

108-019-7B10
MOTC-IOT-107- H1DA001a

公路早期防救災決策支援系統及鋼 橋管理模組精進驗證



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

108-019-7B10
MOTC-IOT-107- H1DA001a

公路早期防救災決策支援系統及鋼 橋管理模組精進驗證

著 者：林雅雯

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

公路早期防救災決策支援系統及鋼橋管理模組精進
驗證 / 林雅雯著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運
研所，民 108.02

面；公分

ISBN 978-986-05-8372-4(平裝)

1.交通管理 2.決策支援系統

557

107023587

公路早期防救災決策支援系統及鋼橋管理模組精進驗證

著者：林雅雯

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)26587191

出版年月：中華民國 108 年 2 月

印刷者：采峰實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 60 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：200 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：1010800066 ISBN：978-986-05-8372-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

公路早期防救災決策支援系統及鋼橋管理模組精進驗證

交通部運輸研究所

GPN: 1010800066

定價 200 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：公路早期防救災決策支援系統及鋼橋管理模組精進驗證			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-058-372-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010800066	運輸研究所出版品編號 108-019-7B10	計畫編號 MOTC-IOT-107- H1DA001a
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：朱金元 計畫主持人：林雅雯 研究人員： 聯絡電話：04-26587191 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 107 年 01 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：公路早期防救災決策支援系統、鋼橋風險評估、橋梁振動檢測			
摘要： 由於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。有鑑於臺灣天然災害頻傳，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，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」，並逐年擴充建置臺灣公路早期防救災決策支援系統(Taiwan Road Early Nature Disaster prevention Systems, TRENDS)。本計畫建構鋼結構橋梁風險評估模式，並將鋼筋混凝土及鋼結構橋梁群橋維護成本最佳化，針對TRENDS系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，將目前有連結公路總局公路防救災資訊系統之地震通阻分析模式做一詳細紀錄，記錄其資料庫資料表欄位及程式內容，並針對一座橋梁振動量測結果進行分析，進行2次橋梁振動試驗結果進行橋墩與橋面板振動比較分析、不同時間試驗振動比較分析及橋面板不同位置振動比較分析。 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維護管理橋梁時之參考，提供維護策略。橋梁振動量測結果分析可做為後續橋梁振動檢測參考。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
108 年 2 月	170	200	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： ☐ 限閱 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】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: Maintenance and Update of TRENDS Modules			
ISBN(OR ISSN) 978-986-058-372-4(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010800066	IOT SERIAL NUMBER 108-019-7B10	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-107-H1DA001a
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chin-Yuan Chu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ya-wen Lin, PROJECT STAFF: PHONE:04-26587191 FAX:04-26564418			PROJECT PERIOD FROM Jan.2018 TO Dec. 2018
KEY WORDS:TRENDS, steel bridge risk assessment, bridge vibration inspection			
ABSTRACT: Due to the geographic characteristics of abundant mountains and rivers in Taiwan, bridges become the important linkages in the transportation network. The frequent nature disasters including earthquake, flood and debris flow lead to the lost of lives and cost of property that are hard to evaluated, especially the cost of roads' damage. We developed the Taiwan Road Early Nature Disaster prevention Systems(TRENDS) to provide the early-warning information, bridge maintenance priorities and road investigation optimized route to the bridge's maintenance organization for policy making since 2004. This study aims to keep and renew the modules of TRENDS ,build an risk assessment model for steel bridge, record the system website and database information of modules and analysis the data from a bridge vibration inspection. 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 and applied on decision support and disaster prevention in the bridge maintenance strategy. The study can provide the bridge's maintenance strategy and reference for the bridge vibration inspection.			
DATE OF PUBLICATION February 2019	NUMBER OF PAGES 170	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

公路早期防救災決策支援系統及鋼橋管理模組

精進驗證

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	IX
第一章 計畫緣起及目的	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 計畫目的	1-2
1.3 計畫範圍	1-2
1.4 研究內容與工作項目	1-2
第二章 臺灣公路早期防救災決策支援系統	2-1
2.1 系統架構	2-1
2.2 TRENDS系統於各項災害之應用情境	2-3
第三章 橋梁維護分析模式	3-1
3.1 橋梁構件老化維修風險成本計算自動化步驟	3-3
3.2 鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本計算自動化步驟	3-8
3.3 橋梁洪水沖刷風險成本計算自動化步驟	3-10
3.4 橋梁地震損傷風險成本計算自動化步驟	3-17
3.5 程式介面	3-18
3.6 橋梁綜合能力指標	3-20

3.7 群橋生命週期維護策略最佳化模式	3-23
第四章 公路早期防救災決策支援資訊系統.....	4-1
4.1 資訊系統架構.....	4-1
4.2 系統網頁及說明	4-2
第五章 橋梁振動檢測案例分析	5-1
5.1 橋墩與橋面板現地振動檢測	5-1
5.2 橋墩與橋面板現地試驗結果分析	5-2
5.3 橋面板不同位置現地試驗結果分析	5-14
5.4 第2次現地試驗結果分析	5-24
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-1
6.3 成果效益與應用情形	6-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 資料表欄位說明.....	附錄1-1
附錄二 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄2-1
附錄三 期末報告簡報資料.....	附錄3-1

圖目錄

圖2.1 TRENDS系統模組	2-2
圖2.2 災前地震破壞潛勢情境分析	2-4
圖2.3 災時地震破壞潛勢評估流程	2-4
圖2.4 地震破壞潛勢評估系統介面	2-5
圖2.5 橋梁通行失敗機率Web Service	2-6
圖2.6 橋梁通行失敗機率XML	2-7
圖2.7 與公路總局介接示意圖	2-7
圖2.8 地震分析紀錄時間XML	2-8
圖2.9 大甲溪流域管理圖	2-9
圖2.10 跨河橋梁安全預警系統畫面	2-10
圖2.11 橋梁振動頻率分析流程	2-12
圖2.12 山區道路邊坡系統畫面	2-13
圖2.13 作為耐震與耐洪分析與防災	2-14
圖2.14 混凝土橋梁風險架構圖	2-15
圖2.15 鋼結構橋梁風險架構圖	2-16
圖2.16 群橋維護成本最佳化目標式	2-16
圖3.1 橋梁構件老化維修風險評估模式程式流程圖	3-1
圖3.2 鋼結構橋梁塗裝劣化風險評估模式程式流程圖	3-2
圖3.3 橋梁洪水沖刷風險評估模式程式流程圖	3-2
圖3.4 橋梁地震維修風險評估模式程式流程圖	3-3
圖3.5 GIS套疊橋梁位置及縣市框	3-4
圖3.6 GIS套疊橋梁位置及地形模型資料	3-6
圖3.7 GIS套疊橋梁位置及河流流域	3-11
圖3.8 流量測站歷史流量圖表資料	3-12

圖3.9 橋梁構件老化風險成本模組介面	3-18
圖3.10 鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本模組介面	3-19
圖3.11 橋梁洪水維護風險成本模組介面	3-19
圖3.12 橋梁地震損傷維護風險成本模組介面	3-20
圖3.13 群橋維護成本最佳化流程圖	3-23
圖3.14 鋼橋風險評估模式流程	3-24
圖3.15 群橋最佳化應用SOS演算法程序	3-26
圖3.16 SOS演算法程序	3-28
圖3.17 橋梁維護策略示意圖	3-32
圖3.18 橋梁維護與風險管理功能	3-32
圖3.19 設定搜尋條件	3-33
圖3.20 各橋梁維修機率排序	3-33
圖3.21 群橋維護策略搜尋條件	3-33
圖3.22 一區工程處分析結果	3-34
圖3.23 各橋維護策略	3-34
圖4.1 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁	4-2
圖4.2 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁位置	4-2
圖4.3 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁資料庫	4-3
圖4.4 記錄地震分析程式路徑database.txt	4-4
圖4.5 地震_grd.txt及EL地震報告.txt位置	4-4
圖4.6 地震_grd.txt內容	4-5
圖4.7 地震報告.txt內容	4-5
圖4.8 資料表「地表加速度中央」內容	4-6
圖4.9 資料表「地震模擬器暫存資料」內容	4-7

圖4.10 橋梁地震易損曲線範例圖	4-9
圖4.11 「EarthquakeRecordTime」資料表	4-10
圖4.12 「EarthquakeRecord」資料表	4-10
圖4.13 「EarthquakeRecordHistory」資料表	4-11
圖4.14 系統提供公路總局連結Web service連結	4-12
圖4.15 系統提供公路總局連結Web service連結網頁位置	4-12
圖4.16 跨河橋梁安全預警系統網頁	4-13
圖4.17 跨河橋梁安全預警系統網頁位置	4-13
圖4.18 跨河橋梁安全預警系統網頁資料庫	4-14
圖4.19 山區道路易致災路段監測預警管制系統網頁	4-15
圖4.20 山區道路易致災路段監測預警管制系統網頁位置	4-15
圖4.21 山區道路易致災路段監測預警管制系統網頁資料庫	4-16
圖4.22 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫網頁	4-17
圖4.23 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫網頁位置	4-17
圖4.24 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫之資料表	4-18
圖4.25 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁	4-18
圖4.26 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁位置	4-19
圖4.27 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁	4-19
圖4.28 系統資料庫登入	4-20
圖4.29 系統資料庫	4-20
圖5.1 南雲大橋之試驗墩柱 (14號橋墩)	5-1
圖5.2 南雲大橋之振動試驗位置示意圖	5-1
圖5.3 橋墩與橋面板車行方向5次試驗頻率圖	5-4
圖5.4 橋墩與橋面板垂直車行方向5次試驗頻率圖	5-5
圖5.5 橋墩車行方向5次試驗頻率圖	5-8

圖5.6 橋墩垂直車行方向5次試驗頻率圖	5-9
圖5.7 橋面板車行方向5次試驗頻率圖	5-11
圖5.8 橋面板垂直車行方向5次試驗頻率圖	5-13
圖5.9 橋面板車行方向不同位置第1次試驗頻率圖	5-15
圖5.10 橋面板車行方向不同位置第2次試驗頻率圖	5-15
圖5.11 橋面板車行方向不同位置第3次試驗頻率圖	5-16
圖5.12 橋面板車行方向不同位置第4次試驗頻率圖	5-17
圖5.13 橋面板車行方向不同位置第5次試驗頻率圖	5-19
圖5.14 橋面板垂直車行方向不同位置第1次試驗頻率圖	5-20
圖5.15 橋面板垂直車行方向不同位置第2次試驗頻率圖	5-21
圖5.16 橋面板垂直車行方向不同位置第3次試驗頻率圖	5-22
圖5.17 橋面板垂直車行方向不同位置第4次試驗頻率圖	5-23
圖5.18 橋面板垂直車行方向不同位置第5次試驗頻率圖	5-24
圖5.19 橋面板車行方向第2次試驗頻率圖	5-26
圖5.20 橋面板車行方向2次試驗頻率比較圖	5-28
圖5.21 橋面板垂直車行方向第2次試驗頻率圖	5-30
圖5.22 橋面板垂直車行方向2次試驗頻率比較圖	5-31
圖5.23 橋面板10月12日車行方向不同位置試驗頻率比較圖	5-32
圖5.24 橋面板10月12日垂直車行方向不同位置試驗頻率比較圖 ...	5-34

表目錄

表3-1 橋梁老化維修案例篩選詞彙	3-5
表3-2 橋梁老化影響因子	3-6
表3-3 混凝土橋梁老化維修風險成本(部分表格)	3-7
表3-4 鋼結構橋梁老化維修風險成本(部分表格)	3-8
表3-5 鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例篩選詞彙	3-8
表3-6 鋼結構橋梁塗裝維修風險成本(部分表格)	3-10
表3-7 台灣主要河川流域洪水重現期對應SSI下降表	3-12
表3-8 橋梁洪水維修案例篩選詞彙	3-13
表3-9 橋梁洪水沖刷影響因子	3-14
表3-10 橋梁洪水維修風險成本(部分表格)	3-15
表3-11 橋梁洪水重建風險成本(部分表格)	3-16
表3-12 橋梁耐震能力影響因子	3-17
表3-13 鋼橋風險因子列表	3-21
表3-14 A橋之綜合能力指標.....	3-22
表3-15 橋梁相關參數彙整(節錄)	3-27
表4-1 系統架構.....	4-1
表5-1 橋墩與橋面板車行方向5次試驗主頻	5-2
表5-2 橋墩與橋面板垂直車行方向5次試驗主頻	5-4
表5-3 橋墩車行方向5次試驗主頻	5-6
表5-4 橋墩垂直車行方向5次試驗主頻	5-8
表5-5 橋面板車行方向5次試驗主頻	5-10
表5-6 橋面板垂直車行方向5次試驗主頻	5-12
表5-7 第2次試驗橋面板車行方向5次試驗主頻	5-25
表5-8 橋面板車行方向5次試驗主頻	5-26

表5-9 第2次試驗橋面板垂直車行方向5次試驗主頻	5-28
表5-10 橋面板車行方向5次試驗主頻	5-30

第一章 計畫緣起及目的

1.1 計畫緣起

有鑑於臺灣天然災害頻傳，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，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。本系統進行系統資料更新、提高分析準確度並與相關單位監測資料進行驗證，納入本所近期研究之分析模組及成果，並確認系統實用性及穩定性。

本所於 100 年至 103 年進行「橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發」建立單橋及群橋維修策略最佳化評估模式，針對鋼筋混凝土橋梁提出橋梁安全風險評估之規劃建議。同時考量可視老化與潛勢危害等損壞因素下，導入風險概念，並以可靠度分析方法計算橋梁風險值，最後建議合併相關檢測表單，建置本土化橋梁綜合能力評量表。計算橋梁生命週期將遭遇之災害頻率及強度，進而評估橋梁可能風險，橋梁管理單位便能有效掌握橋梁狀況與風險排序。並提出單橋維修策略最佳化評估機制，可評估單一橋梁維修方案並提出維修策略建議。輔助橋梁管理單位針對單一橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。同時考量工程處之預算限制、各橋梁健康度現況、所需維修成本、重要性及社會成本等因

素，輔助公路管理單位針對群體橋梁進行預算分配及經費估計，依不同橋梁現況有效投入經費進行維護與補強工作。在有限維護經費下考量最佳經濟效益，研擬最適維護時機與工法策略。本年度延續前期成果，建構鋼結構橋梁風險評估模式，並將鋼筋混凝土及鋼結構橋梁群橋維護成本最佳化，針對 TRENDS 系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，並針對一座橋梁振動量測結果進行分析。

1.2 計畫目的

本計畫最終的研究成果在於為進行臺灣公路早期防救災決策支援系統維護更新；鋼筋混凝土及鋼結構橋梁群橋維護成本最佳化、針對 TRENDS 系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，並針對一座橋梁振動量測結果進行分析。

1.3 計畫範圍

本計畫針對橋墩材質為鋼筋混凝土之橋梁進行研究，橋梁上部結構材質包括鋼結構與鋼筋混凝土，鋼橋橋梁風險評估模式主要為上部結構為鋼箱型梁型式，橋梁橋梁振動量測對象為鋼筋混凝土之橋梁。

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.臺灣公路早期防救災決策支援系統維護更新：

配合港灣技術研究中心進行臺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.鋼橋橋梁風險評估模式及群橋維護成本最佳化：

(1)鋼橋橋梁風險評估模式：包括鋼橋風險辨識、鋼橋風險評估模式及鋼橋維護策略。

(2) 鋼筋混凝土及鋼結構橋梁群橋維護成本最佳化。

3.整理紀錄 TRENDS 系統架構及網頁資料庫：

隨著 TRENDS 系統內容持續增加，確有必要將系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，俾利日後維護管理系統。

4.一座橋梁振動量測結果分析：

本計畫以南雲大橋 2 次現地振動量測結果為分析對象，探討其量測位置與振動頻率之關係。

第二章 臺灣公路早期防救災決策支援系統

由於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，有鑑於臺灣天然災害頻傳，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，本所於94、95年著手進行交通工程防災預警系統建立之相關研究，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)。

2.1 系統架構

有鑑於臺灣天然災害頻傳，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」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」與「跨河橋梁安全預警系統」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)』。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。如圖2.1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。

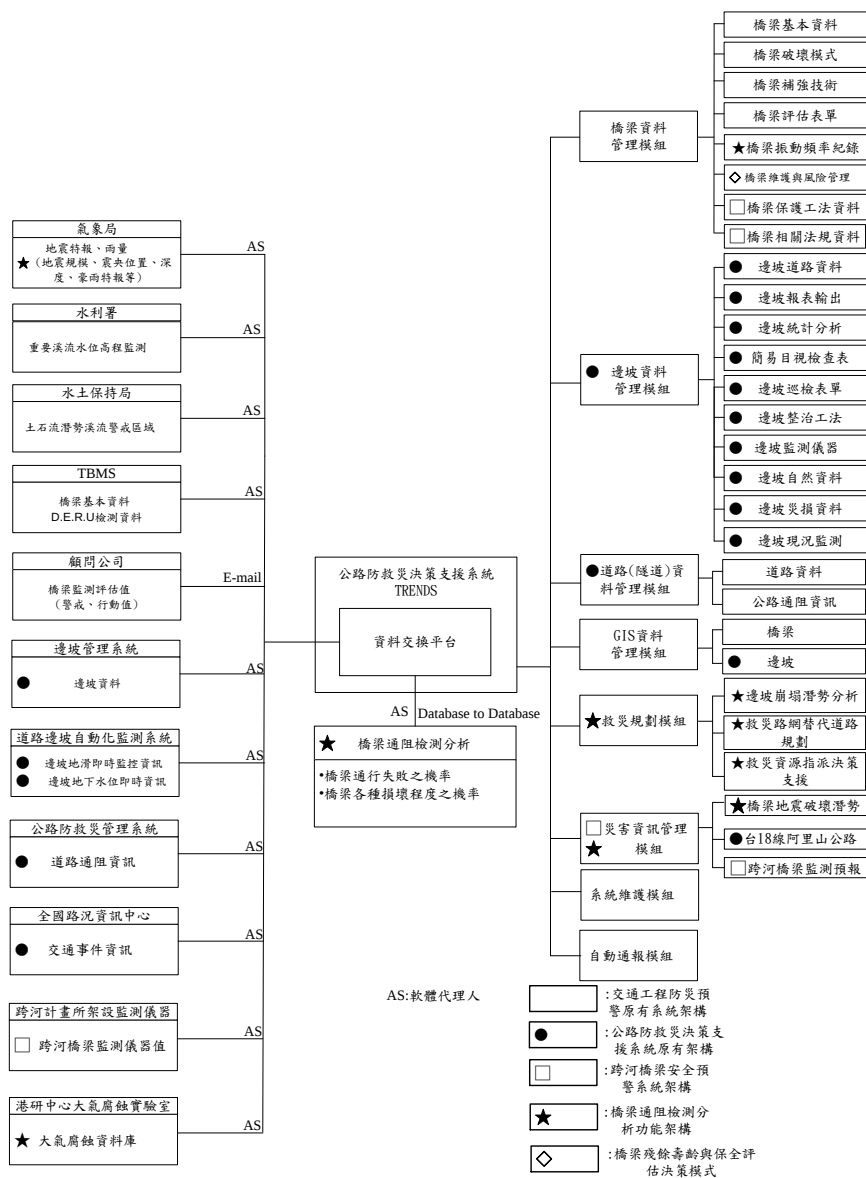


圖 2.1 TRENDS 系統模組

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。

2.2 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。

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」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 A_y 、 A_c 之映射關係，據此推論其他橋梁之 A_y 、 A_c 值，如此可求得在容許誤差內之 A_y 、 A_c 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」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(A_y 、 A_c)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 A_y 與 A_c 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。如圖2.2，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。

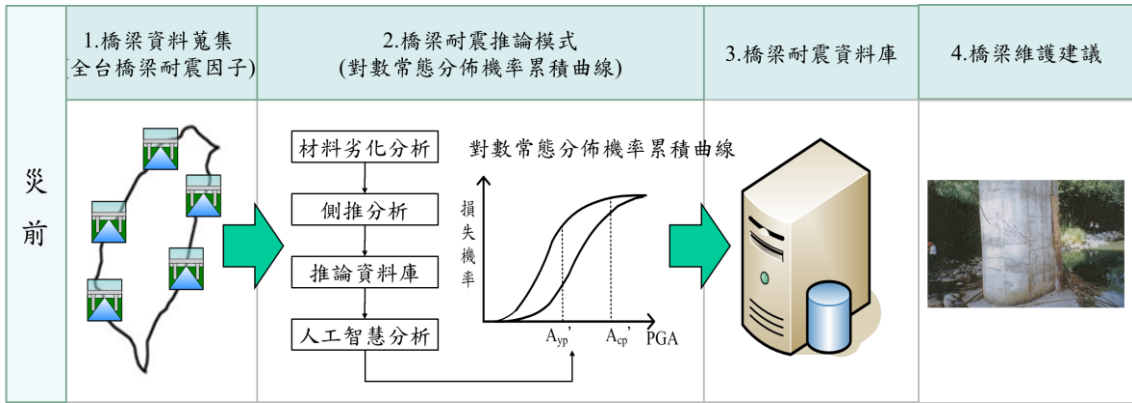


圖 2.2 災前地震破壞潛勢情境分析

如圖 2.3，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 invisible 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。

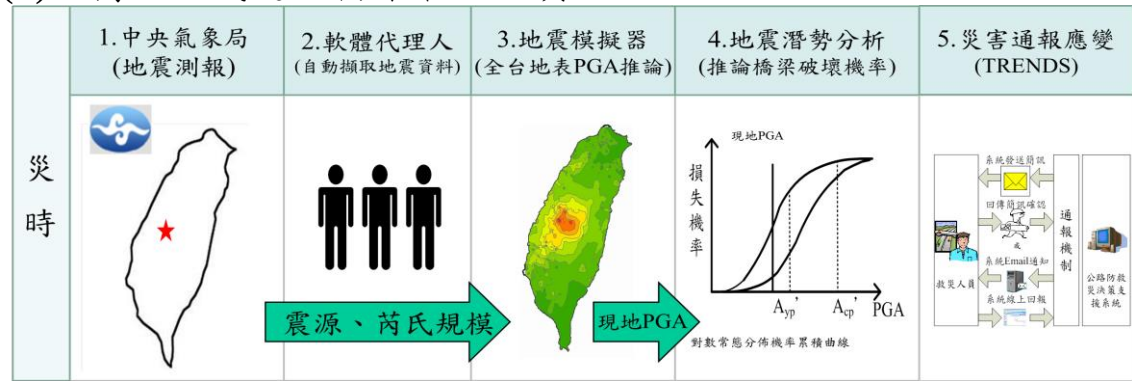


圖 2.3 災時地震破壞潛勢評估流程

此外，如圖2.4將橋梁之 A_y 訂為安全上限值與警戒下限值，橋梁之 A_c 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。

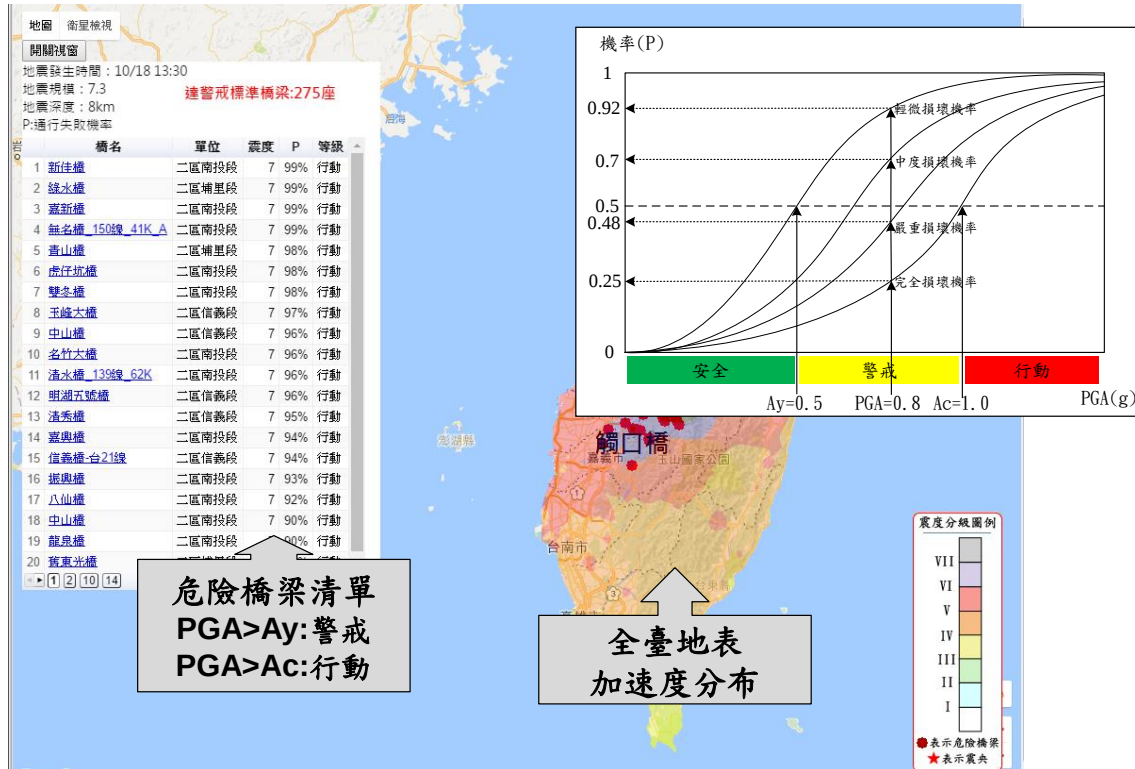


圖 2.4 地震破壞潛勢評估系統介面

地震破壞潛勢評估系統以公路總局所開放介接之格式為前提，將系統目前成果介接至公路總局系統中，提升系統使用性，採用Web Service交換資料，以KML(Keyhole Markup Language)為文件格式。並已在2017/09/30提供Web Service服務(圖2.5)，此服務將根據不同地震事件產生動態橋梁清單XML檔(圖2.6)，其內容包括：

- 1.地震發生日期:<Date>2017/11/03 10:49</Date>
- 2.地震深度:<Depth>6.5</Depth>
- 3.震央位置:<Longitude>120.94</Longitude>
- 4.震央位置:<Latitude>22.98</Latitude>

- 5.規模:<Scale>4.9</Scale>
- 6.橋梁名稱:<BridgeName>A 橋梁</BridgeName>
- 7.橋梁位置:<BLongitude>120.4891117</BLongitude>
- 8.橋梁位置:<BLatitude>24.1824883</BLatitude>
- 9.工程處:<Department>公路總局第二區養護工程處</Department>
- 10.工務段:<Section>彰化工務段</Section>
- 11.橋梁所在地震度:<BridgeScale>3</BridgeScale>
- 12.橋梁通行失敗機率:<P>22</P>

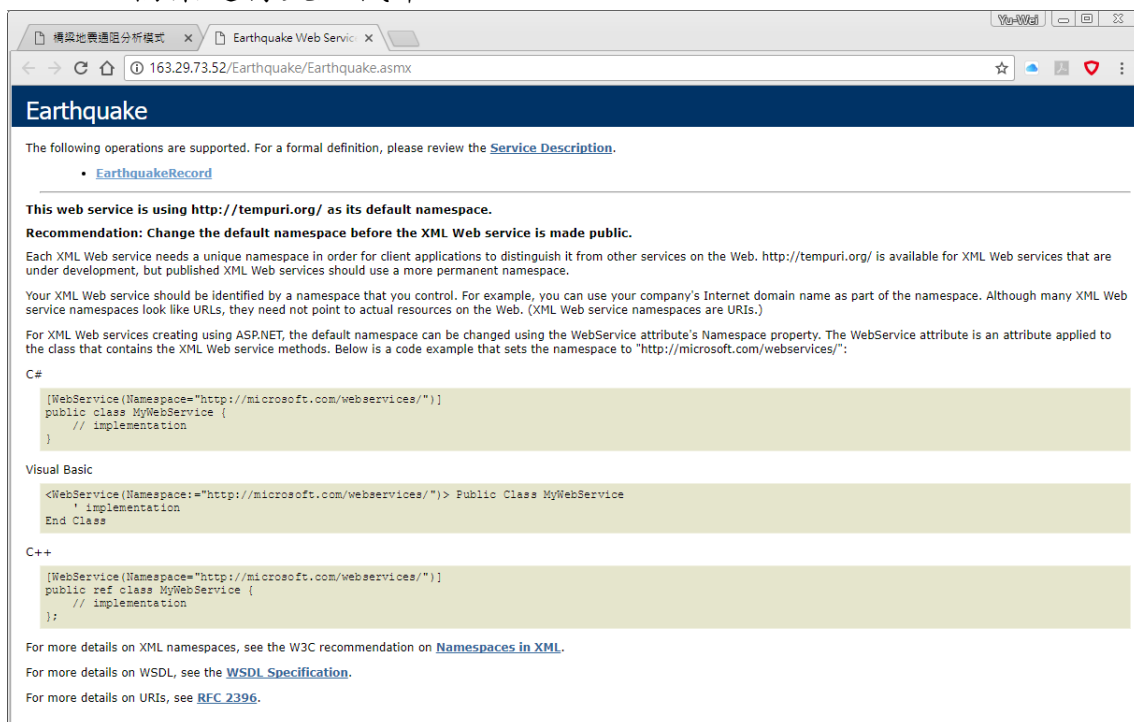


圖 2.5 橋梁通行失敗機率 Web Service

```

</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:choice>
</xs:complexType>
<xs:unique name="Constraint1" msdata:PrimaryKey="true">
  <xs:selector xpath="."/>
  <xs:field xpath="Eid"/>
</xs:unique>
</xs:element>
</xs:schema>
<diffgr:diffgram xmlns:msdata="urn:schemas-microsoft-com:xml-msdata" xmlns:diffgr="urn:schemas-microsoft-com:xml-diffgram-v1">
  <newDataSet xmlns="">
    <Table diffgr:id="Table1" msdata:rowOrder="0">
      <Eid>1</Eid>
      <Date>2017/11/03 10:49</Date>
      <Depth>6.5</Depth>
      <Longitude>120.94</Longitude>
      <Latitude>22.98</Latitude>
      <Scale>4.9</Scale>
      <BridgeName>A橋梁</BridgeName>
      <BLongitude>120.4891117</BLongitude>
      <BLatitude>24.1824883</BLatitude>
      <Department>公路總局第二區養護工程處</Department>
      <Section>彰化工務段</Section>
      <BridgeScale>3</BridgeScale>
      <P>22</P>
    </Table>
    <Table diffgr:id="Table2" msdata:rowOrder="1">
      <Eid>2</Eid>
      <Date>2017/11/03 10:49</Date>
      <Depth>6.5</Depth>
      <Longitude>120.94</Longitude>
      <Latitude>22.98</Latitude>
      <Scale>4.9</Scale>
      <BridgeName>B橋梁</BridgeName>
      <BLongitude>121.2638625</BLongitude>
      <BLatitude>25.11792917</BLatitude>
      <Department>公路總局第二區養護工程處</Department>
      <Section>中壢工務段</Section>
      <BridgeScale>4</BridgeScale>
      <P>23</P>
    </Table>
    <Table diffgr:id="Table3" msdata:rowOrder="2">
      <Eid>3</Eid>
      <Date>2017/11/03 10:49</Date>
      <Depth>6.5</Depth>
      <Longitude>120.94</Longitude>
      <Latitude>22.98</Latitude>
      <Scale>4.9</Scale>
      <BridgeName>C橋梁</BridgeName>
      <BLongitude>121.3990583</BLongitude>
      <BLatitude>25.01765833</BLatitude>
      <Department>公路總局第一區養護工程處</Department>
    </Table>
  </newDataSet>
</diffgram>

```

圖 2.6 橋梁通行失敗機率 XML

上述資訊可更靈活供 TBMS 加值應用，因為系統所提供之格式為標準之 XML 檔案，目前亦已提供公路總局防災應變中心作為圖資展示與通報警訊發布之參考依據(如圖 2.7)。

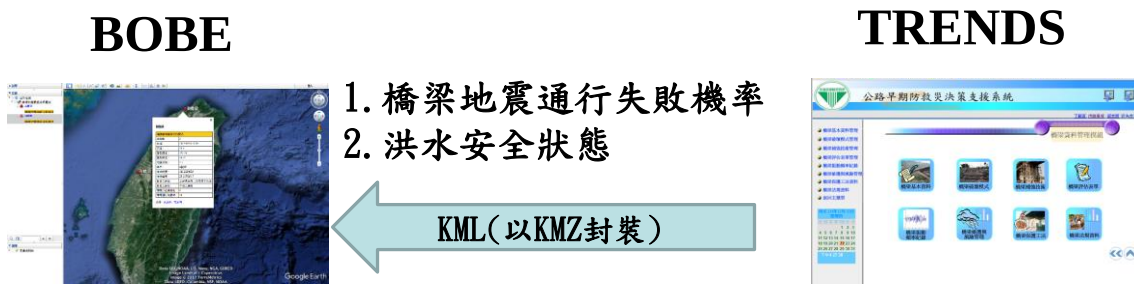


圖 2.7 與公路總局介接示意圖

由於每次的地震如果未達震度5級以上，系統篩選結果則無任何橋梁，因此因應公路總局之需求，於2018/06/05增加一個查詢最新地震資訊的webservice的服務，可供公路總局判別最新分析的日期，如圖2.8所示，分析結果同樣以XML格式提供公路總局介接。



圖 2.8 地震分析紀錄時間 XML

2. 颶洪跨河橋梁安全預警

颶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。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。

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2.9)，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。本系統會自動分析計算橋梁安全性並提前預警，提供橋梁管理單位颶洪時決策支援，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。

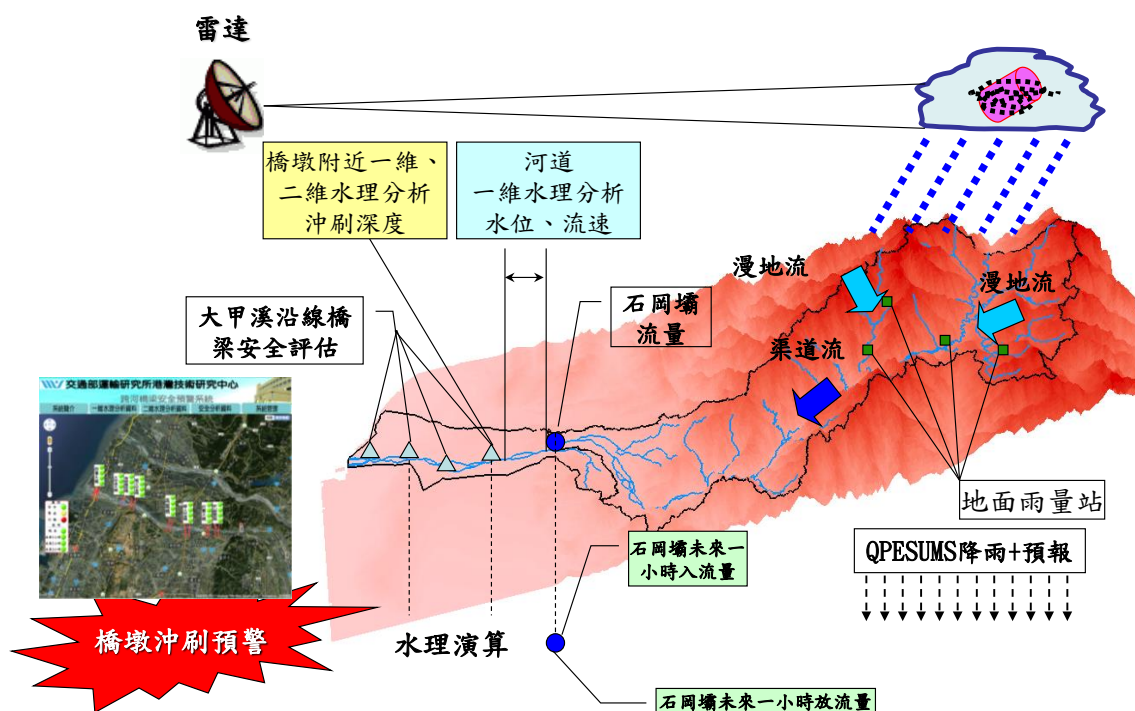


圖 2.9 大甲溪流域管理圖

系統頁面如圖2.10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。計畫執行過程中於颱風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 2.10 跨河橋梁安全預警系統畫面

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。

臺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；例如陳正興與李維峰等(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，臺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。

計畫案取得橋梁橋面板伸縮縫位置(橋墩上方)振動頻率，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利用所取得之平時與災害過後振動特性的變化，作為判定封橋與否的參考如圖2.11，有關界定明確的臨界值，災害前後之頻率比值如下所示：

$$R = \frac{f_{ma}}{f_{mb}} \dots\dots\dots (2.1)$$

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：

$$R_c = \frac{f_{aa}}{f_{ab}} \dots\dots\dots (2.2)$$

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。

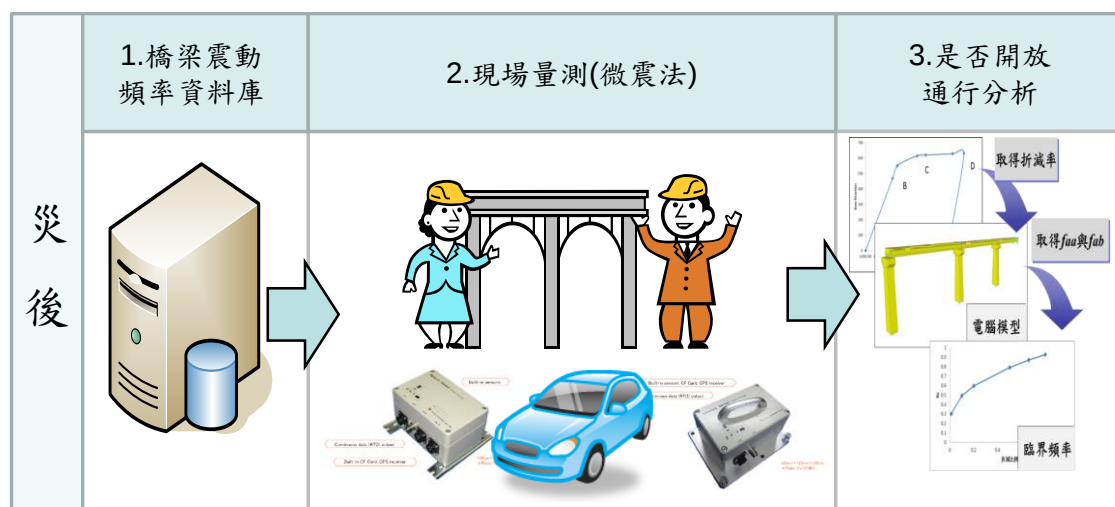


圖 2.11 橋梁振動頻率分析流程

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「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。此計畫承辦單位為聚禾工程顧問有限公司，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。計畫中以多次封路資料路段之分析方法，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。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2.12)。

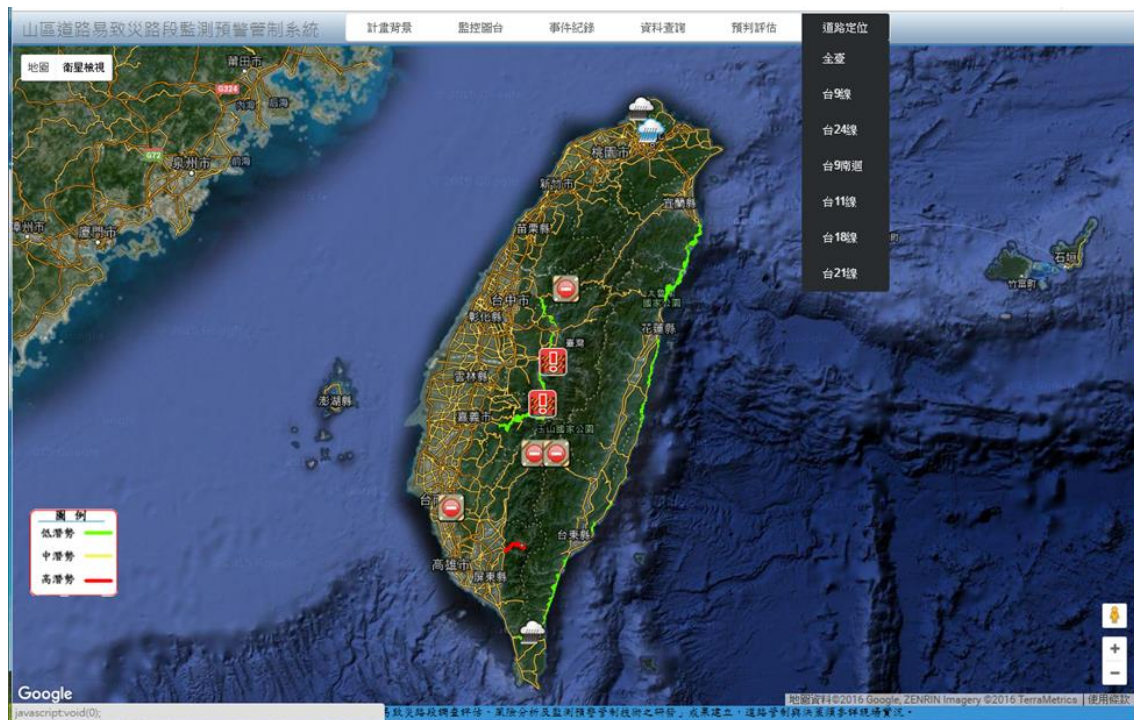


圖 2.12 山區道路邊坡系統畫面

5.橋梁耐震耐洪設計與維護階段防災預警整合

此功能為「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」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，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2.13)，提供作為防災預警之決策支援。

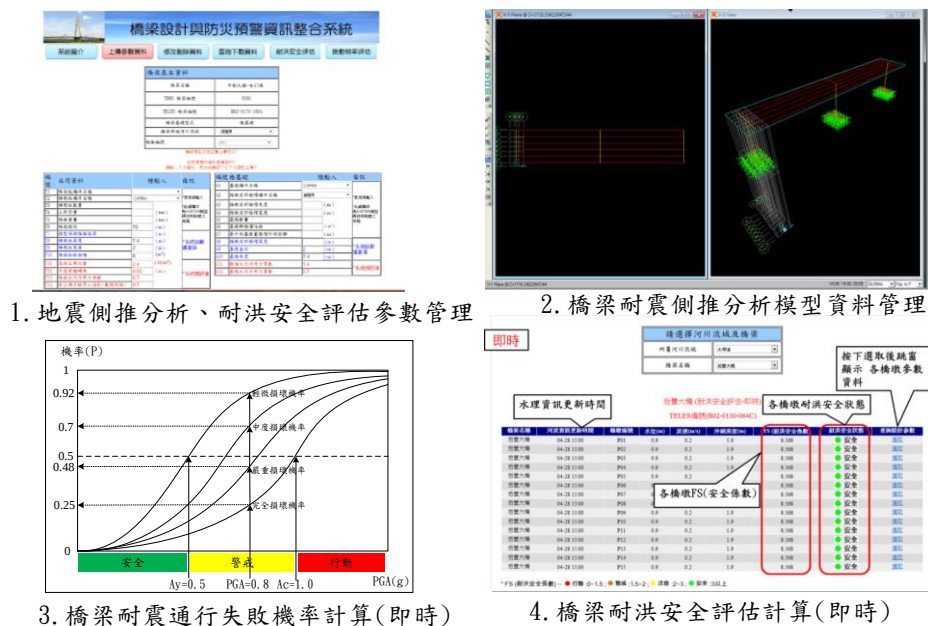


圖 2.13 作為耐震與耐洪分析與防災

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」及「公路早期防救災決策支援系統及橋梁管理模組維護」研究案成果。其動機為臺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，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。

橋梁風險因子分為可視(Visible)與不可視(潛勢)(Invisible)危害二風險類別，混凝土及鋼結構橋梁風險架構圖如圖2.14及圖2.15，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，再以兩者相乘積和，進一步建立群橋風險指標E(Cost)與評估模式如圖2.16。

