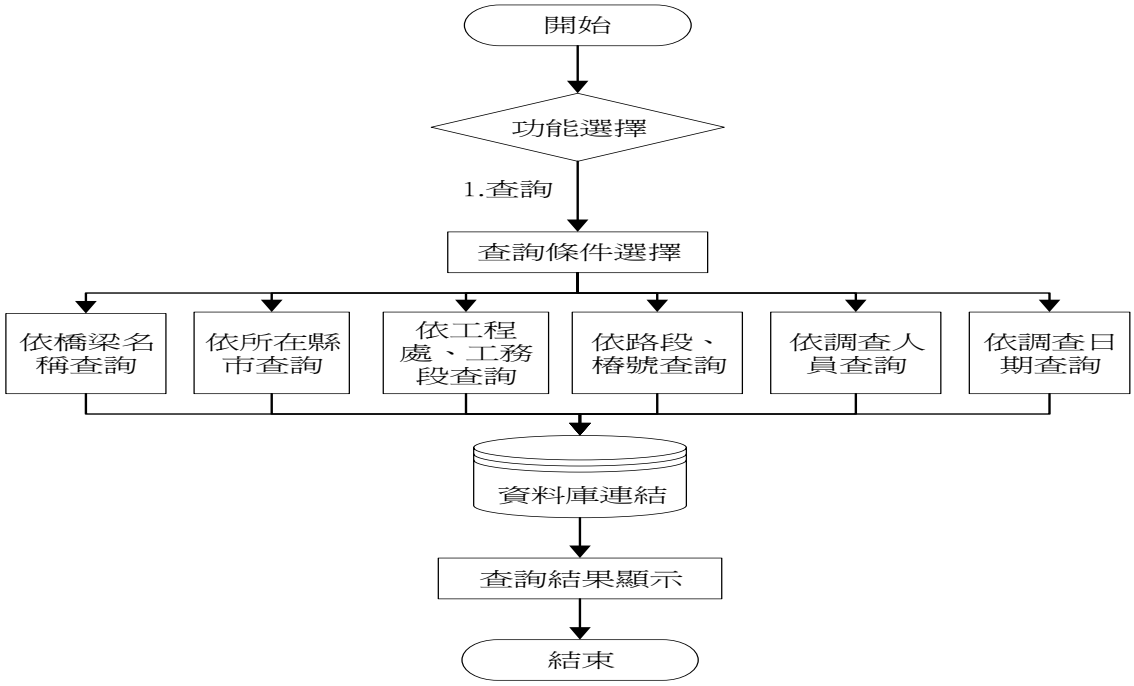


圖 5-23 橋梁資料管理模組發展流程

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。

5.8.2.3 橋梁資料管理模組系統畫面

橋梁資料管理模組系統畫面如**圖 5-24**、**圖 5-25** 所示。

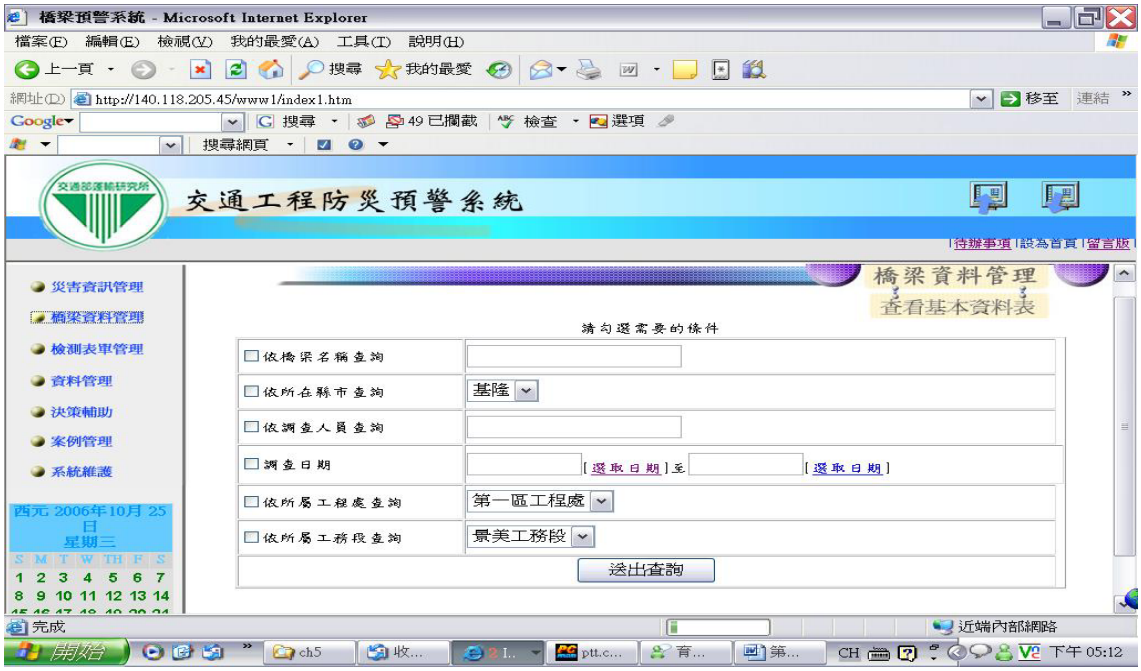


圖 5-24 橋梁資料管理模組—搜尋橋梁

圖 5-25 橋梁資料管理模組—查尋橋梁資料

5.8.3 檢測表單管理模組

5.8.3.1 檢測表單管理模組功能規劃

如圖 5-26 所示，檢測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。

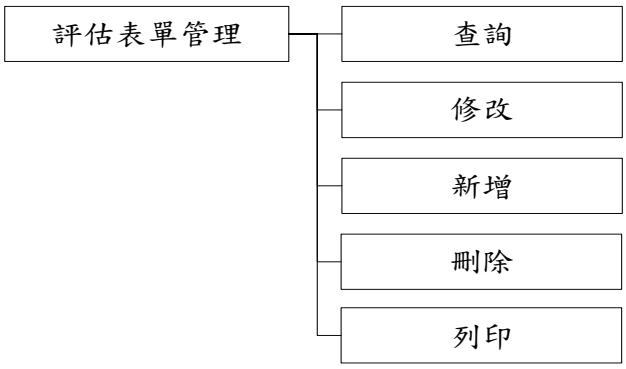


圖 5-26 檢測表單管理模組功能架構

1.查詢

搜尋資料庫中所儲存之檢測表單，並將檢測表單表格內容顯示於視窗畫面。

2.修改

針對資料庫內檢測表單內容進行修改。

3.新增

提供新增檢測表單資料。

4.刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之檢測表單。

5.列印

列印空白檢測表單或是資料庫中所儲存檢測表單。

5.8.3.2 檢測表單管理模組發展

本節說明檢測表單管理模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-27。

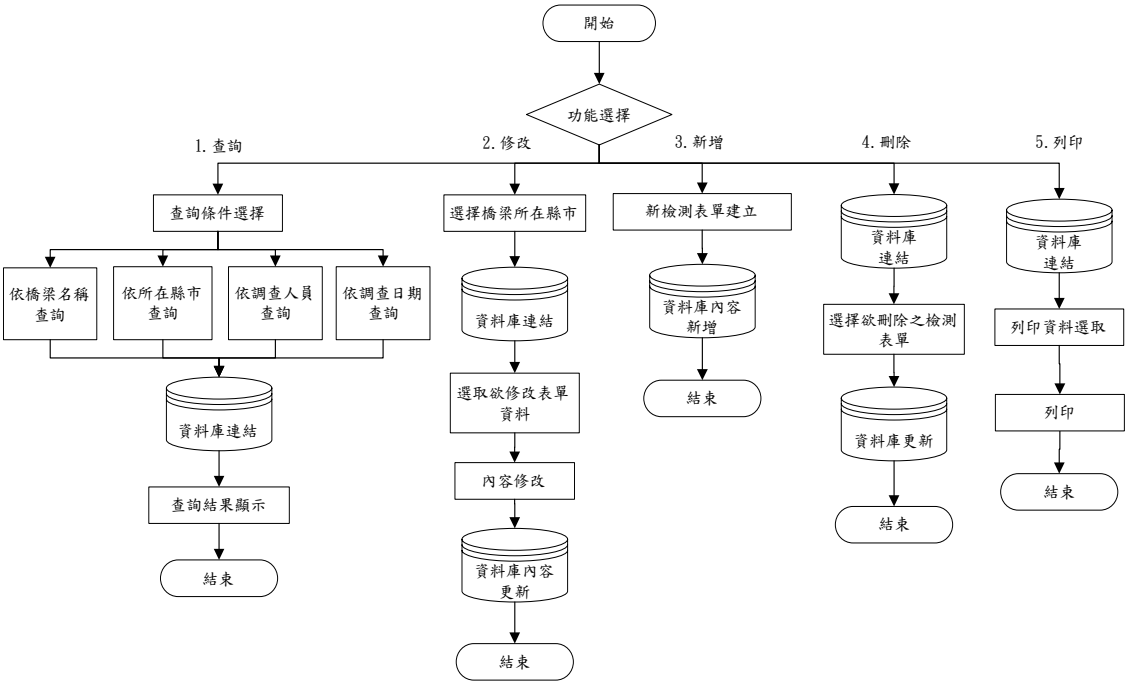


圖 5-27 檢測表單管理模組發展流程

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、調查日期進行檢測表單搜尋。

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檢測表單。

Step3.選取欲修改表單資料

選擇欲修改之橋梁檢測表單。

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.新檢測表單建立

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，系統列出所有檢測表單。

Step2.選擇欲刪除之檢測表單

使用者選取欲刪除之檢測表單。

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檢測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。

5.8.3.3 檢測表單管理模組系統畫面

檢測表單管理模組系統畫面如圖 5-28、**圖 5-29** 所示。

圖 5-28 檢測表單管理模組—檢測表單選擇

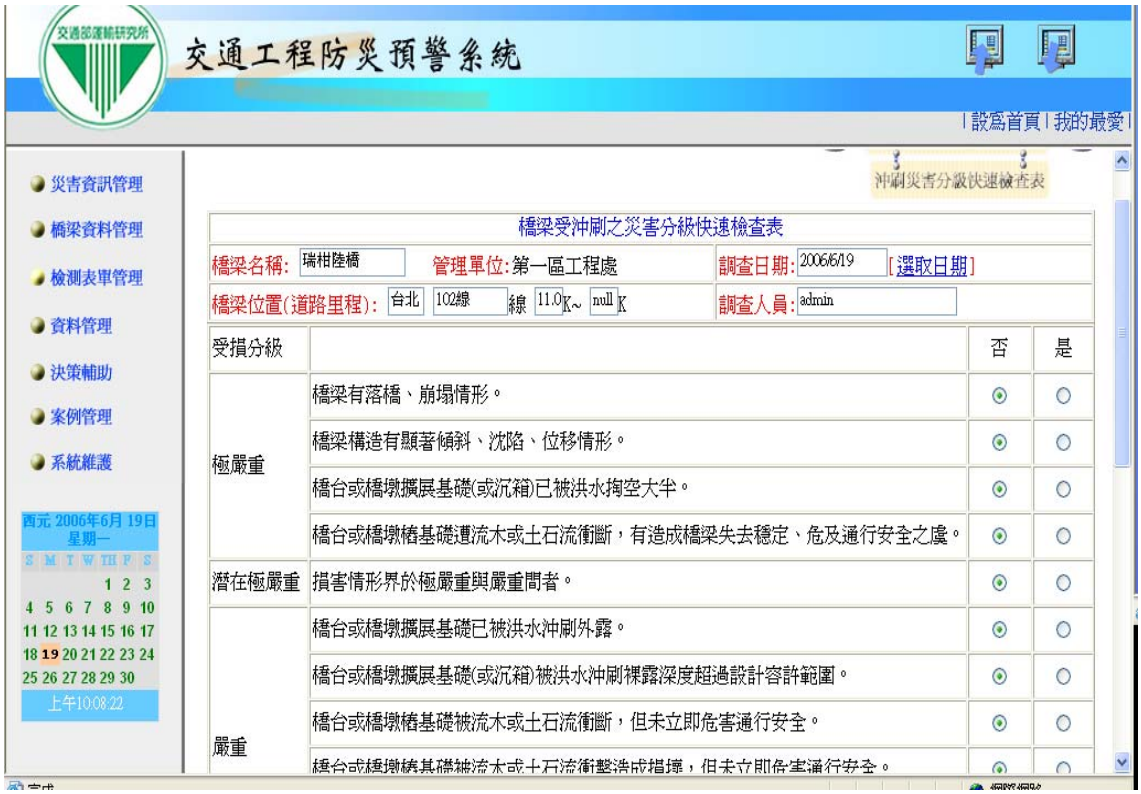


圖 5-29 檢測表單管理模組—新增橋梁受沖刷災害檢查表

5.8.4 資料管理模組

資料管理模組分為破壞模式與補強技術管理兩大模組。將分別介紹，說明如下。

5.8.4.1 破壞模式資料管理模組功能規劃

如圖 5-30 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。

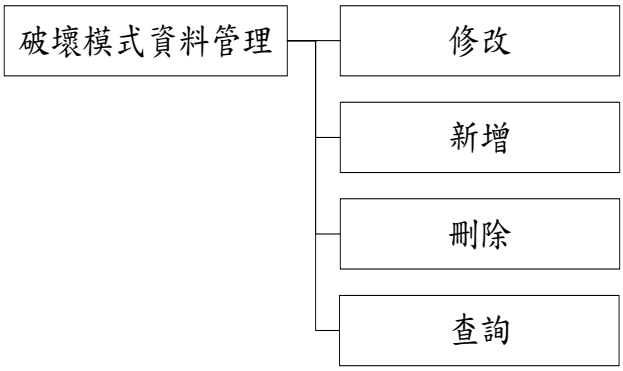


圖 5-30 破壞模式資料管理模組功能架構

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。

5.8.4.2 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行程序，如圖 5-31 所示。

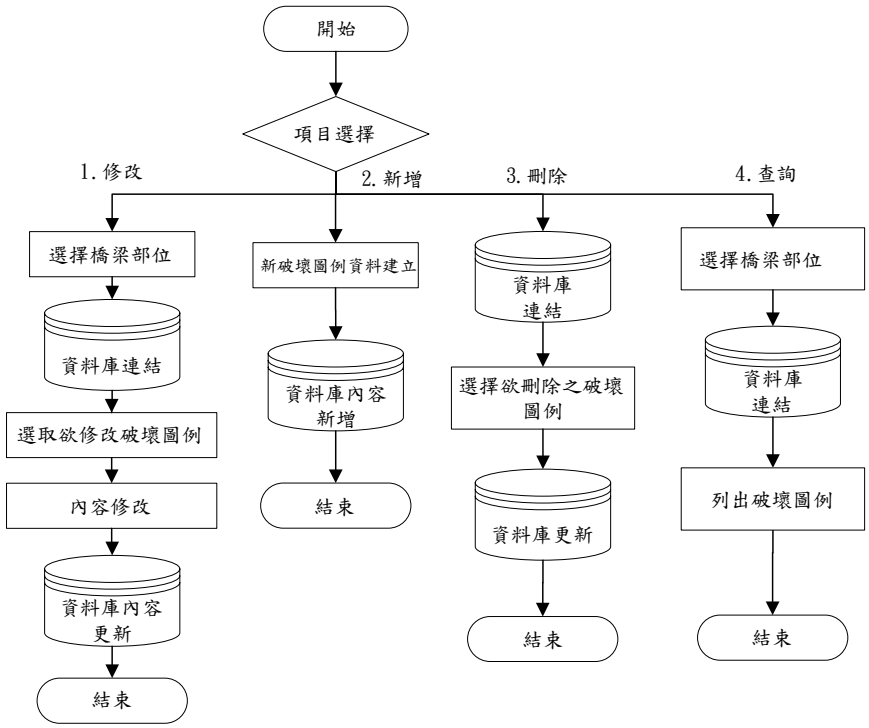


圖 5-31 破壞模式資料管理模組發展流程

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。

5.8.4.3 破壞模式資料管理模組系統畫面

橋梁資料管理模組系統畫面如圖 5-32、圖 5-33 所示。

圖 5-32 破壞模式資料管理模組—功能選單

圖 5-33 破壞模式資料管理模組—破壞模式參考圖例

5.8.4.4 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，主要分為新增、刪除、修改及查詢功能。補強技術資料管理模組系統畫面如圖 5-34、圖 5-35 所示。

圖 5-34 補強技術資料管理模組—補強工法選擇

圖 5-35 補強技術資料管理模組—補強工法說明與圖例

5.8.5 決策輔助模組

本模組共分為補強方案評估、案例推理兩模組。以下分別說明。

5.8.5.1 補強方案評估模組功能規劃

本模組的發展係以工程預算編列並配合橋柱補強計算模組，計算各種補強工法所需之工期與工程經費，經由使用者選擇最短工期或是最低工程經費之補強工法方案。其功能架構如下圖 5-36 所示，補強方

案評估模組可建立新補強方案、刪除補強方案與單一及多項補強方案之比較等四項功能，說明如下。

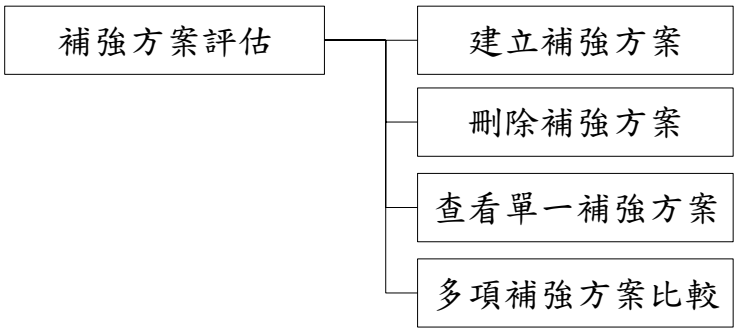


圖 5-36 補強方案評估模組功能架構

1.建立補強方案

以緊急評估表結果為補強方案評估之依據，建立各部位補強工法之組合選擇。

2.刪除補強方案

刪除資料庫內不適當或不必要之補強方案。

3.查看單一補強方案

查詢資料庫現有補強方案。

4.多項補強方案比較

根據篩選條件條列出不同補強方案進行比較。

5.8.5.2 補強技術資料管理模組發展

本節說明補強方案評估模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-37 所示。

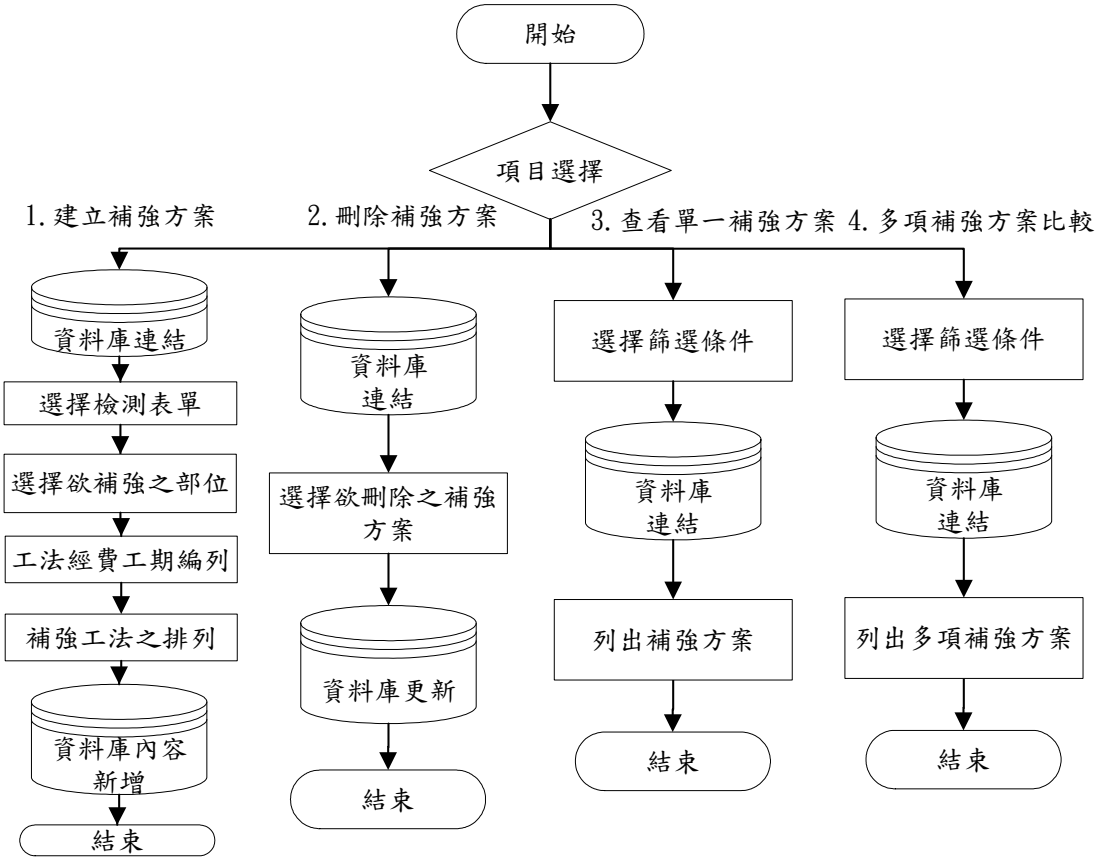


圖 5-37 補強方案評估模組發展流程

1.建立補強方案

Step1.資料庫連結

連結資料庫，列出緊急評估表。

Step2.選則檢測表單

選擇緊急評估表進行補強方案之評估。

Step3.選擇欲補強之部位

依據評等結果，選擇欲補強之結構部位。

Step4.工法經費與工期編列

系統將不同部位所適合之補強工法條列，並顯示預設之經費與工期值，使用者可依據現場情況調整數量及價錢。

Step5.補強工法之排列

系統將各部位之先行及後續工法進行組合排列，管理者可依據最短工期或最低經費進行優先順序排列。

Step6.資料庫內容新增

儲存使用者所決定之補強工法。

2.刪除

Step1.資料庫連結

連結資料庫，系統列出現有補強方案。

Step2.選擇欲刪除之補強方案

使用者選取欲刪除之補強方案。

Step3.資料庫更新

刪除資料庫內該筆資料的內容。

3.查看單一補強方案

Step1.選擇篩選條件

設定篩選之條件。

Step2.資料庫連結

搜尋補強方案資料。

Step3.列出補強方案

列出詳細資料供使用查看。

4.多項補強方案比較

Step1.選擇篩選條件

設定篩選之條件。

Step2.資料庫連結

搜尋補強方案資料。

Step3.列出多項補強方案

列出多項補強方案之詳細資料供比對查看。

5.8.5.3 案例推理模組功能規劃

本模組的發展係以人工智慧為基礎，運用案例學習之機制，以橋梁結構形式及破壞描述為篩選因子，從過去補強之案例擷取出適宜之補強工法，此模組在案例數量越多的情形下準確度越高。

5.8.5.4 案例推理模組發展

本節說明案例推理模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-38 所示。

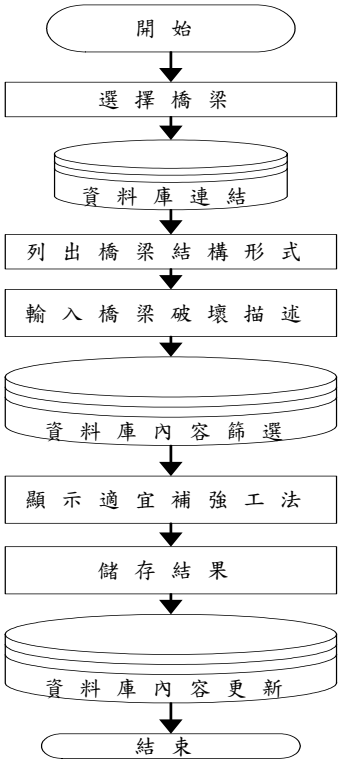


圖 5-38 案例推理模組發展流程

Step1.選擇橋梁

選擇欲補強之橋梁名稱。

Step2.資料庫連結

連結資料庫，讀取橋梁結構形式資料。

Step3.列出橋梁結構形式

顯示橋梁結構形式。

Step4.輸入橋梁破壞描述

選擇橋梁結構部位、破壞種類及數量。

Step5.資料庫內容篩選

系統根據過去案例資料，篩選適宜之案例資料。

Step6.顯示適宜補強工法

顯示在此種破壞條件下，可適用之補強工法。

Step7.儲存結果

使用者可轉存此推論結果為新案例。

Step8.資料庫內容更新

儲存資料。

5.8.6 案例管理模組

5.8.6.1 案例管理模組功能規劃

如下圖 5-39 所示，案例管理模組可分為查詢、修改、新增、刪除等四項功能，說明如下。

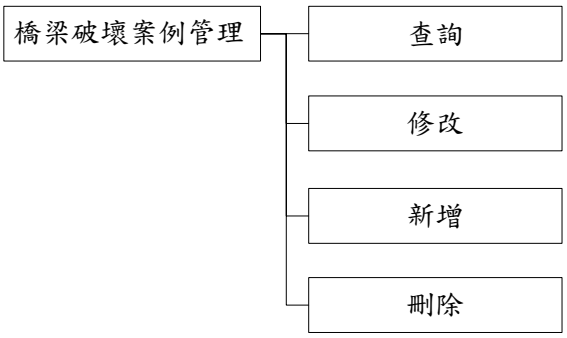


圖 5-39 橋梁破壞案例管理模組功能架構

1.查詢

根據橋梁名稱或是橋梁所在縣市搜尋資料庫中所儲存之橋梁破壞案例，並將橋梁破壞案例內容顯示於視窗畫面。

2.修改

針對資料庫內橋梁破壞案例內容進行修改。

3.新增

提供新增橋梁破壞案例資料。

4.刪除

刪除資料庫內不適當或不必要之橋梁破壞案例資料。

5.8.6.2 案例資料管理模組發展

本節說明橋梁破壞案例管理模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-40 所示。

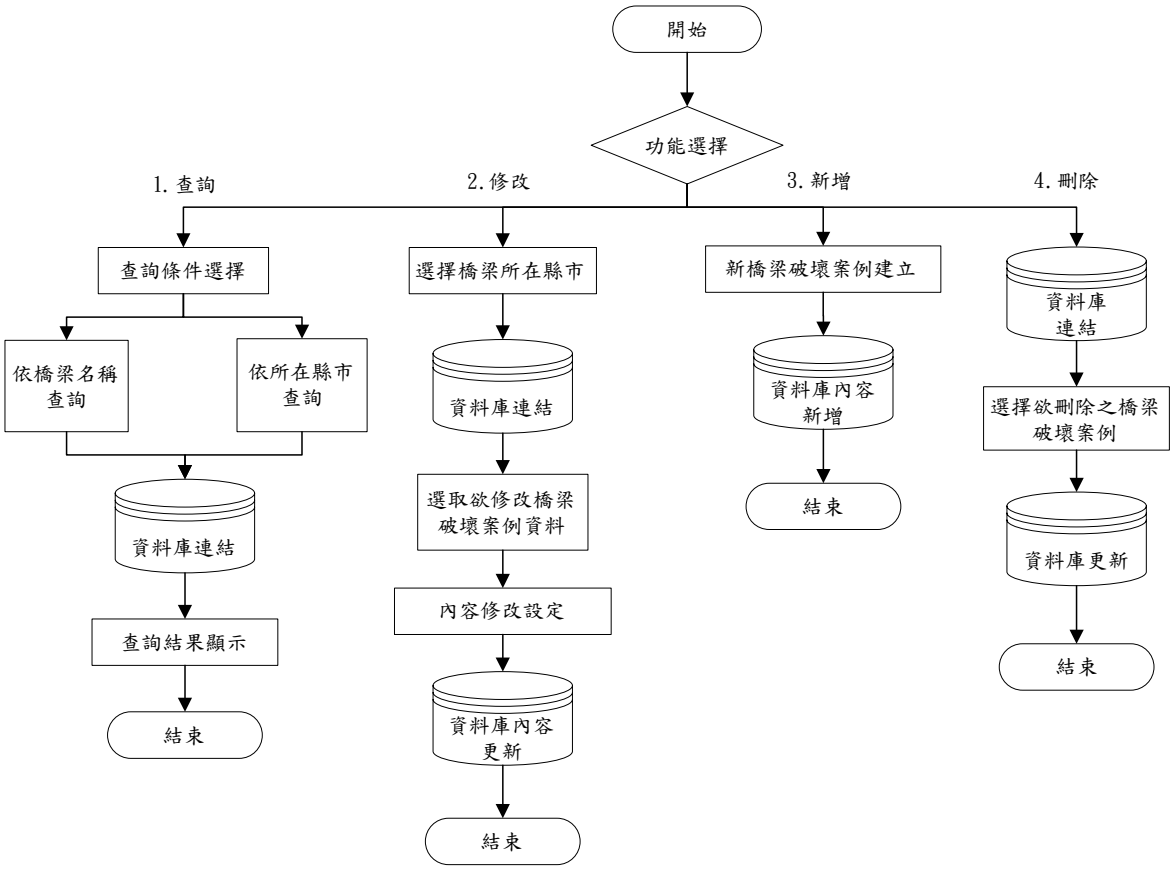


圖 5-40 橋梁破壞案例管理模組發展流程

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破壞案例搜尋。

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破壞案例。

Step3.選取欲修改橋梁破壞案例資料

選擇欲修改之橋梁破壞案例。

Step4.內容修改

經由使用者輸入修改橋梁破壞案例資料。

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。

3.新增

Step1.新橋梁破壞案例建立

依據現場調查結果，輸入橋梁破壞敘述與所使用之檢測技術與補強工法。

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，系統列出所有橋梁破壞案例。

Step2.選擇欲刪除之橋梁破壞案例

使用者選取欲刪除之橋梁破壞案例名稱。

Step3.資料庫更新

刪除資料庫內該筆資料的內容。

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 5-41 所示，其說明如下：

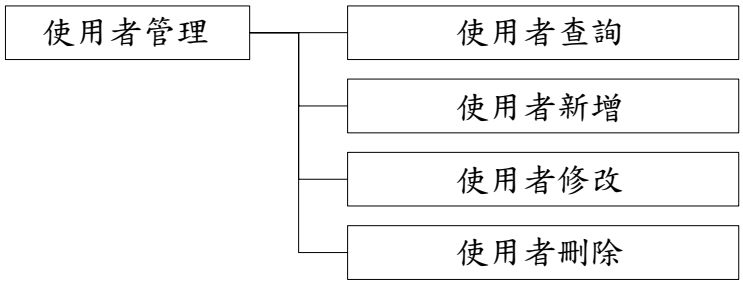


圖 5-41 使用者管理模組功能架構

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。

5.8.8 GIS 圖層資料管理模組

5.8.8.1 GIS 圖層資料管理模組功能規劃

如圖 5-42 所示，GIS 圖層資料管理可分為災害資訊查詢、危險橋梁查詢等兩項功能，說明如下。

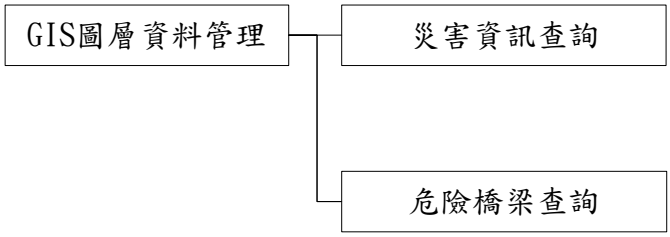


圖 5-42 GIS 圖層資料管理模組功能架構

1.災害資訊查詢

查詢經由資料交換平台(軟體代理人)所擷取的各項災害資訊，以 GIS 圖層顯示，包括各地地震震度、河川溪流水位、各地雨量、土石流警戒區等。

2.危險橋梁查詢

查詢在各種災害發生時受到危害之橋梁狀態，包括地震時 TELES 分析之各橋梁通行失敗機率、豪大雨時橋梁所在溪流水位高度及鄰近雨量站累積雨量、土石流紅黃警戒區影響範圍內之橋梁、橋梁老化腐蝕狀態、橋梁監測警戒行動值等。

5.8.8.2 GIS 圖層資料管理模組發展

本節說明 GIS 圖層資料管理模組之發展步驟及執行程序，如圖 5-43 所示。

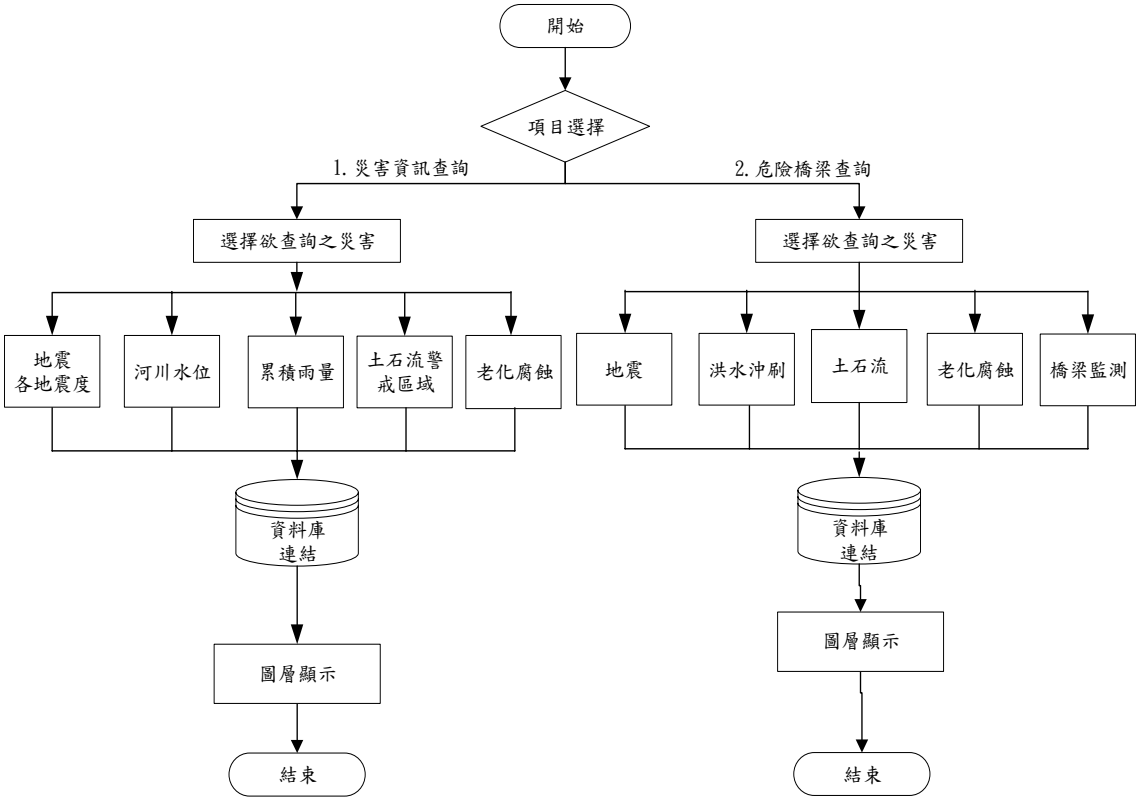


圖 5-43 GIS 圖層管理模組發展流程

1.災害資訊查詢

Step1.選擇查詢的災害類型

本功能可選擇要在 GIS 圖層上所顯示的災害類型及時間。

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.圖層顯示

符合查詢條件之資料，在 GIS 圖層上顯示。

2.危險橋梁查詢

Step1.選擇查詢的災害類型

如地震所造成損壞之橋梁、洪水沖刷、土石流、老化腐蝕狀態、橋梁監測狀態等。

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)篩選出符合之資料及圖層。

Step3.圖層顯示

將符合查詢條件之圖層開啟並顯示危險橋梁狀態(依顏色區分)。

5.8.8.3 GIS 圖層資料管理模組系統畫面

GIS 圖層資料管理模組系統畫面如圖 5-44、圖 5-45 所示。

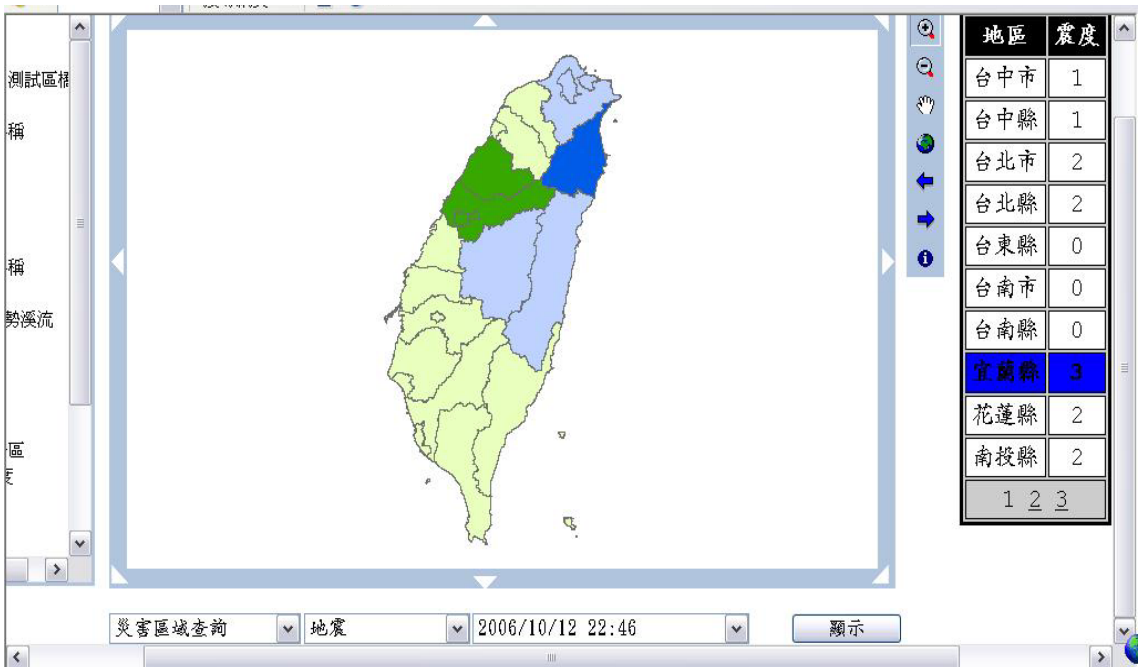


圖 5-44 GIS 圖層資料管理模組—災害資訊查詢

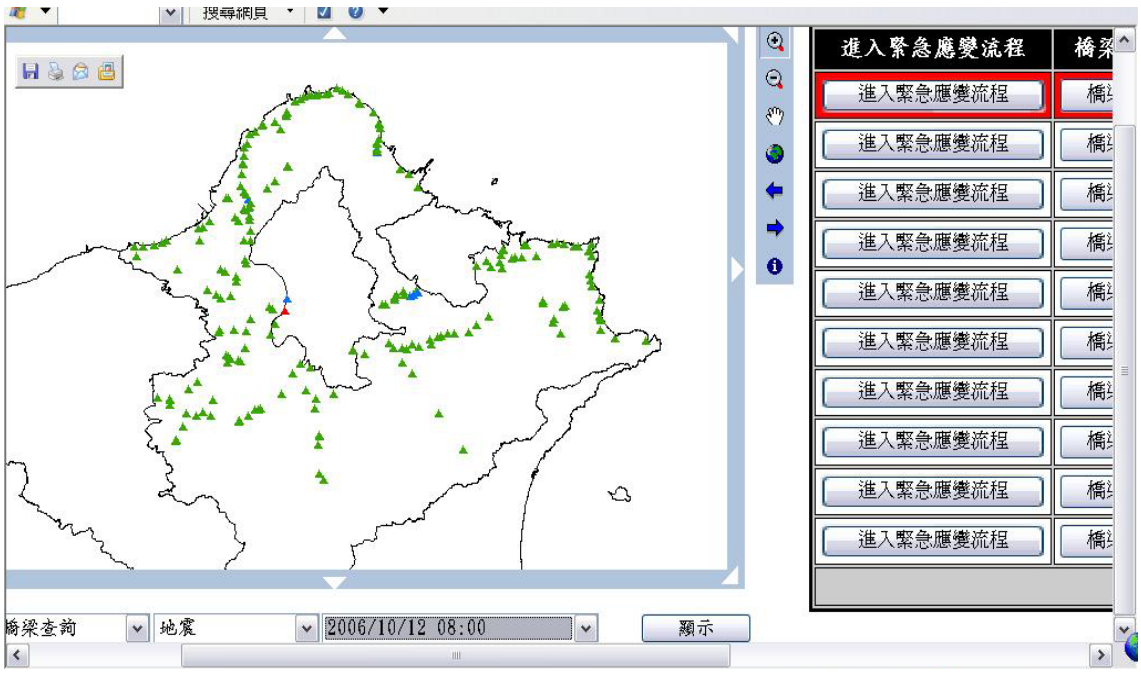


圖 5-45 GIS 圖層資料管理模組—危險橋梁查詢

5.9 系統連線模式介紹

因本系統架構於網際網路環境中，提供多人連線使用之功能。使

用者可藉由無線網路或是手機傳輸在戶外操作系統。且台灣手機基地台涵蓋率高於 90%，3G 通訊亦開始普及，因此在大部分的橋梁現場即可運用無線傳輸連接管理資料庫。

在災時通訊設施聯繫中斷時，使用者可能無法經由網際網路連結系統進行表單之填寫，因此本計畫另開發一簡易單機版本，可在網路通訊中斷時，利用單機版本進行工作。單機版提供表單輸入之功能，使用者可輸出表單填寫之結果轉存為電子文件檔，在恢復通訊後即可將暫存檔案匯入系統中。

在戶外的連線方式，現場工程師可使用隨身攜帶之筆記型電腦，經由手機傳輸數據至系統，在筆記型電腦與手機連線方式如下列所示：使用 USB 傳輸線、藍芽(BlueTooth)無線傳輸、紅外線（infrared）傳輸，手機傳輸數據方式有分別為：2.5G（GPRS）、PHS、3G（WCDMA）。數據經由手機基地台發送至網路服務系統，即完成現場工程師與災時橋梁管理系統連線之動作。其運作架構圖如下圖所示。

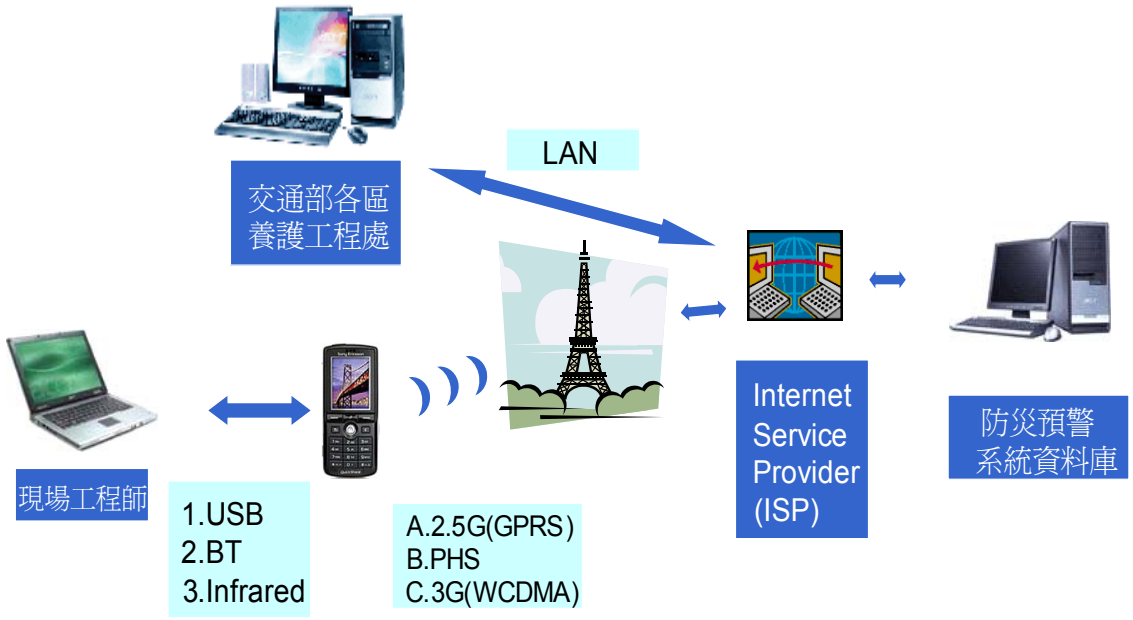


圖 5-46 系統連線架構圖

於災時第一時間，現場附近可能因為天災之關係造成手機基地台通訊中斷，此時就無法經由網路連結災時橋梁管理資料庫。在網路中斷下以單機版本暫代系統之功能。單機版提供使用者儲存檢測表單為電子文字檔之功能，可在網路恢復後再將電子文件檔匯入災時橋梁管理系統，其運作架構圖如圖 5-47 所示。

各種連線方式可能因為通訊技術不同而有不同之連線速率，在手機傳輸方面也會因為手機業者的通訊費率調整而造成通訊費用的不同，使用者可根據使用需求與手機業者簽訂合適之通訊合約。各種連線方式之方式與速率比較整理如下表 5-2 所示。

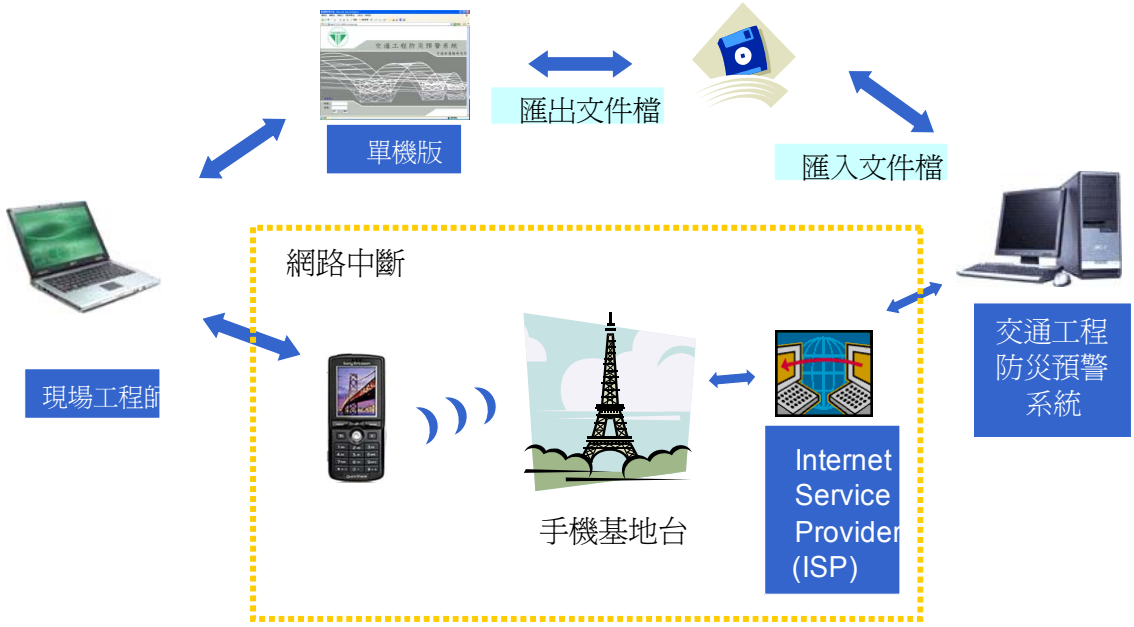


圖 5-47 系統連線架構圖（網路連線中斷情形）

表 5-2 連線方式比較表

使用者	作業環境	使用平台	連線方式	傳遞模式	傳輸速度
工程師	災害現場	筆記型電腦 PDA(僅限表單輸入功能)	USB 藍芽 紅外線	PHS	64K/s
				2.5G(GPRS)	20-30K/s
				3G(WCDMA)	300K/s↑
工程師	工程處	桌上型電腦 筆記型電腦	WAN	WAN	10-100M
系統管理員	工程處	桌上型電腦 筆記型電腦	WAN	WAN	10-100M

5.10 通報機制介紹

本計畫採用台灣簡訊（http://www.twsms.com/）之 API 服務，建構出系統自動通報系統，運用手機簡訊通報模式建立即時通知之功能，本報告中以測試帳號及密碼試行簡訊通報功能，在系統交付使用者使用後可根據使用需求進行儲值。使用者可在系統維護中系統設定值修改簡訊通報系統帳號及密碼，如下圖 5-48 所示。通報系統以使用者所屬工務段進行通報分類，若此工務段橋梁有危急之可能，簡訊通報系統將自動發送簡訊至資料庫中該工務段人員。簡訊雙向通訊功能，可提供使用者發送簡訊至系統完成通報或是回傳資料之功能。其初步功能架構如圖 5-49 所示。

圖 5-48 簡訊通報系統帳號密碼設定圖

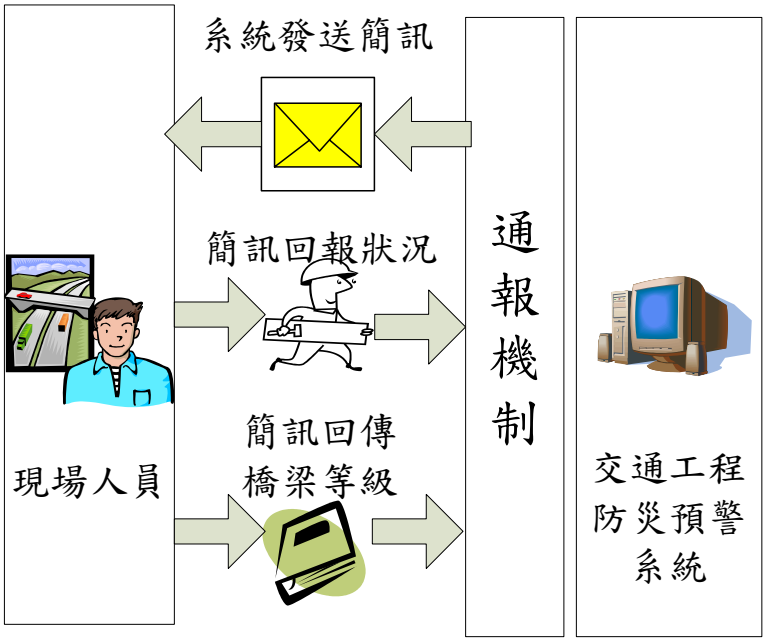


圖 5-49 簡訊雙向傳輸架構圖

第六章　系統測試與教育訓練

6.1　系統測試

本防災預警系統於 8 月中旬大致完成完整系統架構與各模組基本功能。為求系統能夠穩定運作且符合實際使用需求，預警系統進行各項測試工作，說明如下。

6.1.1　資料交換平台(軟體代理人)測試

(1) TBMS 橋梁基本資料交換：為測試資料交換平台是否能夠完整無誤的自 TBMS 中擷取橋梁基本資料，本團隊系統開發人員於 2006/8/8 至公路總局進行橋梁基本資料交換之測試，測試工作細節如表 6-1 所示。

表 6-1 TBMS 橋梁基本資料交換測試說明

擷取資料範圍	◆公路局第二工程處苗栗工務段橋梁共 220 座 ◆公路局第二工程處谷關工務段橋梁共 56 座
發生問題及原因	資料欄位存放錯位。由於在系統開發階段，僅能以測試帳號進入，所了解的資料格式並不完全，亦和公路局橋梁資料之存放欄位不完全相符，因此有欄位對應不正確的情況發生。
解決方法	已調整資料交換平台擷取橋梁基本資料之欄位對應方法如圖 6-1 所示。未來在擷取公路總局的橋梁資料時應不會再發生此種問題。

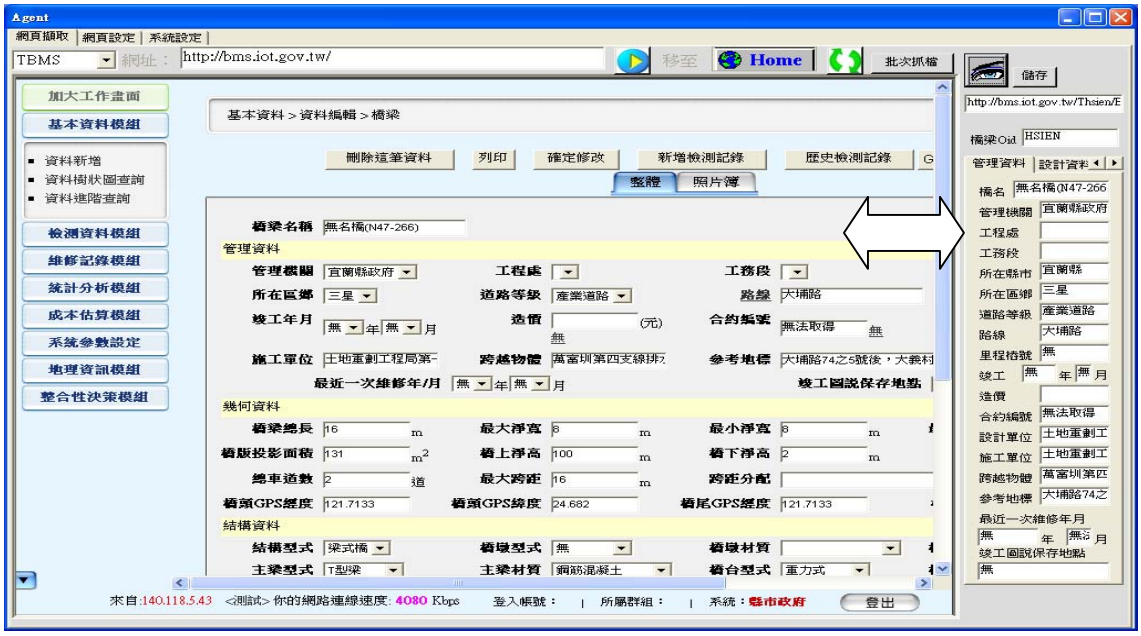


圖 6-1 調整後欄位符合

(2) 災害資訊交換：交換平台的另一項重要功能就是自各個災害資訊來源網站擷取回災害資訊，此功能為本預警系統的重要功能之一，而災害資訊取得後可利用 GIS 模組災害區域查詢的方式在地圖上標示出災害區域。測試工作細節如所示。

表 6-2 災害資訊交換測試說明

擷取資料範圍	● 地震災害(中央氣象局)：共 79 次地震資訊發佈(有編號 24 個、小區域 55 個)，交換資料及 GIS 圖形顯示正確如圖 6-2 所示。(8 月~10 月) ● 河川水位及降雨量(水位署)：24 小時定時更新，經抽查核對交換資料及 GIS 圖形顯示與水利署發佈資訊相符如圖 6-3 所示。(8 月~10 月) ● 土石流災害(水保局)：共 13 次(紅 7、黃 6)土石流警戒發佈，交換資料及 GIS 圖形顯示正確如圖 6-4 所示。(6 月~7 月)
發生問題	無
解決方法	無

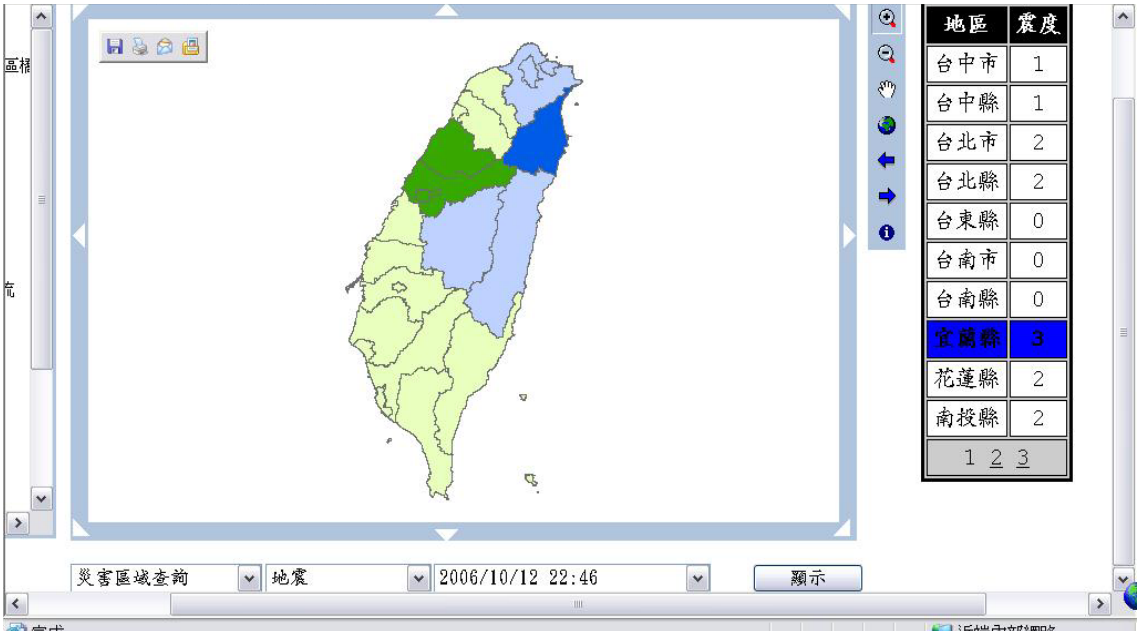


圖 6-2 地震災害區域顯示

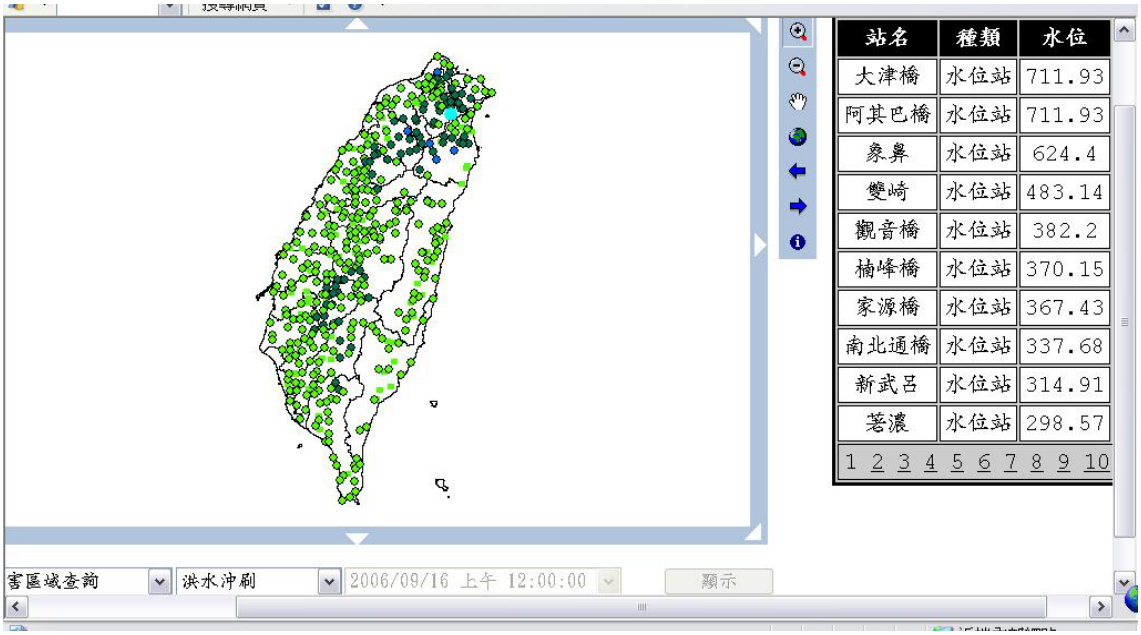


圖 6-3 河川水位站即時水位

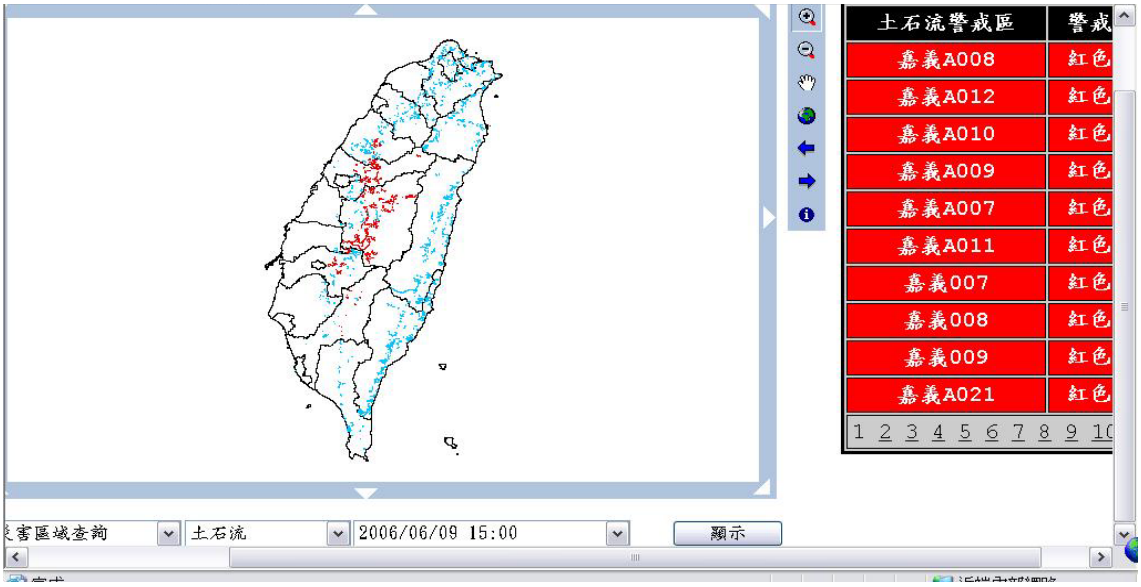


圖 6-4 土石流警戒區域顯示

6.1.2 TELES 橋梁地震災損評估測試

系統測試期間，即 95 年 8 月至 95 年 10 月間，共有 4 次地震達到 TELES 啟動評估的標準值。因此本系統所包含之 TELES 系統共進行了 4 次橋梁災損評估，細節如表 6-3 所示。

表 6-3 TELES 橋梁地震災損評估測試

地震事件	日期時間	震源強度	震源位置		震源深度 (km)	分析結果
			經度	緯度		
1	2006/8/13 12:31:55	5.12	122.24	23.98	6.12	橋梁無損壞機率
2	2006/9/30 14:49:28	5.19	122.49	24.46	72.23	橋梁無損壞機率
3	2006/10/1 14:36:17	5.27	121.62	24.03	23	橋梁無損壞機率
4	2006/10/12 22:46:29	5.9	122.52	24	3.4	橋梁無損壞機率

6.1.3 簡訊通報發送功能測試

由於測試期間 95 年 8 月~10 月間並未有危及橋梁安全達到通報標準之天然災害發生，因此簡訊通報發送功能以模擬災害進行測試。在

期中審查及教育訓練課程時皆試行過，傳送無誤，接收人亦可回覆至系統做回報。

6.1.4 系統開放使用測試

(1)測試前系統使用說明會:預警系統在大致完成完整系統架構與各模組基本功能，並且經過基本測試後，開放予公路總局第一區養護工程處景美工務段、中和工務段及公路總局第二區養護工程處苗栗工務段、谷關工務段使用，在開放使用前舉辦了「測試前系統使用說明會」，課程地點、參與人員如圖 6-5、圖 6-6 所示。

交通工程防災預警系統建立之研究案 測試前系統使用說明會	
時間	民國九十五年八月三十日星期三　下午 1:30
地點	國立台灣科技大學工程二館 E-222 會議室
參加人員	
公路總局 延允中 工程司	延允中
公路局第一區養護工程處景美工務段 徐鼎源 先生	徐鼎源
公路局第一區養護工程處中和工務段 李建賢 先生	李建賢
公路局第二區養護工程處苗栗工務段 謝育偉 先生	徐良江代
公路局第二區養護工程處谷關工務段 許曉蓓 小姐	許曉蓓
台灣科技大學生態與防災工程研究中心 陳志偉	陳志偉
台灣科技大學生態與防災工程研究中心 吳育偉	吳育偉

圖 6-5 測試前系統使用說明會相關資訊

圖 6-6 測試前系統使用說明會紀實

(2)系統使用問題反應：在測試期間，使用者陸續提出使用問題，包括系統操作及系統架構方面，以下為反應問題(Q)及回覆與處理狀況(A)。

Q1：某些流程工作如地震的災情調查(立即)、緊急調查(24 小時內完成)、緊急評估(3 天內完成)，同一流程但未必會同時或同一天內完成，在災害發生後如何了解哪些流程、表單未完成？是否可以有一個未(待)完成事項的提醒功能？

A1：本系統已增加「待辦事項」提醒功能，在使用者登入後即進入此畫面如圖 6-7 所示，在使用者每次登入後即提醒尚有哪些工作未(待)完成，使用者可依所提供之資訊依序完成。範圍包括：災害通報簡訊未回覆之追蹤、災害應變流程未完成部份。

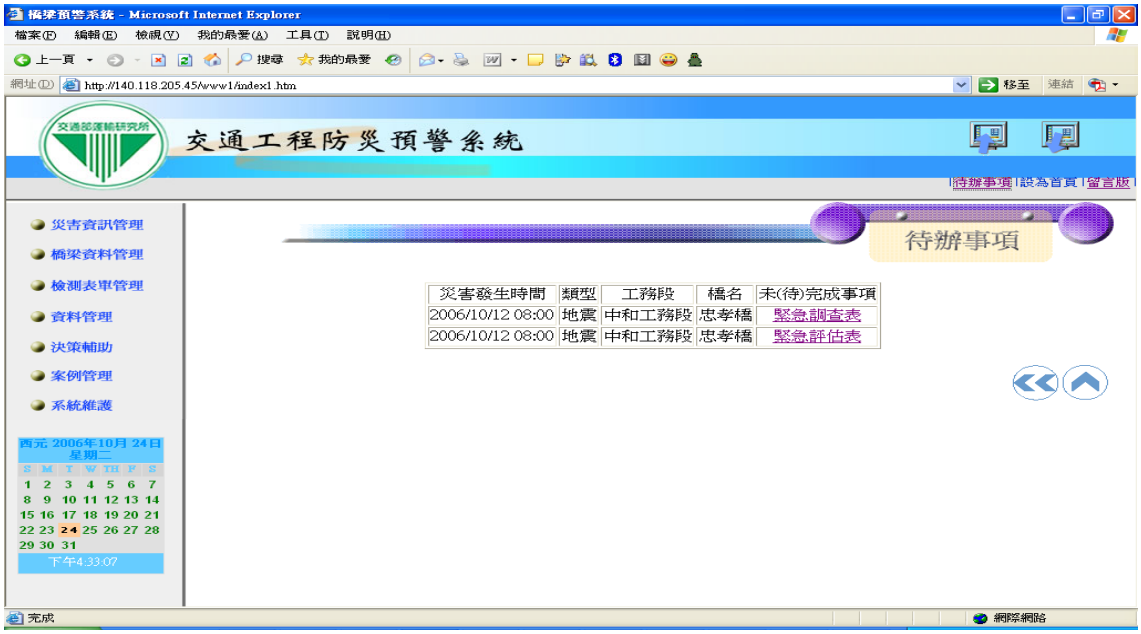


圖 6-7 待辦事項提醒功能

Q2：系統是否有做使用者權限的設定與限制？各工務段的橋梁或表單資料是否會被工務段以外的使用者修改？

A2：在本系統中，由於橋梁基本資料是由 TBMS 所交換得來，因此為避免兩方資料不同，在本系統中橋梁基本資料僅供查詢及計算用，若要修改則必須到 TBMS 中進行修改。至於調查表單的填寫、修改權限則是在使用者帳號權限中加以設定如所示，不屬於該工務段的帳號是無法新增或修改該工務段橋梁的各種調查表單的如所示。

