106-005-7907
MOTC-IOT-105-H1DC001

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 106 年 3 月

106-005-7907
MOTC-IOT-105-H1DC001

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

著 者：邱永芳、林雅雯、邱建國
鄭明淵、廖國偉、吳育偉

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 106 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證 / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民106.03
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-1919-8(平裝)

1.交通管理 2.決策支援系統

557 106002145

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

著　　者：邱永芳、林雅雯、邱建國、鄭明淵、廖國偉、吳育偉
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587132
出版年月：中華民國 106 年 3 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 70 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：400　元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010600302　　ISBN：978-986-05-1919-8 (平裝)

106

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

交通部運輸研究所

GPN：1010600302
定價 400 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN978-986-05-1919-8 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1010600302</td><td>運輸研究所出版品編號
106-005-7907</td><td>計畫編號
105-H1DC001</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳
計畫主持人：林雅雯
聯絡電話：04-26587191
傳真號碼：04-26564418</td><td colspan="2">合作研究單位：國立臺灣科技大學
計畫主持人：邱建國
協同主持人: 廖國偉、鄭明淵
研究人員：吳育偉
地址：臺北市大安區基隆路 4 段 43 號
聯絡電話：(02)2737-6663</td><td>研究期間
自 105 年 02 月
至 105 年 11 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：耐震評估、耐洪評估、安全預警</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

臺灣橋梁因天然環境因素，遭受洪水與地震等災害時倒塌或斷裂的機率極高。尤其災害一旦發生，對於公路之影響更為嚴重，造成災民之生命財產損失亦難以估計。為此，本所於 94、95 年委託研究計畫「交通工程防災預警系統建立之研究」，並逐年擴充建置台灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster prevention Systems，TRENDS)。本計畫將分別針對橋梁、道路邊坡等相關模組進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，並確認系統實用性及穩定性。此外，本研究根據去年度所確認橋梁各種安全評估所需設計參數，並確立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，以一座橋梁示範應用此模式擴充橋梁設計與防災預警資訊，並提供使用維護階段橋梁防災預警之決策支援用途。

成果效益與應用情形：

在施政上，本研究成果可提供交通部、橋梁管理單位在有效管理橋梁設計參數資料作為後續維護與補強重新分析時之參考。在實務上，可在地震、洪水來臨時即時篩選危險橋梁，並進行自動通報，降低用路人之風險。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
106 年 3 月	398	400	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: TRENDS Maintenance and Bridge Assessment Information Integration

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-05-1919-8 (pbk)	1010600302	106-005-7907	105-H1DC001

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR:,Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Ya-Wen
PHONE: (04) 26587191
FAX: (04) 26564418

PROJECT PERIOD
FROM February 2016
TO November 2016

RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology , Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Kuo Chiu
PROJECT STAFF: Cheng Min-Yuan, Guo-Wei Liao, Yu-Wei Wu
ADDRESS: #43 , Sec.4 , Keelung Rd. , Taipei , 106 , Taiwan , R.O.C
PHONE: (02)2737-6663

KEY WORDS: Seismic assessment、Scour capacity analysis, Disaster Prevention

ABSTRACT:

Since Taiwan is rich in mountains and rivers, they make bridge become an important connection for transportation. However, Taiwan is located in seismic zone and influenced by the typhoon climate, the bridges are usually damaged by natural disasters, and overloading of vehicles also makes bridge's components deteriorate faster. Therefore in the bridge maintenance phase, it is a critical issue to evaluate bridges capacity, and achieve the goal of bridge disaster prevention. This study aimed to improve TRENDS and conduct relevant safety estimated requirement about bridge design phase parameters of scour or earthquake, then the information integration model in the bridge maintenance phase was established. Finally, TRENDS could be provided to the bridge management and applied on decision support and disaster prevention in the bridge maintenance strategy.

BENEFITS AND APPLICATIONS:

The Ministry of Transportation and Communications or the bridge management department can refer to the results for policy-making. TRENDS can be provided to the bridge management units on decision support and disaster prevention in the bridge maintenance strategy.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2017	398	400	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

目 錄

圖目錄

表目錄

第一章　研究計畫之背景及目的

1.1 計畫背景分析

有鑑於台灣天然災害頻傳，如地震災害、水災及土石流等等；災害之來臨常帶來嚴重的損失，尤其災害一旦發生，對於公路之影響更為嚴重，造成災民之生命財產損失亦難以估計。為此，交通部運輸研究所於94、95年委託研究計畫「交通工程防災預警系統建立之研究」，並逐年擴充建置臺灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster prevention Systems，TRENDS) ，系統以軟體代理人(Software Agents)為核心所發展之資料交換平台關鍵技術，交換蒐集各單位網站所發佈之相關災害資訊與相關公路設施資料庫資料，並整合橋梁及邊坡防災機制，建立橋梁及坡地災害緊急應變流程與通報機制。公路設施管理單位可應用本系統採取適當的應變流程及通報機制，系統性的完成災害預防、災害緊急應變及緊急復原中各階段所應執行之災前評估、調查及應採取之緊急措施。前年度計畫書中已進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，並納入本所近期研究之分析模組及成果。

而本年度將延續前一年度成果，分別針對橋梁、道路邊坡等相關模組進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，並確認系統實用性及穩定性。分為:1.台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運。2. TRENDS系統橋梁模組資料更新、提升精確度及驗證工作:(1)跨河橋梁安全預警模組之精確度提升及驗證。(2)橋梁地震通阻分析模組之精確度提升及驗證。(3)橋梁材料劣化模式之資料更新。3. TRENDS系統耐震能力與檢測評估分析驗證工作:(1)選取一座橋梁，進行橋梁振動頻率分析模式之驗證，確認模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係。(2)評估縮小型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性。

此外，目前臺灣橋梁面臨現有能力、耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮之問題，所以在使用維護階段對橋梁進行能力評估並達到橋梁

防災預警的目標已是刻不容緩。因此，橋梁防災預警之分析評估為一項重要工作，目前橋梁耐震或耐洪評估需從設計階段之橋梁設計圖說、結構計算書、地質鑽探報告書中，找出相關資訊，如橋梁尺寸、材料斷面強度性質、土壤性質參數…等，然後建立SAP橋梁3D模型進行結構分析，計算求得結構體極限受力狀態，再考量不同的評估指標如地表加速度 (PGA)、安全係數等，據此擬定出橋梁之警戒值、行動值。由於上述圖說等資料，於橋梁興建或改建後的保存方式多以圖紙掃描PDF或CAD檔，因此擷取這些資料時，必須以人為方式從中讀取資料重新記錄，但經過數十年後，圖檔容易遺失或難以找尋，甚至因圖檔解析不佳造成無法辨識資料，如需再次進行分析時，就必須從橋梁設計藍晒圖上重新擷取所需資料或至橋梁現場量測實際尺寸，才能重新建置橋梁模型進行分析。此一資料蒐集分析評估過程，需耗費相當多的人力、時間，若對全台灣所有橋梁進行分析，所耗費人力更為可觀。因此，如果在橋梁設計階段即將未來使用維護階段用來評估所需參數，以資料庫方式有系統地建置儲存，並發展一自動化分析評估系統，提供作為防災預警之決策支援。不僅將設計階段儲存之資料與使用維護階段防災所需之資料作有效傳遞整合應用，更能提升橋梁管理單位進行橋梁耐震、耐洪評估作業之效率，省去大量人力、時間之需求，輕易達到防災預警之目標。

目前臺灣橋梁管理系統(Taiwan Bridge Management System，TBMS)(姚乃嘉等，2013)為橋梁管理單位常用之基本資料管理系統，系統中記錄橋梁管理資料、河川資料、幾何資料、結構資料及維修檢測紀錄等，但系統中僅以保存維護管理紀錄為主，仍缺乏各橋梁構件之詳細尺寸或材料強度性質建檔機制。且由於未儲存相關設計參數，無法詳細對橋梁現有能力進行評估，若從保存文件中擷取計算，其過程勢必耗費大量人力和時間，無法快速提供作為橋梁防災預警之用。在前一年度中已確認橋梁使用維護階段所需之設計參數，並建置橋梁設計階段資料庫管理系統，作系統化儲存，可供未來在橋梁使用維護階段能提供橋梁作耐震或耐洪評估及安全預警之用。本年度，將以一橋梁為範例，應用橋梁設計參數資料庫系統之輸出資訊進行耐洪能力評估，以實際案例方式，完整試行系統之功能，並可作為後續推廣應用之範例。

1.2 計畫目的

本計畫最終的研究成果在於為進行台灣公路早期防救災決策支援系統校修與維運；橋梁及道路邊坡模組資料更新、提升精確度及驗證。並建置網頁版橋梁耐震與耐洪分析資料管理系統。

1.3 研究範圍與對象

台灣橋梁以鋼筋混凝土結構為應用最廣的類型，其中，92%以上為混凝土橋梁，且73%以上橋齡高於十五年以上。為保障用路人安全，混凝土橋梁的維護管理為公路管理單位未來重要課題，故本研究以鋼筋混凝土橋梁為研究探討對象。

1.4 研究內容與工作項目

本計畫預定工作項目如下所述：

1.台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運:

配合港灣技術研究中心進行台灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)維護與資料更新、軟硬體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

2. TRENDS系統橋梁模組資料更新、提升精確度及驗證工作:

(1)跨河橋梁安全預警模組之精確度提升及驗證：資料更新、提升石岡壩放流量預測之精確度，並配合颱洪期相關單位之監測資料驗證。

(2)橋梁地震通阻分析模組之精確度提升及驗證：依地震衰減公式，進行危害度分析，計算地表加速度超越機率，求得地震再現周期，修正既有橋梁地震損壞機率模式。

(3) 橋梁材料劣化模式之資料更新：根據最新飛來鹽與氯離子歷史記錄資料，更新橋梁材料劣化模式。

3. TRENDS系統耐震能力與檢測評估分析驗證工作:

(1)配合本年度執行之「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究

(2/2)」研究計畫，選取一座橋梁，進行橋梁振動頻率分析模式之驗證，確認模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係。

(2)評估縮小型速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性。

4. 建置網頁版橋梁耐震與耐洪分析資料管理系統：

擬定橋梁耐震與耐洪分析之需求欄位、建置分析參數資料庫，驗證橋梁耐震與耐洪分析參數資料庫功能，選取一座橋梁進行耐洪安全評估，包含由橋梁耐震與耐洪分析參數資料庫匯出自動資料、進行橋梁安全評估計算等。

1.5 研究方法及進行步驟

依據研究目的，本計畫擬定研究內容，共計五個研究階段，如圖1.1所示，以下章節將針對各階段分別敘述。


研究階段
研究內容
相關研究與方法
第一階段：
文獻回顧與
研究團隊組成
相關研究背景分析
研究人力組成
現況分析
人才延攬
團隊制度建立
第二階段：
台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運
系統基本資料更新
模式驗證與更新
第三階段：
TRENDS橋梁模組
更新與驗證
修正橋梁地震損壞機率模式
更新橋梁材料劣化模式
飛來鹽
氯離子
港研中心大氣腐蝕資料庫
地震衰減公式
危害度分析
飛來鹽
氯離子
第四階段：
TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證
土壤性質假設驗證
沖刷深度與振動頻率關係
縮小型速度計長期監控可行性評估
速度計
第五階段：
橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充
耐洪評估因子確認
因子資料庫管理
一座橋梁進行耐洪評估輸出驗證
耐洪安全評估模式
第六階段：
結論與建議
提出成果與建議
成果彙整

圖 1.1 研究內容架構圖

第一階段:文獻回顧與研究團隊組成

首先針對目前橋梁防救災系統進行了解，找出目前問題或狀況，據以擬定本研究之研究目的，並組成研究團隊，由具備橋梁防災資訊管理系統經驗與資訊管理人員組成，提升計畫成功度。

第二階段:台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運

台灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)維護與資料更新、軟硬體更新與測試、模式作業化環境之改善及維護等相關工作。

第三階段:TRENDS系統橋梁模組資料更新、提升精確度及驗證工作:

分別針對(1)跨河橋梁安全預警模組之精確度提升及驗證、(2)橋梁地震通阻分析模組之精確度提升及驗證、(3)橋梁材料劣化模式之資料更新，進行提升與驗證。

第四階段:TRENDS系統耐震能力與檢測評估分析驗證工作

配合「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」研究計畫，進行橋梁振動頻率分析模式之驗證，確認模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係。並評估縮小型速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性。

第五階段:建置網頁版橋梁耐震與耐洪分析資料管理系統

選取一座橋梁進行耐洪安全評估，包含由橋梁耐震與耐洪分析參數資料庫匯出自動資料、進行橋梁安全評估計算等。

第六階段:結論與建議

針對本研究所完成之研究，提出適當之結論與建議以供後續研究發展及實際運用時之參考。

第二章 文獻回顧

2.1 國內預警系統之開發實例

本章節整理國內外相關防災預警研究，預警系統通常藉由地理資訊系統對空間分部及屬性資料的展現，可讓決策者更能有效率地制定最佳的空間資訊政策。一方面可降低災害對人類的衝擊與損失，另一方面可有效達成災害預防與災後重建的目的，並提高分析的便利性與準確度。目前國內相關研究成果如下表2-1所示。

表2-1 國內開發之預警系統

No	分類	名稱	技術與應用
1	整體規劃	國土資訊系統	GIS 整體規劃、示範工作、空間資料處理、應用程式、GIS 工具發展、標準化及訓練專業人才
2	防救災系統	颱風災害應變管理決策支援系統	網路地理資訊系統為展示平台，並結合氣象、坡地、洪水災害模式及即時環境監測資料。
3	防救災系統	臺北市防災資訊網暨防救災決策支援系統	提供民眾掌握，最即時颱洪淹水及坡地等警戒資訊及相關災害潛勢分析資料
4	防救災系統	公路防救災資訊系統(BOBE)	結合衛星定位儀、攝影工具及3G之資訊傳輸方式，將公路災害之現場影像與空間資訊傳遞至相關單位
5	防救災系統	系集降雨預報應用於洪水預報之研究	在水患發生前，透過降雨推估和逕流、洪水演算，有效操作水庫閘門蓄減洪峰，降低洪水所造成傷亡
6	預警系統	P-alert	利用偵測P波並在3秒內決定是否災害性地震來襲，並在具破壞力之S波到達前發出警報訊息
7	預警系統	TELES	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
8	預警系統	經濟部水利署防災資訊服務網	利用整合自動化電話語音調查系統與GIS圖層功能，以圖示化方式快速調查彙整防汛志工與防汛夥伴回報之災區訊息，提供快速有效的淹水資訊收集
9	防災資訊網	臺北市防災資訊網	臺北市防災資訊網包括:防災宣導、氣象地震資料、疏散避難資訊、組織及應變中心與防災人員專區等功能。

1.國土資訊系統

我國於1990年由經建會報請行政院，成立國土資訊系統（NGIS）推動小組，開始進行國土地理資訊系統的推動。在國土資訊系統推動小組成立之前，各部門多依各自不同的空間資訊需求進行各自的研發工作，其中較具系統者，為內政部地政司及其前身內政部地政資訊中心所主導的地政自動作業核心的遙感探測的應用研究。國土資訊系統推動小組成立初期，僅部會的組織，而後由於工作需求的增加，陸續增設12分組及推動小組。目前國土資訊系統的相關工作內容包括GIS 整體規劃、示範工作、空間資料處理、應用程式、GIS 工具發展、標準化及訓練專業人才等專案。發展至今，我國國土資訊系統已顯示出相當大的實質效益，且其服務物件相當廣泛，加上目前專業人才日益增加，將有助於未來朝向更縝密的訊息管理工作。

2.颱風災害應變管理決策支援系統

國家災害防救科技中心(NCDR)因應颱洪災害應變任務發展了颱風災害應變管理決策支援系統，此系統以網路地理資訊系統為展示平台，並結合氣象、坡地、洪水災害模式及即時環境監測資料。此系統應用於災害應變作業已有三年，並持續更新改進中。藉由此系統，災害應變作業已從過去的被動搶救提升到現在的主動預警，有效的減少人員傷亡與動員的人力資源。該系統未來將導入防救災資料服務平台，利用即時GIS 資料交換技術，增加資料的來源和即時性。另外系統也將延伸建置應變需求的其它功能，期能提供更佳的防救災資訊服務。

3.臺北市防災資訊網暨防救災決策支援系統

建置臺北市防災資訊網主要目的，平時提供民眾瞭解在颱風、坡地、地震等災害防治方面的豐富教育資訊，隨時學習防災之觀念，以達到全民防災及共同參與之宗旨。同時於防汛期透過網站提供民眾掌握，最即時颱洪淹水及坡地等警戒資訊及相關災害潛勢分析資料及提供災害預警，使網站成為防救災領域中廣結各類資訊流通、教育宣導與即時資訊，並作為臺北市政府與民眾間相關災害防救資訊互動之交流園地。

4.公路防救災資訊系統(BOBE)

係民國94年由交通部運輸所所開發之管理系統。此系統以地理資訊系統為基礎，結合衛星定位儀、攝影工具及3G之資訊傳輸方式，將公路災害之現場影像與空間資訊傳遞至相關單位。該系統建立時，已針對平時整備、災前預防、災中應變及災後復健提出相對應的管理模組並蒐集交通部公路總局在處理災害的過程中累積之空間與屬性資料，作為歷史災損資料分析與研究易致災路段之決策參考。系統主頁面及相關查詢界面如圖2.1~圖2.3所示。

圖 2.1 公路防救災資訊系統主頁面

圖 2.2 文字查詢界面

圖 2.3 GIS 圖形查詢界面

5.系集降雨預報應用於洪水預報之研究

此計畫由經濟部水利署主辦，為落實防洪減災的任務，發展水利署洪水預報系統，希望能在水患發生前，透過降雨推估和逕流、洪水演算，有效操作水庫閘門蓄減洪峰，降低洪水所造成傷亡。此計畫進而利用系集降雨預報，建置河川洪水位機率預報系統；協助水利署彙整各河川局不同洪水預報系統的預報資訊；擴充水利署洪水預報系統之預報流域。

6. P－alert 地震P波感測儀

由國內三聯科技股份有限公司與國立臺灣大學地質科學系教授吳逸民所合作研發P－alert(地震P波感測儀)，目前已於全台灣中小學整合建置581個低價位的強地動觀測站，並提供線上的台灣即時震度資訊，能在地震發生時，即刻獲取全台詳細的震度圖，作為救災及研究的重要參考，系統畫面如圖2.4，此系統並已成功推廣至其他數個國家。其原理為利用偵測P波並在3秒內決定是否災害性地震來襲，並在具破壞力之S波到達前發出警報訊息，以提供使用者做為地震減災之用。根據台灣地震科學中心通訊第十一期提到在2016年高雄美濃地震發生後約5秒，P－alert可估計近似中央氣象局發布的地震位置，震央相差6.1公里、震源深度相差2.4公里。

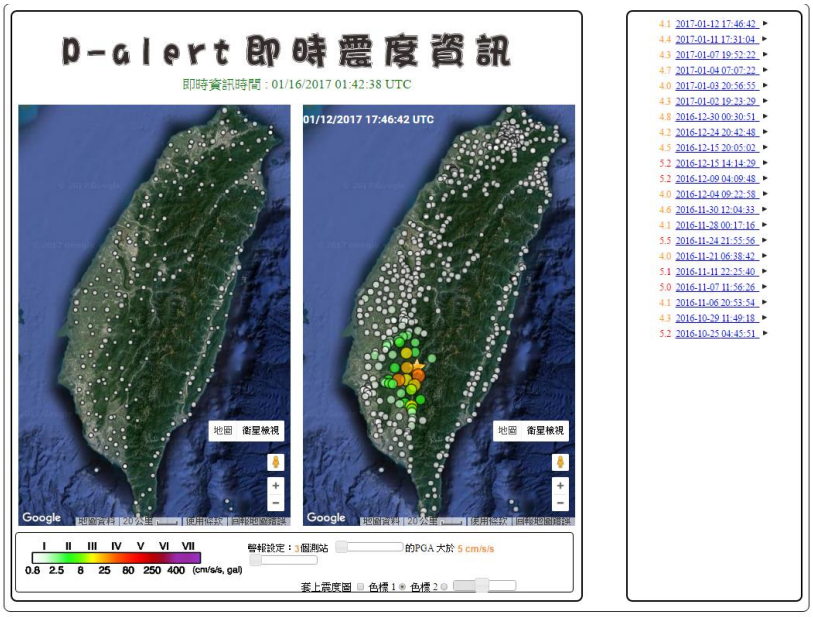


圖 2.4 P－alert 系統畫面

7.TELES

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

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

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

TELES之研究是一項以實用為導向、跨領域的科技研究案。主要目的之一是提供標準且一致的地震災害損失評估方法，且須適應不同使用者的需求與不同精確度的資料來源，以作為地區性或全國性的地震災害損失評估之用。台灣地震損失評估系統之研發目標至少包含下列三項功能[1]：

(1)提供震災早期評估的功能：在地震發生後能自動啟動或以人工方式

啟動，在短時間內推估地表振動強度、工程結構物(一般建築物、橋梁)的損害狀態機率與數量、人員傷亡程度與數量、經濟損失評估…等等數據，可供各級災害應變中心參考，作為救災人力物力和醫療資源派遣的決策支援系統。緊急評估項目依使用者需求和現實資料庫的建置進度而定。

(2)地震災害境況模擬功能：根據模擬地震的震源參數和活動斷層分佈資料，推估地表振動強度和土層破壞機率與永久位移量，並可進行各項工程結構物的損害評估及對社會經濟的衝擊等等。

(3)地震風險評估的功能：由於地震發生的時間、地點和規模具有極大的不確定性，配合實際工程結構物的分佈不均，因此引致的損失金額或其他可量化的風險也有許多的不確定性。為真實反應評估對象(如一般建築物、橋梁或高科技廠房)受地震影響的危害度，有必要結合地震危害度分析和工程結構物的易損性分析，進行一系列的等危害度之模擬地震的震災境況模擬，根據統計分析的結果得到評估對象受地震影響的風險程度，如年平均損失金額及其信賴區間等資訊。

8. 經濟部水利署防災資訊服務網

近年來，由於全球氣候變遷，臺灣因地理位置及地形因素，發生之颱洪災害有愈來愈嚴重之趨勢，尤其在極端氣候下，降雨頻率減少、降雨強度增加以致在時間與空間分布較以往更不均勻，屢見破紀錄之降雨事件，其帶來之水量已大大超越治水工程之設計頻率年。災害的發生總在一瞬間，如何在災害發生前即時通報相關人員，爭取可應變防災時間，預警資訊成為一項重要工作議題。有鑑於此，經濟部水利署除了建設淹水偵測設施外，另廣邀民眾及企業員工籌組防汛志工及防汛夥伴，利用整合自動化電話語音調查系統與GIS圖層功能，以圖示化方式快速調查彙整防汛志工與防汛夥伴回報之災區訊息，提供快速有效的淹水資訊收集，並透過水利署開發「防災資訊服務網、行動水情App、上網登門號、防汛抗旱粉絲團」等四項防災避災工具，讓民眾及早獲得水情資訊，將災害可能造成之損失降至最低。

9. 臺北市防災資訊網

我國災害防救體系依行政體制區分為中央、直轄市及縣(市)政府、鄉（鎮、市）公所3個層級，而台北市目前建構完成之災害防救體系係以「災害防救法」、「台北市災害防救規則」、「地方制度法」等相關法令為基礎，基於實際運作需要，乃將台北市災害防救體系，依行政體制規劃為「市」及「區」2個層級。本府自89年與國科會合作推動防救災合作計畫，成立「臺北市防災計畫辦公室」，負責災害潛勢分析、災害防救科技研發成果應用。

91年依災害防救法設置「台北市政府災害防救委員會」，以統籌、規劃、督導、考核、整合本府所屬各機關辦理災害防救之相關事項，係全國地方政府率先成立之災害防救專責單位。

惟盱衡美日等先進國家為強化災害防救體制，相繼完成「政府組織再造」工程，台北市政府為因應各國災害防救體制趨勢及台北市政府防救災工作需求，結合本府組織再造及災害防救專責機構之建置，推動成立隸屬府層級之「本市災害防救辦公室」，俾達成減災、整備、應變及復建全方位防救災政策落實，進而提昇防救災效能，案經100年11月8日市政會議通過，設置「災害防救辦公室」，並於100年12月1日發布。

所建置之臺北市防災資訊網，包括:防災宣導、氣象地震資料、疏散避難資訊、組織及應變中心與防災人員專區等功能。

2.2 國外預警系統之開發實例

開發防災預警系統先進國家都已經投入相當多的人力及物力進行研究及發展，但各國地理環境的不同所面對的災害亦不相同，因此將會依不同的災害發展出不同的預警系統來減低災害所造成的損失。如下表2-2所示，列出了美國、歐洲、荷蘭及日本所研發的預警系統名稱及系統的開發團隊，並予以分類。

表2-2 國外開發之預警系統

No	分類	名稱	開發團隊
1	防救災系統	Integrated Decision Support System (IDSS)	太平洋災害應變中心(Pacific Disaster Center)
2	防災系統	The European Flood Forecasting System (EFFS)	歐洲自然水部門(European national water services)
3	防災系統	Delft Hydraulics' Flood Early Warning System (Delft-FEWS)	戴伏特水利研究所(Delft Hydraulics)
4	防救災系統	Earthquake Early Warning(EEW)	沖電氣工業株式會社」(Miyagi Oki Electric Co.)

以下將概述上列各預警系統：

1.整合決策支援系統(Integrated Decision Support System ,IDSS)

整合決策支援系統是由太平洋災害應變中心(Pacific Disaster Center)進行設計開發應用於加勒比海，系統內包含了GIS視覺化工具及分析模式，可提供災害管理人員關於災害分析、風險及潛勢評估等資訊，並可輔助計畫整備及教育訓練。

2.歐洲洪水預報系統(The European Flood Forecasting System, EFFS)

歐洲自然水部門(European national water services)提升了系統預警能力在4至10天前即可發佈洪水警訊，有別於一般洪水警報為0至3天。所增加的預警時間可以讓管理人員進行災前測量；大眾可以有足夠的時間瞭解相關災情資訊；水庫亦可進行排水淨空防災；另對於其他附加災害可以提前預防。

此系統包含四大模組：

(1)全域數值化氣象預報模組

(2)可選取範圍的局部數值化氣象預報模組

(3)流域水文模組(內包含了每日土壤水分平衡模式以及每小時的洪水演算模式)

(4)高解析度洪水模組

3.戴伏特水利研究所-洪水預警系統(Delft Hydraulics' Flood Early Warning System, Delft-FEWS)

此系統是由荷蘭的「戴伏特水利研究所」所開發之洪水預警報系統DELFT-FEWS，在洪水來臨前直接從網路上以XML格式截取水文資訊，並存取至資料庫中，經由水理分析模式分析後發佈警報。

4.地震預警系統(Earthquake Early Warning, EEW)

系統是由「沖電氣工業株式會社」(Miyagi Oki Electric Co.)所開發，主要是運用REIC(Real-time Earthquake Information Consortium)所發佈的震波資訊，當接收到了地震波P波之後會立刻發佈警訊，並進行撤離工作人員、關閉油氣及化學物質的供應開關避免產生二次災害及停止生產設備運作減少經濟上的損失。系統共包含了五大功能：地震災害資料的接收、震災層級的預測、警報的發佈及停止、災時相關資料顯示、災時監測及資料記錄等。

2.3 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88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89年開發完成。「臺灣地區

橋梁管理資訊系統」為一套網路層級之管理資訊系統，使用單位從交通部到所屬各局處及其各工務段，以及內政部營建署與各縣市政府，使用者只要連結網際網路即可透過瀏覽器操作系統。系統於2000年底建置完成並上線，為全國各橋梁管理機關統一使用之橋梁管理系統。交通部亦同時於此階段進行全國橋梁普查，調查所有相關機關管轄橋梁之基本資料，並進行全面性之橋梁目視檢測。當時普查並鍵入系統中之橋數約為2萬3千餘座，至今系統中之橋數已達2萬8千餘座。

TBMS系統於2008年進行全面改版作業，新系統已於2009年5月20日正式上線啓用。新系統分為（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）決策支援模組、（6）地理資訊模組、（7）防災資訊及（8）系統設定，共八大模組。

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。以下針對較為常用的7個模組做介紹[3]：

(1)橋梁基本資料模組：

完整的資料庫可謂是橋梁管理系統之核心，TBMS基本資料模組將橋梁資料分為管理資料、幾何資料、結構資料及設計資料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2-3所示，基本資料模組系統畫面如圖2.5。

表2-3 系統欄位概述[3]

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

圖 2.5 基本資料模組畫面[3]

(2)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2.6所示，模組提供下列功能：

圖 2.6 檢測資料模組示意圖[3]

(a)列印空白檢測評估表：

使用者可針對各座橋梁列印空白檢測評估表，系統將於表上自動填入橋梁名稱、路線別、里程樁號、總長、淨寬、結構型式等基本資料。

(b)輸入、編輯及列印橋梁檢測資料：

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

(c)檢測照片資料庫：

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

(d)維修工作項目：

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

(e)檢測員意見：

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

(3)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2.7所示：

圖 2.7 維修記錄模組功能示意圖[3]

(4)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2.8所示：

圖 2.8 統計分析模組畫面[3]

統計分析模組包含以下9項統計分析功能：

(a)橋梁特性分析：

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

(b)橋梁數量統計：

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

(c)橋齡統計：

橋齡統計係用以提供使用者繪製不同統計範圍之橋梁年齡結構分

佈圖。其分析並可提供使用者選擇以建造年代或以橋齡為橫軸，以繪製不同主題之橋齡分佈統計圖。

(d)橋梁長度統計：

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

(e)橋版面積統計：

橋版面積統計可提供使用者繪製不同面積區間中之橋梁數量統計圖。

(f)結構型式統計：

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

(g)成長趨勢分析：

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

(h)交叉分析：

本功能提供使用者選擇統計圖表不同的縱軸及橫軸，進行橋梁基本資料之交叉分析。

(i)橋梁檢測資料排序及統計：

透過系統所採用之D.E.R.&U.目視檢測可具體掌握橋梁使用現況，即可使檢測員掌握各橋梁的劣化狀況，並給予各項劣化適當的評分，以作為橋梁優劣順序排定的主要依據之一。也就是說，當一檢測員對上述檢測方法非常熟悉後，其便可對於D.E.R.&U.目視檢測方法中共66種劣化狀況類別，以劣化程度（Degree）、範圍（Extend）及重要性（Relevancy）三個層面來加以分析、評分。另外再考慮橋梁之結構安全性、服務性、

重要性等因素後，系統即可運用上述橋梁檢測評分資料及因素進行橋梁構件狀況指標（Icij）及橋梁分年進行排序及統計。因此，各層級之使用者便可依此對其所轄橋梁目前之結構安全與使用狀況有一全面性的瞭解，並配合圖表之輸出即可將其排序及統計資料匯整成報告。

(5)決策支援模組：

決策支援模組包含四大功能，檢測預算編列、維修成本估算、橋梁維修排序及維修經費分配。可分別由使用者自行勾選橋梁後，系統針對所勾選之橋梁進行檢測預算編列。第二種方式是使用者選取篩選條件後，系統針對篩選條件下之所有橋梁進行計算，如圖2.9所示。

圖 2.9 決策支援模組畫面[3]

(6)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2.10所示：

圖 2.10 地理資訊系統模組圖面查詢[3]

(7)防災資訊模組：

此模組(圖2.11)可提供使用者查詢即時河川水位資料、即時水庫測站資料及即時雨量等水情資料，並分別橋梁防災預警條件，當災害發生時發送簡訊通知。

圖 2.11 防災資訊模組畫面[3]

2.4 台灣公路早期防救災決策支援系統

根據交通部運輸研究所研究報告「公路防救災決策支援系統建立之研究」中，所開發之「臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)」已針對目前國內外之防救災系統文獻資料及國內已發展完成之防救災決策支援系統進行資料蒐集，內容包含國內外之邊坡、橋梁、道路等之防災、救災資料及相關資料庫系統之技術等[1]。

此計畫為達到各系統間資料交換之目的，以軟體代理人(Software Agents)為基礎，建立一資料交換平台。資料交換平台之建立，可減少資料重覆建置，增加資訊之使用率，達到資源共享之目標。經由此架構，各服務使用者(相關交通系統)，可經由資料交換平台，找到可以交換之資料格式與來源位置，在設定軟體代理人之初始值後(資料之輸出、輸入及服務)，即可連結各系統，整合各項資訊。

資料交換平台整合橋梁及坡地災害管理、預警系統於統一架構下，此整合模式未來可做為其他公路設施整合擴充之依循。此架構下共用GIS圖層資料，並在資料庫上作相關之連結，而資料交換之工作則由代理人擔任。此整合系統包括以下四大功能：1.災害預警的啟動機制。2.災害資訊、橋梁資料及邊坡資料的提供。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。系統中(1)跨河橋梁安全預警模組與(2)橋梁地震通阻分析模組，分別洪水預警與地震預警之核心，分別敘述如下:

(1)跨河橋梁安全預警模組

根據交通部運輸研究所(2013)「跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理」之研究成果，以公路總局所管轄大甲溪下游至馬鞍壩跨河橋梁作為研究對象，其中所開發之「跨河橋梁安全預警系統」，會自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，在與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域即時與未來一小時之降雨強度，再結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；然後考量橋梁材料結構特性，進行

橋梁穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數，作為即時及未來一小時之橋梁預警。此系統自動計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位，在颱洪時作決策支援，有利於爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障，其架構如圖2.12所示[3]。

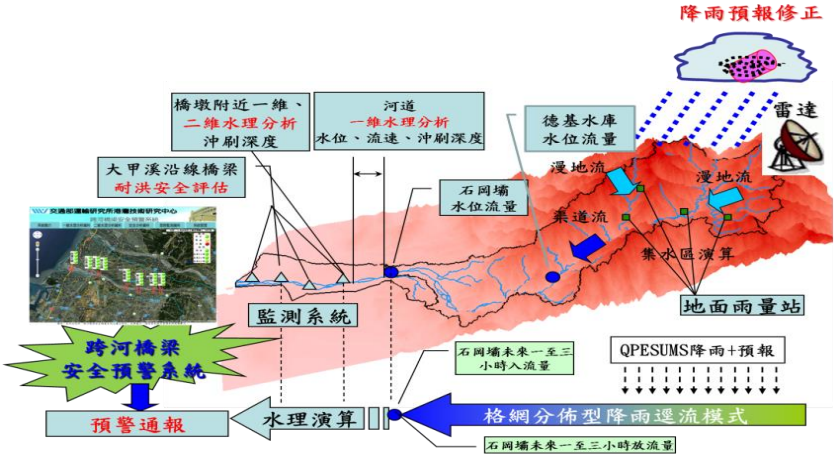


圖 2.12 颱洪災害跨河橋梁防災架構圖[3]

(2)橋梁地震通阻分析模組

根據交通部運輸研究所(2011)「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」之研究成果，其中「側推分析與殘餘能力分析模式」分析台灣24座橋梁(考慮橋梁劣化)側推分析成果。並將成果建置成人工智慧學習所需資料庫，進而建立「人工智慧橋梁耐震能力推論模式」，即可根據全台灣鋼筋混擬土橋橋齡、結構形式、環境狀態等屬性推論Ay、Ac值，進而建置全台省縣道橋梁耐震資料庫[4]。

當地震災害發生時，資料交換平台(以港研中心專利:災害預警資料交換機為核心)會自動擷取地震速報(取自中央氣象局)。接著將地震速報中地震位置、規模及深度輸入「地表震動分析模式」，計算出全台灣各地地表加速度，以ArcGIS Server的Geoprocess Service找尋各橋梁所在地震PGA，結合全台省縣道橋梁耐震資料庫，計算各橋梁通行失敗機率。故當地震發生，公路管理單位可利用通行失敗機率作為巡檢優先順序之標準。

上述之成果整合到TRENDS。該功能放置於「災害資訊管理模組」

的「橋梁地震破壞潛勢」功能，如圖2.13所示，此功能以Google Map作為底圖，並利用GIS Server的Geoprocess Service畫出震度分級圖並套疊在Google Map上。同時系統將通行失敗機率大於50%橋梁視為危險橋梁，頁面左方表格分別列出橋名、工程處、工務段、PGA、P__T(TELES計算通行失敗機率)、P_E(此研究計算通行失敗機率)、P(P_T及P_E取大值)，並會在Google Map上點繪出危險橋梁位置。圖2.13以921地震為模擬事件，紅色星星為地震震央，暗紅色點即為在921地震通行失敗機率大於50%之橋梁所在位置，地圖上各顏色則依中央氣象局分級方式，將各地震度分為八個等級，可參考頁面右方圖例。

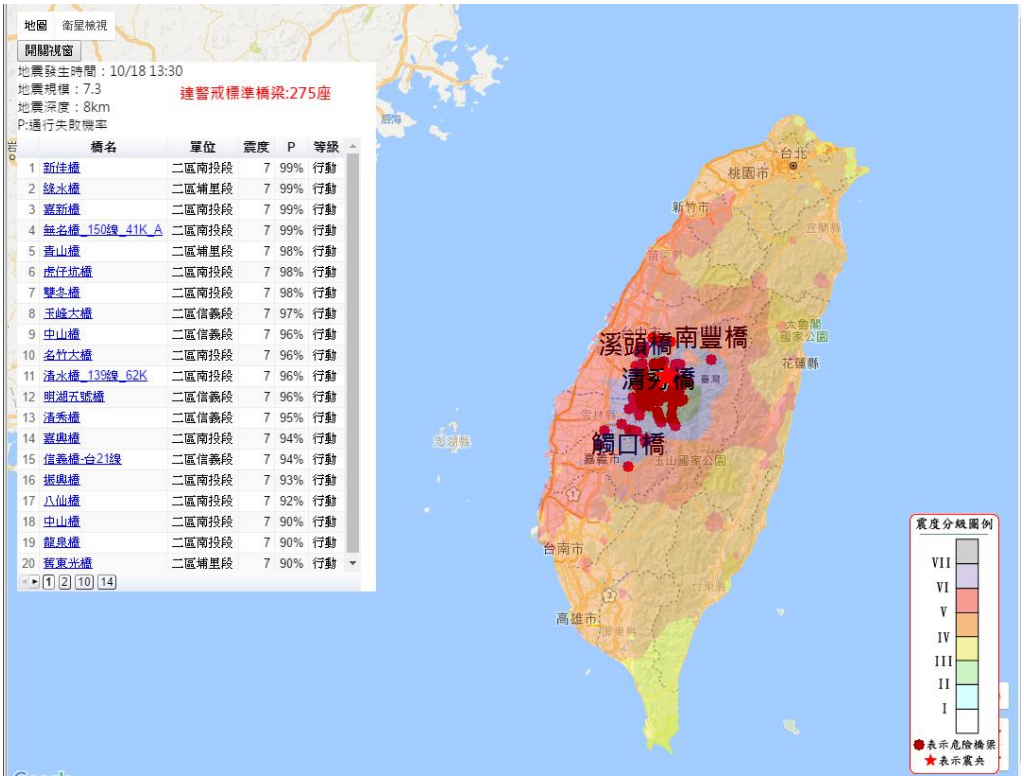


圖 2.13「橋梁地震破壞潛勢」介面(一) [4]

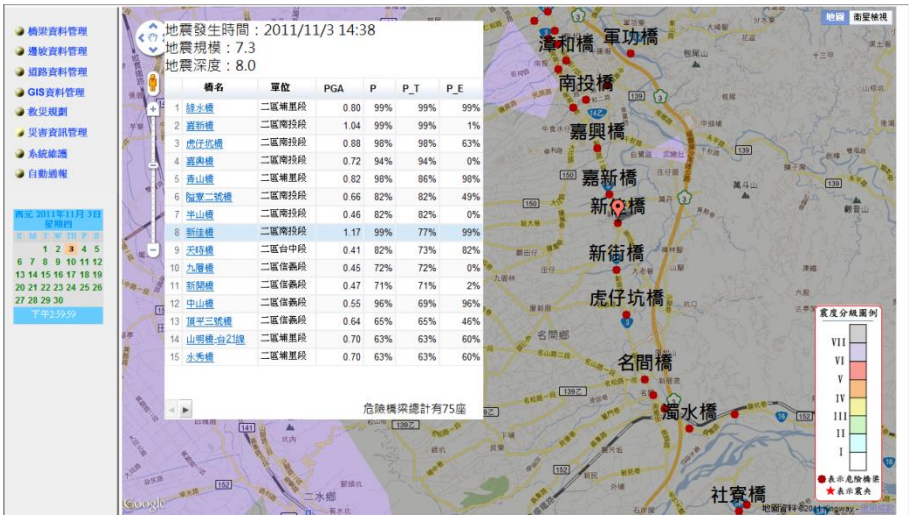


圖 2.14「橋梁地震破壞潛勢」介面(二) [4]

此系統為了讓使用者能夠快速了解橋梁地震破壞潛勢狀況，提供「文查圖」及「圖查文」的功能。「文查圖」功能可以應用左邊表格，點選所要查詢橋梁，即能夠快速找到橋梁所在位置；「圖查文」的功能則可由圖片找尋到橋梁基本資料。如圖2.14所示，使用者想查詢「新街橋」，點擊橋名，則地圖能夠快速幫找到「新街橋」位置，並且放置一個標籤，讓使用者馬上知道橋梁所在位置。

當地震災害發生後，藉由資料交換平台擷取中央氣象局地震速報。「橋梁通阻檢測分析模組」則會自動啟動運作，將通行失敗機率大於50%橋梁列出，並建立異常狀況橋梁清單。接著，TRENDS自動啟動指派機制通知公路總局值班人員進行巡檢。

2.5 橋梁通阻檢測分析模式建立之研究

橋梁為台灣地區之重要交通工程設施，但台灣屬季風型氣候夏季多雨，每年洪水來襲皆造成橋梁重大威脅，由於河水沖刷將導致河床降低，致使橋梁基礎深度變淺，因此影響橋梁的安全性能。且台灣為多地震的國家，一旦發生地震等大規模天然災害時，橋梁倒塌或斷裂的機率很高。為避免災害發生時，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，對現有橋梁進行全面檢測勢在必行。然而國內橋梁數量高達數萬座，若對所有橋梁進行破壞性檢測或全面性結構

分析，將花費許多時間與經費。

有鑑於此，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)委託國立臺灣科技大學，發展建置一套橋梁通阻檢測分析模式，模式應用移動式非破壞性振動檢測、材料劣化評估橋梁現況與殘餘容量，再整合地震破壞潛勢分析詳細計算橋梁Ay(降伏加速度)、Ac(完全損壞加速度)，最後應用人工智慧橋梁耐震能力推論模式推論其他橋梁之Ay、Ac，成果可迅速對現有橋梁安全程度進行診斷，得到不同橋梁之損壞機率，並作為災後橋梁封橋管制後是否開放通行之依據。其流程與架構如下圖2.15所示:

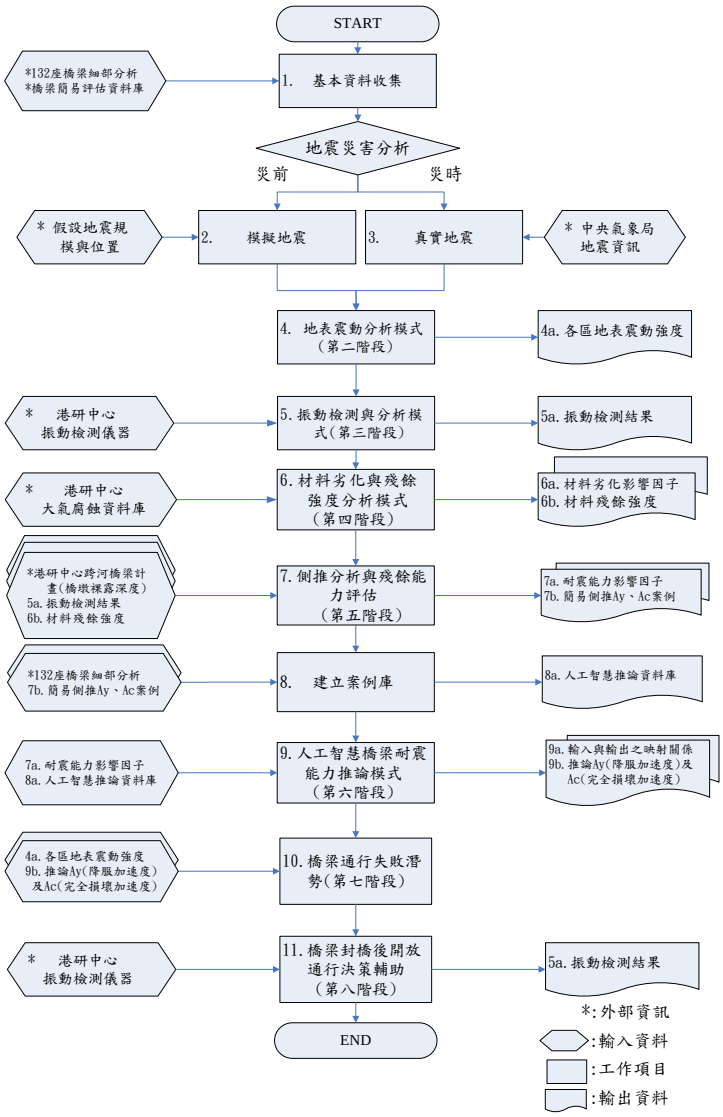


圖 2.15 橋梁通阻檢測分析模式架構圖

如圖2.15所示，研究取得公路總局計畫成果中，132座橋梁細部分析與簡易評估資料庫。並根據中央氣象局公佈之地震資訊、或人為假設地震規模與位置，運用地表震動分析模式推估各地區之地表加速度。以移動式振動檢測及材料劣化評估方式求取橋梁殘餘強度。將分析之結果結合橋墩裸露深度等橋梁現況做為側推分析之輸入，進行橋梁耐震能力評估分析。最後運用人工智慧方式學習輸入(地震耐震能力影響因子)與輸出(降伏加速度Ay、損壞加速度Ac)之映射關係，並依此結果得到不同地震強度下之橋梁損壞機率。模式中外部資料將藉由「災害預警資料交換機」取得，各階段概要步驟如下所述:

1. 基本資料收集:取得公路總局「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」計畫成果中，針對132座橋梁細部分析的資料。
2. 模擬地震: 地震災害分析可分為災前與災時，災前將應用模擬震源方式，假設地震規模與位置。
3. 真實地震:災時應用港研中心「交通工程防災預警系統建立之研究」中所建置之「災害預警資料交換機」，與中央氣象局連結，透過資料交換整合取得即時地震資訊。
4. 地表震動分析模式:根據前階段中災前與災時所得到之地震資訊，如地震規模與震源等資料。利用震動強度衰減率修正地震規模和距離之關係，推估台灣不同地區之地表震動強度。並以格網方式將台灣地區切割成不同格狀區域，再依各地區的地盤種類和距離之不同，分別求算其地表加速度。
5. 振動檢測與分析模式:評估並建置適合於國內採用之震動頻率檢測方式。排定實驗計畫，運用港研中心既有之振動檢測設備(速度計及加速度計各1組)，利用移動式非破壞性振動檢測，針對車行方向、水流方向等進行量測，分析不同水位、流速、車行振動及橋梁劣化等狀況，解析沖刷深度或橋梁破壞所造成頻率的影響，進行儀器測試與校正。其結果可作為側推分析與殘餘能力分析模式中之輸入及結果驗證比對之依據。

6. 材料劣化與殘餘強度分析模式:考量台灣地區環境因素，應用「災害預警資料交換機」，擷取港灣研究中心大氣腐蝕實驗室所量測建置之台灣地區大氣腐蝕資料，再應用材料實驗方式分析，求得大氣環境對橋梁RC材料之影響，據此初步繪製橋梁劣化曲線圖，以求得較精確之橋梁殘餘容量，並作為後續推估地震破壞潛勢分析之依據。

7. 側推分析與殘餘能力分析模式:根據橋梁設計或竣工圖，結合現地環境、橋梁現況(移動式非破壞振動檢測結果)、殘餘容量(材料劣化評估結果)等資料，兼顧計算準確與操作簡易的特性，透過地震損壞影響因子求算Ay及Ac值。為驗證該分析模式的準確性，針對基本資料收集步驟中可用121座橋梁細部分析資料，選擇其中12種代表性的橋梁型式，以所開發的側推分析模式求得之橋梁Ay與Ac值與「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」計畫121座橋梁分析結果進行比對，驗證所開發的側推分析之準確性。

8. 建立案例庫:首先以121座經細部評估求得之橋梁Ay、Ac值為輸出(Output)，並同樣以121座橋梁簡易調查之資料為輸入因子(Input)，建立資料庫。但由於此資料庫，再經橋梁類型分類後，將會有案例數不足，不利AI學習，預測準確度較差的問題，因此本計畫考量現有資料庫條件限制下，透過前一階段地震破壞潛勢評估中所建立之側推分析與殘餘能力分析模式，持續增加案例資料庫之案例數，以提升AI預測之準確性。

9. 人工智慧橋梁耐震能力推論模式:應用快速混雜基因演算法融合支持向量機發展建置「人工智慧機械學習推論模式」。採用前一階段中所建置公路總局121座橋梁細部評估結果資料庫，透過案例學習，找出輸入(簡易調查耐震能力影響因子)與輸出(細部評估Ay、Ac)之映射關係。

10. 橋梁通行失敗潛勢:綜合上述步驟，針對公路總局轄下四千多座省縣道橋梁進行AI推論，求得各橋梁之Ay與Ac值，並據此繪製出地表震動影響下橋梁地震健康度曲線，定義出不同地表震動下橋梁可能的

損壞機率。

11.橋梁封橋管制後開放通行評估:應用非破壞性振動檢測分析模式，使用港研中心既有振動檢測儀器，針對災後橋梁所量測到之頻率主頻偏移，解析沖刷深度或橋梁破壞所造成頻率的影響，判斷橋梁之安全狀態，進而做為橋梁封橋管制後是否開放通行之依據。

2.6 山區道路易致災路段監測預警管制系統

此計畫以以台9線宜蘭縣蘇澳鎮路段(106K+000)至花蓮縣秀林鄉路段(182K+000)、台24線三地門至阿禮段之山區道路為研究對象，進行山區道路山崩等災害目錄建置、災害潛感分析、潛在大 規模滑動區位判釋與重大災害案例蒐集等工作，以大尺度之坡面單元與小尺度之工程或排水狀況，進行山區道路易致災路段劃分，並探究其致災因子、危害度與損失程度等，同時進行各易致災路段之災害風險分析，進而依據各種災害類型與風險等級檢討現行道路監測預警架構，提出創新構思與監測管理、養護巡察與預警措施，以提高國內山區道路整體安全的使用[5]。

此計畫完成項目包括：1.持續蒐集山區道路重大災例蒐集、成因、特性與復建措施分析。2.選取示範山區道路進行邊坡歷史山崩目錄建置、災因分析與邊坡崩塌潛感分析並製作崩塌潛感圖。3.持續修正山區道路邊坡致災因子、誘發因子(降雨)及道路邊坡破壞分析模式。4.選取示範山區道路進行大規模滑動區位判 釋、成因、特性分析。5.現有山區道路監測預警管制技術檢討。最後達成成果與效益分別為：1.採用坡面單元、地質概念與路段之細部排水、工程 狀況進行易致災路段劃分，此方法可清楚界定各易致災路段的範圍、主要災害類型與災害特性、警戒基準與風險估算。2.已完成山區道路之災害風險評估模式，同時以開放式資料概念、氣象局 QPESUMS之降水預報產品，結合港研中心相關計畫之降水修正結果(圖2.16)，自動進行各路段之降雨警戒值比對，將成果以開放及跨平台方式進行供應與展示(圖2.17)，可提供路管單位於提前應變措施參考。

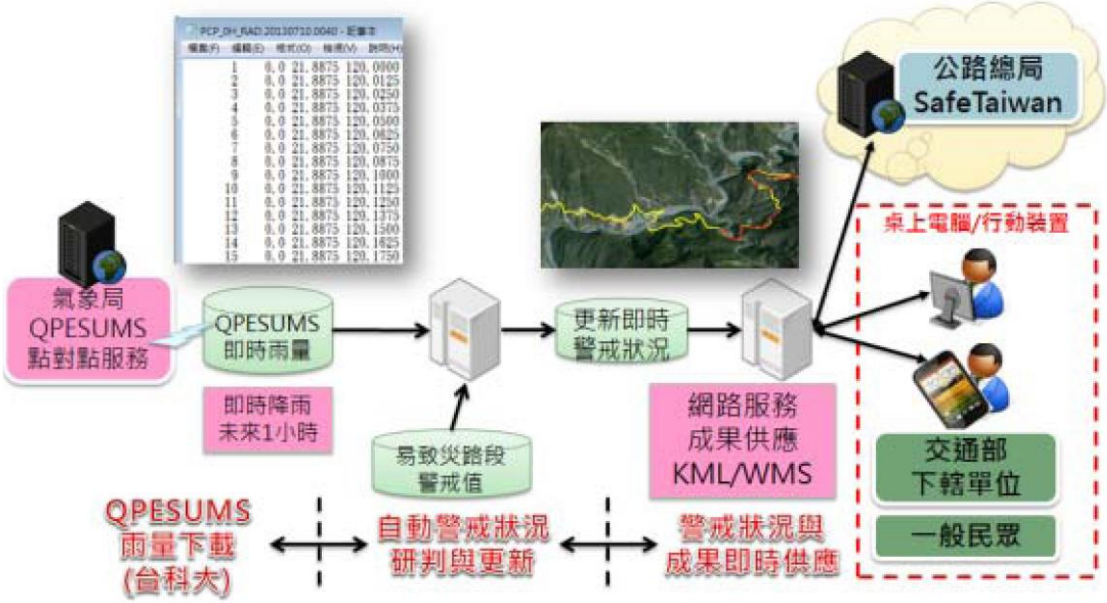


圖 2.16 監測預警管制方法與流程圖[5]

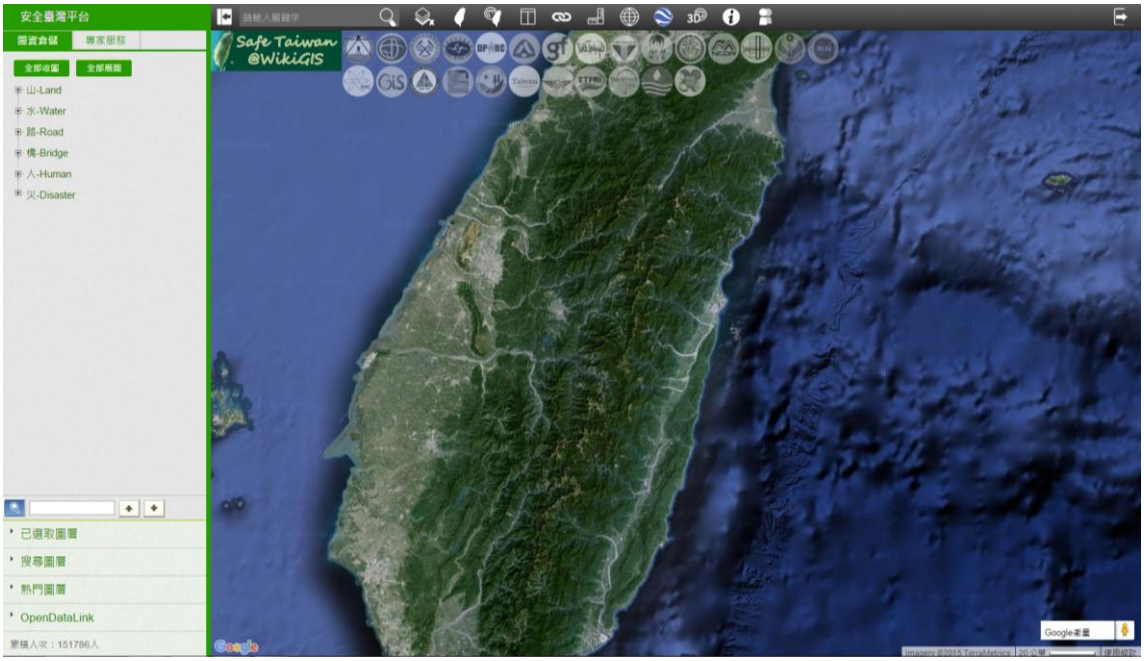


圖 2.17 以交通部公路總局 SafeTaiwan 平台展示監測預警管制成果圖[5]

2.7 橋梁耐震能力評估－側推分析

2.7.1 結構設計分析軟體(SAP2000)簡介

SAP2000軟體為目前工程界普遍使用之商用結構設計分析軟體，在橋梁、建築物、港灣等土木工程中受到廣泛應用。由於SAP2000建立模型較為迅速，並能夠在電腦上直接看出模型的建立情況，此外能加入阻尼器、非線性構件等消能裝置，並能在SAP2000中建立3D模型，以符合實際的受力狀況，也能夠模擬構件進入非線性時結構體的行為，因此SAP2000軟體已成為眾多工程師使用的優質工具[6]。

SAP2000歷經多次改版之後，成為一功能強大之全視窗介面結構分析軟體，其中也包含非線性元素分析。SAP2000應用基本的分析模型，於三維空間中建立幾何形狀，如圖2.18所示，並定義不同的斷面性質如鋼筋混凝土或鋼構材等，再定義該斷面幾何形狀及材料特性等，接著在結構物上加載各種受力型態，以完成後續相關靜力、動力、歷時等之分析。完成分析後之結果，可完全於SAP2000內以圖形顯示，如靜力載重變形、動力變形、剪力、軸力、彎矩圖、應力分布圖、歷時分析結果等，如圖2.19所示[7]。

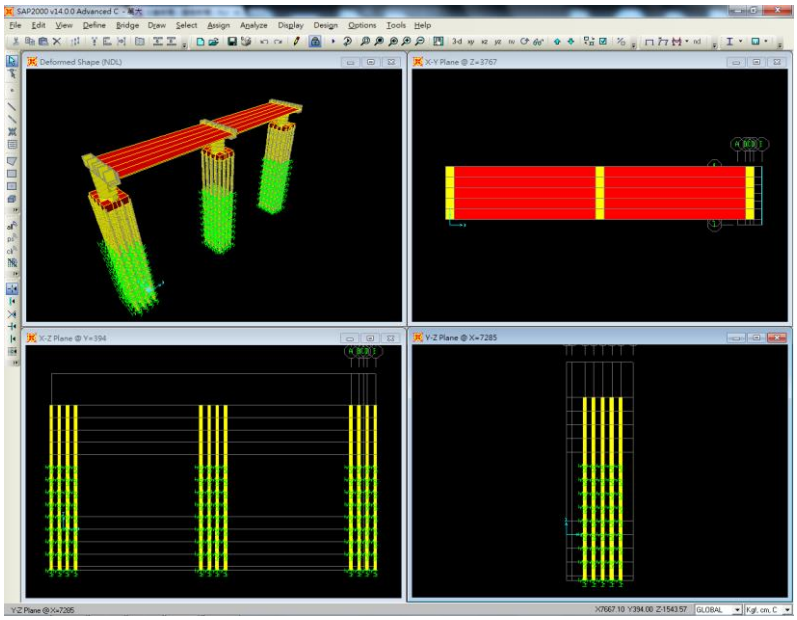


圖 2.18 SAP2000 3D 橋梁模型

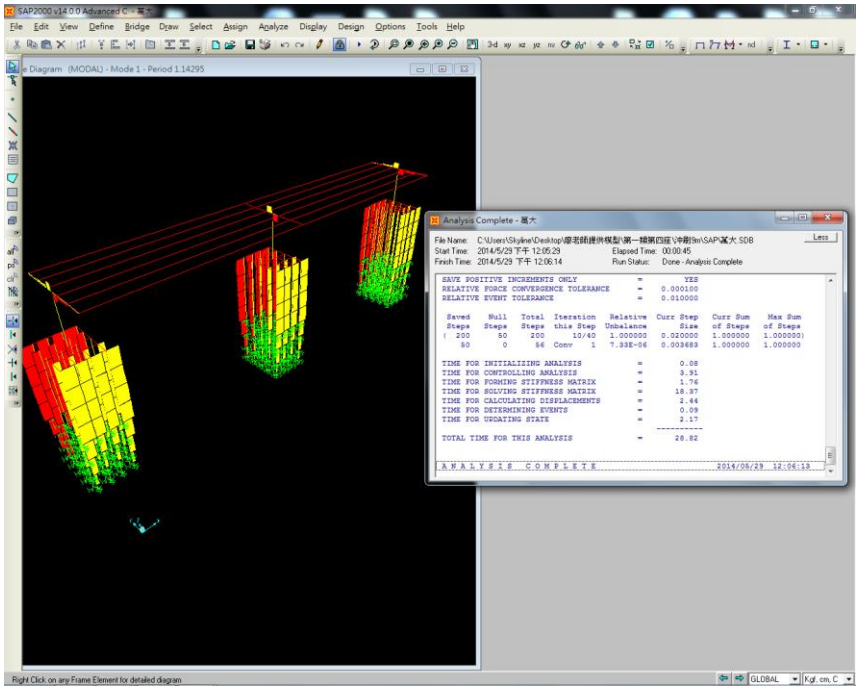


圖 2.19 SAP2000 分析畫面

2.7.2 橋梁側推分析流程

橋梁側推分析模式是以SAP2000軟體為平台，以下分為(a)~(e)五步驟說明[4]:

(a)建置橋梁有限元素模型

建置橋梁有限元素模型時，須包含所有會影響力學分析之構件，如橋柱、帽梁、橋面版、支承墊、橋台、樁帽、基礎、隔震減震元件等，如圖2.20所示，如此才能反映出結構體真實受力行為。而結構模型建立必須定義好各構件尺寸、材料性質、材料強度等，以利後續進行力學計算。

(b)匯入塑鉸性質

在進行橋墩柱斷面強度分析時，首先須建立墩柱斷面彎矩與轉角關係曲線，再依此決定墩柱的破壞模式如剪力破壞、撓曲破壞、模式撓曲-剪力破壞，最後在SAP2000軟體中設定M3塑性鉸，如圖2.21所示。

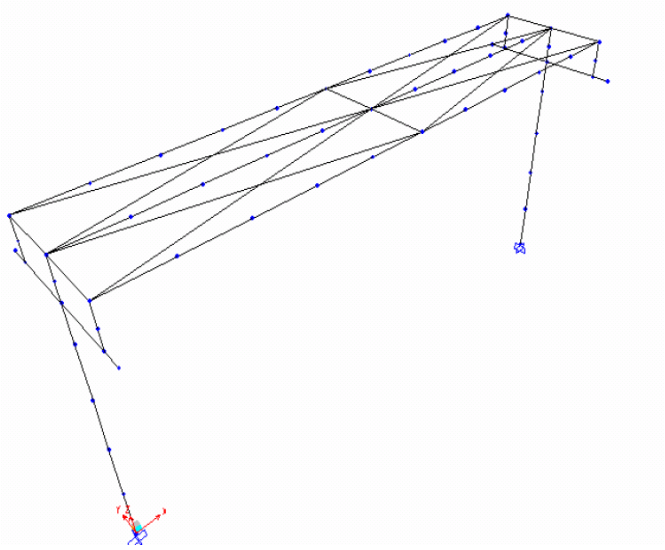


圖 2.20 橋梁有限元素模型[4]

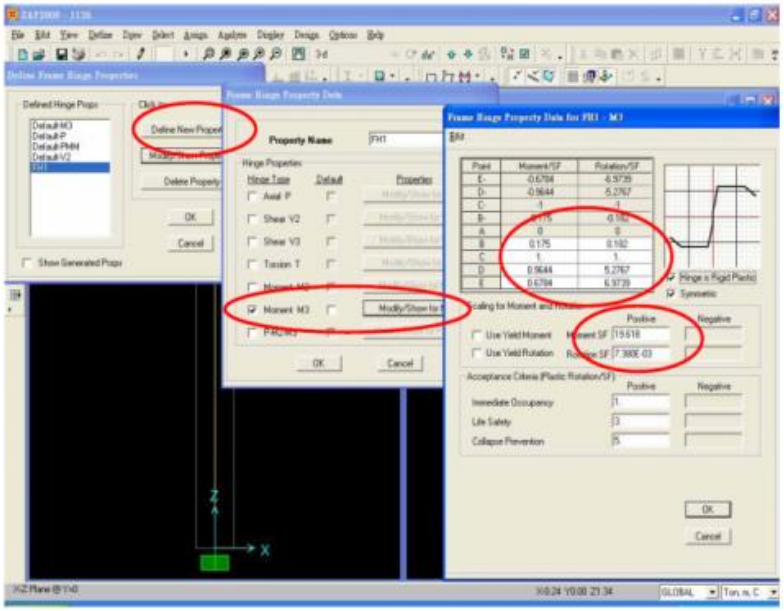


圖 2.21 塑性鉸設定畫面[4]

(c)建立容量曲線

在SAP2000執行側推分析時，首先以力量控制並施加自重，進行位移控制之側推分析，當斷面強度用盡時，則視為整體結構破壞，同時分析中止，依此可建立出橋梁之容量曲線，如圖2.22所示。

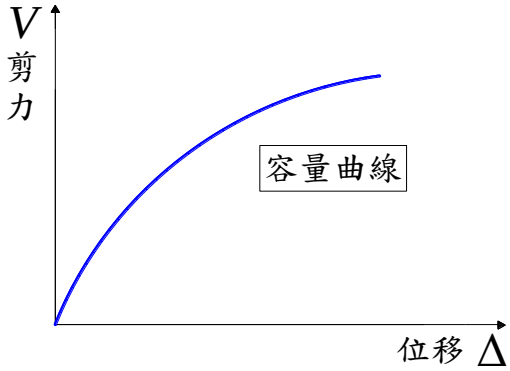


圖 2.22 橋梁容量曲線[4]

(d)建立容量震譜

將橋梁容量曲線轉換成容量震譜輸出Sa-Sd曲線，如圖2.23所示。

(e)求取Ay與Ac值

最後根據國內最新公路橋梁耐震設計規範(2009)，將側推分析中所得容量震譜中任一點處譜加速度api，對應最大地表加速度(PGA)，以得出該橋梁之Ay與Ac值，如圖2.24所示。

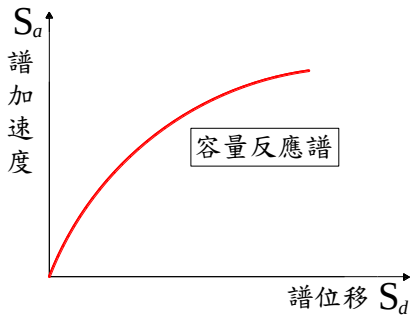


圖 2.23 橋梁容量震譜[4]

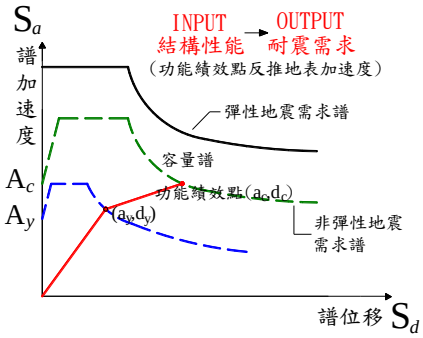


圖 2.24 求得 Ay 與 Ac[4]

本研究依據上述，將橋梁側推分析模式所需參數彙整如表2-4所示，以作為後續建立橋梁設計與防災預警資訊整合系統之資料庫欄位的依據。

表2-4 橋梁側推分析模式所需參數

編號		編號	
1	橋梁型式	26	帽梁混凝土保護層厚度(m)
2	橋跨數	27	橋墩柱長度(m)
3	總橋長(m)	28	橋墩柱寬度(m)
4	橋墩跨徑(m)	29	橋墩柱高度(m)
5	不透風護欄高(m)	30	橋墩柱斷面直徑(m)
6	混凝土單位重(t/m^3)	31	橋墩柱斷面積(m^2)
7	箱型梁長度(m)	32	橋墩柱楊氏模式(kN/m^2)
8	箱型梁寬度(m)	33	橋墩柱混凝土抗壓強度(kgf/cm^2；MPa)
9	箱型梁高度(m)	34	橋墩柱縱向鋼筋號數(D；#)
10	箱型梁混凝土抗壓強度(kgf/cm2；MPa)	35	橋墩柱縱向鋼筋配置數量
11	帽梁長度(m)	36	橋墩柱縱向鋼筋配置間距(cm)
12	帽梁寬度(m)	37	橋墩柱縱向鋼筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)
13	帽梁高度(m)	38	橋墩柱縱向鋼筋彈性模數(kgf/cm^2)
14	帽梁斷面積(m^2)	39	橋墩柱橫向箍筋號數(D；#)
15	帽梁柱楊氏模式(kN/m^2)	40	橋墩柱橫向箍筋配置間距(cm)
16	帽梁混凝土抗壓強度(kgf/cm^2；MPa)	41	橋墩柱橫向箍筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)
17	帽梁縱向鋼筋號數(D；#)	42	橋墩柱橫向箍筋彈性模數(kgf/cm^2)
18	帽梁縱向鋼筋配置數量	43	橋墩柱混凝土保護層厚度(m)
19	帽梁縱向鋼筋配置間距(cm)	44	橋墩柱頂所受之軸力(tonf)
20	帽梁縱向鋼筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)	45	橋墩柱構材反曲點間之距離(cm)
21	帽梁縱向鋼筋彈性模數(kgf/cm^2)	46	樁帽長度(m)
22	帽梁橫向箍筋號數(D；#)	47	樁帽寬度(m)
23	帽梁橫向箍筋配置間距(cm)	48	樁帽高度(m)
24	帽梁橫向箍筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)	49	樁帽混凝土抗壓強度(kgf/cm^2；MPa)
25	帽梁橫向箍筋彈性模數(kgf/cm^2)	50	基樁直徑(m)

表2-4 橋梁側推分析模式所需參數(續)

編號		編號	
51	基樁長度(m)	71	沉箱內填物斷面積(m^2)
52	基樁數量(m)	72	承載層土壤單位重(t/m^3)
53	基樁楊氏模式(kN/m^2)	73	承載層土壤凝聚力
54	基樁混凝土抗壓強度(kgf/cm^2；MPa)	74	承載層土壤摩擦角(度)
55	基樁縱向鋼筋號數(D；#)	75	主動土壓力係數(ka)
56	基樁縱向鋼筋配置數量	76	被動土壓力係數(kp)
57	基樁縱向鋼筋配置間距(cm)	77	κ: 阻尼折減係數
58	基樁縱向鋼筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)	78	α_{pi}：容量震譜中任一點處譜加速度
59	基樁縱向鋼筋彈性模數(kgf/cm^2)	79	B_S：短週期結構之阻尼比修正係數
60	基樁橫向箍筋號數(D；#)	80	B_1：一秒週期結構之阻尼比修正係數
61	基樁橫向箍筋配置間距(cm)	81	β_{basic} (ζ) :初始有效阻尼比(%)
62	橋墩柱橫向箍筋降伏強度(kgf/cm^2；MPa)	82	Fa：反應譜等加速度段之工址地盤放大係數
63	基樁橫向箍筋彈性模數(kgf/cm^2)	83	Fv：反應譜等速度段之工址地盤放大係數
64	基樁混凝土保護層厚度(m)	84	S_S^D：震區堅實地盤短週期之設計地震水平譜加速度係數
65	沉箱內填充物單位重(t/m^3)	85	S_1^D：震區堅實地盤一秒週期之設計地震水平譜加速度係數
66	沉箱高度(m)		
67	沉箱寬(m)		
68	沉箱長度(m)		
69	沉箱厚度(m)		
70	沉箱全斷面積(m^2)		

(本研究整理)

2.8 橋梁耐洪安全評估

2.8.1 橋梁墩柱與基礎沖刷之研究

由於臺灣的多山谷與河川坡陡、河水湍急的地理特性與國外相關文獻之研究對象河川的屬性不同，因此研究的重點考量與成果和國外不盡相同。目前國內有關於橋梁基礎與沖刷之研究主要為：沖刷現象

及學理影響分析、水力計算分析模式與沖刷深度評估，及跨河橋梁沖刷防治工法等，而研究計畫委託單位主要為交通部所屬之各處室，相關文獻重要內容整理，如表2-5所示。

表2-5 橋梁安全評估相關文獻

編號	研究名稱	資料來源	研究內容
1	本省西部重要河川橋梁橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立	[8]	探討西部地區河川中下游之河床下降與砂石開採問題與因應對策，針對西部地區數十座河川橋梁之沖刷成因進行現場調查、監測分析，用以探討橋梁及之災因與災害模式，將國內歷年來所施作之橋基保護工法歸納分類，分析優缺點與適用地質條件，並進行災因之統計分析，提出河川橋梁所遭遇之洪水災害型態，研提預防橋基沖刷之應注意事項，最後對具沖刷潛勢之橋梁提出技術面與制度面因應之道及建議事項。
2	跨河構造物防治沖刷之技術與策略研究—應用剛性或柔性攔砂堰作為橋基保護方法之評估探討	[9]	主要為提出用於防治局部沖刷與一般沖刷之各種橋基保護工法之適用比較，研提有關剛性攔砂堰與柔性攔砂堰之分析比較，以作為規劃設計攔砂堰時之具體的參考指引。進行十餘個個案分析，並綜合歸納相關的水力沖刷災害成因，提出跌水或水躍沖刷之發生機理與流程，建構有關自然河道與施作橋基保護工後分別發生側向侵蝕之機制與流程，並提出攔砂堰發生滲流與管湧之成因及相關防治措施，並提出施作橋基保護工前後，導水路開挖與回填過程所可能衍生之沖刷災況。
3	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	[10]	河川沖蝕部份主要有河道與橋基沖蝕成因之概論、建立河川與橋梁之沖刷潛勢分析表、頭前溪、濁水溪及高屏溪流域之沖刷潛勢分析等。
4	台灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究	[11]	研究內容為彙整常用於規劃設計橋基保護工之水理計算法，並結合現場調查及國內外工法蒐集等研究方式，完成橋基保護工水理計算之參考手冊、橋基及公路下邊坡坡腳之沖刷防治支援系統及橋梁設計之水力指引。
5	高、快速公路橋梁鄰近區域之自然災害度潛勢分析	[12]	主要在探討沖刷災害相關因子，利用現有沖刷評估方法，描述評估後之處理原則，並針對沖刷潛勢提出評估流程與對策。

編號	研究名稱	資料來源	研究內容
6	跨河橋梁訂定封橋水位	[13]	研究內容為蒐集並分析流域水文資料，現場勘查、測繪各河川橋梁之斷面圖等，建立分析與計算封橋水位，建置橋梁預警系統。內容包括橋址河床特性之瞭解、橋址河床高程測量、河床變動趨勢研判、橋基容許裸露結構分析、水理分析、洪水預警水位建立等。
7	河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法之研究	[14]	針對跨河橋梁之橋墩及基礎防洪設計及維護管理進行探討研究，提供橋梁工程師於從事規劃設計及管理維護時有可循之準則，進而重視跨河橋梁設計及維護安全措施上所應注意之問題及應採行之因應策略。其內容為完成相關規範準則及資料整理研判、國內重要河川沖刷案例回顧、河川沖刷與地形、地質之關係、河川沖刷回淤及封橋水位、跨河橋梁佈設原則、跨越土石流橋梁之因應對策與案例探討、橋梁暨河川水利資料網路查詢系統之建置；針對橋墩及其基礎沖刷理論與應用、橋墩結構分析設計與沖刷深度之應用、基礎保護工法分析與設計等分析探討，並搭配各現場案例深入說明；最後針對跨河橋梁檢測及維修補強設計及施工方法進行探討；並研擬考量主動式及被動式之橋梁沖刷監測預警系統。
8	河川橋梁沖刷並補強後之安全評估	[15]	研究台灣重要橋梁橋基沖刷損壞情形，進行安全評估報告。期望改善台灣地區河川橋梁沖刷問題，建立一實用的橋梁沖刷補強後安全評估標準，研判重要橋梁之安全與使用性。
9	交通工程防災預警系統建立之研究	[16] [17]	針對橋梁受到沖刷部分提出相關沖刷災害預防、沖刷災害緊急應變提出相關建議。
10	橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究	[18]	研究目的為提供公路與河川主管機關擬訂相關政策與河川治理計畫及保護工法補強作業之參考依據，包括橋梁防災管理、橋梁資料建立、檢測、安全評估、維修補強及優選排序等資訊，作為未來橋梁沖刷管理之依據。其內容包括基本資料建立與檢測、橋梁耐洪能力初步評估表、耐洪能力快速計算評估、橋梁遭沖刷之補強優選排序原則、補強方法與設計、橋梁沖刷監測系統、封橋作業及緊急搶通、沖刷安全管理系統，及主管單位執行計畫之建議。

編號	研究名稱	資料來源	研究內容
11	鐵路橋梁過河沖刷段橋墩與基礎結構系統檢測技術之研究	[19]	藉由非破壞檢測方式對橋梁的沖刷深度進行現地檢測，並對受沖刷基礎結構建立相關數值分析模式。
12	台灣地區橋梁安全檢查、評估及監測執行程序之訂定	[20]	針對案例橋梁受沖刷後，建立基礎結構安全評估，並考量沖刷深度、水位高度及洪水流速之分析模式。
13	高科技橋梁檢測系統建置試辦計畫	[21]	建立即時沖刷深度、水流流速水位高度監測系統，及利用 MIDAS/GTS 建立基礎三維分析模式。
14	國道 3 號濁水溪橋沖刷監測之研究	[22]	建立即時沖刷深度、水流流速、水位高度監測系統，及建立能考量沖刷深度、水位高度及洪水流速變化之基樁耐洪分析模式與基礎破壞包絡線，並應用於莫拉克颱風中藉由即時量測之沖刷深度、水流流速與水位高度資料，結合基礎破壞包絡線即時評估橋梁基礎之安全性。
15	國道 3 號濁水溪橋後續沖刷監測之研究	[23]	藉由持續沖刷深度、水流流速、水位高度監測系統資料，結合基礎破壞包絡線於凡納比颱風中運用監測資料，即時評估橋梁基礎之安全性，並藉由歷次颱風洪水沖刷深度監測資料，建構適用於該橋之基礎沖刷深度評估公式。
16	跨河橋梁安全預警系統建置更新與維護管理	[3]	交通部運輸研究所 98 至 100 年度「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」計畫中，所開發之跨河橋梁安全預警系統，已針對大甲溪石岡壩下游跨河橋梁建置潛勢分析模式與預警通報機制。此研究將橋梁預警範圍擴展至大甲溪石岡壩上游至馬鞍壩，藉由颱洪期資料持續修系統模式，並與公路總局通報機制整合。擴充跨河橋梁安全預警系統，將大甲溪馬鞍壩下游橋梁納入預警範圍，開發自動化執行機制。本系統可接收大甲溪河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，再與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一至三小時之降雨強度，然後結合集水區演算、地表漫地流演算、水庫演算、河道一維及二維水理演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度，進而計算橋梁耐洪安全係數。分析結果如超過警戒值，則自動啟動預警通報機制，提早通報橋梁管理單位，爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障。

2.8.2 橋梁基礎結構耐洪分析模式

橋梁基礎耐洪安全評估分析模式需綜合考量沖刷深度、水流流速與水深變化對橋梁基礎結構耐洪能力之影響，不同橋梁基礎，其分析模式不同，以下針對臺灣最常用的基礎型式：(a)沉箱基礎耐洪分析模式、(b)樁基礎耐洪分析模式分別作說明[3]：

(a)沉箱基礎耐洪分析模式

首先依據公路橋梁設計規範(98)第五章基礎篇資料，在計算完成沉箱基礎結構基礎垂直極限承載力、水平極限承載力、沉箱底面之摩擦阻力後，建立沉箱傾覆、承載分析模式，計算過程說明如下：

1.沉箱傾覆分析模式建立

利用下式評估沉箱傾覆穩定

$$W_A \cdot \bar{x} = P_L \cdot \bar{y} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

式中，W_A：作用於沉箱基礎板底面之垂直合力(t/m)，P_L 為作用於沉箱壁體之水平合力(t/m)，$\bar{x}$ 為垂直合力作用力臂(m)，$\bar{y}$ 為垂直合力作用力臂(m)。由沖刷因子影響分析可知，沖刷深度的變化為影響橋梁基礎承載能力的改變，水流流速則為影響作用於基礎結構上之水流作力力大小，而水深的變化則為影響水流作用力分佈的範圍，因此在考量此三因素作用下，沉箱基礎結構/水流/土壤互制關係可由圖2.25所示。於極限平衡分析作用下則可將式(2.1)修改為下式：

$$\begin{aligned} & W_1 \cdot \frac{D_1}{2} + W_2 \cdot \frac{D_1}{2} + F_V \cdot \frac{D_1}{2} + \frac{1}{3} P_p \cdot (L_2 - SC) \\ & = \frac{1}{3} P_a \cdot (L_2 - SC) + F_W \cdot [(L_2 - SC) + \frac{2}{3}(W_L + SC)] \quad \text{.....} \quad (2.2) \\ & + WF \cdot (\frac{1}{2} LW + L_1 + L_2) \end{aligned}$$

式中，W_1 為橋墩自重(需考量水之浮力作用)，W_2 為沉箱自重(需考量水之浮力作用)，F_V 為垂直載重，F_W 為水流作用力，P_a 為主動土壓力，

其中 $P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times (\gamma - 1) \times (L_2 - SC)^2 \times D_1$ ，P_p 為被動土壓力，其中 $P_p = \frac{1}{2} \times K_p (\gamma - 1) \times (L_2 - SC)^2 \times D_1$，$L_1$ 為橋墩高度，L_2 為沉箱高度，SC 為沖刷深度，W_L 為水深，r 為土壤單位重，k_a 為主動土壓係數，k_p 為主動土壓係數，WF 為風力，LW 為上部結構高度。

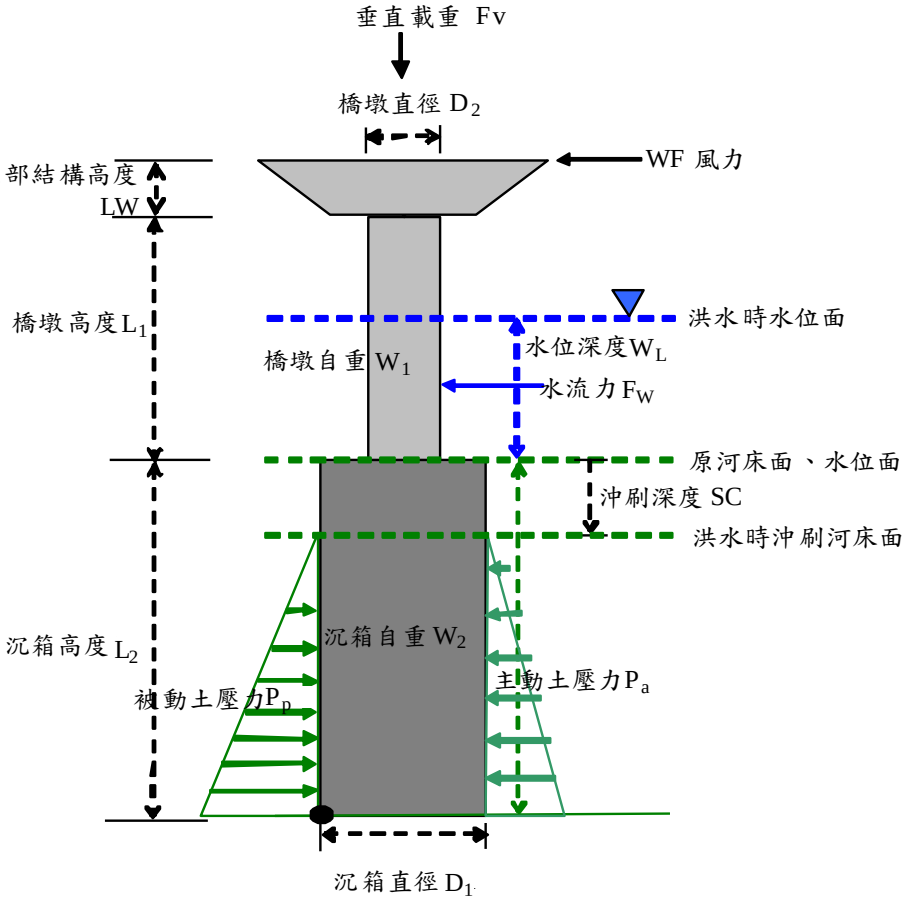


圖 2.25 沉箱基礎/土壤/水流互制示意圖[3]

2.沉箱承載分析模式建立

沉箱受側向水流作用力作用會導致沉箱承受偏心載重，使得沉箱底部與土層之有效接觸面積減少，因此針對沉箱承載分析須先求得沉箱底部有效接觸面積，再分析其承載安全，偏心量e可由求得沉箱底部傳入土壤之彎矩M與軸力P計算，其偏心量e。

$$e = M / P \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

圓形沉箱承受偏心載重時，其有效接觸面積 A_{eff} 可依下式計算(如圖2.26所示)，依此有效接觸面積乘以 q_u 即可算出其極限承載力。

$$A_{eff} = r^2(\alpha - \cos\alpha \sin\alpha) \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

式中，r 為沉箱半徑，α 為接觸面積之半圓周角(rad)，其值與偏心率 e/r 有關，如圖2.27所示。

承載安全係數為

$$SF = \frac{Q_c}{P} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

式中，Q_c 為沉箱容許承載力，其中 $Q_c = q_a \times A_{eff}$ ，P 為軸向載重。

沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數如表2-6所示。

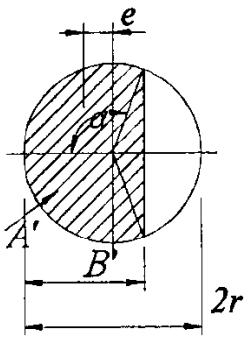


圖 2.26 沉箱圓形基礎之有效接觸面積[3]

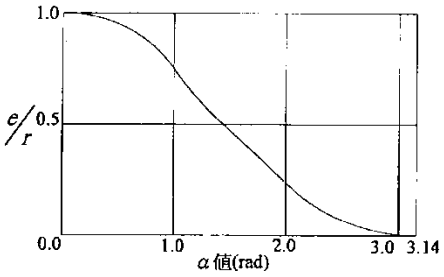


圖 2.27 圓形基礎之 α 與 e/r 之關係圖[3]

表2-6 沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數

編號		編號	
1	主動土壓力係數(ka)	16	橋墩跨徑(m)
2	被動土壓力係數(kp)	17	橋墩高度(m)
3	沉箱基礎底面之形狀因素(α)	18	橋墩寬(m)
4	沉箱基礎底面之形狀因素(β)	19	橋柱斷面積(m^2)
5	沉箱支承力因素(Nc)	20	橋墩重量(ton)
6	沉箱支承力因素(Nq)	21	橋墩數量
7	沉箱支承力因素(Nr)	22	沉箱高度(m)
8	承載層土壤單位重(t/m^3)	23	沉箱寬(m)
9	承載層土壤凝聚力	24	沉箱長度(m)
10	承載層土壤摩擦角	25	沉箱全斷面積(m^2)
11	沉箱內填充物單位重(t/m^3)	26	沉箱內填物斷面積(m^2)
12	混凝土單位重(t/m^3)	27	橋墩水流作用力常數
13	不透風護欄高(m)	28	沉箱水流作用力常數
14	箱型梁與橋面板高(m)	29	沉箱厚度(m)
15	上部荷重(ton)		

(本研究整理)

(b)樁基礎耐洪分析模式

首先依據公路橋梁設計規範(98)第五章基礎篇資料，在計算求得樁基礎結構基礎垂直承載力、側向支承力計算後，建立基樁承載分析模式，計算過程說明如下：

1.基樁承載分析模式建立

樁基礎耐洪承載能計分析方能計分析方式，其中群樁基礎受力之機制如圖2.28，基樁所受之軸向力除垂直載重造成的力外，尚包含側向力(包括風力．水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力。

在沖刷河床面各樁所受之軸壓力可由下式計算：

$$P_{total} = P_v \pm P_M \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

式中，P_v 為總垂直載重造成之各樁軸力(需考量水浮力之作用)，P_M 為側向力(包括風力．水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力，計算到河床面。P_{total} 為 $P_v + P_M$ 在邊樁會有最大值為承載力檢核利用，P_{total} 為 $P_v - P_M$ 在近端為檢核基樁拉力利用。

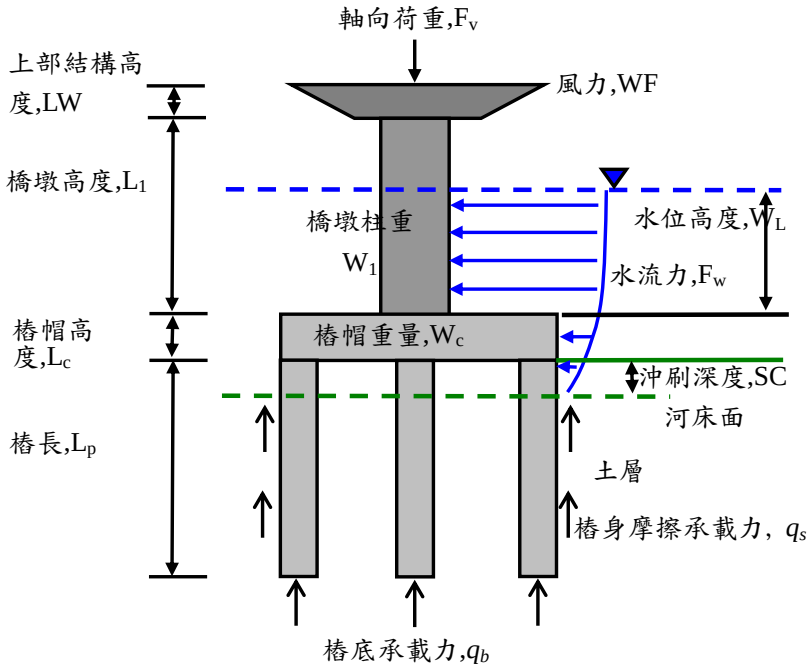


圖 2.28 群樁基礎受力機制圖[3]

總垂直載重造成之各樁軸力 P_v 可由下式計算：

$$P_v = \left(\frac{P}{n \times m}\right) \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

式中，P 為計算到河床面之垂直載重，n 為行車方向之基樁數量，m 為垂直行車方向之基樁數量。

側向力(包括風力．水流力)引致的彎矩對樁造成之軸力 P_M 可由下式計算：

$$P_M = \frac{MY}{I} A_a \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

式中，M 為所有側向力對河床面之彎矩，Y 為樁帽中心沿垂直行車向到最邊樁之距離，A_a 為單樁底部之面積，I 為群樁之慣性矩。

M 之計算方式如下：

$$\mathrm{M} = WF(\frac{LW}{2} + L_1 + L_c + SC) + F_p(\frac{W_L}{2} + SC) + F_h(\frac{L_c}{2} + SC) + F_l(SC/2) \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

式中，WF 為風作用力，F_p 為水作用在橋墩之合力，F_h 為水作用在樁帽之合力，F_l 為水作用在基樁之合力，LW 為風作用力重心至橋墩頂部之距離，L_1 為橋墩高度，L_c 為樁帽高度，SC 為沖刷深度。

則樁基礎耐洪承載能力計算為：

$$FS = \frac{Q_a}{P_{total}} \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

式中，Q_a 為基礎容許承載力，P_{total} 為 P_v 與 P_M 之和，在邊樁會有最大值。

本研究依據上述，將沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所要參數彙整如表2-7所示，以作為後續建立橋梁設計與防災預警資訊整合系統之資料庫欄位的依據。

表2-7 樁基礎耐洪安全評估分析模式所需參數

編號		編號	
1	混凝土單位重(t/m^3)	12	樁帽寬度(m)
2	不透風護欄高(m)	13	樁帽高度(m)
3	箱型梁與橋面板高(m)	14	基樁直徑(m)
4	上部荷重(ton)	15	基樁長度(m)
5	橋墩跨徑(m)	16	基樁數量(m)
6	橋墩高度(m)	17	基樁慣性矩(m^4)
7	橋墩寬(m)	18	橋墩水流作用力常數
8	橋墩數量	19	樁帽水流作用力常數
9	橋柱斷面積(m^2)	20	基樁水流作用力常數
10	橋墩重量(ton)	21	最外側基樁至樁帽外側距離(m)
11	樁帽長度(m)		

(本研究整理)

2.9 橋梁振動頻率評估

跨河橋梁之耐洪能力主要受到橋梁本身結構、河川環境、水文條件與河岸防護措施等眾多因素之影響，為一個跨領域的複雜問題。因此，完整的評估分析通常需要藉助歷年水文資料的收集與統計分析、橋體非破壞性檢測評估與沖刷深度的丈量或計算等不同領域的整合使能完成，其分析過程通常十分耗時，在有限的時間與經費的條件下，若欲對大量的橋梁進行詳細評估，顯然有執行上的困難。

若橋基受到嚴重的沖刷，則橋墩的振動頻率將隨之下降，許多學者注意到此一現象並針對洪水前後之橋墩頻率變化率進行研究，冀能藉由此參數之變動，判斷橋梁健康之依據；例如李維峰與陳正興(2009)[24]嘗試從頻率的下降程度診斷出結構是否安全或結構破壞的原因。不過，多數研究所採取直接量測法且缺乏定量的評估流程。所謂直接量測法係指將量測儀器安裝於橋梁之上，直接讀取橋梁的振動頻率，然而，台灣地區之橋梁數量高達數萬座，逐一設置固定式頻率監測儀器之成本可能過高，實際上並不可行；不同於直接量測法，非直接量測法(如移動式非破壞性振動檢測)並不嘗試讀取橋梁的振動資訊，而是將量測儀器裝置於具有行動能力的車輛中，藉由量測車輛的振動結果反推橋梁之振動特性;非直接量測法，無論讀取資料時，車輛為行進中或靜止，均較傳統之直接量測法具有機動性。

因此，港研中心委託東源科技工程有限公司與國立臺灣科技大學[25]，探討是否可以利用橋梁的自然振動頻率之定量化數據作為橋梁健康的指標。並針對多種橋梁頻率量測法(包含直接與非直接量測)進行試驗，分析並比較其間差異，探討非直接量測法應用於實際橋梁之可行性。目前本計畫共進行3座橋梁試驗，分別為台中東勢大橋、台中天福大橋與苗栗西湖大橋。

根據試驗結果，以下說明所建議的臺灣地區之移動式振動檢測模式，如圖2.29所示，詳細內容說明如下；圖中之流程除儀器準備外，其餘各流程均已整合為單一流程。

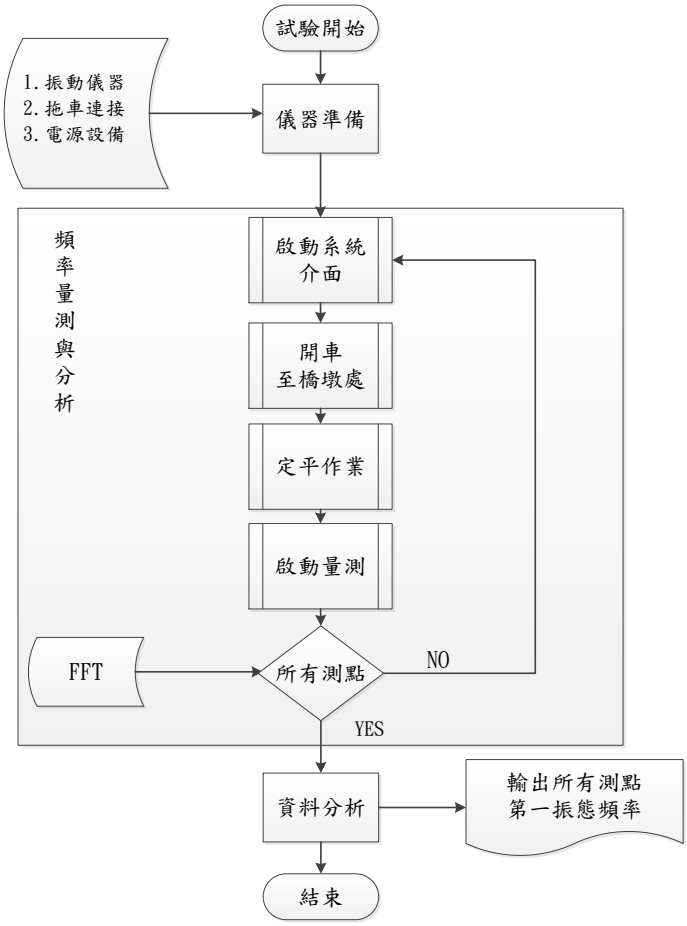


圖 2.29 臺灣地區建議之移動式振動檢測模式流程圖[25]

1.目的：此振動檢測模式旨在提供一個可以相對快速、經濟且正確地量測橋面版與橋墩之振動頻率(第一振態)。

2.移動式振動檢測之定義：本計畫所規畫之移動式振動檢測係指量測儀器(速度計)置於具移動性之拖車上，量測時，裝載儀器的拖車係靜止狀態(間接-有行車-靜止-未發動)，每次量測時間約 2 分鐘。

3.檢測流程：

(1)儀器準備：

<1.1>振動儀器：建議使用速度計作為量測儀器，且其可量測範圍至少應為±2 kine (±0.02 m/s)；以可同時取得三個方向之歷時振動之儀器為優先考量。

<1.2>拖車設計：托車之自然振動頻率不宜介於 2.0Hz-8Hz 之間、

且其各向(x 與 y 方向)之阻尼比不宜大於 5%，上述托車之結構性能可以由自由振動之歷時反應取得。

<1.3>電源設備：必須確保現場量測時筆記型電腦及速度計之電源無虞，不建議採用汽車之電力，以蓄電池(如電匠)提供電力較為理想。

<1.4>儀器測試：現場試驗前，各儀器(如筆電及速度計)應先整合並測試是否可以正常讀取振動訊息。

(2)頻率量測流程：

<2.1>將儀器固定於托車上

<2.2>將拖車固定於具移動性之車輛上

<2.3>整合各項儀器

<2.4>以汽車將拖車與量測儀器運送至某一橋墩上方

<2.5>進行訊號收集

<2.6>重複<2.4>至<2.5>直至每個橋墩與橋面版已完成資料之收集與分析 (每筆兩分鐘)，量測資料之分析工作將於收集資料完畢時同步進行。

此計畫共進行6種不同橋梁頻率之量測方式:

1. 儀器(速度計)直接置於橋面版上，橋梁上無任何行車。
2. 儀器(速度計)直接置於橋面版上，橋梁上行車正常。
3. 儀器(速度計)置於小拖車上，汽車靜止未發動，橋梁上無任何行車。
4. 儀器(速度計)置於小拖車上，汽車靜止未發動，橋梁上行車正常。
5. 儀器(速度計)置於小拖車上，汽車靜止但發動，橋梁上行車正常。
6. 儀器(速度計)置於小拖車上，汽車已 10km/hour 等速前進，橋梁上行車正常。

評估的結果係建議採用方式4或方式5的量測方式，理由說明如下：移動式量測法(方式1~方式2)的優點為機動性佳、儀器可以設置於車上

不須搬動，滿足利用單一儀器快速量測多個橋梁的目的，缺點則有量測結果受路面粗糙度、車速影響過大，且行車經過收縮縫時(通常即為橋墩正上方)，路面不平經常造成巨大的振動，因此，欲藉由行車經過橋墩上方時所取得之極短的振動訊號，且經常伴有巨大的非預期振動來源，正確判讀出橋墩頻率的困難度過高，故上述量測方式不列入建議。

非直接量測法(方式4或5)，相較於移動式量測法，缺點為機動性稍不理想(因試驗車輛必須短暫停止且需定平)，需時較移動式量測法稍久，優點則為儀器設置於車上，不須搬動，具有相當程度的機動性，經檢查上述兩個量測方式之結果，以方式4的結果較為理想，故為建議之振動檢測模式。

根據所量測之振動頻率(第一振態)，工程師可以針對同一座橋梁之振動頻率進行洪水前後或地震發生前後進行比較，若欲將比較的結果作為封橋與否的參考，尚須界定明確的臨界值，災害前後之頻率比值如下所示：

$$R = \frac{f_{ma}}{f_{mb}} \quad \text{.....(2.11)}$$

其中，f_{ma}為災害後橋墩的量測震動頻率(第一振態)，f_{mb}為災害前橋墩的量測震動頻率(第一振態)，R為兩者之比值。若$R < R_c$則應考慮進行封橋，R_c定義如下：

$$R_c = \frac{f_{aa}}{f_{ab}} \quad \text{..... (2.12)}$$

其中，f_{aa}為橋墩受損後的振動頻率(第一振態)，f_{ab}為橋墩受損前的振動頻率(第一振態)。受損之定義為某一橋梁的結構狀態對等於側推分析中A_y或A_c的結構狀態，亦即，當任一橋梁抵抗橫向力的能力等於該橋梁降伏(A_y)或崩塌(A_c)時抵抗橫向力的能力時，視為受損狀態。過程中「安全臨界頻率比值」之計算受到橋梁是否已達極限受損狀態而定，必須經由橋梁側推分析才能得到，故評估所需要之輸入包含側推分析參數(表2-4)及現地量測振動頻率(第一振態)資料。

第三章　TRENDS系統架構與模組功能分析

有鑑於台灣天然災害頻傳，計畫團隊於92年起投入防災研究領域，冀望以導入資訊科技改善既有防救災機制，並徹底檢討現有防災體系，提升災情通報效率，減少災情擴大。計畫團隊於94年首度導入智慧代理人概念開發資訊交換平台，94、95年交通部運輸研究所委託研究計畫「交通工程防災預警系統建立之研究」[16]所開發之「災害預警資料交換機」申請專利，並技術移轉運輸研究所港灣技術研究中心，作為「公路防救災決策支援系統」[2]與「跨河橋梁安全預警系統」[3]二計畫之核心，提供資料交換平台，整合災害上、中、下游資訊，並整合歷年成果(如下表3-1)建置『臺灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention System，TRENDS)』。

表 3-1 TRENDS 發展歷程

No	年度	計畫名稱	主持人	災害類別	參與團隊			本團隊參與說明
1	94-95	交通工程防災預警系統建立之研究	台科大鄭明淵	土石流預警通報	台科大	營建系	鄭明淵 呂守陞	交通部運輸研究所委託之計畫案於 95、96 年獲優良獎，鄭明淵教授擔任計畫主持人，創新導入「智慧代理人」，發展「**災害預警資料交換機**」，研究團隊整合共計兩校、國家地震中心與台灣營建研究院之研究資源。其中計畫主持人、協同主持人等九名，研究人員 18 人。
				地震潛勢	國家地震中心 台科大 台科大	- 營建系 營建系	葉錦勳 陳生金 鄭　蘩	
				洪水沖刷	國家地震中心	-	林詠彬	
				材料劣化	台科大	營建系	黃慶東	
				防救體系	臺灣營建研究院	-	林主潔	
2	96-99	公路防救災決策支援系統建立之研究	台科大鄭明淵	地震潛勢 洪水土石流 預警通報	台科大	營建系	鄭明淵	延續前一計畫案，納入**土石流、道路邊坡預警**、替代道路規劃與救災資源指派，即時統整各項道路通阻資訊，動態規劃替代道路與救災資源，提供人員快速執行救災任務**(運研所佳作獎)** 。
					清雲科大	土木系	蔡明修	
				邊坡崩塌	台科大	營建系	廖洪鈞	
3	99-100	跨河橋梁安全預警系統之建立研究與整合作業	台科大鄭明淵	洪水沖刷 預警通報	台科大	營建系	鄭明淵	交通部運輸研究所所委託，鄭明淵教授擔任計畫主持人，研究內容須整合 8 校、中興工程顧問、中華顧問及國家地震中心之研究成果。此整合計畫研究領域橫跨了水理分析、風險評估、檢測評估、材料、法規及資料調查與監測等領域，進行災害潛勢分析。
					淡江大學	土木系	蔡明修	
				一維水理	成功大學	水利及海洋工程學系	游保杉	
				二維水理	中興工程顧問	-	廖哲民	
				安全評估	海洋大學	河海工程系	林三賢	
				檢測規範	中華顧問工程司	-	王仲宇	
				橋河資料	高雄應用科大	土木系	李良輝	
				保護工法	逢甲大學	水利系	廖清標	
				橋墩材料	海洋大學	材料所	楊仲家	
				保護工規範	台科大	研發中心	李維峰	
				災因分析	中興大學	土木系	蔡清標	
				監測儀器	中原大學	土木系	張達德	