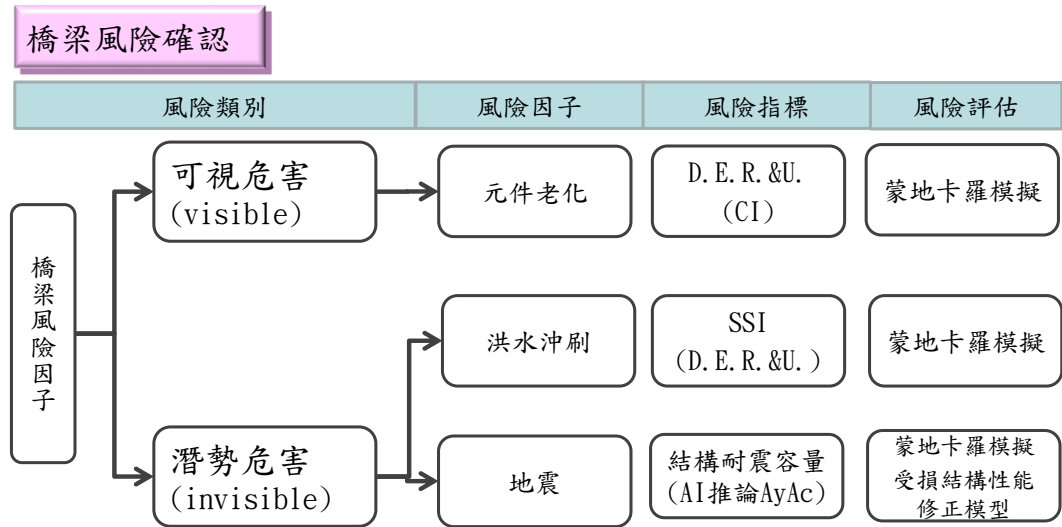


圖 2.14 混凝土橋梁風險架構圖

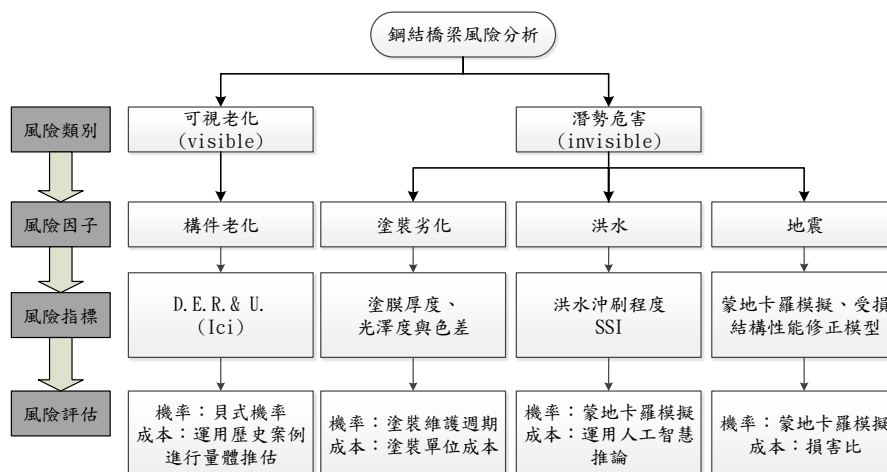


圖 2.15 鋼結構橋梁風險架構圖

群橋成本維護最佳化模式 $E_B(\text{Cost})$

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

$E_{Bij}(\text{Cost})$: 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)。

$E(\text{MC})$: Maintenance Cost，為風險下維護成本。

$E(\text{RC})$: 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。

$E(\text{UC})$: 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 2.16 群橋維護成本最佳化目標式

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。

第三章 橋梁維護分析模式

橋梁維護分析模式更新模組及計算橋梁風險成本之程式流程圖如下，依序為橋梁構件老化風險成本計算自動化程式流程圖(圖3.1)、鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本計算自動化程式流程圖(圖3.2)、橋梁洪水冲刷風險成本計算自動化程式流程圖(圖3.3)及橋梁地震風險成本計算自動化程式流程圖(圖3.4)，及各種橋梁風險成本計算自動化步驟。

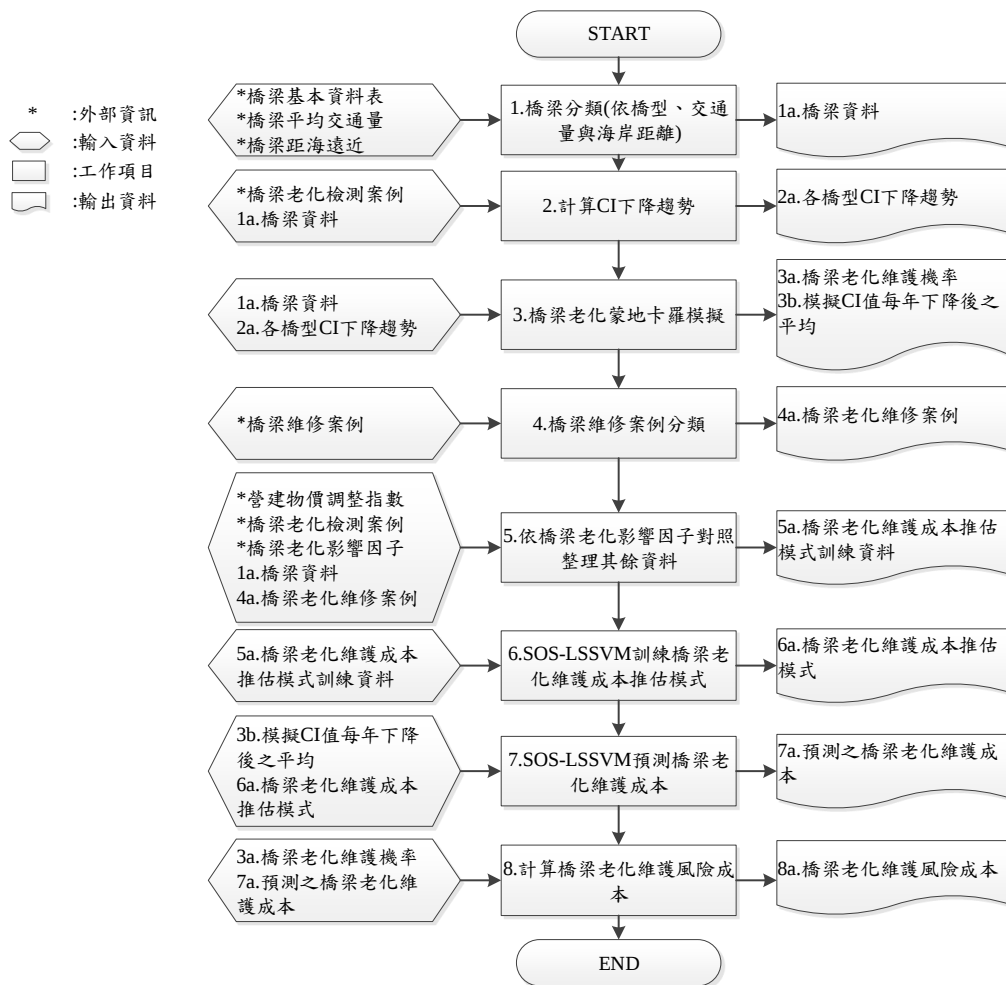


圖 3.1 橋梁構件老化維修風險評估模式程式流程圖

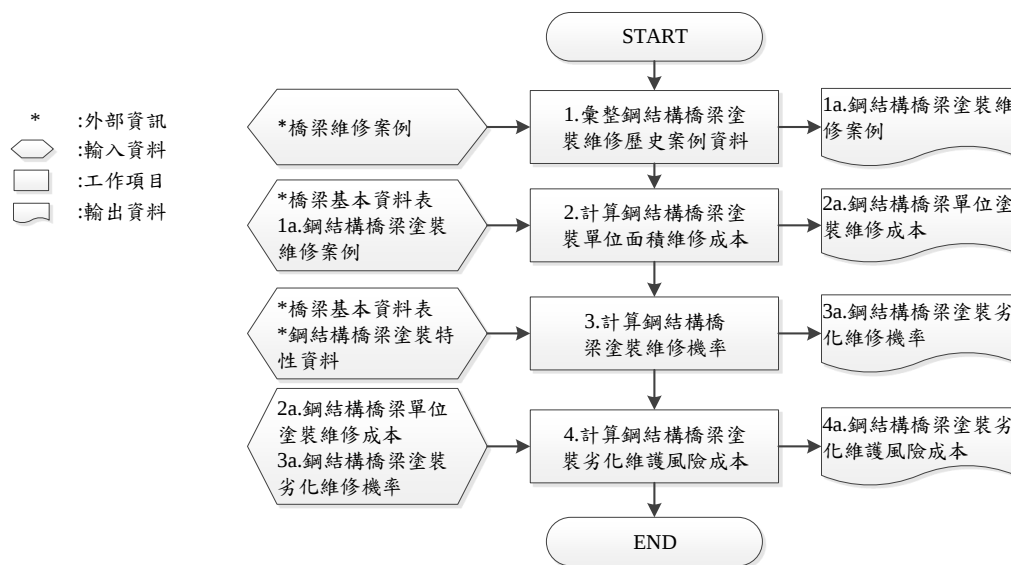


圖 3.2 鋼結構橋梁塗裝劣化風險評估模式程式流程圖

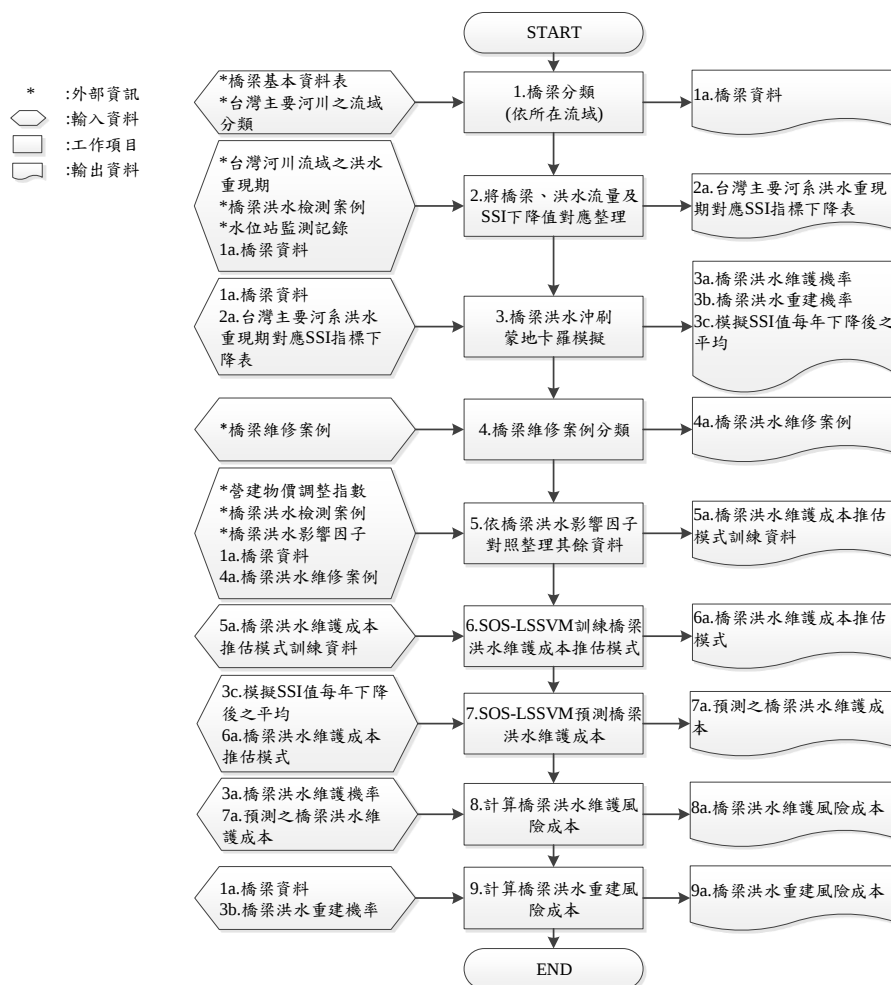


圖 3.3 橋梁洪水冲刷風險評估模式程式流程圖

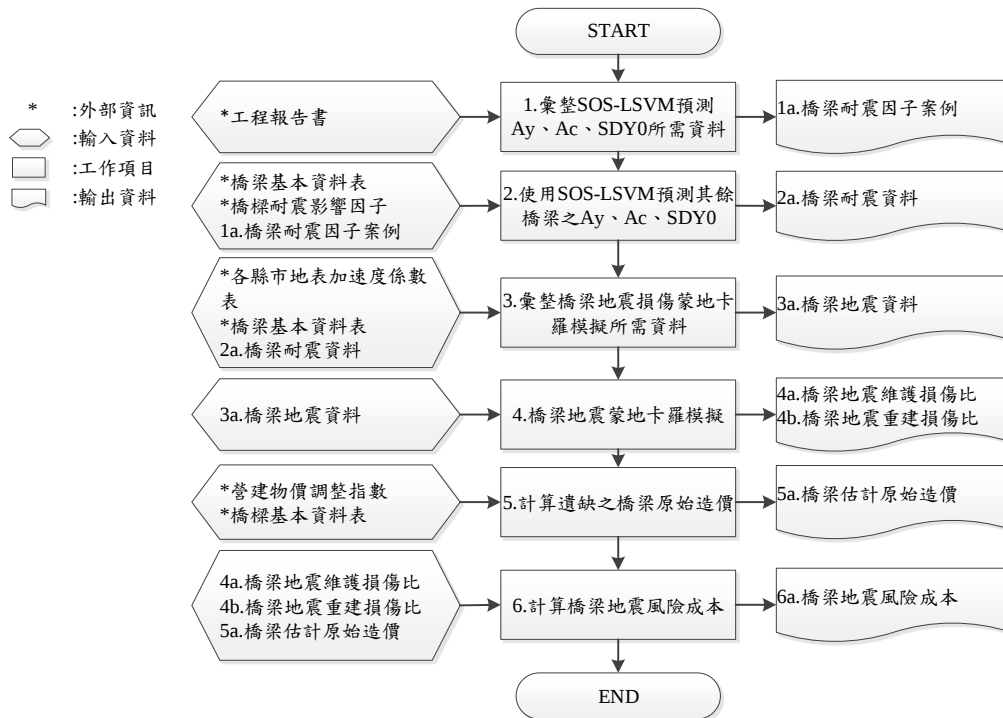


圖 3.4 橋梁地震維修風險評估模式程式流程圖

3.1 橋梁構件老化維修風險成本計算自動化步驟

3.1.1 橋梁分類(依橋型、交通量與海岸距離)

橋梁結構形式

TBMS橋梁基本資料裡共有九種橋梁結構型式， π 橋、版橋、拱橋、剛架橋、桁架橋、斜張橋、梁式橋、箱型橋及其他。

橋梁交通量

為了補足TBMS橋梁基本資料裡不完整之交通量資料，利用TBMS橋梁基本資料表之路線及里程欄位，與交通部公路總局105年度公路交通量調查統計表(資料來源:交通部公路總局)，以不同方向(例如:南向、北向)對照每座橋交通量。如同里程範圍內無統計資料，則將里程前後放寬至1公里範圍。若還有無法對照到交通量之橋梁，該橋梁之交通量將以零做為最保守之假設(即表示無交通流量但仍有劣化趨勢)。

橋梁距海距離

利用TBMS橋梁基本資料裡的GIS座標欄位，以及臺灣縣市界線圖(資料來源:政府資料開放平臺)，使用GIS計算各座橋梁距海遠近(圖3.5)。

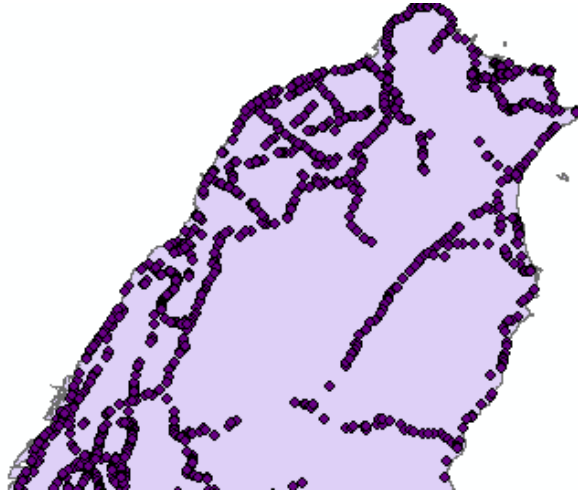


圖 3.5 GIS 套疊橋梁位置及縣市框

依照九種橋梁型式、距海距離(小於300公尺、在300與1000公尺之間、在1000與3000公尺之間、大於3000公尺)及交通量(PCU小於6000、PCU在6000與12000之間及PCU大於12000)可以分成108組。以 π 橋為例， π 橋會有分成距海距離小於300公尺及交通量PCU小於6000、距海距離小於300公尺及交通量PCU在6000與12000之間、距海距離小於300公尺及交通量PCU大於12000...等，共12組，故九種橋梁型式共有108組。

3.1.2 計算CI值下降趨勢

依照上個步驟之分組規則，將所收集之TBMS橋梁檢測歷史紀錄進行分組，在各組別中將各橋梁兩筆在時間上相鄰之檢測資料做比對，將在某筆檢測資料之CI值減去過去時間最鄰近檢測CI值(且鄰近CI值小於原CI值)得到CI下降值，將此CI下降值除以間隔天數，即為CI值下降趨勢，而CI值下降趨勢平均即為該橋所有CI值下降趨勢之平均。

以 π 橋為例，已求得多筆 π 橋某組檢測資料之CI值下降趨勢，若這些CI下降趨勢記錄總數不足30筆，則用 π 橋全部分組之CI值下降趨勢，去計算CI值下降趨勢平均值。若 π 橋全部分組之CI值下降趨勢記錄總數仍不足30筆，則用所有橋梁檢測紀錄計算CI值下降趨勢平均值。

3.1.3 橋梁構件老化模地卡羅模擬

根據上個步驟得到之橋梁各組CI下降趨勢平均值及該趨勢之標準差準差，應用模地卡羅模擬橋梁在未來各時間點下的CI平均值，並同時計算橋梁在未來各時間點，當CI值小於門檻值之累計次數，將此累計次數除以模擬次數，即為橋梁因老化所造成之維護機率。

3.1.4 橋梁維修案例分類

根據TBMS維修歷史案例維修工法欄位，列出橋梁老化維修案例篩選詞彙(表3-1)，並以此從TBMS維修歷史案例中篩選橋梁老化維修案例。

表3-1 橋梁老化維修案例篩選詞彙

護欄	欄杆	雜物	鋼筋外露	伸縮縫	瀝青
洩水孔	附屬結構	洩水管	反光導標	端格梁	垂直預力抽換
落水管	上部結構	路燈	鋼筋鏽蝕	大梁	鋼筋及套管除鏽
排水管	下部結構	路面	支承墊	防落	鋼筋及套管除鏽
橋墩帽	鋼筋鏽蝕	洩水槽	鋼筋除鏽	橋面	
洩水盤	預力鋼腱	排水管	進橋版	懸臂板	
橋台	鋼筋除鏽	塗裝	翼牆	蜂窩	

3.1.5 依橋梁老化影響因子對照整理其餘資料

橋梁山地考量

利用TBMS橋梁基本資料表裡的GIS座標欄位，以及內政部20公尺網格數值地形模型資料(資料來源：政府資料開放平臺)，使用GIS程式計算各座橋梁高程(圖3.6)，若橋梁高程高於1000公尺則視為山地橋梁。

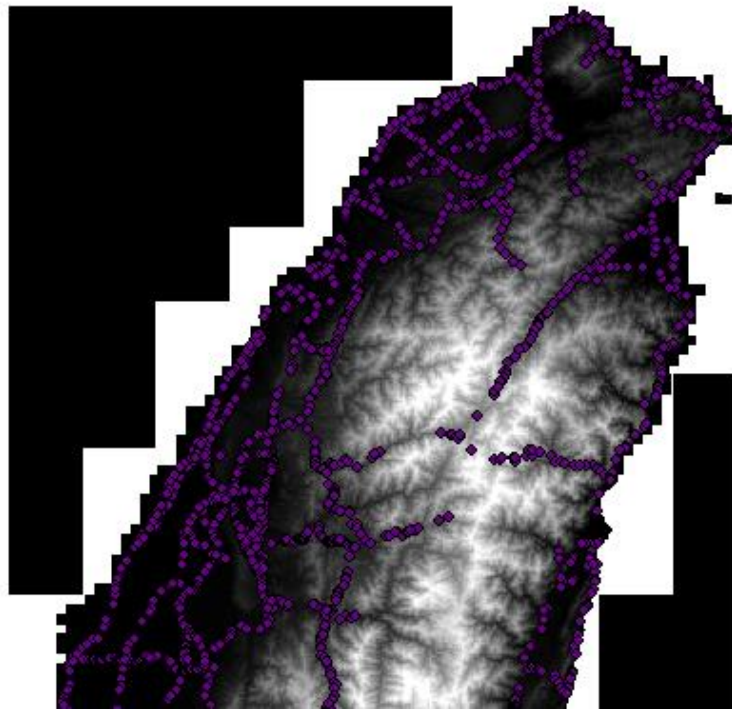


圖 3.6 GIS 套疊橋梁位置及地形模型資料

依橋梁老化影響因子(表3-2)對照TBMS橋梁基本資料及前面步驟整理出之資料，整理訓練橋梁老化維修成本推估模式所需使用欄位。

表3-2 橋梁老化影響因子

影響因子	關聯	單位
CI	維修前 CI 指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M2
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
年平均每日車流量	反覆載重或使用量影響	車輛數
距海遠近	大氣腐蝕因素	公里
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年
竣工年	施工技術	民國年

資料來源：(徐梓隆，2014)

3.1.6 SOS-LSSVM訓練橋梁老化維修成本推估模式

使用人工智慧推論模式SOS-LSSVM推估橋梁老化維修成本，利用上個步驟整理出之訓練資料，訓練橋梁老化維修成本推估模式。

3.1.7 SOS-LSSVM預測橋梁老化維修成本

利用上個步驟訓練出之模型，及依照橋梁老化影響因子整理出之預測資料，推估橋梁老化維修成本。

3.1.8 計算橋梁老化風險成本

利用橋梁老化模地卡羅模擬得出之橋梁因老化所造成之維護機率與SOS-LSSVM推估之橋梁老化維修成本相乘，即為橋梁老化風險成本，下表(表3-3、3-4)為部分結果。

表3-3 混凝土橋梁老化維修風險成本(部分表格)

系統 ID	間隔 1 年	間隔 2 年	間隔 3 年	間隔 4 年	間隔 5 年	間隔 6 年	間隔 7 年	間隔 8 年	間隔 9 年	間隔 10 年
2232	16498	50468	231486	515410	889794	906013	922232	938451	954670	970889
2233	8236	92390	299736	628544	889499	905885	922200	938445	954671	970893
2234	95997	231410	536052	867950	885411	904128	921843	938423	954676	970897
2236	40213	216430	427055	871081	888187	905540	922137	938451	954678	970897
2237	15062	99236	289320	501827	848783	886227	915630	935688	953202	970004
系統 ID	間隔 11 年	間隔 12 年	間隔 13 年	間隔 14 年	間隔 15 年	間隔 16 年	間隔 17 年	間隔 18 年	間隔 19 年	間隔 20 年
2232	987108	1003327	1019546	1035765	1051984	1068202	1084421	1100640	1116859	1133078
2233	987114	1003334	1019554	1035773	1051992	1068211	1084429	1100646	1116862	1133080
2234	987116	1003335	1019554	1035773	1051992	1068211	1084430	1100649	1116868	1133088
2236	987116	1003335	1019554	1035773	1051992	1068211	1084430	1100649	1116868	1133087
2237	986694	1003187	1019517	1035762	1051957	1068035	1083795	1099045	1113802	1129354

表3-4 鋼結構橋梁老化維修風險成本(部分表格)

系統 ID	間隔 1 年	間隔 2 年	間隔 3 年	間隔 4 年	間隔 5 年	間隔 6 年	間隔 7 年	間隔 8 年	間隔 9 年	間隔 10 年
2271	47591	130256	299834	614491	1001876	1121304	1251017	1404064	1565244	1791374
2327	50440	125418	260371	467359	587296	730488	908933	1089149	1262108	1439813
2402	0	21018	76810	162762	339875	397990	467430	548585	662646	784060
2519	59516	152898	303189	509772	596135	704256	861310	1026432	1246343	1453088
2546	79558	191137	462698	1062214	1107373	1161457	1228180	1303870	1382539	1473529
系統 ID	間隔 11 年	間隔 12 年	間隔 13 年	間隔 14 年	間隔 15 年	間隔 16 年	間隔 17 年	間隔 18 年	間隔 19 年	間隔 20 年
2271	1960808	2167357	2381474	2581908	2808711	2995950	3163886	3295543	3414925	3464516
2327	1589601	1753498	1921127	2050375	2110732	2143274	2175816	2208359	2240901	2273443
2402	933565	1085969	1241513	1410982	1563447	1712496	1856882	1993561	2121874	2222656
2519	1650751	1785007	1926366	2054099	2112378	2144946	2177513	2210081	2242648	2275216
2546	1566863	1668957	1760154	1860086	1967244	2056969	2141917	2214215	2286184	2328705

3.2 鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本計算自動化步驟

3.2.1 彙整鋼結構橋梁塗裝歷史案例

根據TBMS維修歷史案例維修工法欄位，列出鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例篩選詞彙(表3-5)，根據此表從TBMS維修歷史案例中篩選鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例。

表3-5 鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例篩選詞彙

油漆修補	表面塗裝	除漆重新噴塗油漆	鋼橋油漆
油漆養護	外露面清洗及油漆	鋼筋防鏽劑塗刷	除銹及油漆
油漆塗裝	外露面油漆	除銹後油漆	鋼橋粉刷
面漆修補	鋼筋除鏽及防鏽處理	鋼橋清洗	除銹及塗裝

3.2.2 計算鋼結構橋梁塗裝單位面積維修成本

本研究利用TBMS橋梁維修案例中與鋼結構橋梁塗裝劣化維修相關案例，結合TBMS橋梁基本資料裡的橋面版投影面積，來計算鋼結

構橋梁塗裝劣化單位面積維修成本，作為鋼結構橋梁塗裝劣化維修成本推估依據。未來鋼結構橋梁塗裝劣化維修相關案例持續累積，程式會重新計算鋼結構橋梁塗裝劣化單位面積維修成本，使得鋼結構橋梁塗裝劣化維修成本推估更加精確。

3.2.3 計算鋼結構橋梁塗裝維修機率

根據邱建國(2017)提出，若以防蝕性能為狀態設定，氟素塗裝系統耐用年限為10年，PU塗裝系統為5年。若容許鋅層消耗，則氟素塗裝系統的耐用年限為15年，PU塗裝系統為10年。在文獻中以A橋為例，模擬A橋使用年限設定為50年，則在A橋的生命週期中選擇使用氟素/10年，需要5次的塗裝維護；若選擇氟素/15年，需要三次的塗裝維護，若選擇PU/5年則需要10次的塗裝維護。而鄭國宏(2017) 所計算出氟素/15年的生命週期成本為最低，本研究先採用塗裝系統氟素/15年來探討。

在TBMS維修歷史案例中，有部分鋼結構橋梁沒有塗裝劣化維修案例，故本研究假設，若有鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例則從最近一次開始計算，若沒有鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例，將從橋梁竣工年開始計算。

3.2.4 計算鋼結構橋梁塗裝維修風險成本

利用TBMS橋梁基本資料中之橋版投影面積欄位與橋梁塗裝劣化單位面積維修成本相乘，即為橋梁塗裝劣化維修成本。將橋梁塗裝劣化維修成本與橋梁塗裝劣化維修機率相乘，即為橋梁塗裝劣化維修風險成本(表3-6)。

表 3-6 鋼結構橋梁塗裝維修風險成本(部分表格)

系統 ID	間隔 1 年	間隔 2 年	間隔 3 年	間隔 4 年	間隔 5 年	間隔 6 年	間隔 7 年	間隔 8 年	間隔 9 年	間隔 10 年
2271	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2327	0	0	2429065	0	0	0	0	0	0	0
2402	0	0	0	0	0	7452725	0	0	0	0
2519	0	0	5186625	0	0	0	0	0	0	0
2546	0	0	0	6736709	0	0	0	0	0	0
系統 ID	間隔 11 年	間隔 12 年	間隔 13 年	間隔 14 年	間隔 15 年	間隔 16 年	間隔 17 年	間隔 18 年	間隔 19 年	間隔 20 年
2271	0	0	0	41154237	0	0	0	0	0	0
2327	0	0	0	0	0	0	0	2429065	0	0
2402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2519	0	0	0	0	0	0	0	5186625	0	0
2546	0	0	0	0	0	0	0	0	6736709	0

3.3 橋梁洪水沖刷風險成本計算自動化步驟

3.3.1 橋梁分類(依所在流域)

因橋梁所屬流域不同，所遭遇之洪水程度與頻率亦會有所差異，故本研究依跨水橋梁所屬流域分群進行評估；本研究參考水利署臺灣主要河川之流域定義，分為25個流域。利用河川流域範圍圖(資料來源:經濟部水利署水資料分享站)，及TBMS橋梁基本資料GIS座標欄位，使用GIS程式產生跨水橋梁主要流域對應表如圖3.7。



圖 3.7 GIS 套疊橋梁位置及河流流域

3.3.2 將橋梁、洪水流量SSI下降值對應整理

利用網頁擷取程式抓取經濟部水利署水文資訊網網站上之流量測站歷史流量圖表資料(圖3.8)、河川流域洪水重現期(資料來源:經濟部水利署洪水分析)、現存流量站(資料來源:政府資料開放平臺)與河川河道(資料來源:政府資料開放平臺)。結合TBMS橋梁檢測紀錄與上個步驟整理之跨水橋梁主要流域對應表,並將兩筆檢測紀錄之間之SSI下降值除以間隔天數,即為SSI下降趨勢。再從現存流量站之歷史流量資料將兩筆檢測紀錄之間之最高洪峰流量抓出用以對應河川流域洪水重現期,最後將SSI下降趨勢對應到相應河川流域之相應洪水重現期,即為臺灣主要河川流域洪水重現期對應SSI下降表(表3-7)。但因不是所有重現期之洪水在流量測站歷史流量紀錄皆有發生,故沒對應到臺灣主要河川流域洪水重現期之SSI下降趨勢,將參考徐梓隆(2014)臺灣主要河川流域洪水重現期對應SSI下降表之數值。表格中的數字為此流域橋梁在遭遇該洪水重現期時,SSI對應下降分數。以淡水河跨河橋梁為例,曾經遭遇洪水重現期為五年的洪水,所對應SSI的下降值為2分。

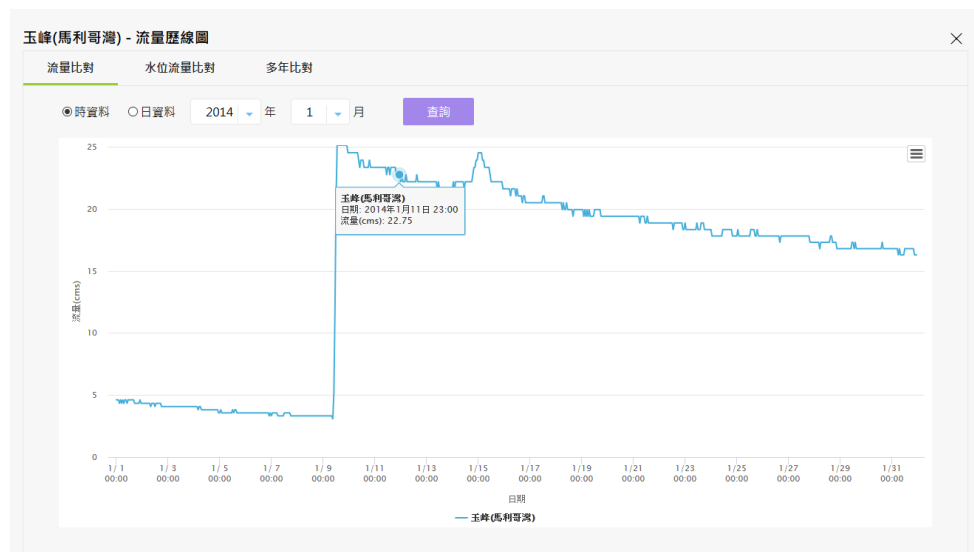


圖 3.8 流量測站歷史流量圖表資料

表3-7 臺灣主要河川流域洪水重現期對應SSI下降表

河川流域	1 年	2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年	200 年
二仁溪	0.834242	2.0625	1	2	3	3	3	4
八掌溪	0.6875	0.638571	3	4	4	5	5	6
大甲溪	1.190476	0.24	5	7	8	10	12	13
大安溪	0.916667	3	5	7	10	13	16	20
中港溪	1.88	3	4	5	1.5	8	9	9
北港溪	0.981125	1	8	7	9	11	12	12
四重溪	0.922966	3	4	5	6	7	7	8
朴子溪	0.787647	0.335	1	11	6	7	8	9
秀姑巒溪	0.869568	3.2	3	4	4	1	5	6
卑南溪	1.051963	1.954545	1.175	2	2	2	3	3
和平溪	1.253226	1.523	2	3	3	4	5	5
東港溪	2.424167	3	4	5	5	6	7	8
花蓮溪	1.338896	3	1.5	5	5	6	7	7
阿公店溪								
後龍溪	1.499592	0.250435	1.891667	2	3	3	4	3
急水溪	0.764098	2	4.265	1	3	4	5	5
烏溪	1.716129	1.735882	1	2.304348	1.333333	3	4	5
高屏溪	1.566947	1	2	2	3	3	3	3
淡水河	1.664177	1.076296	2	3.418929	3	8.615385	3	4
曾文溪	0.81875	1.0036	1.2	2	2	3	3	0.331
鳳山溪	1.763125	1.905556	2	1.546154	11	14	4	19
濁水溪	1.269028	0.937273	1	1.593	18	22	27	25.71429
頭前溪	1.1042	0.424	10	1	4	5	1	7
蘭陽溪	0.787267	0.915556	2	2.475	3	4	5	6
鹽水溪	0.557391	2	4	4	5	6	6	6

其中因阿公店溪流域沒有流量測站，故阿公店溪流域使用所有流域SSI下降趨勢平均。

3.3.3 橋梁洪水冲刷蒙地卡羅模擬

使用蒙地卡羅模擬跨水橋梁未來20年洪水可能發生事件，各時間點下的SSI值相加除以模擬次數，即為模擬橋梁各時間點下的SSI平均值。並將SSI小於門檻值之累計次數除以模擬次數，即橋梁因洪水冲刷損壞而須維修的機率。若發生超越洪水重現期200年之洪水，則橋梁可能損壞，模擬過程中出現超越洪水重現期洪水之累計次數除以模擬次數，即為橋梁因洪水冲刷損壞而須重建的機率。

3.3.4 橋梁洪水冲刷維修案例分類

根據TBMS維修歷史案例維修工法欄位，列出跨合橋梁洪水維修案例篩選詞彙(表3-8)，並根據此表從TBMS維修歷史案例中篩選橋洪水維修案例。

表3-8 橋梁洪水維修案例篩選詞彙

鼎塊	鼎型塊	鼎形塊	異型塊	石籠	圍堰	拋石
護坦	消波塊	橋基	橋墩	防衝鋼鈑	鋼版包覆	
攔沙壩	潛堰	河床	強化碳纖維貼附	框網導流	筐網導流	
鋼鈑包覆	鋼鈑包墩	鋼鈑及安裝	厚鋼版製作及安裝	微型樁	河道	
冲刷	固床工	鋼板包覆	鋼鈑局部包覆	基礎	基樁	

3.3.5 依照橋梁洪水冲刷影響因子對照整理其餘資料

依橋梁洪水冲刷影響因子(表 3-9)對照 TBMS 橋梁基本資料及橋梁高程整理訓練橋梁洪水維護成本推估模式資料。

表3-9 橋梁洪水沖刷影響因子

影響因子	關聯	單位
SSI	維修前SSI指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年

3.3.6 SOS-LSSVM訓練橋梁洪水維修成本推估模式

使用SOS-LSSVM推估跨河橋梁洪水維修成本，利用上個步驟整理出之訓練資料，訓練橋梁洪水維修成本推估模式。

3.3.7 SOS-LSSVM預測橋梁洪水維修成本

利用上個步驟訓練出之模型，及依照橋梁洪水影響因子整理出之預測資料，推估橋梁洪水維修成本。

3.3.8 計算橋梁洪水維修風險成本

利用橋梁洪水沖刷蒙地卡羅模擬得出之橋梁洪水沖刷維修機率與SOS-LSSVM推估橋梁洪水維修成本相乘，即為橋梁洪水維修風險成本(表3-10)。

表3-10 橋梁洪水維修風險成本(部分表格)

系統 ID	間隔 1 年	間隔 2 年	間隔 3 年	間隔 4 年	間隔 5 年	間隔 6 年	間隔 7 年	間隔 8 年	間隔 9 年	間隔 10 年
2238	2511561	6992113	13443036	7645425	8137334	16093932	26850129	34690005	37864937	38872784
2239	4548476	7231706	12533693	10519266	20902260	29234974	34999219	37422542	38228251	38563944
2243	6113782	10844245	9617469	7911984	20361593	32075249	36392960	37554176	37816362	38005071
2247	3434394	6010456	5447230	10206775	22563422	31916449	36134435	37551200	38024549	38046520
2248	4240563	5387432	6290246	1134057	5031129	16006423	27728627	34115821	37709574	38734193
系統 ID	間隔 11 年	間隔 12 年	間隔 13 年	間隔 14 年	間隔 15 年	間隔 16 年	間隔 17 年	間隔 18 年	間隔 19 年	間隔 20 年
2238	39415466	39700910	39881524	40420258	41053194	41686130	42319066	42952002	43584938	44217874
2239	38892643	39463228	40101156	40739085	41377013	42014942	42652870	43290798	43928727	44566655
2243	38369750	39000193	39630636	40261080	40891523	41521966	42152410	42782853	43413296	44043740
2247	38256415	38879218	39507705	40136193	40764681	41393169	42021656	42650144	43278632	43907120
2248	38722451	38325079	38006209	38301421	38901178	39500936	40100693	40700450	41300208	41899965

3.3.9 計算橋梁洪水重建風險成本

將橋梁洪水沖刷重建機率與TBMS橋梁基本資料橋梁造價相乘，即為橋梁洪水重建風險成本(表3-11)。因TBMS橋梁基本資料橋梁造價資料有部分不完整，故若造價資料不完整，則使用TBMS橋梁基本資料中橋版投影面積估算單位造價，推估不完整之造價資料。

表3-11 橋梁洪水重建風險成本(部分表格)

系統 ID	間隔 1 年	間隔 2 年	間隔 3 年	間隔 4 年	間隔 5 年	間隔 6 年	間隔 7 年	間隔 8 年	間隔 9 年	間隔 10 年
2238	1602980	3205961	4808941	4808941	6411921	6411921	6411921	6411921	8014902	8014902
2239	0	1077946	1077946	1077946	1077946	1077946	1077946	1077946	1077946	1616919
2243	471601	943203	943203	1414804	1414804	1414804	1414804	1886406	2358007	2358007
2247	0	1742370	3484740	3484740	3484740	3484740	3484740	5227110	5227110	5227110
2248	0	0	0	0	0	2787792	2787792	2787792	2787792	2787792
系統 ID	間隔 11 年	間隔 12 年	間隔 13 年	間隔 14 年	間隔 15 年	間隔 16 年	間隔 17 年	間隔 18 年	間隔 19 年	間隔 20 年
2238	9617882	9617882	9617882	9617882	9617882	9617882	9617882	11220863	11220863	11220863
2239	2694866	2694866	2694866	2694866	2694866	2694866	3233839	3233839	3233839	3772812
2243	2358007	2358007	2358007	2358007	2829609	2829609	2829609	2829609	3301210	3301210
2247	5227110	5227110	6969480	6969480	6969480	8711850	8711850	8711850	10454220	10454220
2248	5575584	8363376	8363376	8363376	8363376	8363376	8363376	8363376	8363376	8363376

3.4 橋梁地震損傷風險成本計算自動化步驟

3.4.1 彙整SOS-LSSVM預測 A_y 、 A_c 、SDY0所需資料

依橋梁耐震能力影響因子(表3-12)TBMS橋梁基本資料、TELES橋梁基本資料及地表加速度(資料來源:內政部營建署「建築物耐震設計規範及解說」)整理訓練橋梁耐震能力(A_y 、 A_c 與SDY0)推估模式資料。

表3-12 橋梁耐震能力影響因子

影響因子	
1.設計水平加速度	7.主梁型式
2.基樁裸露深度	8.振動單元數
3.橋梁結構型態	9.單垮最大垮距
4.歪斜角	10.土壤液化類別
5.橋長	11.支承裝置
6.橋寬	

資料來源：(徐瑞甫，2010)

3.4.2 使用SOS-LSSVM預測橋梁 A_y 、 A_c 、SDY0

利用上個步驟訓練出之模型，及依照橋梁耐震能力影響因子整理出之預測資料，推估橋梁耐震能力(A_y 、 A_c 與SDY0)。

3.4.3 彙整橋梁地震損傷蒙地卡羅模擬所需資料

依照前面章節所使用之橋梁地震損傷蒙地卡羅模擬所需資料，利用橋梁基本資料、前步驟推估所得之資料及地表加速度(資料來源:內政部營建署「建築物耐震設計規範及解說」)，整理出每座橋梁之SDS、SD1、SMS、 A_y 、 A_c 、SDY0、地盤種類GdY、鄰近斷層(EN)、廠址修正參數(PN)。

3.4.4 橋梁地震損傷蒙地卡羅模擬

將前面章節所使用之橋梁地震損傷蒙地卡羅模擬所使用之matlab

程式，包裝成dll (Dynamic-link library 動態連結函式庫)，以實現程式自動化流程，並利用上步驟整理之資料，使用蒙地卡羅模擬取得橋梁地震損害比。

3.4.5 計算橋梁地震損傷風險成本

將前步驟蒙地卡羅模擬取得橋梁地震損害比與TBMS基本資料造價相乘，即為橋梁地震損傷風險成本。因TBMS橋梁基本資料橋梁造價資料有部分不完整，故若造價資料不完整，則使用TBMS橋梁基本資料橋版投影面積估算單位造價，推估不完整之造價資料。

3.5 程式介面

將上述步驟以程式化串連，建置如下圖3.9至圖3.12之構件老化、塗裝劣化、洪水沖刷與地震風險成本更新程式介面，每個模組皆可更新資料庫裡之主檔資料(Master Data)(例如:河川流域洪水重現期對照表、河川歷史流量紀錄...等)或者是橋梁相關資料(例如:橋梁基本資料、檢測歷史案例與維修歷史案例等)，並依更新後資料計算橋梁維護風險成本。

如圖3.9，橋梁構件老化風險成本模組可以更新橋梁歷史檢測案例資料、橋梁基本資料及橋梁歷史維護成本案例資料，並更新橋梁老化風險成本推估模式。

圖 3.9 橋梁構件老化風險成本模組介面

如圖3.10，鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本模組可以更新橋梁基本資料及橋梁歷史維護成本案例資料，並更新鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本推估模式。

圖 3.10 鋼結構橋梁塗裝劣化風險成本模組介面

如圖3.11，橋梁洪水維護風險成本模組可以更新橋梁歷史檢測案例資料、橋梁基本資料、橋梁歷史維護成本案例資料、洪水回歸期資料及河川歷史流量紀錄，並更新橋梁洪水維護風險成本推估模式。

圖 3.11 橋梁洪水維護風險成本模組介面

如圖3.12，橋梁地震損傷維護風險成本模組可以更新地表加速度資料及橋梁基本資料，並更新橋梁地震損傷維護風險成本推估模式。



圖 3.12 橋梁地震損傷維護風險成本模組介面

3.6 橋梁綜合能力指標

鋼橋之維護風險成本 $E(MC)$ 及重建風險成本 $E(RC)$ 。本研究根據風險評估模式之因子，以風險期望值之概念，建立鋼構橋梁維護之風險期望值 $E_s(\text{Cost})$ ，如公式3.1。

$$E_s(\text{Cost}) = \underbrace{E(MC)}_{\text{維護成本}} + \underbrace{E(RC)}_{\text{重建成本}} \quad (3.1)$$

其中：

$E_s(\text{Cost})$: Steel Bridges Expected Cost，為第 i 年第 j 座橋梁之風險期望成本，其中， j 為同一管理單位之橋梁。

$E(MC)$: Maintenance Cost，為風險下維護成本(元件老化、塗裝劣化、洪水、地震)。

$E(RC)$: Rebuilding Cost，為橋梁在未維護狀態下，因地震或洪水損

害造成之重建風險成本。

橋梁維護風險成本E(MC)部分由可視、不可視之機率與成本組成，如公式3.2，以風險類別、風險因子等區分，各類別所使用計算因子如表3-13所示。

$$Es(\text{Cost}) = \left(\overbrace{P_{MD_{ij}} \times C_{MD_{ij}} + P_{MC_{ij}} \times C_{MC_{ij}} + P_{MS_{ij}} \times C_{MS_{ij}}}^{\text{Visible}} + \overbrace{P_{S_{ij}} \times C_{RS_{ij}} + P_{ME_{ij}} \times C_{ME_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{RE_{ij}}}^{\text{Invisible}} \right) \quad (3.2)$$