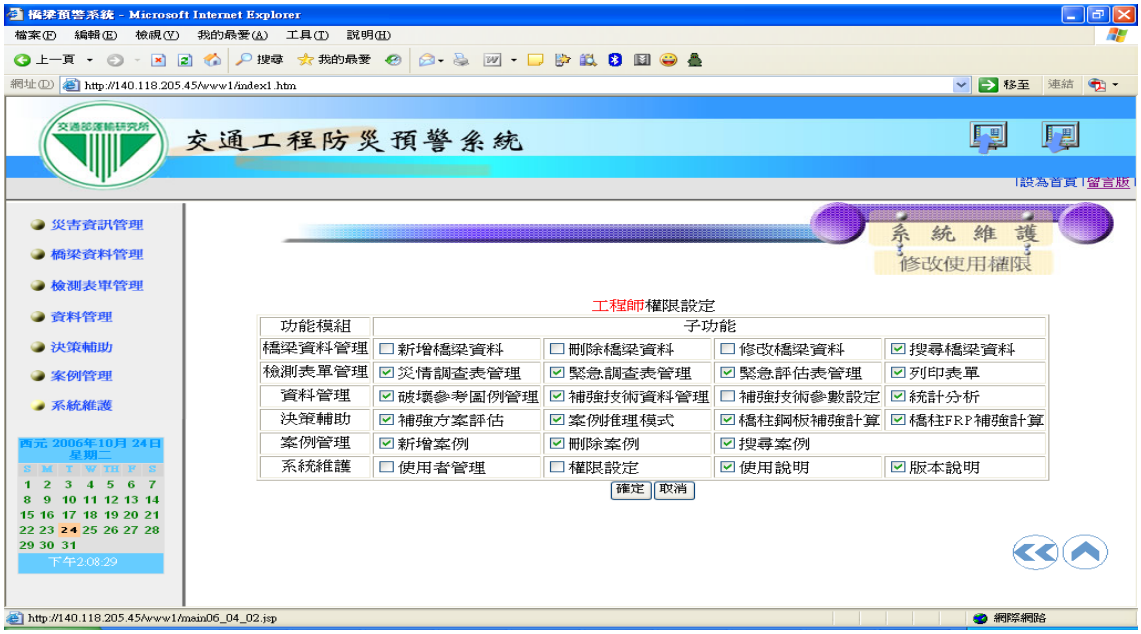


圖 6-8 使用者帳號權限設定

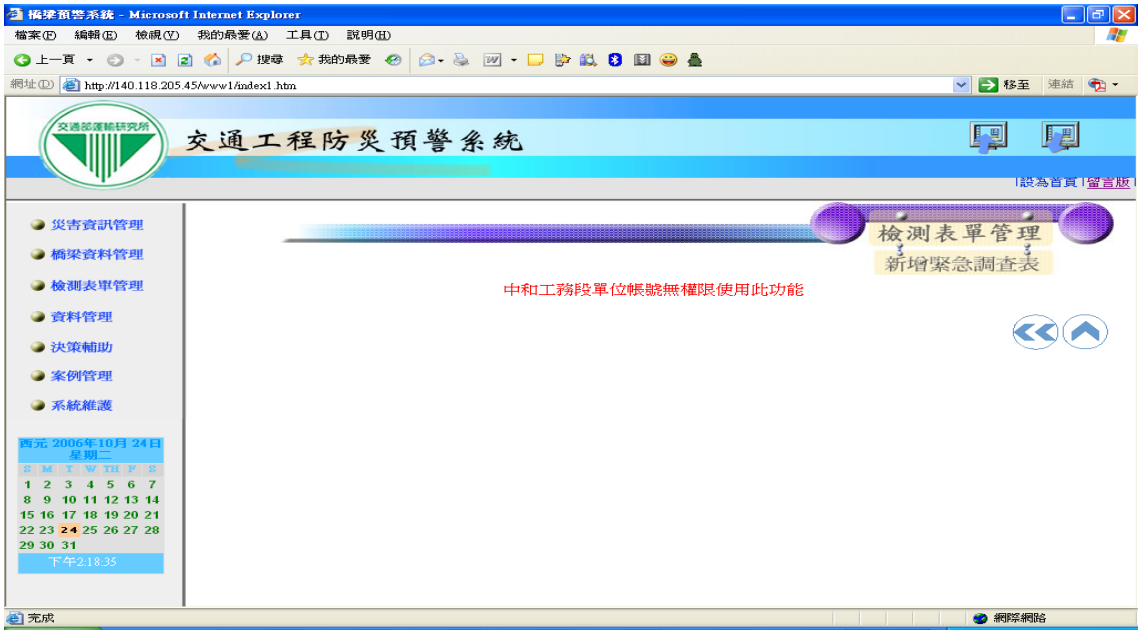


圖 6-9 權限不足(不正確)無法進行動作之警告

Q3：目前公路總局在地震災害發生的橋梁檢測機制是：

(1) 震度 4 級地區特別巡查橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。

(2) 震度 5 級地區特別檢測橋梁基樁或沉箱有裸露者、受損尚未完成修復及施工中之橋梁。

(3) 震度 6 級以上地區特別檢測所有橋梁

而此預警系統是以 TELES 評估的橋梁通行失敗機率為通報依據，將來地震發生時該以哪一項指標為行動依據？若是以此預警系統的通報為標準，則橋梁通行失敗機率通報門檻值將是多少？

A3：若將來公路總局確定使用本系統，則地震災害時橋梁檢測的行動依據應是本系統的災害通報。至於通報門檻值將是多少，本計畫無法訂定,但系統設計時保留此通報門檻值設定的靈活性，未來可視狀況修改。通報門檻值的訂定並不在本計畫的範圍內，其中有相當多的因素要考量，建議由橋梁管理單位、地震研究中心(TELES 開發團隊)、學者專家一同研討擬定。

Q4：資料交換平台在擷取 TBMS 橋梁資料時，是否有進入資料庫權限的問題，雙方面的資料庫安全性有無入侵修改資料的疑慮？在測試時僅擷取四個工務段(景美、中和、苗栗、谷關)之橋梁資料，資料交換平台是否能夠正常擷取其他工務段之橋梁資料？

A4:資料交換平台與 TBMS 資料交換是以網頁(TBMS)對資料庫(資料交換平台)方式進行。使用者欲使用資料交換平台進行資料之擷取，仍需使用各自的帳號與密碼登入 TBMS 網頁畫面如圖 6-10 所示。經由 TBMS 之橋梁搜尋功能，找出欲擷取之橋梁列表如圖 6-11 所示，資料交換平台再根據網頁畫面上所顯示之橋梁進行資料之擷取，所以 TBMS 上執行功能與各工務段平時使用並無差異，資料交換平台可說是額外提供使用者將畫面上之橋梁資料擷取之功能，因此並無直接對 TBMS 之資料庫進行擷取或侵入，並無網路安全之問題。至於公路局內其他單位的橋梁資料會不會有問題，在測試階段已遭遇過，並且克服解決，請參考表 6-1 之說明。

圖 6-10 資料交換平台依帳號權限登入

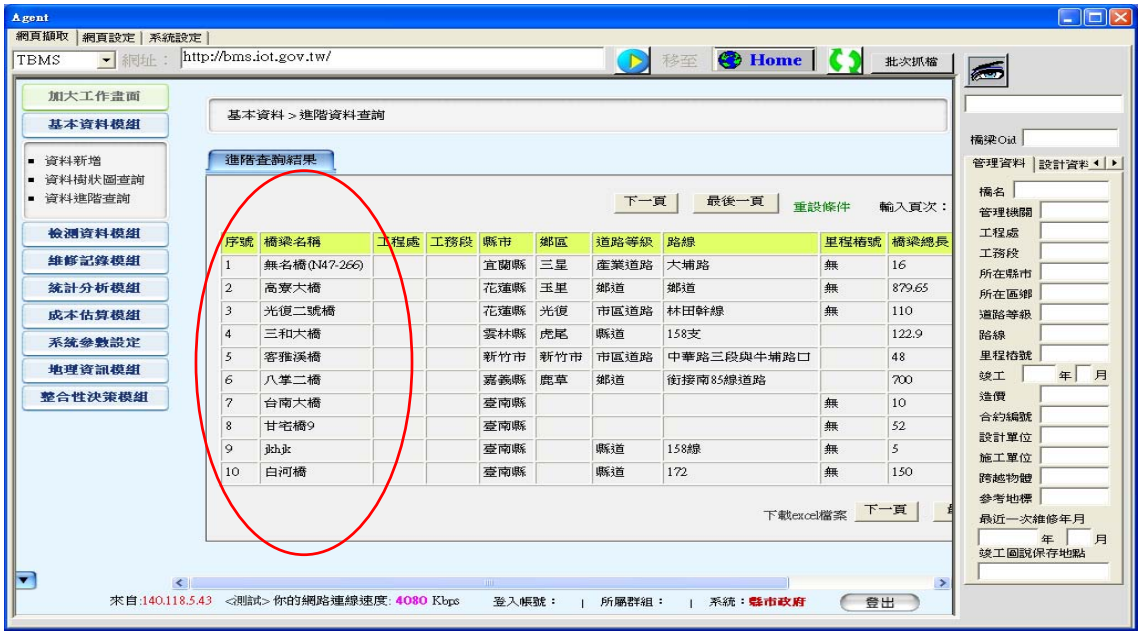


圖 6-11 資料交換平台僅擷取網頁上橋梁並無侵入資料庫

Q5：在填寫表單的同時是否可以上傳照片？

A5：可以，本系統有此功能，在填寫緊急評估表時可上傳照片如圖 6-12、圖 6-13 所示。

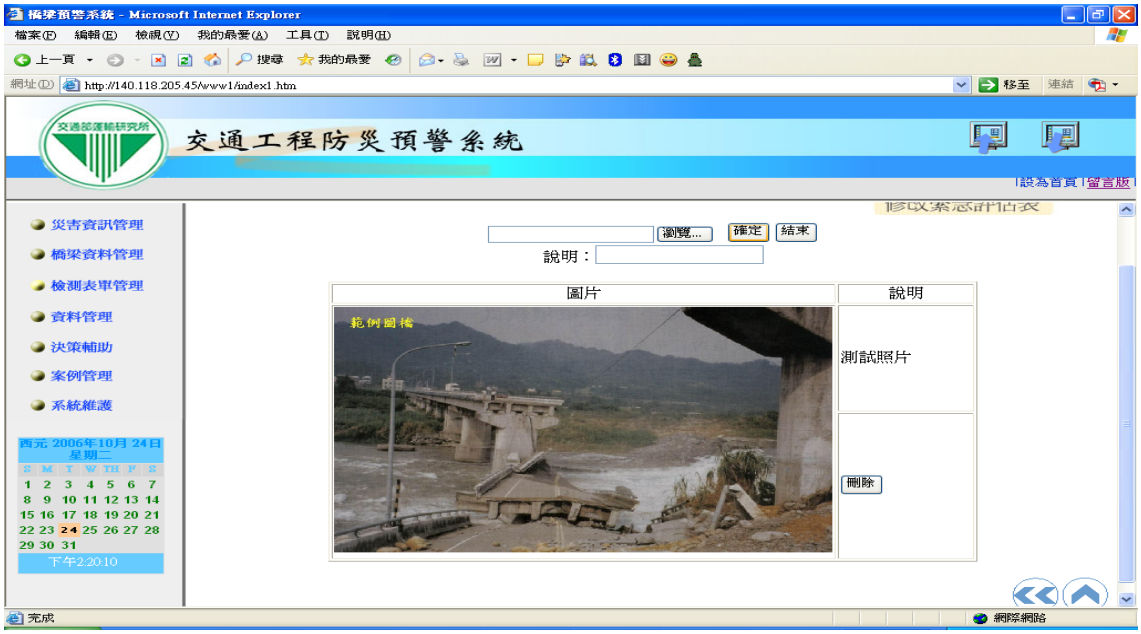


圖 6-12 上傳照片

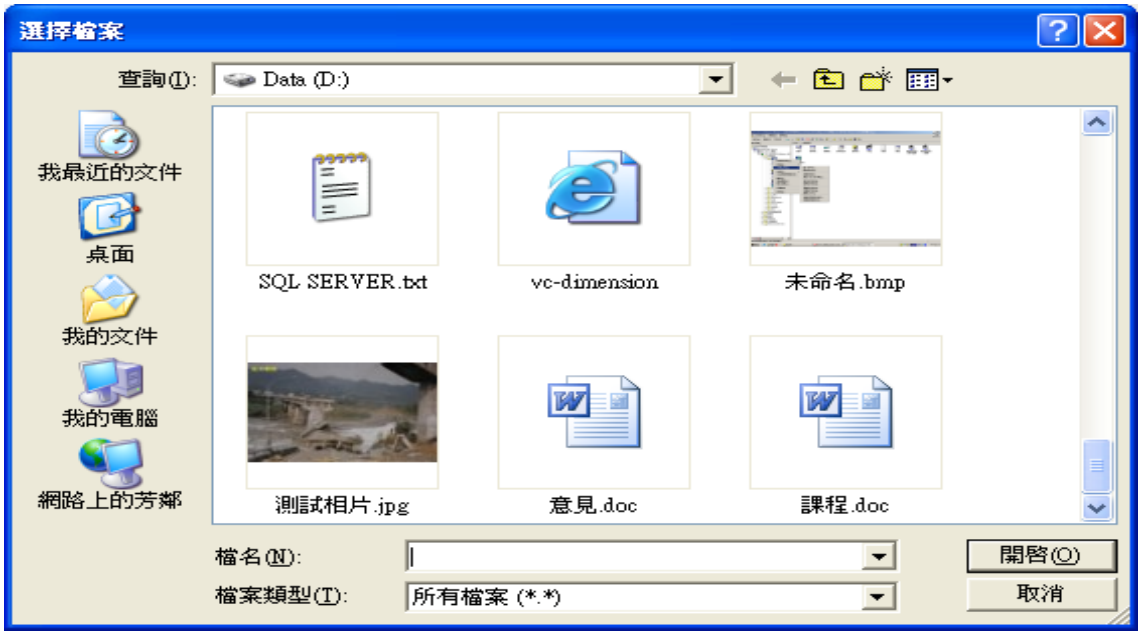


圖 6-13 選擇要上傳的照片

6.2 教育訓練

本計畫之教育訓練在 95 年 10 月 12 日於台中港灣技術研究中心舉辦，課程內容、邀請單位與人員等詳列如下，課程講義為系統使用手冊，如附件三。

表 6-4 坡地及橋梁防救災研究系列之成果說明與應用訓練課程

	時間	課程題目	主講人
十月十二日（星期四）	09: 00~09:30	報　　到	
	09:30~10:30	坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究相關研究成果說明	魏佳韻 台灣營建研究院專案經理
	10:30~11:00	休息及程式安裝	
	11:00~11:50	道路邊坡維護管理系統之操作實作	魏佳韻 台灣營建研究院專案經理
	11:50~13:30	午　　餐	
	13:30~14:30	交通工程防災預警系統建立之研究相關研究成果說明	陳緯蒼、吳育偉、陳志偉 國立臺灣科技大學
	14:30~14:40	休　　息	
	14:40~15:20	交通工程防災預警系統之操作實作	吳育偉、陳志偉 國立臺灣科技大學
	15:20~15:30	休　　息	
	15:30~16:30	臺灣區救災公路資訊整合系統建立之研究相關研究成果說明	許秋玲 小姐 台灣營建研究院專案經理
	16:30~16:40	休　　息	
	16:40~17:20	救災公路資訊系統之操作實作	許秋玲 小姐 台灣營建研究院專案經理
	課程結束		

表 6-5 成果說明與應用訓練課程參與人員

序號	姓 名	職 稱	服 務 單 位
1	蔡 衛 勇	站長	公路總局第五區養工處
2	李 順 龍	課員	公路總局第五區養工處
3	陳 志 祿	工務員	公路總局第五區養工處
4	王 招 盛	工務員	公路總局第五區養工處
5	謝 國 禎	幫工程司	公路總局第五區養工處
6	李 嘉 欣	養路士	公路總局第五區養工處
7	林 泉 盛	工務員	公路總局第五區養工處
8	陳 懋 琦	副工程司	公路總局第三區養工處
9	張 烈 興	工務員	公路總局第一區養工處
10	陳 禎 康	工務員	公路總局第二區養工處苗栗段
11	宋 偉 光	約僱工務員	公路總局第二區養工處苗栗段
12	謝 玉 偉	約僱工務員	公路總局第二區養工處苗栗段
13	徐 文 飛	幫工程司	公路總局第二區養工處谷關段
14	廖 豐 裕	助理工務員	公路總局第二區養工處谷關段
15	許 曉 蓓	助理工務員	公路總局第二區養工處谷關段
16	黃 民 偉	工務員	公路總局第二區養工處信義段
17	洪 裕 模	助理工務員	公路總局第二區養工處信義段
18	湯 世 松	工務士	公路總局第二區養工處信義段
19	李 西 瑩	副工程司	公路總局第二區養工處
20	李 平 霖	幫工程司	公路總局第二區養工處
21	賴 智 勇	工務員	公路總局第二區養工處
22	杜 益 成	工務員	公路總局養路組
23	黃 志 評	工務員	公路總局養路組
24	詹 子 龍	助理工務員	公路總局養路組
25	呂 玉 仁	工務員	公路總局養路組
26	劉 絹 絹	幫工程司	公路總局養路組
27	延 允 中	工程司	公路總局養路組

圖 6-14 教育訓練課程紀實

第七章　結論與建議

7.1　結論

1.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。經過測試，本預警系統之資料交換平台確實可精準、同步的取得各種災害資訊並以圖形化呈現，並且加值利用於橋梁災害判定與通報。

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。在本預警系統中，災害應變流程皆以引導方式帶領使用者完成各項應填的表單，需填寫之內容都已在系統開發階段加以簡化，評估結果亦是電腦自動化計算，達到使用者簡單、快速、精準完成應變工作之目的。另外「待辦事項」提醒功能可為使用者掌握各項未完成、待完成之工作，確保不遺漏緊急應變中之任何一項流程。

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畫優先順序的依據，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.本預警系統中利用 GIS 圖層套疊技術，並自行開發「土石流危險橋梁自動套疊搜尋」、「橋梁上下游水位、雨量站自動判別」程式，在災害資訊發佈後利即將災區與橋梁位置進行比對找出危險橋梁、並簡訊通報，全部過程皆為電腦自動化處理，無須人工操做，使橋梁災害判讀、通報的過程達到快速、精確的目標。

7.本預警系統採網路式(web)操作介面，在目前及未來網路快速蓬勃發展的趨勢下，系統的可得性、便利性大為提昇，不僅在個人電腦上可以進入操作，其他像 PDA、手機等可連上網路的設備基本上都可以使用本系統，使用者在進行現場調查時即可同時填寫調查表單、上傳現地照片等，達到調查資訊的即時性，減少時效落差。

8.本計畫在開發預警系統的過程中，與合作單位公路總局之工務段(景美、中和、谷關、苗栗)第一線的工程人員保持意見交流與反應，並且多次宣導、介紹、測試本系統，包括專家座談會、公路總局宣導演講、系統測試說明會、系統使用教育訓練；其間本團隊依據多方面的意見反應進行系統修正與新增模組功能，以及針對使用者對本系統架構、功能、機制提出之疑問加以解說，使得預警系統使用操作機能上更能符合現場實務需求，確保其實用性。

9.依據本預警系統之運作機制模式如圖 7-1 所示，未來可依不同主題如邊坡、隧道、港灣、道路等，進行擴充整合，提昇交通工程設施之防災能力。

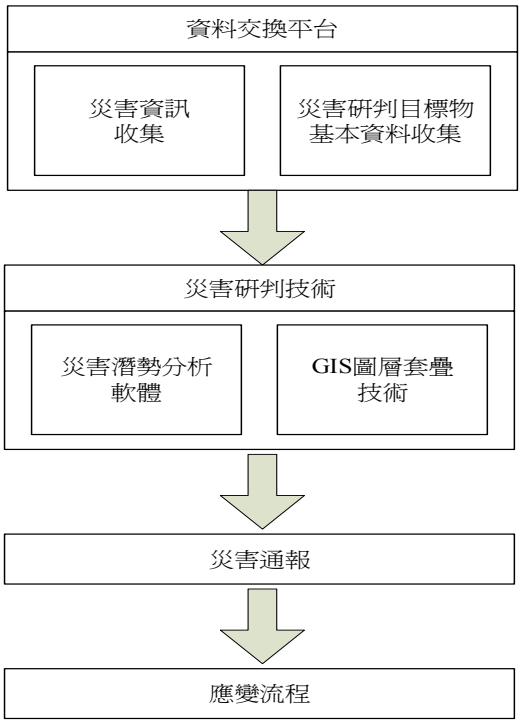


圖 7-1 預警系統基本運作機制流程

7.2 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畫，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。

5.本預警系統中災害通報的標準皆是參考相關之研究計畫之成果或橋梁管理機關現行做法而建立的，系統設計將此通報啟動的標準值(門檻值)保留其設定的彈性，因為本計畫目標是建立一災害預警系統及通報機制，通報標準值的擬定不在計畫範圍內，建議可針對各種災害彙集過往之研究成果、橋梁管理單位之現行做法與需求、專家學者之建議共同來擬定通報標準值。

6.本計畫由於與公路總局有許多交流，了解到公路管養單位所管轄之橋梁數量眾多，人力明顯的不足，第一線的工程師大多一人負責多座橋梁，在災害來臨時通常是以巡查的方式來確認橋梁狀況是否有安全問題。預警系統的目的之一是讓工程人員得到橋梁可能有災害發生的訊息，甚至可依發生機率排序，進而安排巡查橋梁的先後順序，針對最有可能發生災害的橋梁先做處置。若要達到人力有效的運用在橋梁防災作為上，建議需考量各工務段之橋梁數量及人力，配合本預警系統所提供之危險橋梁通報進行資源調配決策之研究，甚至進一步整合為一防救災決策支援系統。至於本系統所建置之各

種調查表單，在緊急應變階段所需填的項目不超過 13 項，皆為目視判定且只需點選，應能在短時間完成並且得到系統給予的建議措施。

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. 林同棪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. 陳清泉、蔡益超、張國鎮、李鴻源、李有豐、謝尚賢、單信瑜、許志揚、林詠彬，「河川橋梁沖刷並補強後之安全評估」第三年期末報告，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，「橋梁耐震補強準則」，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. 國立中央大學橋梁工程研究中心，「台灣省公路局橋梁管理系統開發計畫－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)汪副處長海鄂 (公路總局重大橋梁工程處)： 1. P6-1 頁請對 TBMS 橋梁資料交換測試完成，TELES 地震潛勢分析結果資料交換完成，其測試結果如何？對系統是否需要修正？請補充說明。 2. 本計畫研究重點在實際上線進行系統測試和公路局一工處景美段、中和段辦理測試，如何執行？如何達到測試效果？請擬訂一套實施計畫。	1. 感謝委員指導。已增列於 6.1.1 及 6.1.2 節。 2. 感謝委員指導。請參考第六章系統測試與教育訓練。	
(二)林助理教授大傑 (逢甲大學交管系)： 1. 資料庫之更新機制，有無基本資料分析之功能？	1. 感謝委員指導。本計畫中交換平台不重複建置現有系統之功能，基本資料分析功能在 TBMS 或其他資料提供系統中已具備，因此本系統只更新各外部	

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
	系統所提供之資料。	
2. 系統架構宜在報告中詳細說明，已利後續更新、升級、維護工作。	2. 感謝委員指導。系統架構於第五章有詳細說明。	
3. 系統安全性問題，有無考慮？	3. 感謝委員指導。在程式方面，系統提供不同帳號與不同權限之限制，避免權限不足之使用者接觸機密之資料。在硬體架構上，建議未來系統維護者能架設硬體防火牆，避免網路上之攻擊。	
4. 有無可能加入MMS之圖片傳送功能。	4. 感謝委員指導。考量到目前及未來網路的普及和大頻寬的發展趨勢，本系統採用照片直接上傳至本系統的方式再由 PDA 手機上網查看。	
5. 系統建構考慮周詳，值得肯定，建議與主要使用者確認實用性。	5. 感謝委員肯定。謹遵辦理。	
(三)吳組長鎮封 (公路總局養路組)： 1. 系統限閱問題有否注意？	1. 感謝委員指導。系統中各模組皆有權限之管	

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
	理，表單之調閱與填寫也採用帳號權限之限制，避免資料之外洩、誤填或誤改的問題發生。可參考 P6-7 頁 Q2。	
2. 系統通報是否可以相片傳送？	2. 感謝委員指導。在接收到災害通報後，工程人員到現場後，可使用掌上型電腦(PDA、PDA手機等)連結系統進行現地相片之上傳。可參考 P6-10 頁 Q5。	
3. 資訊與實際有落差問題，是否考慮過？	3. 感謝委員指導。此種狀況需在實際災害發生後，傳達資訊有落差時，進行調查是何種因素造成然後進行系統修正。本團隊將納為後續研究之課題。	
4. 設定通報標準值，請提出建議。	4. 感謝委員指導。已增加於 P7-4 頁第 5 點。	
5. 請擇期作測試。(如後續七、八月有颱風、豪雨時，依據各項災害災訊作實際之通報，本局提供信義、神木、谷關等區域相關橋梁資料)。	5. 感謝委員指導。謹遵辦理。系統測試說明請參考第六章之說明，本系統在測試期間所遭遇之颱風對測試區之橋梁皆未造成危害。	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
6. 九月時可否到本局宣導本系統。	6. 感謝委員邀請。謹遵辦理。	
7. 各種災害圖示顏色，建議參考氣象局、水保局之習慣色。	7. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
8. 橋梁資料庫日後維護管理，如何處理。	8. 感謝委員指導。本系統使用 SQL Server 資料庫，管理者可使用內建功能定期備份即可。	
9. P2-25 中所述 TBMS 模組種類已與實際系統不符，請修正。	9. 感謝委員指正。謹遵辦理。	
10. P2-20 中地震危害度分析、震災境況模擬及橋梁震損模擬等構成之 TELES 評估中，使用諸多模擬參數，是否會過於保守使得交通預警防災系統評估可能發生災害之機率過高？	10. 感謝委員指導。TELES 橋樑分析參數會隨著日後更多的研究結果與震災經驗不斷的調整，所以推估結果可能高估也可能低估，但都應落在可信賴的區間裡。TELES 也允許使用者更新資料庫內的分析參數，只要使用者本身有適合自己研究地區的參數，隨時可以更新參數庫進行震災境況模擬。	

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
11. P4-8 中所述以 921 集集地震為例，以 TELES 系統模擬地震橋災與實際橋梁比較，來印證諸多投入參數可靠度，其結果論述 TELES 系統模擬並無高估或低估橋災，惟圖 4-5、4-6 右上角 damage state 結果仍有差距(該部份未說明)，請澄清俾後續應用實務之可靠度；可否請研究團隊就先前發生之沖刷、土石流造成橋災之歷史事件，來驗證預警系統通報之失敗率是否有呈現較高結果。	11. 感謝委員指導。TELES 模擬結果顯示震後中度損壞以上的橋樑數量(D3, D4, D5)與實際損壞數量差異並不大，惟輕度損壞(D2)推估上與實際調查有所差異，可能原因來自調查人員對於橋樑輕度損壞的定義與程式定義不一樣，故造成數量上的差異。(D1 表示無損壞，數量不同是因為分析與調查的數量不同造成。)	
12. P4-33 中所述橋梁沖刷災害之預警部份，僅就附近有水位測站之橋梁說明其封橋水位之管控方式，但如橋梁附近無水位測站，其如何用累積雨量來預警及做為封橋水位之管控則未進一步詳述。	12. 感謝委員指導。已增加說明於 P4-33。	
13. P4-50 中橋梁土石流災害應變之預警方式，係颱風豪雨來臨時，以雨量累積為依據，將橋梁	13. 感謝委員指導。由於水保局發佈土石流紅色警戒區域時未進一步針對發生機率進行分	

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
位置圖層與土石流潛勢溪流圖層套疊，就座落於土石流紅色警戒區域之橋梁發出警訊；該部份需警戒之橋梁選取有無優先順序。	級，在缺乏其他有效的參考根據下，本系統亦無法將警戒區內之危險橋梁排列優先順序。	
14. P4-53 中所述利用 TBMS 橋梁腐蝕老化之資料呈現利用，僅係有地震、沖刷、土石流造成橋梁災害可能性時，就該疑慮橋梁呈現各構件 U 值狀況(U 值表維修之急迫性)，嚴格來講，僅初步了解構件之劣化程度，但並不能確切了解該構件之腐蝕老化情形(需檢測員於檢測意見欄有相關說明方可了解，但一般該方面敘述均缺乏)，故建議名詞做一適當修改。	14. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
15. P4-60 中所述有關橋梁監測訊息回傳本預警系統再簡訊傳送各管理者之機制，應請擇一現地監測工程做實況演練以確保運作機制。	15. 感謝委員指導。在本計畫中礙於系統開發時間緊湊以及國內橋梁監測不多，因此無法進行實際演練。	

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
16. 本系統之預警操作方式階是發佈損害機率較高橋梁，再派員至現場進一步檢測，以了解有無封橋或維修之必要，該流程應考慮橋梁管理單位管理橋梁多寡、人力充裕性問題，為能於第一時間做出決策性判斷，派員至現地檢查之機制(含檢查內容)有無修改空間，請檢討。	16. 感謝委員指導。謹遵辦理。請參考 P7-4 第 6 點。	
(四)許技正書王 (交通部科技顧問室)：		
1. 本研究成果如何確實落實到使用單位之對策與方法。(工務段？工務站？)	1. 感謝委員指導。本系統在開發階段即與公路總局之景美、中和、苗栗、谷關工務段及局本部保持合作與交流，並進行宣導、說明、系統測試教育訓練等工作。	
2. P3-24 與 P3-26 之鹼骨材反應與鹼質與粒料反應名詞建議統一。	2. 感謝委員指正。遵照辦理。	
3. 本研究未來適合之使用單位，請研究單位提出建議，是否包括外島等？	3. 感謝委員指導。本計畫由於開發階段與公路總局合作交流較為密切，因此初期建議先由	

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
	公路總局試行使用，但未來標是可讓所有橋梁管理單位來使用。	
4. AAR 之機理(文獻)，請修正為正確之過程。	4. 感謝委員指正。謹遵辦理，已修正於 P3-26。	
5. 建議本套系統是否考慮配合今年颱風防汛期到現場測試。	5. 感謝委員指導。由於系統測試期間颱風及豪雨皆未對測試區橋梁造成災害，因此並沒有相關的測試。	
6. 目前北市府或公路總局對地震的檢測橋梁機制是否一致？請參考。	6. 感謝委員指導。請參考 P6-8，Q3。	
(五)朱科長金元 (港灣技術研究中心)：		
1. 資料蒐集豐富，成果值得參考，研究團隊之努力值得肯定。	1. 感謝委員肯定。	
2. 第四章圖表中參考文獻之表示，是否妥當？請再斟酌。	2. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
3. 國內沖刷監測系統配置概況成效如何，能否達到 4.5.1 節所述的監測目的。	3. 感謝委員指導。目前國內橋梁沖刷監測技術大致上可達到所述之 1，3，4，5 點之目的，	

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
	而完整河床淘空深度之監測則大多以調查方式進行。	
4. 就本研究希望達成之系統預警功能而言，在哪些河川？哪些位置？須增加什麼樣之監測設備？能否再進一步敘述。	4. 感謝委員指導。由於本計畫並非特別針對河川監測，因此僅提概略性的建議：建議在主要河川(如急水溪、八掌溪)的上游靠儘橋梁的位置設置水位計。	
5. 此次碧利絲颱風過境，在南部造成相當災情，本系統是否有相當之驗證？	5. 感謝委員指導。碧利絲颱風侵颱時間為 7/13 至 7/15，當時系統尚在開發階段，而且測試區為中和景美工務段均在北部，因此橋梁災害部份並無特別災情。但 7/13~7/15 之災害資訊如土石流警戒區之發佈，本系統之資料交換平台都能即時且正確的擷取。	
(六)王研究員克尹 (港灣技術研究中心)：		
1. 本研究與目前本所進行之坡地、救災公路或橋梁管理系統，能否整合成一個系統？其架構如何請說明。	1. 感謝委員指導。請參考 P7-2 結論第 9 點有概略性的說明。	

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
2. 本研究之教育訓練課程內容在本報告中有提出，但其訓練時數、對象、人數等可否詳述。 ~~~~~~~以下空白~~~~~~~	2. 感謝委員指導。請參考P6-12，6.2 教育訓練之說明。 ~~~~~~~以下空白~~~~~~~	

附錄二 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　　2006/5/24

專家意見	意見回覆
(一)吳組長鎮封 (公路總局)：	
1. 本系統希望最後能夠實際運用在工務段橋梁防災預警上，此次座談會召集各工程處的一位代表副段長的用意是讓各工務段先了解這個系統的意義和功能。在目前系統開發的階段先以景美、中和兩工務段之橋梁做測試，若兩個工務段測試過後認為系統實用可行即可推廣至所有的工務段、工程處使用。	1. 感謝專家指導。
(二)李教授賢華 (中山大學)：	
1. 系統可在簡報時展示是值得肯定的，希望在期中報告時系統能夠更完善。	1. 感謝專家指導與肯定。
2. 此次座談會邀請系統將來的使用單位「公路總局」參加，交流使用上之問題需求是相當好的，值得肯定。	2. 感謝專家指導與肯定。
3. 預警警報發佈的警戒值是相當重要的，以地震為例，以 TELES 做潛勢分析所得之結果是否可靠？是否只有此一參考值？也許應有其他的參考值，土石流、洪水沖刷亦同。	3. 感謝專家指導。TELES 為目前國內最為先進亦是災害科技中心所推廣使用的地震潛勢分析系統，其中的橋梁震損評估模擬功能可針對各個橋梁進行震害評估，是目前可得最為精準的參考值。洪水沖刷部份在本系統中則以水利署之水位監測值為主、雨量站所監測之累積雨量為輔做為警戒值的依據。土石流則是以水保局所發佈的土石流警戒區域為主、雨量站累積雨量為輔。

專家意見	意見回覆
4. 警訊的通報建議應有回報的機制。警訊發出後，接收人是否有確實收到應做一回報的動作，否則通報單位無從得知是否傳遞完成。	4. 感謝專家指導。已進行此回報功能之設計規劃，內容請見 P.5-58。
5. 橋梁現況資料應多久更新一次？	5. 感謝專家指導。本系統所使用之橋梁基本資料是以資料交換平台自 TBMS(橋梁管理系統)所交換得來的，因此更新頻率視與 TBMS 相同。另外 TELES 應多久更新橋梁資料並進行分析更新橋梁震損模擬資料庫的問題，預訂將會在下半年度召開會議，邀請公路橋梁管理單位人員一同討論，決定適當的更新時程與方法，並在期末報告中提出建議。
6. 橋梁監測建議應納入。	6. 感謝專家指導。本系統有橋梁監測之警訊 e-mail 通報功能，請見 P.4-60。
(三)許技正書王 (交通部科技顧問室)：	
1. 系統應多進行測試以增加其可靠度。	1. 感謝專家指導。本年度的計畫工作項目中有包含「系統測試與修正」排定於下半年度實施，先期規劃內容請見 P.6-3。
2. 本系統多為網路功能，在災害時應考慮電力及網路狀況，如有斷電、斷訊時該如何因應？請提建議需求設備、網路之規格。	2. 感謝專家指導。本系統所需之軟硬體設備、操作環境等將會在期末報告及系統使用說明手冊中說明。
3. 老化腐蝕對橋梁安全影響重大，可能是橋梁複合式災變的主因，這方面的資訊如何提供給使用者？	3. 感謝專家指導。老化腐蝕目前僅在 TBMS 中有檢測資料數據，而本系統所取得的資訊包括 U 值(維修急迫性)及腐蝕部位提供予使用者參考。

專家意見	意見回覆
4. 本系統與公路總局的「災時高效率高經濟補強」系統有許多相似之處，希望本系統能夠做的更為完備。	4. 感謝專家指導。本系統是以「災時高效率高經濟補強」系統為基礎，再加入自行開發設計之「資料交換平台」、「GIS 圖層顯示模組」、「簡訊通報」功能等所組成之系統。
(四)汪副處長海鄂 (公路總局重大橋梁工程處)：	
1. 系統的測試建議應先規劃。	1. 感謝專家指導。請見 P.6-3。
2. 災害資訊中，地震災害資訊發佈時系統可否主動在發佈第一時間立刻取得而不是等間隔頻率到了才擷取？	2. 感謝專家指導。中央氣象局有提供地震資訊 e-mail 通知服務，已進行申請手續。未來中央氣象局在地震發生時將會主動以 e-mail 提供本系統所需之地震資訊。
(五)蘇科長文崎 (公路總局)：	
1. 目前公路總局有要求運研所橋梁管理系統在橋梁基本資料中增加一些欄位，以能夠填入更完善之橋梁及當地環境的資料，這樣是否能夠提供 TELES 足夠的分析資料？	1. 感謝專家指導。為了能夠取得足夠之橋梁資料提供予 TELES 進行地震潛勢分析，本系統擬建立一橋梁資料表單，其中大部份橋梁資料可由 TBMS 資料交換取得，不足的資料則需由使用者填具。
2. 在得知哪些橋梁損壞後，是否能夠提出建議替代道路路線？	2. 感謝專家指導。替代道路規劃的功能並不在本計劃範圍內。
3. 目前公路總局橋梁監測的工作的確已全部結束，但仍可能有各工程處各自發包的監測工程在進行，建議用這些監測案來做測試。	3. 感謝專家指導。將視計劃時程參酌辦理。

專家意見	意見回覆
(六)謝副段長宗曉 (公路總局第一區養護工程處景美工務段)：	
1. 關於洪水沖刷的預警考量到防救災前須準備器材、招集人員，是否可以用洪峰預測的方式來做預警以利工務單位做防災、救災的前置準備？	1. 感謝專家指導。本計劃在開始之初即積極的與水利單位(水利署、第十河川局)、防災科技中心、水利專家訪談詢問，洪峰預測目前仍停留在學術研究階段，尚無實際應用之例子或資訊。本系統所取得水利署發佈的水位測站水位高程監測值，其中包含水位上升速率資訊，可大約預估水位達警戒值之時間，惟預先通報之標準還需與公路橋梁管理單位人員一同討論決定，將在期末報告中提出說明。
(七)陳副段長俊堯 (公路總局第一區養護工程處中和工務段)：	
1. 關於 TELES 分析所需橋梁資料的不足，TBMS 無法完整提供完整的資料做分析，缺的資料建議可在橋檢時順便調查。	1. 感謝專家指導。
(八)楊副段長凱麟 (公路總局第五區養護工程處曾文工務段)：	
1. 在評估表單中有些評分項目是非量化的，工務段的人員並非每位都有橋檢人員的專業能力能夠正確的填寫這些表單項目，建議將來真正在用這個系統時，可以讓表單簡化並且不需要太多專業判斷。	1. 感謝專家指導。

專家意見	意見回覆
(九)李增南 工程師 (鐵路局橋隧科)：	
1. 關於橋梁沖刷災害的部份，橋梁會因沖刷而破壞往往是在洪水過後橋墩基礎被淘空所致，而不是在洪水發生時，提供這點建議供參考。	1. 感謝專家指導。本系統在洪水沖刷災害部份的「耐洪能力初步評估表」(請見 P.4-35)就是在平時的調查使用，在洪水過後本系統將會建議對橋梁進行此項調查。
(十)朱科長金元 (港灣技術研究中心)：	
1. 本預警系統彙集了其他許多的災害資訊、評估表單，希望在報告中能夠提出建議這些資訊的來源能夠多提供哪些資料以提供預警的精確度。	1. 感謝專家指導。本團隊將此問題納入工作會議討論項目，並於期末報告提出完整的建議。
2. 本系統的預警應更詳細的定位，例如在災害應變流程中是在哪個階段發生作用。	2. 感謝專家指導。
(十一)巫柏蕙 工程師 (交通部運輸研究所)：	
1. 本系統的交換平台可以抓取其他許多單位網頁上所發佈的災害資訊，但當所要抓取的網頁網址或頁面有異動時可能就會無法抓取，建議可向該單位申請由該單位主動給予災害資訊的服務更為可靠。	1. 感謝專家指導。主動提供災害資訊的服務並非所以的單位都有，目前有提供 e-mail 災害資訊的部份有：中央氣象局提供地震資訊。土石流警戒區的發佈則是水保局以 Web Service 方式提供，也沒有網頁異動的問題。至於水利署所發佈的水位監測值則沒有主動提供的服務。
2. 請提出說明將來是哪些單位使用此系統、要準備哪些設備。	2. 感謝專家指導。將在期末報告中提出說明。

專家意見	意見回覆
3. 請研究團隊提出建議預警系統是否可以和橋梁管理系統整合成為一個系統、可如何整合如何進行。 ~~~~~~~以下空白~~~~~~~~~~	3. 感謝專家指導。本團隊將進行討論並於期末報告中提出建議。 ~~~~~~~以下空白~~~~~~~~~~

附錄三　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)汪副處長海鄂 (公路總局重大橋梁工程處)： 1. 本系統建立的最終目的，是要有實用性，如何真正的由橋梁管理單位應用在實際的工作上，本研究教育訓練只有 2 個小時較為不夠，教育訓練時各單位參與人員的建議事項，接受度如何？今後的重點將是如何的技術轉移到使用單位，如何教育訓練，能夠進入狀況，這也是研究團隊的責任，在技術轉移中，也會將一些實際的問題反應出來，回饋到本系統做一修正，使本系統更完整更實用。	1. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
2. 建議事項 1.TBMS 中可以增加 TELES 所需欄位，這項工作應如何進行，此項可以和地震災害時橋梁檢測通報門檻值的訂定，可以做為後續研究的方向。	2. 感謝委員指導。謹遵辦理，將納入為後續研究方向。	

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
(二)張金機 先生 (港灣技術研究中心)：		
1. 本計畫目標遠大，「災害防救」大幅提升為「預警」，所需資訊多而複雜，尤其地震預警不易達成，本計畫「風險評估」，預警架構，尤其資訊交換平台，貢獻值得肯定。	1. 感謝委員肯定。	
2. 集集地震災害橋梁調查 Fig4-5，與 TELES 模擬結果 Fig4-6 相當符合，但 P4-8 為何敘述基本資料缺乏？	2. 感謝委員指導。已增加說明於 P4-8。	
3. 橋梁沖刷災害應變→評估耐洪能力，再根據水位（或雨量）進入應變階段很務實作法，累積雨量建議改為雨量強度或雨量與水位（洪峰）關係。	3. 感謝委員指導。參酌辦理並納入為後續研究方向。	
4. 封橋除水位外，建議考慮水位上升速度及上游雨量強度。	4. 感謝委員指導。參酌辦理並納入為後續研究方向。	
5. 通報啟動標準值，建議根據過去災損橋梁，利用風險評估方法→建	5. 感謝委員指導。參酌辦理並納入為後續研究方向。	

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
立標準值。		
(三)林助理教授大傑 (逢甲大學交管系)： 1. 系統架構適切，符合軟體使用之要求，建議與工程單位做更深入之測試，以符合使用單位的需求。	1. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
2. 操作手冊建議，對架構做說明，安裝、設置說明。	2. 感謝委員指導。系統安裝說明已增加於附錄四，第五章。	
3. 系統整合完成度高，建議期末審查通過。	3. 感謝委員肯定。	
4. 建議中之決策支援系統 (DSS) 確有需要，建議委託單位納入考慮建制。	4. 感謝委員指導。	
(四)吳組長鎮封 (公路總局養路組)： 1. 恭禧本研究計畫獲獎。	1. 感謝委員肯定。	
2. 計畫通過後，請運研所報部核示由本局試用，包括提供建議採購配備及日後連繫窗口（有問題時），是否需	2. 感謝委員指導。資料建檔正確性問題在本系統中無法做驗證把關，本系統所得之橋梁資料是由橋梁管理系	

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
費用？另資料建檔檢查機制正確性問題？	資料交換而得，因此無從檢驗。	
3. 操作手冊，簡單易用較好。	3. 感謝委員指導。謹遵辦理。	
4. 手冊上網問題多多，手機容量是否足夠？	4. 感謝委員指導。本團隊將進行手機容量的測試，務求能夠達到方便使用、可行之目標。	
5. 除已建檔之 4 個工務段橋梁外尚有 28 個工務段橋梁基本資料如何處理？	5. 感謝委員指導。橋梁基本資料可由本系統的資料交換平台取得，座標則需貴局另外提供，一切處理程序如本計畫執行之流程。	
6. 橋梁預警產生危險因素很多，報告未考慮納入者，如結構問題老化問題是否會再做考量納入研究。	6. 感謝委員指導。參酌辦理。	
(五)許技正書王 (交通部科技顧問室)：		
1. 實際應用時，應有使用手冊供作運用，較為實際，已在期末展現值得肯定。	1. 感謝委員肯定。	
2. 相關單位若欲使用，應	2. 感謝委員指導。本團隊	

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
如何對應，建議研究單位應提出建議方案。	納入為後續研究方向。	
3. P3-6 等照片應清晰為宜。	3. 感謝委員指導。由於照片經過掃描與印刷後畫質較難掌控，已儘量提高畫質。	
4. P5-41 管理者可依據最短或最低經費進行排序，建議改為依掌握的資源進行。	4. 感謝委員指導。可掌握資源範圍頗大、包含救災資源、人力等，且無明確的標準進行排序，而已最短工期及最小成本做為排序標準較為明確，另外此結果僅為建議，並非決策。	
5. 教育訓練應針對本研究之成果進行訓練(P6-12)。	5. 感謝委員指導。該教育訓練課表為當日於港研中心所舉辦之系列課程，並非整合教育訓練，本計畫之教育訓練的確是針對本研究成果進行。	
6. 期中報告中(附錄 2.3)許….2.之回覆請說明。	6. 感謝委員指導。本系統因應網路斷訊時之作為是以單機版本系統操作、填寫表單，待網路恢復後再匯入資料至系統中。另外軟硬體建議設備請參考附錄四使用手冊第四章之	

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	
(六)巫副研究員柏蕙 (交通部運研所運工組)：		
1. 報告書 2-25~2-29 頁有關台灣地區橋梁管理系統之描述及畫面均為舊版的管理系統，若時間允許希望可以調整為新版。	1. 感謝委員指正。已更新修正。	
2. 4-54 頁 4.4 節，按目前管理單位的習慣，U 值常常都未填，萬一未填，老化腐蝕的預警功能否就無法啟動？	2. 感謝委員指導。若無資料本系統無法提供預警。本團隊已另外進行其他參考值引用輔助之可行性研究，如 CI 值。	
3. 5-54 頁 5.10 節倒數第 3 行「期末報告將介紹簡訊雙向通訊功能」，目前已是期末報告，請調整用字。	3. 感謝委員指正。已修正。	
4. 巡查的順序是用通行失敗率來排定嗎？所以 90%先於 80%…？	4. 感謝委員指導。通行失敗機率越高代表該橋梁產生通行危險機會越大，需要緊急處理，因此巡查的排序是根據通行失敗機率由大至小排序。	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. 若有多重（複合）災害，如地震＋洪水，巡查的排序機制為何？	5. 感謝委員指導。本計畫範圍僅針對在單一災害下橋梁之預警，因此無法對複合式災害提出預警及排序。	
6. 預警系統與一般的維護系統 （如橋梁管理系統）應分立或整合？若把 TBMS 併入此預警系統是否可行？	6. 感謝委員指導。本團隊將問題納入後續研究之方向。	
7. 若每次地震發生都將全省 2 萬多座橋梁送 TELES 分析似乎過於耗費資源也沒效率，在研究單位是否有定義一個範圍（如以震央為中心，500 公尺半徑內），分析該範圍的橋梁即可？	7. 感謝委員指導。TELES 分析並非在每次地震時就做一次，而是在地震未發生前的平時就已完成分析建立為橋梁災損資料庫，在地震發生後以很快的速度搜尋出最接近之地震事近及橋梁損壞狀況做為災害處理的參考依據。	
(七)延工程司允中 (公路總局養路組)：		
1. 各橋梁構件老劣化狀況係以 DERU 呈現，整體橋況則透過 DERU 值計算後以 CI 值呈現，因考量一座橋梁構件多，U=3 之構件	1. 感謝委員指導。將納入為後續之研究方向。	

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
將有一定數量，屆時資料呈現將多而雜，故建議應以橋梁整體老劣化指標 CI 值來取代 U 值做為通報時機點較適宜；又 CI 值較低時表應儘速辦理維修，惟考量管理機關礙於經費無法即時維修，時間一久可能忘了該代辦事項，故建議增加定期簡訊提醒 CI 值低尚未辦維修之橋梁名稱功能。		
2. 建議應以橋梁整體 CI 值考量，於損壞機率上做一損壞加成後於簡訊通知災害橋檢中附帶說明 CI 值狀況。	2. 感謝委員指導。參酌辦理，將納入為後續之研究方向。	
3. 待（未）辦事項查明部分，如後續僅需緊急調查而無需再安全評估，那不需辦理部分之簡訊提醒功能可否設計取消？	3. 感謝委員指導。已在系統中修正。	
(八)李教授賢華 (中山大學海工系)：		
1. 在各種災害評估中，特別是橋梁震損評估橋	1. 感謝委員指導。謹遵辦理。	

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
梁結構之現況資料極為重要，宜適度、適時更新，期末報告中並未見因應措施(見頁4-15) ，宜改進。		
2. 本案在十月份辦理了教育訓練課程，針對公路總局各局處工程人員施以使用訓練，甚佳，惟訓練成果如何，使用者之反應，優缺點改進處及使用之方便性，所需知識配合，宜有檢討及說明，以便實務應用時，能確實掌握防災之及時性。	2. 感謝委員指導。謹遵辦理。請參考第六章，使用者反應問題與本團隊處理情形。	
~~以下空白~~~~~~~	~~~~~~~以下空白~~~~~~~	

附錄四　橋梁防災預警系統操作手冊

目　錄

目　錄 附錄四-2
圖　目　錄 附錄四-4

第一章　前言 附錄四-17
第二章　軟體代理人(Agent Server) 附錄四-18
第三章　防災預警系統各功能模組介紹 附錄四-24
3.1 災害資訊管理 附錄四-27
3.1.1 災害警訊事件 附錄四-28
3.1.2 監測資料歷史記錄 附錄四-38
3.2 橋梁資料管理 附錄四-49
3.2.1 查看橋梁資料 附錄四-49
3.2.2 搜尋橋梁資料 附錄四-51
3.3 檢測表單管理 附錄四-53
3.3.1 地震檢測表 附錄四-54
3.3.2 洪水檢測表 附錄四-93
3.4 資料管理 附錄四-112
3.4.1 破壞參考圖例 附錄四-113
3.4.2 補強技術資料 附錄四-119
3.4.3 補強工法經費工期預設值設定 附錄四-123
3.4.4 統計分析 附錄四-125

3.5 決策輔助 附錄四-130
3.5.1 補強方案評估 附錄四-131
3.5.2 案例推理模式 附錄四-142
3.5.3 橋柱鋼板補強計算 附錄四-144
3.5.4 橋柱 FRP 補強計算 附錄四-147
3.6 案例管理 附錄四-149
3.6.1 新增案例 附錄四-150
3.6.2 刪除案例 附錄四-152
3.6.3 修改案例 附錄四-154
3.7 系統維護 附錄四-155
3.7.1 使用者管理 附錄四-156
3.7.2 權限設定 附錄四-161
3.7.3 使用說明 附錄四-163
3.7.4 系統參數設定 附錄四-165
3.7.5 版本說明 附錄四-166
第四章 系統軟硬體需求 附錄四-167
第五章 系統安裝說明 附錄四-168
5.1 Java2 SDK 安裝步驟 附錄四-168
5.2 SQL Server 2000 安裝步驟 附錄四-171
5.3 Jsp Server 安裝步驟 附錄四-178
5.4 Agent 安裝步驟 附錄四-179
5.5 ESRI ArcGIS Server 安裝步驟 附錄四-181

圖　目　錄

圖 2-1 軟體代理人畫面 附錄四-18
圖 2-2 台灣地區橋梁管理系統主畫面 附錄四-18
圖 2-3 系統登入與帳號輸入 附錄四-19
圖 2-4 基本資料模組畫面 附錄四-19
圖 2-5 設定條件.....附錄四-20
圖 2-6 符合條件之橋梁 附錄四-20
圖 2-7 橋梁基本資料欄位 附錄四-21
圖 2-8 抓取單筆資料.....附錄四-21
圖 2-9 批次抓取橋梁資料 附錄四-22
圖 2-10 網頁設定.....附錄四-22
圖 2-11 系統設定畫面.....附錄四-23
圖 3-1 登入畫面.....附錄四-24
圖 3-2 登入成功畫面.....附錄四-25
圖 3-3 主系統畫面介紹 附錄四-26
圖 3-4 模組功能選單.....附錄四-27
圖 3-5 災害資訊管理功能選項 附錄四-27
圖 3-6 災害警訊事件功能選項 附錄四-28
圖 3-7 災害分佈圖.....附錄四-28
圖 3-8 災害詳細資料.....附錄四-29
圖 3-9 可能破壞橋梁清單 附錄四-29
圖 3-10 橋梁基本資料.....附錄四-30
圖 3-11 評估流程圖.....附錄四-30
圖 3-12 評估流程圖(續).....附錄四-31
圖 3-13 災情調查表填寫 附錄四-31
圖 3-14 完成災情調查表 附錄四-32

圖 3-15 災情調查表填寫完成 附錄四-32
圖 3-16 緊急調查表填寫 附錄四-33
圖 3-17 緊急調查表填寫(續).....附錄四-33
圖 3-18 完成緊急調查表 附錄四-34
圖 3-19 緊急調查表填寫完成 附錄四-34
圖 3-20 緊急評估表填寫 附錄四-35
圖 3-21 破壞圖例選擇.....附錄四-35
圖 3-22 系統給予等級.....附錄四-36
圖 3-23 選擇判定標準圖 附錄四-36
圖 3-24 系統給予等級.....附錄四-37
圖 3-25 表單送出.....附錄四-37
圖 3-26 流程完成.....附錄四-38
圖 3-27 系統送出簡訊至管理階層 附錄四-38
圖 3-28 監測資料歷史記錄功能 附錄四-39
圖 3-29 最新五筆地震資料 附錄四-39
圖 3-30 選擇 TELES 篩選條件 附錄四-40
圖 3-31 地震列表.....附錄四-40
圖 3-32 TELES 分析結果 附錄四-41
圖 3-33 選擇水位篩選條件 附錄四-41
圖 3-34 分區水位站列表 附錄四-42
圖 3-35 水位站監測值.....附錄四-42
圖 3-36 土石流篩選條件 附錄四-43
圖 3-37 土石流清單.....附錄四-43
圖 3-38 選擇查詢項目.....附錄四-44
圖 3-39 選擇災害類型.....附錄四-44
圖 3-40 選擇時間點.....附錄四-45
圖 3-41 地震資料.....附錄四-45

圖 3-42 水位站 GIS 圖層 附錄四-46
圖 3-43 水位站資料.....附錄四-46
圖 3-44 TELES 分析可能受損橋梁 附錄四-47
圖 3-45 TELES 分析結果列表 附錄四-47
圖 3-46 沖刷災害影響橋梁列表 附錄四-48
圖 3-47 雙向簡訊回覆紀錄 附錄四-48
圖 3-48 橋梁資料管理.....附錄四-49
圖 3-49 選擇條件.....附錄四-50
圖 3-50 符合條件之橋梁列表 附錄四-50
圖 3-51 橋梁基本資料.....附錄四-51
圖 3-52 修改通報人.....附錄四-51
圖 3-53 選擇條件.....附錄四-52
圖 3-54 列出符合條件之橋梁 附錄四-52
圖 3-55 刪除此筆橋梁資料 附錄四-53
圖 3-56 刪除成功訊息.....附錄四-53
圖 3-57 檢測表單管理.....附錄四-54
圖 3-58 地震檢測表功能選項 附錄四-54
圖 3-59 災情調查表功能 附錄四-55
圖 3-60 選擇橋梁條件.....附錄四-55
圖 3-61 符合條件之橋梁 附錄四-56
圖 3-62 新增一筆災情調查表 附錄四-56
圖 3-63 建立完成訊息.....附錄四-57
圖 3-64 刪除災情調查表條件 附錄四-57
圖 3-65 符合條件之表單 附錄四-58
圖 3-66 確認刪除此筆資料 附錄四-58
圖 3-67 刪除成功之訊息 附錄四-59
圖 3-68 修改調查表之條件 附錄四-59

圖 3-69 符合條件之表單 附錄四-60
圖 3-70 修改災情調查表 附錄四-60
圖 3-71 修改成功訊息.....附錄四-61
圖 3-72 查看調查表條件勾選 附錄四-61
圖 3-73 符合條件之表單 附錄四-62
圖 3-74 查看災情調查表 附錄四-62
圖 3-75 搜尋災情調查表功能 附錄四-63
圖 3-76 勾選篩選條件.....附錄四-63
圖 3-77 符合條件之橋梁 附錄四-64
圖 3-78 選擇匯入檔案.....附錄四-64
圖 3-79 選擇匯入檔案路徑 附錄四-65
圖 3-80 緊急調查表.....附錄四-65
圖 3-81 選擇條件.....附錄四-66
圖 3-82 列出符合條件之橋梁 附錄四-66
圖 3-83 填寫緊急調查表 附錄四-67
圖 3-84 送出表單.....附錄四-67
圖 3-85 儲存成功訊息.....附錄四-68
圖 3-86 選擇條件.....附錄四-68
圖 3-87 選擇欲刪除之表單 附錄四-69
圖 3-88 確認是否刪除表單 附錄四-69
圖 3-89 刪除成功訊息.....附錄四-70
圖 3-90 選擇條件.....附錄四-70
圖 3-91 符合條件之表單 附錄四-71
圖 3-92 修改確認.....附錄四-71
圖 3-93 修改成功訊息.....附錄四-72
圖 3-94 選擇條件.....附錄四-72
圖 3-95 符合條件之檢查表 附錄四-73

圖 3-96 查看緊急調查表 附錄四-73
圖 3-97 結束查看.....附錄四-74
圖 3-98 選擇條件.....附錄四-74
圖 3-99 選擇此表單之動作 附錄四-75
圖 3-100 選擇條件.....附錄四-75
圖 3-101 符合條件之橋梁 附錄四-76
圖 3-102 選擇匯入表單路徑 附錄四-76
圖 3-103 選取電腦中檔案 附錄四-77
圖 3-104 緊急評估表功能 附錄四-77
圖 3-105 選擇條件.....附錄四-78
圖 3-106 符合條件之橋梁 附錄四-78
圖 3-107 填寫緊急評估表 附錄四-79
圖 3-108 破壞參考圖例 附錄四-79
圖 3-109 判定標準圖例 附錄四-80
圖 3-110 系統自動評等 附錄四-80
圖 3-111 儲存成功訊息 附錄四-81
圖 3-112 選擇欲加入之圖檔 附錄四-81
圖 3-113 選取電腦中圖檔 附錄四-82
圖 3-114 加入圖檔說明 附錄四-82
圖 3-115 完成上傳圖片 附錄四-83
圖 3-116 刪除表單條件設定 附錄四-83
圖 3-117 符合條件之表單 附錄四-84
圖 3-118 欲刪除表單內容 附錄四-84
圖 3-119 刪除成功訊息 附錄四-85
圖 3-120 修改表單條件設定 附錄四-85
圖 3-121 符合條件之表單 附錄四-86
圖 3-122 修改表單內容 附錄四-86

圖 3-123 修改表單(續).....附錄四-87
圖 3-124 修改表單成功訊息 附錄四-87
圖 3-125 選擇查看表單之條件 附錄四-88
圖 3-126 符合條件之表單 附錄四-88
圖 3-127 查看表單內容 附錄四-89
圖 3-128 觀看圖檔按鈕 附錄四-89
圖 3-129 圖檔列表.....附錄四-90
圖 3-130 搜尋表單條件設定 附錄四-90
圖 3-131 搜尋結果.....附錄四-91
圖 3-132 匯入表單橋梁條件設定 附錄四-91
圖 3-133 符合條件之橋梁 附錄四-92
圖 3-134 匯入表單.....附錄四-92
圖 3-135 選取檔案.....附錄四-93
圖 3-136 洪水檢測表.....附錄四-93
圖 3-137 耐洪能力初步評估功能 附錄四-94
圖 3-138 選擇條件.....附錄四-94
圖 3-139 符合條件之橋梁 附錄四-95
圖 3-140 填寫表單.....附錄四-95
圖 3-141 系統加總分數 附錄四-96
圖 3-142 新增成功.....附錄四-96
圖 3-143 刪除表單條件設定 附錄四-97
圖 3-144 確認刪除表單 附錄四-97
圖 3-145 表單刪除成功 附錄四-98
圖 3-146 修改表單條件設定 附錄四-98
圖 3-147 符合條件之表單 附錄四-99
圖 3-148 修改表單內容 附錄四-99
圖 3-149 修改成功.....附錄四-100

圖 3-150 查看表單條件設定 附錄四-100
圖 3-151 符合條件之表單 附錄四-101
圖 3-152 查看表單內容 附錄四-101
圖 3-153 設定搜尋表單條件 附錄四-102
圖 3-154 符合條件之表單 附錄四-102
圖 3-155 沖刷損壞分級快速檢查表功能 附錄四-103
圖 3-156 設定條件.....附錄四-103
圖 3-157 符合條件之橋梁 附錄四-104
圖 3-158 填寫表單.....附錄四-104
圖 3-159 確認送出表單 附錄四-105
圖 3-160 新增成功.....附錄四-105
圖 3-161 設定刪除表單條件 附錄四-106
圖 3-162 符合條件之表單 附錄四-106
圖 3-163 刪除表單.....附錄四-107
圖 3-164 刪除表單成功 附錄四-107
圖 3-165 修改表單之條件 附錄四-108
圖 3-166 符合條件之表單 附錄四-108
圖 3-167 修改內容.....附錄四-109
圖 3-168 確認修改表單 附錄四-109
圖 3-169 修改成功.....附錄四-110
圖 3-170 選擇查看表單條件 附錄四-110
圖 3-171 符合條件之表單 附錄四-111
圖 3-172 結束查看.....附錄四-111
圖 3-173 設定搜尋表單之條件 附錄四-112
圖 3-174 選擇功能.....附錄四-112
圖 3-175 資料管理功能選項 附錄四-113
圖 3-176 破壞參考圖例功能選項 附錄四-113

圖 3-177 破壞參考圖資料管理 附錄四-114
圖 3-178 選擇橋梁部位 附錄四-114
圖 3-179 新增破壞圖例 附錄四-115
圖 3-180 選擇圖片檔案 附錄四-115
圖 3-181 輸入說明與等級 附錄四-116
圖 3-182 完成資料新增 附錄四-116
圖 3-183 選擇刪除圖檔 附錄四-117
圖 3-184 刪除圖檔內容 附錄四-117
圖 3-185 刪除成功訊息 附錄四-118
圖 3-186 修改圖檔內容 附錄四-118
圖 3-187 修改成功訊息 附錄四-119
圖 3-188 補強技術資料 附錄四-120
圖 3-189 填寫補強技術內容 附錄四-120
圖 3-190 新增成功.....附錄四-121
圖 3-191 選取刪除工法名稱 附錄四-121
圖 3-192 刪除工法內容 附錄四-122
圖 3-193 刪除成功訊息 附錄四-122
圖 3-194 修改補強工法欄位值 附錄四-123
圖 3-195 修改完成.....附錄四-123
圖 3-196 工法供其經費預設值設定 附錄四-124
圖 3-197 修復工法設定 附錄四-124
圖 3-198 補強工法設定 附錄四-125
圖 3-199 更新成功.....附錄四-125
圖 3-200 統計分析類別選項 附錄四-126
圖 3-201 條件設定.....附錄四-126
圖 3-202 結構型式數量統計 附錄四-127
圖 3-203 緊急調查等級統計 附錄四-127

圖 3-204 緊急調查表單連結 附錄四-128
圖 3-205 緊急評估等級統計 附錄四-128
圖 3-206 緊急評估表單連結 附錄四-129
圖 3-207 耐洪能力評估統計 附錄四-129
圖 3-208 耐洪能力表單連結 附錄四-130
圖 3-209 決策輔助功能 附錄四-130
圖 3-210 補強方案評估功能 附錄四-131
圖 3-211 設定條件.....附錄四-132
圖 3-212 符合條件之表單 附錄四-132
圖 3-213 橋梁評估表內容 附錄四-133
圖 3-214 建立補強方案 附錄四-133
圖 3-215 勾選先行後續工法 附錄四-134
圖 3-216 先行工法設定 附錄四-134
圖 3-217 後續工法設定 附錄四-135
圖 3-218 先行後續組合 附錄四-135
圖 3-219 暫存補強方案 附錄四-136
圖 3-220 結構部位進行最佳組合 附錄四-136
圖 3-221 選擇排序方式 附錄四-137
圖 3-222 選擇補強方案 附錄四-137
圖 3-223 新增方案.....附錄四-138
圖 3-224 設定條件.....附錄四-138
圖 3-225 符合條件之方案 附錄四-139
圖 3-226 刪除方案.....附錄四-139
圖 3-227 設定條件.....附錄四-140
圖 3-228 符合條件之方案 附錄四-140
圖 3-229 查看方案.....附錄四-141
圖 3-230 設定條件.....附錄四-141

圖 3-231 勾選方案.....附錄四-142
圖 3-232 多方案比較表.....附錄四-142
圖 3-233 設定條件.....附錄四-143
圖 3-234 符合條件之橋梁.....附錄四-143
圖 3-235 橋梁基本資料.....附錄四-144
圖 3-236 推論結果.....附錄四-144
圖 3-237 鋼板補強.....附錄四-145
圖 3-238 橋柱數據.....附錄四-145
圖 3-239 選擇補強方式.....附錄四-146
圖 3-240 計算結果.....附錄四-146
圖 3-241 補強經費.....附錄四-147
圖 3-242 FRP 補強.....附錄四-147
圖 3-243 橋柱資料.....附錄四-148
圖 3-244 計算結果.....附錄四-148
圖 3-245 補強經費.....附錄四-149
圖 3-246 案例管理功能.....附錄四-149
圖 3-247 選擇橋梁條件.....附錄四-150
圖 3-248 符合條件之橋梁.....附錄四-150
圖 3-249 選擇結構類型.....附錄四-151
圖 3-250 填寫案例內容.....附錄四-151
圖 3-251 新增案例.....附錄四-152
圖 3-252 設定條件.....附錄四-152
圖 3-253 符合條件之案例.....附錄四-153
圖 3-254 確認刪除.....附錄四-153
圖 3-255 完成刪除.....附錄四-154
圖 3-256 設定橋梁條件.....附錄四-154
圖 3-257 破壞案例管理功能.....附錄四-155

圖 3-258 系統維護功能 附錄四-155
圖 3-259 使用者維護.....附錄四-156
圖 3-260 帳號登入歷史紀錄 附錄四-157
圖 3-261 填寫帳號內容 附錄四-157
圖 3-262 新增使用者帳號 附錄四-158
圖 3-263 新增帳號訊息 附錄四-158
圖 3-264 刪除使用者帳號 附錄四-159
圖 3-265 刪除使用者成功訊息 附錄四-159
圖 3-266 修改使用者帳號 附錄四-160
圖 3-267 完成修改.....附錄四-160
圖 3-268 新增橋梁通報人 附錄四-161
圖 3-269 完成儲存.....附錄四-161
圖 3-270 帳號群組.....附錄四-162
圖 3-271 系統管理者權限 附錄四-162
圖 3-272 工程師權限.....附錄四-163
圖 3-273 一般使用者權限 附錄四-163
圖 3-274 使用說明.....附錄四-164
圖 3-275 線上 PDF 版本 附錄四-164
圖 3-276 下載使用手冊 附錄四-165
圖 3-277 系統參數設定 附錄四-165
圖 3-278 版本說明.....附錄四-166
圖 5-1 授權畫面.....附錄四-168
圖 5-2 安裝選項畫面.....附錄四-169
圖 5-3 瀏覽器選項.....附錄四-169
圖 5-4 安裝狀態畫面.....附錄四-170
圖 5-5 安裝成功畫面.....附錄四-170
圖 5-6 SQL Server 2000 的安裝畫面 附錄四-171

圖 5-7 選擇安裝 SQL Server 2000 元件的畫面 附錄四-171
圖 5-8 SQL Server 2000 安裝精靈的歡迎畫面 附錄四-172
圖 5-9 選擇安裝的機器畫面 附錄四-172
圖 5-10 選擇安裝選項的畫面 附錄四-173
圖 5-11 輸入使用者資訊的畫面 附錄四-173
圖 5-12 使用者授權合約的畫面 附錄四-174
圖 5-13 選擇安裝元件的畫面 附錄四-174
圖 5-14 規劃執行個體名稱的畫面 附錄四-175
圖 5-15 安裝類型選項畫面 附錄四-175
圖 5-16 規劃服務帳戶的畫面 附錄四-176
圖 5-17 決定驗證模式的畫面 附錄四-176
圖 5-18 開始複製檔案畫面 附錄四-177
圖 5-19 選擇授權模式畫面 附錄四-177
圖 5-20 網路伺服器安裝執行檔 附錄四-178
圖 5-21 安裝目錄設定.....附錄四-178
圖 5-22 安裝成功畫面.....附錄四-179
圖 5-23 安裝執行檔畫面 附錄四-179
圖 5-24 安裝目錄設定畫面 附錄四-180
圖 5-25 安裝結束畫面.....附錄四-180
圖 5-26 執行 setup.exe 檔進行安裝 附錄四-181
圖 5-27 ArcGIS Server 安裝畫面.....附錄四-182
圖 5-28 版權宣告及軟體合約內容 附錄四-182
圖 5-29 Server 特性設定.....附錄四-183
圖 5-30 最後安裝確認.....附錄四-183
圖 5-31 進行安裝畫面.....附錄四-184
圖 5-32 系統資料安裝完成 附錄四-184
圖 5-33 系統設定與認證畫面 附錄四-185

圖 5-34 系統設定與軟體認證選項畫面 附錄四-185
圖 5-35 ArcGIS Server 系統帳號密碼設定 附錄四-186
圖 5-36 Proxy server 設定 附錄四-186
圖 5-37 系統設定記錄檔選項 附錄四-187
圖 5-38 系統設定資訊提示 附錄四-187
圖 5-39 系統進行設定.....附錄四-188
圖 5-40 軟體認證選項.....附錄四-188
圖 5-41 認證檔路徑設定 附錄四-189
圖 5-42 路徑指向原廠認證檔案 附錄四-189
圖 5-43 認證檔所提供之軟體使用權限資訊 附錄四-190
圖 5-44 安裝完成確認畫面 附錄四-190

第一章　前言

本橋梁防災預警系統主要由三大部份組成，包括軟體代理人、主系統及Web GIS。其中軟體代理人為本預警系統之資料交換平台，主要功能為擷取災害資訊及橋梁資料，如：中央氣象局所發佈的地震報告、水利署發佈的各地降雨量及水位站之水位高程、水土保持局所發佈的土石流警戒區、橋梁管理系統所儲存之橋梁資料，詳細功能與操作說明將在第二章介紹。

而本預警系統之主系統為一網頁型式之操作介面，包括7大功能模組及Web GIS系統，詳細功能與操作說明將在第三章介紹。

本預警系統之使用者基本上可區分為兩類：一般使用者及管理者。一般使用者並不需要也無法操作系統中的某些功能，如軟體代理人、使用者管理模組、參數設定等系統管理性之功能；而管理者指的是管理預警系統伺服器者，必須了解整個系統的相關設定及操作方法亦即本手冊的所有內容。

第四章說明橋梁防災預警系統伺服器端及客戶端軟硬體之需求。

第二章　軟體代理人(Agent Server)