No	年度	計畫名稱	主持人	災害類別	參與團隊			本團隊參與說明
				監測儀器	國震中心	-	張國鎮	
4	99-100	橋梁通阻檢測分析模式建立之研究	台科大鄭明淵	材料劣化	台科大	營建系	邱建國	應用所發展之 AI 推論模式學習橋梁耐震影響因子(輸入)與降伏加速度與破壞加速度(輸出)對應關係，快速**評估全台灣 2590 座橋梁耐震潛勢**。**(103 年土木水利工程學刊論文獎)**。
				地震簡易側推分析	台科大	營建系	歐昱辰	
				AI 推論潛勢	台科大	營建系	鄭明淵	
				振動分析	台科大	營建系	廖國偉	
5	100	蘇花公路 115.9K 邊坡崩塌監測預警模式之建立研究	逢甲洪本善	預警通報	台科大	營建系	鄭明淵	有鑑於蘇花 115.9K 突發性崩塌之災難，應用**資料交換平台**整合氣象局降雨預報、現場 GPS 監測與雨量計作為自動通報機制之啟動門檻，防止邊坡崩塌。
				降雨預測	成功大學	水利及海洋工程學系	游保杉	
				邊坡崩塌	逢甲大學	GIS 中心	方耀民	
6	101-102	跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理	台科大鄭明淵	預警通報	台科大	營建系	鄭明淵	本研究將跨河橋梁預警範圍擴展至大甲溪石岡壩上游至馬鞍壩。同時，藉由颱洪期資料持續修正大甲溪流域預測及預警模式，並與公路總局通報機制整合。
				二維水理	中興工程顧問	-	廖哲民	
				安全評估	海洋大學	河海工程系	林三賢	
7	102	移動式橋梁振動檢測及訊號分析與傳輸通報系統	台科大鄭明淵	系統整合	台科大	營建系	鄭明淵	於各橋梁設置振動頻率量測儀器，在有限的時間與經費下並不可行。本研究將儀器裝置於車輛中，取得橋梁之振動頻率分析結果作為橋梁開放通行或封閉之建議。
				振動分析	台科大	營建系	廖國偉	
8	101-103	橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發	台科大鄭明淵、邱建國	維護策略	台科大	營建系	鄭明淵	應用風險期望值觀念，提出可視與不可視風險指標與評估模式。發展創新最佳化搜尋方法-生物共生演算法，搜尋橋梁生命週期最適維護時機與成本，供擬定最適維護策略之參考。**(營管協會論文優等獎) (104 年土木水利工程學刊論文獎)**。
				材料劣化	台科大	營建系	邱建國	
9	104	橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(1/2)	台科大鄭明淵	系統整合	台科大	營建系	鄭明淵	藉由縮小尺寸模型驗證移動式振動量測方式之可行性，並以人工智慧推論各橋梁通阻之臨界頻率值，作為橋梁開放通行或封閉之建議。
				振動分析	台科大	營建系	廖國偉	

計畫執行過程中TRENDS在地震、洪水沖刷與邊坡方面皆有應用之成效，其中(a)地震方面:應用AI推論公總全台五區工程處共33個工務段2590座橋梁之耐震潛勢，並進行預警通報。地震發生後，TRENDS會自動擷取氣象局發布之地震資料，即時分析橋梁地震破壞潛勢，以e-mail及簡訊方式通報相關人員。目前於公路總局及五區工程處已採用，通報名單包括:交通部主任祕書1人；公路總局副總工程師1人、防災中心1人、道工科科長1人及五區處橋檢對口人員5人與工務段段長、副段長63人，橋檢工程師33人；運輸研究所運計組組長1人；港研中心主任1人、科長1人及研究員1人；國防部空軍戰術管制聯隊11人，總計123名，內容包括轄下超出預警值之橋梁及破壞機率排序，作為管理單位第一時間至現場勘查之參考。在2013/6/2所發生規模6.2地震中，有效發布綠水和舊東光2座橋梁危險警訊，供管理單位決定優先檢測順序之參考依據。

(b)洪水沖刷方面:交通部運研所目前已將TRENDS應用在公路總局大甲溪跨河橋梁預警通報，未來擬推廣應用至全台。

(c)邊坡方面:(i)提供第四區工程處蘇花公路豪大雨與邊坡位移通報預警，已在4次豪大雨事件中發揮功效(2011/08/04、08/27，2012/06/19、06/28)，提早發布通知，供段長封閉道路決策之依據，避免災情擴大傷及人命。(ii)提供蘇花公路115.9K國防部空軍戰術管制聯隊之邊坡位移預警。

以下針對TRENDS系統之系統架構與模組功能進行分析，以釐清系統模組功能資料更新、提升精確度與驗證之可行性。

3.1 TRENDS系統架構

TRENDS架構分為資料交換平台、資料庫與預警通報機制等。並以1.易於進行資料查詢及分析；2.提供橋梁基本、災害、監測資訊；3.GIS圖形介面等使用需求進行系統規劃(圖3.1)。

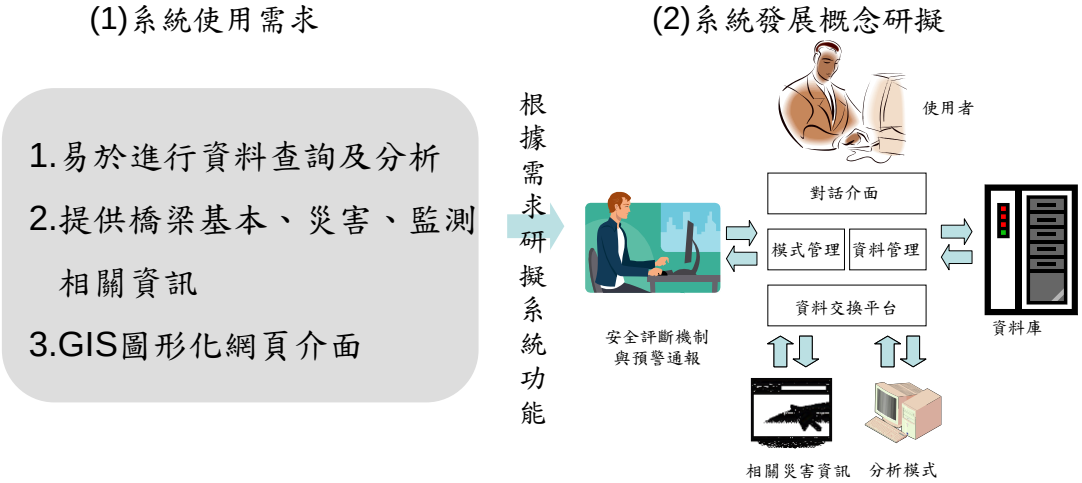


圖 3.1 TRENDS 系統概念

1.資料交換平台：應用港研中心「交通工程防災預警系統建立之研究」中所建置之「災害預警資料交換機」，建置資料交換平台，統整各項資訊。透過通報機制，於洪水災害發生時，第一時間收集監測資料與災害分析研判，並將結果即時透過各項通訊管道(手機簡訊與E-mail等)回報災情與範圍，提升救災效率，減少災情之損失與避免人員之傷亡。

2.資料庫：為了解決各介面整合與資源共享等問題，因此此階段將根據資料倉儲理念進行資源整合，研究資源項目包含GIS圖層、儀器監測值、氣象報告、水文資料、橋梁基本資料、橋梁耐洪安全評斷標準等資訊。

3.預警通報機制：最後，本研究為了能立即掌握即時橋梁安全情況，並提供災時工程人員應變、決策及通報的機制，將應用災害預警資料交換機即時收集災情資訊與安全評估結果，一旦橋梁到達設定之警戒值時，系統將以主動及被動兩種方式與公路總局通報機制進行整合。

如圖3.2所示，系統中各個模式以模式庫方式呈現，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。

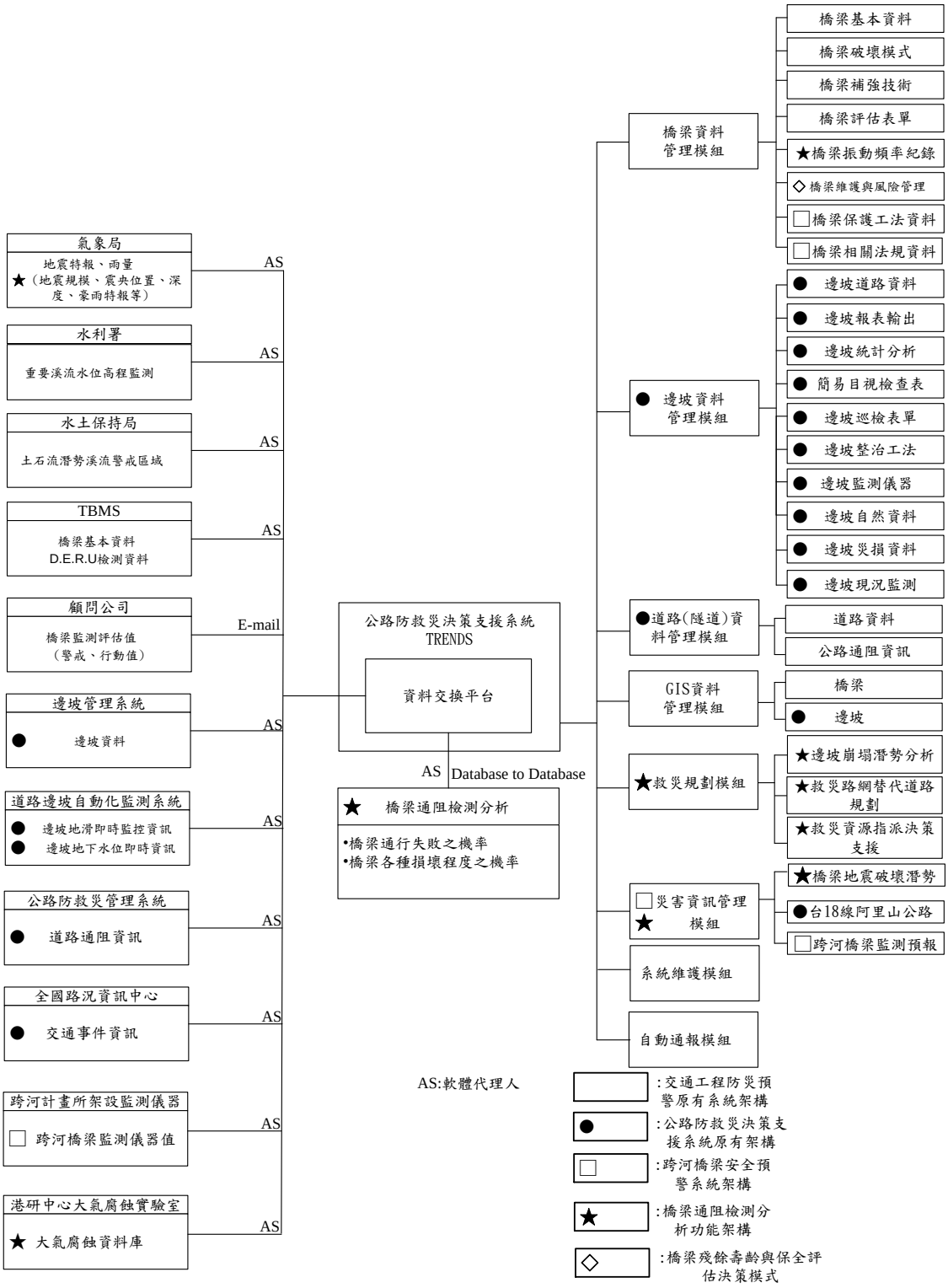


圖 3.2 TRENDS 系統模組

圖3.2中圓形、方形、星形與棱形記號分別代表TRENDS整合不同計畫成果，各模式之說明如下:

(1)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，以及橋梁破壞模式、橋梁補強技術、評估表單進行管理維護的功能。

(2)邊坡資料管理

邊坡資料管理部分主要提供使用者對邊坡基本資料、目視檢查表、巡檢表單、整治工法、監測儀器、災損資料進行管理維護的功能。

(3)道路（隧道）資料管理

道路（隧道）基本資料管理部分主要提供使用者對於道路工程資料進行管理維護的功能。

(4)GIS圖層資料管理

運用ArcGIS 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、邊坡災損等資訊。

(5)救災規劃

此模式運用各交通工程在不同自然環境與天然災害下可能發生破壞之潛勢及可能造成災損與風險值之計算結果，藉以搜尋替代道路最適行車路線之規劃，進而可應用於救災資源調派之功能。

(6)災害資訊管理

提供使用者對資料交換平台交換所得之災害資料進行查詢的功能，包含橋梁地震潛勢、跨河橋梁安全預警等。

(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。

(8)自動通報

此模式提供自動化的通報機制，藉由E-mail及手機簡訊給該橋梁或邊坡之管理單位人員，通知其儘速進行處理或調查。

3.2 TRENDS系統核心-資料交換平台

TRENDS將不同計畫成果內容彙整統合，然而不同計畫由不同單位執行，造成資料傳遞的困難且難以整合。為解決此問題，TRENDS中利用交通部運輸研究所-「交通工程防災預警系統」[16][17]一案所開發之資料交換平台為基礎進行資料彙整工作。資料交換平台由各個智慧型代理人組成，並根據任務項目不同，指派特定智慧型代理人定期執行任務，最後針對不同計畫資料輸出方式，將資料格式轉換為標準XML文件，供TRENDS系統使用。以下簡單介紹資料交換平台機制及流程。

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(Information Overload)，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，完成共同的目標。代理人主要特徵如下：(1)自發性:代理人程式被指派工作後，便不需人力介入其工作流程，便有獨立完成工作之能力；(2)社會性:各代理人之間能夠透過特定方式相互溝通、協調工作。並且具有與自然人互動之能力；(3)感知性:代理人會採取目標導向方式進行工作，並能夠感應外在環境變化對其目標之影響；(4)反應性:代理人能夠在環境改變之後做出適當反應；(5)移動性:代理人能夠攜帶所需資訊在不同電腦之間遷徙，並且能夠在不同電腦間作業；(6)脈絡連續:代理人被賦予工作後，便能夠掌握自身之程序或執行序以便完成整體任務；(7)適應性:代理人能透過判斷行為的結果進行學習，因此會隨著時間及環境的變化調整自己的狀態。

因此本計畫藉由軟體代理人間可相互溝通之特性，建立一多代理人之環境，協助資料傳遞工作。資料交換平台依運作範圍分為(一)既有系統連結與(二)新增系統連結，架構如圖3.3所示。

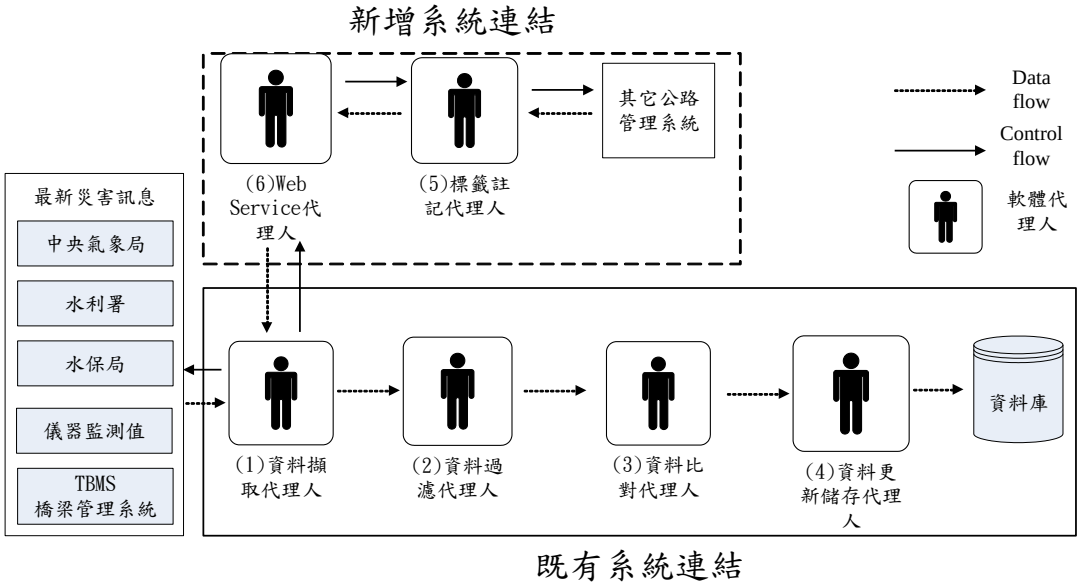


圖 3.3 軟體代理人架構圖

1.既有系統連結

既有系統連結中，資料交換平台由四個軟體代理人所組成，分別是(1)資料擷取代理人、(2)資料過濾代理人、(3)資料比對代理人及(4)資料更新儲存代理人。各代理人功能簡述如下：

(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。

除具有XML文件的資料交換，對於非XML文件的一般網頁，資料

交換平台會，加入另外兩個智慧型代理人於新增系統中(5)標籤註記代理人與(6)Web Service代理人，此兩個代理人能夠將非XML文件轉換為XML文件，以利資料交換平台運作，其說明如下。

2.新增系統連結

新增系統連結中，資料交換平台由(5)標籤註記代理人及(6) Web Service代理人所組成。新增系統網頁通常是以HTML標準撰寫，標簽註記方式較為自由，輸出表單以使用者可簡單閱讀為目的。但在此架構下，輸出網頁無法讓一些自動化軟體(如軟體代理人)所判讀，因此為了讓道路邊坡維護管理系統提供XML格式文件，此階段藉由標籤註記代理人先行對舊有系統網頁進行註記，在進行註記動作前，須針對該領域知識建置XML Schema資料庫，標籤註記理人可輔助使用者由資料庫選取合適標籤對資料欄位進行註解，以<tag></tag>方式在欄位左右處進行標記，使得網頁可以XML Schema格式進行資料輸出。Web Service代理人再根據需求，由網頁或是資料庫中，擷取資料建置Web Service功能。

(5)標籤註記代理人

主要功能是替原本無XML標準註記之系統網頁加入標籤，藉由標籤註記代理人由XML Schema資料庫中尋找合適之標籤加註於舊有系統產出文件中。其流程如下所示：

a.索取XML Schema 格式標準

由資料庫中索取事先定義之XML格式。

b.取得網頁html文件

經由網路連結取得目標網頁Html文件檔。

c.進行標籤註記

標籤註記理人產生標籤對原有資料欄位進行註記。

d.產生XML文件

根據標籤註記產生對應之XML文件。

(6)Web Service代理人

可將已加註標籤之網頁內容發佈為Web Service，在註冊服務器中登錄此模組功能服務，之後就可提供資料擷取代理人擷取其網頁內容。其流程如下所示：

a.取得XML文件

Web Service代理人藉由標簽註記代理人取得XML文件。

b.發佈服務

Web Service代理人提供符合XML格式之資訊。

3.3 TRENDS系統於各項災害之應用情境

以下分別依1.地震破壞潛勢評估、2.颱洪跨河橋梁安全預警、3.橋梁振動頻率檢測、4.道路邊坡災害預警及決策支援、5.橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合、6.橋梁保全評估與養護經費決策支援、7.自動通報機制等主題介紹TRENDS之主要功能。

3.3.1 地震破壞潛勢評估

地震破壞潛勢評估係整合「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」與「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究」兩研究案成果。為避免災害發生時，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，對現有橋梁進行全面檢測勢在必行。然而國內橋梁數量高達數萬座，若應用簡易評估方式以目視進行調查，雖然快速但其結果較不準確。如皆採用細部評估，其結果雖然較準確，但需耗費時間及成本，且僅能由具備專業經驗之人員評估，在有限經費與專業人力下，將無法對每座橋梁做詳細結構分析。若能針對同樣橋梁歷史案例找出簡易評估因子與細部評估Ay、Ac之映射關係，據此推論其他橋梁之Ay、Ac值，如此可求得在容許誤差內之Ay、Ac值，將大幅節省人力成本。

過去研究「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」與「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究」中，已針對公路總局「公路橋梁耐震

能力評估及補強工程可行性研究」中橋梁271筆細部評估結果，應用人工智慧推論模式透過案例(橋梁耐震能力評估結果)學習，找出輸入(簡易調查耐震能力影響因子)與輸出(Ay、Ac)之映射關係。最後，全台省縣道二千多座橋梁即可根據上述推論模式求得Ay與Ac值，繪製出地表震動影響下橋梁地震易損度曲線，並定義出不同地表震動下橋梁可能的損壞機率，其架構如圖3.4所示。

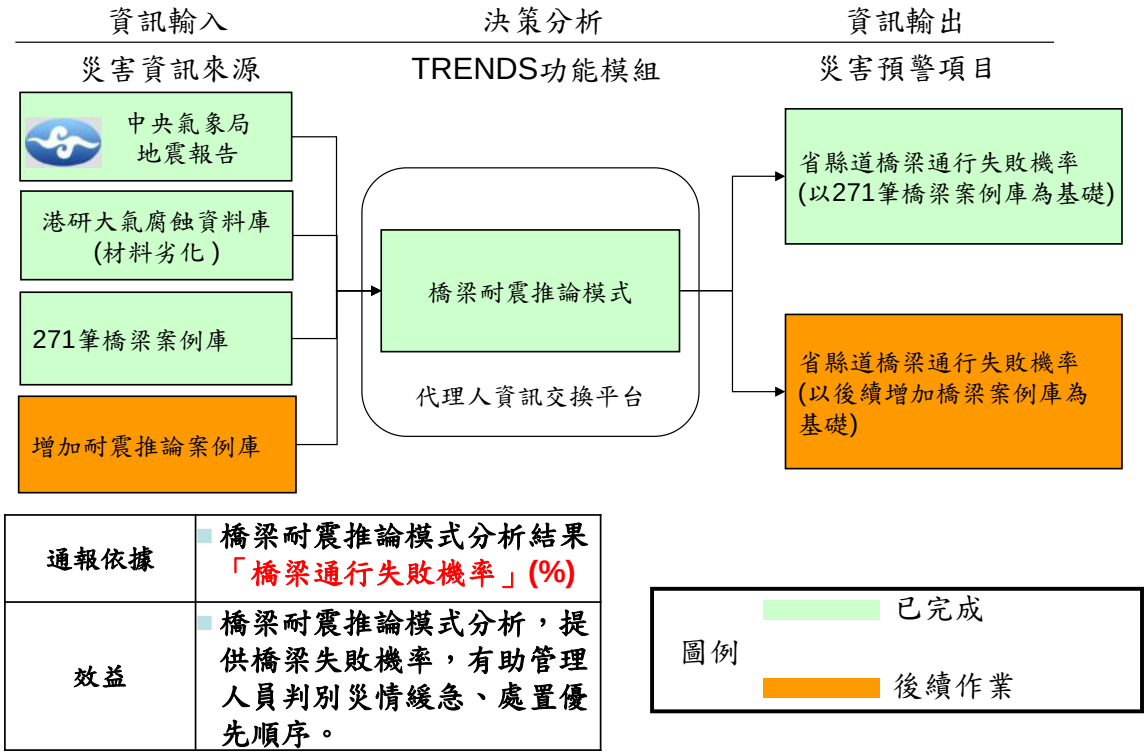


圖 3.4 地震破壞潛勢評估架構圖

如圖3.5，在災前可應用地表震動分析模式，模擬橋梁於不同地震強度下的安全等級，提供公路總局於災前能依照橋梁破壞潛勢分析結果，進行檢測與擬定維護優先順序策略。

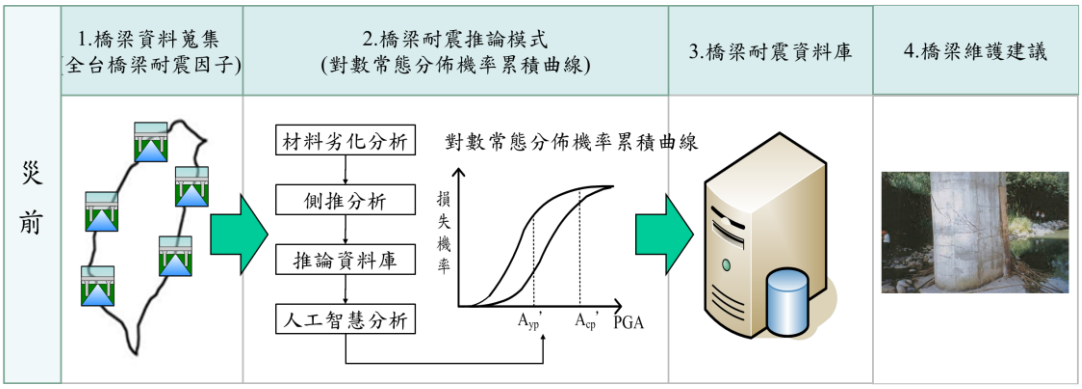


圖 3.5 災前地震破壞潛勢情境分析

如圖3.6，在災時可分別完成:

(1)迅速診斷橋梁安全程度及橋梁通行失敗機率(國內首度考慮材料劣化因素)。

(2)超過橋梁通行失敗機率門檻值時，系統自動啟動通報機制，降低災情傳遞時間落差。

(3)依損壞機率排出橋梁巡檢處置優先順序，使用者不須操作系統，以invisable computer之概念為運作理念，降低人為操作之行為。

(4)以簡訊方式通知橋梁管理人員。

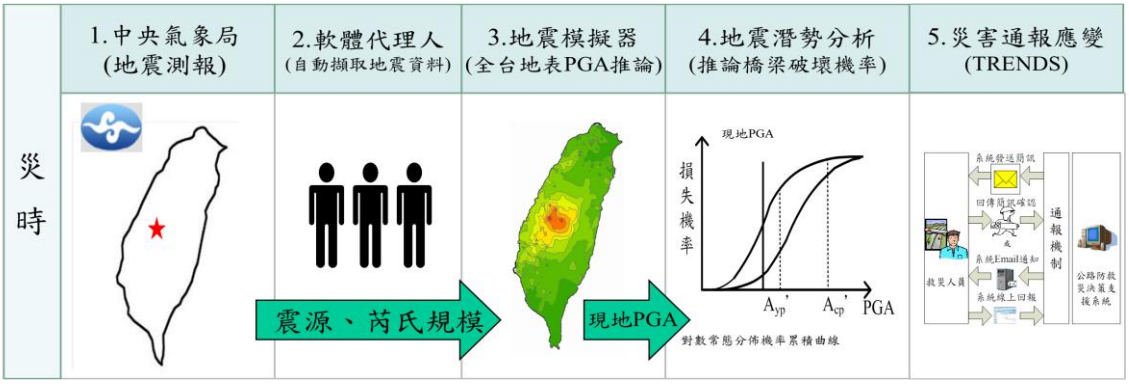


圖 3.6 災時地震破壞潛勢評估流程

此外，如圖3.7將橋梁之Ay訂為安全上限值與警戒下限值，橋梁之Ac訂為警戒上限值與危險下限值。本計畫預設超過安全上限值時為通報標準，超過安全上限值之橋梁再依每座橋之通行失敗機率大小作為震後橋梁管理人員巡檢之優先順序，橋梁管理人員可優先巡檢失敗機率較高之橋梁，避免用路人使用高破壞機率之橋梁並造成人員傷亡損失。

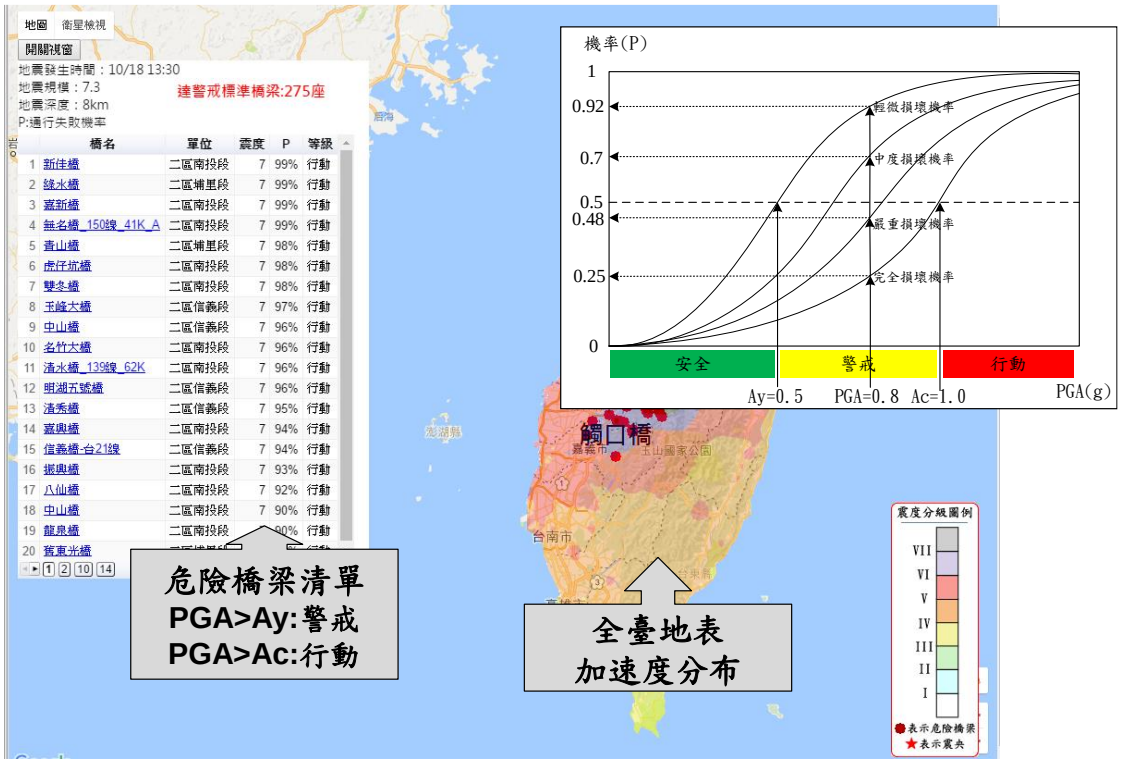
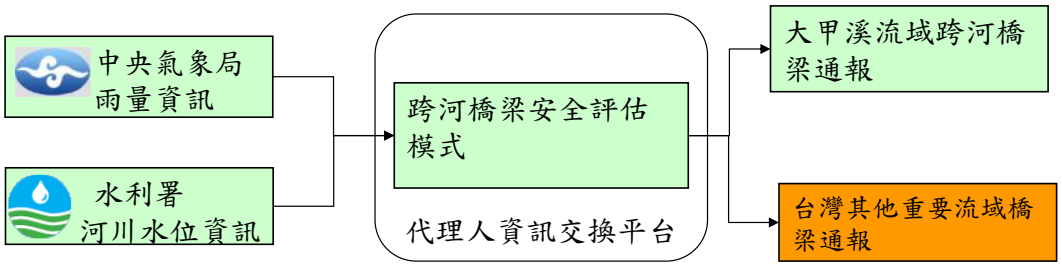


圖 3.7 地震破壞潛勢評估系統介面

3.3.2 颱洪跨河橋梁安全預警

颱洪跨河橋梁安全預警係整合「跨河橋梁安全預警系統之建立研究與整合作業」及「跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理」兩案成果，其架構如圖3.8。計畫由公路總局、國道高速公路局經費共同支應，並由運研所港研中心成立橋梁技術研發室，與國內各專業團隊進行合作研究，研究項目包括基本資料調查、橋梁損壞調查、水理分析、橋梁監測、耐洪安全評估、橋梁檢測、保護工法、規範檢討、工程材料、預警報系統及計畫整合等。此計畫係從一個河系上游、橋梁處的橋河共治區至下游，依整體河系做一個通盤全面性的研究，以達到先期預測、先期通報、先期預警的效果，並提供橋梁管理單位決策支援，減少汛時期所造成的傷害，保障用路人安全。



通報依據	■ 利用即時水位、流速、橋基沖刷深度等資料，推論出橋梁警戒值(FS=1.5)與行動值(FS=1.3)
效益	■ 在橋梁上游發生豪大雨時或水量過高時，管理人員可接收警戒訊息，於災害發生前到達現場進行處置。

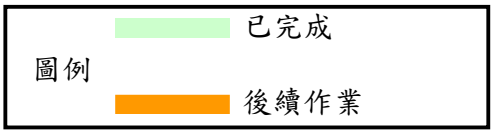


圖 3.8 颱洪跨河橋梁安全預警架構圖

計畫成果目前已應用於大甲溪流域跨河橋梁，並以河系管理預警之概念研發(圖3.9)，將同一河系（大甲溪）之跨河橋梁納入預警範圍，達有效快速預警之效能。本系統首先自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，再與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域之未來一小時之降雨強度，然後結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；據此再將橋梁材料結構特性納入考量，進行橋梁耐洪穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數，以作為即時及未來一小時橋梁預警之依據。另外，在重要橋梁則利用水理分析二維模式對各橋墩做較精確的計算及安全預警，最後再結合救災資源派遣與救災應變作業，形成一個完整的預警應變系統，運作流程皆已系統自動化(圖3.10、圖3.11)。本系統會自動分析計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位颱洪時決策支援，有利於爭取防災應變之黃金時間，提供用路人生命財產更多的保障。

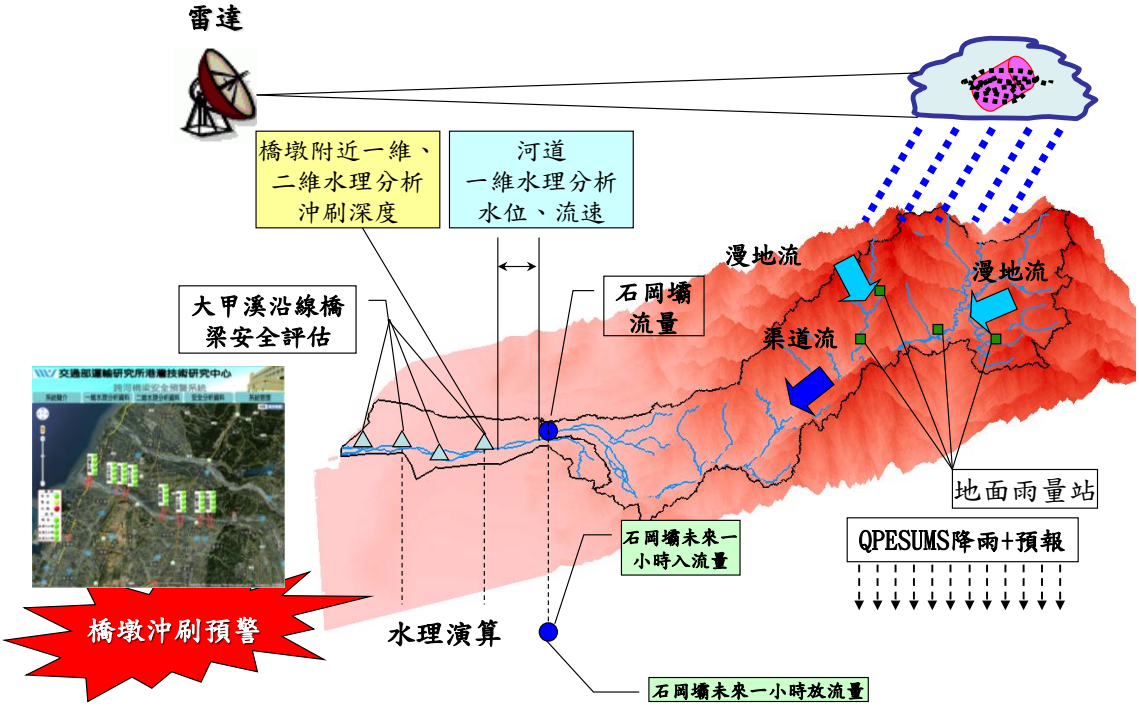


圖 3.9 大甲溪流域管理圖

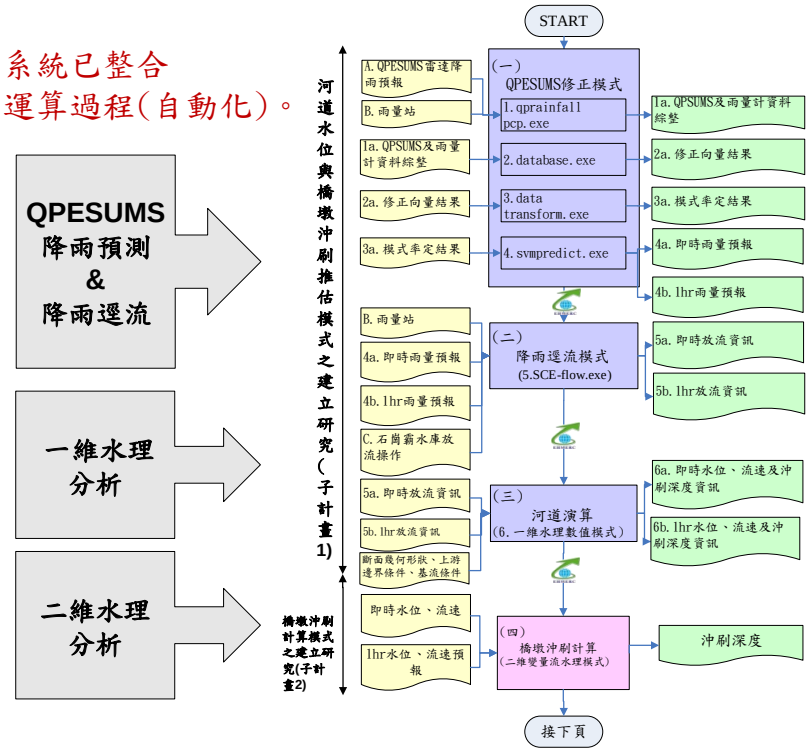


圖 3.10 跨河橋梁運作分析流程圖(1)

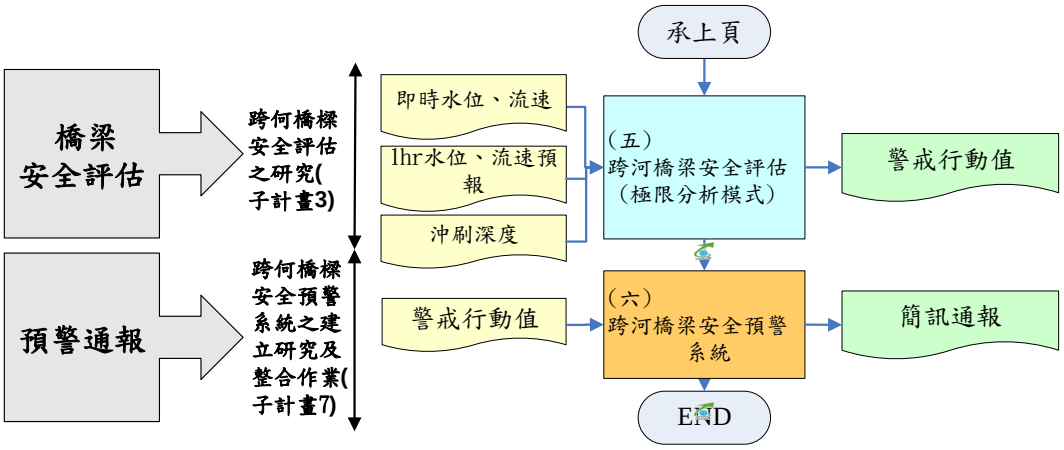


圖 3.11 跨河橋梁運作分析流程圖(2)

系統頁面如圖3.12所示，主要由系統簡介、颱風豪雨資料、一維水理分析資料、二維水理分析資料、安全分析資料與系統管理等六大模組組成;在主面頁上提供各橋梁的即時與未來1小時橋梁的安全狀況(當橋梁在「安全」狀態時顯示綠燈；達「預警」標準時顯示黃燈；達「警戒」標準時則顯示橘燈；達「行動」標準時則顯示紅燈)，點選各橋梁的標示可顯示即時、未來1~3小時等功能。計畫執行過程中於颱洪季節時持續維護系統之運作，並記錄過程中各項模式之輸入與輸出值數據，作為後續模式修改與驗證之用。並擴充系統維護管理模組，增加各項數據查核選項，提供模式預測與真實監測數據之比對功能，提升模式驗證之便利性，並保持系統穩定性及效能。

圖 3.12 跨河橋梁安全預警系統畫面

3.3.3 橋梁振動頻率檢測

橋梁振動頻率檢測係整合「移動式橋梁振動檢測及訊號分析與傳輸通報系統」與「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究」兩案成果。

台灣橋梁為連絡河流兩岸之重要交通工程設施，洪水淘刷河床之議題廣受各界關注；由於橋梁受損時其自然頻率會隨之降低，已有許多研究利用現地橋梁振動檢測對洪水前後之橋墩頻率變化率進行研究，冀藉由比較平時與災害後橋梁自然頻率的變化，作為判定橋梁安全與否之標準；鑑此，在種類眾多的橋梁檢測方式中，擬以自然振動頻率做為橋梁健康與否的初步指標。

為確保用路人行車安全與延長橋梁使用年限，對現有橋梁進行全面檢測勢在必行，然而，國內橋梁數量高達數萬座，若對所有橋梁進行傳統的自然振動頻率分析如逐一設置固定式頻率監測儀器(速度計)，所花費之成本可能過高。跨河橋梁之耐洪能力主要受到橋梁本身結構、河川環境、水文條件與河岸防護措施等眾多因素之影響，為一個跨領域的複雜問題。因此，完整的評估分析通常需要藉助歷年水文資料的收集與統計分析、橋體非破壞性檢測評估與沖刷深度的丈量或計算等不同領域的整合使能完成，其分析過程通常十分耗時，在有限的時間與經費的條件下，若欲對大量的橋梁進行詳細評估，顯然有執行上的困難。

許多學者均注意到若橋基受到嚴重的沖刷，橋墩的振動頻率將隨之下降；例如李維峰與陳正興(2009)嘗試從頻率的下降程度診斷出結構是否安全或結構破壞的原因。不過，多數研究採取直接量測法且缺乏定量的評估流程。所謂直接量測法係指將量測儀器安裝於橋梁之上，直接讀取橋梁的振動頻率，然而，台灣地區之橋梁數量高達數萬座，逐一設置固定式頻率監測儀器之成本可能過高，實際上並不可行。

計畫案所提出以非直接量測法取得橋梁振動頻率，所謂的非直接量測法係指將量測儀器裝置於具有行動能力的車輛中，藉由量測的結果求得橋梁之振動特性。非直接量測法主要的優點為其機動性與經濟性，因為此法可於車輛行進中或車輛靜止時讀取資料，且僅需單一儀器

便可量測數個測點的資料。如圖3.13與圖3.14所示，分別於地震前後與洪水前後利用非直接量測法所取得之平時與災害過後振動特性的變化，作為判定橋梁安全與否之標準，如圖3.15以能快速且簡便提供公路主管機關對於封橋之路段災後是否開放通車之決策參考。

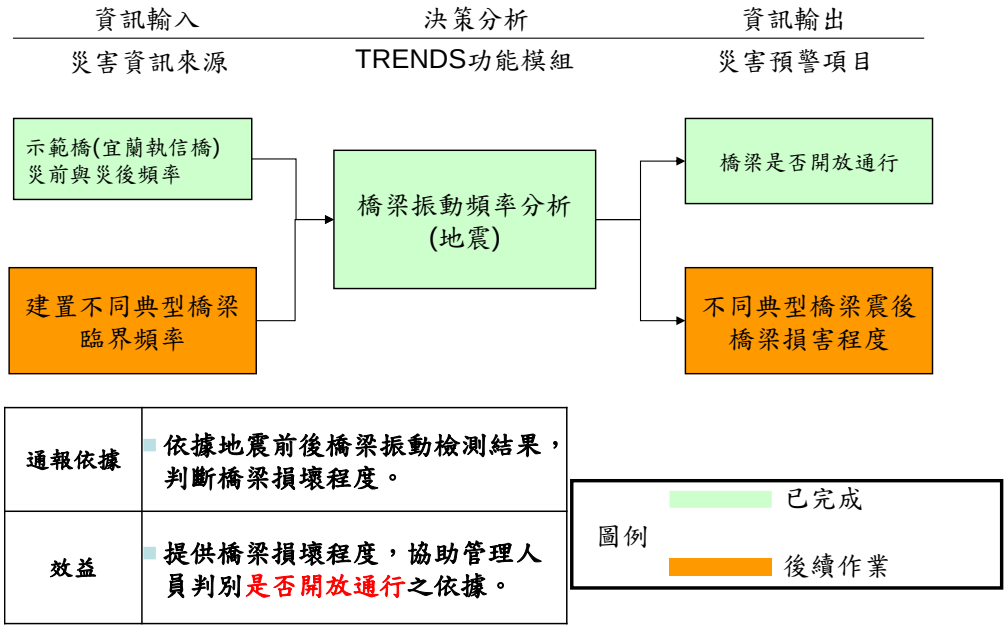


圖 3.13 橋梁地震前後振動頻率量測

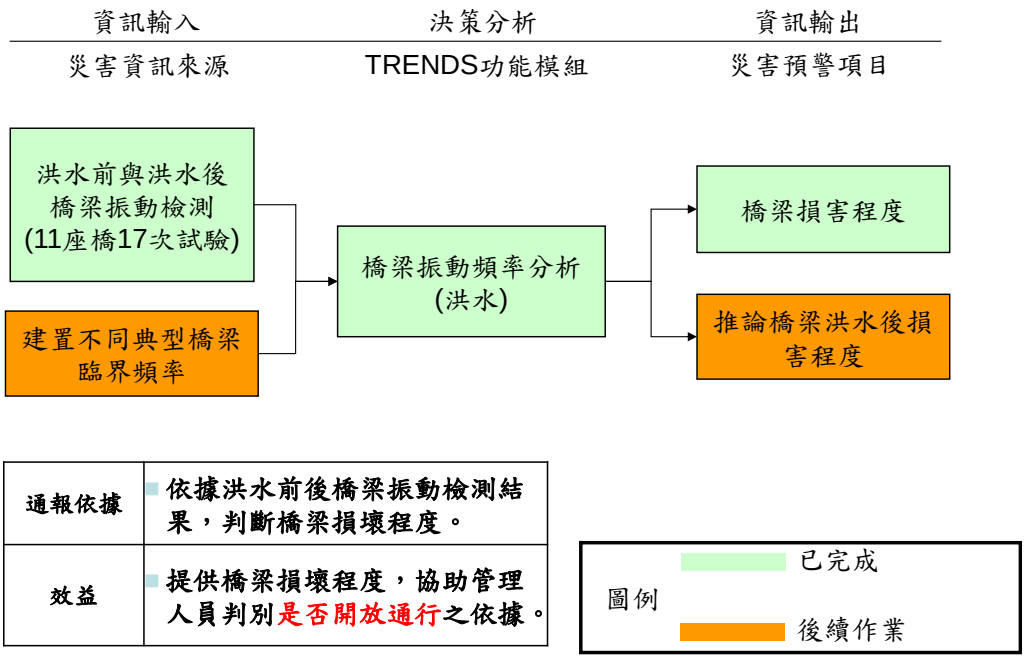


圖 3.14 橋梁洪水前後振動頻率量測

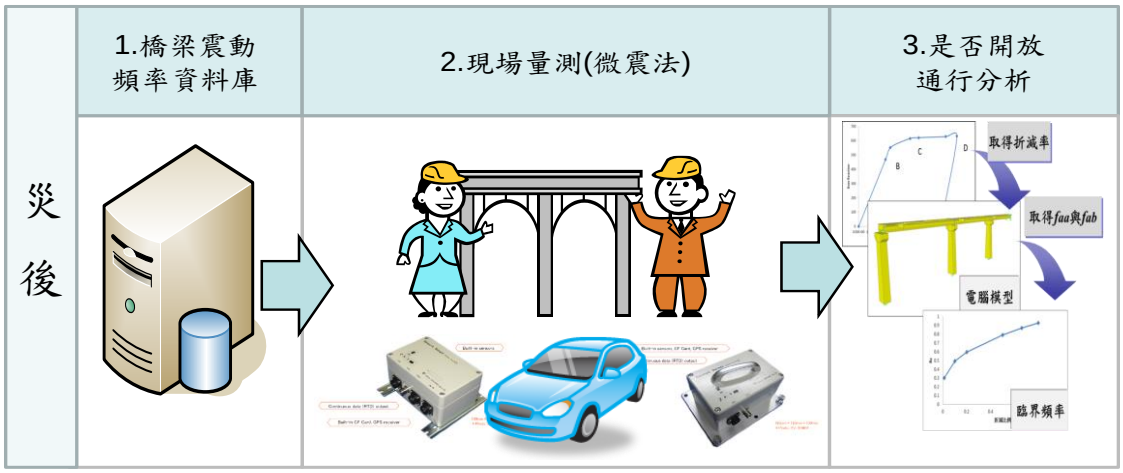


圖 3.15 橋梁振動頻率分析流程

3.3.4 道路邊坡災害預警及決策支援

道路邊坡災害預警及決策支援為整合「蘇花公路115.9K邊坡崩塌監測預警模式之建立研究」與「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發」等邊坡研究案成果。如圖3.16所示。此計畫承辦單位為聚禾工程顧問有限公司[5]，計畫中以集水區坡面為分析單元，結合環境地質敏感區概念，依據地形、地質與災害特性，進行山區易致災路段劃分。同時進行山崩目錄置、重大災例蒐集與大規模山崩判釋等方式建置災害區位，並分析其災害潛因（水文、地形與地質），透過證據權法進行山崩潛勢分析，並結合誘因（降雨）分析，進行災害危害度與損失程度分析，建立山區道路災害風險分析模式。

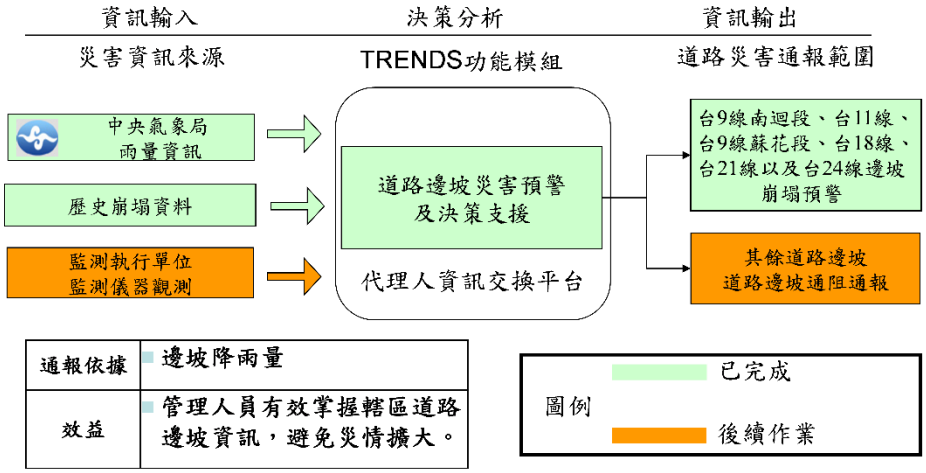


圖 3.16 道路邊坡災害預警及決策支援架構圖

計畫中以多次封路資料路段之分析方法，如圖3.17所示，根據相關歷史紀錄，區分其主要封閉原因為路基流失、邊坡坍方、土石堆積、落石、淹水、預警性封閉或其他等。將與降雨較無關之封閉原因刪除，如落石或預警性封閉。選取離受災路段最近之雨量站，分析災害發生時之雨量資料。最後，根據雨量參數分析結果，分別將發生可能性30%和50%之降雨值訂定為降雨基準值上下限。

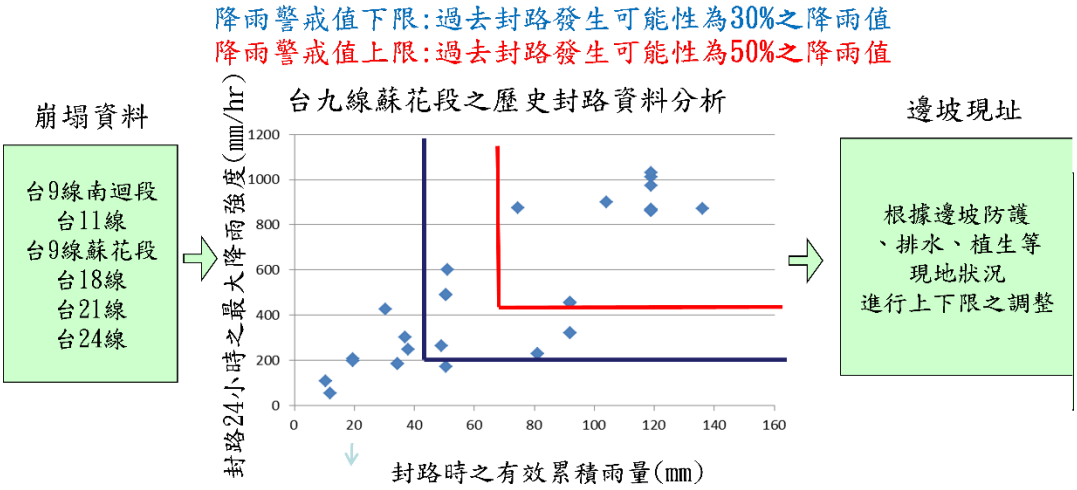


圖 3.17 多次封路資料路段分析方法圖

系統功能分為計畫背景、監控圖台、事件紀錄、資料查詢、預判評估、道路定位與評估類型等(圖3.18)。

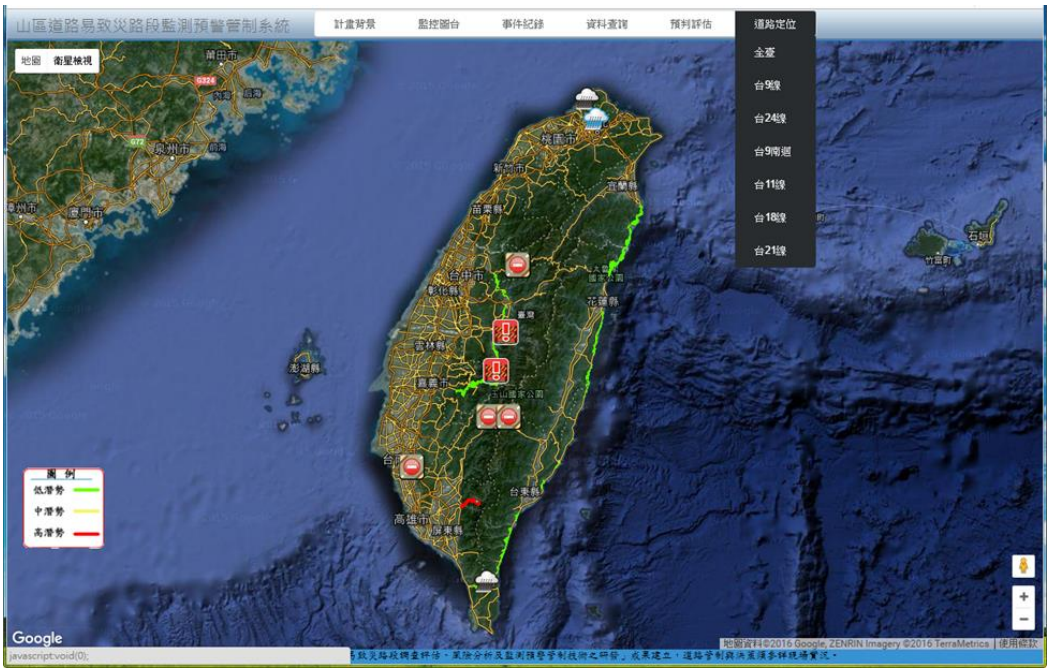


圖 3.18 山區道路邊坡系統畫面

3.3.5 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合

此功能為本計畫「公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證」去年度與今年度之成果。

考量臺灣多山多河的地理特性，使得橋梁成為連結陸上交通的重要設施。而臺灣地震頻繁造成橋梁不同程度的損壞；另外每年颱風、豪雨造成洪水，淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，致使橋梁損壞；人為使用方面，亦有車輛超載加速橋梁劣化等問題。因此使用維護階段對橋梁進行能力評估並達到橋梁防災預警的目標已是刻不容緩。

目前若需進行橋梁耐震或耐洪評估需從設計階段所產出之橋梁設計圖說或計算書中，找出評估所需相關資料，經計算評估後擬定出橋梁之警戒值、行動值。由於上述圖說等資料多為電子圖檔保存，因此擷取這些資料時，必須以人為方式從中讀取資料重新記錄，而長時間過後，圖檔容易遺失或因圖檔解析不佳造成無法辨識資料，故此一資料蒐集並分析評估過程，耗費相當多的人力、時間且困難重重。因此，如圖3.19，在橋梁設計階段即將未來使用維護階段用來評估所需參數，以資料庫方式有系統地建置儲存，並發展一自動化分析評估系統(圖3.20)，提供作為防災預警之決策支援。

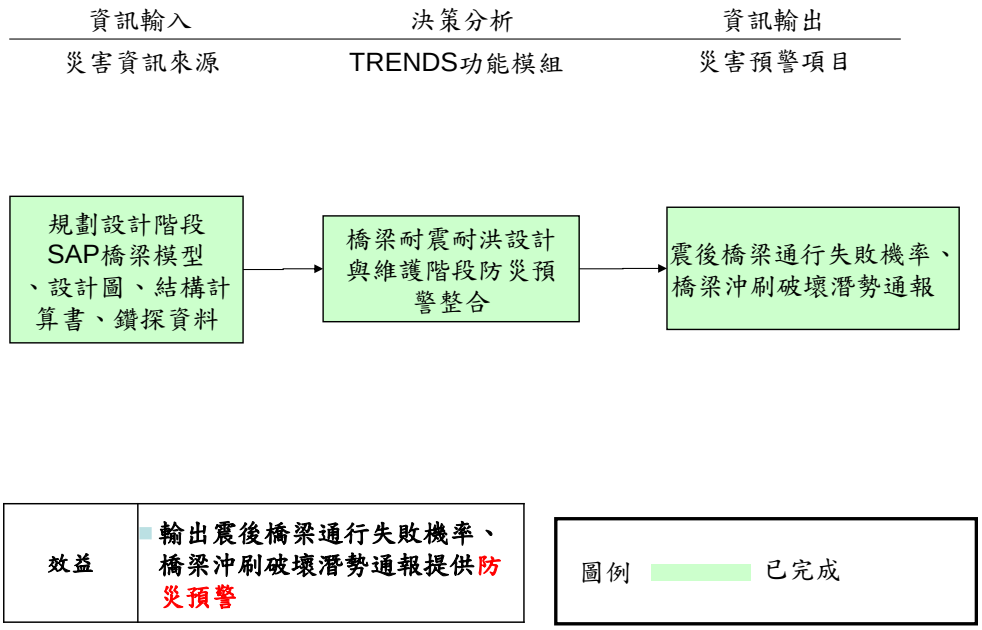
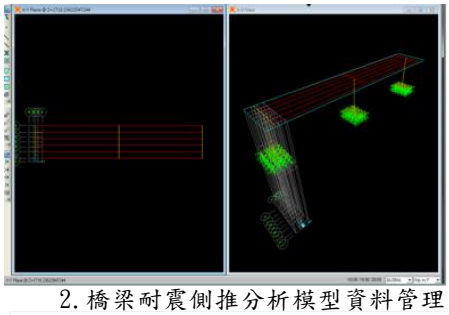
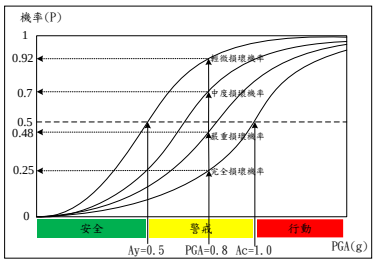


圖 3.19 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合圖

1. 地震側推分析、耐洪安全評估參數管理



2. 橋梁耐震側推分析模型資料管理



3. 橋梁耐震通行失敗機率計算(即時)

4. 橋梁耐洪安全評估計算(即時)

圖 3.20 橋樑耐震與耐洪自動化分析評估系統開發內容

3.3.6 橋梁保全評估與養護經費決策支援

此功能為結合「橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發」研究案成果。其動機為台灣受季風氣候影響及位處地震帶，因此颱風與地震頻傳，橋梁飽受各種天然災害侵害，如地震、颱風及材料劣化等，橋梁往往須於其壽齡內花上大筆費用進行維護補強工作，此外在人為使用方面，亦有車輛超載問題。如何從現有橋梁之健康度評估在不同時間點進行維護之延壽與經濟效益，考量公路橋梁管理單位維護經費限制下，如何將有限資源做最有效運用將是迫切的課題。因此，如圖3.21在考量公路橋梁管理單位在年度維護預算有限情形下，管理單位無法同時對所有橋梁進行全面檢測與修復之工作，工務段難以針對轄區內橋梁進行預算分配及維護成本估計，所以依不同橋梁現況有效投入成本進行維護與補強工作更顯重要。故將各橋梁損壞社會風險成本及公路管理單位年度維護預算限制等因子納入考量，應用群橋維護最佳化模式求得群橋生命週期內，與有限經費下之最適維護策略，達到最佳經濟效益，節省橋梁管理單位維護補強經費。

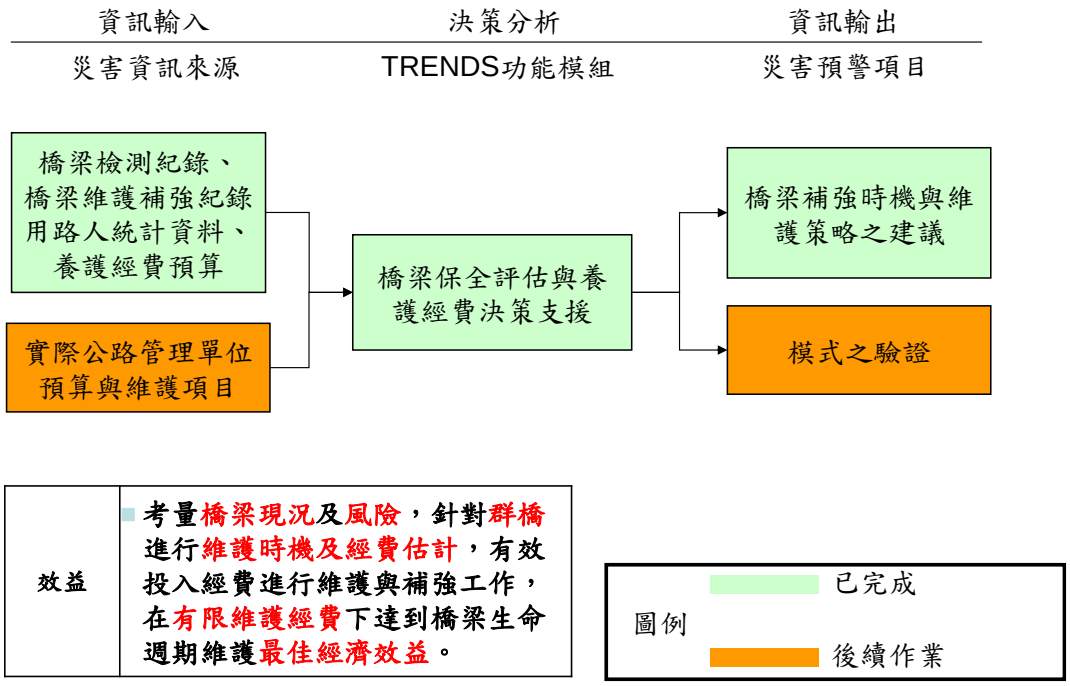


圖 3.21 橋梁保全評估與養護經費決策支援架構圖

如圖3.22所示，研究團隊首度提出可視(Visible)與不可視(潛勢)(Invisible)危害二風險類別，並將橋梁在維護或是斷橋風險下造成經濟損失之用路人成本納入考量，建立橋梁維護風險成本分析模式。可視危害部分主要考量元件老化風險因子，而不可視危害則包括洪水沖刷與地震二因子，然後應用風險期望值(風險成本)的觀念，分別計算各因子在橋梁生命週期內可能造成之損壞機率與維護成本，如圖3.23，再以兩者相乘積和，進一步建立群橋風險指標E(Cost)與評估模式。

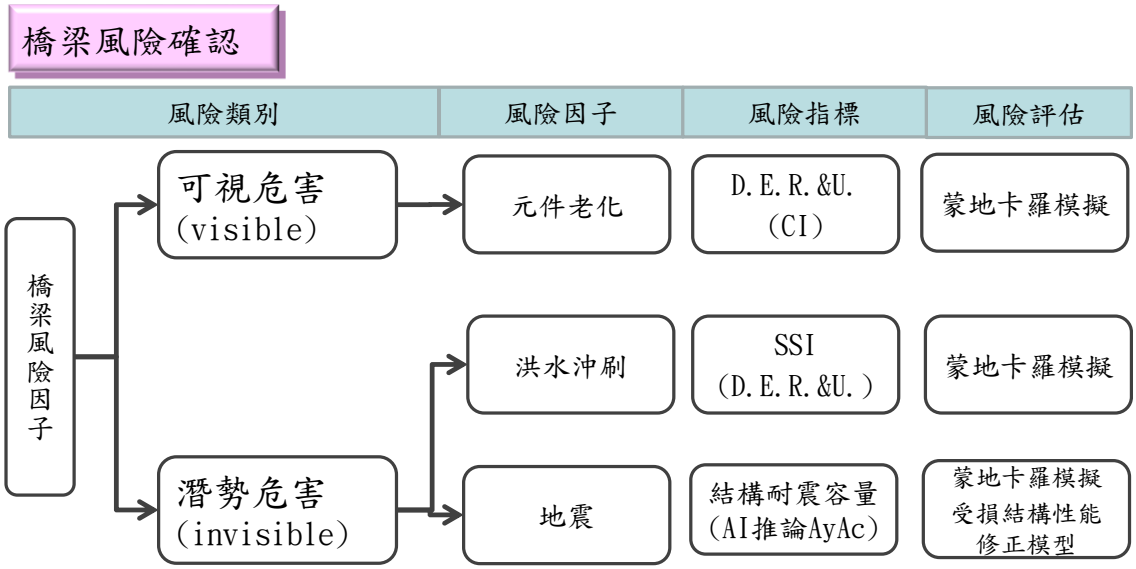


圖 3.22 橋梁風險架構圖

群橋成本維護最佳化模式E_B(Cost)

風險下維護成本　損害重建成本　用路人成本

$$E_{Bij}(Cost)= E(MC) + E(RC) + E(UC)$$

E_{Bij}(Cost): Bridges Expected Cost，為第i年第j座橋梁之風險期望成本 (j為同 一管理單位之橋梁)。

E(MC):Maintenance Cost，為風險下維護成本。

E(RC): Rebuilding Cost，為橋梁在未維修狀態下因地震或洪水損害造成之重建成本。

E(UC):User Cost，因災害發生，造成橋梁中斷完全改道或是維護部分改道之用路人成本。

圖 3.23 群橋維護成本最佳化目標式

如圖3.24所示，系統在橋梁管理單位有限維護預算下，搜尋群橋生命週期最佳維護時機與最小成本。在二十年橋梁的壽齡中，各橋梁在不同時機維護，其損壞機率與維護成本不同，所建立之群橋成本維護最佳化模式，以最佳化模式找出群橋生命週期總風險成本最低之維護組合，搜尋最佳化結果，使得群橋維護總成本最低，如此橋梁管理單位即可依此規劃長程群橋之維護策略，以便將有限資源做最有效運用。

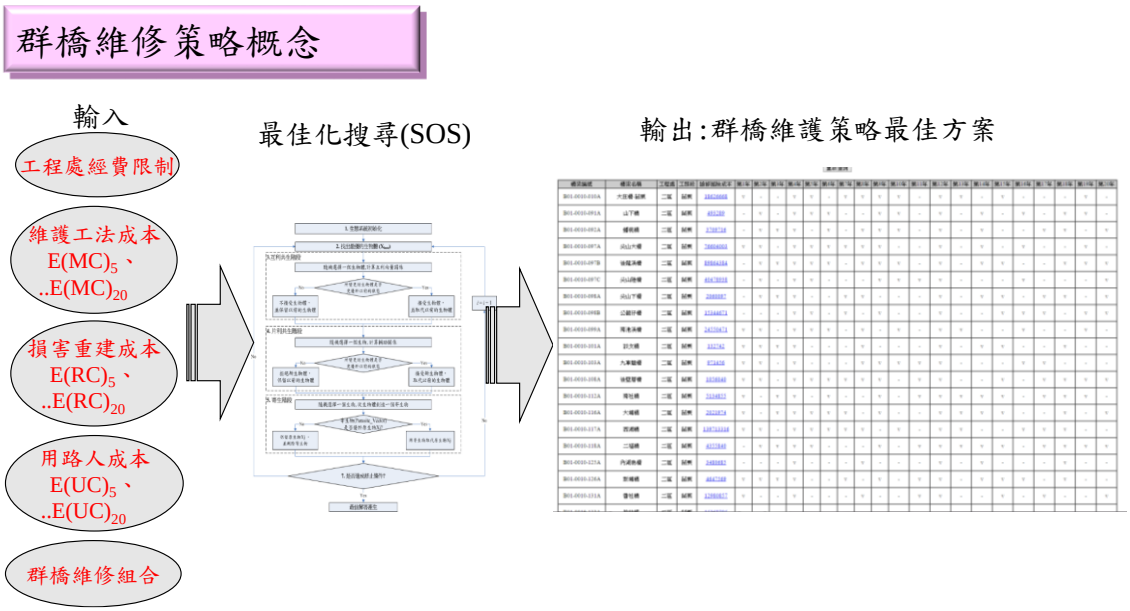


圖 3.24 群橋維護策略最佳方案

3.3.7 自動通報機制

系統中之自動通報機制由「公路防救災決策支援系統建立之研究」擬定。期望提供公路管理單位地震災害的決策輔助，讓公路管理單位面臨地震災害有所依據及參考，得以短時間做出最佳決策。TRENDS藉由災害處理通報流程，提升公路系統震後應變效能(包含橋梁巡查、封閉、替代道路規劃等），減輕不必要的生命財產損失。

如圖3.25中。當地震災害發生後，藉由資料交換平台擷取中央氣象局地震速報。「橋梁通阻檢測分析模組」則會自動啟動運作，將通行失敗機率大於50%橋梁列出，並建立異常狀況橋梁清單。接著，TRENDS自動啟動指派機制通知公路總局值班人員進行巡檢。巡檢人員接獲通報後，則至現場進行巡檢表單填寫並回傳系統。系統經評估若無危險則回復正常狀態，如具危險之橋梁後，通知段長核決後，採取緊急措施。

當採行緊急措施時，如圖3.26所示，實施指派相關人員進行通行管制，TRENDS則會執行替代道路規劃建議，提供段長參考。橋梁封橋管制後。上述通報機制在與公路總局連結通報訊息後，將以公路總局現行機制為優先。

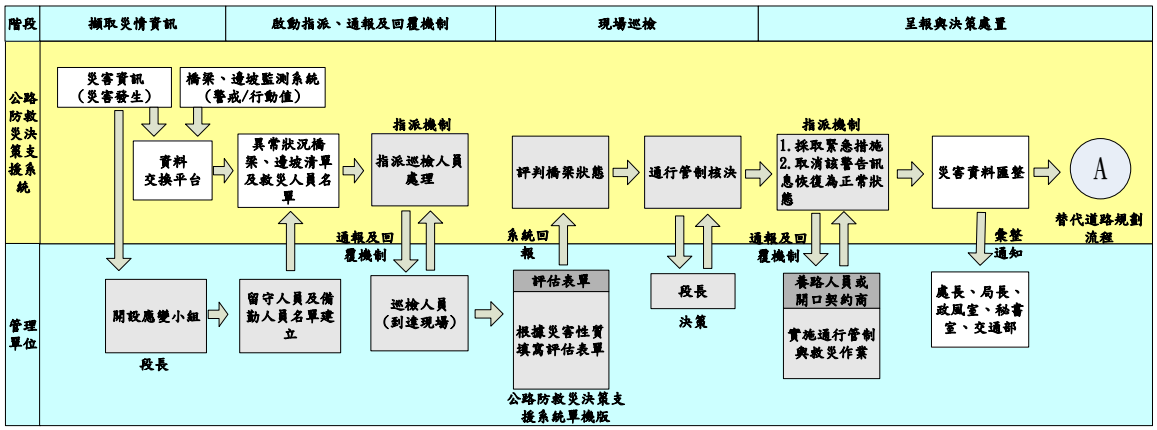


圖 3.25 自動通報機制圖(1)

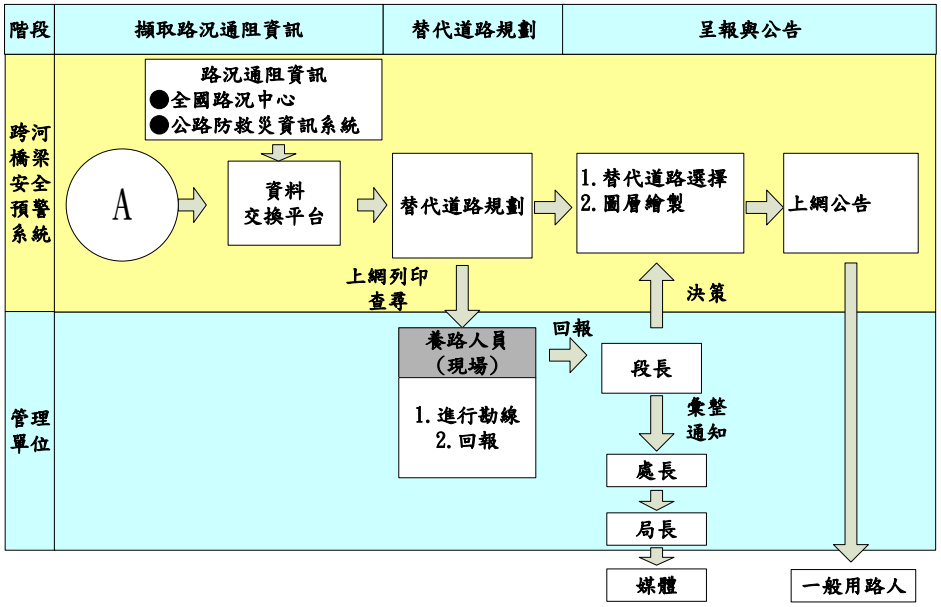


圖 3.26 自動通報機制圖(2)

3.4 TRENDS系統與國內其他系統比較

目前公路橋梁管理單位所使用之系統包含TBMS、公路防救災資訊系統(以下簡稱BOBE)、公路防救災 GIS 決策支援系統(以下簡稱TGIS)與TELES系統。各系統之目的與決策評估方法皆不同，以下用表格方式統整各系統與TRENDS間之差異比較，如表3-2所示。

表 3-2 TRENDS 與各系統比較

類別	系統名稱	TRENDS與各系統比較	
		同	異
基本資料	TBMS	TRENDS採用TBMS建置之基本資料進行後續分析。	1.TBMS目前所保留之基本資料作為耐震能力與耐洪能力評估之需求尚不足。 2.TRENDS系統納入規劃設計階段參數，並可自動化分析評估橋梁在耐震與耐洪之安全性，提供防災預警之決策支援。
地震災害	TELES	由橋梁之降伏加速度(Ay)與破壞加速度(Ac)計算求得各橋梁之通行失敗機率	1.TELES出發之角度為都市整體災害潛勢分析，故建築物、交通設施皆納入分析範圍。 2.TRENDS藉由人工智慧推論模式，並加入橋梁鋼筋材料劣化之因素，推論未進行詳細評估(側推分析)橋梁之耐震能力。經與TELES驗證比較可提升地震耐震能力推論值之準確性。
	TBMS	以橋梁所在地之震度為通報標準	1.TRENDS除了橋梁所在地震度以外，由橋梁之降伏加速度(Ay)與破壞加速度(Ac)計算求得各橋梁之通行失敗機率。
洪水災害	BOBE	接收中央氣象局 QPESUMS 雷達降雨預報資料。	1.BOBE以橋梁跟上游集水區雨量站之回歸關係式訂定雨量站門檻值。 2.TRENDS系統以大甲溪流域為例，從首先中央氣象局接收雷達降雨預報，接著進行集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度，然後，計算橋梁之耐洪安全係數作為即時未來一小時橋梁預警之依據。分析結果如超過警戒值，則自動啟動預警通報機制，提早通報橋梁管理單位，爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障。
	TGIS	以Google底圖為展示平台。	1.TGIS僅為圖資展示之平台，無分析功能，TRENDS之地震、洪水安全評估分析結果可作為TGIS圖資的來源。
道路邊坡	BOBE	跟據邊坡歷史崩塌紀錄訂定邊坡強降雨與累積降雨之門檻值。	1. BOBE依據過去崩塌紀錄擬定門檻值，並在每次豪雨事件後，開會檢討修正門檻值。 2.TRENDS根據歷史紀錄，分析災害發生時之雨量資料。最後，根據雨量參數分析結果，分別將發生可能性30%和50%之降雨值訂定為降雨基準值上下限。
維護策略	TBMS	TRENDS採用TBMS建置之DER&U巡檢紀錄進行後續分析。	1. TBMS僅記錄歷史DER&U巡檢紀錄未建議何時維護之方案。 2.TRENDS將分別探討橋梁可視(Visible)與不可視(潛勢)(Invisible)危害二風險類別，並將橋梁在維護或是斷橋風險下造成經濟損失之用路人成本納入考量，建立橋梁維護風險成本分析模式，可分別提出單橋或群橋維護策略。

第四章　TRENDS系統橋梁模組資料更新與驗證

4.1 跨河橋梁安全預警模組之精確度提升及驗證

跨河橋梁安全預警模組係以河系管理預警之概念進行研發，所涵蓋範圍除了包括100年之「跨河安全預警系統之建立研究及整合作業」橋梁外，並將大甲溪河系石岡壩至馬鞍壩範圍內公路總局轄管橋梁(東勢大橋與天福大橋)納入預警範圍。跨河橋梁預警系統會自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，在與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域未來一小時之降雨強度，再結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；然後考量橋梁材料結構特性，進行橋梁穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數做為即時及未來一小時橋梁預警之；另外，針對重要橋梁則利用二維水理分析模式對各橋墩做較精確的計算及安全預警，最後結合救災資源派遣與救災應變作業，建置一個完整的預警應變系統。本系統自動計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位，在颱洪時作決策支援，有利於爭取防災應變之黃金時間，給予用路人生命財產更多的保障，其架構如圖4.1所示。以下分別敘述各部份工作內容。

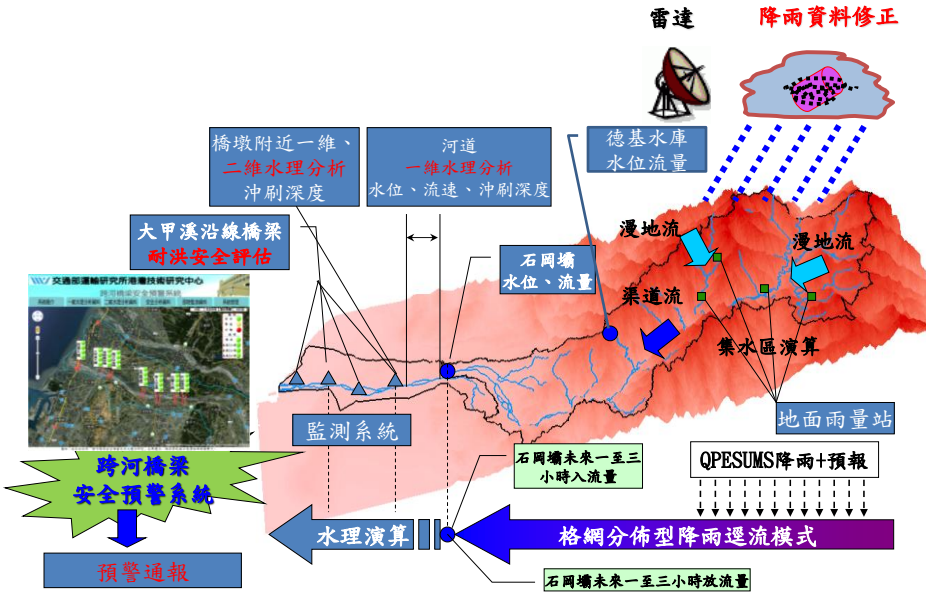


圖 4.1 颱洪災害跨河橋梁防災架構圖[3]

依圖4.1之架構，以下將分(a)降雨逕流與一維水理分析、(b)二維水理分析、(c)橋梁耐洪安全評估、(d)跨河橋梁安全預警、(e)資料更新、提升石岡壩放流量預測之精確度與資料驗證等五方面進行說明。

(a)降雨逕流與一維水理分析

此模組中整合成功大學團隊之一維水理分析成果，再結合中央氣象局雷達雨量預報、現場水位與橋墩沖刷觀測資料，建立水文分析模式，計算橋梁上、下游處可能的水位，進而估算此降雨對下游橋墩可能的沖刷深度，該模式主要分成三大部分：

1.雷達雨量預報：利用中央氣象局的QPESUMS降雨資料，以支撐向量迴歸法修正雷達降雨受到地形或測站位置的影響。同時根據氣象局的未來1小時的雨量預報，提供集水區未來的可能降雨量空間分布。

2.格網分布型降雨逕流估算下游洪水量：由於格網分布型降雨-逕流模式具有模擬空間降雨、地文等特性，因此模式結合格網分布型降雨-逕流模式與雷達降雨資料，計算暴雨期間目前與未來1小時下游河道變量流演算。

3.水位與橋梁沖刷計算：根據河道水理演算與沖刷深度分析結果可以計算暴雨時期的水位與橋梁沖刷。

4.橋墩沖刷預警：整合以上模式，藉由所預測未來1小時水位與沖刷深度，作為後續階段橋梁耐洪安全評估之輸入值，以評估橋梁之安全性。

(b)二維水理分析

此階段根據地形資料建立二維數值模型，配合一維水理分析所提供之邊界條件，進行細部橋墩周圍之流場模擬，再將模擬結果輸出搭配沖刷公式進行沖刷深度之推估。本計畫採用非結構性三角網格之有限體積法來建立相關之數值模式，非結構性網格不僅能有效且快速處理實際水利及海岸工程常遭遇之幾何複雜性（包含如橋墩等之內部不透水邊界）問題，而且配合彈性易用之網格建立工具，

亦能大幅減輕使用者建模之負擔，相對於有限元素法亦有計算效能上之優勢，二維水理分析流程如圖4.2所示。

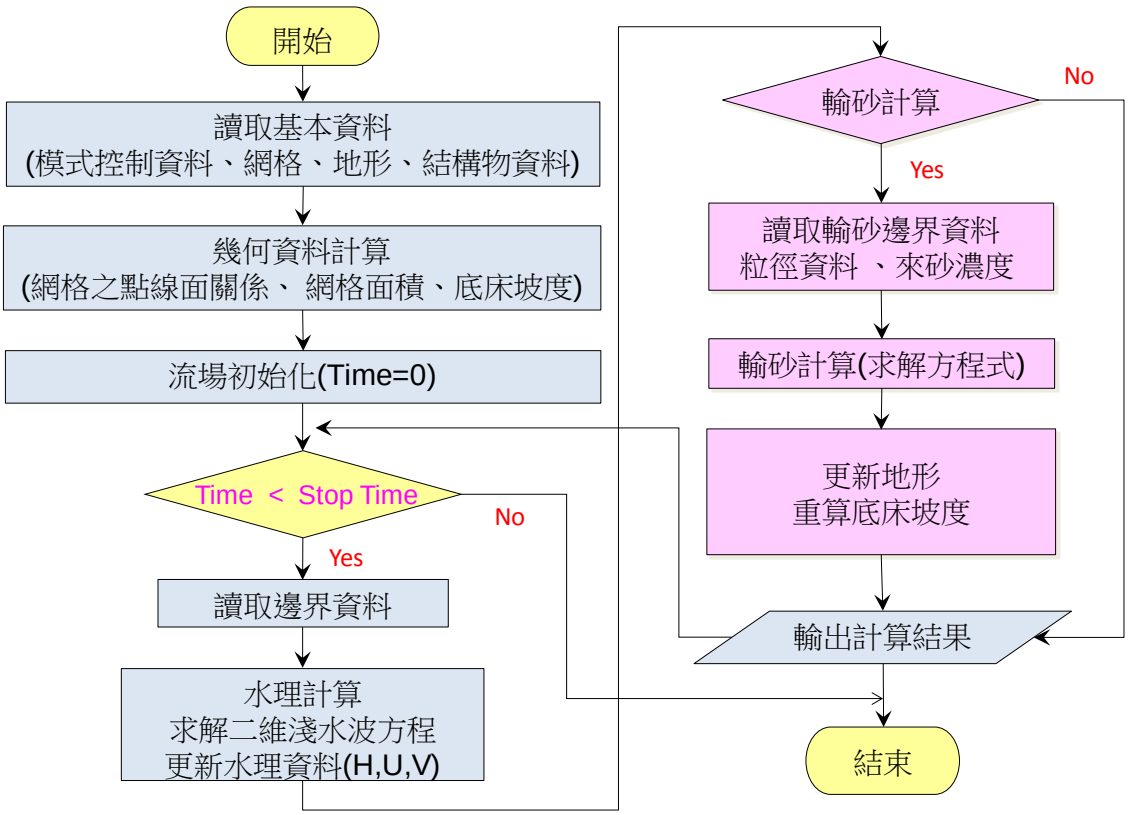


圖 4.2 二維水理分析流程[3]

(c)橋梁耐洪安全評估

在颱風洪水作用下橋梁基礎處之沖刷深度、水流流速與水位高度之變化，為直接攸關既有橋梁基礎的穩定，沉箱基礎因橋墩基礎沖刷所導致之破壞，可區分為:橋墩基礎土層流失導致基礎承載力破壞，橋墩與裸露沉箱受洪水之側向水流力作用所導致之傾覆破壞，及受洪水之側向水流力作用之滑移破壞，沉箱基礎結構受沖刷前後土壤流失之受力情況如圖4.3所示。樁基礎裸露導致的基礎結構破壞模式則可區分為:基礎土層流失導致基礎承載破壞，及側向水流力作用所導致基樁剪力與彎矩破壞，基樁受沖刷前後受力變化如圖4.4所示。

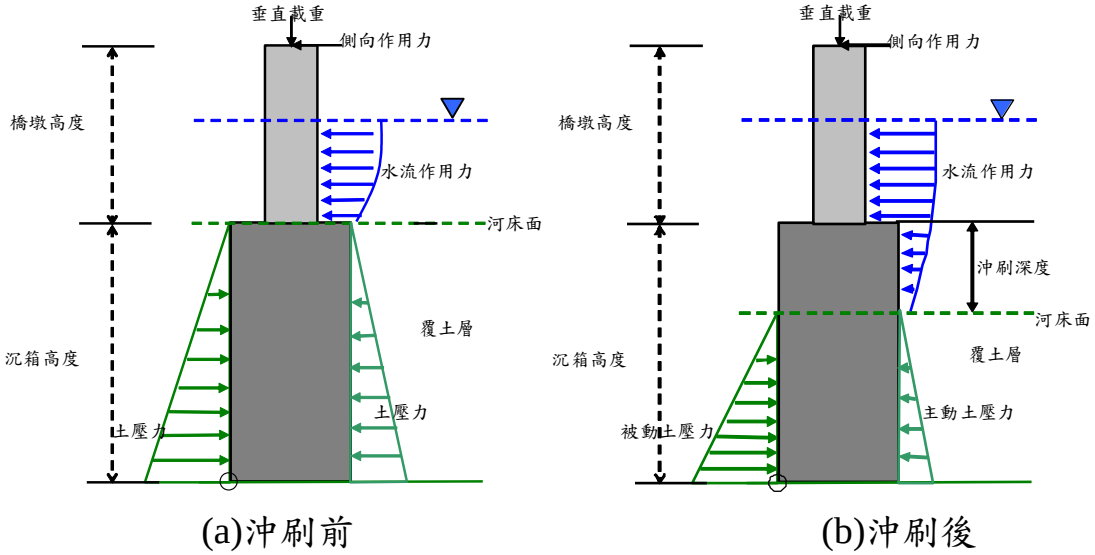


圖 4.3 沉箱基礎沖刷前後示意圖

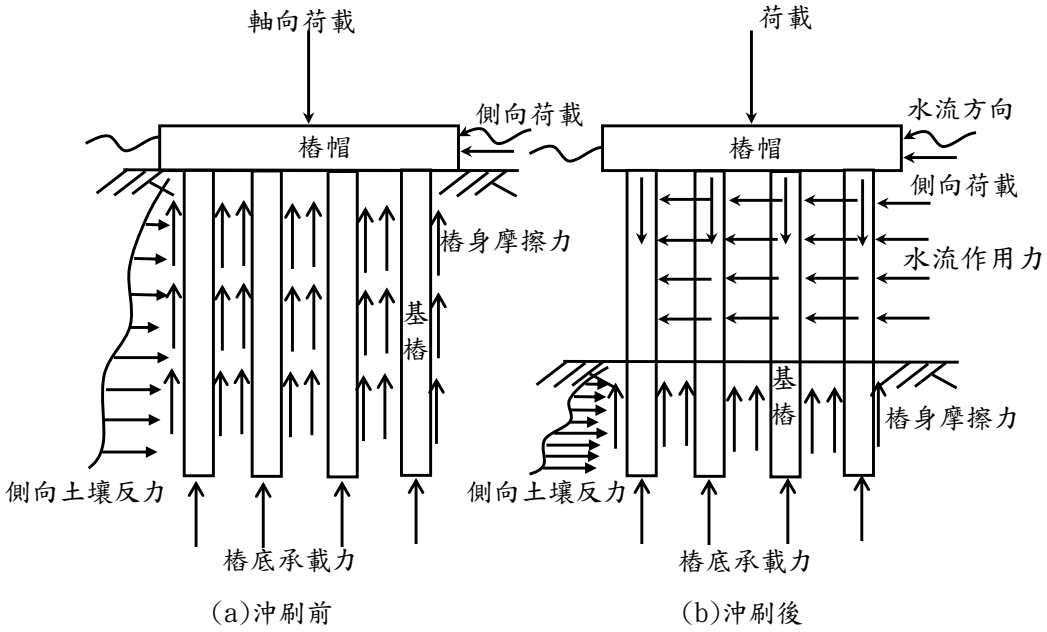


圖 4.4 群樁基礎沖刷前後示意圖

(d)跨河橋梁安全預警

TRENDS針對前述開發之一維、二維水理分析程式及耐洪安全評估模式進行整合，並與現有之通報機制結合，以利系統自動化執行橋梁安全預警作業，判斷橋梁現況，進行有效的監控管理，以降低災害來臨時所造成損害，其流程如圖4.5及圖4.6，其執行細項將於下節詳細說明。

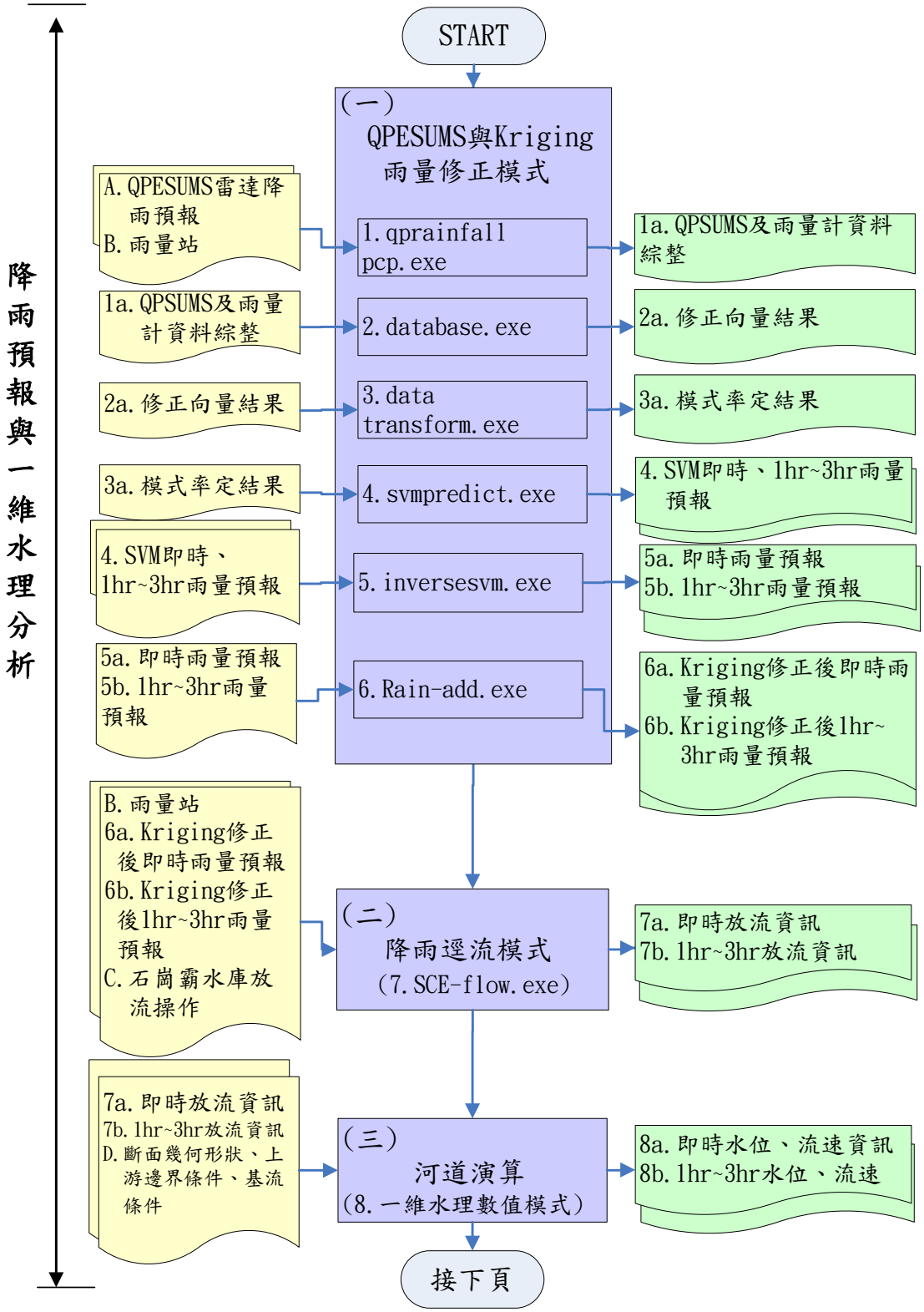


圖 4.5 水理分析模式執行流程圖

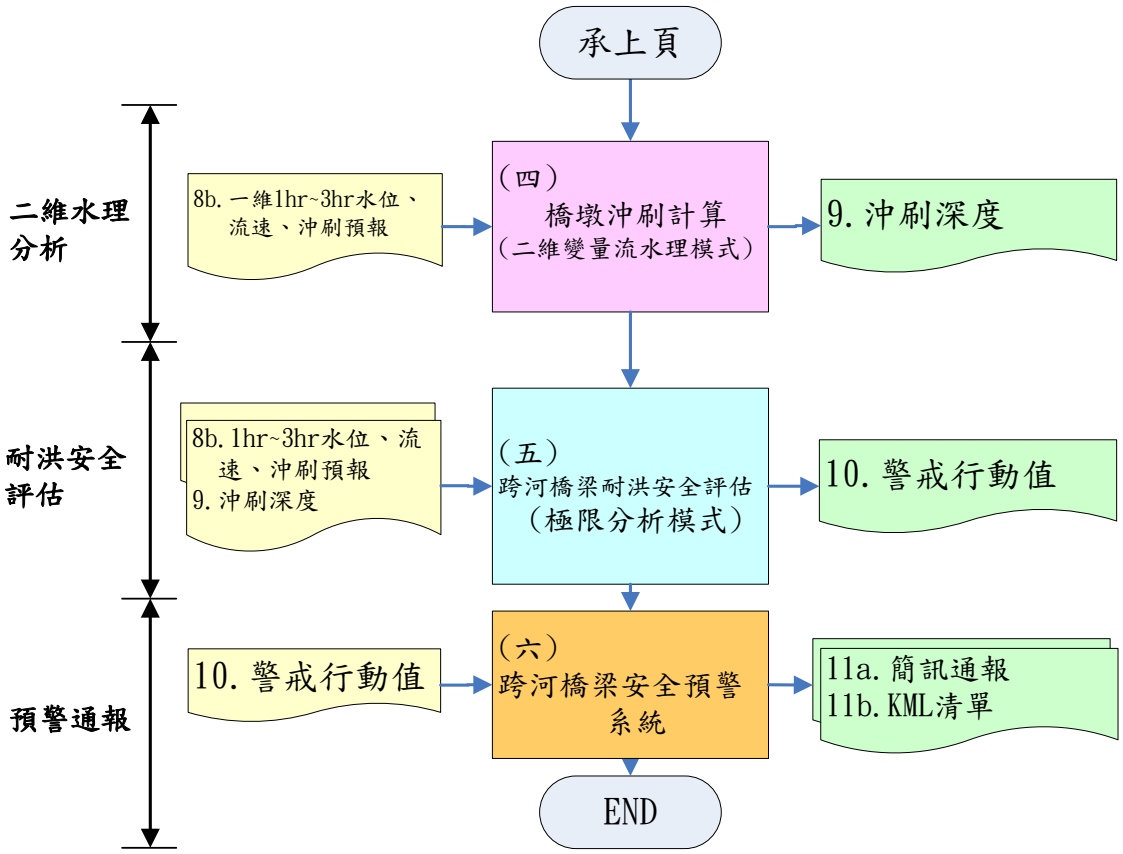


圖 4.6 水理分析模式執行流程圖(續)

模式依圖4.5及圖4.6執行流程進行說明。首先在步驟一，系統執行QPESUMS修正模式時，系統以所截取到的QPESUMS雷達降雨量預報及雨量站資料輸入執行程式(qprainfallpcp.exe)進行資料綜整；將綜整後的資料代入執行程式(database.exe)中進行修正向量計算；將修正向量再代入執行程式(datatransform.exe)進行模式率定；將率定結果再代入執行程式(svmpredict.exe)及(inversesvm.exe)得到即時雨量資料及未來1小時的雨量預測，並以(rain-add.exe)進行Kriging修正。其輸入條件與輸出資料如表4-1及表4-2所示。

表4-1 QPESUMS與Kriging修正模式輸入條件與輸出資料

輸入	輸入方式	模式	輸出
QPSUMS雷達降雨預報(中央氣象局)	Auto	1.qprainfall pcp.exe 子程式修正降雨預報	QPSUMS及雨量計資料綜整
雨量站(中央氣象局、水利署)			
QPSUMS及雨量計資料綜整(步驟一.1)	Auto	2.database.exe 子程式修正向量結果	修正向量結果
修正向量結果(步驟一.2)	Auto	3.data transform.exe 子程式模式率定	模式率定結果
模式率定結果(步驟一.3)	Auto	4.svmpredict.exe 進行支持向量迴歸分析	即時雨量預報
			1hr雨量預報

表4-2 QPESUMS與Kriging修正模式輸入條件與輸出資料(續)

輸入	輸入方式	模式	輸出
即時、1hr雨量預報(步驟一.4)	Auto	5.inversesvm.exe 子程式修正SVM預測結果	修正後雨量及時及預報結果
修正後雨量及時及預報結果(步驟一.5)	Auto	6.Rain-add.exe Kriging修正	Kriging修正後雨量及時及預報結果

步驟二降雨逕流模式，是以步驟一分析所得的雨量資料及未來1小時的雨量預測做為輸入值代入降雨逕流模式中的執行程式(SCE-flow.exe)中得到即時放流量及未來1小時的放流量。其輸入條件與輸出資料綜整如表4-3。

表4-3 降雨逕流模式輸入條件與輸出資料

<table>
<tr><th>輸入</th><th>輸入方式</th><th>模式</th><th>輸出</th></tr>
<tr><td>雨量站(中央氣象局、水利署)</td><td rowspan="4">Auto</td><td rowspan="4">降雨逕流模式
(SCE-flow.exe)</td><td rowspan="2">即時放流資訊</td></tr>
<tr><td>即時雨量預報
(步驟一.6)</td></tr>
<tr><td>1hr雨量預報
(步驟一.6)</td><td rowspan="2">1hr放流資訊</td></tr>
<tr><td>石岡壩水庫放流操作(水利署)</td></tr>
</table>

步驟三河道演算，是以步驟二分析所得的即時及1小時放流量與河川斷面幾何形狀、上游邊界條件、基流條件等，做為輸入值代入河道演算中的執行程式(一維水理數值模式)中，得到即時與未來1小時的水位、流速及河床平均沖刷深度值。其輸入條件與輸出資料綜整如表4-4。

表4-4 河道演算輸入條件與輸出資料

<table>
<tr><th>輸入</th><th>輸入方式</th><th>模式</th><th>輸出</th></tr>
<tr><td>即時放流資訊
(步驟二)</td><td rowspan="6">Auto</td><td rowspan="6">河道演算
(一維水理數值模式)</td><td>即時水位預報</td></tr>
<tr><td>1hr至3hr放流資訊
(步驟二)</td><td>1hr水位預報</td></tr>
<tr><td>斷面幾何形狀
(橋河基本資料)</td><td>即時流速預報</td></tr>
<tr><td>上游邊界條件
(橋河基本資料)</td><td rowspan="2">1hr流速預報</td></tr>
<tr><td rowspan="2">基流條件
(橋河基本資料)</td></tr>
<tr><td>即時沖刷深度預報</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>1hr沖刷深度預報</td></tr>
</table>

步驟四是由上步驟分析所得的橋即時與未來1小時的水位、流量值代入橋墩沖刷計算中的執行程式(二維變量流水理模式)中計算，將可得到各橋墩的沖刷深度值。其輸入條件與輸出資料如表4-5。

表4-5 橋墩沖刷計算輸入條件與輸出資料

<table>
<tr><th>輸入</th><th>輸入方式</th><th>模式</th><th>輸出</th></tr>
<tr><td>即時水位預報(步驟三)</td><td rowspan="4">Auto</td><td rowspan="4">橋墩沖刷計算
(二維變量流水理模式)</td><td rowspan="2">二維分析流速</td></tr>
<tr><td>1hr水位預報(步驟三)</td></tr>
<tr><td>即時流速預報(步驟三)</td><td>二維分析水位高</td></tr>
<tr><td>1hr流速預報(步驟三)</td><td>二維分析沖刷深度</td></tr>
</table>

步驟五是由步驟三分析所得的水位及流速資料與步驟四分析所得的沖刷深度資料進行跨河橋梁耐洪安全評估，即以極限分析進行橋墩安全性分析得到安全係數值。其輸入條件與輸出資料綜整如表4-6。

表4-6 跨河橋梁耐洪安全評估(極限分析模式)輸出入條件

<table>
<tr><th>輸入</th><th>輸入方式</th><th>模式</th><th>輸出</th></tr>
<tr><td>即時水位預報
(步驟三)</td><td rowspan="7">Auto</td><td rowspan="7">跨河橋梁耐洪安全評估
(極限分析模式：
1.傾覆破壞
2.承載力破壞)</td><td rowspan="7">警戒值</td></tr>
<tr><td>1hr水位預報
(步驟三)</td></tr>
<tr><td>即時流速預報
(步驟三)</td></tr>
<tr><td>1hr流速預報
(步驟三)</td></tr>
<tr><td>水位 (步驟四)</td></tr>
<tr><td>流速(步驟四)</td></tr>
<tr><td>沖刷深度
(步驟四)</td></tr>
</table>

步驟六是依上步驟的安全係數值進行警訊通報，即當安全係數值小於所定的警戒及行動標準，系統將自動發佈簡訊通報告知相關管理人員進行處理。其輸入條件與輸出資料綜整如表4-7。

表4-7 跨河橋梁耐洪安全評估(模式整合)輸出入條件

輸入	輸入方式	模式	輸出
警戒值(步驟五) 行動值(步驟五)	Auto	跨河橋梁安全預警系統： 1.即時資料擷取與整合 2.自動通報機制	藉由自動通報機制通知管理人員

TRENDS根據上述執行步驟進行程式化，並將相關成果於網頁系統中展示。系統頁面如圖4.7所示，主要由系統簡介、颱風豪雨資料、一維水理分析資料、二維水理分析資料、安全分析資料與系統管理等六大模組組成；在主面頁上提供各橋梁的即時與未來1小時橋梁的安全狀況(當橋梁在「安全」狀態時顯示綠燈；達「預警」標準時顯示黃燈；達「警戒」標準時則顯示橘燈；達「行動」標準時則顯示紅燈)，點選各橋梁的標示可顯示即時、未來1小時等功能。

圖 4.7 跨河橋梁安全預警頁面

颱風豪雨資料模組(圖4.8)連結了中央氣象局的累積雨量圖、衛星雲圖與颱風路徑圖，在颱風來臨時，使用者可以藉此模組同時瞭解颱風最新動態以及各橋梁即時平均水位。

圖 4.8 颱風豪雨資料模組

一維水理分析資料模組(圖4.9)，使用者可查看由一維水理分析各跨河橋梁即時與未來1小時水位、流量及河床平均沖刷深曲線圖，另可查詢縱斷面即時與未來1小時水位高程、堤防頂高程及河床高程剖面圖，掌握各橋梁上下游的水位變化。