表3-13 鋼橋風險因子列表

風險類別	風險因子	橋梁維護機率	橋梁維護成本	斷橋風險機率	斷橋之重建成本
可視老化	構件老化	P_{MD}	C_{MD}	—	—
潛勢危害	塗裝劣化	P_{MC}	C_{MC}	—	—
	洪水	P_{MS}	C_{MS}	P_S	C_{RS}
	地震	P_{ME}	C_{ME}	P_E	C_{RE}

3.2 式中：

i:某段期間橋梁的使用年限，本研究預設 i=1~50 年每 5 年評估一次

j:為同一橋管單位之第 j 座橋梁

P_{MD} :元件老化造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Deterioration)。

P_{MC} :塗裝劣化維護機率值(Maintenance Probability Caused by Coating)。

P_{MS} :洪水造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Scour)。

P_{ME} :地震造成橋梁損壞之維護機率值(Maintenance Probability Caused by Earthquake)。

C_{MD} : 元件老化造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Deterioration)。

C_{MC} : 全面塗裝之維護成本(Maintenance Cost of Coating)。

C_{MS} : 洪水造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Scour)。

C_{ME} : 地震造成橋梁損壞之維護成本(Maintenance Cost of Earthquake)。

P_S : 洪水造成斷橋之風險機率值 (Bridge Broken Probability of Scour)。

P_E : 地震造成斷橋之風險機率值 (Bridge Broken Probability of Earthquake)。

C_{RS} : 因洪水造成斷橋之重建成本(Rebuilding Cost of Scour)。

C_{RE} : 因地震造成斷橋之重建成本 (Rebuilding Cost of Earthquake)。

本步驟將計算構件老化、塗裝劣化、洪水、地震各維護間隔 Δt 下造成之維護風險成本 $E(MC)$ 及重建風險成本 $E(RC)$ 。在分別求得橋梁之風險機率、頻率與風險成本後，可透過式(3.1)，求得橋梁之綜合能力指標，如表3-14即為以A橋作為範例的橋梁綜合能力指標，根據本研究所計算出來的橋梁綜合能力指標，可提供橋梁管理單位進行評估，根據當年度的維護經費來決定哪些橋梁需要進行維護動作。

表3-14 A橋之綜合能力指標

橋齡 風險	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
構件老化	4,632,586	12,233,132	15,826,761	17,692,469	19,086,368	19,905,112	20,434,039	21,212,880	21,588,485	21,896,689
塗裝劣化	903,190	1,047,045	1,213,812	1,407,141	1,631,262	1,891,080	2,192,279	2,541,453	2,946,240	3,415,500
洪水維護	96,588	663,261	17,367,974	42,237,070	45,815,127	51,572,688	59,464,839	63,219,360	63,991,748	64,063,566
地震維護	4,154,650	11,079,065	23,543,014	36,006,963	45,701,145	55,395,327	56,780,210	56,780,210	56,780,210	56,780,210
洪水重建	546,725	2,051,323	3,223,754	4,741,379	6,414,118	8,767,357	11,298,319	13,908,259	15,358,020	17,297,163
地震重建	373,919	997,116	2,118,871	3,240,627	4,113,103	4,985,579	5,110,219	5,110,219	5,110,219	5,110,219
$E[Cost]$	10,707,657	28,070,942	63,294,185	105,325,649	122,761,123	142,517,143	155,279,905	162,772,381	165,774,922	168,563,348

3.7 群橋生命週期維護策略最佳化模式

根據上述的鋼橋風險評估成果與 TRENDS 系統過去針對鋼筋混凝土橋梁之評估結果，本章將同時將公路總局轄管的鋼筋混凝土橋梁與鋼橋同時進行群橋維護成本最佳化分析。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。本階段建立群橋成本維護最佳化模式，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，群橋維護之時間點組合方案眾多，難以估計，若以傳統試誤法等方式求解，將無法在短時間內求得。因此本計畫擬使用生物共生演算法(SOS)，分別計算不同維護方案之風險影響程度，再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。其方法以保持生物共生時的多樣性及加速收斂的效果，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。

此階段分成三部分做介紹，分別為建立目標函數與限制式、生物共生演算法最佳化搜尋以及群橋生命週期維護成本最佳化。流程如圖 3.13 所示。

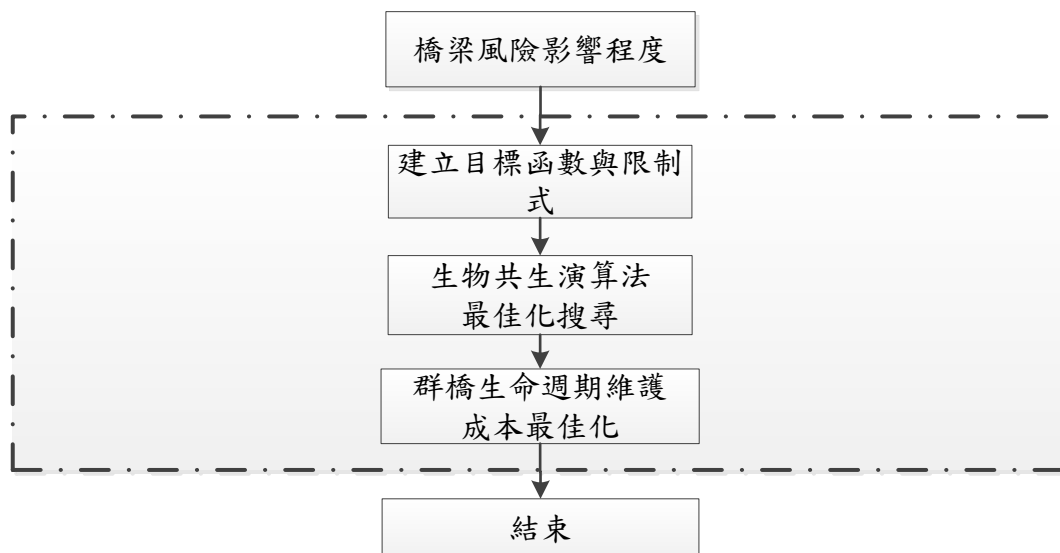


圖 3.13 群橋維護成本最佳化流程圖

3.7.1 群橋最佳化模式之目標方程式

將各橋之風險期望成本 $E_B(\text{Cost})$ 加總可得到群橋風險期望成本 $E_{GT}(\text{Cost})$ ， $E_B(\text{Cost})$ 之計算方式如圖 3.14 所示，而群橋維護最佳化之目標方程式，係以各工程處之預算為限制條件(式 3.3)，找出群橋生命週期最小的風險期望成本 $E_{GT}(\text{Cost})$ 。

$$\text{Min}E_{GT}(\text{Cost}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n E_{Bij}(\text{Cost}) \dots\dots\dots (3.3)$$

式 4.24 中：

$E_{GT}(\text{Cost})$: 群橋風險成本(Total Risk Cost of Group Bridges)

$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n E_{Bij}(\text{Cost})$: 同一工程處各橋梁 j ，與 i 年內之風險成本總和。

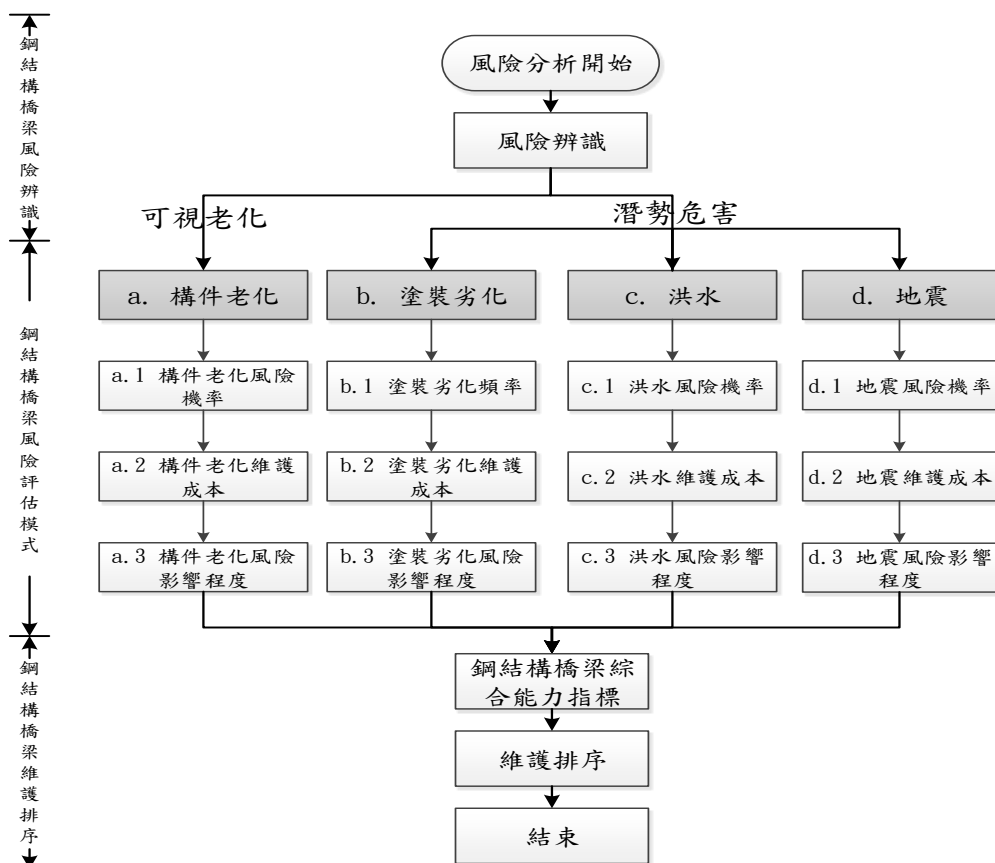


圖 3.14 鋼橋風險評估模式流程

3.7.2 群橋最佳化模式之限制式

本模式之限制式為橋梁管理單位的維護預算，以第 i 年為例，最佳化需滿足第 i 年之預算限制(如式 3.4)。在生物共生演算法最佳化搜尋過程中會用隨機組合之方式，來找出滿足最小群橋風險成本 $E_{GT}(\text{Cost})$ 同時又滿足限制式的維護策略。

For $i=1$ to 20

Subject to $\sum_{j=1} E_{ij}(\text{MC}) \leq B_i \dots\dots\dots(3.4)$

END

式 3.4 中

m :工程處轄區橋梁總數

B_i :第 i 年度預算(Budget)

j :為同一橋管單位之第 j 座橋梁

i 某段期間橋梁的使用年限，本計畫 $i=1\sim 20$ 年(本計畫維護策略設定為 20 年，不過也可依橋管單位設定求得 20,25,30 年之維護策略)。

3.7.3 生物共生演算法

現今的啟發式演算法通常是模擬自然界生物的現象，例如蜂群演算法 ABC(Artificial Bee Colony)模擬蜜蜂成群地覓食特性；遺傳演算法 GA(Genetic Algorithm) 模擬自然進化的過程，粒子群優化演算法 PSO(Particle Swarm Optimization)模擬動物群聚行為。而生物共生搜尋演算法 SOS 模擬生物體間的交互共生作用做配對，用於搜索生物體間最合適的交互共生作用關係，SOS 演算法主要的特點是可以解決空間維度連續數值的最佳化搜尋。

本計畫使用之生物共生搜尋演算法 (SOS)，其靈感來自自然生態系統中生物之間的互動模式，SOS 主要使用三種計算策略分別為互利共生、片利共生和寄生，以模擬自然生態的共生模式。另外 SOS 演算法的三個階段在操作上是容易的，只需要用簡單的數學運算法則。此外，

相較於同類演算法，SOS 不使用微調的參數，並提高了性能的穩定性，即使比同類算法使用較少的控制參數，還能夠解決各種數值最佳化之問題，其在尋優與運算時間表現均優於目前被廣為應用之基因演算法 (Genetic Algorithms, GA) 與粒子群演算法 (Particle Swarm Optimization, PSO)。

生物共生演算法是以其他演算法為研究基礎所發展出的演算法，SOS 可在搜尋空間不斷地迭代候選解，進而求得全域最佳解。在 SOS 演算法中，初始假設數值空間是一個生態系統，在這個生態系統搜尋空間中，會有一組隨機生成的生物群，生物群中的每一個生物體代表一個對應問題的候選解，同時每一個生物體在生態系統中也代表一組目標適存值 (Fitness value)，這個目標適存值會反映預期目標的適存程度。如圖 3.15，先輸入橋梁相關參數，應用 SOS 搜尋，輸出群橋維護策略方案。

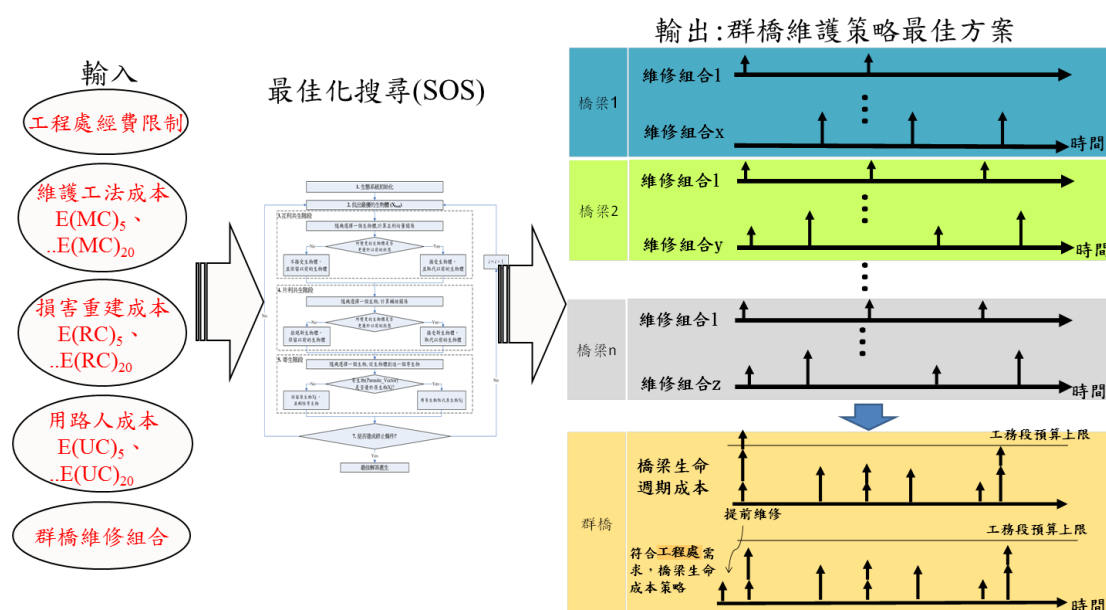


圖 3.15 群橋最佳化應用 SOS 演算法程序

首先在程式中輸入工程處經費限制，本計畫以二區工程處為例，根據過去年預算平均值為 1,407,154,097 元/年，再加入兩個標準差作為搜尋之預算限制，因此二區工程處之年維護預算約為 3,780,217,329 元/年。接著執行程式，程式自動輸入相關參數彙整資料等，如表 3-15 所示。

接著進入到 SOS 演算法詳細演算流程，如圖 3.16 所示。

表3-15 橋梁相關參數彙整(節錄)

ID	E(MC)1	E(MC)2	E(MC)3	E(MC)4	E(MC)5	E(MC)6	E(MC)7	E(MC)8	E(MC)9
B01-0010-010A	1,328,270	1,800,995	2,179,175	2,651,900	2,935,535	3,030,080	3,030,080	3,124,625	3,227,619
B01-0010-091A	19,233	48,418	150,565	208,935	362,802	746,973	768,215	811,993	826,585
B01-0010-092A	151,915	387,555	579,013	755,743	785,198	1,020,838	1,183,793	1,655,382	1,817,244
B01-0010-097A	4,640	8,644,640	23,764,640	29,164,640	35,649,405	37,817,348	43,212,582	47,529,405	49,690,994
B01-0010-097E	2,724,640	12,244,640	13,604,640	20,404,640	21,764,640	23,124,640	28,564,640	34,004,640	40,807,206
B01-0010-097C	1,664,860	4,198,880	6,296,000	8,130,980	8,742,640	9,529,060	11,889,851	12,678,135	13,726,232
B01-0010-098A	81,990	217,353	314,040	449,403	497,608	687,806	763,568	977,869	1,095,482
B01-0010-098E	537,760	1,537,360	2,403,680	3,403,280	4,336,240	5,135,920	5,277,788	5,945,261	6,017,748
B01-0010-099A	942,140	2,442,140	4,692,140	5,067,140	6,005,151	6,754,756	7,130,120	7,694,029	9,192,703
B01-0010-101A	4,640	23,865	23,865	43,090	62,973	62,981	63,110	160,174	181,348
B01-0010-103A	46,185	150,047	191,592	253,910	358,707	420,505	586,649	710,997	815,056
B01-0010-108A	25,168	168,860	292,025	394,663	478,784	621,695	662,024	1,031,984	1,113,647
B01-0010-112A	4,640	871,303	1,501,603	1,974,328	2,456,583	2,686,592	3,009,684	3,238,104	3,398,856
B01-0010-116A	64,215	123,790	540,815	659,965	957,840	1,434,440	1,791,890	2,089,765	2,390,344
B01-0010-117A	7,024,640	17,554,640	20,674,640	26,524,640	33,934,640	40,564,640	44,854,640	47,974,640	57,730,994
B01-0010-118A	194,303	421,898	763,290	1,066,750	1,229,599	1,526,705	1,754,300	1,942,374	2,290,121
B01-0010-125A	56,703	264,953	369,078	785,578	1,364,619	1,727,468	2,043,020	2,298,567	3,030,619
B01-0010-126A	203,218	534,180	997,528	1,328,490	2,122,800	2,850,918	2,983,303	3,380,458	3,645,698
B01-0010-131A	724,640	1,264,640	1,804,640	2,704,640	5,055,759	5,590,994	6,678,936	7,394,171	8,469,405
B01-0010-132A	1,159,640	1,621,640	2,314,640	3,238,640	3,931,640	4,162,640	14,431,345	17,345,237	21,030,929
B01-0010-132E	206,008	474,498	608,743	810,110	944,355	1,279,968	1,749,825	2,152,560	2,219,849

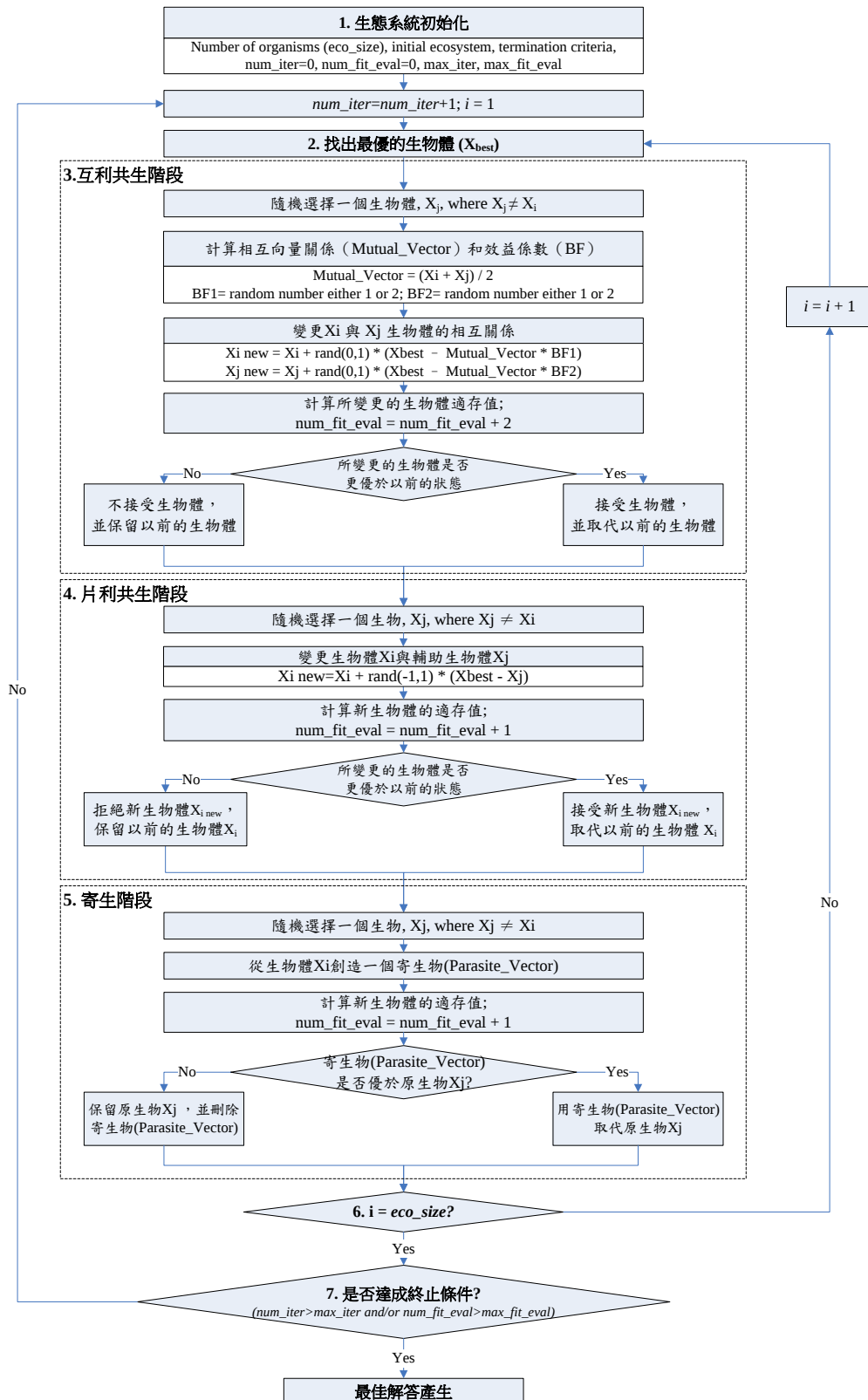


圖 3.16 SOS 演算法程序

步驟1.生物系統初始化

設定生物體數量與邊界條件

本計畫將設定 SOS 演算法中的生物體數量為 50 個，且每一個生物體即代表一種維護策略組合。因此，本階段會以隨機的方式產生這 50 個生物體的維護策略組合，後續在疊代的過程中各生物體之間，會在 SOS 的共生行為中，互相影響維護策略的組合。

以二區工程處為例，二區工程處橋梁數量總共有 920 座，其生命週期之規畫以 20 年為例的話，其結果將會有 18,400 個欄位(即 920 乘以 20 等於 18,400)，然後這 18,400 的欄位會有 18,400 的平方種組合(因本程式假設維護或不維護是應用二進制之方法為 0 與 1，因此為平方關係)。因 SOS 演算法最佳化搜尋的空間維度特性主要為連續數值，且因本課題維護或不維護為二進制之問題，因此需要將連續數值轉換為二進制(如：連續數值 42 轉換二進制結果為 0011010000110010)其中 0 代表不需維護、1 即代表需維護。

步驟2.找出最優的生物體(Xbest)

此步驟將會在迭代過程中找出最好的適存值維護策略紀錄。

步驟3.互利共生階段

舉例來說，互利共生是指兩種不同的生物，彼此互助互惠生存的關係，像是蜜蜂與花，蜜蜂在花朵間飛舞採花蜜，這個活動對蜜蜂來說可以獲得花蜜，對花來說因為蜜蜂採花蜜的行為而獲得授粉，在此的 SOS 階段就像是一種互惠關係。

在 SOS 中， X_i 代表一個生物體在生態系統中的第 i 個成員，且 X_i 在每次的疊代過程中都會輪流轉換，另一個生物體 X_j 是從生態系統中隨機選擇出來和 X_i 互動的生物體。這兩種生物體彼此之間會互助互惠，在生態系統中增進生存優勢。從生物體 X_i 和 X_j 的互助關係中會計算出新的候選解 $X_{i\text{new}}$ 和 $X_{j\text{new}}$ 如式(3.5)式(3.6)。

$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_1) \dots\dots\dots(3.5)$$

$$X_{j\text{new}} = X_j + \text{rand}(0,1) * (X_{\text{best}} - \text{Mutual_Vector} * BF_2) \dots\dots\dots(3.6)$$

在這裡利益因素(BF₁、BF₂)將隨機計算為 1 或 2，這些因素代表每一個生物的益處水平，如生物體在相互作用中是否部分或完全得到好處。公式 3.7 稱為互利向量“Mutual_Vector”，表示該生物體 Xi 和 Xj 之間的關係特性。最後在互利共生階段，只有當新的適存值優於之前的互動適存值，生物體才會被更新，如 Xi_{new} 的適存值優於 Xi 的適存值，即 Xi 的維護策略會被 Xi_{new} 取代。

$$\text{Mutual_Vector} = \frac{X_i + X_j}{2} \dots\dots\dots(3.7)$$

Step4.片利共生階段

片利共生的例子如短印魚和鯊魚之間的關係。短印魚貼附鯊魚還有吃鯊魚食物殘渣，從而收到好處。鯊魚是幾乎不受短印魚影響，如果有獲益或是損益的話也是很小的。

在 SOS 中，互利共生階段的生物體 Xj 為從生態系統中被隨機挑選出來與生物體 Xi 互動的生物體。在這種情況下，生物體 Xi 試圖從互動中受益。然而，生物體 Xj 本身既無好處也無壞處。新的候選解 Xi 是根據 Xinew 和 Xj 之間的片利共生互動產出，如式 3.8。按照這樣的規則，生物體 Xi 只有當它新的適用值比其之前適用值更好才會更新。即程式會隨機產生一介於-1 至 1 的數值，該數值會乘上步驟二已找出的 Xbest，之後再加上 Xi 得到新的適存值，如 Xi_{new} 的適存值優於 Xi 的適存值，即 Xi 的維護策略會被 Xi_{new} 取代。

$$X_{i\text{new}} = X_i + \text{rand}(-1,1) * (X_{\text{best}} - X_j) \dots\dots\dots(3.8)$$

Step5.寄生階段

寄生之例子如瘧原蟲，透過瘧蚊叮咬人類，進入宿主。當瘧原蟲在人體內部擴散被發現，其人類宿主遭受瘧疾可能導致死亡的結果。

在 SOS 中，生物體 Xi 類似寄生瘧蚊角色，透過人工創造寄生行為

稱為寄生向量 “Parasite_Vector”。在搜尋的空間中寄生載體被創造複製出生物體 X_i ，然後使用一個隨機數修改成隨機的尺寸，再從生態系統中隨機選擇出生物體 X_j ， X_j 作為主導寄生蟲載體。在生態系統中寄生蟲載體嘗試取代 X_j 。這兩種生物體評估與衡量自己的適存值。如果寄生蟲載體有更好的適存值，它會殺死生物體 X_j ，並取代其在生態系統中的地位。如果 X_j 有更好的適存值， X_j 將能抵抗寄生蟲和寄生蟲載體，使其無法繼續同處在該生態系統中，公式如 3.9 所示。

$$\begin{aligned} \text{IF FitnessValue(Parasite_Vector)} > \text{FitnessValue}(X_j) \quad \text{THEN } X_j = \text{Parasite_Vector} \\ \text{IF FitnessValue(Parasite_Vector)} \leq \text{FitnessValue}(X_j) \quad \text{THEN } X_j = X_j \end{aligned} \quad (3.9)$$

Step6.生物體達到設定值上限

在 SOS 演算法中，如果迭代次數達到生物體上限，則程式會終止計算。本計畫之迭代次數為 1500 次，並驗證至其收斂。

Step7.滿足終止條件

滿足終止條件時，SOS 將會停止計算。得到最小之 LCC 群橋維護最佳化目標、最佳維護策略與 E(MC)橋梁維護風險成本。

3.7.4 群橋生命週期維護成本應用

本計畫導入生命週期成本導向之概念，建置群橋維護策略最佳化模式，如圖 3.17 之示意。由於同一橋梁在不同時間點執行維護下，有不同之效益，即維護方案執行後使設施保持健康或堪用狀態的程度可能會有所差異。因此，根據各橋梁之劣化曲線，求得橋梁殘餘能力，再求得群橋各橋梁風險，並加總求得生命週期維護風險成本 $E_B(\text{Cost})$ ，最後在符合維護預算限制下，找出最小之 $E_{GT}(\text{Cost})$ ，來決定工程處各橋梁因年限、外力影響受損之最佳維護時機。

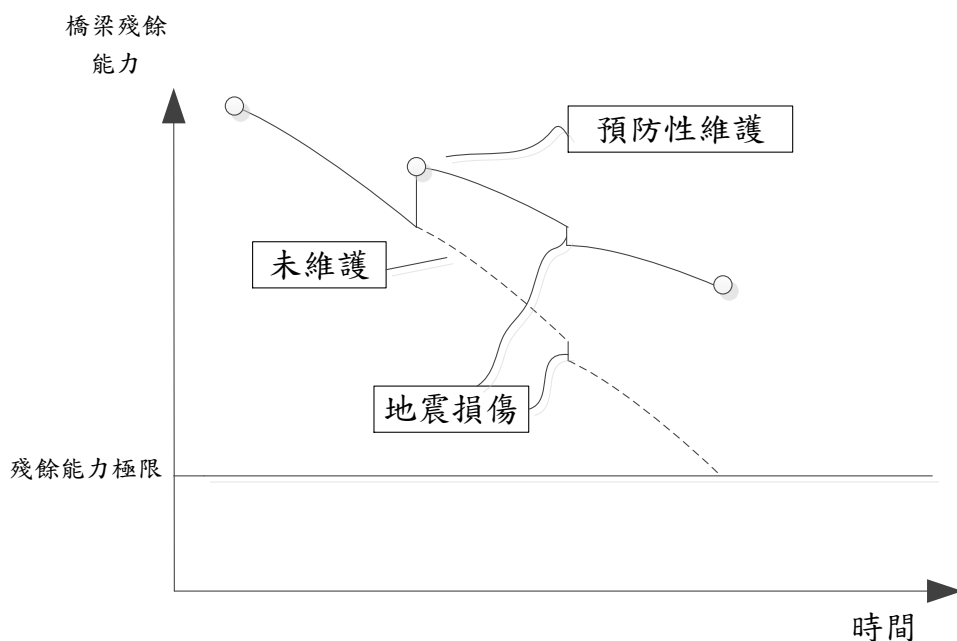


圖 3.17 橋梁維護策略示意圖

已完成建置之網頁程式可供使用者查詢，如圖 3.18 所示。橋梁維護與風險管理項目中分為單橋維護策略與群橋維護策略。



圖 3.18 橋梁維護與風險管理功能

點選單橋維護策略(圖3.19)，並設定要搜尋之條件。

設定搜尋條件	
☐ 依橋梁名稱查詢	
☒ 依所屬工程處查詢	第一區工程處 ▾
☒ 依所屬工務段查詢	景美 ▾
☐ 依老化造成維修機率查詢	大於20% ▾
☐ 依洪水造成維修機率查詢	大於20% ▾
☐ 依地震造成維修機率查詢	大於20% ▾
送出查詢	

圖 3.19 設定搜尋條件

以第一區景美工務段為例(圖3.20)，各橋梁因為老化、洪水、地震及塗裝劣化之維修機率以清單列出，並可分別進行排序。

橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	所在縣市	所在鄉鎮	生命週期20年內老化造成維修機率排序	生命週期20年內洪水造成維修機率排序	生命週期20年內地震造成維修機率排序	生命週期20年內塗裝造成維修機率排序
A01-0620-000AE	第一橋東行線OK+131.5-360	一區	景美	基隆市	七堵區	61.76	0.0	82.5	0.0
A01-1060-039BH	平菁橋(新橋)	一區	景美	新北市	石碇	0.0	0.0	79.5	0.0
A01-1060-034	永豐橋	一區	景美	新北市	石碇	0.0	0.19	78.5	0.0
A01-0020-010E	平湖六號橋	一區	景美	新北市	平溪	17.2	0.0	76.0	0.0
A01-0020-023B	長潭橋	一區	景美	新北市	雙溪	12.9	0.0	74.5	0.0
A01-0620-001AW	第一橋西行線OK+046.480	一區	景美	基隆市	七堵區	62.08	0.0	73.5	0.0
A01-0020-030A	王公橋	一區	景美	新北市	石門	0.0	0.0	73.5	0.0
A01-0020-010A	瑞芳橋	一區	景美	新北市	瑞芳	0.0	1.55	71.5	0.0
A01-1060-030B	番子坑橋	一區	景美	新北市	石碇	0.0	0.03	69.5	0.0
A01-1060-067	十分寮橋	一區	景美	新北市	平溪	0.0	0.0	69.5	0.0
A01-0020-022A	瑞漢橋	一區	景美	新北市	雙溪	27.34	0.0	69.0	0.0
A01-0020-023A	八股橋	一區	景美	新北市	雙溪	9.58	0.0	68.0	0.0
A01-1060-002AW	喜樂橋(西)	一區	景美	新北市	石碇	0.0	0.0	68.0	0.0
A01-1060-047B	新興橋	一區	景美	新北市	深坑	0.0	0.52	67.5	0.0
A01-0030-000A	貨德連路連橋-OK+228m	一區	景美	新北市	汐止	40.13	0.0	64.5	0.0
A01-0020-017B	平林嘉靖橋	一區	景美	新北市	雙溪	16.69	0.0	64.5	0.0
A01-0020-022C	公親橋	一區	景美	新北市	雙溪	14.74	0.0	64.0	0.0
A01-0620-002A	2K+97跨慈橋	一區	景美	基隆市	七堵區	0.0	0.0	63.5	0.0
A01-1060-039BO	平菁橋(舊橋)	一區	景美	新北市	平溪	0.0	56.06	63.5	0.0
A01-0020-101A	龍門橋	一區	景美	新北市	寶尊	0.0	1.9	62.0	0.0
A01-0620-003B	3K+410	一區	景美	基隆市	七堵區	9.25	0.0	60.5	0.0
A01-0020-022B	丁蘭橋	一區	景美	新北市	雙溪	35.73	0.0	60.5	0.0
A01-0030-013B	白龍湖橋	一區	景美	新北市	汐止	21.79	0.01	60.5	0.0
A01-0020-032A	萬里橋	一區	景美	新北市	萬里	0.0	0.0	60.5	0.0
A01-0030-011B	南港月橋	一區	景美	新北市	汐止	30.49	0.01	59.5	0.0
A01-0020-046A	龍聖橋	一區	景美	新北市	萬里	0.0	0.03	58.5	0.0
A01-1020-011A	瑞柑陸橋	一區	景美	新北市	瑞芳	63.62	1.77	57.0	0.0
A01-0620-003A	3K+060	一區	景美	基隆市	七堵區	23.26	0.0	52.5	0.0
A01-1060-002AE	喜樂橋(東)	一區	景美	新北市	石碇	0.0	0.0	52.0	0.0
A01-0020-010C	子平陸橋	一區	景美	新北市	瑞芳	0.0	0.79	51.0	0.0
A01-0030-016A	姑婆一號橋	一區	景美	新北市	汐止	14.51	0.1	50.5	0.0
A01-0620-000B	13K+667~13K+760跨道2	一區	景美	新北市	瑞芳	100.0	0.0	46.5	0.0

圖 3.20 各橋梁維修機率排序

點選群橋維護策略按鈕後，需勾選查詢之條件(圖 3.21)。

請勾選需要的條件	
☐ 依橋梁名稱查詢	
☒ 依所屬工程處查詢	第一區工程處 ▾
☐ 依所屬工務段查詢	景美 ▾
維修策略	20年規劃 ▾
風險類別	所有風險 ▾
送出查詢	

圖 3.21 群橋維護策略搜尋條件

以第一區工程處 20 年維護週期為例，顯示此工程處最佳維修策略組合，如圖 3.22 所示。

重新查詢 列印此頁 註可點選表頭按鈕進行資料排序																								
橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工務段	維修風險成本(萬元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
各年度加總(萬元)					45124	50594	57197	75666	143162	48965	78544	62168	63824	85269	50000	66475	69809	76979	54021	57606	91408	71835	78171	46898
A01-0020-001A	竹園橋	一區	景美	507	23	-	-	-	-	117	23	-	52	-	53	-	53	-	-	82	-	-	82	24
A01-0020-003A	外北橋	一區	景美	355	-	-	83	-	49	16	16	-	49	-	-	-	-	111	16	16	-	-	-	-
A01-0020-003B	高厝橋	一區	景美	13	-	2	-	-	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-
A01-0020-004A	合山橋	一區	景美	531	18	-	-	-	142	-	49	-	-	99	18	-	50	18	18	-	50	19	-	51
A01-0020-005A	後田橋	一區	景美	937	-	132	-	-	168	36	36	36	-	-	-	-	253	37	37	-	-	-	202	-
A01-0020-005B	米蘭橋	一區	景美	1110	53	53	53	54	54	54	54	-	-	-	-	-	424	-	-	146	-	83	-	83
A01-0020-006A	水原橋	一區	景美	680	34	34	35	35	35	35	-	77	-	77	-	77	35	35	36	36	-	-	100	-
A01-0020-006B	水碓橋	一區	景美	375	-	-	63	20	-	-	63	20	-	27	20	-	27	21	21	-	28	-	-	66
A01-0020-006C	金龍橋	一區	景美	4078	65	65	65	-	-	811	-	503	66	66	-	-	-	1017	67	-	-	835	-	518
A01-0020-006D	三塊厝橋	一區	景美	325	-	-	-	77	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	-	-	169	-	-	-
A01-0020-007A	商工橋	一區	景美	620	28	-	72	-	-	-	-	-	-	196	28	-	-	96	29	-	74	-	-	98
A01-0020-009A	集應橋	一區	景美	192	2	-	-	-	38	2	-	-	-	-	54	-	-	34	-	-	-	-	-	62
A01-0020-010A	興仁橋	一區	景美	72	-	8	1	1	1	-	8	-	8	1	1	1	-	-	-	24	-	-	15	1
A01-0020-010B	福壽橋	一區	景美	165	-	-	-	-	50	2	-	16	-	16	-	16	-	-	-	47	-	16	3	-
A01-0020-011A	新埔橋	一區	景美	121	-	-	20	-	11	7	7	-	-	20	-	11	-	11	-	-	-	27	7	-
A01-0020-012A	賢孝橋	一區	景美	135	5	5	-	-	29	5	-	-	-	-	-	-	-	63	5	5	-	11	5	5
A01-0020-013A	大屯橋	一區	景美	862	-	83	19	19	-	-	-	243	-	-	-	246	20	20	-	86	20	-	87	20

圖 3.22 一區工程處分析結果

點選橋梁維修成本可進一步查看老化、耐洪、耐震或是塗裝維修風險成本值，如圖 3.23 所示。

竹園橋維修策略																				
類別	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
老化維修成本(元)	905	0	0	0	0	916	918	0	922	0	927	0	931	0	0	938	0	0	945	947
耐洪維修成本(元)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
耐震維修成本(元)	226100	0	0	0	0	1168252	229383	0	521632	0	524144	0	526670	0	0	814225	0	0	820115	236662
塗裝維修成本(元)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
列印此頁																				

列印此頁

圖 3.23 各橋維護策略

第四章 公路早期防救災決策支援資訊系統

4.1.資訊系統架構

系統為能達到持續運作不中斷，所以除了在港研中心設立了主系統外，在臺科大亦設了備援系統，本中心連結位置如表4-1。

表 4-1 系統架構

IP	品項	作業系統	系統功能
163.29.73.51	網路伺服器	MS Windows Server 2008	網頁伺服器
163.29.73.52	網路伺服器	MS Windows Server 2008	ESRI Arc GIS server
163.29.73.53	網路伺服器	MS Windows Server 2008	MS SQL Server 2008

(一)第一台主機:163.29.73.51

(1)TRENDS網頁伺服器放置在c:\resin-2.1.12中

(2)c:\resin-2.1.12\bin\httpd.exe為伺服器啟動的執行檔，此執行檔已經設定在系統的啟動功能內，只要機器一啟動就會自動執行。

(3) c:\resin-2.1.12\doc\www1放置網頁內容，為jsp撰寫的網頁程式

(二)第二台主機:163.29.73.52

(1)ArcGIS IIS網頁伺服器放置在c:\inetpub中

(2)c:\inetpub\wwwroot為GIS網頁使用目錄。

(三)第三台主機:163.29.73.53

(1)資料庫伺服器

(2)跨河自動更新程式、地震擷取程式(與中央大學連結)

4.2 系統網頁及說明

4.2.1 臺灣橋梁地震通阻分析模式

系統網址為<http://163.29.73.52/pga/>，網頁如圖4.1所示，網頁存放位置 GIS 相關網頁放置於 163.29.73.52 主機，路徑為 C:\inetpub\wwwroot\PGA\Default.aspx，如圖4.2所示。

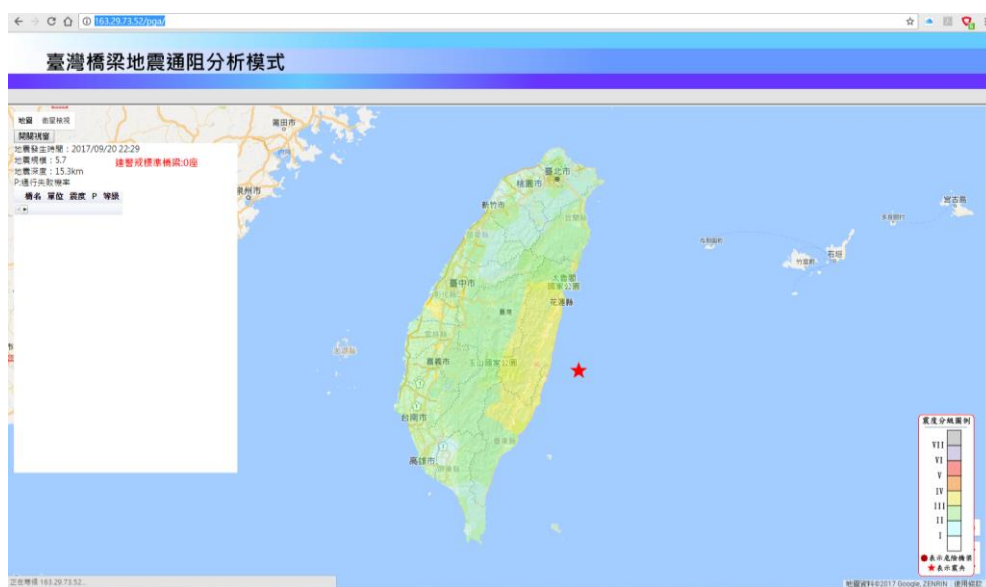


圖 4.1 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁

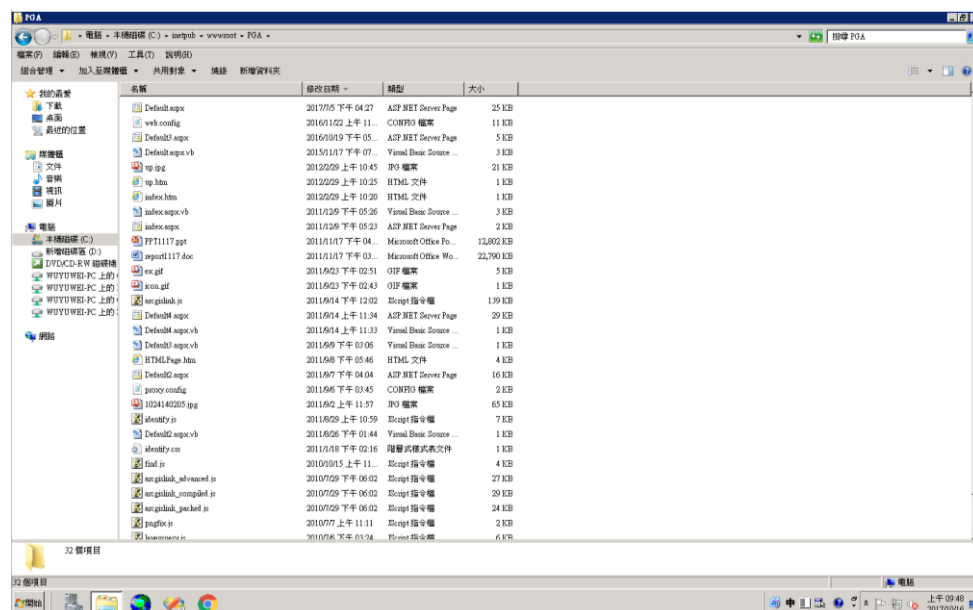


圖 4.2 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁位置

資料庫使用表單使用MSSQL資料庫，資料庫名稱:Bridge，資料表名稱為TELES橋梁基本資料表(如圖4.3)，在D槽Bridge.bak是Bridge資料庫的備份檔。相關資料表、欄位說明詳附錄。