軟體代理人分為網頁擷取、網頁設定與系統設定三大功能(圖2-1)。

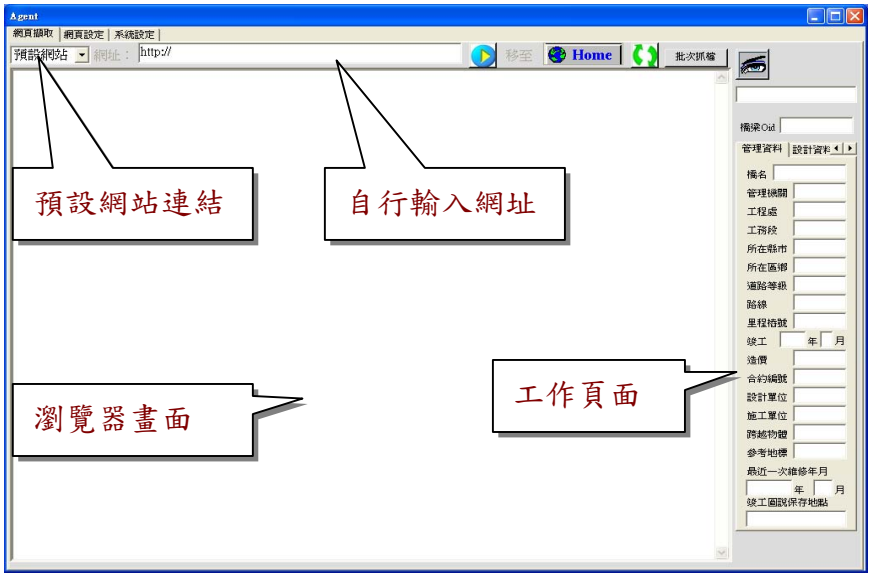


圖 2-1 軟體代理人畫面

選擇TBMS網頁(圖2-2)，進行登入，輸入帳號及密碼(圖2-3)。

圖 2-2 台灣地區橋梁管理系統主畫面

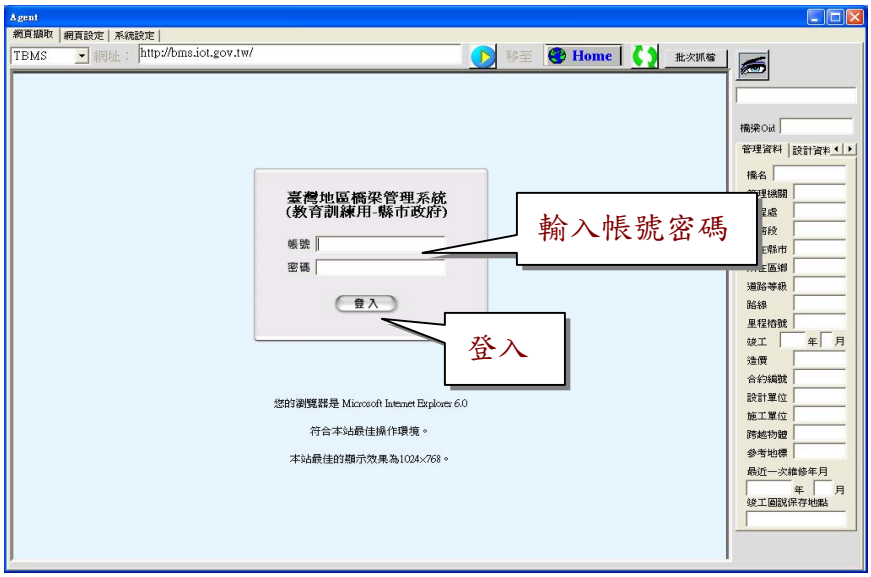


圖 2-3 系統登入與帳號輸入

進入基本資料模組(圖2-4)，輸入橋梁條件(圖2-5)，選擇欲擷取之橋梁(圖2-6)。

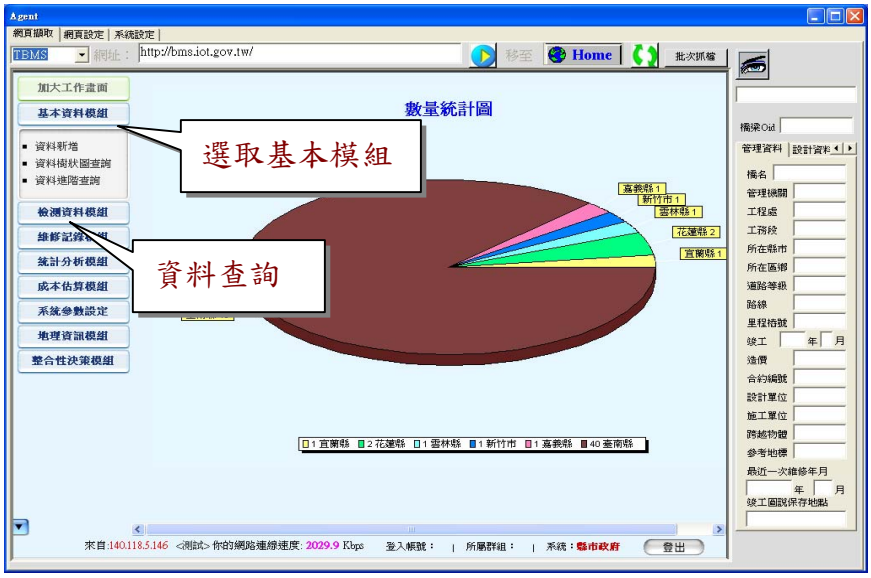


圖 2-4 基本資料模組畫面

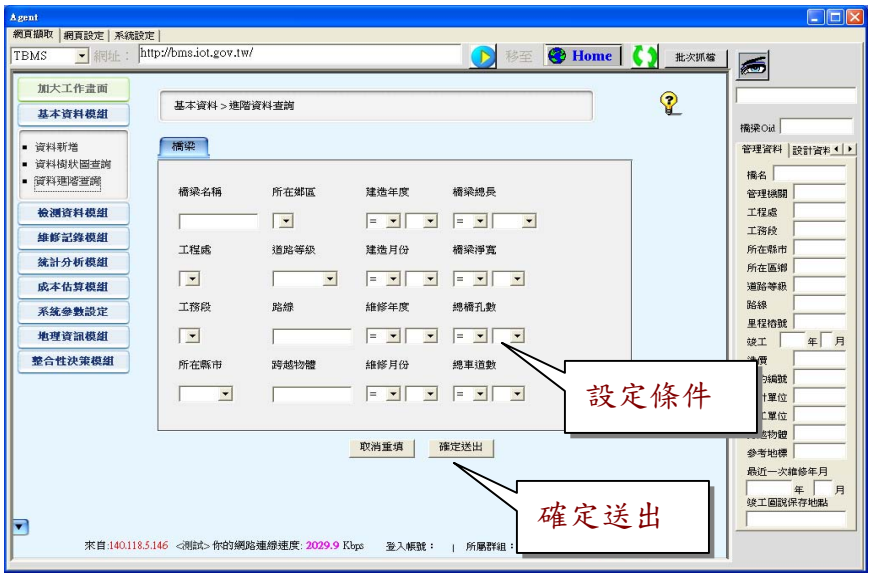


圖 2-5 設定條件

圖 2-6 符合條件之橋梁

TBMS顯示(圖2-7)橋梁基本資料，點選眼睛按鈕進行擷取(圖2-8)，點選儲存將資料存至資料庫。

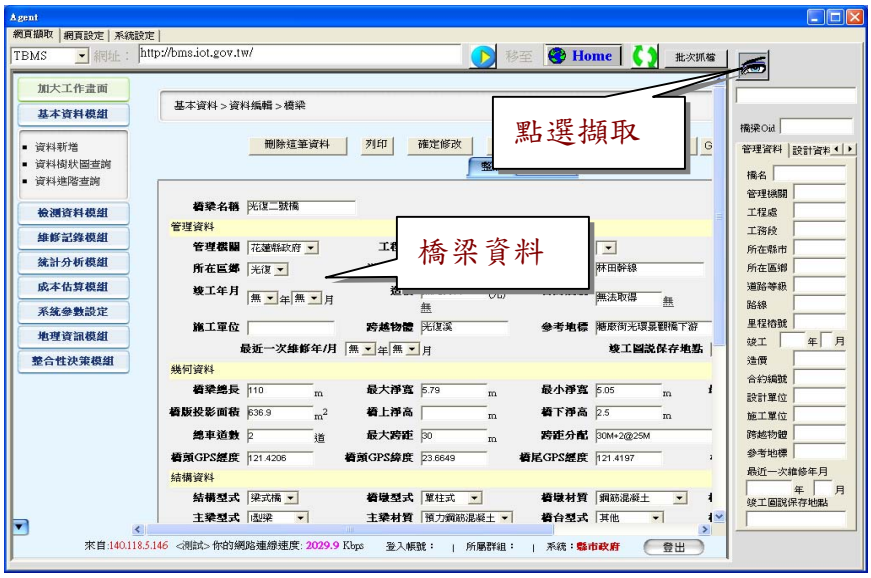


圖 2-7 橋梁基本資料欄位

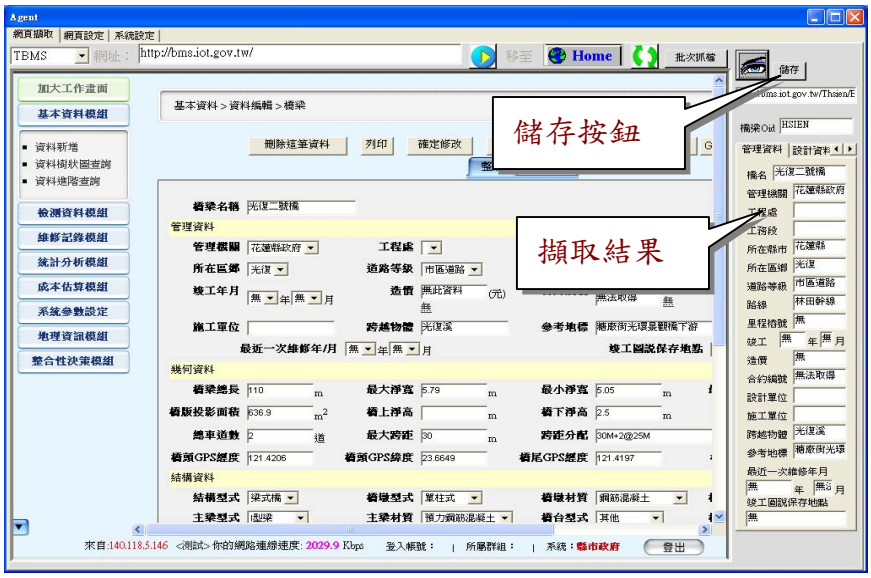


圖 2-8 抓取單筆資料

或在搜尋結果頁面點選批次抓檔，可將此頁面十筆橋梁自動擷取至資料庫(圖2-9)。

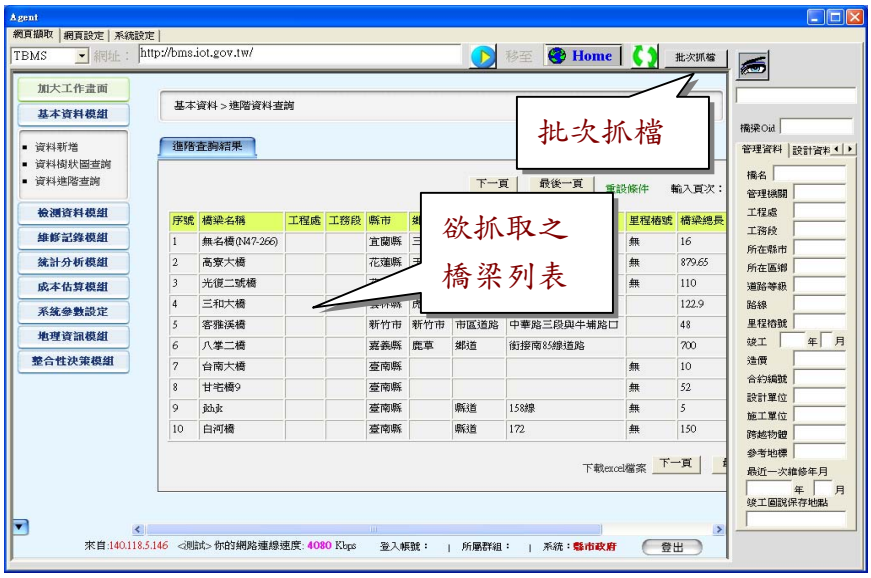


圖 2-9 批次抓取橋梁資料

網頁設定頁面中可設定各項災害資訊來源及路徑，並提供此瀏覽頁面之網頁原始碼(圖2-10)。

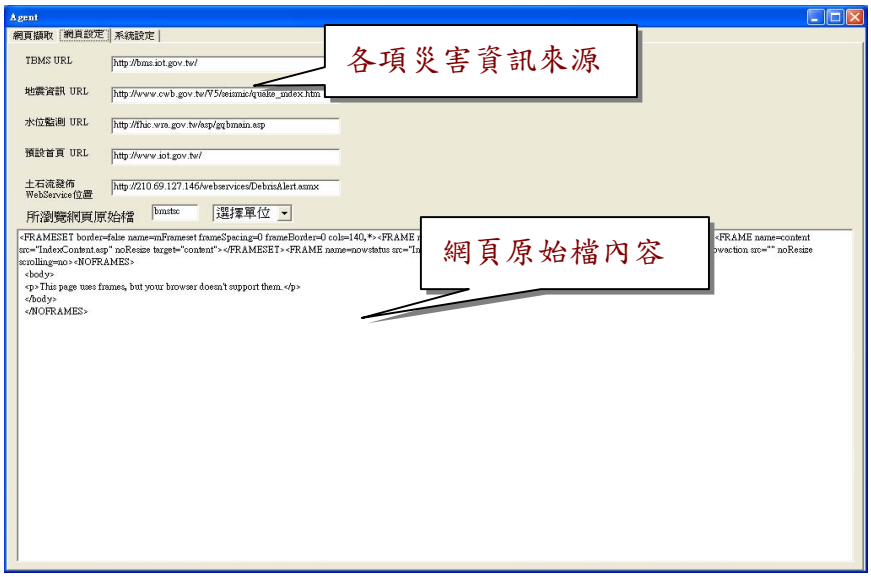


圖 2-10 網頁設定

系統設定頁面中可設定系統資料來源IP位置、更新頻率、軟體代理人狀態、網路延遲設定及TELES的路徑，更新歷程視窗列出軟體代理人更新紀錄(圖2-11)。

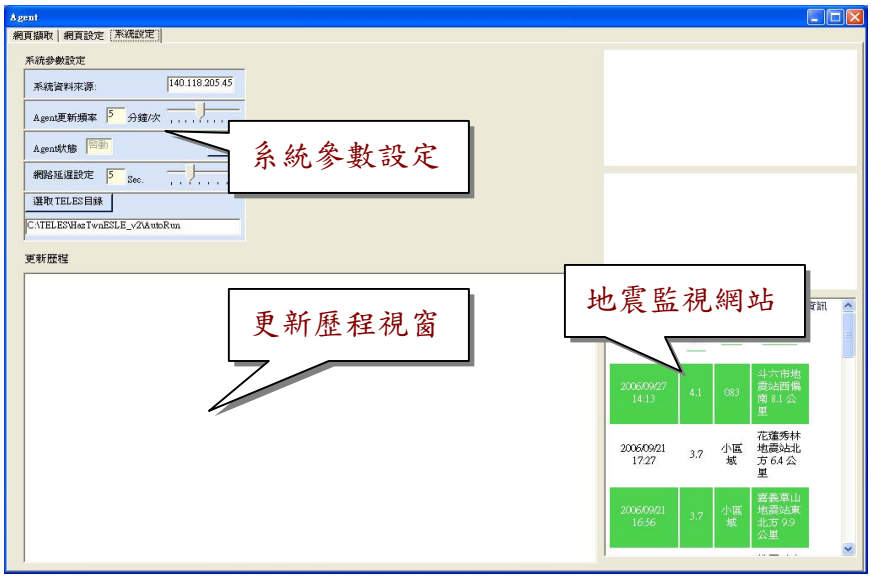


圖 2-11 系統設定畫面

第三章　防災預警系統各功能模組介紹

(a)登入系統

1.在帳號輸入框內填寫帳號。

2.在密碼輸入框內輸入密碼。

3.按下確認鍵登入系統，或是按下清除鍵重新輸入。

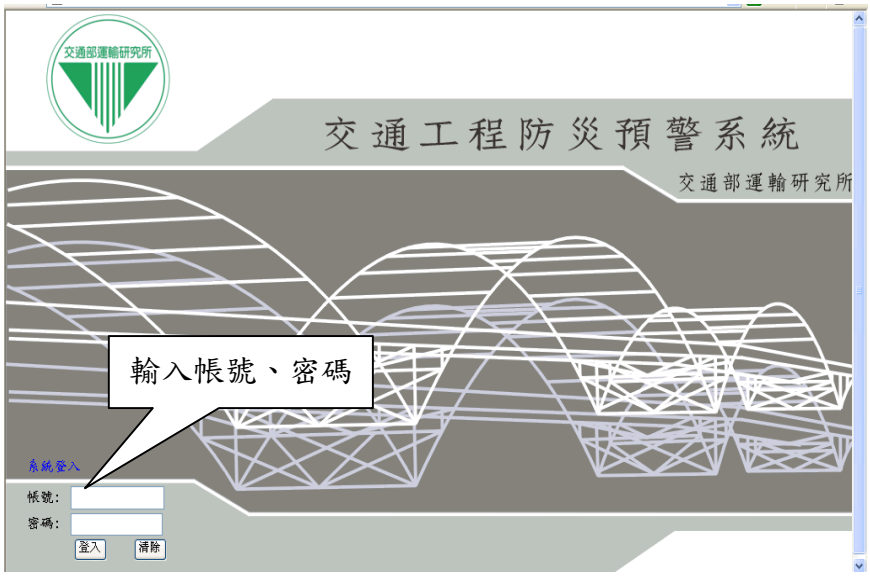


圖 3-1 登入畫面

(b)系統登入成功

1.帳號、密碼比對正確即可進入系統。

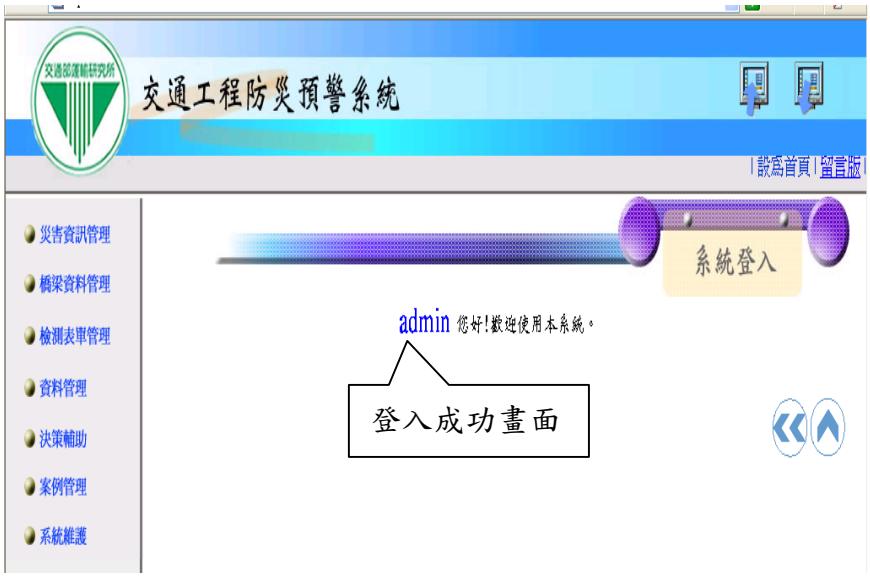


圖 3-2 登入成功畫面

(c)主系統畫面介紹:

1.系統主畫面分為三部分，左分割窗為功能模組選單及現在時間，上分割窗為系統登入、登出鍵及設為首頁或留言版之快捷鍵，右分割窗為主要作業區域，包含回到上一頁及回到首頁快捷鍵。

2.點選功能模組選單按鍵，功能畫面啟動於右分割窗中。

3.於各模組標籤上附有線上說明書連結，可點選開啟目前模組之說明檔。

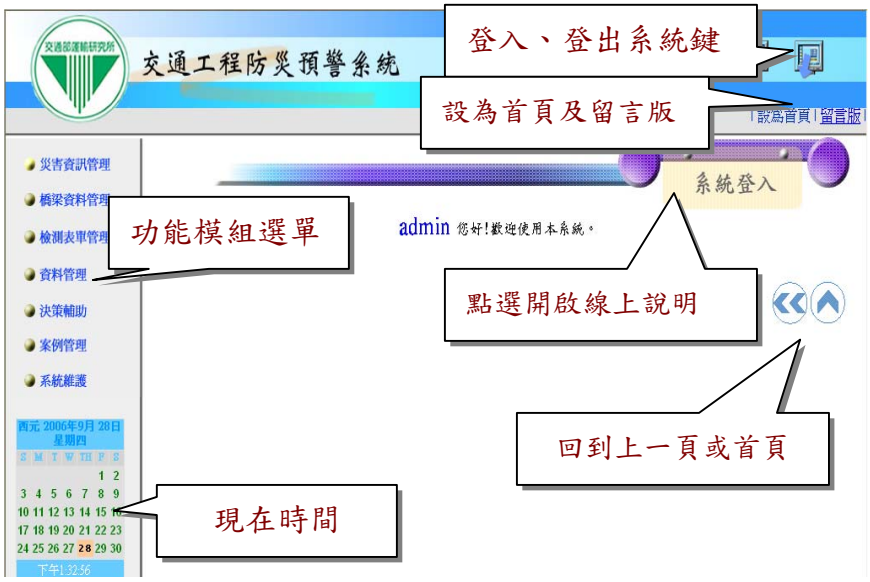


圖 3-3 主系統畫面介紹

(d)模組功能介紹:

1.系統模組功能主要為六大項，分別為災害資訊管理(3.1)、橋梁資料管理(3.2)、檢測表單管理(3.3)、資料管理(3.4)、決策輔助(3.5)、案例管理(3.6)及系統維護(3.7)，將於以下章節分別介紹。

2.各主要功能模組又包含幾項子功能，如新增、刪除或修改等。

3.現在操作之功能名稱顯示在右上角功能模組名稱處。

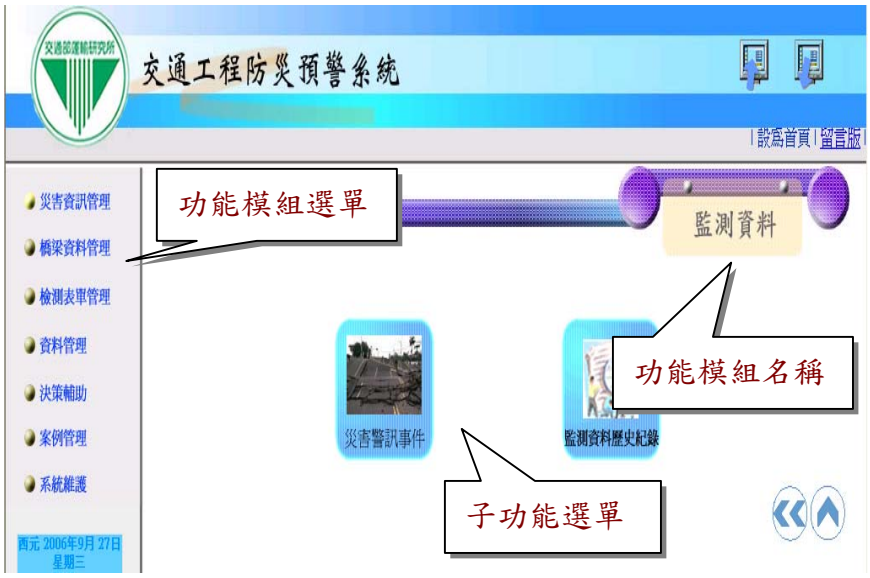


圖 3-4 模組功能選單

3.1 災害資訊管理

此模組包含兩大功能選項：災害警訊事件及監測資料歷史紀錄。將於3.1.1及3.1.2分別介紹。

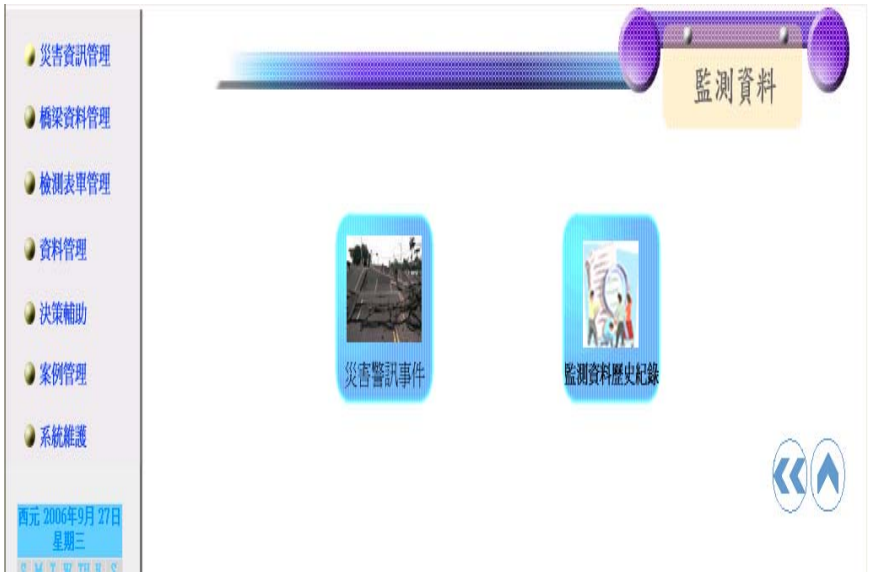


圖 3-5 災害資訊管理功能選項

3.1.1 災害警訊事件

災害警訊事件將記錄造成橋梁損壞之災害類型，分別為危險橋梁顯示、時間點、類型與災害區域顯示。點選災害區域顯示將以圖層方式顯示災害分佈(圖3-7)及詳細資料(圖3-8)。

圖 3-6 災害警訊事件功能選項

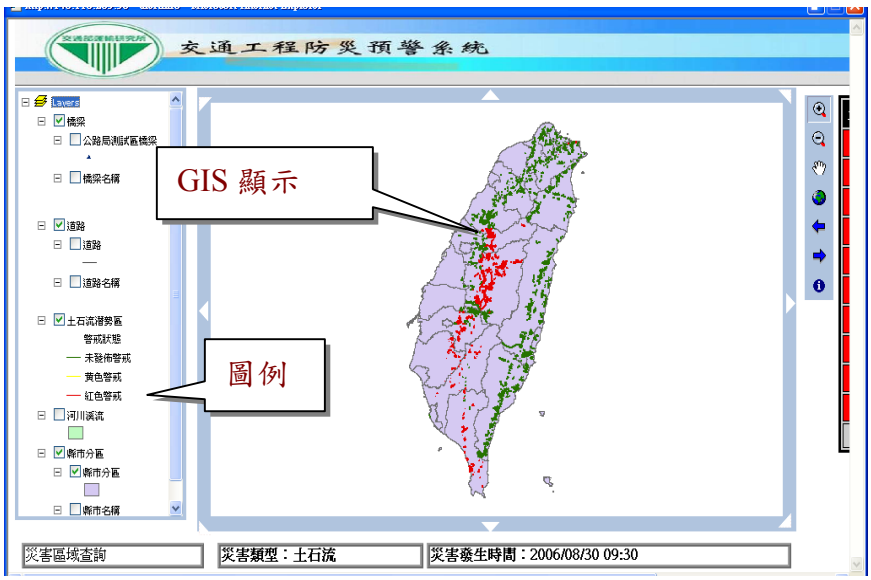


圖 3-7 災害分佈圖

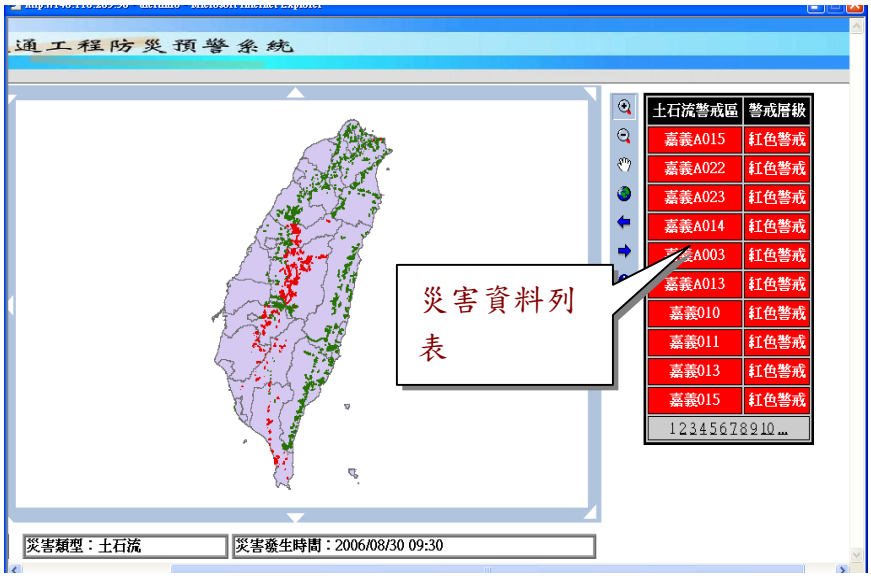


圖 3-8 災害詳細資料

點選危險橋梁顯示將依機率列出破壞橋梁名稱(圖 3-9)。點選欲評估橋梁將跳出橋梁之基本資料欄位(圖 3-10)。點選開始調查切換畫面至評估流程圖(圖 3-11、圖 3-12)，使用者可依流程分別填寫表單。

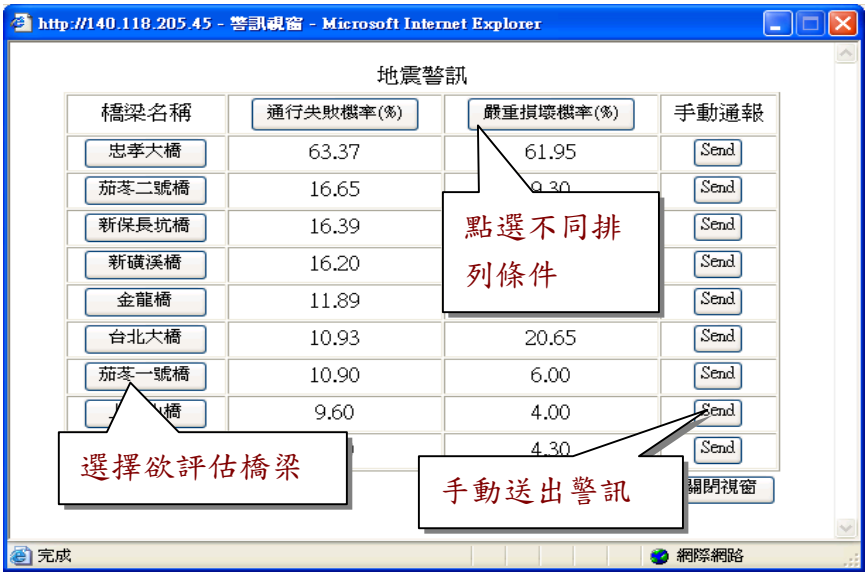


圖 3-9 可能破壞橋梁清單

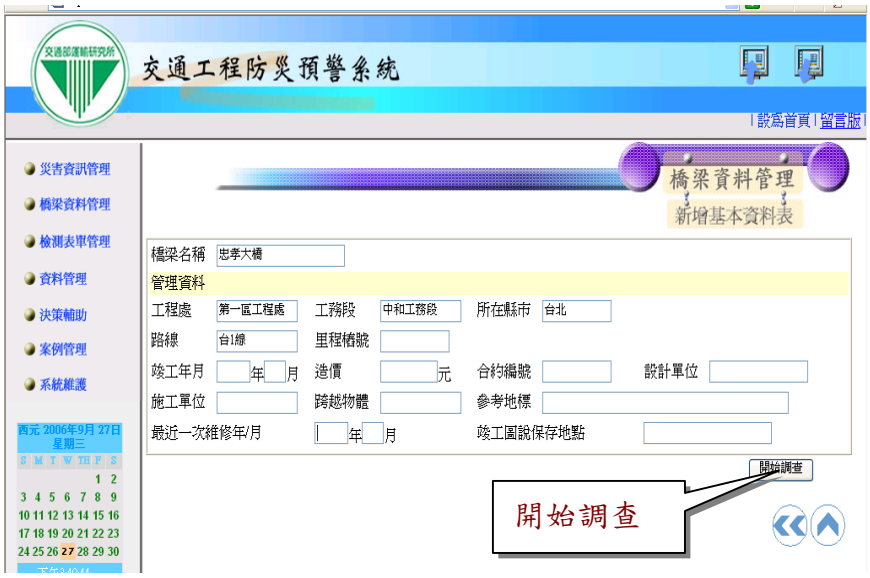


圖 3-10 橋梁基本資料

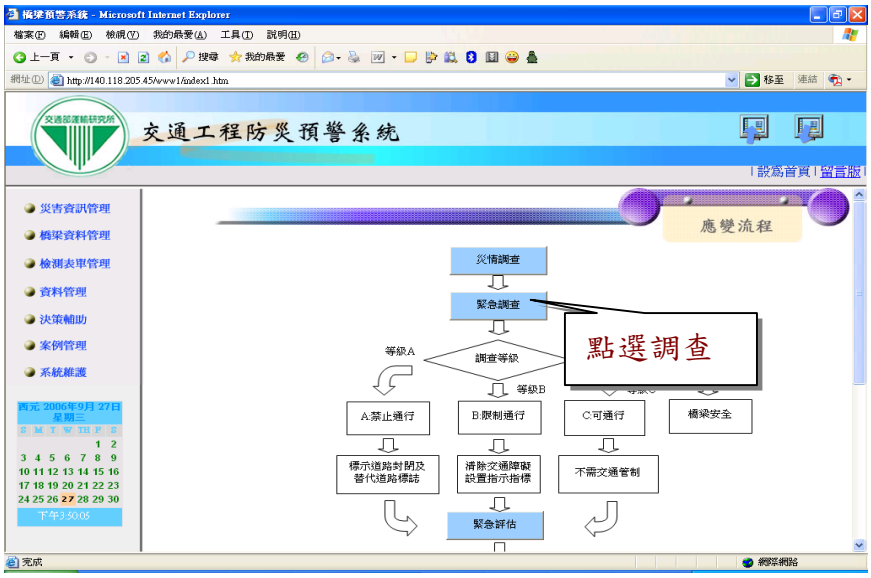


圖 3-11 評估流程圖

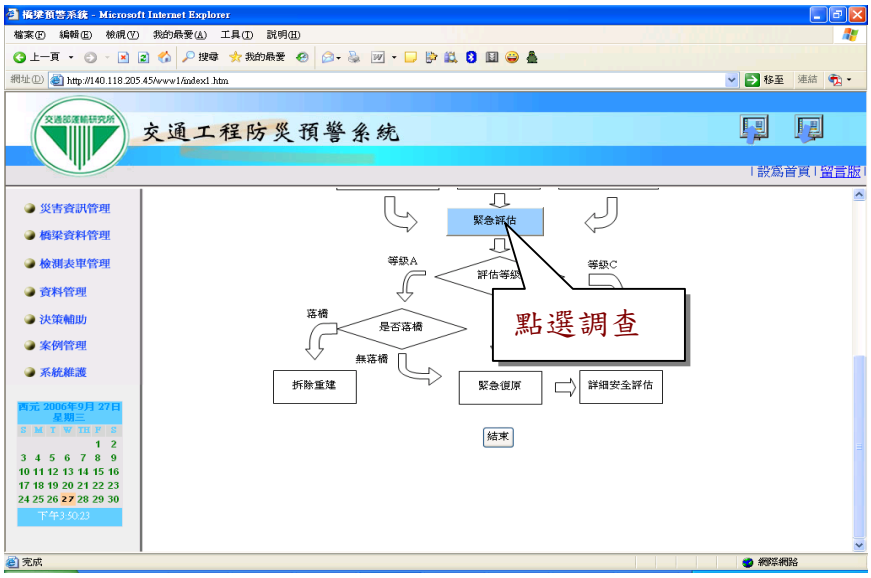


圖 3-12 評估流程圖(續)

首先點選災情調查(圖 3-13)。填寫各項欄位值，按下確定送出鈕，進行儲存(圖 3-14)。主畫面顯示已完成之訊息(圖 3-15)。

圖 3-13 災情調查表填寫

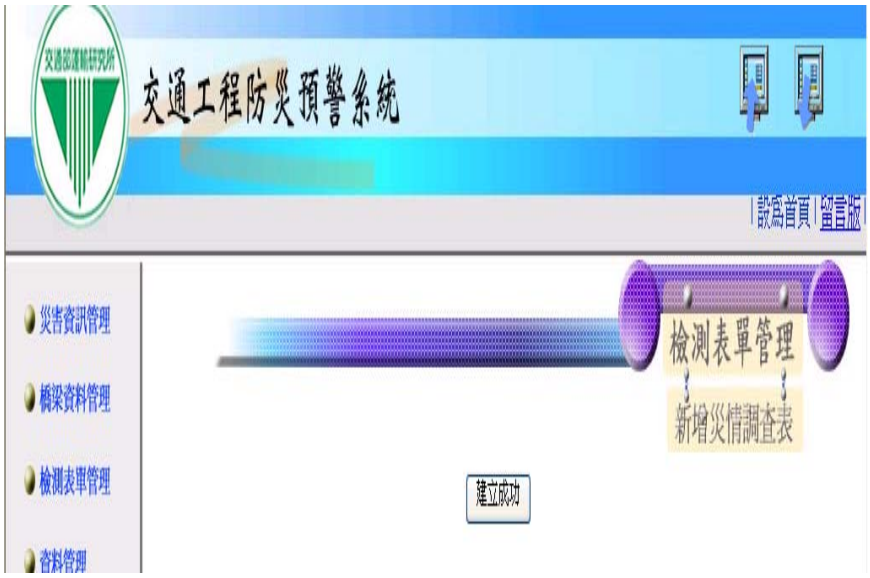


圖 3-14 完成災情調查表

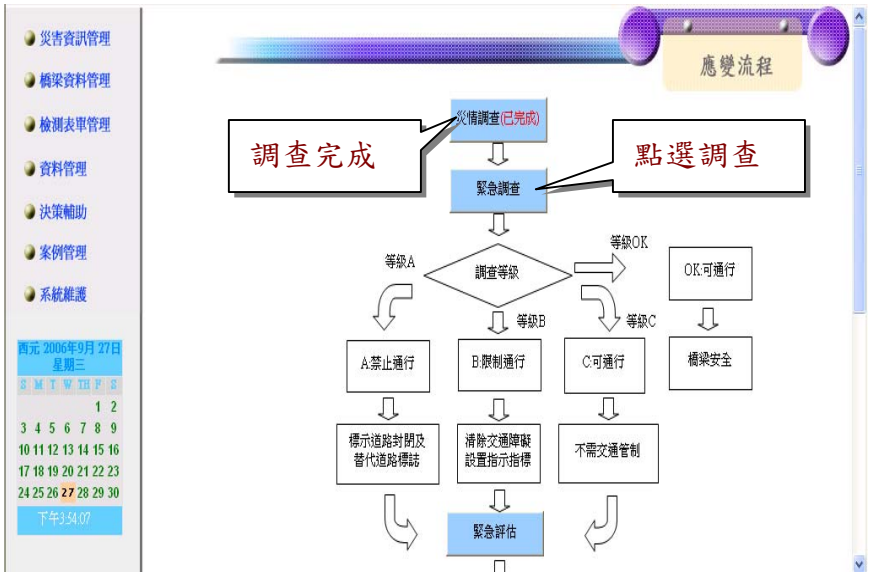


圖 3-15 災情調查表填寫完成

接著進行緊急調查(圖3-16、圖3-17)。填寫各項欄位值，系統將自動評估整體等級，按下確定送出鈕，進行儲存(圖3-18)。主畫面顯示已完成之訊息(圖3-19)。

圖 3-16 緊急調查表填寫

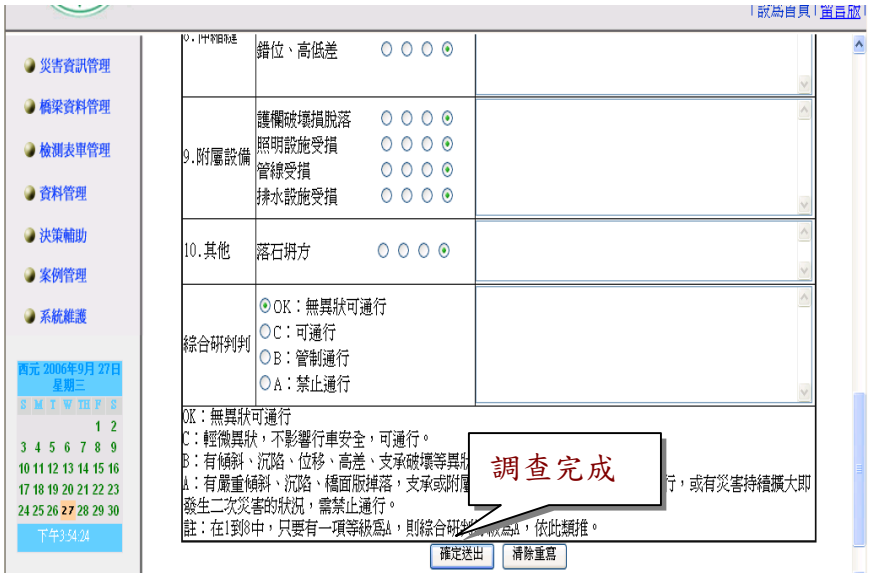


圖 3-17 緊急調查表填寫(續)

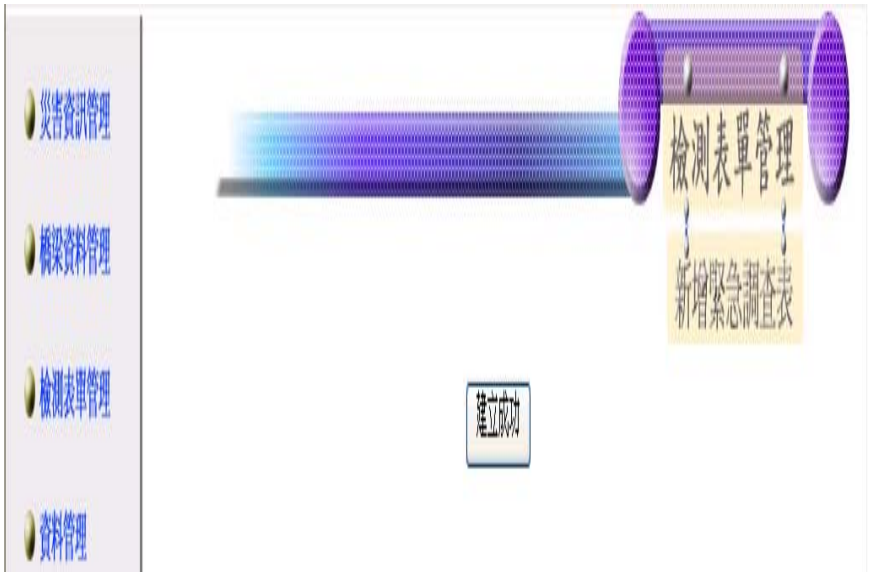


圖 3-18 完成緊急調查表

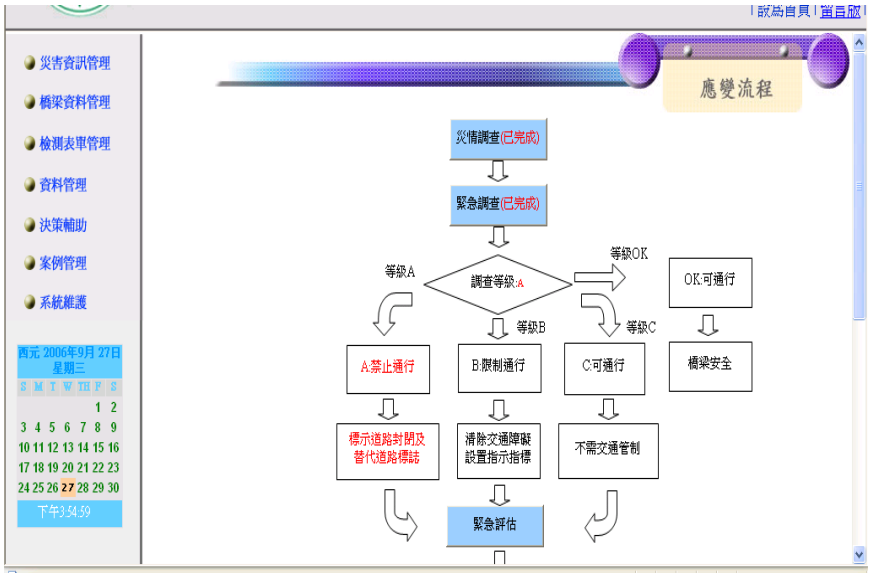


圖 3-19 緊急調查表填寫完成

最後進行緊急評估(圖3-20)。填寫各項欄位值，可點選破壞參考圖(圖3-21)與判定標準圖輔助評等(圖3-23)。系統將依過去圖例評估等級(圖3-24)，按下確定送出鈕(圖3-25)，進行儲存。主畫面顯示已完成之訊息(圖3-26)，最後整合資訊送出簡訊至管理階層(圖3-27)。

圖 3-20 緊急評估表填寫

圖 3-21 破壞圖例選擇

圖 3-22 系統給予等級

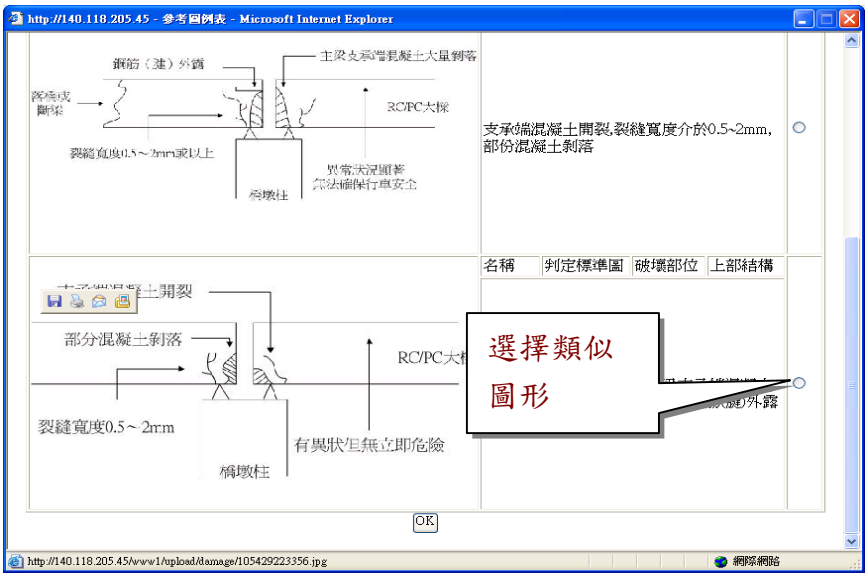


圖 3-23 選擇判定標準圖

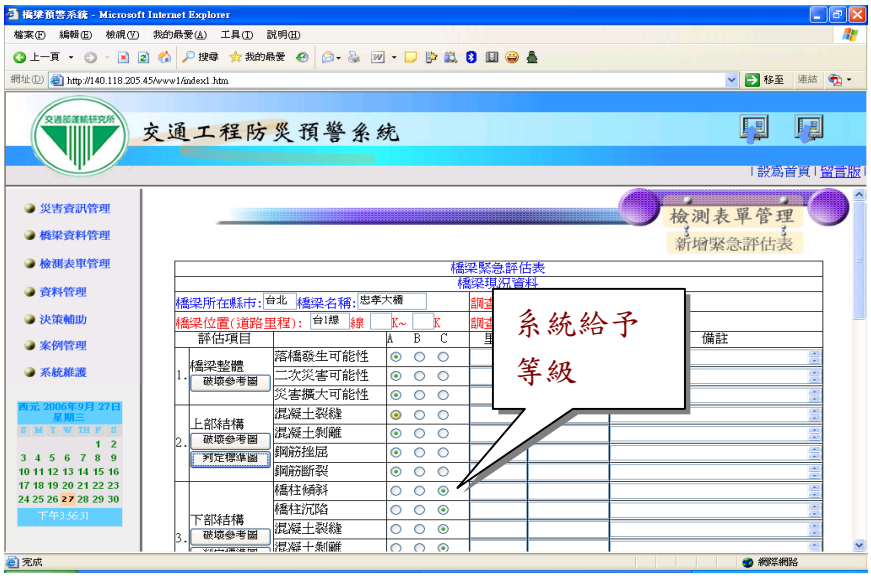


圖 3-24 系統給予等級

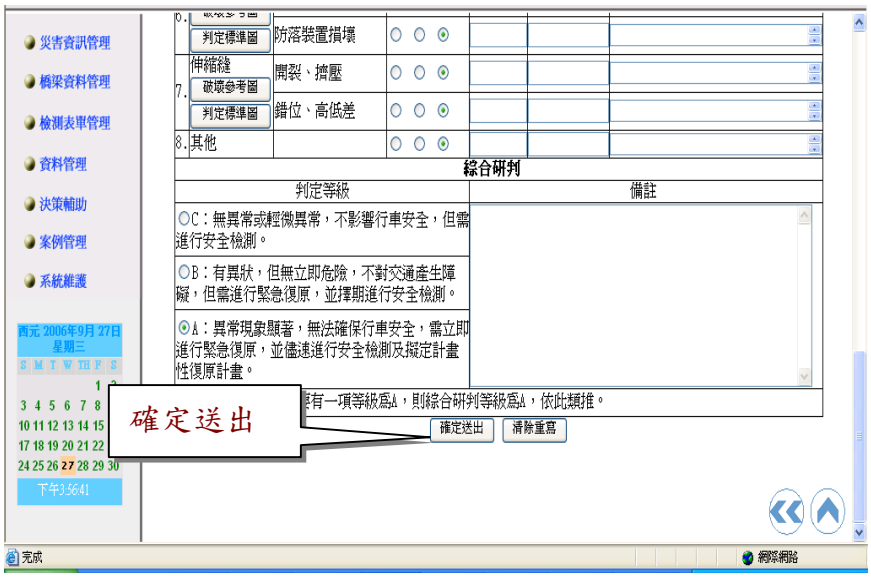


圖 3-25 表單送出

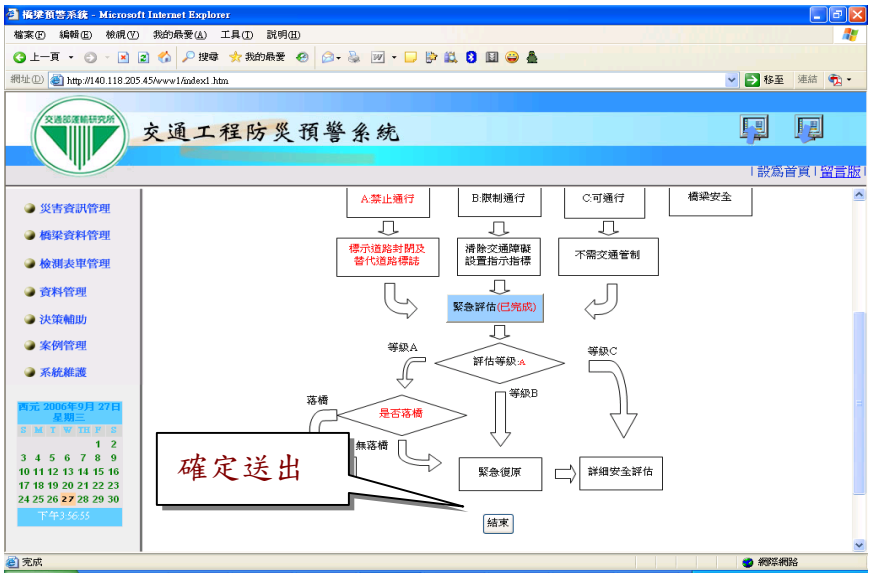


圖 3-26 流程完成

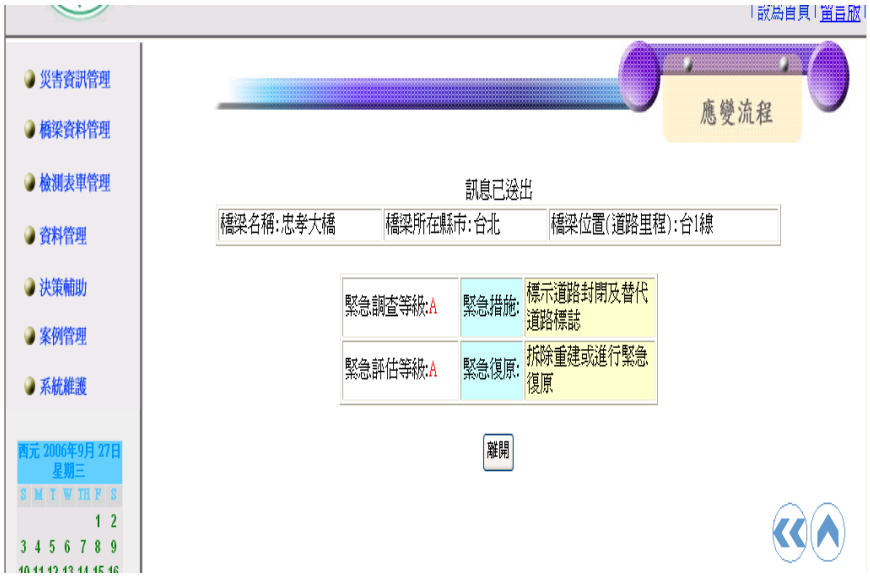


圖 3-27 系統送出簡訊至管理階層

3.1.2 監測資料歷史記錄

監測資料歷史紀錄將記錄不同災害類型之歷史資料，分別為最近地震特報、TELES分析記錄、水位監測值、土石流警戒、GIS圖層查詢與雙向簡訊查詢(圖3-28)。

圖 3-28 監測資料歷史記錄功能

最近地震特報列出最近五筆地震資料(圖3-29)。

圖 3-29 最新五筆地震資料

TELES分析記錄需先選擇條件(圖3-30)，根據條件列出地震資料(圖3-31)，並顯示TELES所分析之結果(圖3-32)。

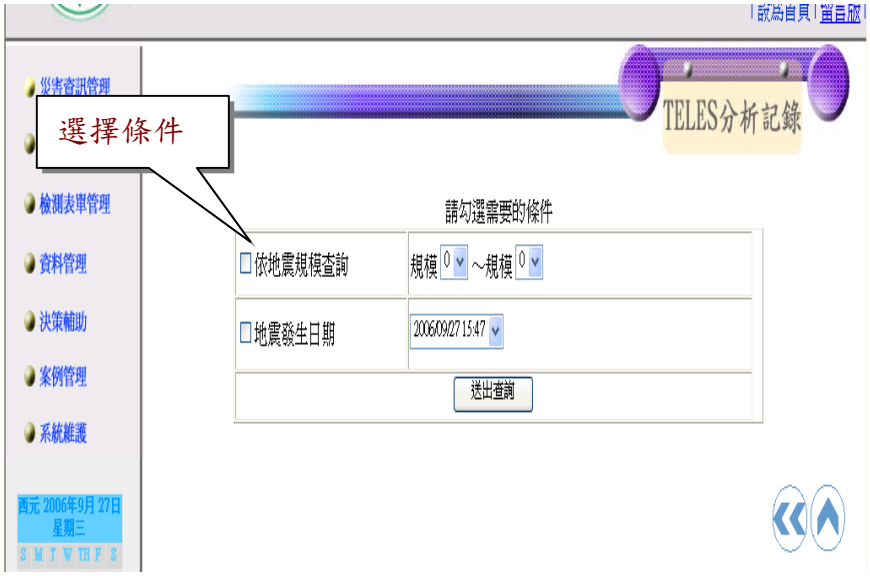


圖 3-30 選擇 TELES 篩選條件

圖 3-31 地震列表

ID	橋名	ROUTE	至少中度損壞(%)	至少嚴重損壞(%)	通行失敗機率(%)
0090-012	坪林橋	台9	13.00	4.30	9.00
0050-007	茄苳一號橋	台5	16.40	6.00	10.90
009A-006	上龜山橋	台9甲	17.00	4.00	9.60
0020-007	金龍橋	台2	17.36	8.65	11.89
0020-048	新曙溪橋	台2	23.80	10.80	16.20
0050-009	茄苳二號橋	台5	24.83	9.30	16.65
0050-008	新保長坑橋	台5	24.39	9.44	16.39
001A-001	忠孝大橋	台1	75.74	61.95	63.37
0010-001	台北大橋	台1甲	46.63	20.65	10.93

圖 3-32 TELES 分析結果

欲查詢水位監測值需先選擇條件(圖3-33)，選擇水位站(圖3-34)，列出結果(圖3-35)。

圖 3-33 選擇水位篩選條件

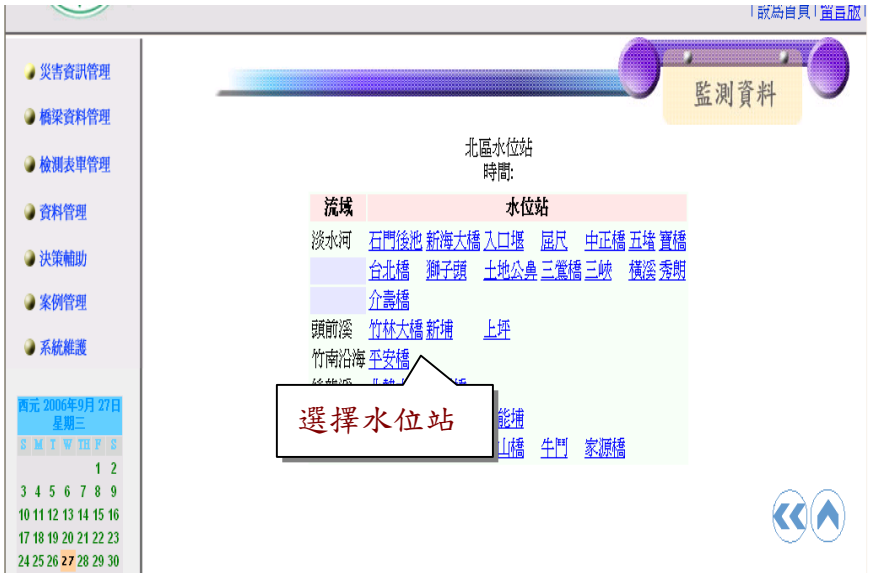


圖 3-34 分區水位站列表

圖 3-35 水位站監測值

土石流警戒，查詢土石流需先選擇條件(圖3-36)，列出結果(圖3-37)。

圖 3-36 土石流篩選條件

圖 3-37 土石流清單

GIS圖層查詢，可分為災害區域查詢與危險橋梁查詢(圖3-38)，災害類型分為地震、洪水沖刷、土石流及老化腐蝕(圖3-39)，選擇時間，按下顯示鈕後即有GIS圖層顯示(圖3-40)，如各地震度(圖3-41)、雨量站圖層(圖3-42)與雨量資料(圖3-43)；危險橋梁查詢，地震方面依據TELES

分析結果列出危險橋梁(圖3-44)，可依據此結果直接進行調查(圖3-45)，若水位雨量超出預設警戒值時也可進行調查(圖3-46)。

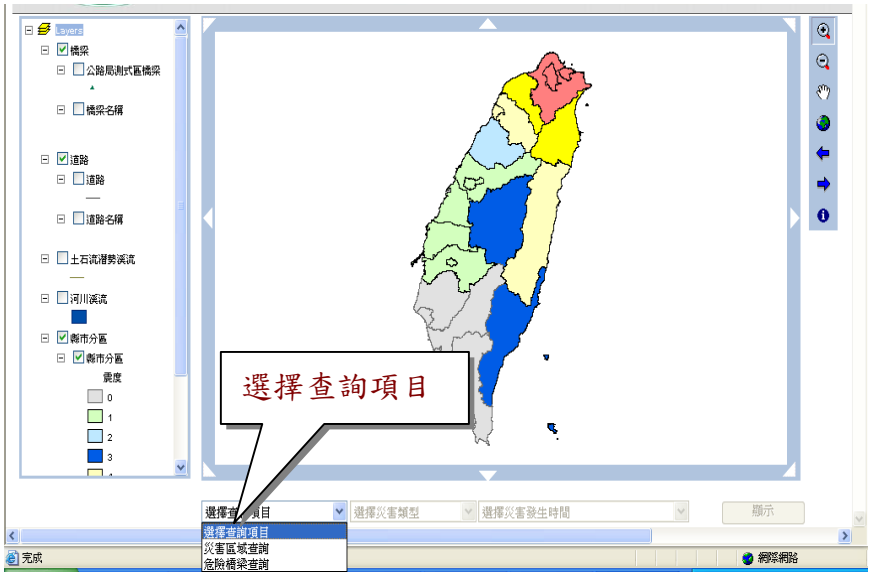


圖 3-38 選擇查詢項目

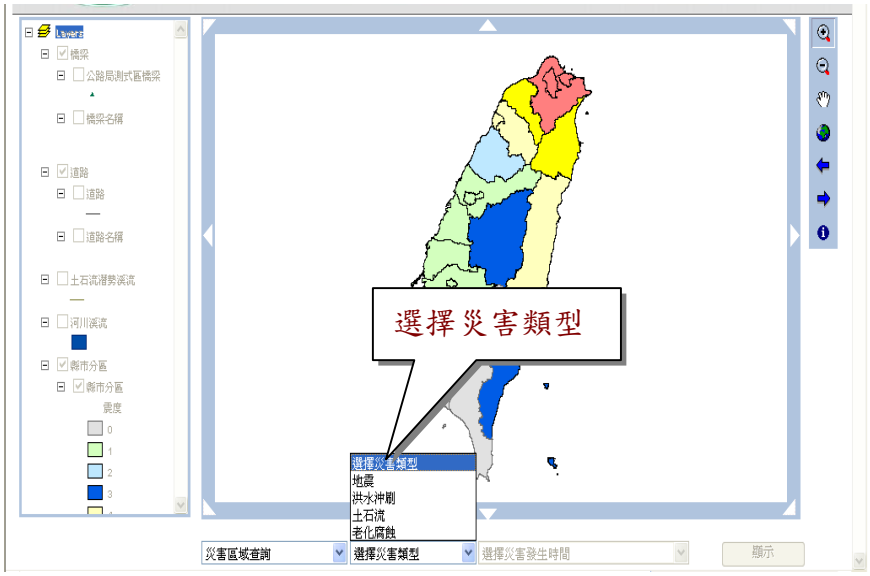


圖 3-39 選擇災害類型

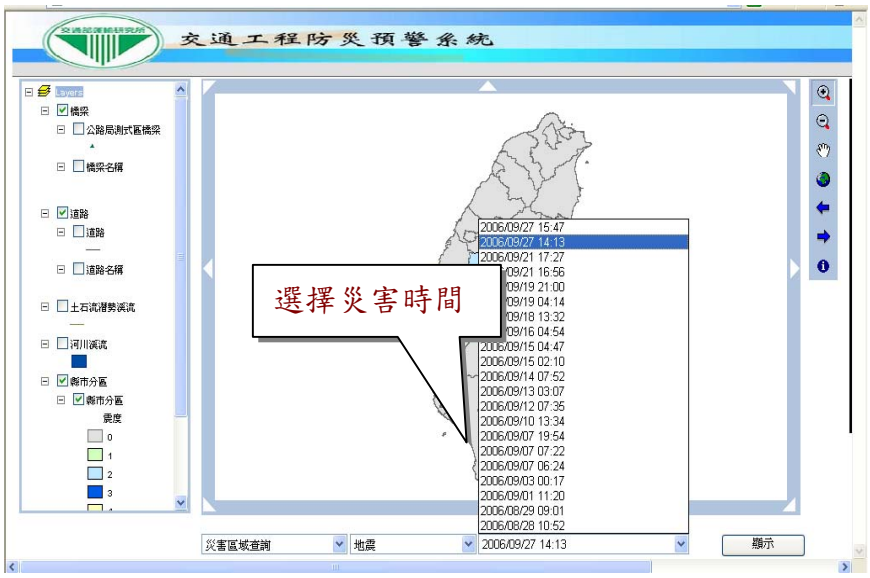


圖 3-40 選擇時間點

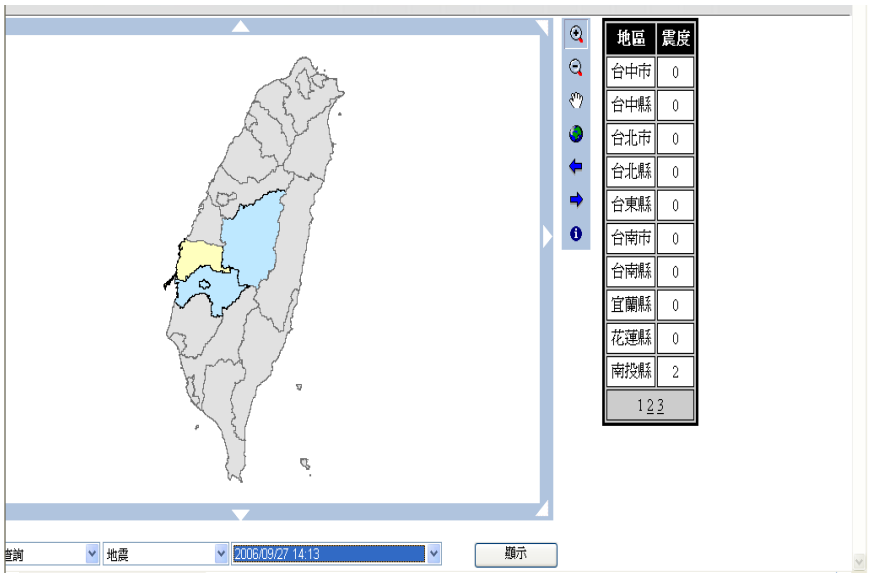


圖 3-41 地震資料

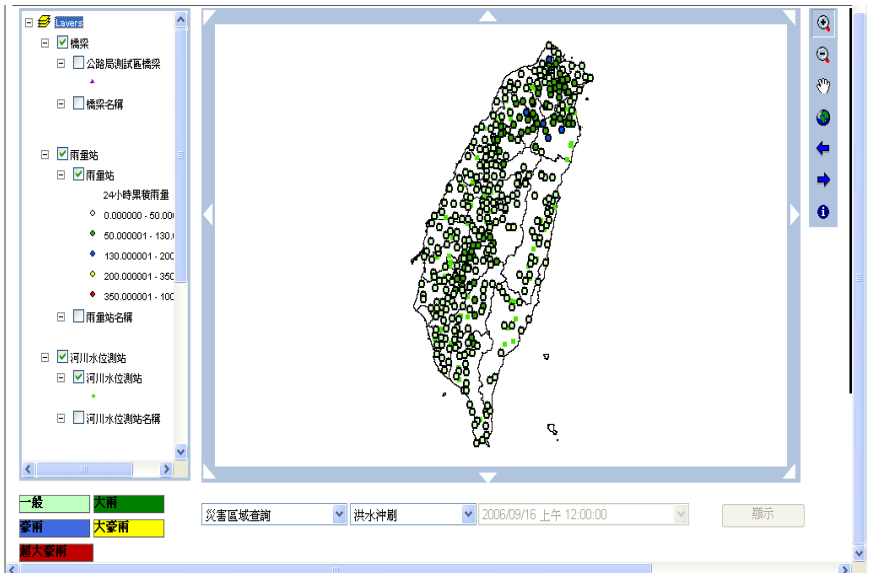


圖 3-42 水位站 GIS 圖層

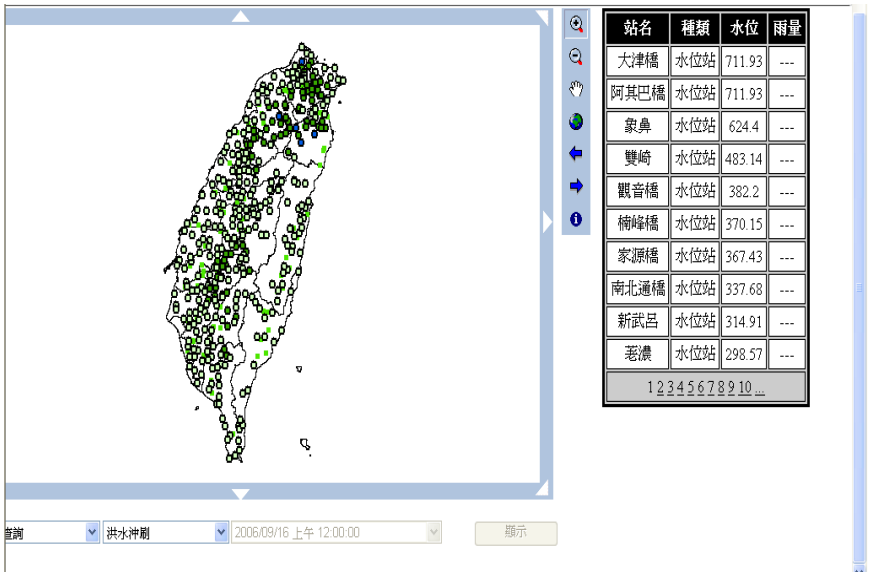


圖 3-43 水位站資料

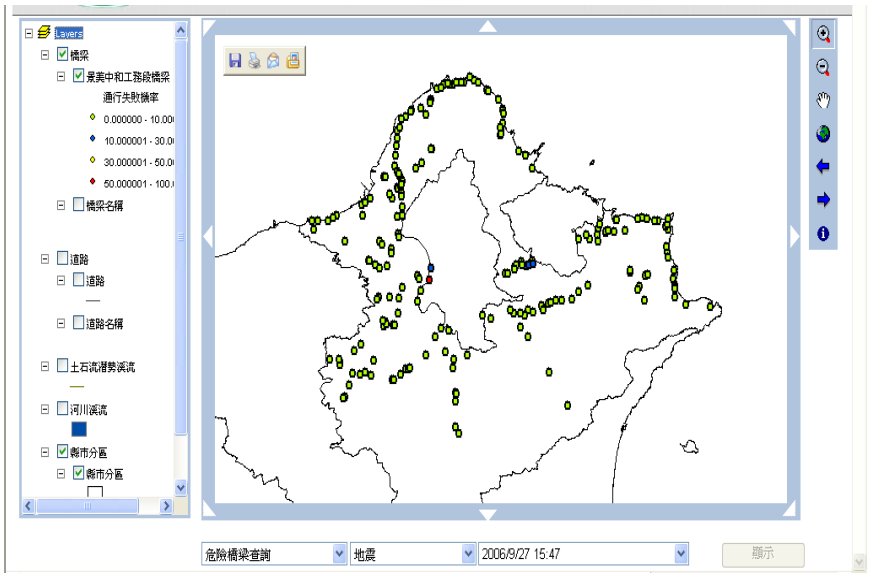


圖 3-44 TELES 分析可能受損橋梁

進入緊急應變流程	橋梁基本資料	公路局橋梁編號	橋梁名稱	通行失敗機率(%)	所在路線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	001A-001	忠孝大橋	63.374	台1線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0050-008	茄苳二號橋	16.653	台5線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0050-009	新保長坑橋	16.394	台5線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0020-048	新磺溪橋	16.2	台2線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0020-007	金龍橋	11.89	台2線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0010-001	台北大橋	10.93	台1甲線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0050-007	茄苳一號橋	10.9	台5線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	009A-006	上龜山橋	9.6	台9甲線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0090-012	坪林橋	9	台9線
進入緊急應變流程	橋梁基本資料	0090-002	鳴遠橋	0	台9線

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...