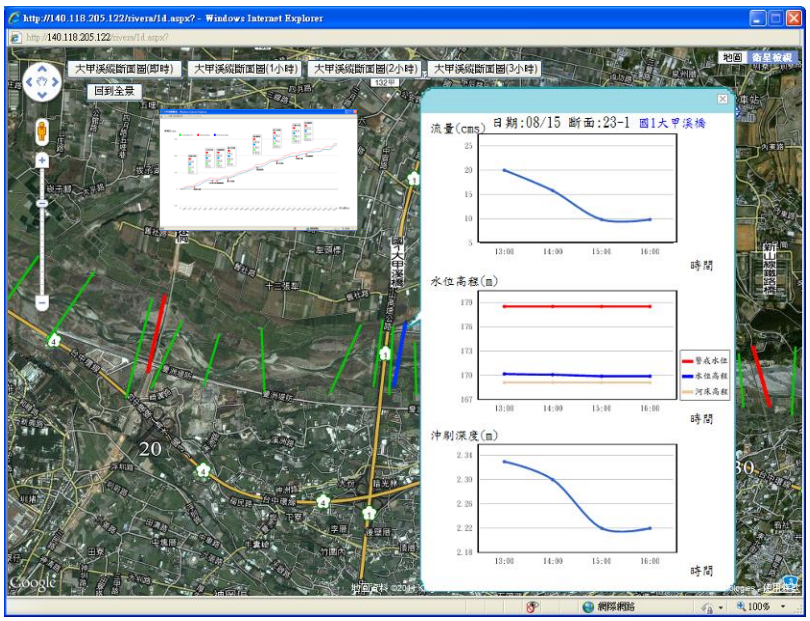


圖 4.9 一維水理分析資料模組

二維水理分析資料模組(圖4.10)中，提供使用者查詢二維水理分析後，各橋墩的水位流速、沖刷深度值，並顯示依這三個參數代

入安全評估後，所得的安全係數值，在表格最下層則以此數值反應出警示燈號(達行動標準顯示紅燈；達警戒標準時顯示黃燈)；模組中提供了橋墩竣工平面圖以及基樁橋墩結構立面圖供使用者查詢，其中立面圖上顯示了橋面板高程、原河床面高程基樁底高程、沖刷後河床高程、水位高程、封橋水位高程、警戒水位高程，讓使用者可即時瞭解各橋墩的細部情形。

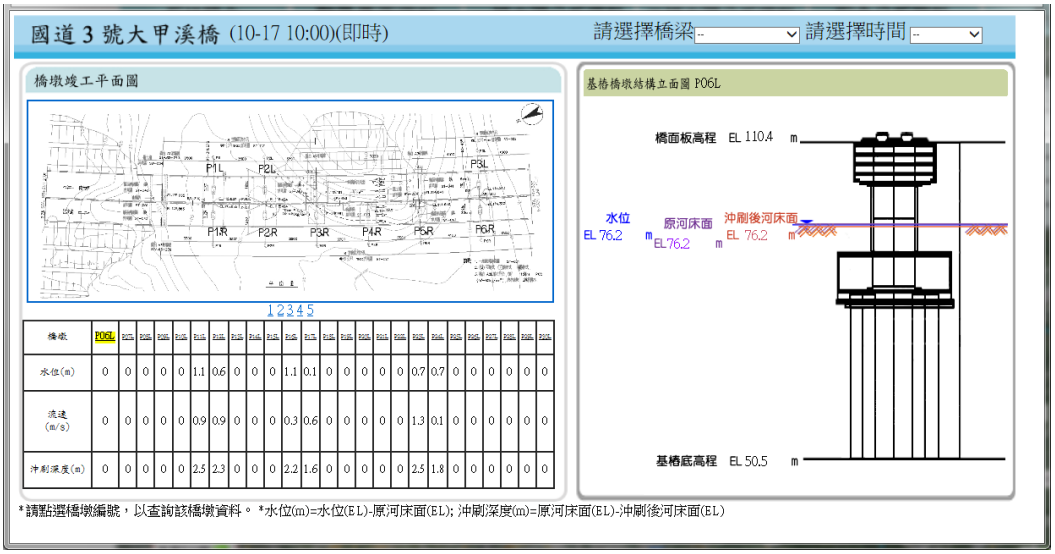


圖 4.10 二維水理分析資料模組

安全評估分析資料模組(圖4.11)，此模組頁面上所提供橋梁耐洪安全評估結果。

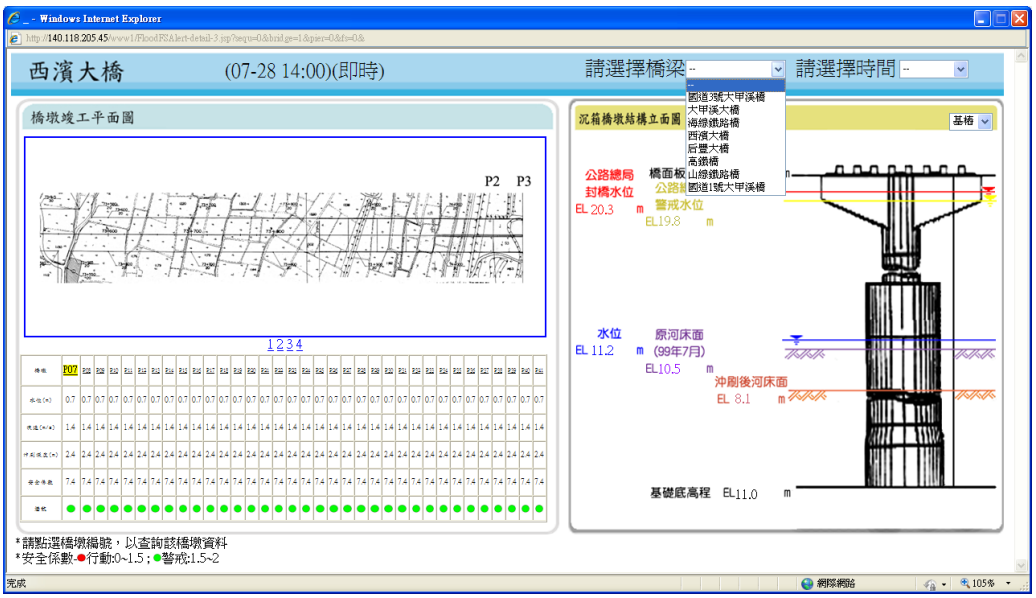


圖 4.11 安全評估分析資料模組

此外，系統歷史統計資料，可顯示石岡壩放流之即時流量、未來1小時之預估流量(如圖4.12)。使用者可依不同年份、月份及日期進行查詢，結果以表格方式顯示。並可點選繪製日圖表，系統依當日之實際放流與預測放流繪製曲線圖，如圖4.13。圖中，上圖顯示即時、1小時之預設放流量；下圖顯示預設值與實際值之差異。

石岡壩放流預測值歷史紀錄

選擇年份 2013 選擇月份 04 日期: 01 送出查詢 匯製日圖表 匯製月圖表

年	時間	即時流量(cms)	1小時後流量(cms)	2小時後流量(cms)	3小時後流量(cms)
2013	04-01 00:00	2.69	7.99	13.50	26.93
2013	04-01 01:00	2.68	7.98	13.49	26.92
2013	04-01 02:00	2.68	7.98	13.49	26.92
2013	04-01 03:00	2.67	7.97	13.48	26.91
2013	04-01 04:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 05:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 06:00	2.66	7.96	13.47	26.90
2013	04-01 07:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 08:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 09:00	2.64	7.94	13.45	26.88
2013	04-01 10:00	2.63	7.93	13.44	26.87
2013	04-01 11:00	2.63	7.93	13.44	26.87
2013	04-01 12:00	4.26	9.56	15.07	28.50
2013	04-01 13:00	2.74	8.04	13.55	26.98
2013	04-01 14:00	2.8	8.10	13.61	27.04
2013	04-01 15:00	3.44	8.74	14.25	27.68
2013	04-01 16:00	2.92	8.22	13.73	27.16

圖 4.12 石岡壩放流預測歷史紀錄

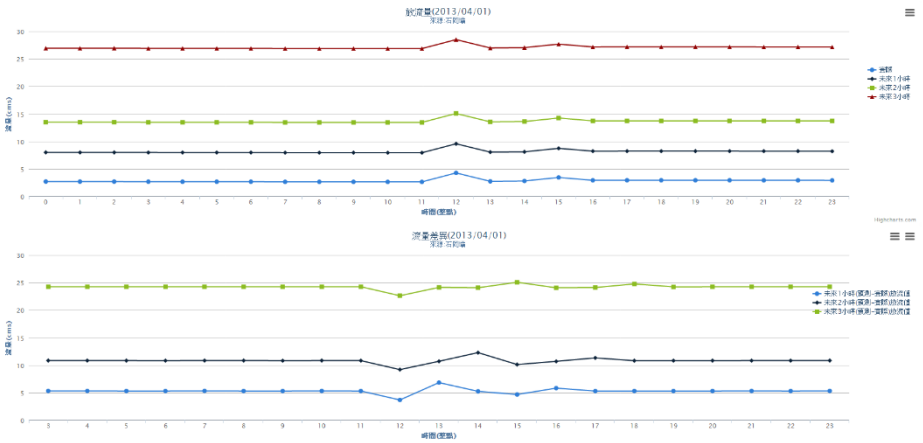


圖 4.13 石岡壩每日實際與預測放流量曲線圖

亦可點選繪製月圖表，系統依當月之實際放流與預測放流繪製曲線圖，如圖4.14。圖中，上圖顯示當月每日最大放流量；下圖顯示每日實際與預測值最大差異值。上述功能可供管理者檢驗控制點之記錄，在洪汛期查看德基水庫、石岡壩或其他裝設監測儀器點之實際值與預測值之差異，作為模式驗證與修正參考使用。

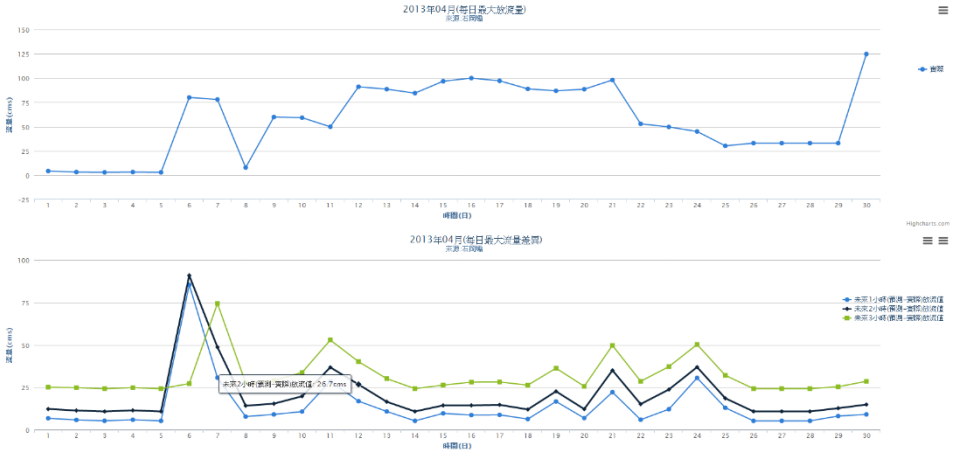


圖 4.14 每月實際與預測比較圖模組

(e)資料更新、提升石岡壩放流量預測之精確度與資料驗證

此階段根據水利署最新報告「103 年度大甲溪河口至天輪壩大斷面及地形測量工作」，測量位置如圖4.15，本系統所採用地形資料範圍為河口至石岡壩、石岡壩至馬鞍壩兩段，並分別表示為石岡壩下游(表4-8)與石岡壩上游(表4-9)。

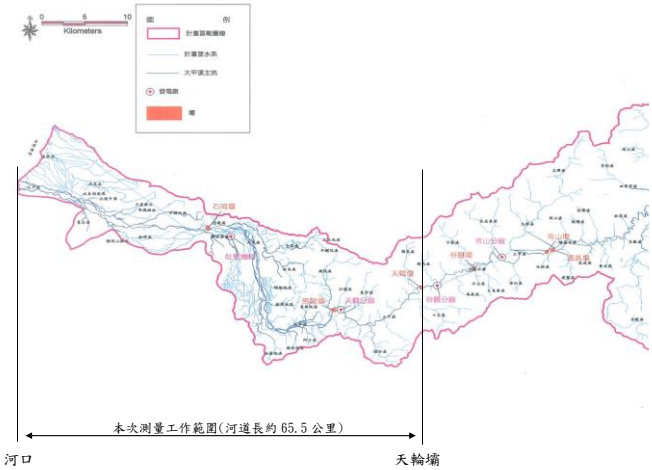


圖 4.15 大甲溪地形測量位置圖(取自水利署報告)

表4-8 石岡壩下游地形高程更新

編號	水利署斷面編號	97年高程(m)	102年高程(m)	103年高程(m)
1	-01	-1.08	-0.64	0.85
2	00	-0.49	1.12	0.99
3	01	6.896	6.78	7.54
4	01-1D	9.91	11.9	11.57
5	01-1	10.54	11.48	11.28
6	02	14.05	14.81	15.11
7	03	19.7	21.8	21.89
8	04	24.57	26.97	28.38
9	05	32.11	34.16	34.99
10	06	41.1	42.5	42.60
11	07	48.7	47.7	46.53
12	07-1D	53.27	53.13	52.3
13	07-1	53.11	53.32	54.18
14	07-2D	53.77	54.54	52.99
15	07-2	54.17	54.95	53.38
16	08	56.07	52.53	55.24
17	09	62.28	62.37	62.00
18	09-1D	66.8	67.7	67.16
19	09-1	67.4	67.69	68.26
20	10	67.46	68.25	68.80
21	11	72.8	73.17	74.21
22	12	79.24	78.28	78.52
23	13	87.24	87.57	87.45
24	14	91.45	93.1	92.30
25	15	98.32	98.46	98.06
26	16	101.78	110.6	103.62
27	17	109.04	108.88	109.83

表4-8 石岡壩下游地形高程更新(續)

編號	水利署斷面編號	97年高程(m)	102年高程(m)	103年高程(m)
28	18	114.59	113.77	115.76
29	19	119.54	120.81	120.59
30	19-1D	133.59	133.67	134.82
31	19-1	132.21	134.45	135.04
32	20	134.25	135.6	135.29
33	21	142.41	140.99	140.25
34	22	148.47	146.03	147.06
35	23	159.14	155.95	154.09
36	23-2	167.04	170.49	169.79
37	23-1D	167.69	169.82	169.75
38	23-1	169.15	170.22	168.58
39	24	172.3	171.59	171.78
40	25	175.52	179.23	178.09
41	26	185.66	183.44	183.43
42	27	189.92	189.43	188.45
43	28	195.85	190.24	192.55
44	28-1D	198.76	195.72	196.44
45	28-1	198.76	198.21	197.04
46	29	200.46	201.47	198.36
47	30	206.48	204.43	204.29
48	30-1D	211.73	210.76	210.70
49	30-1	212.25	214.91	210.05
50	31	221.62	214.05	210.90
51	31-1	223.09	213.08	211.93
52	32	223.7	216.32	215.91
53	32-1D	225.88	221.42	221.71
54	32-1	225.04	221.38	222.51
55	33	228.66	227.71	226.79
56	34	237.46	231.82	229.66
57	35D	236.94	236	234.26
58	35	235.75	235.78	233.04
59	35-1	243.46	236.18	235.58
60	36D	261.58	258.87	259.09
61	36	264.21	264.53	264.57

表4-9 石岡壩上游地形高程更新

編號	水利署斷面編號	102 年高程(m)	103 年高程(m)
1	39	275.1	275.442
2	40	278.04	278.366
3	41	287.01	286.33
4	42	287.29	289.547
5	43	291.59	291.044
6	43-1D	293.1	292.974
7	43-1	293.32	293.6
8	44	298.15	296.116
9	45	304.84	304.711
10	46	310.26	310.389
11	47	314.09	313.85
12	47-1D	318.01	314.727
13	47-1	318.64	316.101
14	48	322.03	323.934
15	49	326.46	330.556
16	50	333.35	334.634
17	50-1	340.62	338.589
18	51	346.18	346.6
19	51-1	353.56	354.902
20	52	357.84	358.352
21	52-1	361.02	361.413
22	53	368.73	366.944
23	53-1	377.46	376.424
24	54	389.31	389.806
25	55	400.35	401.884
26	55-1	406.63	408.639
27	56	416.29	417.36
28	56-1	424.89	424.657
29	56-2	431.5	431.175
30	57D	435.73	437.216
31	57	436.73	437.217
32	58	442.17	441.492
33	59	447.5	448.623
34	60	454.95	453.313
35	61	460.11	459.974
36	62D	471.64	471.714
37	62	471.58	471.846
38	62-1	475.37	476.298
39	63	478.38	478.454

表4-9 石岡壩上游地形高程更新(續)

40	63-1	482.58	482.611
41	64	486.63	487.214
42	64-1	491.32	490.418
43	64-2	496.49	498.006
44	65	502.59	504.715
45	65-1	511	511.576
46	66	520.95	522.594
47	66-1	529.82	529.06
48	67	537.72	539.07
49	67-0D	545.34	545.3
50	67-0	546.12	546.42

除了將依據港研中心所提供橋河資料更新系統模式之外。另外由TRENDS運作歷史紀錄中可觀察出，大甲溪跨河橋梁安全預警之準確性尚有改善空間。

本計畫加入石岡壩水庫放流預報資料，由水利署所發佈水庫防洪運轉狀態，可由TRENDS系統中所建置資料交換平臺取得最新石岡壩放流預報(圖4.16)。可參照網址如下所示:(http://fhy.wra.gov.tw/ReservoirPage_2011/Statistics.aspx)。

查詢方式：防汛重點水庫 2015 年 9 月 28 日 22 時 20 分 查詢 Excel下載

水庫名稱	水情時間	本日集水區累積降雨量(mm)	颱風來雨期間時，「防汛重點水庫」需登錄下列資訊													
			進流量(cms)	水位(公尺)	滿水位(公尺)	有效蓄水量(萬立方公尺)	蓄水百分比(%)	水庫出流量(cms)						防洪運轉狀態		
								取水流量(cms)	發電放水口	排砂道/PRO	排洪隧道	溢洪道	小計	目前狀態	預定時間	預定放流量(cms)
石門水庫	2015-09-28 22:00:00	363.60	3,095.63	243.79	245.00	19,071.86	94.77 %	26.23	61.22	333.36	428.36	1,891.74	2,714.68	洩洪中		預定下1小時放水流量2500cms
翡翠水庫	2015-09-28 22:00:00	--	2,721.61	165.67	170.00	29,614.18	88.27 %	--	270.50	--	--	--	270.50	--	--	--
寶山第二水庫	2015-09-28 21:00:00	187.20	1.79	149.87	150.00	3,128.16	99.4 %	2.09	--	0.12	--	--	2.11	--	--	--
永和山水庫	2015-09-28 22:00:00	136.50	--	84.38	85.00	2,703.14	96.21 %	--	--	--	--	--	1.73	--	--	--
明德水庫	2015-09-28 17:00:00	109.20	--	60.08	61.00	1,138.50	89.22 %	--	--	--	--	--	--	預計放流		放水流量20cms
鯉魚潭水庫	2015-09-28 22:00:00	66.70	17.22	300.07	300.00	11,577.35	100 %	--	--	--	--	6.93	7.23	自由溢流		
德基水庫	2015-09-28 17:00:00	107.00	300.00	1,401.72	1,408.00	12,511.80	83.41 %	--	110.00	--	--	--	110.00	--	--	--
石岡壩	2015-09-28 22:00:00	48.50	68.85	271.57	274.50	15.84	13.98 %	7.80	--	--	--	73.02	73.02	預計放流	預定於2015/09/28 23時起洩洪	放水流量800cms
霧社水庫	2015-09-28 22:00:00	79.00	206.00	998.61	1,005.00	2,984.59	66.24 %	--	44.00	--	--	--	44.00	--	--	--
日月潭水庫	2015-09-28 22:00:00	73.50	--	747.00	748.48	11,849.01	90.83 %	--	--	--	--	--	--	--	--	--
集集攔河堰	2015-09-28 21:00:00	70.12	303.00	212.51	214.75	204.00	53.31 %	76.30	--	6.35	--	215.00	221.35	調蓄性放水		
仁義潭水庫	2015-09-28 07:00:00	0.00	0.00	104.70	105.00	2,459.42	97.28 %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	--
白河水庫	2015-09-28 22:00:00	41.50	70.36	107.91	109.00	523.00	75.68 %	0.02	--	--	--	12.00	12.00	調蓄性放水		預定下1小時放水流量12cms
烏山頭水庫	2015-09-28 21:00:00	10.00	3.00	56.15	58.18	6,128.00	76.77 %	3.00	--	--	--	--	--	--	--	--
曾文水庫	2015-09-28 22:00:00	127.40	1,768.00	225.80	227.00	45,187.00	95.47 %	--	50.00	0.00	0.00	300.00	350.00	調蓄性放水		預定下1小時放水流量350cms
南化水庫	2015-09-28 22:00:00	81.00	39.33	178.56	180.00	8,993.04	92.58 %	7.52	--	--	--	--	--	--	--	--
阿公店水庫	2015-09-28 22:00:00	19.00	0.00	34.12	37.00	894.00	54.29 %	0.40	--	4.95	--	--	4.95	調蓄性放水		預定下1小時放水流量5cms
高屏溪攔河堰	2015-09-28 22:00:00	21.50	--	16.07	--	492.48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牡丹水庫	2015-09-28 22:00:00	11.30	1.12	138.11	142.00	2,137.70	80.86 %	1.12	--	--	--	--	--	--	--	--
附註	※颱風期間總累積計雨量：陸上颱風警報發布後至目前之集水區雨量累計 ※資料來源：各水庫單位人工登錄 ※生產單位：各水庫單位															

圖 4.16 水利署水庫防洪運轉狀態

如圖4.16所示，以2015年杜鵑颱風事件為例，水利署在2015年9月28日22:00時間點提前預報，石岡壩下一小時(即23:00)將放流800cms。TRENDS以軟體代理人截取預計洩洪放流資訊，加入原有分析模式，改善石岡壩放流預測機制。從2015年9月28日12:00至2015年9月29日11:00共24小時內之石岡壩流量記錄如表4-10所示。即時放量為實際石岡壩放流量，1小時後流量預測分為修正前、修正後，修正後為加入水利署洩洪放流資訊之改進結果。而誤差欄位則是將未來1小時後流量預測減去真實一小時後實際流量。

表4-10 石岡壩在2015年杜鵑颱風事件放流記錄

No	時間	即時流量 (cms)	修正前	修正後	修正前	修正後
			1 小時後流量預測 (cms)		誤差(未來預測-實際) (cms)	
1	2015/9/28 12:00	168.01	173.31	173.31	8.43	8.43
2	13:00	178.61	183.91	183.91	-5.3	-5.3
3	14:00	175.16	180.46	180.46	8.75	8.75
4	15:00	181.18	186.48	186.48	-0.72	-0.72
5	16:00	164.29	169.59	169.59	22.19	22.19
6	17:00	204.52	209.82	209.82	-34.93	-34.93
7	18:00	176.32	181.62	181.62	33.5	33.5
8	19:00	176.69	181.99	181.99	4.93	4.93
9	20:00	184.04	189.34	189.34	-2.05	-2.05
10	21:00	174.55	179.85	179.85	14.79	14.79
11	22:00	106.31	111.61	800	73.54	73.54
12	23:00	698.53	703.83	800	-586.92	101.47
13	2015/9/29 00:00	893.21	898.51	898.51	-189.38	-93.21
14	01:00	1308.28	1313.58	1313.58	-409.77	-409.77
15	02:00	1306.25	1311.55	1311.55	7.33	7.33
16	03:00	1539.57	1544.87	1544.87	-228.02	-228.02
17	04:00	1500.47	1505.77	1505.77	44.4	44.4
18	05:00	1660.26	1665.56	1665.56	-154.49	-154.49
19	06:00	1619.82	1625.12	1625.12	45.74	45.74
20	07:00	1724.56	1729.86	1729.86	-99.44	-99.44
21	08:00	1673.33	1678.63	1678.63	56.53	56.53
22	09:00	1656.22	1661.52	1661.52	22.41	22.41
23	10:00	1272.09	1277.39	1277.39	389.43	389.43
24	11:00	1265.67	1270.97	1270.97	11.72	11.72
				平均誤差	-40.3054	-7.615

以2015年9月28日23:00為例，實際流量為698.53(cms)，而前一小時所預測放流量為111.61(cms)，因此誤差量為111.61-698.53=-586.92(cms)，故在未修正模式前，將會低估石岡壩流量586.92(cms)。而經過加入石岡壩放流預警資料後，水庫洩洪第一時間誤差由586cms降至101cms(如圖4.17)。整日平均誤差並可由-40cms降至-7.6cms。有效解決目前模式無法考慮水庫洩洪操作問題。

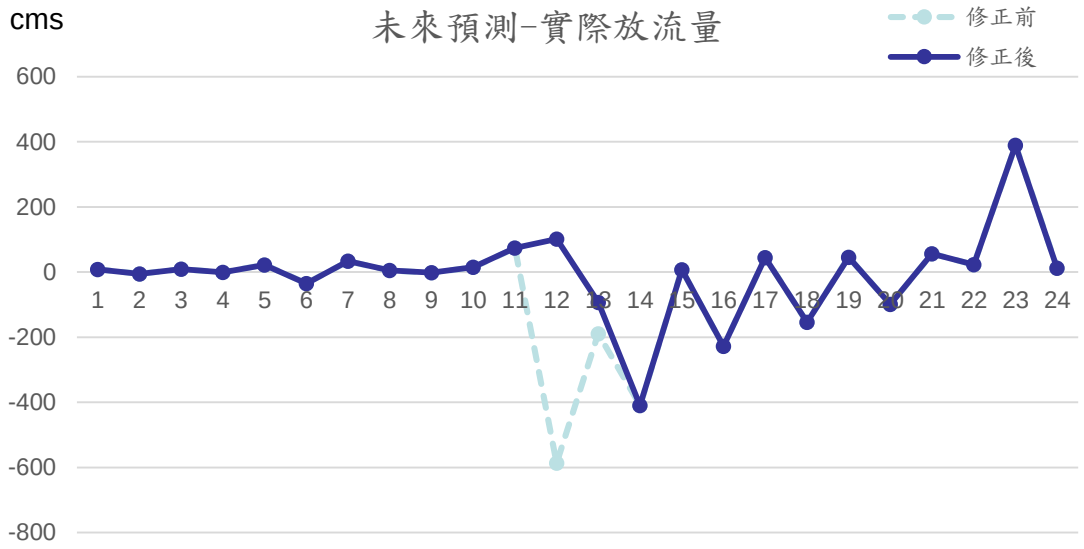


圖 4.17 2015 年杜鵑颱風石岡壩放流預測誤差

經查水利署放流記錄，去年度僅有杜鵑颱風在中部地區造成較大雨量，故水庫放流模式驗證僅能選取杜鵑颱風進行驗證。本年度將持續以颱風事件中檢討石岡壩未來一小時放流預測準確度。

今年度大部分的颱風都未對臺灣中部區域造成災情，僅2016年9月27日登入臺灣之梅姬颱風造成中部較大降雨，颱風路徑如圖4.18所示。

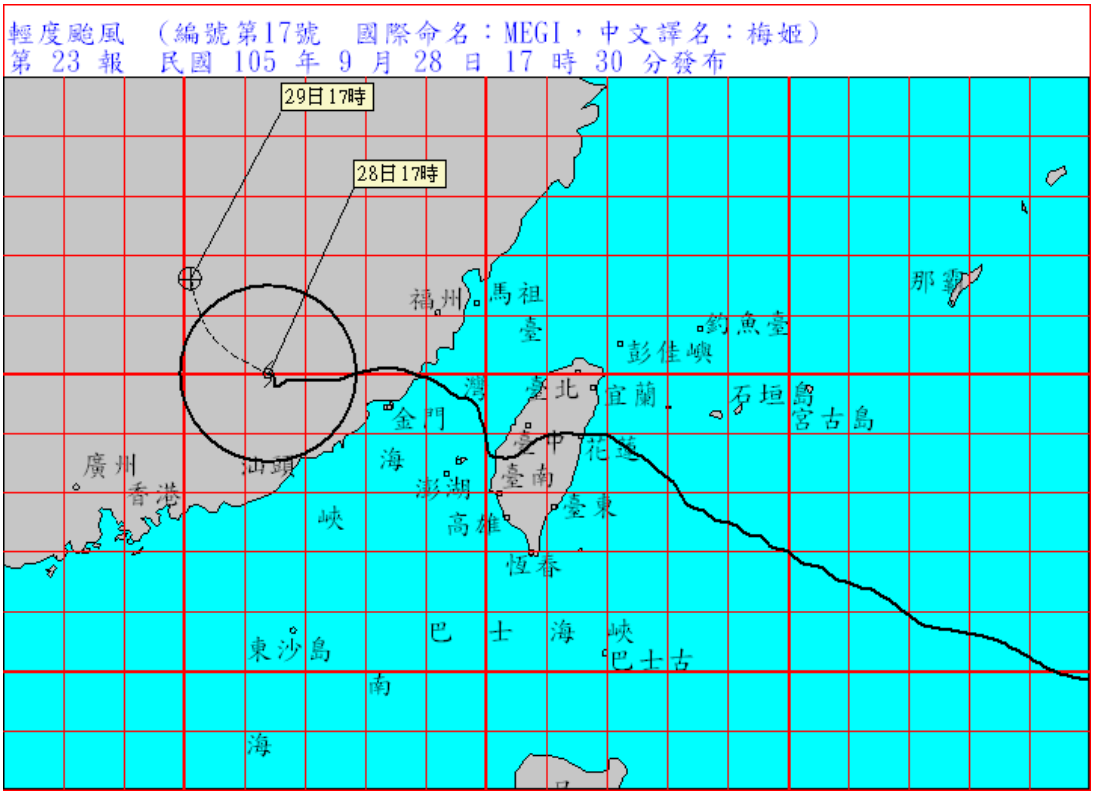


圖 4.18 2016 年梅姬颱風路徑圖

系統同樣參照水利署水庫統計表網址如下所示:(http://fhy.wra.gov.tw/ReservoirPage_2011/Statistics.aspx)。

查詢方式：防汛重點水庫 2016 年 9 月 27 日 19 時 0 分 查詢 Excel下載

水庫名稱	水情時間	本日集水區累積降雨量(mm)	颱風豪雨期間時，「防汛重點水庫」需登錄下列資訊													
			進流量(cms)	水位(公尺)	滿水位(公尺)	有效蓄水量(萬立方公尺)	蓄水百分比(%)	水庫出流量(cms)						防洪運轉狀態		
								取水流量(cms)	發電放水口	排砂道/PRO	排洪隧道	溢洪道	小計	目前狀態	預定時間	預定放流量(cms)
石門水庫	2016-09-27 19:00:00	375.80	3,931.02	243.34	245.00	18,729.37	93.02 %	12.00	61.22	33.69	0.00	3,890.49	3,985.40	洩洪中		預定下1小時放水流量3800cms
翡翠水庫	2016-09-27 19:00:00	206.00	1,145.22	167.56	170.00	31,284.59	93.25 %	--	310.00	--	--	--	310.00	洩洪中	已於2016/09/27 18時開始洩洪	預定下1小時放水流量540cms
寶山第二水庫	2016-09-27 19:00:00	222.30	1.28	149.73	150.00	3,106.19	98.7 %	2.94	--	--	--	--	0.24	--	--	--
永和山水庫	2016-09-27 19:00:00	23.00	0.00	84.11	85.00	2,844.40	94.85 %	--	0.00	--	--	--	0.00	--	--	--
明德水庫	2016-09-27 11:00:00	140.80	--	60.74	61.00	1,237.12	96.95 %	--	--	--	--	--	0.00	洩洪中		預定下1小時放水流量200cms
鯉魚潭水庫	2016-09-27 19:00:00	78.87	20.62	299.59	300.00	11,369.08	98.46 %	8.20	0.00	--	--	0.00	0.30	--	--	--
德基水庫	2016-09-27 19:00:00	260.00	2,300.00	1,407.28	1,408.00	14,860.28	99.07 %	--	180.00	--	2,120.00	--	2,300.00	調節性放水		
石岡壩	2016-09-27 19:00:00	51.00	1,120.00	272.41	274.50	34.54	24.29 %	11.77	0.00	0.00	--	1,085.12	1,085.12	洩洪中	已於2016/09/27 19時開始洩洪	預定下1小時放水流量1500cms
霧社水庫	2016-09-27 19:00:00	103.50	522.00	1,001.98	1,005.00	3,745.69	83.13 %	--	45.00	--	--	275.00	320.00	調節性放水		
日月潭水庫	2016-09-27 18:00:00	56.50	--	747.86	748.48	12,523.31	96.12 %	--	--	--	--	--	0.00	--	--	--
集集攔河堰	2016-09-27 19:00:00	127.63	1,658.00	207.07	214.75	8.00	1.57 %	14.60	--	--	--	1,639.00	1,639.69	洩洪中		
湖山水庫	2016-09-27 18:00:00	106.00	2.20	170.00	211.50	132.07	2.6 %	1.80	--	--	--	--	0.40	--	--	--
仁義潭水庫	2016-09-27 19:00:00	118.00	0.00	104.67	105.00	2,452.58	97.01 %	--	0.00	--	--	--	0.00	--	--	--
白河水庫	2016-09-27 19:00:00	125.00	126.13	108.72	109.00	644.00	93.19 %	0.02	--	--	--	115.00	115.00	調節性放水		預定下1小時放水流量115cms
烏山頭水庫	2016-09-27 19:00:00	59.00	--	57.55	58.18	7,229.00	92.35 %	3.00	--	--	--	--	0.00	--	--	--
曾文水庫	2016-09-27 19:00:00	153.50	1,850.00	226.92	227.00	46,657.00	99.69 %	--	50.00	100.00	--	1,650.00	1,800.00	調節性放水		預定下1小時放水流量1800cms
南化水庫	2016-09-27 19:00:00	190.50	633.66	181.54	180.00	10,485.60	100 %	13.54	0.00	0.00	0.00	459.00	459.00	自由溢流		
阿公店水庫	2016-09-27 19:00:00	64.30	130.35	34.81	37.00	1,034.86	63.53 %	0.00	0.00	5.00	--	30.00	35.00	調節性放水		預定下1小時放水流量35cms
高屏溪攔河堰	2016-09-27 19:00:00	131.97	3,981.00	18.20	--	34,395.84	--	3.94	--	--	--	--	3,977.06	調節性放水		
牡丹水庫	2016-09-27 19:00:00	85.30	42.10	135.29	142.00	1,812.79	68.63 %	0.93	--	33.90	--	--	38.17	調節性放水	已於2016/09/26 18時開始調節性放水	預定下1小時放水流量39.1cms
附註	※颱風期間總累積計雨量：陸上颱風警報發布後至目前之集水區雨量累計 ※資料來源：各水庫單位人工登錄 ※生產單位：各水庫單位															

圖 4.19 2016 年梅姬颱風水利署水庫防洪運轉狀態

如圖4.19所示，以2016年梅姬颱風事件為例，水利署在2016年9月27日19:00時間點提前預報，石岡壩下一小時(即20:00)將放流1500cms。TRENDS同樣以軟體代理人截取預計洩洪放流資訊，加入原有分析模式。從2016年9月27日19:00至2016年9月28日06:00共12小時內之石岡壩流量記錄如下表4-11所示。即時放量為實際石岡壩放流量，1小時後流量預測分為修正前、修正後，修正後為加入水利署洩洪放流資訊之改進結果。而誤差欄位則是將未來1小時後流量預測減去真實一小時後實際流量。

表4-11 石岡壩在2016年梅姬颱風事件放流記錄

No	時間	即時流量 (cms)	修正前	修正後	修正前	修正後
			1 小時後流量預測 (cms)		誤差(未來預測-實際) (cms)	
1	2016/9/27 19:00	1120	1125.47	1200	-807.53	-733
2	20:00	1933	2048.68	2500	-1036.32	-585
3	21:00	3085	3159.74	3500	-165.26	175
4	22:00	3325	3001.71	3500	559.71	1058
5	23:00	2442	2369.35	3000	507.35	1138
6	2016/9/28 00:00	1862	1852.45	2000	19.45	167
7	01:00	1833	1864.84	2000	88.84	224
8	02:00	1776	1786.74	1700	179.74	93
9	03:00	1607	1608.95	1400	420.95	212
10	04:00	1188	1187.88	1200	-226.12	-214
11	05:00	1414	1454.31	1200	13.31	-241
12	06:00	1441	1481.12	1200	86.12	-195
				平均誤差	-29.98	91.58

以2016年9月27日21:00為例，實際流量為3085(cms)，而前一小時所預測放流量為2048.68(cms)，因此誤差量為2048.68-3085=-1036.32(cms)，故在未修正模式前，將會低估石岡壩流量1036.32(cms)。而經過加入石岡壩放流預警資料後，水庫洩洪第一時間誤差由1036cms降至585cms。但後續幾個小時雖然石岡壩公布預計放流3500cms但放流皆不到3500cms，因此結果為較保守高估之情形，平均誤差並可由-29cms變成較保守高估91.58cms，由梅姬颱風事件可發現就算是石岡壩本身所發布之預計放洪值仍有高估之可能性，後續仍需多次颱風事件持續驗證檢討。

4.2 橋梁地震通阻分析模組之精確度提升及驗證

臺灣是地震活動頻繁國家，而都會區人口與建築結構物位置大都集中在地質較鬆軟的平原、盆地上，因此受地震災害的威脅也相對提高，

地震模擬器目的主要於當地震發生時，藉由中央氣象局提供的臺灣地震速報系統資訊，可獲得地震位置、規模、深度等參數，輸入地震模擬器作為全臺地震強地動分析，以提供快速完整的地震測報資訊給相關單位及橋梁損壞評估之依據，以利救災與補強的進行。圖4.20為地表震動分析流程，以下依各步驟流程進行說明。為提升既有模式之精確度，檢視交通部運輸研究所港研中心提供「蘇澳港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港」之測站資料，飾選可用部份進行迴歸分析，以獲取合適之場址放大效應；此外，本年度亦將近年發生地震納入衰減公式之參數擬合，討論其對準確性之影響以建立更為合適之地表震動分析模式與模擬器。

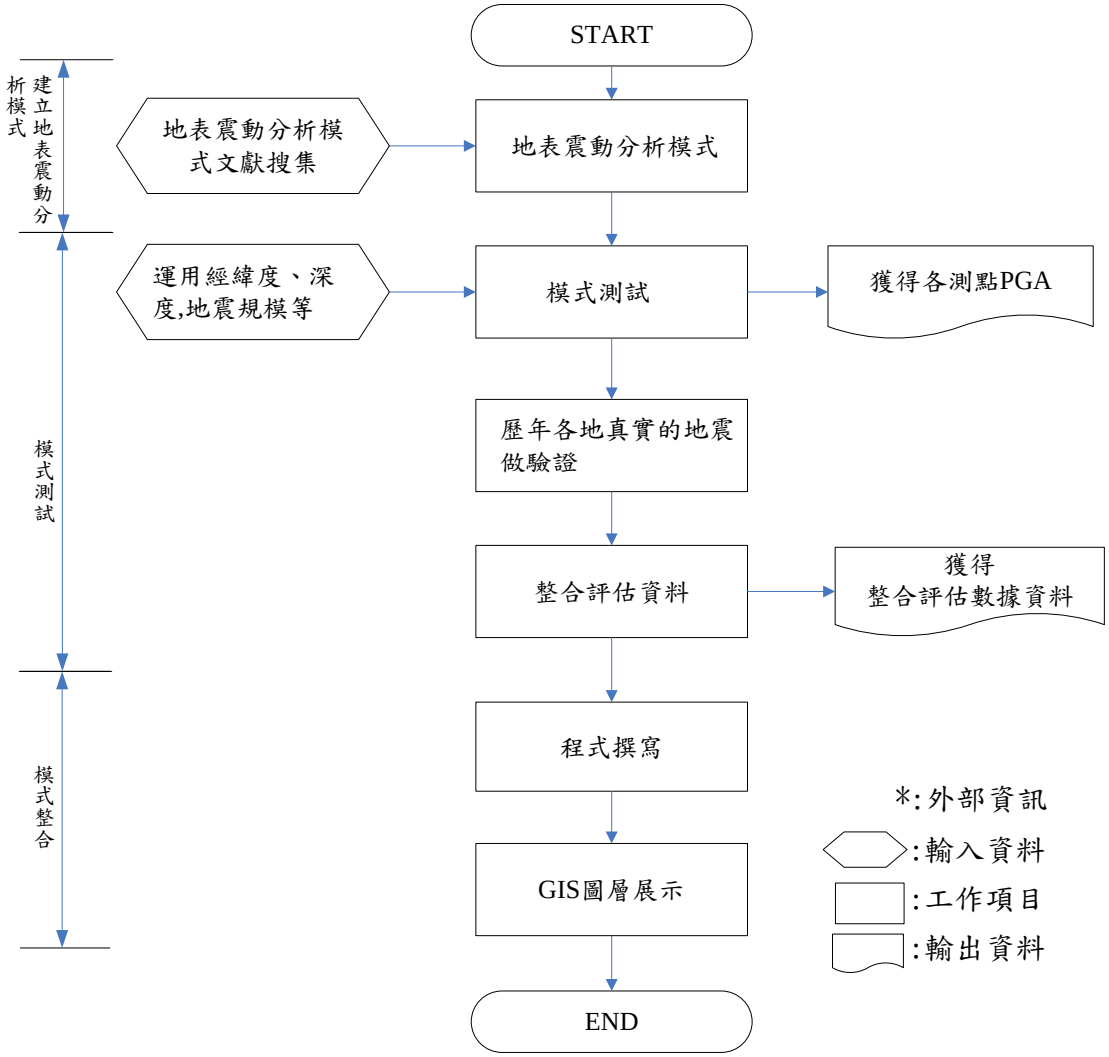


圖 4.20 地表振動分析模式流程

(a)建立地表震動分析模式

臺灣地質構造複雜，震源傳遞過程經由地形、地層、地質構造影響差異極大，可能會影響地震波的振幅、頻譜等特性。過去學者使用中央氣象局自由場強地動觀測網(TSMIP)之強震紀錄，根據氣象局測站名稱編號將全省測站分為七區，涵蓋範圍包括臺北地區(TAP)、臺中地區(TCU)、嘉南地區(CHY)、高屏地區(KAU)、臺東地區(TTN)、花蓮地區(HWA)及宜蘭地區(ILA)，除中央山脈外，各測站平均間距約為5公里，並加入了中央研究院地球科學研究所之山區強震站(CMA)的強震紀錄。圖4.21為中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖[26]三角形符號表示使用的臺灣自由場強地動觀測網之測站分佈位置，正方形符號表示了中央研究院山區強震站之測站分佈位置。場址的分類主要依測站的地質狀況及其土層的剪力波速而定，美國加州地區所採用的建築技術規範(ICBO，1991)將地盤分為S1、S2、S3、S4 四類。(郭鎧紋，1992， 1993，1994)於中央氣象局的專題研究中，以ICBO為分類標準，分別對臺北地區、桃竹苗地區及嘉南地區部份自由場強震站進行分類。另外，為工程應用考量有研究 (Lee et al，2001)以綜合地質、工程鑽探資料及標準貫入試驗之N值和頻譜分析等方法將全臺灣自由場強震站的場址分為B、C、D、E四類。中央大學地球科學學院應用地質研究所將臺灣Vs30製作更精確圖檔，如圖4.22所示。

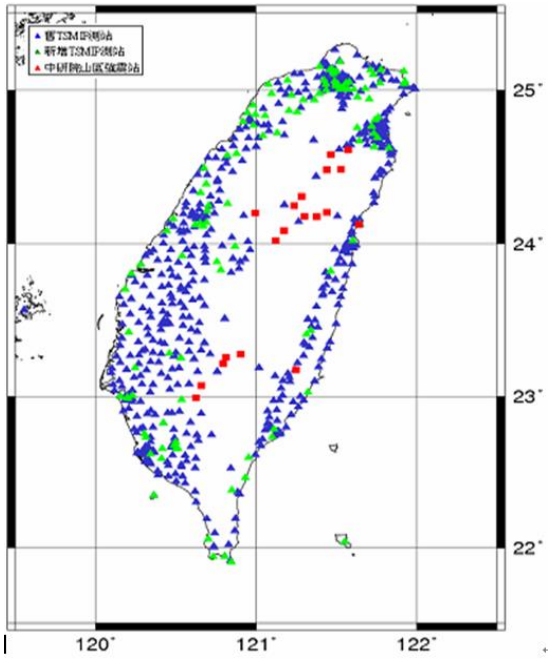


圖 4.21 中央氣象局強震站及中央研究院山區強震站位置圖[26]

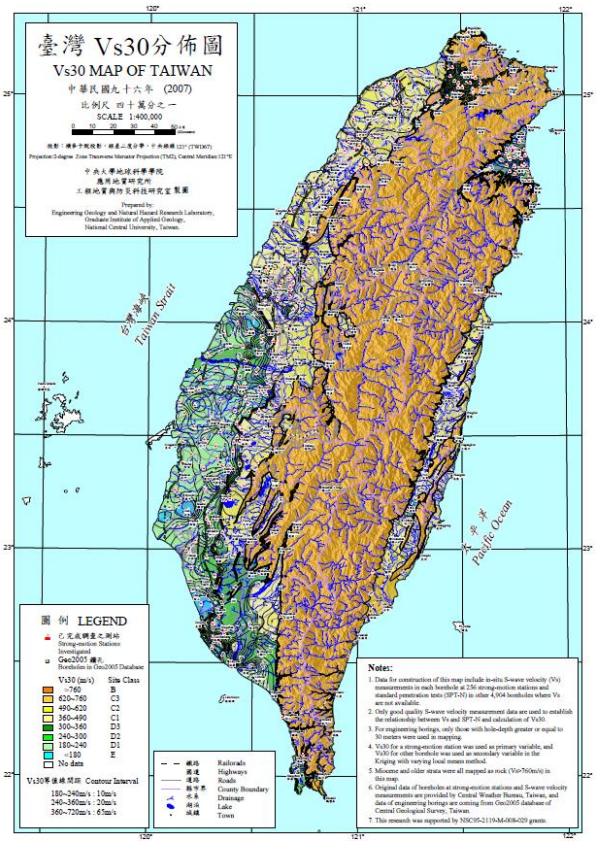


圖 4.22 臺灣 Vs30 分佈精確圖檔

(資料來源: 中央大學地質與防災科技研究室製圖)

就衰減原理而言，簡易來說就是地表震動會隨距離增加而衰減，但地震波從震源傳遞到接收測站之間的過程卻十分複雜，涉及諸多變數，即接收測站所收到的地動值受到震源、路徑以及場址效應的影響，另外當地震規模越大時，地表震動強度越強，而衰減模式較為緩慢；反之，規模小地震，能量消逝較快速。而場址效應參考之衰減模式，採用地表下30公尺剪力波速之平均值為分類之依據，並分為軟弱地盤及岩盤的衰減模式，另外由於衰減公式是使用所有測站的平均場址特性，只適用於一般性地盤，因此在岩盤地區其地動預測值可能會有高估的情形，反之沖積層會低估。臺灣地區之淺源地震，除了集集地震為斷層破裂型態外，其餘地震之震源型態多不明顯，以最大加速度值來看，測站的場址特性對於地震紀錄之影響是衰減模式分析過程中誤差的主要來源之一。一般而言，位於沖積層的測站所記錄到的振幅值會比位於岩盤的測站所記錄到的振幅值高。(溫和葉，1986）研究SMART-1 陣列所記錄三大地震指出：沖積層測站的主要共振頻率較岩盤為低，且振幅較大，由地震紀錄可發現位於沖積層測站收到之水平最大加速度與速度值，與位於岩盤測站紀錄相比，分別大了二到三倍，此差異會間接影響到衰減模式對於地震危害度評估的準確性。張毓文[26]使用不同顏色的實線來代表規模4.0~7.0的衰減曲線(如圖4.23所示)，由不同規模的實測值分佈顯示，在岩盤測站隨規模越大，地震紀錄偏差的現象越大，也就是說，Campbell的衰減區線在規模愈大時，預測值會有偏低的現象，同樣地，在沖積層的衰減曲線也有低估的情形出現。

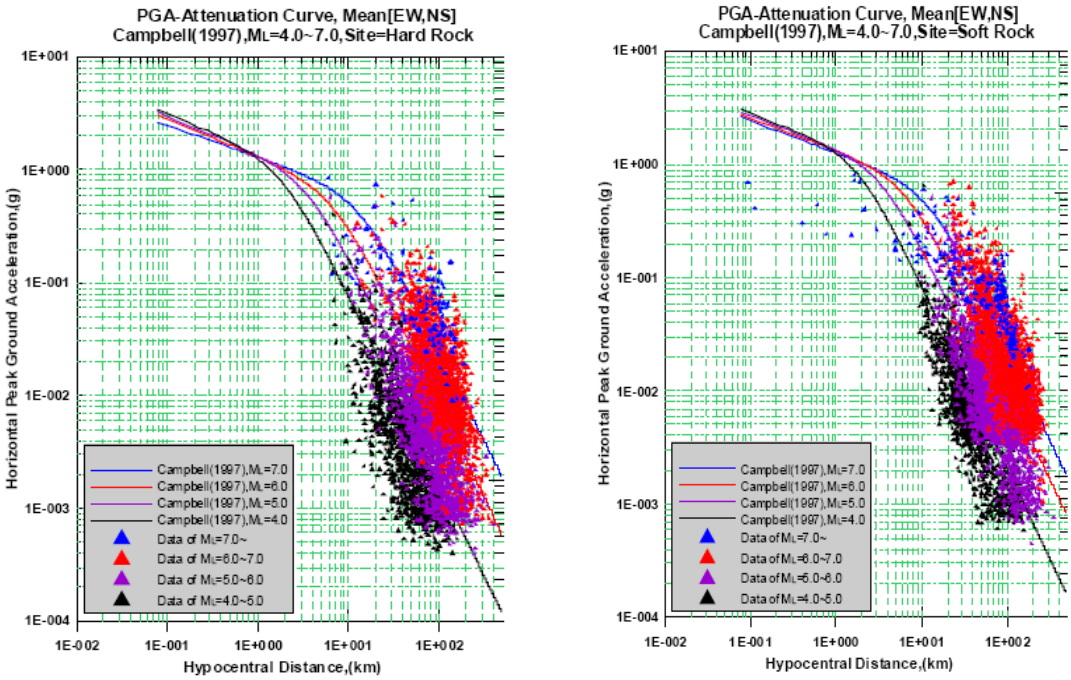


圖 4.23 臺灣規模 4.0~7.0 地震與(Campbell，1997)衰減曲線關係[26]

目前各研究所採用之地震衰減模式如式(4.1)

$$PGA(g)=f(M,R)=C_1e^{C_2M}[\,R+C_4\exp(C_5M\,)]^{-C_3} \quad (4.1)$$

其中，PGA：震度強度值；M:芮氏規模；R:場址到斷層線最短距離；C_1~ C_5為回歸修正係數。

本研究之地震模擬器採用分析模式為Chien(2001)對(Campbell，1981)之衰減模式迴歸分析如下：

$$PGA(g)=f(M,R)=0.02938e^{1.1995M}[\,R+0.14667\exp(0.69689M\,)]^{-1.73413} \quad (4.2)$$

其中，PGA：震度強度值；M:芮氏規模；R:場址到斷層線最短距離。

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

得到各測站的場址修正係數C_0、C_1值。其間之關係式為：

$$\ln(Y_0) = C_0 + C_1 \times \ln(Y_a) \quad \text{.....} (4.3)$$

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

(b)地表震動分析模式測試

詹皓凱[27]根據式(4.2)為基礎，對於前述地震模擬器運算方法進行測試，此測試對於地震模擬器程式所需要輸入資料條件為震央經緯度座標、震源深度(Km) 、地震規模(ML)等參數，而地震模擬器模式測試過程，需考量震源效應(Source Effect)、地震波傳遞的路徑效應(Path Effect)、及局部地質特性所引起的場址效應(Site Effect)。依據地震模擬器程式分佈全臺灣的地動強度參數PGA，評估程式是否符合該研究探討衰減模式與場址放效應，而詹皓凱[27]之第一階段測試結果只參考地震動衰減律與實測值的全臺灣地表加速度，比較結果如圖4.24所示。

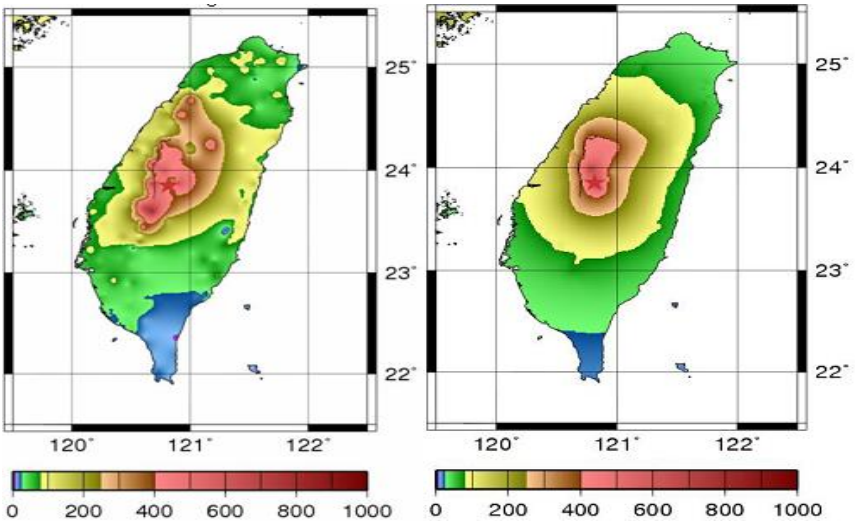


圖 4.24 為集集地震的(a)實測值與(b)衰減模式預測值 PGA 分佈[27]

(c)歷年各地真實地震之驗證

詹皓凱[27]於第二階段測試中在衰減模式中加入場址效應，新增TSMIP與CMA測站場址特性，而使用兩階段步驟對各測站之場址效應進行分析，來得到更可靠的場址修正函數。針對新增之TSMIP與

CMA測站的正規化誤差殘值，故於分析場址特性時，採用即時站地震紀錄及自由場強震站之地震紀錄，在資料的選取分析上增加了芮氏規模5.0以上的地震資料來增強分析之準確性(如圖4.25所示)，經由場址函數修正過後的二階段預測結果明顯的更接近實際觀測值，得到較為可靠的預測結果。由此可知，測站之場址特性對衰減模式造成的影響可藉由測站之場址函數修正其效應，以降低其系統標準偏差，並提升系統準確性獲取更加可靠之預測結果。

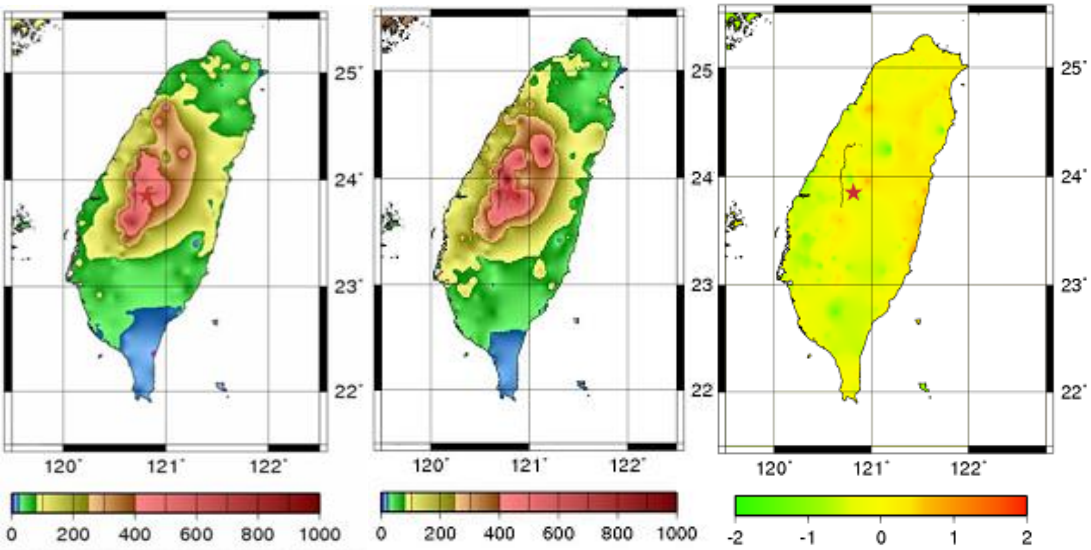


圖 4.25 修正函數校正後的預測與其觀測值之誤差殘值分佈[27]

(d)整合評估資料

本研究參考張毓文[26]及詹皓凱[27]對於地震衰減模式的研究與修正結果，而修正後之地震衰減模式能預測出較可靠的PGA結果。因此本研究採用此模式結果，再把歷年地震(集集地震、花蓮地震與嘉義地震)資料帶入地震衰減模式之中，預測全臺PGA分佈，並取中央氣象局地震測站之量測資料加以驗證，其驗證結果請參考圖4.26至圖4.28所示。

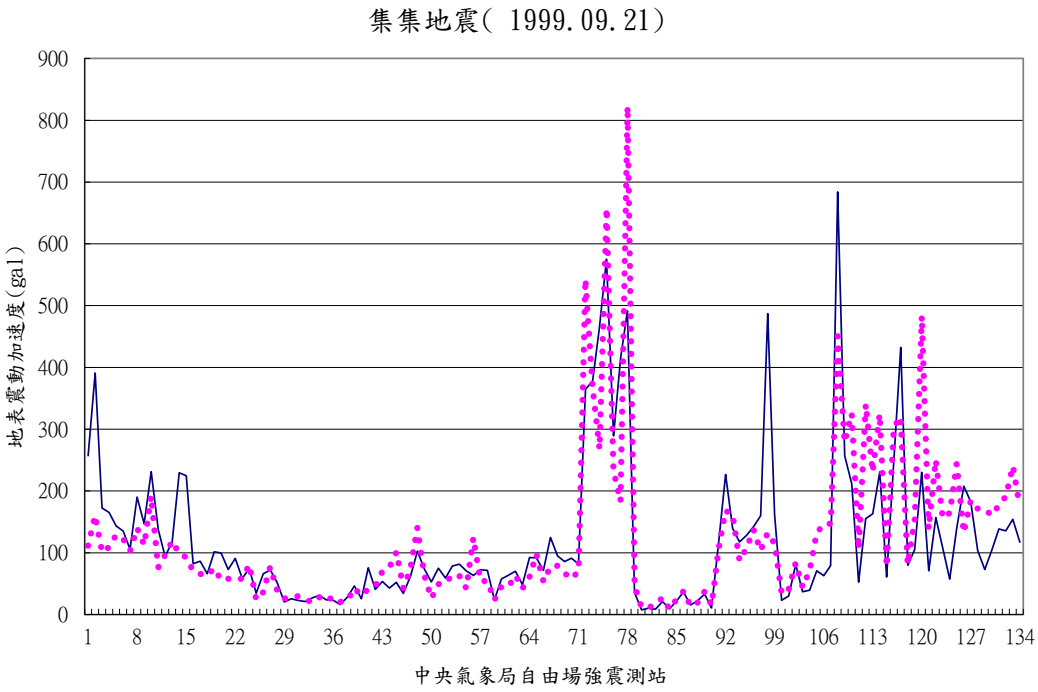


圖 4.26 臺灣歷年大地震: 集集地震之實測值與預測值比較

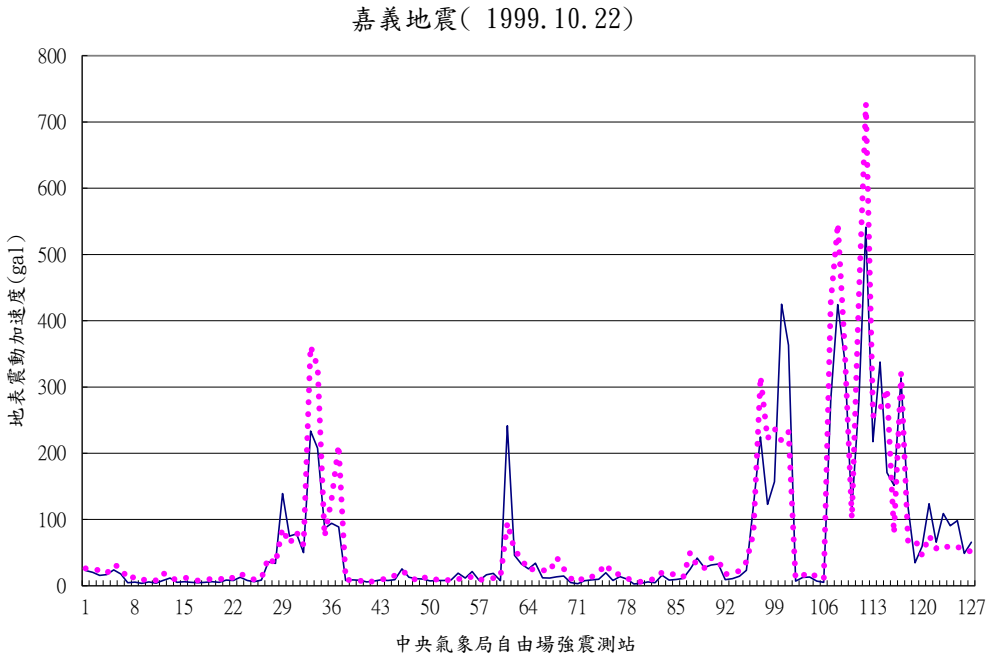


圖 4.27 臺灣歷年大地震:嘉義地震之實測值與預測值比較

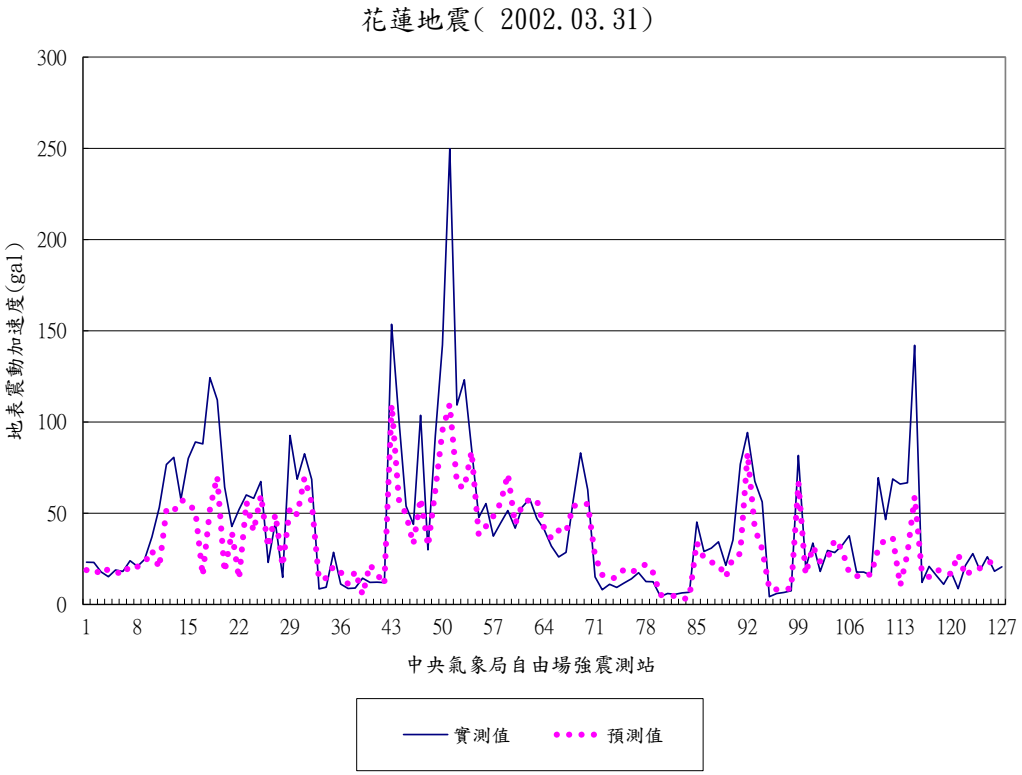


圖 4.28 臺灣歷年大地震:花蓮地震之實測值與預測值比較

(e)程式撰寫

模式所採用之地震模擬器所參考的衰減模式，係根據簡文郁[28]所使用的地震資料為主要對象，範圍針對芮式規模5.0以上及震源深度35公里以內，對工程結構物較有危害的地震。並且排除臺北盆地及宜蘭盆地有明顯場址放大效應的測站紀錄為原則進行挑選，選取的條件如下：

1. 選取芮式規模5.0~7.5的地震，包含近年之地震主震。
2. 採用符合上述條件地震所觸發的測站歷時紀錄，包含全部即時站的地震紀錄及25公里以內的自由場強震站之地震紀錄，以避免迴歸分析時權重不一的現象。
3. 使用地震紀錄中兩水平方向(EW，NS)地表最大加速度值的幾何平均值來進行迴歸分析，求得參考衰減公式之係數。
4. 在進行分析時，為了避免進行分析時有過大的誤差，故先排除有

明顯場址放大效應的臺北盆地與宜蘭盆地的測站紀錄，來取得精確度較佳的衰減模式。此一部份也將納入交通部運輸研究所港研中心提供「蘇澳港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港」之測站資料，飾選可用部份進行迴歸分析，以獲取合適之場址放大效應。

根據上述內容予以程式化，完成地震模擬器之修正與精確度確認。只需獲得氣象局地震速報獲得地震位置、規模及深度，就可以計算全臺灣各地地表加速度。

(e)GIS圖層顯示

上述之成果整合到 (TRENDS)中。如圖4.29所示，此功能以Google Map作為底圖，並利用GIS Server的Geoprocess Service畫出震度分級圖並套疊在Google Map上。同時系統將通行失敗機率大於50%橋梁視為危險橋梁。

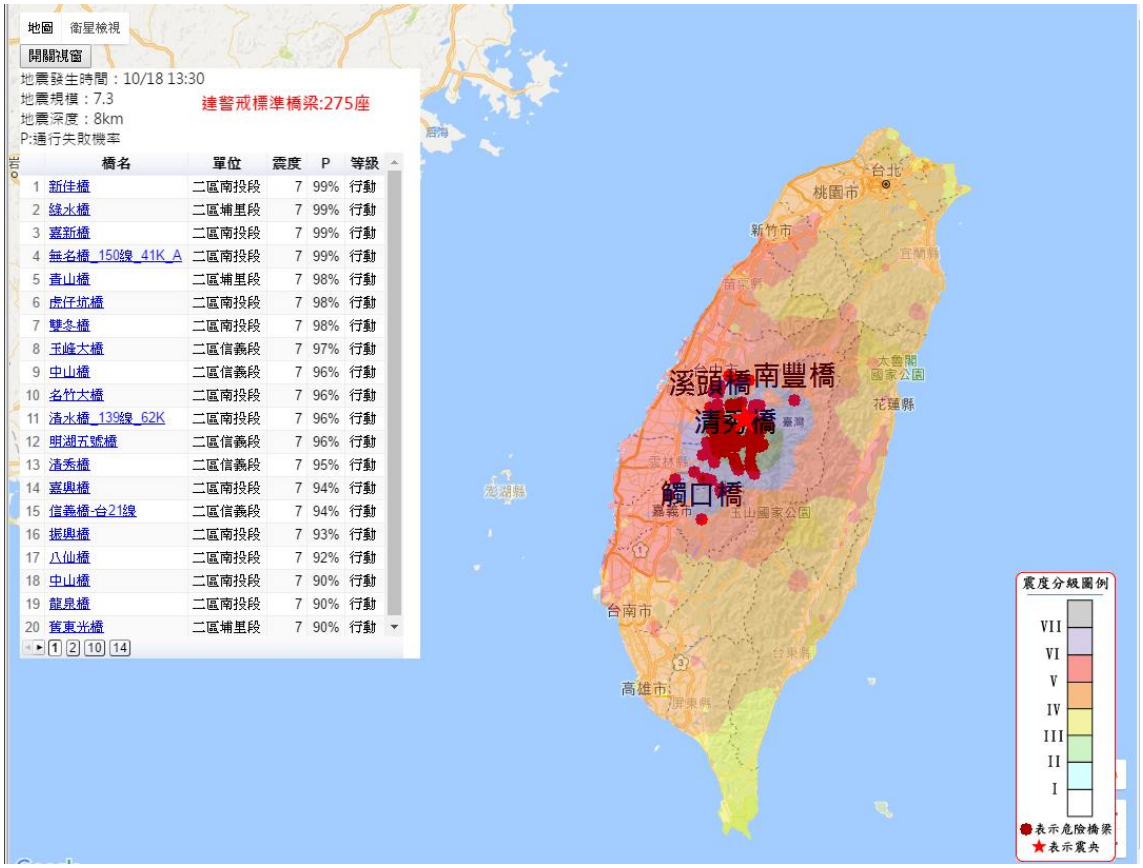


圖 4.29 「橋梁地震破壞潛勢」介面

(f)提升地表震動分析模式預測之準確度

由圖4.26~圖4.28可觀察到，地震模擬器與測站量測PGA結果趨勢相近，但尚有局部誤差值較高或低的情形，而造成此誤差來源以下幾點：

1.迴歸誤差：選取芮式規模 5.0~7.5 的地震，包含近年之地震主震。採用符合上述條件地震所觸發的測站歷時紀錄，包含全部即時站的地震紀錄及 25 公里以內的自由場強震站之地震紀錄，以避免迴歸分析時權重不一的現象。

2.場址資料不完整：由於中央氣象局測站多集中架設於都會區屬於沖積層，使得場址特性並無完整的參考資料。此一部份也將納入交通部運輸研究所港研中心提供「蘇澳港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港」之測站資料，飾選可用部份進行迴歸分析，以獲取合適之場址放大效應。

本研究已取得港研中心在2011年至2015年港區地震量測記錄，並選取規模4以上地震共計208筆，如表4-12所示。

本年度計畫根據上述面向，嘗試提升地表震動分析模式預測之精確度，並配合地震災損資料、相關單位監測資料，進行驗證。最後以地震情境模擬方式檢核精確度。

第一階段迴歸分析:

利用中央氣象局與國震中心所收集之資料(1991年~2012年)進行第一階段迴歸分析，並結合港研之資料，迴歸出衰減公式之係數，原使用之衰減公式係數之資料範圍為1991年至2010年，本計畫新增2011至2012年之資料以及港研2010至2015年之資料，欲改善其誤差，以提高地震預測評估精度。篩選條件之設定如下：

1. 選擇規模5以上之強震站資料
2. 所選資料之場址剪力波(Vs30)須大於360m/s
3. 該測站須位於距震央30km之範圍內

4. 須扣除台北及宜蘭盆地之地震資料，以免盆地之放大效應影 響該公式之係數
5. 量測之PGA具兩方向，本計畫採用幾何平均之方式進行分析，將取其南北向與東西向乘積之平分根值迴歸

表4-12 2011年至2015年各港區量測地震紀錄(節錄)

港區測站資料							中央氣象局地震資料				
測站代號	地震時間	PGA	Intensity	XPeak	YPeak	ZPeak	經度	緯度	深度	規模	地震編號
KAH	2011-03-20 16:01:32	5.442677	2.671625	5.283649	5.442677	2.434502	121.38	22.44	27.5	5.8	第 029 號
TCC	2011-08-12 06:08:10	3.681958	2.332158	1.377703	3.681958	2.92467	121.62	23.8	32.4	4.8	第 123 號
KAH	2011-09-09 11:27:33	1.957187	1.783265	1.161142	1.957187	0.644774	120.99	22.31	10.4	5	第 129 號
SUO	2011-10-30 11:24:53	3.740701	2.345906	3.357394	3.740701	1.965345	123.16	25.31	215.8	6.3	第 147 號
SUO	2011-10-31 23:17:32	3.626189	2.318901	3.626189	3.236678	2.376881	121.94	24.84	92.1	5	第 148 號
BUD	2011-11-06 17:36:47	7.23024	2.918305	7.23024	3.12982	2.04281	120.33	23.25	9.9	4	第 151 號
SUO	2011-12-04 18:13:22	13.70471	3.473739	11.51696	13.70471	4.860312	122.05	24.66	62.8	4.9	第 164 號
TPI	2011-12-08 06:07:26	5.594944	2.695591	3.189932	5.594944	2.137484	121.53	24.54	61	4.4	第 166 號
TCC	2011-12-14 19:13:31	3.994046	2.402826	3.775537	2.129449	3.994046	121.8	23.85	41.9	4.7	第 169 號
SUO	2011-12-15 08:36:11	3.35925	2.252485	3.35925	2.4942	1.323777	121.77	23.72	32.8	4.6	第 170 號
SUO	2012-01-04 15:00:23	1.916626	1.765075	1.916626	1.689341	1.222501	121.6	23.97	7.4	4.7	第 002 號
SUO	2012-01-16 17:55:54	26.18044	4.035954	26.18044	11.93696	8.479178	121.92	24.41	20.4	4.3	第 014 號
SUO	2012-01-20 06:07:04	22.11929	3.889542	20.79966	22.11929	5.910964	122.05	24.52	13.8	4.4	第 018 號
SUO	2012-01-25 16:36:57	4.09737	2.42501	3.802931	4.09737	1.676882	122.2	24.89	124.3	5	第 020 號
SUO	2012-02-04 10:54:57	7.114486	2.904287	5.530065	7.114486	3.500693	122.66	24.67	116.2	5.6	第 024 號
ANP	2012-03-09 08:05:13	1.446807	1.520821	1.446807	1.209314	1.121057	120.74	22.72	23.4	4.1	第 045 號
TCC	2012-03-22 07:45:25	3.852233	2.371425	3.183781	2.07069	3.852233	121.59	23.25	42.5	5	第 049 號
SUO	2012-04-03 04:41:42	2.085858	1.83857	2.064407	2.085858	1.129511	121.68	24.16	28.9	4.3	第 053 號
TPI	2012-04-09 05:44:23	2.290811	1.919978	2.124938	2.290811	1.690148	122.36	24.04	29.2	5.7	第 058 號
SUO	2012-04-09 05:44:42	1.058472	1.249359	1.058472	0.96599	0.481741	121.67	24.13	29.1	5.5	第 064 號

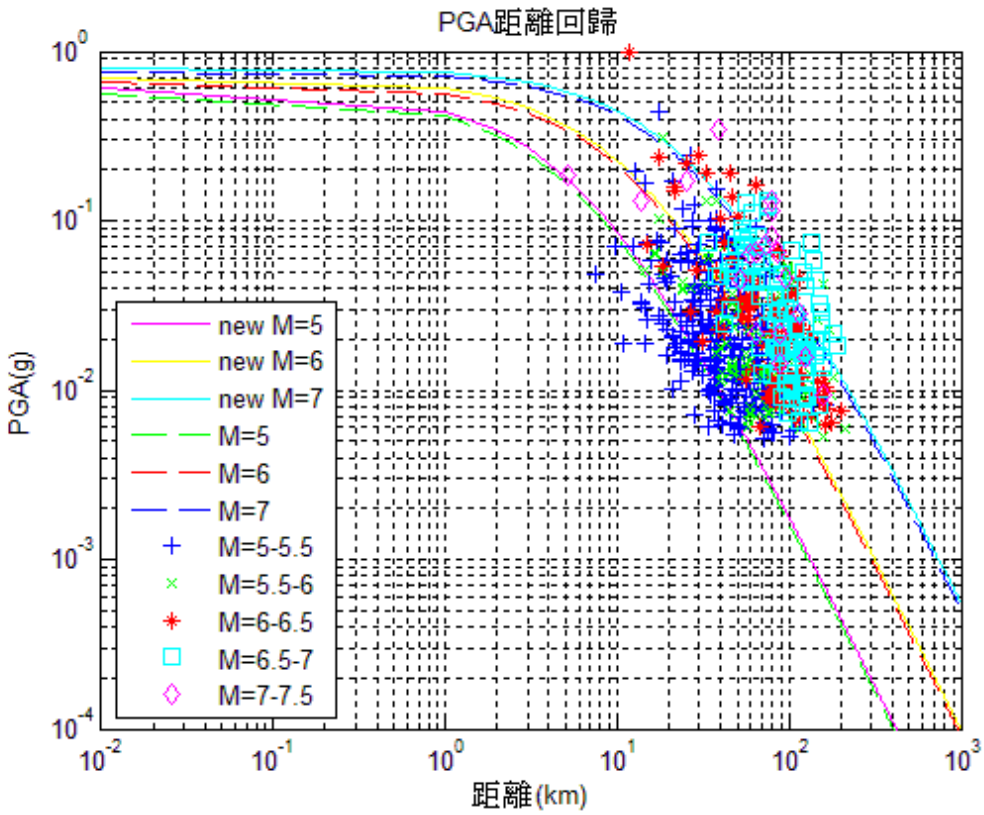


圖 4.30 第一階段迴歸新舊系數比較

表4-13 新舊係數比較

	1991~2010 年舊係數	1991~2012 年新係數
C1	0.00369	0.00402
C2	1.75377	1.75655
C3	2.056	2.059
C4	0.1222	0.1225
C5	0.7832	0.7859
資料筆數	189	202

經由篩選後，符合條件之資料為202筆，圖4.30中為新舊系數之衰減公式比較圖，並將202筆資料放入圖中將其分為5個規模等級，但由於資料筆數增加不多，故變化不大，圖中可看出資料大多落於該規模之衰減公式線附近，而公式(4.1)中各系數之修正結果如表4-13所示。

第二階段場址效應:

由於衰減公式尚未考慮到每個測站之場址效應，故將衰減公式再進行修正，比較每一個測站的實際值與誤差值取對數線性迴歸進行修正，求出C0與C1係數，但該迴歸方法之精度會與該測站之資料分佈以及資料數量以及其離散程度有關，並非符合篩選條件之測站就會有很高的精度。

篩選條件:

(一) 考慮所有規模大於 4 之即時站、強震站資料。

(二) 每個測站的資料筆數須大於 5 筆(由於布袋港的地震資料僅有 1 筆，故無法迴歸)。

(三) 迴歸方法:

(1)採用兩軸取自然對數建立線性關係

(2)雙線性

(3)將原有線性關係往下偏移一個平均誤差

(四) 由於和場址有關，故將分析分為港區及非港區。

五港區迴歸結果如下圖4-31~圖4-35，係數說明如表4-14~表4-18所示:

(a)安平港

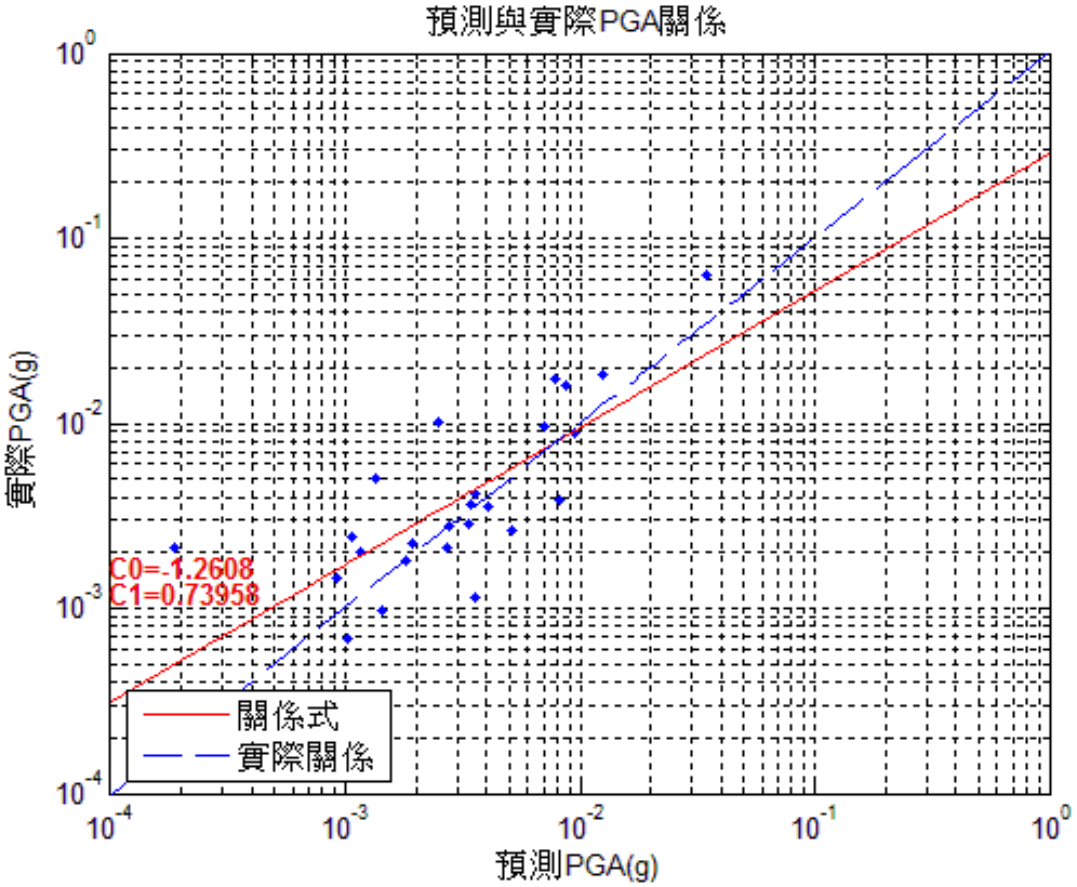


圖 4.31 安平港場址迴歸

表4-14 安平港係數

資料筆數	25
C0	-1.2608
C1	0.73958
種類	港口測站
無舊場址係數	

(b)蘇澳港

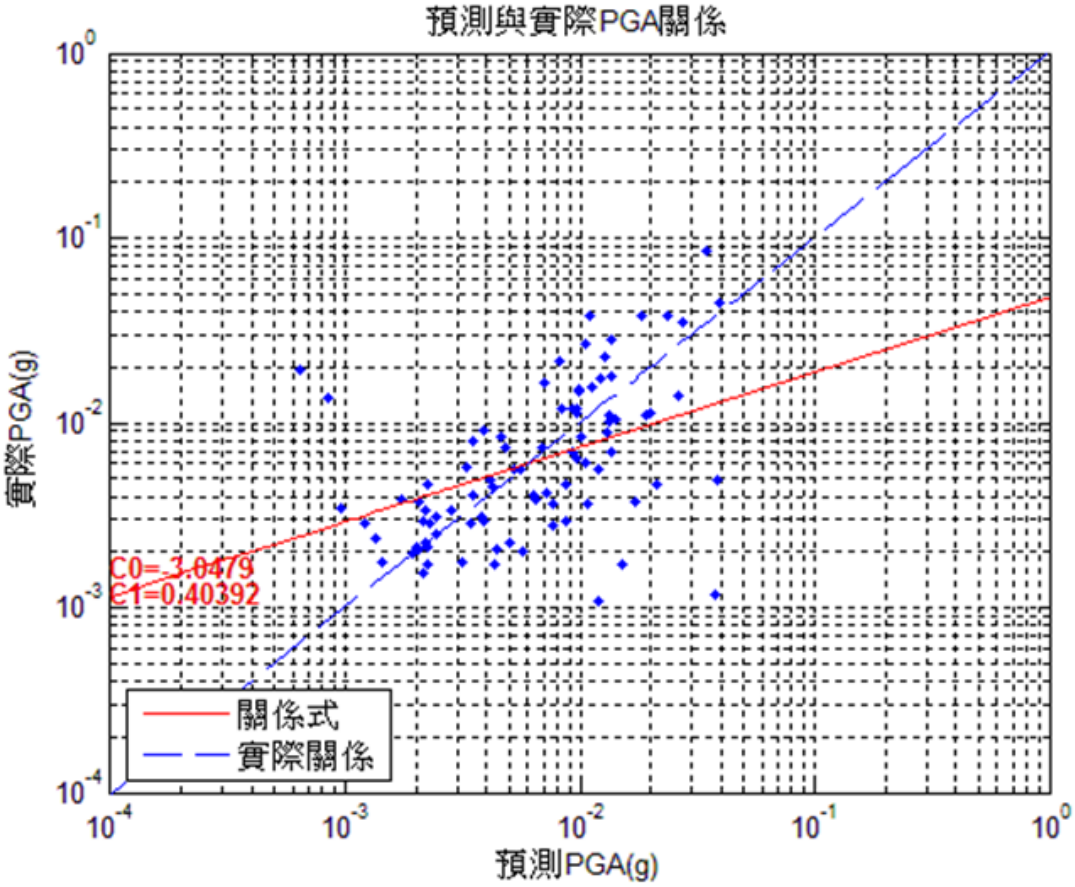


圖 4.32 蘇澳港場址迴歸

表4-15 蘇澳港係數

資料筆數	89
C0	-3.0479
C1	0.40392
種類	港口測站
無舊場址係數	

(c)臺中港

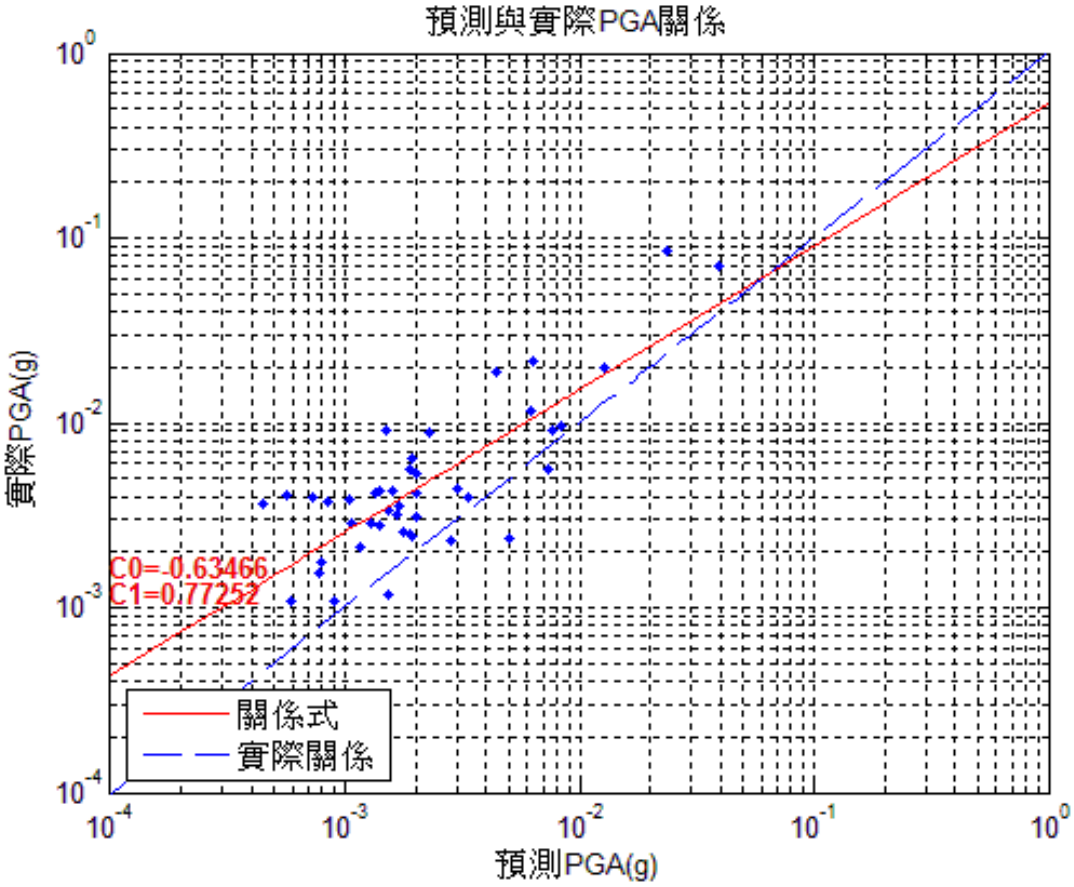


圖 4.33 臺中港場址迴歸

表4-16 臺中港係數

資料筆數	43
C0	-0.63466
C1	0.77252
種類	港口測站
無舊場址係數	

(d)臺北港

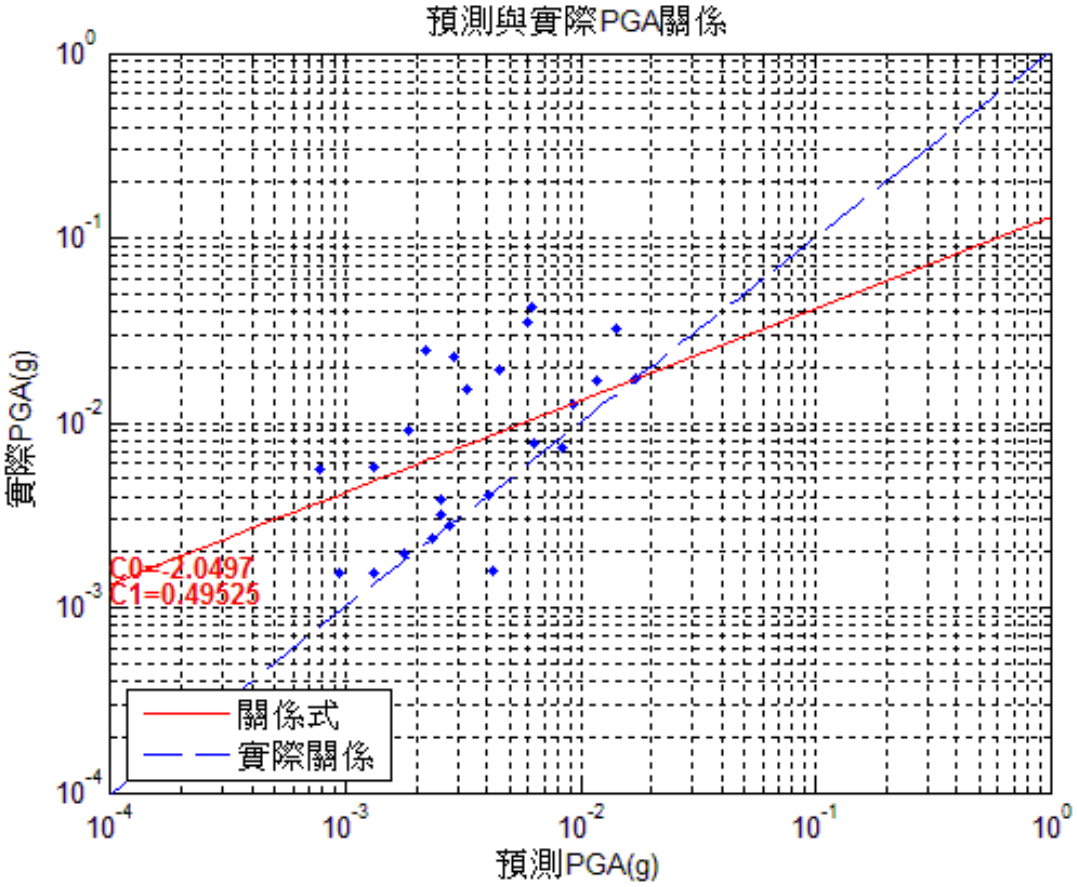


圖 4.34 臺北港場址迴歸

表4-17 臺北港係數

資料筆數	26
C0	-2.0497
C1	0.49525
種類	港口測站
無舊場址係數	

(e)高雄港

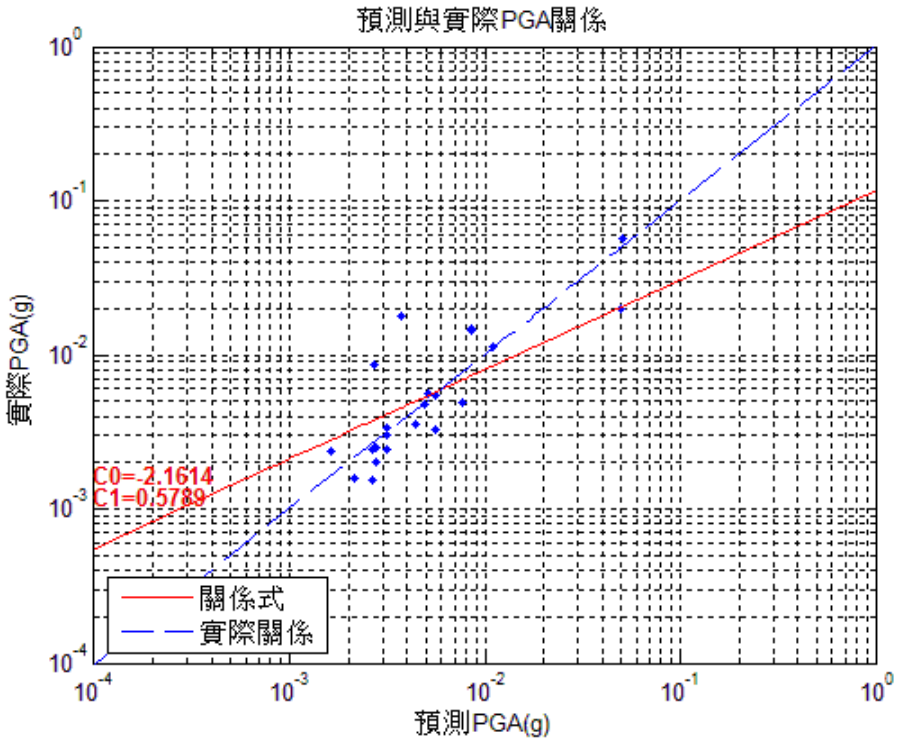


圖 4.35 高雄港場址迴歸

表4-18 高雄港係數

資料筆數	21
C0	-2.1614
C1	0.5789
種類	港口測站
無舊場址係數	

雖然測站有迴歸出係數，但該係數並非準確，如圖4.36與圖4.37例迴歸精度差以及佳的例子:

精度差：

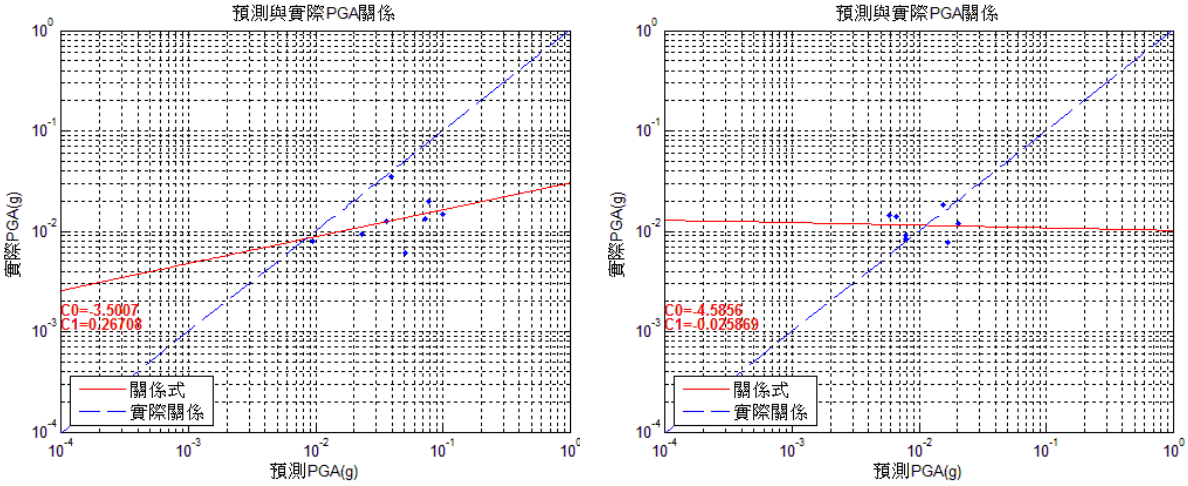
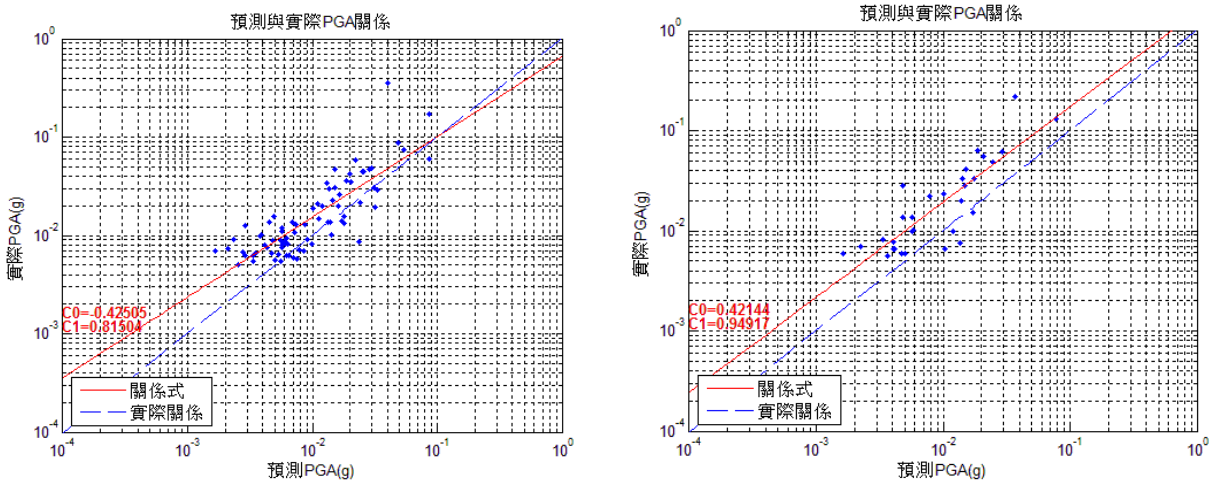


圖 4.36 迴歸精度差之案例(ILA069、MND020 測站)

精度好：



CHY099 **CHY108**

圖 4.37 迴歸精度好之案例(CHY099、CHY108 測站)

由於港區和部分測站會有該情況發生，須進行修正，本研究以雙線性來改善其誤差，修正方法為找出迴歸方程式以及實際關係交點，在該交點以下以實際關係之方程式取代，如圖4.38至圖4.43所示。

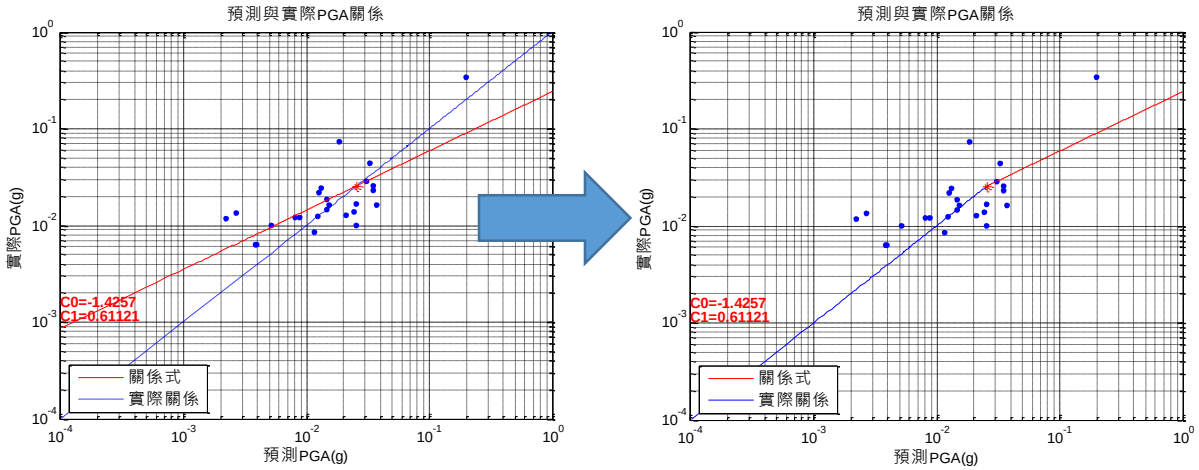


圖 4.38 NST 測站雙線性修正

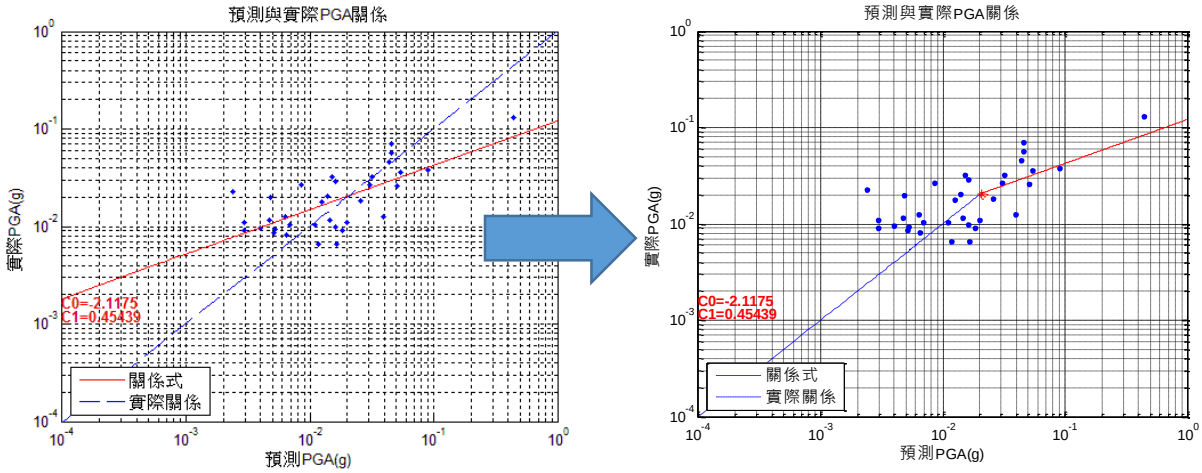


圖 4.39 NSY 測站修正

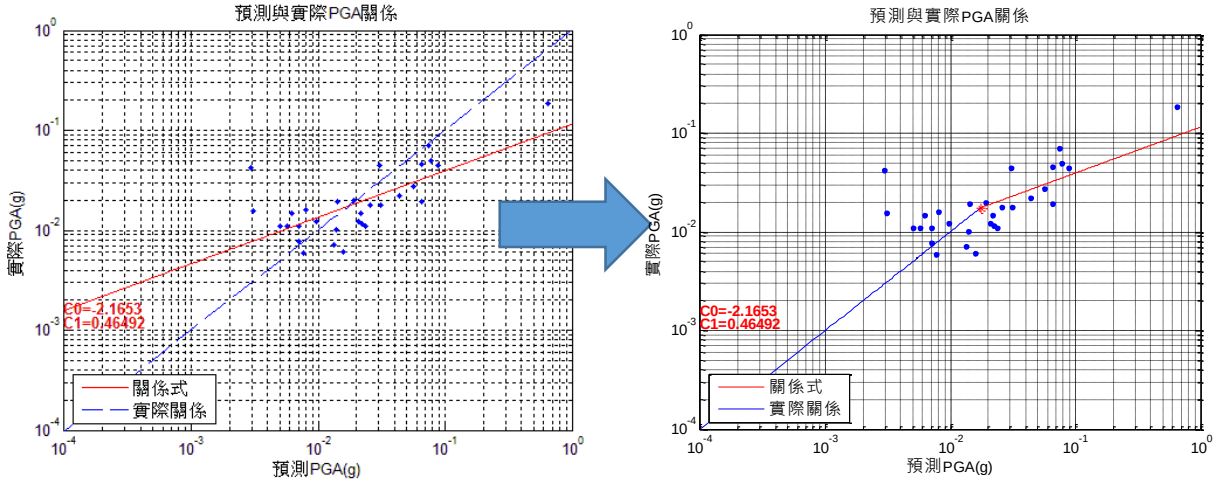


圖 4.40 TCU 測站修正

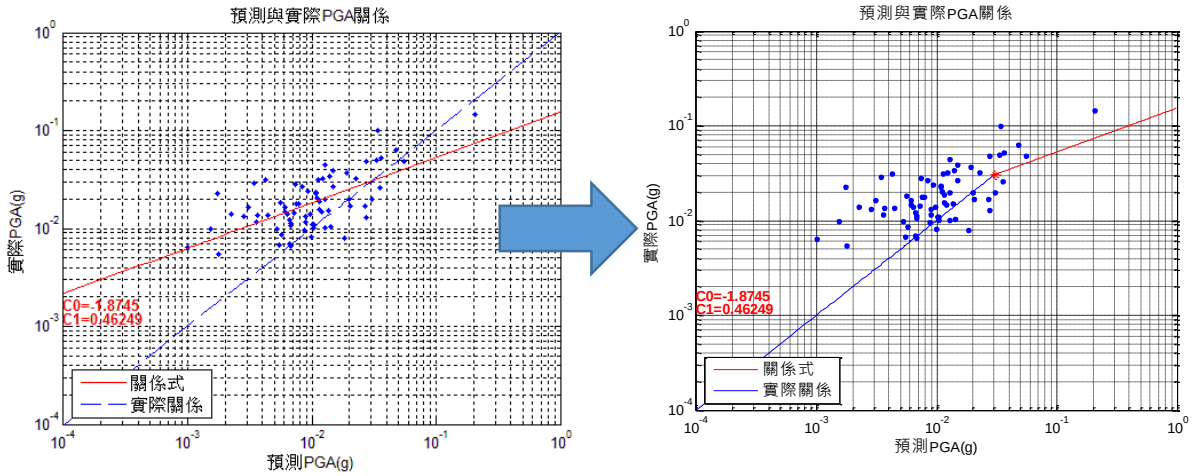


圖 4.41 CHY 測站修正

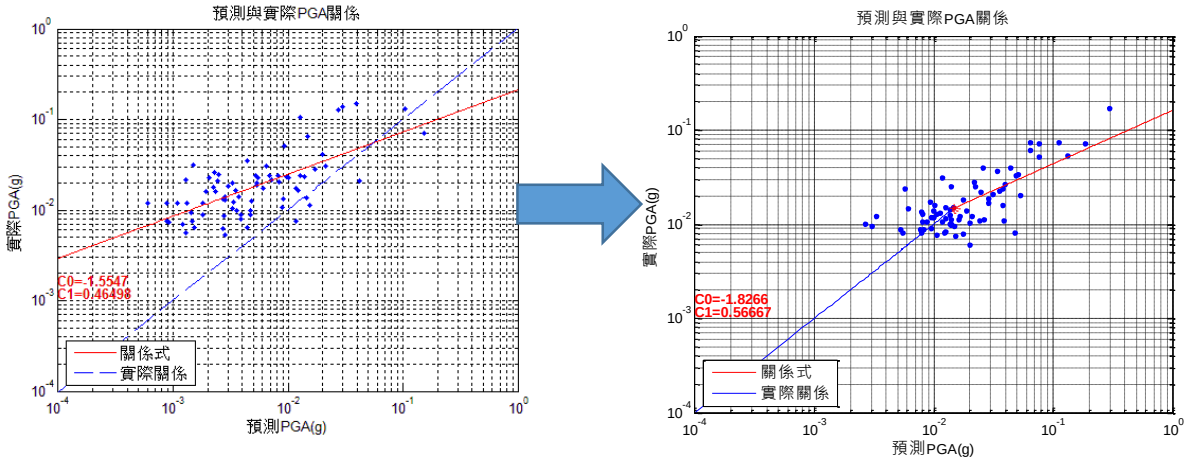


圖 4.42 WSF 測站修正

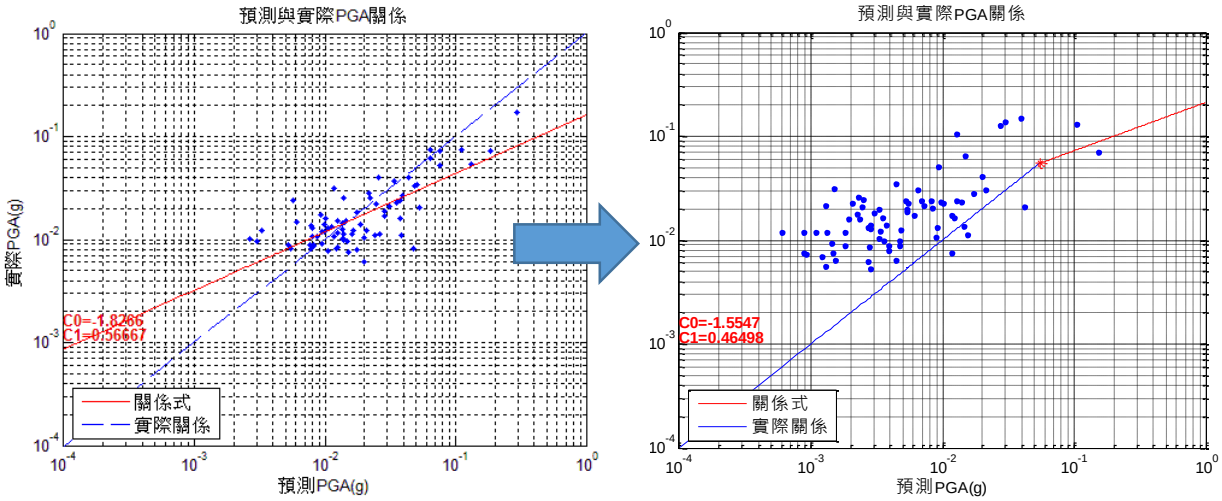


圖 4.43 ALS 測站修正

非港區之測站選取方式為有測到921地震資料之測站，且震度為中震度(>=80gal)，再將該法套用至港區得下列港區的雙線性迴歸圖，結果如圖4.44至圖4.48，係數說明如表4-19至4-23。