ID	橋名	工程處	工程段	PGA_M2	PGA_M3	PGA_M4	PGA_M5	PGA_M2_ESIM	PGA_M3_ESIM	PGA_M4_ESIM	PGA_M5_ESIM	PGA	P_TEL_ES	P_ESIM	P
2537	A01-0020-001A 竹園橋	一區	橋身	0.2420	0.4037	0.5645	0.7252	0.21142601	0.3069101433333333	0.4004347666666667	0.49393841	0.00058352	0	0	0
2538	A01-0020-001B 外光橋	一區	橋身	0.2420	0.3887	0.5435	0.6983	0.20634349	0.29946472	0.39298585	0.48570718	0.00079583	0	0	0
2539	A01-0020-001C 萬壽橋	一區	橋身	0.2420	0.4037	0.5645	0.7252	0.20909868	0.3015171433333333	0.3939350666666667	0.48635407	0.00079583	0	0	0
2540	A01-0020-001D 香山橋	一區	橋身	0.306	0.4912	0.6869	0.8825	0.24833218	0.3678080333333333	0.4873848333333333	0.60691116	0.00088549	0	0	0
2541	A01-0020-001E 德和橋	一區	橋身	0.306	0.5084	0.7109	0.9133	0.24969134	0.36947379	0.48922604	0.60630229	0.00080684	0	0	0
2542	A01-0020-001F 新華橋	一區	橋身	0.306	0.5084	0.7109	0.9133	0.24959687	0.36879782	0.47539877	0.59410772	0.00080197	0	0	0
2543	A01-0020-001G 牛頭橋	一區	橋身	0.306	0.5084	0.7109	0.9133	0.24121068	0.35170881	0.46222684	0.57272307	0.00088808	0	0	0
2544	A01-0020-001H 牛頭橋	一區	橋身	0.306	0.5059	0.7074	0.9089	0.24111505	0.35163023	0.46214541	0.57260559	0.00088808	0	0	0
2545	A01-0020-001I 主龍橋	一區	橋身	0.3585	0.4165	0.4359	0.4545	0.2403501	0.34941021	0.43827032	0.56713043	0.00092941	0	0	0
2546	A01-0020-001J 三機管橋	一區	橋身	0.5025	0.769	1.0752	1.3815	0.26821497	0.3949332	0.52165143	0.64836966	0.00088878	0	0	0
2547	A01-0020-001K 龍工橋	一區	橋身	0.306	0.5059	0.7074	0.9089	0.23661926	0.3434284666666667	0.4502866333333333	0.55712032	0.00010241	0	0	0
2548	A01-0020-001L 萬惠橋	一區	橋身	0.306	0.4958	0.6933	0.8907	0.22113026	0.3179318	0.41473334	0.51153488	0.00084627	0	0	0
2549	A01-0020-001M 廣仁橋	一區	橋身	0.306	0.5084	0.7109	0.9133	0.21344638	0.3094287666666667	0.4054577333333333	0.50140387	0.00080412	0	0	0
2550	A01-0020-001N 龍華橋	一區	橋身	0.306	0.5083	0.7107	0.9131	0.21982576	0.31314042	0.40628598	0.50342974	0.00087140	0	0	0
2551	A01-0020-001O 新華橋	一區	橋身	0.306	0.5083	0.7106	0.913	0.19789521	0.2834304666666667	0.3991756033333333	0.5046208	0.00081675	0	0	0
2552	A01-0020-001P 寶華橋	一區	橋身	0.306	0.4844	0.6912	0.8881	0.21814539	0.31335835	0.40857131	0.50378427	0.00075054	0	0	0
2553	A01-0020-001Q 大安橋	一區	橋身	0.2078	0.2883	0.3159	0.3444	0.13161633	0.1410423333333333	0.1765920333333333	0.199079834	0.00078684	0	0	0

圖 4.3 臺灣橋梁地震通阻分析模式網頁資料庫

其中(1).[PGA_M2]為橋梁Ay值(國震)

(2).[PGA_M5]為橋梁Ac值(國震)

(3).[PGA_M3]為橋梁Ay值與橋梁Ac值間均分三等級(國震)

(4).[PGA_M4]為橋梁Ay值與橋梁Ac值間均分三等級(國震)

同理本研究推論之Ay與Ac值亦紀錄於以下欄位

(5).[PGA_M2_ESIM]

(6).[PGA_M3_ESIM]

(7).[PGA_M4_ESIM]

(8).[PGA_M5_ESIM]

PGA欄位為橋梁所在地之地表加速度

在D:\CWB\FTP內有database.txt記錄地震分析程式路徑如圖4.4，在D:\CWB\FTP內FTP.exe執行檔為舊版程式，只有下載NewFTP.exe執行檔為現在執行程式，具下載及分析功能，原始碼為Form1.cs，本所TBMS系統接收中央氣象局之地震資訊並產生網格資料(txt格式)其ftpServerIP為210.65.138.122，在D:\CWB目錄下有地震_grd.txt及EL地震報告.txt檔案位置如圖4.5，檔名格式為yyyy+MM+dd+地震編號三碼+_grd.txt，EL地震報告為ELMM+dd+hh+mm+芮氏規模+地震編號三碼.txt，地震_grd.txt內有站名,網格中心點之經度,緯度及地表加速度，地震_grd.txt及EL地震報告內容如圖4.6及4.7。

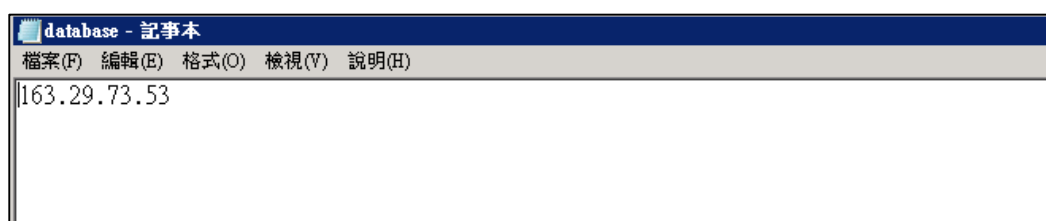


圖 4.4 記錄地震分析程式路徑 database.txt

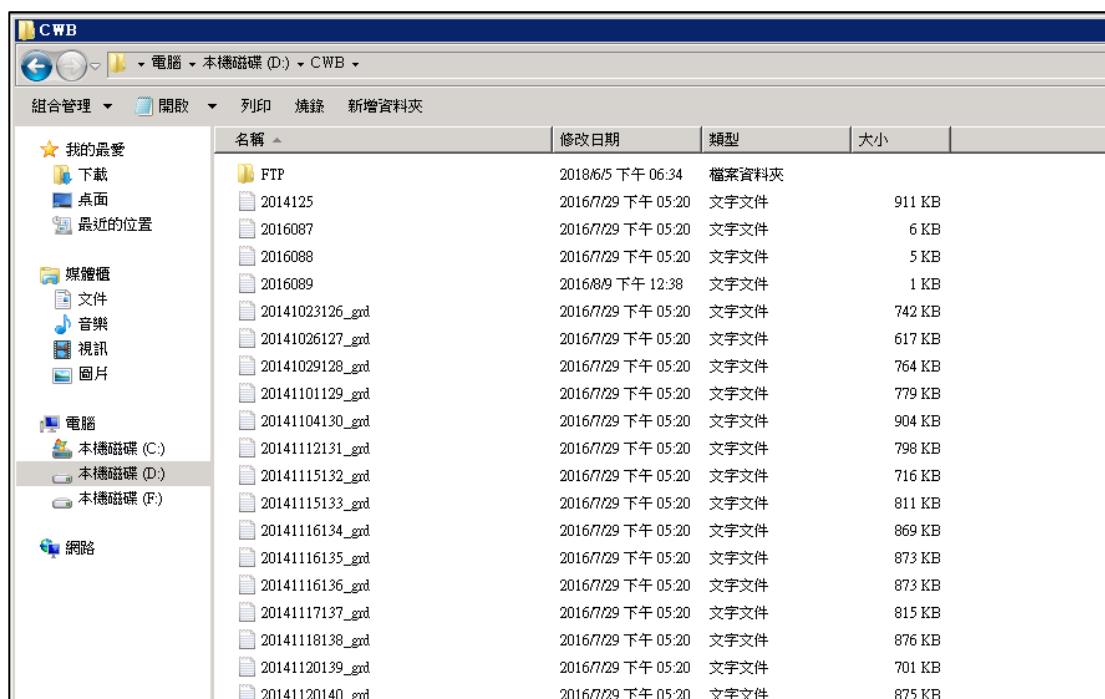


圖 4.5 地震_grd.txt 及 EL 地震報告.txt 位置

20180207039_grd - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

```

"###",119.41,23.21,.3718824
"###",119.42,23.2,.3733154
"###",119.42,23.21,.3744917
"###",119.43,23.21,.3771289
"###",119.48,23.57,.4251005
"###",119.49,23.36,.4112863
"###",119.49,23.37,.4122755
"###",119.49,23.38,.4132347
"###",119.5,23.36,.4144159
"###",119.5,23.37,.4154024
"###",119.5,23.38,.4163785

```

圖 4.6 地震_grd.txt 內容

EL0207113648039 - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

中央氣象局地震測報中心 第039號有感地震報告
發震時間：107年 2月 7日11時36分19.3秒
震央位置：北緯 24.11°
東經 121.70°
震源深度：5.0 公里
震內相對位置：花蓮縣政府北偏東方 15.2 公里（位於花蓮縣近海）

各地震度級

花蓮縣地區最大震度 3級	宜蘭縣地區最大震度 3級	南投縣地區最大震度 3級
太魯閣 3	南澳 3	合歡山 3
秀林 3	南山 2	日月潭 2
花蓮市 3	牛門 2	南投市 1
和平 3	羅東 2	埔里 1
鹽寮 3	蘇澳 1	
銅門 3	內城 1	
壽豐 3	宜蘭市 1	
吉安 2	龜山島 1	
西林 2		
磯崎 2		
光復 2		
紅葉 1		
臺中市地區最大震度 2級	苗栗縣地區最大震度 2級	雲林縣地區最大震度 2級
德基 2	竹南 2	草嶺 2
霧峰 1	獅潭 1	古坑 1
臺中市 1	鯉魚潭 1	斗六市 1
東勢 1	苗栗市 1	四湖 1
桃園市地區最大震度 1級	新竹市地區最大震度 1級	新竹縣地區最大震度 1級
光復 1	新竹市 1	竹北市 1
中壢 1		竹東 1
桃園市 1		
彰化縣地區最大震度 1級	新北市地區最大震度 1級	臺東縣地區最大震度 1級
員林 1	五分山 1	成功 1
彰化市 1	新北市 1	長濱 1
大城 1		
嘉義縣地區最大震度 1級	嘉義市地區最大震度 1級	
草山 1	嘉義市 1	

圖 4.7 地震報告.txt 內容

地震_grd.txt的網格中心點之經度,緯度及地表加速度及站名匯入資料表「地表加速度中央」之經度E,緯度N及地表加速度PGA及站名Name如圖4.8。

WIN-M0H7SGT9G...- dbo.地表加速度中央		WIN-M0H7SGT9G...
資料行名稱	資料類型	允許 Null
E	float	☐
N	float	☐
PGA	float	☒
Name	char(20)	☒
		☐

The screenshot shows the Microsoft SQL Server Management Studio interface. On the left, the '物件總管' (Object Explorer) pane displays a list of databases under '連接(O)'. The 'dbo.地表加速度中央' table is selected. The main window displays the table's structure and data. The table has four columns: E, N, PGA, and Name. The data is as follows:

E	N	PGA	Name
119.41	23.21	0.4516493	###
119.42	23.2	0.4533717	###
119.42	23.21	0.4557269	###
119.43	23.21	0.4598581	###
119.48	23.57	0.5602461	###
119.49	23.36	0.5241045	###
119.49	23.37	0.5264119	###
119.49	23.38	0.5286769	###
119.5	23.36	0.5294211	###
119.5	23.37	0.5317545	###
119.5	23.38	0.5340708	###
119.5	23.57	0.5713906	###
119.5	23.58	0.5735765	###
119.5	23.59	0.5758432	###
119.5	23.6	0.5781627	###

圖 4.8 資料表「地表加速度中央」內容

「地震模擬器暫存資料」資料表存EL資料,PGA運算完成為網格是否有PGA輸入,GP運算完成算到橋梁所在地加速度,P運算完成為橋損壞機率是否計算完成,網頁輸入是否由網頁地震模擬輸入,是為Yes自動更新,如果為NO為強制更新如圖4.9。

WIN-MOH7SGT9...bo.地震模擬器暫存資料			
資料行名稱	資料類型	允許 Null	
Tid	bigint	☐	
PGA運算完成	nvarchar(5)	☒	
GP運算完成	nvarchar(5)	☒	
P運算完成	nvarchar(5)	☒	
EID	bigint	☒	
地震發生時間	nvarchar(50)	☒	
深度	nvarchar(50)	☒	
經度	nvarchar(50)	☒	
緯度	nvarchar(50)	☒	
規模	nvarchar(50)	☒	
模式編號	nvarchar(50)	☒	
網頁輸入	nvarchar(50)	☒	
自動更新	nvarchar(50)	☒	
		☐	

WIN-MOH7SGT9...bo.地震模擬器暫存資料										
WIN-MOH7SGT9G...-dbo.地表加速度中央										
Tid	PGA運算完成	GP運算完成	P運算完成	EID	地震發生時間	深度	經度	緯度	規模	
1	Yes	Yes	Yes	4288	2018/04/16 21:48	22.2	121.4	37.1	4.7	
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

圖 4.9 資料表「地震模擬器暫存資料」內容

計算最短距離與對應網格中心點之PGA，使用「TELES橋梁基本資料表」PGA_M2_ESIM即Ay、「TELES基本資料」即橋梁97經緯度及「地表加速度中央」即地震地表加速度網格中央位置，計算距離橋梁最近的網格，用其最大地表加速度pga值，震度5級pga>0.0816以上橋梁或大於Ay的橋梁則篩選出。

pga > 0.0816 且 pga <= 0.255則橋震度BridgeScale = 5;

pga > 0.255且pga < 0.40816則橋震度 BridgeScale = 6;

pga > 0.40816則橋震度 BridgeScale = 7

由最大地表加速度pga值計算通行失敗機率

臺灣橋梁地震通阻分析模式將根據上述欄位PGA_M2~ PGA_M5與PGA計算橋梁之通行失敗機率分別存放於P_TELES(國震)與

P_ESIM(本研究推論)欄位，並取高值放置於P欄位，最後顯示於前端網頁中。

模式輸入與輸出部份，以(1)至(8)資料表中Ay及Ac值繪製橋梁地震易損曲線，易損曲線主要用來描述橋梁在地震作用下超越不同損害程度的機率。

易損性曲線是描繪橋梁等工程結構物達到或超越某種損害狀態 i 的機率的手段，常以對數常態分佈(log-normal distribution)之機率分佈函數來描述；每一條易損性曲線僅需兩個參數，亦即中值 m_i 和變異數 β_i ，即可完全定義之。因此，橋梁基本評估單元達到或超越損害狀態 i 的機率可表為：

$$\bar{F}_i(X) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_i} \cdot \ln \left(\frac{X}{m_i} \right) \right]$$

其中 $\Phi[\cdot]$ 為標準常態分佈對應的累積分佈函數(cumulative distribution function)， X 為所考量震度的PGA值(單位g)或是地表永久位移PGD值(單位公分)。

本計畫參考文獻交通部公路總局(2008)、劉季宇、葉錦勳、張國鎮等人(2010)所定義，易損性曲線常以對數常態分佈(log-normal distribution)之機率分布函數表示，此方法僅需兩個參數(平均值與變異數)即可繪製。其橫軸為地表加強度(PGA)，縱軸則為超越不同損害狀態的機率，其值介於0至1之間。易損曲線包含四條曲線，如下圖所示。分別描述在不同地表加速度下，超越輕微損害(由Ay繪製)、完全損害的機率(由Ac繪製)，並在此範圍內均分繪製超越中度損害、超越嚴重損害曲線。例如PGA為0.8g時，完全損壞機率為25%，嚴重破壞機率48%，中度損壞機率70%，輕微損壞機率92%。

橋梁通行失敗機率亦參考劉季宇、葉錦勳、張國鎮等人(2010)做法，其計算方法如下：失敗機率(P)=0.01(輕微損壞機率-中度損壞機率)+0.2(中度損壞機率-嚴重破壞機率)+0.8(嚴重破壞機率-完全損害的

機率)+完全損害的機率。根據此公式計算案例之失敗機率 $P=0.01(92-70)+0.2(70-48)+0.8(48-25)+25=47\%$ 。

此外，如圖4.10將橋梁之 A_y 訂為安全上限值與警戒下限值，橋梁之 A_c 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。

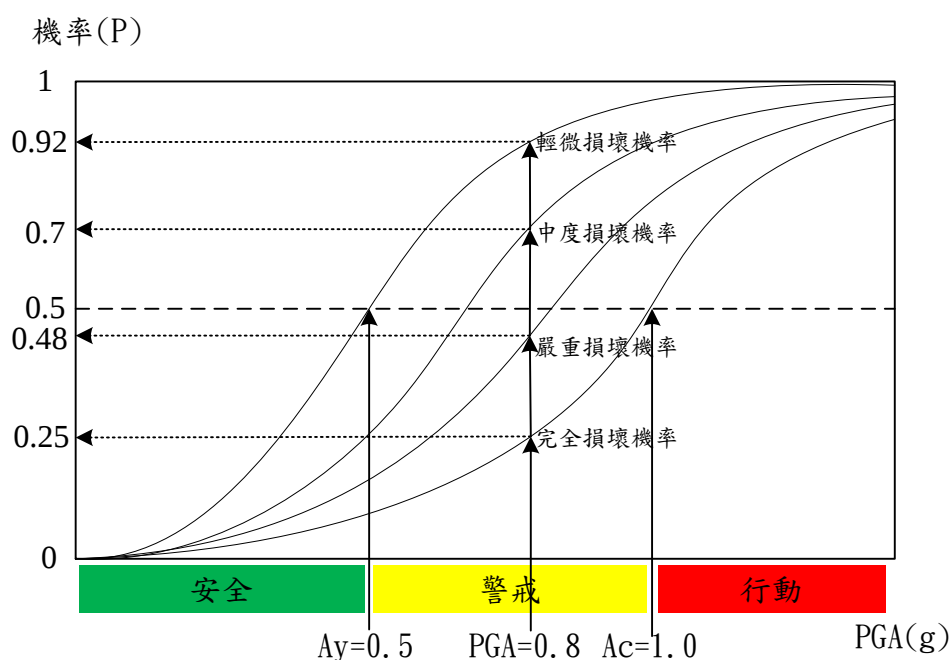


圖 4.10 橋梁地震易損曲線範例圖

EarthquakeRecordTime資料表紀錄最新一次模式分析之地震時間點，可供公路總局了解最新更新時間如圖4.11。EarthquakeRecord為最新一次地震下橋梁之震度與損壞機率，如該次地震所有橋梁震度皆未達5或是所在地之地表加速度 A_y 即不列出如圖4.12。

EarthquakeRecordHistory為歷次地震下橋梁之震度與損壞機率(僅供內部查存用)，欄位Eid序號,Date日期+地震編號3碼,地震Longitude經度,Latitude緯度,Scale規模,BridgeName橋名,BLongitude橋經度,BLatitude橋緯度,Department橋養護工程處,Section橋工務段,BridgeScale橋震度,P損壞機率如圖4.13。

WIN-M0H7SGT9GH1...hquakeRecord Time	
	EarthquakeRec...
▶	09-18 04:20:05.000
*	NULL

圖 4.11 「EarthquakeRecordTime」資料表

WIN-M0H7SGT9GH1.....EarthquakeRecord													▼ X
	Eid	Date	Depth	Longitude	Latitude	Scale	BridgeName	BLongitude	BLatitude	Department	Section	BridgeScale	
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	

圖 4.12 「EarthquakeRecord」資料表

WIN-M0H7SGT9GH1...akeRecordHistory													▼ X
	Eid	Date	Depth	Longitude	Latitude	Scale	BridgeName	BLongitude	BLatitude	Department	Section	BridgeScale	▲
▶	505	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	和榮陸橋	121.51952	23.88033	四區	花蓮	5	
	606	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	吉安圳橋	121.58663	23.93565	四區	花蓮	5	
	607	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	花蓮大橋(拓寬)	121.5989	23.92299	四區	花蓮	5	
	608	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	花蓮大橋(舊)	121.5989	23.92299	四區	花蓮	5	
	609	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	嶺頂橋	121.60527	23.92432	四區	花蓮	5	
	610	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	大坑橋	121.60379	23.9043	四區	花蓮	5	
	611	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	福德橋	121.60408	23.89542	四區	花蓮	5	
	612	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	佛寺橋	121.60088	23.88029	四區	花蓮	5	
	613	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	?寮橋	121.59687	23.86119	四區	花蓮	5	
	614	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	樹樹橋	121.59497	23.85311	四區	花蓮	5	
	615	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	12號橋-台11線	121.58213	23.82083	四區	花蓮	5	
	616	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	十三號橋	121.58011	23.81702	四區	花蓮	5	
	617	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	十四號橋-台11線	121.57709	23.81268	四區	花蓮	5	
	618	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	東華大橋(北上)	121.58438	23.91897	四區	花蓮	5	
	619	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	東華大橋(南下)	121.58438	23.91897	四區	花蓮	5	
	620	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	懷古橋	121.54516	23.88579	四區	花蓮	5	
	621	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	懷國橋	121.54408	23.88307	四區	花蓮	5	
	622	20180211060	NULL	NULL	NULL	NULL	懷容橋	121.54294	23.88092	四區	花蓮	5	
	623	20180219066	NULL	NULL	NULL	NULL	英士橋	121.52641	24.61092	四區	獨立山	5	

WIN-M0H7SGT9GH1...akeRecordHistory								
	Scale	BridgeName	BLongitude	BLatitude	Department	Section	BridgeScale	P
	NULL	和榮陸橋	121.51952	23.88033	四區	花蓮	5	0
	NULL	吉安圳橋	121.58663	23.93565	四區	花蓮	5	0
	NULL	花蓮大橋(拓寬)	121.5989	23.92299	四區	花蓮	5	0
	NULL	花蓮大橋(舊)	121.5989	23.92299	四區	花蓮	5	0
	NULL	嶺頂橋	121.60527	23.92432	四區	花蓮	5	0
	NULL	大坑橋	121.60379	23.9043	四區	花蓮	5	0
	NULL	福德橋	121.60408	23.89542	四區	花蓮	5	0
	NULL	佛寺橋	121.60088	23.88029	四區	花蓮	5	0
	NULL	寮橋	121.59687	23.86119	四區	花蓮	5	0
▶	NULL	橄欖橋	121.59497	23.85311	四區	花蓮	5	0
	NULL	12號橋-台11線	121.58213	23.82083	四區	花蓮	5	0
	NULL	十三號橋	121.58011	23.81702	四區	花蓮	5	0
	NULL	十四號橋-台11線	121.57709	23.81268	四區	花蓮	5	0
	NULL	東華大橋(北上)	121.58438	23.91897	四區	花蓮	5	0
	NULL	東華大橋(南下)	121.58438	23.91897	四區	花蓮	5	0
	NULL	懷古橋	121.54516	23.88579	四區	花蓮	5	0
	NULL	懷國橋	121.54408	23.88307	四區	花蓮	5	0
	NULL	懷容橋	121.54294	23.88092	四區	花蓮	5	0
	NULL	英士橋	121.52641	24.61092	四區	獨立山	5	0
	NULL	英士橋(右線)	121.52642	24.61091	四區	獨立山	5	3
	NULL	赤水橋	121.53603	24.62082	四區	獨立山	5	0
	NULL	石頭橋	121.54005	24.6256	四區	獨立山	5	0
	NULL	軸信橋	121.55324	24.63831	四區	獨立山	5	0

圖 4.13 「EarthquakeRecordHistory」資料表

系統提供公路總局連結 Web service 連結，如圖 4.14 所示，
<http://163.29.73.52/Earthquake/Earthquake.asmx>，相關網頁放置於
 163.29.73.52 主機 C:\inetpub\wwwroot\Earthquake\，如圖 4.15 所示。



圖 4.16 跨河橋梁安全預警系統網頁

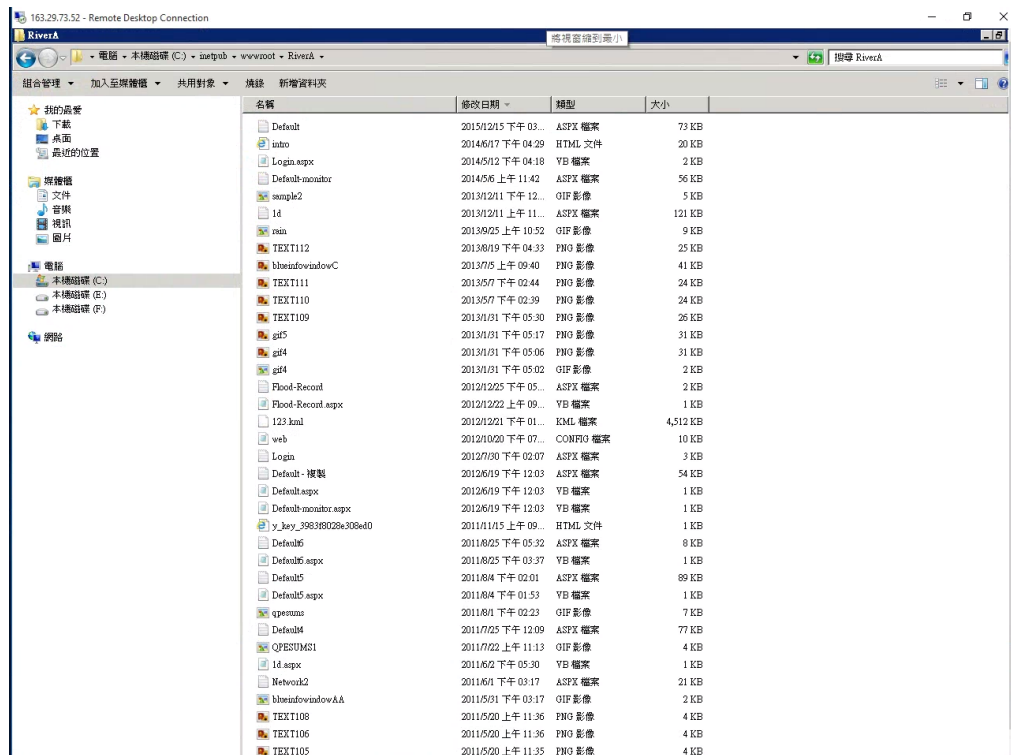


圖 4.17 跨河橋梁安全預警系統網頁位置

資料庫使用表單使用MSSQL資料庫，資料庫名稱:Bridge，資料表名稱為FloodFSAlert (如圖4.18)。

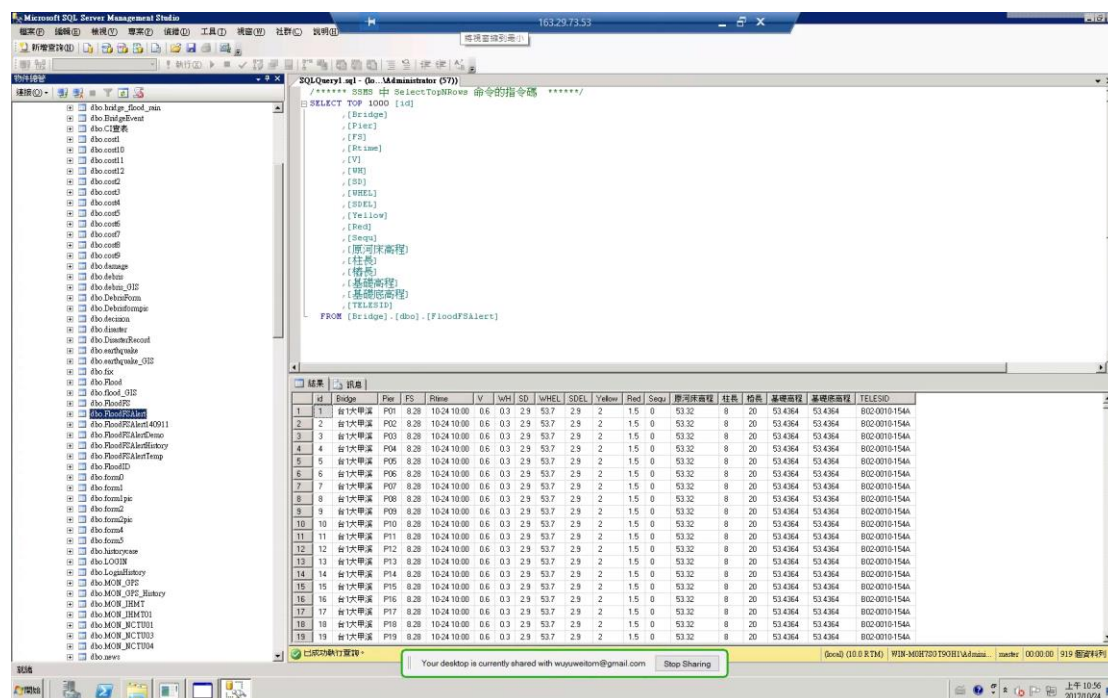


圖 4.18 跨河橋梁安全預警系統網頁資料庫

模式輸入與輸出部份，根據一維水理或二維水理分析模式計算各橋梁之流速(V)、水位高(WH)與冲刷深度(SD)，應用橋梁安全評估計算公式計算橋梁安全係數，輸出到安全係數欄位(FS)。

4.2.3 山區道路易致災路段監測預警管制系統

系統網址為<http://163.29.73.52/slope/>，網頁如圖4.19所示，網頁存放位置 GIS 相關網頁放置於 163.29.73.52 主機，路徑為 C:\inetpub\wwwroot\Slope\Default.aspx，如圖4.20所示，前端網頁將不同道路顯示其警戒狀態、未來一小時警戒狀態。



圖 4.22 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫網頁



圖 4.23 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫網頁位置

資料庫使用表單使用Mdf資料庫，資料庫名稱: Database1，資料表名稱為 TELES 橋梁基本資料表(如圖 4.24)，路徑為 C:\inetpub\wwwroot\橋梁耐震耐洪設計參數資料庫\ App_Data。

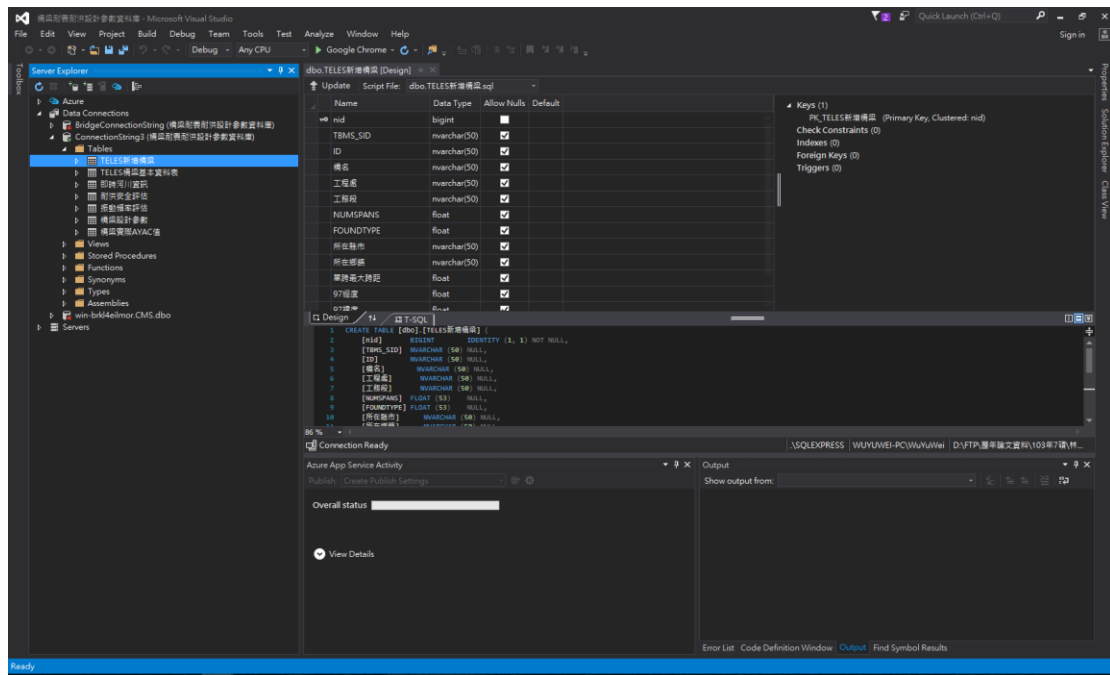


圖 4.24 橋梁耐震耐洪設計參數資料庫之資料表

模式輸入與輸出部份，輸入部份系統將輸入橋梁設計參數欄位，上傳橋梁結構模型檔案，輸出部份可匯出先前所匯入之橋梁結構模型檔案。

4.2.5 颱洪及地震後橋梁檢監測系統

系統網址為<http://163.29.73.51/www1/vibration.htm>，網頁如圖4.25所示，網頁存放位置GIS相關網頁放置於163.29.73.51主機，路徑為C:\resin-2.1.12\doc\www1\，如圖4.26。

震洪及地震後橋梁檢監測系統

東勢大橋振動頻率量測歷史紀錄

頻率對照基準點

X向第一振態基準平均值(Hz)	Y向第一振態基準平均值(Hz)	Z向第一振態基準平均值(Hz)
3.573	4.251	4.201

選擇對照基準點	裝置	量測時間	X向第一振態(Hz)	Y向R值	Y向第一振態(Hz)	Y向R值	Z向第一振態(Hz)	Z向R值	備註
☒	P3	2013/12/16 14:10:10	3.573	1	4.251	1	4.201	1	完檢檢測
☐	P3	2013/11/27 19:37:38	3.615	1.012	4.475	1.053	4.582	1.091	平時檢測
☐	P3	2013/07/27 19:47:49	3.664	1.025	4.631	1.089	4.485	1.068	平時檢測

[回到上一頁](#)

圖 4.25 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁

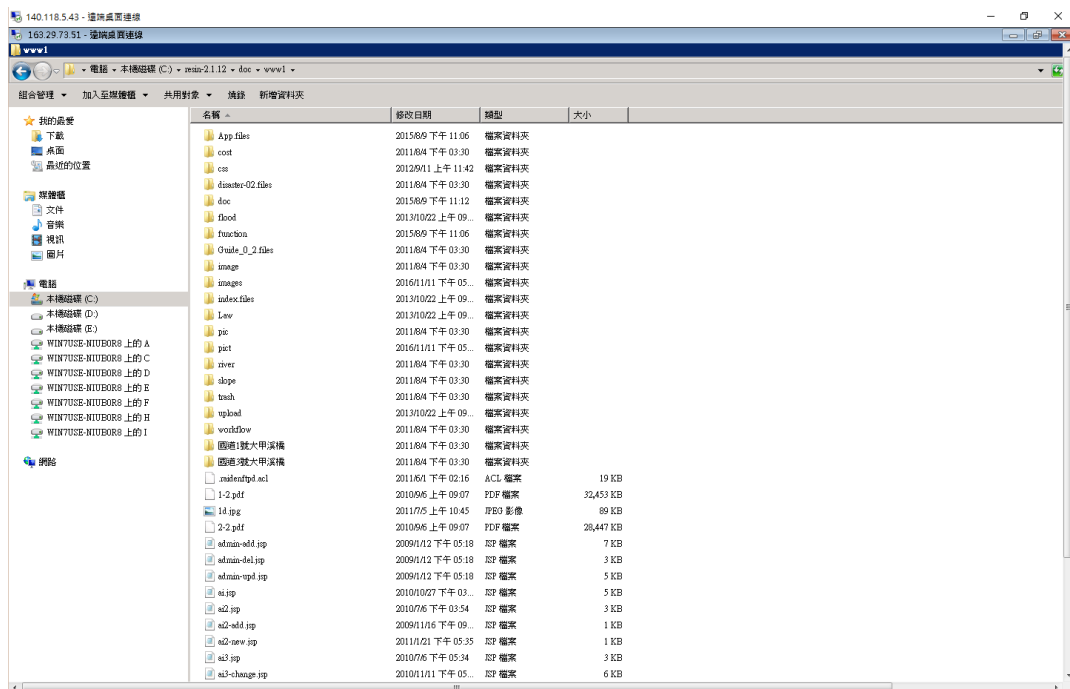


圖 4.26 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁位置

4.2.6 橋梁保全評估與養護經費決策支援系統

系統網址為<http://163.29.73.51/www1/lifecycle.htm>，網頁如圖4.27所示，網頁存放位置GIS相關網頁放置於163.29.73.51主機，路徑為C:\resin-2.1.12\doc\www1\。

橋梁保全評估與養護經費決策支援系統																								
製表時間: 2016.11.14 09:21																								
				重新查詢 列印此頁 註可點選表頭行超進行資料排序																				
橋梁編號	橋梁名稱	工程區	工程段	檢修風險成本(萬元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
各年度加修(萬元)					45124	50594	57197	75666	143162	48965	78544	62168	63824	85269	50000	66473	69809	76979	54021	57606	91408	71835	78171	46898
A01-0020-001A	竹園橋	一區	修養	507	23	-	-	-	-	117	23	-	52	-	53	-	53	-	-	82	-	-	82	24
A01-0020-003A	外光橋	一區	修養	125	-	-	83	-	49	16	16	-	49	-	-	-	-	111	16	16	-	-	-	-
A01-0020-003B	高潭橋	一區	修養	12	-	2	-	-	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-
A01-0020-004A	合山橋	一區	修養	511	18	-	-	-	142	-	49	-	-	99	18	-	50	18	18	-	50	19	-	51
A01-0020-005A	後田橋	一區	修養	821	-	132	-	-	168	36	36	36	-	-	-	-	253	37	37	-	-	-	202	-
A01-0020-005B	半蘭橋	一區	修養	1118	53	53	53	54	54	54	54	-	-	-	-	-	424	-	-	146	-	83	-	83
A01-0020-006A	水潭橋	一區	修養	688	34	34	35	35	35	35	-	77	-	77	-	77	35	35	36	36	-	-	100	-
A01-0020-006B	水潭橋	一區	修養	173	-	-	63	20	-	-	63	20	-	27	20	-	27	21	21	-	28	-	-	66
A01-0020-006C	金龍橋	一區	修養	8078	65	65	65	-	-	811	-	503	66	66	-	-	-	1017	67	-	-	835	-	518
A01-0020-006D	三槐里橋	一區	修養	123	-	-	-	77	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	-	-	169	-	-	-
A01-0020-007A	南工橋	一區	修養	628	28	-	72	-	-	-	-	-	-	196	28	-	-	96	29	-	74	-	-	98
A01-0020-009A	林厝橋	一區	修養	182	2	-	-	-	38	2	-	-	-	-	54	-	-	34	-	-	-	-	-	62
A01-0020-010A	南仁橋	一區	修養	22	-	8	1	1	1	-	8	-	8	1	1	1	-	-	-	24	-	-	15	1
A01-0020-010B	福港橋	一區	修養	165	-	-	-	-	50	2	-	16	-	16	-	16	-	-	-	47	-	16	3	-
A01-0020-011A	新埔橋	一區	修養	121	-	-	20	-	11	7	7	-	-	20	-	11	-	11	-	-	-	27	7	-

圖 4.27 颱洪及地震後橋梁檢監測系統網頁

4.2.7 系統資料庫

系統資料庫主機IP:163.29.73.53如圖4.28及圖4.29所示，執行SQL Server Management Studio，資料庫名稱bridge。

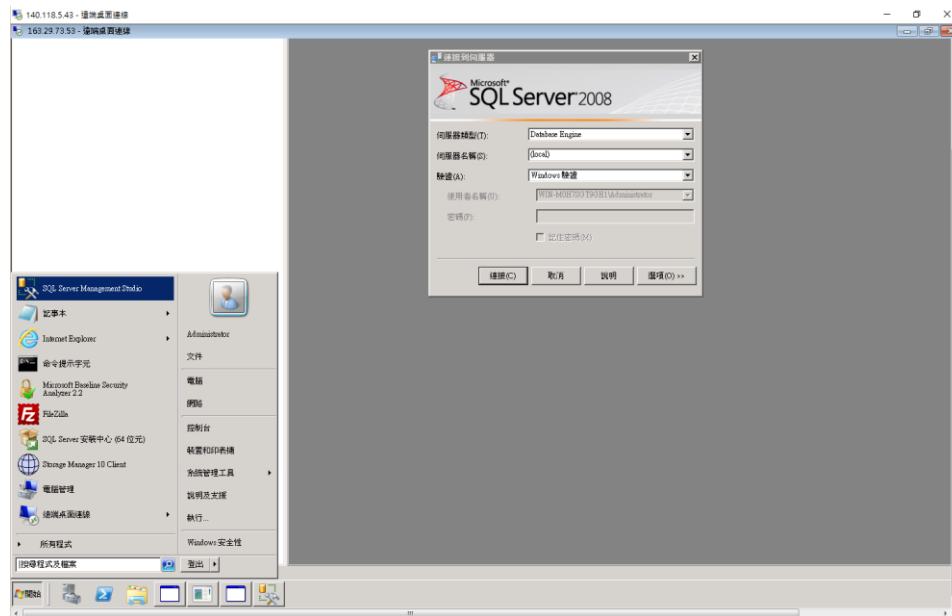


圖 4.28 系統資料庫登入



圖 4.29 系統資料庫

第五章 橋梁振動檢測案例分析

5.1 橋墩與橋面板現地振動檢測

本檢測針對臺3線南雲大橋進行橋梁振動試驗，試驗日期為107年6月19日晚上11:00至6月20日早上1:00，南雲大橋雙向各配置2個車道與路肩，試驗時封閉南下14與15號橋墩間路肩，試驗墩柱如圖5.1，本檢測共分兩組試驗，其中第一組試驗使用兩台三軸速度計分別置於墩柱與橋面板伸縮縫處；第二組試驗使用10個單軸速度計，以兩個一組，分別置於試驗橋跨的起點、1/4跨、1/2跨、3/4跨與終點處，振動試驗位置示意圖如圖5.2，本研究將橋梁上無任何行車試驗結果進行分析。



圖 5.1 南雲大橋之試驗墩柱 (14 號橋墩)

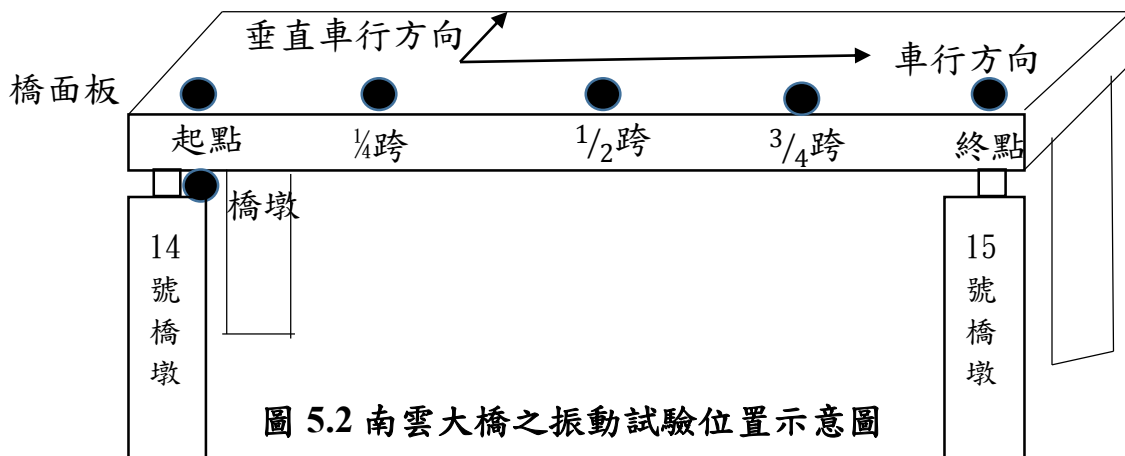


圖 5.2 南雲大橋之振動試驗位置示意圖

5.2 橋墩與橋面板現地試驗結果分析

橋面板與橋墩試驗在同一垂直面上，即橋墩上方，5次試驗經由傅立葉轉換其橋墩與橋面板主頻及頻率圖結果比較如下。

一、橋墩與橋面板振動是否有一致性

1. 橋墩與橋面板車行方向之結果比較

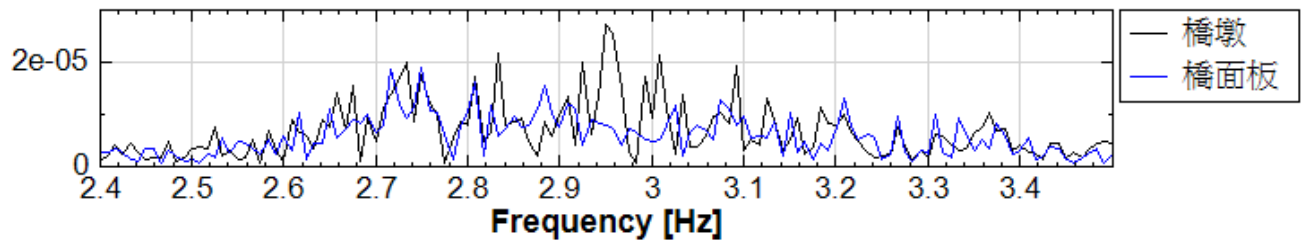
從5次橋墩與橋面板車行方向主頻結果顯示橋墩主頻介於2.95~2.97，橋面板主頻變化2.75至3.06如表5-1。