圖 3-45 TELES 分析結果列表

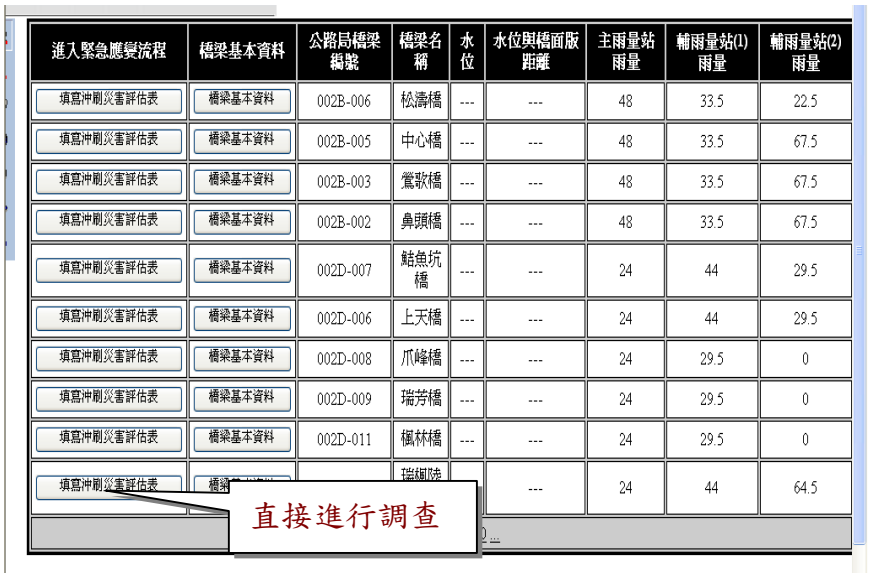


圖 3-46 沖刷災害影響橋梁列表

雙向簡訊查詢可監測系統自動發送之簡訊接收與回覆之資訊，橋梁管理員在收到簡訊並至現場後，即可回覆，管理階級可彙整整體狀況(圖3-47)。

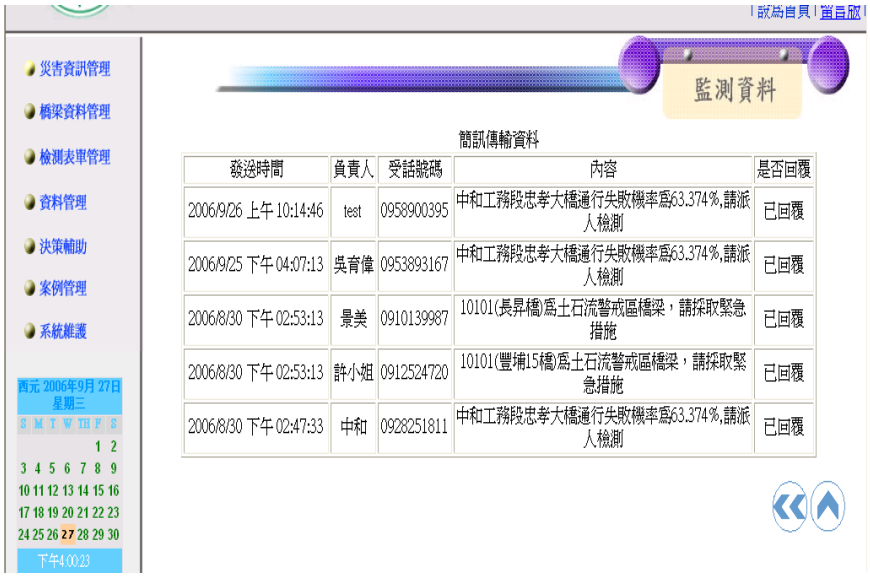


圖 3-47 雙向簡訊回覆紀錄

3.2 橋梁資料管理

橋梁資料管理分為查看橋梁資料與搜尋橋梁資料(圖3-48)，以下分別介紹。

圖 3-48 橋梁資料管理

3.2.1 查看橋梁資料

首先需勾選橋梁的條件(圖 3-49)，系統列出符合條件之橋梁(圖 3-50)，點選橋梁名稱後，畫面顯示橋梁基本資料(圖 3-51)，可下拉通報人選單，按下儲存鈕可更新通報人(圖 3-52)。

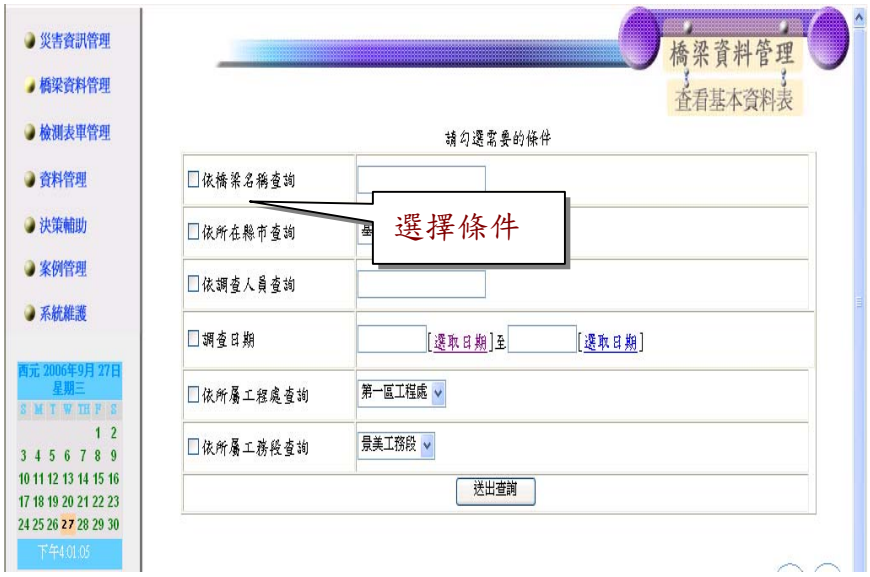


圖 3-49 選擇條件

圖 3-50 符合條件之橋梁列表

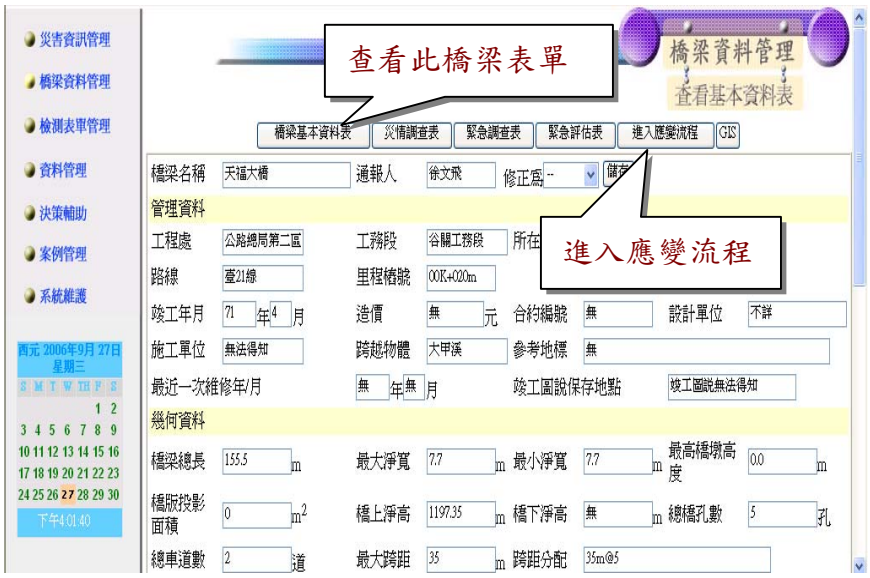


圖 3-51 橋梁基本資料

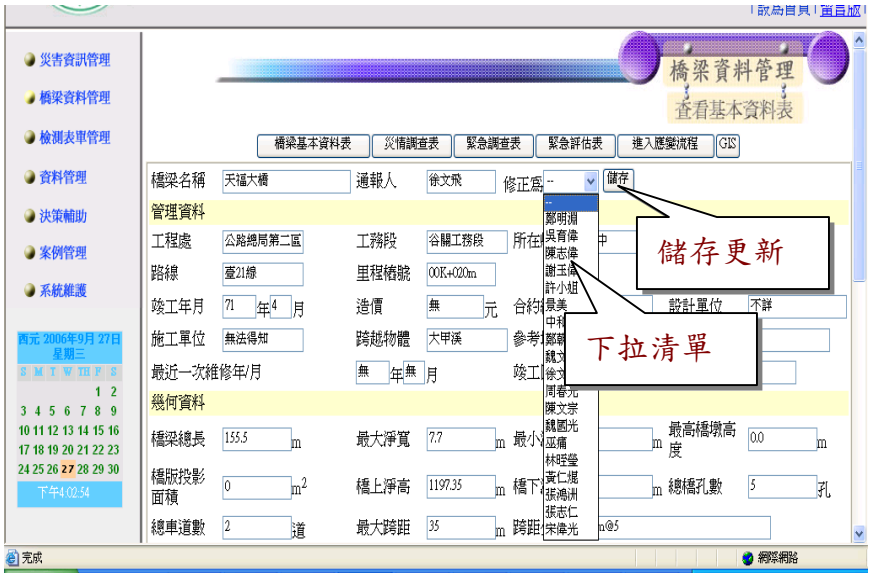


圖 3-52 修改通報人

3.2.2 搜尋橋梁資料

首先需勾選橋梁的條件(圖3-53)，系統列出符合條件之橋梁(圖3-54)，點選橋梁名稱後，選擇刪除後畫面顯示橋梁基本資料(圖3-55)，按下確定刪除鈕可刪除資料(圖3-56)。

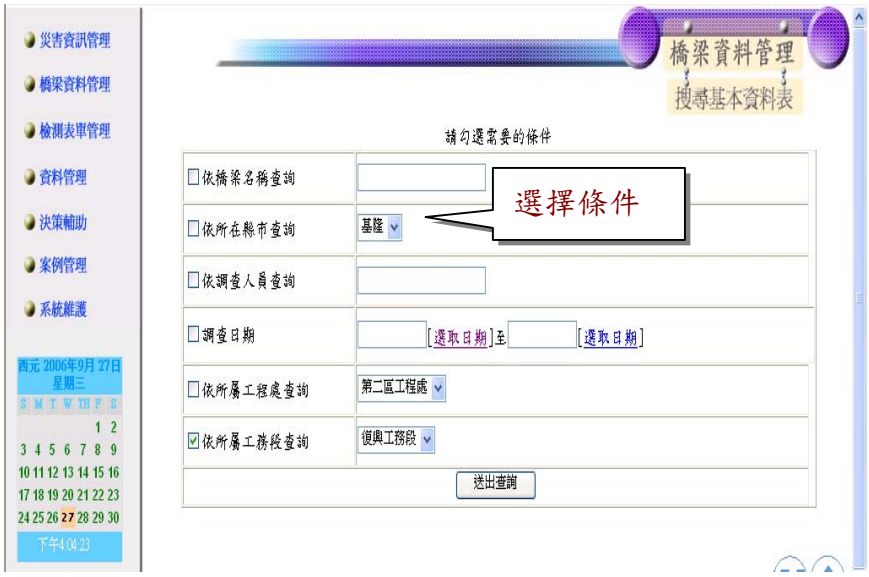


圖 3-53 選擇條件

圖 3-54 列出符合條件之橋梁

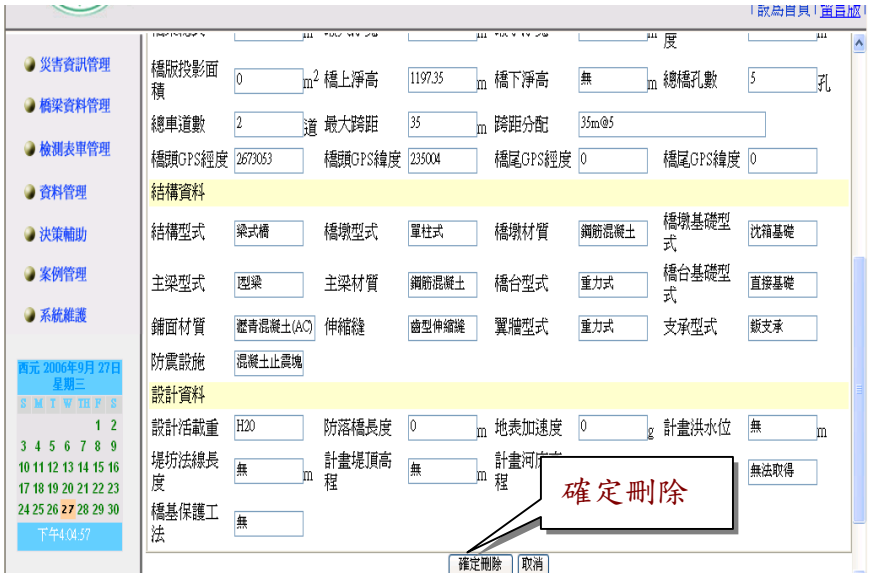


圖 3-55 刪除此筆橋梁資料

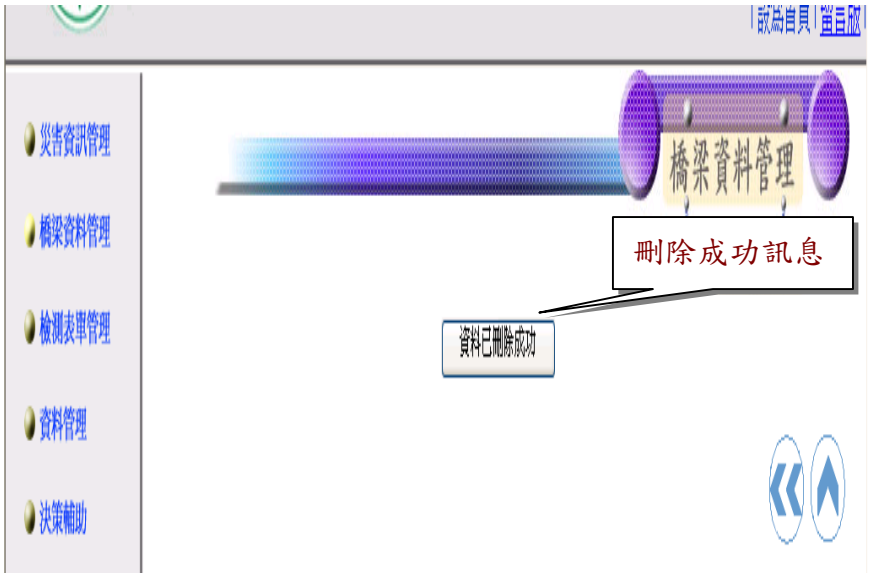


圖 3-56 刪除成功訊息

3.3 檢測表單管理

檢測表單管理分為地震檢測表與洪水檢測表兩大類(圖3-57)。

圖 3-57 檢測表單管理

3.3.1 地震檢測表

地震檢測表分為災情調查表、緊急調查表、緊急評估表(圖3-58)。

圖 3-58 地震檢測表功能選項

災情調查表下有新增、刪除、修改、查看、搜尋與匯入表單等六項功能(圖3-59)。

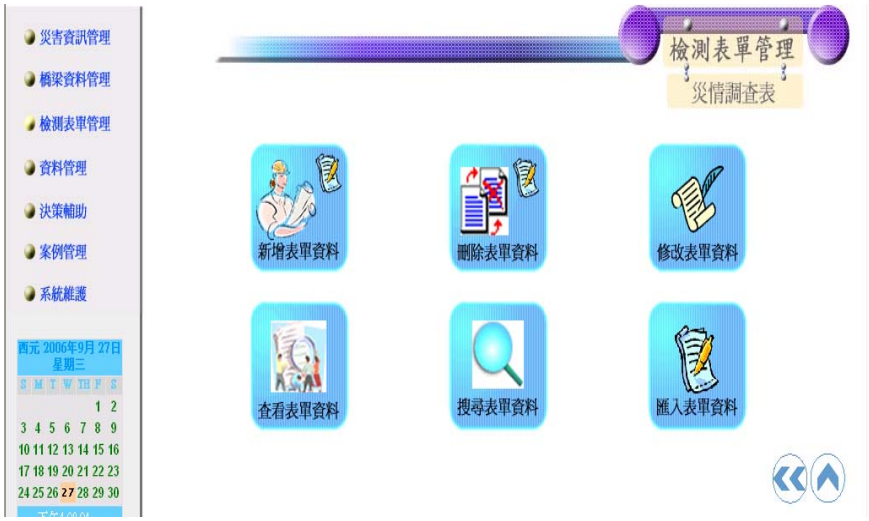


圖 3-59 災情調查表功能

新增災情調查選擇橋梁條件(圖3-60)，點選欲新增表單之橋梁名稱(圖3-61)，填寫表單欄位(圖3-62)，按下確定送出鈕，將資料儲存(圖3-63)。

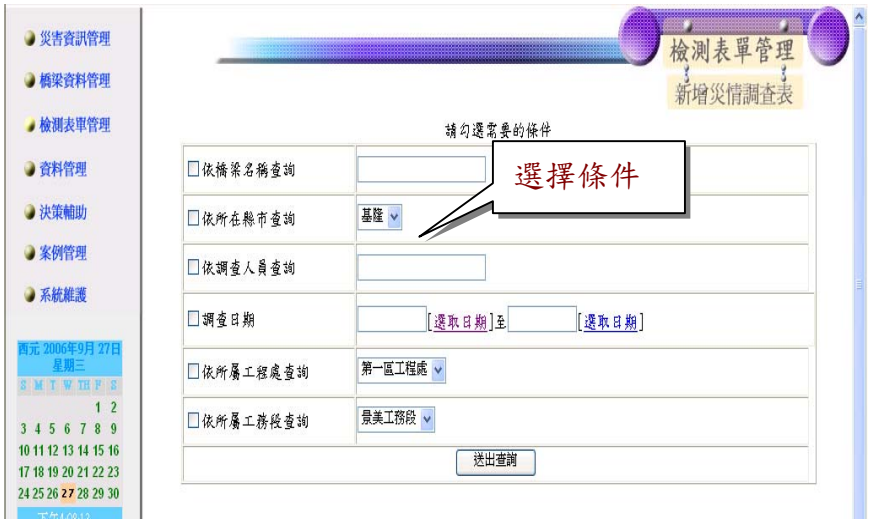


圖 3-60 選擇橋梁條件

圖 3-61 符合條件之橋梁

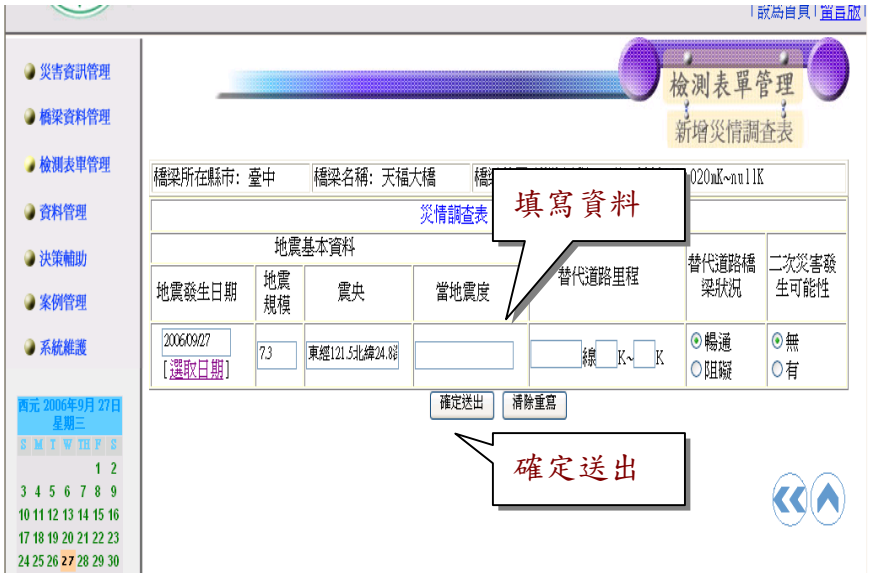


圖 3-62 新增一筆災情調查表

圖 3-63 建立完成訊息

刪除災情調查選擇橋梁條件(圖3-64)，點選欲刪除表單之橋梁名稱(圖3-65)，確認表單內容(圖3-66)，按下確定鈕，將資料刪除(圖3-67)。

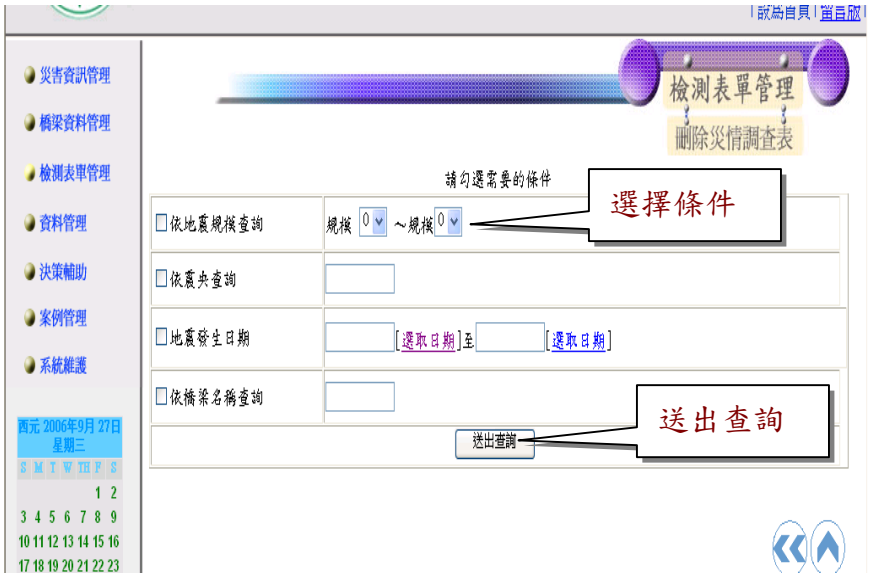


圖 3-64 刪除災情調查表條件

圖 3-65 符合條件之表單

圖 3-66 確認刪除此筆資料

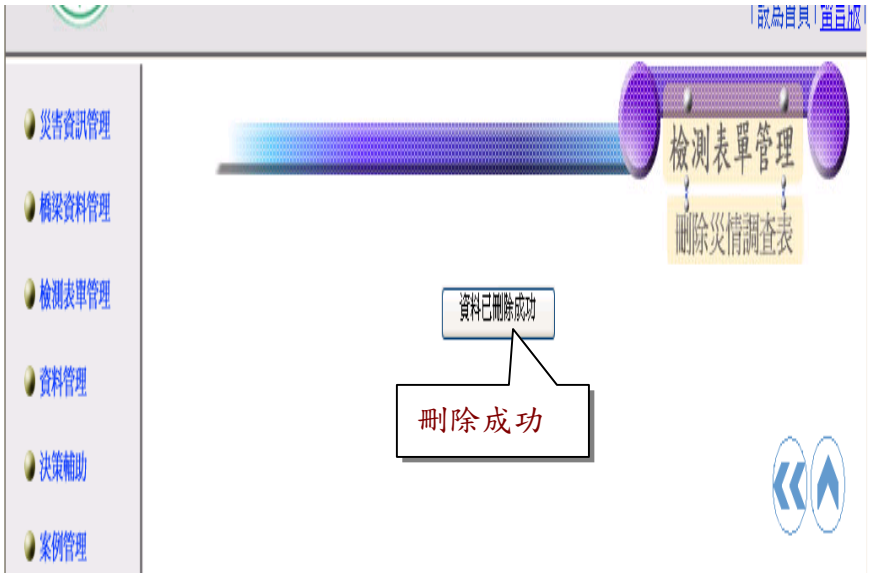


圖 3-67 刪除成功之訊息

修改災情調查選擇橋梁條件(圖3-68)，點選欲修改表單之橋梁名稱(圖3-69)，修改表單欄位(圖3-70)，按下確定送出鈕，將資料儲存(圖3-71)。

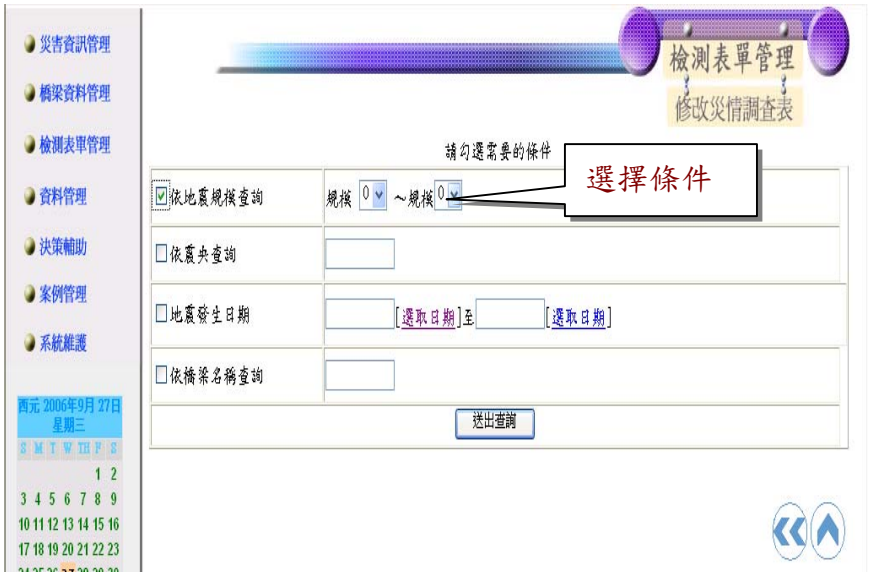


圖 3-68 修改調查表之條件

圖 3-69 符合條件之表單

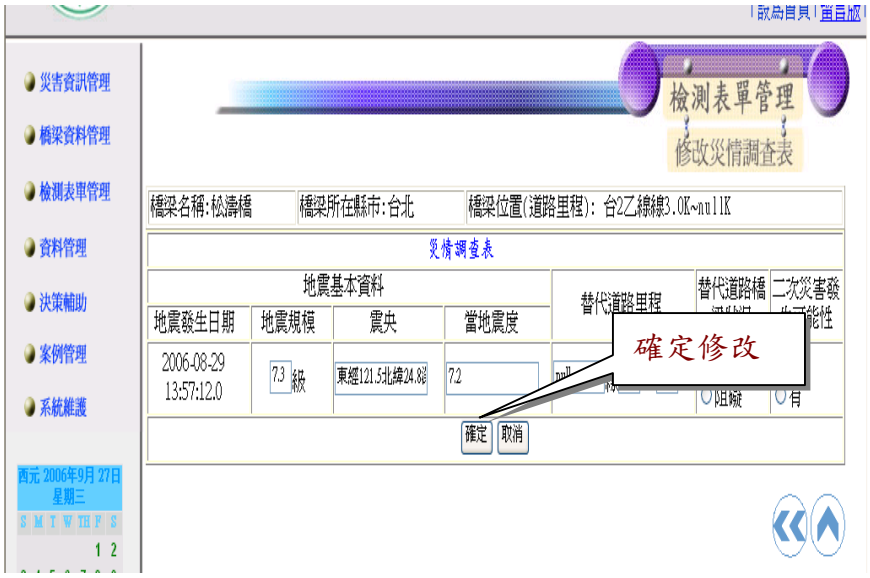


圖 3-70 修改災情調查表

圖 3-71 修改成功訊息

查看災情調查表選擇橋梁條件(圖3-72)，點選欲查看表單之橋梁名稱(圖3-73)，可觀看表單資料(圖3-74)；搜尋災情調查表可直接選擇修改、刪除、查看功能(圖3-75)。

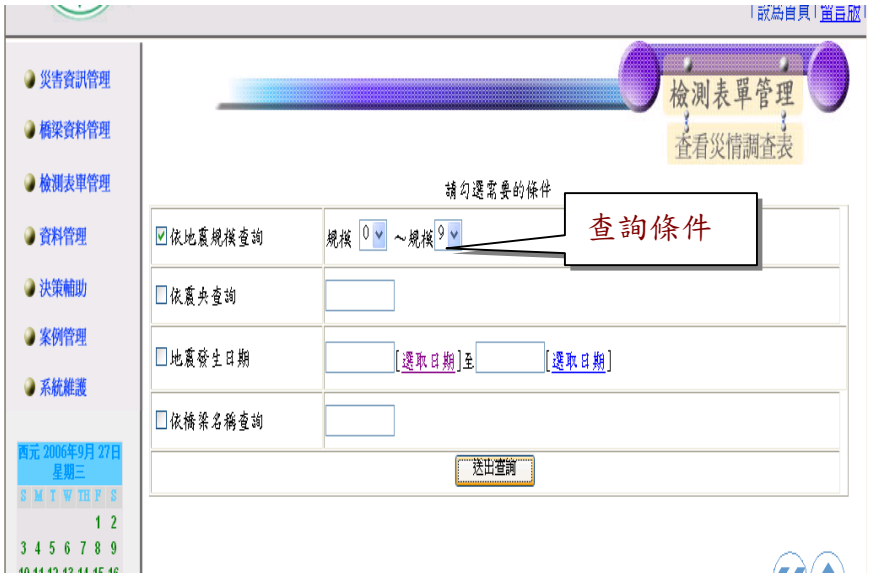


圖 3-72 查看調查表條件勾選

圖 3-73 符合條件之表單

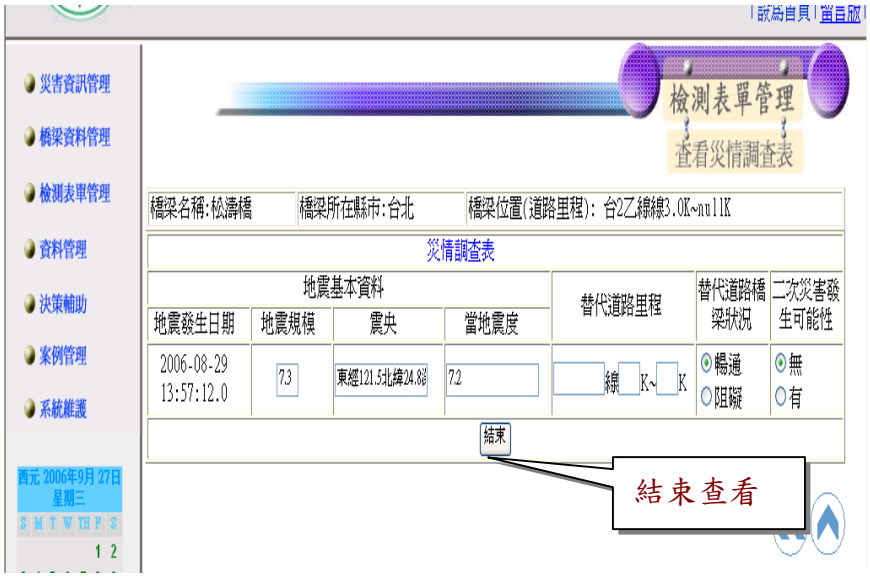


圖 3-74 查看災情調查表

圖 3-75 搜尋災情調查表功能

匯入災情調查表選擇橋梁條件(圖3-76)，點選欲匯入表單之橋梁名稱(圖3-77)，選擇匯入表單路徑(圖3-78)；選擇在電腦中之檔案(圖3-79)。

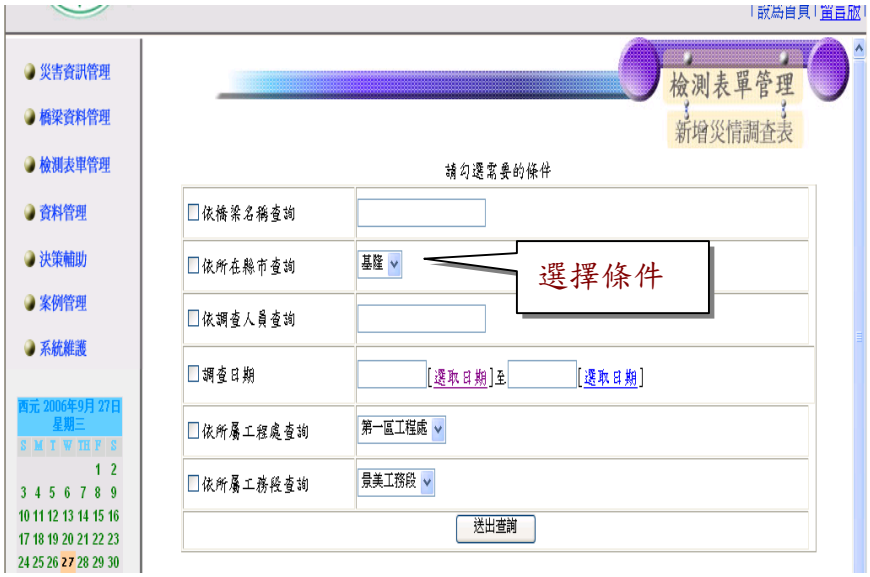


圖 3-76 勾選篩選條件

圖 3-77 符合條件之橋梁

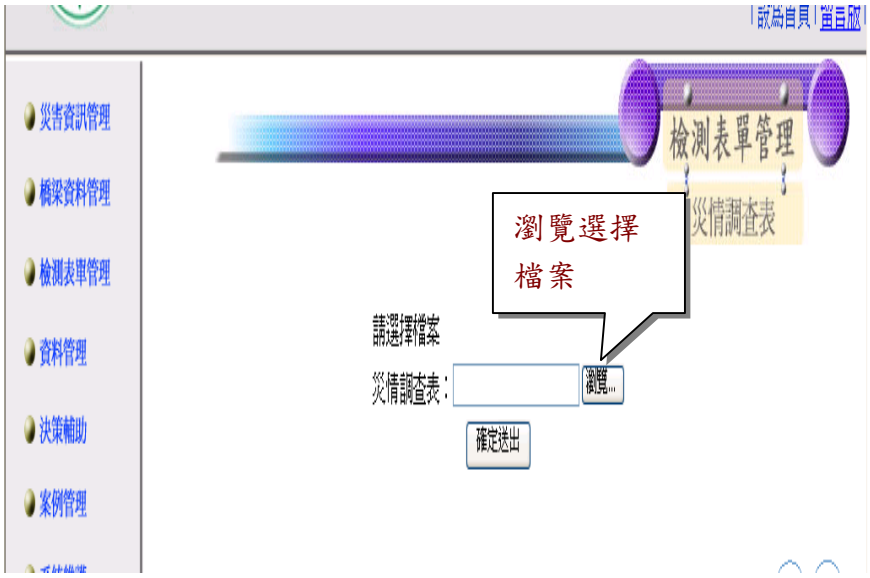


圖 3-78 選擇匯入檔案

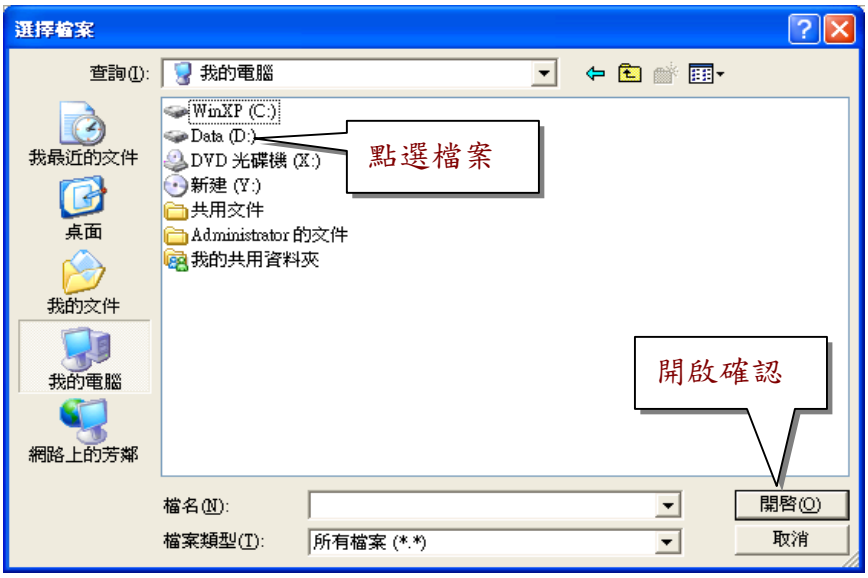


圖 3-79 選擇匯入檔案路徑

緊急調查表下有新增、刪除、修改、查看、搜尋與匯入表單等六項功能(圖3-80)。

圖 3-80 緊急調查表

新增緊急調查選擇橋梁條件(圖3-81)，點選欲新增表單之橋梁名稱(圖3-82)，填寫表單欄位(圖3-83)，按下確定送出鈕(圖3-84)，將資料儲存(圖3-85)。

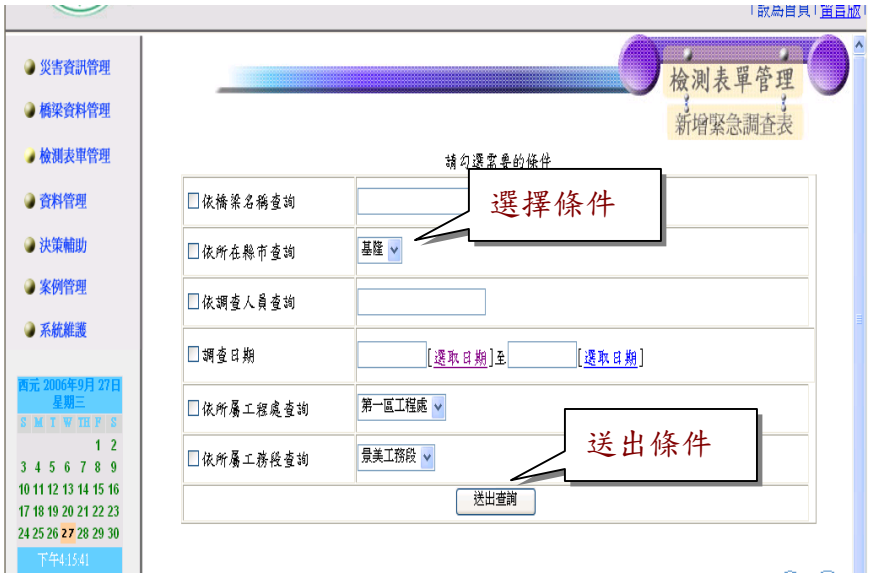


圖 3-81 選擇條件

圖 3-82 列出符合條件之橋梁

圖 3-83 填寫緊急調查表

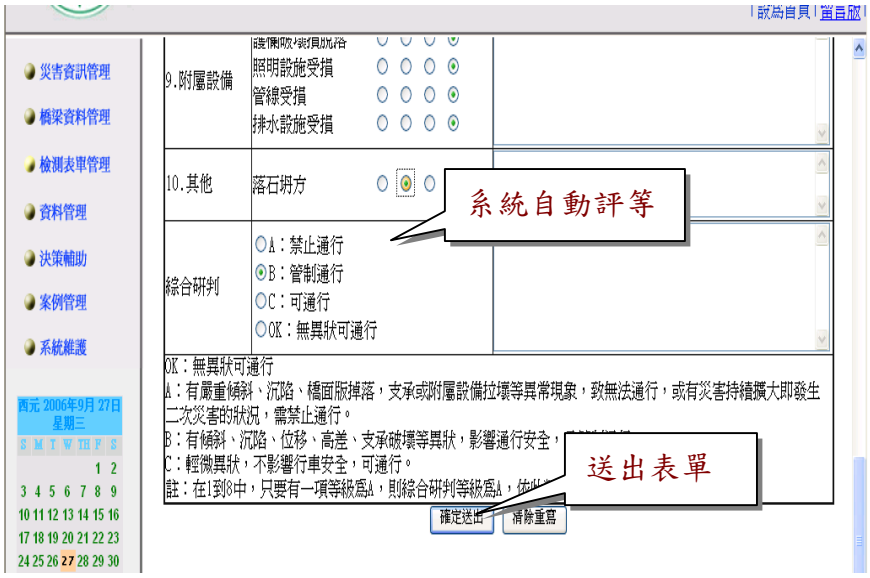


圖 3-84 送出表單

圖 3-85 儲存成功訊息

刪除緊急調查選擇橋梁條件(圖3-86)，點選欲刪除表單之橋梁名稱(圖3-87)，確認欲刪除之表單(圖3-88)，按下確定刪除鈕，將資料刪除(圖3-89)。

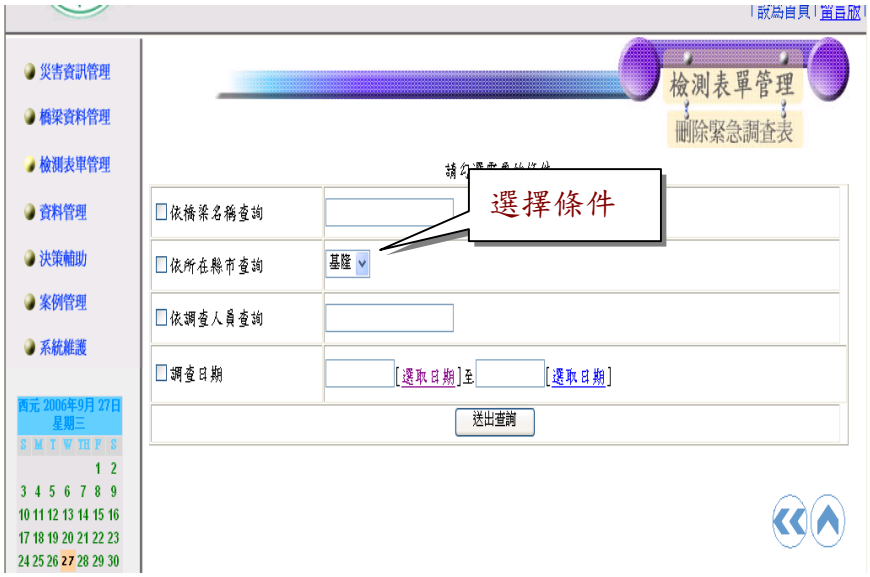


圖 3-86 選擇條件

圖 3-87 選擇欲刪除之表單

圖 3-88 確認是否刪除表單

圖 3-89 刪除成功訊息

修改緊急調查選擇橋梁條件(圖3-90)，點選欲修改表單之橋梁名稱(圖3-91)，修改表單內容(圖3-92)，按下確定鈕，將資料儲存(圖3-93)。

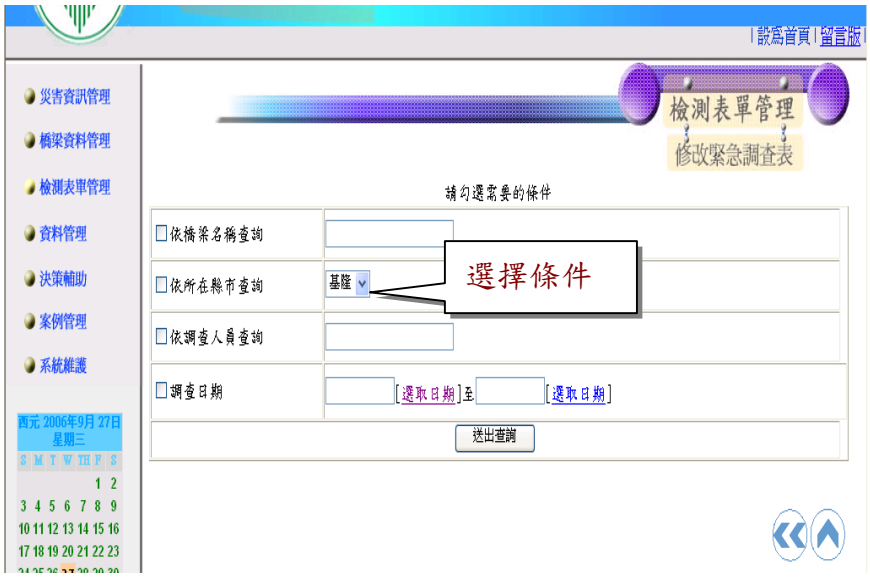


圖 3-90 選擇條件

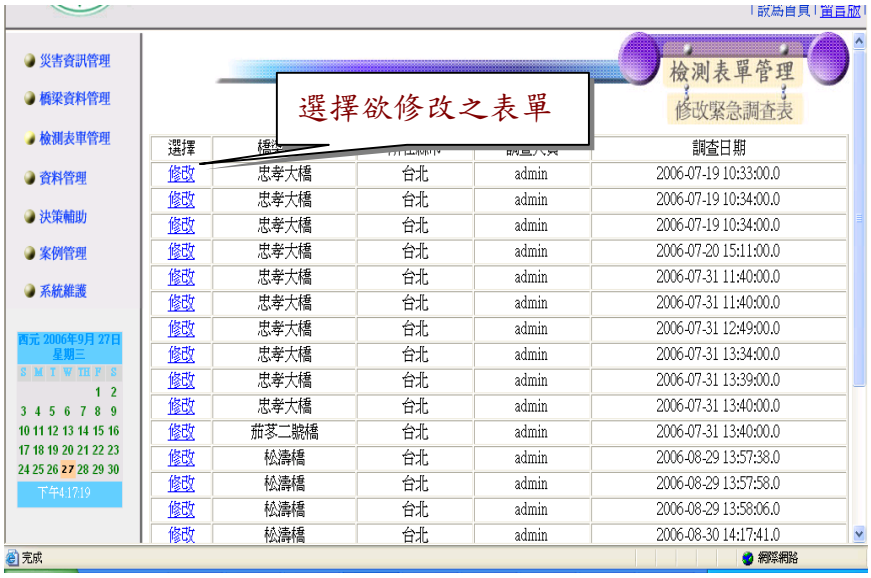


圖 3-91 符合條件之表單

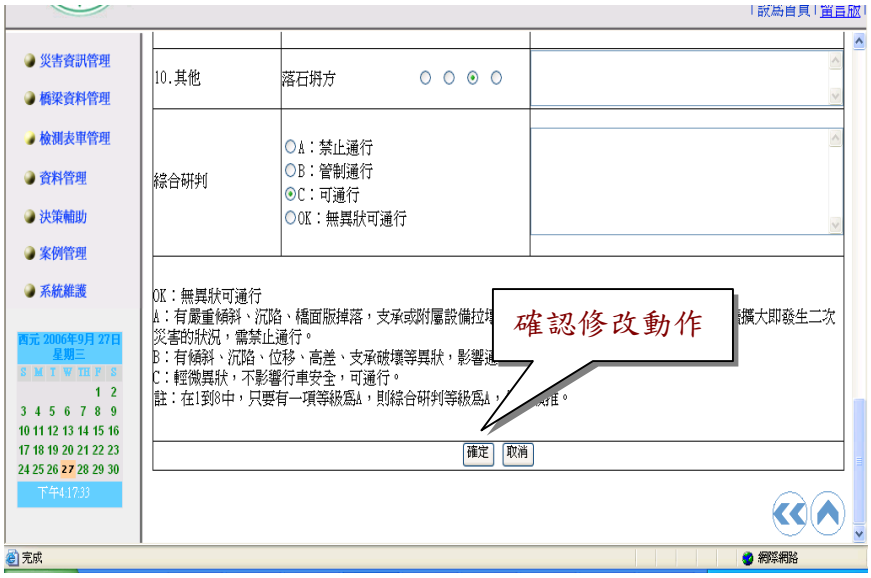


圖 3-92 修改確認

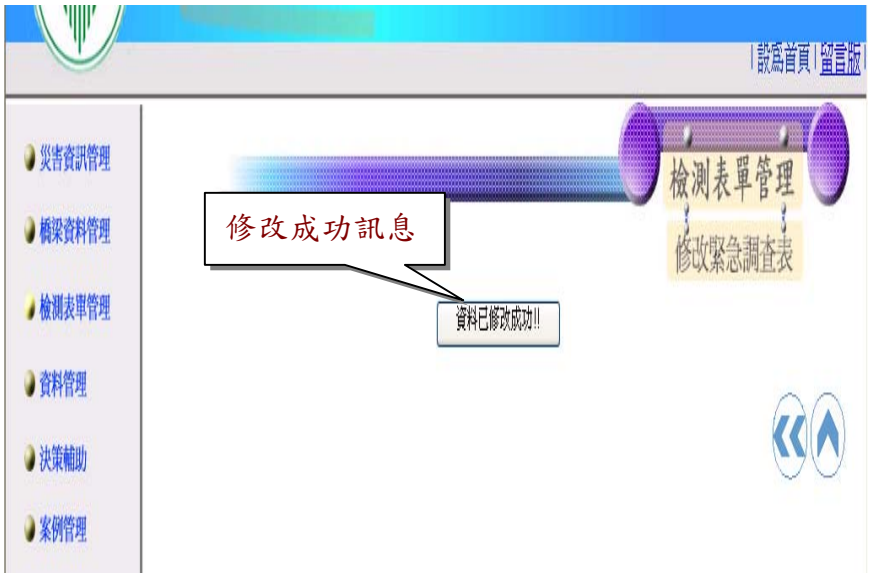


圖 3-93 修改成功訊息

查看緊急調查選擇橋梁條件(圖3-94)，點選欲查看表單之橋梁名稱(圖3-95)，查看表單內容(圖3-96)，按下結束鈕離開(圖3-97)。

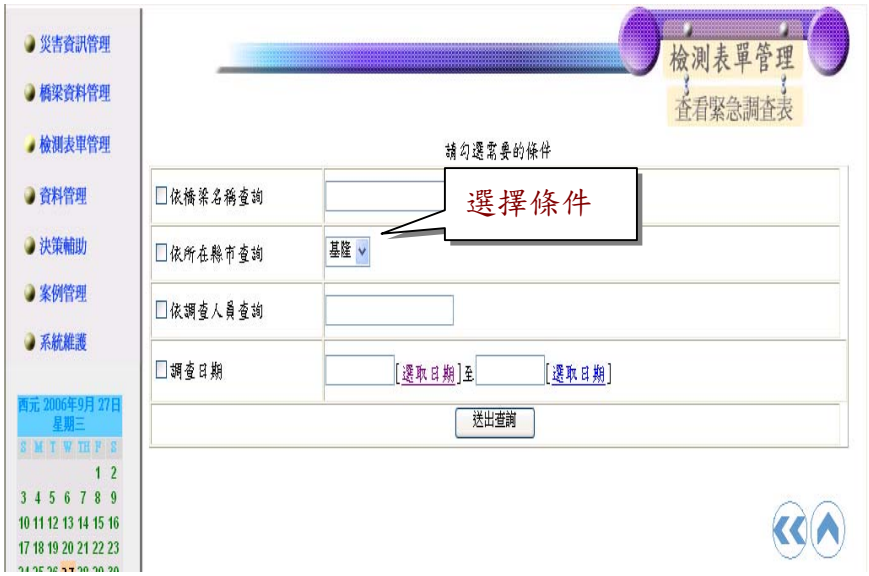


圖 3-94 選擇條件

圖 3-95 符合條件之檢查表

圖 3-96 查看緊急調查表

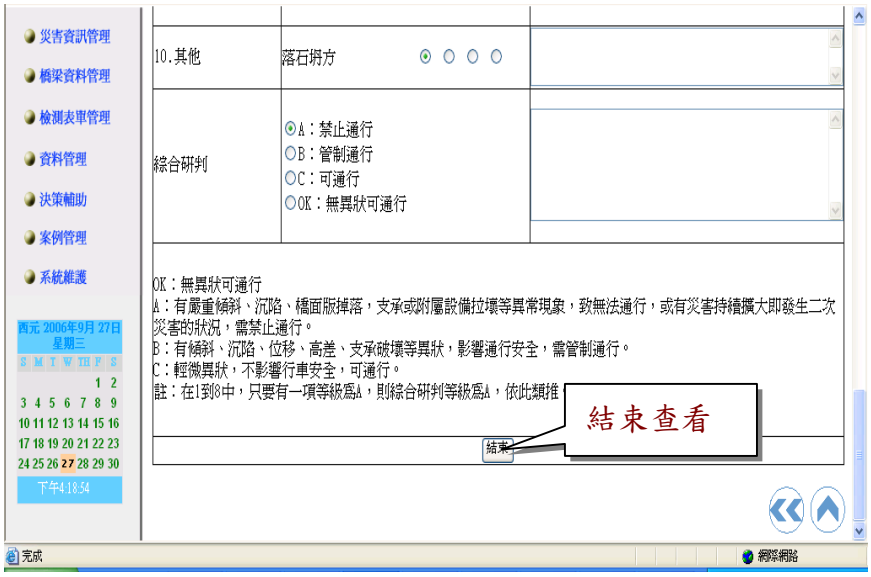


圖 3-97 結束查看

搜尋緊急調查選擇橋梁條件(圖3-98)，點選欲對此表單之動作(圖3-99)。

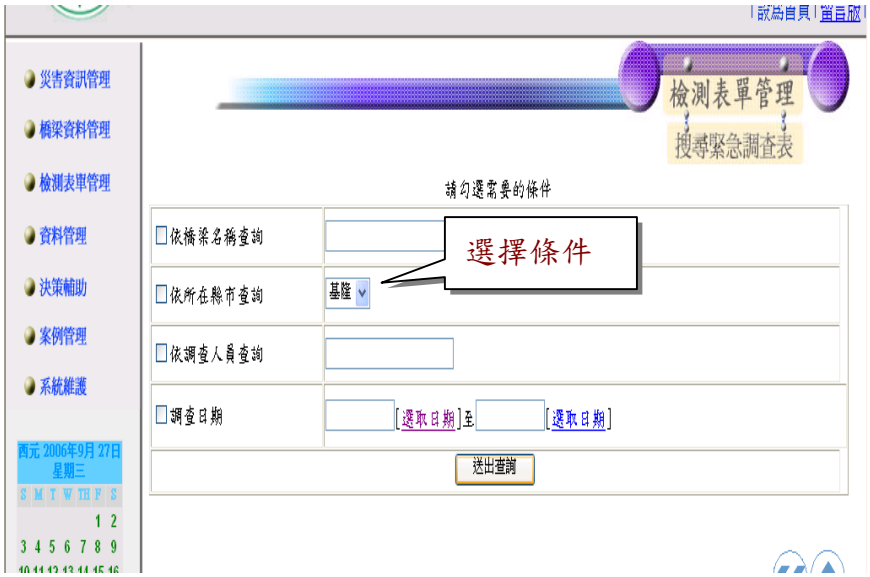


圖 3-98 選擇條件

圖 3-99 選擇此表單之動作

匯入緊急調查選擇橋梁條件(圖3-100)，點選欲匯入表單之橋梁名稱(圖3-101)，選擇檔案路徑單(圖3-102)，從電腦中選擇檔案(圖3-103)。

圖 3-100 選擇條件

圖 3-101 符合條件之橋梁

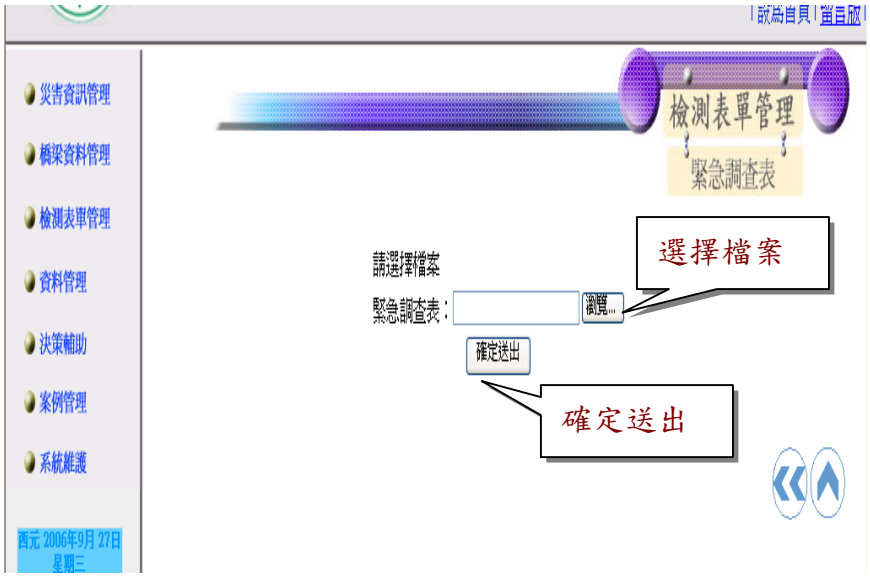


圖 3-102 選擇匯入表單路徑

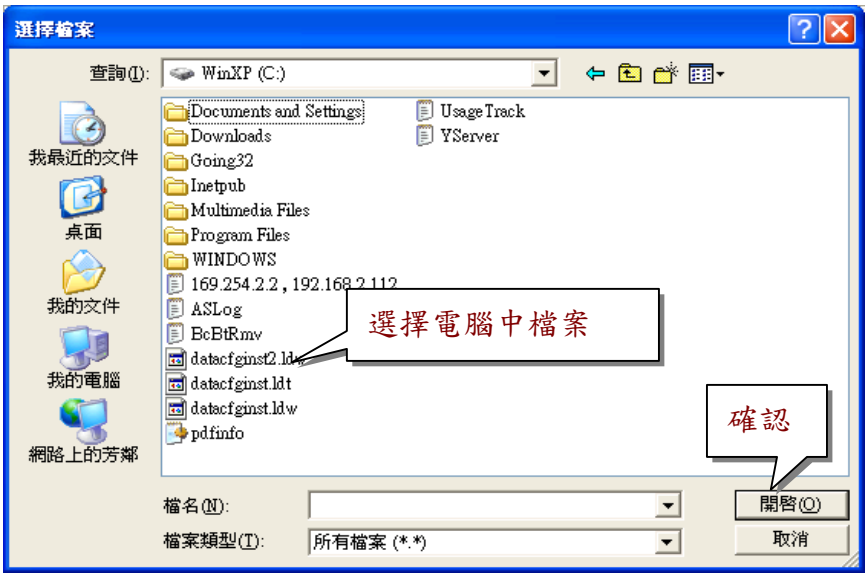


圖 3-103 選取電腦中檔案

緊急評估表下有新增、刪除、修改、查看、搜尋與匯入表單等六項功能(圖3-104)。

圖 3-104 緊急評估表功能

新增緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-105)，點選欲新增表單之橋梁名稱(圖3-106)，填寫表單內容(圖3-107)，可使用破壞參考圖例(圖3-108)

或判定標準圖(圖3-109)作為評等之依據，系統將自動給予評等(圖3-110)，完成儲存可繼續上傳此橋梁圖檔(圖3-111)，選擇要上傳之檔案(圖3-112)，選擇電腦中圖檔(圖3-113) 並給予圖說明(圖3-114)，按下確定儲存至資料庫(圖3-115)。

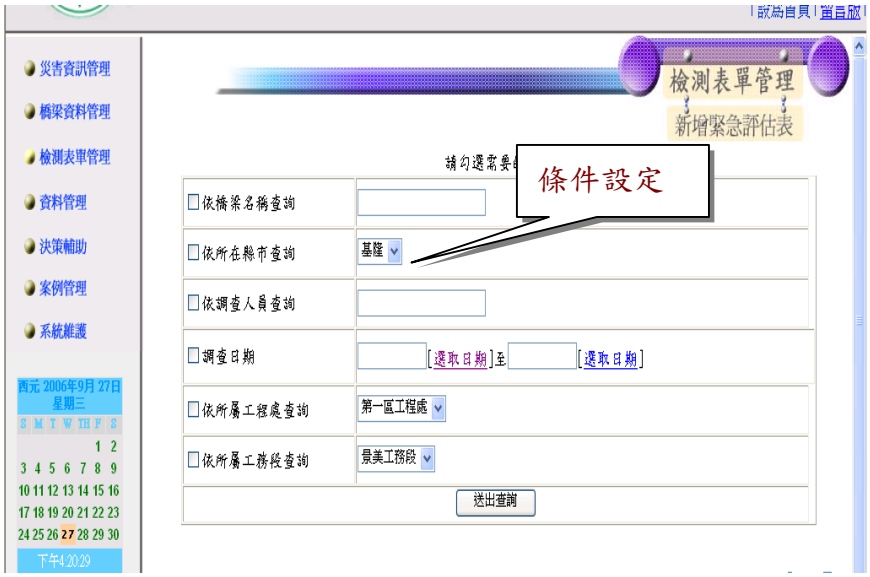


圖 3-105 選擇條件

圖 3-106 符合條件之橋梁

圖 3-107 填寫緊急評估表

圖 3-108 破壞參考圖例

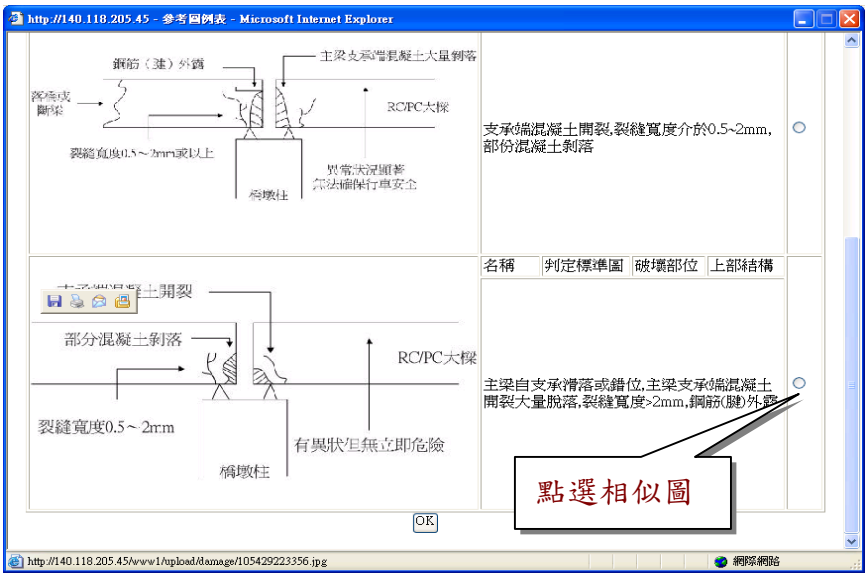


圖 3-109 判定標準圖例

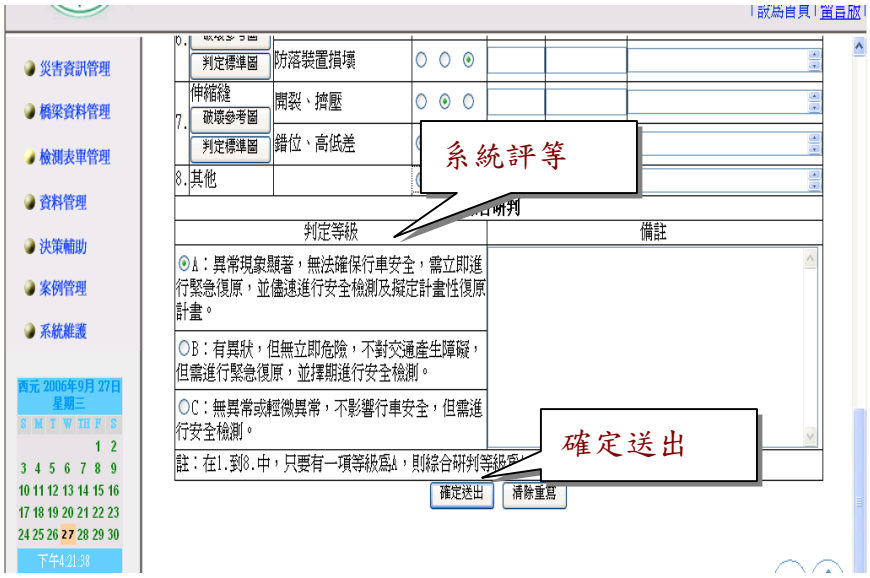


圖 3-110 系統自動評等

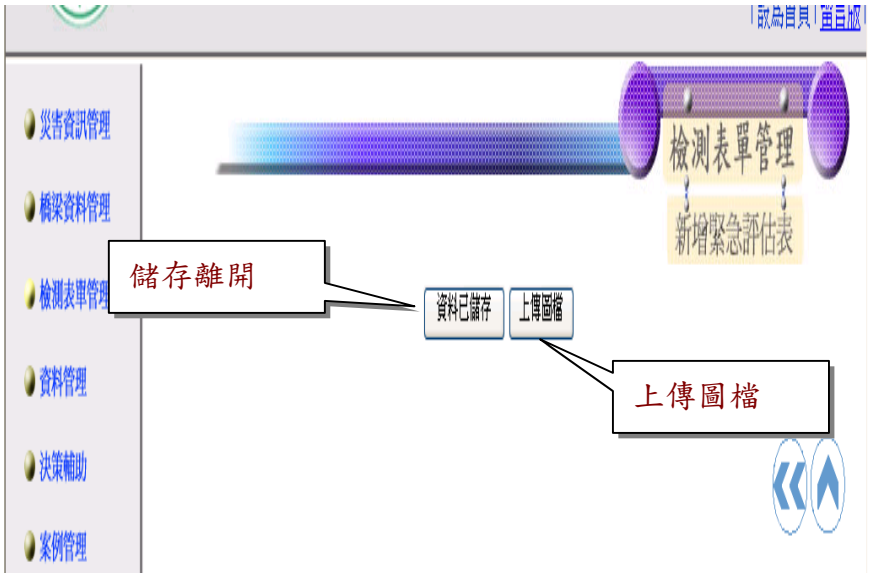


圖 3-111 儲存成功訊息

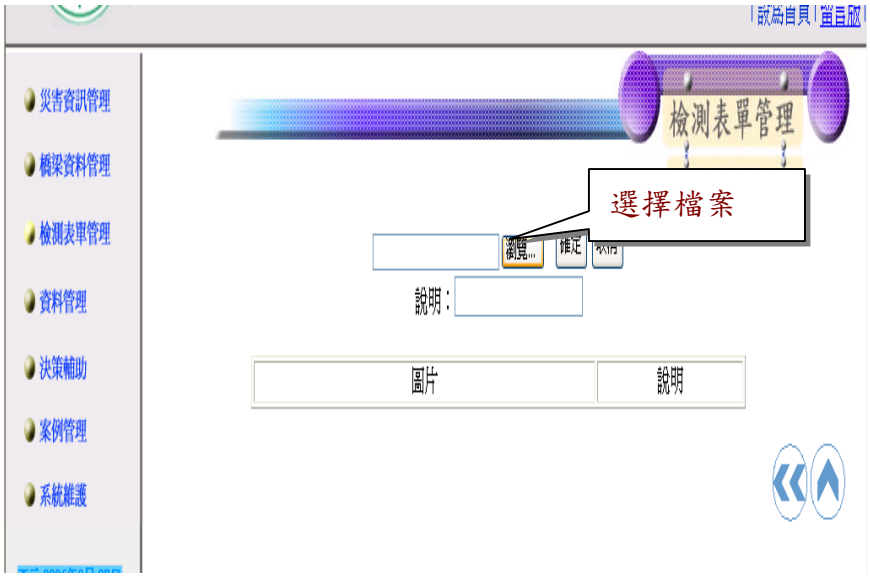


圖 3-112 選擇欲加入之圖檔

圖 3-113 選取電腦中圖檔

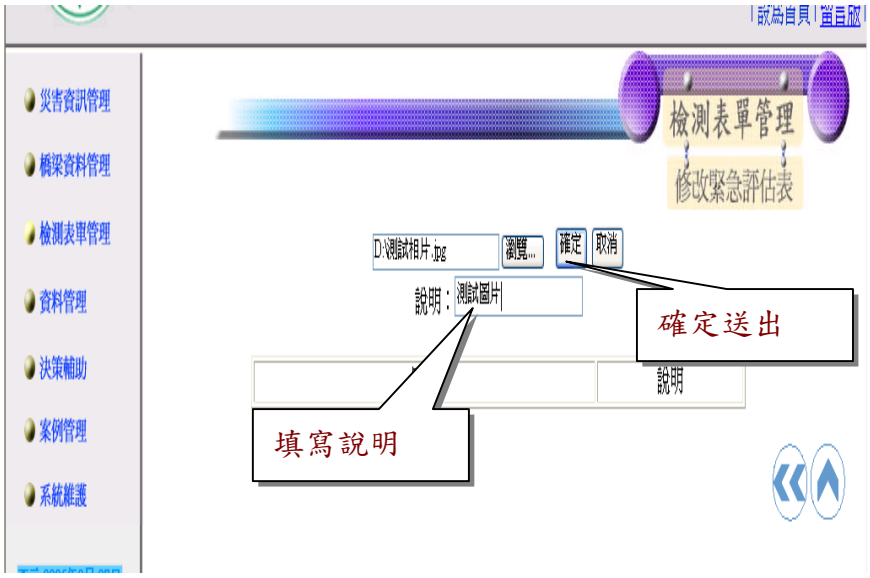


圖 3-114 加入圖檔說明

圖 3-115 完成上傳圖片

刪除緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-116)，點選欲刪除表單(圖3-117)，確認表單內容(圖3-118)，按下刪除鈕，確認資料刪除成功(圖3-119)。