(一)安平港(ANP)

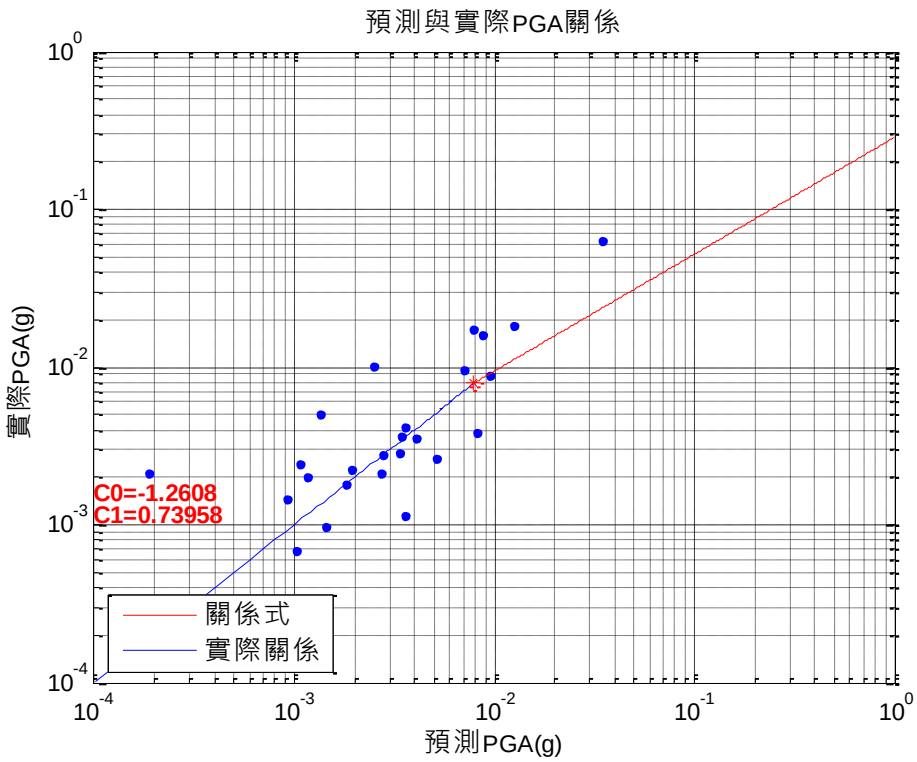


圖 4.44 安平港雙線性迴歸

表4-19 安平港轉折係數

資料筆數	25
C0	-1.2608
C1	0.73958
轉折處(gal)	7.743
種類	港口測站
無舊場址係數	

(二)蘇澳港(SUO)

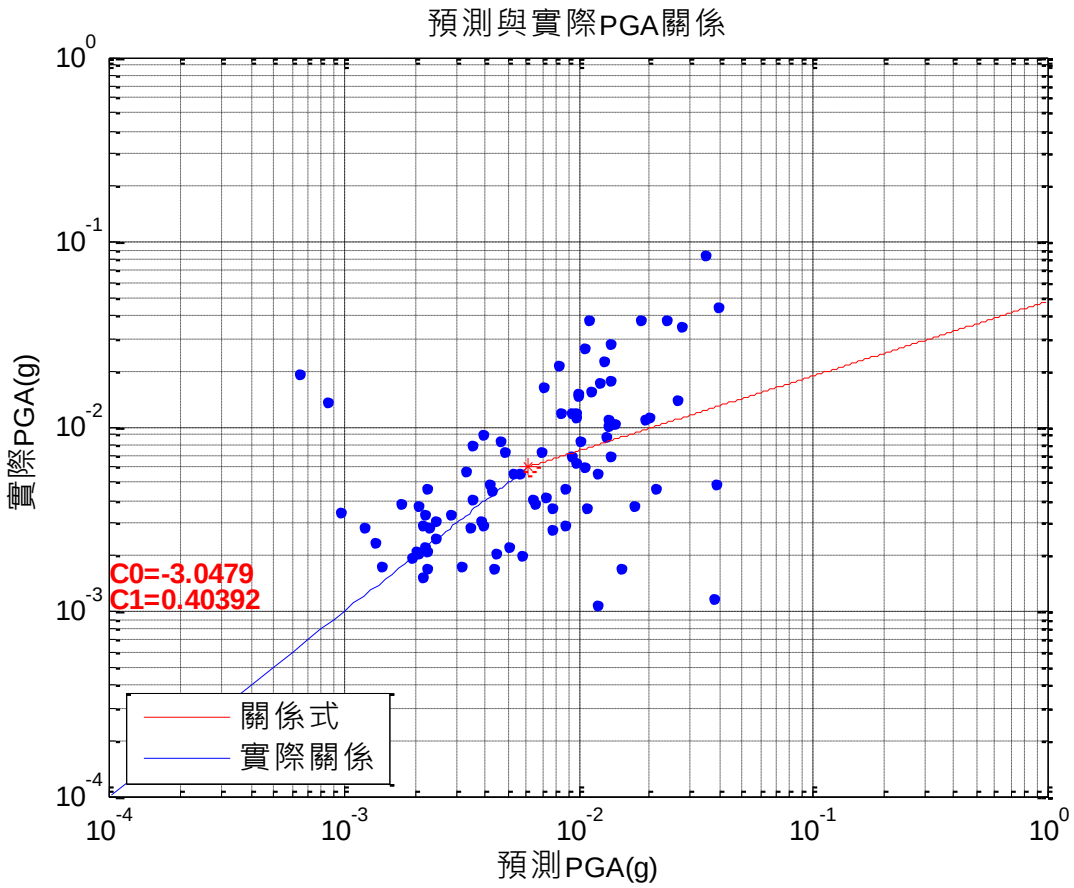


圖 4.45 蘇澳港雙線性迴歸

表4-20 蘇澳港轉折係數

資料筆數	89
C0	-3.0479
C1	0.40392
轉折處(gal)	5.903
種類	港口測站
無舊場址係數	

(三)臺中港(TCC)

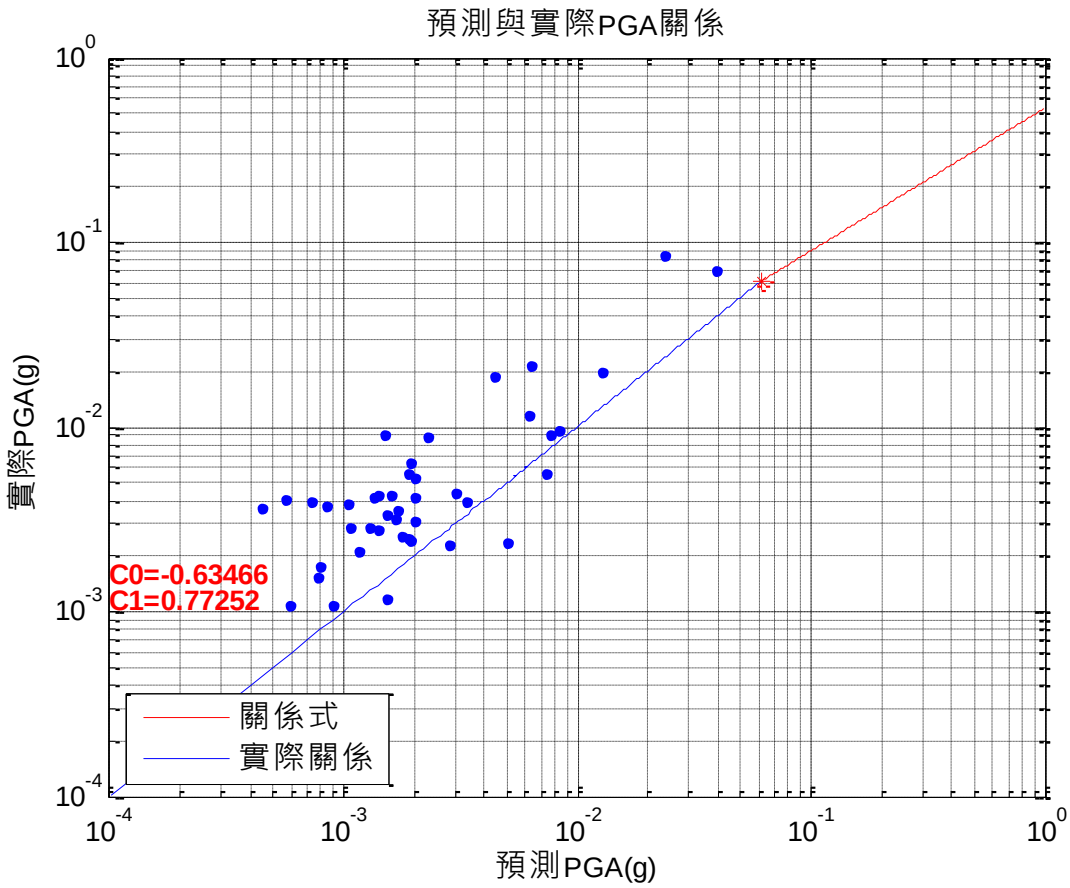


圖 4.46 臺中港雙線性迴歸

表4-21 臺中港轉折係數

資料筆數	43
C0	-0.63466
C1	0.77252
轉折處(gal)	60.26
種類	港口測站
無舊場址係數	

(四)臺北港(TPI)

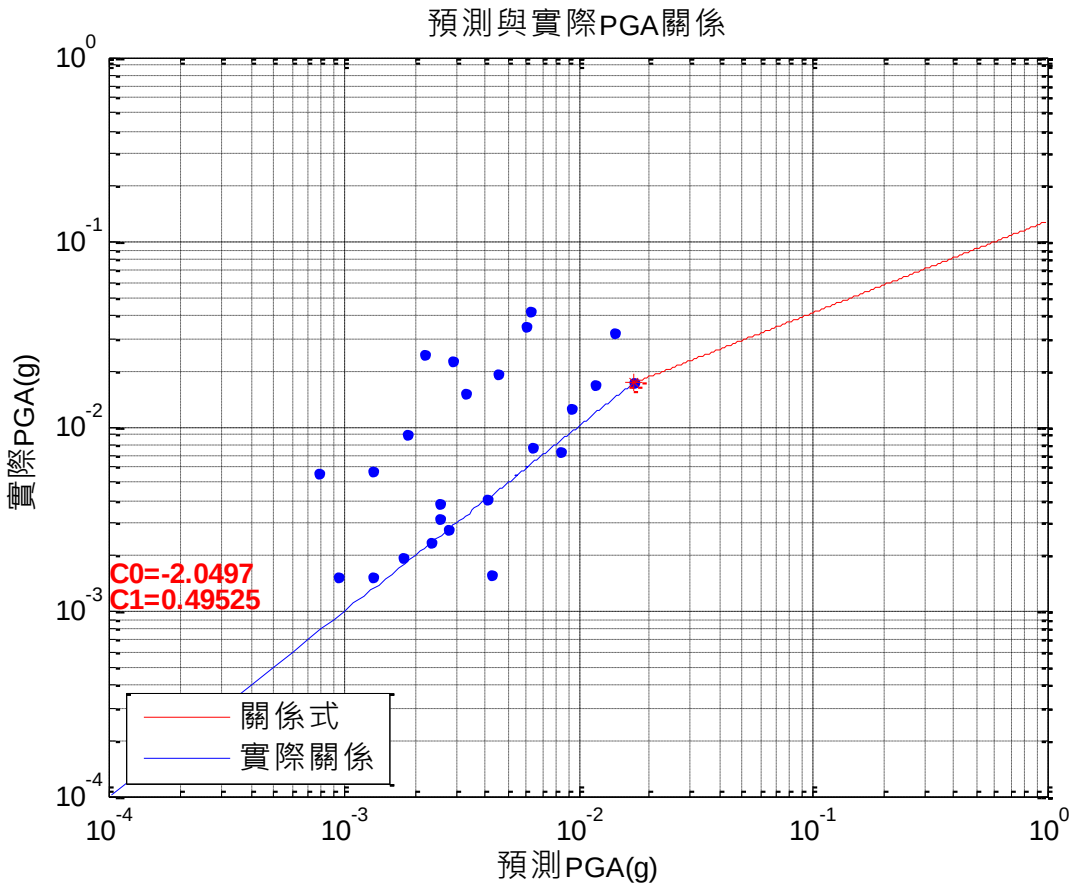


圖 4.47 臺北港雙線性迴歸

表4-22 臺北港轉折係數

資料筆數	26
C0	-2.0497
C1	0.49525
轉折處(gal)	16.9
種類	港口測站
無舊場址係數	

(五)高雄港(KAH)

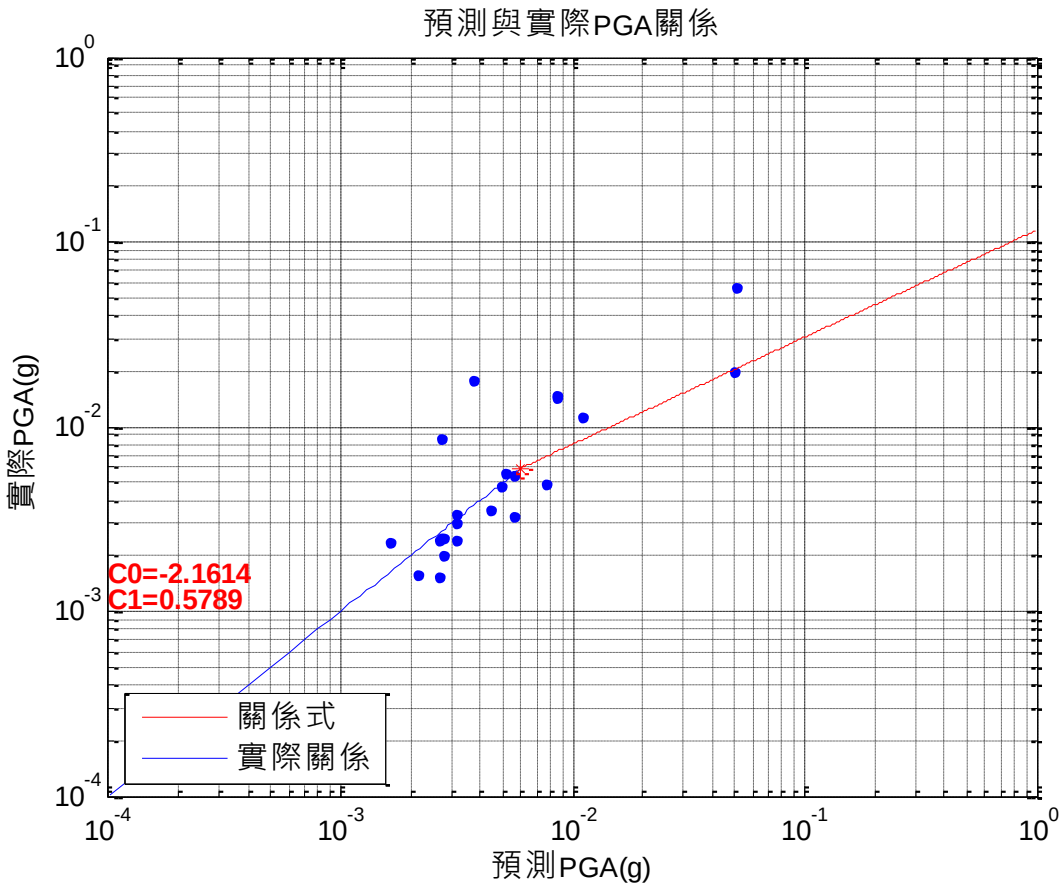


圖 4.48 高雄港雙線性迴歸

表4-23 高雄港轉折係數

資料筆數	24
C0	-2.1614
C1	0.5789
轉折處(gal)	5.788
種類	港口測站
無舊場址係數	

另一種修改方法則是將對數線性迴歸之值與實際PGA作比較，並計算其誤差，將誤差平均之後，作為該線往下移動標準。非港區之迴歸結果如圖4.49至圖4.54。

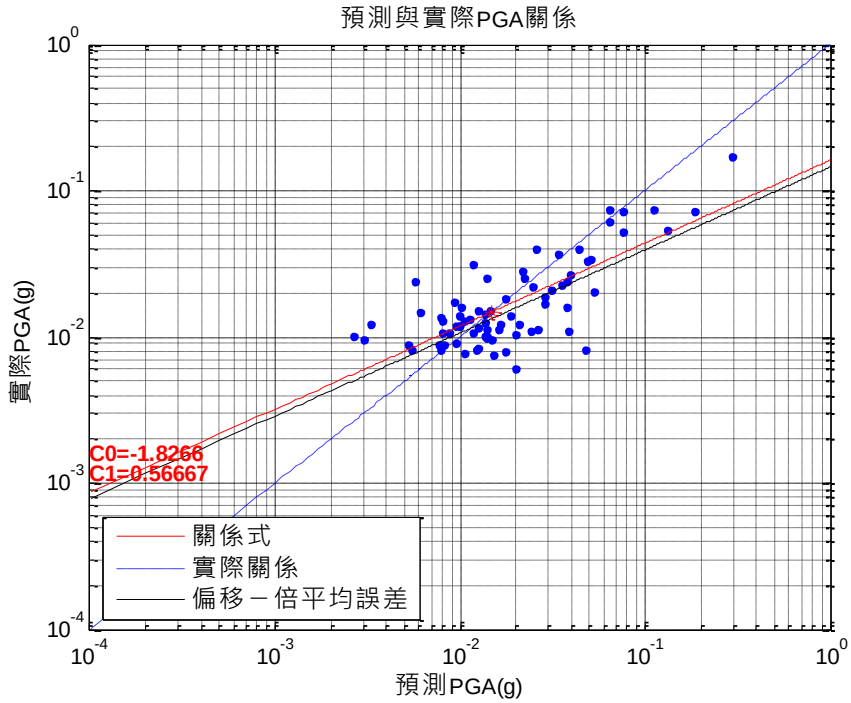


圖 4.49 ALS 測站修正

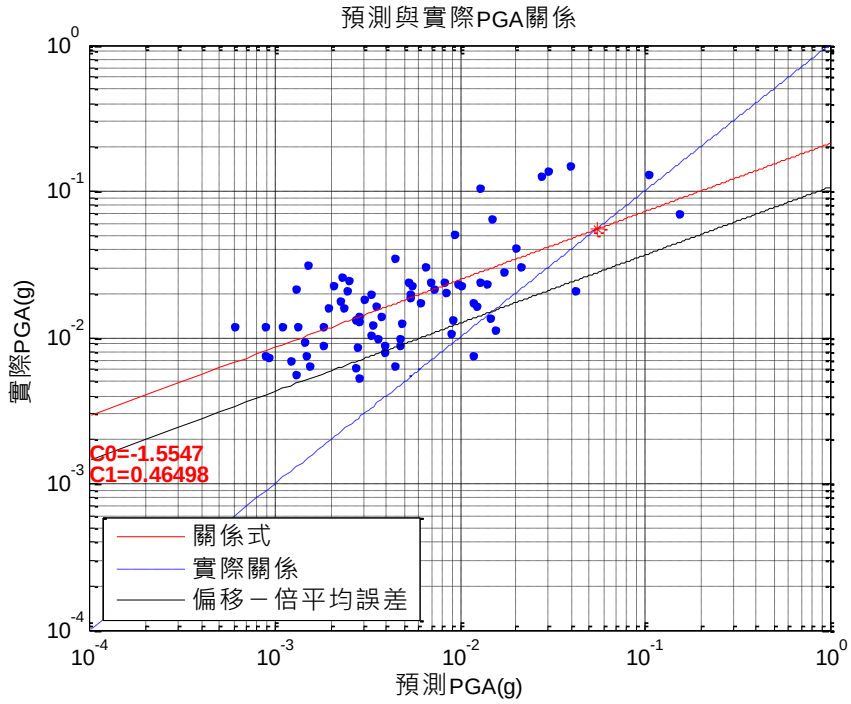


圖 4.50 WSF 測站修正

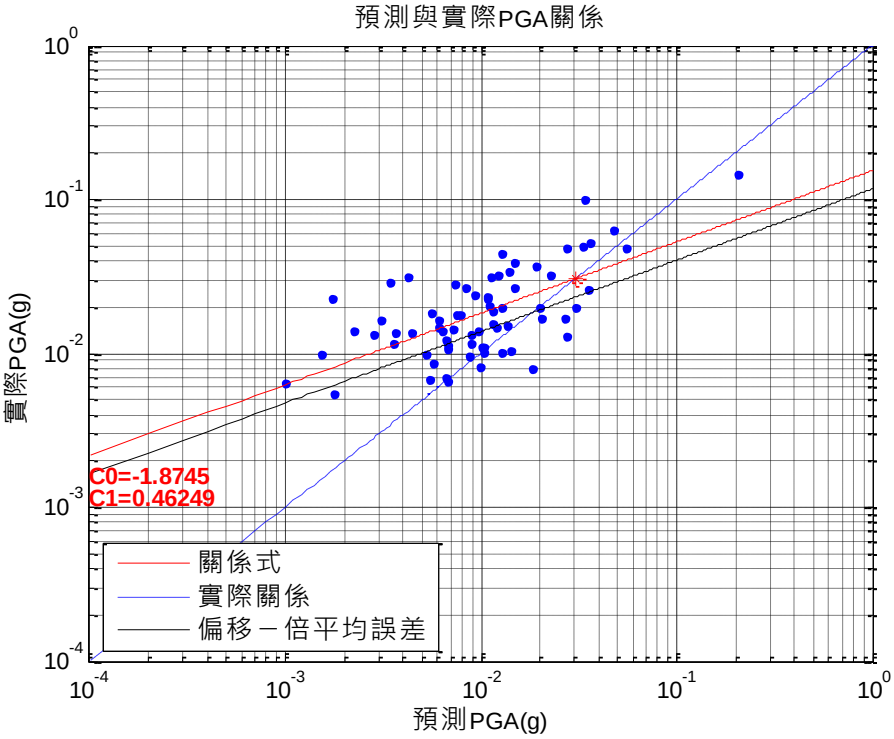


圖 4.51 CHY 測站修正

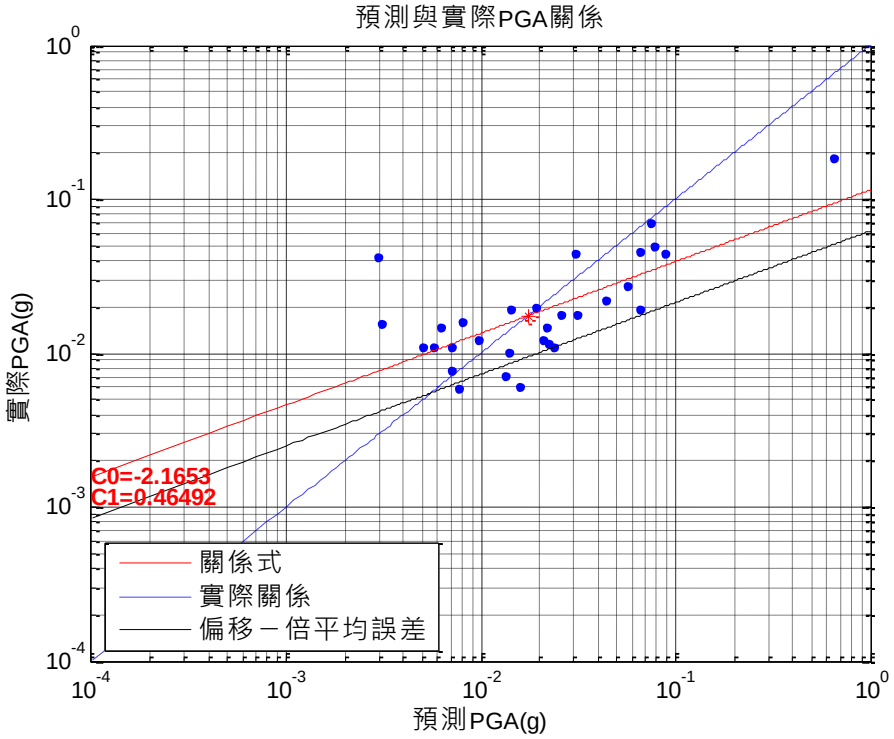


圖 4.52 TCU 測站修正

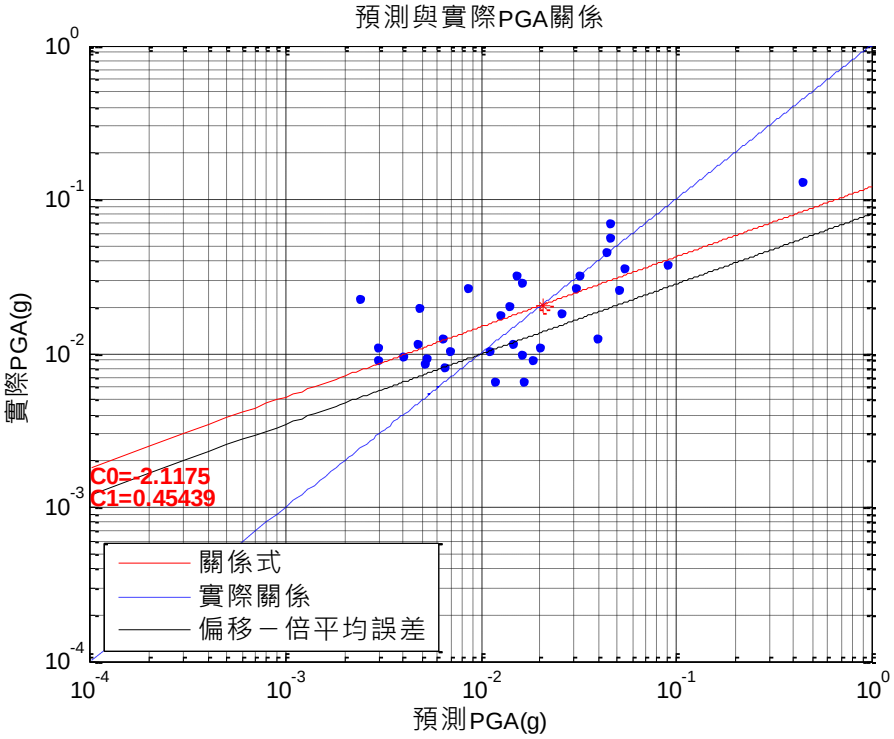


圖 4.53 NSY 測站修正

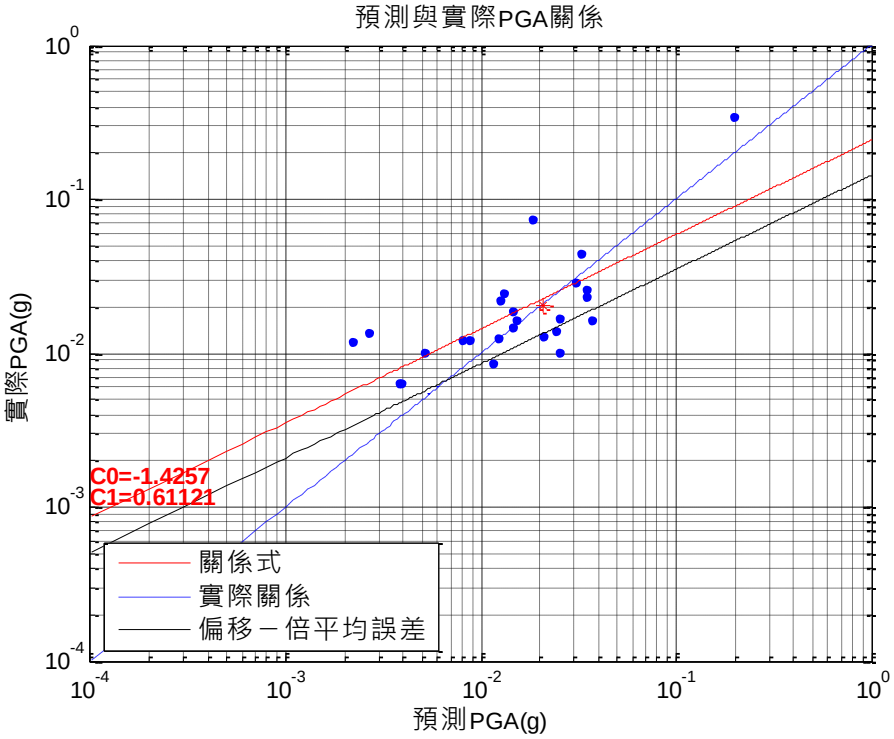


圖 4.54 NST 測站修正

港區修正結果如圖 4.55 至圖 4.59:

(一)安平港(ANP)

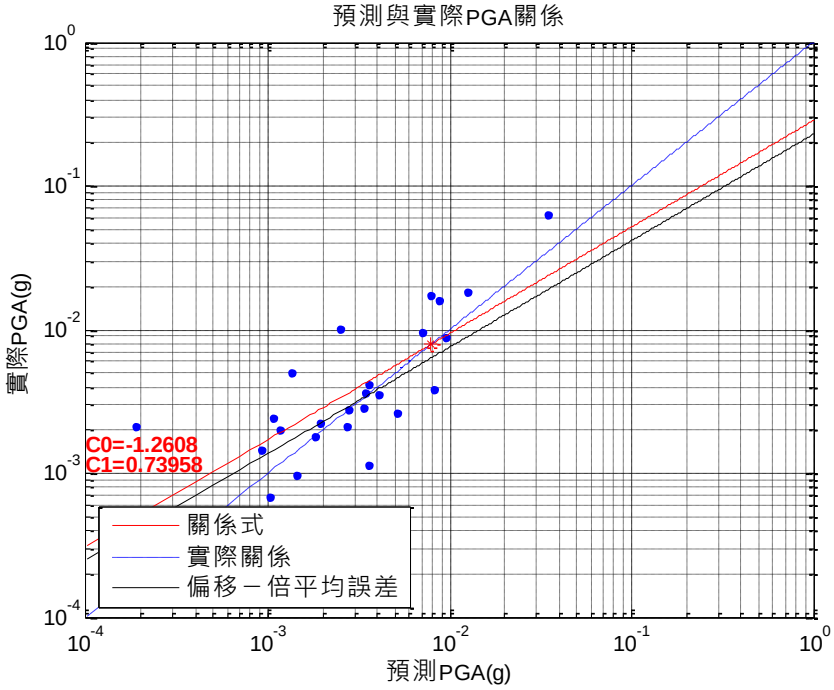


圖 4.55 安平港測站修正

(二)蘇澳港(SUO)

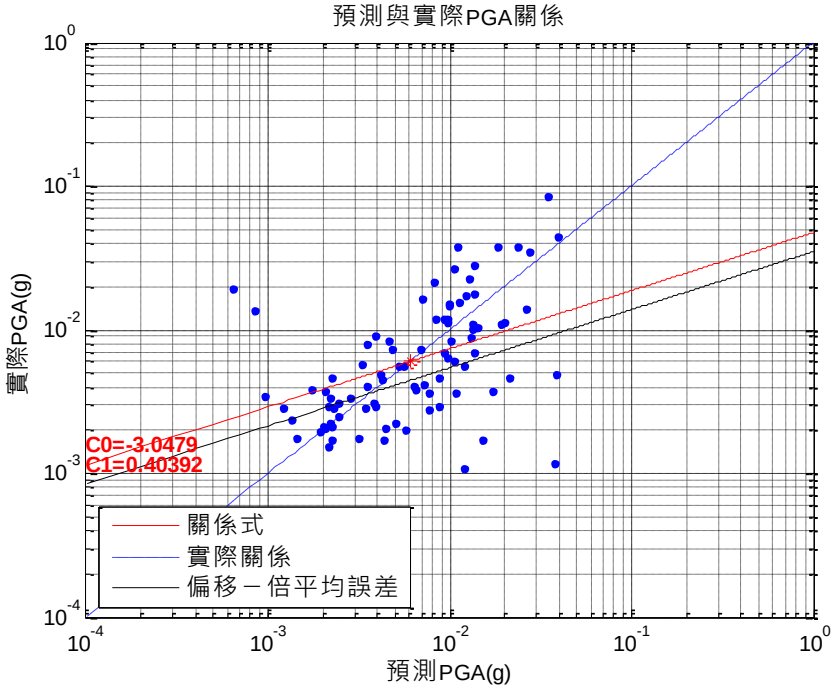


圖 4.56 蘇澳港測站修正

(三)臺中港(TCC)

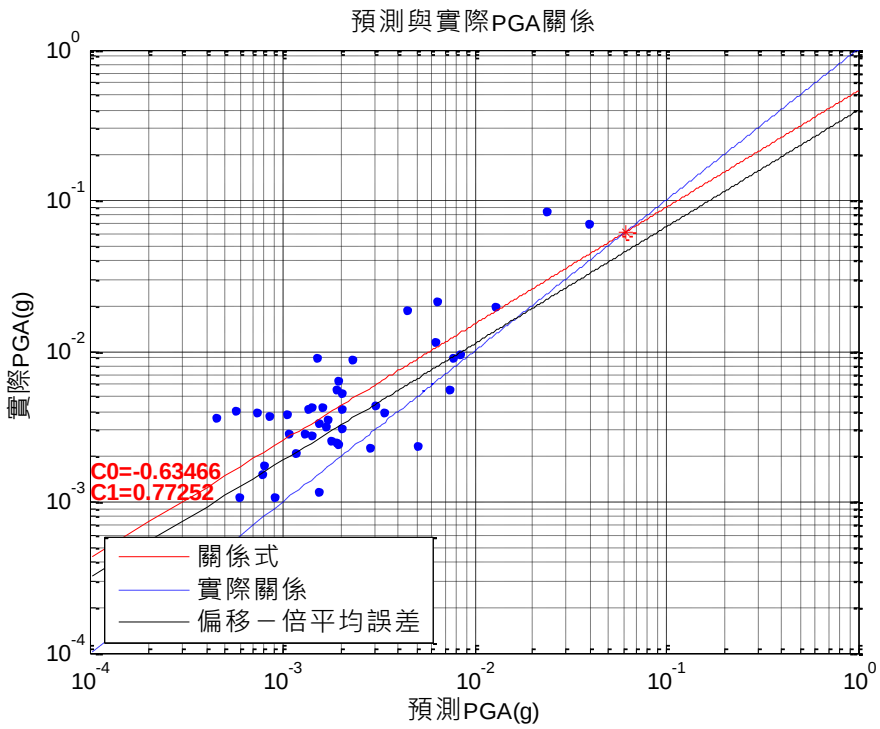


圖 4.57 臺中港測站修正

(四)臺北港(TPI)

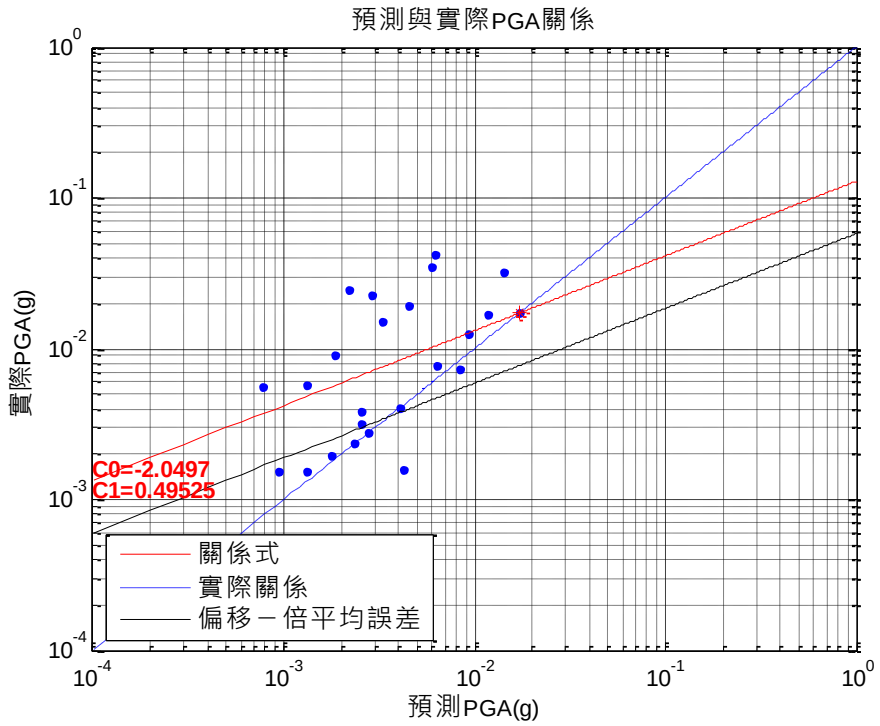


圖 4.58 臺北港測站修正

(五)高雄港(KAH)

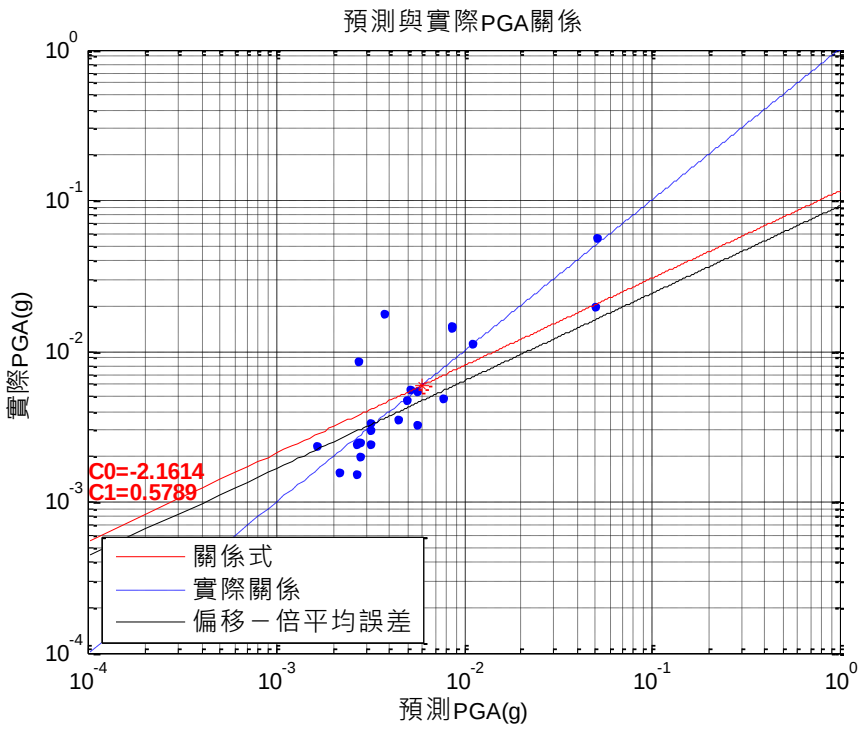


圖 4.59 高雄港測站修正

以 921 主震之測站資料進行新舊場址係數的比較，選擇條件如下:

1.範圍在 50km 以內之測站。

2.以中震度(25gal~80gal)以上作為選擇條件。

3.共有 NSY、TCU、CHY、WSF、NST、ALS 等六個測站。

在將這三種方法與舊係數和實際值作比較，如圖4.60至4.70。

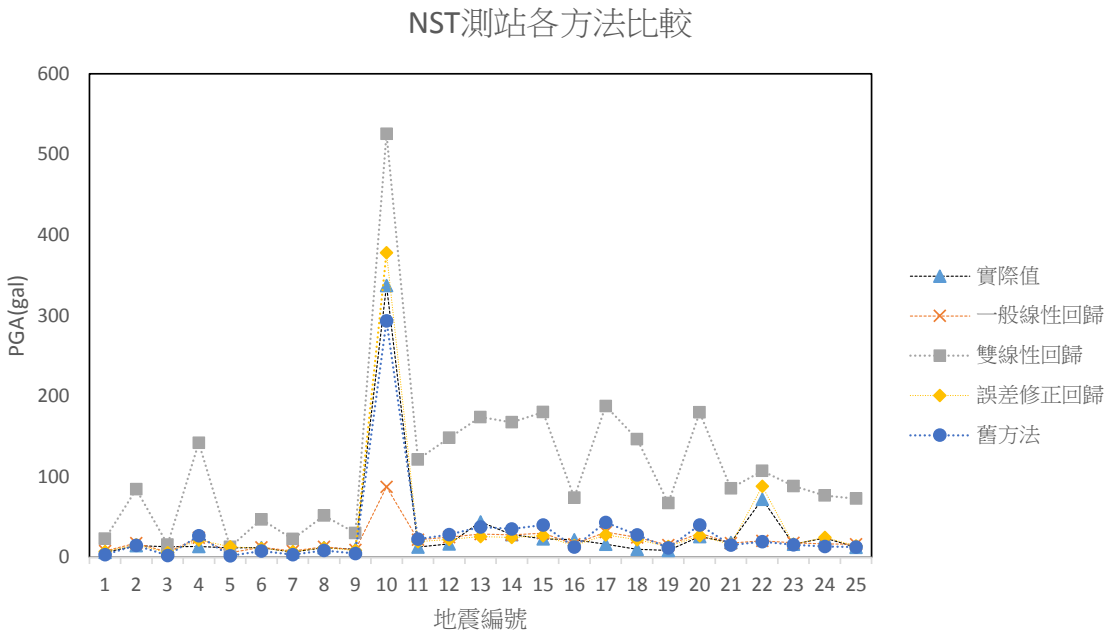


圖 4.60 NST 測站各方法比較

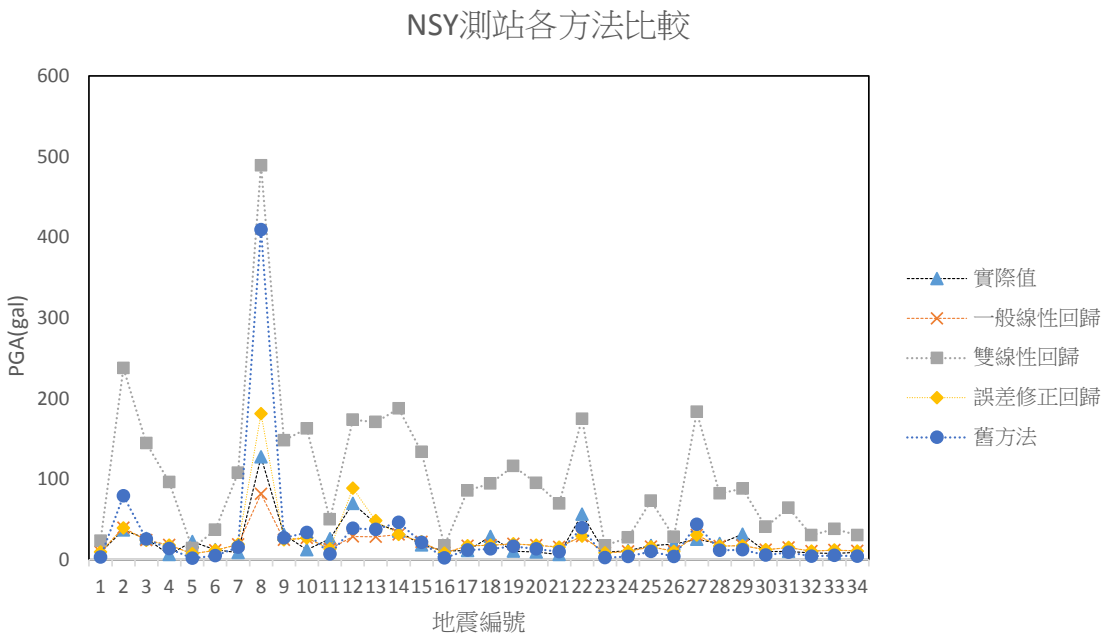


圖 4.61 NSY 測站各方法比較

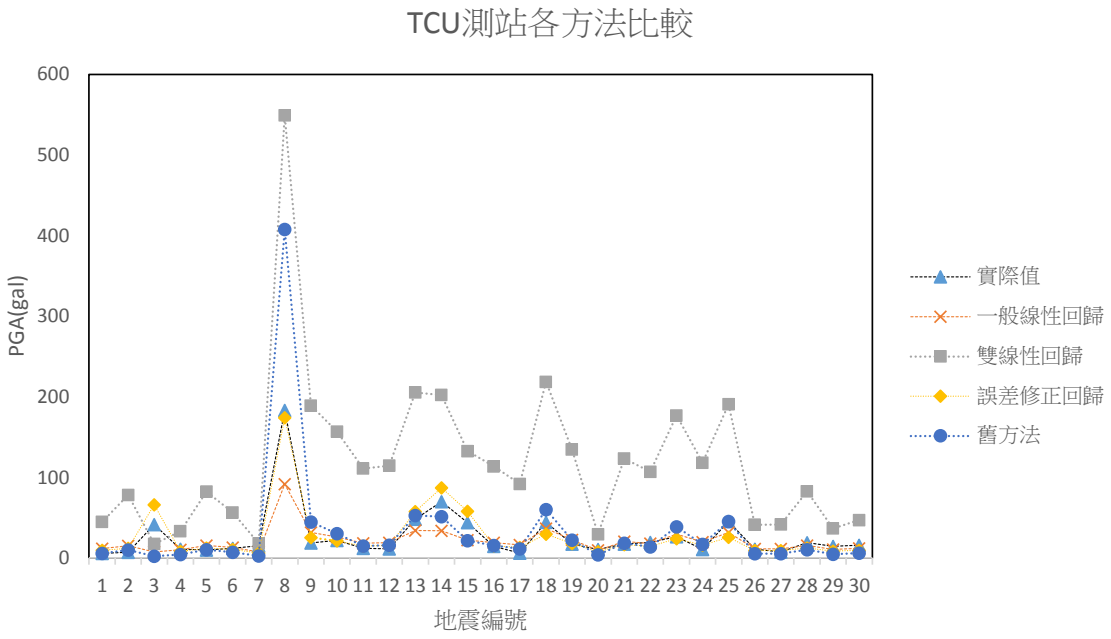


圖 4.62 TCU 測站各方法比較

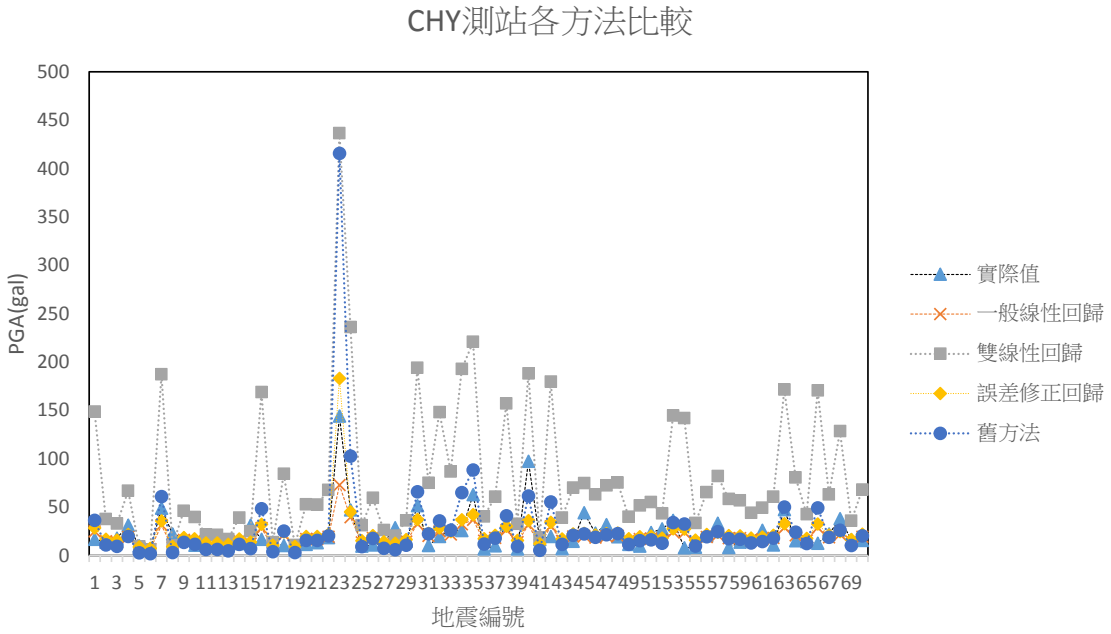


圖 4.63 CHY 測站各方法比較

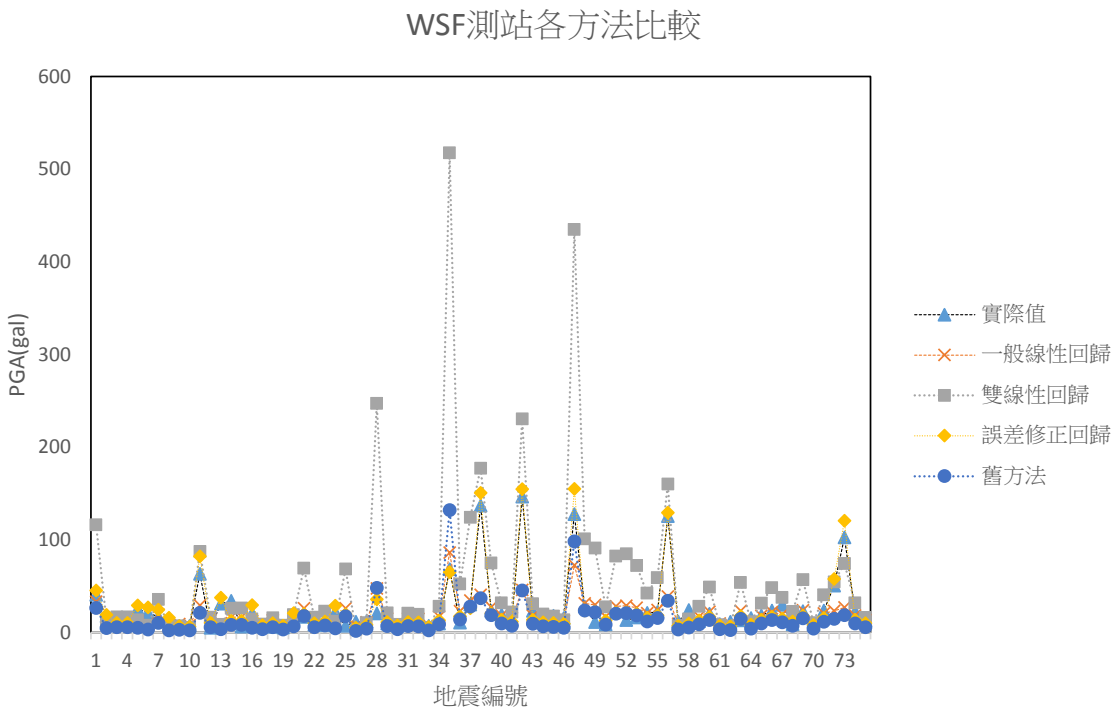


圖 4.64 WSF 測站各方法比較

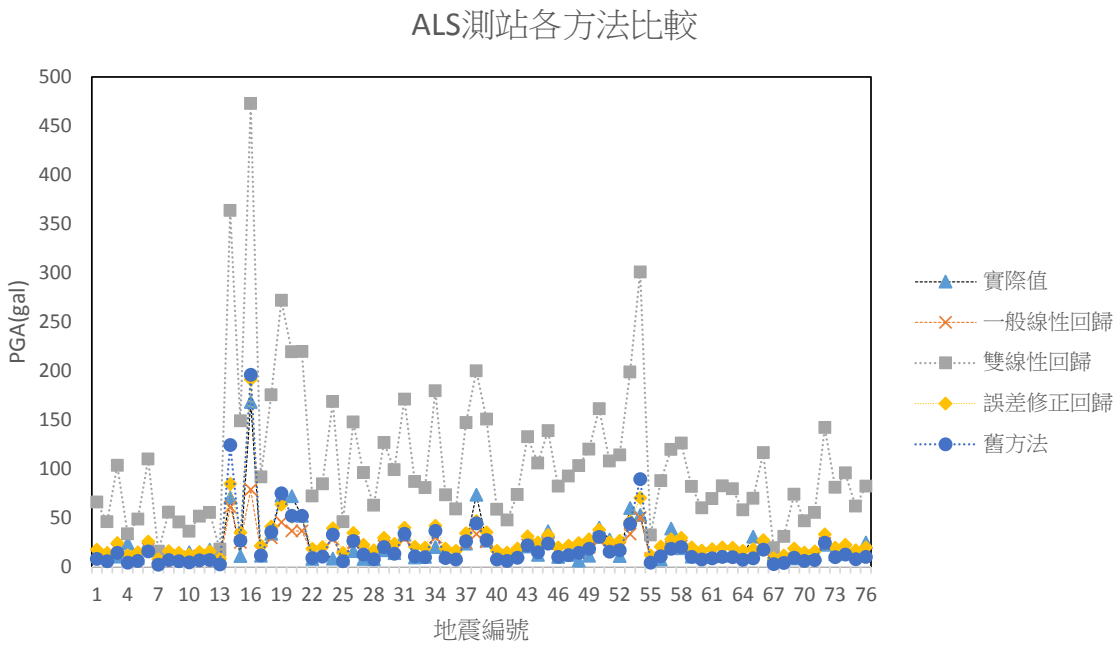


圖 4.65 ALS 測站各方法比較

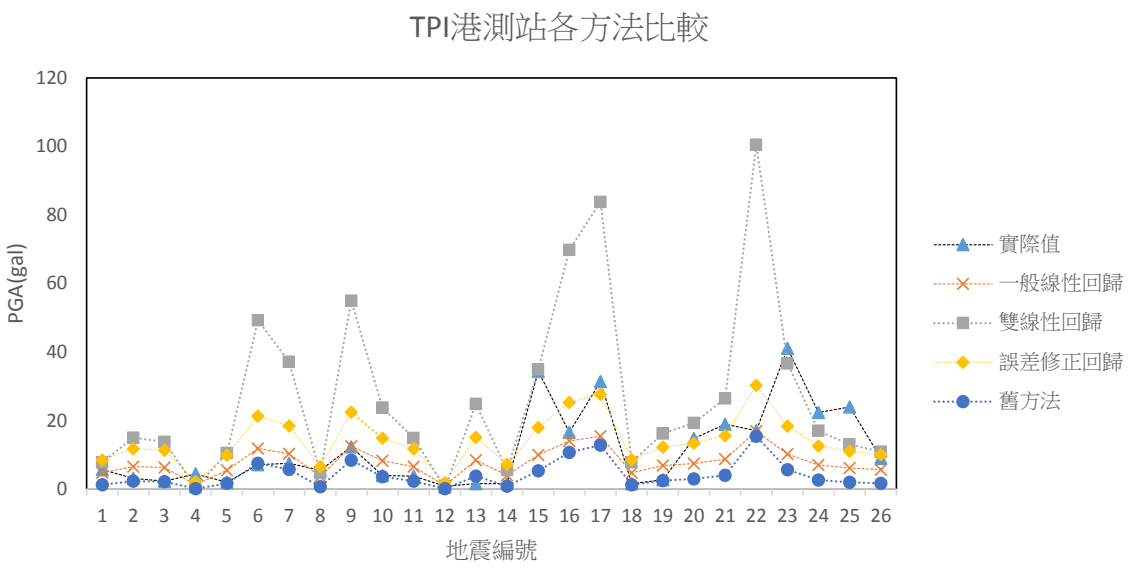


圖 4.66 TPI 測站各方法比較

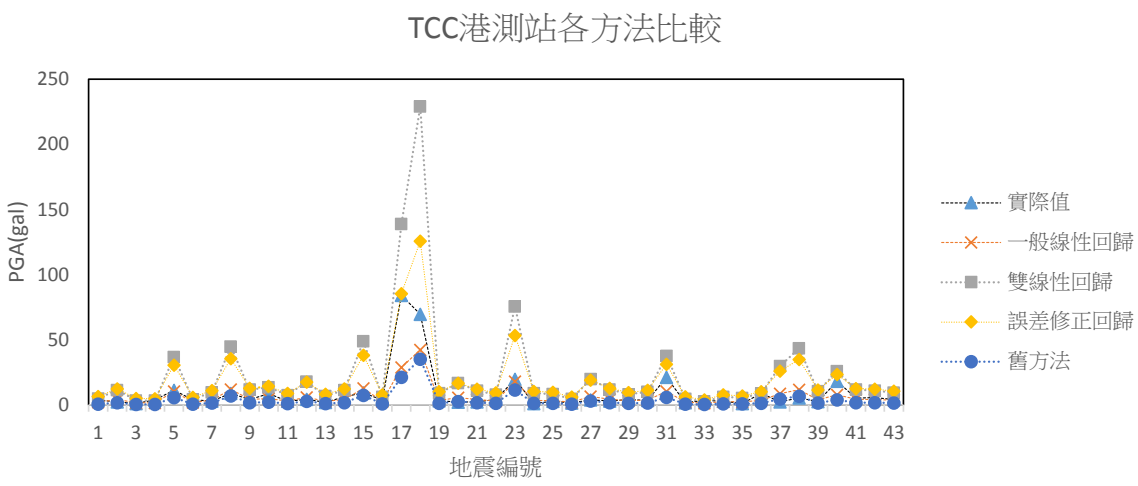


圖 4.67 TCC 測站各方法比較

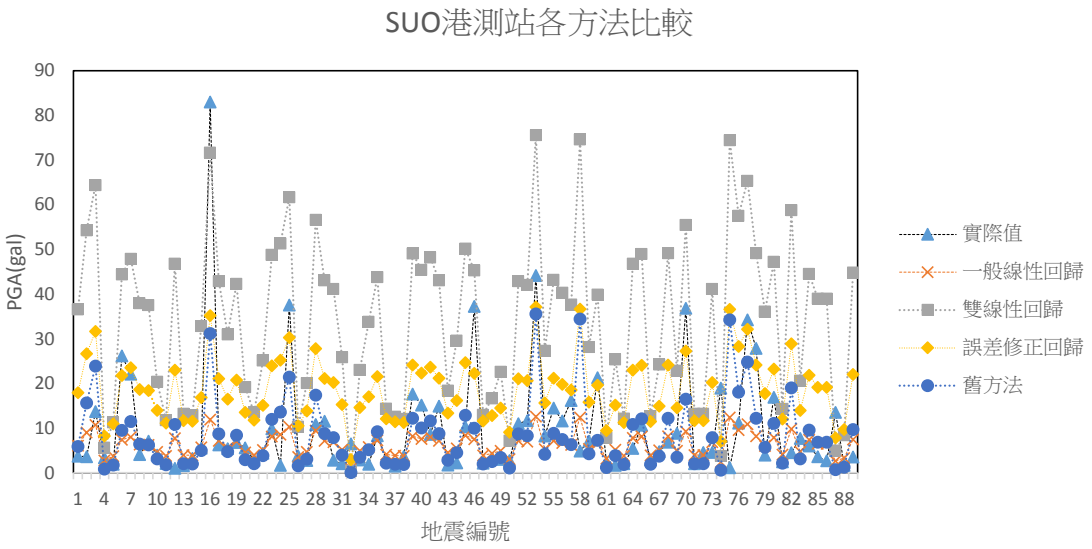


圖 4.68 SUO 測站各方法比較

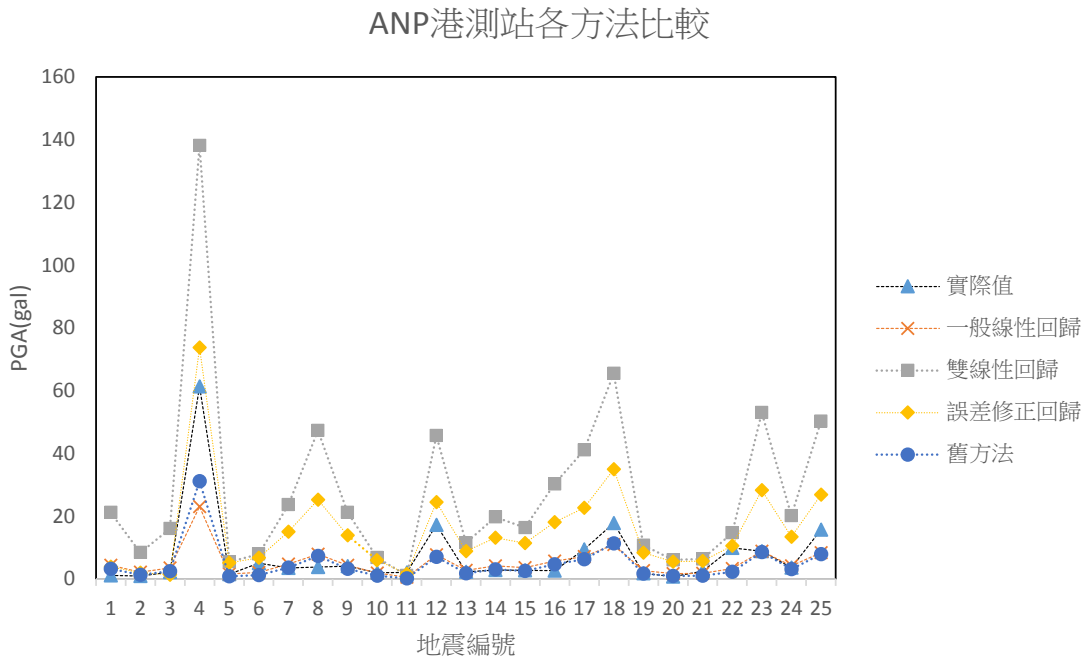


圖 4.69 ANP 測站各方法比較

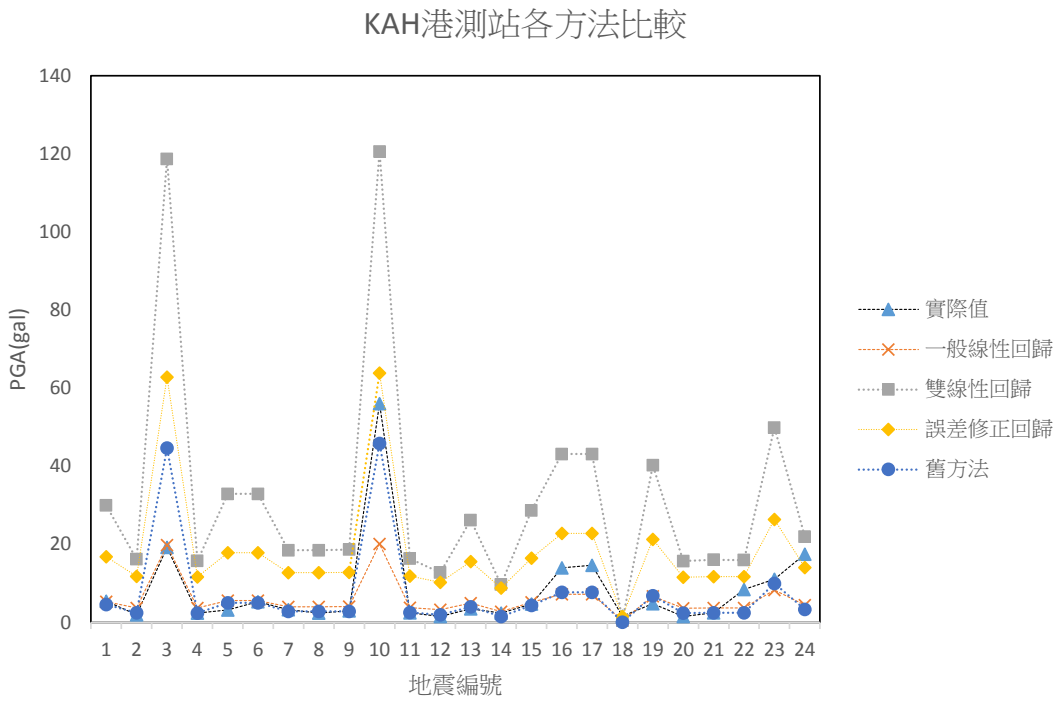


圖 4.70 KAH 測站各方法比較

各種方法比較結果如表4-24、表4-25所示，採用誤差修正迴歸相較舊方法準確率明顯提升。

表4-24 非港區測站各方法誤差比較

非港區	迴歸方法	一般線性迴歸	雙線性迴歸	誤差修正迴歸	舊方法
資料筆數	測站代號	誤差			
25	NST	-32%	261%	10%	48%
34	NSY	-15%	340%	7%	23%
30	TCU	-19%	348%	2%	21%
70	CHY	-15%	258%	4%	25%
75	WSF	-20%	116%	3%	-45%
76	ALS	-14%	394%	25%	-7%

表4-25 港區測站各方法誤差比較

港區	迴歸方法	一般線性迴歸	雙線性迴歸	誤差修正迴歸	舊方法
資料筆數	測站代號	誤差			
25	ANP 港	-31%	272%	11%	-37%
89	SUO 港	-34%	257%	10%	-14%
43	TCC 港	-25%	174%	12%	-58%
26	TPI 港	-31%	137%	24%	-64%
24	KAH 港	-27%	296%	13%	-9%

小結:

表4-24、表4-25中負表示低估，正表示高估，舊方法港區為不考慮場址之C1~C5，非港區則是前研究之C0~C1。

表中可以看出一般線性迴歸的結果會低估，與該測站資料有關，並非所有測站皆如此；而雙線性迴歸都有普遍過於高估的現象；誤差修正迴歸則是在有些大地震過於高估的情況可以明顯改善，但如果該測站資料太過分散，會使得偏移之距離過大，使其更為高估。

第一階段迴歸分析由於近距離地震資料少的關係，會使得小於25公里的地震有明顯差異。第一階段之結果對較硬之岩盤會高估PGA，在軟弱的地盤則是會低估該測站PGA，原因為每個測站都有該場址性質，因此需進行第二階段修正。

第二階段之誤差，線性迴歸的誤差雖然較小，但在圖中可以看出在大地震的部分會有低估的情形，而第二種雙線性則是可以改善上述情況，部分測站會有明顯高估，而第三種誤差修正迴歸則是可以將雙線性的情形在改善，如果要得到更精確的預測值，則必須根據每個測站的性質進行修正，才能夠得到較為精確的預測值。

(g)0206台南地震模式驗證

本研究使用前研究之方法進行西元2016年02月06日美濃地震之預測，該地震基本資料如表4-26所示。

表4-26 地震資料

2016 年 02 月 06 月 3:57	緯度	經度	深度(km)	規模	
	22.922	120.543833	14.64	6.6	
第一階段係數	C1	C2	C3	C4	C5
	0.004022	1.75655	2.059	0.1225	0.7859

實測資料由國震中心提供，分析測站為大於200gal之紀錄測站，並使用前研究之方法進行誤差偏移修正後與舊有參數之比較，如圖4.71、圖4.72所示。

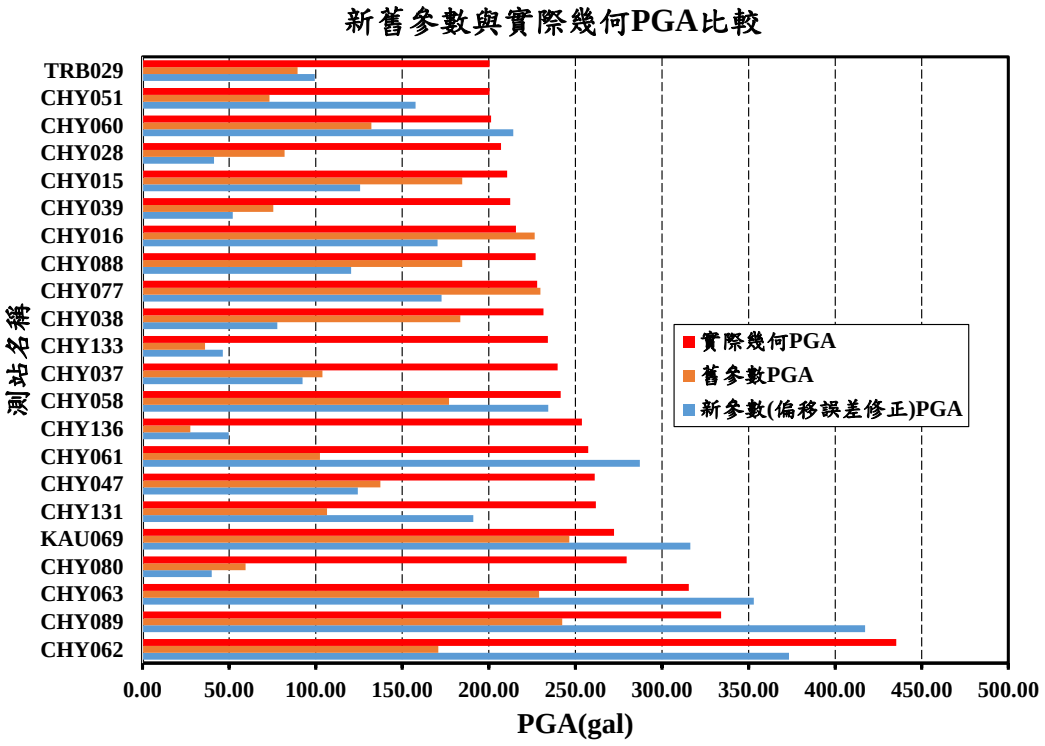


圖 4.71 新舊參數與實際幾何 PGA 比較

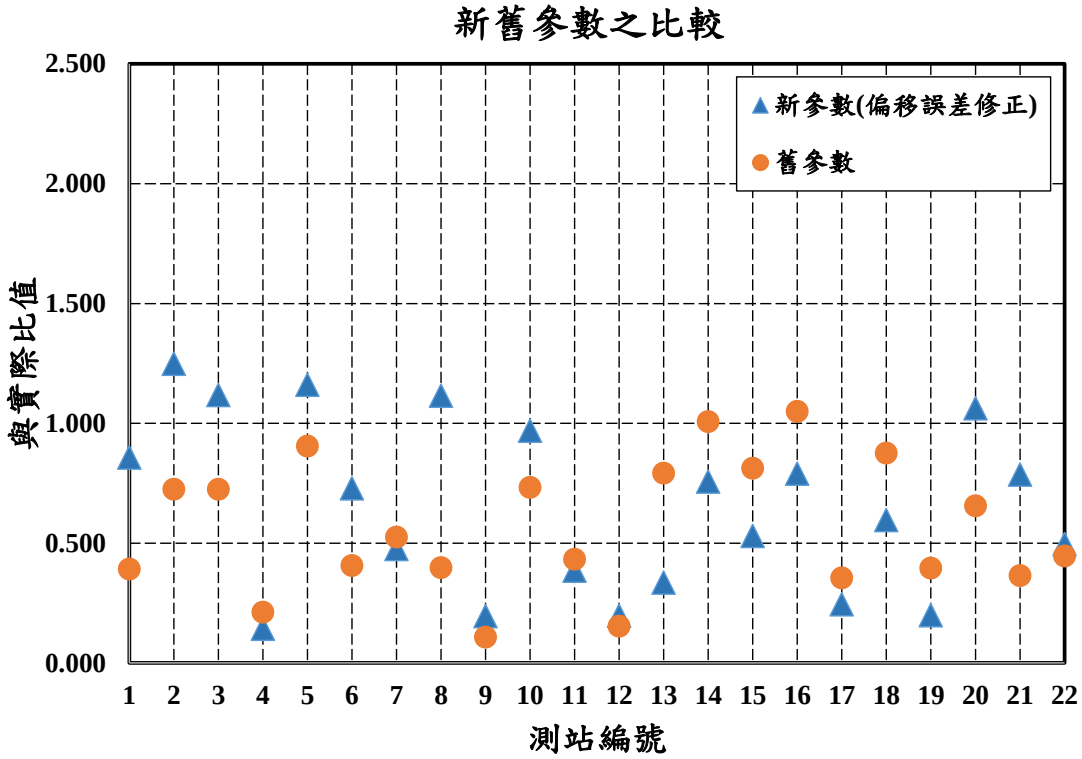


圖 4.72 各測站新舊係數與實際之比值

圖中可發現僅有少部分測站之預估值與實際值接近，大部分測站皆有低估的現象，原因為部分測站距離震源距離過長(>70km)，使得考慮衰減效應後之PGA值過於低估，使得場址效應及誤差偏移修正之效果有限；以下將依不同方法進行修正並比較其改善成效：

(a)D值修正法

本研究為改善遠距離測站之估計值，據文獻[26]，將進行震源特性修正，修正方法為將台灣依照縣市界及地行進行分區，共有23區，如圖4.73所示，在將距震源100 km以內之測站依照分區(如圖4.73之紅圈所示)，將該範圍內同區所有低估測站與實際值相比，將其比值平均後作為該地區之D值，D值為本次地震各地區測站與速報站之關係係數，可以藉由D值修正該區過於低估之測站，以改善衰減公式過於低估的現象。方法有平均倍率法、D_0D_1法、區域相關性較佳、測站相關性最佳法。以平均倍率法為例，詳圖4.74及4.75。此外;區域相關性為取各區域中相關性最佳之測站作為放大倍率；而測站相關性最佳則是取各個測站對應即時站中相關性最佳作為該測站之放大倍率如圖4.76;D_0D_1法為根據文獻[26]而得如圖4.78，各區域放大倍率之結果詳見附錄四。

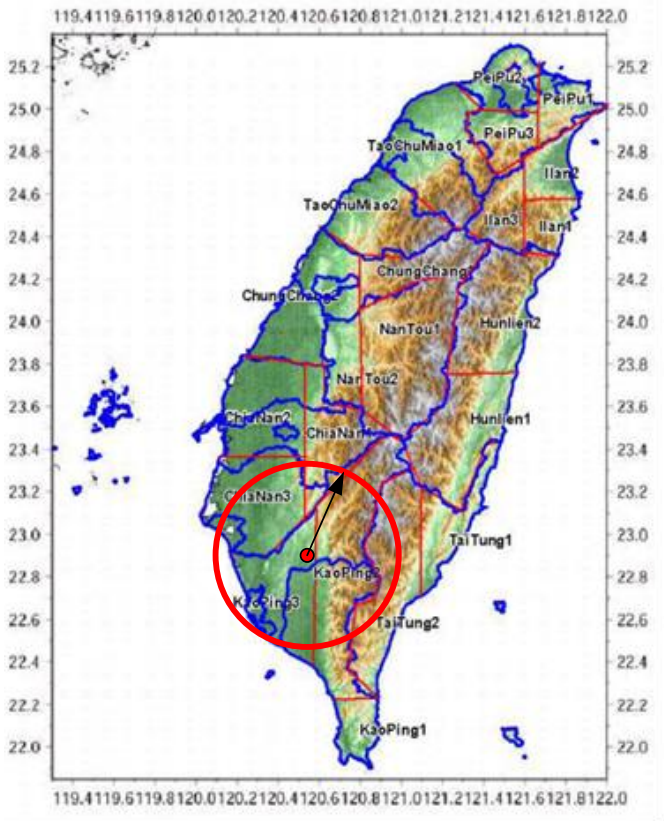


圖 4.73 依照縣市界及地形分區圖

$$\frac{\text{各區即時站實測值Yo}}{\text{各區即時站PGA預測值Y}} = \text{各區倍率D} \rightarrow \text{各區平均倍率D}$$

(考慮原衰減式及場址修正)

新預測值 = 各區平均倍率D值 × 對應區域之強震站預測值

圖 4.74 平均倍率法研究流程圖

各D值修正法之結果如下所示；本研究採用殘值的方式來研判各方法預測之精準度，殘值的定義為: 殘值= $\ln(\frac{實測值}{預測值})$，並輔以平均殘值及殘值標準差。另外，本研究採用實測值PGA大於25gal以上之值作為殘值分析。

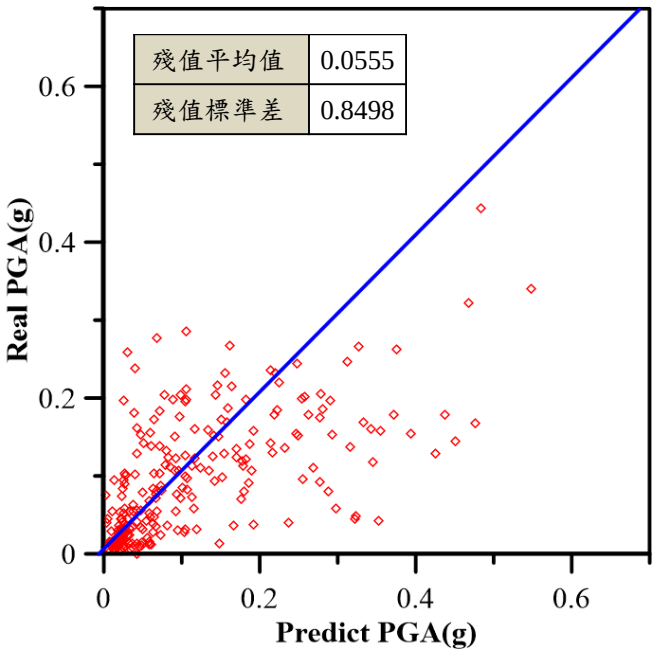


圖4.75 D值修正法(平均倍率)

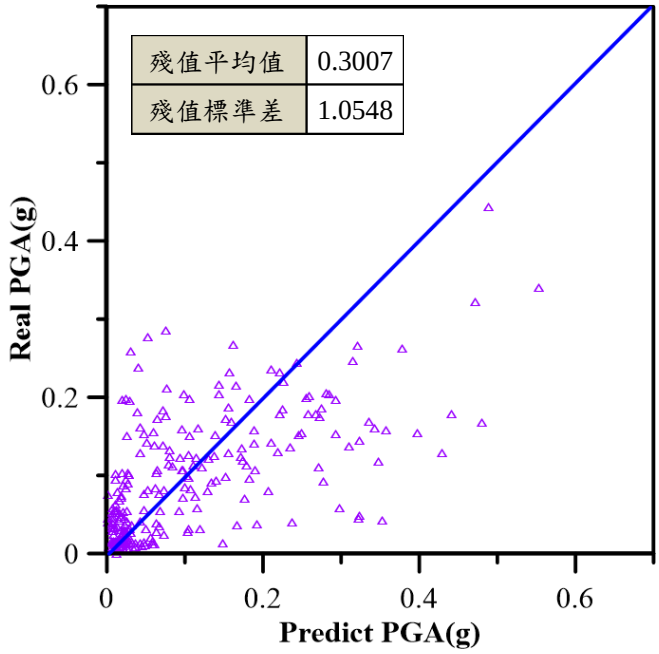


圖4.76 D值修正法(區域相關性較佳)

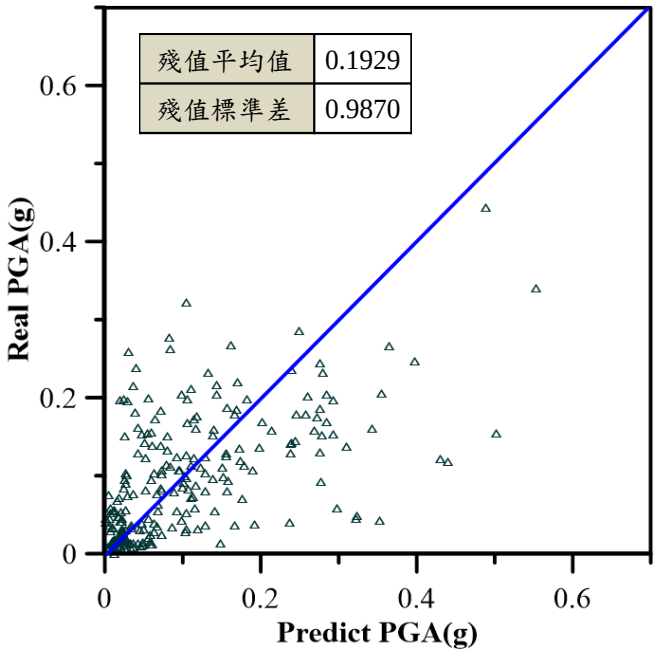


圖4.77 D值修正法(測站相關性最佳)

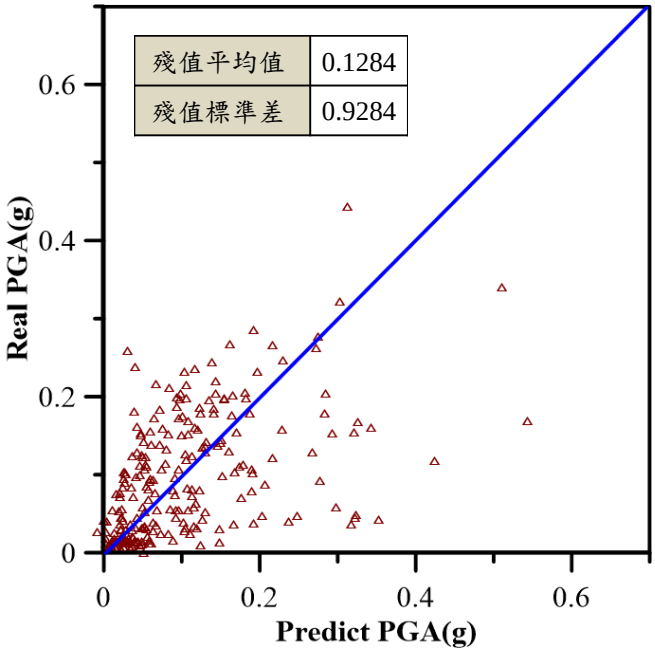
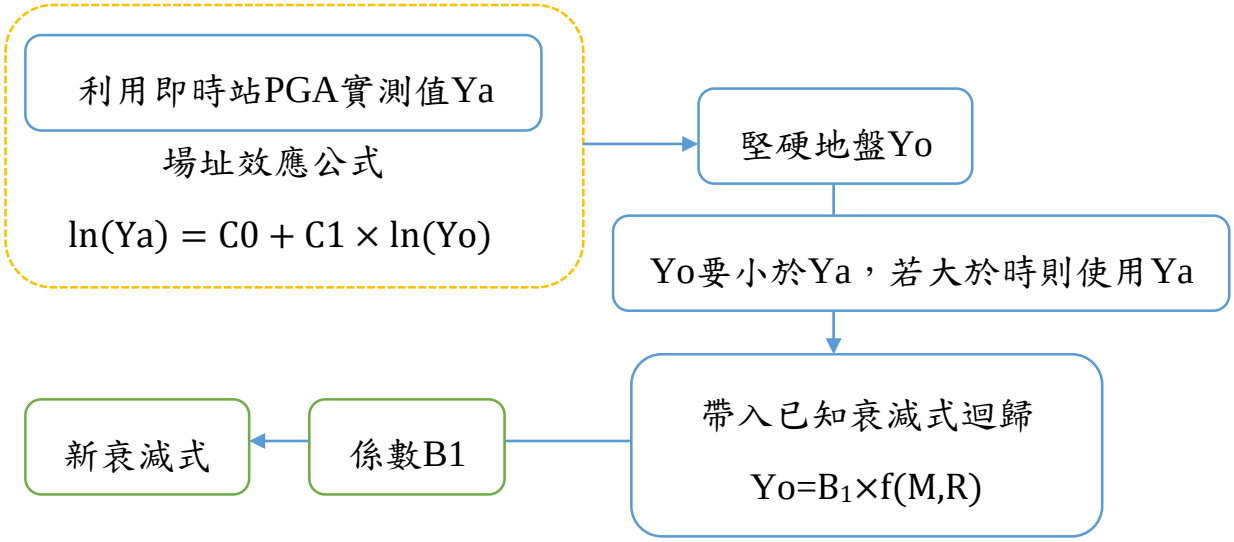


圖4.78 D值修正法(D_0D_1法)

(b)修正係數法(誤差修正):

利用衰減式搭配即時站相關資料之預測值及實測值得出一比值m，並得出其平均值及標準差，令平均值等於修正係數a。並將a乘回原衰減式得出新預測值。此法又分為:原衰減式(有無考慮誤差修正)、新衰減式(有無考慮誤差修正)。其中，表4.27為求新衰減式之即時站資料，新衰減式(考慮修正誤差)及研究流程詳圖4.79。



$$m=\frac{\text{即時站PGA實測值}}{\text{新衰減式即時站PGA預測值}} \rightarrow \text{m平均值、標準差}$$

a=平均值→a=1.467

新預測值=a×衰減式

圖 4.79 新衰減式(考慮誤差修正)流程圖

表4-27 即時站資料(震源距離100km以內)

測站名稱(即時站)	PGA(g)Ya	震源距離(km)	堅硬地盤實測Y_o(gal)	判斷$Y_o<Y_a$
TWM1	0.072621078	21.74617	78.56692732	0.072621078
SSD	0.082526883	26.44258	51.71022563	0.052711749
SGL	0.046983152	26.80172	32.54355649	0.03317386
CHN3	0.345100796	28.98845	188.6108421	0.192263855
SPT	0.032901338	31.25127	32.2762126	0.032901338
CHN1	0.137072687	32.63769	139.6689208	0.137072687
TAI1	0.127316713	37.02715	104.1945782	0.106212618
SSH	0.231454037	38.25239	227.0564106	0.231454037
TAI	0.192305655	38.52047	55.77963531	0.056859975
WTP	0.100963768	39.34514	57.69614074	0.058813599
TWL	0.056918913	40.80659	68.89337487	0.056918913
SCL	0.233224533	47.10289	111.7718153	0.113936611
KAU	0.034055972	48.11152	33.40890899	0.034055972
CHN4	0.09836392	50.01082	105.0901661	0.09836392
SCK	0.132462415	55.08121	129.9456286	0.132462415
ECL	0.020166193	57.95943	19.78303566	0.020166193
TWG	0.018027684	58.08523	24.62398524	0.018027684
ECU	0.025724551	58.49176	25.23578412	0.025724551
ELD	0.015241682	59.22788	14.95209015	0.015241682
SCZ	0.013169828	63.42282	12.91960139	0.013169828
CHY	0.145263855	66.21862	142.5038421	0.145263855
TTN	0.014892774	67.06737	20.96388426	0.014892774
WLC	0.018039565	67.78972	9.537582415	0.009722306
EAS	0.010334175	69.52877	10.13782521	0.010334175
CHN7	0.186443518	71.05456	182.9010913	0.186443518
ALS	0.078973964	72.04319	77.47345868	0.078973964
ECS	0.02137576	73.31654	20.96962088	0.02137576
TAW	0.005880614	74.23785	12.15965516	0.005880614
CHN5	0.293192719	77.41686	295.4952908	0.293192719
EDH	0.017961238	79.58808	17.61997446	0.017961238
WGK	0.109366422	85.74899	57.29694814	0.058406675
WSF	0.149030645	86.62606	57.28806945	0.058397624
CHK	0.0137589	88.39083	13.49748125	0.0137589
WDL	0.074190129	89.03192	72.78051662	0.074190129
TWF1	0.004859296	92.47619	10.12912058	0.004859296
WDG	0.053910816	98.20734	52.88651057	0.053910816
WES	0.042774994	99.81942	41.96226877	0.042774994
LDU	0.002557883	99.99748	2.509282766	0.002557883

新衰減式建立時，實測值消除場址效應後之Y_o要小於未消除之Y_a，否則應該使用Y_a。將判斷後的值帶回原衰減式進行迴歸，方可得出B_1係數。新衰減式結果如下式及回歸結果如圖4.80。

$$Y=0.0035e^{1.75655M}(R+0.1225e^{0.7859M})^{(-2.059)} \qquad (3.1)$$

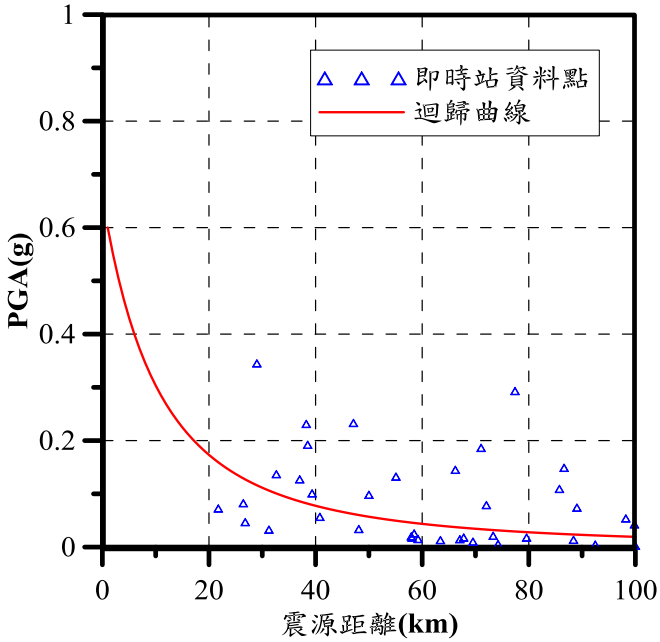


圖4.80 新衰減式係數回歸B_1=0.0035

各修正係數法衰減式結果如圖4.81至4.84所示:

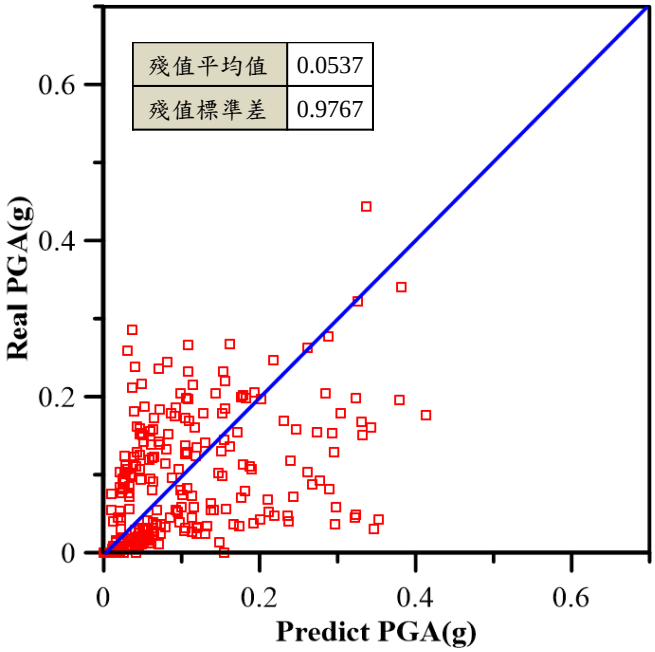


圖4.81 原衰減式(無誤差修正)

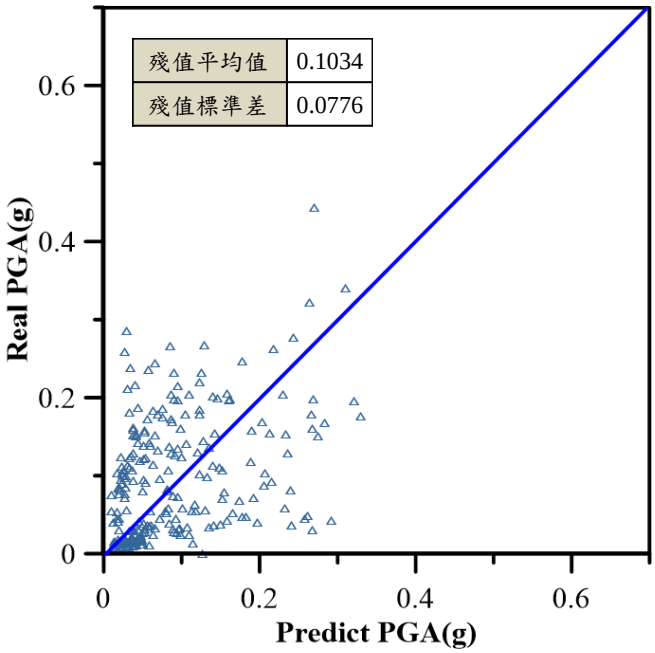


圖4.82 新衰減式(無誤差修正)

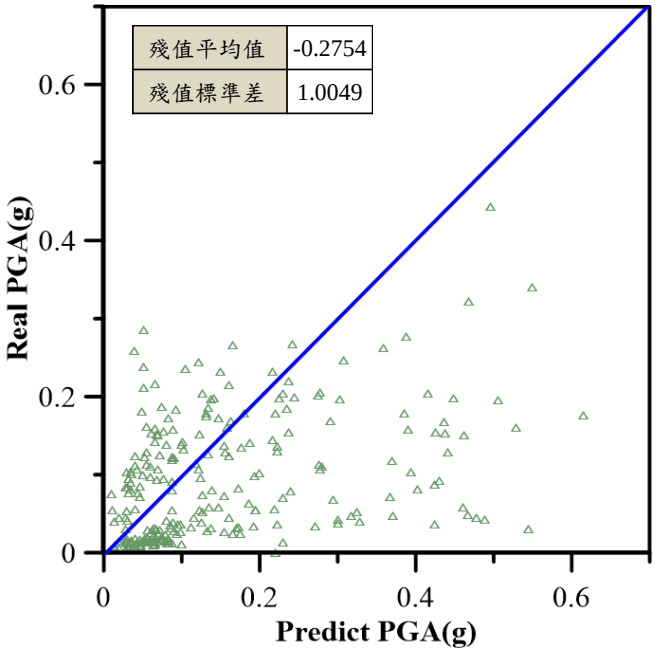


圖4.83 原衰減式(有誤差修正)

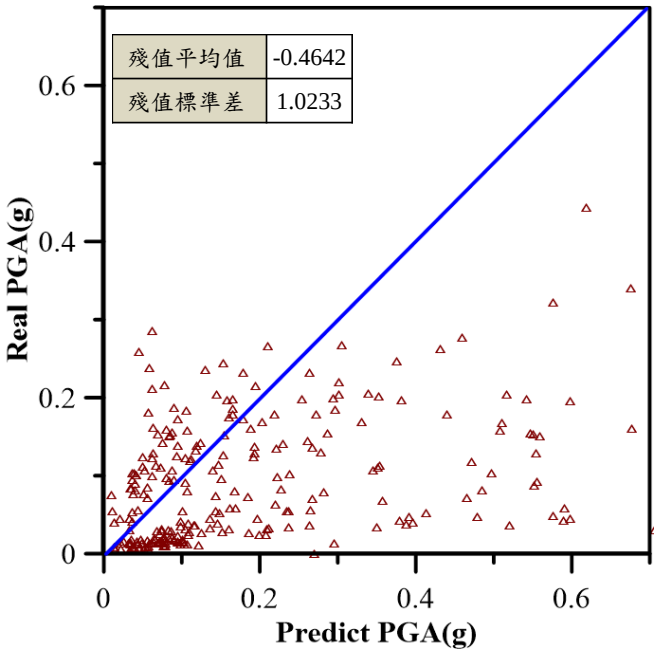


圖4.84 新衰減式(有誤差修正)

本研究在進行偏移誤差修正後，仍發現大多數測站與實際值不接近，並進行D值修正及修正係數法等等。其中D值修正是以台灣之縣市界與地形劃分成23區，將震源100公里內的同區測站低估之值與實際幾何平均值之比值取平均作為該地區之D值，將大多數測站修正至與實際值接近，少數測站則是因為距離過遠使得衰減公式預估之值過小，即使利用D值亦無法將其修正至接近實際值。本研究比較各方法之結果，因D值修正法(平均倍率)為最佳之結果，故使用D值修正法(平均倍率)作為此本研究最中採用之修正法。

4.3 材料劣化與殘餘強度分析模式

本研究之材料劣化評估除推定橋梁各構件之腐蝕發生時間外，主要依圖4.85所示之計算流程，進行各劣化材料性質預測，並將所得結果回饋至橋梁耐震能力評估階段。換言之，本章將依橋梁所處劣化環境條件以建立鋼筋腐蝕曲線，進而推估其鋼筋降伏強度折減曲線、極限握裹強度折減曲線與鋼筋彈性模數折減曲線等，並歸納其隨機特性。

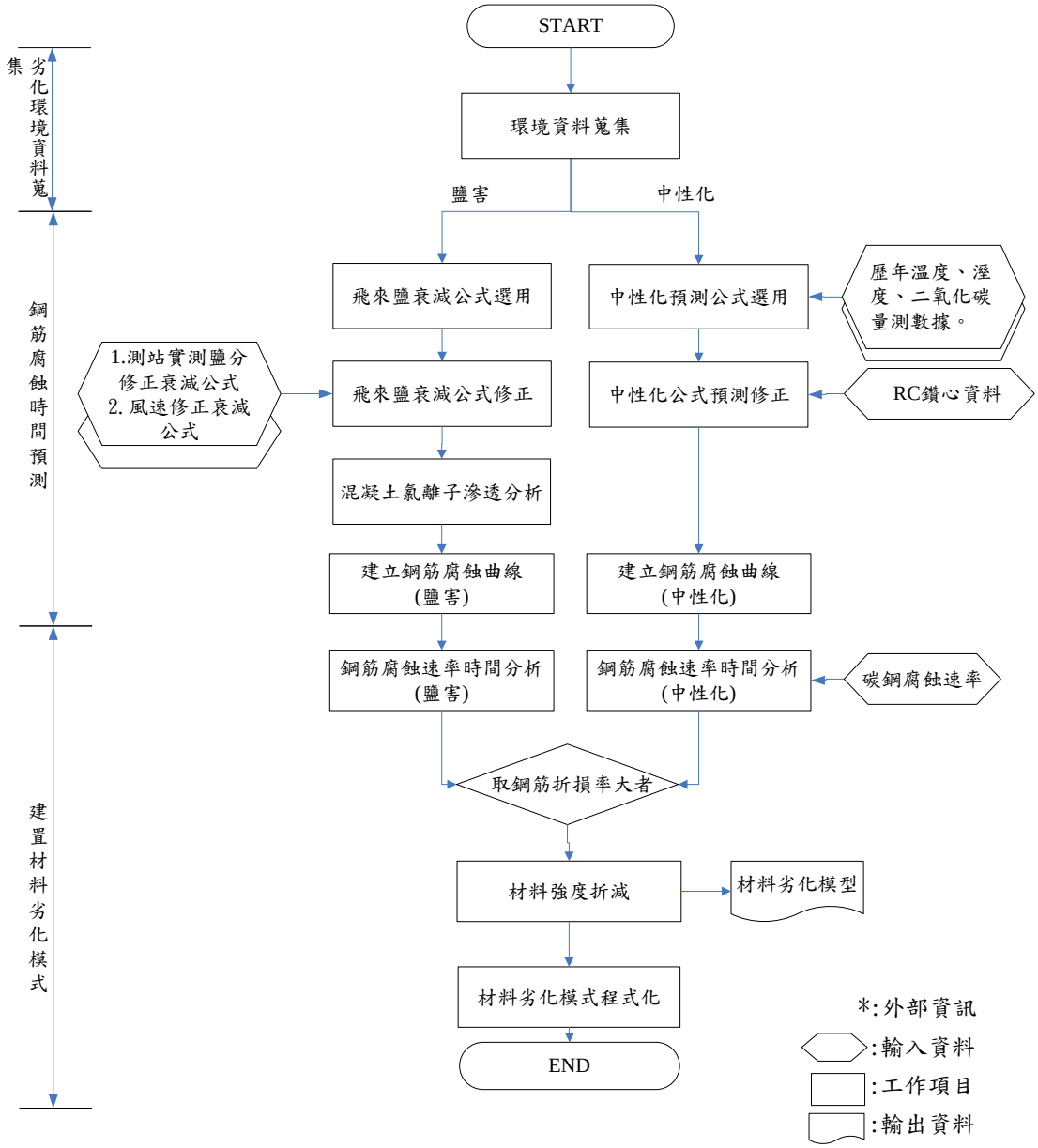


圖 4.85 耐久性能評估流程

4.3.1 劣化環境資料蒐集

劣化環境資料除選定劣化因子外，須依混凝土性質與其狀態設定由所須之劣化模型參數，如氯離子擴散係數、中性化速度係數等；若能配合現地資料收集補正劣化因子含量，如構件表面附著之氯離子量等，更可提升劣化預測之準確性。本研究之環境因素考量部份，將應用「災害預警資料交換機」擷取港灣研究中心大氣腐蝕資料，如：氯鹽沉積量及 SO2 沉積量，並分析其統計特性以考量環境條件於各劣化因子含量中所造成之不確定性影響。另外，劣化預測模式中所須之溫濕度等條件，將利用既有之氣象資料與以補足。

4.3.1.1 鹽害環境資料收集

氯鹽沉積量採集裝置是以濕燭法進行如圖 4.86 所示，其原理為使用一濕纖維織物表面，在已知面積條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其沉積量，並以 $mg/m^2/day$ (mmd)表示。 距海遠近對於鹽害所造成的影響相當大，因此在針對有試驗線的測站，過去研究向港灣研究中心取得 98 年 7 月到 99 年 12 月氯鹽沉積量與碳鋼腐蝕速率資料，本研究將資料更新至 102 年 9 月如表 4-28 所示。除風速外，依文獻可知雨量亦會對氯鹽沉積量有所影響，飛來衰減鹽公式則需考慮風速及雨量，因此也向中央氣象局網站取得 2009 年至 2014 年平均風速、平均雨量資料。

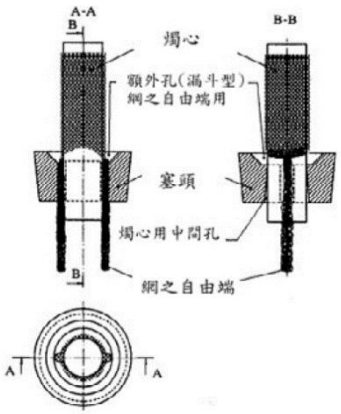


圖 4.86 濕燭法燭心構造示意圖(CNS 13754)

(資料來源：交通部運輸研究所)

表4-28 測站試驗線氯鹽沉積量與碳鋼腐蝕速率(資料來源：交通部運輸研究所)