表 5-1 橋墩與橋面板車行方向 5 次試驗主頻

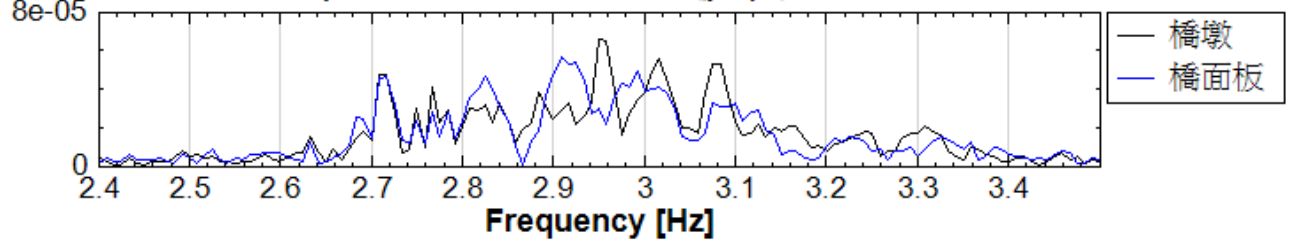
試驗次數	橋墩主頻	橋面板主頻
1	2.95	2.75
2	2.95	2.91
3	2.97	2.94
4	2.95	2.77
5	2.95	3.06
平均數	2.95	2.89
標準差	0.01	0.13
變異係數	0.30%	4.44%

從橋墩與橋面板車行方向5次試驗頻率圖如圖5.3比較可知，橋面板與橋墩2.7~2.8Hz之振動有一致性，橋面板於第2、3及5次試驗有反應橋墩2.95Hz之振動，第1次及第4次橋面板2.95Hz之振動能量較小故並不顯著。

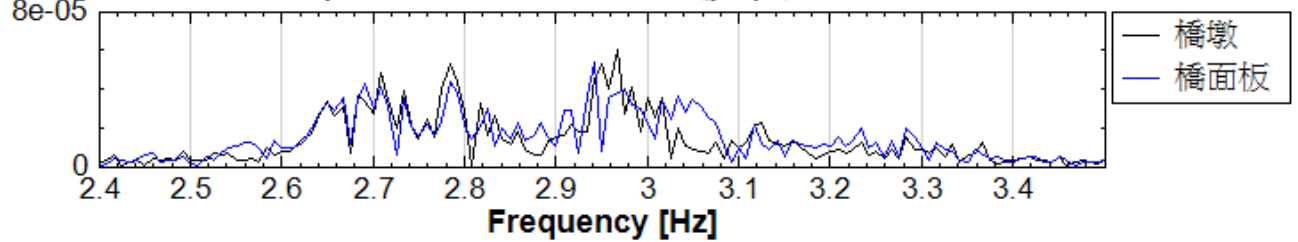
第1次試驗橋墩與橋面板車行方向



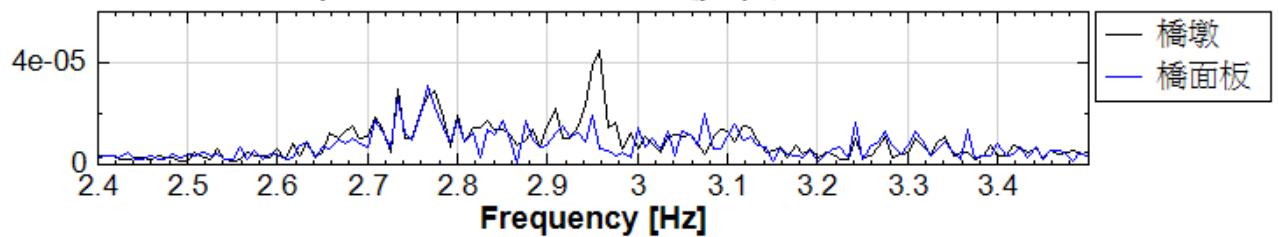
第2次試驗橋墩與橋面板車行方向



第3次試驗橋墩與橋面板車行方向



第4次試驗橋墩與橋面板車行方向



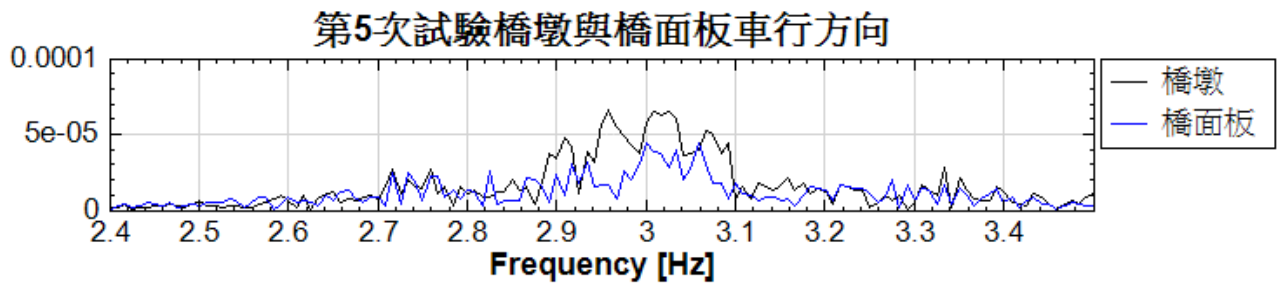


圖 5.3 橋墩與橋面板車行方向 5 次試驗頻率圖

2. 橋墩與橋面板垂直車行方向之結果比較

垂直車行方向橋墩及橋面板主頻約2.1Hz，其他振動頻率為2.35、2.6及2.8如表5-2。

表 5-2 橋墩與橋面板垂直車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	橋墩主頻	橋面板主頻
1	2.08	2.08
2	2.12	2.12
3	2.81	2.81
4	2.13	2.13
5	2.58	2.58
平均數	2.34	2.34
標準差	0.33	0.33
變異係數	14.12%	14.12%

從5次橋墩與橋面板垂直車行方向振動主頻圖如圖5.4結果顯示橋面板與橋墩振動於垂直車行方向有一致性。

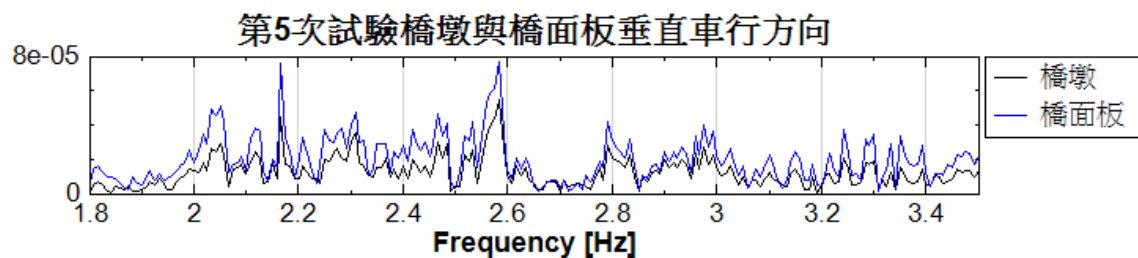
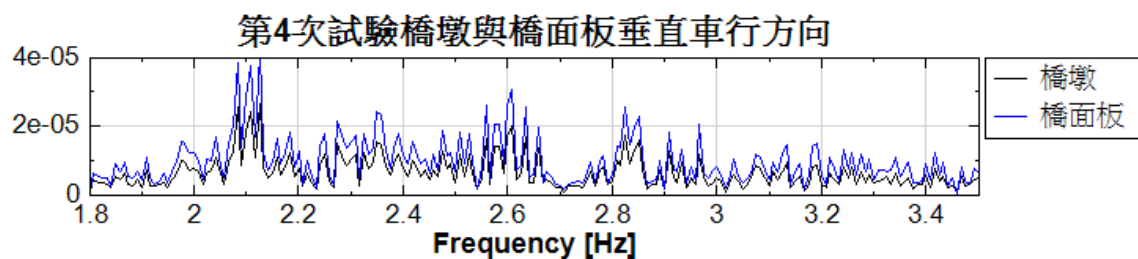
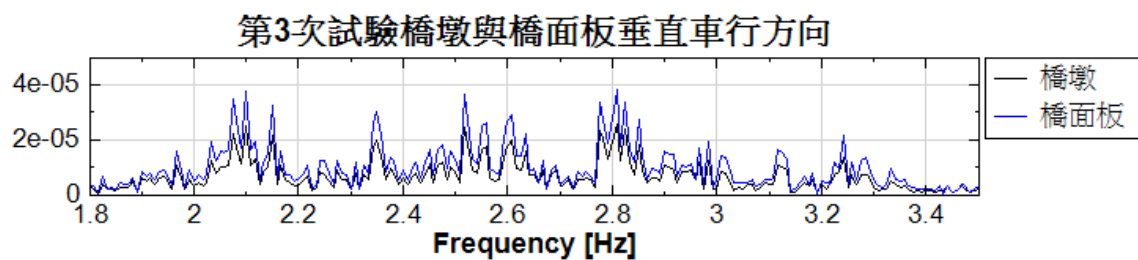
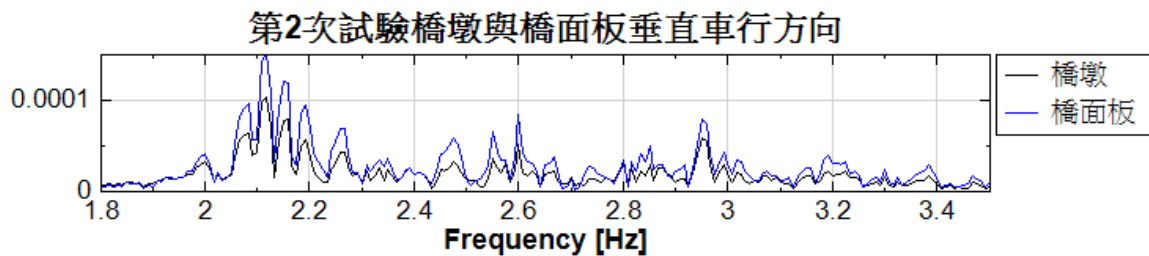
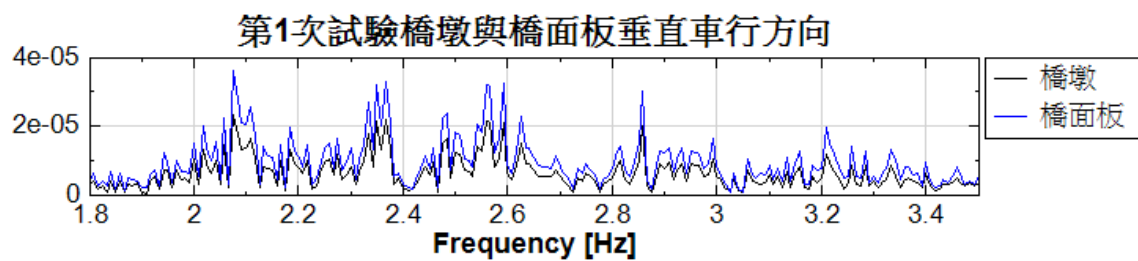


圖 5.4 橋墩與橋面板垂直車行方向 5 次試驗頻率圖

小結：

1. 車行方向橋墩主頻約2.95Hz~2.97變異極小，橋面板主頻變化2.75至3.06；橋面板與橋墩2.7~2.8Hz之振動有一致性，第1及第4次試驗橋面板於橋墩主頻2.95Hz之振動能量較小故並不顯著。
2. 垂直車行方向橋墩及橋面板主頻約2.1Hz，橋面板與橋墩振動有一致性。

二、橋墩或橋面板於不同時間試驗其振動是否有一致性

1. 橋墩不同時間5次試驗車行方向之結果比較

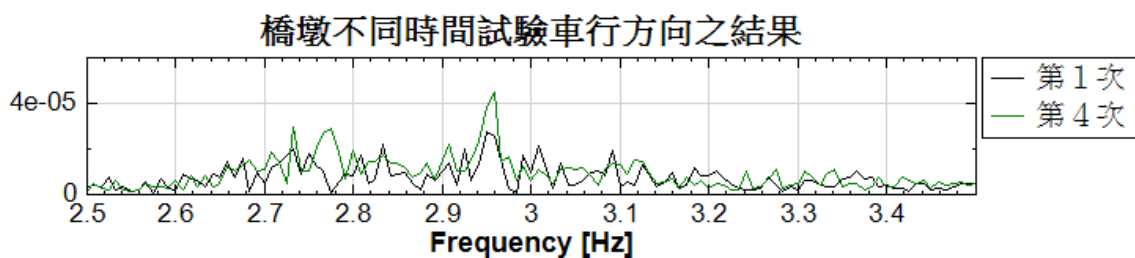
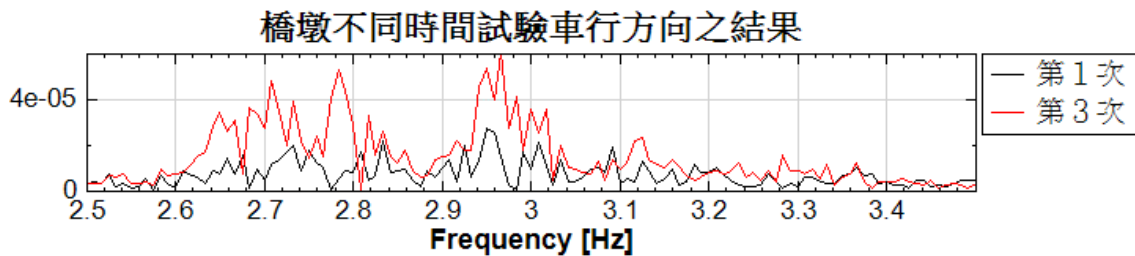
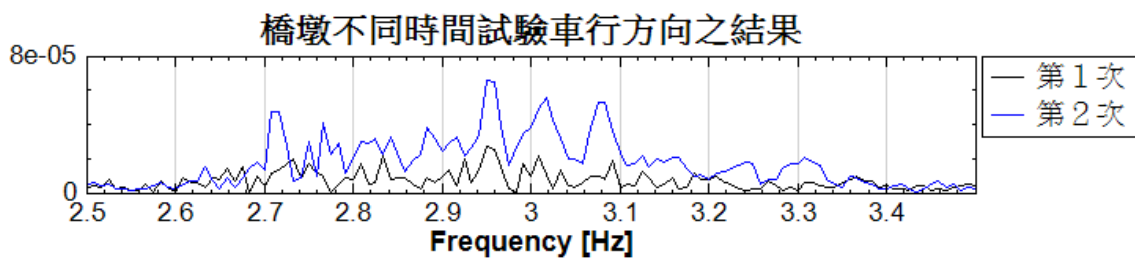
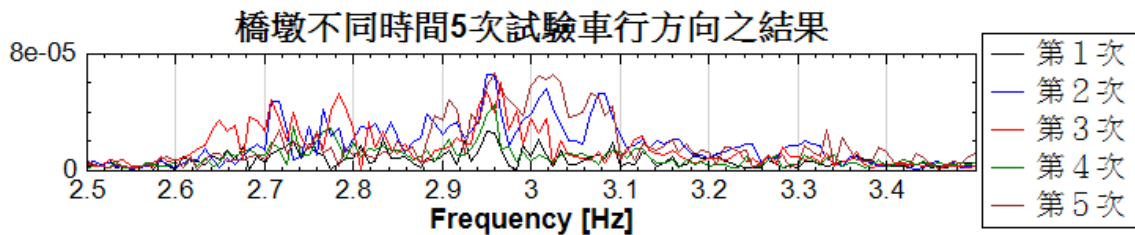
從5次橋墩車行方向主頻結果顯示橋墩主頻介於2.95~2.97如表5-3。

表 5-3 橋墩車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	主頻
1	2.95
2	2.95
3	2.97
4	2.96
5	2.96
平均數	2.94
標準差	0.03
變異係數	1.12%

由5次車行方向橋墩試驗圖5.5可看出橋墩振動主頻為2.95，振動頻率範圍主要為2.9~3.1及2.7~2.8。第2次車行方向橋墩試驗

顯示主頻為2.96，其他振動頻率為2.71、2.77、2.88、3.02及3.08。
 第3次車行方向橋墩試驗顯示主頻為2.97，其他振動頻率為2.95、2.65、2.78、2.71、2.91、3.0及3.12。第4次車行方向橋墩試驗顯示主頻為2.96，其他振動頻率為2.78、2.73、2.91，振動頻率3.0及3.09之能量較小。第5次車行方向橋墩試驗可看出橋墩振動主頻為2.95，其他振動頻率為2.72、2.76、2.91、3.0及3.09。



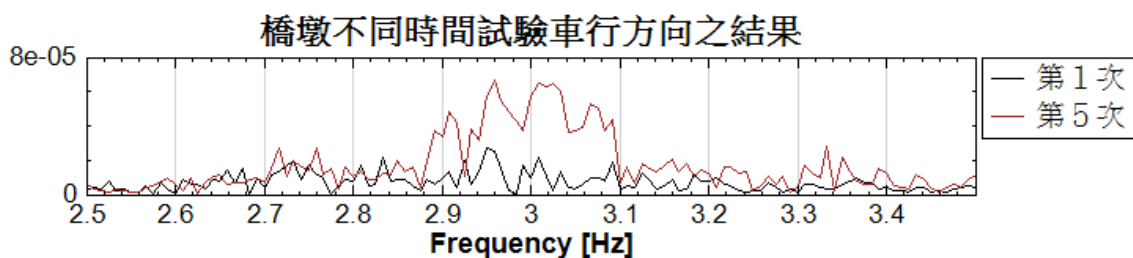


圖 5.5 橋墩車行方向 5 次試驗頻率圖

2. 橋墩不同時間5次試驗垂直車行方向之結果比較

從5次橋墩垂直車行方向主頻結果顯示橋墩主頻介於2.07~2.81如表5-4。

表 5-4 橋墩垂直車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	主頻
1	2.07
2	2.12
3	2.81
4	2.13
5	2.58
平均數	2.34
標準差	0.33
變異係數	14.12%

由5次垂直車行方向橋墩試驗頻率圖如圖5.6可看出橋墩振動主頻為2.1，其他振動頻率約為2.35、2.6、2.8；第1、3次及第4次橋墩垂直車行方向振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.35、2.61、2.82；第2次橋墩垂直車行方向振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率

為2.6、2.95；第5次橋墩垂直車行方向振動主頻於2.58Hz，其他振動頻率為2.16、2.3、2.05、2.8。

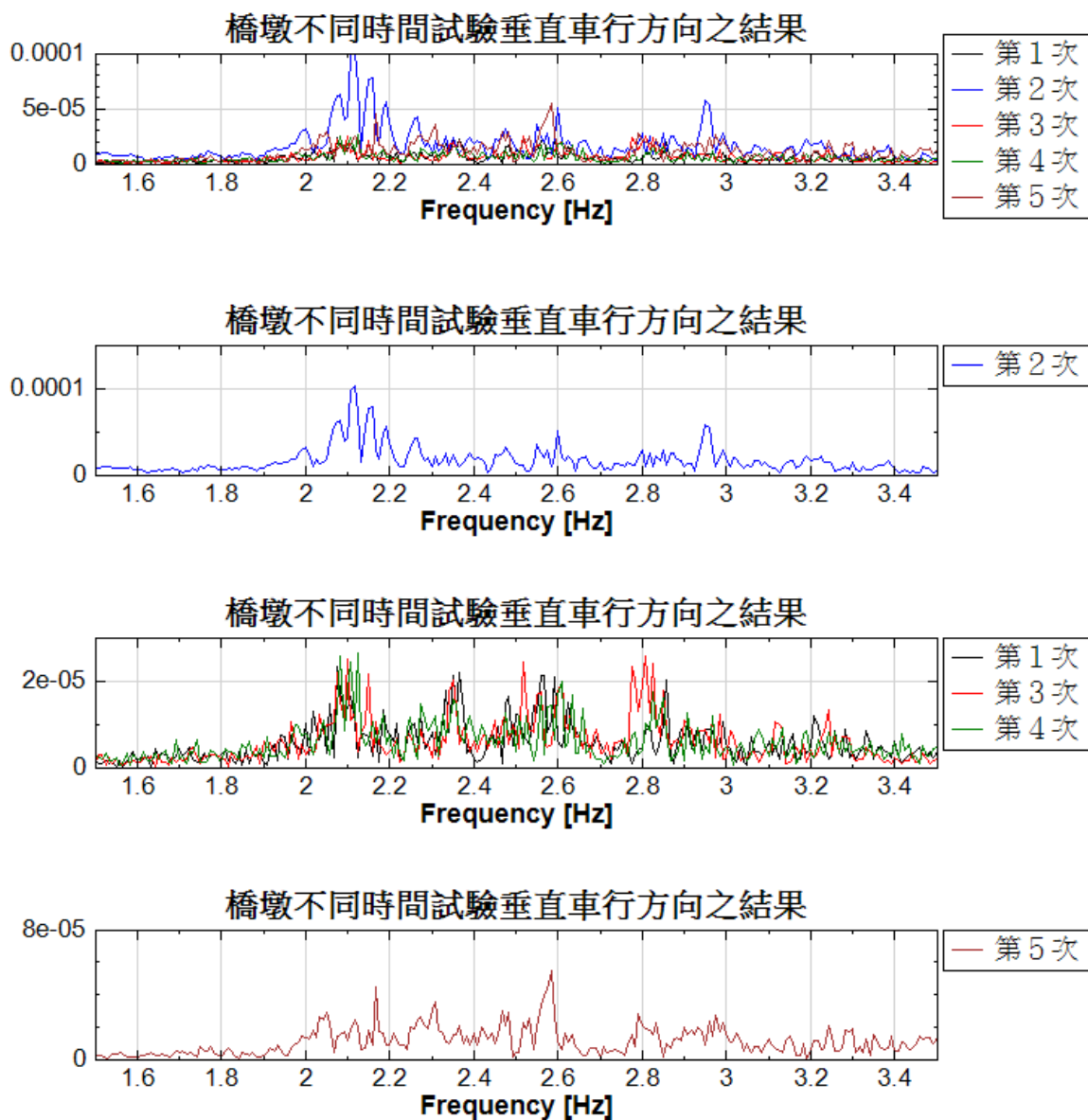


圖 5.6 橋墩垂直車行方向 5 次試驗頻率圖

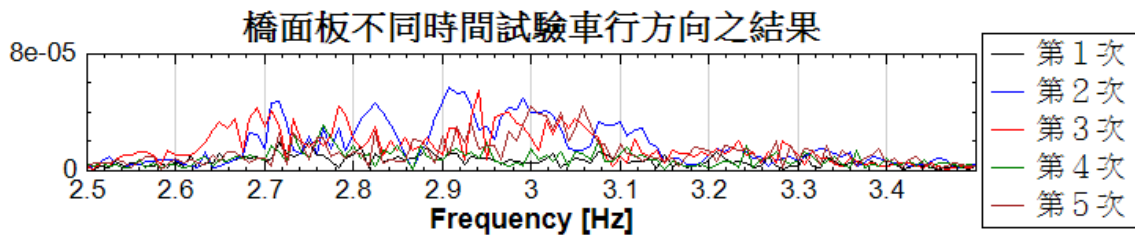
3. 橋面板不同時間5次試驗車行方向之結果比較

從5次橋面板車行方向主頻結果顯示橋墩主頻介於2.75~3.06如表5-5。

表 5-5 橋面板車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	主頻
1	2.75
2	2.91
3	2.94
4	2.77
5	3.06
平均數	2.89
標準差	0.13
變異係數	4.44%

由5次車行方向橋面板試驗圖5.7可看出振動主頻為2.91，振動頻率範圍主要為2.7~3.1；第1及第4次橋面板車行方向振動主頻於2.76Hz；第2次橋面板車行方向振動主頻於2.91Hz，其他振動頻率為2.71、2.82、2.99、3.1；第3次橋面板車行方向振動主頻於2.94Hz，其他振動頻率為2.69、2.78、3.02；第5次橋面板車行方向振動主頻於3.06Hz，其他振動頻率為3、2.73、2.82、2.93。



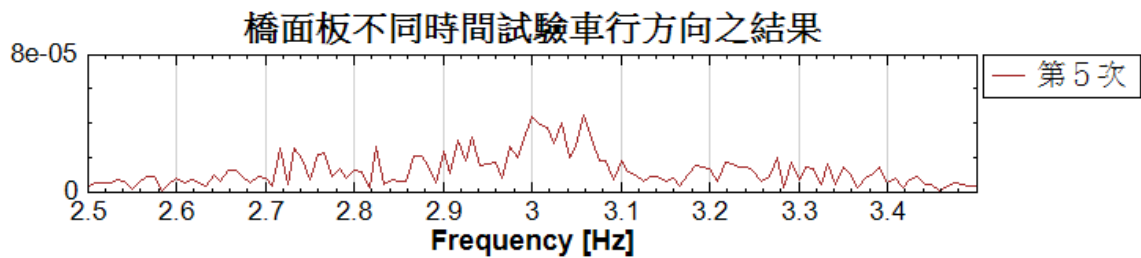
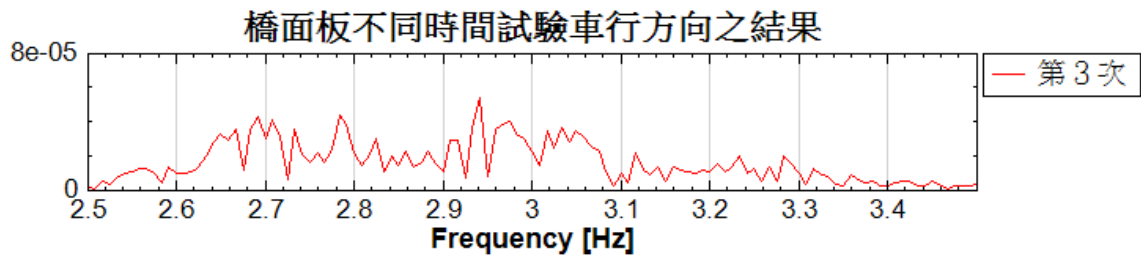
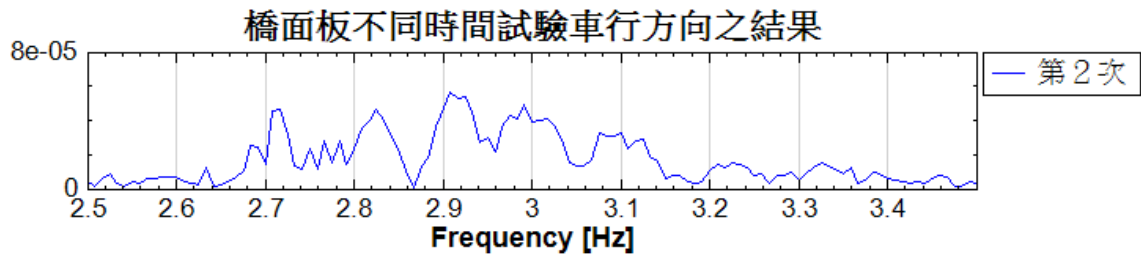
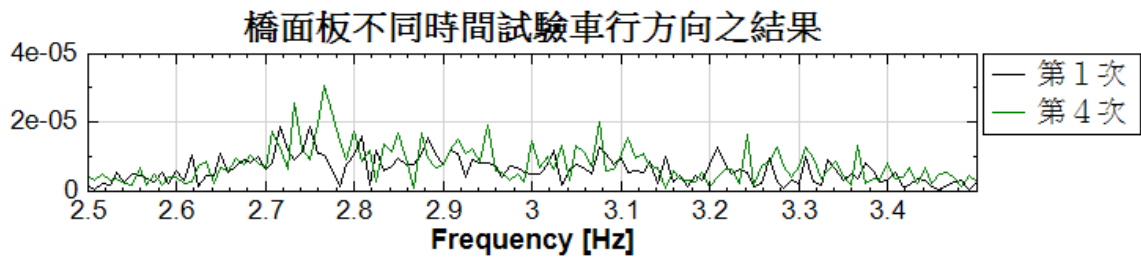


圖 5.7 橋面板車行方向 5 次試驗頻率圖

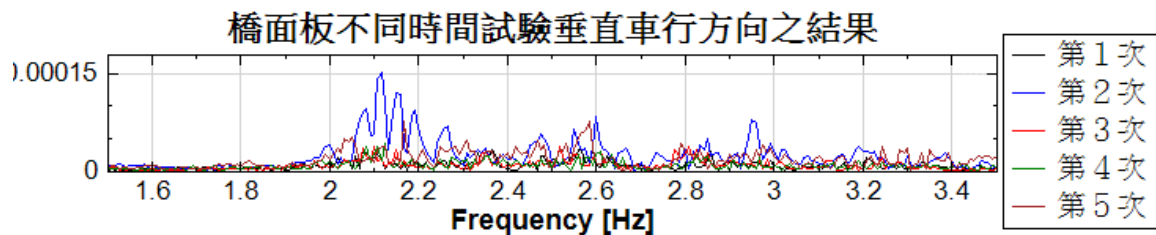
4. 橋面板不同時間5次試驗垂直車行方向之結果比較

從5次橋面板垂直車行方向主頻結果顯示橋墩主頻介於2.08~2.81如表5-6。

表 5-6 橋面板垂直車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	主頻
1	2.08
2	2.12
3	2.81
4	2.13
5	2.58
平均數	2.34
標準差	0.33
變異係數	14.12%

由5次橋面板垂直車行方向振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86如圖5.8；第1、4次橋面板垂直車行方向振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86；第2次橋面板垂直車行方向振動主頻於2.11Hz，其他振動頻率為2.6、2.96；第3次橋面板垂直車行方向振動主頻於2.81Hz，其他振動頻率為2.1、2.35、2.52；第5次橋面板垂直車行方向振動主頻於2.17Hz，其他振動頻率為2.58、2.05。



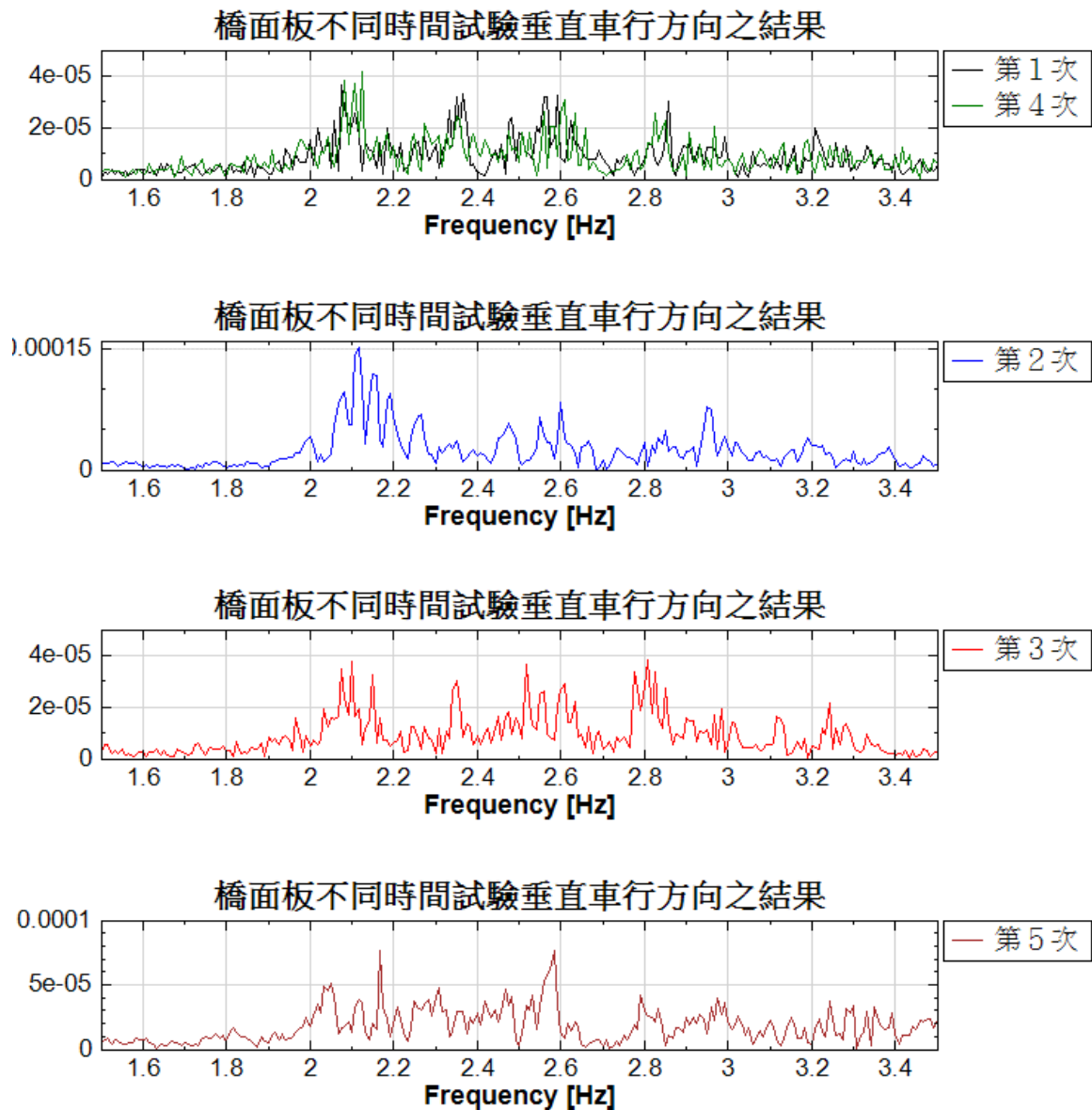


圖 5.8 橋面板垂直車行方向 5 次試驗頻率圖

小結：

1. 橋墩車行方向試驗振動主頻為2.95，振動頻率範圍主要為2.9~3.1及2.7~2.8；垂直車行方向橋墩振動主頻為2.1，其他振動頻率約為2.35、2.6、2.8。
2. 橋面板車行方向振動主頻為2.91，振動頻率範圍主要為2.7~3.1；

垂直車行方向振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86。

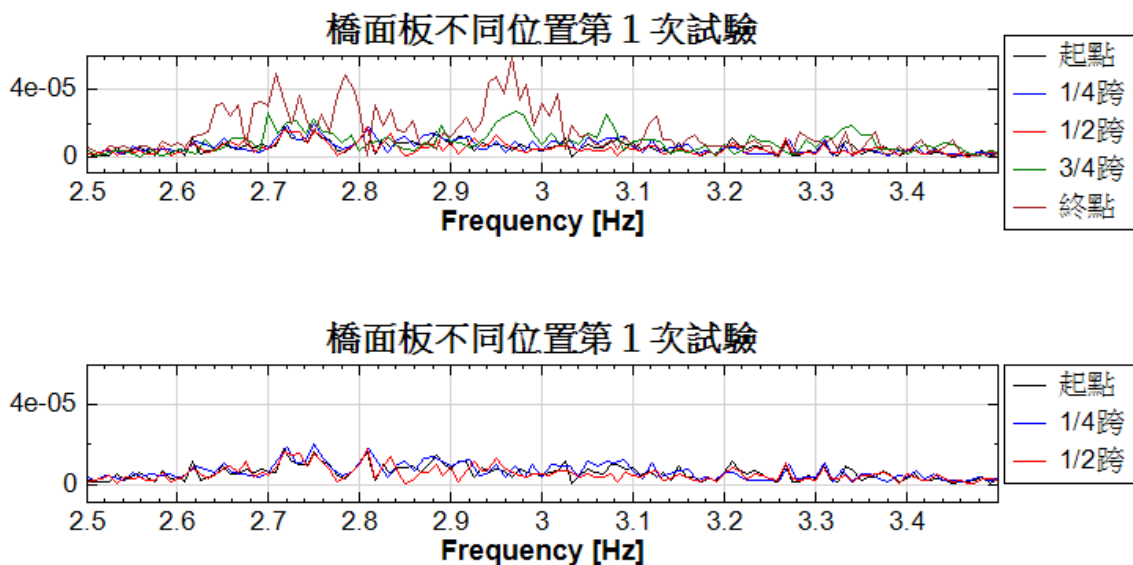
3. 不同時間的試驗得到的主頻值並不一定相同，但不同次試驗皆有反應幾個主要振動頻率。

5.3橋面板不同位置現地試驗結果分析

本分析主要探討橋面板起點、1/4跨、1/2、3/4跨及終點振動反應是否有一致性。

1. 車行方向第1次試驗

圖5.9頻率圖顯示橋面板起點、1/4跨及1/2跨振動有一致性，起點、1/4跨、1/2跨主頻約為2.75 Hz，3/4跨及終點主頻為2.98 Hz，其他頻率介於2.7~2.8Hz。



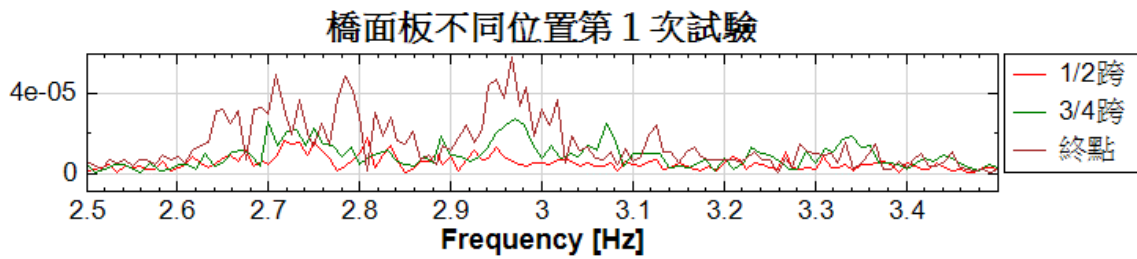


圖 5.9 橋面板車行方向不同位置第 1 次試驗頻率圖

2. 車行方向第 2 次試驗

圖 5.10 顯示第 2 次試驗橋面板不同位置振動有一致性，頻率介於 2.7~3.1 Hz。

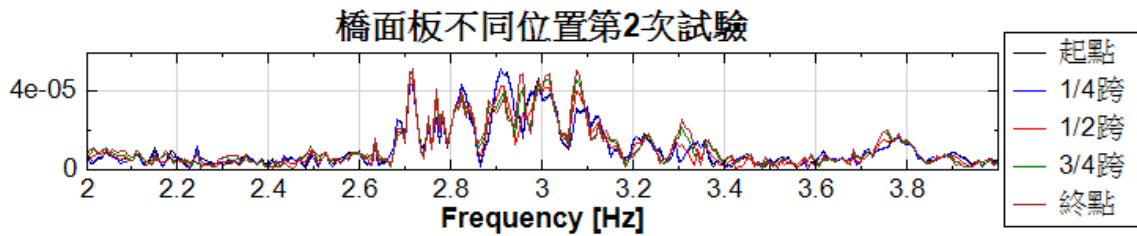
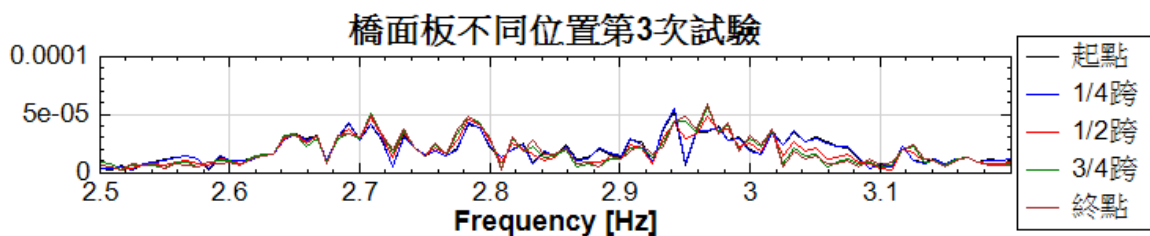


圖 5.10 橋面板車行方向不同位置第 2 次試驗頻率圖

3. 車行方向第 3 次試驗

圖 5.11 頻率圖顯示橋面板不同位置振動有一致性，橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致，1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點，頻率主要為 2.95 Hz，其他頻率為 2.7 及 2.78 Hz。



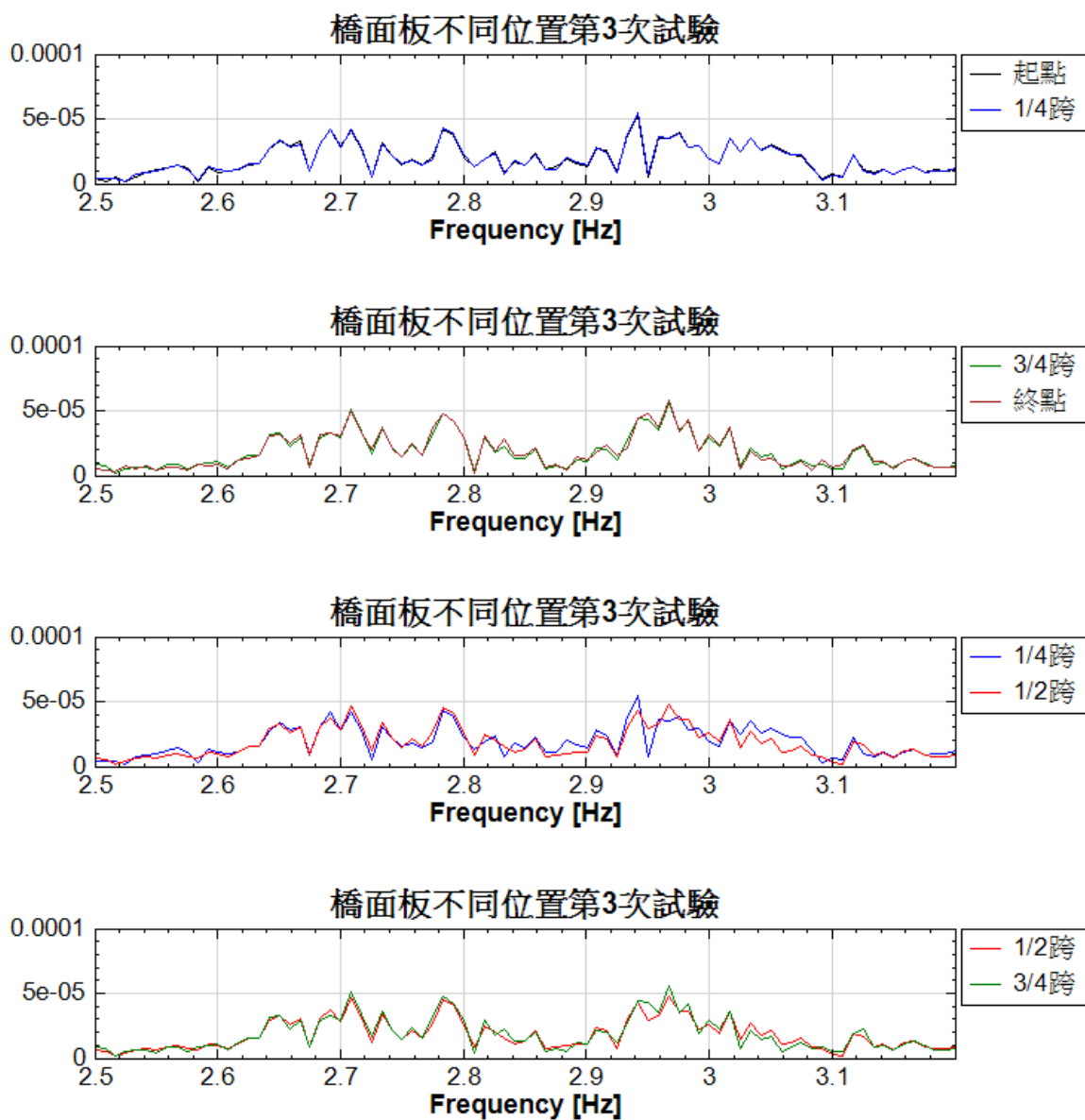


圖 5.11 橋面板車行方向不同位置第 3 次試驗頻率圖

4. 車行方向第 4 次試驗

圖5.12頻率圖顯示橋面板不同位置振動有一致性，橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致，1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點，頻率主要為2.95 Hz，其他頻率為2.7及2.78Hz。