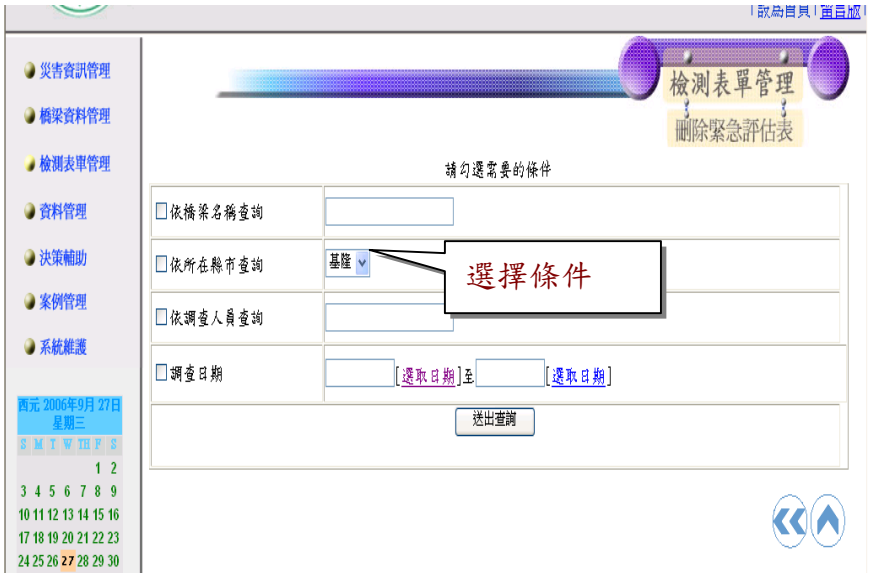


圖 3-116 刪除表單條件設定

刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-07-31 11:41:00.0
刪除	茄苳二號橋	台北	admin	2006-07-31 13:40:00.0
刪除	爪峰橋	台北	admin	2006-08-15 16:19:00.0
刪除	新磺溪橋	台北	admin	2006-08-15 16:33:08.0
刪除	臨海橋	台北	admin	2006-08-15 16:26:57.0
刪除				2006-08-21 00:01:35.0
刪除	橋			2006-08-21 00:09:28.0
刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-08-21 00:20:53.0
刪除	松濤橋	台北	admin	2006-08-30 14:19:19.0
刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-08-30 15:01:49.0
刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-08-30 15:25:41.0
刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-09-26 10:18:31.0
刪除	忠孝大橋	台北	admin	2006-09-27 15:54:23.0
刪除	中心橋	台北	admin	2006-09-27 16:19:22.0
刪除	鶯歌橋	台北	admin	2006-09-27 16:25:23.0
刪除	中心橋	台北	admin	2006-09-27 16:27:34.0
刪除	鼻頭橋	台北	admin	2006-09-27 17:17:41.0

圖 3-117 符合條件之表單

圖 3-118 欲刪除表單內容

圖 3-119 刪除成功訊息

修改緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-120)，點選欲修改表單(圖3-121)，修改表單內容(圖3-122)，按下修改鈕(圖3-123)，確認資料修改成功(圖3-124)。

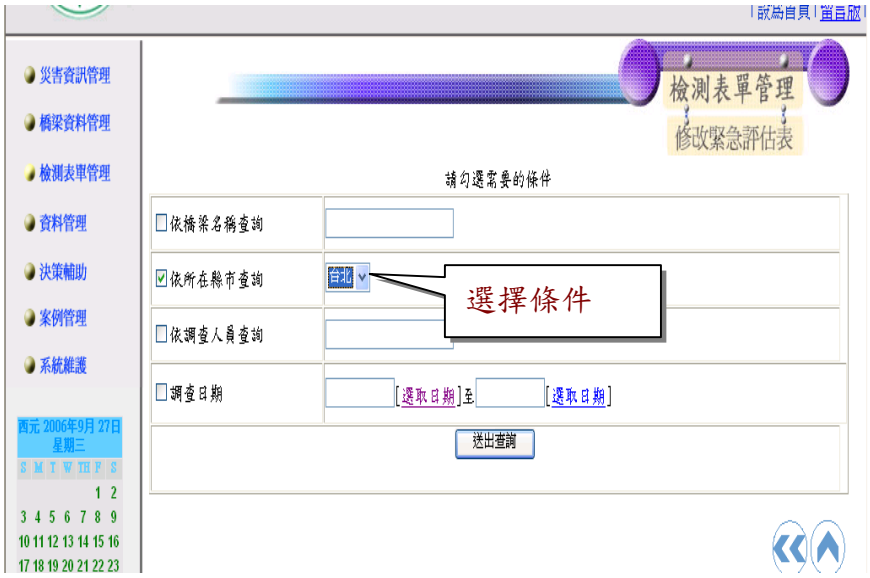


圖 3-120 修改表單條件設定

圖 3-121 符合條件之表單

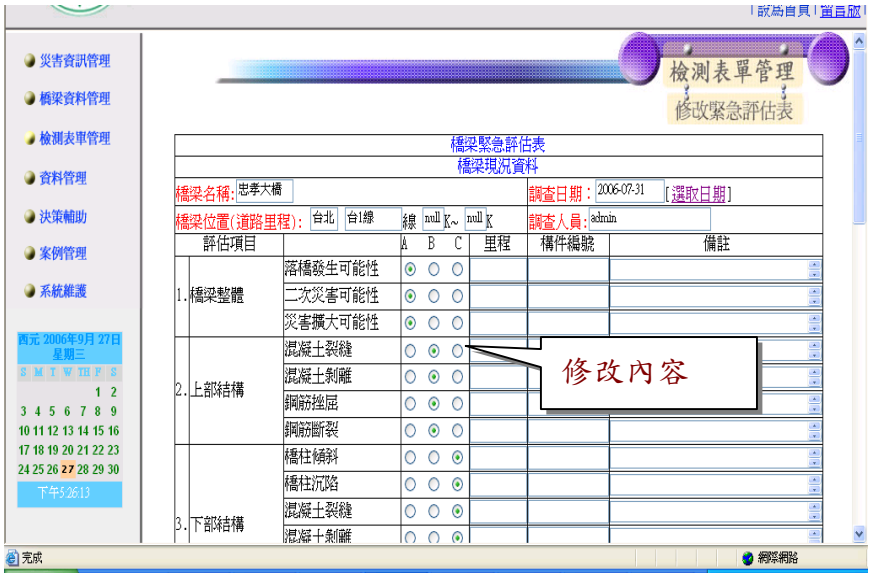


圖 3-122 修改表單內容

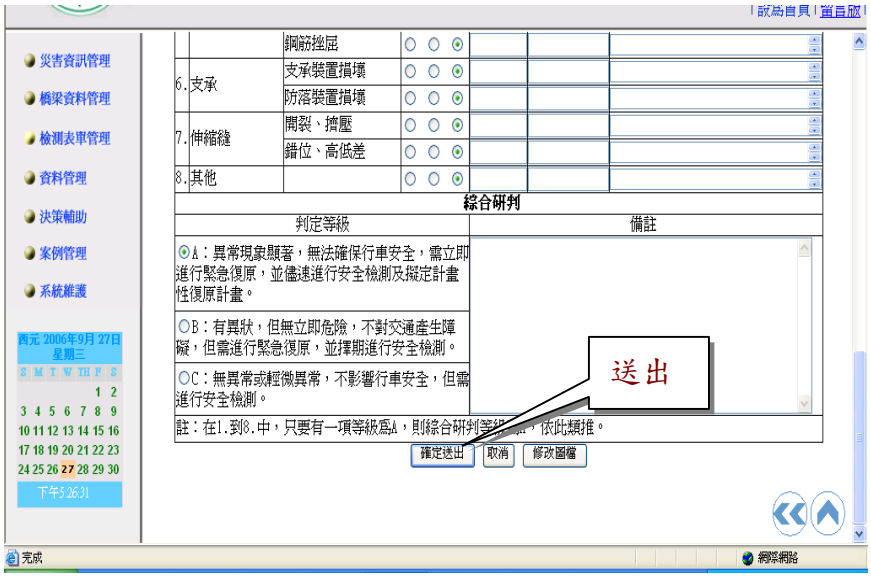


圖 3-123 修改表單(續)

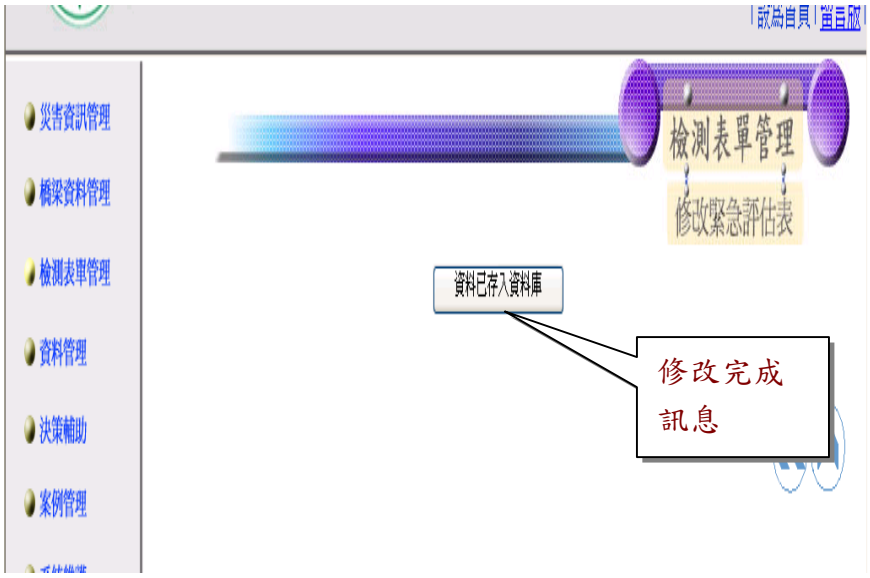


圖 3-124 修改表單成功訊息

查看緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-125)，點選欲查看表單(圖3-126)，查看表單內容(圖3-127)，按下觀看圖檔(圖3-128)，可查看此橋梁破壞圖檔確認資料修改成功(圖3-129)。

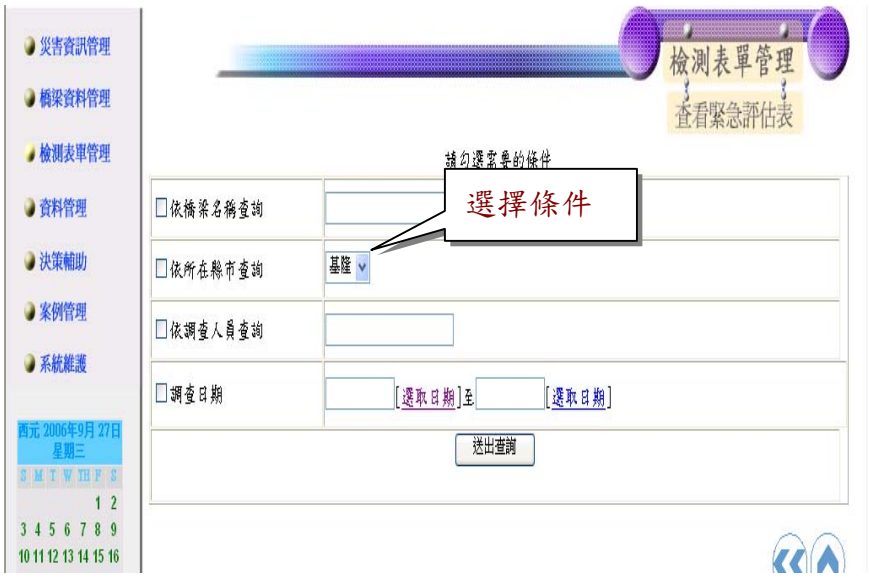


圖 3-125 選擇查看表單之條件

圖 3-126 符合條件之表單

圖 3-127 查看表單內容

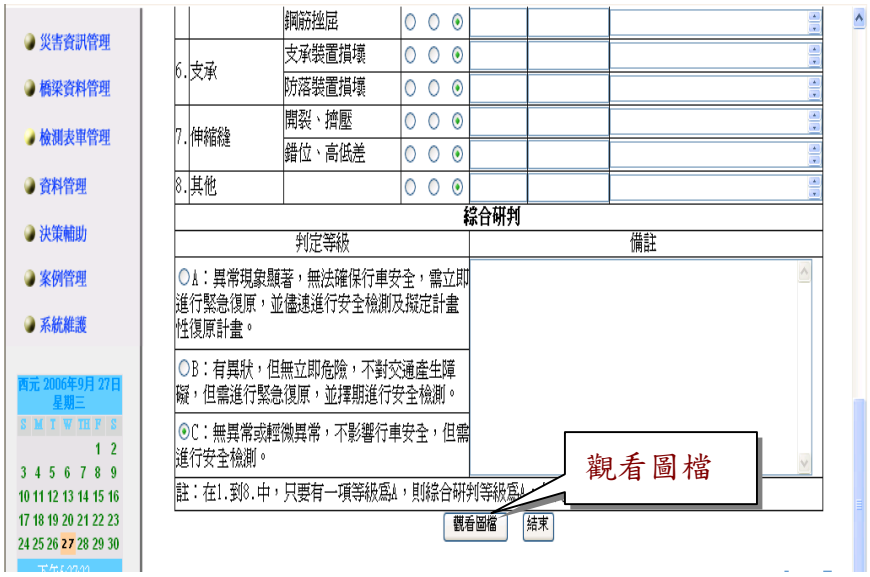


圖 3-128 觀看圖檔按鈕

圖 3-129 圖檔列表

搜尋緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-130)，點選表單動作(圖3-131)。

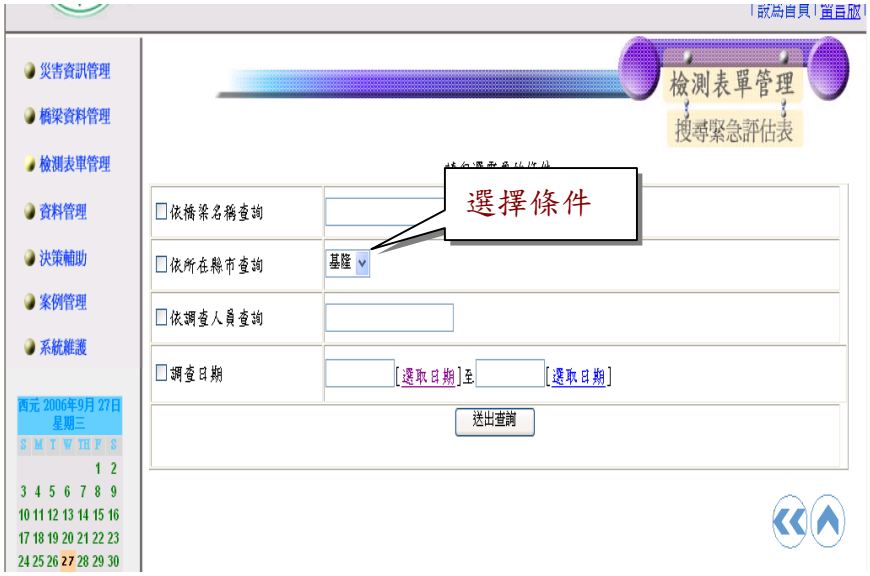


圖 3-130 搜尋表單條件設定

圖 3-131 搜尋結果

匯入緊急評估表選擇橋梁條件(圖3-132)，點選欲匯入表單之橋梁(圖3-133)，選擇表單路徑(圖3-134)，選取電腦中檔案(圖3-135)，送出匯入完成。

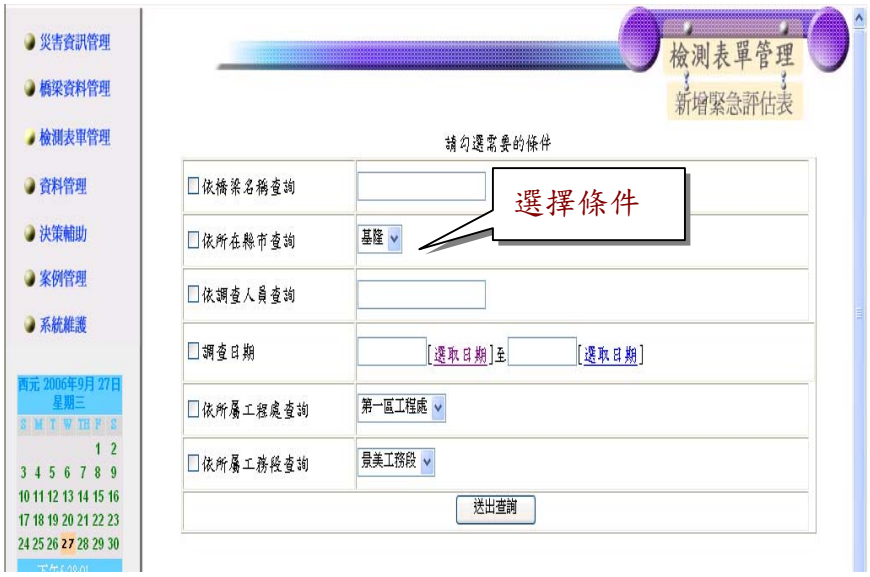


圖 3-132 匯入表單橋梁條件設定

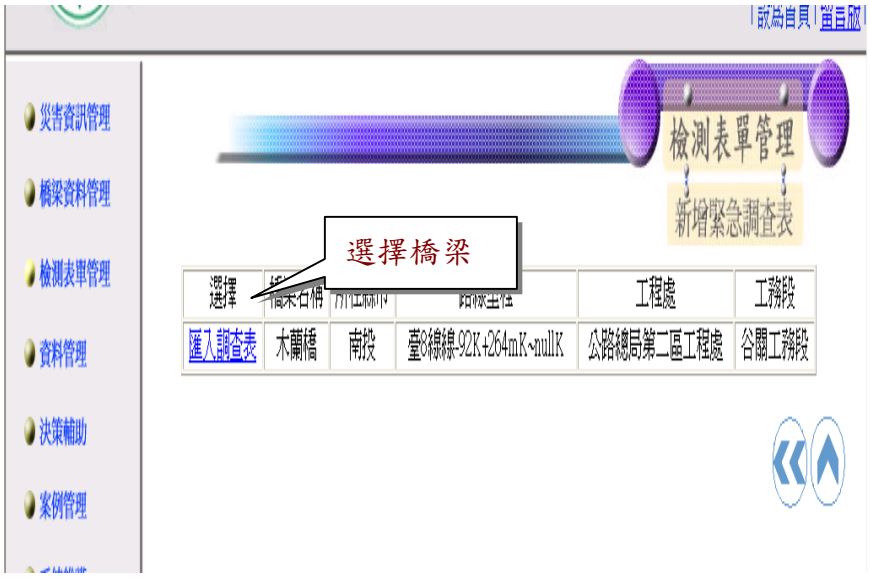


圖 3-133 符合條件之橋梁

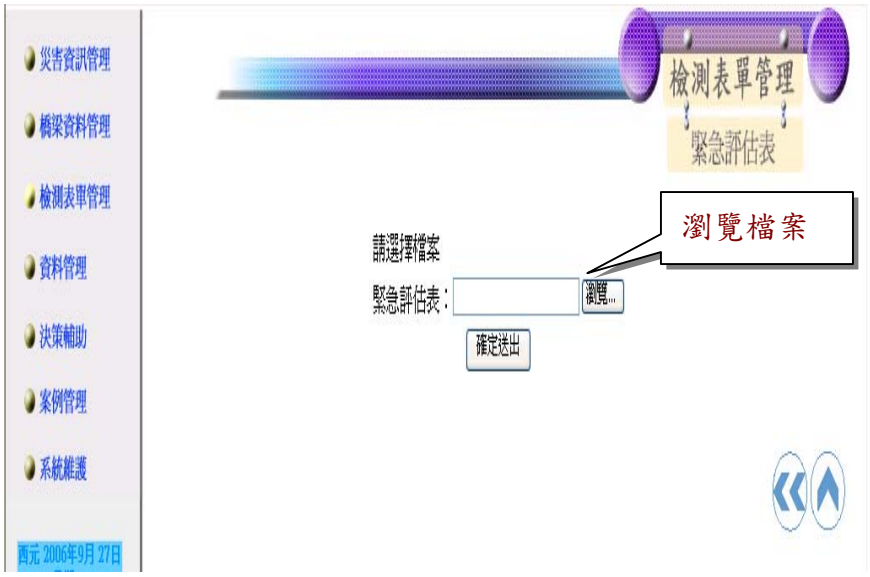


圖 3-134 匯入表單

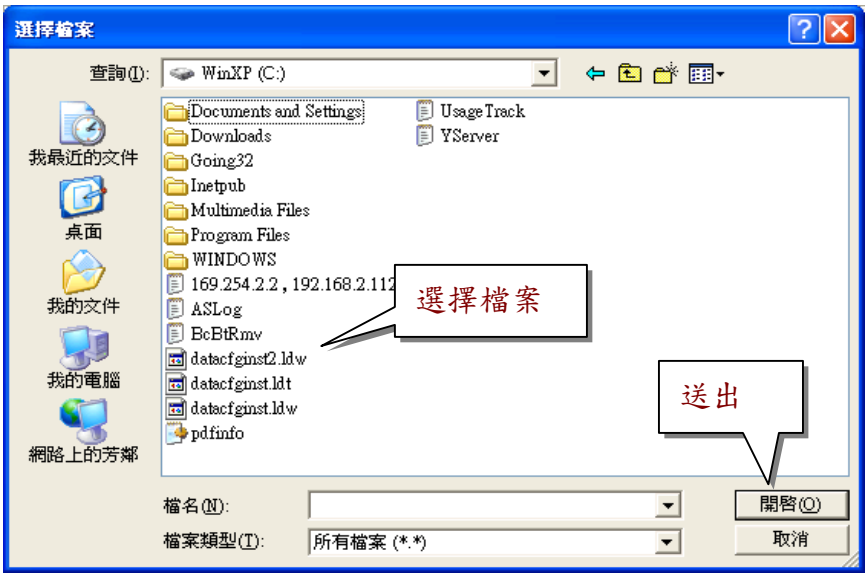


圖 3-135 選取檔案

3.3.2 洪水檢測表

洪水檢測表下分為耐洪能力初步評估表與受沖刷災害分級快速檢查表單(圖3-136)。

圖 3-136 洪水檢測表

耐洪能力初步評估表下有新增、刪除、修改、查看與搜尋等五項功能(圖3-137)。

圖 3-137 耐洪能力初步評估功能

新增評估表選擇橋梁條件(圖3-138)，點選欲新增表單之橋梁名稱(圖3-139)，填寫表單內容(圖3-140)，系統將自動加總(圖3-141)，按下確定儲存至資料庫(圖3-142)。

圖 3-138 選擇條件

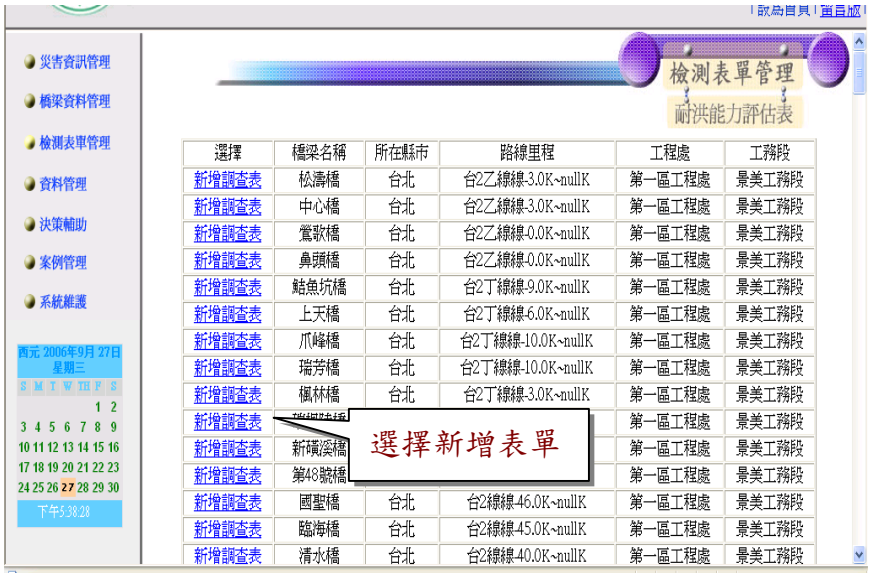


圖 3-139 符合條件之橋梁

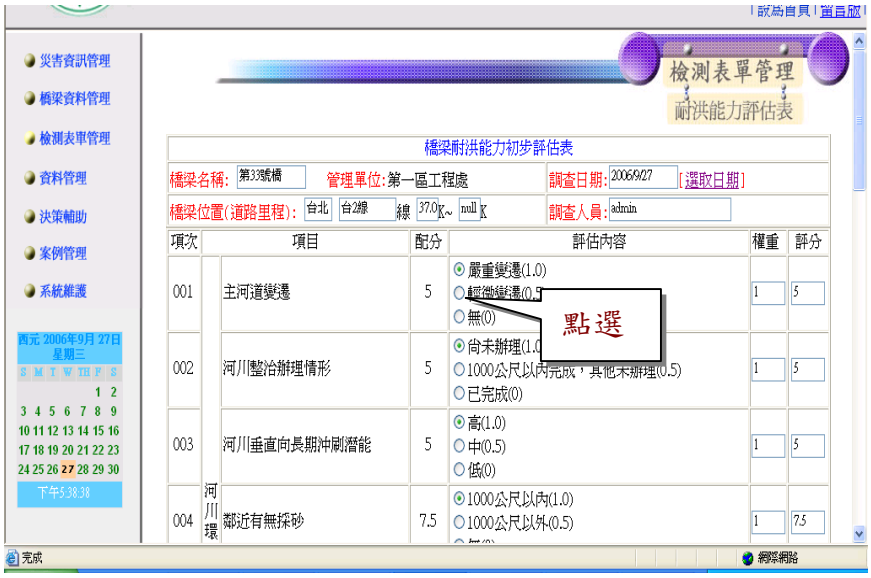


圖 3-140 填寫表單

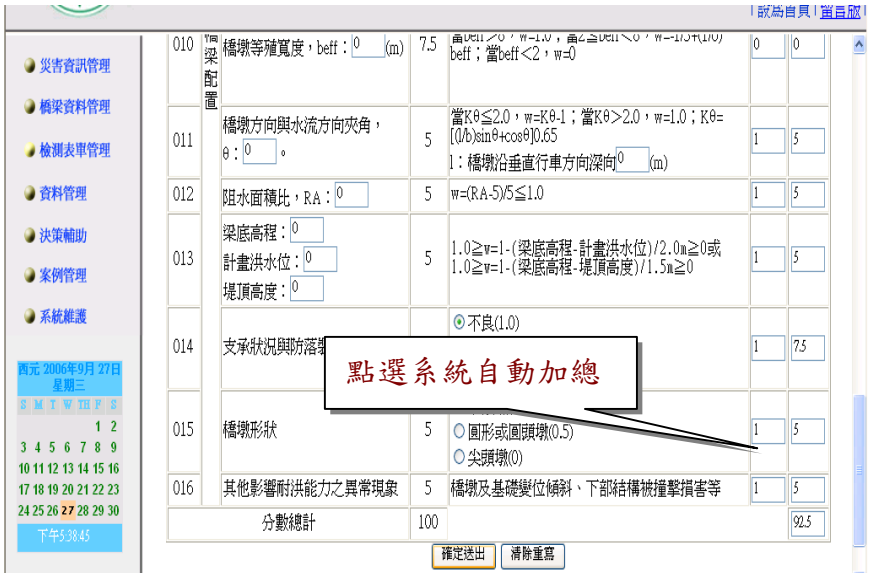


圖 3-141 系統加總分數

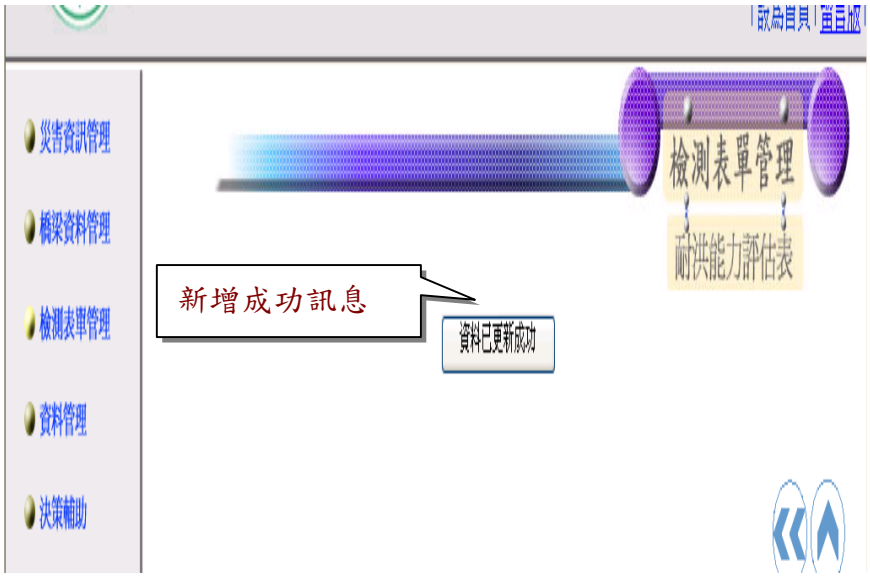


圖 3-142 新增成功

刪除評估表選擇橋梁條件後，點選欲刪除表單之橋梁名稱(圖3-143)，確認表單內容(圖3-144)，按下確定刪除此筆表單(圖3-145)。

圖 3-143 刪除表單條件設定

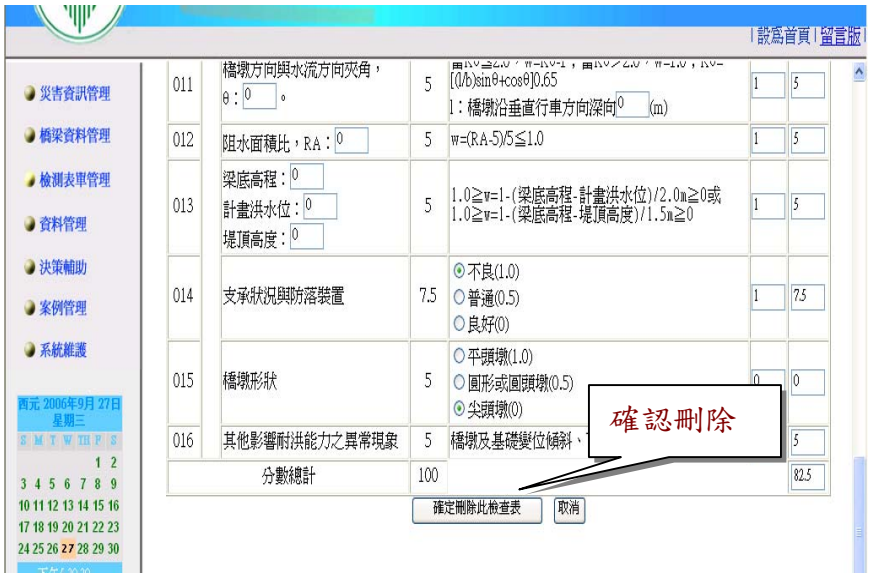


圖 3-144 確認刪除表單

圖 3-145 表單刪除成功

修改評估表選擇橋梁條件(圖3-146)，點選欲修改表單之橋梁名稱(圖3-147)，修改表單內容(圖3-148)，按下確定儲存至資料庫(圖3-149)。

圖 3-146 修改表單條件設定

圖 3-147 符合條件之表單

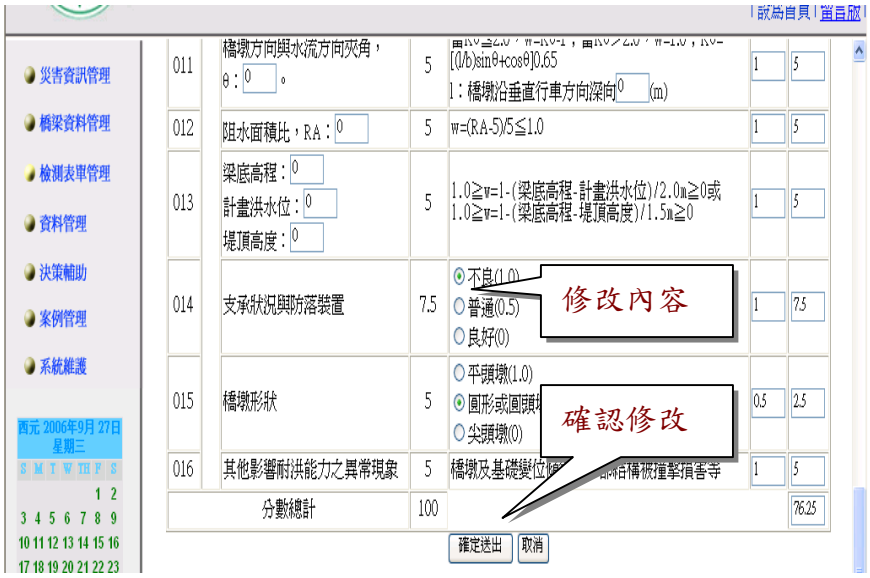


圖 3-148 修改表單內容

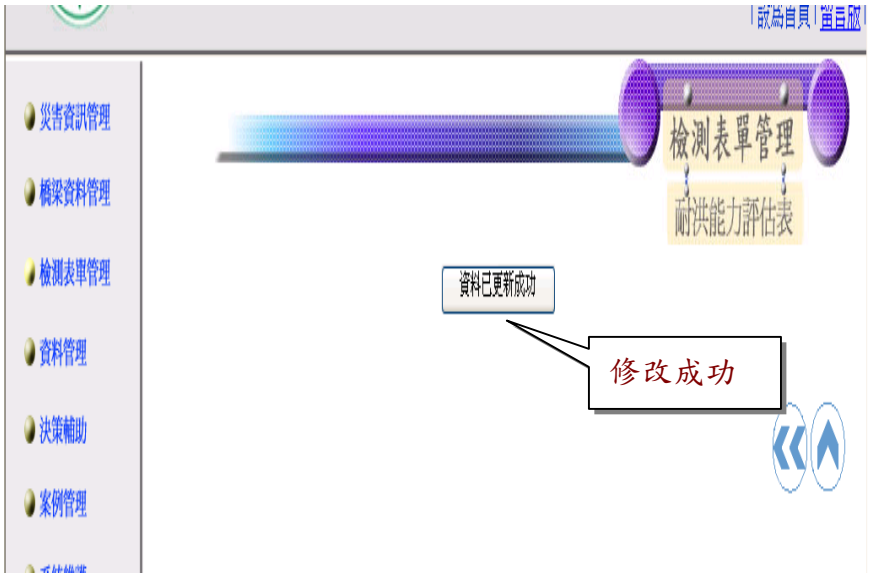


圖 3-149 修改成功

查看評估表選擇橋梁條件(圖3-150)，點選欲查看表單之橋梁名稱(圖3-151)，查看表單內容(圖3-152)。

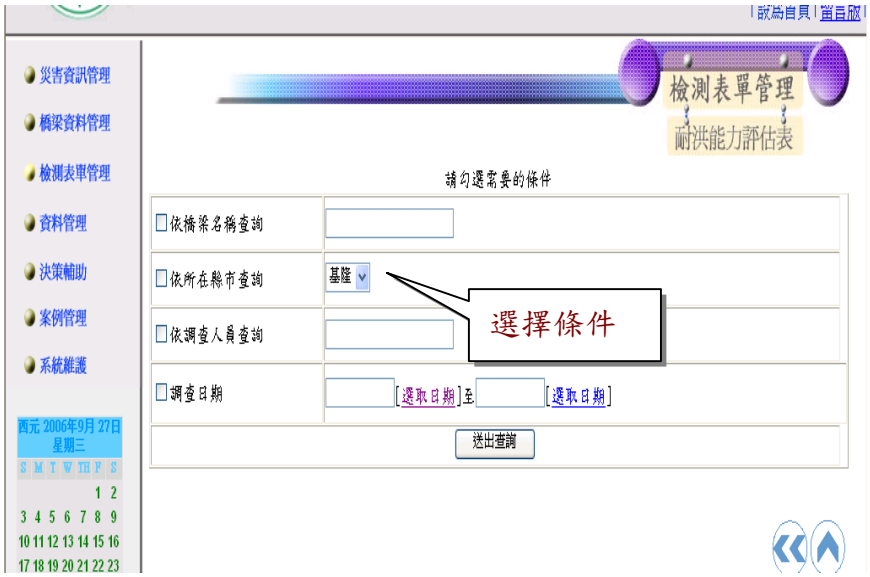


圖 3-150 查看表單條件設定

圖 3-151 符合條件之表單

圖 3-152 查看表單內容

搜尋評估表選擇橋梁條件(圖3-153)，選擇欲進行之功能(圖3-154)。

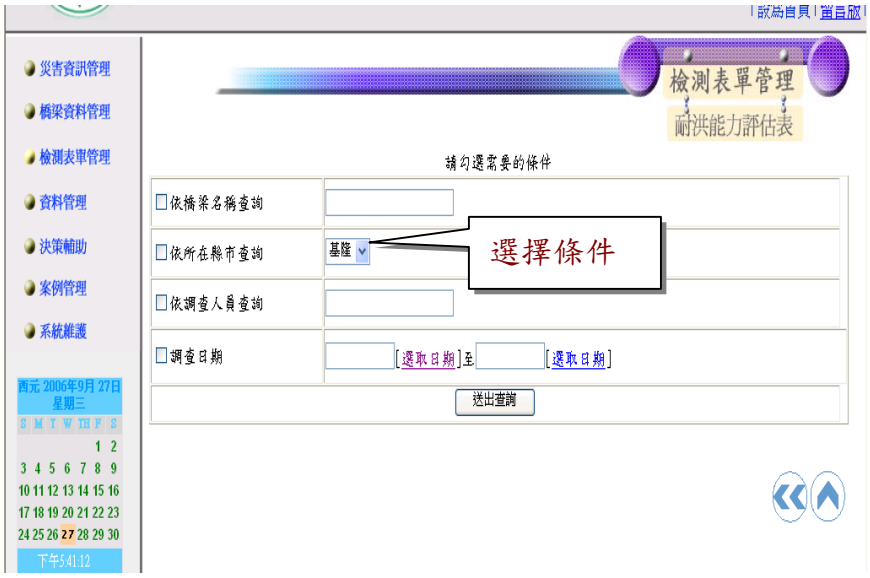


圖 3-153 設定搜尋表單條件

圖 3-154 符合條件之表單

沖刷損壞分級快速檢查表下有新增、刪除、修改、查看與搜尋等五項功能(圖3-155)。

圖 3-155 沖刷損壞分級快速檢查表功能

新增評估表選擇橋梁條件(圖3-156)，點選欲新增表單之橋梁名稱(圖3-157)，填寫表單內容(圖3-158)，系統將自動總評(圖3-159)，按下確定儲存至資料庫(圖3-160)。

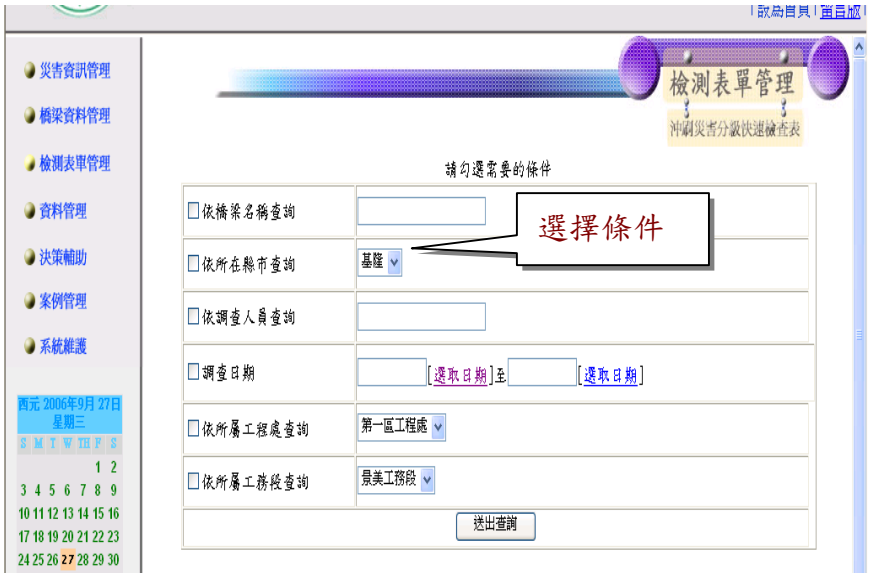


圖 3-156 設定條件

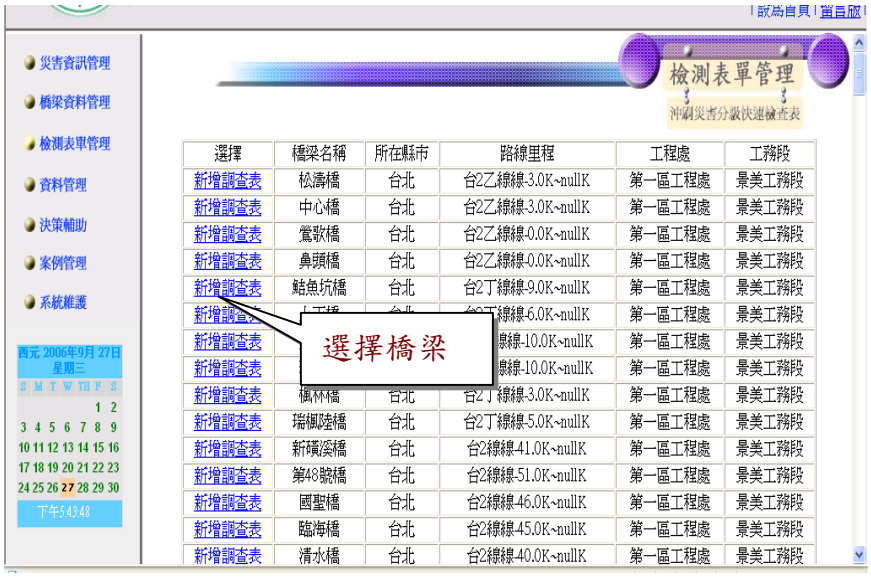


圖 3-157 符合條件之橋梁

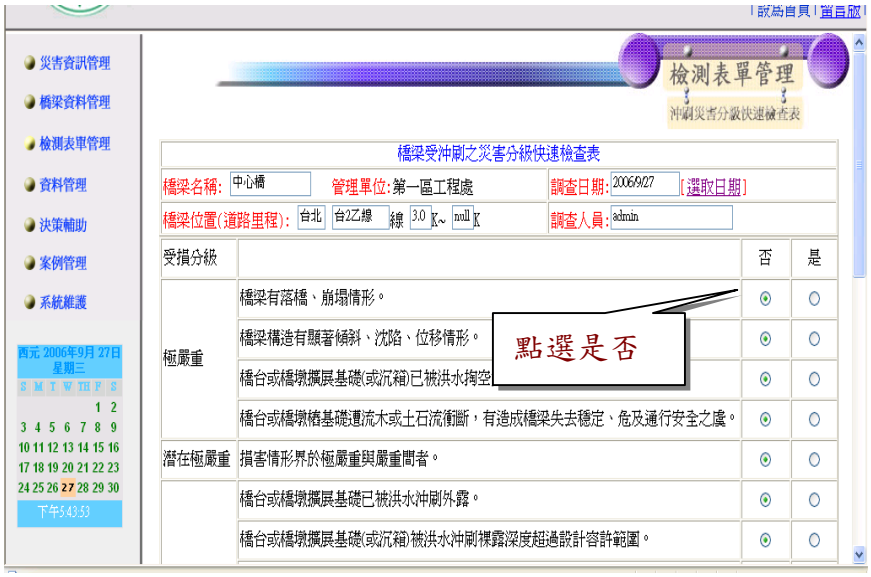


圖 3-158 填寫表單

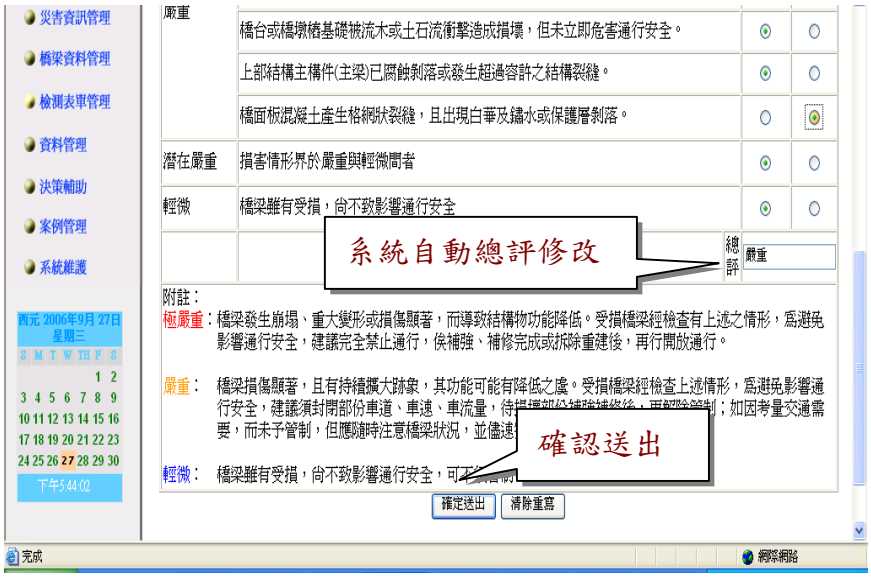


圖 3-159 確認送出表單

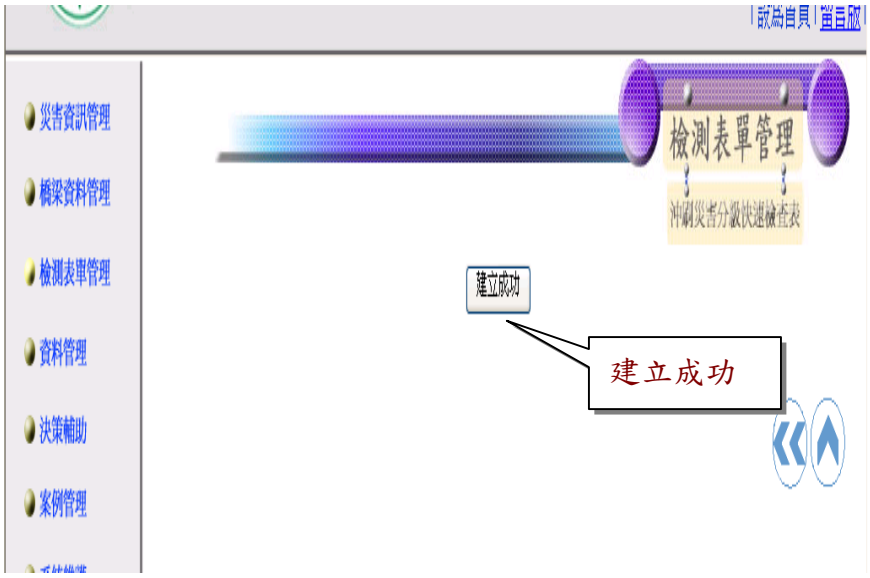


圖 3-160 新增成功

刪除評估表選擇橋梁條件後(圖3-161)，點選欲刪除表單之橋梁名稱(圖3-162)，確認表單內容(圖3-163)，按下確定刪除此筆表單(圖3-164)。

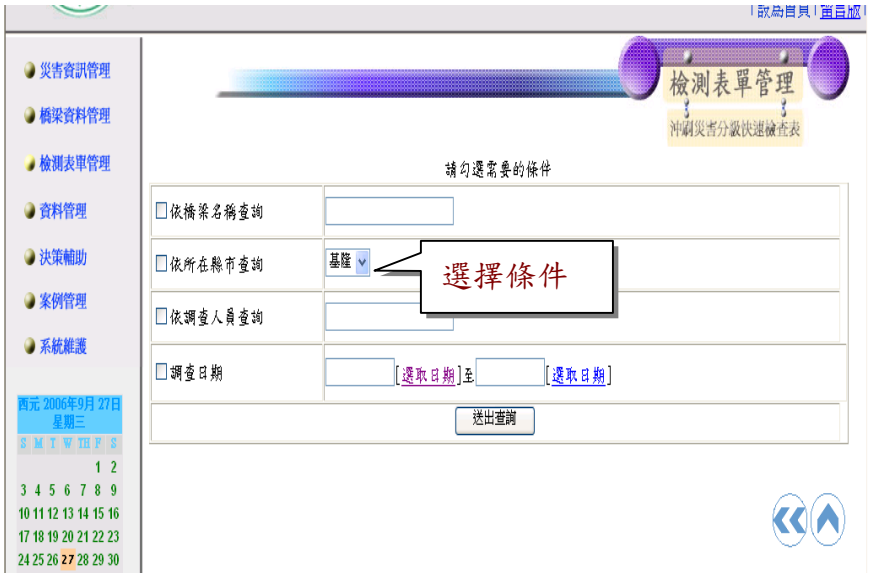


圖 3-161 設定刪除表單條件

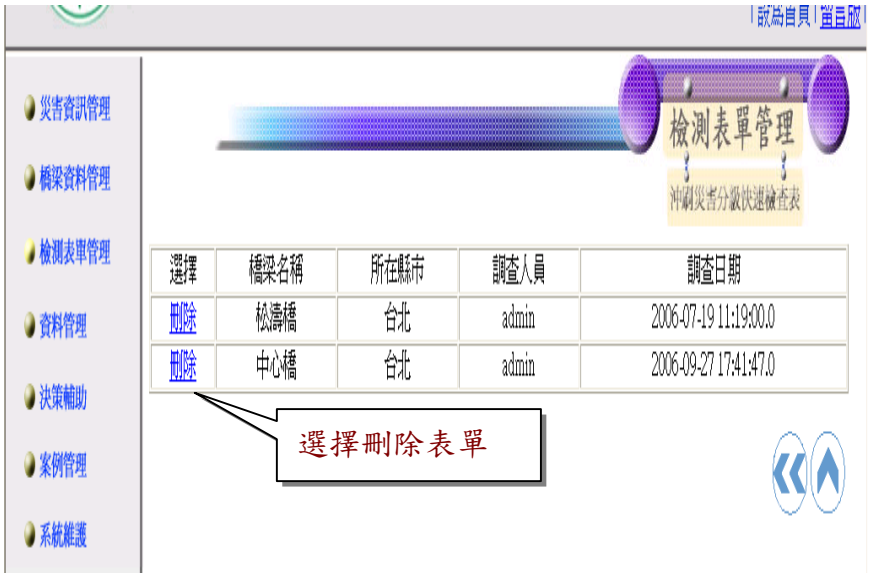


圖 3-162 符合條件之表單

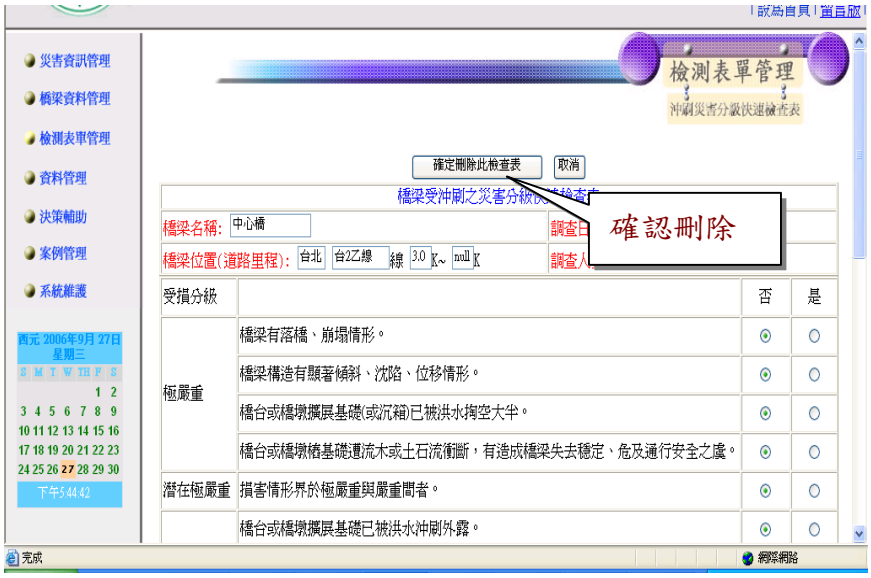


圖 3-163 刪除表單

圖 3-164 刪除表單成功

修改評估表選擇橋梁條件(圖3-165)，點選欲修改表單之橋梁名稱(圖3-166)，修改表單內容(圖3-167、圖3-168)，按下確定儲存至資料庫(圖3-169)。