項次	試驗地點	座標(E)	座標(N)	距海岸距離(Km)	102年03月~102年06月					102年06月~102年09月				
					安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率	安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率
1	基隆試驗線 0m	121° 46’ 58.8”	25° 09’ 7”	0.03	9月4日	3月26日	203	17.86	128.23	9月4日	6月25日	294	4.85	115.59
2	基隆試驗線 100m	121° 46’ 53.3”	25° 09’ 0.8”	0.13	9月4日	3月26日	203	17.37	180.92	9月4日	6月25日	294	2.69	199.36
3	基隆試驗線 3Km	121° 46’ 38.1”	25° 08’ 17.4”	1.61	9月4日	3月26日	203	-	95.85	9月4日	6月25日	294	-	85.58
4	花蓮港試驗線 0m	121° 38’ 8.6”	23° 59’ 48.3”	0.04	9月11日	4月17日	218	11.51	162.01	9月11日	7月3日	295	11.66	155.72
5	花蓮港試驗線 100m	121° 38’ 5.5”	23° 59’ 52.3”	0.11	9月11日	4月17日	218	26.84	92.2	9月11日	7月3日	295	3.94	99.16
6	花蓮港試驗線 300m	121° 37’ 53.0”	23° 59’ 51.0”	0.47	9月11日	4月17日	218	5.08	79.05	9月11日	7月3日	295	6.44	87.69
7	核三廠試驗線 0m	120° 45’ 16.6”	21° 57’ 23.1”	0.02	9月18日	4月16日	210	7.32	84.74	9月18日	7月2日	287	8.5	135.44
8	核三廠試驗線 100m	120° 45’ 14.6”	21° 57’ 26.3”	0.13	9月18日	4月16日	210	37.18	76.26	9月18日	7月2日	287	11.96	130.16
9	核三廠試驗線 300m	120° 45’ 17.0”	21° 57’ 39.1”	0.48	9月18日	4月16日	210	3.72	82.53	9月18日	7月2日	287	5.95	122.05
10	核三廠試驗線 1Km	120° 45’ 18.7”	21° 58’ 4.80”	1.22	9月18日	4月16日	210	2.08	62.9	9月18日	7月2日	287	5.32	97.93
11	高雄港試驗線 0m	120° 18’ 54.5”	22° 33’ 53.6”	0.01	9月18日	4月9日	203	8.15	108.56	9月18日	7月9日	294	7.47	166.07
12	高雄港試驗線 100m	120° 18’ 56.8”	22° 33’ 53.1”	0.05	9月18日	4月9日	203	3.27	99.29	9月18日	7月9日	294	3.94	110.31
13	高雄港試驗線 300m	120° 19’ 2.8”	22° 33’ 57.1”	0.28	9月18日	4月9日	203	3.69	66.14	9月18日	7月9日	294	4.96	131.6
14	高雄港試驗線 1Km	120° 19’ 10.9”	22° 34’ 0.5”	0.51	9月18日	4月9日	203	1.94	86.8	9月18日	7月9日	294	2.32	83.5
15	高雄港試驗線 3Km	120° 19’ 19.5”	22° 34’ 6.3”	0.81	9月18日	4月9日	203	2.07	76.3	9月18日	7月9日	294	1.43	84.18
16	臺中港試驗線 0m	120° 31’ 14.4”	24° 16’ 25”	0.15	8月13日	3月20日	219	15.47	114	8月13日	6月19日	310	16.79	116.09
17	臺中港試驗線 100m	120° 31’ 46.4”	24° 16’ 15.2”	0.37	8月20日	3月25日	217	6.67	86.4	8月20日	6月25日	309	5.51	104.51
18	臺中港試驗線 1Km	120° 32’ 1.6”	24° 14’ 55.2”	1.82	8月21日	3月20日	211	6.57	79.65	8月21日	6月21日	304	8.35	92.99

表4-28 測站試驗線氯鹽沉積量與碳鋼腐蝕速率(續)(資料來源：交通部運輸研究所)

項次	試驗地點	102年03月~102年06月					102年06月~102年09月				
		安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率	安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率
1	基隆試驗線 0m	9月4日	3月26日	203	17.86	128.23	9月4日	6月25日	294	4.85	115.59
2	基隆試驗線 100m	9月4日	3月26日	203	17.37	180.92	9月4日	6月25日	294	2.69	199.36
3	基隆試驗線 3Km	9月4日	3月26日	203	-	95.85	9月4日	6月25日	294	-	85.58
4	花蓮港試驗線 0m	9月11日	4月17日	218	11.51	162.01	9月11日	7月3日	295	11.66	155.72
5	花蓮港試驗線 100m	9月11日	4月17日	218	26.84	92.2	9月11日	7月3日	295	3.94	99.16
6	花蓮港試驗線 300m	9月11日	4月17日	218	5.08	79.05	9月11日	7月3日	295	6.44	87.69
7	核三廠試驗線 0m	9月18日	4月16日	210	7.32	84.74	9月18日	7月2日	287	8.5	135.44
8	核三廠試驗線 100m	9月18日	4月16日	210	37.18	76.26	9月18日	7月2日	287	11.96	130.16
9	核三廠試驗線 300m	9月18日	4月16日	210	3.72	82.53	9月18日	7月2日	287	5.95	122.05
10	核三廠試驗線 1Km	9月18日	4月16日	210	2.08	62.9	9月18日	7月2日	287	5.32	97.93
11	高雄港試驗線 0m	9月18日	4月9日	203	8.15	108.56	9月18日	7月9日	294	7.47	166.07
12	高雄港試驗線 100m	9月18日	4月9日	203	3.27	99.29	9月18日	7月9日	294	3.94	110.31
13	高雄港試驗線 300m	9月18日	4月9日	203	3.69	66.14	9月18日	7月9日	294	4.96	131.6
14	高雄港試驗線 1Km	9月18日	4月9日	203	1.94	86.8	9月18日	7月9日	294	2.32	83.5
15	高雄港試驗線 3Km	9月18日	4月9日	203	2.07	76.3	9月18日	7月9日	294	1.43	84.18
16	臺中港試驗線 0m	8月13日	3月20日	219	15.47	114	8月13日	6月19日	310	16.79	116.09
17	臺中港試驗線 100m	8月20日	3月25日	217	6.67	86.4	8月20日	6月25日	309	5.51	104.51
18	臺中港試驗線 1Km	8月21日	3月20日	211	6.57	79.65	8月21日	6月21日	304	8.35	92.99

表4-28 測站試驗線氯鹽沉積量與碳鋼腐蝕速率(續) (資料來源：交通部運輸研究所)

項次	試驗地點	102 年 03 月~102 年 06 月					102 年 06 月~102 年 09 月				
		安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率	安裝日期	採樣日期	天數	氯鹽沉積量	碳鋼腐蝕速率
1	基隆試驗線 0m	9 月 4 日	3 月 26 日	203	17.86	128.23	9 月 4 日	6 月 25 日	294	4.85	115.59
2	基隆試驗線 100m	9 月 4 日	3 月 26 日	203	17.37	180.92	9 月 4 日	6 月 25 日	294	2.69	199.36
3	基隆試驗線 3Km	9 月 4 日	3 月 26 日	203	-	95.85	9 月 4 日	6 月 25 日	294	-	85.58
4	花蓮港試驗線 0m	9 月 11 日	4 月 17 日	218	11.51	162.01	9 月 11 日	7 月 3 日	295	11.66	155.72
5	花蓮港試驗線 100m	9 月 11 日	4 月 17 日	218	26.84	92.2	9 月 11 日	7 月 3 日	295	3.94	99.16
6	花蓮港試驗線 300m	9 月 11 日	4 月 17 日	218	5.08	79.05	9 月 11 日	7 月 3 日	295	6.44	87.69
7	核三廠試驗線 0m	9 月 18 日	4 月 16 日	210	7.32	84.74	9 月 18 日	7 月 2 日	287	8.5	135.44
8	核三廠試驗線 100m	9 月 18 日	4 月 16 日	210	37.18	76.26	9 月 18 日	7 月 2 日	287	11.96	130.16
9	核三廠試驗線 300m	9 月 18 日	4 月 16 日	210	3.72	82.53	9 月 18 日	7 月 2 日	287	5.95	122.05
10	核三廠試驗線 1Km	9 月 18 日	4 月 16 日	210	2.08	62.9	9 月 18 日	7 月 2 日	287	5.32	97.93
11	高雄港試驗線 0m	9 月 18 日	4 月 9 日	203	8.15	108.56	9 月 18 日	7 月 9 日	294	7.47	166.07
12	高雄港試驗線 100m	9 月 18 日	4 月 9 日	203	3.27	99.29	9 月 18 日	7 月 9 日	294	3.94	110.31
13	高雄港試驗線 300m	9 月 18 日	4 月 9 日	203	3.69	66.14	9 月 18 日	7 月 9 日	294	4.96	131.6
14	高雄港試驗線 1Km	9 月 18 日	4 月 9 日	203	1.94	86.8	9 月 18 日	7 月 9 日	294	2.32	83.5
15	高雄港試驗線 3Km	9 月 18 日	4 月 9 日	203	2.07	76.3	9 月 18 日	7 月 9 日	294	1.43	84.18
16	臺中港試驗線 0m	8 月 13 日	3 月 20 日	219	15.47	114	8 月 13 日	6 月 19 日	310	16.79	116.09
17	臺中港試驗線 100m	8 月 20 日	3 月 25 日	217	6.67	86.4	8 月 20 日	6 月 25 日	309	5.51	104.51
18	臺中港試驗線 1Km	8 月 21 日	3 月 20 日	211	6.57	79.65	8 月 21 日	6 月 21 日	304	8.35	92.99

4.3.2 鋼筋腐蝕時間預測

對鹽害而言，鋼筋腐蝕可定義為最外層鋼筋之氯鹽量大於鋼筋腐蝕臨界氯鹽量，依內政部營建署結構混凝土施工規範 CNS3090 氯鹽量限制為 0.15 kg/m^3，而各國氯鹽量限制標準如表 4-29 所示。中性化深度大於等於保護層厚度之機率大於 10 %也可視為鋼筋腐蝕(日本建築學会)，且由於氣候環境條件與混凝土條件皆具不確定性，須利用可靠度理論及蒙地卡羅運算進行評估。

表4-29 各國氯鹽量限制標準

（資料來源：日本建築學會、內政部營建署結構混凝土施工規範 CNS3090)

國名	規範	氯離子量的規定值
英國	BS 8110-85Part1	全鹽化物量對水泥重量 (CaCl2) 一般RC ：0.4% 耐硫酸鹽水泥使用 ：0.2% PC（高溫養護RC） ：0.1% （參料：參料的2%同時水泥的0.03%）
法國	DTU 21.4	對於無鋼筋細骨材混凝土及保護層厚度4cm的RC，水泥重量的2%（CaCl2） 保護層厚度2cm的RC其水泥重量的1%（CaCl2） RC用拌合水中的氯離子量0.25g/l（Cl-）
德國	DIN	骨材中可溶性鹽化物量 先拉預力混凝土（PC）、PC填充材（DIN 4227）：0.02%（Cl-） RC（DIN 1045），後拉預力混凝土PC（DIN 4227）：0.04%（Cl-）
美國	ACI 301-72	CaCl2氯化鈣佔水泥重量的2%以下
	ACI 318-83	對於水泥重量可溶性的氯離子量（Cl-） （1）PC ：0.06% （2）RC（鹽分影響下） ：0.15% RC（一般環境下） ：0.30%（相當於0.9kg/m3，每立方公尺水泥，0.9公斤Cl-） RC（乾燥狀態下） ：1.00%
	ACI 222R-85	對於水泥重量硬化後的氯離子量（Cl-） （1）PC ：0.08% （2）RC ：0.20%

國名	規範	氯離子量的規定值
日本	日本建築學會（JASS 5-1991）	混凝土氯離子含量0.3kg/m3以下，若在不得不超越的情況，即使有防止劣化的方法，氯離子含量也不得超過0.6 kg/m3。
	土木學會	混凝土所含有的氯離子 一般RC，後拉預力混凝土PC：0.6 kg/m3 特別要求耐久性之RC，在後拉預力混凝土PC憂慮鹽害腐蝕的情況下以及先拉預力混凝土PC0.3 kg/m3
臺灣	內政部營建署結構混凝土施工規範CNS3090	新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量(依水溶法) （1）預力混凝土0.15 kg/m3 （2）鋼筋混凝土0.30 kg/m3

4.3.2.1 鹽害

鹽害造成鋼筋腐蝕時間預測須利用飛來鹽衰減公式、混凝土表面附著氯鹽公式、以及氯離子擴散方程式等，其不確定性都會對腐蝕機率造成影響，因為上述公式參考日本(土木研究所，1988)，且臺灣的氣候條件與日本不同，因此需考慮臺灣氣候環境對於飛來鹽衰減公式之影響，加以修正以符合臺灣現地狀況。

(a) 飛來鹽衰減公式選用

鹽害對於橋梁的影響與距海遠近有一定關係，港灣研究中心根據試驗線的測站依海岸線距離不同得知飛來鹽量C_{air}，但橋梁位置未必有實測飛來鹽量數據，因此須以飛來鹽衰減公式預估橋梁所在位置之氯鹽量。當得知橋梁附近環境之氯鹽量時，因其未必完全殘留於混凝土表面，須利用混凝土表面附著氯鹽量公式，計算出混凝土表面附著氯鹽量C_0，而目前國內學者也在進行迴歸得知飛來氯鹽公式，在此參考日本(土木研究所，1988)之飛來鹽衰減公式4.4以及混凝土表面附著氯鹽公式4.5。

$$C_{air} = 1.29 \times r \times u^{0.386} \times d^{-0.952} \quad \text{.....} (4.4)$$

$$C_0 = 0.988 \times C_{air}^{0.379} \quad \text{.....} (4.5)$$

C_{air}：飛來氯鹽量(mdd)

C_0：表面氯鹽濃度(kg/m^3)

r：風比率(海風吹拂時間比率)

u：平均風速(m/s)

d：海岸線距離(km)

(b)飛來鹽衰減公式修正

影響飛來鹽衰減公式修正之參數包括測站實測資料、海風比 r、平均風速 u、平均雨量 w 及海岸線距離 d。根據交通部運輸研究於 2002 年進行臺灣 203 座橋梁檢測結果顯示，距海岸線愈遠，氯離子附著量愈少；當結構物與海岸距離超過 3 公里以上時，陸地側(背海風面)與靠海側(迎海風面)混凝土表面的氯離子附著量相當且較低，幾乎可忽略氯離子對鋼構或鋼筋混凝土結構之影響。因此交通部運輸研究所於垂直海岸線落鹽量之調查將以距離海岸線 3 km 為邊界，即垂直海岸線試驗點的佈設以離海岸線距離，朝內陸沿一條直線設置，每條測線以離海岸線算起，分別約於臨海、100 m、300 m、1 km 及 3 km 之距離處設置試驗點。海風比中央氣象局並沒有實測值，因此修正公式的過程中將海風比併入修正誤差，而風速及雨量資料則透過中央氣象局網站取得，風速及雨量的平均值、標準差、變異係數如表 4-30 及 4-31 所示。

表4-30 中央氣象局2009-2014風速平均值、標準差、變異係數

（資料來源：中央氣象局）

	基隆	蘇澳	梧棲	花蓮	高雄	恆春	大潭	臺西
平均值(m/s)	3.08	2.60	4.51	3.07	1.99	3.41	3.42	4.09
標準差(m/s)	0.48	0.37	0.80	0.21	0.18	0.73	1.69	1.19
變異系數	0.15	0.14	0.18	0.07	0.09	0.21	0.49	0.29

表4-31 中央氣象局2004-2010雨量平均值、標準差、變異係數

（資料來源：中央氣象局）

	基隆	蘇澳	梧棲	花蓮	高雄	恆春	大潭	臺西
平均值(m/s)	297.03	350.80	102.41	168.06	174.22	204.93	209.21	109.05
標準差(m/s)	91.43	189.60	79.99	93.62	147.41	172.89	127.67	92.11
變異系數	0.31	0.54	0.78	0.56	0.85	0.84	0.61	0.84

由於飛來鹽量採集裝置具有方向性，故必須考慮風向與採集裝置架設角度之間的關係，並進行角度修正。根據港灣研究中心大氣腐蝕試驗位置資料如表 4-27 所示，透過已知試驗位置座標及距海岸距離(km)可找出海岸線上一對應座標，而海岸線之定義為海水大潮時，連續數年的平均高潮位與陸地的分界線，再利用測站座標與此對應座標求出相對角度，以方位角正北方 0°為基準順時針計算，得出測站與正北方之夾角；採集器之法線與正北方之夾角為 α 角，風來的方向與之夾角為 β 角如圖 4.87，將角度修正後稱之為「有效風向 e」，當採集器方向與風向相差之角度介於±90°，此時的風向才會對氯鹽採集造成有效影響，當夾角大於 90°時則為無效風向，故以餘絃角表示之，如式 4.6 所示。

$$e = \frac{\cos(\beta - \alpha)}{100}\% \quad \text{.....} (4.6)$$

其中，α：採集器之角度；β：氣象站之風向角度。

有效風向計算完成後，由於採集面上 180°範圍內之風速和雨量才會對鹽量有所影響，故需將風速及雨量進行有效風向角度的修正，修正後之風速稱為「有效風速 u_e」計算式如式 4.7，修正後之雨量稱為「有效雨量 w_e」計算式如式 4.8。

$$u_e = u \times \cos(\alpha - \beta) \quad \text{.....} (4.7)$$

$$w_e = w \times \cos(\alpha - \beta) \quad \text{.....} (4.8)$$

其中，u：原始風速資料(m/sec)；w：原始雨量資料(mm)。

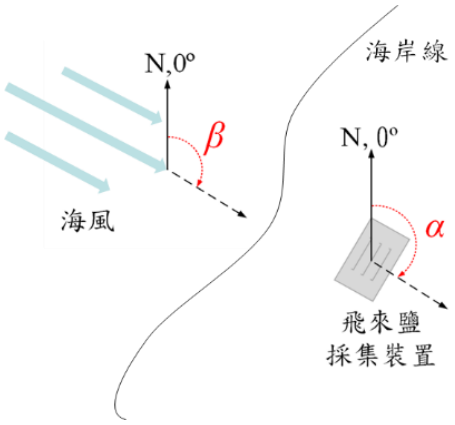


圖 4.87 風向修正之角度示意圖

飛來鹽的分布會隨著所在位置不同而有所影響，首先將台灣分成北(N)、中(M)、南(S)、東(E) 四個區域，再依據試驗線位置細分各縣市，其中，基隆(N_K)、桃園(N_T)、台中(M_T)、六輕(M_Y)、高雄(S_K)、核三(S_P)、花蓮(E_H)、蘇澳(E_I) 代表的是試驗線測站所影響之區域，而台北及南投為無氯鹽影響區域，故共劃分成 9 個區域，如圖 4.88 所示。

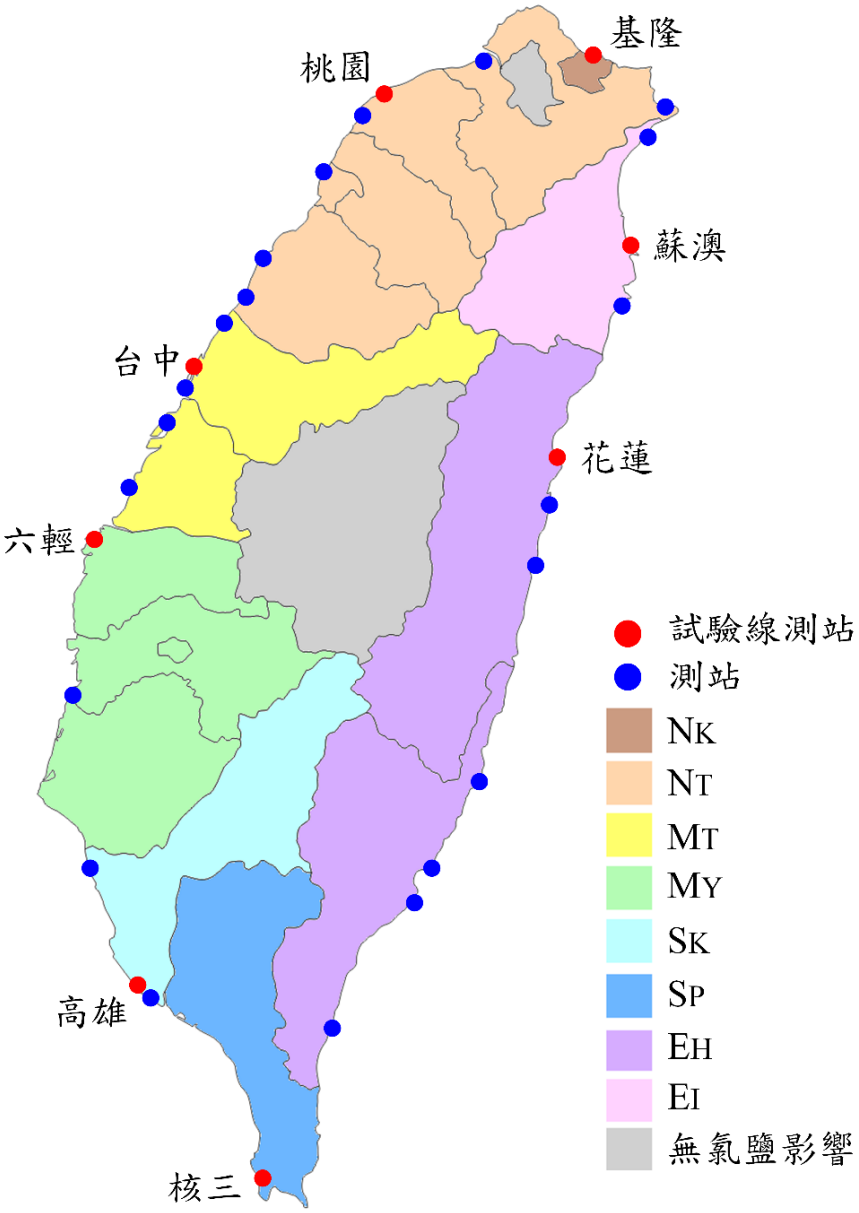


圖 4.88 區域劃分圖

依據港灣研究中心台灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料，測站試驗線氯鹽沉積量與碳鋼腐蝕速率資料，如表 4-28，將各區域臨海氯鹽量(C_{start}) 與碳鋼腐蝕速率(V_{crack}) 之實測數據取平均值、標準差，得出各區域對應之建議值，另外整理出對應區域之碳鋼腐蝕程度，如表 4-32；碳鋼腐蝕等級列表則參考表 4-33。

表4-32 各區域建議臨海氯鹽量及碳鋼腐蝕速率

代碼	適用區域	臨海氯鹽量 C_{start} (mdd)		碳鋼腐蝕速率 V_{crack}(mm/year)		碳鋼環境腐蝕分類
		平均值	標準差	平均值	標準差	
N_K	基隆	0.162	0.218	0.263	0.185	C_3 – C_4
N_T	新北、桃園、新竹、苗栗	0.406	0.479	0.295	0.149	C_3 – C_5
M_T	台中、彰化	0.252	0.206	0.159	0.097	C_3–C_5
M_Y	雲林、嘉義、台南	0.164	0.158	0.292	0.134	C_2 –C_5
S_K	高雄	0.041	0.034	0.097	0.040	C_2 –C_5
S_P	屏東	0.190	0.238	0.102	0.047	C_2–C_5
E_H	花蓮、台東	0.229	0.185	0.127	0.041	C_3–C_5
E_I	宜蘭	0.148	0.189	0.115	0.037	C_2–C_5

表4-33 碳鋼腐蝕等級列表

碳鋼等級	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
腐蝕程度	非常低	低	中等	高	非常高

飛來鹽係指由海風吹拂所帶來的鹽分，將此風帶來的能量視為風能，欲討論風能與風速的關係，可由「風壓公式」如式 4.9 得知，風壓與風速的平方成正比；另外，由「風能量密度公式」如式 4.10 得知，風能量密度與風速的立方成正比。故本研究將討論風速平方及風速立方兩種情況下對於飛來鹽量產生之影響。

$$P = 0.5 \times \rho \times u^2 \quad (4.9)$$

$$E = 0.5 \times \rho \times u^3 \quad (4.10)$$

式中，P：風壓(N/m^2)； E：風能量密度(W/m^2)； ρ：空氣密度(kg/m^3)；u：風速(m/s)。

根據上述資料，對飛來鹽衰減公式進行修正以符合臺灣氣候狀況，因中央氣象局並沒有海風比相關資料，因此須將他併入修正誤差，將公式 4.11 簡化為公式 4.12，在修正的過程已知數為飛來氯鹽量 C_{air}、臨海氯鹽量 C_{start} (參考表 4-32 建議值)、有效風速 u_e、有效雨量 w_e、海岸線距離 d，有效風速係數 a(考慮風速平方時 a=2；風速立方時 a =3)，未知數為 b、c 係數。

對簡化公式取 log 如公式 4.13，其中，迴歸得知常數項及 b、c 係數，根據 98-103 年資料得出飛來鹽迴歸公式 4.14。

$$C_{air} = C_{start} \times r \times u_e^{\ a} \times w_e^{\ b} \times d^{\ c} \quad \text{.....} (4.11)$$

$$C_{air} = C_{start} \times u_e^{\ a} \times w_e^{\ b} \times d^{\ c} \quad \text{.....} (4.12)$$

$$log\, C_{air} = log\, C_{start} + a\, log\, u_e + b\, log\, w_e + c\, log\, d \quad \text{.....} (4.13)$$

其中，C_{air}：飛來氯鹽量(mdd) ；C_{start}：臨海氯鹽量(mdd) ；r：風比率(海風吹拂時間比率)； u_e：有效風速(m/s)； w_e：有效雨量(mm) ；d：離岸距離(km) ；a：風速係數；b：雨量係數；c：距離係數。

飛來鹽迴歸公式為式4.14 (式A為C_{air}考慮風速平方時之結果，式B則是C_{air}考慮風速立方時之結果)，迴歸曲線如圖4.89所示。迴歸分析中的判定係數(Coefficient of determination , R^2)可用來判定實測值與預測值線性相關的強度，範圍在0≦R^2≦1，R^{2}越大表示迴歸模型配適的情況良好，而誤差為實測值與預測值相減之差，將誤差取平均值、標準差，如表4-34，修正程序如圖4.90所示。

$$C_{air} = 0.02 \times C_{start} \times u_e^{\ 2} \times w_e^{\ 0.1817} \times d^{\ -0.0997} \quad \text{.....} (4.14\text{-A})$$

$$C_{air} = 0.004 \times C_{start} \times u_e^{\ 3} \times w_e^{\ 0.2855} \times d^{\ -0..0997} \quad \text{.....} (4.14\text{-B})$$

其中，C_{air}：飛來氯鹽量(mdd) ；C_{start}：臨海氯鹽量(mdd) ；u_e：有效風速(m/s) ；w_e：有效雨量(mm) ；d：離岸距離(km)。

表4-34 飛來鹽迴歸公式之迴歸分析統計量

飛來鹽迴歸公式	R^2判定係數	誤差平均值	誤差標準差
4.14-A	0.1783	0	0.9791
4.14-B	0.1585	0	1.2159

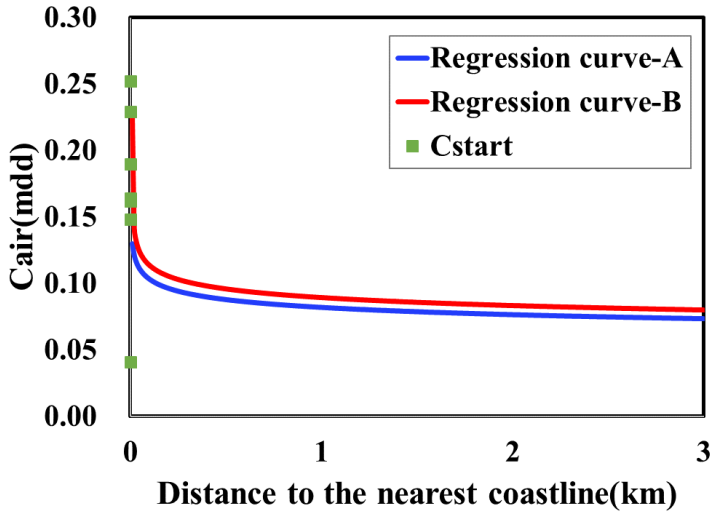


圖 4.89 飛來鹽迴歸公式

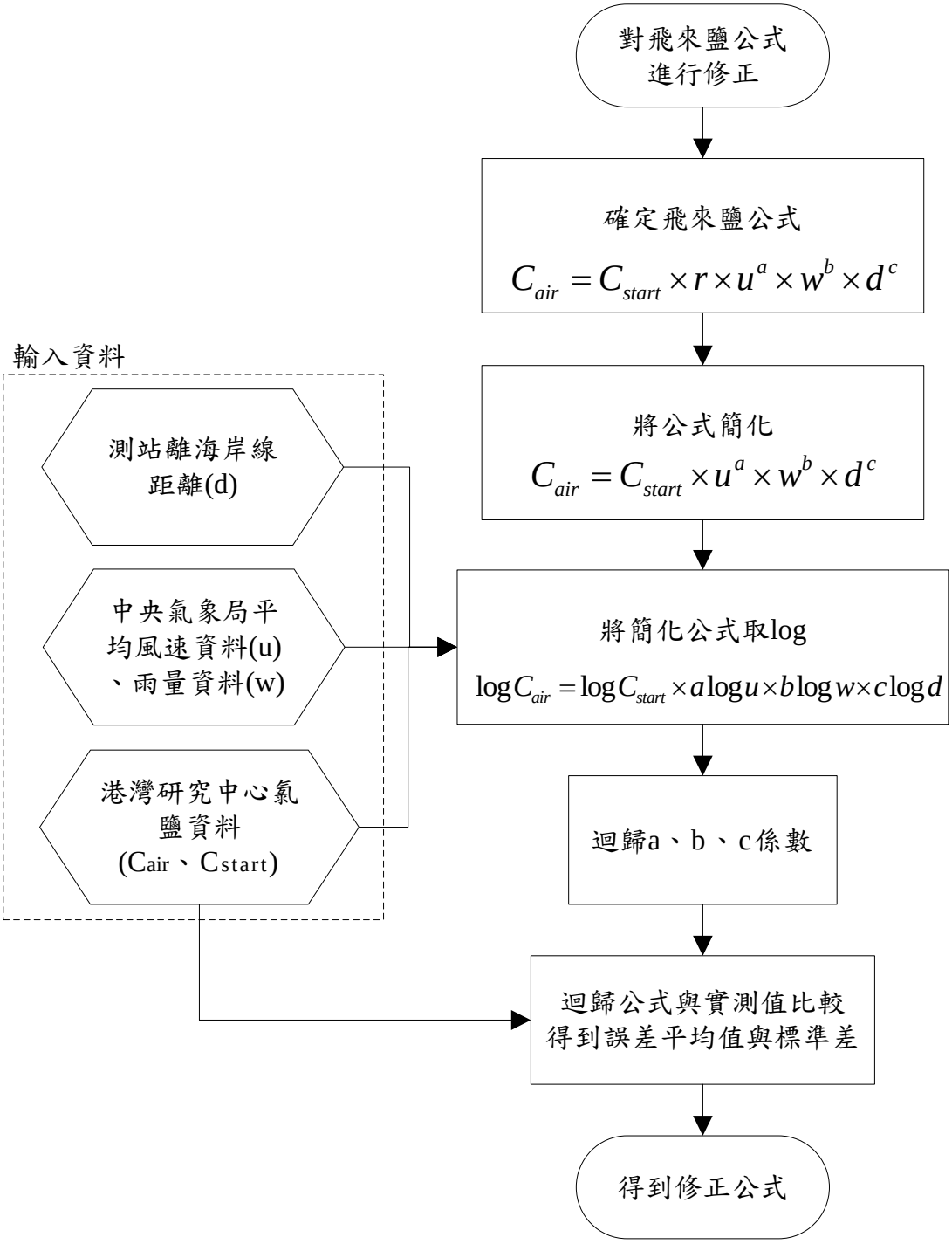


圖 4.90 飛來鹽公式修正程序圖

混凝土表面附著氯鹽量C_0為氯離子擴散公式中之參數，而臨近國家日本之經驗公式因不同學者建議而相差甚大，因環境條件不同而無法直接適用於台灣，本研究參考國內學者(詹穎雯及陳育聖，2010)針對大氣中總氯鹽量C_{air}與混凝土表面氯離子量C_0之試驗結果如表4-35，提出經驗式如式(4.15)，然考量到實際結構物有雨水刷洗之效應，於有效雨量較高之區域，表示該區域雨水刷洗之效應較為嚴重，會影響到混凝土表面之氯離子量；有效雨量不高之區域，雨水刷洗效應則相對減少，故文獻建議之經驗式(4.15)只適用於桃園竹圍以南至苗栗白沙屯區域。

$$C_0 = 0.440 \times C_{air} \ (\%) \quad \text{.....(4.15)}$$

表4-35 混凝土表面附著氯鹽量數據(詹穎雯及陳育聖，2010)

編號	縣市	地點	結構物名稱	採樣位置	建造日期	海岸距離(m)	橋齡(年)	混凝土表面氯離子濃度(%)	混凝土表面附著氯鹽量(kg/m^3)
1	苗栗	白紗屯	過港橋面海	橋面版	64.1	335	35	0.3697	8.1334
2		白紗屯	過港橋面海	橋面版	64.1	335	35	0.4555	10.021
3		白紗屯	台一線護欄	護欄側邊	-	516	-	0.1536	3.3792
4		外埔漁港	漁港內的小橋	梁	-	25	-	1.0235	22.517
5		龍鳳漁港	龍江街排水溝	側邊	-	445	-	0.1824	4.0128
6		龍鳳漁港	龍江街小橋	橋面版	-	445	-	0.1921	4.2262
7	桃園	永安	新濱二號橋	梁	79.07	70	20	0.4992	10.9824
8		永安	新濱一號橋	梁	79.07	190	20	0.3765	8.283
9		永安	觀海橋	帽梁	72.03	340	27	0.2481	5.4582
10		觀音	小橋	橋面版	-	460	-	0.147	3.234
11	新北市	三芝	北勢橋	橋面版	80.04	260	19	0.0929	2.0438
12		三芝	活動中心頂層	較遠預留柱	69.12	22	30	0.2333	5.1326
13		三芝	活動中心頂層	較近預留柱	69.12	10	30	0.1815	3.993
14		三芝	芝蘭橋	橋台	80.04	10	19	0.6044	13.2968
15		金山	第35號橋	護欄	71.08	25	28	0.2519	5.5418
16		金山	第35號橋	橋面版	71.08	25	28	0.191	4.202
17		金山	磺港橋	橋台	-	240	-	0.2385	5.247
18		貢寮	仁愛橋	橋台	76	25	23	0.3455	7.601
19		貢寮	龍洞1號橋	橋台	77	150	22	0.0916	2.0152
20		貢寮	龍洞2號橋	橋台	68	10	31	0.3399	7.4778
21	基隆	基隆	老舊建築物	柱	-	570	>20	0.2095	4.609

(c)混凝土氯離子滲透分析

飛來鹽量帶入公式 4.15 得到混凝土表面附著氯鹽量 C_0。

當混凝土處於腐蝕的環境下，外界的有害因子經由混凝土內部之連通孔隙，藉由擴散的方式，逐漸到達鋼筋表面，當氯離子滲透進入混凝土內部孔隙，其所累積的氯離子濃度與時間之關係，可以從 Fick's 定律為基礎(公式 4.16 氯離子擴散方程式)來推估氯離子從混凝土表面擴散至鈍化膜間的時間 t，其中 Dc 為氯離子擴散係數，表 4-36 為日本不同材料之氯離子擴散係數公式，在此參考日本土木學會論文集(NO.670/V-63，pp.109-120，2004)純水泥擴散係數公式。

$$Cl = C_0\left[1 - erf\left(\frac{0.1\times c}{2\sqrt{D_c t}}\right)\right] \quad \text{.....} (4.16)$$

Cl：鋼筋位置氯鹽量(kg/m^3)

C_o：混凝土表面氯鹽量(kg/m^3)

c：擴散距離，為混凝土保護層厚度(mm)

D_c：氯離子擴散係數

$$\log D_c = -6.77(W/C)^2 + 10.1(W/C) - 3.14\ (\text{cm}^2/\text{年}) \text{.....} (4.17)$$

t：材齡(年)

erf：誤差函數

表4-36 日本氯離子擴散係數公式

(資料來源：日本建築學會、日本土木學會)

資料來源	材料	公式
日本建築學會 耐久性施工指針 (案)．同解說	純水泥	$\log D_p = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5$
	添加爐石	$\log D_p = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2$
日本土木學會 混凝土標準示方書	純水泥	$\log D = \left[4.5(W/C)^2 + 0.14(W/C) - 8.47\right] + \log\left(3.15\times10^7\right)$
	添加爐石	$\log D = \left[19.5(W/C)^2 - 13.8(W/C) - 5.74\right] + \log\left(3.15\times10^7\right)$
土木學會論文集 (NO.670/V-63， pp.109-120，2004)	純水泥	$\log D_c = -6.77(W/C)^2 + 10.1(W/C) - 3.14$

藉由上述公式可以預測時間與鋼筋表面氯鹽量之關係，若某橋梁位於蘇澳，海岸距離 0.9 km，平均風速 2.1 m/sec，蘇澳飛來鹽衰減公式計算得 0.03825 mdd，再由式 4.5 得混凝土表面氯鹽量 C_0 為 0.2868 kg/cm^3，若保護層厚度為 50 mm，水灰比 0.55 得到 D_c 擴散係數 2.328，得知所有參數後即可帶入氯離子擴散方程式，圖 4.91 為時間與鋼筋表面氯鹽量關係圖。

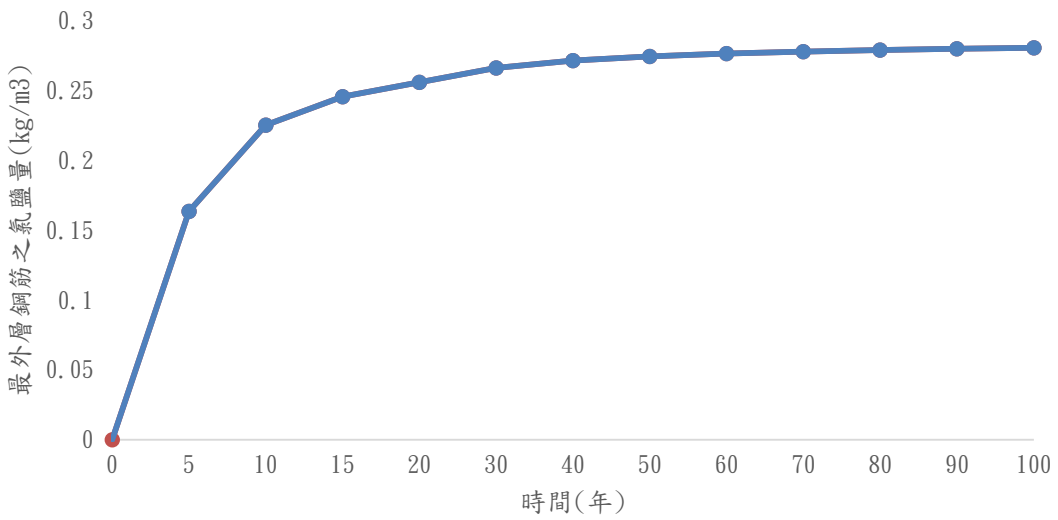


圖 4.91 橋梁時間與鋼筋表面氯離子量關係圖

4.4 公路總局訪談

研究團隊於105年10月20日上午10:00，偕同港研中心一科科長謝明志與林雅雯研究員，至公路總局應變中心進行訪談，藉由訪談公路管理單位人員，做為系統功能精進與加強之依據(如圖4.92)。

會議中由團隊鄭明淵教授分別依1.地震破壞潛勢評估、2.颱洪跨河橋梁安全預警、3.橋梁振動頻率檢測、4.道路邊坡災害預警及決策支援、5.橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合、6.橋梁保全評估與養護經費決策支援、7.自動通報機制等主題，簡報系統成果。再針對討論課題，分別進行討論，詳細會議記錄請參照附錄三。

圖 4.92 公路總局應變中心訪談會議

第五章 TRENDS系統道路邊坡系統整合及橋梁振動檢測驗證事項

5.1 整合「山區道路易致災路段監測預警管制系統」研究成果

此計畫承辦單位為聚禾工程顧問有限公司[5]，計畫中以集水區坡面為分析單元，結合環境地質敏感區概念，依據地形、地質與災害特性，進行山區易致災路段劃分。同時進行山崩目錄置、重大災例蒐集與大規模山崩判釋等方式建置災害區位，並分析其災害潛因（水文、地形與地質），透過證據權法進行山崩潛勢分析，並結合誘因（降雨）分析，進行災害危害度與損失程度分析，建立山區道路災害風險分析模式。此計畫成果包括：1.採用坡面單元、地質概念與路段之細部排水、工程狀況進行易致災路段劃分，此方法可清楚界定各易致災路段的範圍、主要災害類型與災害特性、警戒基準與風險估算。2.已完成山區道路之災害風險評估模式，同時以開放式資料概念、氣象局QPESUMS 之降水預報產品，結合港研中心於相關計畫之降水修正結果，自動進行各路段之降雨警戒值比對，將成果以開放及跨平台方式進行供應與展示，可提供路管單位於提前應變措施參考。此計畫所採用氣象局QPESUMS之降水預報產品為結合TRENDS系統之降水修正結果，並做為監測預警管制研判依據，此方式具備低成本及廣域監控之能力。

根據此研究報告成果[5]，該研究以降雨為最主要之道路致災因子進行山區道路降雨警戒基準上下限分析。根據公路總局於以往之路段封路紀錄多寡，提出多次及少次封路資料路段之分析方法(圖5.1)。

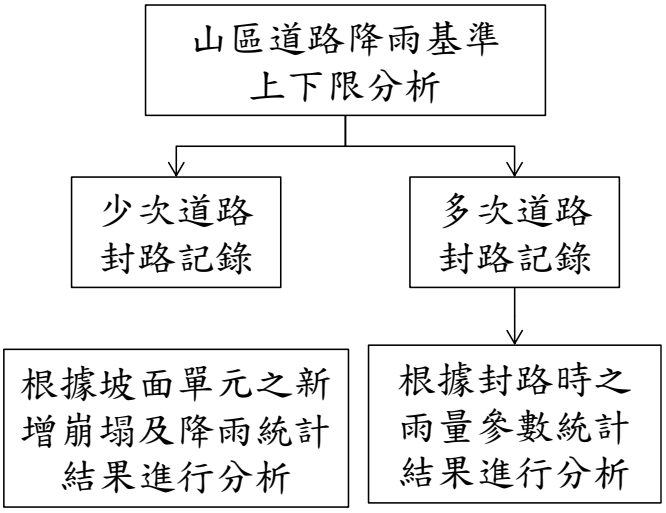


圖 5.1 山區道路邊坡破壞因子分析[5]

多次封路資料路段之分析方法步驟如圖5.2所示，評估分析方法如下：

1.根據相關歷史紀錄，區分其主要封閉原因為路基流失、邊坡坍方、土石堆積、落石、淹水、預警性封閉或其他等。

2.將與降雨較無關之封閉原因刪除，如落石或預警性封閉。

3.選取離受災路段最近之雨量站，分析災害發生時之雨量資料。

4.根據雨量參數分析結果，分別將發生可能性30%和50%之降雨值訂定為降雨基準值上下限。

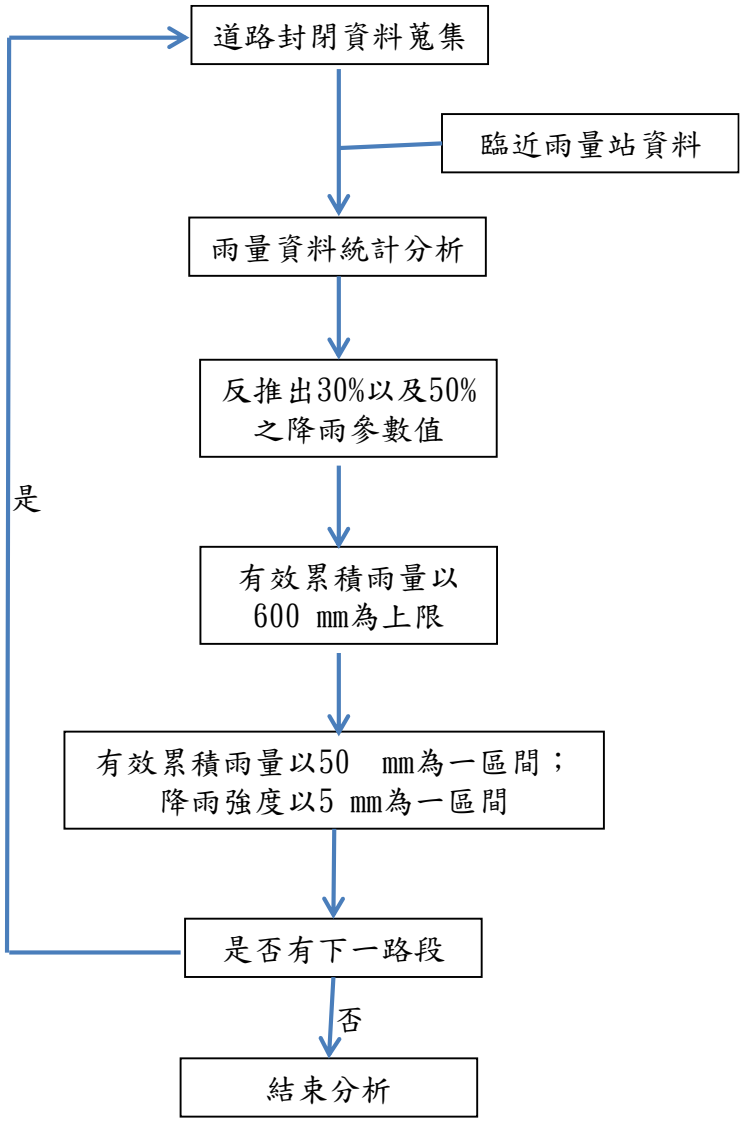


圖 5.2 多次封路資料路段分析方法[5]

少次封路資料路段較缺乏實測災害發生時間點，因而以歷史新增崩塌發生雨場之雨量資料進行分析，其步驟如圖5.3所示，分析方法如下：

1.根據前後期崩塌判釋成果，進行新增崩塌判釋；並將不同降雨事件中新增崩塌之坡面單元劃出。

2.根據數值方法內插出不同事件中每個坡面單元之降雨參數。

3.依據降雨參數統計結果，分析出所有坡面發生可能性為30%之有效累積雨量及最大降雨強度，計為警戒值下限

4.分析有發生新增崩塌坡面發生可能性為50%之有效累積雨量及最大降雨強度，為警戒值上限。

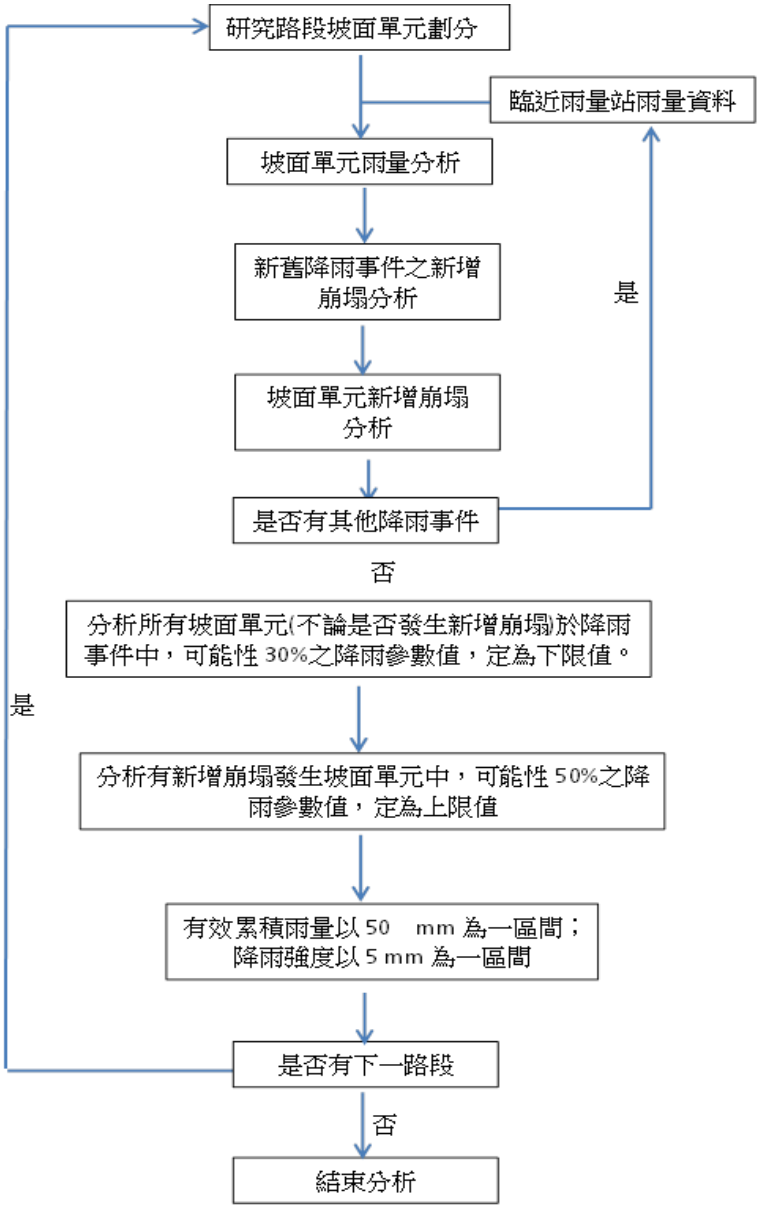


圖 5.3 少次封路資料路段分析方法[5]

此計畫收集歷史封路資料(台24線22筆、台9線蘇花段36筆、台9線南迴段13筆、台18線51筆、台21線129筆及台11線3筆)。進而完成台24線、台18線、台21線、台9蘇花段及台9南迴段等5條多次記錄路段之降雨基準分析。其中以發生可能性為30%及50%之降雨參數值為降雨警戒值之上下限，整理成表5-1。

表5-1 各路段降雨基準上下限值[5]

路段名稱	降雨參數	發生可能性	
		30%(下限)	50%(上限)
台 9 線蘇花段	最大降雨強度(mm/hr)	40	65
	有效累積雨量(mm)	300	500
台 9 線南迴段	最大降雨強度(mm/hr)	15	25
	有效累積雨量(mm)	250	450
台 24 線	最大降雨強度(mm/hr)	20	35
	有效累積雨量(mm)	250	450
台 18 線	最大降雨強度(mm/hr)	15	25
	有效累積雨量(mm)	100	150
台 21 線	最大降雨強度(mm/hr)	10	20
	有效累積雨量(mm)	200	350
台 11 線	最大降雨強度(mm/hr)	25	40
	有效累積雨量(mm)	250	350

並與公路總局現行行動值進行比較，如表5-2所示。最後利用證據權法調整降雨參數上限，證據權法將計算各因子發生災害權重值，加總後即求得各路段之指標。指標越高表示致災的可能性越高。由表5-2可得到，此研究[5]中收集例次颱風事件中邊坡災損案例，並至現場進行邊坡調查，最後採用風險評估方式評估各邊坡路段之損壞機率，因此對於部分路段(如地質狀況較差等因素)有較低之行動值標準。

表5-2 本計畫與公路總局行動值比較表[5]

路段	公路總局行動值		本計畫分析之上限值	
	小時雨量 (mm/hr)	24 小時雨量 (mm)	小時雨量 (mm/hr)	有效累積雨量 (mm)
台 9 蘇花線 (120k~130k)	60	290	65	450
台 9 南迴線 (445k+300~448k+318) (455k+500~465k+831)	50	300	25	450
24 線 (29k+0~48k+250)	60	300	35	450
18 線 (97k+900~98k+100)	40	200	25	150
21 線 (99k+900~100k+200) (113k+900~114k+400)	56	400	20	350
11 線 (147k+500~149k+0)	60	450	40	350

5.1.1 文獻災情分析

文獻[5]中分別以杜鵑颱風與麥德姆颱風事件分別檢討驗證山區道路易致災路段監測預警管制系統之可行性。

1.杜鵑颱風

以杜鵑颱風為例，杜鵑颱風生成後向西北轉西北西方向移動，9月27日17時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸向臺灣東半部海面和陸地接近。28日17時40分其中心由宜蘭南澳鄉登陸，29日1時於彰化芳苑鄉出海，同日10時左右由金門北方進入福建。風及豪雨造成鐵公路及航空交通多班停駛。中央災害應變中心統計至9月29日止計有3人死亡，農損逾新臺幣1.7億元。本計畫參考公路總局杜鵑颱風防災特報第3報，如圖5.4所示在杜鵑颱風襲台過程中，依據公路總局現行辦法共有七個路段進行相關預警動作。

情境：27日17時30分已發布海上陸上颱風警報

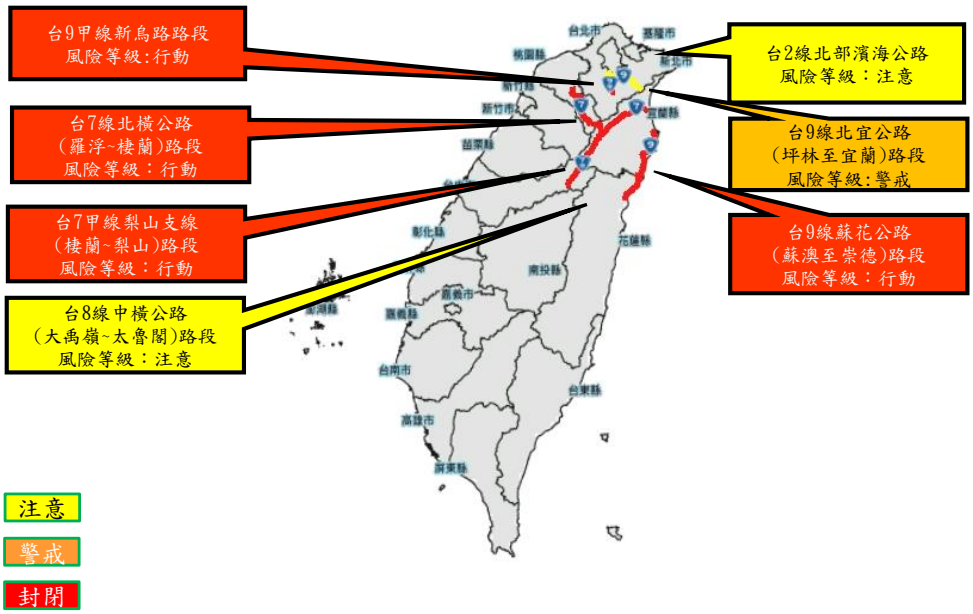


圖 5.4 杜鵑颱風防災特報第 3 報 [公路總局:杜鵑颱風防災特報第 3 報 1040928_1200]

如表5-3所示，台9甲線、台7線、台7甲線、台9線蘇花皆達到行動(封閉)之標準，而台9線北宜達警戒標準，台8線、台2線達注意標準。根據此結果與山區道路易致災路段監測預警管制系統進行分析預警差異

比較。可由表5-3中得知，台9甲線、台7線、台7甲線、台8線、台2線、台9線北宜等路段，由公路總局發布相關預警事項，但因山區道路易致災路段監測預警管制系統未建置基礎資料，故無法分析這些路段。而台9線蘇花兩套機制皆獲得相同結果:建議行動(封閉)。其他路段如台9線南迴、台11線、台18線、台24線，兩套系統皆同樣未達標準。

表5-3 杜鵑颱風防災特報第3報公路總局道路預警結果

路段	等級	
	公路總局既有機制	山區道路易致災路段監測預警管制系統
台 9 甲線	行動(封閉)	未建置基本資料，無法進行分析
台 7 線	行動(封閉)	
台 7 甲線	行動(封閉)	
台 8 線	注意	
台 2 線	注意	
台 9 線北宜	警戒	
台 9 線蘇花	行動(封閉)	行動(封閉)
台 9 線南迴	未達標準	未達標準
台 11 線	未達標準	未達標準
台 18 線	未達標準	未達標準
台 24 線	未達標準	未達標準

以杜鵑颱風事件檢驗兩套系統可發現在預警發布上有相似答案，本研究整理其異同如表5-4。以尺度而言，公路總局既有機制以實務防災需求為前提，如山區道路一小路段危險，就需封閉整條路線。而山區道路易致災路段監測預警管制系統將路線切分小路段分析，更適合用於災前風險分析與評估整治維護先後順序。而在封路標準與採用降雨來源較無差異。但山區道路易致災路段監測預警管制系統中目前僅建置台9線蘇花、南迴段、台11、台18、台24線等分析資料，建議後續可

再持續擴充相關路線資料。

表5-4 與公路總局既有機制異同表

異同	項目	公路總局既有機制	山區道路易致災路段監測預警管制系統
異	尺度問題	山區道路一小路段危險，就需封閉整條路線，符合**實務防災需求**	切分小路段分析，更適合用於**災前風險分析**與評估**整治維護先後順序**
同	封路標準	以杜鵑颱風為例，兩套系統結果相同，但山區道路易致災路段監測預警管制系統目前僅建置台 9 線蘇花、南迴段、台 11、台 18、台 24 線分析資料，後續可再持續擴充。	
	採用降雨來源	皆使用中央氣象局雨量資料	

2. 麥德姆颱風

參考文獻[5]之報告，並以中度颱風麥德姆（Typhoon Matmo）進行驗證。中度颱風麥德姆為2014 年太平洋颱風季第十個被命名的風暴。麥德姆颱風於2014 年7 月18 日上午2 時形成為輕度颱風。上午3 時30 分，日本氣象廳將其升格為熱帶風暴，並命名為麥德姆。形成後逐漸往西北方前進，7 月19 日下午2 時，中央氣象局將其升格為中度颱風。於7 月23 日午夜12 時10 分，麥德姆於台灣台東縣長濱鄉沿海登陸。而後於清晨4 時20 分，麥德姆於台灣彰化縣芳苑鄉一帶出海。

根據公路總局資料顯示，7 月23 日上午9:00 於台九線蘇花段177k+950 處發生坍方災情，其坍方堆積土堆長約50 m、高約2.5 m、寬約8 m；推估土方量約1,000 m3。推估當時累積雨量約為200 mm ~250 mm，降雨強度達30 mm/hr。根據系統之分析，該路段於上午9:00同時達到該路段之行動值(累積雨量250 mm，降雨強度達30 mm/hr)。因已達行動值，故系統發出相關警戒。因而可知，山區道路易致災路段監測預警管制系統可有效預警，並作為相關用路單位之參考。

5.1.2 建議未來模式更新機制

由文獻[5]中可知，「山區道路易致災路段監測預警管制系統」係應用歷年致災案例之降雨參數進行統計。因此未來若能根據每年新增之土砂致災案例降雨分析，增加統計個數，則可使得所推估警戒上下限值之適用性及準確性提昇。而文獻[5]在警戒值更新機制方面則建議應包含有二種更新機制：緊急性更新以及例行性更新。其中緊急性更新為重大土砂災害事件發生後(如大地震或莫拉克風災後)或相關人為開發，因應山區坡面以及道路實際情況，緊急進行調整；例行性更新為根據每年新增致災案例、降雨情況或其他可能因素，逐年進行警戒值之更新，以維持警戒基準值之適用性。緊急性更新及例行性更新之更新考量機制以及時機均有所不同，建議未來可根據警戒基準值實際應用情況進行更新調整。

5.2 系統整合成果

5.2.1 系統介面介紹

本研究整合山區道路易致災路段監測預警管制相關功能於TRENDS中，系統功能分為計畫背景、監控圖台、事件紀錄、資料查詢、預判評估、道路定位與評估類型等(圖5.5)。

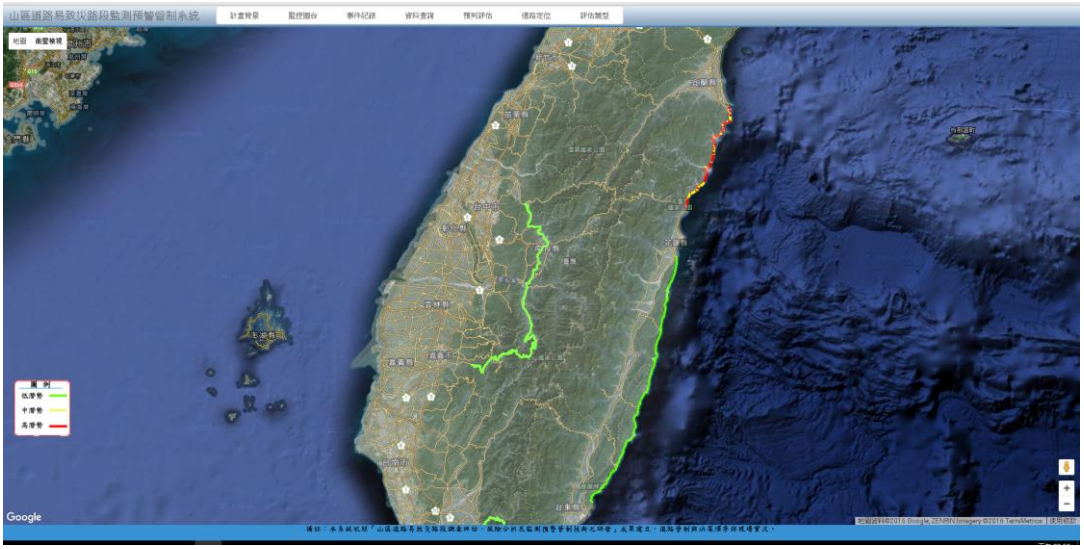


圖 5.5 系統頁面配置

如圖5.6所示，計畫背景中敘述本研究所整合之系統名稱，包括山區道路坡地災害防治技術整合研究、山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發等兩項邊坡道路研究成果。

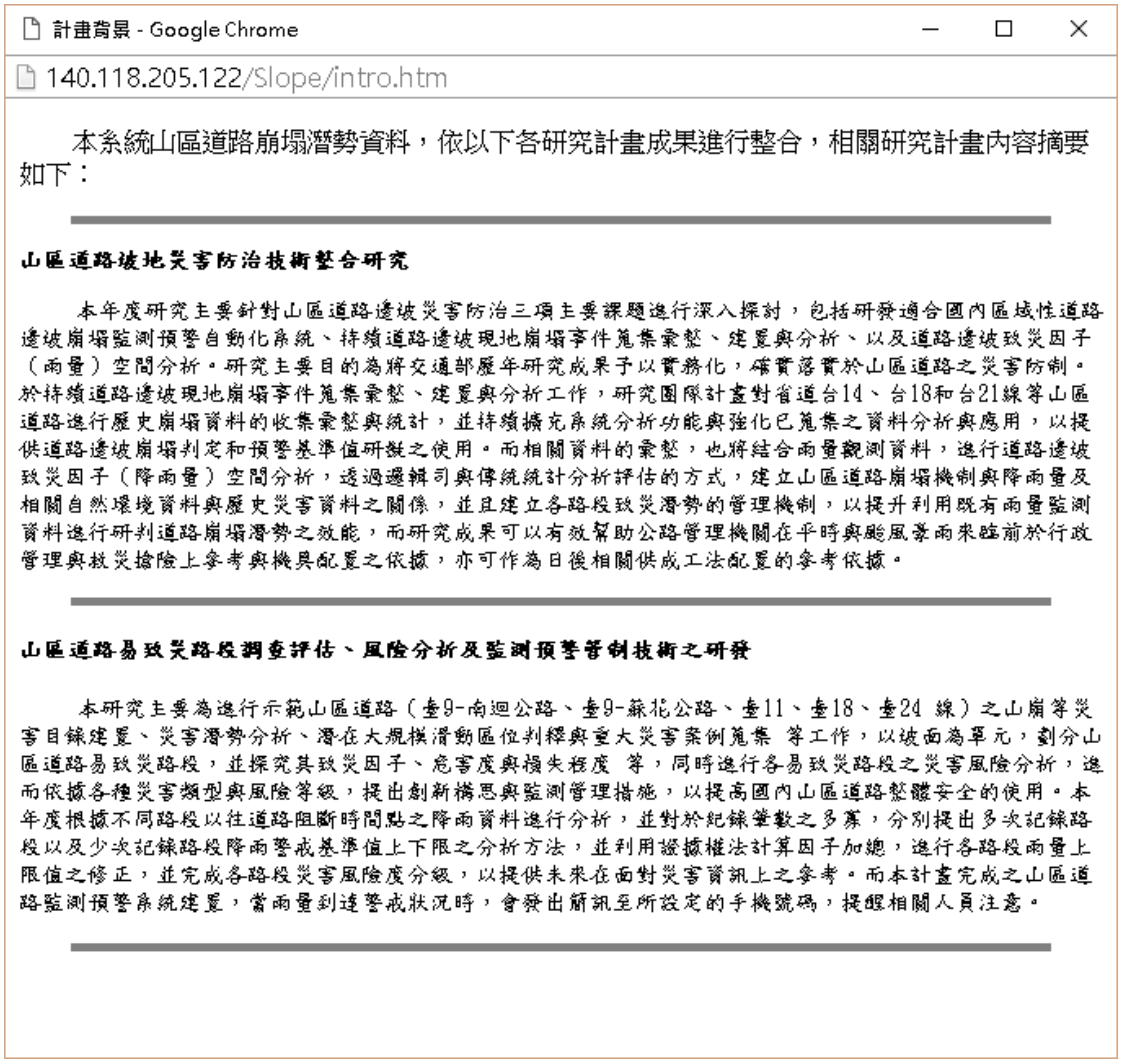


圖 5.6 計畫背景

如圖5.7所示，此系統介接公路總局即時道路通阻情形，並採用Google底圖，可在單一圖面上顯示不同道路通阻相關資訊。

圖 5.7 監控圖台結合外部資訊

事件紀錄中，如圖5.8所示，可設定颱風事件起迄時間，並設定警戒研判結果簡訊接收門號。

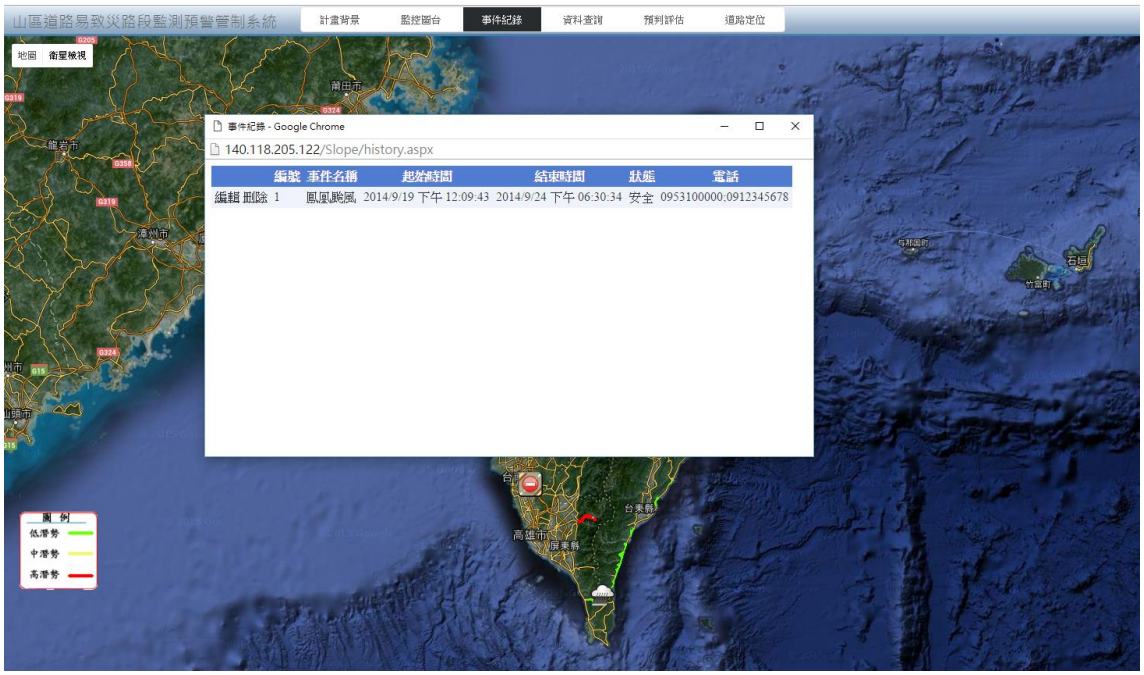


圖 5.8 事件紀錄

資料查詢模組中，如圖5.9所示，可選擇不同路段，依此詢路段基本資訊及警戒狀況，結果以表格方式呈現路段資料，並可進行欄位值排序。

資料查詢 - Google Chrome

140.118.205.122/Slope/road.aspx

請選擇路段 全臺

編號	道路名稱	路段	起始樁號	結束樁號	警戒狀態	未來一小時警戒狀態	降雨強度上限值	降雨強度下限值	累積雨量上限值	累積雨量下限值	實際降雨強度	未來1小時降雨強度	實際累積降雨	未來1小時累積降雨
1	台11	水璉-花蓮	8K+540	8K+600	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.7	0.7	2.6	3.3
2	台11	水璉-花蓮	8K+855	9K+000	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.3	0.4	8	8.4
3	台11	水璉-花蓮	9K+540	10K+010	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0	0.1	9.8	9.9
4	台11	水璉-花蓮	10K+010	10K+360	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	1	0.4	8.3	8.7
5	台11	水璉-花蓮	17K+190	17K+330	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.3	0.8	6	6.8
6	台11	水璉-花蓮	17K+410	17K+720	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.4	0.6	1.4	2
7	台11	水璉-花蓮	19K+445	19K+595	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.4	1	4.6	5.6
8	台11	水璉-花蓮	20K+060	20K+230	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.4	0.2	4.8	5
9	台11	水璉-花蓮	20K+230	20K+370	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.2	0.6	1	1.6
10	台11	水璉-花蓮	21K+035	21K+115	無	無	40.00	25.00	350.00	250.00	0.3	0.2	2.8	3

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

圖 5.9 資料查詢結果

預判評估模組中，使用者可於災前事先輸入累積雨量、降雨強度等條件(如圖5.10)，並輸入手機號碼進行即時警戒研判。預判結果展現將以圖形顯示，如圖5.10中台24線路段，如有高潛勢邊坡路段將以紅色路段顯示。分析結果亦同步以簡訊進行通報(依路線區間設計簡訊內容，通知危險路段)，如圖5.11所示，在此雨量見下台24線路段共138處達行動值。

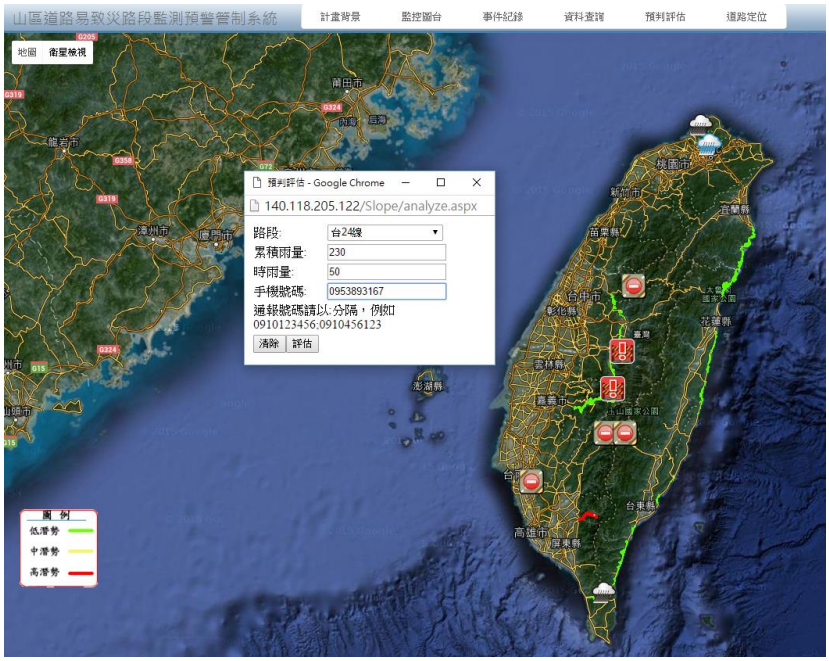


圖 5.10 預判評估

圖 5.11 預判評估簡訊通報

道路定位模組可選取路線段(圖5.12)，螢幕將放大至顯示該路線圖層(圖5.13)。

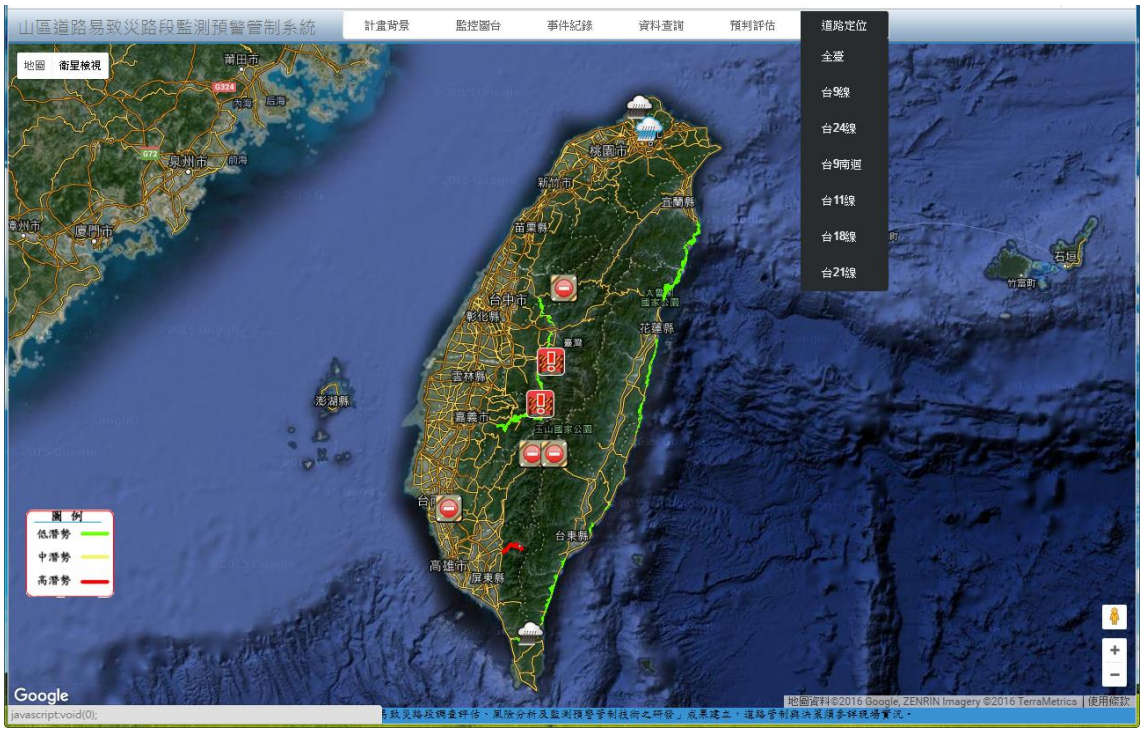


圖 5.12 道路定位

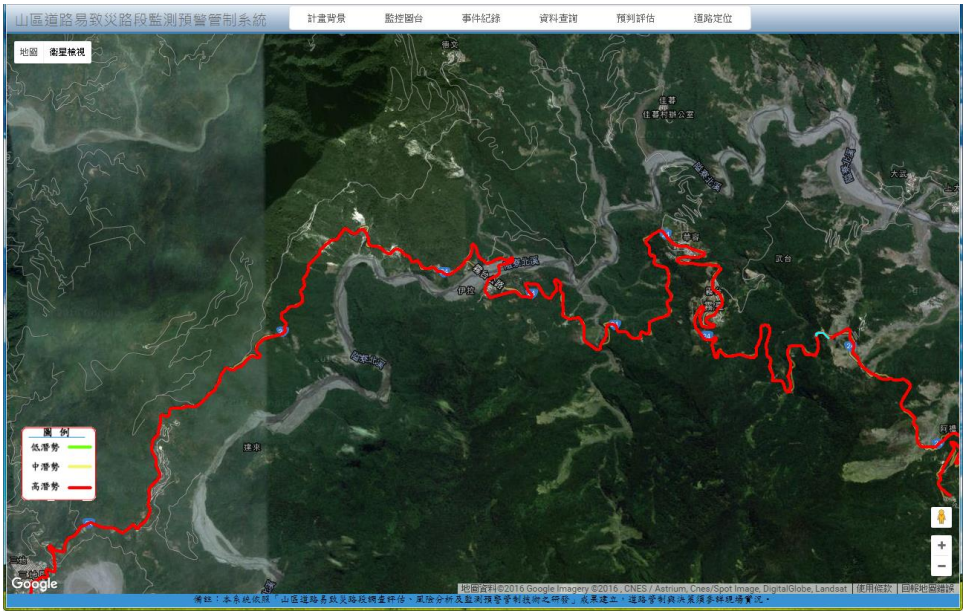


圖 5.13 道路定位縮放結果

評估類型(圖5.14)中則可套用中央氣象局QPESUMS即時或未來1小時降雨之圖層。

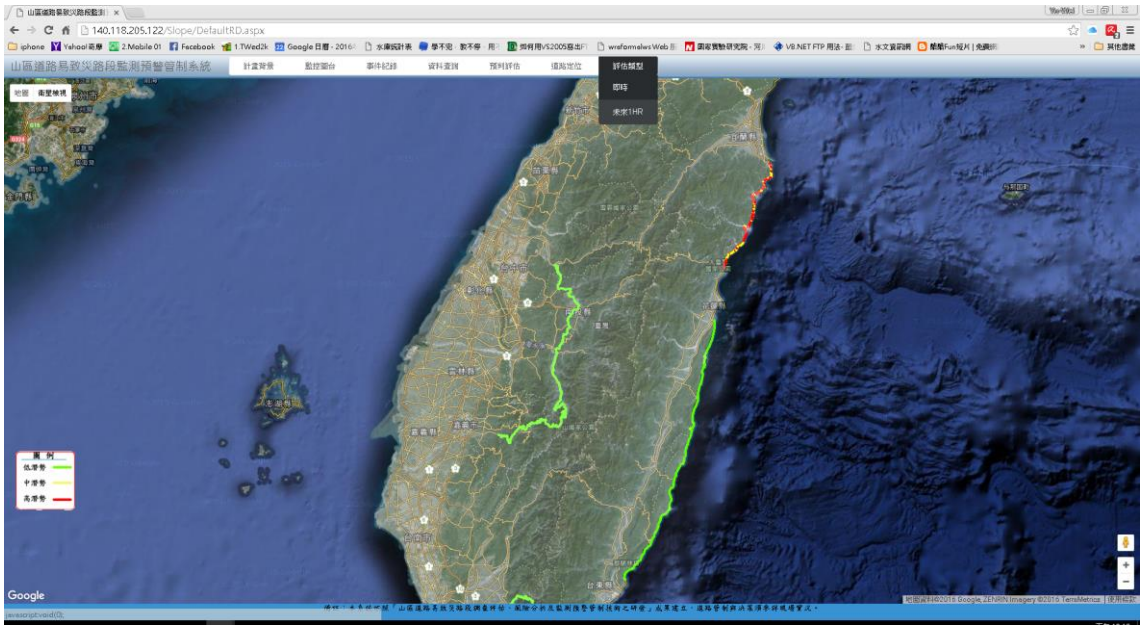


圖 5.14 評估類型

5.2.2 行政院災害防救應用科技方案第二期104年度成果研討會活動

本研究配合運輸研究所於105年4月13日在「行政院災害防救應用科技方案(第二期)104年度成果研討會」展出系統(圖5.15)。前行政院長張善政致詞後巡視各部署會推動成果，視察交通部運輸研究所研究成果中由邱主任永芳負責導覽，簡介本系統成果(圖5.16)。

圖 5.15 系統整合簡報

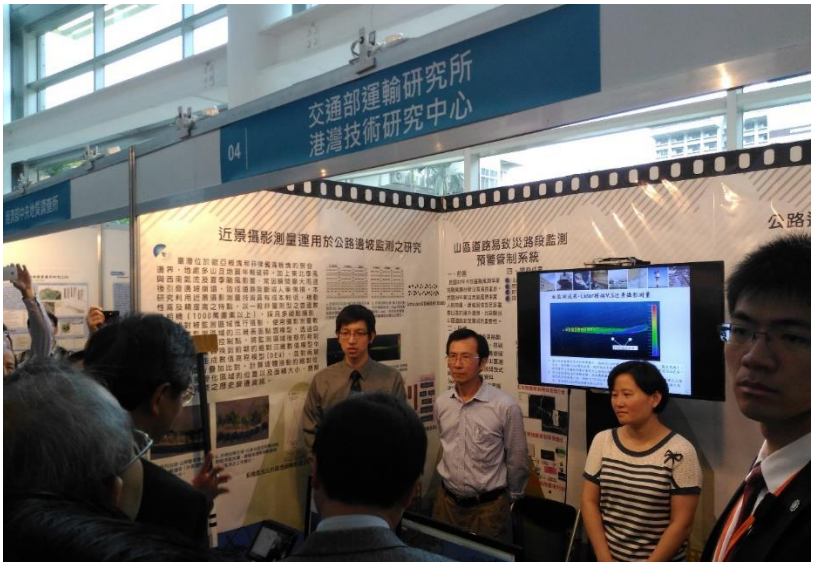


圖 5.16 行政院院長視察研究成果

5.3 橋梁土壤性質、沖刷深度與頻率之關係

許多學者均曾提出公式用來模擬土壤性質，本計畫目前選取三種計算方式用來評估數值模型與現地量測結果之差異比較。

(1) 本計畫首先根據「公路橋樑耐震設計規範之補充研究」(第六章)所規定，關於基礎與土壤互制行為中勁度之模擬，採用工程界普遍所使用之分析理論方法。即基礎受力後之斷面力與地層反力是依據彈性基礎之有限梁理論分析。其結構分析模式均考慮基礎為梁元素模擬，而基礎周遭及底面之地層則視為支承彈簧，作為模擬實際地層之應力與應變行為，地層則假設為完全彈塑性體。等值土壤彈簧即沿著基礎不同深度設置水平等值土壤彈簧，並於底面設置垂直等值土壤彈簧。因此，「公路橋樑耐震設計規範之補充研究」根據橋梁工址現場鑽探資料，並參考相關經驗公式，為一個簡化的方式，圖5.17列出該研究關於沉箱基礎部分地盤反力係數的計算公式，圖5.18為沉箱基礎分析模式示意圖：

位置	方向	地盤反力係數
沉箱底面	垂直	$k_V = k_{V0}(B_V/30)^{-3/4}$ $B_V = \sqrt{A_V}$
	水平	$k_S = 0.3k_V$ $k_{V0} = \frac{1}{30}\alpha E_0$
沉箱正前方	水平	$k_H = \alpha_k k_{H0}(B_H/30)^{-3/4}$ $k_{H0} = \frac{1}{30}\alpha E_0$
	垂直	$k_{SVB} = 0.3k_H$ $B_H = B_e(\le \sqrt{B_e \cdot L_e})$
沉箱側面	水平	$k_{SHD} = 0.6\alpha_k k_{H0}(D_H/30)^{-3/4}$
	垂直	$k_{SVD} = 0.3k_{SHD}$

圖 5.17 計算土壤各方向地盤反力係數之方程式

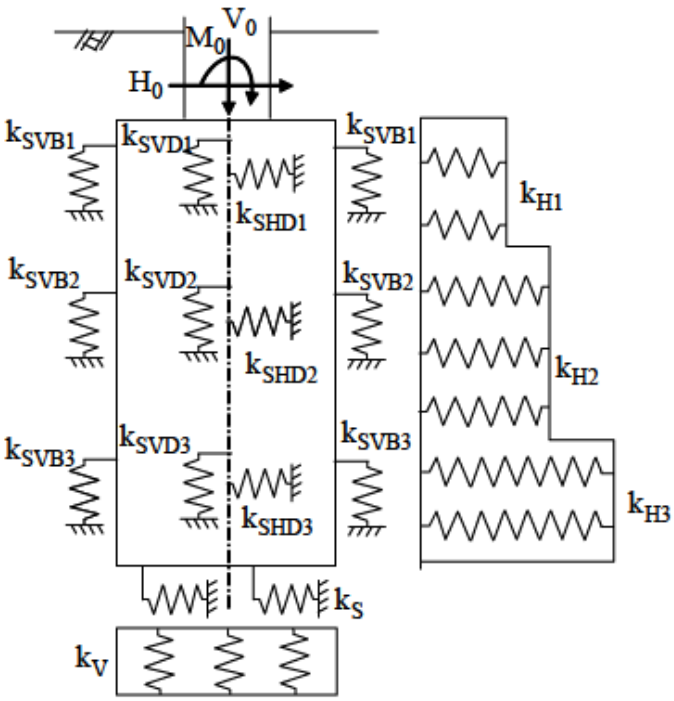


圖 5.18 沉箱基礎分析模式

其中

k_{H_0}：水平向地盤反力係數基準值(kg/cm^3)

B_H：垂直於荷重方向之等值荷重寬度(cm)

A_H：水平向荷重面積(cm^2)

$$k_{H_0} = \frac{1}{30} E_0 = k_{v_0}$$

$$E_0 = 2(1 + v_D) G_D \quad \text{.....(5.1)}$$

$$G_D = \frac{r_t}{10g} {V_{SD}}^2$$

其中

k_{v_0}：鉛垂向地盤反力係數基準值(kg/cm^3)

E_0：土壤動態性模數(kg/cm^2)

v_D：土壤動態柏松比(poisson's ratio)

G_D：土壤動態剪力彈性模數(kg/cm^2)

r_t ：土壤單位體積重(t/m^3)

V_{SD}：土層之剪力波速(m/sec)

$$V_{SD_i} = C_v \times V_{S_i}$$

$$C_v = \begin{cases} 0.8 & (V_{S_i} < 300m/s) \\ 1.0 & (V_{S_i} \geq 300m/s) \end{cases} \quad \text{.....(5.2)}$$

V_{SD_i}：計算土壤彈簧常數用之第i層土壤平均剪力波速

V_{S_i}：第i層土壤平均剪力波速

C_v：修正係數

有關土壤動態柏松比 v_D之值對於沖積層及洪基層土壤於水為之上取為0.45，水位之下則取為0.5，而對於軟岩及硬岩則分別取為0.4及0.3。

(2)以Reese and Van Impe (2011)所提的P-y曲線進行模擬

其計算的的過程如下:

1. 首先取得摩擦角ϕ、土壤單位重γ以及樁直徑b之數值。水位以下之砂土使用單位浮力重量，而水位以上之砂土使用總單位重量。

2. 計算以下參數之數值:

$$\alpha = \frac{\phi}{2};\ \beta = 45 + \frac{\phi}{2};\ K_0 = 0.4;\ K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

利用式(5.3)以及式(5.4)得到之較小值來計算每單位樁長之土壤極限抗力。

$$p_{st} = \gamma z\left[\frac{K_0 z\tan\varphi\sin\beta}{\tan(\beta-\varphi)\cos\alpha} + \frac{\tan\beta}{\tan(\beta-\varphi)}(b + z\tan\beta\tan\alpha) + K_0 z\tan\beta(\tan\varphi\sin\beta - \tan\alpha) - K_a b\right]$$

.....(5.3)

$$p_{sd} = K_a b\gamma z\left(\tan^8\beta - 1\right) + K_0 b\gamma z \tan\varphi \tan^4\beta \quad \text{.....(5.4)}$$

3. 透過步驟 3 中，式(5.3)以及式(5.4)之交點來找到深度 z_t 。對於深度小於 z_t 者，應使用式(5.3)來計算土壤極限抗力。此外，使用式(5.4)來計算。

4. 選擇任意之深度來計算其 p-y 曲線。

5. 假設 y_u 等於 $3b/80$ ，其中 b 為樁之直徑。計算 y_u 所對應之 p_{ult} ，如下所示:

$$p_{ult} = \bar{A}_s p_s \ \ or \ \ p_{ult} = \bar{A}_c p_s$$

其中 $\bar{A}_s$ 以及 $\bar{A}_c$ 之值，若已知 z/b 值，則可透過圖 5.19 來決定。而 $\bar{A}_s$ 或 $\bar{A}_c$ 分別靜態及循環之案例。且 p_s 可透過步驟 4 來決定。

6. 假設 y_m 等於 $b/60$ 。計算 y_m 所對應之 p_m ，如下所示:

$$p_m = B_s p_s \ \ or \ \ p_m = B_c p_s$$

其中 B_s 以及 B_c 之值，若已知 z/b 值，則可透過圖 5.20 來決定。而 B_s 或 B_c 分別靜態及循環之案例。且使用適當之方程式於 p_s 。

7. 使用以上所獲得之資訊則可建立雙線性 p-y 曲線，如圖 5.21 所示。

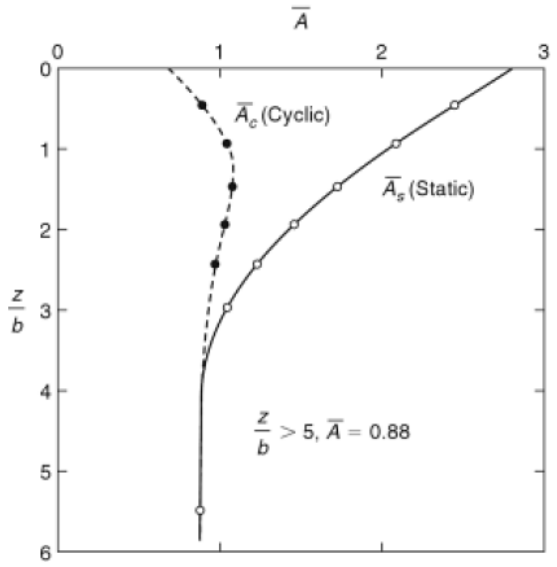


圖 5.19 係數$\bar{A}c$以及$\bar{A}s$之決定

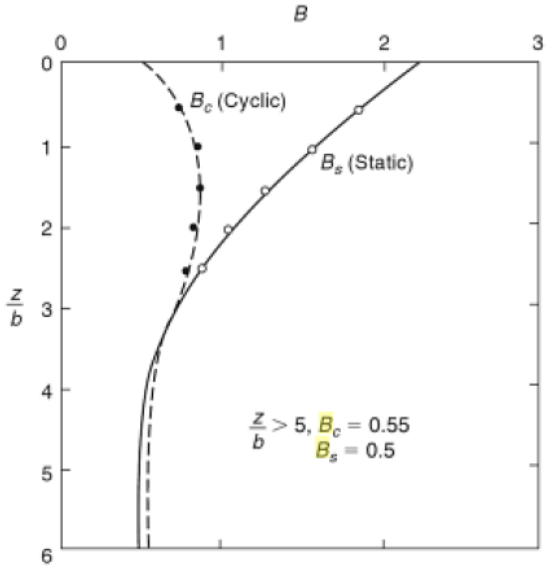


圖 5.20 係數 B 之決定

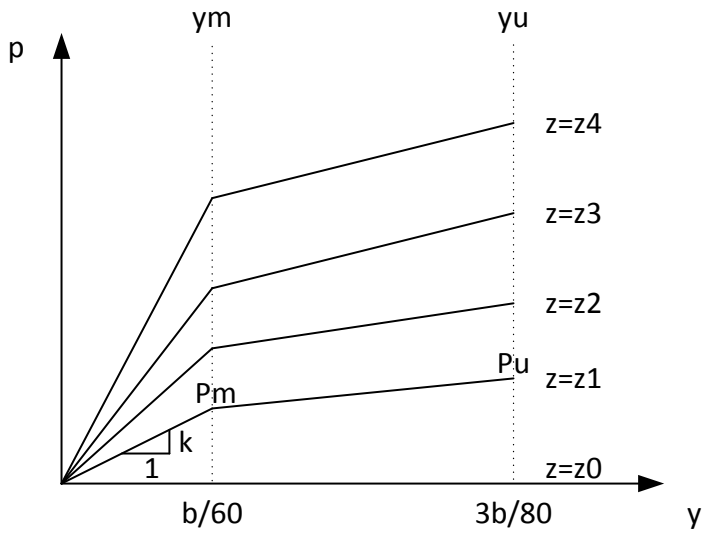


圖 5.21 雙線性 p-y 曲線

(3)以Parker and Reese (1971)所提的P-y曲線進行模擬

Parker and Reese (1971) 提供得到一組砂土之p-y曲線的方法，此方法是基於Terzaghi (1955)所建議單位樁長度極限側向土壤抗力之方程式而得，如下所述。

1. 計算單位長度之土壤抗力有兩種方程式，如下:

$$p_f = \gamma bx\left\{K_P{}^3 + 2K_0 \tan\phi\left(K_P{}^2 + 1\right) - K_A\right\}$$
$$P_w = \gamma x\left\{b\left(K_P - K_A\right) + x\tan\beta\left[K_P \tan\alpha + K_0\left(\tan\phi - \tan\alpha\right)\right]\right\} \quad \text{..... (5.5)}$$

其中:

γ = 有效單位土壤單位重(N/cm^3)

x = 深度(cm)

b = 樁寬(cm)

$K_A = \tan^2\left(45^o - \phi/2\right)$ 主動土壓係數

$K_P = \tan^2\left(45^o + \phi/2\right)$ 被動土壓係數

K_0 = 靜態土壓係數，假設為 0.5。

ϕ = 砂土之內摩擦角。

$\beta = 45^o + \phi/2$

α = 定義楔形之角度，假設其為ϕ之一半。

2. 計算兩種形式之單位樁長極限側向土壤抗力。

3. 由上述較小值控制極限值。

4. 使用式(5.6)來選擇適當之 k 值，並根據表 5-5 之砂土狀態來決定 m 值。

5. 繪製 p-y 曲線，如圖 5.22 所示。

6. 重複步驟 4 以及步驟 5 來建立不同深度之 p-y 曲線。

表5-5 m之範圍(N/cm^3)(Terzaghi, 1995)

Relative Density	Dry or Moist Sand	Submerged Sand
Loose	0.96 - 2.84	0.57 - 1.75
Medium	3.49 - 10.95	2.18 - 7.29
Dense	13.87- 27.74	8.76 - 17.50

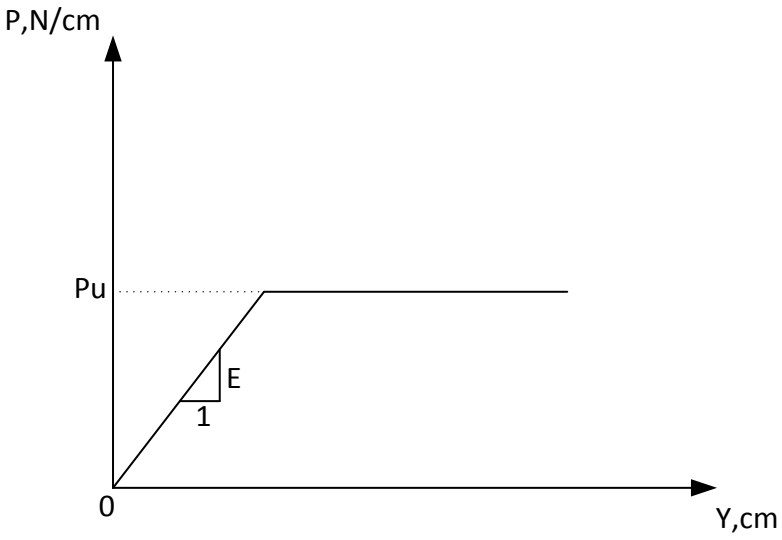


圖 5.22 砂土之 p-y 曲線型式

$$\frac{p}{y} = k = mx \quad \text{.....} (5.6)$$

其中:

p = 側向土壤抗力(N/cm)

y = 樁側量撓度(cm)

k = 土壤模數(N/cm^2)

m = 側向土壤反應係數(N/cm^3)

x = 距地表面之深度 (cm)

根據上述，針對尖山大橋，數值分析的結果與現地量測結果的比較結果如表5-6所示。因本研究所建立的數值模型僅為一個震動單位，車行方向臨跨並未包含於數值模型中，過於保守，因此，車行方向的數值頻率與現地頻率差距較大，為預期中的結果。至於水流方向，根據結果，以「公路橋樑耐震設計規範之補充研究」最接近量測的結果，而此土壤模型在不同沖刷深度下之頻率變化，詳見「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式」一案之報告。

表5-6 尖山大橋各數值模型頻率與現地量測頻率

	車行方向		水流方向	
	數值頻率	現地量測頻率	數值頻率	現地量測頻率
Taiwan Code	1.13	~3.08	2.84	~2.73
Parker and Reese (1971)	0.773		1.342	
Reese (2011)	1.035		2.26	

除了土壤性質外，本計畫另對功能性支承墊進行模擬，模擬的橋梁為名竹大橋。橋梁支承墊為組成橋梁的一部分，通常於橋墩與橋面板之間。支承墊的目的是允許並控制運動進而減小上部結構所受的應力。功能性支承墊可分為許多不同之型式。名竹大橋使用鉛心橡膠支承 (LRB) 作為其支承墊，如圖5.23與5.24所示。

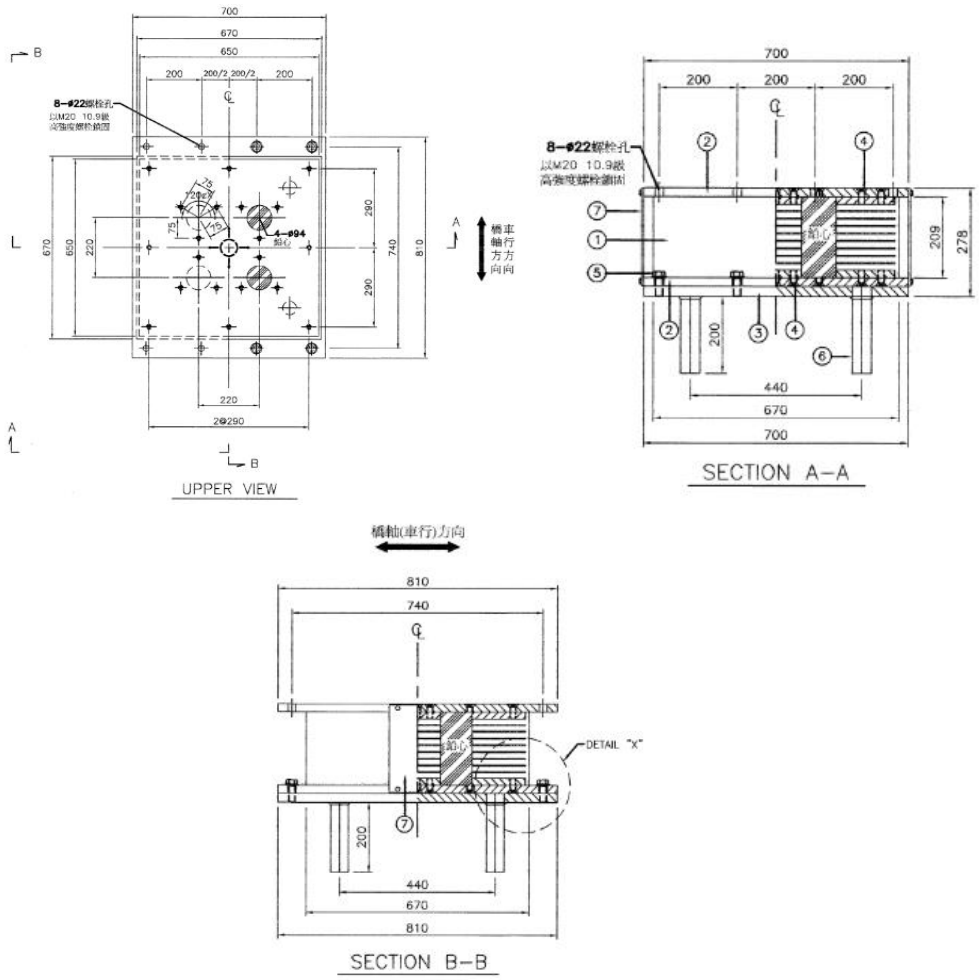


圖 5.23 3 號及 8 號橋墩所使用之支承墊

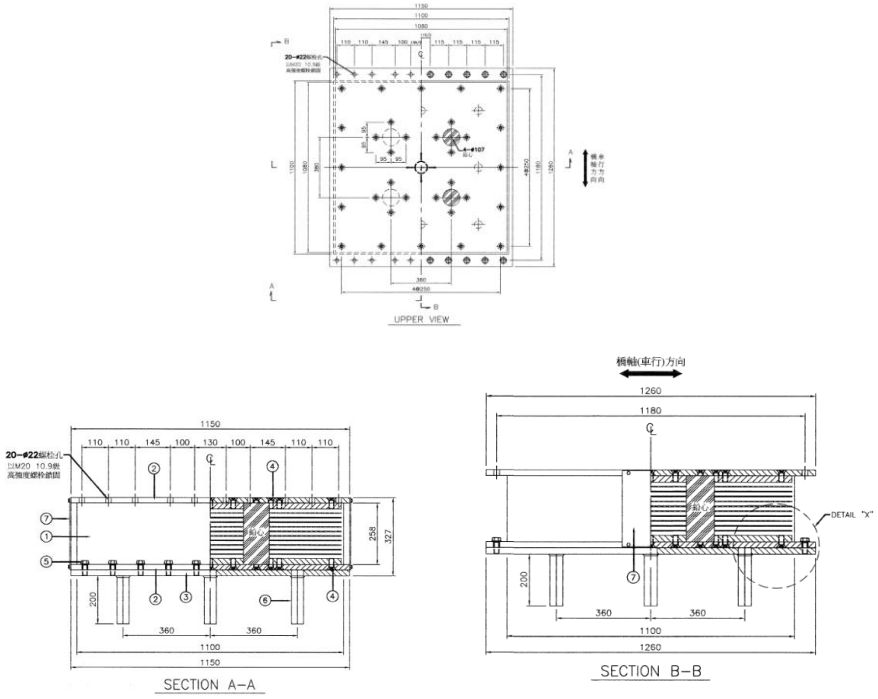


圖 5.24 4 號至 7 號橋墩所使用之支承墊

於SAP2000中，使用雙方向阻尼的雙線性元素模擬此功能性支承墊。由上圖可知，3號以及8號橋墩設計地震水平力為66ton，而於此載重作用下之位移為9.3cm。而4號至7號橋墩設計水平力為155ton，而其位移為16.1cm。透過以上資料，利用下式來計算其勁度。

$$F = k.\Delta \quad \text{.....} (5.7)$$

其中:F 為設計力

Δ 為F載重作用下之位移

3號橋墩和8號橋墩支承墊之勁度為7.1 ton/cm 而4號至7號為9.63 ton/cm。

支承墊的阻尼值，則透過能量消散容量(EDC)計算而得。從支承墊之繪製可得，3號及8號橋墩EDC等於8.91 ton meter，而4號至7號為 23.6 ton meter。彈性應變能是由Δ_m^+以及其高度F_m^+所圍成之三角形面積，以及 Δ_m^-以及F_m^-所圍成之三角形面積所組合而成，將兩者總和則可得其彈性應變能。然而可透過以下式子來獲得其等效阻尼比。

$$\xi_{eq} = \frac{EDC}{2\pi(2E_S)} \quad \text{.....(5.8)}$$

透過以上方程式可得3和及8號橋墩之等效阻尼比為30.94%，而對於4號至7號橋墩為15.09%。

於SAP2000中，雙線性支承墊之參數設定值如圖5.25與圖5.26所示:

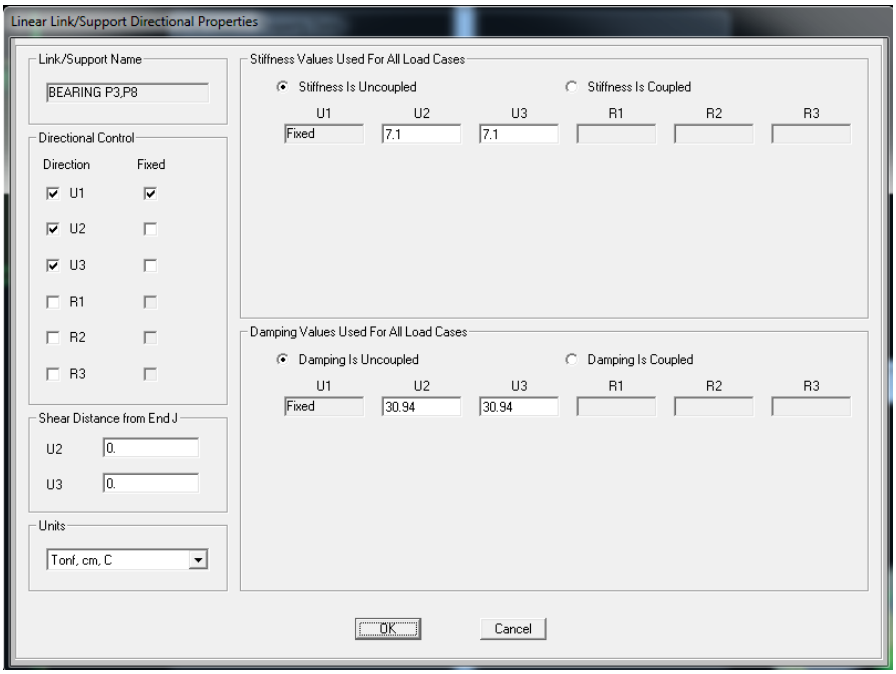


圖 5.25 3 號及 8 號橋墩支承墊之勁度及阻尼

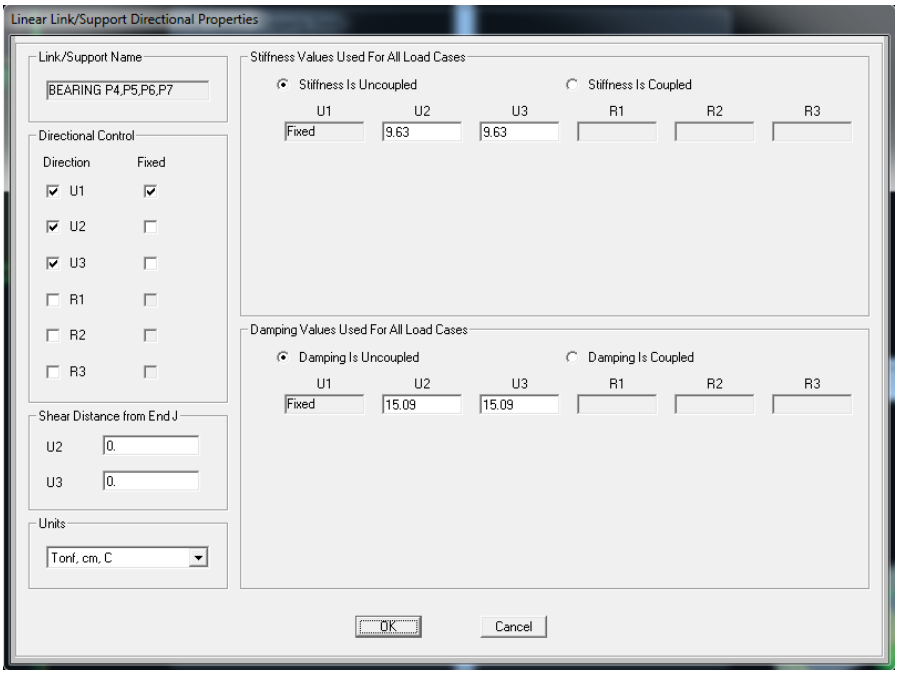


圖 5.26 3 號至 7 號橋墩支承墊之勁度及阻尼

功能性支承墊的目的在於延長橋梁之週期。從分析中可知，若忽略支承墊，將此部分模擬為沒有勁度和阻尼之鉸接，橋梁頻率約為2.5978。而當以雙線性曲線輸入勁度和阻尼之參數時，橋梁之頻率改變為0.88644，符合預期。

5.4 微型速度計試驗

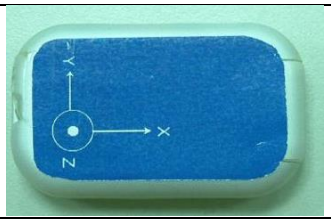
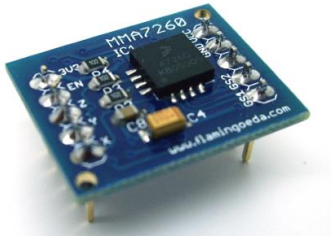
5.4.1 微型加速度計

目前常用的微加速度計種類有壓電式、壓阻式、電容式及熱對流式。壓電式感測頻寬較高，但解析度較差，且價格昂貴；電容式感測頻寬較低，但解析度相對提高，且價格便宜。電容式速度計的原理為藉由加速度運動造成內部的電容極板移動，極板中的雜散電容量會有等量的變化，收集此電容變化量後經由放大再交積體電路(ASIC)轉換後可得到類比式或數位式輸出。由於微機電系統(MEMS) 在90 年代的重大突破(從電化學液體蝕刻至電化學氣體蝕刻)，改善了電化學液體對Z 軸垂直蝕刻的難度，亦加強了3軸晶格的穩定度與精密度，減低了自體雜訊比。微型加速度計的主要元件是機械單元、感測機制以及特定應用積體電路(ASIC)或微控制器。運用半導體與微製程技術，透過微機械加工將所有電子元件、感測器和機械元件使用光罩及蝕刻方式整合至一片矽基板。隨著應用於消費性電子產品的普及，其大量生產及良率也不斷提升，因此才能提供業界價格低廉及穩定性極高的感測元件。

雖然微機電型加速度計在高頻信號的接收上有其限制存在，但根據經驗橋梁的顯著週期一般在5Hz以下，20Hz以上極為罕見。上述頻率範圍具所謂的高頻有段距離，因此，具有開發的價值。

本計畫關於微型加速度計的量測步驟首先將校正用速度計(高階型)與待測的加速度計(微型)放置於同一個震動源上(如振動台或墩柱上)，亦即把欲待測之加速度計，置於相同的振動物體上使其受相同樣振動，將校正用速度計的輸出訊號，和微型加速度計的輸出信號，由頻譜分析進行訊號處理，比較校正用加速度計與微型加速度計在幾個主頻上的輸出值，以求得微型加速度計的準確性。目前市售的微型加速度種類繁多，如表5-7所示，本計畫目前選擇MMA8451Q做為本計畫之加速度計。

表5-7 目前市售的微型加速度計

SANLIEN 00EA-SL	MicroStrain G-Link series
	
Sparkfun ADXL335	ITEM-29
	
MMA8451Q	
	

影響加速度規是否可以精確地量測到被測物頻率的關鍵為其解析度，解析度的計算公式為

$$R = N \times \sqrt{BW \times 1.6} \quad (5.9)$$

其中，

R為解析度(resolution)，N為雜訊密度(Noise Density)，BW：頻寬(Bandwidth)。MMA8451Q的部分規格如下所述。

- 供應電壓為 1.95V 至 3.6V
- 接口電壓為 1.6V 至 3.6V
- 可選擇±2g / ±4g / ±8g 之動態範圍(Dynamic Range)
- 輸出資料速率(ODR)從 1.56Hz 至 800Hz
- 雜訊密度(Noise Density)為 99 μg/$\sqrt{Hz}$
- 以 14-bit 數位輸出

- 數位輸出接口(I2C)
- ODR 自動更改以自動喚醒並返回睡眠模式
- 32-sample FIFO
- 每個採樣和 FIFO 皆有高通濾波數據(High-pass filter)
- 電流消耗量: 6 μA t 至 165 μA

5.4.2 微控制器(Micro-controller Unit，MCU)

上述加速度感應器需要連接到微處理器才可以取得加速度的歷時資料並進行訊號分析。微控制器基本上係將中央處理器(CPU)、記憶體(RAM/ROM)、輸入輸出(I/O)介面都整合在一塊晶片上的微型電腦。其最大優點是體積小，可放在儀表內部，且由於記憶體容量小，輸入輸出介面簡單，功能較低，但其發展非常迅速，可應用於多種領域。目前市面上有多種微處理器，一般較為熟知的有Arduino與Raspberry Pi。

Arduino，是一個開放原始碼的單晶片微控制器，使用低價格的微處理控制器(Atmel AVR)，採用了開放原始碼的軟硬體平台，建構於簡易輸出/輸入介面板，可以利用Arduino 語言與 Macromedia Flash、Processing、Max/MSP、Pure Data和SuperCollider跟Java和make block.cc等軟體，結合電子感應器，例如加速度計、LED、步進馬達或其他輸出裝置，作出互動作品。樹莓派（Raspberry Pi），為Linux系統的單板機微控制器，係由英國的樹莓派基金會所開發，支援BBC BASIC、C語言和Perl等程式語言。圖5.27所示為Arduino與Raspberry Pi微處理器，本計畫目前選擇Arduino作為本計畫之微處理器。

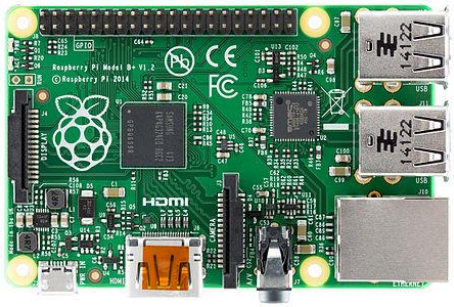
Arduino	Raspberry Pi
	

圖 5.27 Arduino 與 Raspberry Pi

5.4.3 微型加速度計在震動台的試驗結果

圖5.28所示為本計畫於台灣大學土木系呂良正教授的研究室進行試驗的配置，圖5.29中可以清楚看見三個儀器，其中，上方為港研之速度計，右方為ADXL335之微型加速度計(因解析度不夠，之後停止開發)，左下方為MMA8451Q微型加速度計。

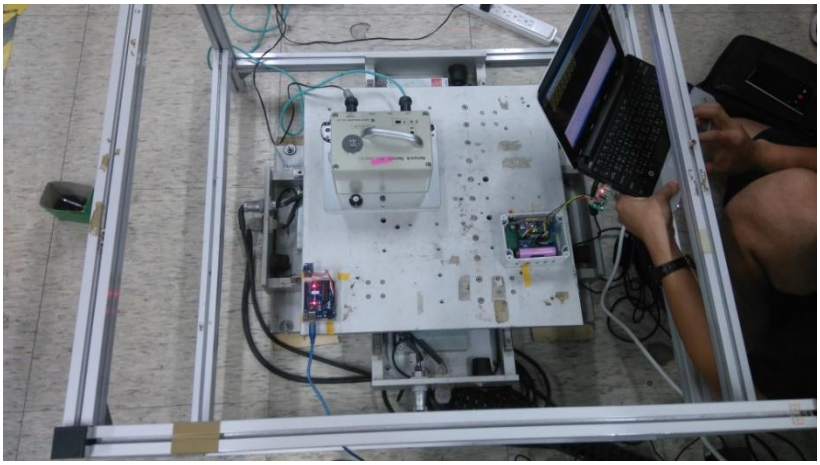


圖 5.28 微型加速度計在震動台的試驗配置(1)

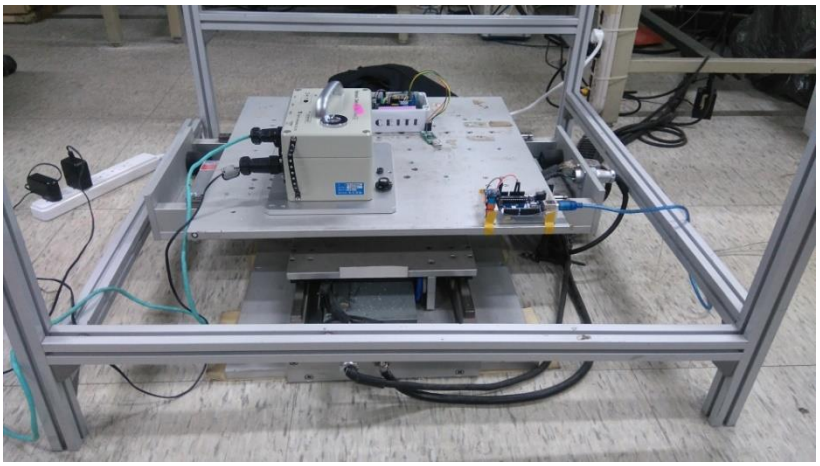


圖 5.29 微型加速度計在震動台的試驗配置(2)

測試時，以一預設的正弦波(sin)啟動震動台，並根據速度計與微型加速度所量測到結果進行FFT，由於台大儀器本身的限制，試驗正弦波的振幅最小僅可到0.005cm，因此，測試時振幅由0.05cm逐步下降到0.005cm。設定的頻率則為10Hz或5Hz。根據試驗的結果，本計畫所開發的微型加速度(MMA8451Q)均可成功量測出振動台的振動頻率，以0.005cm的振幅與10Hz的正弦波為例，圖5.30所示為微型加速度所量得

之位移歷時，圖5.31為速度計所量得之位移歷時，由以上二圖可知，MMA8451Q大致可捕抓到0.005cm的位移，而港研的速度計則精準地反應出振動台的位移。圖5.32(上)為微型加速度計FFT後之頻譜，圖5.32(下)則為速度計之頻譜。由圖5.32的結果顯示，微型加速度在振幅0.005cm時可以成功量得振動台之振動頻率。

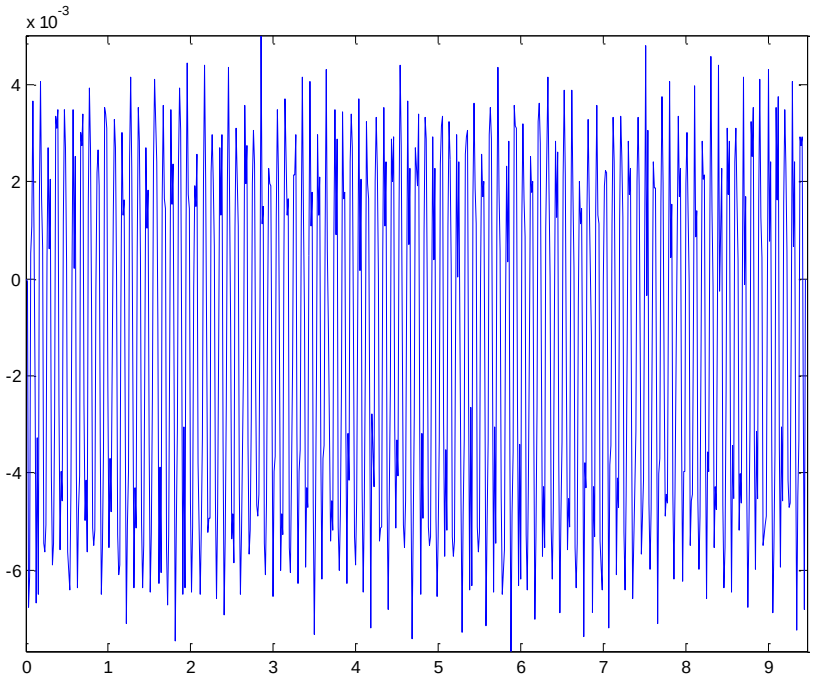


圖 5.30 微型加速度所量得之位移歷時(秒 vs. cm)

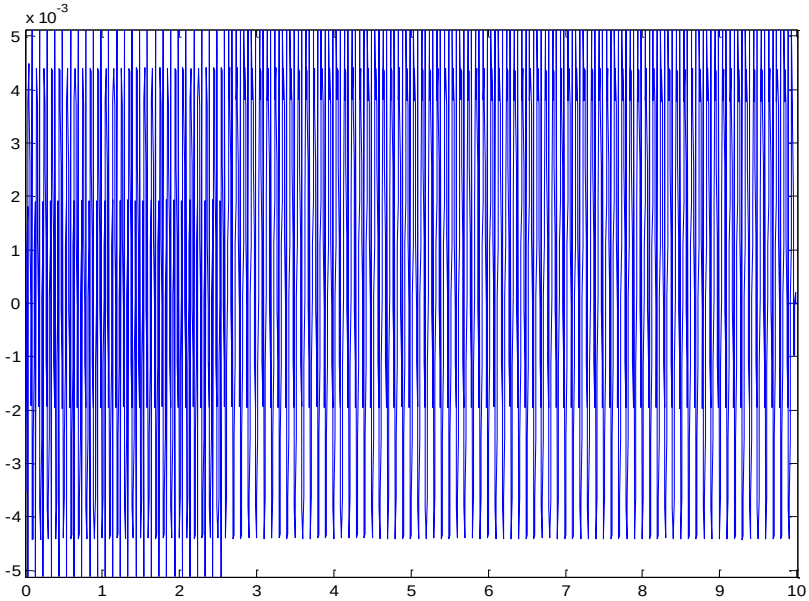
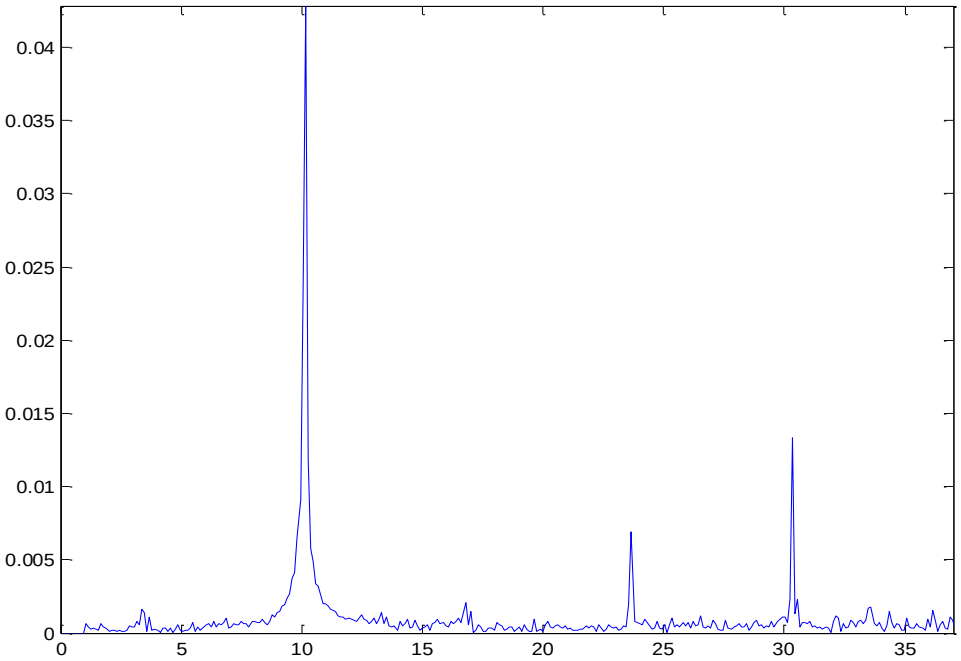


圖 5.31 速度計所量得之位移歷時(秒 vs. cm)



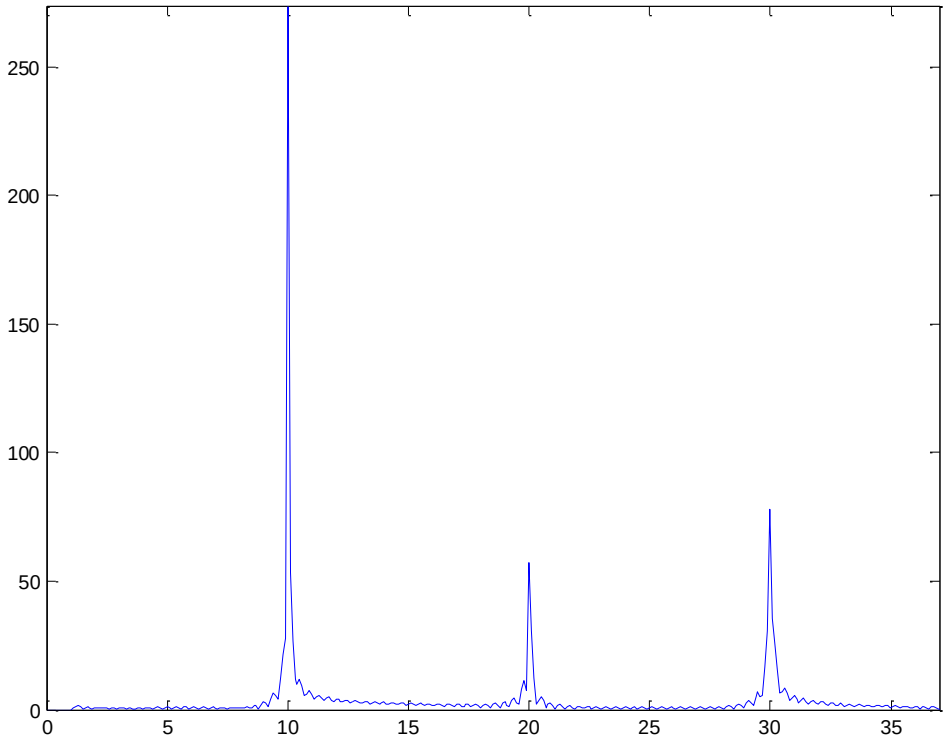


圖 5.32　MMA8451Q(上)與速度計(下)之頻譜

上述試驗之輸入值為單一的頻率，為了確認MMA8451Q的應用範圍，本計畫另以2014國震抗震盃之地震波作為輸入值，該地震波的歷時如圖5.33所示，該地震波的頻譜如圖5.34所示，由圖可知，此輸入並非如先例僅為單一頻率的波動，而是包含許多頻率的輸入波。於本例中，本計畫利用HHT(（Hilbert-Huang Transform)進行頻譜分析，HHT的前置分析為建立IMF（Intrinsic Mode Function），由於大部分的原始資料並不是IMF，而是由許多弦波所組合而成的。因此，需要利用經驗模態分解(Empirical Mode Decomposition，EMD）將訊號分解成IMF，並藉著不斷重覆的篩選程序來逐步找出IMF。Huang等人認為任何信號都是由若干IMF組成，任何時候，一個信號都可以包含若干個IMF，如果IMF之間相互重疊，便形成複合信號。EMD分解的目的就是為了獲取IMF ，然後再對各IMF進行希爾伯特變換，得到希爾伯特譜。任何一個資料，滿足下列兩個條件即可稱作本質模態函數：

（1）函數之正、負極值之總和數目必須與過零點（zero crossing）數目相同，或頂多差 1

（2）由各極值所形成之上下包絡線（envelope）其平均值為零。

因此，一個函數若屬於IMF，代表其波形局部對稱於零平均值。此類函數類似於弦波（sinusoid-like），但是這些類似於弦波的部分其週期與振幅可以不是固定。因此，可以直接使用希爾伯特轉換，求得有意義的瞬時頻率。圖5.35為輸入地震波的IMF，圖5.36為HHT分析之頻譜，由以上分析可知，MMA8451Q所蒐集的加速度歷時確實可以得到輸入地震波的頻率內涵。

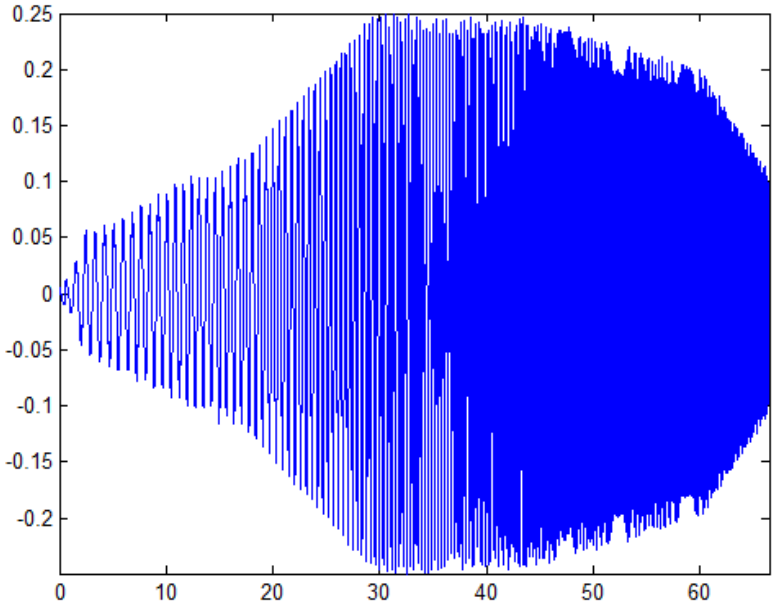


圖 5.33 國震抗震盃之地震歷時

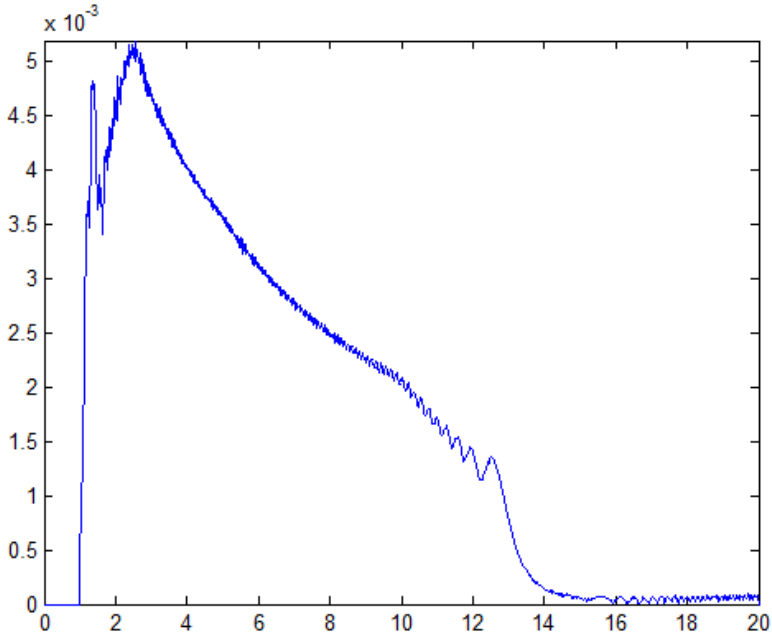


圖 5.34 國震抗震盃地震歷時之頻譜

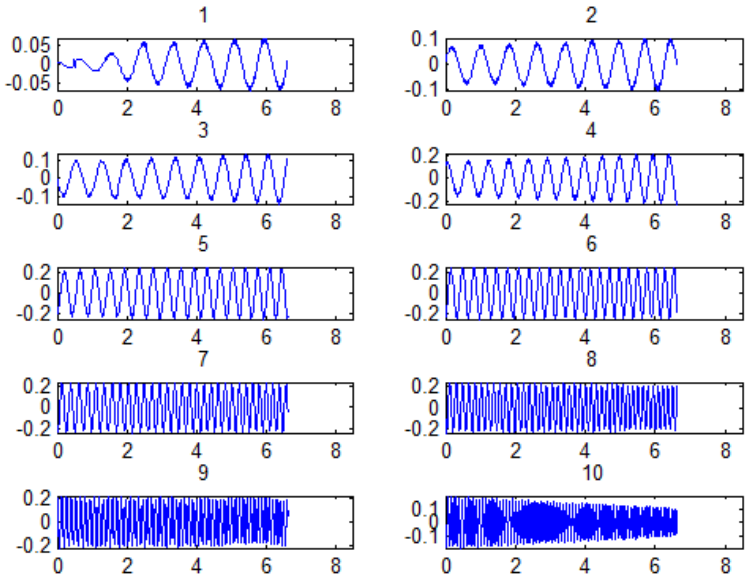


圖 5.35 本範例之 IMF

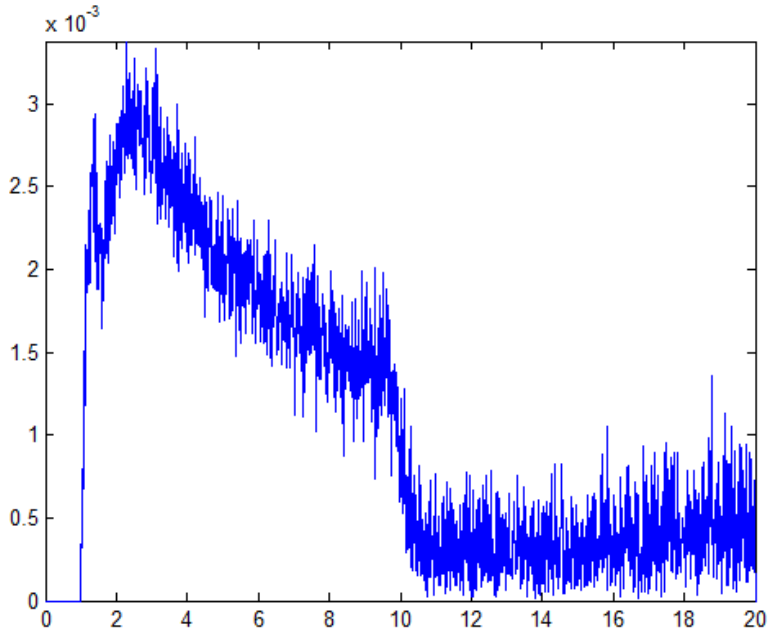


圖 5.36 HHT 所得之頻譜

5.4.4 微型加速度計在現地橋梁的試驗結果

由於本計畫的現地試驗並無外加載重，即進行微震量測(Ambient vibrations test)，量測時橋體的震動幅度十分微小，如圖5.37所示為一個典型的量測資料(速度計置於帽梁處)，經轉換後，位移約10^{-6}，與在台大實驗室所使用的最小位移10^{-3}有段差距，當以所開發的MMA8451Q配合上述HHT進行量測與分析時，所得之頻譜如圖5.37所示，由圖可知，MMA8451Q所得之結果仍有改善的空間。

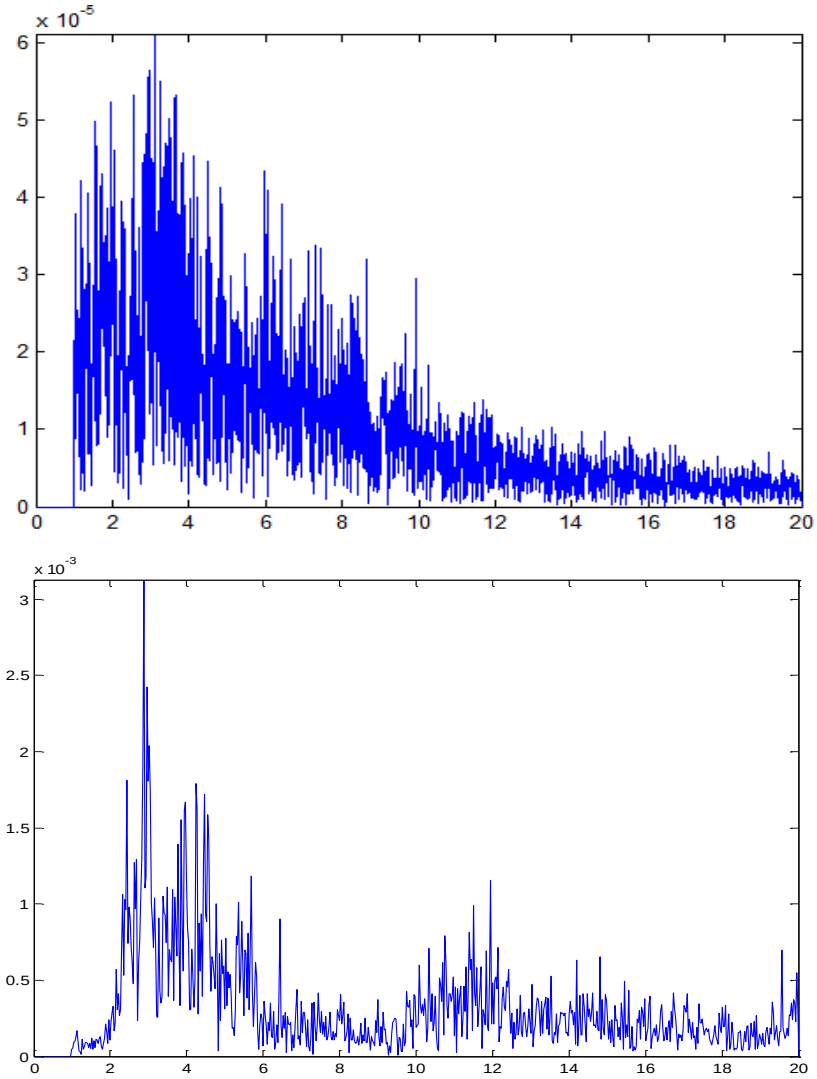


圖 5.37 尖山大橋水流方向之頻譜，MMA8451Q(上)，速度計(下)

第六章 橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

此階段先藉由蒐集國內外橋梁耐震能力評估(側推分析)、橋梁耐洪安全評估、橋梁振動頻率評估等文獻，確定橋梁各種安全評估方式，並作為後續橋梁設計參數應用於橋梁安全評估模式之重要參考依據。並藉由所歸納之相關參考文獻，考慮在橋梁設計階段時，預先將使用維護階段橋梁評估模式所需資訊儲存，建立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，並新增於TRENDS系統模組中。

6.1 確立使用維護階段橋梁評估模式所需資料

橋梁在使用維護階段進行能力評估時，需要許多的資料作為輸入，進行使用維護階段橋梁各種評估模式流程整理確認，並彙整各評估模式過程中所需要的輸入參數，如橋梁耐震能力評估(側推分析)所需設計參數(表2-4)、沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數(表2-6)、樁基礎耐洪安全評估分析模式所需參數(表2-7)，代表若能在橋梁設計階段，完成橋梁設計後，把這些參數資訊儲存，並在橋梁使用維護階段作為橋梁耐震、耐洪評估模式所使用，如此一來，解決以往進行橋梁評估時耗費人力、時間且效率低落的問題。

考量橋梁進行橋梁耐震能力評估(側推分析)及橋梁振動頻率評估皆須進行側推分析，其過程為建置橋梁結構模型後再進行側推，而在橋梁在設計階段時，都會建置橋梁結構模型進行力學分析，故若在設計階段就能儲存橋梁結構模型，在未來使用維護階段時，就能作為橋梁側推分析之用；另外，橋梁耐洪安全評估模式需要橋梁的尺寸資料，結合橋墩即時的水位、流速、沖刷深度，接著計算橋墩的耐洪安全係數(FS)，而耐洪安全評估模式依不同的基礎型式會有不同之輸入值，如沉箱基礎(表2-6)、樁基礎(表2-7)，而沉箱基礎與樁基礎耐洪分析模式所需參數，因為有部分的參數重覆，所以將耐洪安全評估所需參數整理如表6-1。

最後，彙整使用維護階段所需資料包括：1.橋梁結構模型2.耐洪安全評估所需參數。

表6-1 耐洪安全評估所需參數

編號	參數	編號	參數	編號	參數
1	混凝土單位重(t/m^3)	16	基樁長度(m)	31	承載層土壤摩擦角
2	不透風護欄高(m)	17	基樁數量(m)	32	沉箱內填充物單位重(t/m^3)
3	箱型梁與橋面板高(m)	18	基樁慣性矩	33	沉箱高度(m)
4	上部荷重(ton)	19	樁帽水流作用力常數	34	沉箱寬(m)
5	橋墩跨徑(m)	20	基樁水流作用力常數	35	沉箱長度(m)
6	橋墩高度(m)	21	最外側基樁至樁帽外側距離(m)	36	沉箱全斷面積
7	橋墩寬(m)	22	主動土壓力係數(ka)	37	沉箱內填物斷面積
8	橋墩數量	23	被動土壓力係數(kp)	38	沉箱水流作用力常數
9	橋柱斷面積(m^2)	24	沉箱基礎底面之形狀因素(α)	39	沉箱厚度(m)
10	橋墩重量(ton)	25	沉箱基礎底面之形狀因素(β)	40	沖刷深度(m)
11	橋墩水流作用力常數	26	沉箱支承力因素(Nc)	41	水位(m)
12	樁帽長度(m)	27	沉箱支承力因素(Nq)	42	流速(m/s)
13	樁帽寬度(m)	28	沉箱支承力因素(Nr)		
14	樁帽高度(m)	29	承載層土壤單位重(t/m^3)		
15	基樁直徑(m)	30	承載層土壤凝聚力		

(本研究整理)

6.2 確立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式

透過6.1章節所述，在橋梁設計階段將表6-1之設計參數資訊儲存，並在橋梁使用維護階段評估橋梁能力所使用，如此一來可解決以往進行橋梁評估時耗費人力、時間且效率低落的問題。故本章節彙整使用維護階段所需資料，研擬橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，如圖6.1所示。

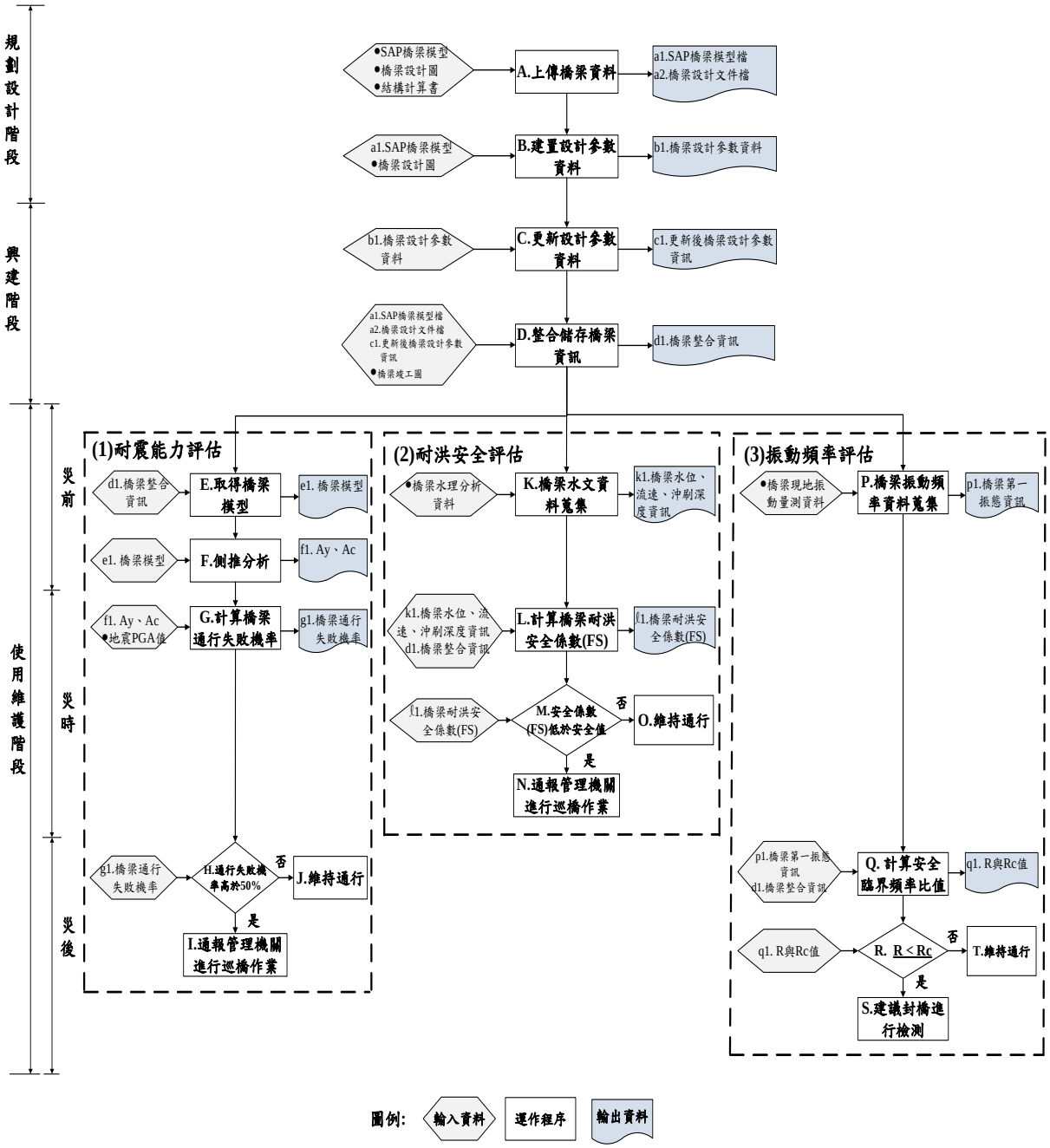


圖 6.1 橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式

以下針對橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，按照橋梁在不同階段應用此模式並依序詳細說明：

1. 規劃設計階段

A.上傳橋梁資料: 橋梁完成設計後，設計單位可將橋梁SAP2000結構模型、橋梁設計圖、結構計算書上傳後儲存建置。

B.建置設計參數資料: 設計單位可從橋梁設計圖、橋梁結構模型中找出橋評估模式所需參數，接著將設計參數資料建置儲存。

2. 興建階段

C.更新設計參數資料: 若有變更設計，橋梁設計參數也會有所改變，故設計單位須將先前儲存之設計參數修改後重新儲存。

D.整合儲存橋梁資訊: 將設計完成的橋梁SAP2000結構模型、結構計算書、竣工圖說、橋梁設計參數等資料整合儲存，以提供後續使用維護階段各橋梁評估模式使用。

3. 使用維護階段

(1)橋梁耐震能力評估

E.取得橋梁模型: 橋梁管理單位在使用維護階段，若須重新進行橋梁耐震能力評估，必須有完整的橋梁模型，故下載先前整合儲存之橋梁結構模型，接著匯入SAP2000軟體，即可完成橋梁模型建置。

F.側推分析: 取得橋梁模型後，依不同的破壞模式，在SAP2000中設定塑鉸性質，執行側推分析後建立容量曲線，接著將容量曲線轉換為容量震譜，再將容量震譜中任一點處譜加速度a_{pi}，對應最大地表加速度(PGA)，最後得出該橋梁之Ay與Ac值。

G.計算橋梁通行失敗機率: 於災時，地震發生所代表的PGA值，結合前述橋梁的Ay與Ac值作為通行失敗機率計算的輸入值，計算出橋梁通行失敗機率。

H.橋梁通行失敗機率是否高於50%: 橋梁管理單位可根據前述所計算出的橋梁通行失敗機率，判斷通行失敗機率高於50%為異常狀況橋梁。

I.通報管理機關進行巡橋作業: 於災後(地震過後)，當計算出橋梁通行失敗機率高於50%，應立即派駐橋梁管理人員至該橋梁進行巡橋作業，而經現場人員判斷後再評估是否封閉該橋梁。

J.維持通行: 於災後(地震過後)，計算出橋梁通行失敗機率低於50%，橋梁可持續通行運作。

(2)橋梁耐洪安全評估

K.橋梁水文資料蒐集: 於災前，整合各橋墩水位、流速、沖刷深度等資訊，作為災時計算橋梁耐洪安全係數之輸入值。

L.計算耐洪安全係數(FS): 於災時，透過先前橋梁整合儲存資訊，其中的橋梁設計參數資料，結合前述所整合的橋梁的水位、流速、沖刷深度資訊，針對不同的基礎型式套用不同的計算公式，計算各橋墩的耐洪安全係數(FS)；再整合未來的水位、流速、沖刷深度資訊進行計算，即可得未來耐洪安全係數(FS)。

M.安全係數(FS)是否低於安全值: 橋梁管理單位可根據前述所計算出即時與未來的耐洪安全係數(FS)，判斷橋梁即時與未來的的預警值如表6-2所示。透過未來的安全係數(FS)值，即可判斷橋梁未來的耐洪能力，藉此作為橋梁安全預警之用途。

表6-2耐洪安全係數對應預警值[19]

耐洪安全係數(FS)	0~1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0以上
預警值	行動(紅燈)	警戒(橘燈)	注意(黃燈)	安全(綠燈)

N.通報管理機關進行巡橋作業: 於災時，當計算出耐洪安全係數(FS)低於3.0(安全值)則代表橋梁可能處於危險不安全的狀態，應立即派駐橋梁管理人員至該橋梁進行巡橋作業，而經現場人員判斷後再評估是否封閉該橋梁。

O.維持通行: 於災時，當計算出耐洪安全係數(FS)高於3.0(安全值)則代表橋梁處於安全無虞的狀態，橋梁可持續通行運作，但若處於颱洪季節，應持續留意橋梁的耐洪安全狀態。

(3)橋梁振動頻率評估

P.橋梁振動頻率蒐集: 於災前，整合各橋梁現地量測振動頻率(第

一振態)資訊，結合災前與災後現地量測振動頻率(第一振態)資訊，作為安全臨界頻率比值計算的輸入值。

Q.計算安全臨界頻率比值: 於災後，透過先前橋梁整合儲存資訊，其中的橋梁結構模型執行側推分析後可得出*Rc*值；另外從前述橋梁振動頻率蒐集，其中蒐集災前與災後橋梁現地量測振動頻率(第一振態)資訊即可計算出*R*值。

R. *Rc*值與*R*值比較: 於災後，橋梁管理單位可透過安全臨界頻率比值，即利用*Rc*值與*R*值的比較判斷橋梁是否為安全可通行的決策依據。

S .建議封橋進行檢測: 於災後，當*Rc*值>*R*值，代表橋梁可能處於危險狀態，應立即派駐橋梁管理人員盡速至該橋梁進行封橋作業，並巡視橋梁是否有重大毀損。

T.維持通行: 於災後，當*R*值>*Rc*值，代表橋梁處於安全無虞的狀態，橋梁可持續通行運作，但若處於颱洪季節，仍須留意橋梁的安全狀態。

6.3 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫建置

將依照前述之整合模式構想與確立之模式流程，把各模組所用之資料內容整理輸出與輸入之關係，以此輸入輸出表為基礎，並利用實體-關係模型(Entity-Relationship Data Model，ER-model)規劃如圖 6.2，其中因 TBMS 與 TELES 兩邊橋梁編號未統一，因此系統中另外以 nid 作為主鍵。此外 TBMSID 被即時河川資訊(FK1)、耐洪安全評估(FK2)、振動頻率評估(FK3)與橋梁設計參數(FK4)所引用。而 TELESID 被即時河川資訊(FK1)、耐洪安全評估(FK2)、振動頻率評估(FK3)、橋梁設計參數(FK4)與橋梁振動量測記錄(FK5)所引用。依此建置資料庫格式與儲存項目，避免資料重複建置與資料不同步之問題。

系統中文字及數值等資料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，達到資料管理的功能。在資料的建構與管理方面，本研究以 Microsoft SQL SERVER 作為制定資料表之工具，以下將針對資料管理進行描述。

資料庫資料管理的部分將各類資料進行分類管理，分為 1.橋梁基本資料表 2.橋梁設計參數 3.即時河川資訊 4.耐洪安全評估 5.橋梁振動量測記錄 6.振動頻率評估。

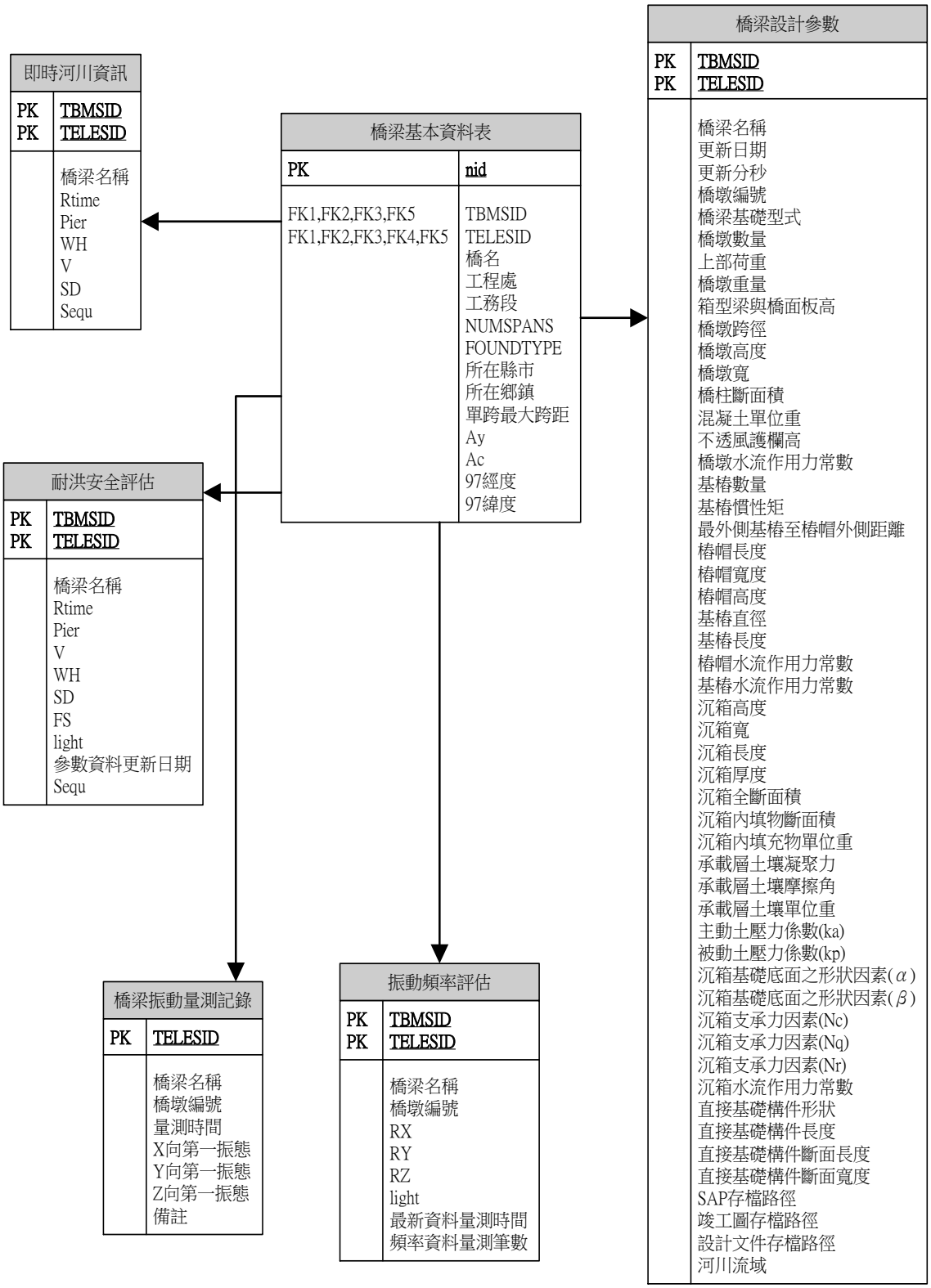


圖 6.2 ER-model 圖

6.4 系統規劃與發展

本章介紹說明橋梁設計與防災預警資訊整合系統之系統規劃與發展步驟。系統規劃的主要工作項目及流程如圖 6.3 所示，圖中箭頭右方代表各階段的主要成果。

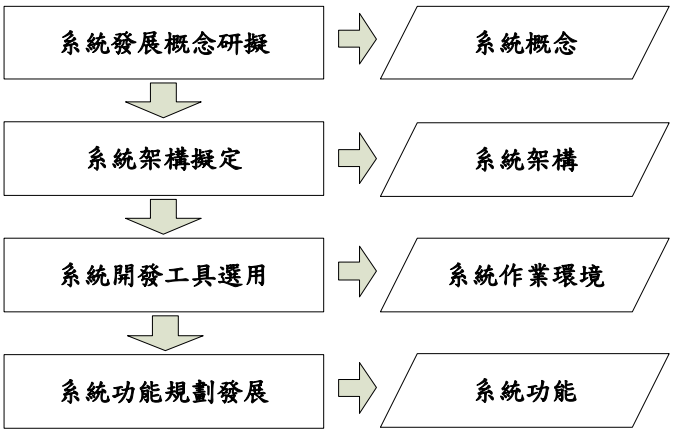


圖 6.3 系統初步規劃工作及流程

本系統之規劃與發展工作內容主要包含：「系統發展概念研擬」、「系統架構擬訂」、「系統開發工具選用」以及「系統功能規劃」等四項，各項之工作內容將在以下各節中分別說明。

6.4.1 系統發展概念研擬

為使橋梁設計與防災預警資訊整合系統有效率應用，提升橋梁管理維護單位防災預警與即時評估之用途，因此需要一套架構於網際網路下之系統，使相關管理單位能夠在不同平台皆能瀏覽相關資料。另外，為了資料易於辨識，方便使用者查詢。故本系統開發將需滿足以下三項目標：1. 容易進行資料查詢及分析 2. 提供橋梁評估相關資訊 3 確保使用最新資料進行評估。

根據系統使用需求的目標，發展規劃將分為三個部份，如圖 6.4。1.對話介面：著重網頁的開發，讓使用者能夠經由網頁查詢所需資料；2.資料管理：透過 Microsoft SQL Server 建立關聯式資料庫(Relational DataBase)；3.模式管理：模式管理中包含安全評估與防災預警通報。由系統中三個部份相互配合後，儲存於資料庫中，使用者可藉由網頁進行資料查詢。

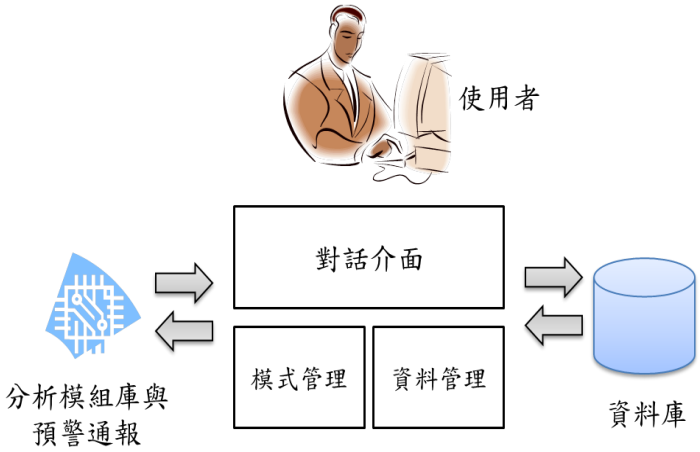


圖 6.4 系統組成圖

6.4.1.1 對話介面

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

1. 人機配合

對話格式為系統與使用者間溝通方式，本系統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. 設計理念

設計理念的首要考量，在於系統如何傳達訊息給使用者，及接受使用者的操作指令。本研究將系統架構於伺服器(Server)上，以瀏覽器(Browser)作為對話管理之介面軟體，以微軟的動態網頁設計技術 Active Server Pages(ASP.NET) 撰寫網頁作為對話管理之介面，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，藉此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。

6.4.1.2 資料管理

此系統之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)來連結不同資料庫間的資料，再運用資料庫結構式查詢語言(Structured Query Language, SQL)，以 Select，From，Where，Order By 等組合子句進行存／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。

在資料庫的建構與管理方面，本研究規劃以 Microsoft SQL Server 作為制定資料表之工具，並採用 ASP.NET 4.0 撰寫之表單作為資料管理之介面軟體。

6.4.1.3 模式管理

本研究採用瀏覽器作為模式管理之介面軟體。各項資料以專屬模式方式進行管理，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分析資料，進而達到模式管理的功能。

本系統之模式庫可分為五大模組分別為：1.上傳參數資料模組、2.修改刪除資料模組、3.查詢下載資料模組、4.耐洪安全評估模組、5.振動頻率評估模組。

6.4.2 系統架構擬定

系統將以資料整合平台為核心，負責所有資料進出管理，平時會定時從「臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)」[2]擷取資料進行分析、比對及更新，並將資料存入資料庫。而系統包含五大模組分別為：1.上傳參數資料模組、2.修改刪除資料模組、3.查詢下載資料模組、4.耐洪安全評估模組、5.振動頻率評估模組。其系統架構，如圖 6.5 所示。

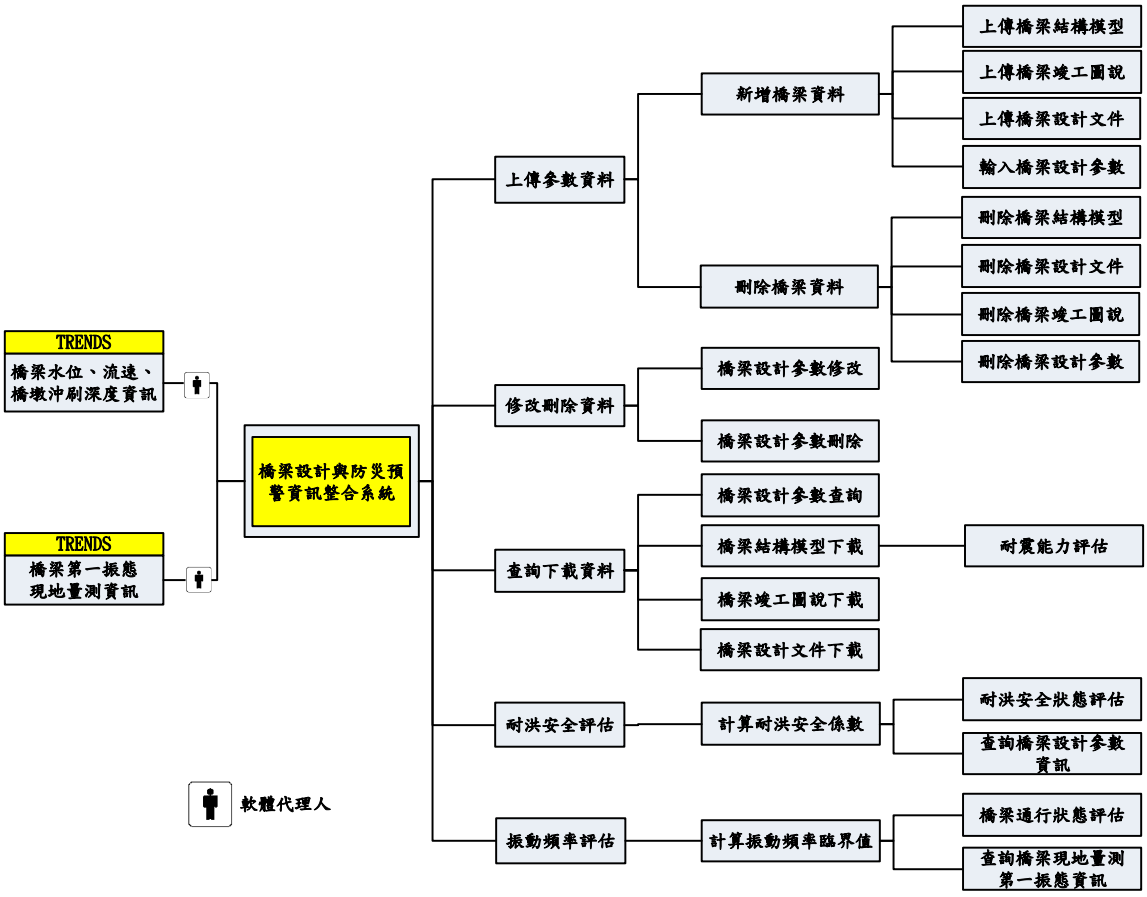


圖 6.5 系統架構

6.4.3 系統開發工具選用

本研究所規劃之橋梁耐震耐洪設計參數整合系統，系統開發所需設備如下：

1. PC 2.0GHZ 以上之個人電腦（具備 2048MB 以上記憶體）
2. Microsoft Windows 7 作業系統軟體
3. Microsoft Active Server Pages 4.0 ／Visual Studio 20010 應用程式開發軟體
4. Microsoft SQL Server 2008 應用軟體

使用者所需具備之軟硬體如下：

1. PC586 以上之個人電腦(具備 1024MB 以上記憶體及網路連線環境)；

2. Microsoft Internet Explorer 5.0 以上版本。

系統整合方面，本系統主要由 Visual Basic.NET、ASP.NET、SQL 資料庫等視窗軟體之應用程式所組成，並利用 Visual Studio 將各作業軟體整合在同一工作環境下，而發展出親善性之使用者界面，系統整體作業環境如圖 6.6 所示。

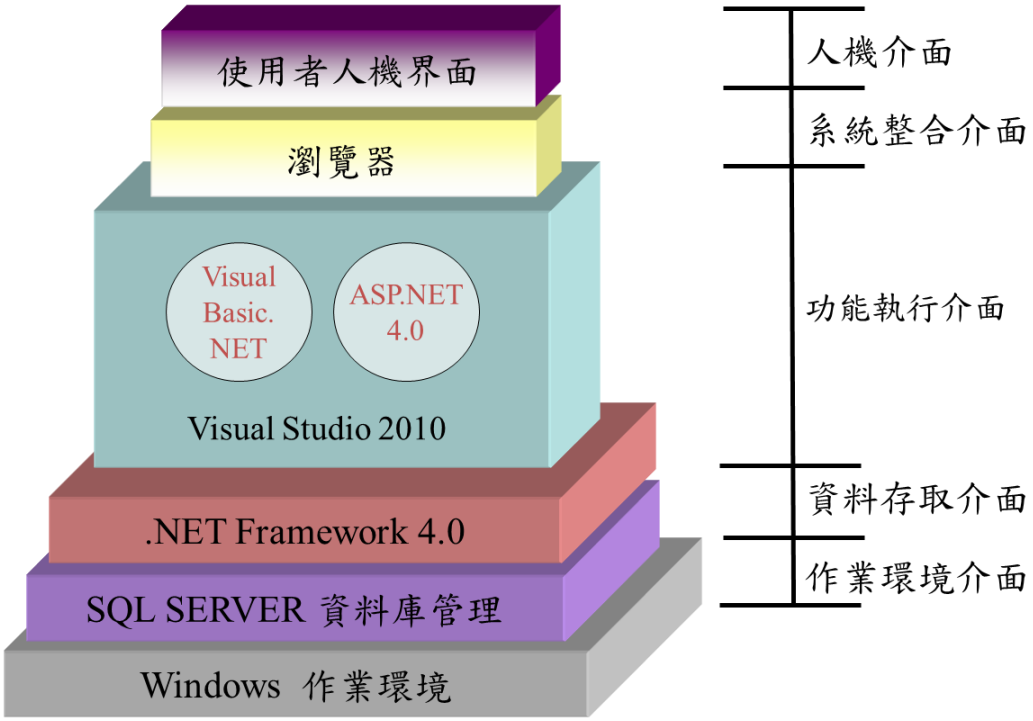


圖 6.6 系統作業環境圖

6.4.4 系統功能規劃與發展

本研究所建構之系統，系統操作介面下之功能架構規劃如圖 6.7 所示，其中系統係由 ASP.NET 應用程式開發軟體撰寫而成，共分五個主要功能模組分為：1.上傳參數資料模組、2.修改刪除資料模組、3.查詢下載資料模組、4.耐洪安全評估模組、5.振動頻率評估模組，以下針對各系統所屬模組之功能規劃、發展加以說明。

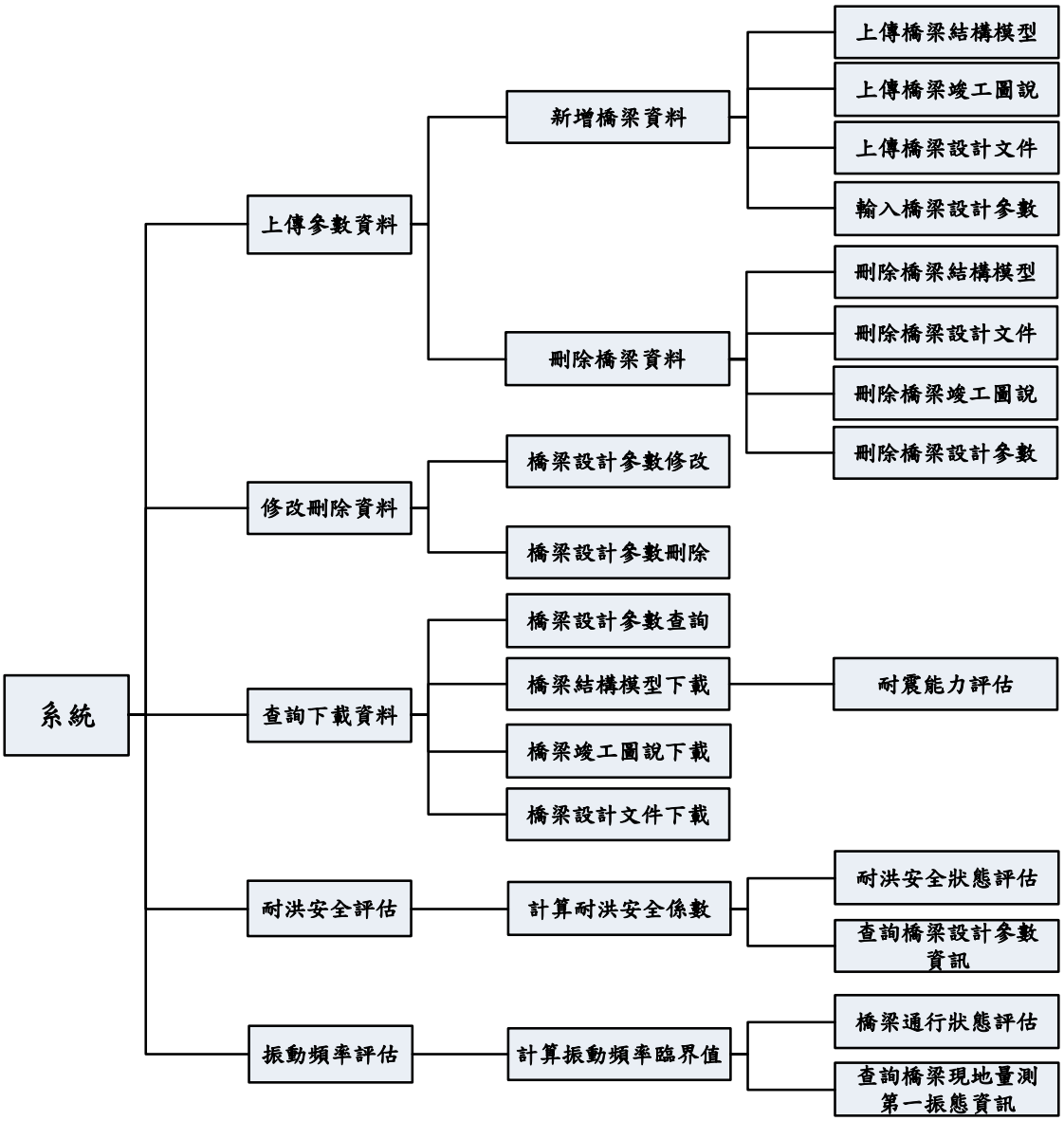


圖 6.7 系統功能架構

6.4.4.1 上傳參數資料模組

此模組主要為提供設計顧問公司，將完成設計之橋梁資料上傳於資料庫中，作為後續橋梁安全評估之用。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 6.8 與圖 6.9 所示。

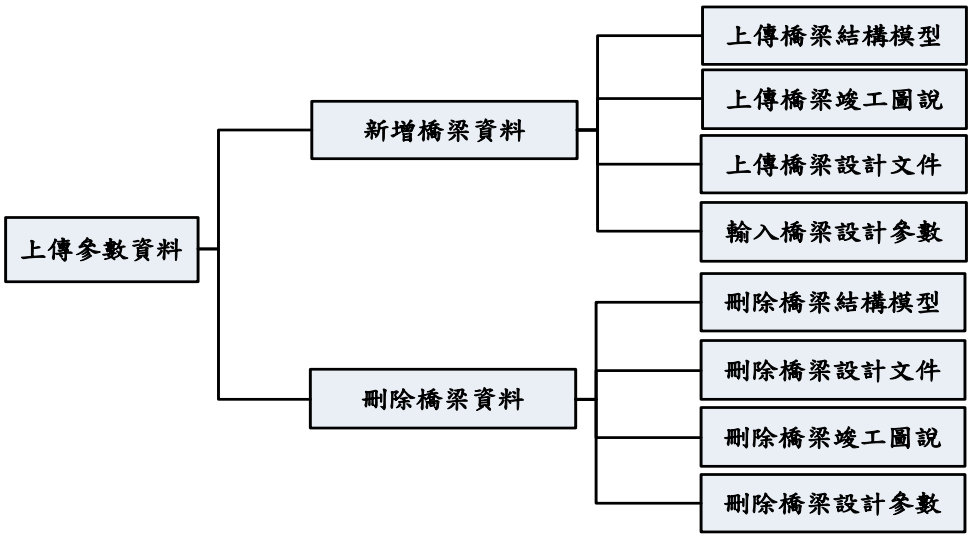


圖 6.8 上傳參數資料模組功能架構

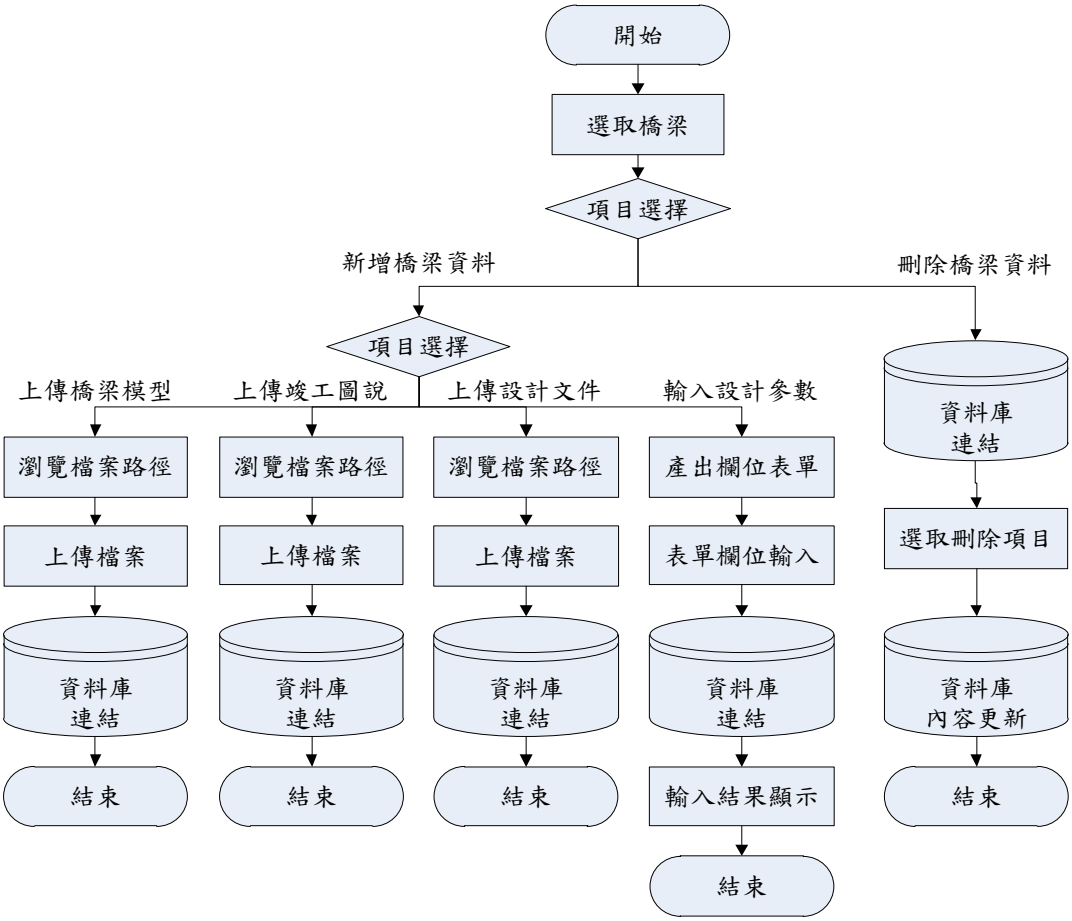


圖 6.9 上傳參數資料模組操作流程

1. 新增橋梁資料

進入模組選擇橋梁後，即可開始新增橋梁資料，內容包括橋梁結構模型上傳、橋梁竣工圖說上傳、橋梁設計文件上傳、輸入橋梁設計參數，可直接由網頁端新增橋梁相關資訊，透過人機界面輸入資料後整合儲存於後端資料庫中。

2. 刪除橋梁資料

進入模組選擇橋梁後，將顯示目前該橋梁有幾筆資料輸入，使用者可透過介面，將先前已輸入之橋梁結構模型、橋梁竣工圖說、橋梁設計文件、設計參數資料一次刪除。

6.4.4.2 修改刪除資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位，易於進行橋梁設計參數修改或刪除，以達到橋梁資料管理之功用。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖6.10與圖6.11所示。

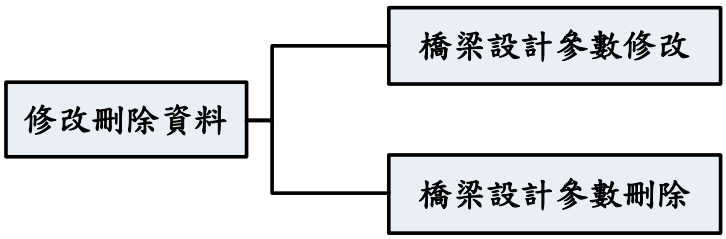


圖 6.10 修改刪除資料模組功能架構

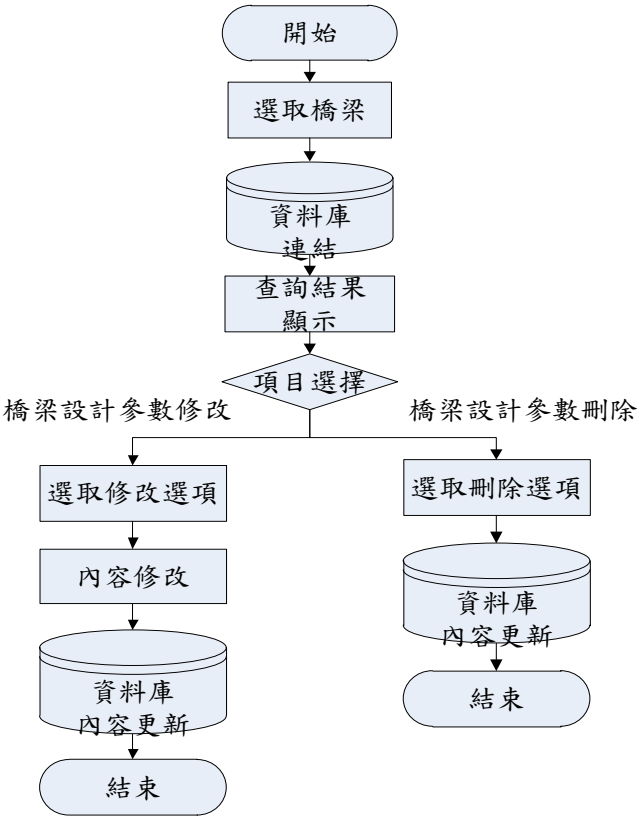


圖 6.11 修改刪除資料模組操作流程

1. 橋梁設計參數修改

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，進入修改刪除頁面選擇修改選項後，即可針對該橋梁設計參數資料進行修改，透過人機界面修改資料後更新儲存於資料庫中。

2. 橋梁設計參數刪除

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，進入修改刪除頁面選擇刪除選項後，即可針對該橋梁設計參數資料進行刪除，該筆橋梁資料將會從資料庫中移除。

6.4.4.3 查詢下載資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位，面對眾多的橋梁資料，易於進行橋梁資料下載或檢視，並作為橋梁安全評估之用途。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 6.12 與圖 6.13 所示。

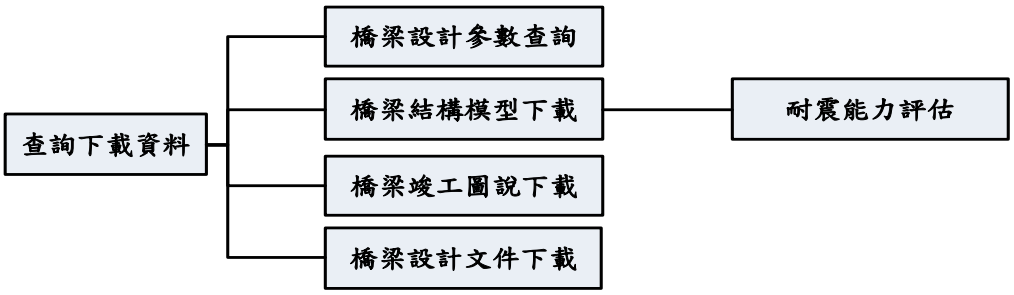


圖 6.12 查詢下載資料模組功能架構

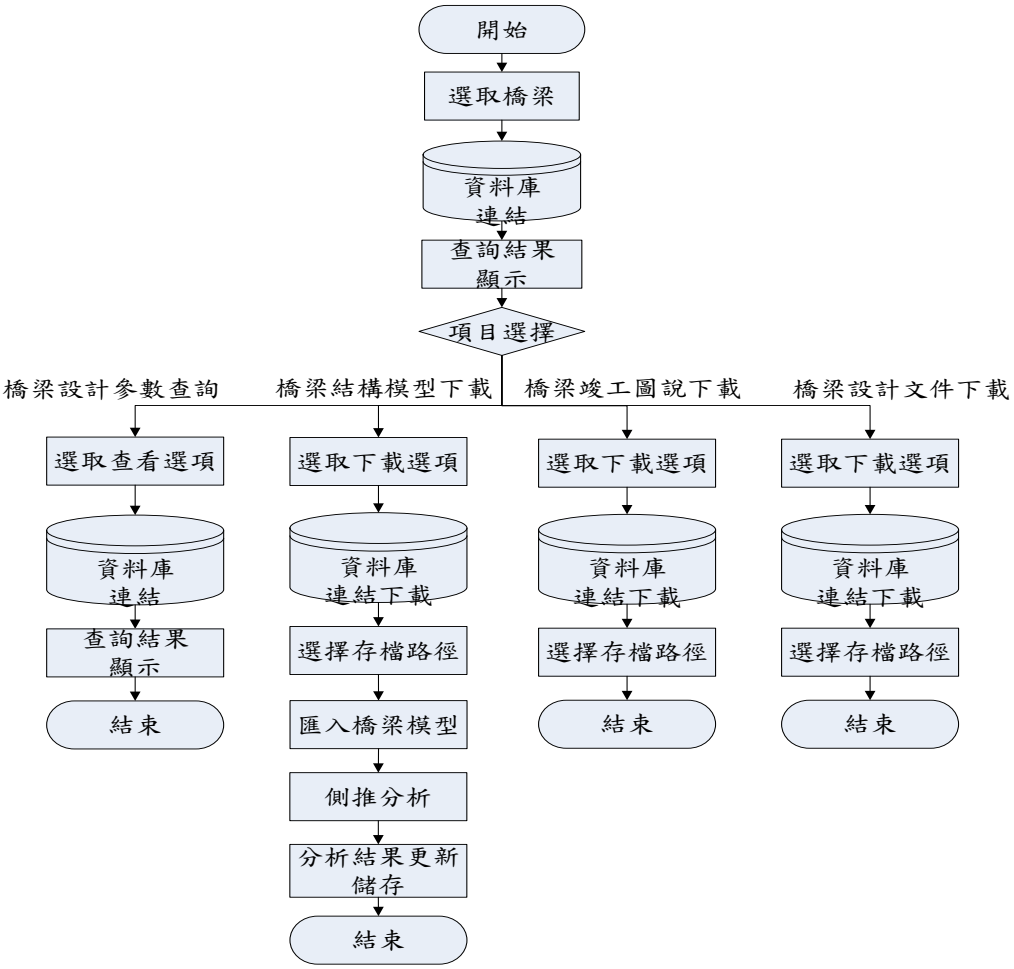


圖 6.13 查詢下載資料模組操作流程

1. 橋梁設計參數查詢

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇查看選項後，即可針對該橋梁設計參數進行檢視，其中包含該橋梁各橋墩資訊都將包含在其中。

2. 橋梁結構模型下載

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁結構模型進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，下載之模型檔案為(.mdb)格式，接著將該檔案匯入 SAP2000 軟體，設定完成後進行側推分析，最後把側推分析結果(Ay、Ac 值)在系統中更新儲存，以達到耐震評估之目的。

3. 橋梁竣工圖說

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁竣工圖說載進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，竣工圖說可輔助維護管理單位在評估橋梁時有更詳盡的資訊。

4. 橋梁設計文件下載

進入模組選擇橋梁後，系統會顯示查詢結果，選擇下載選項後，即可針對該橋梁設計文件進行下載，使用方式同一般網頁下載操作方式，設計文件可輔助維護管理單位在評估橋梁時有更詳盡的資訊。

6.4.4.4 耐洪安全評估模組

此模組主要提供橋梁管理單位，利用已上傳之橋梁設計參數，結合橋梁即時河川資訊(各橋墩水位、流速、沖刷深度)，推算即時與未來一小時後橋梁耐洪安全係數，作為橋防災預警之用途。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 6.14 與圖 6.15 所示。

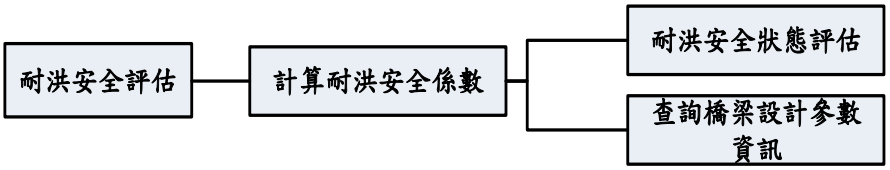


圖 6.14 耐洪安全評估模組功能架構

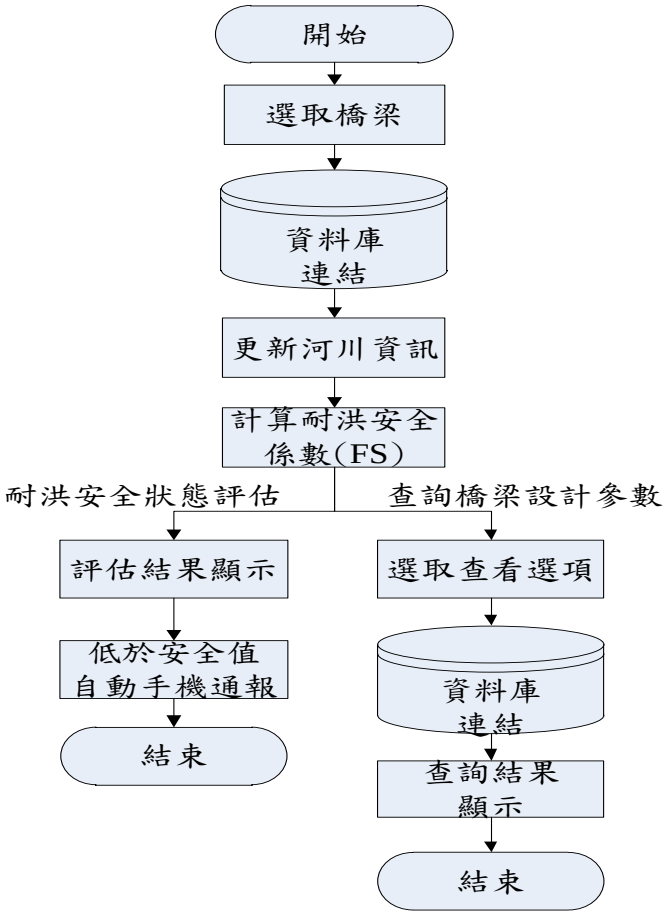


圖 6.15 耐洪安全評估模組操作流程

本耐洪安全評估模組僅針對跨河橋梁進行耐洪評估分析，進入此模組後可透過河川流域選擇橋梁，系統會先更新橋梁即時河川資訊(各橋墩水位、流速、沖刷深度)，結合橋梁設計參數，計算即時與未來一小時後橋梁耐洪安全係數，完成後可進行：

1. 耐洪安全狀態評估

當耐洪安全係數低於 3.0 時，系統將自動發送簡訊通知橋梁維護管理單位，本系統將以每小時持續計算的方式，對橋梁的耐洪安全狀態進行評估，以達到橋梁防災預警之目的。

2. 查詢橋梁設計參數

橋梁維護管理單位亦可透過系統網頁端，連結查看選項，檢視橋梁各橋墩設計參數資訊。

6.4.4.5 振動頻率評估模組

此模組主要提供橋梁管理單位於颱洪、地震過後，評估橋梁是否安全可通行，利用自動傳回之現地量測振動頻率資訊，即各橋梁之第一振態資訊，進行振動頻率臨界值評估(計算 R 值)，作為災後橋梁是否可供通行之決策參考依據。基於此模組所規劃之功能，以下將說明本模組之功能架構、操作流程，如圖 6.16 與圖 6.17 所示。

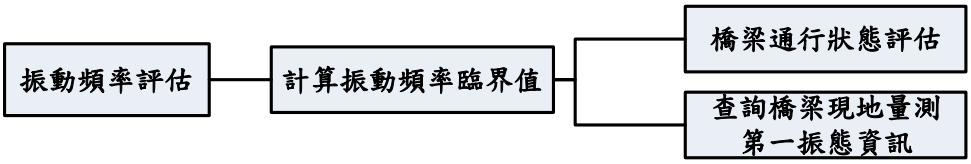


圖 6.16 振動頻率評估模組功能架構

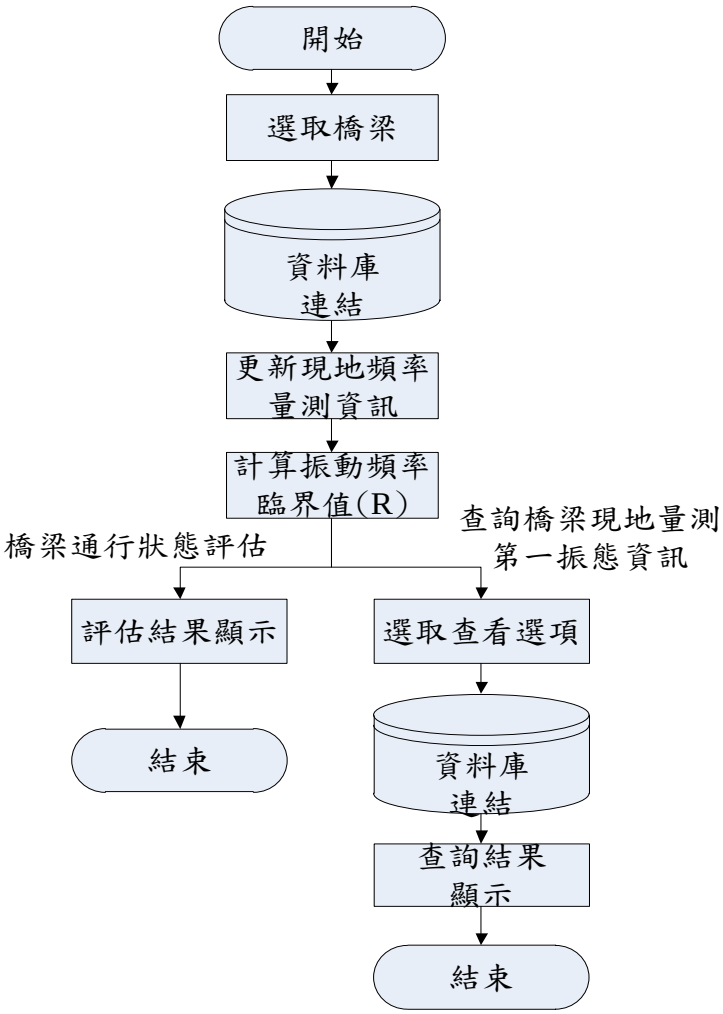


圖 6.17 振動頻率評估模組操作流程

本振動頻率評估模組針對災後階段對橋梁進行振動頻率評估分析，橋梁管理單位可透過系統網頁端操作，進入此模組後選擇橋梁，系統會先更新橋梁最新量測數據，然後比對災後頻率(最新量測數據)與平時檢測頻率，計算橋梁振動頻率臨界值(R 值)，完成後可進行：

1. 橋梁通行狀態評估

當X軸、Y軸、Z軸，其中一軸向振動頻率臨界值(R值)低於0.7時(根據文獻[31]，高流速所計算出R範圍值0.64~0.7，故取0.7為預設值，建議未來研究針對不同橋梁之R進一步探討)，系統將評估該橋梁為危險(建議封橋)，同時也建議橋梁維護管理單位儘快至現場巡視橋梁各部位是否有結構損壞。反之高於0.7時則評估該橋梁為安全(可通行)。

2. 查詢橋梁現地量測第一振態資訊

橋梁維護管理單位亦可透過系統網頁端，連結查看選項，檢視橋梁各橋墩歷史量測資訊，其中包括量測時間、各軸向第一振態數值(Hz)。

6.5 以中彰大橋為例進行耐震能力評估

以下選擇中彰大橋為範例進行評估。模式並可提供設計顧問公司將完成設計的橋梁結構模型與資料，上傳至資料庫中。

6.5.1 系統主畫面與功能選單

「橋梁設計與防災預警資訊整合系統」主要為五個模組，包含「上傳參數資料模組」、「修改刪除資料模組」、「查詢下載資料模組」、「耐洪安全評估模組」、「振動頻率評估模組」五個模組，本章節藉由操作畫面加以詳細說明。

操作示範於 Windows 視窗環境下，執行網頁瀏覽器，在網址列上輸入橋梁設計與防災預警資訊整合系統之網址，進入系統首頁如圖 6.18 所示，使用者可依模組選單進行模組功能選擇。

圖 6.18 系統首頁

系統畫面上方為各模組功能選項，功能選項連結由左至右，分別為「系統簡介」、「上傳參數資料模組」、「修改刪除資料模組」、「查詢下載資料模組」、「耐洪安全評估模組」、「振動頻率評估模組」為六個主要功能。「系統簡介」同時設為系統首頁的簡介，簡介內容可讓使用者對整個系統的應用流程能有一個初步的了解。

6.5.2 上傳參數資料模組

此模組主要提供設計顧問公司將完成設計的橋梁結構模型與資料，上傳至資料庫中。首先，以 SAP2000 軟體開啟橋梁結構模型，並確定結構設計無誤及使用單位為 Tonf 及 m 後，接著將檔案匯出，於 SAP2000 軟體工具列選擇 File/Export/SAP2000 MS Access Database.mdb File，跳出視窗後，勾選所有項目，按下確定，再選擇存檔路徑，即完成檔案匯出，匯出後檔案格式為(.mdb)，如圖 6.19 所示。

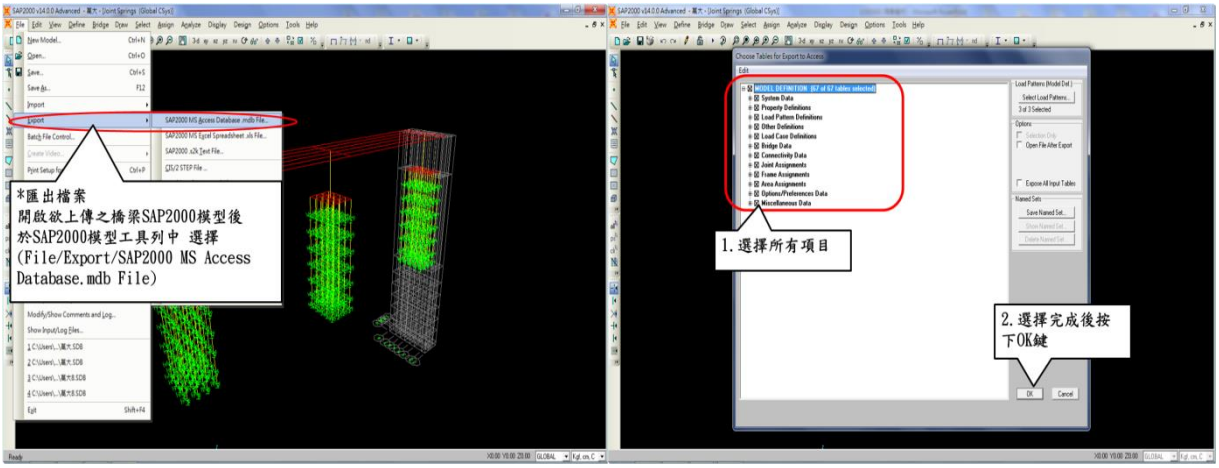
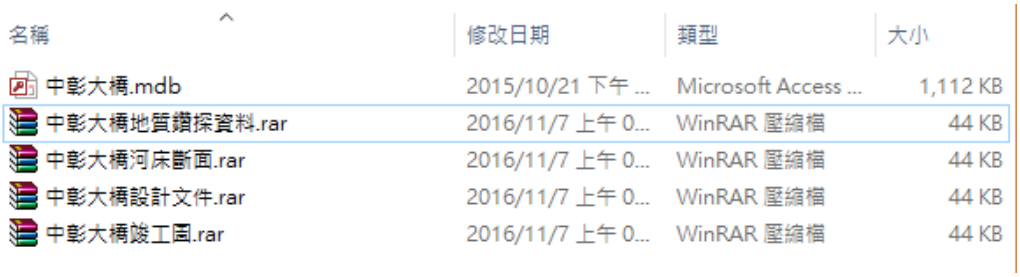


圖 6.19 橋梁模型匯出檔案

接著將橋梁竣工圖說、橋梁設計文件、地質鑽探資料製作成壓縮檔格式(.rar)如圖 6.20 所示，用以提供模組上傳檔案，壓縮檔製作完成，務必確認其存檔位置，避免上傳錯誤檔案或遺失。



名稱	修改日期	類型	大小
中彰大橋.mdb	2015/10/21 下午 ...	Microsoft Access ...	1,112 KB
中彰大橋地質鑽探資料.rar	2016/11/7 上午 0...	WinRAR 壓縮檔	44 KB
中彰大橋河床斷面.rar	2016/11/7 上午 0...	WinRAR 壓縮檔	44 KB
中彰大橋設計文件.rar	2016/11/7 上午 0...	WinRAR 壓縮檔	44 KB
中彰大橋竣工圖.rar	2016/11/7 上午 0...	WinRAR 壓縮檔	44 KB

圖 6.20 製作壓縮檔(.rar)

接著系統畫面上方選擇「上傳參數資料模組」，首先透過介面，利用下拉選單，選擇橋梁的所在縣市、鄉鎮，使系統鎖定資訊，接著輸入橋梁 Ay、Ac 值，然後操作瀏覽選項，逐項選擇上傳檔案：橋梁模型(.mdb)、橋梁竣工圖說(.rar)、橋梁設計文件(.rar)上傳，最後按下確認上傳按鈕完成資料上傳，如圖 6.21 所示。

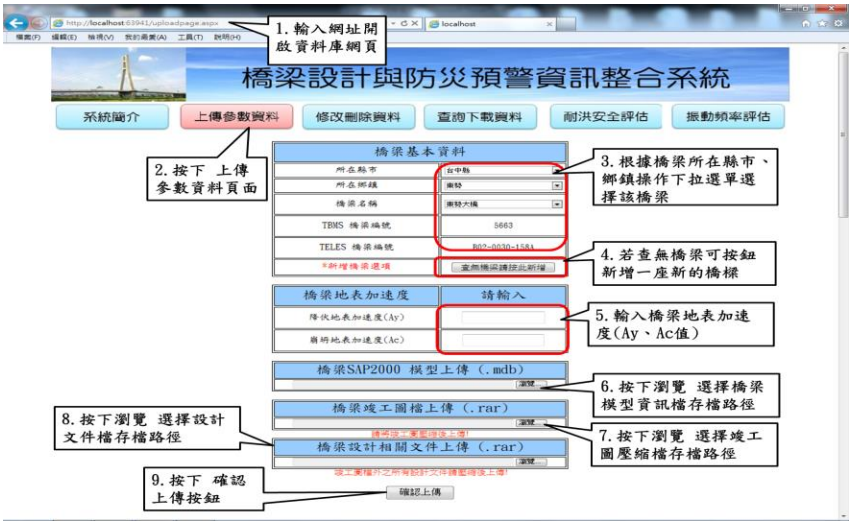


圖 6.21 上傳參數資料頁面

若系統中無該座橋梁，可透過「新增橋梁按鈕選項」跳出新視窗新增一座橋梁資料，接著依序輸入：橋梁名稱、工程處、工務段、所在鄉鎮、路線等級\支線代碼、路線代碼、里程數、基礎型式橋面版數、跨度、橋梁經緯度等資訊(如圖 6.22 所示)，按下輸入完成後，回到參數資料頁面，即可在橋梁基本資料中選擇新的橋梁。

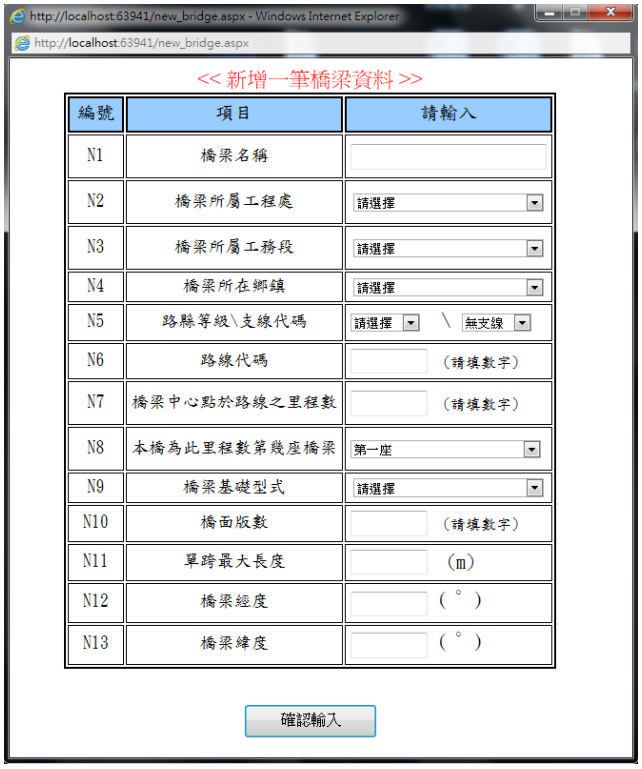


圖 6.22 新增橋梁視窗

完成橋梁模型、橋梁竣工圖說、橋梁設計文件上傳後，系統會依照不同的橋墩型式，自動跳出對應的資料表單，表單可分為樁基礎、沉箱基礎、直接基礎三種，然後從第一座橋墩開始輸入。輸入時，使用者只要依序操作下拉選單及輸入資料(如圖6.23所示)，而下拉選單選取後，系統會從橋梁模型檔擷取相關資訊帶入，減少使用者須輸入之欄位數量。

每座橋墩資料，在輸入完成，確認無誤後，按下確認上傳鍵，左下方會出現已輸入資料之橋墩，使用者亦可從該清單刪除資料。重覆此步驟輸入每一座橋墩資料，如此即完成橋梁參數資料上傳，如圖6.24所示。

圖 6.23 輸入設計參數資料畫面

圖 6.24 輸入完成畫面

6.5.3 修改刪除資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行修改與刪除。

在系統畫面上方選擇「修改刪除資料模組」，並按鈕選擇其中一種查詢橋梁方式，查詢方式可分為 A.以橋梁所在地區查詢、B.以橋梁名稱查詢、C.以 TBMS 編號查詢、D.以 TELES 編號查詢、E.按資料更新日期新舊查詢，如圖 6.25 所示。

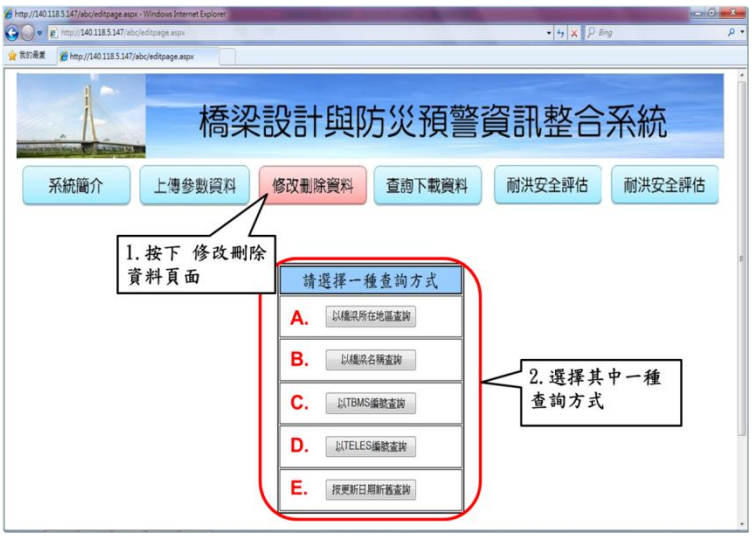


圖 6.25 修改刪除資料頁面

以下針對各種查詢方式詳細說明：

A.以橋梁所在地區查詢：透過操作下拉選單依序選擇橋梁所在縣市、鄉鎮及橋梁名稱，完成後按下查詢按鈕，如圖 6.26 所示。

B.以橋梁名稱查詢：輸入橋梁名稱後按下查詢按鈕，如圖 6.27。

C.以 TBMS 編號查詢：輸入橋梁 TBMS 編號後按下查詢按鈕，如圖 6.28 所示。

D.以 TELES 編號查詢：輸入橋梁 TELES 編號後按下查詢按鈕，如圖 6.29 所示。

E.按資料更新日期查詢：直接按下「按資料更新日期查詢」按鈕，系統將自動按照上傳資料之新舊順序排序，如圖 6.30 所示。

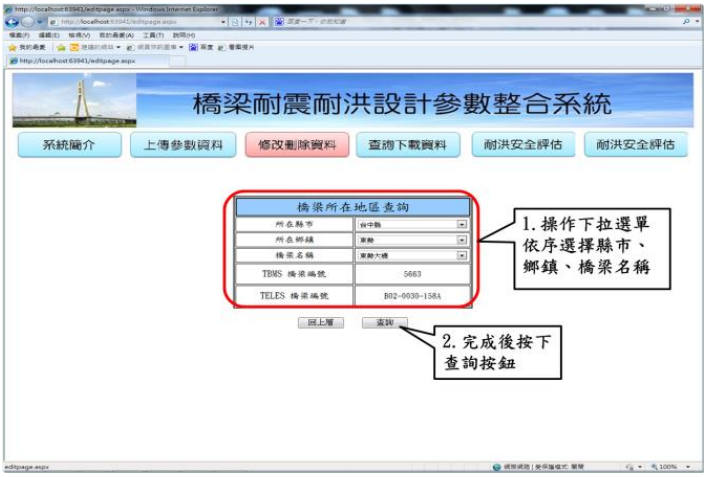


圖 6.26 橋梁所在地區查詢

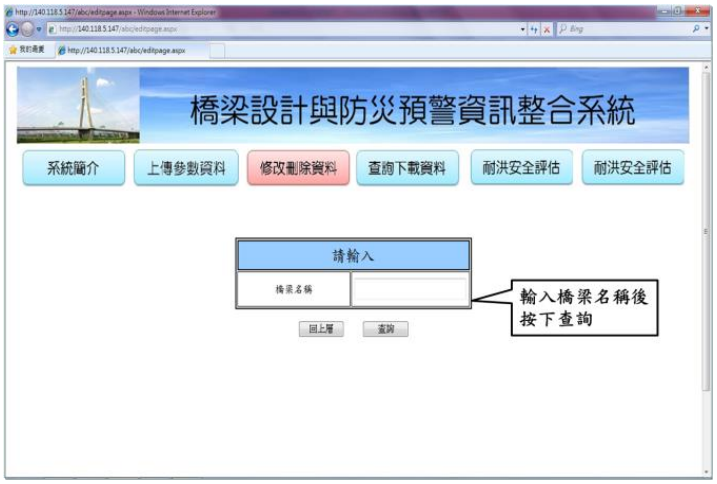


圖 6.27 橋梁名稱查詢

圖 6.28 以 TBMS 編號查詢

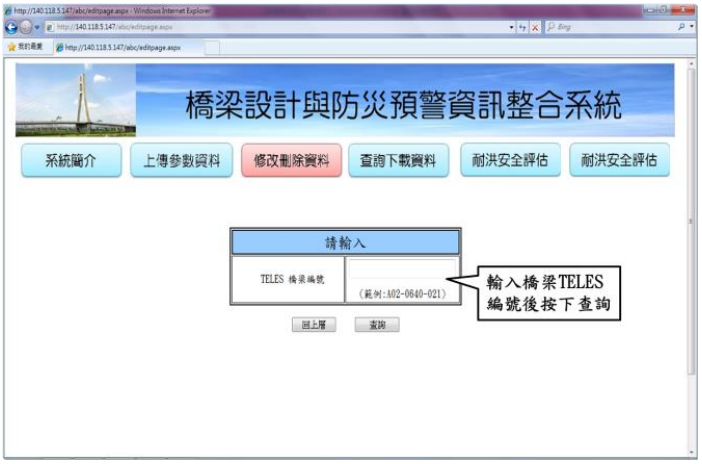


圖 6.29 以 TELES 編號查詢

橋梁名稱	TBMS 編號	TELES 編號	更新日期	修改設計參數頁面	修改Ay、Ac頁面
天福大橋	4143	B05-0210-000A	2014/03/26	選取	選取
台1線大甲溪橋	2312	B02-0010-154A	2014/03/26	選取	選取
台61線大甲溪橋	5672	B02-0610-143A	2014/03/26	選取	選取
后豐大橋		B02-0130-064C	2014/03/26	選取	選取

圖 6.30 按資料更新日期查詢

查詢成功後，表單顯示橋梁名稱、TBMS 編號、TELES 編號、更新日期等資訊如圖 6.31 所示，按下修改設計參數或修改 Ay、Ac 頁面連結後，跳出視窗，使用者可進行資料修改或刪除，如圖 6.32 所示。

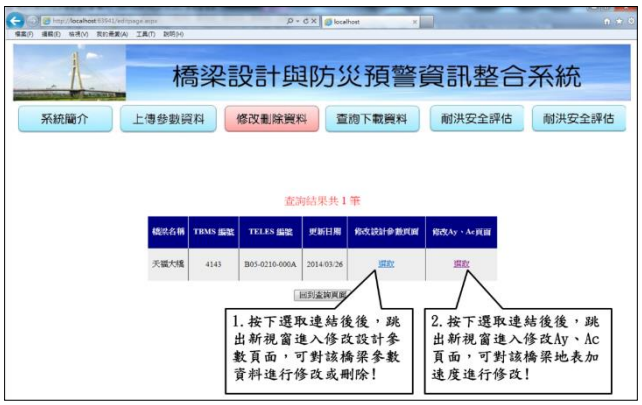


圖 6.31 修改刪除資料模組查詢成功畫面

圖 6.32 修改資料畫面

進入修改設計參數頁面後會顯示該橋梁各橋墩設計參數資料，系統會根據不同的橋梁基礎型式跳出不同的欄位表單，使用者按下表單左方編輯按鈕，即可對橋梁各橋墩設計參數進行修改編輯，修改完成後，按下更新按鈕即完成資料修改，若欲刪除資料則按下刪除按鈕，如圖6.33所示。

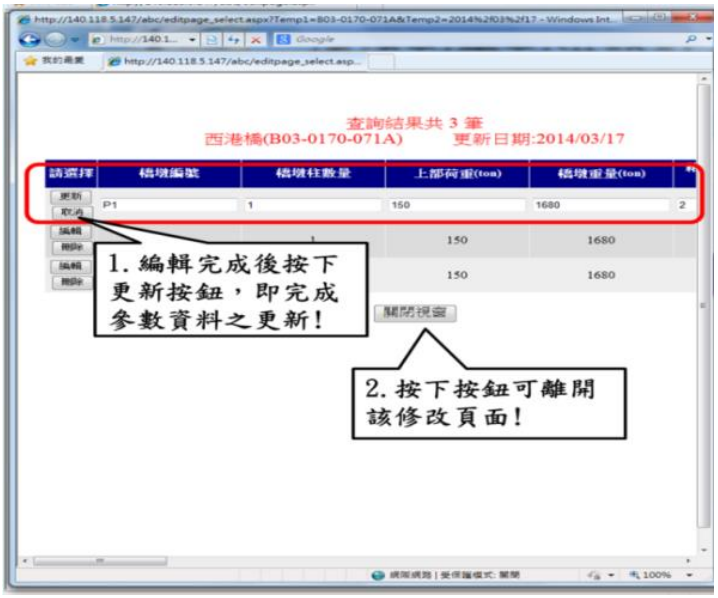


圖 6.33 修改橋梁設計參數完成畫面

進入修改Ay、Ac頁面後會顯示該橋梁地表加速度(Ay、Ac)資料，使用者按下表單左方編輯按鈕，即可對橋梁各橋墩設計參數進行修改編輯，修改完成後，按下更新按鈕即完成資料修改，如圖6.34所示。

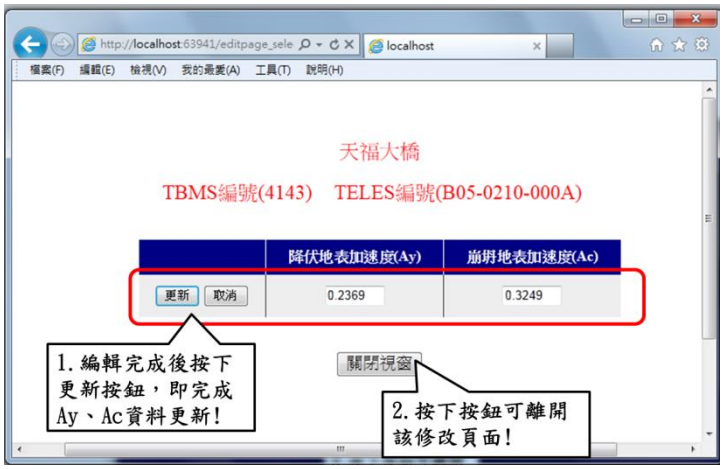


圖 6.34 修改橋梁 Ay、Ac 資料完成畫面

6.5.4 查詢下載資料模組

此模組主要提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行查詢與下載。

在系統畫面上方選擇「查詢下載資料模組」，並按鈕選擇其中一種查詢橋梁方式，查詢方式可分為 A.以橋梁所在地區查詢、B.以橋梁名

稱查詢、C.以 TBMS 編號查詢、D.以 TELES 編號查詢、E.按資料更新日期新舊查詢如圖 6.35 所示，查詢方式同 6.5.3 章節所述。

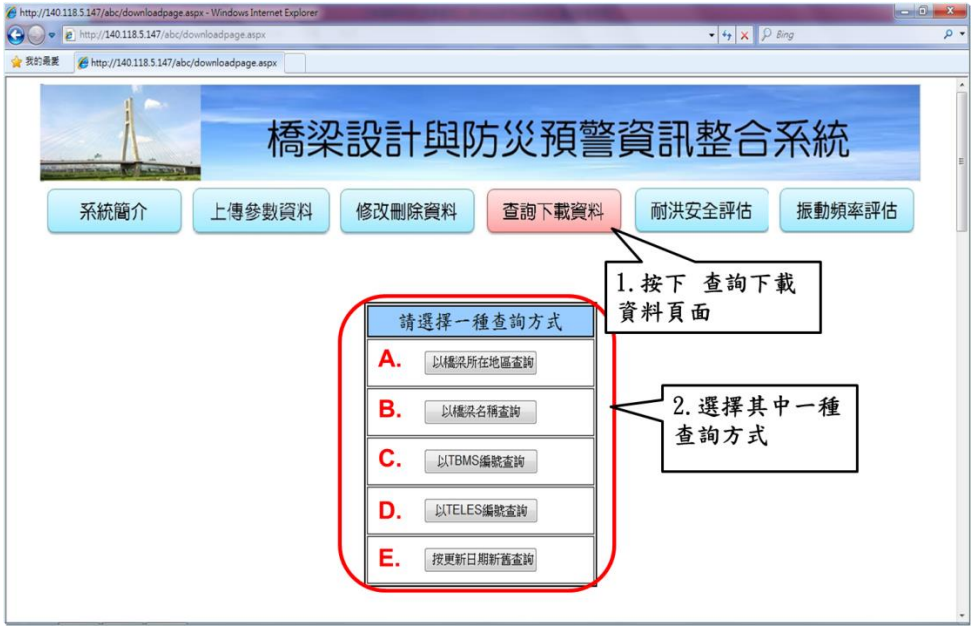


圖 6.35 查詢下載資料頁面

查詢成功後，表單顯示橋梁名稱、TBMS 編號、TELES 編號、更新日期、橋梁 SAP2000 下載連結、橋梁竣工圖下載連結、橋梁設計文件連結等資訊如圖 6.36 所示，使用者依需求操作下載連結，分別進行橋梁結構模型下載、橋梁竣工圖下載、橋梁設計文件下載，下載方式與一般網頁下載方式相同。

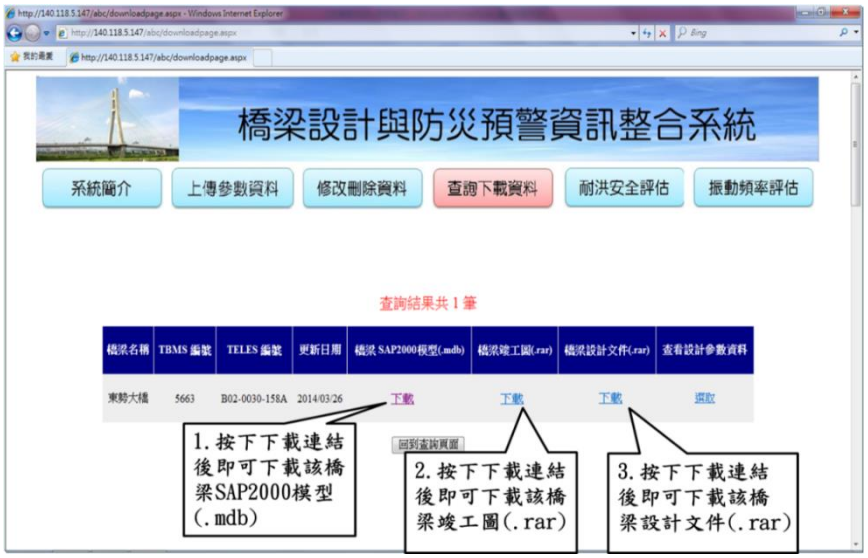


圖 6.36 查詢下載資料模組查詢成功畫面

使用者於查詢成功後，可按下表單最右方查看設計參數連結，系統會依照橋梁不同的基礎型式自動跳出對應的表單，表單中顯示該橋梁各橋墩設計參數資訊，故此模組可提供更豐富的橋梁資訊給橋梁管理單位，如圖 6.37 所示。

圖 6.37 查看設計參數畫面

另外，使用者於查詢成功後，可點選連結下載橋梁 SAP2000 模型，下載完成檔案為(.mdb)格式，接著開啟 SAP2000 軟體，在軟體工具列中選擇 File/Import/SAP2000 MS Access Database.mdb File，匯入橋梁結構模型，下載及匯入步驟如圖 6.38 及圖 6.39 所示。

圖 6.38 下載橋梁結構模型

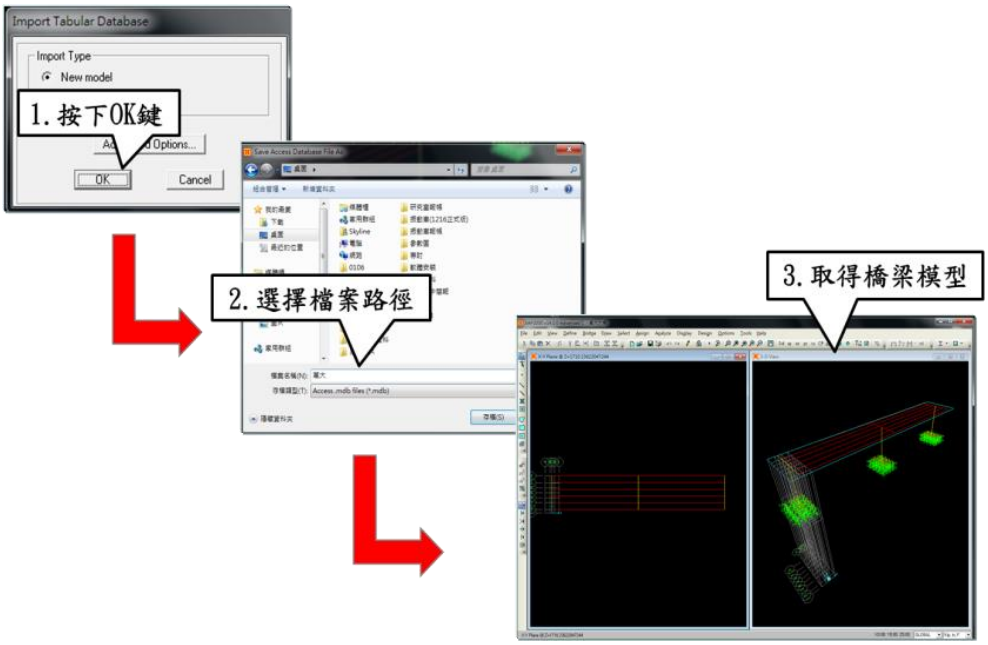


圖 6.39 匯入橋梁結構模型

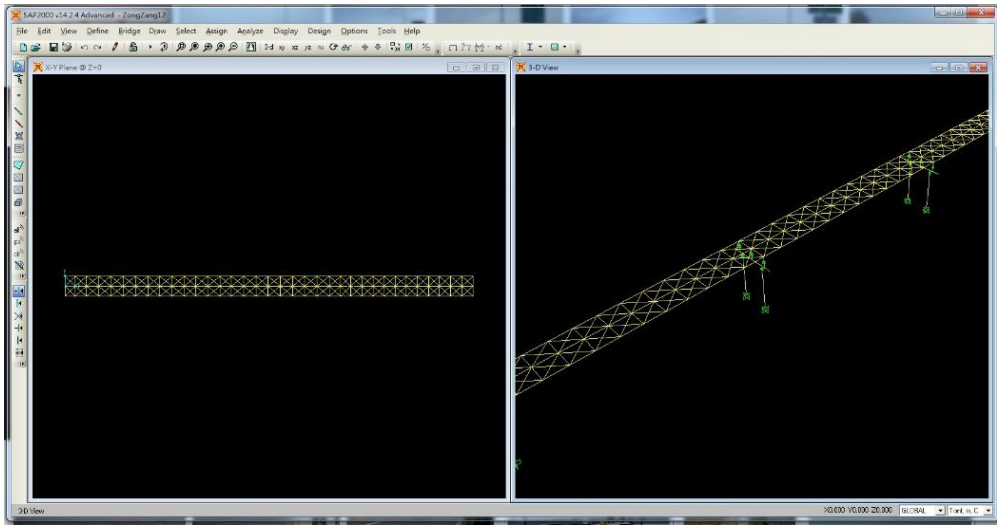


圖 6.40 匯入中彰大橋橋梁結構模型

如圖 6.40，中彰大橋之橋梁結構模型將於 SAP2000 中載入，橋梁設計單位可依據橋梁結構模型，設定塑鉸性質，接著執行側推分析，得出橋梁的容量曲線，再計算橋梁的容量震譜，最後找出對應的最大地表加速度(PGA)，得到橋梁的 Ay 與 Ac 值，最後回到本研究所建置「橋梁設計與防災預警資訊整合系統」中，重新修改橋梁地表加速度(Ay、Ac 值)，修改方式同 6.5.3 章節所述。

橋梁更新儲存的 Ay 與 Ac 值，將作為「臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)」的「橋梁地震破壞潛勢」功能，計算橋梁通行失敗機率的輸入值。當地震災害發生時，結合台灣各地地表加速度與橋梁 Ay、Ac 值，計算各橋梁通行失敗機率；當地震災害發生後，將通行失敗機率大於 50%橋梁列出，並建立異常狀況橋梁清單。接著，TRENDS 自動啟動指派機制通知公路總局值班人員進行巡檢，完成橋梁耐震能力評估。

6.6 以后豐大橋為例進行耐洪安全評估

此模組主要提供橋梁管理單位，對跨河橋梁耐洪能力進行評估，其主要原理為透過橋梁設計參數，結合橋梁即時的河川資訊(各橋墩水位高度、水流流速、橋墩沖刷深度)，整合以上資訊經過耐洪分析模式計算後(2.8章節)，即可得到該橋梁各橋墩耐洪安全係數(FS)，該係數能夠作為橋梁預警值之判斷標準，橋梁維護管理單位再透過預警值評斷該橋梁的安全狀態，進一步達到防災之目的。

本研究結合交通部運輸研究所(2013)「跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理」之研究成果，其中所開發之「跨河橋梁安全預警系統」持續推算河川流域即時與未來一小時各橋墩之水位、流速與沖刷深度[19]。本研究所開發之「橋梁設計與防災預警資訊整合系統」將擷取「跨河橋梁安全預警系統」所推算之即時與未來一小時各橋墩之水位、流速與沖刷深度，藉此本研究所開發系統即可推算即時與未來一小時之橋梁耐洪安全係數(FS)，以提供橋梁防災預警之用途，並提供橋梁維護管理單位相關資訊作為評估橋梁之決策依據。

在系統畫面上方選擇「耐洪安全評估模組」，透過下拉選單選擇河川流域，接著選擇橋梁如圖6.41所示，系統將先自動更新河川資訊(水位、流速與沖刷深度)，接著計算橋梁耐洪安全係數(FS)。.