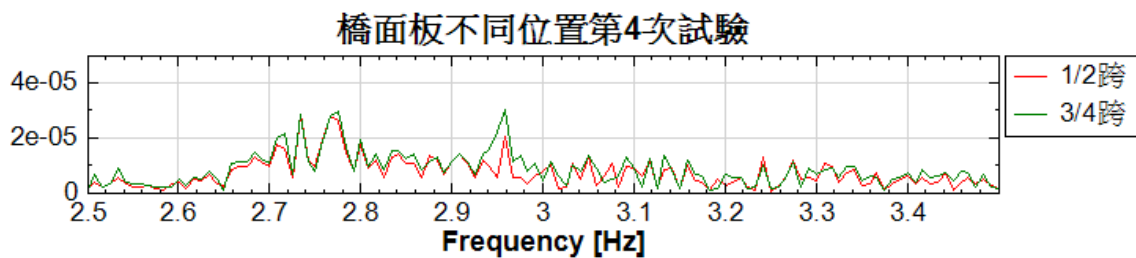
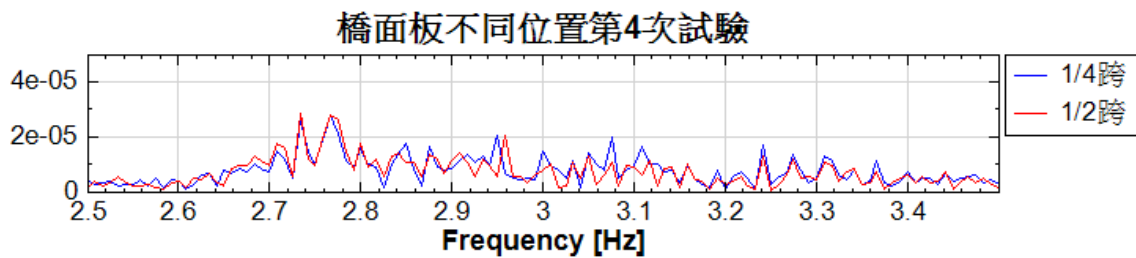
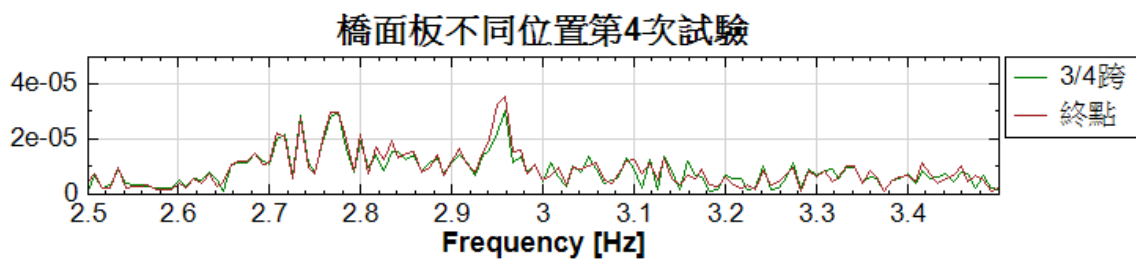
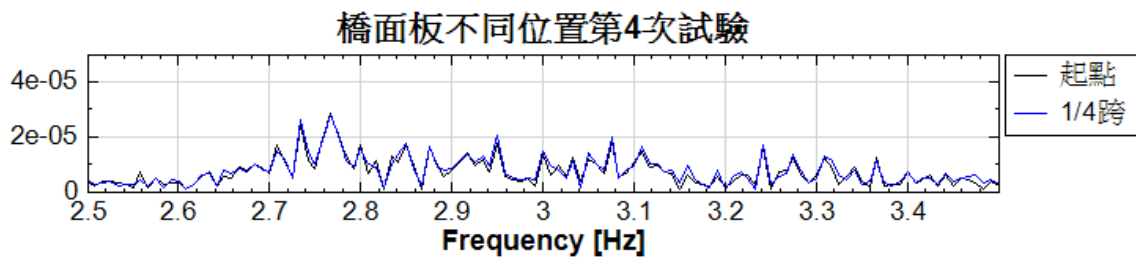
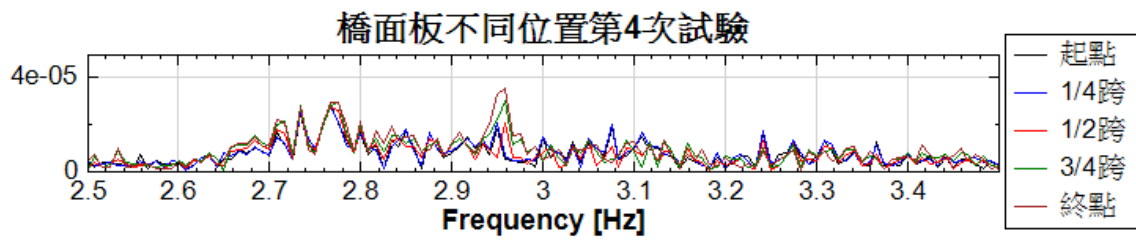
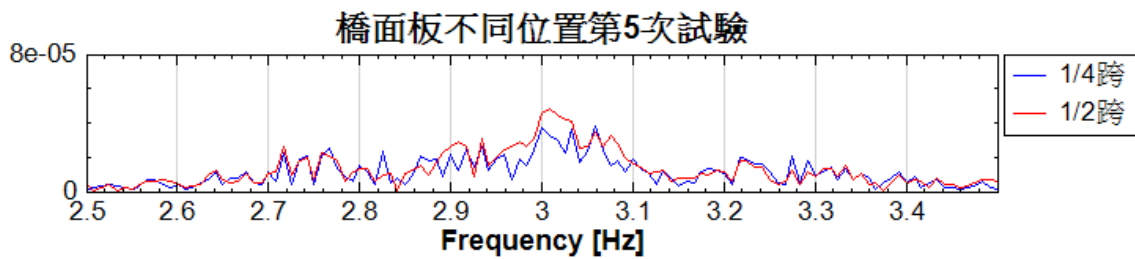
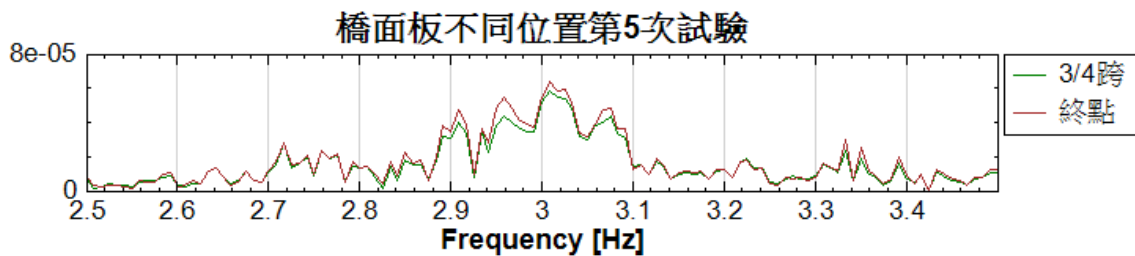
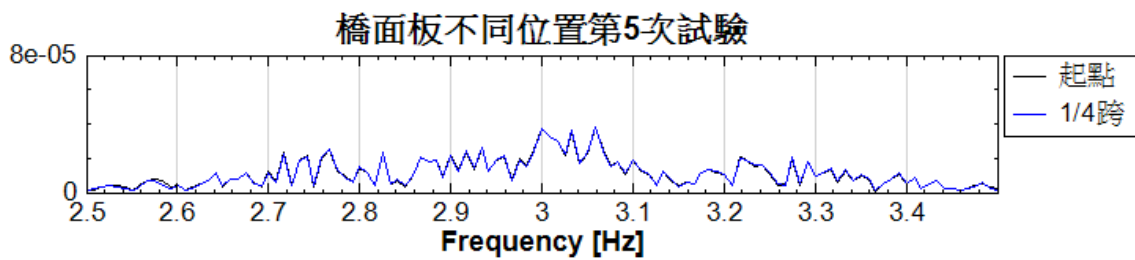
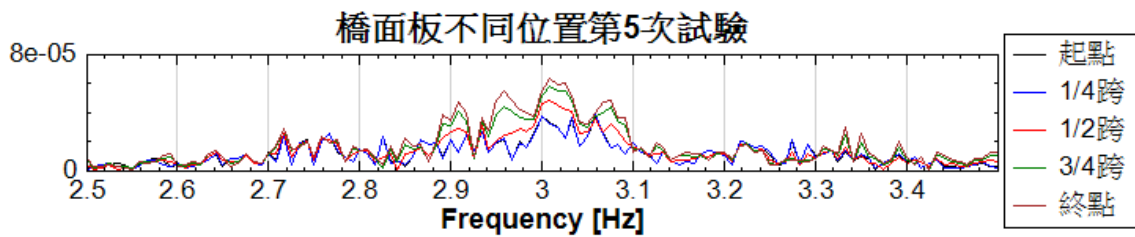


圖 5.12 橋面板車行方向不同位置第 4 次試驗頻率圖

5. 車行方向第5次試驗

圖5.13頻率圖顯示橋面板不同位置振動有一致性，橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致，1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點，頻率主要為3 Hz。



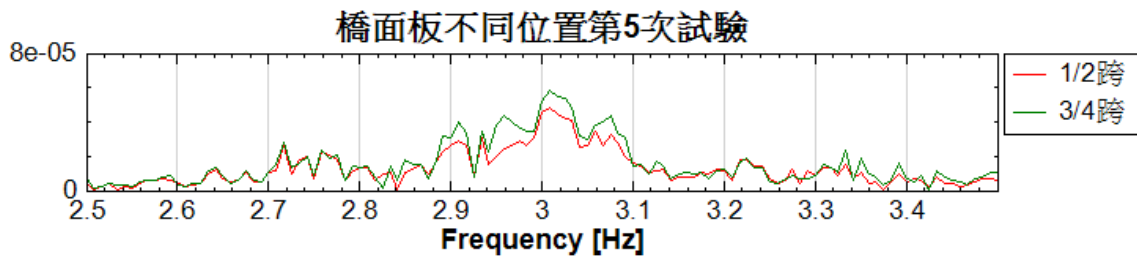
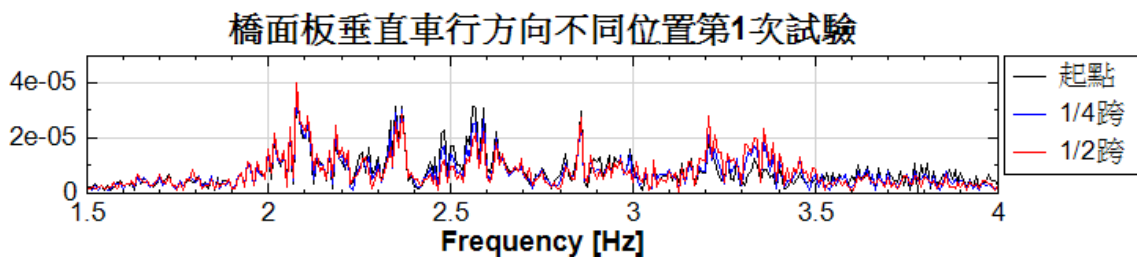
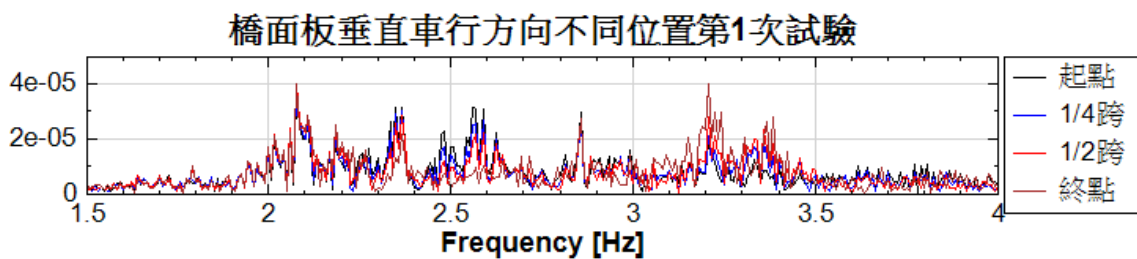


圖 5.13 橋面板車行方向不同位置第 5 次試驗頻率圖

小結：橋面板車行方向起點與1/4跨振動較一致，1/2跨振動可能有些微變化，3/4跨及終點振動較一致，由第1及第4次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.75 Hz，至3/4跨及終點主頻為2.98 Hz，另3次試驗橋面板不同位置振動有一致性。

6. 垂直車行方向第 1 次試驗

圖5.14頻率圖顯示橋面板不同位置(起點、1/4跨、1/2跨、3/4跨及終點)振動有一致性，主頻約2.1Hz，其他頻率為2.4、2.6、2.85及3.2 Hz。



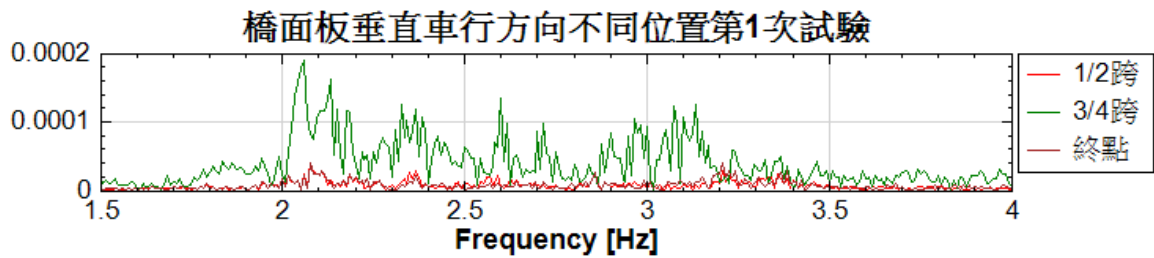
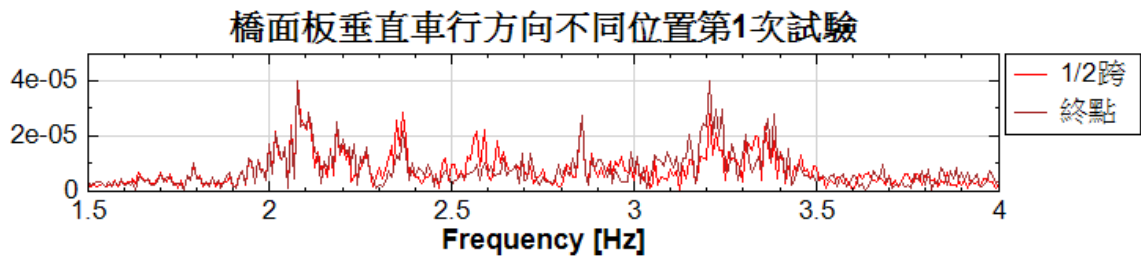
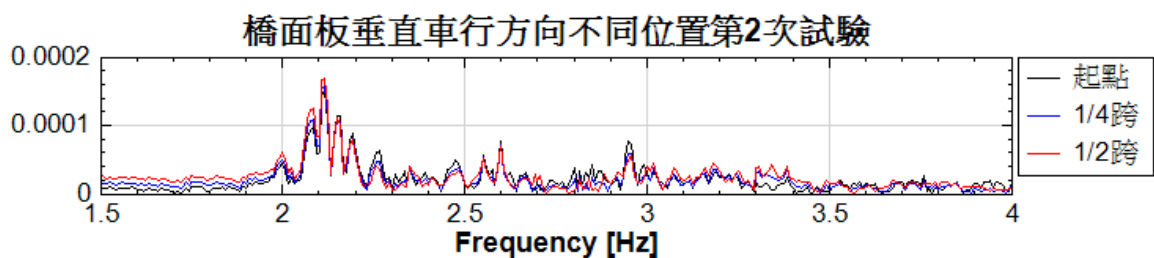
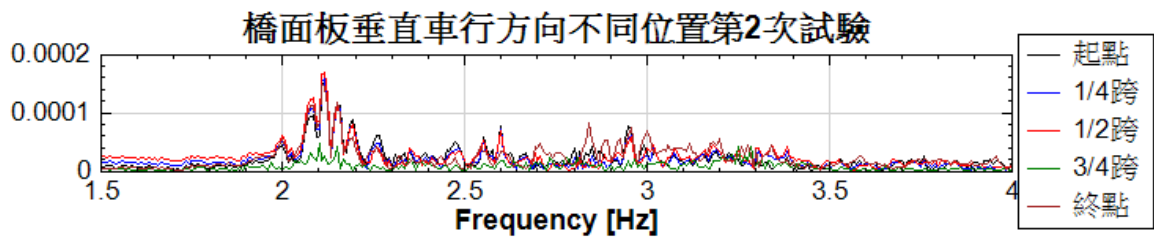


圖 5.14 橋面板垂直車行方向不同位置第 1 次試驗頻率圖

7. 垂直車行方向第 2 次試驗

圖5.15頻率圖顯示橋面板不同位置(起點、1/4跨、1/2跨、3/4跨及終點)振動有一致性，3/4跨能量較小但頻率大約一致。主頻約2.1Hz。



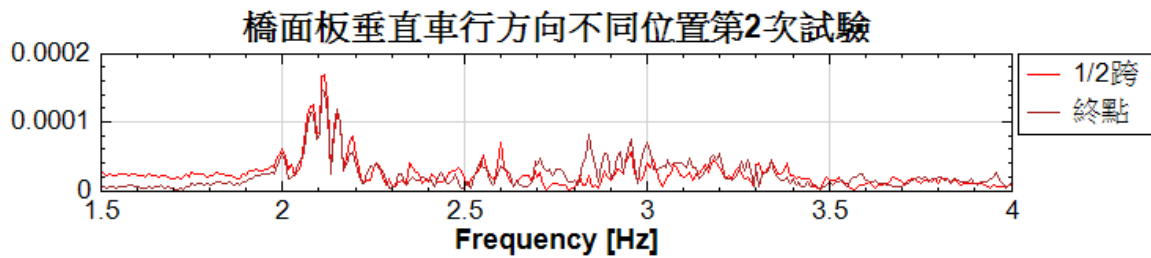
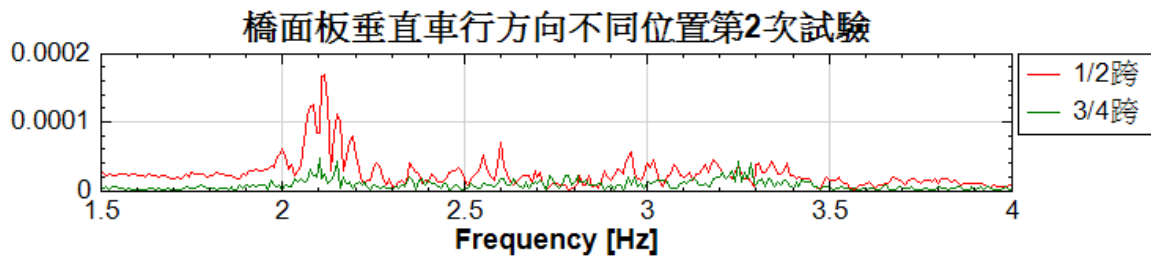
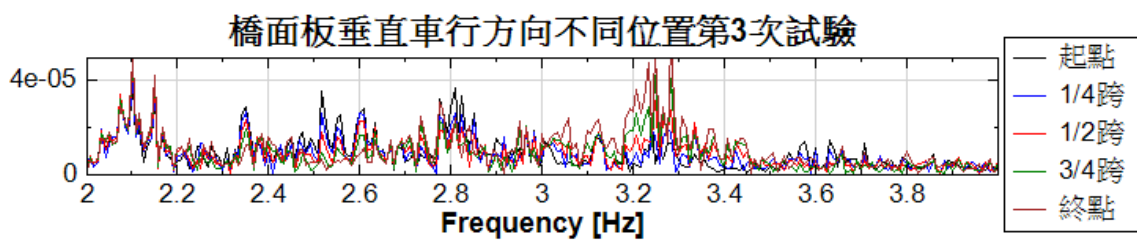


圖 5.15 橋面板垂直車行方向不同位置第 2 次試驗頻率圖

8. 垂直車行方向第 3 次試驗

圖 5.16 頻率圖顯示橋面板起點、1/4 跨振動一致，主頻為 2.1Hz，3/4 跨及終點振動較一致，主頻為 3.2Hz，於 1/2 跨 3.2Hz 振動能量漸增大。



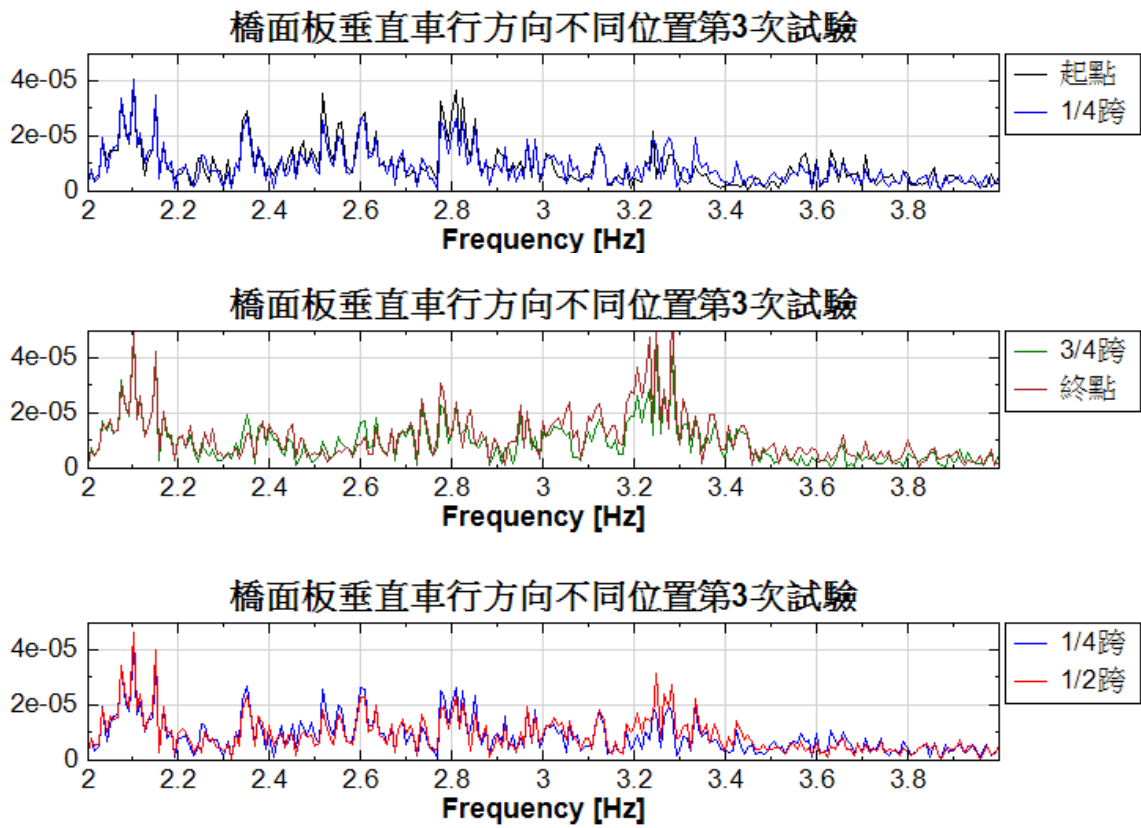
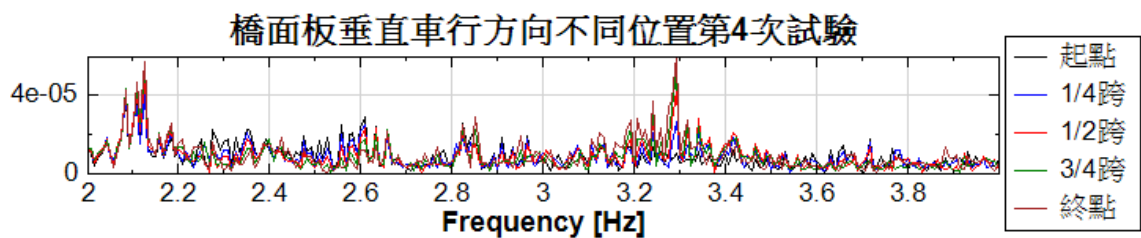


圖 5.16 橋面板垂直車行方向不同位置第 3 次試驗頻率圖

9. 垂直車行方向第 4 次試驗

圖 5.17 頻率圖顯示橋面板起點、1/4 跨振動一致，主頻為 2.1Hz，3/4 跨及終點振動較一致，主頻為 3.3Hz，於 1/2 跨 3.2Hz 振動能量漸增大。



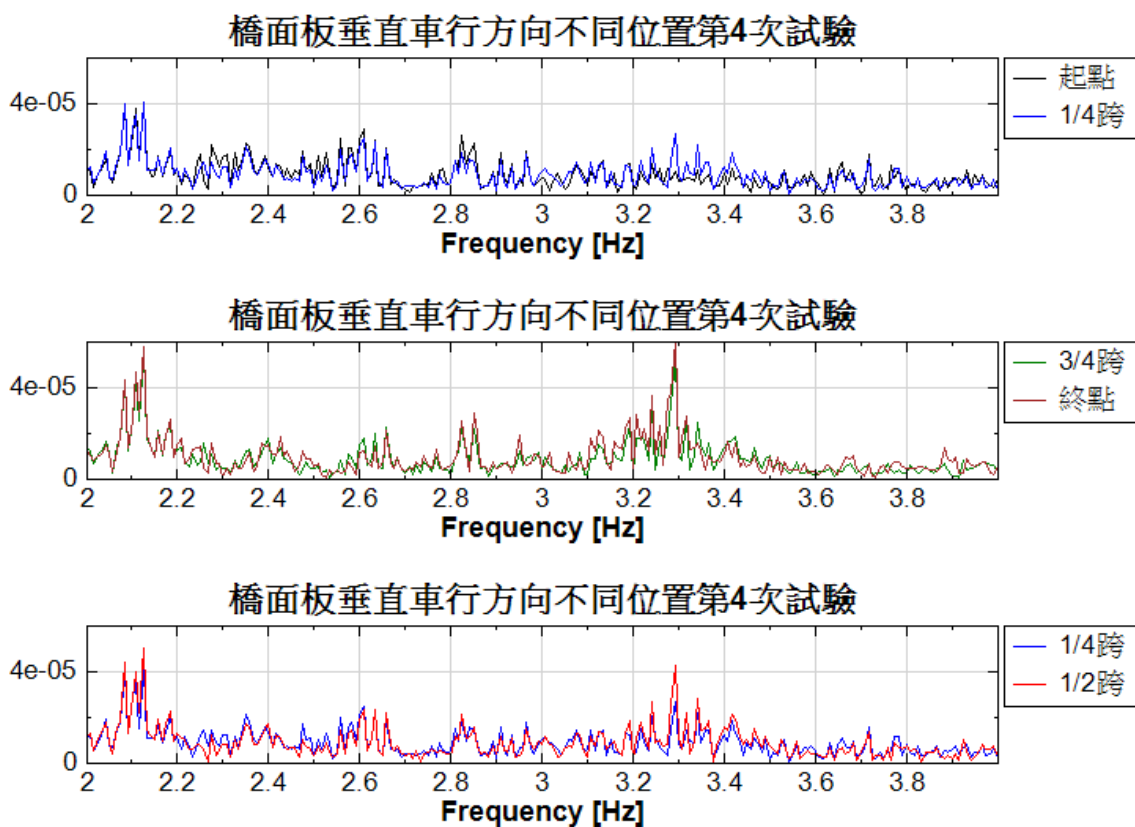
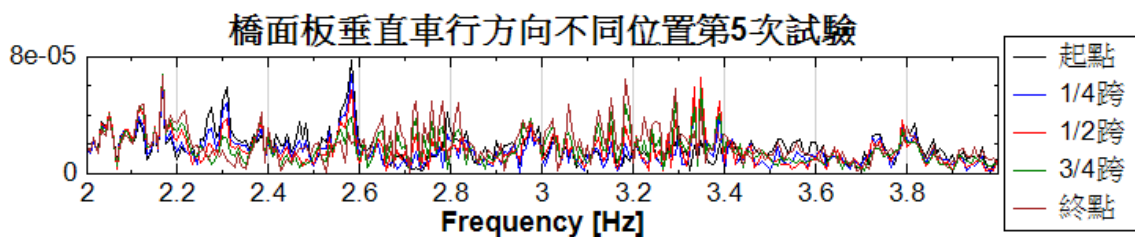


圖 5.17 橋面板垂直車行方向不同位置第 4 次試驗頻率圖

10. 垂直車行方向第 5 次試驗

圖 5.18 頻率圖顯示橋面板起點、1/4 跨振動一致，主頻為 2.6Hz，其他頻率為 2.1Hz，3/4 跨及終點振動較一致，主頻為 3.2Hz，其他頻率為 2.1Hz，於 1/2 跨 3.35Hz 振動能量漸增大。



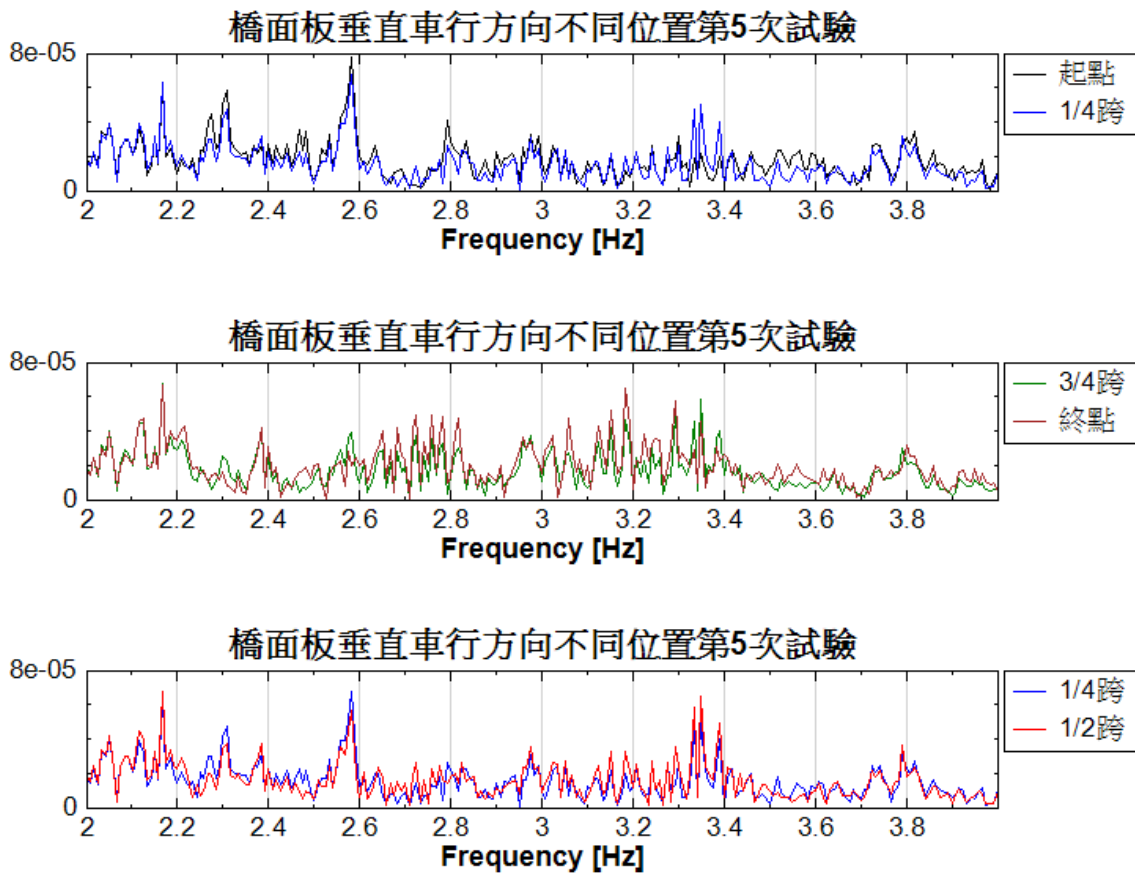


圖 5.18 橋面板垂直車行方向不同位置第 5 次試驗頻率圖

小結：橋面板垂直車行方向起點與1/4跨振動較一致，1/2跨振動可能有些微變化，3/4跨及終點振動較一致，由第3及第4次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.1 Hz，至3/4跨及終點主頻約為3.2 Hz，第5次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.6 Hz，至3/4跨及終點主頻約為3.2 Hz，另2次試驗橋面板不同位置振動有一致性。

5.4第2次現地試驗結果分析

第 2 次臺 3 線南雲大橋振動試驗為 107 年 10 月 12 日晚上 11:00 至 10 月 13 日早上 2:00，試驗時封閉南下 14 與 15 號橋墩間路肩(下

游測)，第二次試驗速度計安裝的位置減為橋面板3處(起點、1/4跨與1/2跨)。

一、2次試驗橋面板起點結果比較

1.車行方向2次橋面板起點試驗結果比較

從5次橋面板車行方向主頻結果顯示橋面板主頻介於2.81~2.97，如表5-7。

表 5-7 第 2 次試驗橋面板車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	橋面板主頻
1	2.97
2	2.83
3	2.81
4	2.88
5	2.95
平均數	2.89
標準差	0.07
變異係數	2.45%

從橋面板車行方向5次試驗頻率圖如圖5.19比較可知，橋面板振動頻率為2.7~2.97 Hz，第1次試驗振動主頻2.97Hz，橋面板第2次試驗反應2.83及2.89Hz之振動，橋面板第3次試驗反應2.81及2.94Hz之振動，第4次橋面板除主頻2.88Hz之振動外，亦反應2.67及2.73Hz，第5次試驗2.9及2.96Hz振動頻率。

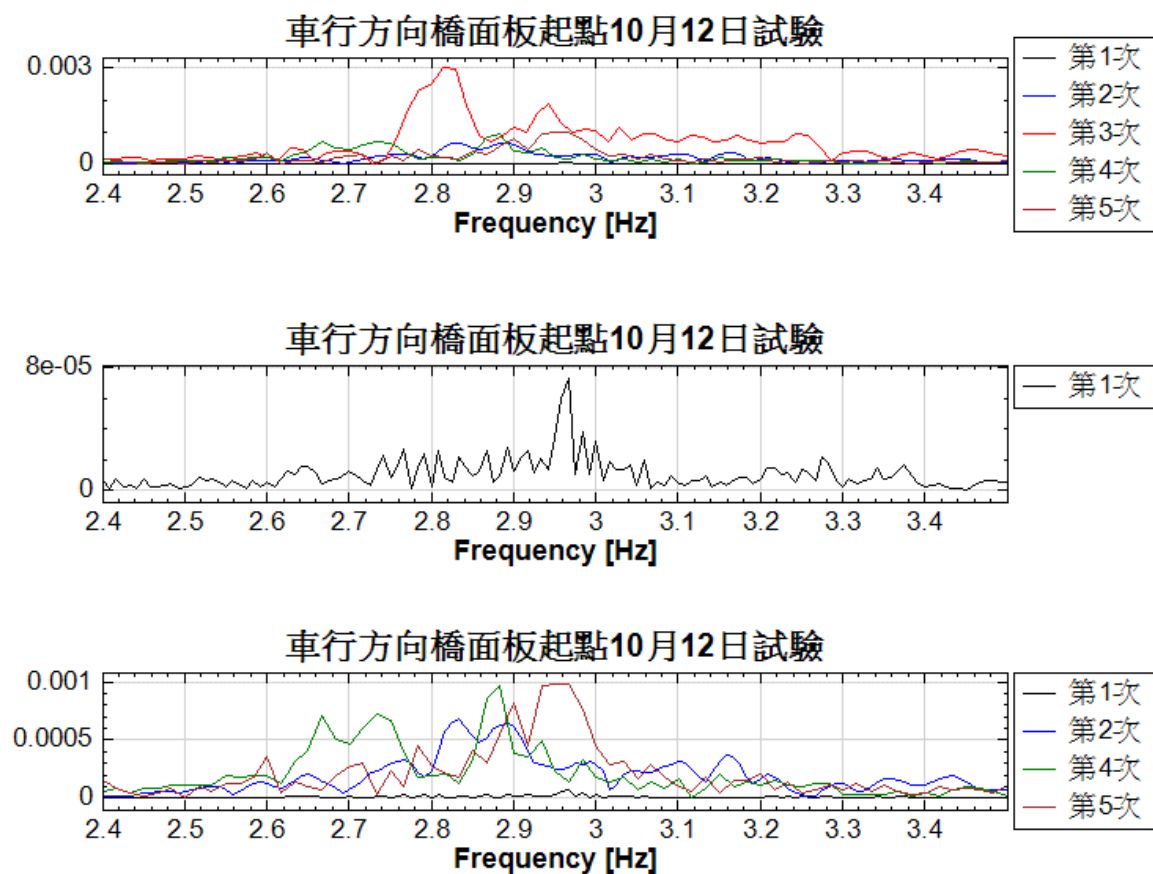


圖 5.19 橋面板車行方向第 2 次試驗頻率圖

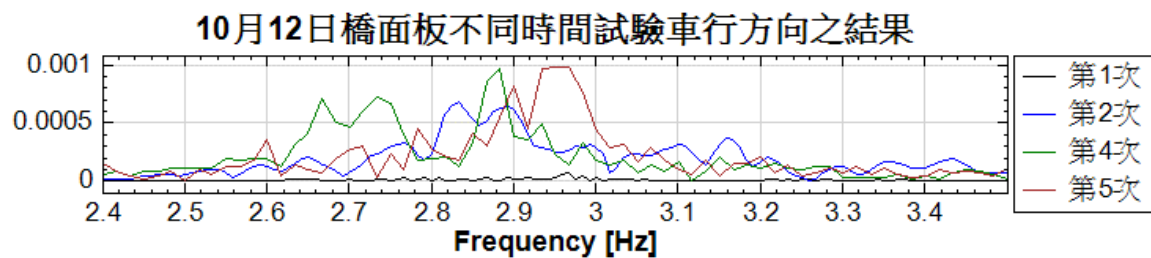
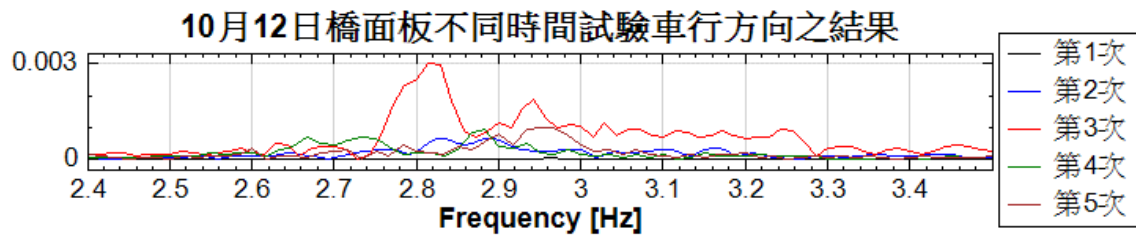
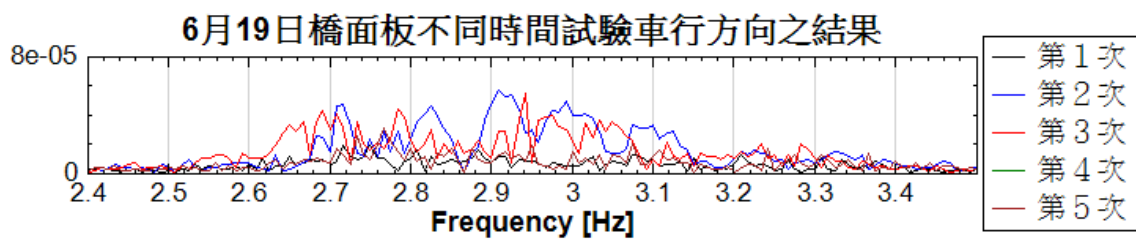
從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向主頻結果顯示橋面板主頻介於2.75~3.06如表5-8。

表 5-8 橋面板車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	6月19日主頻	10月12日主頻
1	2.75	2.97
2	2.91	2.83
3	2.94	2.81
4	2.77	2.88
5	3.06	2.95

平均數	2.89	2.89
標準差	0.13	0.07
變異係數	4.44%	2.45%

從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向振動頻率圖如圖5.20可看出2次試驗橋面板振動頻率大致為2.7、2.8及2.97Hz，2次試驗結果振動頻率改變不大。



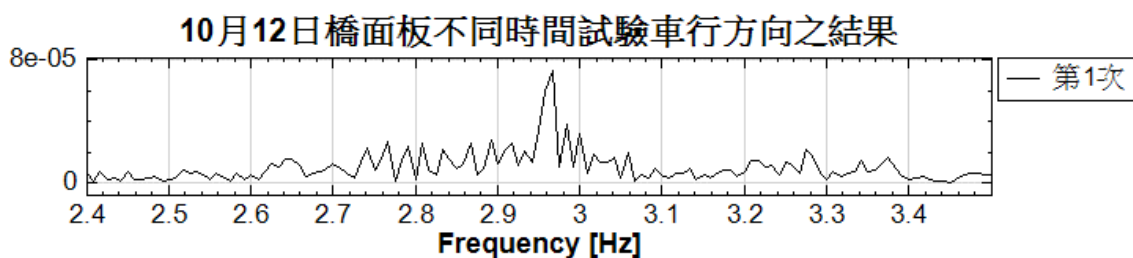


圖 5.20 橋面板車行方向 2 次試驗頻率比較圖

2.垂直車行方向2次橋面板起點試驗結果比較

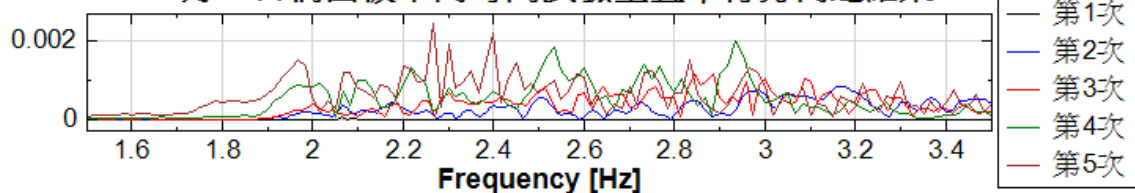
從5次橋面板垂直車行方向主頻結果顯示橋面板主頻介於2.07~3.18，如表5-9。

表 5-9 第 2 次試驗橋面板垂直車行方向 5 次試驗主頻

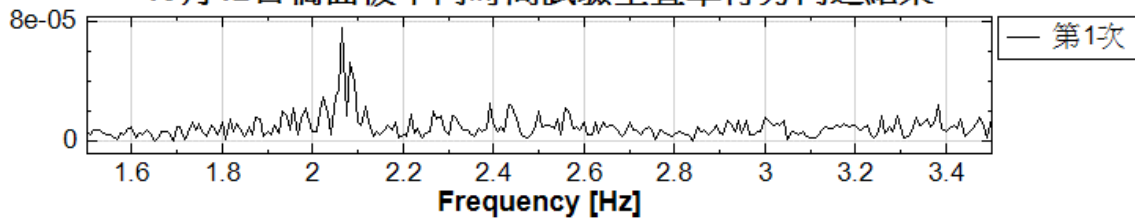
試驗次數	橋面板主頻
1	2.07
2	3.18
3	2.89
4	2.93
5	2.27
平均數	2.67
標準差	0.47
變異係數	17.74%

從橋面板車行方向5次試驗頻率圖如圖5.21比較可知，第1次試驗振動主頻2.07Hz，橋面板第2次試驗反應3.18Hz之振動，橋面板第3次試驗反應2.89Hz之振動，第4次橋面板頻率主要為2.53及2.93Hz之振動，第5次試驗2.27及2.4Hz振動頻率。