圖 3-165 修改表單之條件

圖 3-166 符合條件之表單

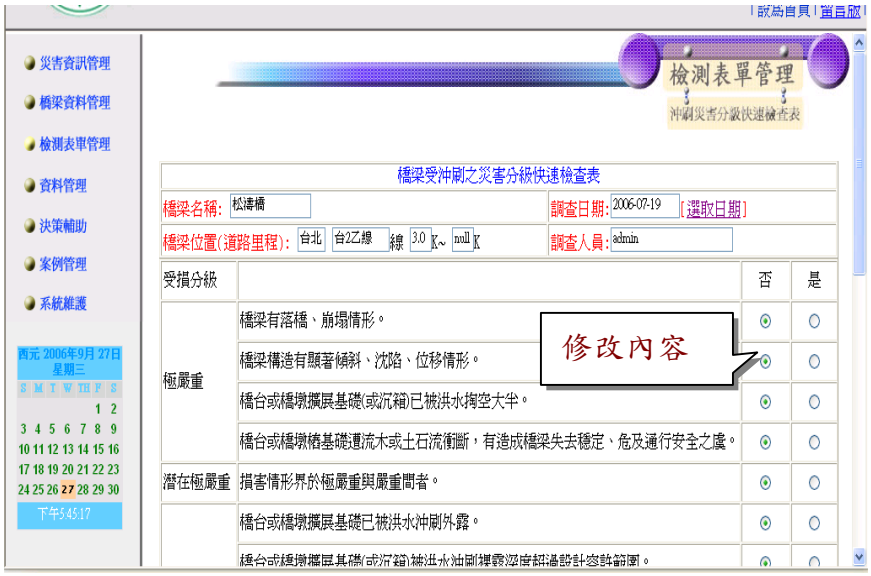


圖 3-167 修改內容

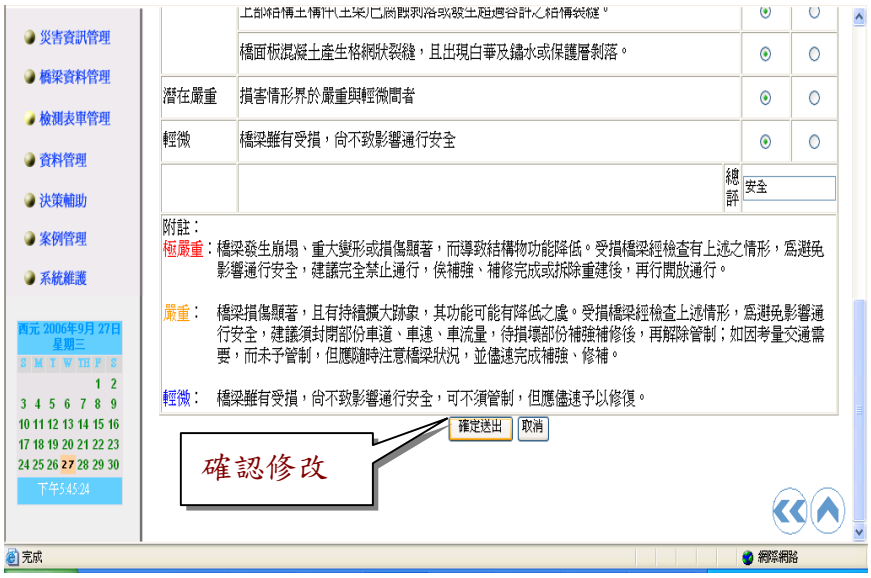


圖 3-168 確認修改表單

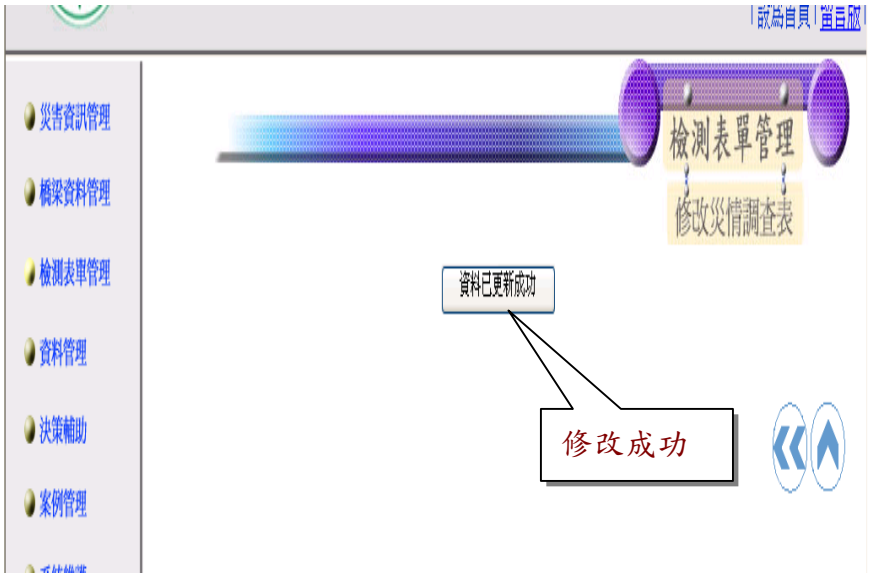


圖 3-169 修改成功

查看評估表選擇橋梁條件(圖3-170)，點選欲查看表單之橋梁名稱(圖3-171)，查看表單內容(圖3-172)。

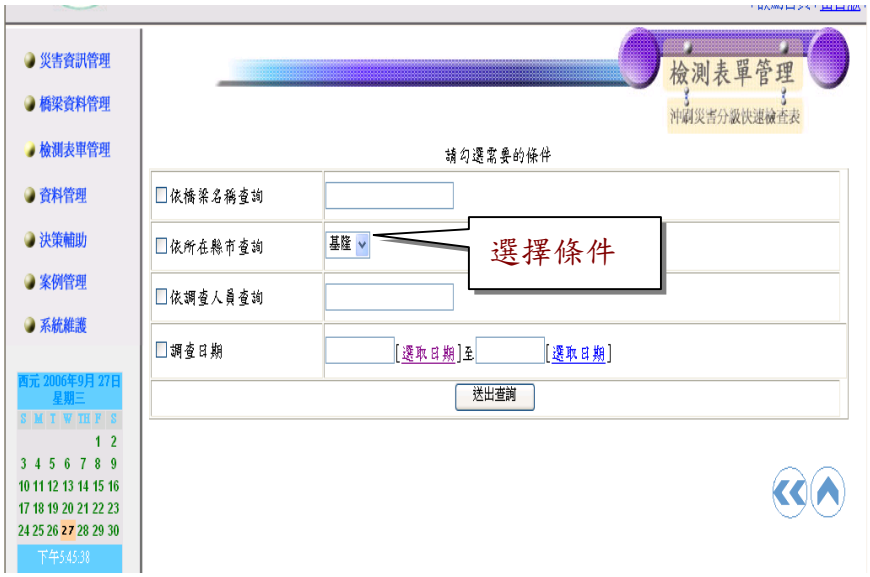


圖 3-170 選擇查看表單條件

圖 3-171 符合條件之表單

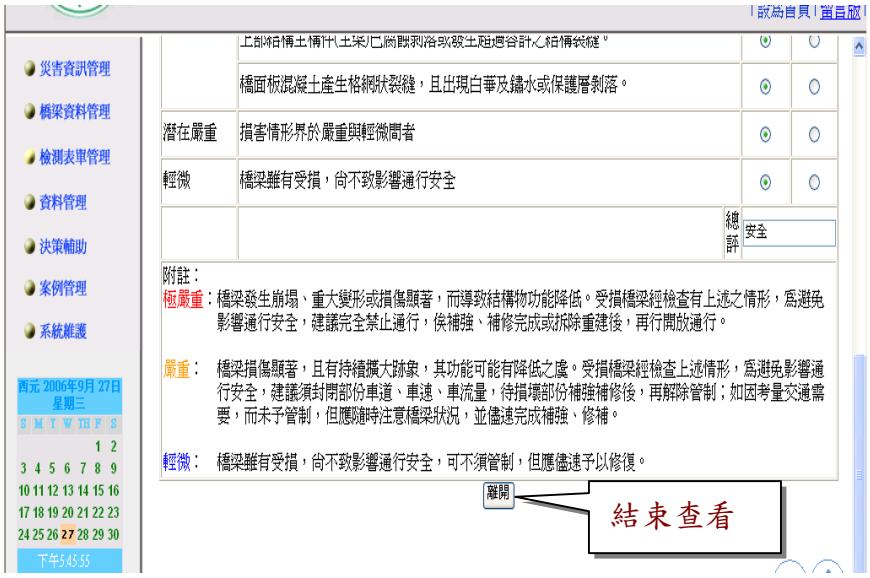


圖 3-172 結束查看

搜尋評估表選擇橋梁條件(圖3-173)，選擇欲進行之功能(圖3-174)。

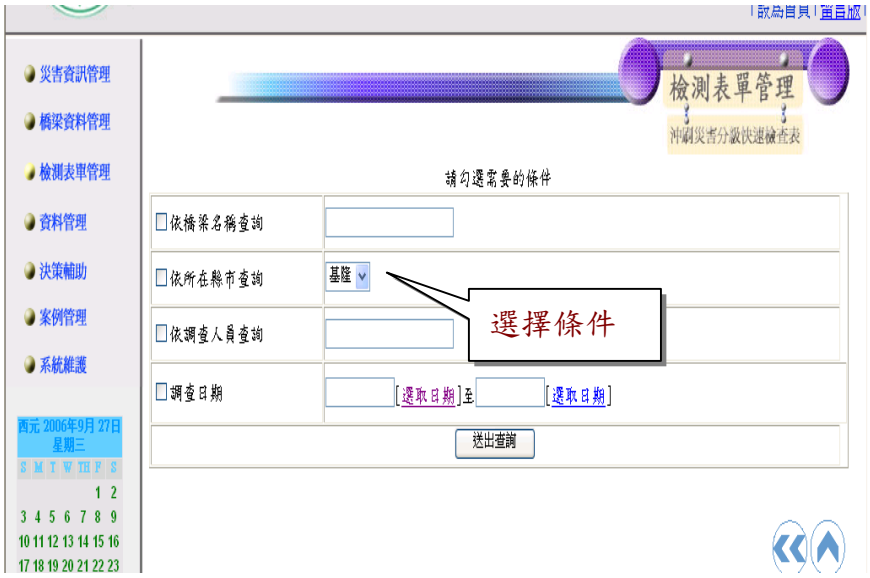


圖 3-173 設定搜尋表單之條件

圖 3-174 選擇功能

3.4 資料管理

資料管理共有四項功能選項，分別是破壞參考圖例、補強技術資料、補強工法經費工期預設值設定和統計分析(圖3-175)。

圖 3-175 資料管理功能選項

3.4.1 破壞參考圖例

破壞參考圖例可分為兩種圖形，破壞參考圖與判定標準圖(圖3-176)。

圖 3-176 破壞參考圖例功能選項

選擇破壞參考圖，可新增、刪除及修改(圖3-177)，點選結構部位列出此部位之圖名(圖3-178)。

圖 3-177 破壞參考圖資料管理

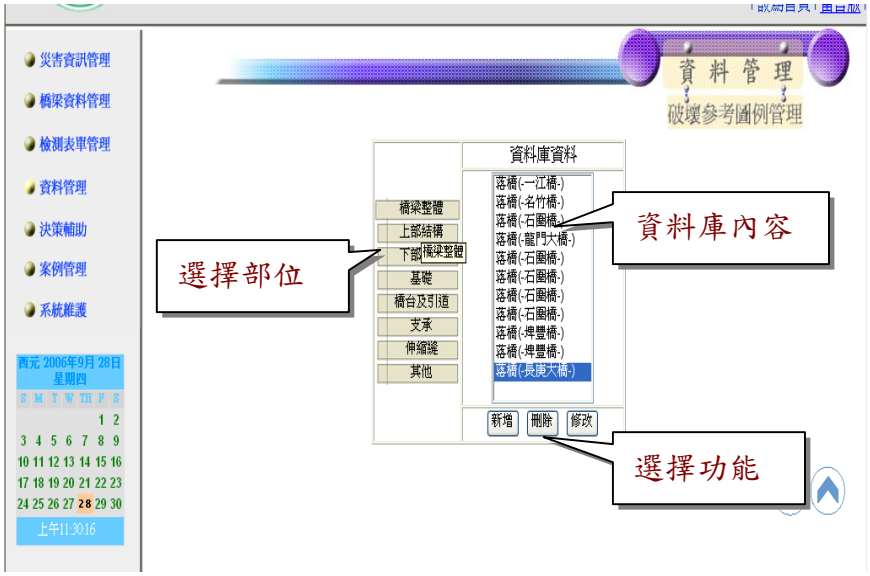


圖 3-178 選擇橋梁部位

新增破壞資料(圖3-179)，選取欲上傳之圖片(圖3-180)，輸入說明(圖3-181)，按下確定新增資料(圖3-182)。

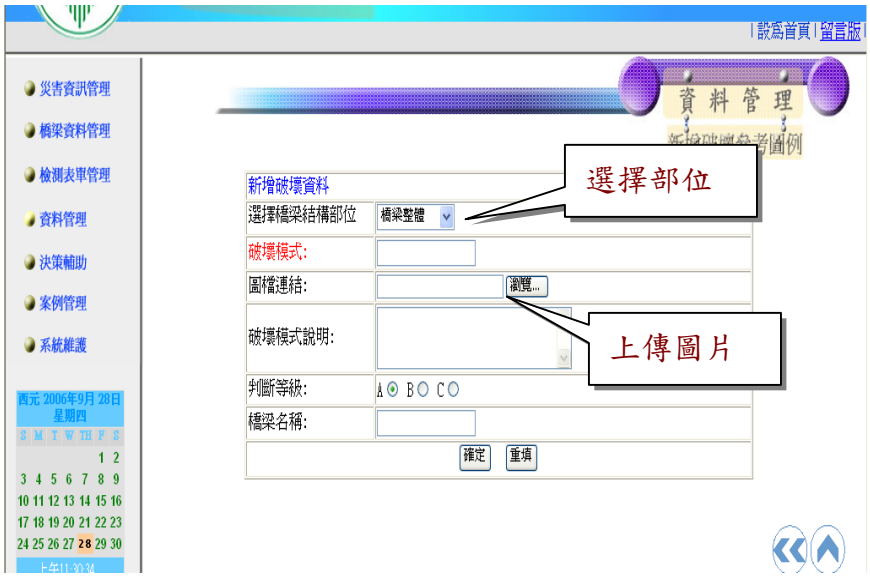


圖 3-179 新增破壞圖例

圖 3-180 選擇圖片檔案

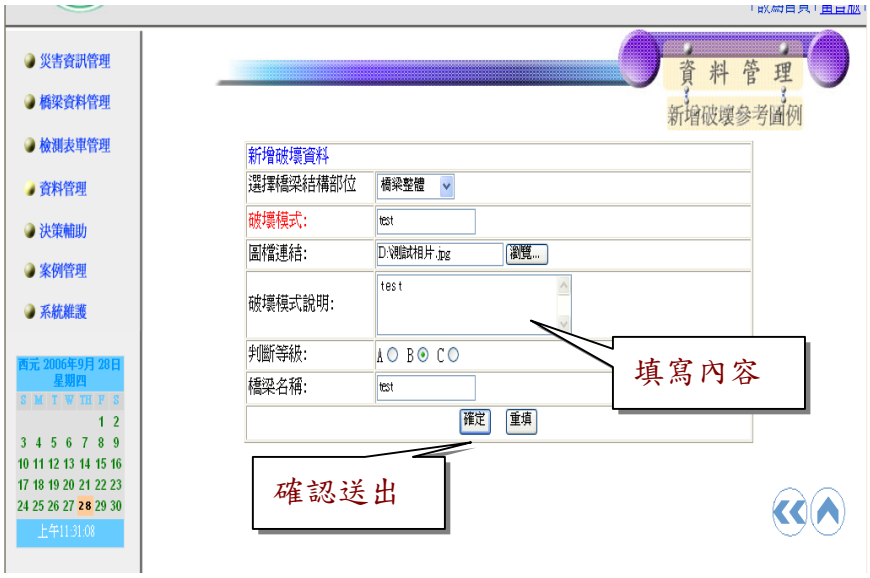


圖 3-181 輸入說明與等級

圖 3-182 完成資料新增

選擇欲刪除破壞資料(圖3-183)，點選刪除，確認刪除資料內容(圖3-184)，按下確定刪除資料(圖3-185)。

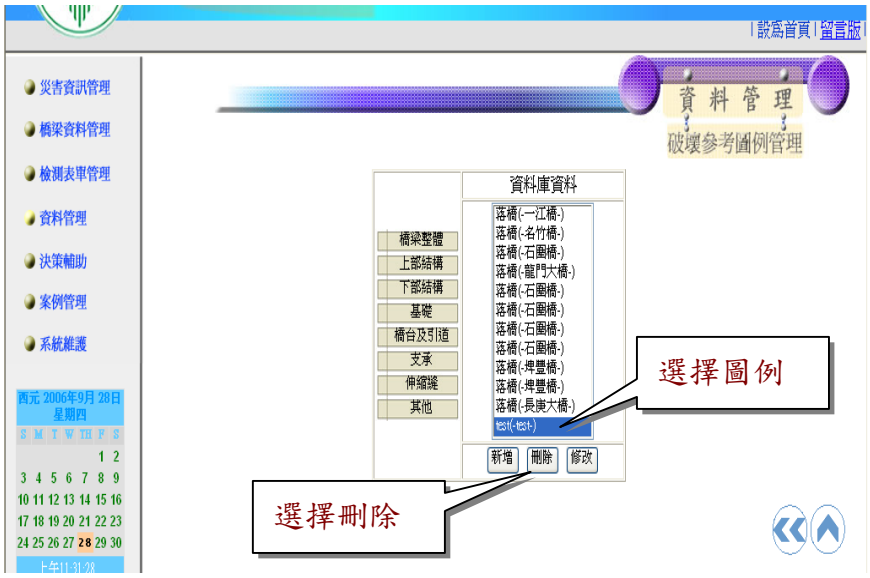


圖 3-183 選擇刪除圖檔

圖 3-184 刪除圖檔內容

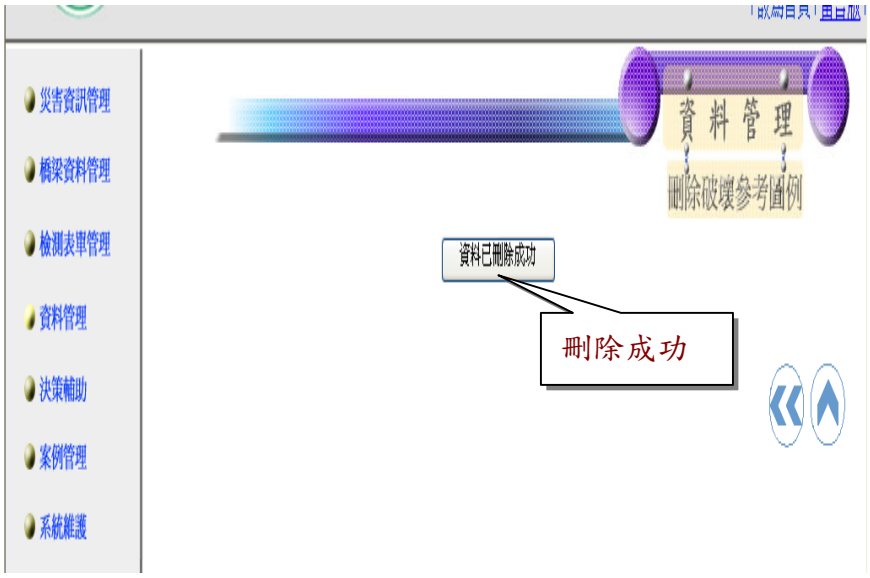


圖 3-185 刪除成功訊息

修改破壞資料(圖3-186)，修改內容後，按下確定修改資料(圖3-187)。

圖 3-186 修改圖檔內容

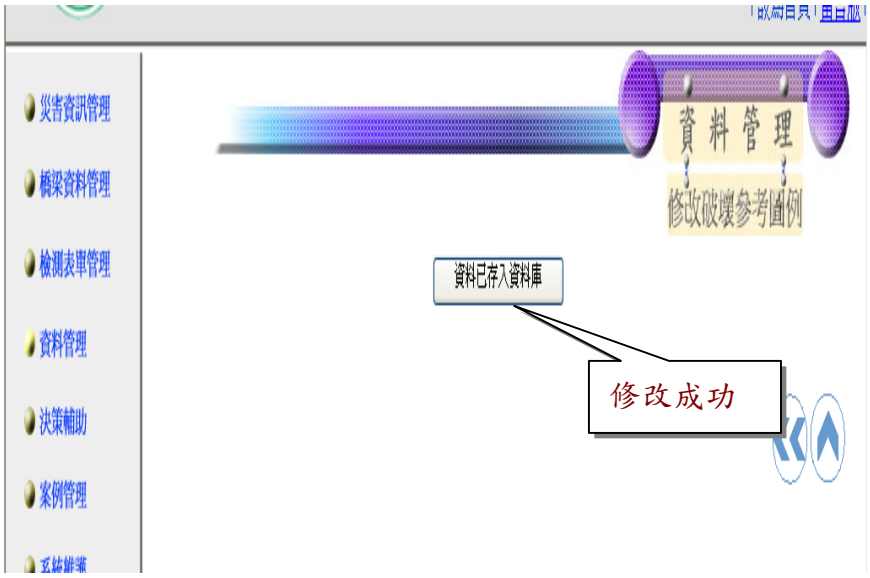


圖 3-187 修改成功訊息

判定標準圖新增、刪除和修改流程與破壞參考圖相同，請參考3.4.1說明。

3.4.2 補強技術資料

補強技術資料分為修復工法與補強工法(圖3-188)，可分別新增、刪除、修改內容。

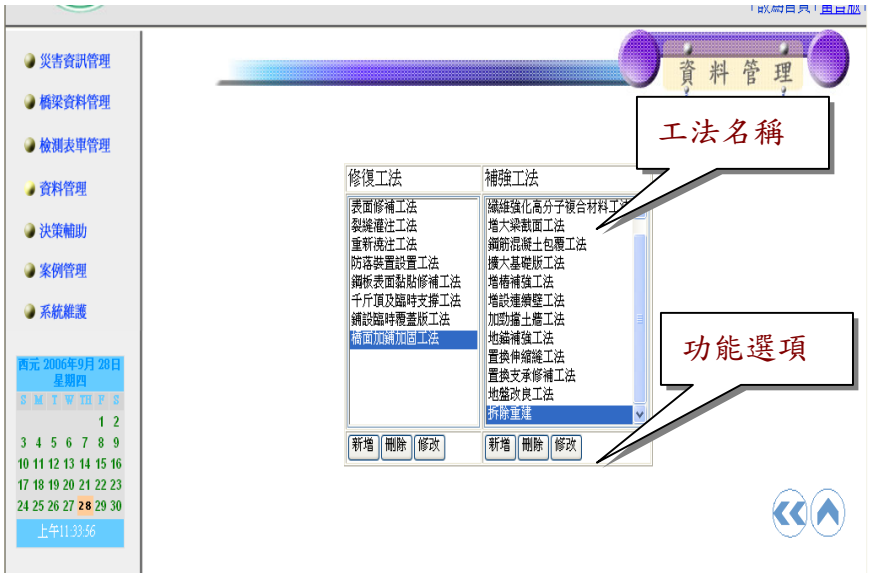


圖 3-188 補強技術資料

新增補強技術資料，選取工法種類，輸入說明(圖3-189)，按下確定新增資料(圖3-190)。

圖 3-189 填寫補強技術內容

圖 3-190 新增成功

刪除破壞資料，選取欲刪除之工法名稱(圖3-191)，確認內容，按下確定刪除鈕(圖3-192)，確認刪除資料(圖3-193)。

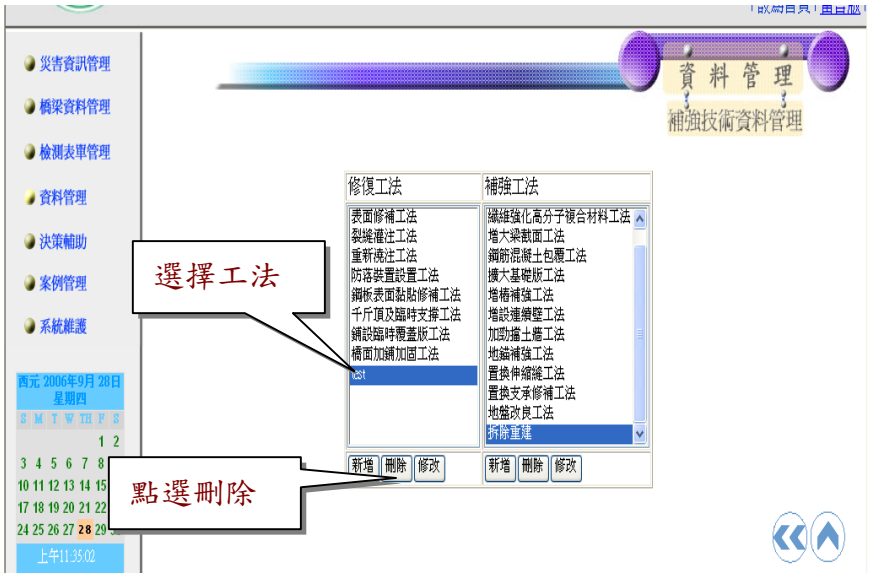


圖 3-191 選取刪除工法名稱

圖 3-192 刪除工法內容

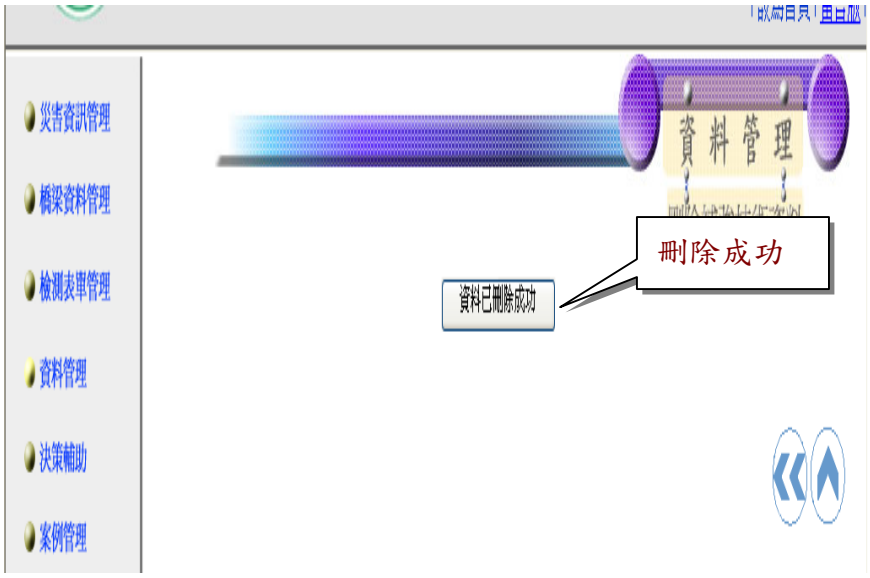


圖 3-193 刪除成功訊息

修改破壞資料，修改工法說明內容(圖3-194)，確認修改資料(圖3-195)。

圖 3-194 修改補強工法欄位值

圖 3-195 修改完成

3.4.3 補強工法經費工期預設值設定

補強工法經費工期預設值設定分為修復工法與補強工法(圖3-196)，分別設定修復工法(圖3-197)、補強工法(圖3-198)之工期與經費預設值。按下確定修改預設值資料(圖3-199)。

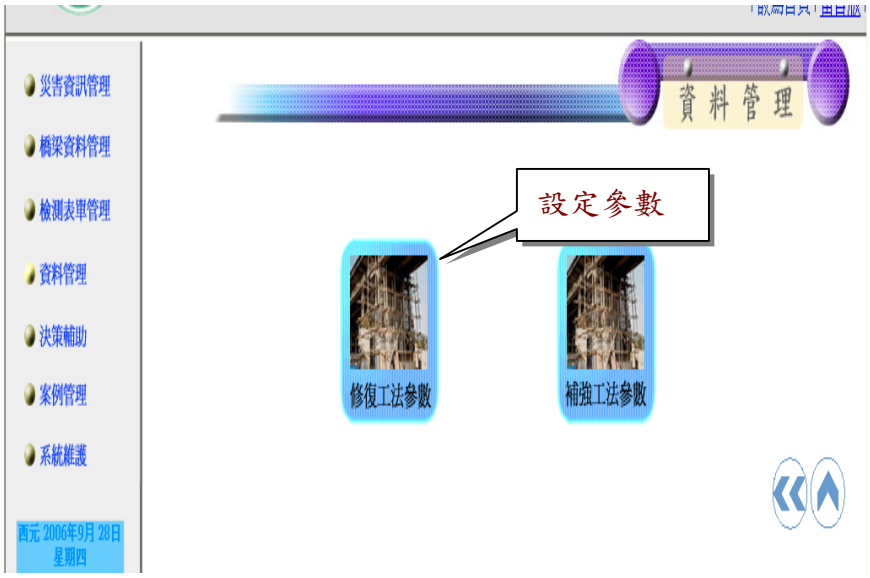


圖 3-196 工法供其經費預設值設定

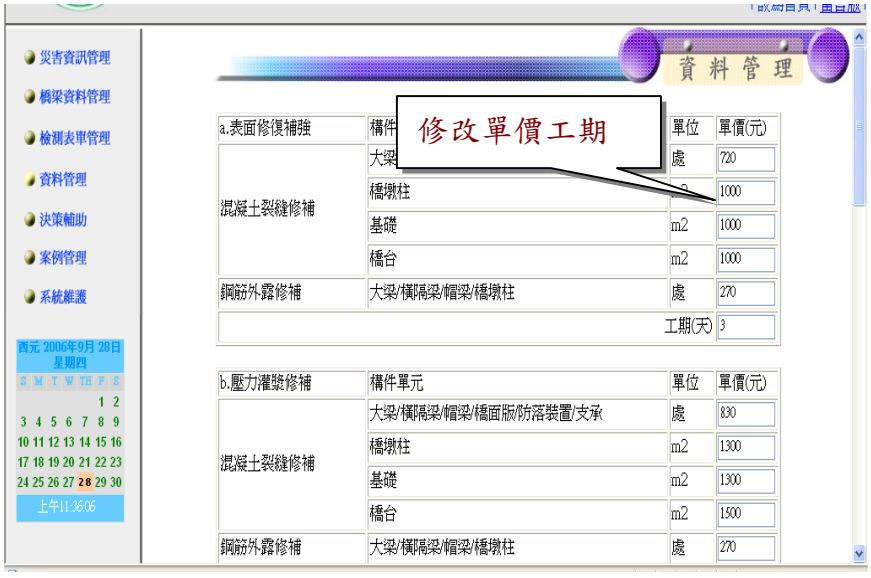


圖 3-197 修復工法設定

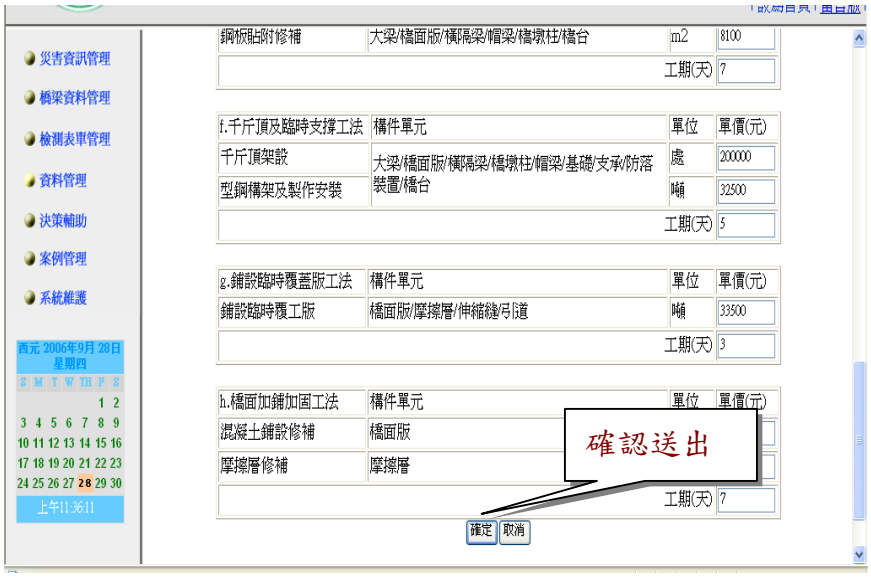


圖 3-198 補強工法設定

圖 3-199 更新成功

3.4.4 統計分析

統計分析可針對橋梁種類、緊急調查表等級與緊急評估表等級和耐洪評估表分數進行數量統計(圖3-200)。

圖 3-200 統計分析類別選項

首先選擇欲統計對象之條件設定(圖3-201)。

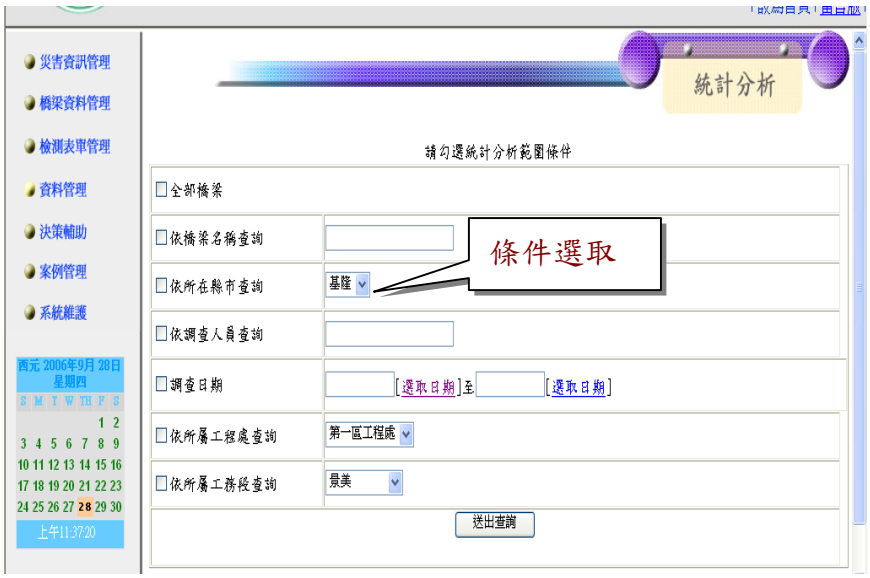


圖 3-201 條件設定

得到橋梁種類數量(圖3-202)、緊急調查等級(圖3-203)、緊急評估等級(圖3-204)和耐洪評估分數(圖3-205)之統計圖。和各等級下之橋梁

連結緊急調查等級A之橋梁(圖3-206)、緊急評估等級C之橋梁(圖3-207)耐洪評估分數高於五十分之橋梁(圖3-208)。

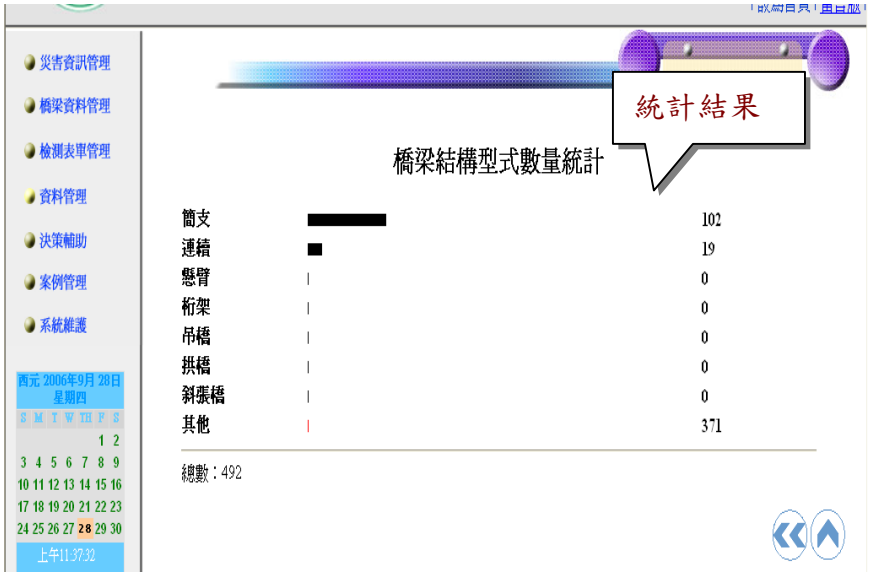


圖 3-202 結構型式數量統計

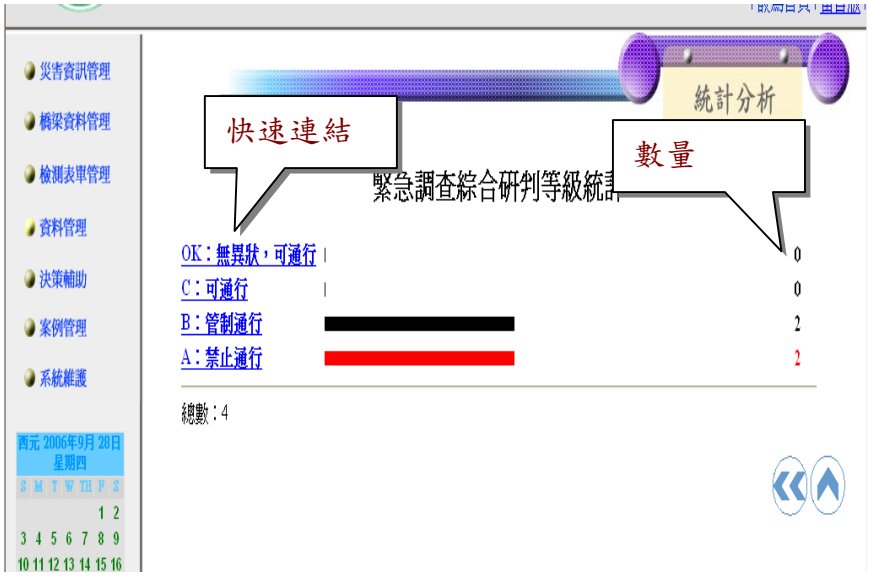


圖 3-203 緊急調查等級統計

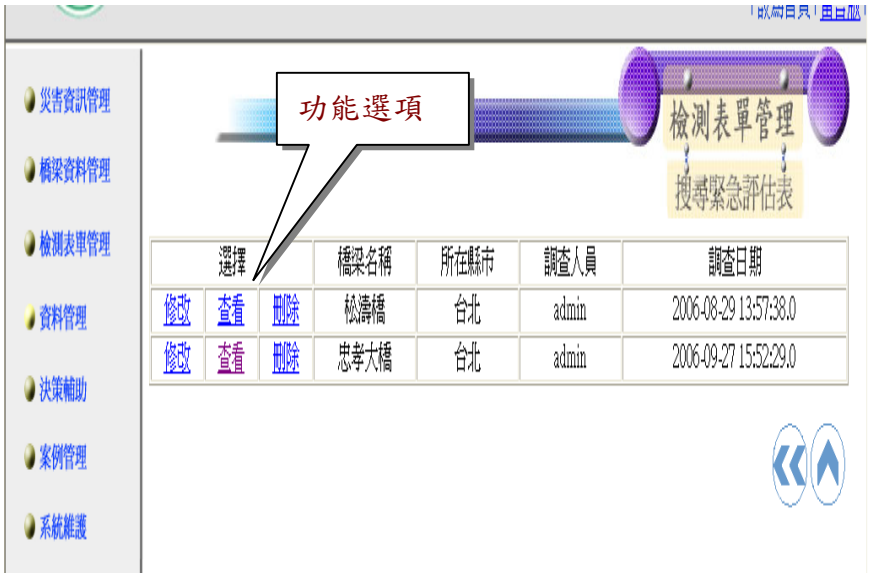


圖 3-204 緊急調查表單連結

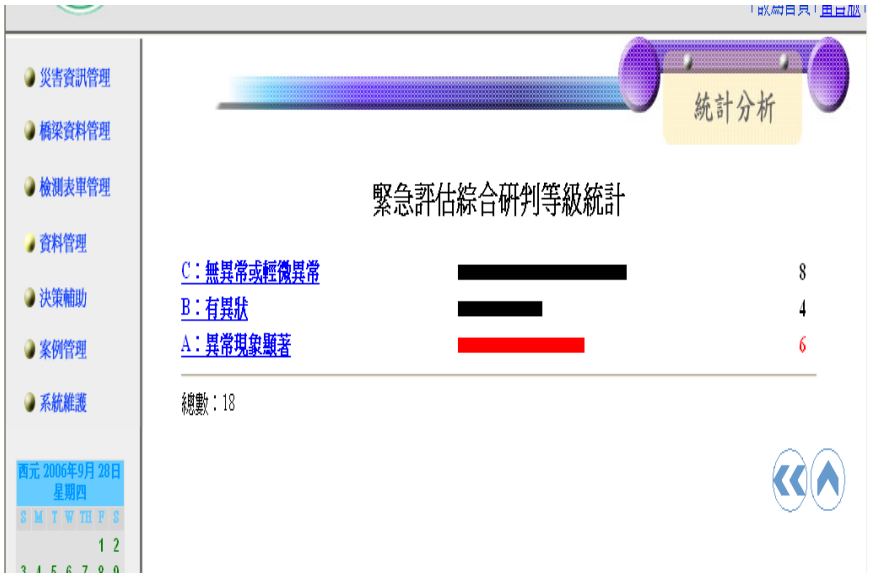


圖 3-205 緊急評估等級統計

圖 3-206 緊急評估表單連結

圖 3-207 耐洪能力評估統計

圖 3-208 耐洪能力表單連結

3.5 決策輔助

決策輔助分為補強方案評估、案例推理模式、橋柱鋼板補強計算與橋柱FRP補強計算四項(圖3-209)。

圖 3-209 決策輔助功能

3.5.1 補強方案評估

補強方案評估共有建立補強方案、刪除補強方案、查看單一補強方案與多項補強方案比較等功能(圖3-210)。

圖 3-210 補強方案評估功能

建立補強方案需選擇橋梁條件(圖3-211)，選擇欲評估之橋梁(圖3-212)，列出此橋梁在緊急評估下之等級(圖3-213)，按下開始評估，進行補強方案評估，可依不同部位進行分析(圖3-214)。

圖 3-211 設定條件

圖 3-212 符合條件之表單

圖 3-213 橋梁評估表內容

圖 3-214 建立補強方案

以選擇上部結構橋面版為例，系統列出在此等級下可行之先行與後續工法(圖3-215)，點選可能組合後進行成本工期概算(圖3-216、圖3-217)，填寫先行後續之數量後，確認送出得到組合結果(圖3-218)。

圖 3-215 勾選先行後續工法

圖 3-216 先行工法設定

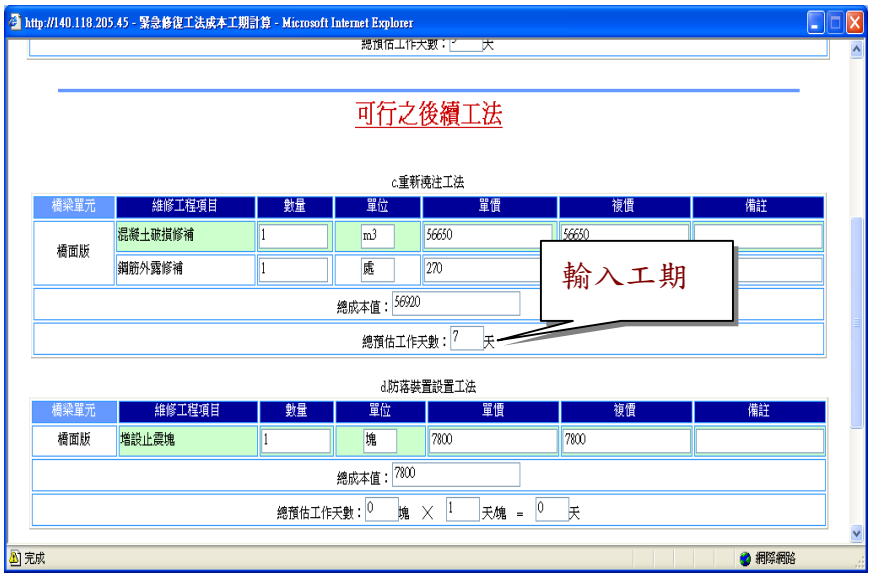


圖 3-217 後續工法設定

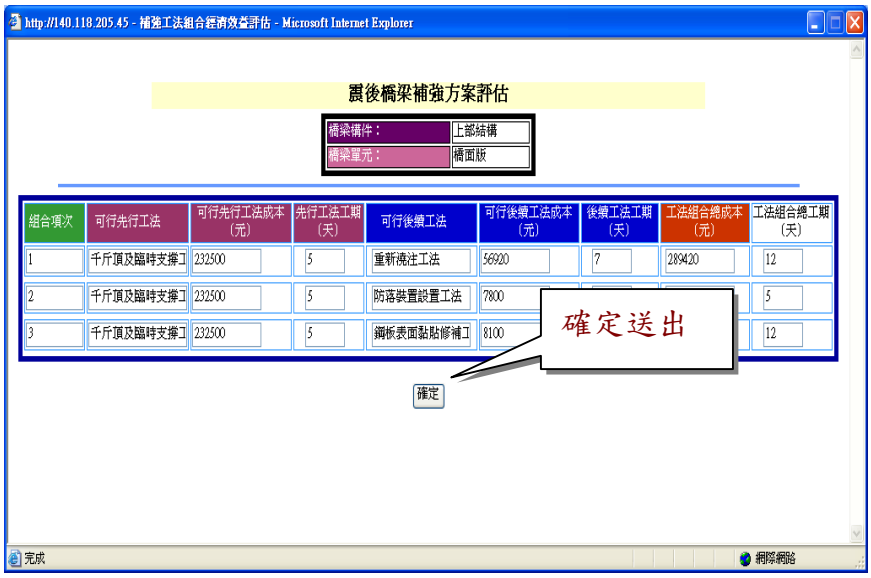


圖 3-218 先行後續組合

回到主視窗中橋面版先行後續經以進行排序名稱說明已暫存(圖3-219)，進行其餘部位後(圖3-220)，點選擇最佳組合，系統列出各部位先行後續之組合(圖3-221)，使用者可依最短工期或經費進行排序(圖3-222)，結果將送回主視窗(圖3-223)。

圖 3-219 暫存補強方案

圖 3-220 結構部位進行最佳組合

圖 3-221 選擇排序方式

圖 3-222 選擇補強方案

圖 3-223 新增方案

刪除補強方案，需先指定條件(圖3-224)，點選欲刪除之方案(圖3-225)，確認刪除此方案(圖3-226)。

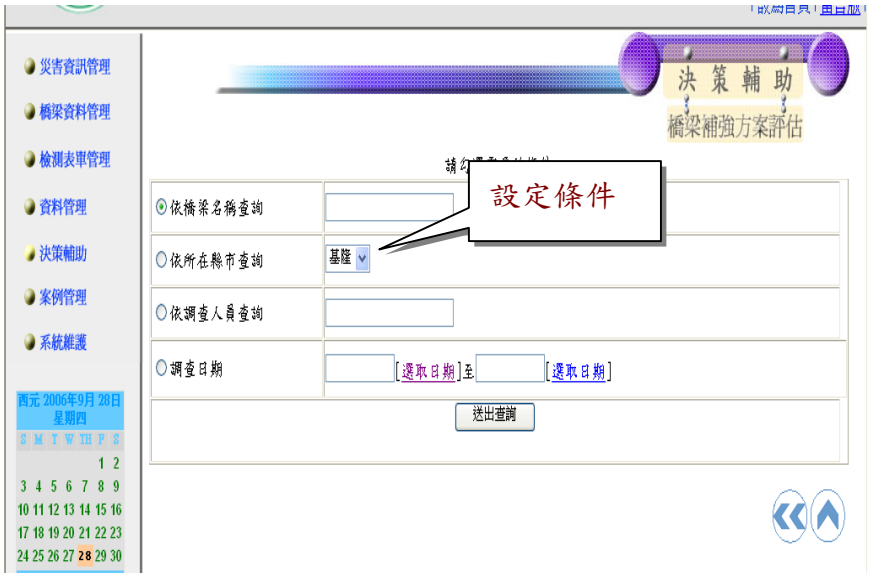


圖 3-224 設定條件

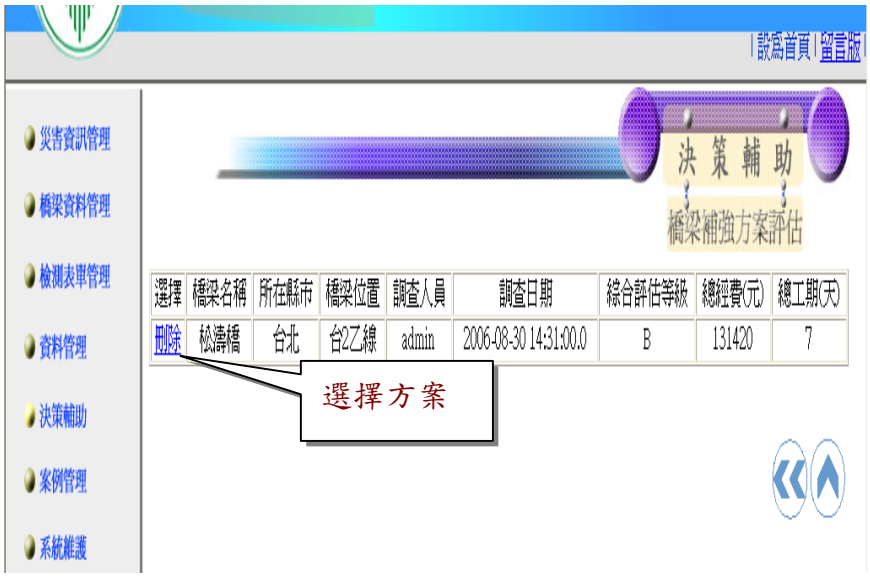


圖 3-225 符合條件之方案

圖 3-226 刪除方案

查看單一補強方案選擇條件(圖3-227)，點選方案(圖3-228)，系統列出方案內容(圖3-229)。

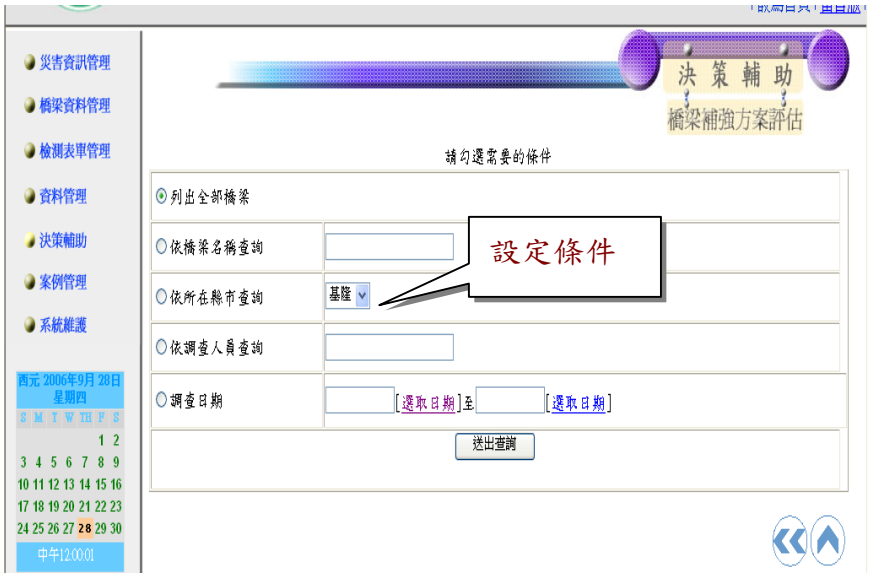


圖 3-227 設定條件

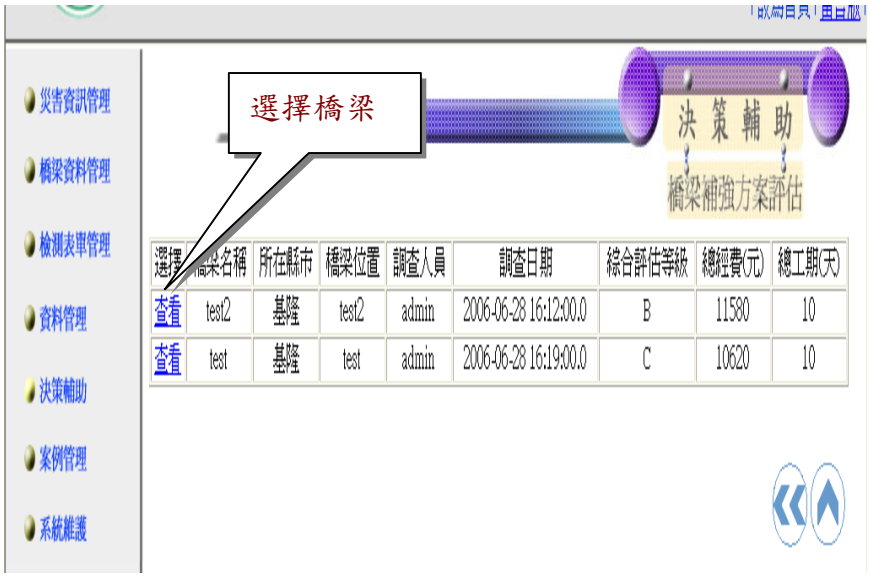


圖 3-228 符合條件之方案

圖 3-229 查看方案

多方案比較指定條件(圖3-230)，勾選欲比較之方案(圖3-231)，方案之工期與經費之比較(圖3-232)。

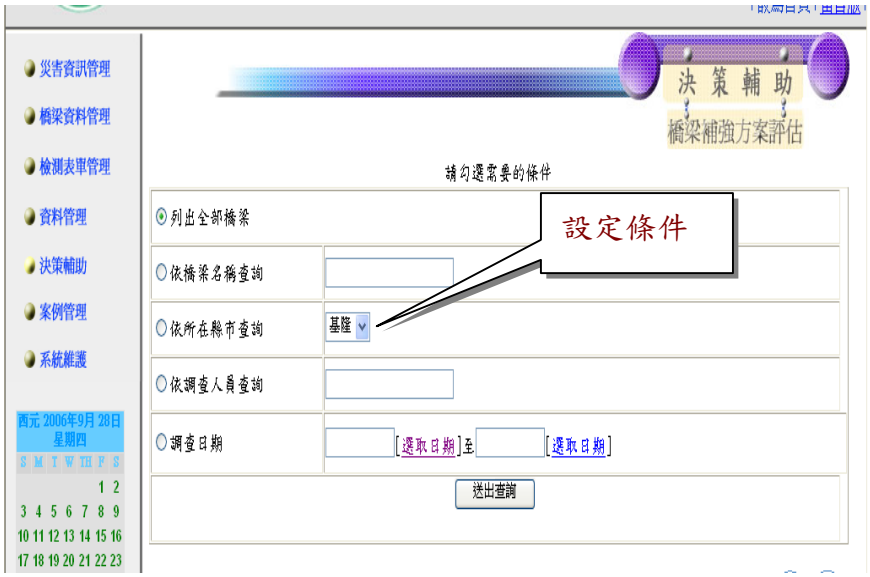


圖 3-230 設定條件

圖 3-231 勾選方案

圖 3-232 多方案比較表

3.5.2 案例推理模式

進行案例推理前，需選出預評估之橋梁(圖3-233)，點選橋梁名稱(圖3-234)，列出此橋梁基本資料(圖3-235)，使用者可依破壞部位、形式及現象和數量推估可能之工法與工期(圖3-236)。

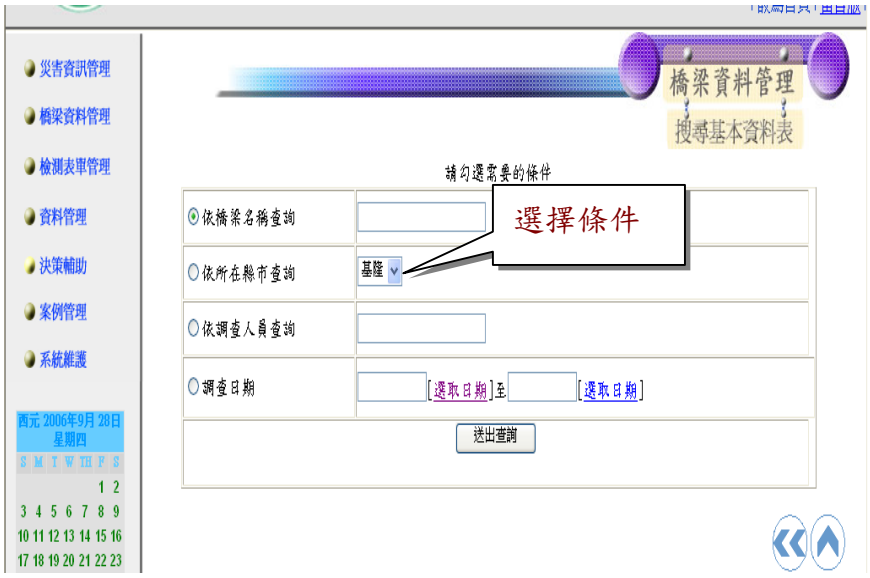


圖 3-233 設定條件

圖 3-234 符合條件之橋梁

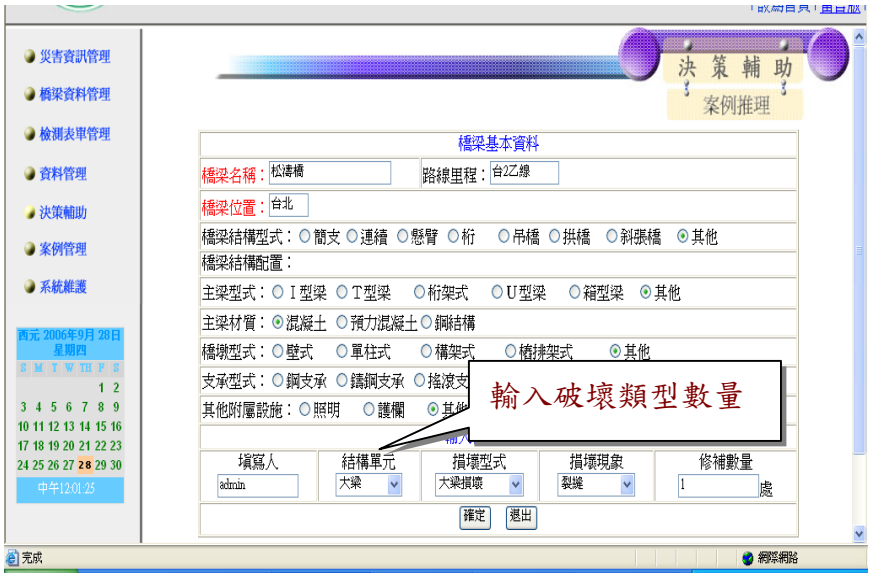


圖 3-235 橋梁基本資料

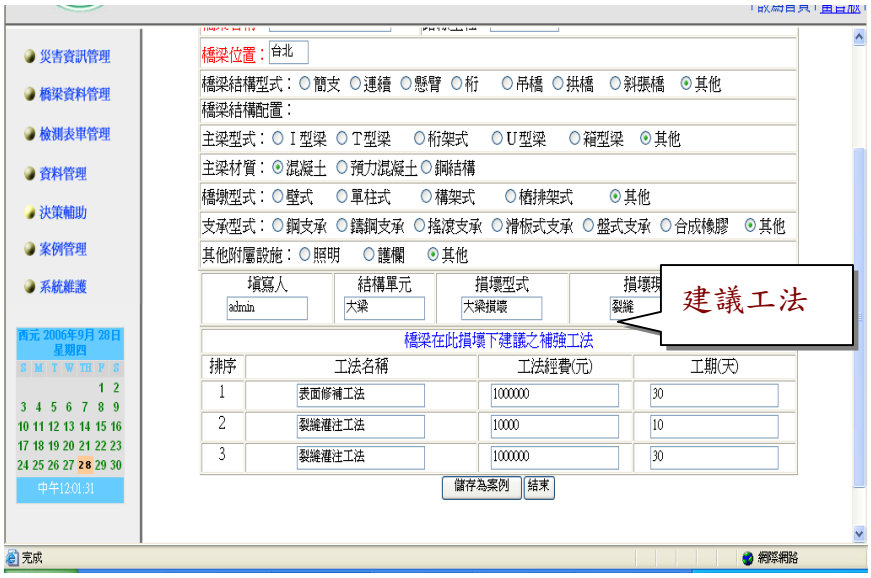


圖 3-236 推論結果

3.5.3 橋柱鋼板補強計算

鋼板補強計算為精確計算橋柱可能需要之鋼板厚度與面積，首先選擇維修方式(圖3-237)，選擇補強類型(圖3-238)與填入橋柱資料(圖3-239)，送出即可得到結果(圖3-240)，也可估略計算單價(圖3-241)。

圖 3-237 鋼板補強

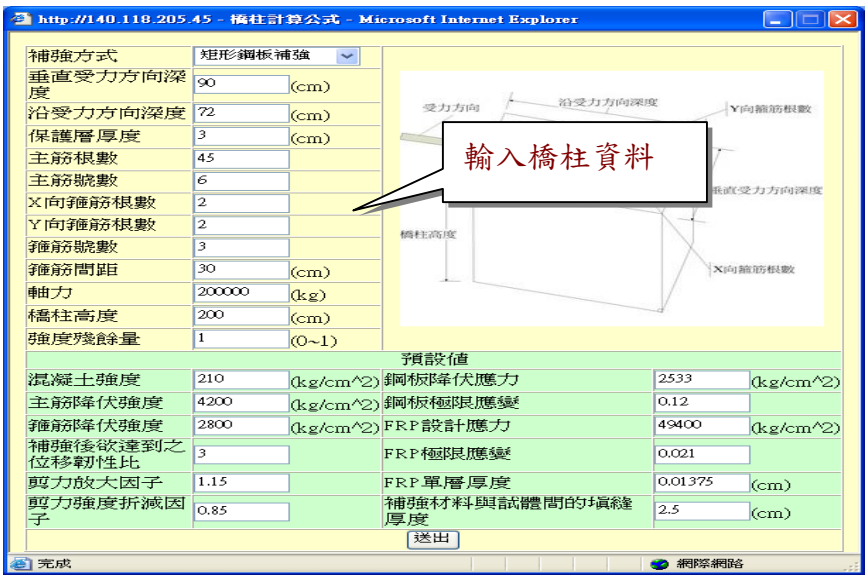


圖 3-238 橋柱數據

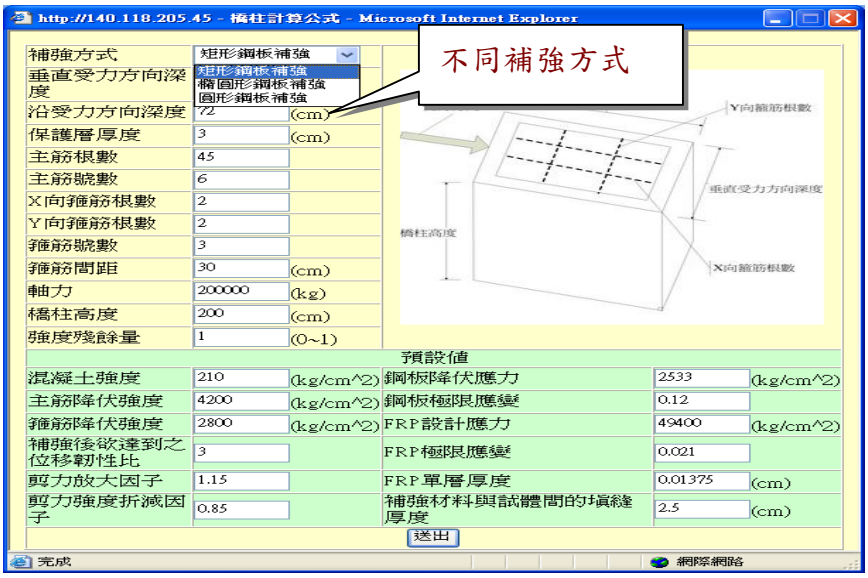


圖 3-239 選擇補強方式

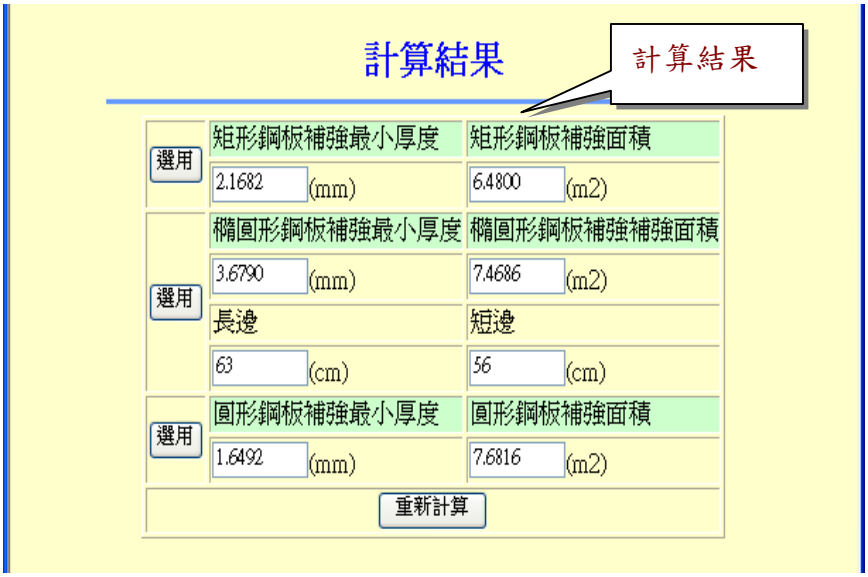


圖 3-240 計算結果

圖 3-241 補強經費

3.5.4 橋柱 FRP 補強計算

FRP補強計算流程與鋼板補強相似，首先選擇維修方式(圖3-242)，選擇補強類型與填入橋柱資料(圖3-243)，送出即可得到結果(圖3-244)，也可估略計算單價(圖3-245)。

圖 3-242 FRP 補強

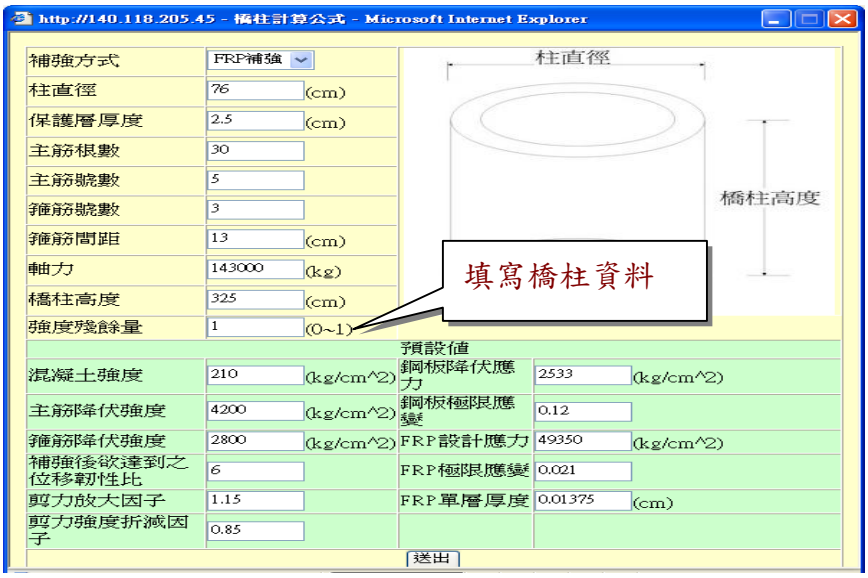


圖 3-243 橋柱資料

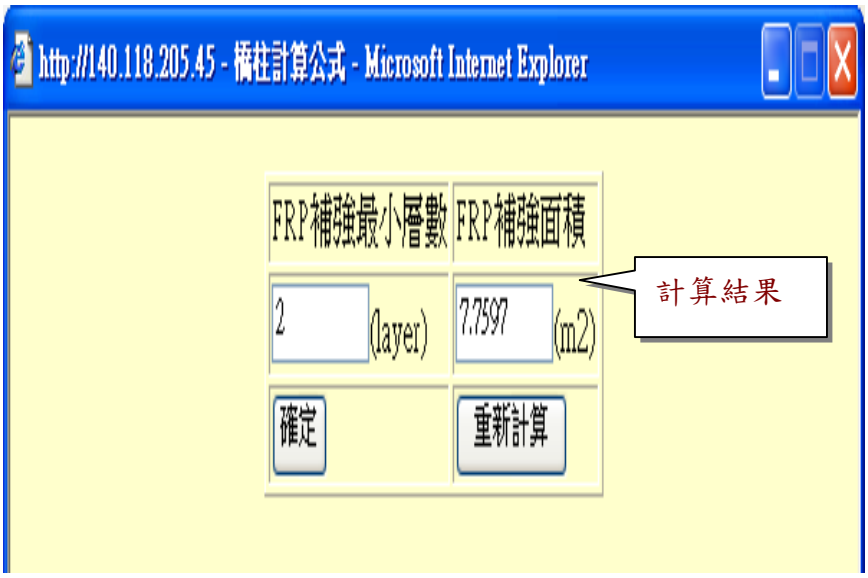


圖 3-244 計算結果

圖 3-245 補強經費

3.6 案例管理

案例推理分為新增案例、刪除案例與修改案例三項功能(圖3-246)。

圖 3-246 案例管理功能

3.6.1 新增案例

新增案例，首先選擇橋梁條件(圖3-247)，選擇橋梁名稱(圖3-248)，選取結構部位(圖3-249)與填寫各項資料(圖3-250)，確定送出增加案例於下方列表(圖3-251)。