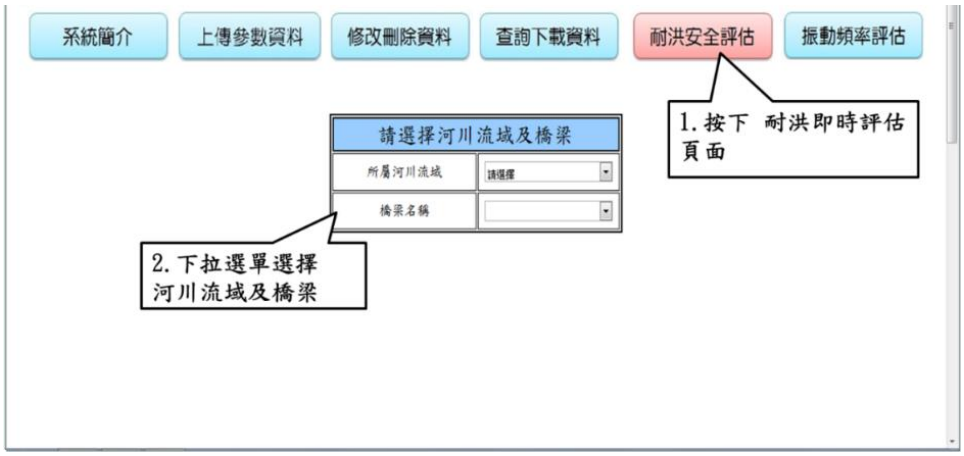


圖 6.41 耐洪安全評估頁面

以改建後之大甲溪后豐大橋為例計算完成後，將顯示橋梁名稱、河川資訊更新時間、橋墩編號、水位、流速、沖刷深度、耐洪安全係數(FS) 、耐洪安全狀態、查詢設計參數。系統自動計算即時與未來一小時後結果如圖 6.42。

圖 6.42 橋梁耐洪安全評估計算(即時與未來一小時後)

目前本系統之評估標準為FS：3.0以上為安全(綠燈)；2.0~3.0為注意(黃燈)；1.5~2.0為警戒(橘燈)；0~1.5為行動(紅燈) ，橋梁維護管理單位可以此作為決策參考依據。

完成計算後，使用者除了可檢視耐洪安全評估結果之外，亦可按下表單最右方查看設計參數按鈕連結，跳出視窗顯示耐洪安全評估所使用之橋梁設計參數資料與計算過程中各項數據，如圖6.43所示。

查詢結果共 1 筆

后豐大橋

TELES編號(B02-0130-064C)　更新日期:2014/03/26

橋墩編號	橋墩數量	上部荷重(ton)	橋墩重量(ton)	箱型梁與橋面板高(m)	橋墩跨徑(m)	橋墩柱高度(m)	橋墩柱寬度(m)	橋柱斷面積(m^2)	混凝土單位重(t/m^3)	不透風護欄高(m)	橋墩水流作用力常數	基樁數量	基樁慣性矩(m^4)	最外側基樁至樁帽外側距離(m)	樁帽長度(m)	樁帽寬度(m)	樁帽高度(m)	基樁直徑(m)	基樁長度(m)	樁帽水流作用力常數	基樁水流作用力常數
PB	3	4461.39	1976.74	3.98	80	20.76	3	11.27	2.4	0.43	0.7	16	6609.92	1.5	38	9	2.5	2	39.5	1.4	0.7

橋墩	樁帽重量(ton)	裸露基樁重量(ton)	橋墩浮力(ton)	樁帽浮力(ton)	裸露基樁浮力(ton)	風作用力(ton)	橋墩水流作用力(ton)	樁帽水流作用力(ton)	基樁水流作用力(ton)	單樁基樁極限承載力(ton)	單樁基樁容許承載力(ton)	單樁軸向載重(ton)	風彎矩作用力(ton)	橋墩水流彎矩作用力(ton)	樁帽水流彎矩作用力(ton)	基樁彎矩作用力	總彎矩作用力	彎矩產生之軸力(ton)	單樁全部軸力(ton)
PB	2052	301.59	0	307.8	125.66	137.59	0	0.02	0.12	4665.27	1555.09	522.39	3847.76	0	0.15	3847.98	0.07	32.01	554.4

關閉視窗

圖 6.43 耐洪安全評估頁面查詢橋梁設計參數

目前本系統已開發為每小時持續計算，並結合手機簡訊通報機制，其運作方式為對系統中各橋梁進行耐洪安全係數(FS)計算，計算結果包括即時與未來一小時兩種，若其中任何橋梁的計算結果低於3.0，即判斷該橋梁處於不安全狀態，系統將自動發送手機簡訊通報橋梁維護管理人員，藉此達到橋梁防災預警之目的，如圖6.44所示。

圖 6.44 手機簡訊自動通報

6.7 振動頻率評估模組

此模組主要提供橋梁管理單位，在颱風、洪水、地震過後對橋梁能力進行評估，判斷橋梁是否安全可通行，其主要原理為透過橋梁現地所量測的頻率資料經過傅立葉轉換所得之橋梁第一振態，若橋梁受到損傷則橋墩的振動頻率(第一振態)將隨之下降，所以如果能得到災前與災後所量測到的振動頻率(第一振態)，進一步計算其頻率比值R (2.9章節)，該比值能夠作為橋梁災後是否安全可通行之判斷標準，橋梁管理單位也能透過該比值作為決策之參考依據，進一步達到橋梁評估防災之用途。

本研究結合交通部運輸研究所(2013)「移動式橋梁振動檢測訊號分析與傳輸通報系統」之研究成果，其中所開發之「橋梁振動檢測訊號分析與傳輸通報系統」將持續量測橋梁振動頻率(第一振態)資料，並自動資料上傳至「臺灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention System，TRENDS)」[2]。本研究所開發之「橋梁設計與防災預警資訊整合系統」將自動擷取「臺灣公路早期防救災決策支援系統」各橋梁振動頻率(第一振態) 資料，進行橋梁振動頻率評估，並提供橋梁管理單位相關資訊，作為評估橋梁是否安全可通行之決策依據。

在系統畫面上方選擇「振動頻率評估模組」，並按鈕選擇其中一種查詢橋梁方式，查詢方式可分為A.以橋梁所在地區查詢、B.以橋梁名稱查詢、C.以TBMS編號查詢、D.以TELES編號查詢、E.按資料更新日期新舊查詢如圖6.45。

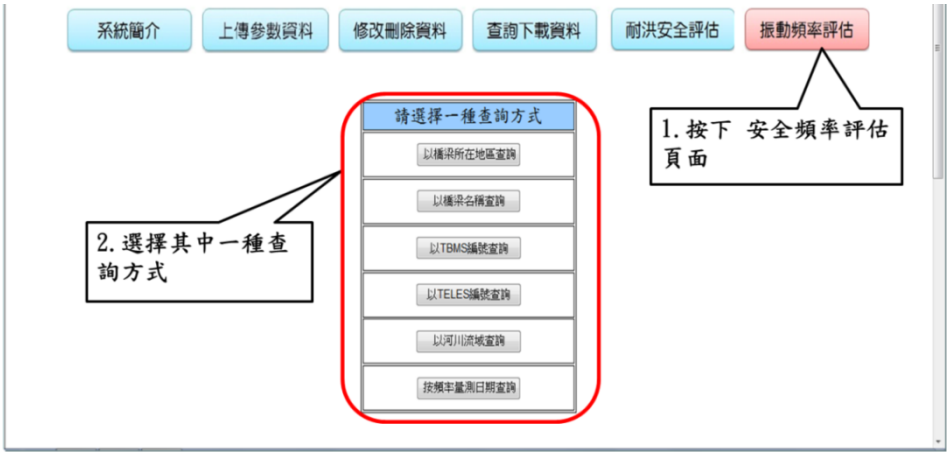


圖 6.45 振動頻率評估頁面

查詢成功後，表單將顯示橋梁名稱、TBMS 編號、TELES 編號、橋墩編號、最新資料量測時間、X 軸向 R 值(車行方向)、Y 軸向 R 值(垂直車行方向)、Z 軸向 R 值(垂直地表方向) 、頻率評估狀態、頻率資料量測筆數，如圖 6.46 所示。

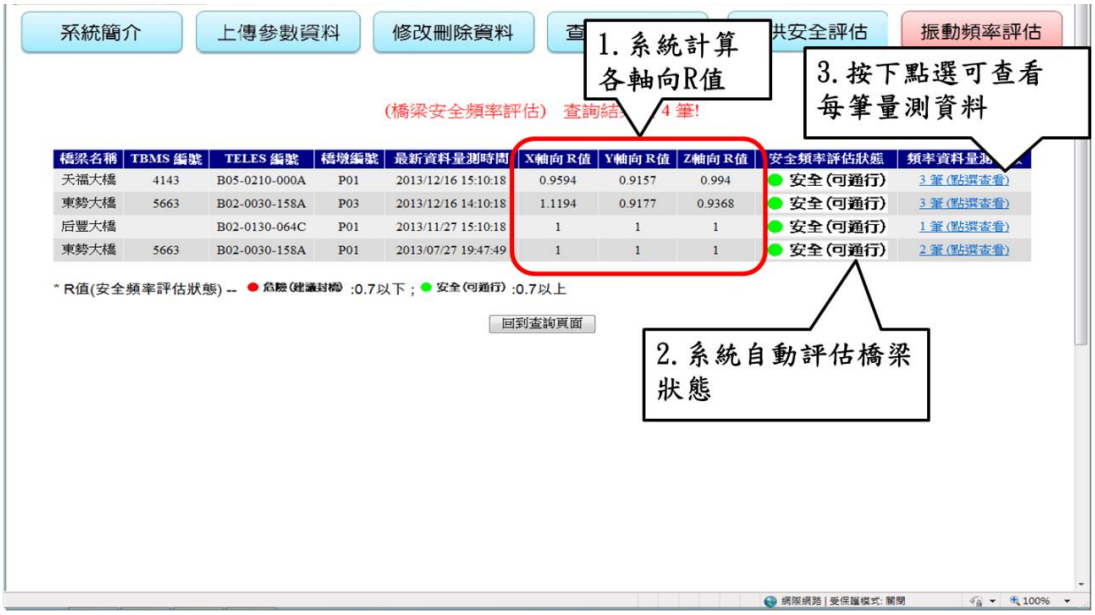


圖 6.46 振動頻率評估模組查詢成功畫面

目前本系統之評估標準為任何一軸向 R 值：0.7 以上為安全(可通行)；0.7 以下為危險(建議封橋)，橋梁管理單位可以此作為決策參考依據。另外，橋梁管理單位可下載橋梁 SAP2000 結構模型，進行橋梁側推分析計算出 Rc 值(2.9 章節)，當 R 值>Rc 值則為安全(可通行)；反之，Rc 值>R 值則為危險(建議封橋)。

使用者除了檢視振動頻率評估結果之外，亦可按下表單最右方連結，查看現地量測振動頻率，跳出視窗顯示橋梁各橋墩每一次現地振動頻率的量測資訊，表單會顯示橋梁名稱、資料量測時間、X 軸向第一振態(車行方向)、Y 軸向第一振態(垂直車行方向)、Z 軸向第一振態(垂直地表方向) 、備註，如圖 6.47 所示。

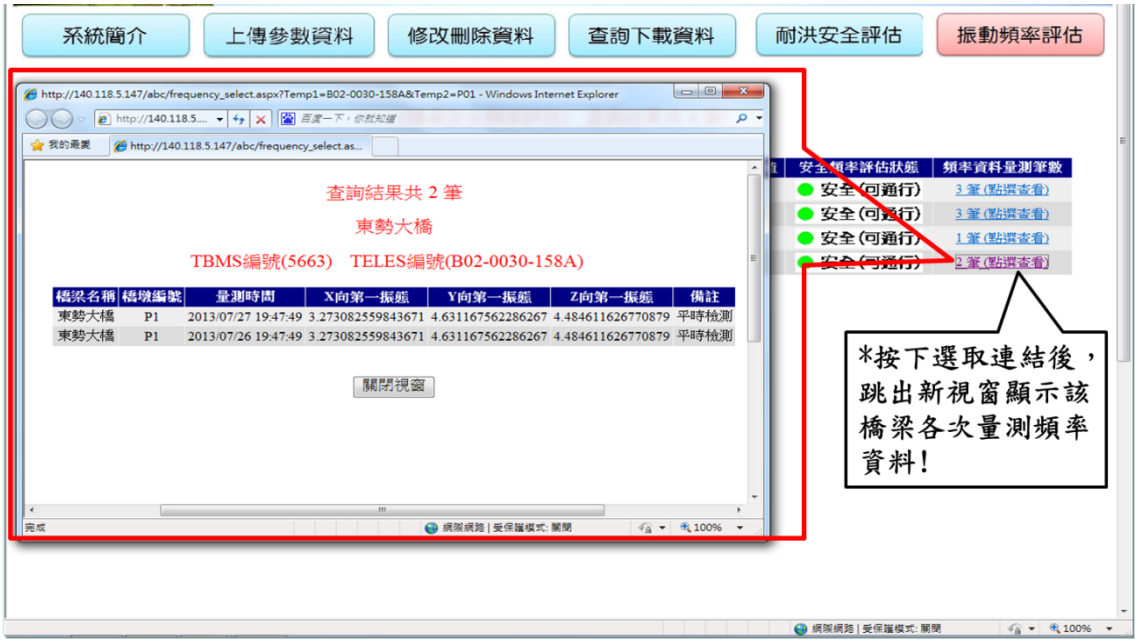


圖 6.47 查看現地量測頻率資料

第七章　結論與建議

本計畫為提升 TRENDS 系統運作穩定性與模組之精確性，整合相關計畫成果於同一操作介面下，降低人力操作與維護需求。並確認橋梁設計參數之編碼之標準，提供匯入及匯出之功能，提升資料交換之便利性，大幅減少人力與建置時間。所建置橋梁耐震與耐洪分析參數資料庫，可作為各橋梁管理單位維護管理或改建之依據。後續可推廣應用至各橋梁管理單位，有效保存橋梁耐震與耐洪分析參數，提升橋梁維護管理之層面，修正目前僅以目視檢測方式之缺失，更能應用橋梁設計參數建模以更精確之理論模式進行橋梁能力評估。

本計畫綜合上述做以下結論與建議:

7.1 結論

本年度延續前一年度成果，分別針對橋梁、道路邊坡等相關模組進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，並確認系統實用性及穩定性。以下為本研究成果效益之說明：

1.在地震方面:針對各橋梁所在地特性，修正既有橋梁地震損壞機率模式。在橋梁材料方面:更新飛來鹽與氯離子歷史記錄資料，提升橋梁材料劣化模式準確性。

2.在橋梁振動頻率方面:完成橋梁振動頻率分析模式之驗證，確認模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係。完成縮小型速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性評估。

3.在橋梁參數資料管理方面:將橋梁使用維護階段所需之設計參數欄位進行確認，並針對設計參數進行編碼，建置各參數之固定編碼作為後續資料庫欄位與資料交換之基礎。並建置橋梁耐震耐洪設計參數資料庫，以線上分散式資料庫方式保存各橋梁耐震及耐洪分析所需資料。橋梁管理單位可在橋梁設計階段有系統性完整保存橋梁結構模型及耐洪能力評估所需參數，並在未來需要重新評估橋梁耐震、耐洪能力

時，由系統自動匯出資料供分析計算模式使用。首度將橋梁設計參數與防災預警整合之應用，使用本研究所建置橋梁設計與防災預警資訊整合系統之輸出資訊分別進行: (1)橋梁耐震能力評估(2)橋梁耐洪安全評估(3)橋梁振動頻率評估。

4.目前 TRENDS 與公路總局已完成介接部分為:地震通報清單中已建置公路總局各工務段橋梁管理人員，於地震通行失敗機率超過 50%時將自動通報，而大甲溪跨河橋梁安全預警系統亦已介接至公路總局防災中心 GIS 系統中。而已功成身退的蘇花 115.9K 邊坡滑動預警機制之在運作階段供國防部與交通部公路總局使用。

7.2 建議

本研究於下提出未來研究方向與建議：

1.資料新增方面，本計畫所開發之系統希望後續能持續新增更多橋梁設計參數資料與模型，作為後續之橋梁各項評估應用。

2.將持續徵詢各方意見交流及完整規劃系統架構、功能與機制，使得系統使用操作上更能符合實務需求，以減少橋梁管理單位資訊之落差並確保其實用性。

3.目前針對公路設施中的橋梁與邊坡作為研究對象，未來可複製本模式應用於港灣、鐵路、隧道等公路設施。

4.所開發之系統，未來可提供台灣地區各橋梁管理單位運用，並使其資訊亦可相互流通運用，有助於橋梁安全評估及防災預警之用途。

7.3 預期效益與應用情形

在施政上，本研究成果可提供交通部、橋梁管理單位在有效管理橋梁設計參數資料作為後續維護與補強重新分析時之參考。在實務上，可在地震、洪水來臨時應用研究中所確立之分析模式篩選危險橋梁，並進行自動通報，降低用路人之風險。

參考文獻

1. 姚乃嘉、黃榮堯、葉啟章等，「第二代台灣地區橋梁管理資訊系統建置規劃」成果報告，交通部運輸研究所，2013。
2. 鄭明淵、吳育偉、張于漢等，「公路防救災決策支援系統建立之研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2010。
3. 鄭明淵、吳育偉、林三賢等，「跨河橋梁安全預警系統之建置更新驗證與維護管理」，交通部運輸研究所，2013。
4. 鄭明淵、邱永芳、謝明志等，「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」，交通部運輸研究所，2011。
5. 黃敏郎等，「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(4/4)」，交通部運輸研究所，2014。
6. CSI, “SAP2000：Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures”,Computers and Structures, Inc.,Berkely,California,(1996).
7. 李森栿，「SAP2000 結構實務設計(V8&V9) 」，科技圖書股份有限公司，2008。
8. 林呈等，「本省西部重要河川橋梁橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立」，交通部運輸研究所，1998。
9. 林呈，「跨河構造物防治沖刷之技術與策略研究—應用剛性或柔性攔砂堰作為橋基保護方法之評估探討」，1999。
10. 王仲宇、唐治平、蔣偉寧、莊秋明、林呈、周憲德等，「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」，交通部科技顧問室，1999。
11. 林呈等，「台灣河流之沖刷對橋梁基礎與道路邊坡之影響及因應對策研究」，交通部公路總局，2002。

12. 王仲宇等，「高、快速公路橋梁鄰近區域之自然災害度潛勢分析」，交通部公路總局，2004。

13. 林呈等，「跨河橋梁訂定封橋水位」，交通部公路總局，2004。

14. 林呈等，「河川橋梁之橋墩（台）沖刷保護工法之研究」，交通部公路總局，2005。

15. 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」，交通部公路總局，2004。

16. 鄭明淵、陳生金、呂守陞等，「交通工程防災預警系統建立之研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2005。

17. 鄭明淵、陳生金、呂守陞等，「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，2006。

18. 陳振川、蔡益超、張國鎮，「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等之研究」第二階段策略研擬報告，交通部公路總局，2005。

19. 財團法人臺灣營建研究院，「鐵路橋梁過河沖刷斷橋墩與基礎結構系統檢測技術之研究」，交通部高速鐵路局，2007。

20. 財團法人臺灣營建研究院，「台灣地區橋梁安全檢查、評估及監測執行程序之訂定－安全檢測報告書」，交通部公路總局，2008。

21. 張國鎮等，「高科技橋梁即時監測系統建置試辦計畫」，交通部臺灣區國道高速公路局，2011。

22. 財團法人臺灣營建研究院,「國道 3 號濁水溪橋沖刷監測之研究」，交通部台灣區國道高速公路局，2010。

23. 財團法人臺灣營建研究院，「國道 3 號濁水溪橋沖刷後續監測之研究」，交通部台灣區國道高速公路局，2011。

24. 陳正興、李維峰與梅興泰，「公路橋梁振動量測與分析」，第六屆公共工程非破壞檢測技術研討會，2009。

25. 鄭明淵、廖國偉、吳育偉等，「橋梁振動檢測車暨訊號分析系統建置」成果報告，東源科技工程有限公司，2013。

26. 張毓文，場址特性分析及最大加速度衰減模式校正。國立中央大學碩士論文，2002。

27. 詹皓凱，加速度地動潛勢預估。國立中央大學碩士論文，2008。

28. 簡文郁，考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析，國家地震工程研究中心報告，NCREE-01-036，台北，2001。

29. 簡文郁、張毓文、溫國樑、羅俊雄，台北盆地地盤效應分析，結構工程，第十七卷，第三期，2002。

30. 邱永芳，胡啟文，李良輝，道路邊坡滑動自動攝影監測系統之研究，交通部運輸研究所，2015。

31. 李金翰，橋墩振動頻率作為封橋基準之研究，國立臺灣科技大學，營建工程系碩士，2011。

附錄一

期中報告意見處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

合作研究單位：國立台灣科技大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、王華弘委員		
1. 本期研究係長期TRENDS 資料庫從開發、建置、維護及更新，至今達成擴充功能，納入更多元的資料來源及資料交換，以提供使用單位更穩定、便捷和精準的決策系統。整體系統架構完整，構想方向發展明確。在計畫主持人邱建國教授的領導下，更新地形量測資訊，氣象局雨量站資料更新及以石岡壩附近河川量測資料的驗證。至於地震推估也因近來地震震度的分布、衰減公式的更新，均依照最新文獻的參考做更新，研究團隊的努力和成果具體。	1. 感謝委員的肯定。	同意辦理
2. 對於地震衰減的修正，是否和國家地震中心互相交流，探討國震相關的調整方式做為參考?	2. 前一版本所使用之模組與國震中心完全相同，而現階段所更新之方法，亦與國震中心相關研究人員(簡文郁博士與張毓文小姐)進行密切討論。	同意辦理

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
3. 針對飛來鹽的沉積量，考慮離岸距離和風速，目標所提出的修正公式能夠包含氣候變遷造成的瞬間最大風速嗎?	3. 目前所提出之預測模型主要以長期監測下所得之氣象資料為主，無法將不預期之突發事件納入考量. 換言之，以風速而言，目前預測模型仍以平均風量為指標進行建構。	同意辦理
4. BIM 是未來基礎建設的未來發展方向，系統在此方向的包容性為何?	4. 橋梁能力分析目前市面上仍以 SAP2000 為主，因此系統之匯入功能仍以此軟體為主要考量，而 BIM 模型可以檔案保存為方向，未來可提供檔案上傳之功能。	同意辦理
二、張文忠委員：		
1. P.2-23 基樁與沉箱為不同基礎型式，分析公式不宜混用，建議加以釐清。	1. 感謝委員建議，文獻回顧中分為沉箱承載分析模式建立與樁基礎耐洪分析模式兩種，對應所需參數亦分為表 2-3 沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數與表 2-4 樁基礎耐洪安全評估分析模式所需參數，如有文字敘述混淆之處將於期末報告補充說明。	同意辦理
2. 速度計與加速度計量測物理量不同，比較時應加以統一。	2. 後續期末報中內容在比較兩者數據時將以相同的單位進行。	同意辦理
3. 建議加入 P-alert 系統震度分佈比較，並於 0206 地震以修正之氣象局震	3. 目前正積極了解 P-Alert 系統，以了解其運作方式並評估其是否可用於比較. 本團隊會	同意辦理

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
度圖比較。	依委員建議，使用氣象局修正後之強震站資料進行比較。	
4. 速度計量測比較，於實驗室中建議以不同頻率振動加以比較，或顯示其反應頻譜。	4. 將依照委員意見進行後續試驗。	同意辦理
5. MEMS加速度計應用於微震量測有其先天限制，可考慮以工業級感應單元加上微處理器。	5. 已初步進行工業型感應器的調查，將於期末報告中判斷其可行性。	同意辦理
三、劉俊秀委員		
1. 地震的 Attenuation formula 可與所有資料計算標準偏差(Standard Deviation)。	1. 如同委員建議，地震衰減公式建立時已進行標準差統計。	同意辦理
2. 劣化公式也做相同的工作，亦是計算標準偏差。	2. 如同委員建議，氯鹽沉積公式建立時已進行標準差統計。	同意辦理
四、劉白梅委員		
1. 地震危害度曲線建置理論基礎合理性。	1. 本團隊於此一相關研究中並未發展新的地震危害度曲線建置理論及衰減公式等，主要依據文獻 26-29 建議之方法進行。	同意辦理
2. D 值修正的學理根據?場址效應為何不能反映?	2. 有關 D 值修正方法，其於文獻 26 中有詳細之說明，主要為反應地震	同意辦理

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
	震源特性所設，而非場址效應修正相關(C 值修正方法)。	
3. 比較 0206EQK 時，建議將所假定參數明列(如震源模式、斷層形式、方向及傾角等)。	3. 有關 0206 地震之地震模擬比較，其地震震源所需參數主要依中央氣象局公告資料為主，亦將於期末報告中載明。	同意辦理
4. 計畫案的應用端應更明確的說明。	4. 感謝委員建議，此一部份已於報告書中第一章說明,本年度相關成果之主要貢獻亦會於期末報告中詳說明。	同意辦理
5. 系統驗證如能加入橋梁的比對會更有說服力(無橋梁資料，進行系統推估，再現勘或資料比對)。	5. 感謝委員建議，當實際地震事件發生時(如 0206 台南地震)，本團隊隨即採用最新實測資訊以進行系統驗證工作，除了解系統預測結果之精準度外，會依模擬結果提出修正，以精進系統功能。	同意辦理
五、公路總局(簡瑜玫) 1. 以本局防災中心之實務操作方法，係在地震後套疊氣象局等震圖及公路、橋梁圖層，搭配 CCTV 進行決策，倘若用此系統經過運算再應用，是否保有時效性?	1. 感謝委員建議，當實際地震事件發生時(如 0206 台南地震)，本團隊隨即採用最新實測資訊以進行系統驗證工作，除了解系統預測結果之精準度外，會依模擬結果提出修正，以精進系統功能。	同意辦理

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
2. 各橋梁之設計及橋齡等均不同，例如老舊橋梁耐震度可能遠小於新建橋梁，各橋梁資料是否輸入系統一併運算?其實橋梁細設資料取得是有其困難性，請考慮此項因素。	2. 本研究已考量橋梁建年代，設計加速度等因素，進行橋梁耐震能力推論，因此可考量老舊橋梁之狀態。此外亦因為過往橋梁之細設資料保存不完善，大部分舊橋梁資料缺失率高，因此本研究以系統化方式讓橋梁管理單位更能妥善保存相關細設。	同意辦理
3. 易致災路段監測預警管制系統是否已完成?能否介接公路防災中心試用?	3. 此系統為整合港研原有計畫成果，在此計畫中仍有雨量門檻值較低且敏感與基本資料更新問題，須待豪雨事件驗證修正後，才適宜介接至防災中心。	同意辦理
六、公路總局 (范佑誠) 1. 地震危害度曲線學說眾多，本報告未提出學理依據及實務驗證結果，以輔證本報告所提地震危害度曲線之合理性及可靠性，請補充。	1. 本團隊於此一相關研究中並未發展新的地震危害度曲線建置理論及衰減公式等，主要依據文獻 26-29 建議之方法進行。	同意辦理
2. 國震中心及其他學術單位亦發展相似系統，請補充本系統與其他單位之系統差異及優勢所在，以利未來工程單位做為參考。	2. 感謝委員建議，期末報告中將於文獻回顧章節補充相關橋梁管理系統之文獻並列表比較。	同意辦理
七、本所陳天賜副所長：		

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
1. 橋梁管理單位有沒有實際上運用 TRENDS 系統?	1. 目前地震通報清單中已建置公路總局各工務段橋梁管理人員，於地震通行失敗機率超過 50%時將自動通報，而大甲溪跨河橋梁安全預警系統亦已介接至公路總局防災中心 GIS 系統中。而已功成身退的蘇花 115.9K 邊坡滑動預警機制之使用單位為國防部與交通部公路總局。	同意辦理
2. 文獻回顧只提到 TRENDS，其他如 TELES、公路總局系統、TBMS 及 P-alert 等其他系統均未提及，請增加文獻回顧完整性，可列表說明其特色、推估模式以進行比較。	2. 感謝委員建議，期末報告中將補充相關橋梁管理系統之文獻並列表比較。	同意辦理
3. 請歸納提出本系統特色、優勢及適用範圍。	3. 感謝委員建議，期末報告中將補充本系統之特色等資訊。	同意辦理
4. 請加強本系統後續推廣及使用，達到使用端回饋。	4. 承續第一題之回覆，後續將與公路總局與運研所密切配合與進行推廣，並已於 10 月 20 號至公路總局應變中心進行訪談。	同意辦理
5. 請加強系統與公路總局系統平台之交流，如對方平台資訊輸入本系統或由本系統輸出成果至	5. 如同前題之回覆，目前地震通報清單中已建置公路總局各工務段橋梁管理人員，於地震通行	同意辦理

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
公路總局系統平台。	失敗機率超過 50%時將自動通報，而大甲溪跨河橋梁安全預警系統亦已介接至公路總局防災中心 GIS 系統中。後續將持續推廣成果至應用單位。	
八、本所港研中心第一科謝明志科長		
1. 今年所提劣化模式的飛來鹽公式,有取用 Cstart 值，故 d 值(離海岸線距離)是否應改用「與 Cstart 測站之距離」較合適。	1. 感謝委員建議。	同意辦理
2. 橋梁震後快速通報，推估災況所採用的 PGA 值，建議採用氣象局等實測資料，內插到橋梁位置，應較符合現況。	2. 感謝委員建議. 本團隊會針對此一方法進行可行性評估，目前已完成介接交通部運輸研究所即時站地震網格資料。	同意辦理
3. 參數資料庫 ER Model 內，表單上有一主鍵為 TELESID，是否本系統有連結到 TELES 系統的表單?請說明。	3. 為配合橋梁耐震能力評估，橋梁基本資料亦連結 TELES 檢測結果,加入 TELES 相關耐震能力因子推論橋梁耐震能力。	同意辦理
九、本所港研中心第一科賴瑞應研究員		
1. 報告 1-1 頁提到評估縮小型速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性，但後續報	1. 感謝委員之糾正，本研究所採用為加速度計，期中報告將修正相關字眼。	同意辦理

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
告論述的好像是加速度計，請確認。		
2. 第 2-3 頁倒數第 2 行提到右邊表格，但圖 2.2 顯示是左邊表格，是否有誤請確認。	2. 感謝委員校正，更正為圖中左邊表格。	同意辦理
3. 第 5-6 頁表 5-2 顯示本計畫分析之 6 條省公路之封閉行動值與公路總局行動值之比較，似乎還是有明顯之差異，此部份研究單位對未來公路總局在防災決策使用上有何建議。	3. 本研究整合「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(4/4)」之成果中採用風險評估方式評估各邊坡路段之損壞機率，因此對於部分路段(如地質狀況較差等因素) 以最悲觀方式評估得到較低之行動值標準。建議公路總局後續應用該研究之成果於邊坡維護整治選擇與排序上較為適宜，而是否封閉邊坡因以目前公路總局現行標準為主，避免有兩套封路標準之問題。	同意辦理
4. 第 5-18 頁及 5-20 頁之公式 5.3 及 5.5 建議增加各符號之示意圖，以利瞭解各符號之物理意義及未來公式之使用。	4. 將於期末報告中提供各符號之示意圖以增加閱讀性。	同意辦理
5. 第 6-2 頁表 6-1 耐洪安全評估所需參數，相關參數感覺上似乎不會隨	5. 表 6-1 中所條列參數為設計階段可儲存之相關變數，而即時評估所需	同意辦理

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
時間改變，但影響橋墩耐洪之主要因素包括各墩基礎因河道變遷所造成的局部沖刷深度，此部分很難掌握及預測，也未見於評估參數內，請考量是否需增加此參數。	之沖刷深度、水位、流速等資料在圖 6.42 中將作為輸入變數，參考委員之建議，將彙整兩處變數於同一表格內。	
6. 本研究考量橋梁生命週期可能遭遇之地震、洪水及材料劣化安全問題，範圍涵蓋很廣也極具挑戰性，研究團隊的努力與成果值得肯定，但後續系統還有很多部分應再加強精進，包括地震後各橋梁所在區域之 PGA 預測準確度，颱洪期間之流量水位沖刷深度之預測，橋梁振動頻率之檢測技術等，讓本系統的可靠度能達到一定的水準，才能落實推廣到相關單位提供防災決策之應用。	6. 如同陳天賜副所長之建議，本研究將持續與公路總局與運研所密切配合驗證與進行推廣。	同意辦理
十、本所港研中心第一科林雅雯研究員 1. 報告 4-69 頁未來將以即時站之實測資料直接修正衰減公式，如何修正建議加以說明。	1. 此一部份目前仍於研究階段，其方法與成果會於期末報告中敘述。	同意辦理

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
2. 報告 4-83 頁以蘇澳橋梁為例計算時間與鋼筋表面氯離子量，請提出全臺之參數值、計算結果及如何應用此值及驗證。	2. 報告 4-83 頁僅為一示範例，相關成果已於文獻 4 中說明. 相關驗證部份，已現有資訊而言尚有不足之處，無法直接進行比對。	同意辦理
3. 報告 5-6 頁與公路總局行動值相比較本計畫之小時雨量較低，如果有新資料數據，如何增加並應用以符合實際情形，建議說明。	3. 將於期末報告中參考「山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(4/4)」之說明，補充新案例加入後如何重新分析之步驟。	同意辦理
4. 報告 5-20 頁以南雲大橋進行模擬，與現地比較並校對土壤參數，請詳細敘述計算過程及校對的結果。	4. 此部分正在進行中，將於期末報告中說明。	同意辦理
5. 報告 5-27 頁微型加速度計雜訊之去除及現地之檢測結果、工業級的振動量測儀器等，請提出解決方案並加強敘述。	5. 目前以所開發的 MMA8451Q 進行量測時，並未能得到有效的頻譜，可行的方案可有(1)提升目前所使用之微型加速度計的靈敏度(或有效去除雜訊)；(2)探討工業級感應器的可行性，相關結果將於期末報告中說明。	同意辦理

附錄二

期末報告意見處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

合作研究單位：國立台灣科技大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
一、公路總局材試所何鴻文委員 1. 本案之移動式量測方式6種，建議採用方式4或5的方式，與「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究」不同，請說明原因。	1. 兩篇文獻所介紹之研究為不同階段之成果，將在期末報告修正檔中統一編號方式。	同意辦理
2. 5.4.1 節說明常用微加速度計有壓電式、壓阻式、電容式及熱對流式等，請對壓阻式及熱對流式亦作一說明比較。	2. 補充說明如下 電容式加速度計： 利用矽材料特質所設計出的可移動式結構，它的機械結構包括可移動的質塊與相對的固定端，分別作為電容的兩極。當外界因加速度而使得可移動端與固定端發生相對移位時，兩極間的電容量即會產生變化，透過特殊電路可將此變化量轉換成相對應的輸出訊號。由於利用電容效應，因此電容式加速度計有很高的靈敏度及量測範圍；其動態回應時間短，適合高頻的加速度應用；此外也可以在高溫、高壓、強輻射及強大磁場等惡劣環	同意辦理

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
	境中工作，適用範圍極廣。 壓電式加速度計： 壓電式加速度計屬於慣性式感測器。壓電式加速度計的原理是利用壓電陶瓷或石英晶體的壓電效應，在加速度計受振時，質量塊加在壓電元件上的力也隨之變化。當被測振動頻率遠低於加速度計的固有頻率時，則力的變化與被測加速度成正比。 壓阻式加速度計： 使用壓阻效應來感測位移的變化，使得設計出壓阻式加速度計。由於壓阻式結構簡單、外型小巧，而且能提供極佳的性能表現，特別適合用來測量低頻加速度應用。但是壓阻式感測器的電阻值容易隨溫度變化而產生零位漂移及靈敏度漂移，因而會產生溫度誤差，須進行補償。 熱對流式加速度計： 採熱傳導原理，以可移動的熱對流氣團作為慣性質量。因此在其結構中，會有一個空腔，此空腔中會形成一個懸浮的熱氣團質塊，在	

<table>
<tr><th>參與審查人員及其所提之意見</th><th>合作研究單位處理情形</th><th>本所計畫承辦單位審查意見</th></tr>
<tr><td></td><td>空腔底部的中央放置一個熱源，並在熱源的四周以等距離且對稱的方式放置由鋁和多晶矽組成的熱電耦。由於自由對流熱場的傳遞性，任何方向的加速度都會擾亂熱場，並導致四周的熱電耦組的輸出電壓出現差異，發生零位飄移及靈敏度飄移，此輸出電壓的變化與所感應的加速度成等比例變化。</td><td></td></tr>
<tr><td>3. 5.4.2 節之微處理器請對 Raspberry Pi 作一說明。</td><td>3. 樹梅派配備一枚 Broadcom公司所出產的 ARM架構(進階精簡指令集機器 Advanced RSIC Machine)，處理器規格如下。
<table><tr><th></th><th>A 型</th><th>A+型</th><th>B 型</th><th>B+型</th></tr><tr><td rowspan="5">CPU</td><td colspan="4">ARM1176JZF-S 核心（ARM11 系列）700MHz（單核心）</td></tr><tr><td colspan="4">B 型(第二代)</td></tr><tr><td colspan="4">ARM Cortex-A7(ARMv7 系列) 900MHz（四核心）</td></tr><tr><td colspan="4">B 型(第三代)</td></tr><tr><td colspan="4">ARM Cortex-A53 64 位元（ARMv8 系列）1.2GHz（四核心）</td></tr></table></td><td>同意辦理</td></tr>
<tr><td>4. 5.4.4 節敘及微型加速度計之結果仍有改善空間，後續作法為何?</td><td>4. 後續改善時可採的方法如使用放大器，與嘗試其他的頻譜分析方法等。</td><td>同意辦理</td></tr>
<tr><td>5. 耐洪分析使用之后豐大橋請說明係改建前或改建後，以利分析印證。</td><td>5. 所採用之結構書為改建後之圖說，因此其分析結果之耐洪能力佳。</td><td>同意辦理</td></tr>
</table>

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. 颱風名稱係循環使用，故報告內敘及颱風請說明發生年代，以利閱讀。	6. 感謝委員建議，將加入年度以利說明。	同意辦理
7. 跨河橋梁颱風通報之水位係以梁底為依據，且依橋基裸露程度而異。	7. 感謝委員建議將修正其說明與定義。改為警戒水位：距梁底淨空 1.5 公尺（最小值）。封橋水位：距梁底淨空 1.0 公尺（最小值）。	同意辦理
二、臺灣大學土木系陳正興委員(退休)： 1. 本研究新採用之地震模擬器以用 0206 地震作分析，建議將其分析結果與採用以往衰減律分析結果作比較，以說明新採用地震模擬器之適用性。	1. 0206 地震分析僅進行地震模擬器之準確性，經多次驗證並提出適當之修正模式；但系統中現存之地震模擬器仍以去年更新版為主，並已於去年進行不同地震比較。。	同意辦理
2. 本研究之 TRENDS 是否已包含以往道路邊坡預警系統，應予說明。	2. 如系統介紹章節所示，由港研中心所委託開發之邊坡系統已納入 TRENDS 中。	同意辦理
3. 報告 7.3 節中所述「可在地震、洪水來臨時即時篩選危險橋梁，並進行自動通報」，建議補充說明，使更明確。	3. 感謝委員建議，修正為”可在地震、洪水來臨時應用研究中所確立之分析模式篩選危險橋梁，並進行自動通報，降低用路人之風險。”	同意辦理

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
三、臺北科大土木系施邦築委員 1. 地震災害潛勢是否考慮土壤液化?	1. 本研究並未考慮土壤液化。	同意辦理
2. 颱洪跨河橋梁安全預警之通報依據，採用即時水位、流速、橋基沖刷深度等資料，但這些資料在颱洪事作中是否均可即時取得? 警戒值、行動值如何設定，是否驗證過?	2. 此功能係整合研究團隊過去研究「跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理」之成果，此系統會自動接收河系上游集水區中央氣象局雷達雨量觀測預報，在與地面雨量觀測進行修正後，推算河川流域即時與未來一小時之降雨強度，再結合集水區演算、地表漫地流演算、河道一維水理演算、水庫演算，推估河道之流量、水位、流速與沖刷深度；然後考量橋梁材料結構特性，進行橋梁穩定性分析，計算橋梁之耐洪安全係數，作為即時及未來一小時之橋梁預警，在過去研究以經過驗證。	同意辦理
3. 以 0206 地震事件修正衰減率公式，是否與國震中心一致?	3. 衰減公式採用與國震相同之模式，且相關係數已用 2012 年之前的地震進行校驗。	同意辦理
四、中興工程顧問社張權委員 1. 台灣地震洪水多，防救災管理與決策支援資	1. 感謝委員認同。	同意辦理

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
訊系統之持續維護、精進、整合非常重要，本研究對 TRENDS 系統逐年維護擴充功能有其必要性與實用性。		
2. 台灣橋梁耐震性能設計規範草案已通過初審，未來耐震性能設計勢在必行，本研究對於橋梁耐震評估分析，後續應多參考以性能設計為基礎的公路總局現行評估手冊及最新的橋梁耐震性能設計草案。	2. 以性能設計做為橋梁耐震評估為目前的趨勢之一，因本研究為一持續性計畫，分析模型需具有一致性，目前雖暫無此規劃，但此本研究團隊將考量其可行性。。	同意辦理
3. 本研究之耐震能力評估，建議納入 DERU 巡檢資料或其他有關耐震能力之目視檢測結果作為輔助，以修正分析模型與評估參數更貼近橋梁實際狀況。(只有新建資料+劣化模式並不足夠做現況耐震能力評估)。	3. 感謝委員建議，將與委託單位討論是否可納入後續研究方向。	同意辦理
五、本所港研中心第一科謝明志科長 1. 報告 P.4-73 圖 4.79 內，堅硬地盤的加速度經軟弱土層到地表會放大，所以 Yo 應會小於	1. 已修正。	同意辦理

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
Ya，請修正。 2. 本研究以 0206 地震推算 D 值，以修正地震強度符合各地現況，但 0206 地震較有爭議，能量釋放可能不是集中在一點，而推估公式是假設為點震源，適當性須考慮。	2. 本研究僅以 0206 地震進行地震模擬器測試，並依結果進行 D 值方法修正建議；然而，此一修正方法不會使用於震前或震後地表加速度值推估。	同意辦理
3. P.4-79 地震修正係數 D 是取同區測站低估之值與實際值之比，再取平均值作為 D 值，但如此，原先高估或與實際值相等之值，會變得更高，整體推估會偏高，此法是否妥當?	3. 地震特性修正係數 D 主要參照溫國梁教授等人之建議而使用，本研究嘗試不同修正係數 D 之運算而建議以平均 D 值修正法較為合適，但僅限於 0206 地震，此一修正方法不會使用於震前或震後地表加速度值推估。	同意辦理
4. 飛來鹽公式，日本公式與原邱老師的公式，都沒用雨量修正，現在又用雨量修正，是何原因，請說明。	4. 本研究建議二種預測模式；若以建議分區進行飛來鹽推估時，則無需雨量資訊，而另一模式為適用全台灣之推估公式，使用該公式時則需風速及雨量等現地條件，以反應場址天候條件。	同意辦理
六、本所港研中心第一科賴瑞應研究員	1. 感謝委員建議，已刪	

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
1. 第 1-7 頁有關工作進度圖及各季的預定查核點之論述，是否要列入定稿報告內容，請考量。	除相關說明。	同意辦理
2. 第 2-38 頁圖 2.25 之標示為英文，第 2-41 頁圖 2.28 之標示為中文，基於報告格式之統一，建議統一以中文形式表示。	2. 根據委員建議，統一修正為以中文說明。	同意辦理
3. 結論部份目前將所有成果以一個段落說明，建議能分項說明研究成果，比較能清楚顯示研究成果。	3. 根據委員建議，將研究成果分類進行分段說明。	同意辦理
4. 目前研究成果已提供給公路總局或相關單位參考應用之部份，建議於報告結論中能加以說明，以利瞭解本研究成果落實應用的情形。	4. 根據委員建議，已加入說明。	同意辦理
5. 第 2-9 頁表 2-31 請修正為表 2-3。第 2-25 頁 4.與 6.重複，請刪除。第 2-47 頁表 2-1 請修正為表 2-4。	5. 相關錯誤已修正。	同意辦理
七、公路總局：	1. 感謝委員建議，在與	

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
1. 簡報 P.46 自動通報機制部份涵蓋各面向，目前公路總局是依據封橋封路標準作業程序執行相關作業，建議可參考該作業程序以輔助方式進行。	公路總局防災中心討論後，TRENDS 系統進行分析後將資訊拋轉至 BOBE，後續通報機制將以公路總局既有通報流程，本系統將不介入。	同意辦理
2. 承上，作業程序有其開放標準，P.36 的振動頻率評估做為是否開放通行標準是第一線工程人員執行或是專業人員執行？費時多久？以實務上來說是無法等太久的。	2. 以計算所需的時間而言，本團隊先前已經開發完成線上頻譜分析計算工具，並不需要很長的時間(少於 2 分鐘)。因此，計算的時間應該不是問題。因此，目前本研究團隊的重點在於驗證振動頻率評估的可行性(準確性)。	同意辦理
3. 訪談會議於 105 年 10 月 20 日，距今 1 個月，其結論定位？是本次執行還是本期執行。	3. 此次會議為確認本計畫之成果是否符合公路總局需求，並藉有了解公路總局需求作為後續計畫研究方向之參考依據。	同意辦理
八、本所港研中心第一科林雅雯研究員 1. 報告第 2-1 頁國內開發之預警系統似乎著墨太少，且與橋梁、道路及地震相關政府單位之系統亦應納入。	1. 根據委員建議加入 TELES 與經濟部水利署防災資訊服務網、臺北市防災資訊網等目前正在運作中之系統之介紹。 2. D_0D_1 法主要為文獻	同意辦理

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
2. 報告第 4-69 頁提到 D0D1 法，於附錄三並無呈現，僅圖 4.78，是否可簡要說明修正方法。	[26]建議之方法，其主要採用與地盤放大係數相同之數學模式進行修正係數決定，全台共分 23 區且每區均有一組 D_0 及 D_1 修正係數，詳細內容可參考該文獻說明，本文僅就所提方法進行介紹。	同意辦理 同意辦理
3. 報告第 5-25 頁尖山大橋數值推算及現地量測頻率僅提供表 5-6 計算結果，建議計算過程亦需納入。	3. 表 5-6 各土壤模型已於 5-3 節中說明，其數值模型的計算過程與「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究 (2/2)」類似，煩請參閱。	同意辦理
4. 報告第 5-19 頁 5.3 節數值模型及現地量測頻率比較之意義、目的與二計畫案之關連性為何?	4. 土壤的模型眾多，且差異甚大。本計畫擬利用頻率做為橋梁健康之初步評量依據，然數值模型中，土壤彈簧對頻率的影響甚大，因此，本團隊針對不同的土壤模式進行了解並納入數值模型中，並與現地量測的結果進行比較。根據結果，以目前台灣公路橋梁耐震設計規範中所建議的數值模型最接近現地量測的結果。因此，「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究	同意辦理

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
5. 報告 5-25 鉛心橡膠支承墊使橋梁頻率由 2.5978 改變至 0.88644，支承墊對於人工智慧推論全臺橋梁降伏地表加速度 Ay、完全損壞地表加速度 Ac 及橋梁耐震臨界頻率比值，如何考量其影響？。	(2/2)」計畫案中的三座橋梁之土壤模式均採用相同的公式進行模擬。 5. 目前人工智慧推論的所根據的 Ay 與 Ac 僅考量橋梁下部結構的部分，上部結構的部分並未納入考慮中。未來若有需要，可根據台灣橋梁耐震性能設計規範草案，以性能設計概念分析。	同意辦理

附錄三

公路總局訪談會議紀錄

公路總局訪談會議紀錄

採購案編號：MOTC-IOT-105-H1DC001

採購案名稱：公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證

時間：105年10月20日上午10:00　　地點：公路總局三樓應變中心

主席：孟伯鈞　副執行秘書　　記錄：吳育偉

出席者：

公路總局：孟伯鈞、賴佳聖、延允中、廖毅哲、徐世軒

港研中心一科：謝明志、林雅雯

國立臺灣科技大學：鄭明淵、廖國偉、吳育偉

討論議題：

1. 由臺科大團隊簡報目前系統成果

2. 分為8項討論課題，分別進行討論

主要結論：

1.地震方面:現行警報機制，後續研究是否需要改進與配合?

目前公路總局之機制為依據地震震度分析結果，找出各路段中橋梁超過震度4級以上之橋梁，分別確認勘查路線，再進行沿線巡檢，非直接以橋梁通行失敗機率順序跳點巡查。因此建議系統未來研究方向可朝依各路段中橋梁受損狀況與重要性進行排序，並提供優先巡檢之路線方案。

2.洪水方面:現行洪水封橋機制，研究需要配合或改進之處?

目前已將大甲溪分析結果提供公路總局介接，建議TRENDS

系統移除帳號認證機制，由公路總局BOBE帳號控管機制即可。未來可找尋其他河系，如高屏溪，因為目前發現二區工程處的流域在近幾年颱洪事件雨量、流量較小。

3.橋梁振動頻率方面:目前研究將分別針對可移動式、固定式兩方向分別進行探討，公路管理單位之傾向為?

移動與固定兩種量測方式，可由過去研究案(台科李維峰、中原張達德團隊)發現，固定量測維修費用較高，且在計畫案結束後，硬體設備在未維護下通常都損壞了。公路總局比較重視基本振動振動頻率如何分析、如何過濾雜訊，對應沖刷深度變化是否有主頻走向低頻之表現。

4.橋梁振動頻率方面:下一年度橋梁振動試驗是否有建議的橋址?

建議可詢問二區工程處，目前西濱、民族與自強大橋國家地震中心有長期裝設儀器監測。

5.山區道路邊坡方面:與公路總局現行災害分析方法是否相符，後續研究方向之建議

目前公路總局已委託逢甲大學團隊在蘇花公路蒐集七百筆案例書面資料，進行零星落石與崩塌機率分析。

6.橋梁設計參數與保全評估方面:參數資料與保全評估是否可由公路總局提供基本資料，由研究團隊輸入建置與進行驗證

很多橋梁相關資料,如結構分析、鑽探資料皆未儲存在TBMS系統中。未來建議在設計施工階段，盡量保留施工、竣工圖、結構設計圖及鑽探資料等。

7.自動通報機制方面:通報名單或方法與公路總局介接，是否需修改

由TRENDS提供相關防災資訊，介接公路總局BOBE系統後，由公路總局統一通報。

8.未來研究方向建議:與公路總局未來方向是否相符，系統後續研究方向之建議(TBMS)

跨河流域橋梁目前僅針對大甲溪流域進行研究，後續如經費許可，建議選擇如高屏溪流域。

此外，在TRENDS應用面，後續亦可針對地震或洪水進行災情模擬分析。

針對後續研究中振動量測之建議橋梁對象，可詢問二區工程處取得更詳細資料。

「公路早期防救災決策支援系統精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證」公路總局訪談

壹、 時　　間： 105/10/20(星期四)上午10時00分
貳、 地　　點： 公路總局三樓應變中心
叁、 主 持 人： 孟伯鈞副執行秘書
肆、 紀　　錄： 吳育偉博士
伍、 出 席 人 員：

簽到表

出席單位	簽名欄
公路總局	孟伯鈞 賴佳聖　　徐世軒 [illegible]　　廖敏哲
交通部運輸研究所港研中心	謝明志 林雅雯
國立臺灣科技大學	鄭水湖 彥國偉　吳育偉


公路總局應變中心
防救災決策支援統合系統
公路防災


公路總局應變中心

附錄四

各區域D值修正結果

附錄表 1.D 值平均倍率(若無修正，倍率顯示為 1)

行政區	行政編號	D值平均倍率
嘉南一區	1	2.82334263
嘉南二區	2	3.261025443
嘉南三區	3	1.437486768
花蓮一區	4	0.410781438
花蓮二區	5	1
宜蘭一區	6	1
宜蘭二區	7	1
宜蘭三區	8	1
高屏一區	9	1
高屏二區	10	0.234146351
高屏三區	11	0.274466524
南投一區	12	1
南投二區	13	1
北埔一區	14	1
北埔二區	15	1
北埔三區	16	1
台東一區	17	0.450837466
台東二區	18	0.190953011
桃竹苗一區	19	1
桃竹苗二區	20	1
中彰一區	21	1
中彰二區	22	1.930893383
臺北盆地	23	1

附錄表 2.D 值相關性最佳之倍率(若無修正，倍率顯示為 1)

行政區	行政編號	相關性最佳即時站	D值平均倍率
嘉南一區	1	ALS	2.091532
嘉南二區	2	WSF	2.967305
嘉南三區	3	CHN3	1.450476
花蓮一區	4	TWF1	0.410781
花蓮二區	5	X	1
宜蘭一區	6	X	1
宜蘭二區	7	X	1
宜蘭三區	8	X	1
高屏一區	9	X	1
高屏二區	10	SSD	0.182197
高屏三區	11	SGL	0.076973
南投一區	12	X	1
南投二區	13	X	1
北埔一區	14	X	1
北埔二區	15	X	1
北埔三區	16	X	1
台東一區	17	TWG	0.466789
台東二區	18	TAW	0.158583
桃竹苗一區	19	X	1
桃竹苗二區	20	X	1
中彰一區	21	X	1
中彰二區	22	WES	1.930893
臺北盆地	23	X	1

附錄表 3.D 值強震站所對應即時站中相關性最佳之倍率

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
CHY001	X	1
CHY002	WSF	2.967304572
CHY003	CHY	3.372204856
CHY004	WSF	2.967304572
CHY006	WGK	3.050724658
CHY008	WSF	2.967304572
CHY009	WSF	2.967304572
CHY010	ALS	2.091531605
CHY011	CHN5	6.890325578
CHY012	TWL	0.805377603
CHY013	CHN3	1.450475932
CHY014	CHN5	6.890325578
CHY015	TAI	0.320590735
CHY016	TAI1	1.089379054
CHY017	CHN3	1.450475932
CHY018	X	1
CHY020	SCL	1.831078718
CHY024	CHN4	1.583368599
CHY025	CHY	3.372204856
CHY026	WSF	2.967304572
CHY027	WSF	2.967304572
CHY028	WGK	3.050724658
CHY029	WSF	2.967304572
CHY030	CHY	3.372204856
CHY033	WSF	2.967304572
CHY034	CHN4	1.583368599
CHY036	WSF	2.967304572
CHY037	CHY	3.372204856
CHY038	CHY	3.372204856
CHY039	WSF	2.967304572
CHY042	CHN4	1.583368599
CHY043	WSF	2.967304572
CHY045	CHN4	1.583368599
CHY046	CHY	3.372204856
CHY047	CHY	3.372204856
CHY049	TAI1	1.089379054

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
CHY051	X	1
CHY053	TAI1	1.089379054
CHY054	TAI1	1.089379054
CHY055	TAI1	1.089379054
CHY056	SCL	1.831078718
CHY058	SCL	1.831078718
CHY060	SCL	1.831078718
CHY061	TAI	0.320590735
CHY062	CHN3	1.450475932
CHY063	TAI	0.320590735
CHY064	X	1
CHY065	TAI	0.320590735
CHY067	TWL	0.805377603
CHY068	X	1
CHY069	CHN1	1.226195334
CHY070	TAI	0.320590735
CHY071	SCL	1.831078718
CHY073	CHY	3.372204856
CHY074	ALS	2.091531605
CHY076	WSF	2.967304572
CHY077	SCL	1.831078718
CHY078	TAI1	1.089379054
CHY079	CHN1	1.226195334
CHY080	CHN5	6.890325578
CHY081	TWL	0.805377603
CHY082	WSF	2.967304572
CHY083	CHN4	1.583368599
CHY084	WSF	2.967304572
CHY085	X	1
CHY086	CHN4	1.583368599
CHY087	CHN3	1.450475932
CHY088	CHN1	1.226195334
CHY089	CHN3	1.450475932
CHY092	CHY	3.372204856
CHY093	WSF	2.967304572
CHY095	CHY	3.372204856
CHY096	TAI	0.320590735

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
CHY097	TWL	0.805377603
CHY098	X	1
CHY101	WGK	3.050724658
CHY102	CHN4	1.583368599
CHY103	CHY	3.372204856
CHY105	WSF	2.967304572
CHY106	WSF	2.967304572
CHY107	CHN3	1.450475932
CHY108	X	1
CHY109	X	1
CHY110	X	1
CHY112	X	1
CHY113	X	1
CHY114	TWL	0.805377603
CHY115	SCL	1.831078718
CHY116	SCL	1.831078718
CHY118	X	1
CHY119	X	1
CHY120	X	1
CHY122	X	1
CHY123	X	1
CHY125	X	1
CHY126	X	1
CHY128	X	1
CHY129	X	1
CHY131	X	1
CHY132	X	1
CHY133	X	1
CHY134	X	1
CHY135	X	1
CHY136	X	1
HWA004	EHY	1
HWA024	TWF1	0.410781438
HWA039	EHY	1
HWA041	EHY	1
HWA042	EHY	1
HWA053	X	1

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
HWA055	X	1
HWA065	X	1
KAU003	SGL	0.076973181
KAU005	X	1
KAU006	SGL	0.076973181
KAU007	SGL	0.076973181
KAU009	KAU	0.492386141
KAU010	SGL	0.076973181
KAU011	SGL	0.076973181
KAU012	SGL	0.076973181
KAU014	KAU	0.492386141
KAU015	SGL	0.076973181
KAU017	KAU	0.492386141
KAU020	SGL	0.076973181
KAU021	X	1
KAU023	X	1
KAU024	KAU	0.492386141
KAU025	TWM1	0.434884299
KAU026	X	1
KAU027	X	1
KAU028	SCZ	0.286095616
KAU029	KAU	0.492386141
KAU031	SGL	0.076973181
KAU032	SGL	0.076973181
KAU033	SGL	0.076973181
KAU034	SCZ	0.286095616
KAU035	KAU	0.492386141
KAU037	SSD	0.182197086
KAU038	HEN	1
KAU039	X	1
KAU044	TWM1	0.434884299
KAU045	KAU	0.492386141
KAU047	SSD	0.182197086
KAU049	SSD	0.182197086
KAU050	SGS	1
KAU051	SCZ	0.286095616
KAU053	X	1

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
KAU054	STY	1
KAU055	KAU	0.492386141
KAU056	KAU	0.492386141
KAU057	SGL	0.076973181
KAU058	SGL	0.076973181
KAU059	X	1
KAU061	TWM1	0.434884299
KAU063	KAU	0.492386141
KAU065	X	1
KAU066	SGL	0.076973181
KAU067	X	1
KAU068	X	1
KAU069	SCZ	0.286095616
KAU071	X	1
KAU072	SSD	0.182197086
KAU074	SGL	0.076973181
KAU078	SCZ	0.286095616
KAU079	SSD	0.182197086
KAU080	X	1
KAU083	SGL	0.076973181
KAU085	SGL	0.076973181
KAU086	KAU	0.492386141
KAU088	SGL	0.076973181
KAU089	SGL	0.076973181
KAU090	X	1
KAU092	X	1
KAU095	X	1
KAU099	X	1
KAU100	X	1
MTN155	X	1
MTN156	X	1
MTN158	X	1
MTN170	X	1
TCU122	TCU	1
TCU126	WNT	1
TCU167	X	1
TRB008	X	1

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
TRB024	X	1
TRB025	X	1
TRB026	X	1
TRB027	X	1
TRB028	X	1
TRB029	X	1
TRB030	X	1
TRB031	X	1
TRB032	X	1
TRB033	X	1
TRB034	X	1
TRB035	X	1
TRB036	X	1
TRB037	X	1
TTN002	TTN	0.357734148
TTN003	TAW	0.158582609
TTN004	TWG	0.466788736
TTN005	TWG	0.466788736
TTN006	TTN	0.357734148
TTN007	TTN	0.357734148
TTN008	TTN	0.357734148
TTN010	TWG	0.466788736
TTN011	X	1
TTN012	TTN	0.357734148
TTN013	TWG	0.466788736
TTN014	CHK	0.506988578
TTN015	TTN	0.357734148
TTN016	X	1
TTN018	TWG	0.466788736
TTN020	TWG	0.466788736
TTN021	X	1
TTN022	CHK	0.506988578
TTN023	TTN	0.357734148
TTN024	TTN	0.357734148
TTN025	TTN	0.357734148
TTN026	TWG	0.466788736
TTN027	TWG	0.466788736

強震站	所對應之即時站相關性最佳	D值倍率
TTN028	TWG	0.466788736
TTN029	TAW	0.158582609
TTN032	TTN	0.357734148
TTN033	TTN	0.357734148
TTN034	TWG	0.466788736
TTN035	TWG	0.466788736
TTN036	CHK	0.506988578
TTN037	X	1
TTN038	X	1
TTN040	CHK	0.506988578
TTN041	CHK	0.506988578
TTN042	CHK	0.506988578
TTN043	X	1
TTN044	TTN	0.357734148
TTN045	CHK	0.506988578
TTN046	CHK	0.506988578
TTN047	CHK	0.506988578
TTN048	CHK	0.506988578
TTN049	X	1
TTN050	TAW	0.158582609
TTN051	ELD	0.298463804
TTN052	X	1
TTN053	X	1
TTN056	X	1

附錄五

期末簡報

公路早期防救災決策支援系統
(Taiwan Road Early Nature Disaster prevention System，TRENDS)精進及橋梁耐震耐洪資料管理系統驗證
期末報告簡報

委託單位：交通部運輸研究所
執行單位：台灣科技大學營建工程系

中華民國一百零五年十一月

簡報流程

壹	計畫背景及目的
貳	研究方法
參	執行步驟
肆	執行進度
伍	結論與建議

壹 計畫背景及目的

•橋梁為連絡河流兩岸之重要交通工程設施，洪水來襲、地震皆造成重大威脅，使得橋梁現有狀況不明。

問題

•目前橋梁耐震耐洪評估，須以人為方式蒐集資料後分析評估，其過程耗費人力、時間。TBMS以維護管理紀錄為主，缺乏設計參數之相關功能

目的

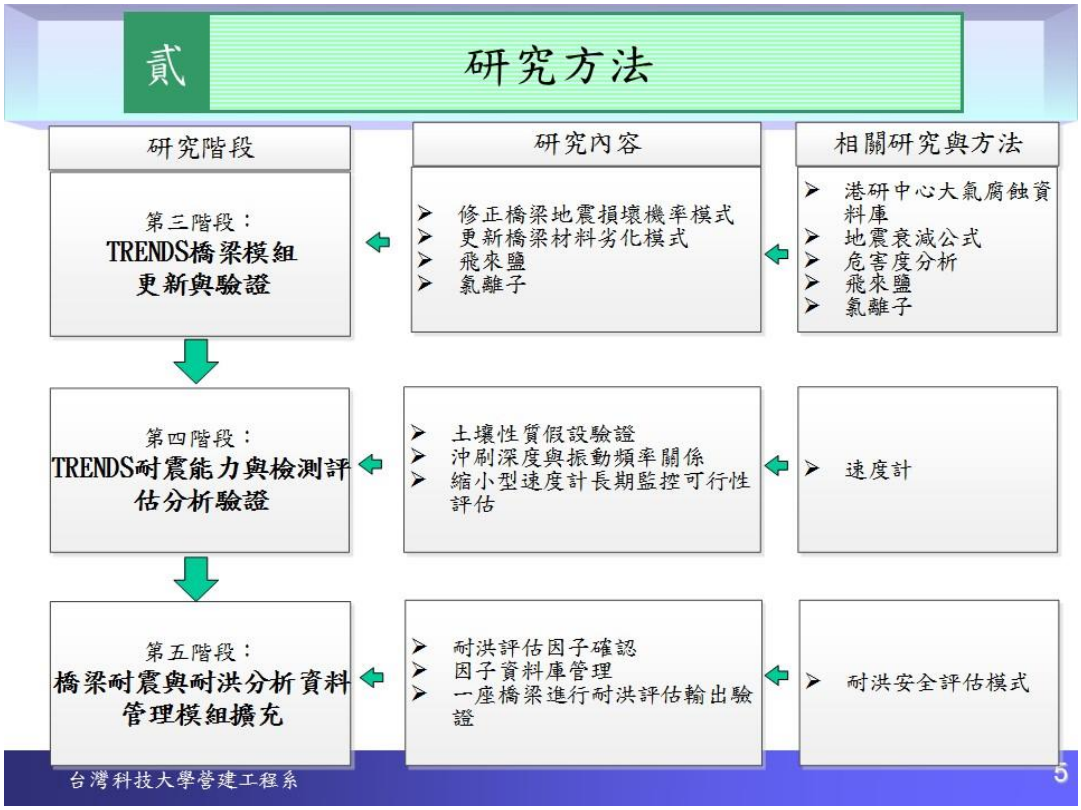
•確立橋梁耐震耐洪設計與維護階段資訊整合模式，提供使用維護階段橋梁防災預警之決策支援。TRENDS分析模組資料更新、提高模式準確度並與相關單位監測資料進行驗證。

3

貳 研究方法

本計畫期程分為五個階段完成

研究階段	研究內容	相關研究與方法
第一階段： **文獻回顧與研究團隊組成**	➢ 相關研究背景分析 ➢ 研究人力組成	➢ 現況分析 ➢ 人才延攬 ➢ 團隊制度建立
第二階段： **台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運**	➢ 系統基本資料更新	➢ 模式驗證與更新



參、執行步驟

第一階段-文獻回顧與研究團隊組成

第二階段-TRENDS系統營運維護

參 執行步驟-第一階段 研究團隊組成

研究團隊組成

名稱	服務機構/系所	專長	負責事項
邱建國 教授	國立台灣科技大學/營建工程系/結構組	鋼筋混凝土結構物劣化分析與耐震行為、生命週期耐久性能設計與維持管理、複合環境影響下之耐用年限分析	計畫協調整合事項 第一階段 第三階段
鄭明淵 特聘教授	國立台灣科技大學/營建工程系/管理組	資訊管理系統、營建業流程再造、人工智慧、地理資訊系統	計畫協調整合事項 第二階段
廖國偉 副教授	國立台灣科技大學/營建工程系/資訊組	系統工程、可靠度分析、最佳化設計、結構力學	第四階段
吳育偉 博士	國立台灣科技大學/營建工程系	資訊工程、軟體代理人、網頁系統	系統功能整合測試 第四階段 第五階段
4名 碩士兼任助理	國立台灣科技大學/營建工程系	營建管理、資訊工程等	協助試驗系統撰寫

1 TRENDS發展歷程(1/2)

第二階段-TRENDS系統營運維護

臺灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster Prevention System，TRENDS)之發展歷程如下表:

No	年度	計畫名稱	主持人	研究課題	災害類別
1	94-95	交通工程防災預警系統建立之研究	台科大鄭明淵	土石流預警通報 地震潛勢 洪水沖刷 材料劣化 防救體系	土石流、地震、洪水
2	96-99	公路防救災決策支援系統建立之研究	台科大鄭明淵	地震潛勢洪水土石流預警通報 邊坡崩塌	地震、邊坡
3	99-100	跨河橋梁安全預警系統之建立研究與整合作業	台科大鄭明淵	洪水沖刷預警通報 一維水理、二維水理 安全評估 檢測規範 橋河資料 保護工法 橋墩材料 保護工規範 災因分析 監測儀器	洪水
4	99-100	橋梁通阻檢測分析模式建立之研究	台科大鄭明淵	材料劣化 地震簡易側推分析 AI推論潛勢	地震、老化

8

1 TRENDS發展歷程(2/2)

第二階段-TRENDS系統營運維護

No	年度	計畫名稱	主持人	研究課題	災害類別
4	99-100	橋梁通阻檢測分析模式建立之研究	台科大鄭明淵	振動分析	地震、洪水
5	100	蘇花公路115.9K邊坡崩塌監測預警模式之建立研究	逢甲洪本善	預警通報 降雨預測 邊坡崩塌	邊坡
6	101-102	跨河橋梁安全預警系統建置更新驗證與維護管理	台科大鄭明淵	預警通報 二維水理 安全評估	洪水
7	102	移動式橋梁振動檢測及訊號分析與傳輸通報系統	台科大鄭明淵	系統整合 振動分析	地震、洪水
8	101-103	橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發	台科大鄭明淵 邱建國	維護策略 材料劣化	地震、洪水、老化
9	104-105	橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究	台科大鄭明淵	系統整合 振動分析	地震、洪水

2 TRENDS系統架構(1/4)

第二階段-TRENDS系統營運維護

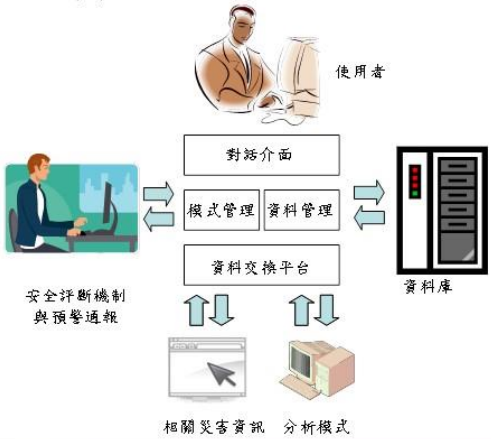
系統以人性化易操作介面開發，各功能以模組呈現:

(1)系統使用需求

1.易於進行資料查詢及分析
2.提供橋梁基本、災害、監測相關資訊
3.GIS圖形化網頁介面

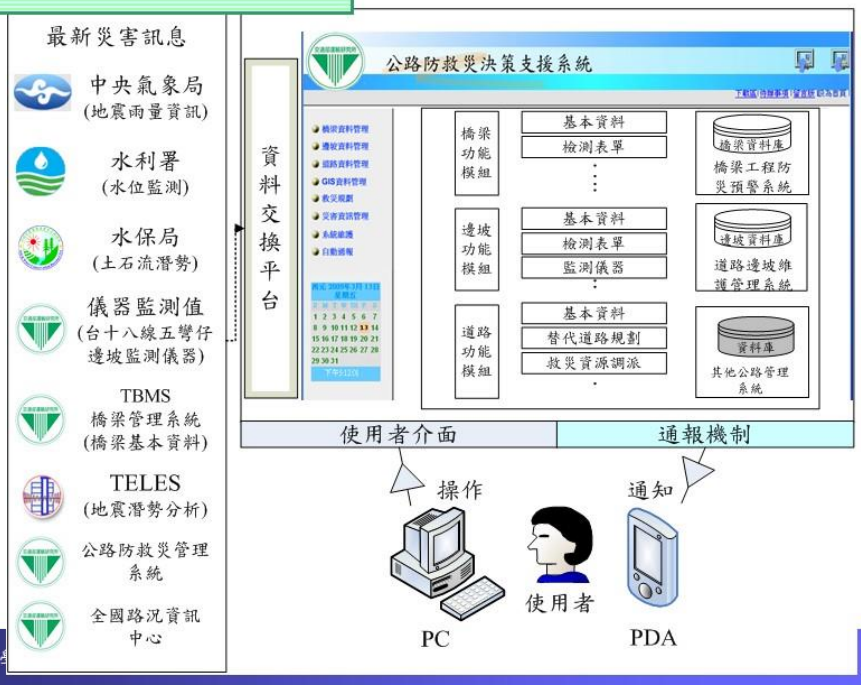
根據需求研擬系統功能

(2)系統發展概念研擬



2 TRENDS系統架構(2/4)

TRENDS系統概念圖



2 TRENDS系統架構(3/4)

系統分為八大模組

(1)橋梁資料管理

(2)邊坡資料管理

(3)道路（隧道）資料管理

(4)GIS圖層資料管理

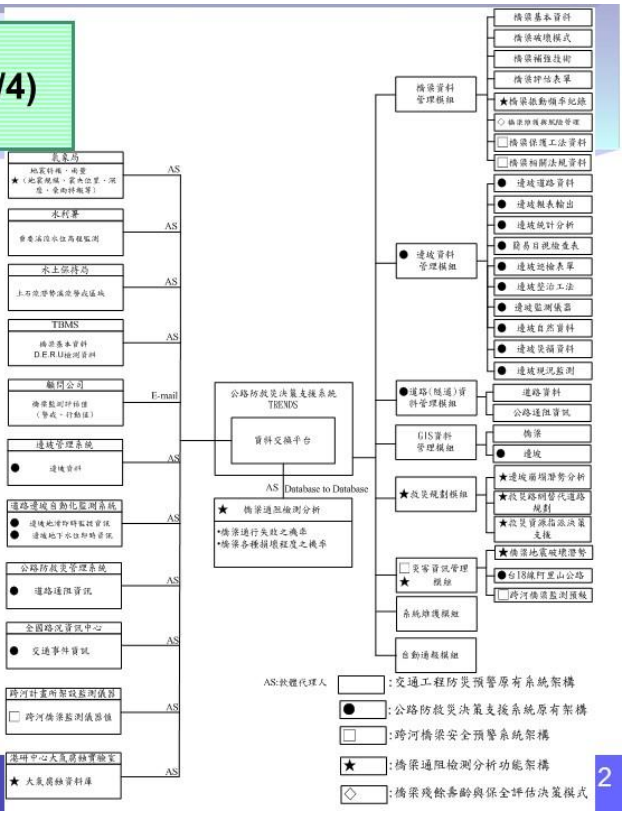
(5)救災規劃

(6)災害資訊管理

(7)系統維護

(8)自動通報

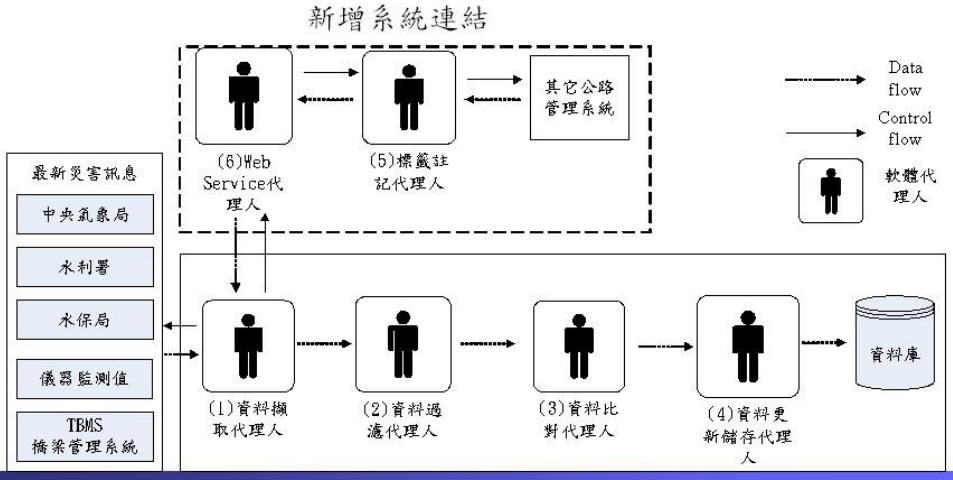
圖中圓形、方形、星形與棱形記號分別代表TRENDS整合不同計畫成果



2 TRENDS系統架構(4/4)

第二階段-TRENDS系統營運維護

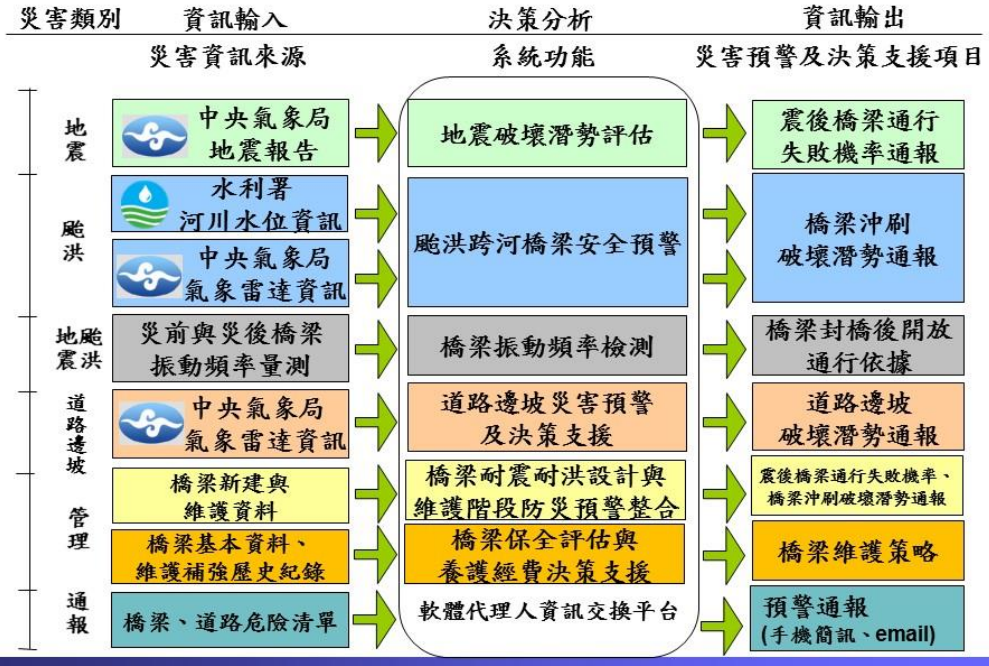
TRENDS以「交通工程防災預警系統」一案所開發之**資料交換平台**為基礎進行資料彙整工作。



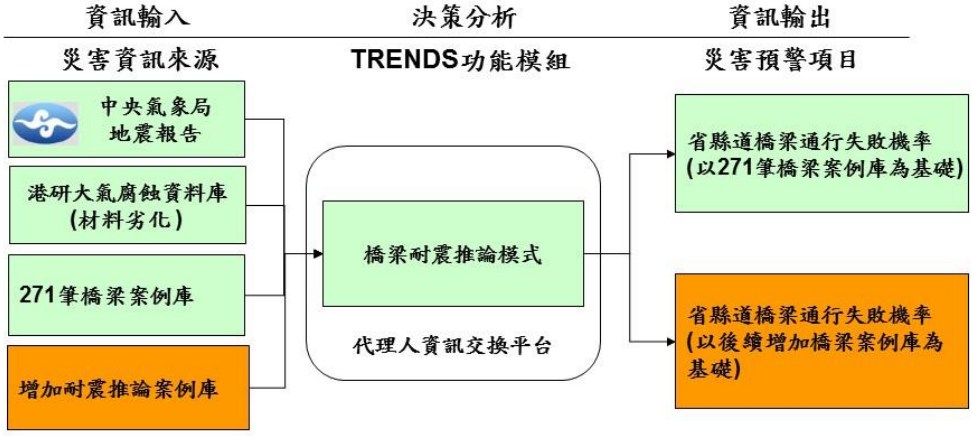
TRENDS系統功能介紹

1. 地震破壞潛勢評估
2. 颱洪跨河橋梁安全預警
3. 橋梁振動頻率檢測(進行中)
4. 道路邊坡災害預警及決策支援
5. 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合
6. 橋梁保全評估與養護經費決策支援
7. 自動通報機制

系統功能-針對不同災害



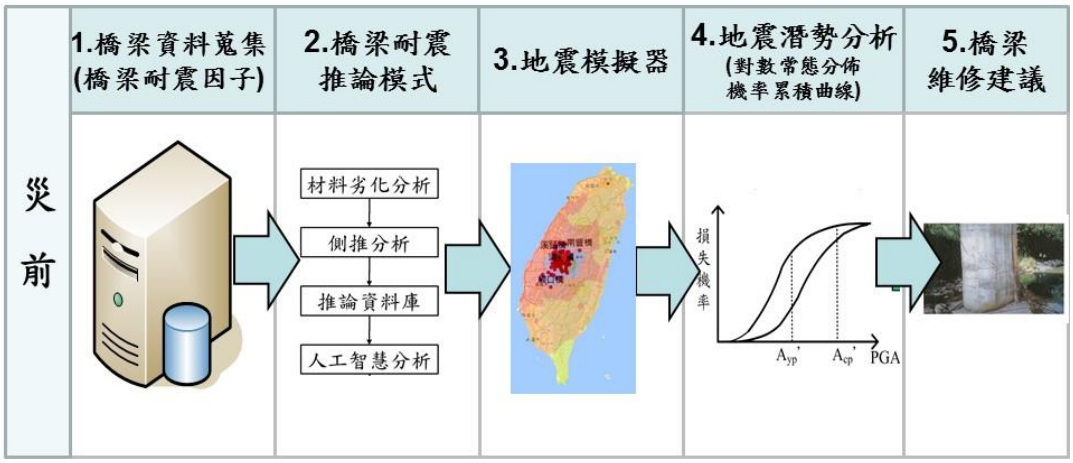
系統功能-地震破壞潛勢評估



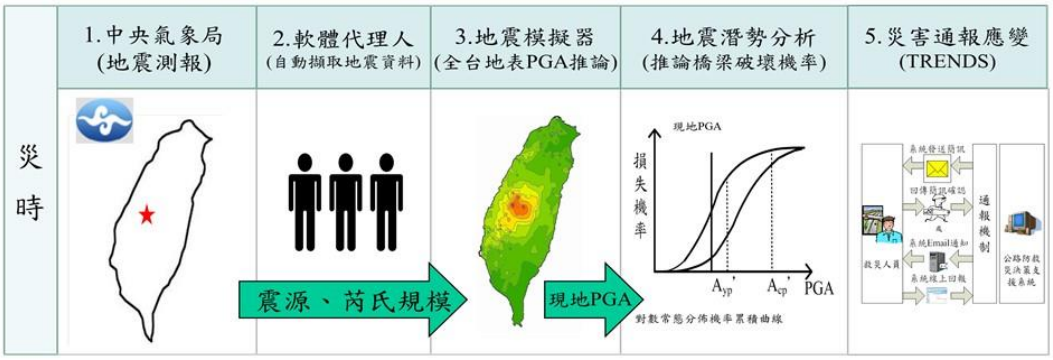
通報依據	▪ 橋梁耐震推論模式分析結果「橋梁通行失敗機率」(%)
效益	▪ 橋梁耐震推論模式分析，提供橋梁失敗機率，有助管理人員判別災情緩急、處置優先順序。

圖例
已完成
後續作業

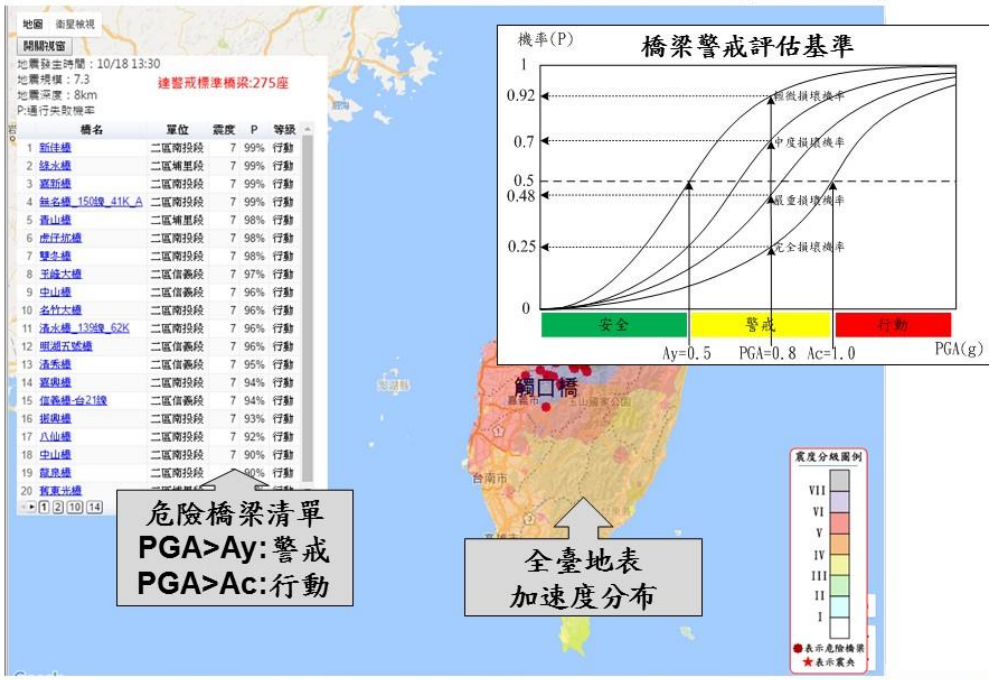
系統功能-地震破壞潛勢評估(災前)



系統功能-地震破壞潛勢評估(災時)

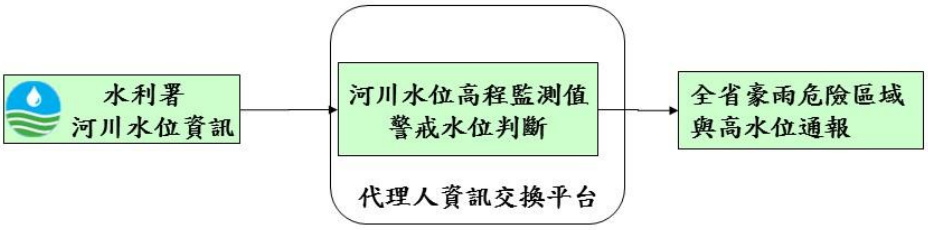


系統功能-地震破壞潛勢評估(災時)



系統功能-颱洪跨河橋梁安全預警(1/2)

資訊輸入	決策分析	資訊輸出
災害資訊來源	TRENDS功能模組	災害預警項目



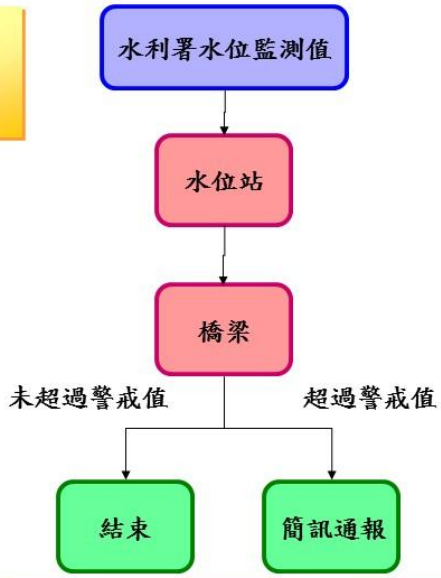
通報依據	■ 河川水位高程監測值(警戒水位：距梁底淨空 1.5 公尺（最小值）) ■ 累積雨量值(大豪雨、超大豪雨)
效益	■ 在橋梁上游發生豪大雨時或水量過高時，管理人員可接收警戒訊息，於災害發生前到達現場進行處置。

圖例
已完成
後續作業

系統功能-洪水、豪雨災害(臺灣通用)

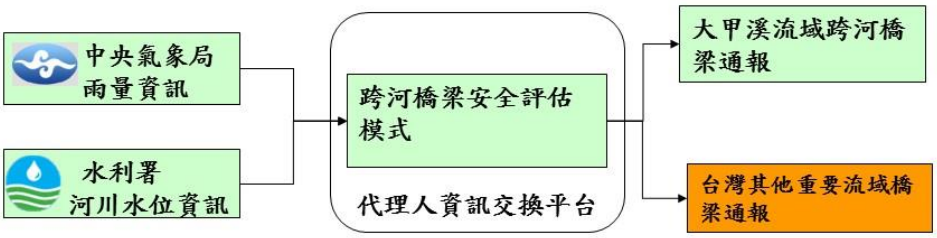
依據即時監測水位
進行預警通報(災時)

此機制為
電腦自動化作業



系統功能-颱洪跨河橋梁安全預警(2/2)

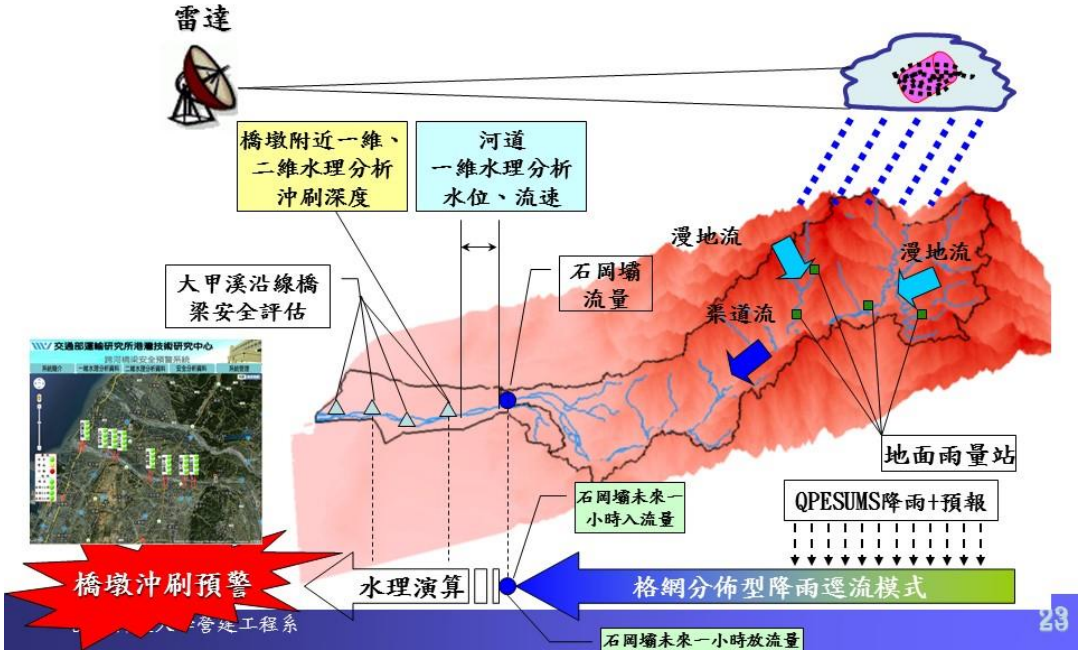
資訊輸入	決策分析	資訊輸出
災害資訊來源	TRENDS功能模組	災害預警項目

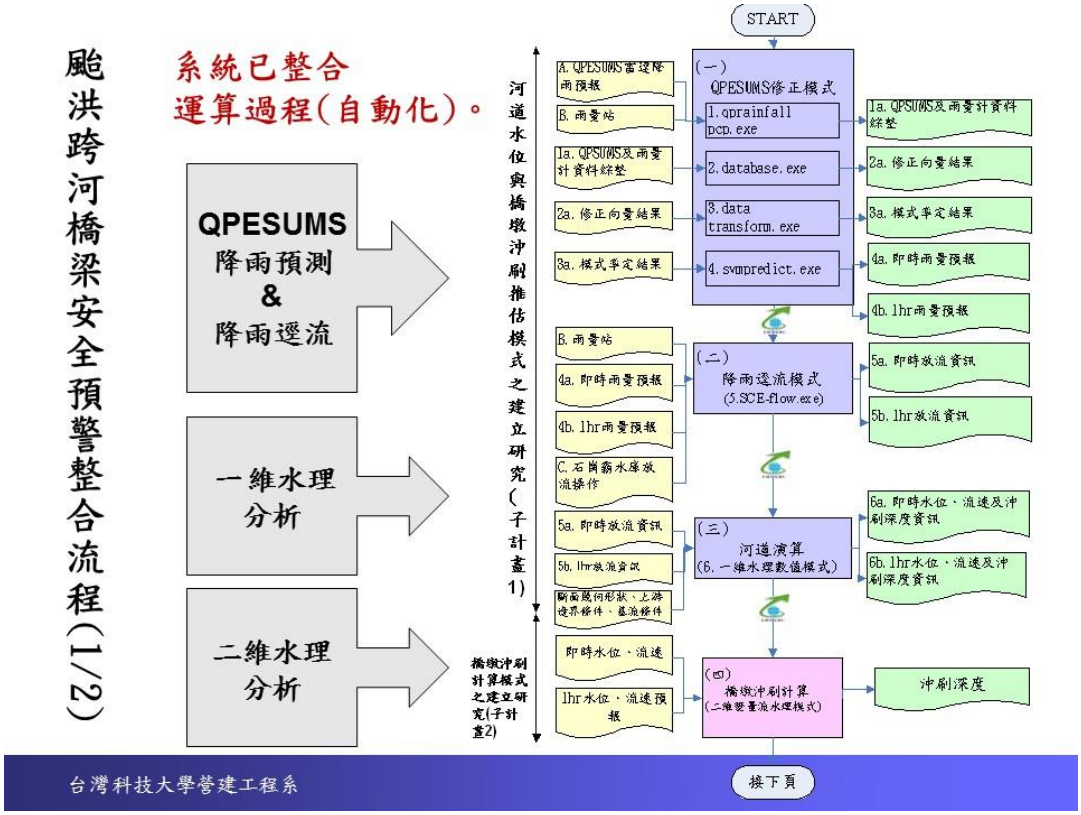


通報依據	▪ 利用即時水位、流速、橋基沖刷深度等資料，推論出橋梁警戒值(FS=1.5)與行動值(FS=1.3)
效益	▪ 在橋梁上游發生豪大雨時或水量過高時，管理人員可接收警戒訊息，於災害發生前到達現場進行處置。