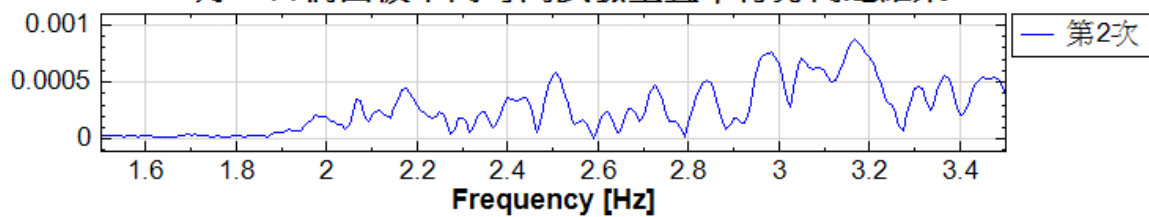
10月12日橋面板不同時間試驗垂直車行方向之結果



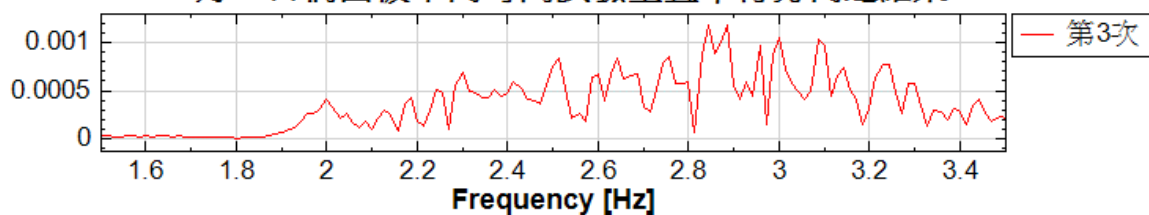
10月12日橋面板不同時間試驗垂直車行方向之結果



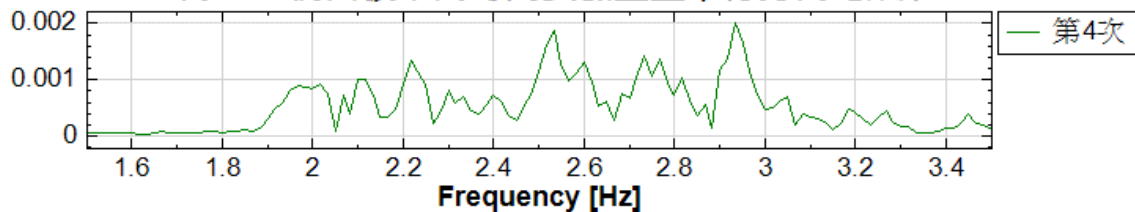
10月12日橋面板不同時間試驗垂直車行方向之結果



10月12日橋面板不同時間試驗垂直車行方向之結果



10月12日橋面板不同時間試驗垂直車行方向之結果



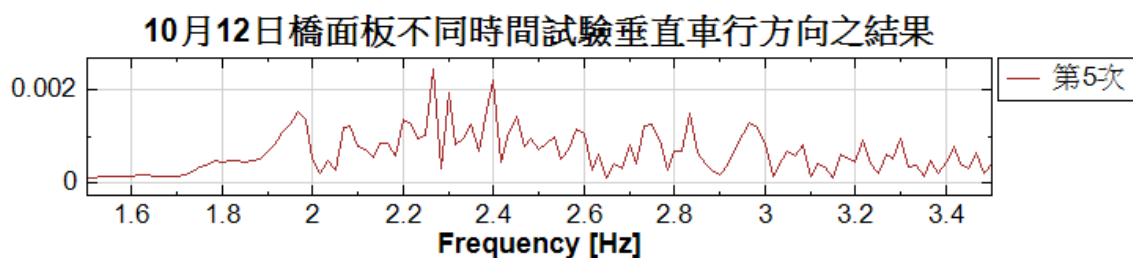


圖 5.21 橋面板垂直車行方向第 2 次試驗頻率圖

從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向主頻結果顯示6月19日振動頻率介於2.08~2.81Hz，10月12日振動頻率介於2.07~3.18Hz，橋面板主頻於6月19日及10月12日第1次試驗主頻皆於2.07及2.08如表5-10。

表 5-10 橋面板車行方向 5 次試驗主頻

試驗次數	6月19日主頻	10月12日主頻
1	2.08	2.07
2	2.12	3.18
3	2.81	2.89
4	2.13	2.93
5	2.58	2.27
平均數	2.34	2.67
標準差	0.33	0.47
變異係數	14.12%	17.74%

從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向振動頻率圖如圖5.22，6月19日試驗振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86；10月12日可看出振動頻率大致為2.1、2.3及2.85Hz，6月19日及10月12日試驗結果顯著振動頻率仍一致，唯10月12日2.1Hz

頻率較不明顯。

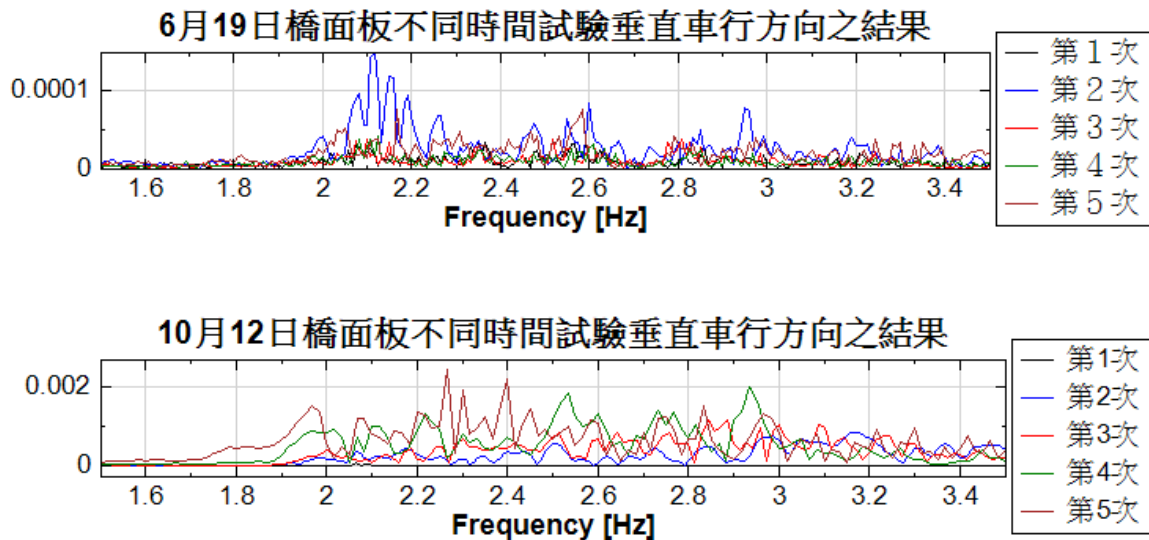


圖 5.22 橋面板垂直車行方向 2 次試驗頻率比較圖

小結：

1. 從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向振動頻率大致為2.7、2.8及2.97Hz，2次試驗結果振動頻率改變不大。
2. 從6月19日及10月12日2次橋面板車行方向振動頻率圖可知，6月19日試驗振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86；10月12日可看出振動頻率大致為2.1、2.3及2.85Hz，6月19日及10月12日試驗結果顯著振動頻率仍一致，唯10月12日2.1Hz頻率較不明顯。

二、10月12日橋面板不同位置振動結果分析

1. 車行方向橋面板不同位置振動結果分析

橋面板車行方向起點、1/4跨及1/2跨振動現象如圖5.23具一致性。

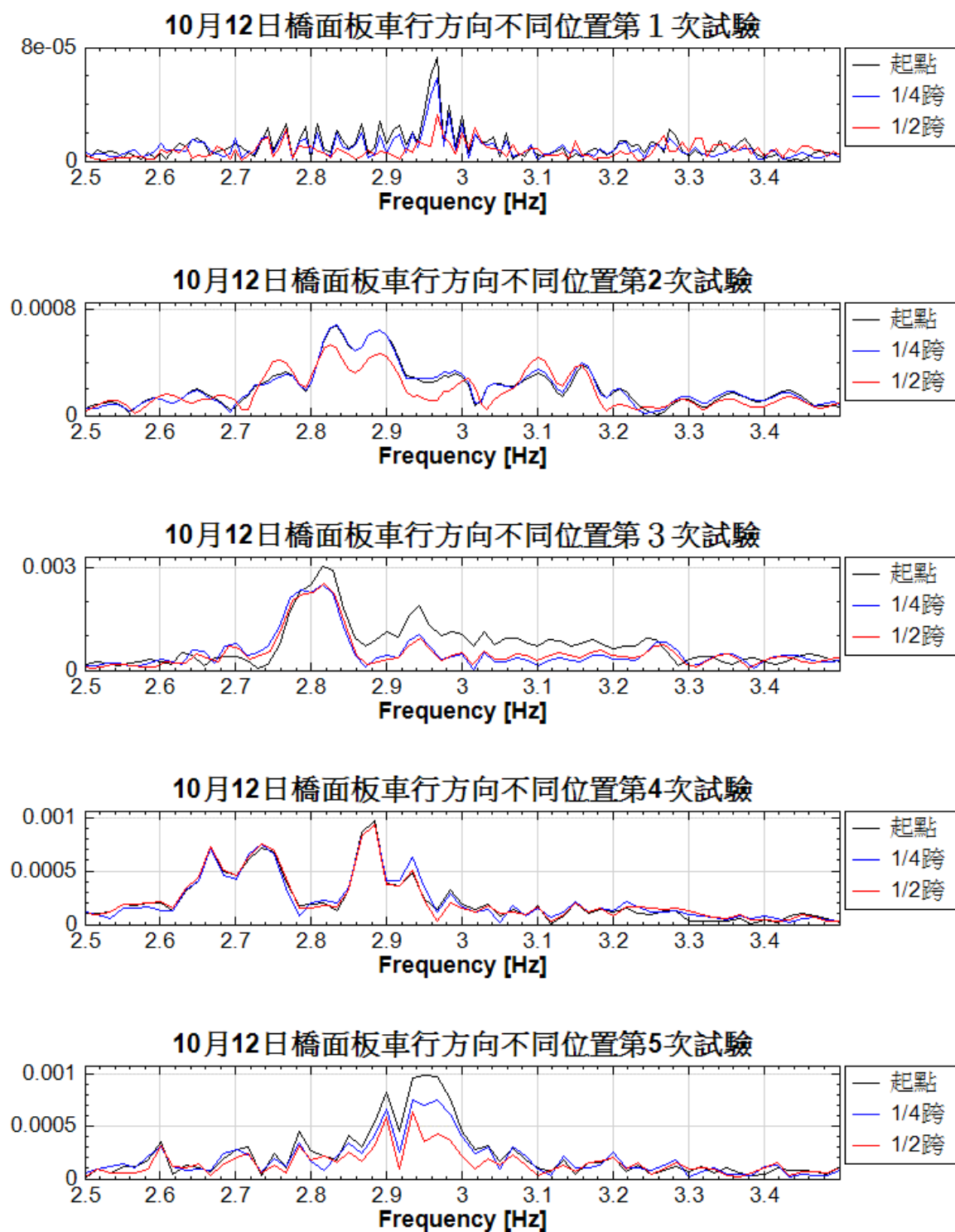
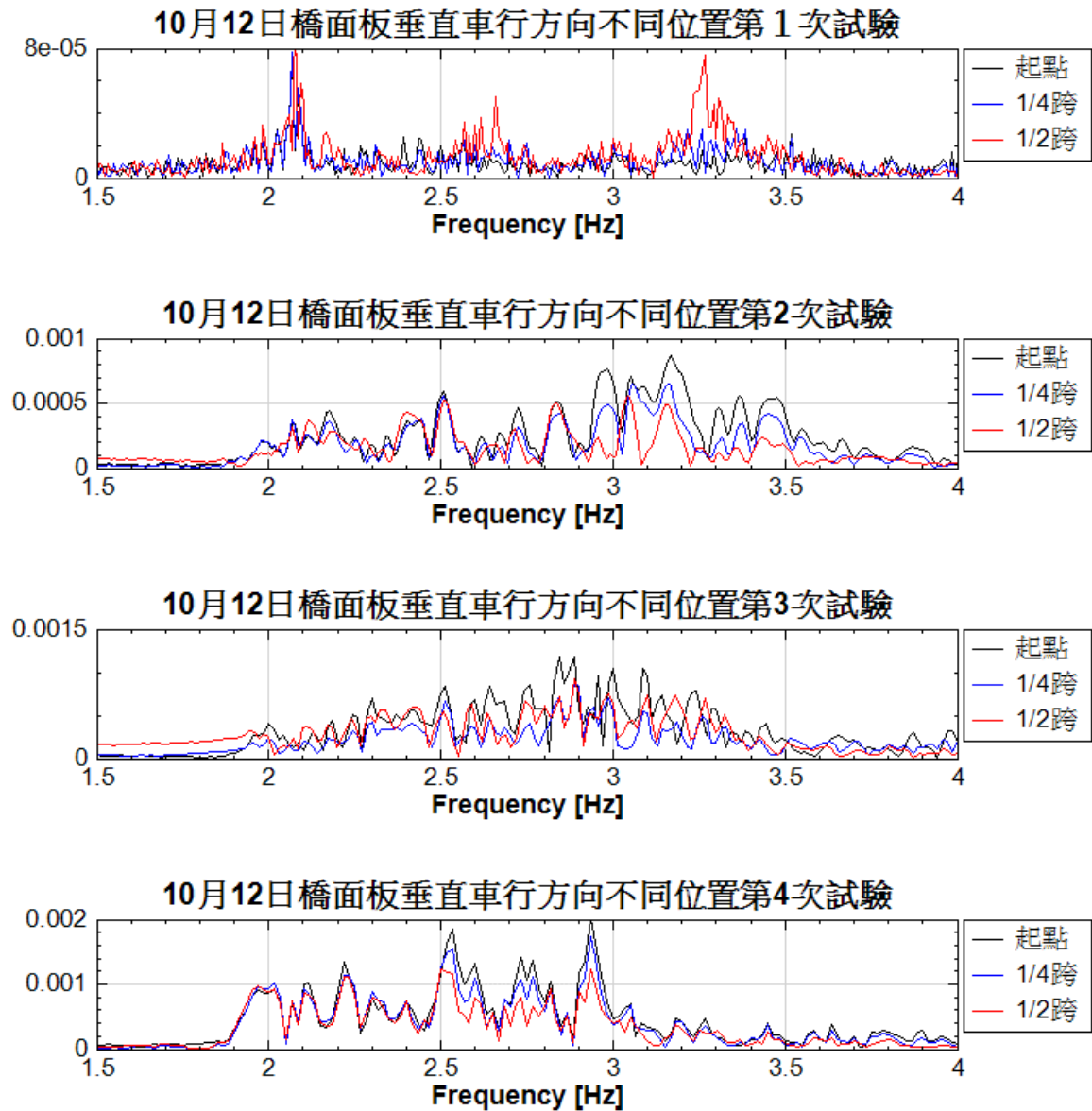


圖 5.23 橋面板 10 月 12 日車行方向不同位置試驗頻率比較圖

2. 垂直車行方向橋面板不同位置振動結果分析

橋面板垂直車行方向起點、1/4跨及1/2跨振動現象如圖5.24具一致性。



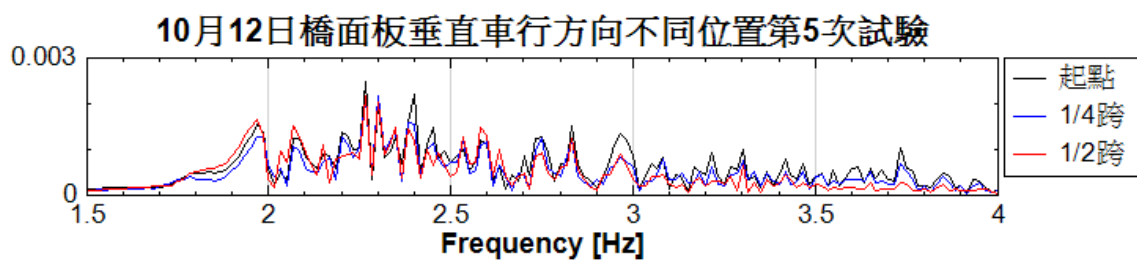


圖 5.24 橋面板 10 月 12 日垂直車行方向不同位置試驗頻率比較圖

第六章 結論與建議

本計畫為TRENDS公路早期防救災決策支援系統模組維護更新，針對鋼橋建構橋梁風險評估模式，針對TRENDS系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，並針對一座橋梁振動量測結果進行分析。

本計畫綜合上述做以下結論與建議：

6.1 結論

本年度建構鋼橋橋梁風險評估模式，包括鋼橋風險辨識、鋼橋風險評估模式及鋼橋維護策略，並結合之前年度建置之混凝土橋梁風險評估模式，可針對公路總局各養護工程處或工務段轄內橋梁在預算額度內進行維修排序最佳化。

針對TRENDS系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄，將目前有連結公路總局公路防救災資訊系統之地震通阻分析模式做一詳細紀錄，記錄其資料庫資料表欄位及程式內容。

針對一座橋梁振動量測結果進行分析，針對2次橋梁振動試驗結果進行橋墩與橋面板振動比較分析、不同時間試驗振動比較分析及橋面板不同位置振動比較分析，在橋墩與橋面板振動比較分析方面，車行方向橋面板有反應部份橋墩頻率，垂直車行方向橋面板與橋墩振動有一致性；橋面板及橋墩不同時間的試驗得到的主頻值並不一定相同，但不同次試驗皆有反應幾個主要振動頻率；橋面板起點與1/4跨振動較一致，1/2跨振動可能有些微變化，3/4跨及終點振動較一致。

6.2 建議

- 1.橋梁風險評估模式需進一步與橋管單位進行研討及驗證，以符合實務應用。
- 2.TRENDS 系統架構及網頁資料庫之整理可再參考資訊工程師之建議增補內容。

3.橋梁振動量測未來可針對一座橋梁不同跨伸縮縫處進行不同時期量測並分析。

6.3 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維護管理橋梁時之參考，提供維護策略，橋梁振動量測結果分析可做為後續橋梁振動檢測參考。

參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 張國鎮、蔡益超、張荻薇、宋裕祺、廖文義、柴駿甫、洪曉慧、劉光晏、吳弘明、戚樹人、陳彥豪，國家地震工程中心，「公路橋梁耐震能力評估及補強準則之研究」，NCREE-09-028，2009。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 邱建國、鄭明淵、吳育偉等，「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」，成果報告，交通部運輸研究所，2016。
9. 邱建國、鄭明淵、吳育偉等，「橋梁殘餘壽命與保全評估決策模式之研發(4/4)」，成果報告，交通部運輸研究所，2014。
10. 邱建國、鄭明淵、廖國偉、吳育偉、林雅雯等，「公路早期防救災決策支援系統及橋梁管理模組維護」，期末報告，交通部運輸研究所，2018。

附錄一

資料表欄位說明

「TELES 基本資料」資料表

欄位	說明
TBMS_SID	對應至 TBMS 欄位系統 ID(新版 TBMS)
TBMS_SID2	對應至 TBMS 欄位系統 ID(舊版 TBMS)
ID	橋梁早期損失評估系統 ID
橋名	
MOF_ID	工程處 ID
工程處	
BRANCH_ID	工務段 ID
工務段	
ROUTE_ID	路線代碼
MILEAGE	里程數(公里)
TOWN_CODE	橋梁所在地鄉鎮區代碼
橋梁分類	早期損失評估系統橋梁分類
DSG_YEAR	橋梁設計所依據之規範年代(民國)
Z_COEFF	設計水平加速度(g)
SOILTYPE	地盤種類(0:未知, 1:堅實地盤, 2:中等地盤, 3:軟弱地盤, 4:台北一區, 5:台北二區, 6:台北三區, 7:台北四區)
SOILLQF	土壤液化敏感類別(0:未知, 1:極低液化敏感類別, 2:低液化敏感類別, 3:中液化敏感類別, 4:高液化敏感類別, 5:極高液化敏感類別)
LANDSLIDE	山崩敏感類別(目前 TELES 無分析模式, 該欄位填 0)
WATERDEPTH	地下水位高(公尺)
LENGTH	長度(公尺)
WIDTH	寬度(公尺)
NUMUNITS	震動單元數(個數)
NUMSPANS	跨數(個數)
COST	重建成本(百萬元)
SKEWANGLE	歪斜角(主梁方向與橋柱方向之夾角, 90 度為正交)
FOUNDTYPE	基礎形式
FT_VAL	抗液化能力
SCOURDEPTH	沖刷深度(公尺)
INTRP_COST	橋梁通行失敗率引致之日間接損失(百萬元)

CLASS1	依據橋梁上部結構與橋墩型式之橋梁分類(1:單跨橋，2:多跨簡支橋單柱橋墩，3:多跨簡支橋構架式橋墩，4:多跨簡支橋壁式橋墩，5:多跨連續橋單柱橋墩，6:多跨連續橋構架式橋墩，7:多跨連續橋壁式橋墩，8:其他橋梁)
CLASS2	依據橋梁是否經過耐震設計之橋梁分類(C:傳統設計，R:傳統設計但經過適當耐震補強，S:經過耐震設計)
IPGD	PGD 易損性曲線係數(0:多跨連續，1:單跨，2:多跨簡支)
PGD_M2	超越輕微損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B2	超越輕微損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M3	超越中度損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B3	超越中度損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M4	超越嚴重損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B4	超越嚴重損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M5	超越完全損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B5	超越完全損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGA_M2	超越輕微損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B2	超越輕微損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M3	超越中度損壞 PGD 易損性曲線中值
PGA_B3	超越中度損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M4	超越嚴重損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B4	超越嚴重損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M5	超越完全損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B5	超越完全損壞 PGA 易損性曲線標準差
路線名	
所在縣市	
所在鄉鎮	
97 經度	
97 緯度	

「TELES 橋梁基本資料表」資料表

欄位	說明
TBMS_SID	對應至 TBMS 欄位系統 ID(新版 TBMS)
TBMS_SID2	對應至 TBMS 欄位系統 ID(舊版 TBMS)
ID	橋梁早期損失評估系統 ID
橋名	
MOF_ID	工程處 ID
工程處	

BRANCH_ID	工務段 ID
工務段	
ROUTE_ID	路線代碼
MILEAGE	里程數(公里)
TOWN_CODE	橋梁所在地鄉鎮區代碼
橋梁分類	早期損失評估系統橋梁分類
橋梁分類_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重橋梁分類_N
DSG_YEAR	橋梁設計所依據之規範年代(民國)
設計年代_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重設計年代_N
Z_COEFF	設計水平加速度(g)
SOILTYPE	地盤種類(0:未知, 1:堅實地盤, 2:中等地盤, 3:軟弱地盤, 4:台北一區, 5:台北二區, 6:台北三區, 7:台北四區)
地盤種類_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重地盤種類_N
SOILLQF	土壤液化敏感類別(0:未知, 1:極低液化敏感類別, 2:低液化敏感類別, 3:中液化敏感類別, 4:高液化敏感類別, 5:極高液化敏感類別)
LANDSLIDE	山崩敏感類別(目前 TELES 無分析模式, 該欄位填 0)
WATERDEPTH	地下水位高(公尺)
LENGTH	長度(公尺)
WIDTH	寬度(公尺)
NUMUNITS	震動單元數(個數)
NUMSPANS	跨數(個數)
COST	重建成本(百萬元)
SKEWANGLE	歪斜角(主梁方向與橋柱方向之夾角, 90 度為正交)
FOUNDTYPE	基礎形式
FT_VAL	抗液化能力
SCOURDEPTH	沖刷深度(公尺)
INTRP_COST	橋梁通行失敗率引致之日間接損失(百萬元)
CLASS1	依據橋梁上部結構與橋墩型式之橋梁分類(1:單跨橋, 2:多跨簡支橋單柱橋墩, 3:多跨簡支橋構架式橋墩, 4:多跨簡支橋壁式橋墩, 5:多跨連續橋單柱橋墩, 6:多跨連續橋構架式橋墩, 7:多跨連續橋壁式橋墩, 8:其他橋梁)

CLASS2	依據橋梁是否經過耐震設計之橋梁分類(C:傳統設計，R:傳統設計但經過適當耐震補強，S:經過耐震設計)
IPGD	PGD 易損性曲線係數(0:多跨連續，1:單跨，2:多跨簡支)
PGD_M2	超越輕微損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B2	超越輕微損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M3	超越中度損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B3	超越中度損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M4	超越嚴重損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B4	超越嚴重損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGD_M5	超越完全損壞 PGD 易損性曲線中值
PGD_B5	超越完全損壞 PGD 易損性曲線標準差
PGA_M2	超越輕微損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B2	超越輕微損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M3	超越中度損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B3	超越中度損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M4	超越嚴重損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B4	超越嚴重損壞 PGA 易損性曲線標準差
PGA_M5	超越完全損壞 PGA 易損性曲線中值
PGA_B5	超越完全損壞 PGA 易損性曲線標準差
路線名	
所在縣市	
所在鄉鎮	
單跨最大跨距	該橋梁最大的跨距
橋梁結構型態	
橋梁結構型態_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重橋梁結構型態_N
橋梁主梁型式	
橋梁主梁型式_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重橋梁主梁型式_N
橋墩型式	
橋墩型式_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重橋墩型式_N
橋墩基礎型式	
橋墩基礎型式_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重橋墩基礎型式_N
支承裝置	

支承裝置_N	據問卷調查對於該因子對耐震能力的相對權重支承裝置_N
PGA	舊版由地表衰減計算加速度
PGA 中央	中央大學計算加速度
P	舊版通行失敗機率
P 中央	由中央大學網格計算通行失敗機率
氯離子造成鋼筋斷面腐蝕率	氯離子造成鋼筋斷面腐蝕率
中性化造成鋼筋斷面腐蝕率	中性化造成鋼筋斷面腐蝕率
PGA_M2_ESIM	人工智慧推論之 Ay
PGA_M3_ESIM	Ay-Ac 範圍中的兩個值其中之一
PGA_M4_ESIM	Ay-Ac 範圍中的兩個值其中之一
PGA_M5_ESIM	人工智慧推論之 Ac
P_TELES	TELES 算出之機率 P
P_ESIM	人工智慧算出之機率
CI 造成維修機率 5	元件老化第 1 年維修機率
CI 造成維修機率 10	元件老化第 2 年維修機率
CI 造成維修機率 15	元件老化第 3 年維修機率
CI 造成維修機率 20	元件老化第 4 年維修機率
CI 造成維修機率 25	元件老化第 5 年維修機率
CI 造成維修機率 30	元件老化第 6 年維修機率
CI 造成維修機率 35	元件老化第 7 年維修機率
CI 造成維修機率 40	元件老化第 8 年維修機率
CI 造成維修機率 45	元件老化第 9 年維修機率
CI 造成維修機率 50	元件老化第 10 年維修機率
CI 造成維修機率 55	元件老化第 11 年維修機率
CI 造成維修機率 60	元件老化第 12 年維修機率
CI 造成維修機率 65	元件老化第 13 年維修機率
CI 造成維修機率 70	元件老化第 14 年維修機率
CI 造成維修機率 75	元件老化第 15 年維修機率
CI 造成維修機率 80	元件老化第 16 年維修機率
CI 造成維修機率 85	元件老化第 17 年維修機率
CI 造成維修機率 90	元件老化第 18 年維修機率
CI 造成維修機率 95	元件老化第 19 年維修機率
CI 造成維修機率 100	元件老化第 20 年維修機率
SSI 造成維修機率 5	洪水沖刷第 1 年維修機率
SSI 造成維修機率 10	洪水沖刷第 2 年維修機率
SSI 造成維修機率 15	洪水沖刷第 3 年維修機率

SSI 造成維修機率 20	洪水沖刷第 4 年維修機率
SSI 造成維修機率 25	洪水沖刷第 5 年維修機率
SSI 造成維修機率 30	洪水沖刷第 6 年維修機率
SSI 造成維修機率 35	洪水沖刷第 7 年維修機率
SSI 造成維修機率 40	洪水沖刷第 8 年維修機率
SSI 造成維修機率 45	洪水沖刷第 9 年維修機率
SSI 造成維修機率 50	洪水沖刷第 10 年維修機率
SSI 造成維修機率 55	洪水沖刷第 11 年維修機率
SSI 造成維修機率 60	洪水沖刷第 12 年維修機率
SSI 造成維修機率 65	洪水沖刷第 13 年維修機率
SSI 造成維修機率 70	洪水沖刷第 14 年維修機率
SSI 造成維修機率 75	洪水沖刷第 15 年維修機率
SSI 造成維修機率 80	洪水沖刷第 16 年維修機率
SSI 造成維修機率 85	洪水沖刷第 17 年維修機率
SSI 造成維修機率 90	洪水沖刷第 18 年維修機率
SSI 造成維修機率 95	洪水沖刷第 19 年維修機率
SSI 造成維修機率 100	洪水沖刷第 20 年維修機率
CI5	CI 第 1 年值
CI10	CI 第 2 年值
CI15	CI 第 3 年值
CI20	CI 第 4 年值
CI25	CI 第 5 年值
CI30	CI 第 6 年值
CI35	CI 第 7 年值
CI40	CI 第 8 年值
CI45	CI 第 9 年值
CI50	CI 第 10 年值
CI55	CI 第 11 年值
CI60	CI 第 12 年值
CI65	CI 第 13 年值
CI70	CI 第 14 年值
CI75	CI 第 15 年值
CI80	CI 第 16 年值
CI85	CI 第 17 年值
CI90	CI 第 18 年值
CI95	CI 第 19 年值
CI100	CI 第 20 年值
SSI5	SSI 第 1 年值

SSI10	SSI 第 2 年值
SSI15	SSI 第 3 年值
SSI20	SSI 第 4 年值
SSI25	SSI 第 5 年值
SSI30	SSI 第 6 年值
SSI35	SSI 第 7 年值
SSI40	SSI 第 8 年值
SSI45	SSI 第 9 年值
SSI50	SSI 第 10 年值
SSI55	SSI 第 11 年值
SSI60	SSI 第 12 年值
SSI65	SSI 第 13 年值
SSI70	SSI 第 14 年值
SSI75	SSI 第 15 年值
SSI80	SSI 第 16 年值
SSI85	SSI 第 17 年值
SSI90	SSI 第 18 年值
SSI95	SSI 第 19 年值
SSI100	SSI 第 20 年值
ECI5	元件老化維護風險值第 1 年
ECI10	元件老化維護風險值第 2 年
ECI15	元件老化維護風險值第 3 年
ECI20	元件老化維護風險值第 4 年
ECI25	元件老化維護風險值第 5 年
ECI30	元件老化維護風險值第 6 年
ECI35	元件老化維護風險值第 7 年
ECI40	元件老化維護風險值第 8 年
ECI45	元件老化維護風險值第 9 年
ECI50	元件老化維護風險值第 10 年
ECI55	元件老化維護風險值第 11 年
ECI60	元件老化維護風險值第 12 年
ECI65	元件老化維護風險值第 13 年
ECI70	元件老化維護風險值第 14 年
ECI75	元件老化維護風險值第 15 年
ECI80	元件老化維護風險值第 16 年
ECI85	元件老化維護風險值第 17 年
ECI90	元件老化維護風險值第 18 年
ECI95	元件老化維護風險值第 19 年

ECI100	元件老化維護風險值第 20 年
ESSI5	洪水維護風險值第 1 年
ESSI10	洪水維護風險值第 2 年
ESSI15	洪水維護風險值第 3 年
ESSI20	洪水維護風險值第 4 年
ESSI25	洪水維護風險值第 5 年
ESSI30	洪水維護風險值第 6 年
ESSI35	洪水維護風險值第 7 年
ESSI40	洪水維護風險值第 8 年
ESSI45	洪水維護風險值第 9 年
ESSI50	洪水維護風險值第 10 年
ESSI55	洪水維護風險值第 11 年
ESSI60	洪水維護風險值第 12 年
ESSI65	洪水維護風險值第 13 年
ESSI70	洪水維護風險值第 14 年
ESSI75	洪水維護風險值第 15 年
ESSI80	洪水維護風險值第 16 年
ESSI85	洪水維護風險值第 17 年
ESSI90	洪水維護風險值第 18 年
ESSI95	洪水維護風險值第 19 年
ESSI100	洪水維護風險值第 20 年
橋梁重要度	根據蔣偉寧教授報告計算的橋梁重要度

工程處&工務段 ID 編號說明

工程處	工務段	ID
第一區養護工程處	景美工務段	A01
	中和工務段	A02
	中壢工務段	A03
	新竹工務段	A04
	復興工務段	A05
	基隆工務所	A06
第二區養護工程處	苗栗工務段	B01
	台中工務段	B02
	彰化工務段	B03
	南投工務段	B04
	谷關工務段	B05
	埔里工務段	B06
	信義工務段	B07

	員林工務段	B08
	卓蘭工務所	B09
第三區養護工程處	高雄工務段	C01
	潮州工務段	C02
	台東工務段	C03
	甲仙工務段	C04
	關山工務段	C05
	澎湖工務段	C06
	楓港工務段	C07
	旗山工務所	C08
	里嶺工務所	C09
	東濱工務所	C10
第四區養護工程處	頭城工務段	D01
	南澳工務段	D02
	花蓮工務段	D03
	洛韶工務段	D04
	獨立山工務段	D05
	玉里工務段	D06
	花蓮工務所	D07
第五區養護工程處	斗南工務段	E01
	水上工務段	E02
	新營工務段	E03
	新化工務段	E04
	曾文工務段	E05
	阿里山工務段	E06
	嘉太工務所	E07
	雲林工務所	E08

部分省道別名對照說明

漢寶草屯線	台 76 線
中彰快速公路	台 74 線
彰化東外環道	台 74 甲
中投公路	台 63 線
中投公路草屯支線	台 63 甲
西濱公路	台 61 線

ID 編號說明

範例：B02-061A-123AN

B02	061A	123AN
工程處&工務段	路線名稱 台 61 甲線	里程數 123 公里
	A：甲線 B：乙線	A：此里程數內的第一座橋樑 B：此里程數內的第二座橋樑
	因為省道皆為兩位數字，前面加 0 表示，如例：台 61 線為” 061”；縣道則直接以三位數字表示。	尾碼：L 左線 南下 R 右線 北上 N 新橋 拓寬 O 舊橋 I 交流道、開道 E 東線、東行線 W 西線、西行線

TELES 之典型橋梁分類

跨數	上部結構	橋墩型式	是否耐震設計	分類
多跨	單跨		傳統	HWB1C
			補強	HWB1R
			耐震	HWB1S
	簡支橋	單柱	傳統	HWB2C
			補強	HWB2R
			耐震	HWB2S
		構架式	傳統	HWB3C
			補強	HWB3R
			耐震	HWB3S
		壁式	傳統	HWB4C
			補強	HWB4R
			耐震	HWB4S
	連續橋	單柱	傳統	HWB5C
			補強	HWB5R
			耐震	HWB5S
		構架式	傳統	HWB6C
			補強	HWB6R

			耐震	HWB6S
		壁式	傳統	HWB7C
			補強	HWB7R
			耐震	HWB7S
其他橋梁			傳統	HWB8C
			補強	HWB8R
			耐震	HWB8S

縣市、鄉鎮區與村里代碼之關聯性：

TELES 採用的行政區界代碼乃參考行政院主計總處公佈的「行政區域及村里代碼」，以南投縣為例(如表4.2.1)，其編碼規則與關聯性如下說明：

- (1) 縣市代碼(2 碼)：CC。
- (2) 鄉鎮代碼(4 碼)：CCTT，其中CC 為所在縣市代碼。
- (3) 村里代碼(7 碼)：CCTTVVV，其中CC 為所在縣市代碼、CCTT 為所在鄉鎮代碼。

南投縣行政區界代碼說明表

項次	行政區界名稱	行政區界代碼	說明
1	南投縣	08	
2	南投縣埔里鎮	0802	08 為縣市代碼
3	南投行埔里鎮南村里	0802017	08 為縣市代碼 0802 為村里代碼

附錄二

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查委員	審查意見	處理情形
1.廖國偉委員(書面意見)	1. 本計畫計有四個工項(1.4節)，根據報告內容，各工項多已達成預計目標，惟第一個工項：臺灣公路早期防救災決策支援系統維護更新，報告中並未(或不易看出)清楚地顯示其更新內容。 2. 上述四個工項中的第二個工項，包含鋼橋橋梁風險評估與群橋維護成本最佳化兩項，其中，關於群橋維護成本最佳化一項，結論中並未提及或說明本報告的成果為何。 3. 上述四個工項中的第三個工項，整理記錄 TREND 系統架構及網頁資料庫，於結論中提及可參考資訊工程師之建議增補內容，建議將資訊工程師所建議的內容詳細說明。 4. 第5章個頻率圖應說明 y 軸之物理量。 5. 其他編輯事項：內文使用粗體的時機不一致、第4章標題出現空格、方程式格式不一致(如 3.1 與 3.2)等，請更正。	1.臺灣公路早期防救災決策支援系統維護更新屬例行年度維護。 2. 已將成果加入第六章結論第1段。 3. 可參考資訊工程師之建議增補內容，此部份屬未來建議。 4.y 軸為幅度(mag) ，表示這個頻率分量的大小。 5.已遵照委員意見修正。
2.饒書安委員	1. 本報告內容資料蒐集完整，值得肯定。 2. 字體加粗體之排版建議一致(目錄及內文)，請檢示。	1.感謝委員的肯定。 2.遵照辦理。

審查委員	審查意見	處理情形
3.李政道委員(書面意見)	3. 第五章建議增加南雲大橋基本資料及平立面圖。	3.已增加圖 5.2。
	4. 第五章頻率量測日期增加年度。	4.遵照辦理。
	5. 第五章建議未來可增加 1 小節，論述規劃試驗內容並可增加平立面圖標示，俾利了解。	5.已增加圖 5.2。
	6. 報告 6-1 第 6.1 節結論部份建議可就橋梁振動量測結果亦以酌述。	6.已增加敘述於結論第 3 段。
	7. 圖 5.1 照片與文字不符，建議更換照片。	7.已修改照片文字說明。
	1. 本計畫為 TRENDS 公路早期防救災決策支援系統模組維護更新，值得肯定。	1.感謝委員的肯定。
	2. 第 2-1 頁：第 1 行～第 7 行整段落排版，建請再酌修、調整。	2.已修正排版。
4.朱我帆委員	3. 第 3-3 頁：第 4 行有關 TBMS 橋梁基本資料裡共有九種橋樑結構型式，建議可研議將脊背橋納入。	3.未來可研議納入。
	4. 建議本案未來如果將運用於橋樑管理，建議應與橋樑管理單位進一步溝通，倘能與基層工程司實際溝通或辦理教育訓練更佳。	4.遵照辦理。
	1. 結論及中英文摘要建議加入本研究成果之重點。	1.已於結論及中英文摘要加入成果重點。
	2. 報告書粗體字與無粗體字之排版建議修正。	2.遵照辦理。
	3. 振動檢測建議如有試驗	3.未來如有試驗會遵照辦

審查委員	審查意見	處理情形
5.張道光委員	時，沖刷深度及水流速度可加以記錄，並探討其關係。 4. TBMS 九種橋梁結構型式，是否可包括所有橋型？ 5. 如經費許可，建議本研究案可納入臺鐵局橋梁。 1. p.2-3 一、地震破壞潛勢評估的大「一」應該改為數字「1」編排。 2. 摘要中與報告內容台灣的「台」應更正為「臺」。 3. 圖目錄第 V 頁圖 2.6 字型應更正，圖 5.2~圖 5.21 編排應該修正。	理。 4.已涵蓋大部份橋型。 5.納入未來研究案參考。 1.已遵照委員意見修正。 2.已遵照委員意見修正。 3.已遵照委員意見修正。

附錄三

期末報告簡報資料

公路早期防救災決策支援系統及 鋼橋管理模組精進驗證

林雅雯研究員

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
中華民國107年11月19日



報告內容

- 一、研究目的及範圍
- 二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)
- 三、橋梁維護分析模式
- 四、公路早期防救災決策支援資訊系統
- 五、橋梁振動檢測案例分析
- 六、結論與建議

一、研究目的及範圍

目的

- 臺灣公路早期防救災決策支援系統維護
- 針對TRENDS系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄
- 鋼筋混凝土及鋼結構橋梁群橋維護成本最佳化
- 一座橋梁振動量測結果分析

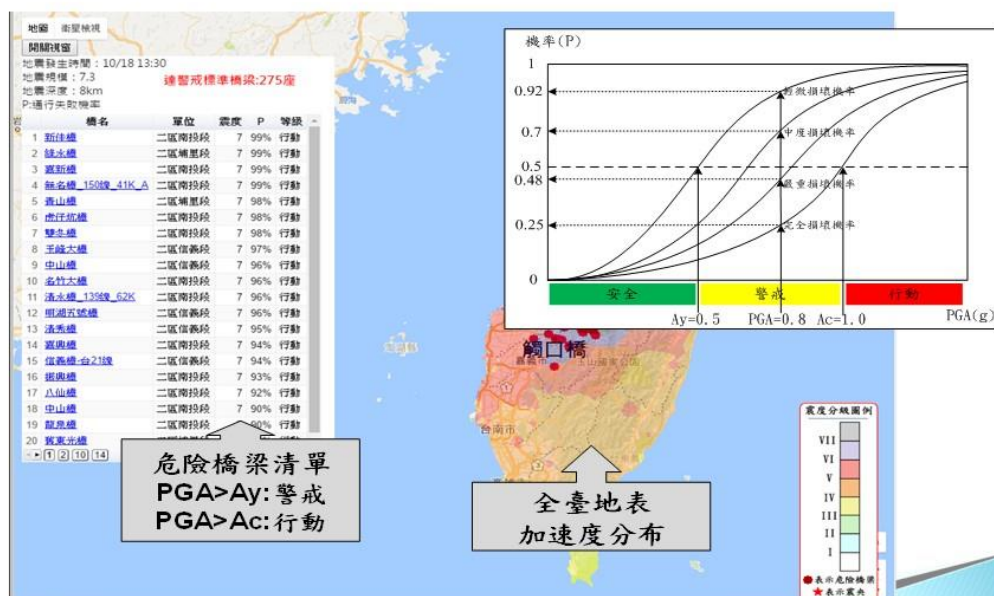
範圍

- 鋼橋橋梁風險評估模式-上部結構為鋼箱型梁型式
- 群橋維護成本最佳化-鋼筋混凝土及鋼結構橋梁
- 橋梁振動量測結果分析-針對南雲大橋鋼筋混凝土橋

交通部運輸研究所 3

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

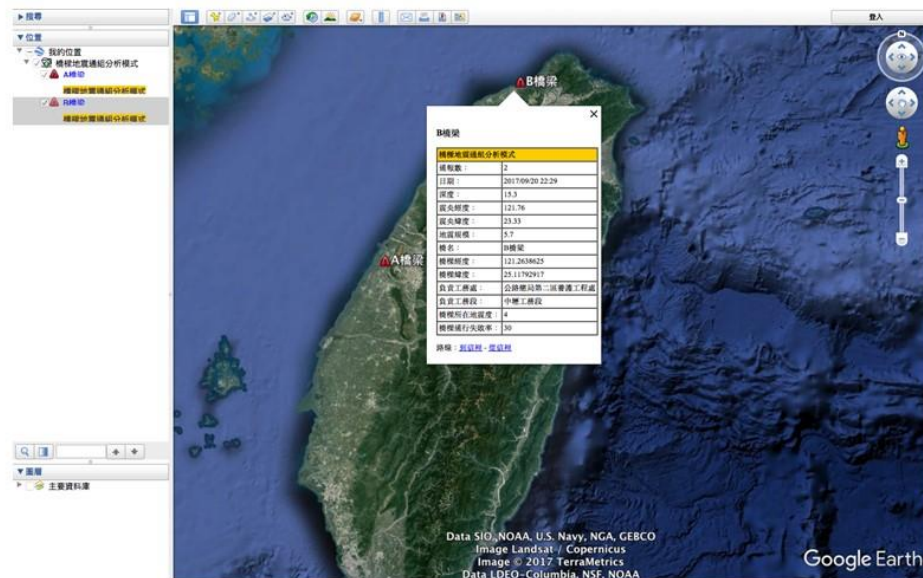
1. 地震破壞潛勢評估



交通部運輸研究所 4

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

1.地震破壞潛勢評估



交通部運輸研究所 5

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

2.颱風跨河橋梁安全預警



交通部運輸研究所 6

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

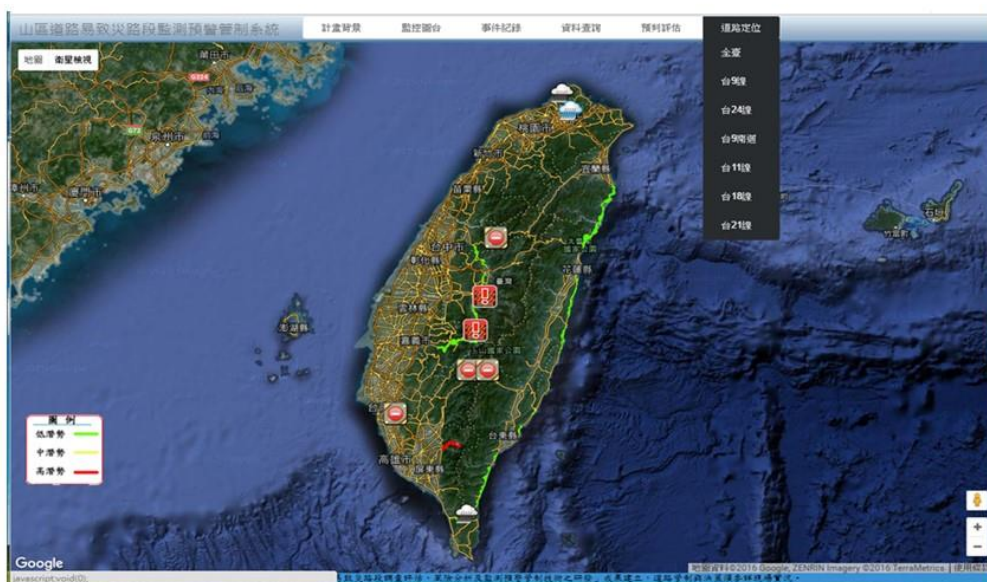
3. 橋梁振動頻率檢測



交通部運輸研究所 7

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

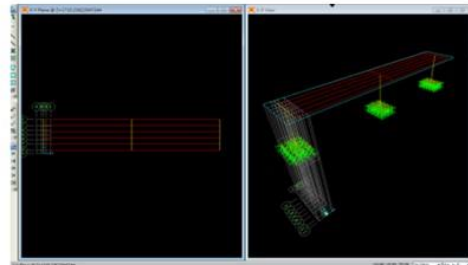
4. 道路邊坡災害預警及決策支援



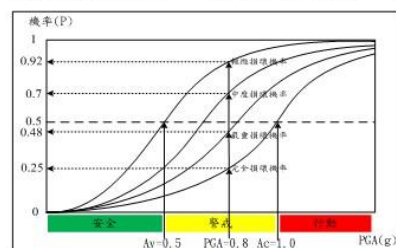
交通部運輸研究所 8

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

5. 橋梁耐震耐洪設計資料庫及自動化計算



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)