圖 3-247 選擇橋梁條件

圖 3-248 符合條件之橋梁

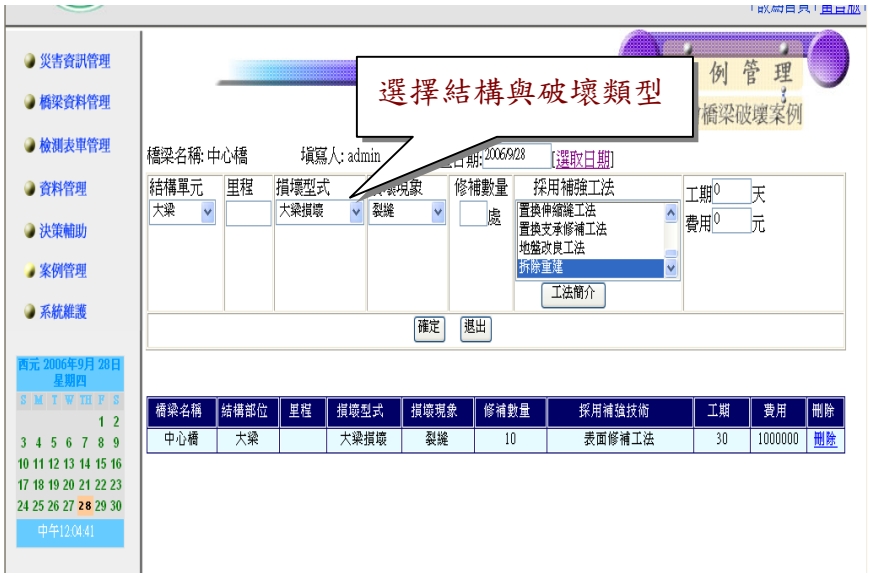


圖 3-249 選擇結構類型

圖 3-250 填寫案例內容

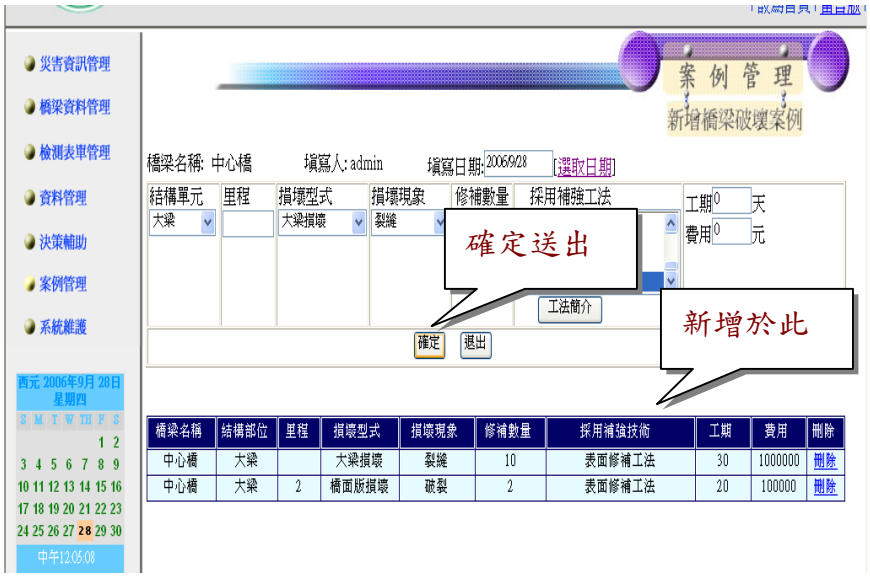


圖 3-251 新增案例

3.6.2 刪除案例

刪除案例，首先選擇橋梁條件(圖3-252)，選擇橋梁名稱(圖3-253)，選取刪除之案例(圖3-254)，完成刪除(圖3-255)。

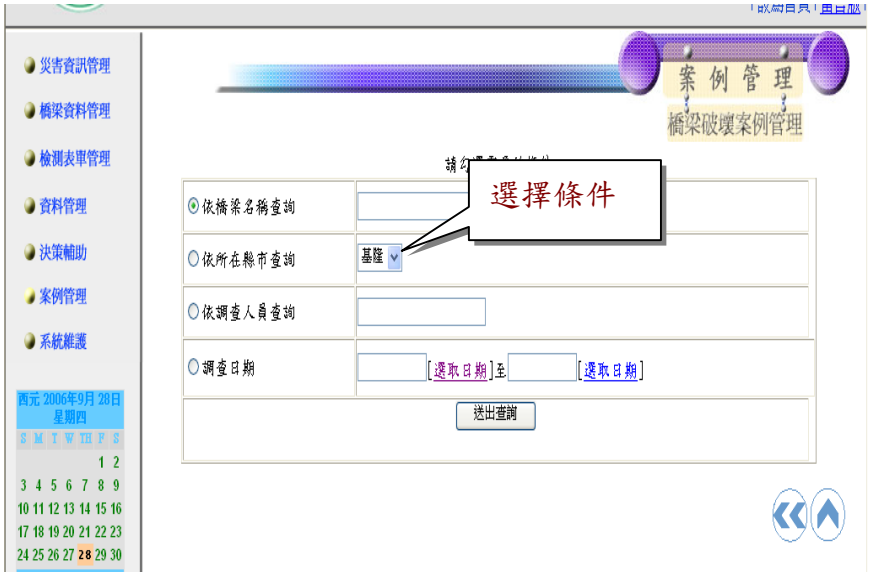


圖 3-252 設定條件

圖 3-253 符合條件之案例

圖 3-254 確認刪除

圖 3-255 完成刪除

3.6.3 修改案例

修改案例，首先選擇橋梁條件(圖3-256)，可直接查看或刪除案例(圖3-257)。

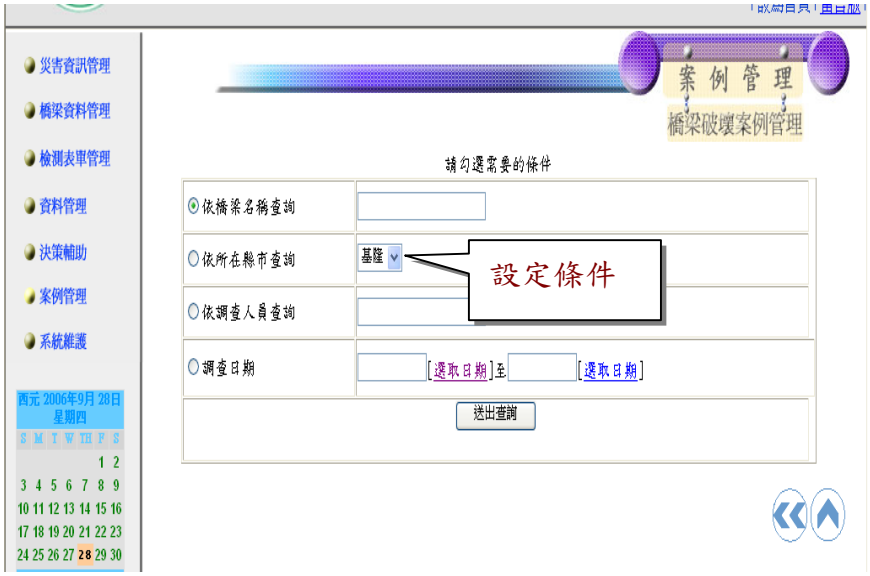


圖 3-256 設定橋梁條件

圖 3-257 破壞案例管理功能

3.7 系統維護

系統維護功能有使用者管理、權限設定、使用說明、系統參數設定與版本說明等五項(圖3-258)。

圖 3-258 系統維護功能

3.7.1 使用者管理

使用者管理可新增、刪除、修改系統登入帳號與橋梁通報人清單，及查詢各帳號登入歷史紀錄(圖3-259)。

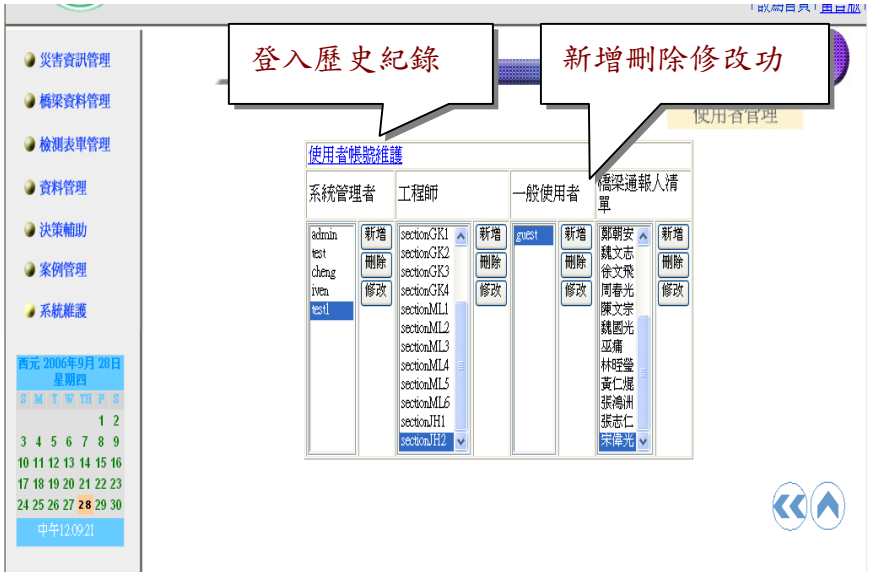


圖 3-259 使用者維護

點選使用者帳號維護可列出各帳號登入與使用各模組之記錄，包含時間與位置(圖3-260)。

圖 3-260 帳號登入歷史紀錄

使用者帳號新增(圖3-261)，填寫各項資料，選取所屬單位，權限等級，與是否為工務段主管選項(圖3-262)，確認送出完成新增(圖3-263)。

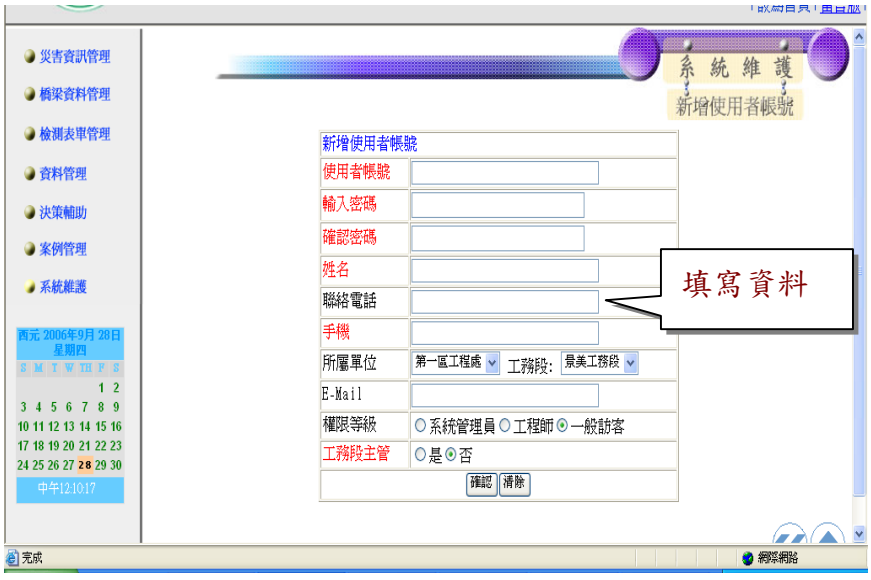


圖 3-261 填寫帳號內容

圖 3-262 新增使用者帳號

圖 3-263 新增帳號訊息

刪除使用者帳號(圖3-264)，確認完成刪除訊息(圖3-265)。

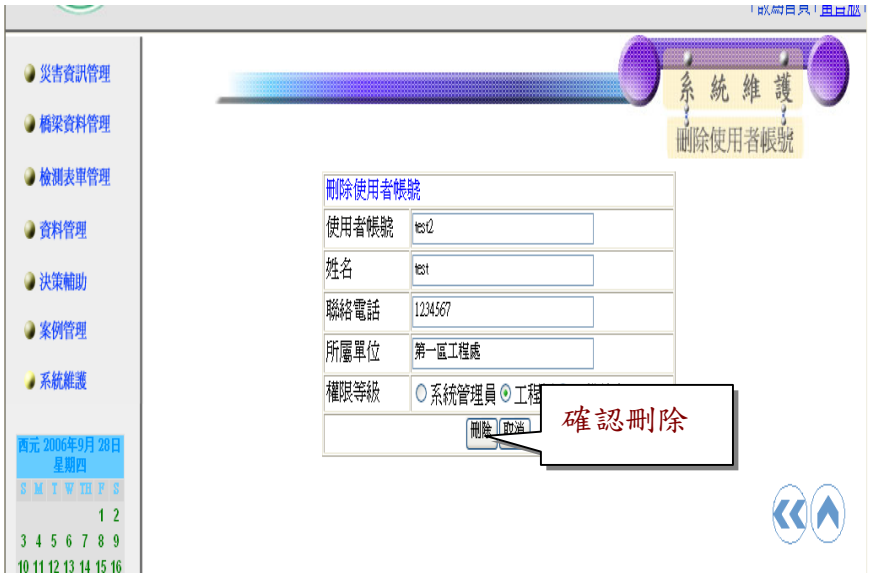


圖 3-264 刪除使用者帳號

圖 3-265 刪除使用者成功訊息

修改使用者帳號(圖3-266)，修改各項資料，更新完成修改(圖3-267)。

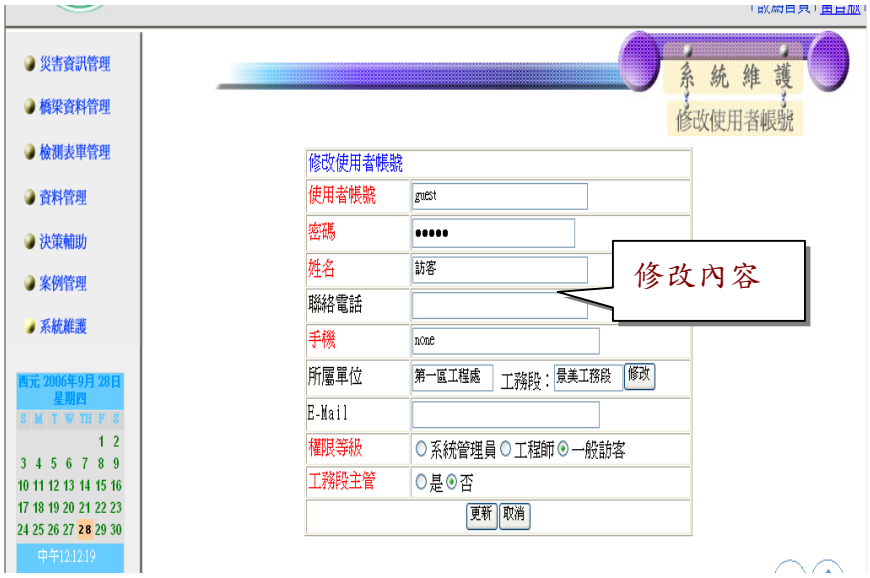


圖 3-266 修改使用者帳號

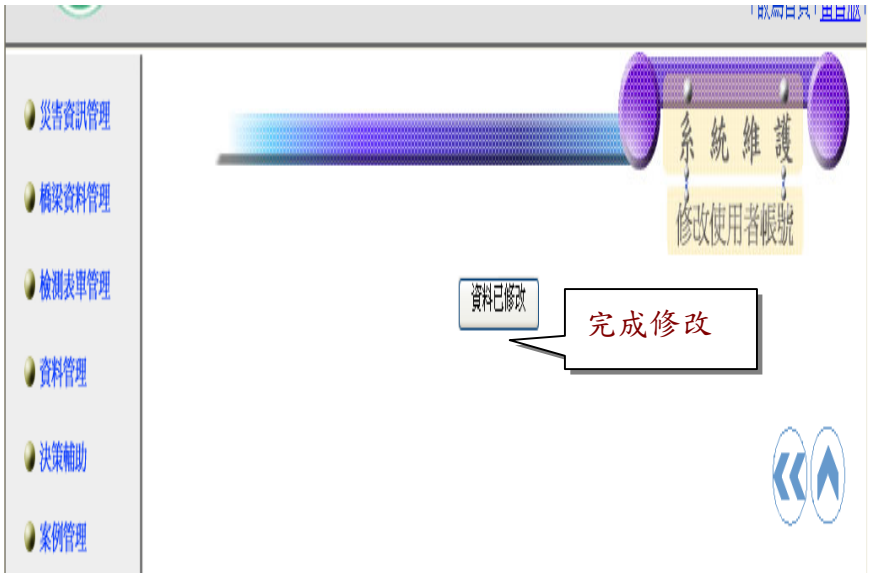


圖 3-267 完成修改

橋梁通報人新增(圖3-268)，填寫各項資料，選取所屬單位，確認送出完成新增(圖3-269)。

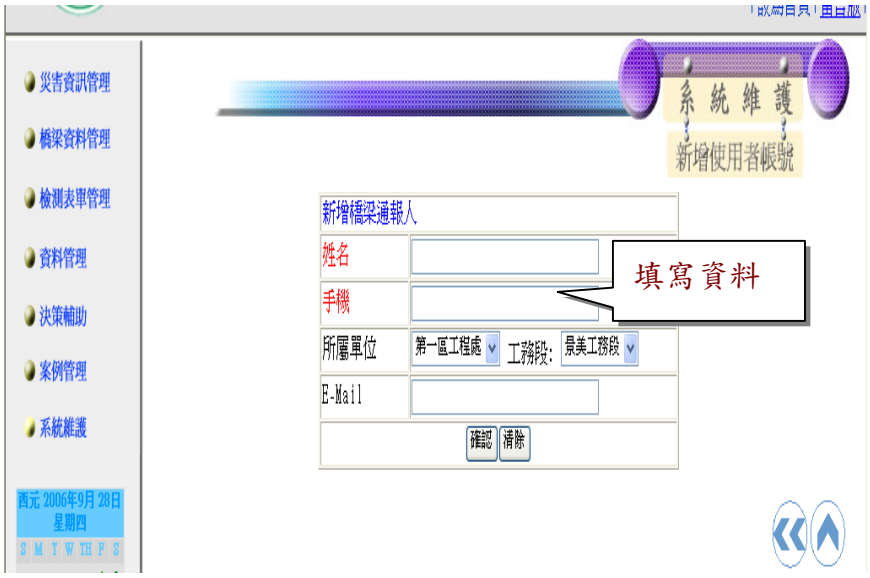


圖 3-268 新增橋梁通報人

圖 3-269 完成儲存

3.7.2 權限設定

權限設定可以指定三種登入帳號等級之權限(圖3-270)，系統管理者(圖3-271)、工程師(圖3-272)、一般使用者(圖3-273)可使用之功能皆可細部設定。

圖 3-270 帳號群組

圖 3-271 系統管理者權限

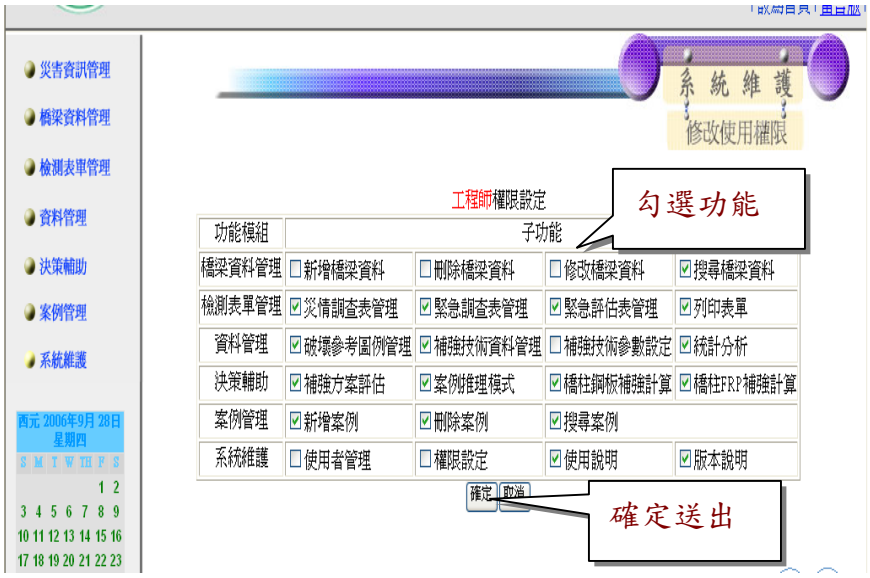


圖 3-272 工程師權限

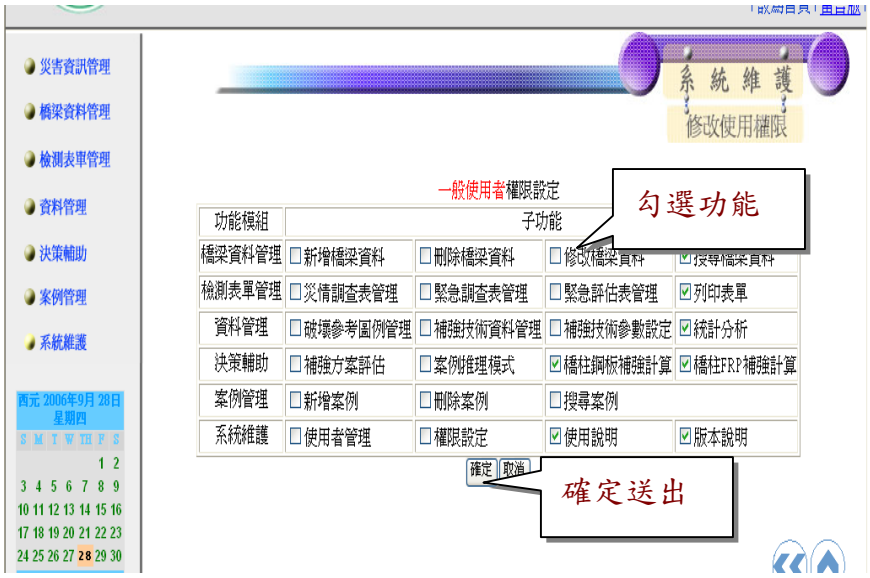


圖 3-273 一般使用者權限

3.7.3 使用說明

使用說明提供線上之說明手冊或下載使用手冊及單機版下載連結(圖3-274)，線上之說明手冊格式為PDF檔(圖3-275)，下載版為DOC檔(圖3-276)。

圖 3-274 使用說明

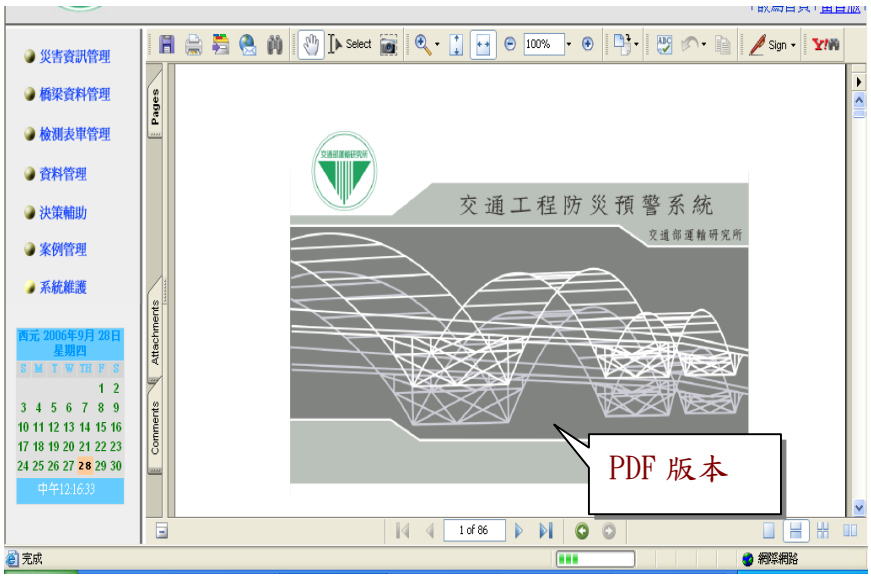


圖 3-275 線上 PDF 版本

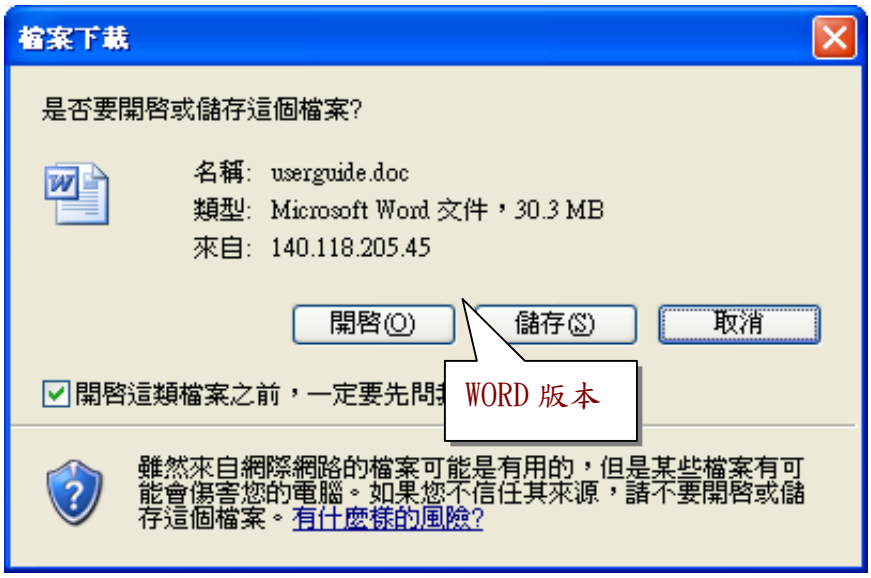


圖 3-276 下載使用手冊

3.7.4 系統參數設定

系統參數設定為系統管理者管理參數之功能(圖3-277)，可設定TELES通報警戒值與軟體代理人更新頻率與發送簡訊之帳號與密碼。

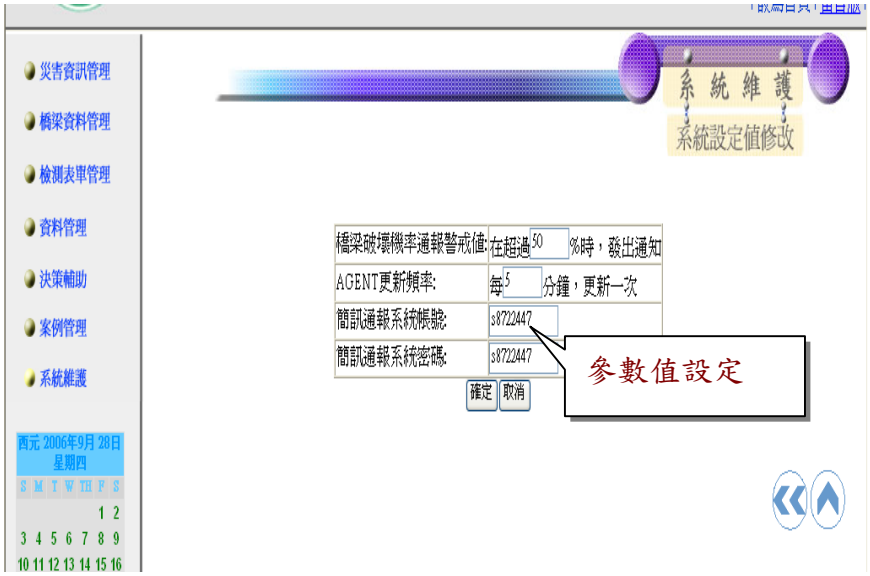


圖 3-277 系統參數設定

3.7.5 版本說明

版本說明提供系統開發者紀錄系統更新歷程與日期(圖3-278)。

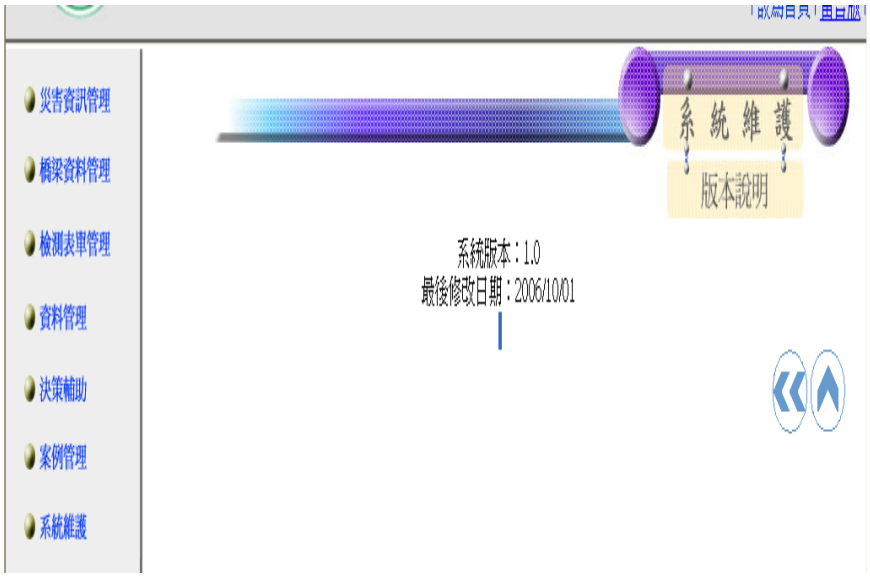


圖 3-278 版本說明

第四章　系統軟硬體需求

(a)「交通工程防災預警系統」伺服器端所需之軟硬體設備如下：

1.中央處理器 1.5GHz 以上之個人電腦

2.具備 512MB 以上記憶體（建議 1024MB）

3.Microsoft Windows 2000

4.Microsoft SQL Server

5.Jsp Server

6.Java 2 SDK

7.ESRI ArcGIS Server

(b)「交通工程防災預警系統」使用者端所需之軟硬體設備如下：

1.PC586 以上之個人電腦

2.瀏覽器軟體（如 Internet Explore）

第五章　系統安裝說明

「交通工程防災預警系統」伺服器端所需之安裝軟體如下：

1.Java2 SDK

2.SQL Server 2000

3.Jsp Server

4.Agent 軟體代理人

5.ESRI ArcGIS Server

以下將分別介紹安裝步驟。

5.1 Java2 SDK 安裝步驟

點選JAVA 2 SDK安裝檔。選擇接受，並進行下一步。

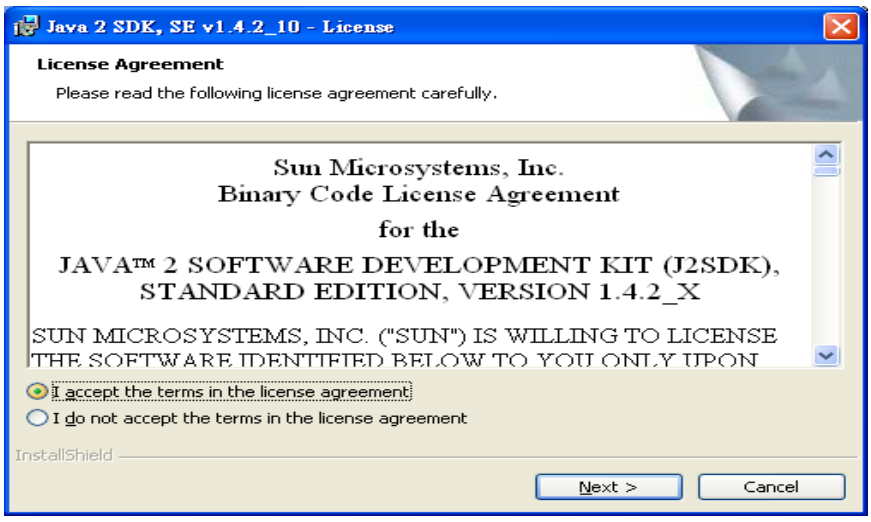


圖 5-1 授權畫面

選定安裝目錄，點選下一步。

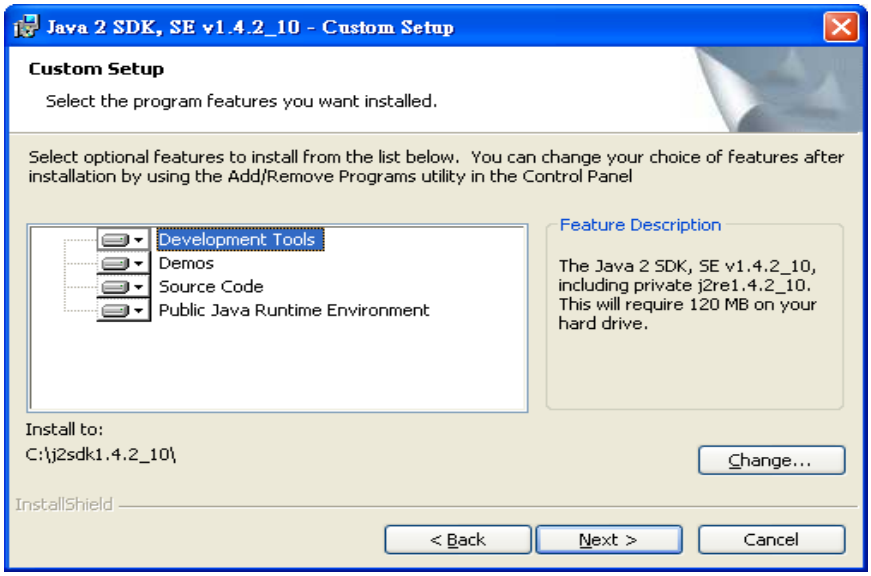


圖 5-2 安裝選項畫面

勾選將IE註冊。

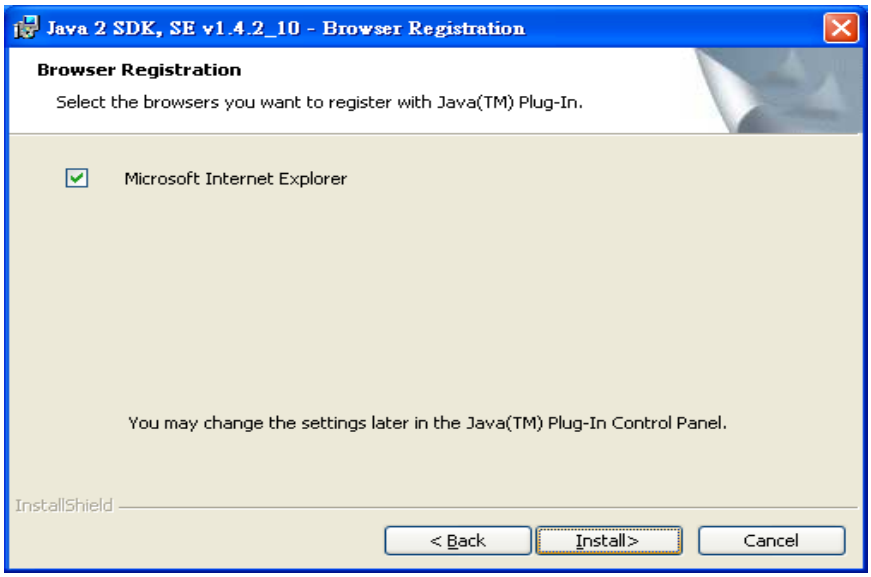


圖 5-3 瀏覽器選項

等候安裝進行，此步驟需要網路連線，請確認網路狀態。

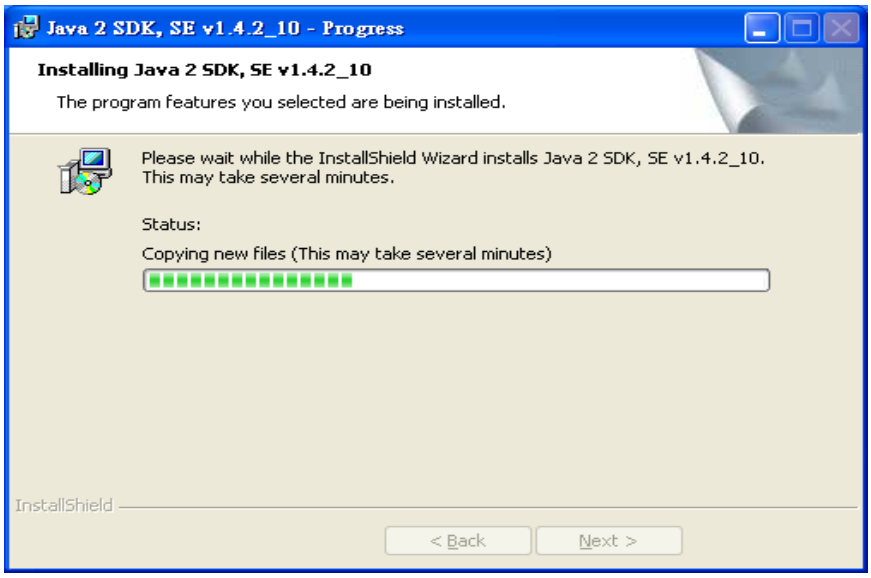


圖 5-4 安裝狀態畫面

安裝成功。

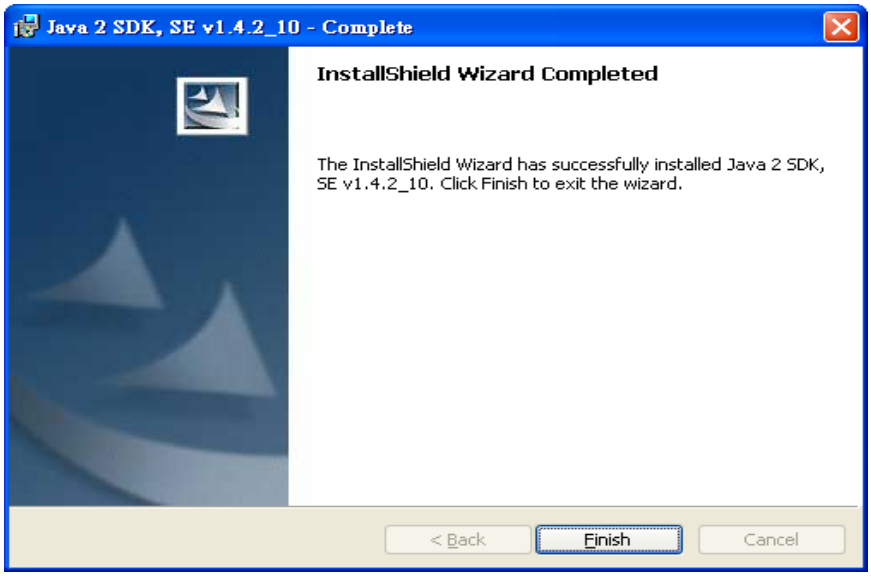


圖 5-5 安裝成功畫面

5.2 SQL Server 2000 安裝步驟

執行SQL Server 2000安裝程式，選擇SQL Server 2000的元件，進行安裝。

圖 5-6 SQL Server 2000 的安裝畫面

點選安裝資料庫伺服器選項，進入SQL Server 2000的安裝程序。

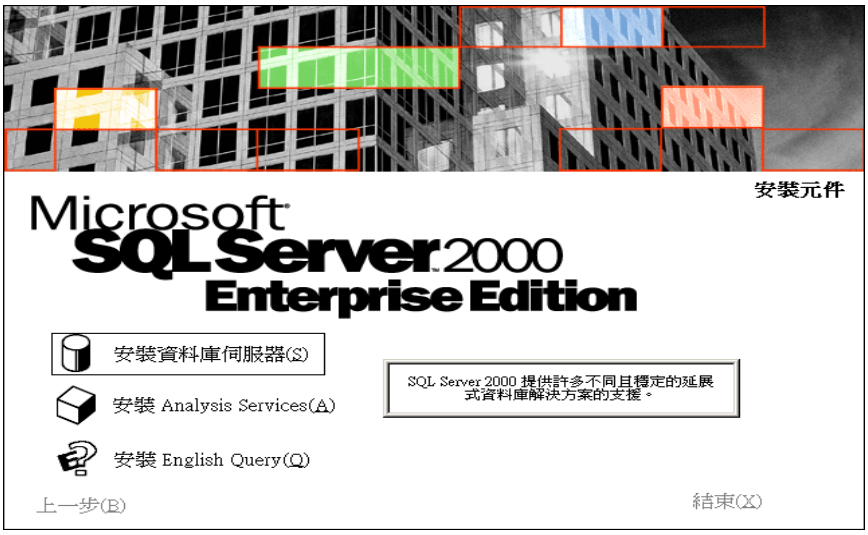


圖 5-7 選擇安裝 SQL Server 2000 元件的畫面

請按下一步按鈕以進行選擇安裝的機器。

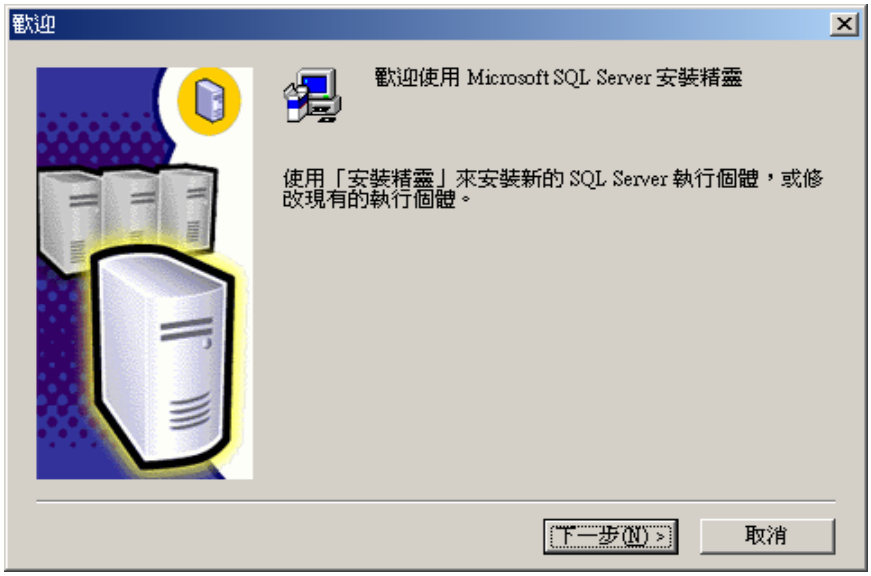


圖 5-8 SQL Server 2000 安裝精靈的歡迎畫面

點選本機電腦，點選下一步按鈕，繼續安裝。

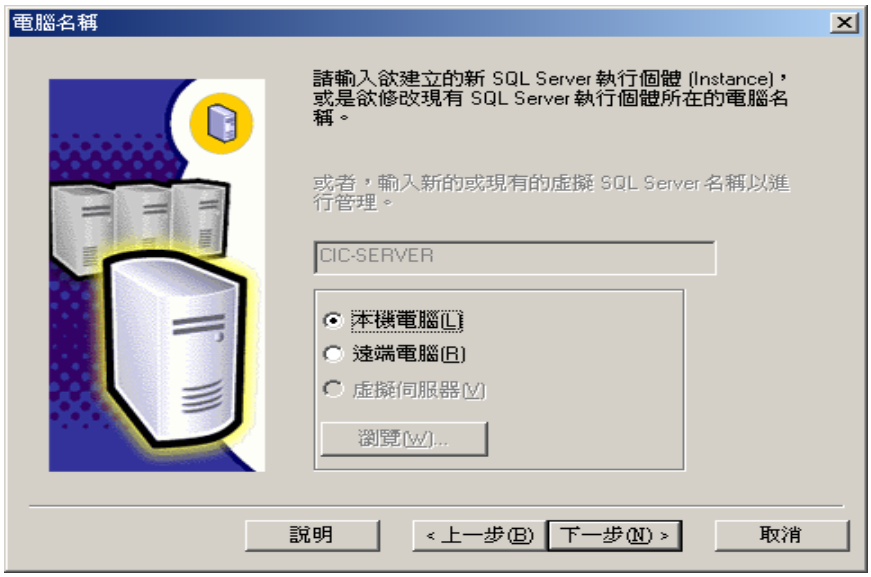


圖 5-9 選擇安裝的機器畫面

選擇建立SQL Server的新執行個體或安裝用戶端工具選項，請按下一步。

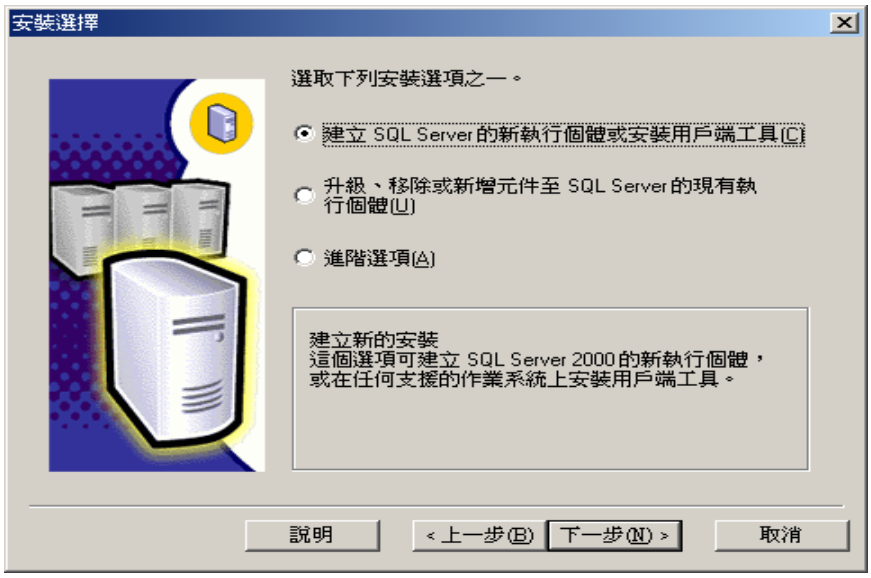


圖 5-10 選擇安裝選項的畫面

輸入使用者的資訊，點選下一步按鈕繼續。

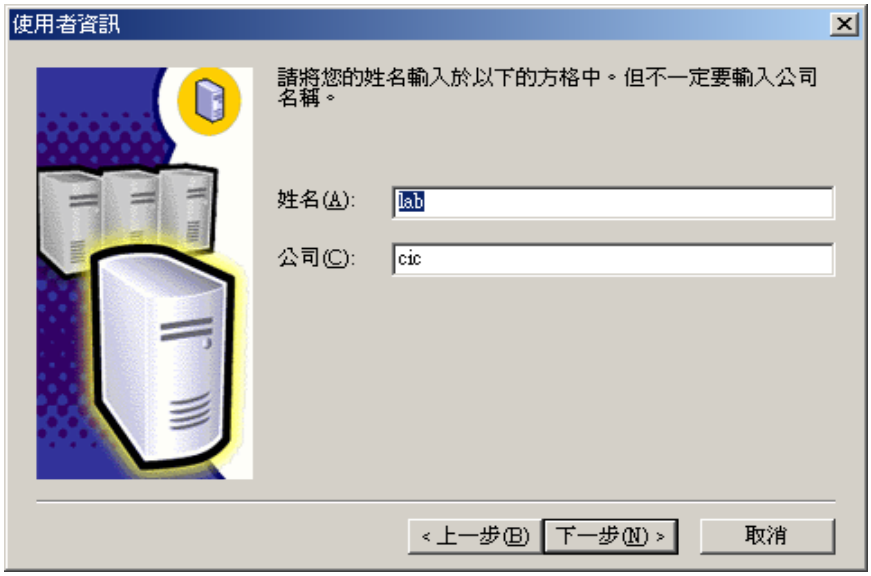


圖 5-11 輸入使用者資訊的畫面

接受使用者授權合約，點選是按鈕。

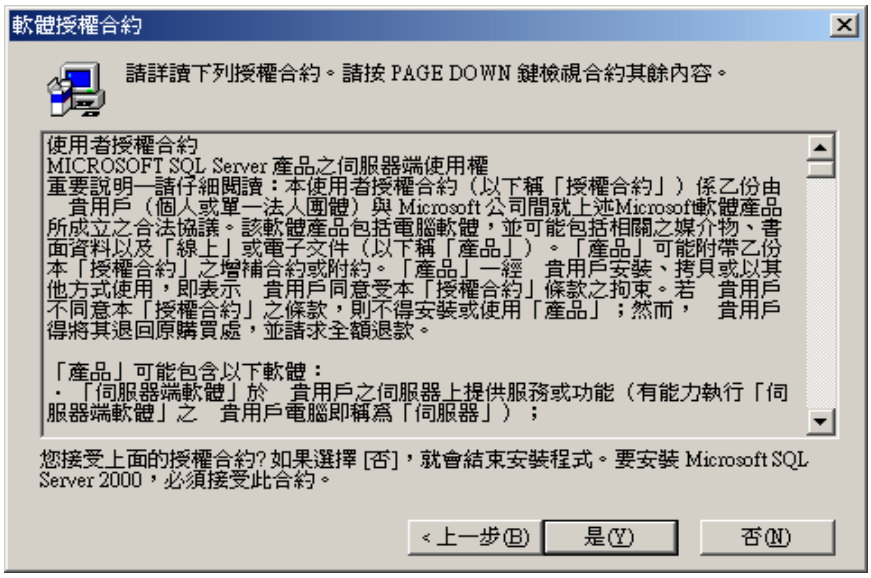


圖 5-12 使用者授權合約的畫面

選擇安裝伺服器和用戶端工具，點選下一步。

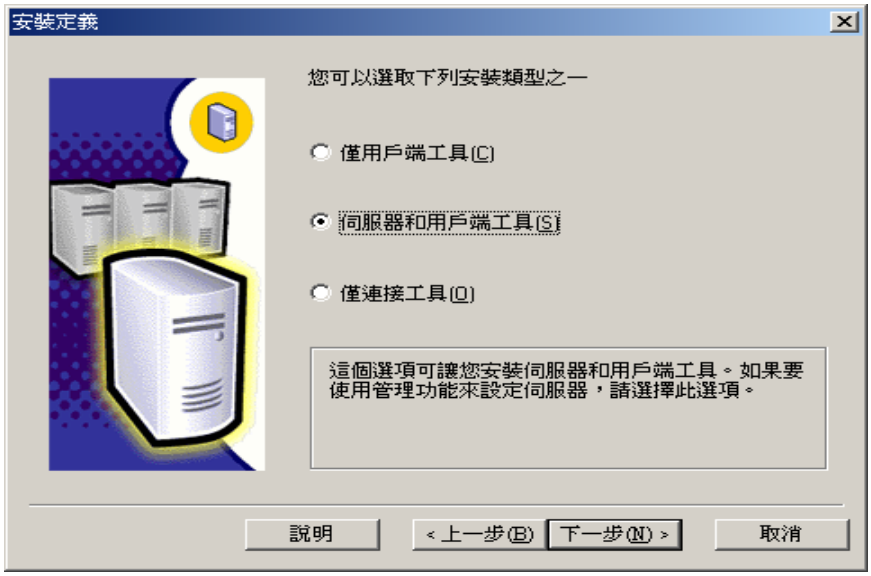


圖 5-13 選擇安裝元件的畫面

以預設值設定執行個體名稱，點選下一步。

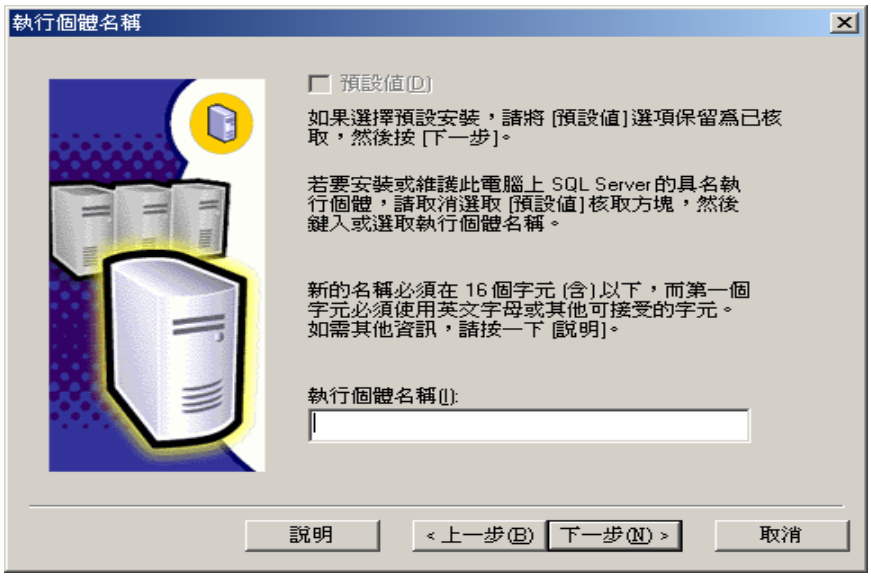


圖 5-14 規劃執行個體名稱的畫面

請按下一步按鈕，選擇典型安裝。

圖 5-15 安裝類型選項畫面

使用本機帳號作為登入之用。

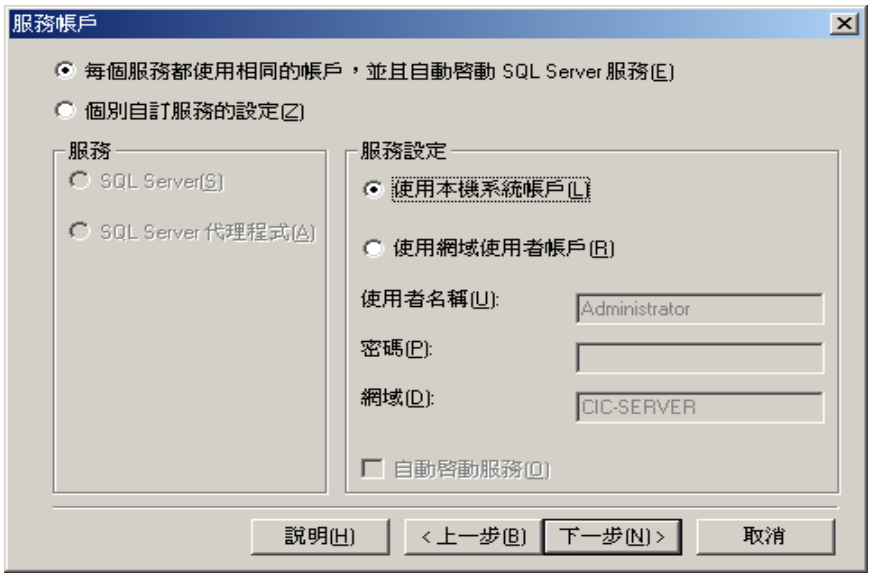


圖 5-16 規劃服務帳戶的畫面

驗證模式採用混和模式，輸入系統管理員之密碼。

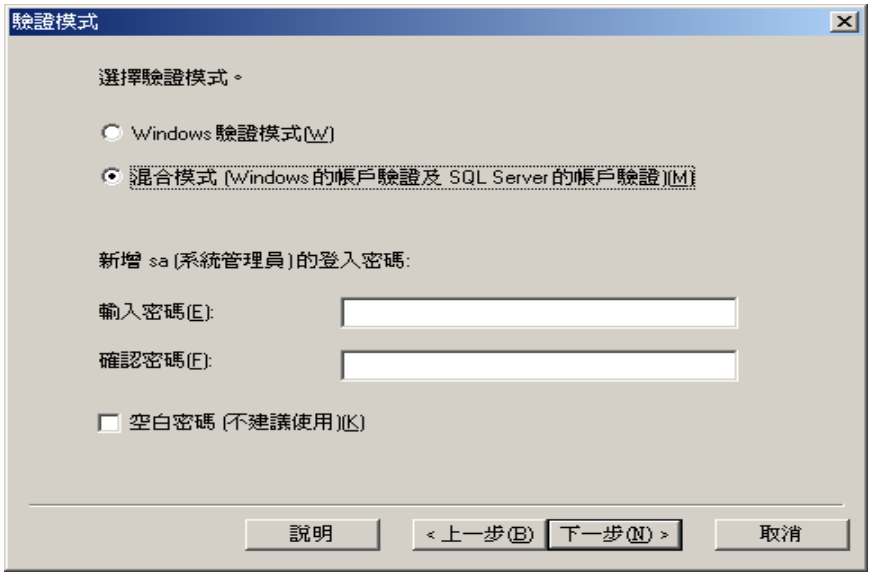


圖 5-17 決定驗證模式的畫面

點選下一步，開始安裝。

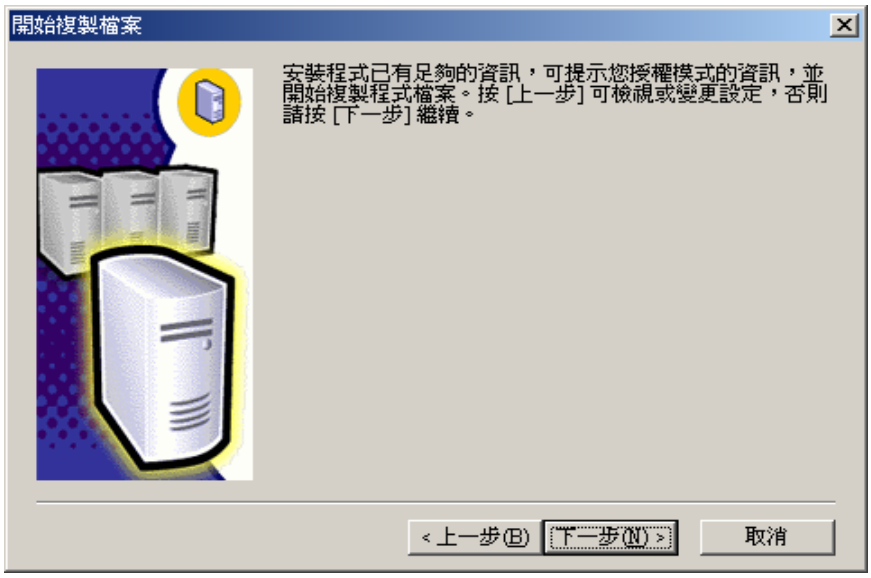


圖 5-18 開始複製檔案畫面

依授權模式選擇，點選繼續按鈕，開始安裝過程。安裝完成後，系統重新開機，安裝SQL Server 2000完成。

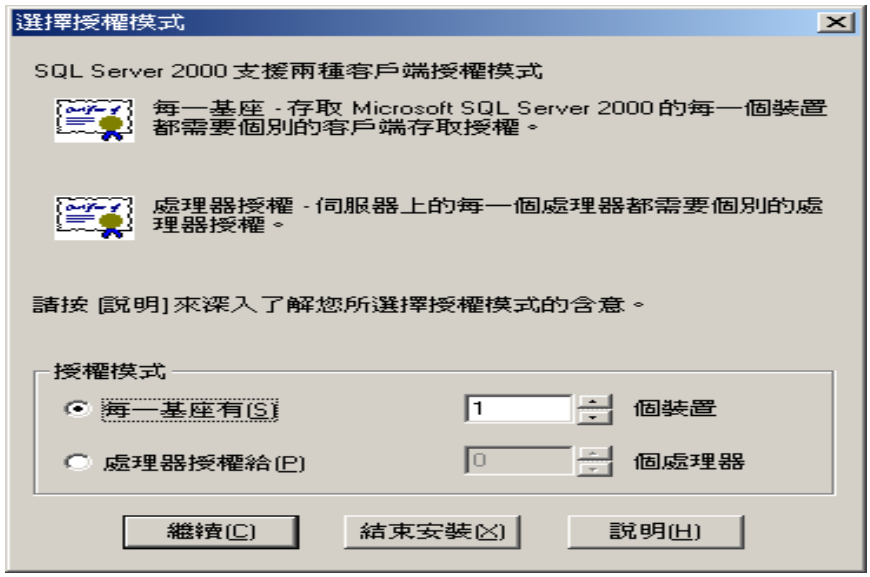


圖 5-19 選擇授權模式畫面

5.3 Jsp Server 安裝步驟

選擇Jsp Server安裝檔。

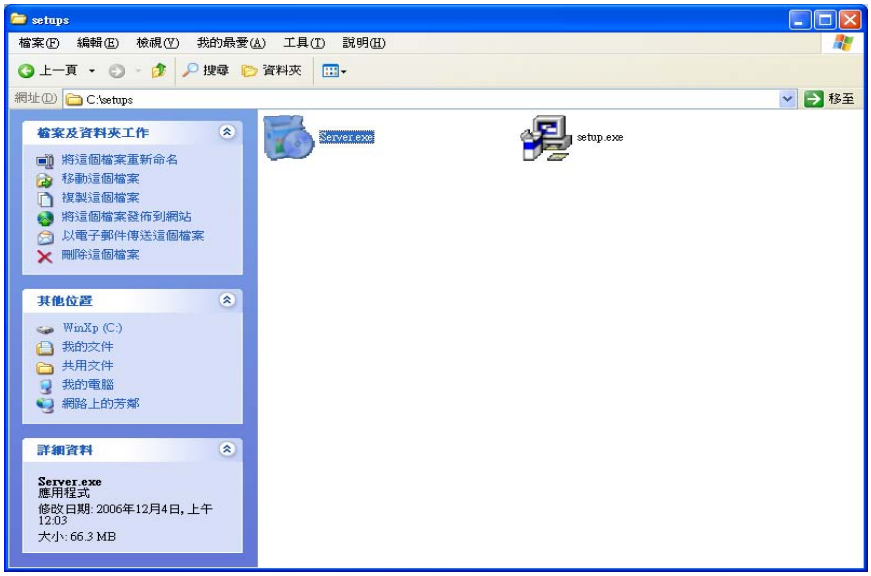


圖 5-20 網路伺服器安裝執行檔

選擇安裝目錄，下一步繼續。

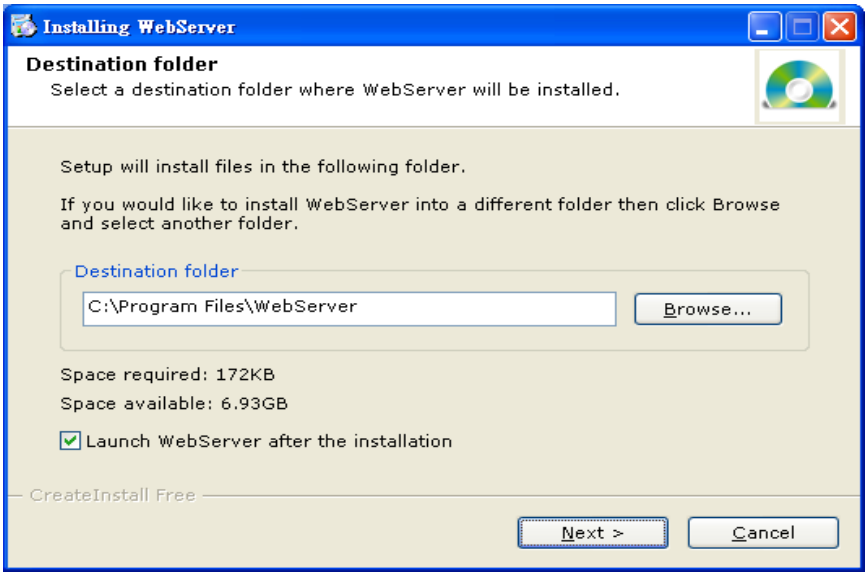


圖 5-21 安裝目錄設定

安裝成功訊息，伺服器架設完成。

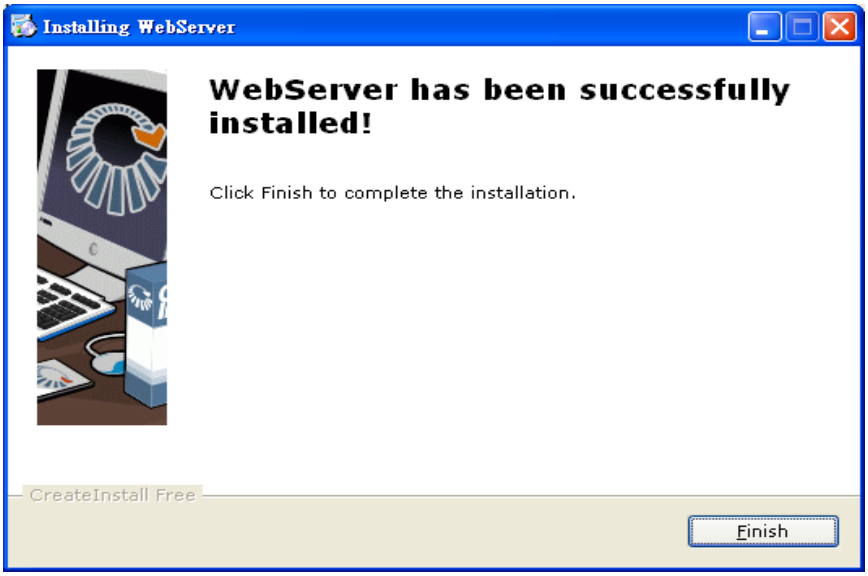


圖 5-22 安裝成功畫面

5.4 Agent 安裝步驟

執行軟體代理人安裝程式，點選Setup檔案。

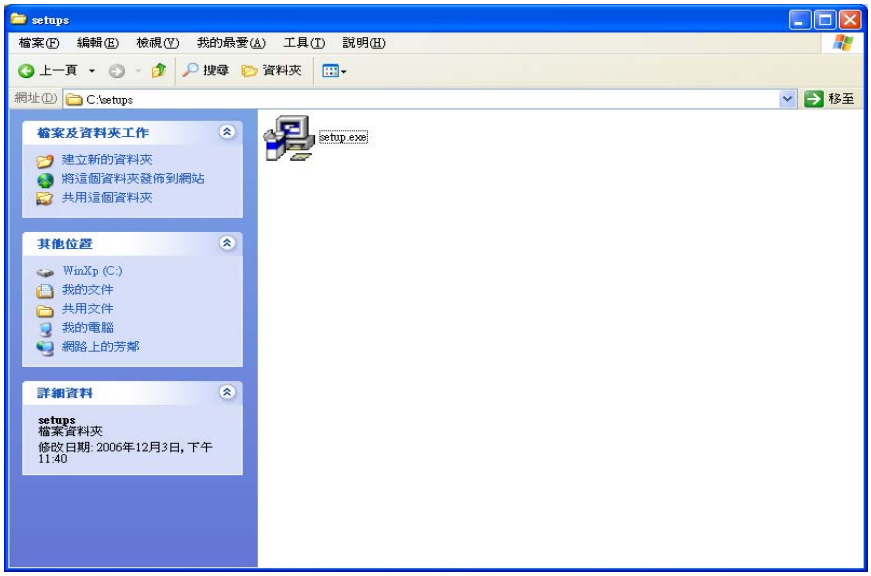


圖 5-23 安裝執行檔畫面

選擇安裝目錄，預設目錄為c:\Program Files\Agent。

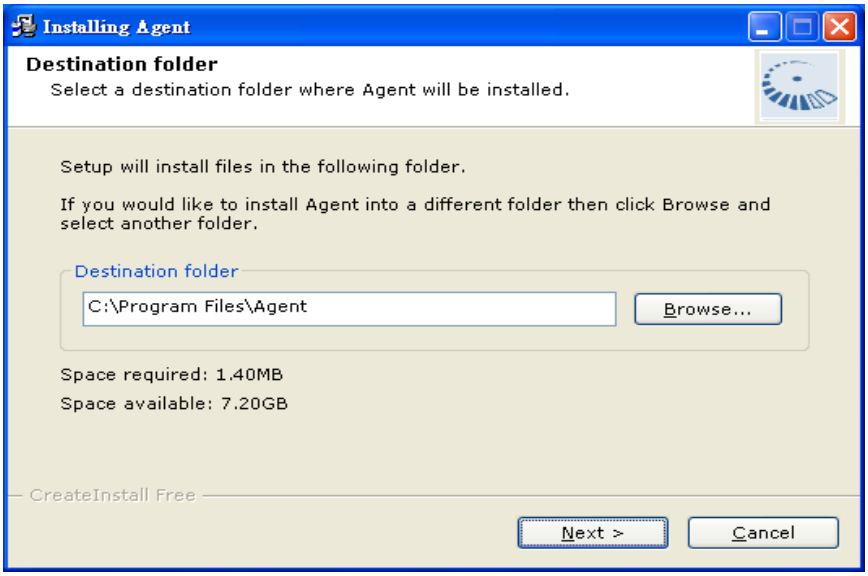


圖 5-24 安裝目錄設定畫面

安裝完成後，軟體代理人將自動加入電腦啟動之執行緒中，在電腦重新啟動後將自動常駐執行。

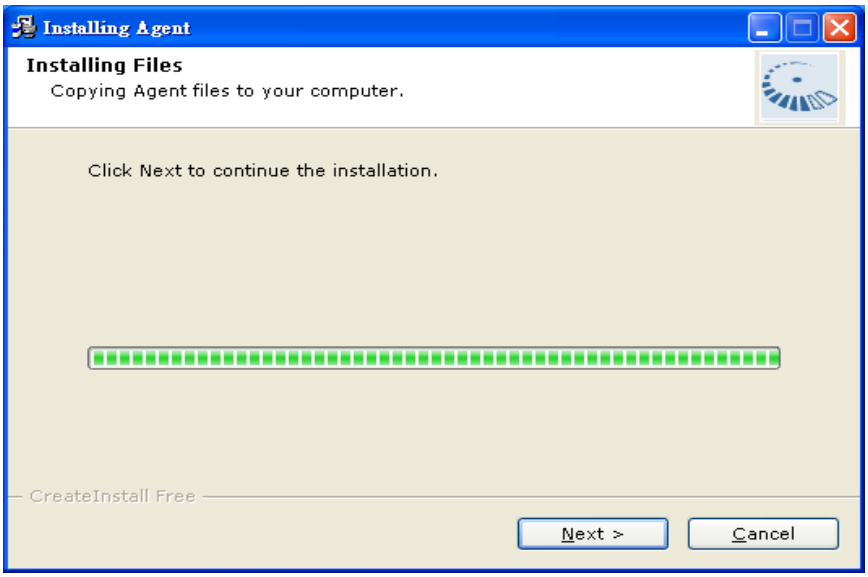


圖 5-25 安裝結束畫面

5.5 ESRI ArcGIS Server 安裝步驟

將ESRI ArcGIS Server軟體安裝光碟放入光碟機後將會自動執行安裝，若沒有自動執行安裝則使用者可開啟檔案管理員，再光碟內容中點選setup.exe檔執行安裝，如圖5-26所示。

圖 5-26 執行 setup.exe 檔進行安裝

執行setup.exe檔後進入如圖5-27畫面。

圖 5-27 ArcGIS Server 安裝畫面

圖5-27中點選Next即進入版權宣告及軟體合約內容是否同意選項，請選擇「I accept the license agreement」選項，並點選Next。

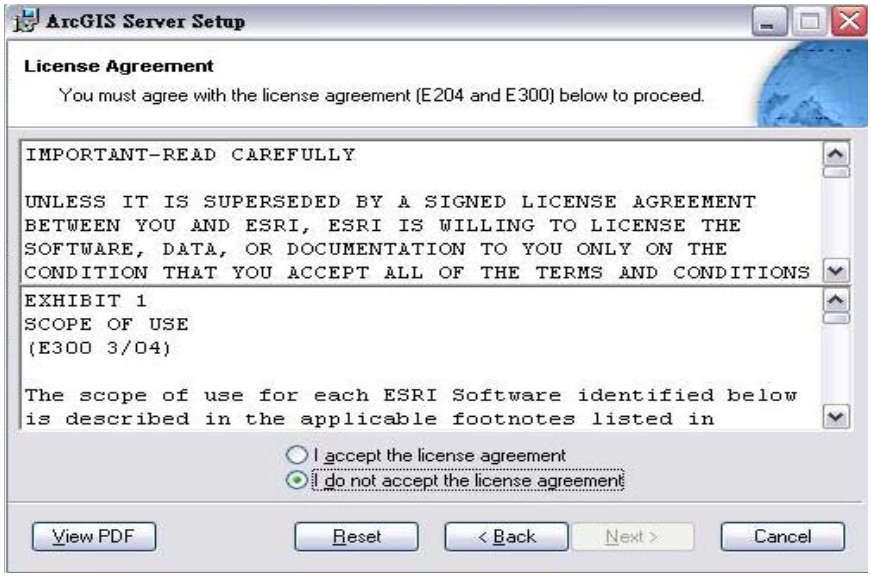


圖 5-28 版權宣告及軟體合約內容

接著進入Server特性設定，若無特殊需求則使用預設值即可，點選Next按鍵進入下一步。

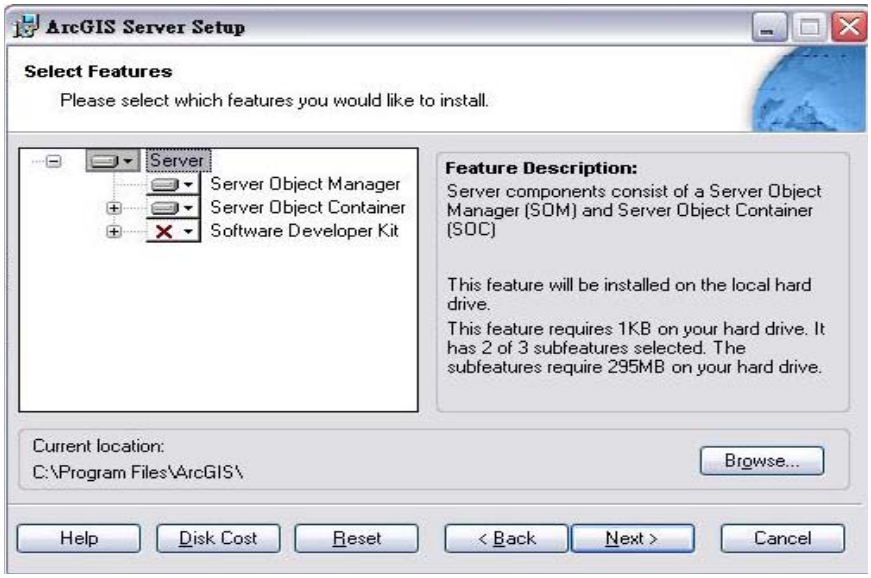


圖 5-29 Server 特性設定

接下來為最後安裝確認畫面，若想返回前步驟更改設定請按Back按鍵，否則請Next即進行安裝如圖5-31。

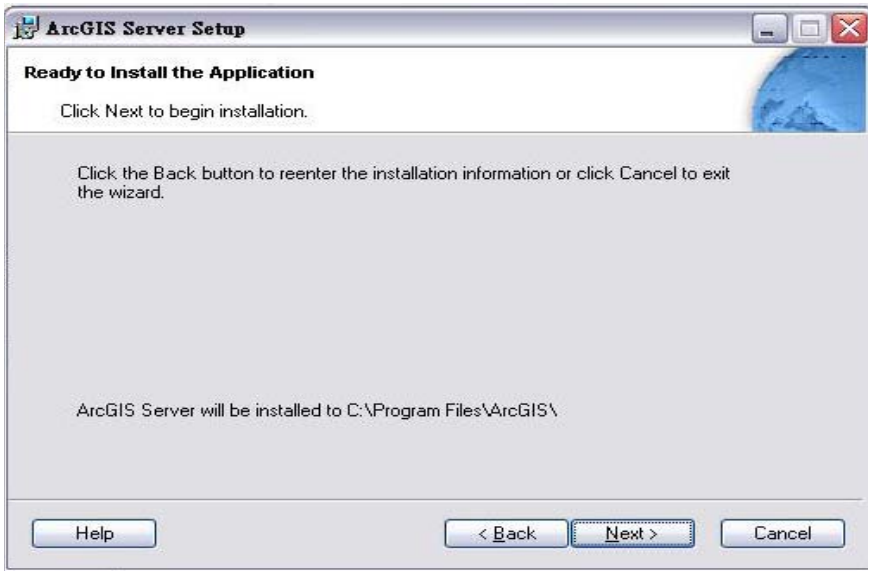


圖 5-30 最後安裝確認

圖 5-31 進行安裝畫面

系統資料安裝完成後如圖5-32所示，點選Finish鍵進行系統設定。

圖 5-32 系統資料安裝完成

圖5-33提醒使用者進行系統設定與認證點選OK進入設定程序。

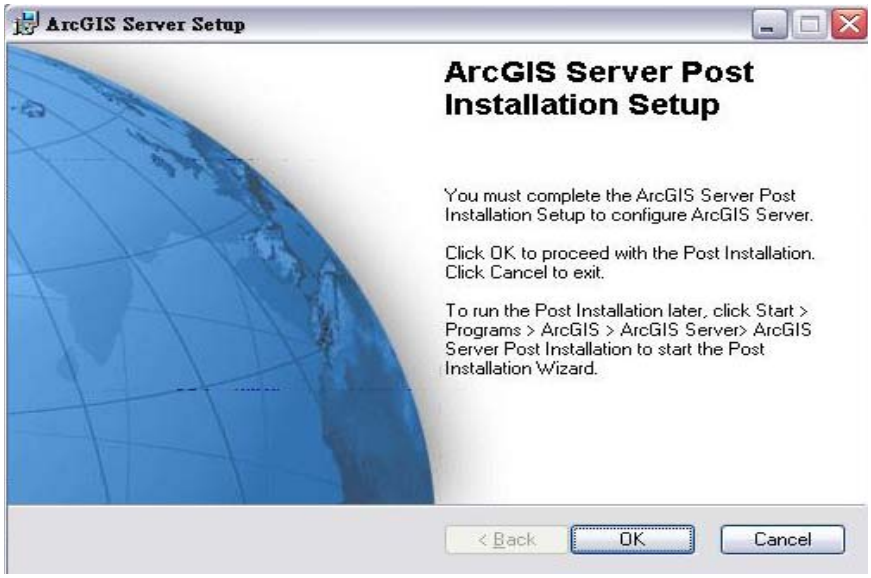


圖 5-33 系統設定與認證畫面

圖5-34中兩個選項都需勾選，分別為系統設定與軟體認證，點選下一步。

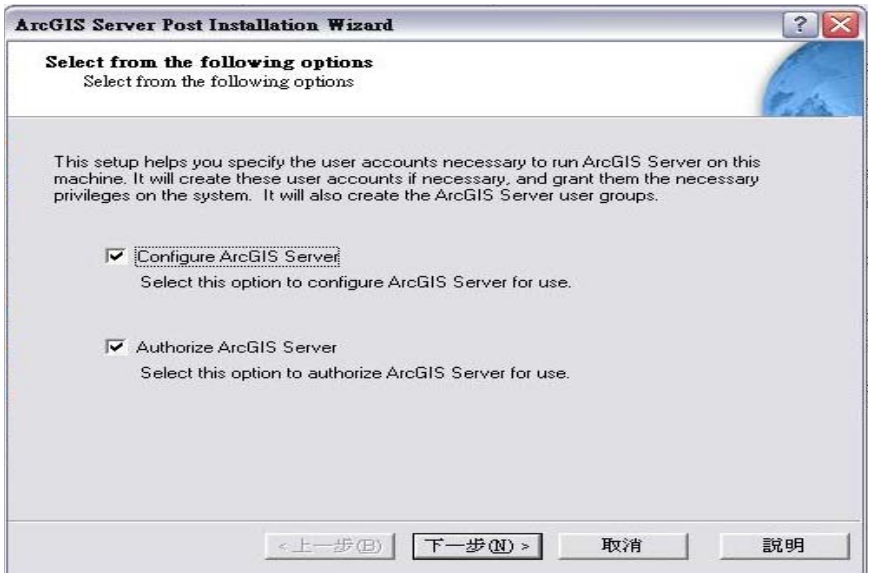


圖 5-34 系統設定與軟體認證選項畫面

接下來將先進行系統帳號設定。請選擇第一個選項並輸入兩個帳號名稱與密碼，此帳號的作用是讓網頁能夠管理與存取ArcGIS Server內的圖層，並非電腦登入的帳號密碼。輸入完成點選下一步