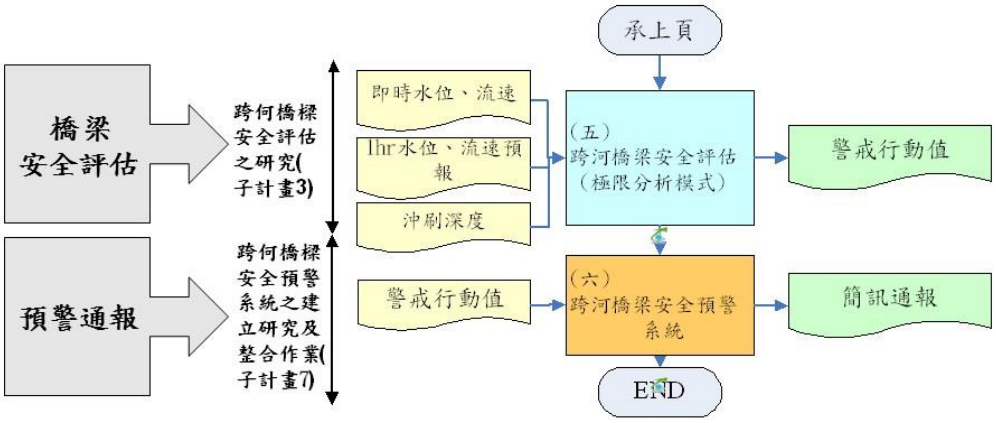
圖例
已完成
後續作業

系統功能-洪水、豪雨災害(特定流域)

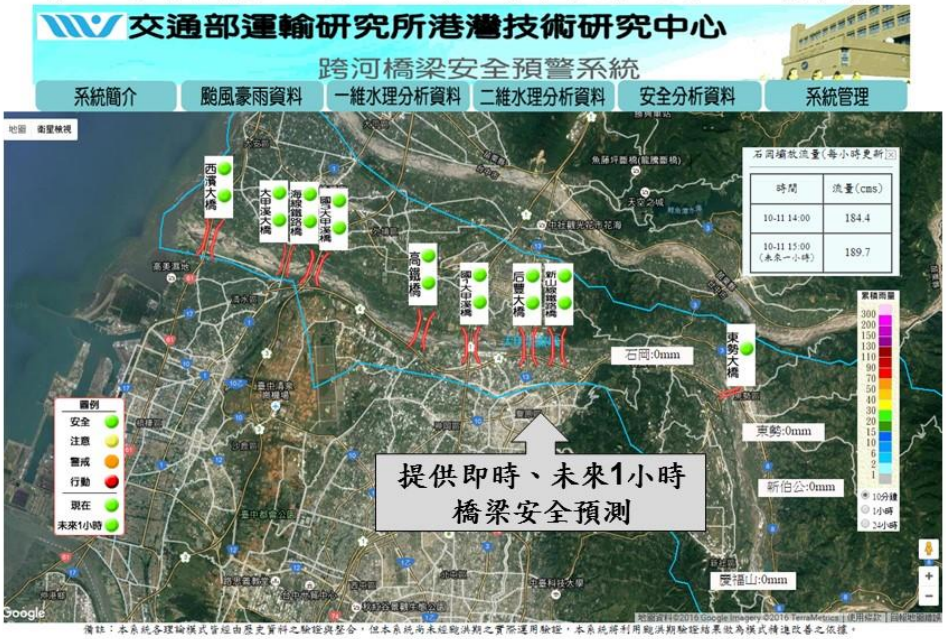




颱洪跨河橋梁安全預警整合流程(2/2)

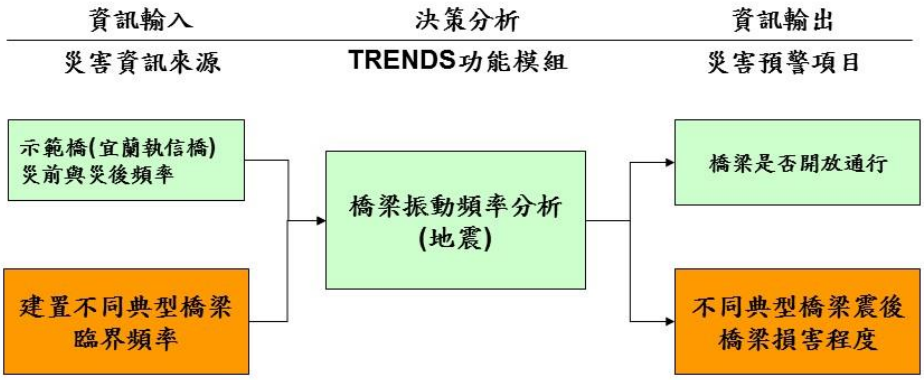


系統功能-颱洪跨河橋梁安全預警



備註：本系統各理論模式皆經由歷史資料之驗證與整合，但本系統尚未經颱洪期之實際運用驗證，本系統將利用颱洪期驗證結果做為模式精進改善之依據。

系統功能-橋梁振動頻率檢測(地震)(1/2)



通報依據	▪ 依據地震前後橋梁振動檢測結果，判斷橋梁損壞程度。
效益	▪ 提供橋梁損壞程度，協助管理人員判別是否開放通行之依據。

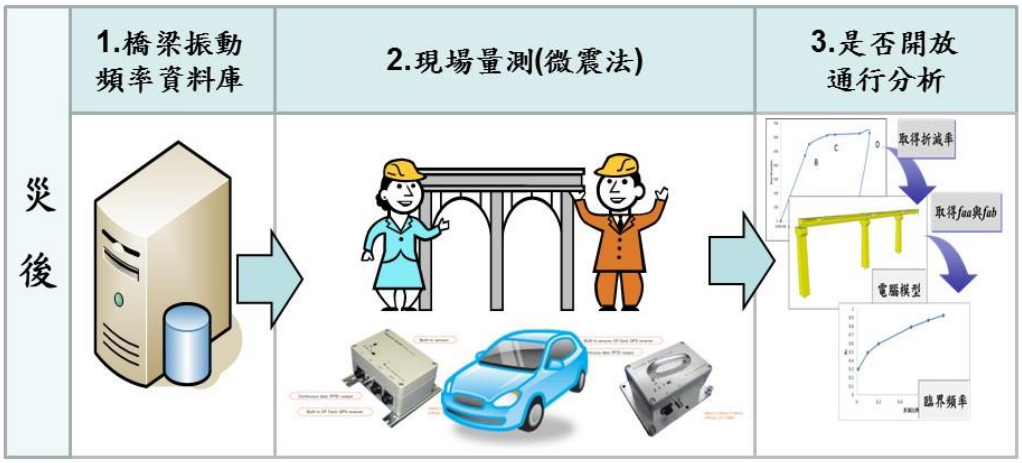
圖例
- 已完成
- 後續作業

系統功能-橋梁振動頻率檢測(沖刷後)(2/2)

通報依據	▪ 依據洪水前後橋梁振動檢測結果，判斷橋梁損壞程度。
效益	▪ 提供橋梁損壞程度，協助管理人員判別是否開放通行之依據。

圖例
- 已完成
- 後續作業

系統功能-橋梁振動頻率檢測(災後)



系統功能-道路邊坡災害預警及決策支援

資訊輸入	決策分析	資訊輸出
災害資訊來源	TRENDS功能模組	道路災害通報範圍

通報依據	■ 邊坡降雨量
效益	■ 管理人員有效掌握轄區道路邊坡資訊，避免災情擴大。

圖例
- 已完成
- 後續作業

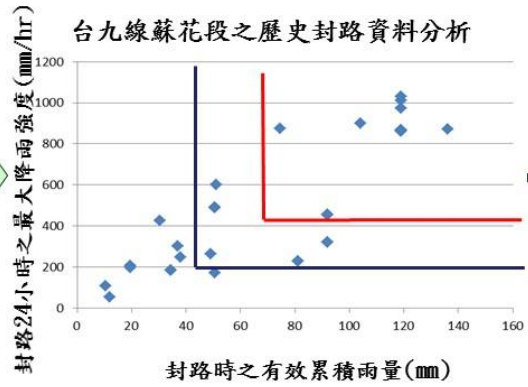
系統功能-道路邊坡災害預警及決策支援

降雨警戒值下限:過去封路發生可能性為30%之降雨值

降雨警戒值上限:過去封路發生可能性為50%之降雨值

崩塌資料

台9線南迴段
台11線
台9線蘇花段
台18線
台21線
台24線



邊坡現址

根據邊坡防護、排水、植生等現地狀況進行上下限之調整

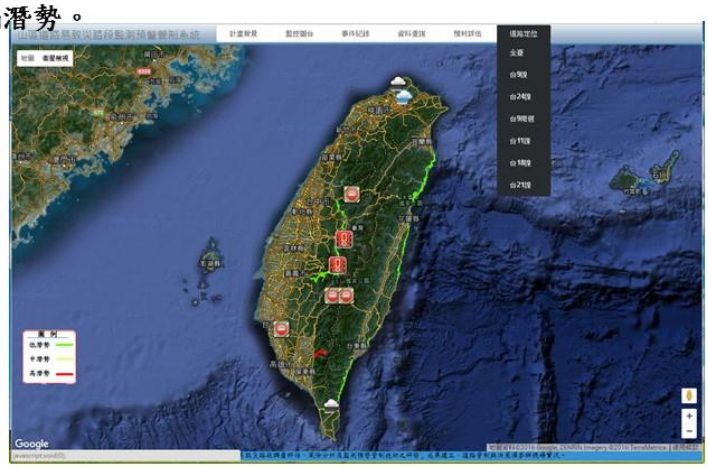
山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(4/4)，交通部運輸研究所，2014。

系統功能-道路邊坡災害預警及決策支援

- 完成台9線南迴段、台11線、台9線蘇花段、台18線、台21線以及台24線等路段降雨警戒基準值上下限之訂定。
- 可依路段顏色判斷崩塌潛勢。

研究範圍

道路名稱	道路樁號		道路長度(km)
	起	迄	
台9線(南迴公路)	395K+500	473K+500	78
台11線	5K+800	154K+000	148
台9線(蘇花公路)	106K+000	182K+000	76
台18線	34K+000	109K+500	76
台21線	000K+000	145K+000	145
台24線	22K+600	48K+500	25
合計			548



山區道路易致災路段調查評估、風險分析及監測預警管制技術之研發(4/4)，交通部運輸研究所，2014。

系統功能-橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合

資訊輸入	決策分析	資訊輸出
災害資訊來源	TRENDS功能模組	災害預警項目

規劃設計階段SAP橋梁模型、設計圖、結構計算書、鑽探資料 → 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合 → 震後橋梁通行失敗機率、橋梁沖刷破壞潛勢通報

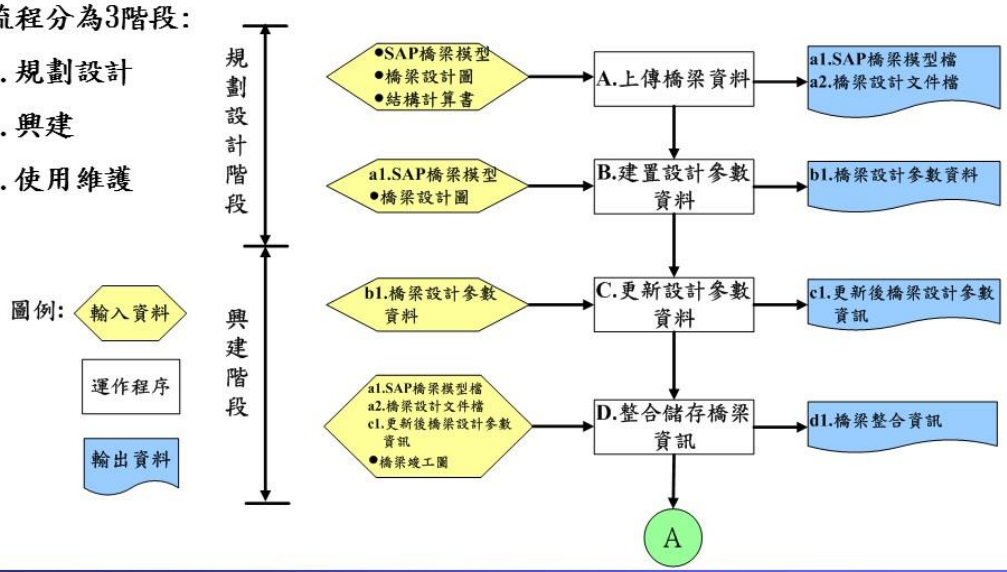
效益	■ 輸出震後橋梁通行失敗機率、橋梁沖刷破壞潛勢通報提供防災預警

圖例 已完成

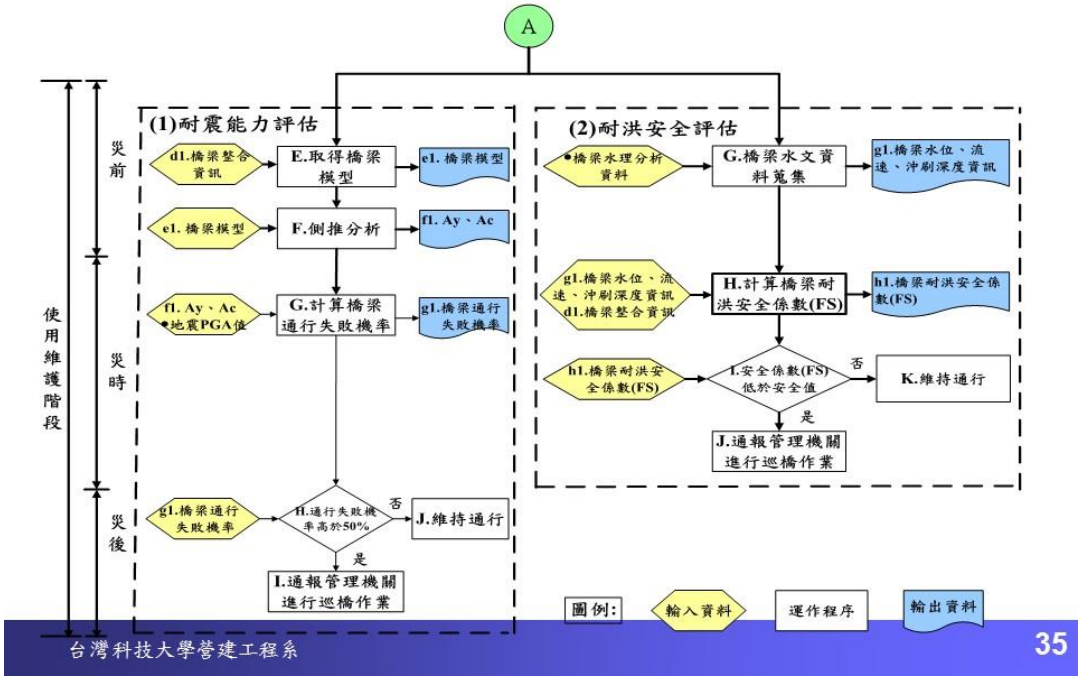
系統功能-橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合

流程分為3階段:

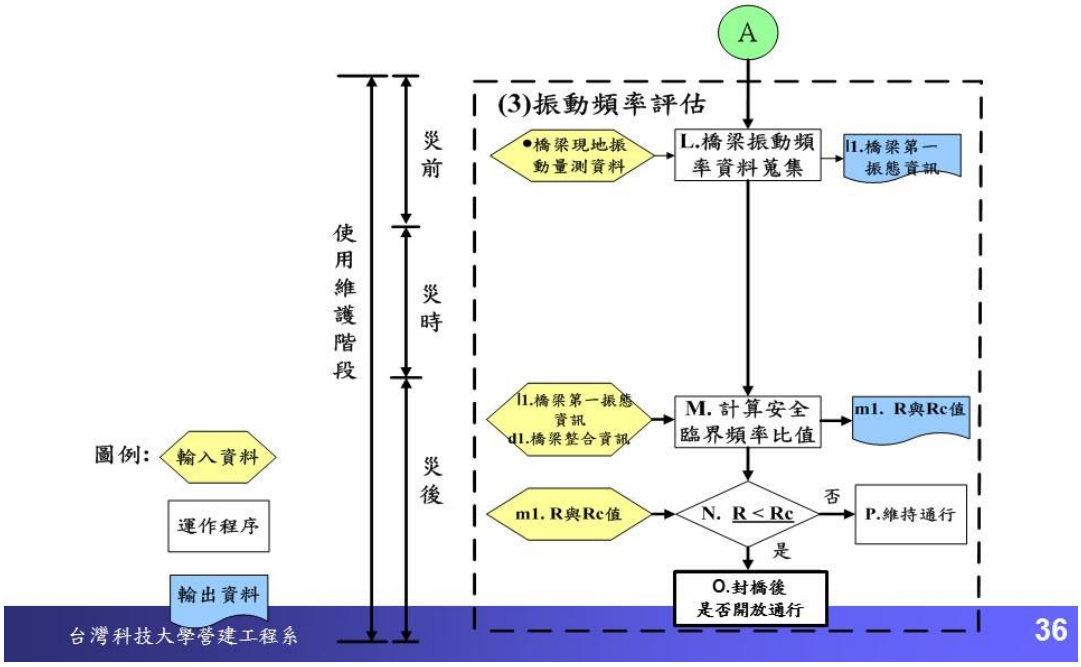
1. 規劃設計
2. 興建
3. 使用維護



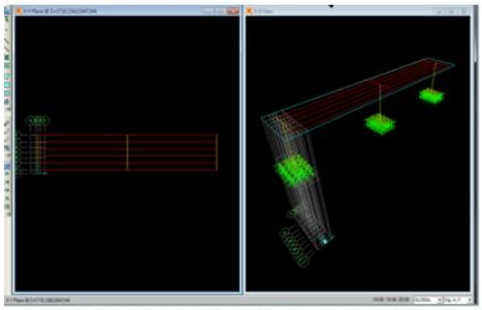
系統功能-橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合



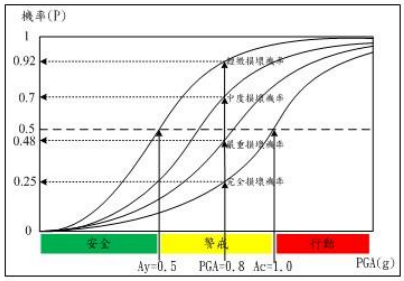
系統功能-橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合



系統功能-橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合



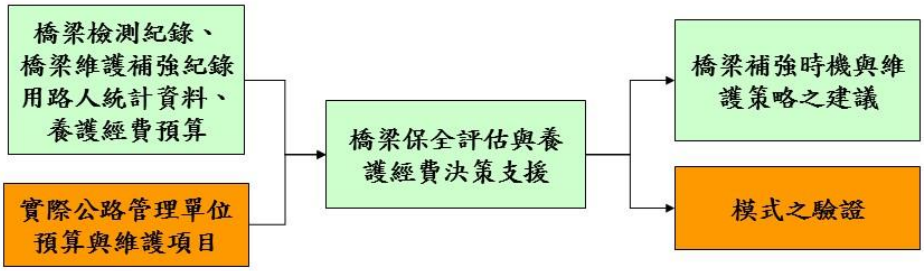
1. 地震側推分析、耐洪安全評估參數管理　2. 橋梁耐震側推分析模型資料管理



3. 橋梁耐震通行失敗機率計算(即時)　4. 橋梁耐洪安全評估計算(即時)

系統功能-橋梁保全評估與養護經費決策支援

資訊輸入	決策分析	資訊輸出
災害資訊來源	TRENDS功能模組	災害預警項目

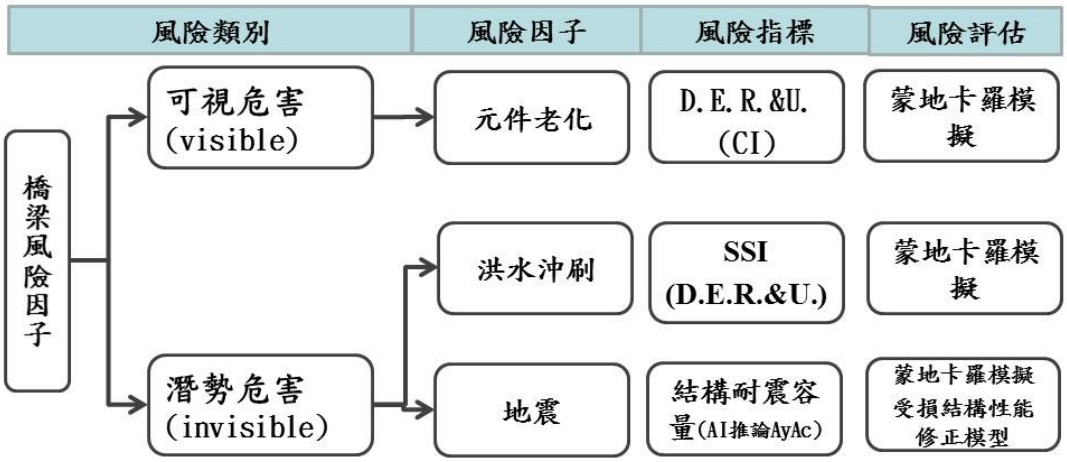


效益	考量橋梁現況及風險，針對群橋進行維護時機及經費估計，有效投入經費進行維護與補強工作，在有限維護經費下達到橋梁生命週期維護最佳經濟效益。

圖例：已完成　後續作業

系統功能-橋梁保全評估與養護經費決策支援

橋梁風險確認



系統功能-橋梁保全評估與養護經費決策支援

群橋成本維護最佳化模式E_B(Cost)

$$E_{Bij}(Cost)= \underbrace{E(MC)}_{\text{風險下維護成本}} + \underbrace{E(RC)}_{\text{損害重建成本}} + \underbrace{E(UC)}_{\text{用路人成本}}$$

E_{Bij}(Cost): Bridges Expected Cost，為第i年第j座橋梁之風險期望成本(j為同一管理單位之橋梁)。

E(MC):Maintenance Cost，為風險下維護成本。

E(RC): Rebuilding Cost，為橋梁在未維修狀態下因地震或洪水損害造成之重建成本。

E(UC):User Cost，因災害發生，造成橋梁中斷完全改道或是維護部分改道之用路人成本。

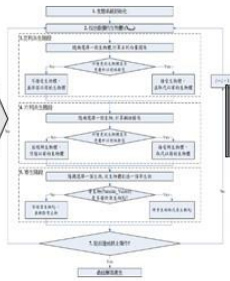
橋梁保全評估與養護經費決策支援

群橋維修策略概念

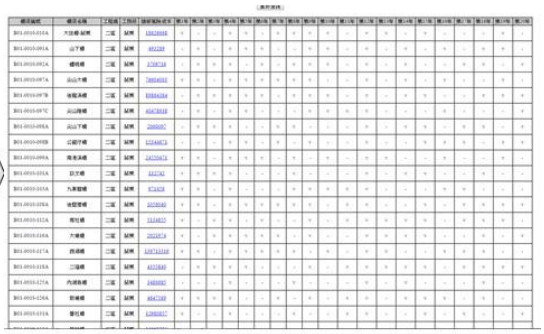
輸入

- 工程處經費限制
- 維護工法成本 $E(MC)_5$、..$E(MC)_{20}$
- 損害重建成本 $E(RC)_5$、..$E(RC)_{20}$
- 用路人成本 $E(UC)_5$、..$E(UC)_{20}$
- 群橋維修組合

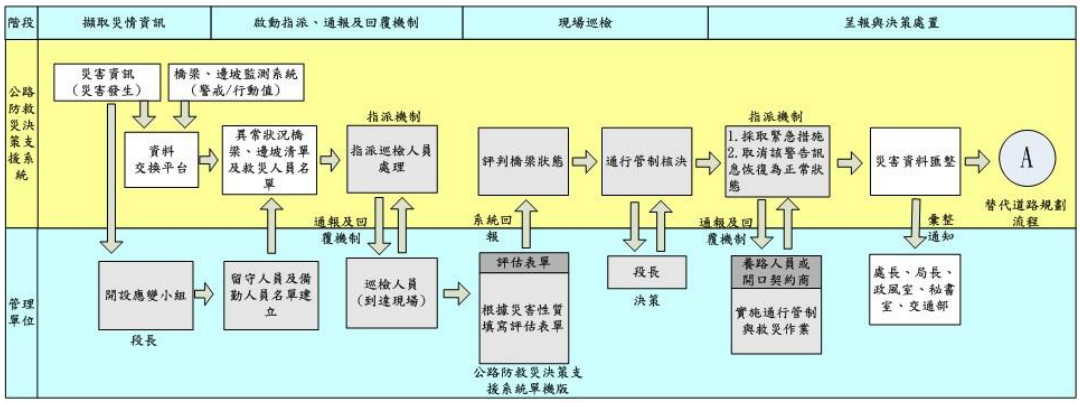
最佳化搜尋(SOS)



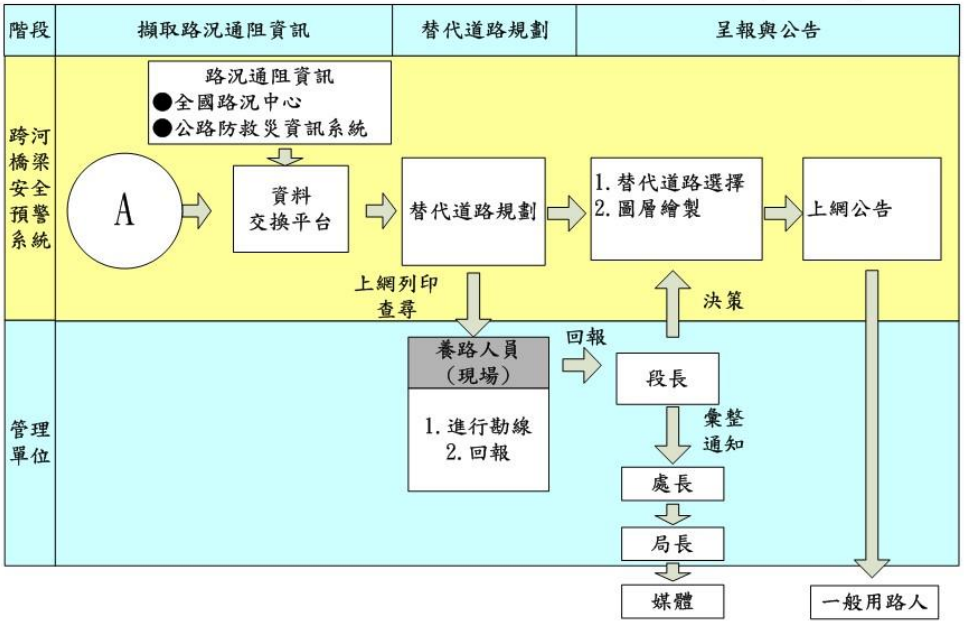
輸出:群橋維護策略最佳方案



系統功能-自動通報機制(1/2)



系統功能-自動通報機制(2/2)



參、執行步驟

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

衰減公式與場址效應-針對0206即時站分析

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

1 前言

2 國內外各震度衰減式介紹

3 本研究採用之衰減式

(1) 新衰減式

(2) 修正係數法(原衰減式)

(3) 修正係數法(新衰減式)

(4) D值修正(文獻方法)

(5) D值修正(平均倍率法)

(6) 新衰減式(考慮誤差修正)+D值修正(平均倍率)

(7) 迴歸結果(新衰減式及震源位置修正)

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

1 前言

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

- 本研究分析所選用的資料皆為震源距離100km以內測站之資料，強震站共計246筆，即時站共計38筆。
- 在進行殘值分析時，選用PGA≥25gal以上之測站進行分析。
- 迴歸分析採用Matlab內建程式進行迴歸。

1 前言

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

本研究參照之衰減式及場址修正

本研究使用之衰減式乃採用張毓文之文獻根據Campbell所建議之衰減式進行分析，並參照文獻所建議之場址修正進行場址係數之修正。

$$Y_0 = 0.004022e^{1.75655M}(R + 0.1225e^{0.7859M})^{(-2.059)}$$

$$\ln(Y) = C_0 + C_1(Y_0)$$

Y=場址修正後之PGA
Y_0=衰減式PGA
M=芮氏規模
R=震源距離

2 國內外各震度衰減式介紹

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

- **一. Cheng et.al.(2007) 考慮軟弱場址上盤**

$$\ln(y) = -2.80 + 0.955Mw - 1.583\ln(R + 0.216\exp(0.603285Mw))$$

其中，Mw=規模矩，R=距斷層面最短距離(本研究使用點震源)

- **二. Cheng et.al.(2007) 考慮軟弱場址下盤**

$$\ln(y) = -2.85 + 0.975Mw - 1.593\ln(R + 0.206\exp(0.612053Mw))$$

其中，Mw=規模矩，R=距斷層面最短距離(本研究使用點震源)

- **三.NGA計畫:利用Vs30(平均剪力波速)反映場址效應**

NGA 計畫中的新一代強地動衰減式在規模參數上一律採用地震矩規模（Seismic Moment Magnitude, Mw），因為地震矩規模可以反應活動斷層破裂大小與地震能量釋放之關係，且無規模飽和現象，適用於地震危害度評估中，如下：

$$\ln(y) = C_1 + F_1 + \left(C_4 + C_5(Mw - 6.3)\right) \times \ln\left(\sqrt{R^2 + e^{H^2}} + phi \times \ln\left(\frac{Vs30}{1130}\right)\right)$$

y=PGA

Mw=地震矩規模

Vs30=測站地表下30公尺的平均剪力波速

- **四.黃正耀研究之衰減式:**

(1)由來:

根據Campbell(1981)所發表之衰減式，以7個芮氏規模大於4.5以上的地震資料，求得台灣地區之最大地表加速度衰減式。

(2)衰減式:

$$Y = 0.0253e^{1.5873M}\left(R + 0.3155e^{0.6165M}\right)^{(-2.3027)}$$

Y=兩水平向最大地表加速度的平均值

M=芮氏規模

R=測站至破裂面最短距離

2 國內外各震度衰減式介紹

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

- **五. 羅俊雄研究之衰減式:**

(1)由來:

利用Campbell(1981)所發表之衰減式模型，以1973年SMA-1強震網的強震記錄，建立堅硬地盤的最大地表加速度衰減公式：

$$Y = 0.0267e^{1.354M}(R + 0.2138e^{0.7499M})^{(-1.7329)}$$

M為芮氏規模;R採用震源距離(km)。

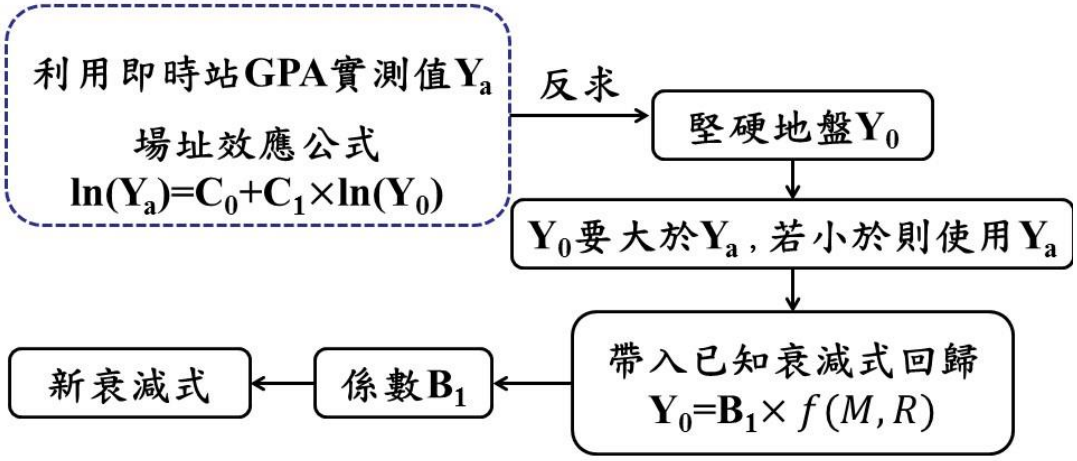
(2)衰減式:

以中央氣象局1992年後的強震記錄，建立軟弱地盤的最大地表加速度衰減公式，其採用的模型與前者相同，只是改以測站到斷層破裂面之最短距離（km）作為距離的參數，公式如下：

$$Y = 0.0267e^{1.354M}(R + 0.2138e^{0.7499M})^{(-1.7329)}$$

Y=PGA; M=芮氏規模;R=震源距離

3 本研究採用之衰減式流程- 1. 新衰減式



3 本研究採用之衰減式流程-2.修正係數法(原衰減式)

$$m=\frac{\text{即時站PGA實測值}}{\text{原衰減式即時站PGA預測值}}$$

→ m平均值、標準差

a=平均值 → a=1.276

修正係數法(原衰減式):

新預測值=a×原衰減式

3 本研究採用之衰減式流程-3.修正係數法(新衰減式)

$$m=\frac{\text{即時站PGA實測值}}{\text{新衰減式即時站PGA預測值}}$$

→ m平均值、標準差

a=平均值 → a=1.467

修正係數法(新衰減式):

新預測值=a×新衰減式

3 本研究採用之衰減式流程-4.D值修正(文獻方法)

- 利用震源距離100km之強震站及即時站之資料可得到實測與預測的比值:

$$\text{即時站Ratio} = \frac{\text{即時站實測值}}{\text{即時站預測值(原衰減+場址效應)}}$$

- 本研究參考文獻建議之D0及D1值進行分析，代入下式可得:

$$\boxed{\text{強震站預測值(原衰減式+場址效應)} \times (D_0 + D_1 \times \text{即時站}Ratio)}$$

新強震站預測值

- 若該強震站無修正係數D0及D1者，則採用測站相關性最佳者來分析

3 本研究採用之衰減式流程-5.D值修正(平均倍率法)

$$\frac{\text{各區即時站實測值}Y_0}{\text{各區即時站PGA預測值}Y\ \text{(考慮原衰減式及場址效應)}} = \boxed{\text{各區倍率D}}$$

各區平均倍率D_{ave}值

D值修正法:

各區平均倍率D_{ave}值 × 對應區域之強震站預測值

(各D值法修正之倍率請參考附檔)

3 本研究採用之衰減式流程-
6.新衰減式(考慮誤差修正)+D值修正(平均倍率)

$$\frac{\text{各區即時站實測值}Y_0}{\text{各區即時站GPA預測值}Y} = \text{各區倍率}D$$

(新衰減式(考慮誤差修正)及場址效應)

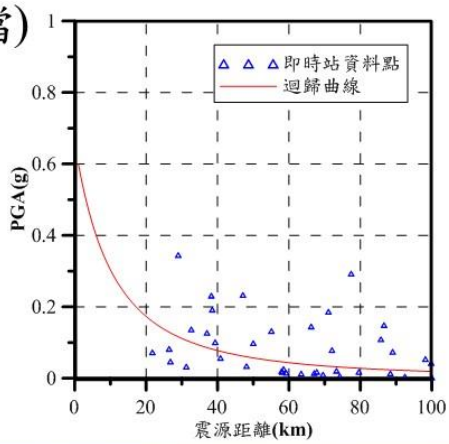
各區倍率D → 各區平均倍率D_{ave}值

新衰減式(考慮誤差修正)+D值(平均倍率):

各區平均倍率D_{ave}值 × 對應區域之強震站預測值

3 本研究採用之衰減式流程-
7.迴歸結果-新衰減式

- 篩選震源距離小於100km以內的即時站(總共38個)迴歸所得出的B_1為0.0035。詳細表請參照附檔)



4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

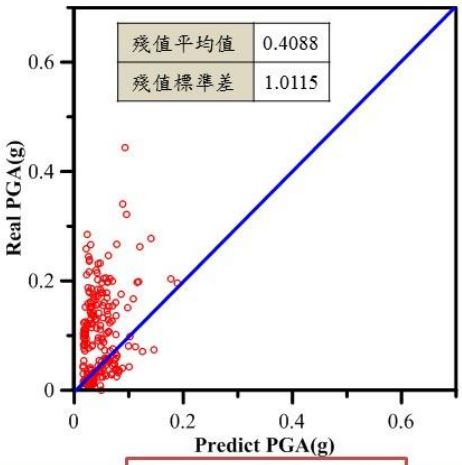
- 本研究採用殘值的方式作為判斷結果之依據。
- 殘值=$\ln(\frac{實測值}{預測值})$
- 採用實測值PGA大於25gal以上值進行分析。

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

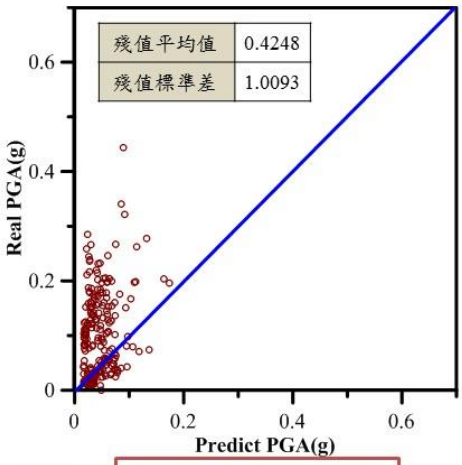
第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- Cheng et.al.(2007)之衰減式



軟弱上盤衰減式



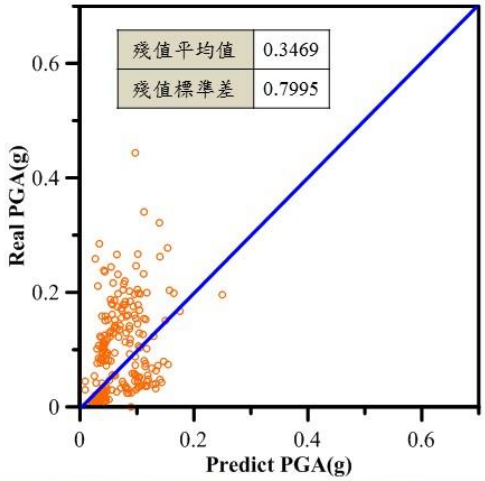
軟弱下盤衰減式

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- NGA台灣衰減式



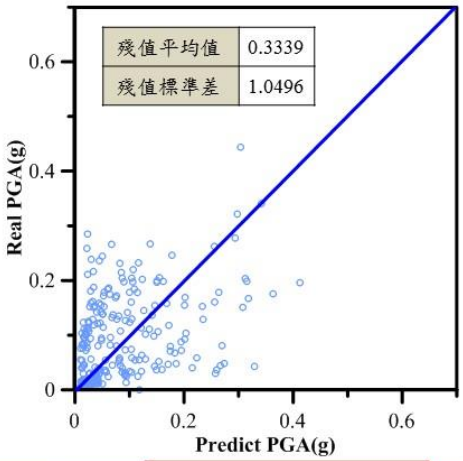
台灣科技大學營建工程系 NGA台灣衰減式 61

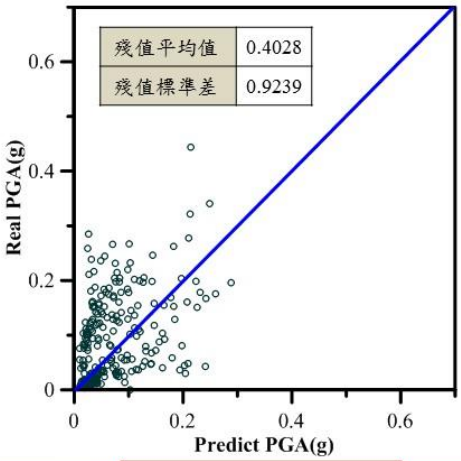
4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- 黃正耀及羅俊雄研究之衰減式





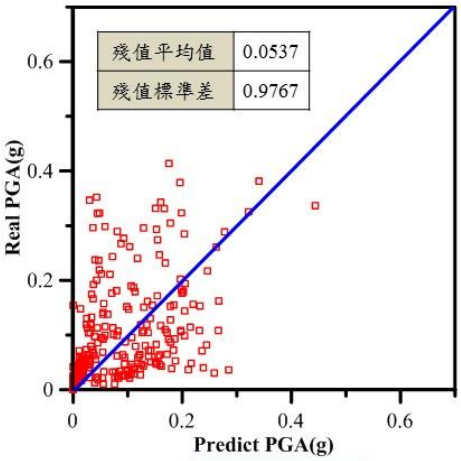
台灣科技大學營 黃正耀衰減式 羅俊雄衰減式 62

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

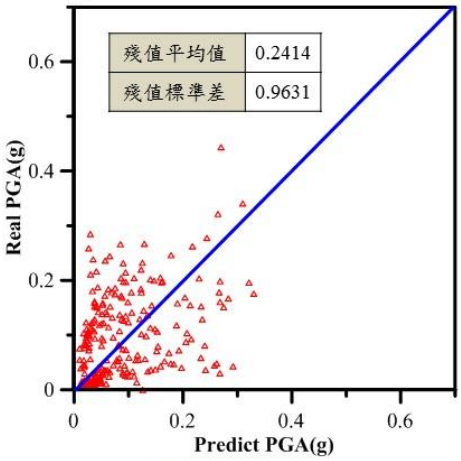
第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- 原衰減式與新衰減式之比較:



原衰減式



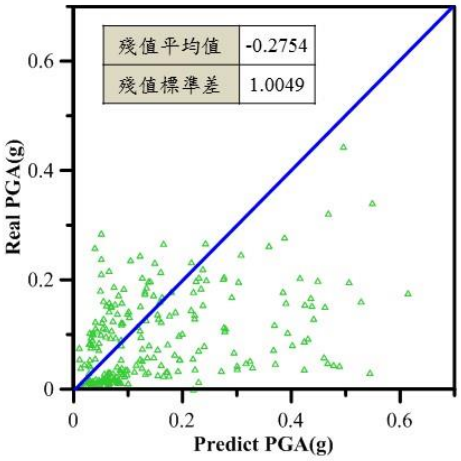
新衰減式

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

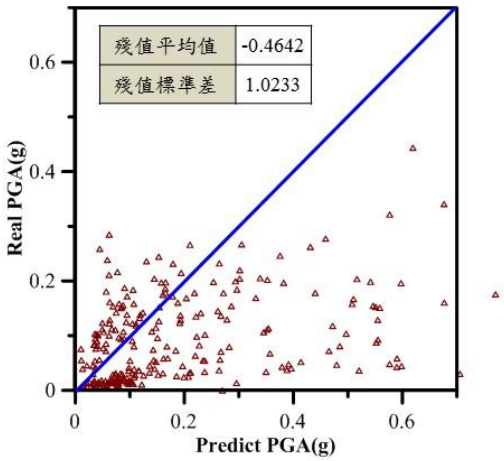
第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- 誤差修正(原衰減式及新衰減式)



原衰減式



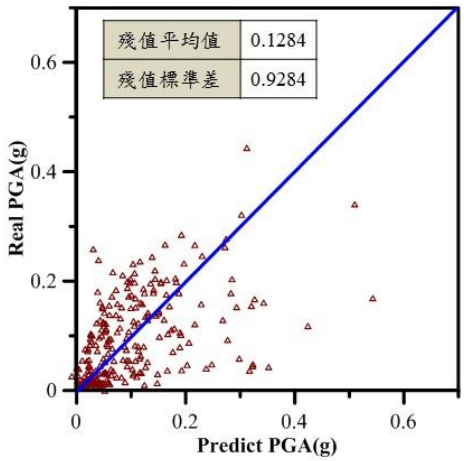
新衰減式

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- D值修正法(文獻方法)



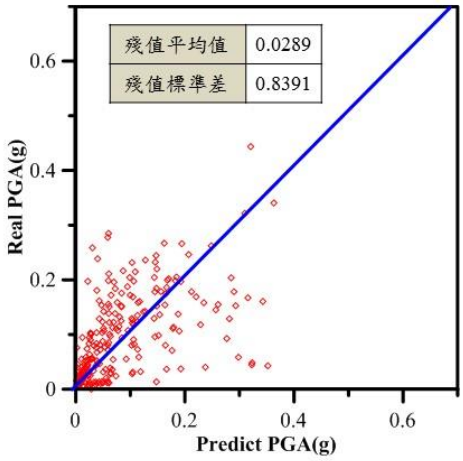
D值修正法(D_0D_1)

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- 新衰減式(考慮誤差修正)+D值修正法(平均倍率)



新衰減式(考慮誤差修正)+D值修正法(平均倍率)

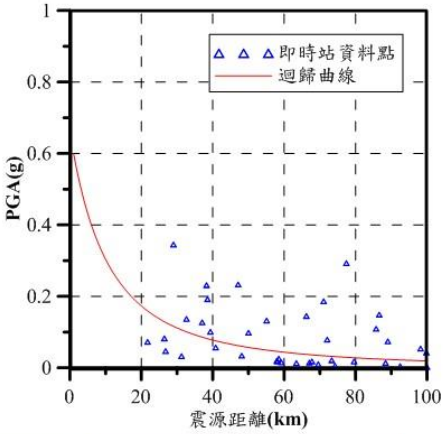
4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- 迴歸結果-新衰減式

$$Y=0.0035e^{1.75655M}(R+0.1225e^{0.7859M})^{(-2.059)}$$



迴歸係數
B_1=0.0035

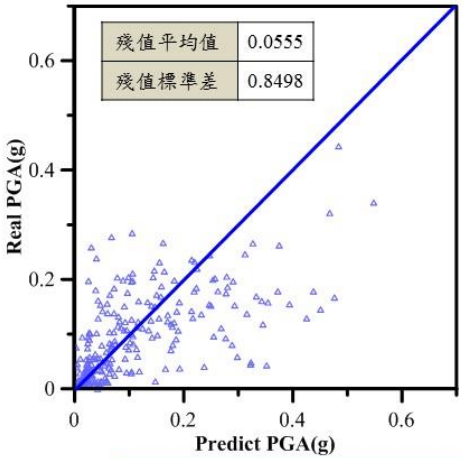
新衰減式迴歸結果

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較

- D值修正法(平均倍率)



D值修正法(平均倍率)

4 各衰減式結果之比較(殘值分析)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

各衰減式之結果比較總表

	模式名稱	殘值平均值	殘值標準差
文獻	一. Cheng et.al.(2007) 考慮軟弱場址上盤	0.4088	1.0115
	二. Cheng et.al.(2007) 考慮軟弱場址下盤	0.4248	1.0093
	三. NGA計畫:利用Vs30(平均剪力波速)反映場址效應	0.3469	0.7995
	四. 黃正耀研究之衰減式	0.3339	1.0496
	五. 羅俊雄研究之衰減式	0.4028	0.9239
本研究	1.新衰減式(不考慮誤差修正)	0.1034	0.0776
	2.修正係數法(原衰減式)	-0.2754	1.0049
	3.修正係數法(新衰減式)	-0.4642	1.0233
	4.D值修正(文獻方法)	0.1284	0.9284
	5.D值修正(平均倍率法)	0.0555	0.8498
	6.新衰減式(考慮誤差修正)+D值修正(平均倍率)	0.0289	0.8391

參、執行步驟

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

飛來鹽預測模式更新

1 飛來鹽預測模式更新-前言

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

台灣四面環海，許多沿海建築物飽受**鹽害影響**，而鹽害會進一步**造成鋼筋腐蝕**，隨服務年限增長而其結構安全性與使用性能逐漸下降。因此，掌握各構件腐蝕發生時間及發生機率，可作為工程師判斷是否補強或修復之參考。

鹽害造成鋼筋腐蝕時間預測
- 飛來鹽衰減公式
- 混凝土表面附著氯鹽公式
- 氯離子擴散方程式

日本土木研究所，1988 → 台灣本土化飛來鹽衰減公式

2 飛來鹽預測模式更新-資料蒐集 (98-103年)

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

資料蒐集（98-103年）

(1) 劣化環境資料蒐集

- 氯鹽沉積量 C_{air}、C_{start}
- 平均風速 u
- 平均雨量 w
- 混凝土表面附著氯鹽量 C_0
- 碳鋼腐蝕速率 V_{crack}

(2) 公式選用

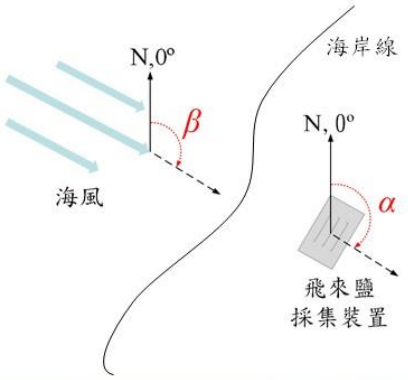
- 飛來鹽衰減公式（日本土木研究所，1988）
- 混凝土表面附著氯鹽公式（日本土木研究所，1988）
- 氯離子擴散方程式（Fick's第二定律）

3 飛來鹽預測模式更新-有效風向修正

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

有效風向修正

採集面上180˚範圍內之風速和雨量才會對鹽量有所影響
有效風向範圍係指採集器方向與風向相差之角度介於±90˚



有效風向：$e = \frac{cos(\beta-\alpha)}{100}\%$

有效風速：$u_e = u \times cos(\beta - \alpha)$ ，(m/sec)

有效雨量：$w_e = w \times cos(\beta - \alpha)$ ，(mm)

α：採集器方向

β：風向

4 飛來鹽預測模式更新-風能量與風速之關係

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

風能量與風速之關係

飛來鹽係指由海風吹拂所帶來的鹽分，
將此風帶來的能量視為風能量。

風　壓　公　式：$P = 0.5 \times \rho \times u^2$

風能量密度公式：$E = 0.5 \times \rho \times u^3$

風 壓 ∝ 風 速^2

風能量密度 ∝ 風 速^3

P：風壓(N/m²)

E：風能量密度(W/m²)

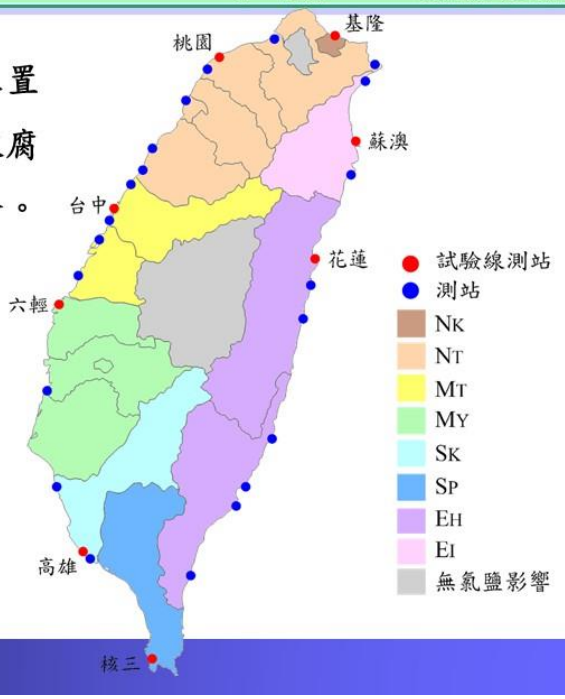
ρ：空氣密度(kg/m³)

u：風速(m/s)

5 飛來鹽預測模式更新

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

飛來鹽分布會隨著所在位置不同而有所影響，主要依腐蝕環境分區進行區域劃分。



6 飛來鹽預測模式更新

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

適用區域及建議C_{start}值、V_{crack}值

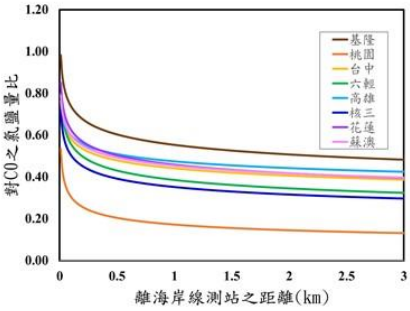
代碼	適用區域	建議C_{start}值 臨海氯鹽量（mdd）		建議V_{crack}值 碳鋼腐蝕速率（$mm/year$）		碳鋼環境腐蝕分類
		平均值	標準差	平均值	標準差	
N_K	基隆	**0.162**	0.218	**0.2630**	0.1846	C_3 - C_4
N_T	新北、桃園 新竹、苗栗	**0.406**	0.479	**0.2953**	0.1489	C_3 - C_5
M_T	台中、彰化	**0.252**	0.206	**0.1590**	0.0971	C_3 - C_5
M_Y	雲林、嘉義 台南	**0.164**	0.158	**0.2919**	0.1336	C_2 - C_5
S_K	高雄	**0.041**	0.034	**0.0974**	0.0403	C_2 - C_5
S_P	屏東	**0.190**	0.238	**0.1018**	0.0466	C_2 - C_4
E_H	花蓮、台東	**0.229**	0.185	**0.1265**	0.0413	C_3 - C_5
E_I	宜蘭	**0.148**	0.189	**0.1151**	0.0372	C_2 - C_5

碳鋼等級	腐蝕程度
C_1	非常低
C_2	低
C_3	中等
C_4	高
C_5	非常高

7 飛來鹽預測模式更新-C_0與距離的衰減式

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

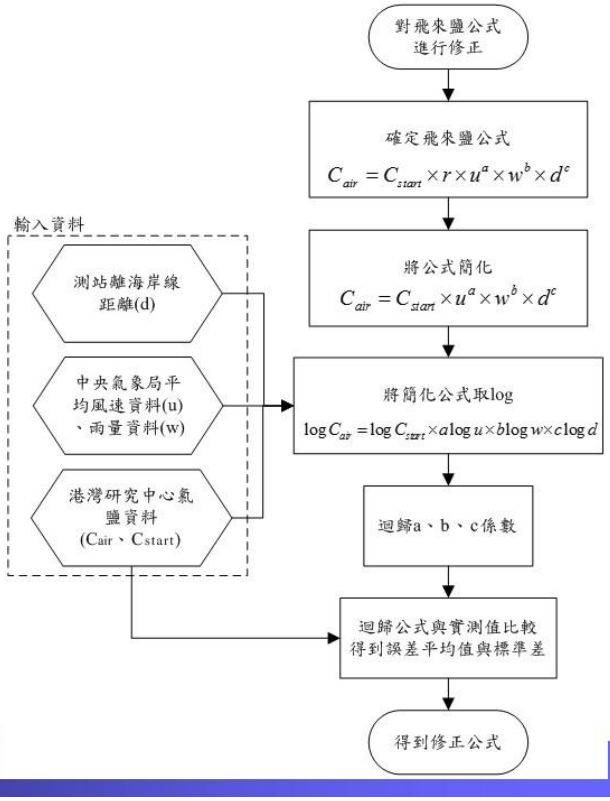
測站	C_0與距離之衰減式	R^2 判定係數	誤差平均值	誤差標準差
基隆	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.5542 \times d^{-0.1243}$	0.087	0	1.1079
桃園	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.1733 \times d^{-0.2454}$	0.45	0	0.7302
台中	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.4418 \times d^{-0.1189}$	0.188	0	0.7295
六輕	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.3855 \times d^{-0.1590}$	0.288	0	0.7822
高雄	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.4752 \times d^{-0.1013}$	0.183	0	0.5247
核三	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.3521 \times d^{-0.1553}$	0.246	0	0.7378
花蓮	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.4587 \times d^{-0.1341}$	0.234	0	0.5129
蘇澳	$\frac{C_{air}}{C_0} = 0.4541 \times d^{-0.1200}$	0.207	0	0.6926



$Cair$：氯鹽量（mdd）
C_0：最近海岸線測站之鹽量（mdd）
d ：離岸距離(km)

8 飛來鹽預測模式更新

飛來鹽公式修正程序



9 飛來鹽預測模式更新-飛來鹽衰減公式修正

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

選用公式：$C_{air} = C_{start} \times r \times u^a \times d^b$ [日本土木研究所, 1988]

既有公式：$C_{air} = C_{start} \times u^a \times d^b$ [邱建國、涂豐鈞, 2012]

修正公式：$C_{air} = C_{start} \times u^a \times w^b \times d^c$ [本研究, 2016]

修正公式取log：$\log C_{air} = \log C_{start} + a \log u + b \log w + c \log d$

已知數

- C_{air}：飛來氯鹽量(mdd)
- C_{start}：臨海氯鹽量(mdd)
- d：離岸距離(km)
- u：風速(m/s)
- w：雨量(mm)

a：風速係數 — 風速平方，a=2；風速立方，a=3

b：雨量係數

c：距離係數

迴歸

9 飛來鹽預測模式更新-飛來鹽衰減公式修正

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

本研究: 採用飛來鹽衰減公式

飛來鹽迴歸公式		R^2 判定係數	誤差平均值	誤差標準差
A	$C_{air} = 0.02 \times C_{start} \times u^2 \times w^{0.1817} \times d^{-0.0997}$	0.1783	0	0.9791
B	$C_{air} = 0.004 \times C_{start} \times u^3 \times w^{0.2855} \times d^{-0.0997}$	0.1585	0	1.2159

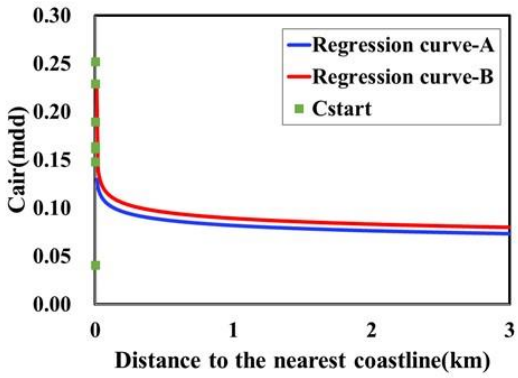
C_{air}：飛來氯鹽量（mdd）
C_{start}：臨海氯鹽量（mdd）
u：風速(m/s)　w：雨量(mm)
d ：離岸距離(km)

分別代入春夏秋冬之風速、雨量求出四個季節之C_{air}，再取平均得到整年平均C_{air}。

9 飛來鹽預測模式更新-飛來鹽衰減公式修正

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

本研究公式預測值與實際量測值之比較



2009-2014年公式預測值與實際量測值之比較

	C_{air} 預測	C_{air} 實測	實測/預測
A	0.124	0.114	0.92
B	0.150		0.76

10 飛來鹽預測模式更新-混凝土表面附著氯鹽量公式

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

氯離子濃度單位轉換

- 氯離子濃度百分比為氯離子重量相對於混凝土重量或是膠結料重量

水泥用量百分比 (%)

混凝土 $\xrightarrow{\times \frac{2323}{100}\mathrm{kg/m^3}}$

膠結料 $\xrightarrow{\times \frac{400}{100}\mathrm{kg/m^3}}$

混凝土單位重 ($\mathrm{kg/m^3}$)

- AASHTO規範指出，若不知真實的混凝土單位重，可直接假設為2323 $\mathrm{kg/m^3}$。
- 1$\mathrm{m^3}$混凝土中，大約有400公斤膠結料。

11 飛來鹽預測模式更新-混凝土表面附著氯鹽量公式

第三階段-TRENDS橋梁模組更新與驗證

- [詹穎雯及陳育聖,2010]

經驗公式： $C_0 = 0.440 \times C_{air}(\%)$

C_0 ：混凝土表面附著氯鹽量（%）
C_{air}：飛來鹽量（mdd）

- 文獻中氯離子濃度為相對於混凝土重之濃度，已知混凝土重為2200 kg/m^3 ，經單位轉換後：

經驗公式： $C_0 = 9.68 \times C_{air}(\mathrm{kg/m^3})$

C_0 ：混凝土表面附著氯鹽量（kg/m^3）
：飛來鹽量（mdd）

實際結構物中，雨水刷洗之效應會影響到表面氯離子量，在有效雨量高之區域，雨水刷洗作用較為嚴重；而有效雨量不高之區域，其雨水刷洗效應相對減少。
故此公式只適用於桃園竹圍以南至苗栗白沙屯區域。

參、執行步驟

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

1 確認「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

配合「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」

(1) 建立該橋梁的有限元素模型(無沖刷，含功能性支承)

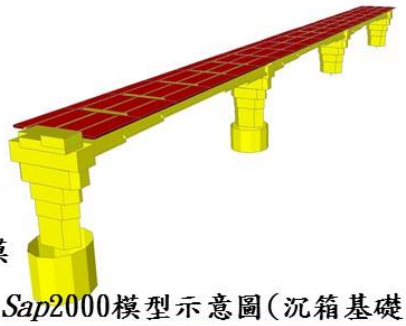
(2) 選擇土壤彈簧模式

(3) 取得現地量測墩柱的振動頻率

(4) 比較數值與現地量測頻率確認最適合的土壤數值模式

(5) 探討微型加速度計可行性

回饋「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」



*Sap*2000模型示意圖(沉箱基礎)

2 尖山大橋-不同土壤彈簧模擬

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

候選橋梁清單

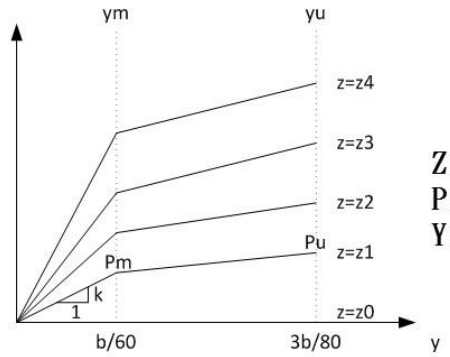
配合「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」選取之橋梁

No	縣市	工程處工務段	橋名	橋墩基礎	路段	地質鑽探清單/水位站
1	苗栗縣頭份鎮	第二區養護工程處苗栗工務段	尖山大橋	沉箱基礎	臺1線	不同土壤彈簧模擬
2	南投縣竹山鎮	第二區養護工程處南投工務段	名竹大橋	樁基礎	臺3線	功能性支承墊分析

2 尖山大橋-不同土壤深度外力與位移關係

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

土壤深度(Z)不同時，具有不同的外力(P)與位移(Y)的關係。



Z:不同土壤深度
P:外力
Y:位移

靜態或循環加載之雙線性 p-y曲線
(Parker and Reese 1971)
(Reese and Van Impe 2011)

2 尖山大橋-現地頻率

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

不同土壤模型與現地量測頻率比較表

不同土壤模型	土壤模型 Freq. (x)	現地量測 Freq. (x)	土壤模型 Freq. (y)	現地量測 Freq. (y)
Taiwan Code	1.13	~3.08	2.84	~2.73
Parker and Reese (1971)	0.773		1.342	
Reese (2011)	1.035		2.26	

在y方向(水流方向)現地量測結果與土壤模型較接近

3 名竹大橋-功能性支承墊分析

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

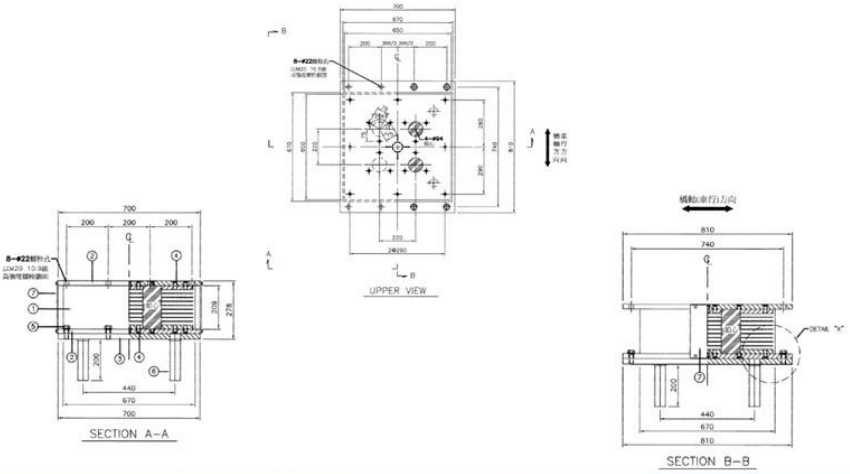
配合「橋梁耐震能力與檢測評估分析模式之建立研究(2/2)」選取之橋梁

No	縣市	工程處工務段	橋名	橋墩基礎	路段	計畫內容
1	苗栗縣頭份鎮	第二區養護工程處苗栗工務段	尖山大橋	沉箱基礎	臺1線	不同土壤彈簧模擬
2	南投縣竹山鎮	第二區養護工程處南投工務段	名竹大橋	樁基礎	臺3線	功能性支承墊分析

3 名竹大橋-鉛心橡膠支承 (LRB) 支承墊

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

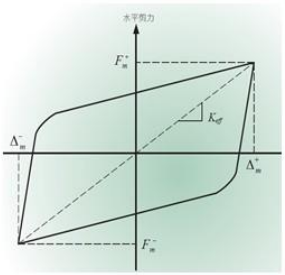
名竹大橋之鉛心橡膠支承（LRB）支承墊



3 名竹大橋-(LRB) 之模擬

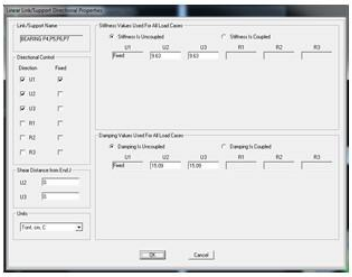
第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

名竹大橋鉛心橡膠支承（LRB）之模擬程序



等效阻尼

SAP2000參數輸入



SAP2000參數輸入

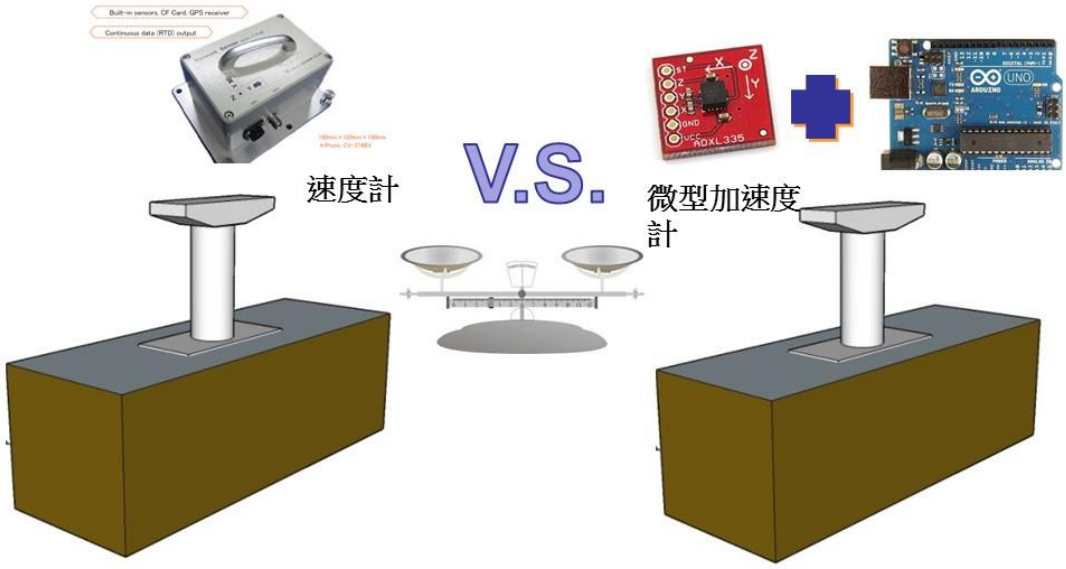
無LRB ： 2.59 Hz（1st mode）

有LRB ： 0.88 Hz（1st mode）

如橋梁採用LRB將明顯降低振動頻率，需進一步驗證橋面版比值能否取代帽梁比值

4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性

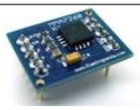
第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證



4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

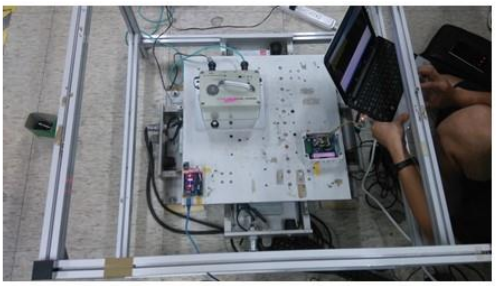
目前市售的微型加速度計

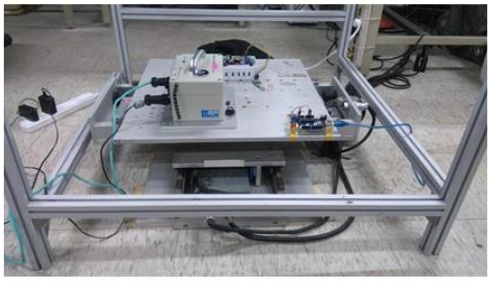
SANLIEN 00EA-SL	MicroStrain G-Link series
	
Sparkfun ADXL335	ITEM-29
	
MMA8451Q	
	

4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性

第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

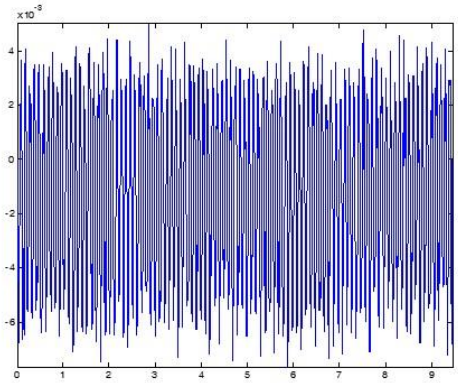
室內試驗儀器設定



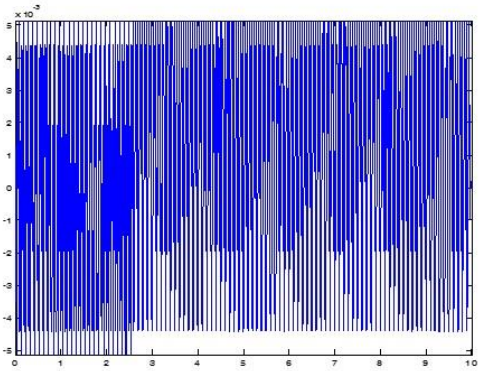


於台灣大學土木系呂良正教授的研究室進行試驗的配置
左圖中可以看見三個儀器，上方為港研之速度計，右方為ADXL335之微型加速度計(因解析度不夠，之後停止開發)，左下方為MMA8451Q微型加速度計。

室內試驗之輸入：振動源為簡諧運動

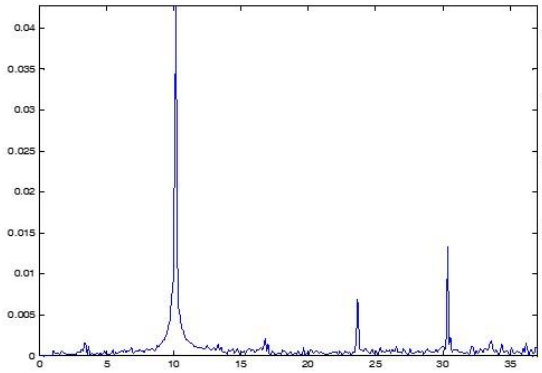


微型加速度所量得之位移歷時(秒 vs. cm)

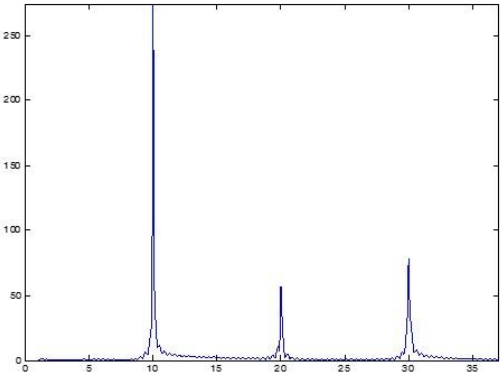


速度計所量得之位移歷時(秒 vs. cm)

室內試驗分析後之頻譜：振動源為簡諧運動

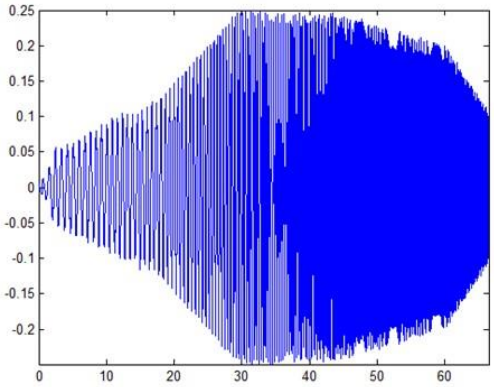


微型加速度所量得之頻譜

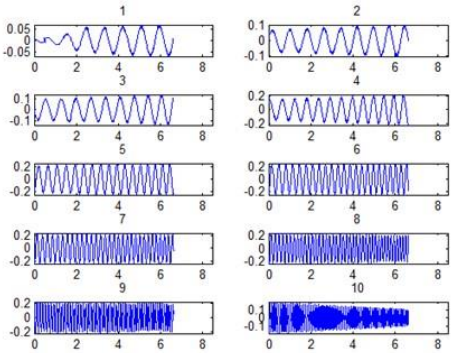


速度計所量得之頻譜

室內試驗之輸入：振動源為人工地震



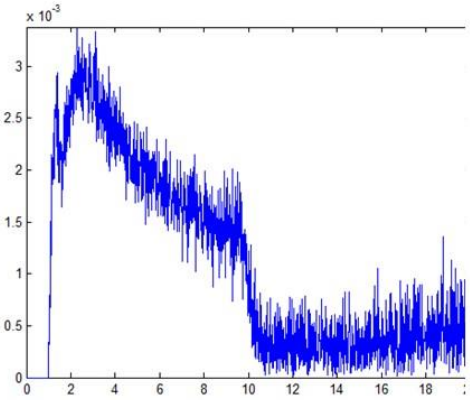
國震抗震杯之地震輸入



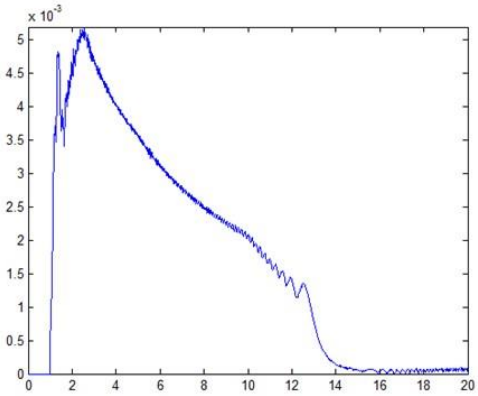
EMD分解後之結果

4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性
第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

室內試驗分析後之頻譜:振動源為人工地震



微型加速度所量得之頻譜



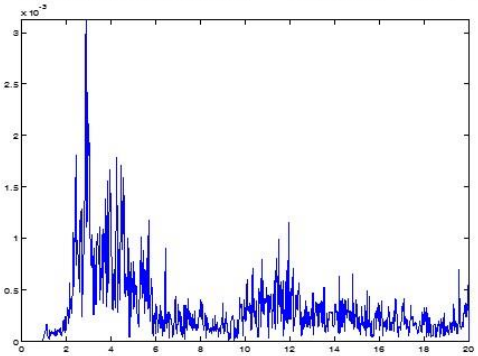
輸入之頻譜

4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性

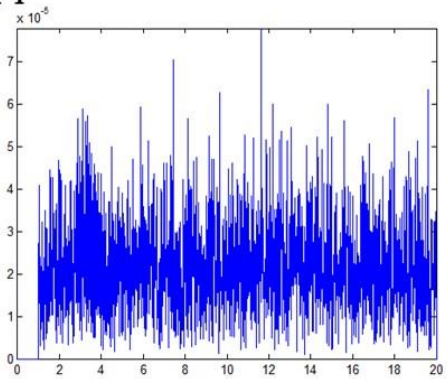
第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

速度計與微型加速度計**室外試驗**分析後之頻譜比較

振動源:微震動，頻譜分析方法:FFT



速度計所量得之頻譜



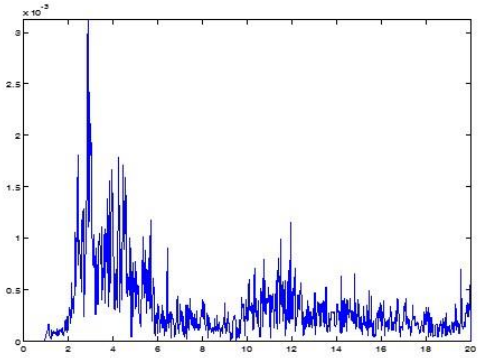
微型加速度所量得之頻譜（FFT）

4 評估微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性

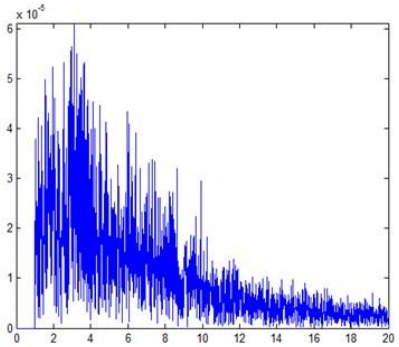
第四階段-TRENDS耐震能力與檢測評估分析驗證

速度計與微型加速度計**室外試驗**分析後之頻譜比較

振動源:微震動，頻譜分析方法:HHT



速度計所量得之頻譜



微型加速度所量得之頻譜（HHT）

HHT較FFT受雜訊影響小，其適用性需再進一步評估

參、執行步驟

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

1 擬定橋梁耐震與耐洪分析之需求欄位

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

彙整評估式過程中所需要的輸入參數，如**1.橋梁耐震能力評估(側推分析)**、**2.沉箱基礎耐洪安全評估**、**3.樁基礎耐洪安全評估**分析模式所需參數

橋梁側推分析模式所需參數(節錄)

編號	參數	編號	參數
1	橋梁型式	.	.
2	橋跨數	76	被動土壓力係數(kp)
3	總橋長(m)	77	κ: 阻尼折減係數
4	橋墩跨徑(m)	78	α_{pi}：容量震譜中任一點處譜加速度
5	不透風護欄高(m)	79	B_S：短週期結構之阻尼比修正係數
6	混凝土單位重(t/m^3)	80	B_1：一秒週期結構之阻尼比修正係數
7	箱型梁長度(m)	81	β_{basic} (ζ) :初始有效阻尼比(%)
8	箱型梁寬度(m)	82	Fa：反應譜等加速度段之工址地盤放大係數
9	箱型梁高度(m)	83	Fv：反應譜等速度段之工址地盤放大係數
10	箱型梁混凝土抗壓強度(kgf/cm2；MPa)	84	S_S^D：震區堅實地盤短週期之設計地震水平譜加速度係數

沉箱基礎耐洪安全評估分析模式所需參數(節錄)

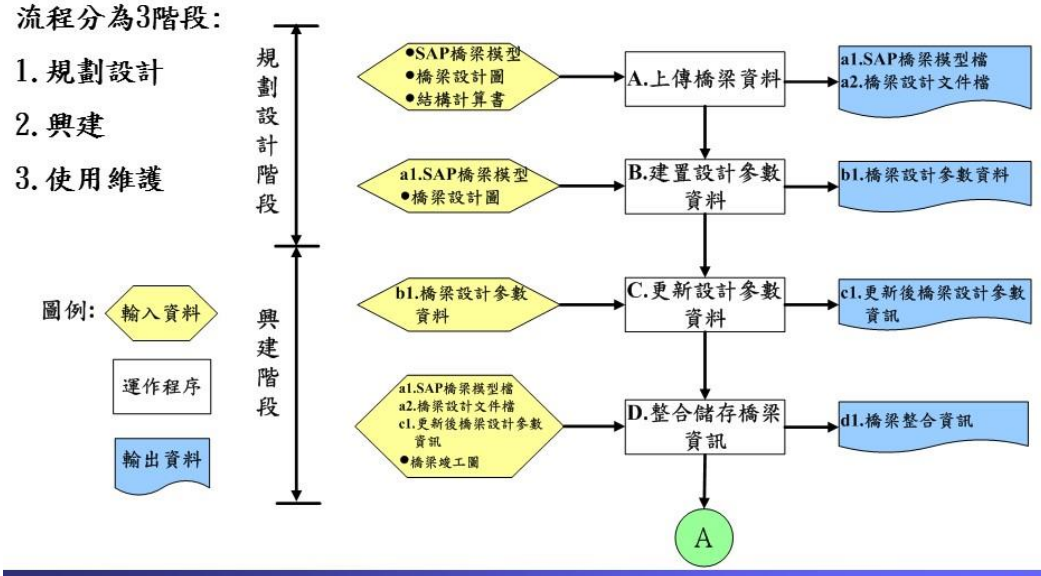
編號	參數	編號	參數
1	主動土壓力係數(ka)	.	.
2	被動土壓力係數(kp)	24	沉箱長度(m)
3	沉箱基礎底面之形狀因素(α)	25	沉箱全斷面積(m^2)
4	沉箱基礎底面之形狀因素(β)	26	沉箱內填物斷面積(m^2)
5	沉箱支承力因素(Nc)	27	橋墩水流作用力常數
6	沉箱支承力因素(Nq)	28	沉箱水流作用力常數
7	沉箱支承力因素(Nr)	29	沉箱厚度(m)
8	承載層土壤單位重(t/m^3)	30	水位(m)
9	承載層土壤凝聚力	31	流速(m/s)
10	承載層土壤摩擦角	32	沖刷深度(m)

2 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合模式流程(1/3)

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

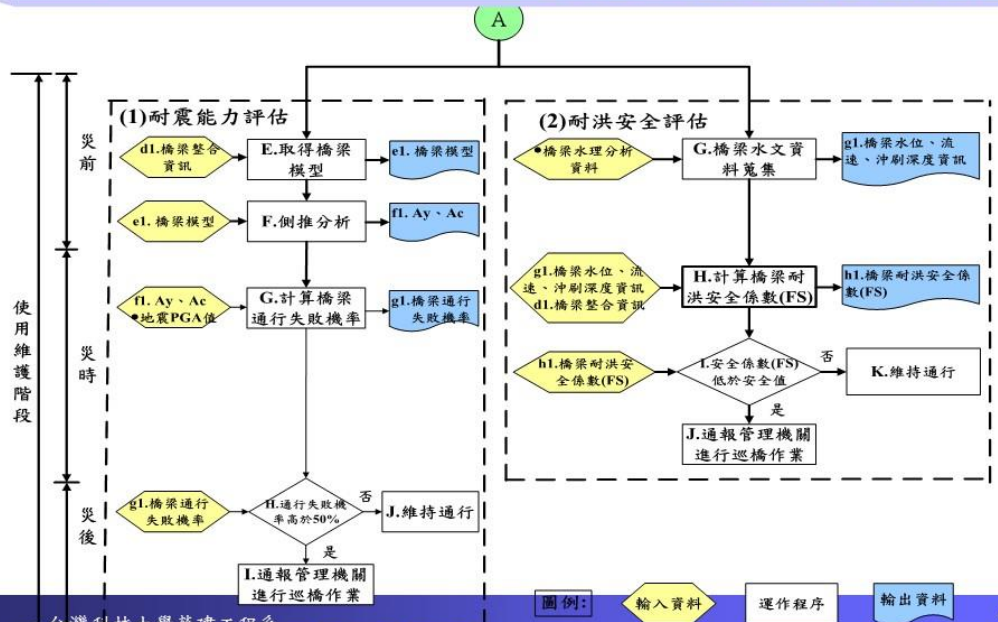
流程分為3階段:

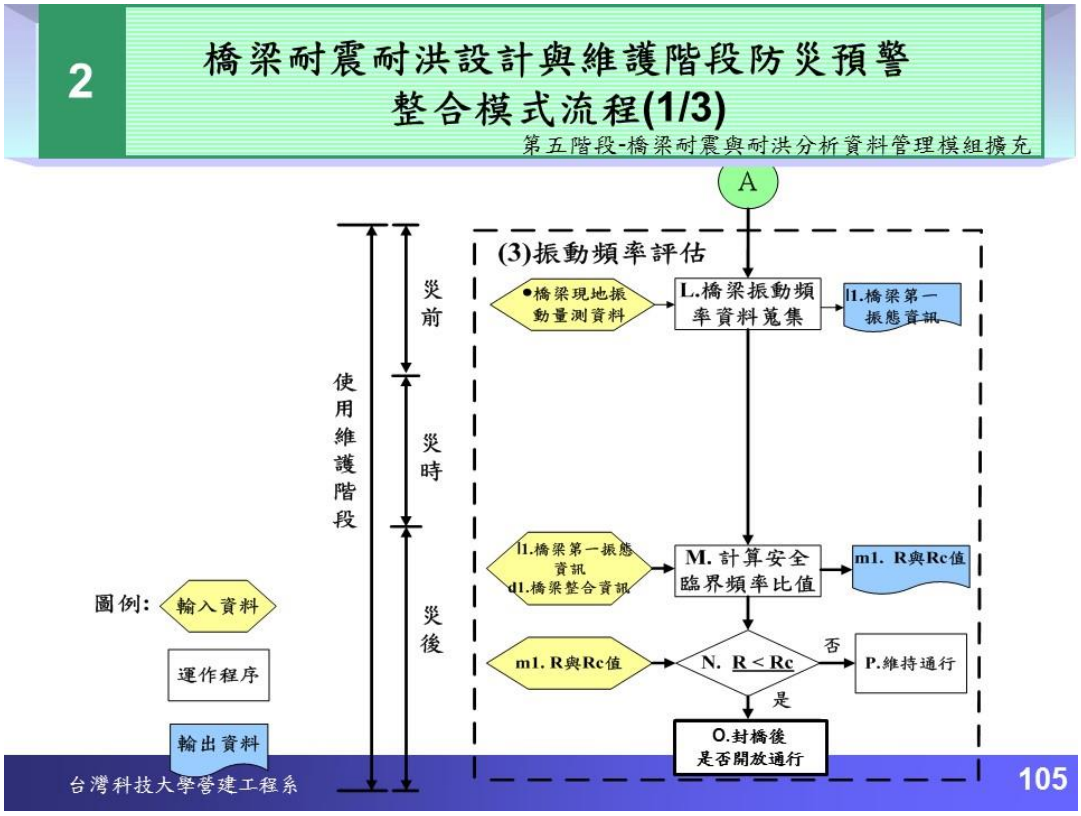
1. 規劃設計
2. 興建
3. 使用維護

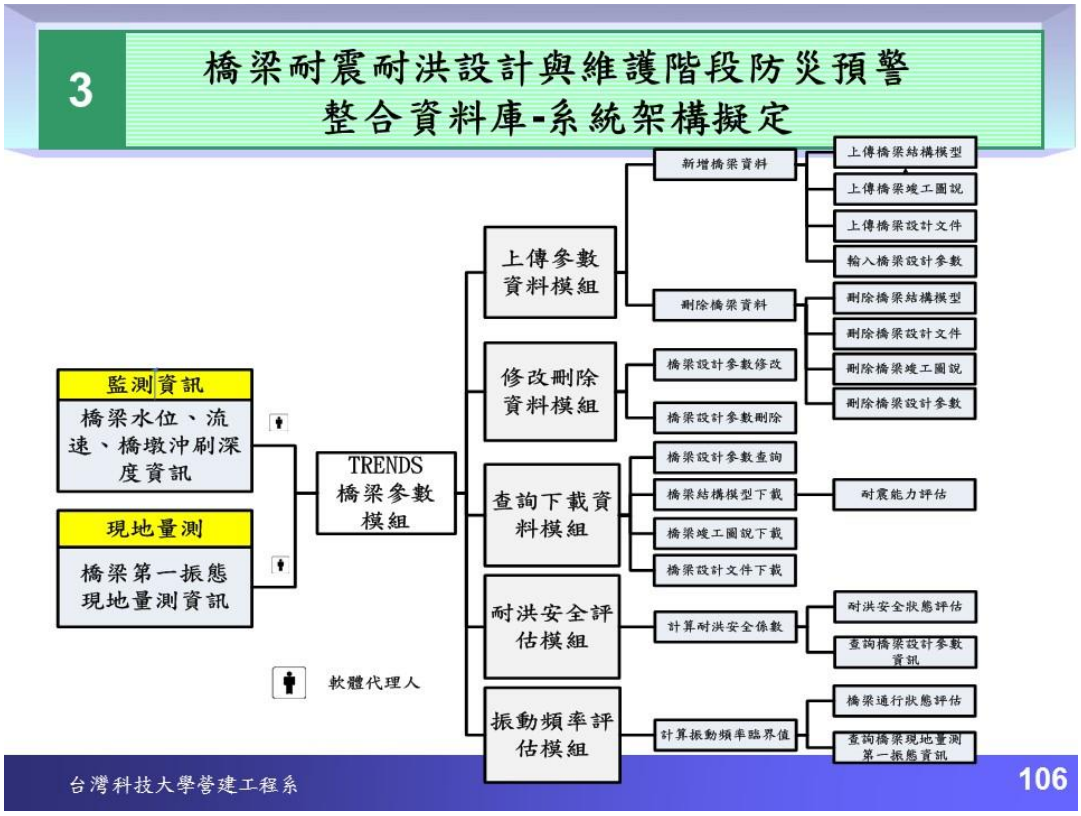


2 橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合模式流程(1/3)

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充




2
橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警
整合模式流程(1/3)
第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充
A
(3)振動頻率評估
●橋梁現地振動量測資料
L.橋梁振動頻率資料蒐集
l1.橋梁第一振態資訊
l1.橋梁第一振態資訊
d1.橋梁整合資訊
M. 計算安全臨界頻率比值
m1. R與Rc值
m1. R與Rc值
N. R < Rc
否
P.維持通行
是
O.封橋後是否開放通行
災前
災時
災後
使用維護階段
圖例:
輸入資料
運作程序
輸出資料
台灣科技大學營建工程系
105

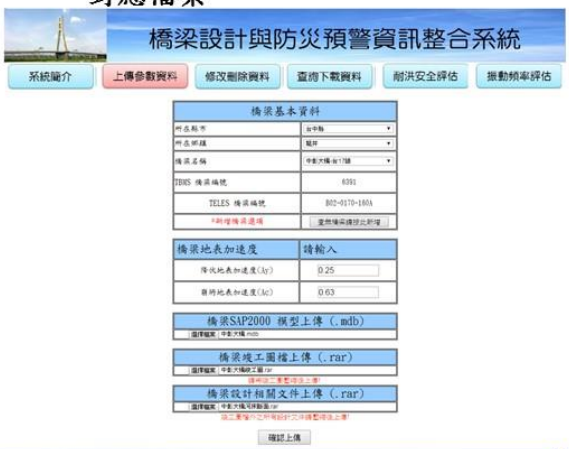

3
橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警
整合資料庫-系統架構擬定
監測資訊
橋梁水位、流速、橋墩沖刷深度資訊
現地量測
橋梁第一振態現地量測資訊
TRENDS
橋梁參數模組
上傳參數資料模組
新增橋梁資料
上傳橋梁結構模型
上傳橋梁竣工圖說
上傳橋梁設計文件
輸入橋梁設計參數
刪除橋梁資料
刪除橋梁結構模型
刪除橋梁設計文件
刪除橋梁竣工圖說
刪除橋梁設計參數
修改刪除資料模組
橋梁設計參數修改
橋梁設計參數刪除
查詢下載資料模組
橋梁設計參數查詢
橋梁結構模型下載
耐震能力評估
橋梁竣工圖說下載
橋梁設計文件下載
耐洪安全評估模組
計算耐洪安全係數
耐洪安全狀態評估
查詢橋梁設計參數資訊
振動頻率評估模組
計算振動頻率臨界值
橋梁通行狀態評估
查詢橋梁現地量測第一振態資訊
軟體代理人
台灣科技大學營建工程系
106

4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

以中彰大橋為範例，可上傳橋梁結構模型與資料至資料庫中，並匯出進行重新分析。

1. 結構設計單位備妥橋梁模型mdb檔，與各項需上傳圖說檔案。

2. 選擇上傳參數資料模組，上傳對應檔案。



4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

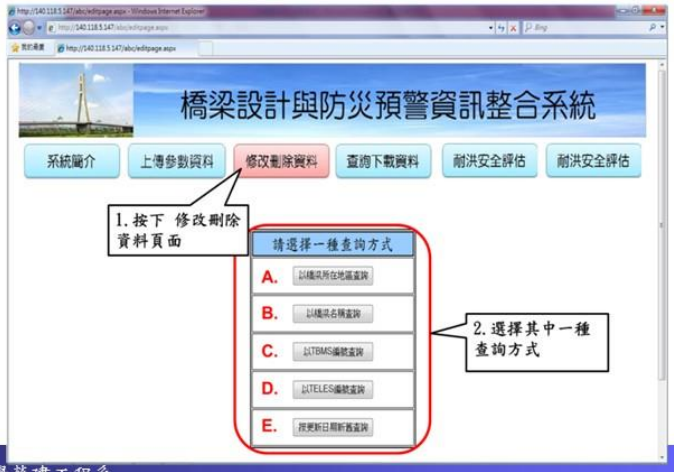
3. 系統將根據所上傳之結構模型檔案自動帶入相關欄位資料，不足之處需由設計單位補充填入。

4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

4.確認完成輸入後，可點選確認上傳按鈕。

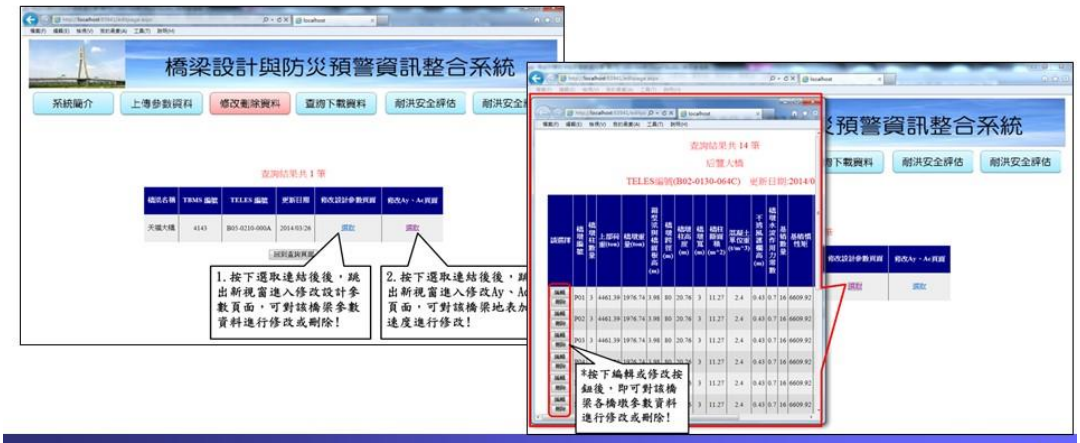
4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

5.修改刪除資料模組，提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行修改與刪除。



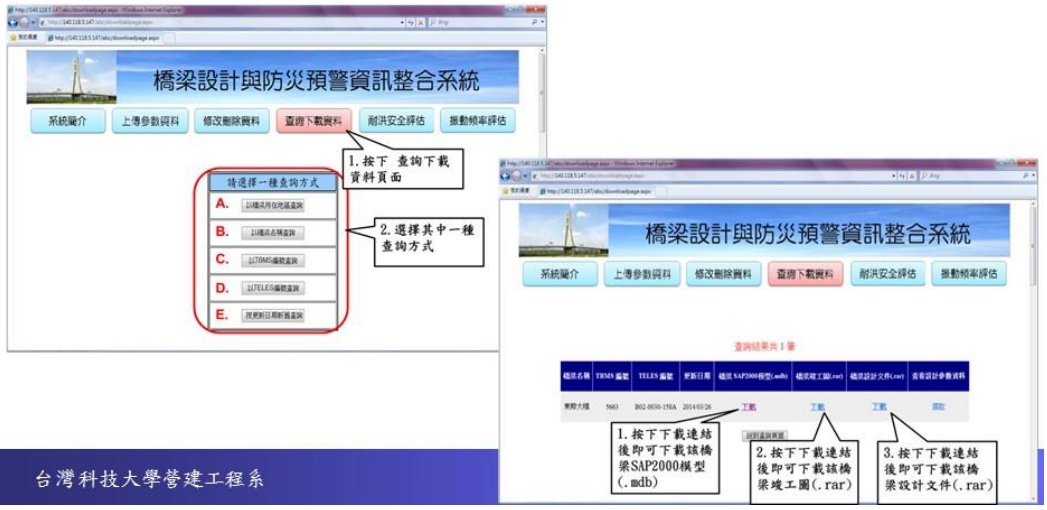
4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

6.查詢成功後，按下修改設計參數或修改Ay、Ac頁面連結後，使用者可進行資料修改或刪除。



4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

7.查詢下載資料模組，提供橋梁管理單位針對已輸入之橋梁設計參數資料進行下載，並可使用結構模型重新分析。

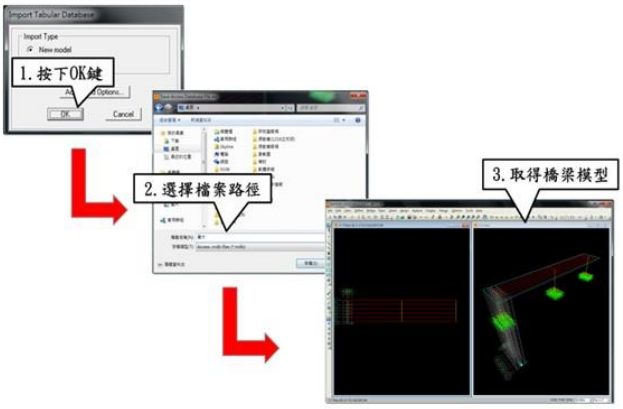


4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

8.可點選連結下載橋梁SAP2000模型，下載完成檔案為(.mdb)格式，接著開啟SAP2000軟體，在軟體工具列中選擇File/Import/SAP2000 MS Access Database.mdb File，匯入橋梁結構模型

4 選取中彰大橋設計參數為例-進行維護管理耐震能力評估

9.結構設計單位即可以所匯入之結構模型重新進行分析。



匯入橋梁結構模型

5 選取后豐大橋設計參數為例-進行維護管理耐洪能力評估

耐洪安全評估頁面

系統將先自動更新河川資訊(水位、流速與沖刷深度)，接著計算橋梁耐洪安全係數

橋梁耐洪安全評估計算(即時)

5 選取后豐大橋設計參數為例-進行維護管理耐洪能力評估

詳細參數與受力資料

6 訪談公路總局-公路防災中心

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

時間：105年10月20日上午10:00
地點：公路總局三樓應變中心
公路總局：孟伯鈞、賴佳聖、延允中、廖毅哲、徐世軒
港研中心一科：謝明志、林雅雯
臺灣科技大學：鄭明淵、廖國偉、吳育偉

6 訪談公路總局-公路防災中心

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

1.地震方面:現行警報機制，後續研究是否需要改進與配合?

目前機制為依震度分析結果，找出各路段超過震度4級之橋梁，再沿線巡檢，非直接以橋梁通行失敗機率順序跳點巡查。

建議未來研究方向:

依1.橋梁受損狀況

2.重要性

進行排序，提供優先巡檢之路線方案。

2.洪水方面:現行洪水封橋機制，研究需要配合或改進之處?

已將大甲溪分析結果提供公路總局介接，建議TRENDS系統移除帳號認證機制，由公路總局BOBE帳號控管機制即可。未來可找尋其他河系，如高屏溪，因為目前發現二區工程處的流域在近幾年颱洪事件雨量、流量較小。

6 訪談公路總局-公路防災中心

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

3.橋梁振動頻率方面:目前研究將分別針對可移動式、固定式兩方向分別進行探討，公路管理單位之傾向為?

由過去研究案(台科李維峰、中原張達德團隊)發現，固定量測維修費用較高，在計畫案結束後，硬體設備在未維護下都損壞了。

公路總局較重視基本振動振動頻率如何分析、如何過濾雜訊，對應沖刷深度變化是否有主頻走向低頻之表現。

4.橋梁振動頻率方面:下一年度橋梁振動試驗是否有建議的橋址?

建議可詢問二區工程處，目前西濱、民族與自強大橋，國家地震中心有長期裝設儀器監測。

6 訪談公路總局-公路防災中心

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

5.山區道路邊坡方面:與公路總局現行災害分析方法是否相符，後續研究方向之建議

目前公路總局已委託逢甲大學團隊在蘇花公路蒐集七百筆案例書面資料，進行零星落石與崩塌機率分析。

6.橋梁設計參數與保全評估方面:參數資料與保全評估是否可由公路總局提供基本資料，由研究團隊輸入建置與進行驗證

很多橋梁相關資料，如結構分析、鑽探資料皆未儲存在TBMS系統中。建議在設計施工階段，盡量保留施工、竣工圖、結構設計圖及鑽探資料等。

6 訪談公路總局-公路防災中心

第五階段-橋梁耐震與耐洪分析資料管理模組擴充

7.自動通報機制方面:通報名單或方法與公路總局介接，是否需修改

由TRENDS提供相關防災資訊，介接公路總局BOBE系統後，由公路總局統一通報。

8.未來研究方向建議:與公路總局未來方向是否相符，系統後續研究方向之建議(TBMS)

跨河流域橋梁目前僅針對大甲溪流域進行研究，後續如經費許可，建議選擇如高屏溪流域。

在TRENDS應用面，後續可針對地震或洪水進行災情模擬分析。

後續振動量測之建議橋梁對象，可詢問二區工程處取得詳細資料。

肆 執行進度

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月
文獻回顧與研究團隊組成										
台灣公路早期防救災決策支援系統維護營運										
TRENDS系統橋梁模組資料更新、提升精確度及驗證工作			※							
期中報告					※					
TRENDS系統耐震能力與檢測評估分析驗證工作								※		
建置網頁版橋梁耐震與耐洪分析資料管理系統										
期末報告										※
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

伍 結論與建議(1/2)

(1) 結論

提升台灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)實用性及穩定性。

TRENDS耐震與耐洪模組精確度提升，以利推廣應用至橋梁管理單位，提供防災決策輔助參考。

完成橋梁振動頻率分析模式之驗證，確認模式中土壤性質假設正確性，並釐清沖刷深度與頻率之關係。

完成微型加速度計儀器是否可做為安置於橋梁長期監控之可行性評估。

伍 結論與建議(2/2)

(2) 結論

確認橋梁使用維護階段之設計參數，建置各參數之欄位作為後續資料交換之基礎。

在橋梁設計階段系統性保存橋梁結構模型及耐洪能力評估參數，未來重新評估時，由系統自動匯出資料供分析計算模式使用。

有效保存橋梁耐震與耐洪分析參數，以利公路管理單位應用且更精確進行橋梁能力評估。

伍 結論與建議(3/3)

(2) 建議

後續階段中持續將TRENDS災情分析結果供公路總局BOBE系統介接使用，做為防災決策之參考。

目前已與BOBE系統維護廠商聯繫，將依據公路總局需求格式(XML、KML)進行資料交換。

在微型加速度計部分，Arduino架構之微型加速度仍有雜訊偏多之問題，建議後續可評估工業型加速度計之可行性(價位與量測精度)。

簡報完畢

敬請指教