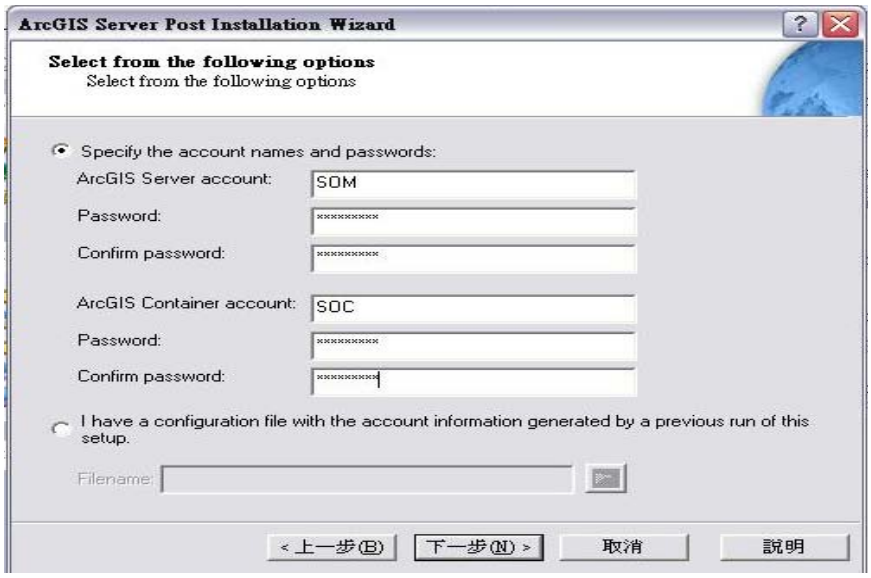


圖 5-35 ArcGIS Server 系統帳號密碼設定

接下來為網路設定，建議使用預設值即第一選項。按下一步繼續

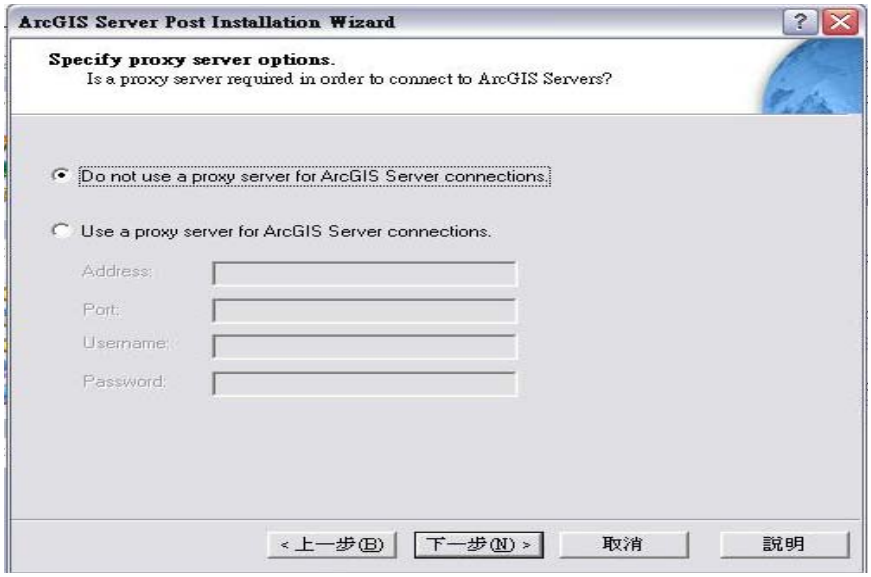


圖 5-36 Proxy server 設定

以上步驟已完成系統設定工作，若需要記錄此次安裝的系統設定值請選圖5-37中的第二選項並指定存檔路徑，否則請選第一選項。按下一步繼續。

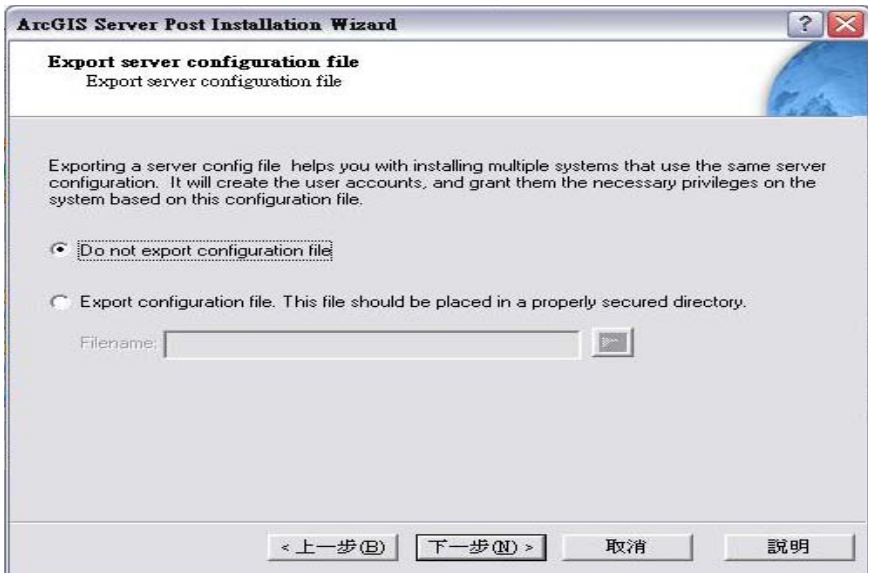


圖 5-37 系統設定記錄檔選項

圖5-38為提示系統設定資訊，請按Install選項繼續。

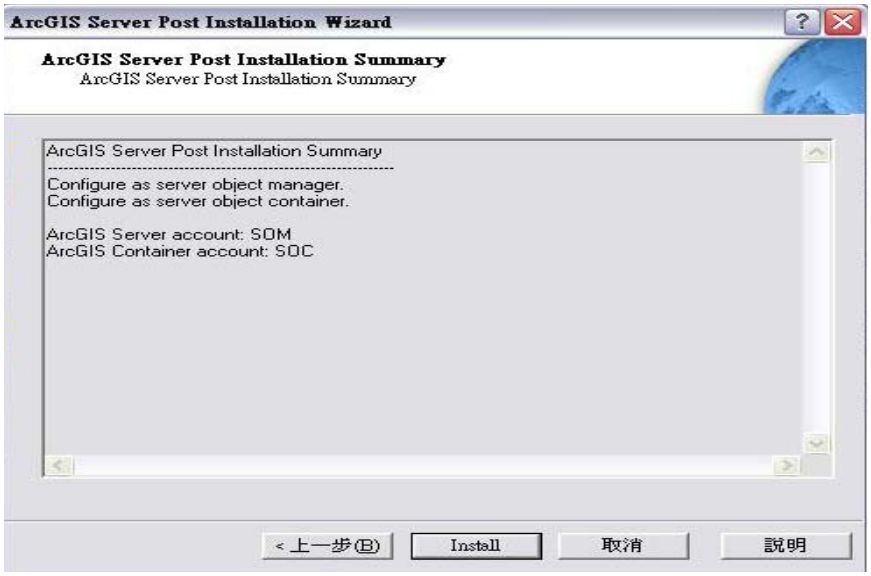


圖 5-38 系統設定資訊提示

系統開始進行設定，設定完成後請按Next繼續。

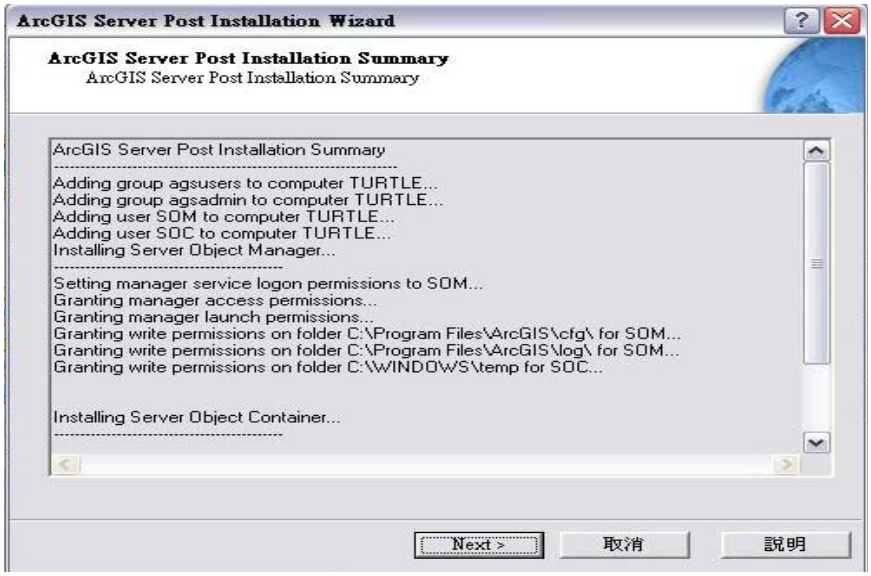


圖 5-39 系統進行設定

系統設定完成後，接著進行軟體認證如圖5-40所示，請選擇第三選項並點選下一步。

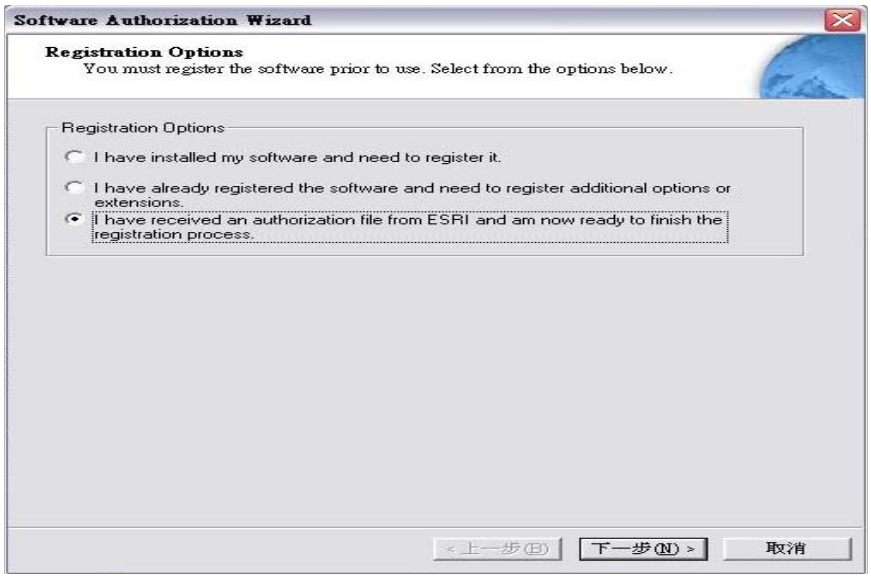


圖 5-40 軟體認證選項

接著請選擇圖5-41中的第一選項以原廠認證檔進行認證，並點選Browse，將檔案路徑指向該原廠認證檔如圖5-42所示。點選下一步繼續。

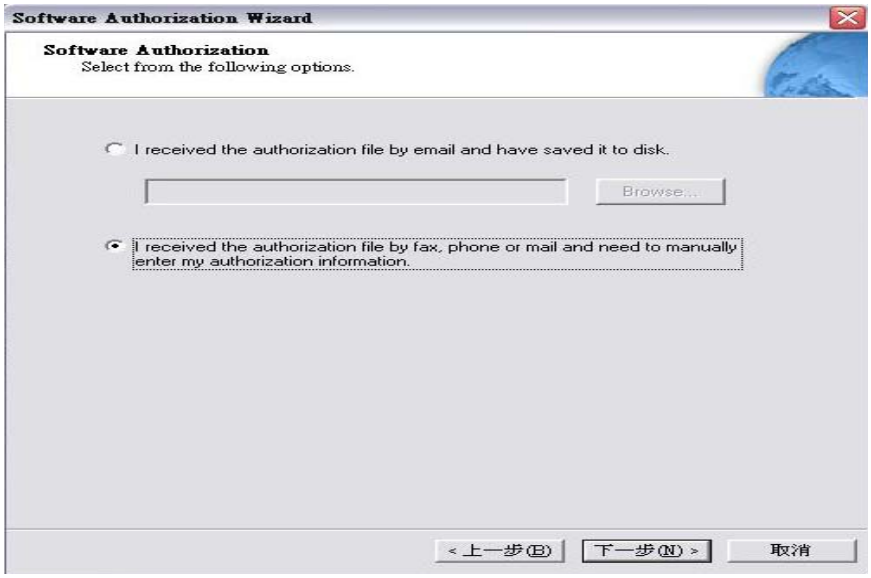


圖 5-41 認證檔路徑設定

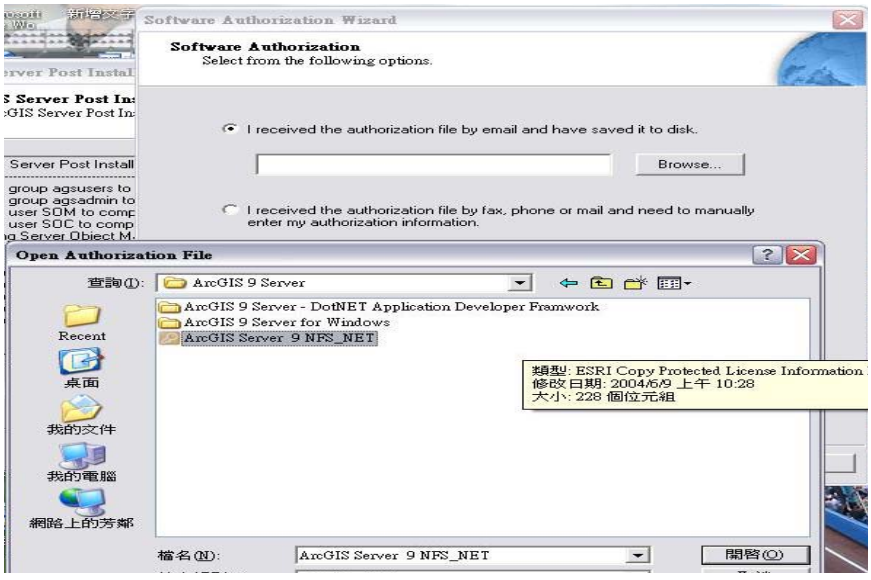


圖 5-42 路徑指向原廠認證檔案

接著畫面將提示該認證檔所提供之軟體使用權限。點選完成進入下一步如圖5-44所示。

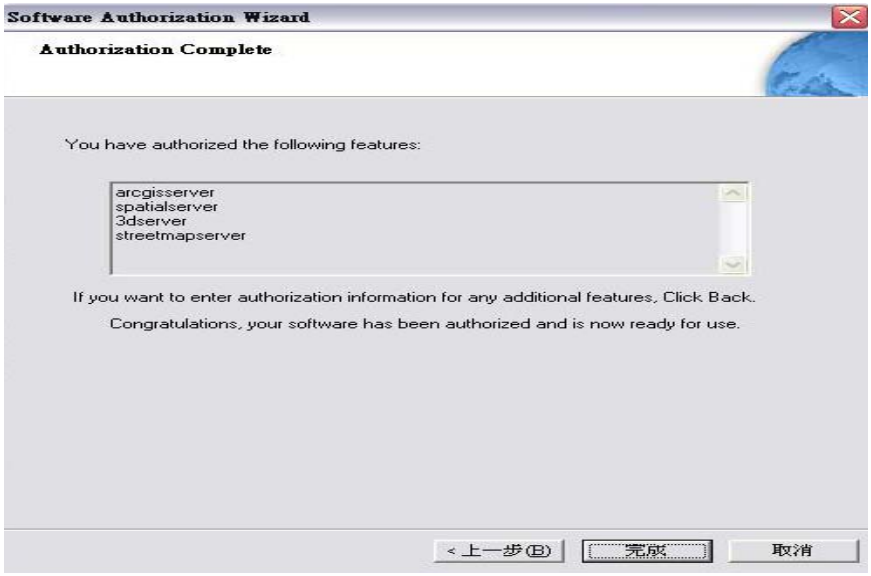


圖 5-43 認證檔所提供之軟體使用權限資訊

按下Finish選項即完成ESRI ArcGIS Server之安裝與設定。

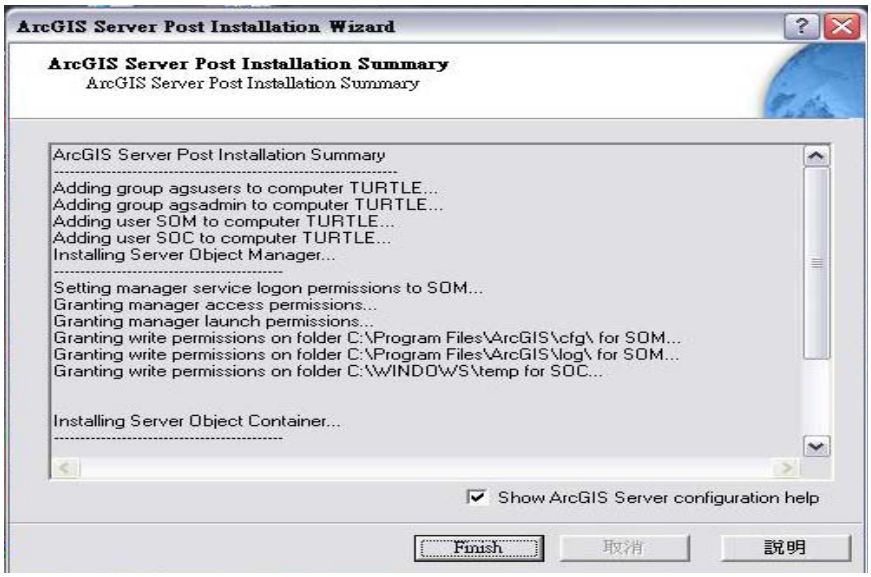


圖 5-44 安裝完成確認畫面

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(2/2)
(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　主任

中華民國九十五年十一月十六日

簡報流程

壹 計畫目的及範圍
貳 各橋梁災害應變流程
參 系統架構及運作方法
肆 系統測試與教育訓練
伍 系統展示
陸 結論與建議
柒 本系統軟硬體建議之配備

壹 計畫目的及範圍

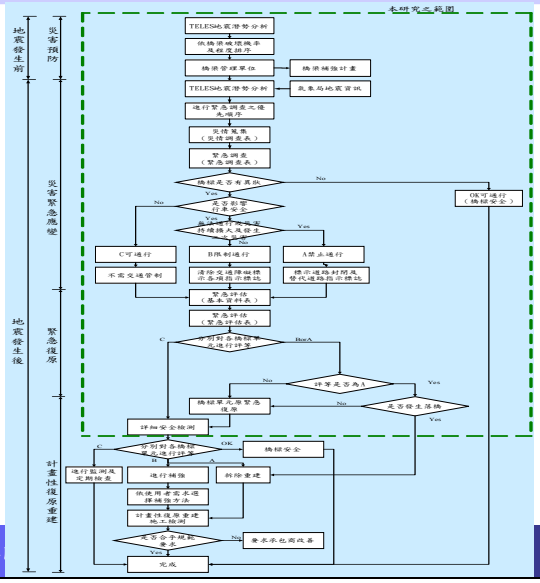
災害發生前	防災預警系統	災害發生時
•橋梁資料 •災害資訊 •橋梁監測評估值	資料交換 (資料交換平台)	•災害資訊 •橋梁監測評估值
•潛勢分析 •評估表單 •橋梁監測評估值 •橋梁檢測資料	評估方法	•潛勢分析 •緊急調查表、評估表 •橋梁監測評估值 •GIS圖層套疊分析
•橋梁可能破壞機率(地震) •橋梁所在河川水位高度(沖刷) •橋梁耐洪能力(沖刷) •橋梁老化腐蝕現況(腐蝕)	系統輸出	•進行緊急調查之優先順序(地震) •超過警戒水位之橋梁(沖刷) •土石流警戒區內之橋梁(土石流) •其他(監測)
•對危險橋梁發出警訊 •建議採取補強措施	具體作為	•對危險橋梁發出警訊 •緊急措施(交通管制、封橋) •建議採取補強、修復措施

貳 各橋梁災害應變流程

1. 地震災害
2. 洪水沖刷災害
3. 土石流災害
4. 橋梁老化腐蝕
5. 橋梁監測

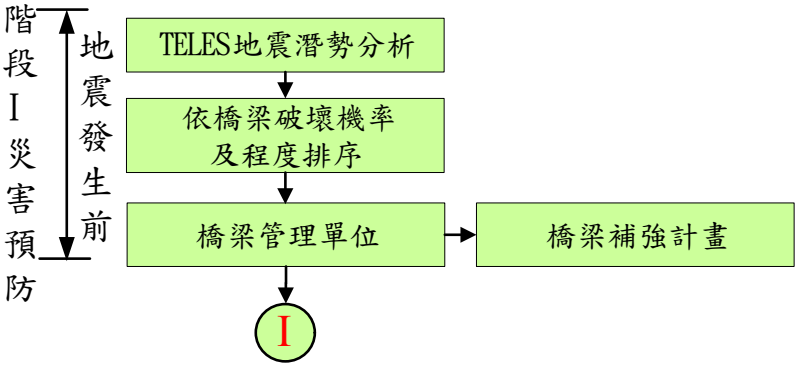
1 地震災害

地震災害應變流程



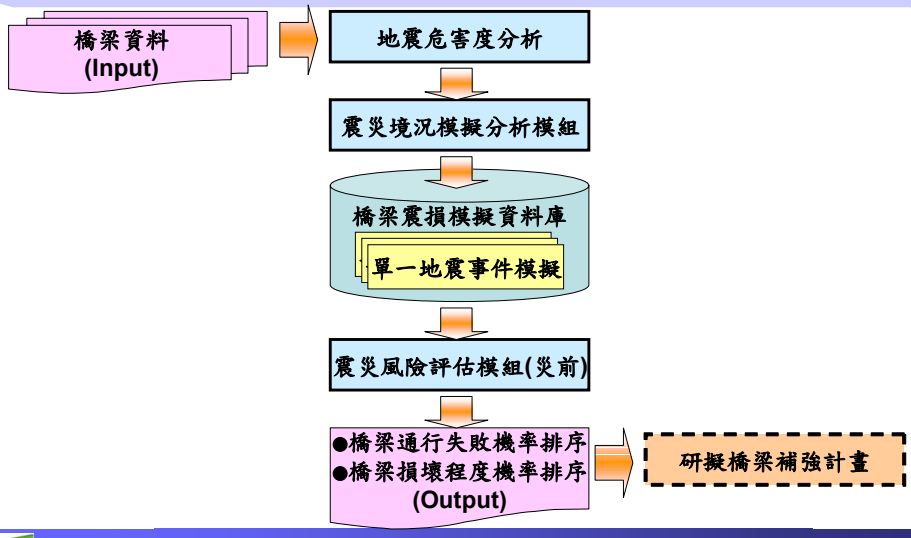
1 地震災害

地震災害預防階段



1 地震災害

TELES地震災害潛勢分析流程(災前)



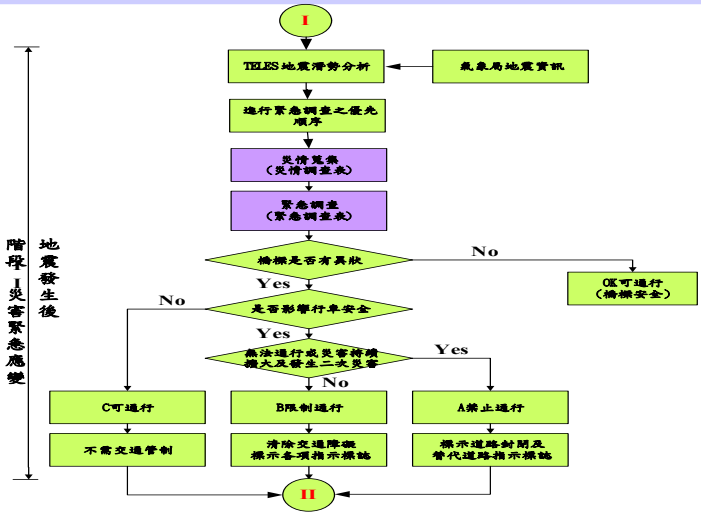
1 地震災害

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		

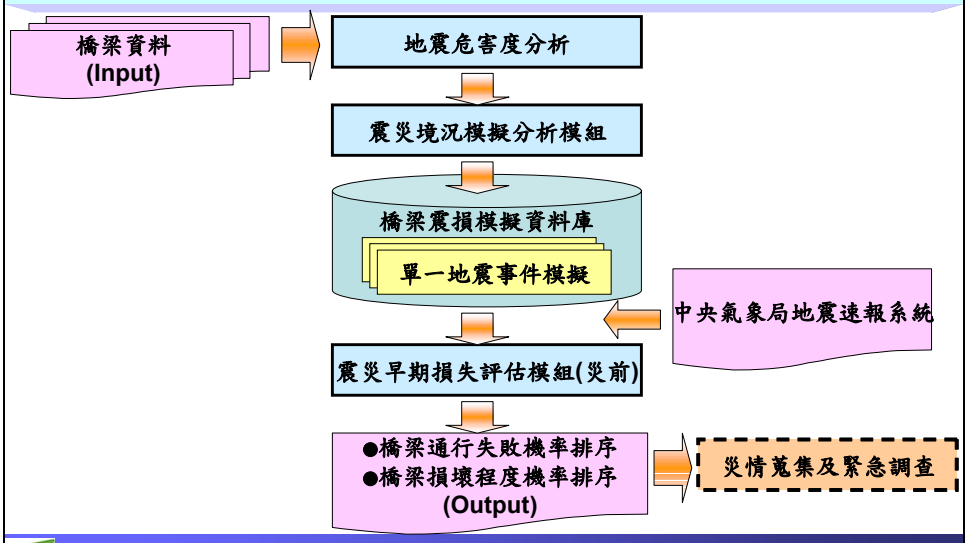
1 地震災害

地震災害緊急應變階段



1 地震災害

TELES地震災害潛勢分析流程(災時)



1 地震災害

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				□暢通□阻礙	□無□低□高

（陳生金，公路總局，民94）

1 地震災害

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	

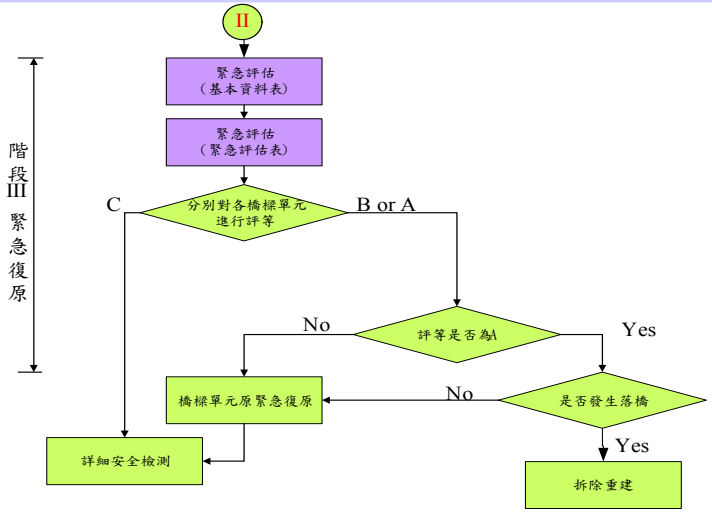
橋梁現況資料			
調查項目	損壞狀況		
		A B C OK	備註
1. 橋梁整體	落橋 縱斷面高低差 橫斷面錯位	□□□□ □□□□ □□□□	
2. 上部結構（Sup）	主梁損壞 副構件損壞 主梁變形 副構件變形	□□□□ □□□□ □□□□ □□□□	
3. 橋柱（Sub）	帽梁損壞 副構件損壞 傾斜、沉陷、開裂	□□□□ □□□□ □□□□	
4. 基礎（F）	坍滑 傾斜、沉陷 沖刷裸露 土壤液化	□□□□ □□□□ □□□□ □□□□	

（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 □□□□	
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	

緊急復原階段



1 地震災害

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:□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			

（陳生金，公路總局，民94）

1 地震災害

震後橋梁緊急評估表(2/2)

構件分類	評估項目　　ABC	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　□□□						

1 地震災害

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	

1 地震災害

地震災害資訊-中央氣象局地震報告(1/2)

(1)地震發生日期

(2)地震發生時間

(3)震源位置

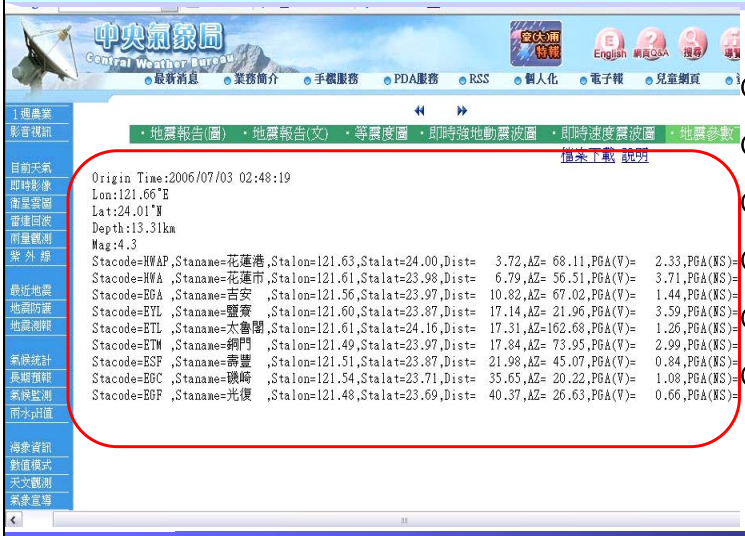
(4)震源深度

(5)地震規模

(6)各地最大震度

1 地震災害

中央氣象局地震報告(2/2)



(1)地震發生日期

(2)地震發生時間

(3)震源位置

(4)震源深度

(5)地震規模

(6)地表振動加速度(PGA值)

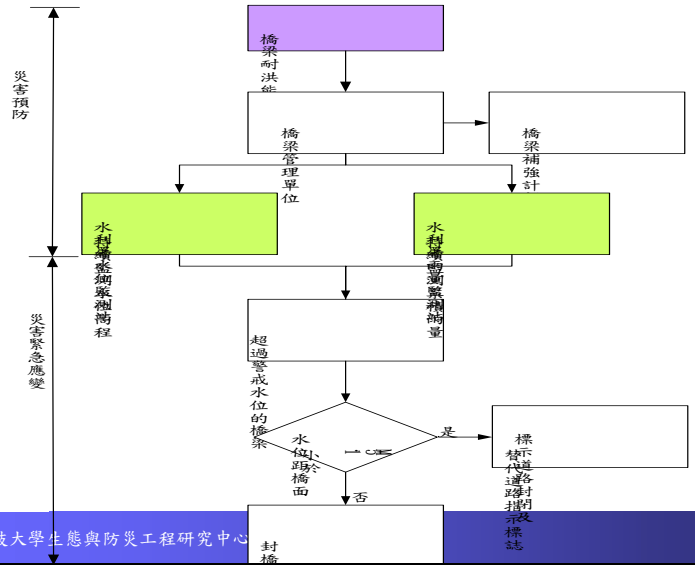
1 地震災害

橋梁地震災害通報依據及時機

通報依據	TELES地震災害潛勢分析結果「橋梁通行失敗機率」(%)
通報時機	• 該橋梁「橋梁通行失敗機率」達到或超過通報標準值時 • 通報標準值可由橋梁管理機關設定(如：橋梁通行失敗機率＞50%)
通報方式	• 行動電話簡訊 • E-mail

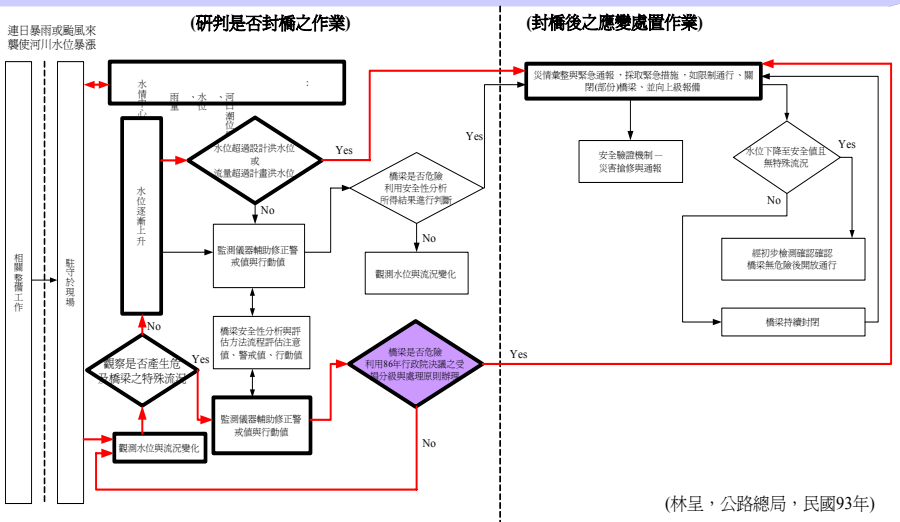
2 洪水沖刷災害

洪水沖刷災害應變



2 洪水沖刷災害

颱洪期間封橋作業應變流程



2 洪水沖刷災害

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	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		河床垂直向長期沖刷潛能	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)		

（陳清泉，公路總局，民94。）

2 洪水沖刷災害

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	□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≦(H_{left}/H)≦1.0，w=2.5-2.5(H_{left}/H) 沉箱：當(H_{left}/H)＜0.4，w=1.0；當0.4≦(H_{left}/H)≦1.0，w=3/5-3/5(H_{left}/H) 直接基礎：□置於砂礫層，有沖刷之虞(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≦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_{θ}≦2.0，w=K_{θ}-1；當K_{θ}＞2.0，w=1.0；K_{θ}=[(1/b)sinθ+cosθ]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≦1.0		
013		梁底高程	5	$1.0 \geqq w=1-\frac{(\text{梁底高程}-\text{計畫洪水位})}{2.0\text{公尺}} \geqq 0$ 或 $1.0 \geqq 1\frac{(\text{梁底高程}-\text{堤頂高度})}{1.5\text{公尺}} \geqq 0$		
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	(危險度評分超過50分者爲沖刷潛勢嚴重之橋梁)		

2 洪水沖刷災害

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。)

2 洪水沖刷災害

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。

2 洪水沖刷災害

洪水沖刷災害資訊

2 洪水沖刷災害

水利署河川溪流水位監測(2/2)

區域	河川局	流域	站名	接收時間	目前水位(公尺)	一級警戒(公尺) 警戒差	一級警戒(公尺) 警戒值	二級警戒(公尺) 警戒差	二級警戒(公尺) 警戒值	三級警戒(公尺) 警戒差	三級警戒(公尺) 警戒值	堤頂高(公尺) 堤頂差	堤頂高(公尺) 堤頂高	水位上升速率(公尺/小時)	最高水位(公尺)	最高水位發生時刻
北	第十河川局	淡水河	石門後池	07/10 15:50	135.51	----	----	----	----	----	----	-9.5	145	▼-0.06	135.69	07/10 13:20
北	第十河川局	淡水河	新海大橋	07/10 15:50	0.28	-9.92	10.2	-7.42	7.7	-2.52	2.8	-11.32	11.6	▼-0.24	2.19	07/09 23:00
北	第十河川局	淡水河	入口堰	07/10 15:50	-1.74	-5.55	3.8	-5.25	3.5	-5.05	3.3	-12.98	11.23	▲6043.56	88.3	07/09 14:30
北	第十河川局	淡水河	屈尺	07/10 15:50	49.26	-8.55	57.8	-3.25	52.5	----	----	-10.75	60	0	49.27	07/10 14:50
北	第十河川	淡水河	中正橋	07/10 15:50	0.25	-10.25	10.5	-8.15	8.4	-5.25	5.5	-12.15	12.4	▼-0.54	2.01	07/09 23:00

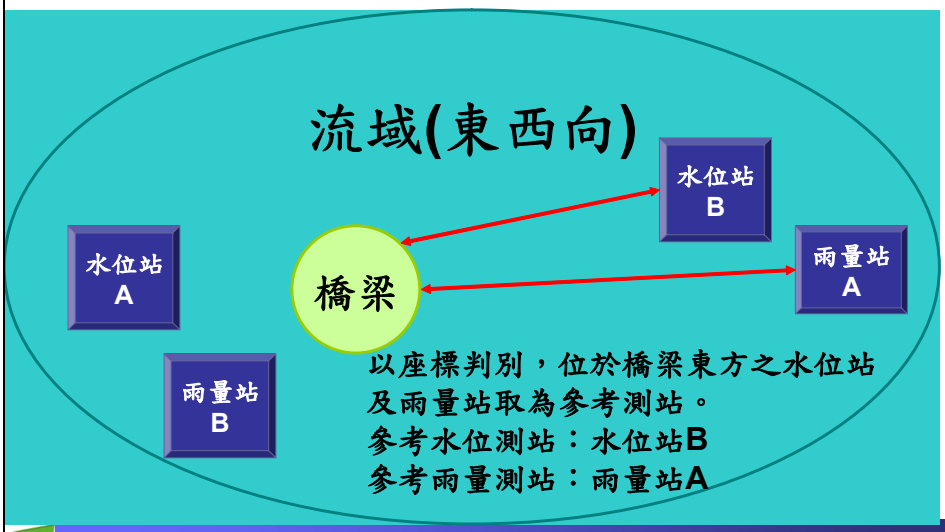
2 洪水沖刷災害

水利署累積雨量監測

排名	站名	地址	最新時間	時雨量（毫米）	3小時累計（毫米）	6小時累計（毫米）	12小時累計（毫米）	24小時累計（毫米）	一日累計（毫米）	二日累計（毫米）	12小時最大（毫米）	發生時間（結束時間）	24小時最大（毫米）	發生時間（結束時間）
1	竹東	新竹縣橫山鄉	07/10 15:50	80.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	07/10 15:50	81.5	07/10 15:50
2	關西	新竹縣關西鎮	07/10 15:50	44.5	50	50	50	50	50	50	50	07/10 15:50	50	07/10 15:50
3	文文社	南投縣仁愛鄉	07/10 15:50	35	36.5	36.5	36.5	39.5	36.5	124	36.5	07/10 15:50	59.5	07/10 09:10
4	魚池	南投縣魚池鄉	07/10 15:50	31.5	34.5	34.5	35	39	35	151	35	07/10 15:50	89	07/10 09:10
5	桃園	桃園縣桃園市	07/10 15:50	31	33	33	33	33	33	37	33	07/10 15:50	33	07/10 15:50
6	新開	苗栗縣大湖鄉	07/10 15:50	30	32.5	32.5	32.5	33	32.5	125	32.5	07/10 15:50	92.5	07/10 09:10
7	[illegible]	台北縣	07/10	30	47.5	47.5	47.5	49.5	47.5	52.5	47.5	07/10	49.5	07/10

2 洪水沖刷災害

橋梁洪水沖刷災害

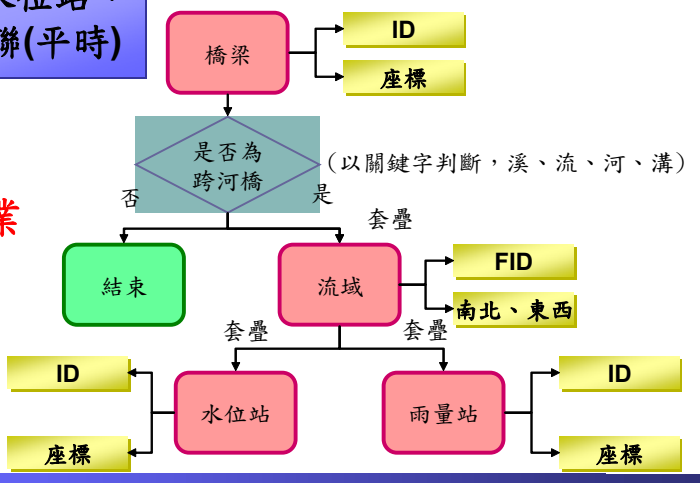


2 洪水沖刷災害

橋梁洪水沖刷災害

連結橋梁與水位站、雨量站之關聯(平時)

此機制為
完全電腦
自動化作業

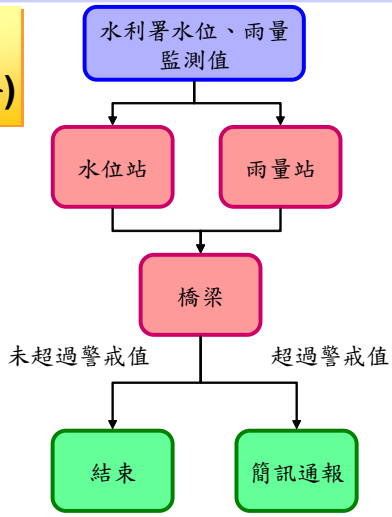


2 洪水沖刷災害

橋梁洪水沖刷災害

依據即時監測水位、雨量進行預警通報(災時)

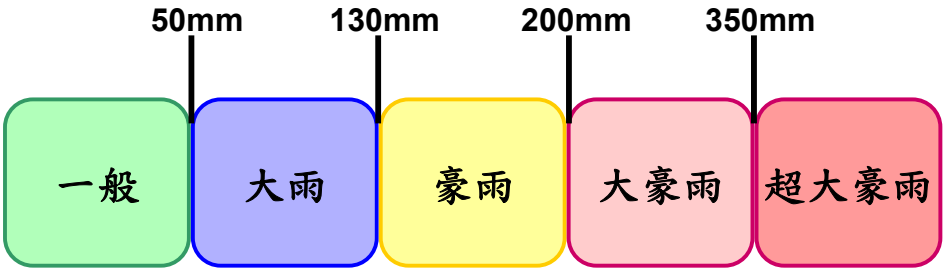
此機制為
完全電腦
自動化作業



2 洪水沖刷災害

橋梁洪水沖刷災害通報依據及時機(1/2)

雨量定義(中央氣象局)
二十四小時累積雨量



2 洪水沖刷災害

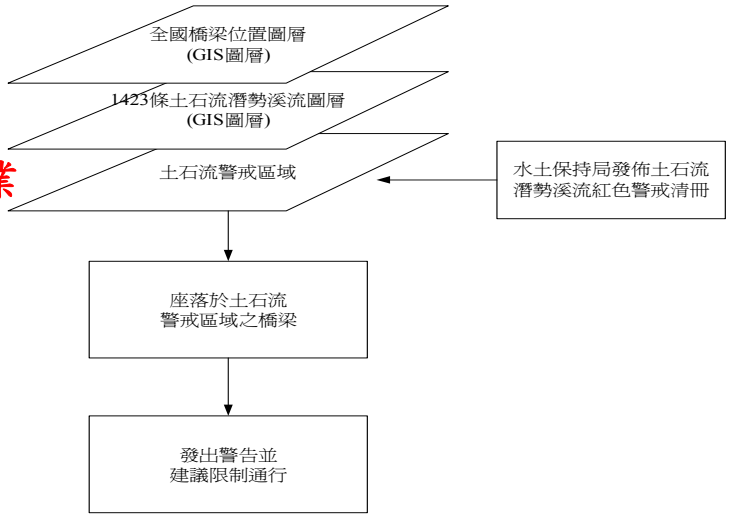
橋梁洪水沖刷災害通報依據及時機(2/2)

通報依據	• 河川水位高程監測值 • 累積雨量值
通報時機	• 河川水位距橋面版＜1.5m • 累積雨量達通報標準，通報標準值可由橋梁管理機關設定(如：大豪雨、超大豪雨)
通報方式	• 行動電話簡訊 • E-mail

3 土石流災害

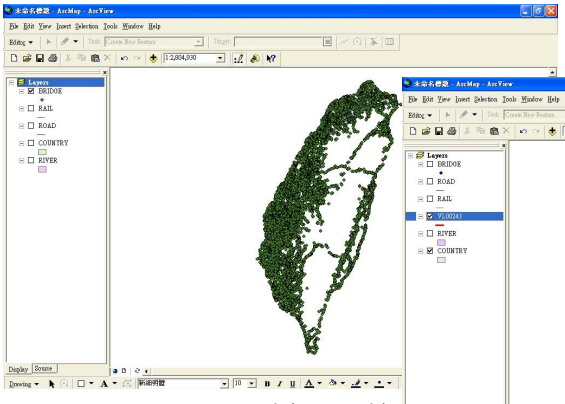
土石流災害應變

此機制為
完全電腦
自動化作業

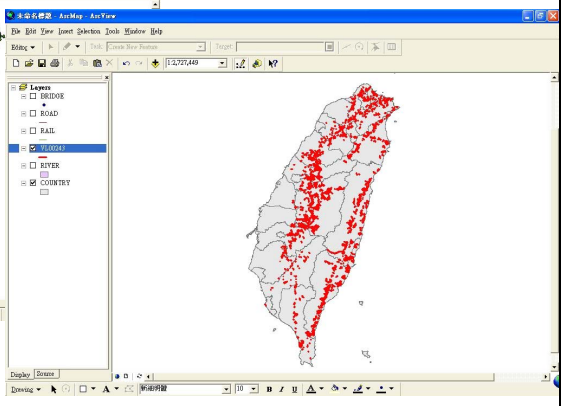


3 土石流災害

全國橋梁及土石流潛勢溪流圖層



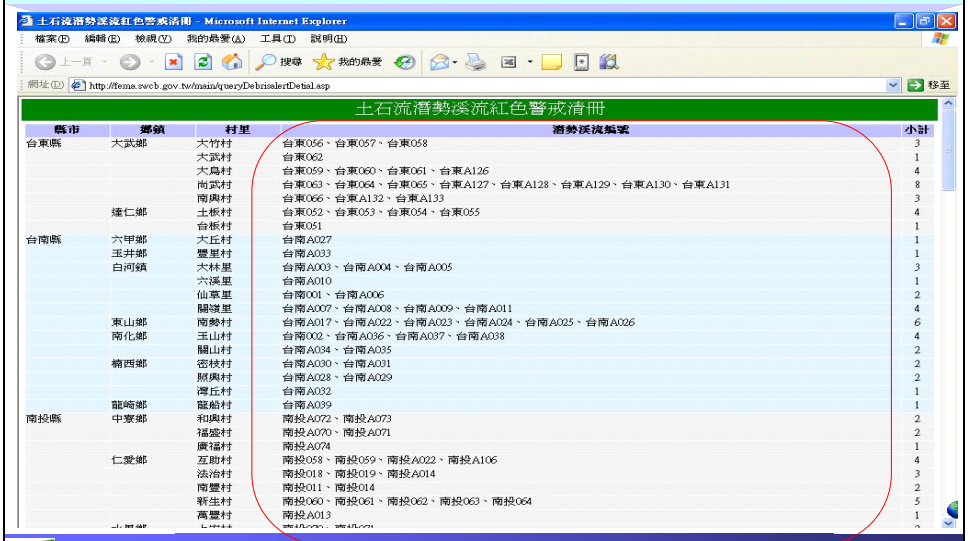
全國橋梁位置圖層(GIS圖層)



土石流潛勢溪流圖層(GIS圖層)

3 土石流災害

土石流潛勢溪流紅色警戒清冊(水保局發佈)



土石流潛勢溪流紅色警戒清冊

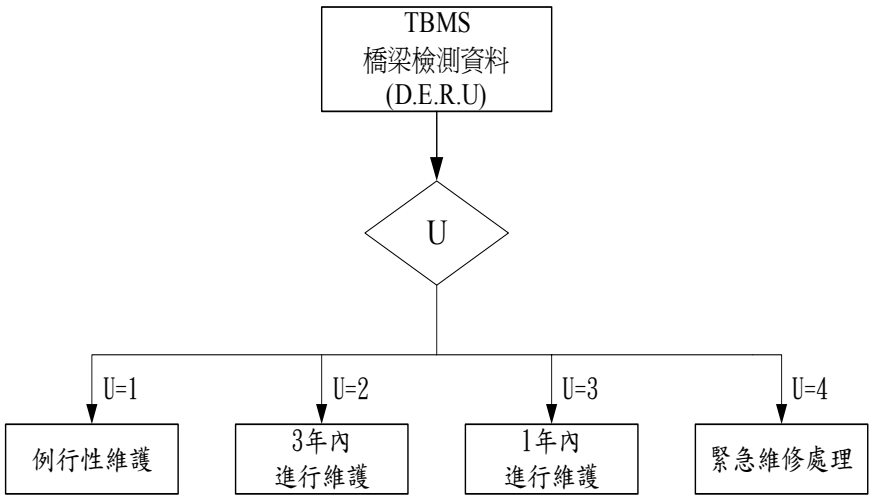
縣市	鄉鎮	村里	潛勢溪流編號	小計
台東縣	大武鄉	大竹村	台東056、台東057、台東058	3
		大武村	台東062	1
		大鳥村	台東059、台東060、台東061、台東A126	4
		尚武村	台東063、台東064、台東065、台東A127、台東A128、台東A129、台東A130、台東A131	8
		南興村	台東066、台東A132、台東A133	3
	達仁鄉	土板村	台東052、台東053、台東054、台東055	4
		台板村	台東051	1
台南縣	六甲鄉	大丘村	台南A027	1
	玉井鄉	豐里村	台南A033	1
	白河鎮	大林里	台南A003、台南A004、台南A005	3
		六溪里	台南A010	1
		仙草里	台南001、台南A006	2
		關嶺里	台南A007、台南A008、台南A009、台南A011	4
	東山鄉	南勢村	台南A017、台南A022、台南A023、台南A024、台南A025、台南A026	6
	南化鄉	玉山村	台南002、台南A036、台南A037、台南A038	4
		關山村	台南A034、台南A035	2
	楠西鄉	密枝村	台南A030、台南A031	2
		照興村	台南A028、台南A029	2
		禮丘村	台南A032	1
	龍崎鄉	龍船村	台南A039	1
南投縣	中寮鄉	和興村	南投A072、南投A073	2
		福盛村	南投A070、南投A071	2
		廣福村	南投A074	1
	仁愛鄉	互助村	南投058、南投059、南投A022、南投A106	4
		法治村	南投018、南投019、南投A014	3
		南豐村	南投011、南投014	2
		新生村	南投060、南投061、南投062、南投063、南投064	5
		萬豐村	南投A013	1

3 土石流災害

橋梁土石流災害通報依據及時機

通報依據	• 土石流潛勢溪流
通報時機	• 水保局發佈土石流紅色警戒區域且有橋梁座落於該區域時
通報方式	• 行動電話簡訊 • E-mail

老化腐蝕災害



TBMS橋梁檢測資料—U值

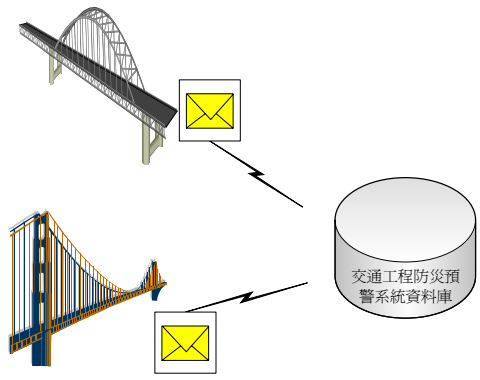
4 橋梁老化腐蝕

橋梁土石流災害通報依據及時機

通報依據	• TBMS橋梁檢測資料U值
通報時機	• U值＞通報標準值時，通報標準值可由橋梁管理機關設定(如：U=3或U=4)
通報方式	• E-mail

4 橋梁監測

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)

橋梁監測通報依據及時機

通報依據	• 橋梁監測評估值
通報時機	• 評估值＞通報標準值時，通報標準值可由橋梁管理機關設定（如：警戒值、行動值）
通報方式	• 行動電話簡訊 • E-mail

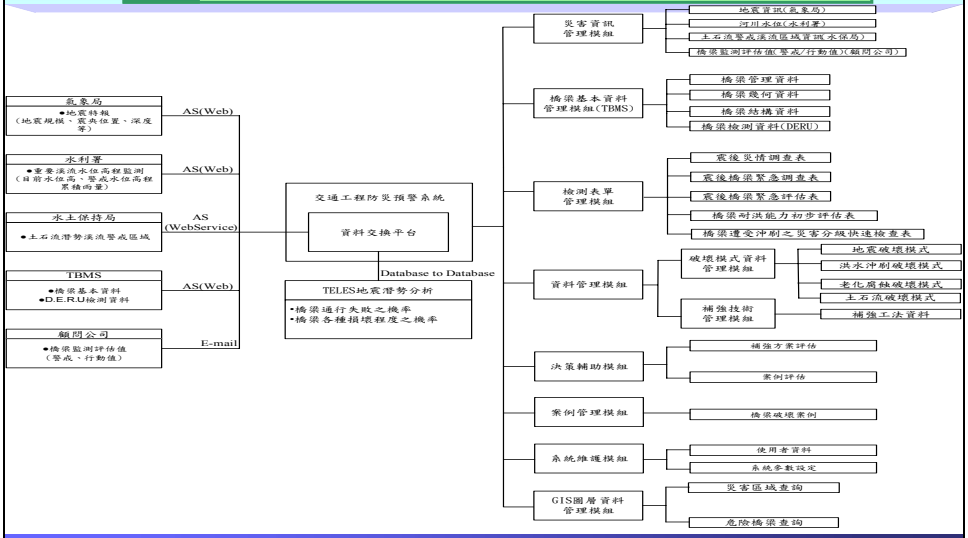
預警系統所需交換之災害資訊

	災害資訊名稱	交換方式	使用範圍	提供單位
1	地震報告	• 軟體代理人 • E-mail服務	地震	中央氣象局
2	河川水位監測值	軟體代理人	洪水沖刷	水利署
3	累積雨量	軟體代理人	洪水沖刷	水利署
4	土石流警戒清冊	Web Service	土石流	水保局
5	橋梁老化腐蝕檢測U值	軟體代理人	老化腐蝕	TBMS
6	橋梁監測評估值	E-mail	All	監測執行單位

本計畫所收集使用之GIS圖層

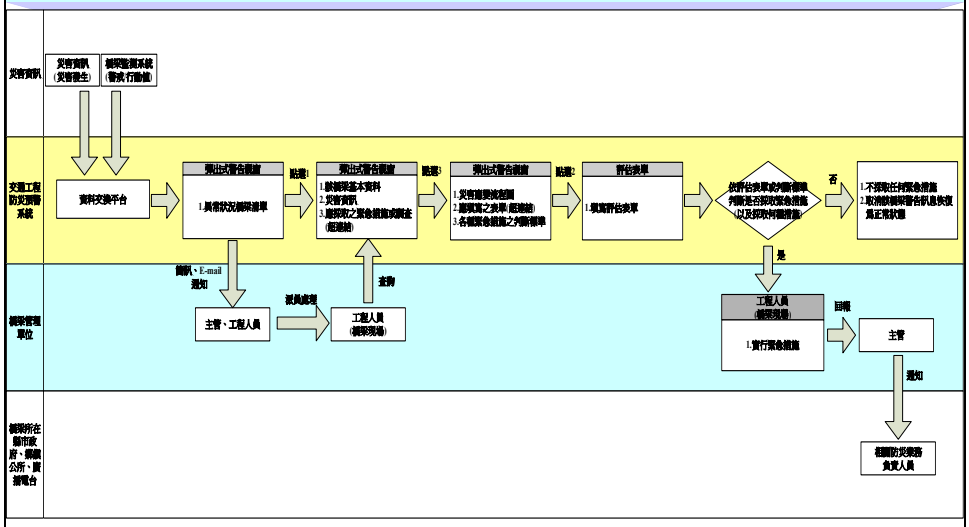
	圖層名稱	格式	使用範圍	提供單位
1	縣市分區圖	Polygon	All	運研所
2	公路局測試工務段橋梁位置圖（景美、中和、谷關、苗栗）	Point	All	各測試工務段
3	河川水位測站位置圖	Point	洪水沖刷	水利署
4	雨量站位置圖	Point	洪水沖刷	水利署
5	全國河川	Polyline	洪水沖刷	水利署
6	河川流域圖	Polygon	洪水沖刷	水利署
7	土石流潛勢溪流圖	Polyline	土石流	水保局

參 系統架構及運作方法



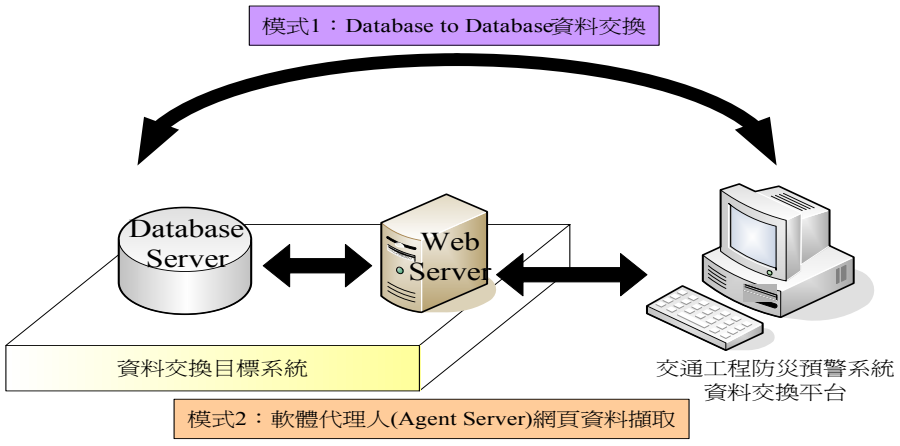
參 系統架構及運作方法

運用本系統處理災害之流程



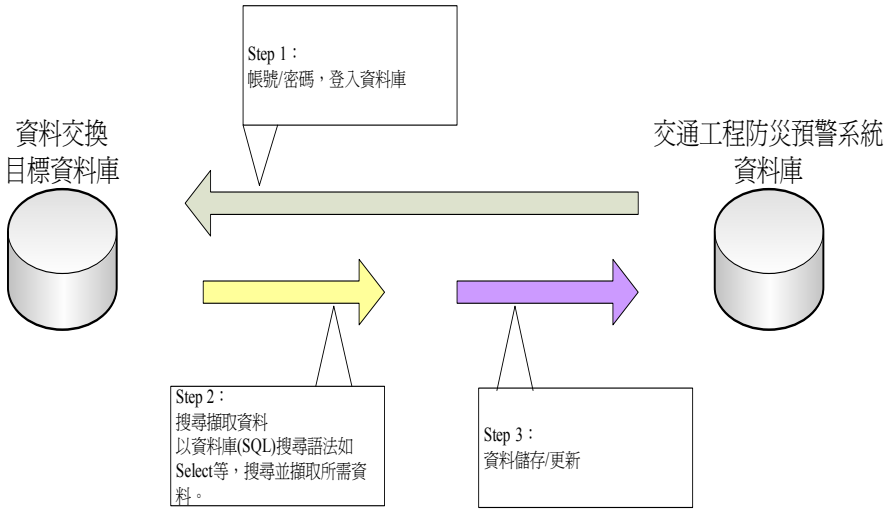
參 系統架構及運作方法

資料交換平台之建構(資料交換模式)



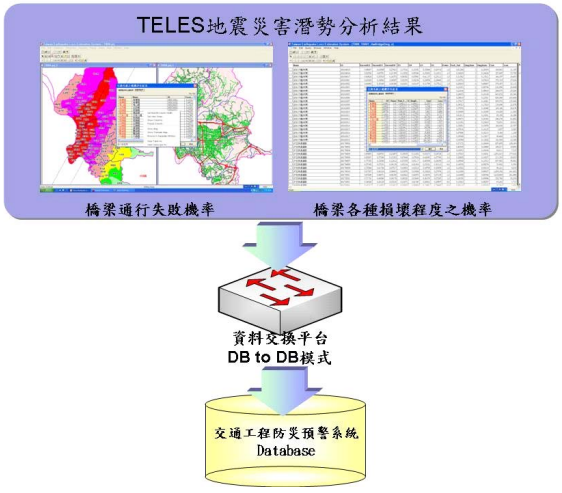
參 系統架構及運作方法

資料交換模式-Database to Database



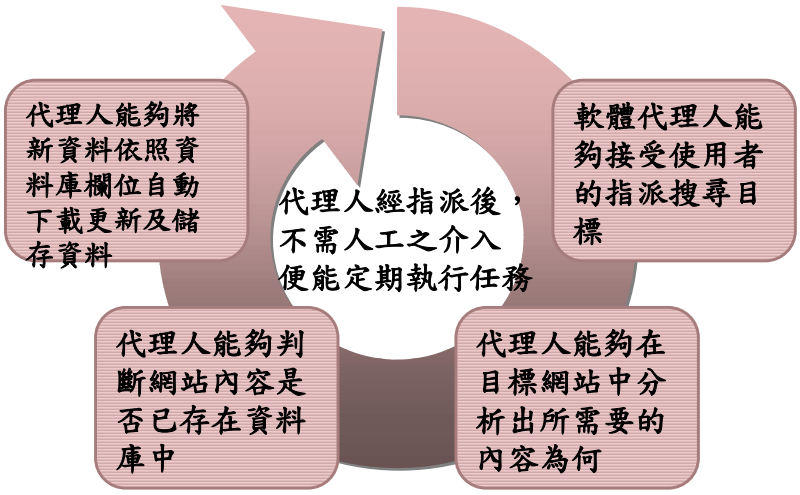
參 系統架構及運作方法

資料交換模式-Database to Database



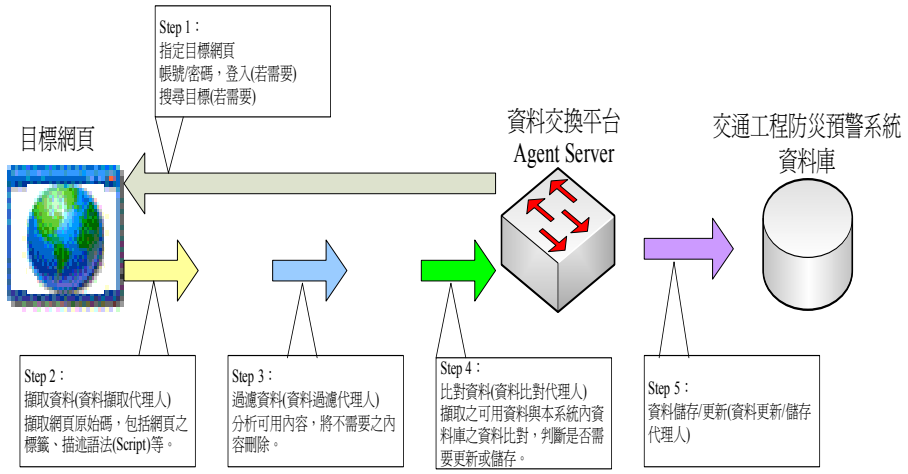
參 系統架構及運作方法

資料交換模式-軟體代理人(Agent Server)



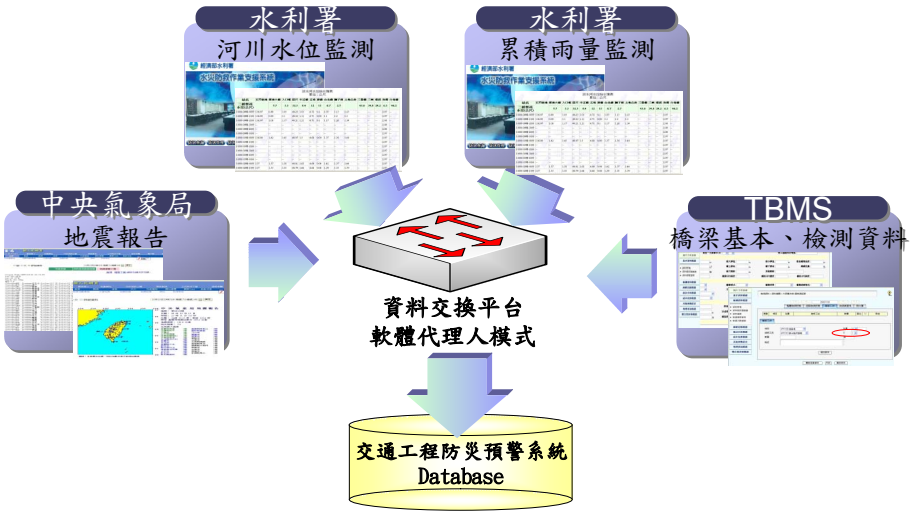
參 系統架構及運作方法

資料交換模式-軟體代理人(Agent Server)



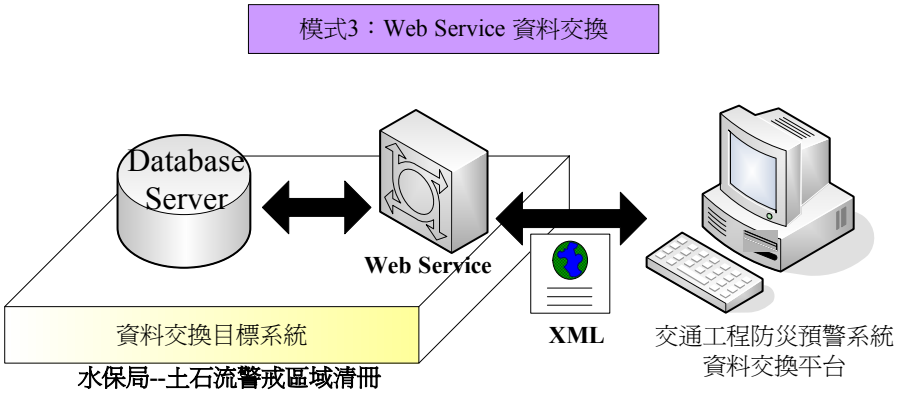
參 系統架構及運作方法

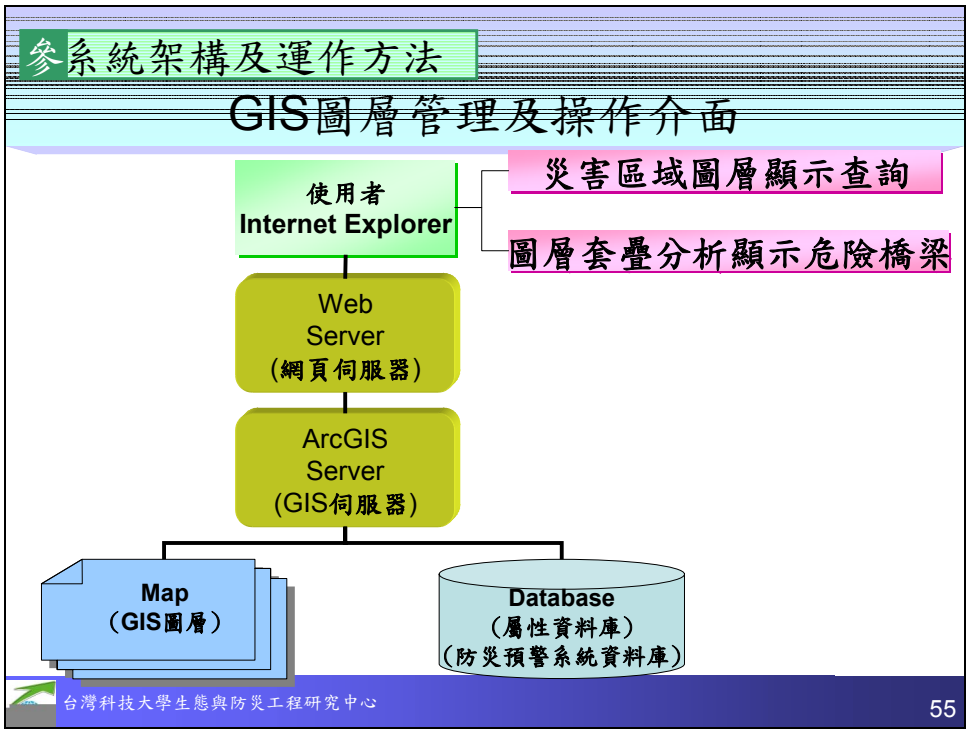
資料交換模式-軟體代理人(Agent Server)

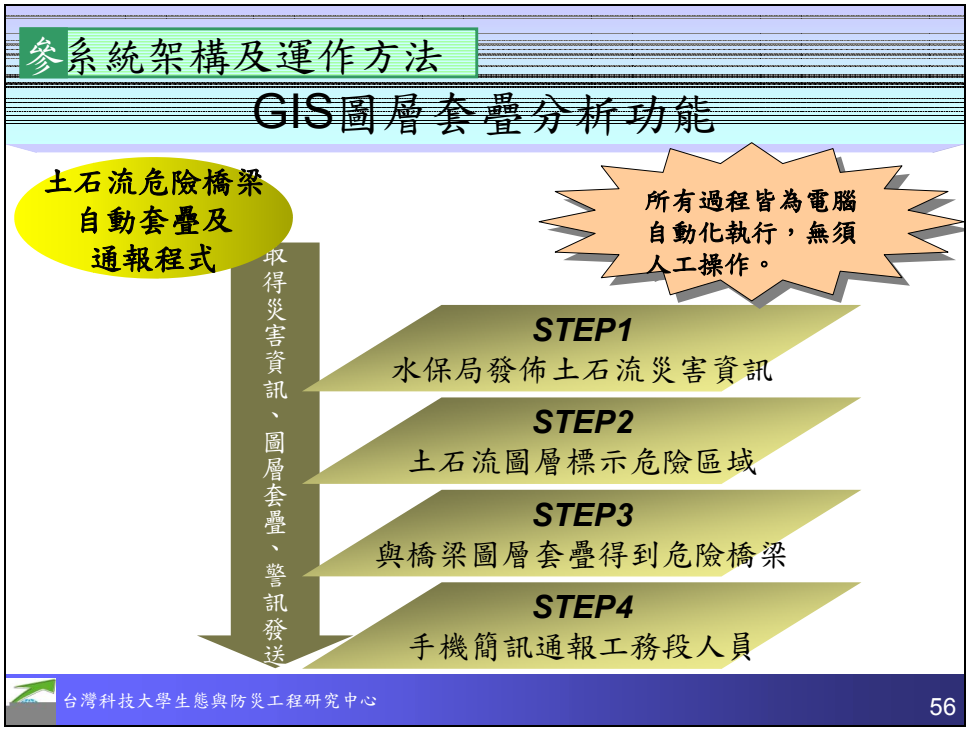


參 系統架構及運作方法

資料交換模式-Web Service




參系統架構及運作方法
GIS圖層管理及操作介面
使用者
Internet Explorer
災害區域圖層顯示查詢
圖層套疊分析顯示危險橋梁
Web
Server
(網頁伺服器)
ArcGIS
Server
(GIS伺服器)
Map
(GIS圖層)
Database
(屬性資料庫)
(防災預警系統資料庫)
台灣科技大學生態與防災工程研究中心
55


參系統架構及運作方法
GIS圖層套疊分析功能
土石流危險橋梁
自動套疊及
通報程式
所有過程皆為電腦
自動化執行，無須
人工操作。
取得災害資訊、圖層套疊、警訊發送
STEP1
水保局發佈土石流災害資訊
STEP2
土石流圖層標示危險區域
STEP3
與橋梁圖層套疊得到危險橋梁
STEP4
手機簡訊通報工務段人員
台灣科技大學生態與防災工程研究中心
56

參 系統架構及運作方法

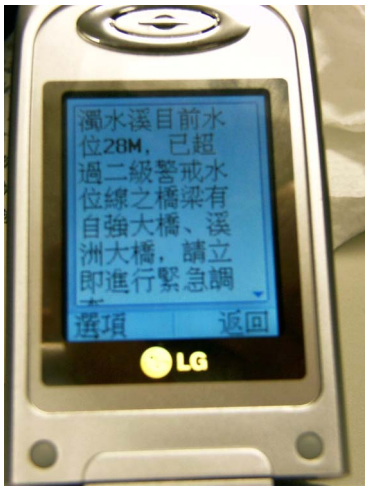
自動通報模組

災害資訊	交通工程防災預警系統	交通工程防災預警系統
1.中央氣象局 2.水利署 3.水保局 ……	資料交換平台	自動通報模組
1.地震報告 **2.河川溪流水 位高程、累積雨量** **3.土石流紅色警戒區域**	**1. TELES地震潛勢分析橋梁損壞機率** **2. 河川溪流水位高程警戒值判斷** **3. GIS圖層套疊分析，比對出警戒區之橋梁**	**1.簡訊通報** **2.E-mail通報**

參 系統架構及運作方法

自動通報模組(簡訊通報)

簡訊發送功能需向電信業者申請訊息特碼服務，配合本系統內橋梁負責人電話號碼建檔，即可完成



肆 系統測試與教育訓練

TBMS橋梁基本資料交換測試

擷取資料範圍

- 苗栗工務段橋梁共 220座
- 谷關工務段橋梁共 56座

發生問題

資料欄位存放錯位。

解決方法

已調整資料交換平台擷取橋梁基本資料之欄位對應方法。

肆 系統測試與教育訓練

災害資訊交換測試

地震災害

8月~10月共79次地震資訊發佈(有編號24個、小區域55個)，交換資料及GIS圖形均顯示正確。

河川水位及降雨量

8月~10月間24小時定時更新，經抽查與水利署發佈資訊核對，交換資料及GIS圖形均顯示。

土石流災害

6月~7月間共13次(紅7、黃6)土石流警戒發佈，交換資料及GIS圖形均顯示正確 。

肆 系統測試與教育訓練

TELES橋梁地震災損評估測試

地震事件	日期時間	震源強度	震源位置		震源深度(km)	分析結果
			經度	緯度		
1	2006/8/13	5.12	122.24	23.98	6.12	橋梁無損壞機率
2	2006/9/30	5.19	122.49	24.46	72.23	橋梁無損壞機率
3	2006/10/1	5.27	121.62	24.03	23	橋梁無損壞機率
4	2006/10/12	5.9	122.52	24	3.4	橋梁無損壞機率

肆 系統測試與教育訓練

系統開放使用測試(測試前系統使用說明會)(95/8/30)

公路總局

景美工務段

中和工務段

谷關工務段

苗栗工務段

肆 系統測試與教育訓練

成果說明與應用訓練課程(95/10/12)

肆 系統測試與教育訓練

系統測試期間使用者問題反應與本團隊處理情形

Q問題反應1

某些流程工作未必會同時或同一天內完成，在災害發生後如何了解哪些流程、表單未完成？

A處理情形1

增加「**待辦事項**」提醒功能，在使用者登入後即提醒尚有哪些工作未(待)完成。

肆 系統測試與教育訓練

系統測試期間使用者問題反應與本團隊處理情形

Q問題反應2

在填寫表單的同時是否可以上傳現場照片？以利辦公室人員了解現場情況。

A處理情形2

已增加照片上傳之功能，上傳完成後可立即於本系統查看照片。

肆 系統測試與教育訓練

系統測試期間使用者問題反應與本團隊處理情形

Q問題反應3

是否有使用者權限的設定與限制？各工務段的橋梁或表單資料是否會被工務段以外的使用者修改？

A處理情形3

根據使用者所屬單位，有資料查詢與修改之權限設定，資料不會被非所屬單位的使用者修改。

伍 系統展示

系統展示

陸 結論與建議

結論1 整合國內相關災害資訊系統，達到橋梁防災預警之目的。

結論2 經測試，資料交換平台可即時準確的取得各種災害資訊，並加值利用於橋梁災害判定與通報。

陸 結論與建議

結論3 災害應變流程的確立，提供明確的災害處置依據，提昇災害預防工作之效率。

結論4 TELES橋梁震損分析，提供橋梁失敗機率，有助於災情緩急、處置優先順序之判別。

陸 結論與建議

結論5 資料交換平台、GIS圖層自動套疊技術等電腦自動化處理，減少人力操作，減輕工程人員負擔。

結論6 網路式(web)操作介面，可得性、便利性佳，降低調查資訊時效落差，提昇防災工作效率。

陸 結論與建議

建議1 建議TBMS中增加TELES所需之欄位，收集更完整之橋梁資料。

建議2 災害通報標準值根據為現行做法及相關研究報告成果，但保留其設定之彈性。建議可再明確訂定通報標準值。

陸 結論與建議

建議3 調查公路局各工務段之人力及資源，建立資源資料庫，進行資源調配決策之研究，或進一步與本預警系統整合為一防救災決策支援系統。

柒 本系統軟硬體建議之配備

行動通訊配備

型號	3G	GPS	PDA	camera	發行日	售價
ASUS P525			●	●	2006/06	17999
ASUS P535		●	●	●	2006/11	23000
Dopod CHT9000	●		●	●	2006/07	25800

柒 本系統軟硬體建議之配備

行動通訊配備

型號	3G	GPS	PDA	camera	發行日	售價
Dopod P800W		●	●	●	2006/11	23900
MioA701		●	●	●	2006/10	18800
HP iPAQ6965		●	●	●	2006/06	24900

柒 本系統軟硬體建議之配備

系統軟體

產品名稱	價格	附註
ArcGIS Server 9.1(商業版)	1,800,000	事業單位使用
ArcGIS Server 9.1(教育版)	600,000	版權需為教育單位所有

柒 本系統軟硬體建議之配備

系統軟體

產品名稱	價格	附註
Microsoft SQL Server 2005 (標準版)	5,999 美元 約合台幣198,000	

簡報完畢

敬請指教