交通部運輸研究所 9

二、臺灣公路早期防救災決策支援系統(TRENDS)

6. 橋梁保全評估與養護經費決策支援

重新查核 列印此頁 註 可點選表頭按鍵進行資料排序																								
橋梁編號	橋梁名稱	工程處	工程段	總修復成本(萬元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
各年度加總(萬元)					45124	50394	57197	75666	143162	48965	72544	62163	63244	83269	50000	66475	69809	76979	54021	57606	91408	71835	70171	46892
A01-0020-001A	竹園橋	一區	景美	207	23	-	-	-	-	117	23	-	52	-	53	-	53	-	-	82	-	-	82	24
A01-0020-003A	外北橋	一區	景美	355	-	-	83	-	49	16	16	-	49	-	-	-	-	111	16	16	-	-	-	-
A01-0020-003B	高厝橋	一區	景美	12	-	2	-	-	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-
A01-0020-004A	台山橋	一區	景美	331	18	-	-	-	142	-	49	-	-	99	18	-	50	18	18	-	50	19	-	51
A01-0020-005A	後田橋	一區	景美	922	-	132	-	-	168	36	36	36	-	-	-	-	253	37	37	-	-	-	202	-
A01-0020-005B	宋厝橋	一區	景美	1110	53	53	53	54	54	54	54	-	-	-	-	-	424	-	-	146	-	83	-	83
A01-0020-006A	水厚橋	一區	景美	688	34	34	35	35	35	35	-	77	-	77	-	77	35	35	36	36	-	-	100	-
A01-0020-006B	水鏡橋	一區	景美	272	-	-	63	20	-	-	63	20	-	27	20	-	27	21	21	-	28	-	-	66
A01-0020-006C	金龍橋	一區	景美	402	65	65	65	-	-	811	-	503	66	66	-	-	-	1017	67	-	-	835	-	518
A01-0020-006D	三槐樹橋	一區	景美	324	-	-	-	77	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	-	-	169	-	-	-
A01-0020-007A	高工橋	一區	景美	620	28	-	72	-	-	-	-	-	-	196	28	-	-	96	29	-	74	-	-	98
A01-0020-009A	林邊橋	一區	景美	122	2	-	-	-	38	2	-	-	-	-	54	-	-	34	-	-	-	-	-	62
A01-0020-010A	南仁橋	一區	景美	72	-	8	1	1	1	-	8	-	8	1	1	1	-	-	-	24	-	-	15	1
A01-0020-010B	福源橋	一區	景美	165	-	-	-	-	50	2	-	16	-	16	-	16	-	-	-	47	-	16	3	-
A01-0020-011A	新橋橋	一區	景美	121	-	-	20	-	11	7	7	-	-	20	-	11	-	11	-	-	-	27	7	-
A01-0020-012A	黃李橋	一區	景美	135	5	5	-	-	29	5	-	-	-	-	-	-	-	63	5	5	-	11	5	5
A01-0020-013A	大宅橋	一區	景美	862	-	83	19	19	-	-	-	243	-	-	-	246	20	20	-	86	20	-	87	20

交通部運輸研究所10

三、橋梁維護分析模式

橋梁綜合能力指標

橋梁維護之風險期望值 $ES(Cost)$ =維護風險成本 $E(MC)$ +重建風險成本 $E(RC)$

$$Es(Cost) = (P_{MD_{ij}} \times C_{MD_{ij}} + P_{MC_{ij}} \times C_{MC_{ij}} + P_{MS_{ij}} \times C_{MS_{ij}} + P_{RS_{ij}} \times C_{RS_{ij}} + P_{ME_{ij}} \times C_{ME_{ij}} + P_{RE_{ij}} \times C_{RE_{ij}})$$

風險類別	風險因子	橋梁維護機率	橋梁維護成本	斷橋風險機率	斷橋之重建成本
可視老化	構件老化	P_{MD}	C_{MD}	—	—
潛勢危害	塗裝劣化	P_{MC}	C_{MC}	—	—
	洪水	P_{MS}	C_{MS}	P_S	C_{RS}
	地震	P_{ME}	C_{ME}	P_E	C_{RE}

交通部運輸研究所11

三、橋梁維護分析模式

橋梁綜合能力指標

橋齡 風險	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
構件老化	4,632,586	12,233,132	15,826,761	17,692,469	19,086,368	19,905,112	20,434,039	21,212,880	21,588,485	21,896,689
塗裝劣化	903,190	1,047,045	1,213,812	1,407,141	1,631,262	1,891,080	2,192,279	2,541,453	2,946,240	3,415,500
洪水維護	96,588	663,261	17,367,974	42,237,070	45,815,127	51,572,688	59,464,839	63,219,360	63,991,748	64,063,566
地震維護	4,154,650	11,079,065	23,543,014	36,006,963	45,701,145	55,395,327	56,780,210	56,780,210	56,780,210	56,780,210
洪水重建	546,725	2,051,323	3,223,754	4,741,379	6,414,118	8,767,357	11,298,319	13,908,259	15,358,020	17,297,163
地震重建	373,919	997,116	2,118,871	3,240,627	4,113,103	4,985,579	5,110,219	5,110,219	5,110,219	5,110,219
$E[Cost]$	10,707,657	28,070,942	63,294,185	105,325,649	122,761,123	142,517,143	155,279,905	162,772,381	165,774,922	168,563,348

A橋之綜合能力指標

交通部運輸研究所12

三、橋梁維護分析模式

1. 橋梁構件老化

橋梁結構形式：

TBMS 9種橋梁結構型式， π 橋、版橋、拱橋、剛架橋、桁架橋、斜張橋、梁式橋、箱型橋及其他。

橋梁交通量：

TBMS資料+105年度公路交通量調查統計表(交通部公路總局)，小客車當量數PCU<6000、6000-12000及>12000。

橋梁距海距離：

TBMS橋梁GIS座標+台灣縣市界線圖計算，<300公尺、300~1000、1000~3000及>3000。

計算CI值下降趨勢：

CI值-前一次檢測CI值(且鄰近CI值小於原CI值)/間隔天數，即為CI值下降趨勢。

橋梁構件老化模地卡羅模擬：

應用模地卡羅模擬橋梁在未來各時間點下的CI平均值，計算CI值小於門檻值之累計次數，將此累計次數除以模擬次數，即為橋梁因老化所造成之維護機率。

交通部運輸研究所13

三、橋梁維護分析模式

1. 橋梁構件老化

橋梁維修案例分類：

從TBMS維修歷史案例中篩選橋梁老化維修案例。

橋梁山地考量：

TBMS橋梁GIS座標+內政部20公尺網格數值地形模型資料，若橋梁高程>1000公尺則視為山地橋梁。

橋梁老化影響因子：

人工智慧推論模式訓練橋梁老化維修成本

人工智慧推論模式預測橋梁老化維修成本

橋梁老化風險成本=維護機率X
維修成本

影響因子	關聯	單位
CI	維修前CI指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M2
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
年平均每日車流量	反覆載重或使用量影響	車輛數
距海遠近	大氣腐蝕因素	公里
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年
竣工年	施工技術	民國年

交通部運輸研究所14

三、橋梁維護分析模式

2. 鋼結構橋梁塗裝劣化

鋼結構橋梁塗裝案例：

從TBMS維修歷史案例中篩選鋼結構橋梁塗裝案例。

鋼結構橋梁塗裝單位面積維修成本：

鋼結構橋梁塗裝劣化維修案例+TBMS橋梁橋面版投影面積，來計算鋼結構橋梁塗裝劣化單位面積維修成本

鋼結構橋梁塗裝維修機率：

氟素塗裝系統耐用年限為15年，PU塗裝系統為5年。

鋼結構橋梁塗裝維修風險成本：

TBMS橋梁基本資料中之橋版投影面積X橋梁塗裝劣化單位面積維修成本=橋梁塗裝劣化維修成本。

橋梁塗裝劣化維修成本X橋梁塗裝劣化維修機率=橋梁塗裝劣化維修風險成本。

交通部運輸研究所15

三、橋梁維護分析模式

3. 橋梁洪水冲刷

橋梁分類：

跨河橋梁依流域分為25個流域。

橋梁冲刷穩定指標SSI下降趨勢：

流域內檢測紀錄間之SSI下降值/間隔天數，即為SSI下降趨勢+檢測紀錄間流量站洪水重現期。

河川流域	1年	2年	5年	10年	20年	50年	100年	200年
八掌溪	0.6875	0.638571	3	4	4	5	5	6
大甲溪	1.190476	0.24	5	7	8	10	12	13

橋梁洪水冲刷蒙地卡羅模擬：

橋梁未來20年各時間點的SSI值相加除以模擬次數=各時間點下的SSI平均值。

SSI小於門檻值之累計次數/模擬次數=冲刷損壞而須維修的機率。

超越重現期200年之洪水之累計次數/模擬次數=冲刷損壞而須重建的機率。

橋梁洪水冲刷維修案例分類：

從TBMS維修歷史案例中篩選橋梁洪水冲刷維修案例。

交通部運輸研究所16

三、橋梁維護分析模式

3. 橋梁洪水沖刷

橋梁洪水沖刷影響因子：

影響因子	關聯	單位
SSI	維修前SSI指標	數字
橋版投影面積	維修量體	M ²
最低橋下淨高(M)	維修量體	M
結構型式	維修方式	文字
高程	山地與平地考量	文字
是否為跨河橋	跨河橋或陸橋案例	是/否
最近維修年	物價修正用	民國年

人工智慧訓練橋梁洪水維修成本。

人工智慧預測橋梁洪水維修成本。

橋梁洪水維修風險成本：

橋梁洪水沖刷維修機率X人工智慧推估橋梁洪水維修成本=橋梁洪水維修風險成本。

橋梁洪水重建風險成本：

橋梁洪水沖刷重建機率X TBMS橋梁基本資料橋梁造價=橋梁洪水重建風險成本。

交通部運輸研究所17

三、橋梁維護分析模式

4. 橋梁地震損傷

橋梁耐震能力影響因子：

影響因子	
1.設計水平加速度	7.主梁型式
2.基樁裸露深度	8.振動單元數
3.橋梁結構型態	9.單跨最大跨距
4.歪斜角	10.土壤液化類別
5.橋長	11.支承裝置
6.橋寬	

人工智慧訓練橋梁耐震能力(降伏及破壞地震加速度Ay、Ac)。

人工智慧預測橋梁耐震能力(降伏及破壞地震加速度Ay、Ac)。

蒙地卡羅模擬橋梁地震損害比。

橋梁地震損傷風險成本：

橋梁地震損害比X TBMS橋梁基本資料橋梁造價=橋梁地震損傷風險成本。

交通部運輸研究所18

三、橋梁維護分析模式

5. 橋梁綜合能力指標

橋梁維護之風險期望值 $ES(Cost)$ =維護風險成本 $E(MC)$ +重建風險成本 $E(RC)$

$$Es(Cost) = (P_{MD_{ij}} \times C_{MD_{ij}} + P_{MC_{ij}} \times C_{MC_{ij}} + P_{MS_{ij}} \times C_{MS_{ij}} + P_{S_{ij}} \times C_{RS_{ij}} + P_{ME_{ij}} \times C_{ME_{ij}} + P_{E_{ij}} \times C_{RE_{ij}})$$

風險類別	風險因子	橋梁維護機率	橋梁維護成本	斷橋風險機率	斷橋之重建成本
可視老化	構件老化	P_{MD}	C_{MD}	—	—
潛勢危害	塗裝劣化	P_{MC}	C_{MC}	—	—
	洪水	P_{MS}	C_{MS}	P_S	C_{RS}
	地震	P_{ME}	C_{ME}	P_E	C_{RE}

交通部運輸研究所19

三、橋梁維護分析模式

5. 橋梁綜合能力指標

橋齡 風險	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
構件老化	4,632,586	12,233,132	15,826,761	17,692,469	19,086,368	19,905,112	20,434,039	21,212,880	21,588,485	21,896,689
塗裝劣化	903,190	1,047,045	1,213,812	1,407,141	1,631,262	1,891,080	2,192,279	2,541,453	2,946,240	3,415,500
洪水維護	96,588	663,261	17,367,974	42,237,070	45,815,127	51,572,688	59,464,839	63,219,360	63,991,748	64,063,566
地震維護	4,154,650	11,079,065	23,543,014	36,006,963	45,701,145	55,395,327	56,780,210	56,780,210	56,780,210	56,780,210
洪水重建	546,725	2,051,323	3,223,754	4,741,379	6,414,118	8,767,357	11,298,319	13,908,259	15,358,020	17,297,163
地震重建	373,919	997,116	2,118,871	3,240,627	4,113,103	4,985,579	5,110,219	5,110,219	5,110,219	5,110,219
$E[Cost]$	10,707,657	28,070,942	63,294,185	105,325,649	122,761,123	142,517,143	155,279,905	162,772,381	165,774,922	168,563,348

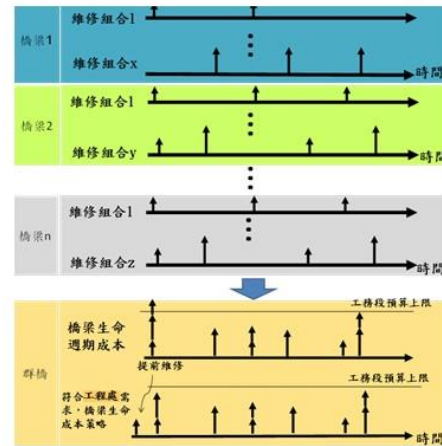
A橋之綜合能力指標

交通部運輸研究所20

三、橋梁維護分析模式

6. 群橋生命週期維護成本

$$\text{MinE}_{\text{GT}}(\text{Cost}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n E_{\text{Bij}}(\text{Cost})$$



橋梁編號	橋梁名稱	工程處/工務局	維修預算成本(萬元)	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年	第11年	第12年	第13年	第14年	第15年	第16年	第17年	第18年	第19年	第20年
各年度加添(萬元)				45124	50394	57197	75666	143162	40965	78544	62168	63824	83269	50000	66475	69809	76979	54021	57606	91408	71835	78171	46898
I-0020-001A	竹園橋	一區	景美	502	23	-	-	-	117	23	-	52	-	53	-	53	-	-	82	-	-	82	34
I-0020-003A	外北橋	一區	景美	355	-	-	83	-	49	16	16	-	49	-	-	-	111	16	16	-	-	-	-
I-0020-003B	高層橋	一區	景美	13	-	2	-	-	2	-	2	-	2	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-

一區工程處群橋生命週期維護成本最佳化

交通部運輸研究所21

四、公路早期防救災決策支援資訊系統

將TRENDS六個模組網頁
資料庫資料表(欄位內容詳附錄)
伺服器內檔案位置
應用到的程式
做一紀錄

E	N	PGA	Name
119.41	23.21	0.4516493	###
119.42	23.2	0.4533717	###
119.42	23.21	0.4557269	###
119.43	23.21	0.4598581	###
119.48	23.57	0.5602461	###
119.49	23.36	0.5241045	###
119.49	23.37	0.5264119	###
119.49	23.38	0.5286769	###
119.5	23.36	0.5294211	###
119.5	23.37	0.5317545	###
119.5	23.38	0.5340708	###
119.5	23.57	0.5713906	###
119.5	23.58	0.5735765	###
119.5	23.59	0.5758432	###
119.5	23.6	0.5781627	###

交通部運輸研究所22

五、橋梁振動檢測案例分析

臺3線南雲大橋14號橋墩使用速度計進行橋梁振動試驗，橋梁上無任何行車

第1次試驗:6月19日晚上11:00至6月20日早上1:00

(1)置於墩柱與橋面板伸縮縫處

(2)置於橋面板的起點、1/4跨、1/2跨、3/4跨與終點處

第2次試驗:10月12日晚上11:00至10月13日早上2:00

(1)置於橋面板的起點、1/4跨、1/2跨處



臺3線南雲大橋14號橋墩

交通部運輸研究所23

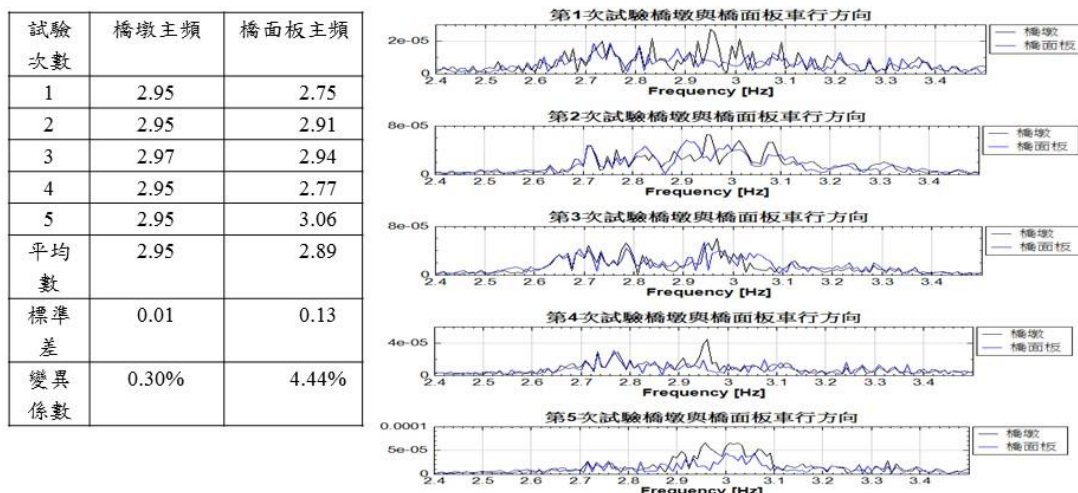
五、橋梁振動檢測案例分析

1. 橋墩與橋面板振動是否有一致性(車行方向)

(1)橋墩主頻約2.95Hz~2.97變異極小，橋面板主頻變化2.75至3.06

(2)橋面板與橋墩2.7~2.8Hz之振動有一致性

(3)橋面板於第2、3及5次試驗有反應橋墩2.95Hz之振動，第1次及第4次橋面板2.95Hz之振動能量較小故並不顯著。



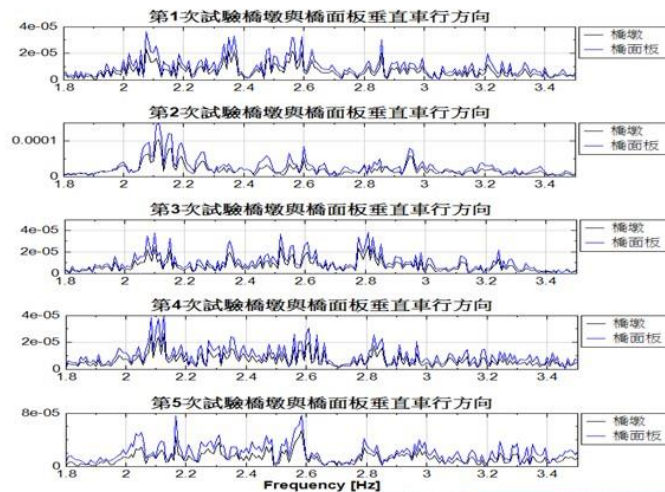
五、橋梁振動檢測案例分析

1. 橋墩與橋面板振動是否有一致性(垂直車行方向)

(1) 橋墩及橋面板主頻約2.1Hz，其他振動頻率為2.35、2.6及2.8

(2) 橋面板與橋墩振動於垂直車行方向有一致性。

試驗次數	橋墩主頻	橋面板主頻
1	2.08	2.08
2	2.12	2.12
3	2.81	2.81
4	2.13	2.13
5	2.58	2.58
平均數	2.34	2.34
標準差	0.33	0.33
變異係數	14.12%	14.12%



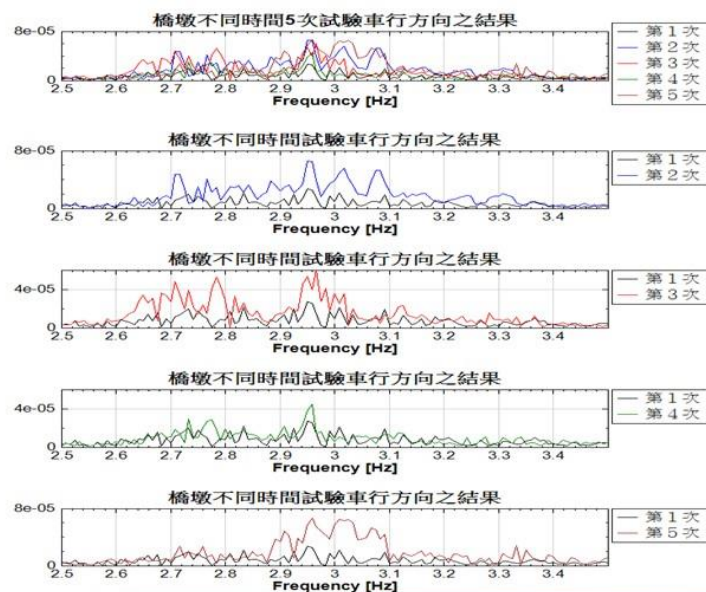
交通部運輸研究所25

五、橋梁振動檢測案例分析

2. 橋墩於不同時間試驗其振動是否有一致性(車行方向)

橋墩振動主頻為2.95，振動頻率範圍主要為2.9~3.1及2.7~2.8。

試驗次數	主頻
1	2.95
2	2.95
3	2.97
4	2.96
5	2.96
平均數	2.94
標準差	0.03
變異係數	1.12%



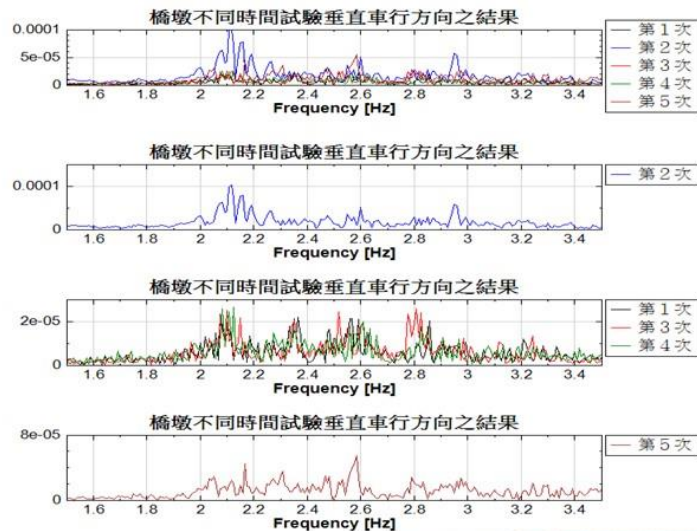
26

五、橋梁振動檢測案例分析

2. 橋墩於不同時間試驗其振動是否有一致性（垂直車行方向）

橋墩振動主頻為2.1，其他振動頻率約為2.35、2.6、2.8

試驗次數	主頻
1	2.07
2	2.12
3	2.81
4	2.13
5	2.58
平均數	2.34
標準差	0.33
變異係數	14.12%



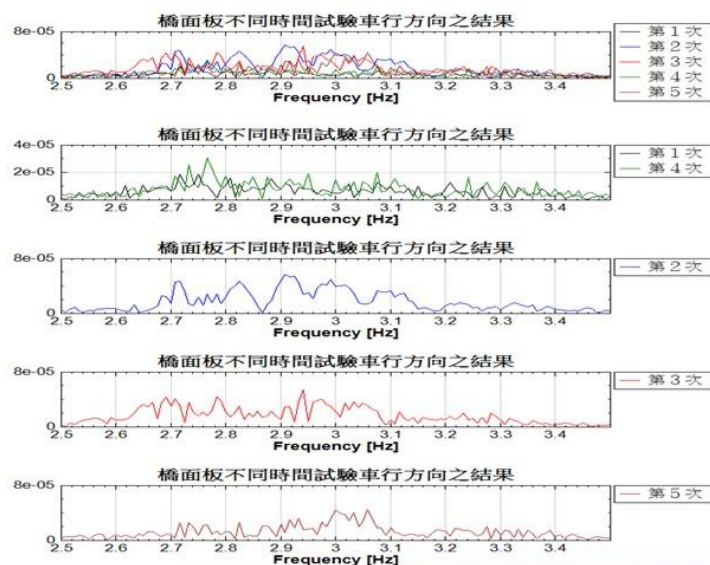
交通部運輸研究所27

五、橋梁振動檢測案例分析

3. 橋面板於不同時間試驗其振動是否有一致性（車行方向）

橋面板振動主頻為2.91，振動頻率範圍主要為2.7~3.1

試驗次數	主頻
1	2.75
2	2.91
3	2.94
4	2.77
5	3.06
平均數	2.89
標準差	0.13
變異係數	4.44%

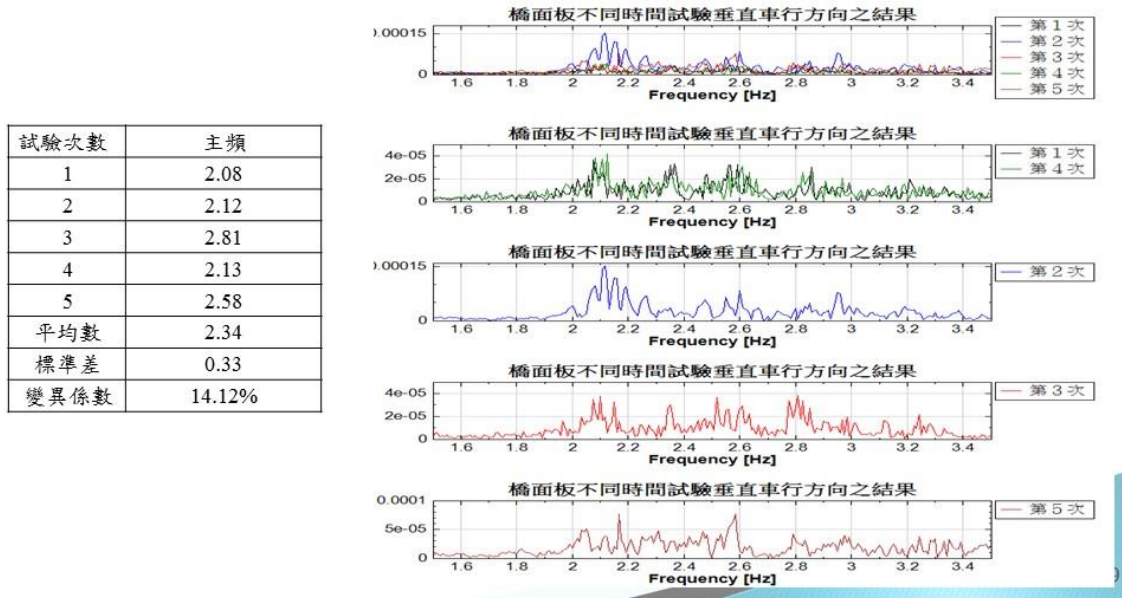


8

五、橋梁振動檢測案例分析

3. 橋面板於不同時間試驗其振動是否有一致性（垂直車行方向）

橋面板振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86



五、橋梁振動檢測案例分析

小結

(1) 橋墩:

車行方向:振動主頻為2.95，振動頻率範圍主要為2.9~3.1及2.7~2.8

垂直車行方向:振動主頻為2.1，其他振動頻率約為2.35、2.6、2.8

(2) 橋面板:

車行方向:振動主頻為2.91，振動頻率範圍主要為2.7~3.1

垂直車行方向:振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86

(3) 不同時間的試驗得到的主頻值並不一定相同，但不同次試驗皆有反應幾個主要振動頻率。

五、橋梁振動檢測案例分析

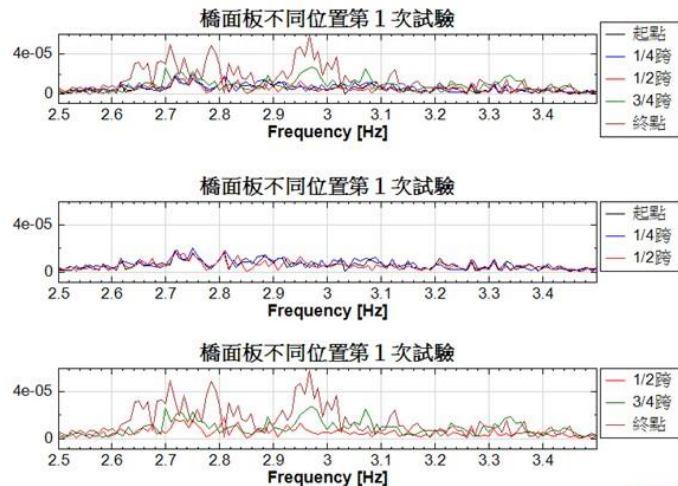
4. 橋面板不同位置振動是否有一致性

車行方向第1次試驗

(1) 橋面板起點、1/4跨及1/2跨振動有一致性

(2) 起點、1/4跨、1/2跨主頻約為 2.75 Hz

(3) 3/4跨及終點主頻為 2.98 Hz，其他頻率介於 2.7~2.8 Hz。



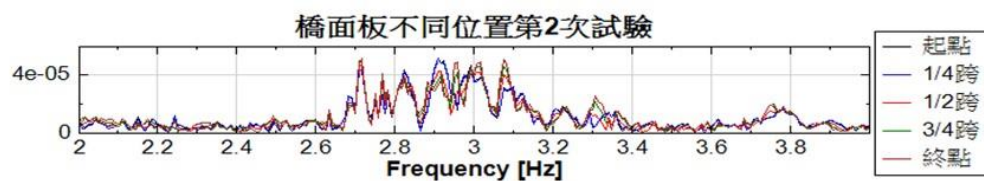
交通部運輸研究所31

五、橋梁振動檢測案例分析

4. 橋面板不同位置振動是否有一致性

車行方向第2次試驗

第2次試驗橋面板不同位置振動有一致性，頻率介於 2.7~3.1 Hz。



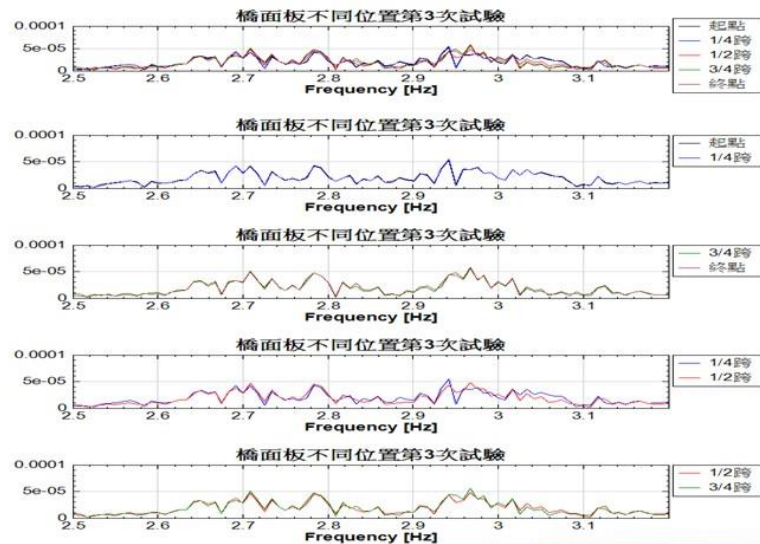
交通部運輸研究所32

五、橋梁振動檢測案例分析

4. 橋面板不同位置振動是否有一致性

車行方向第3次試驗

- (1) 橋面板不同位置振動有一致性
- (2) 橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致
- (3) 1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點
- (4) 頻率主要為2.95 Hz，其他頻率為2.7及2.78 Hz。



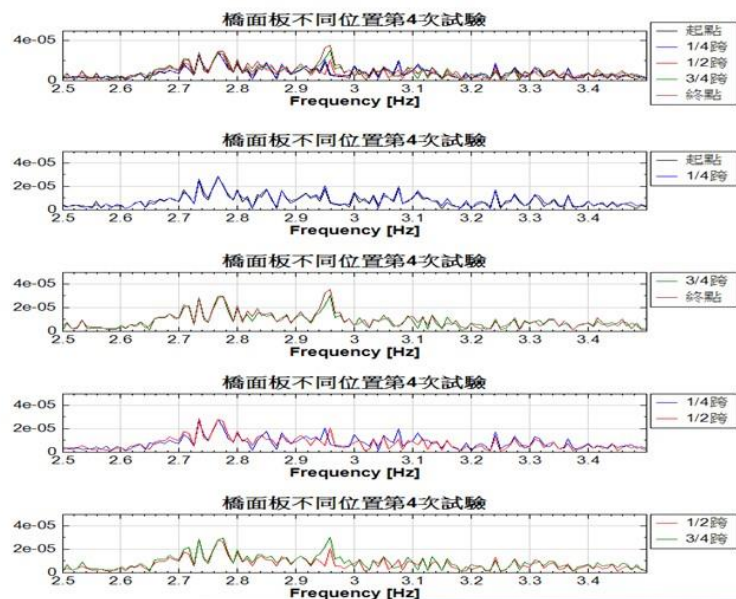
交通部運輸研究所33

五、橋梁振動檢測案例分析

4. 橋面板不同位置振動是否有一致性

車行方向第4次試驗

- (1) 橋面板不同位置振動有一致性
- (2) 橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致
- (3) 1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點
- (4) 頻率主要為2.95 Hz，其他頻率為2.7及2.78 Hz。



五、橋梁振動檢測案例分析

4. 橋面板不同位置振動是否有一致性

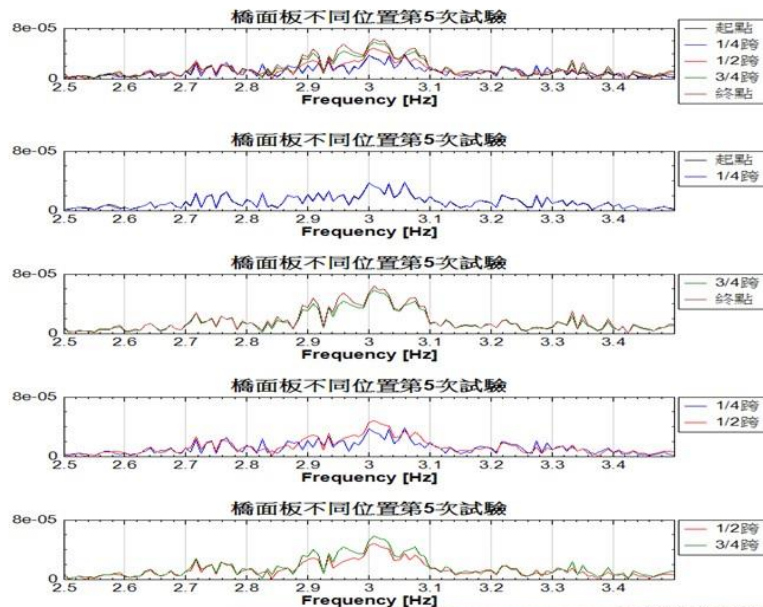
車行方向第5次試驗

(1) 橋面板不同位置振動有一致性

(2) 橋面板起點、1/4跨振動較一致，3/4跨及終點振動較一致

(3) 1/2跨振動與前後位置振動有細微差距起點

(4) 頻率主要為3 Hz



五、橋梁振動檢測案例分析

小結

(1) 橋面板車行方向起點與1/4跨振動較一致，1/2跨振動可能有些微變化，3/4跨及終點振動較一致

(2) 由第1及第4次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.75 Hz，至3/4跨及終點主頻為2.98 Hz

(3) 另3次試驗橋面板不同位置振動有一致性。

五、橋梁振動檢測案例分析

5. 橋面板不同位置振動是否有一致性

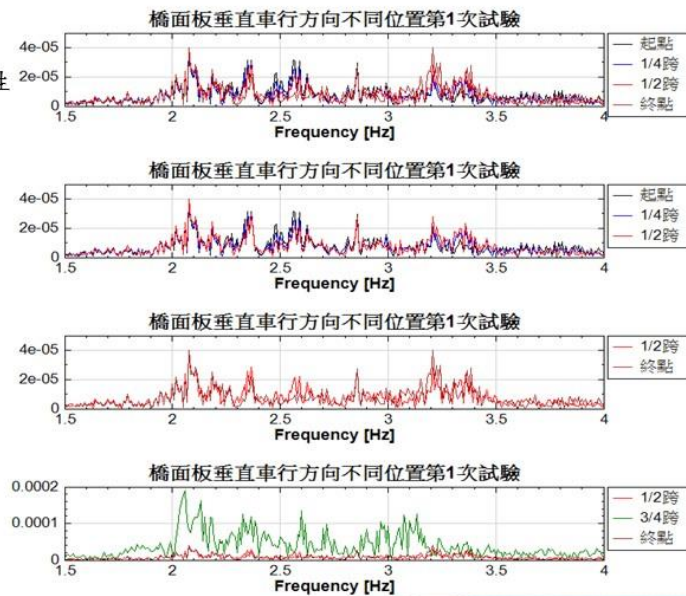
垂直車行方向第1次試驗

(1) 橋面板不同位置振動有一致性

(2) 主頻約2.1Hz，

其他頻率為2.4、2.6、2.85

及3.2 Hz。



交通部運輸研究所37

五、橋梁振動檢測案例分析

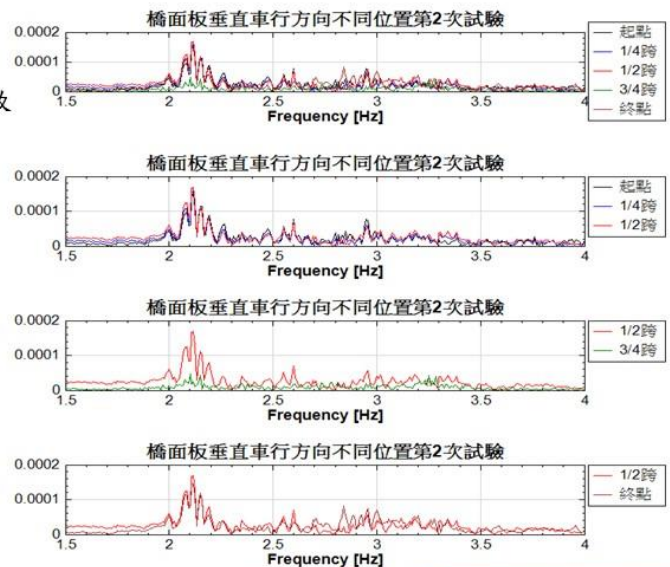
5. 橋面板不同位置振動是否有一致性

垂直車行方向第2次試驗

(1) 橋面板不同位置振動有一致性

(2) 3/4跨能量較小但頻率大約一致

(3) 主頻約2.1Hz。



交通部運輸研究所38

五、橋梁振動檢測案例分析

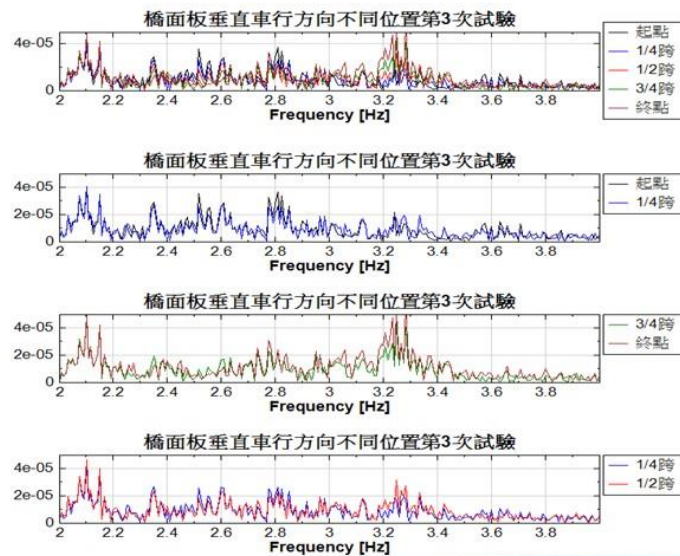
5. 橋面板不同位置振動是否有一致性

垂直車行方向第3次試驗

(1) 橋面板起點、1/4跨振動一致，主頻為2.1Hz

(2) 3/4跨及終點振動較一致，主頻為3.2Hz

(3) 於1/2跨3.2Hz振動能量漸增大



交通部運輸研究所39

五、橋梁振動檢測案例分析

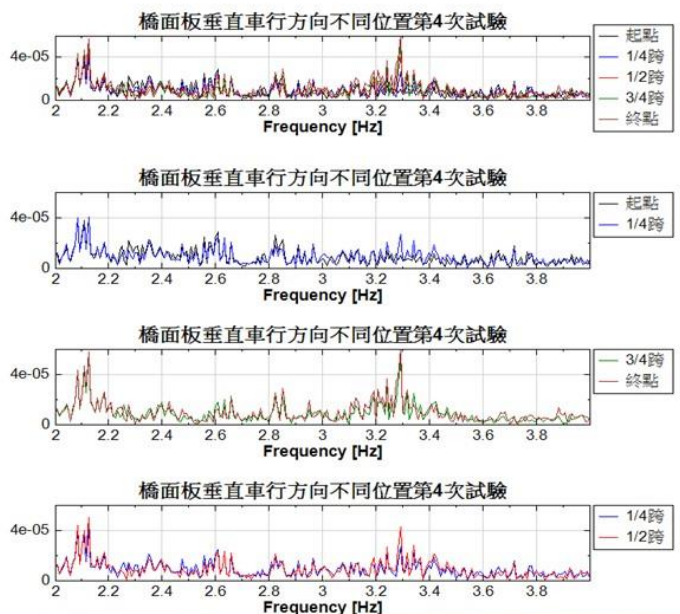
5. 橋面板不同位置振動是否有一致性

垂直車行方向第4次試驗

(1) 橋面板起點、1/4跨振動一致，主頻為2.1Hz

(2) 3/4跨及終點振動較一致，主頻為3.3Hz

(3) 於1/2跨3.3Hz振動能量漸增大

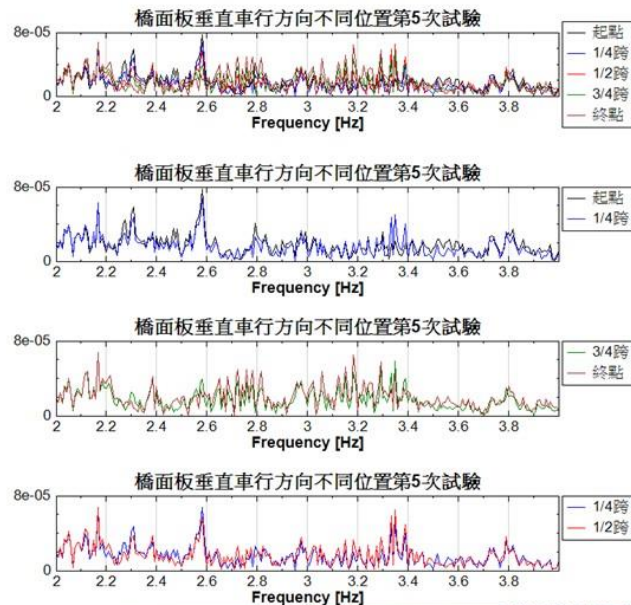


五、橋梁振動檢測案例分析

5. 橋面板不同位置振動是否有一致性

垂直車行方向第5次試驗

- (1) 橋面板起點、1/4跨振動一致，主頻為2.6Hz，其他頻率為2.1Hz
- (2) 3/4跨及終點振動較一致，主頻為3.2Hz，其他頻率為2.1Hz
- (3) 於1/2跨3.35Hz振動能量漸增大



五、橋梁振動檢測案例分析

小結

- (1) 橋面板垂直車行方向起點與1/4跨振動較一致，1/2跨振動可能有些微變化，3/4跨及終點振動較一致
- (2) 由第3及第4次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.1 Hz，至3/4跨及終點主頻約為3.2 Hz
- (3) 第5次試驗顯示振動主頻由起點、1/4跨、1/2跨約2.6 Hz，至3/4跨及終點主頻約為3.2 Hz
- (4) 另2次試驗橋面板不同位置振動有一致性。

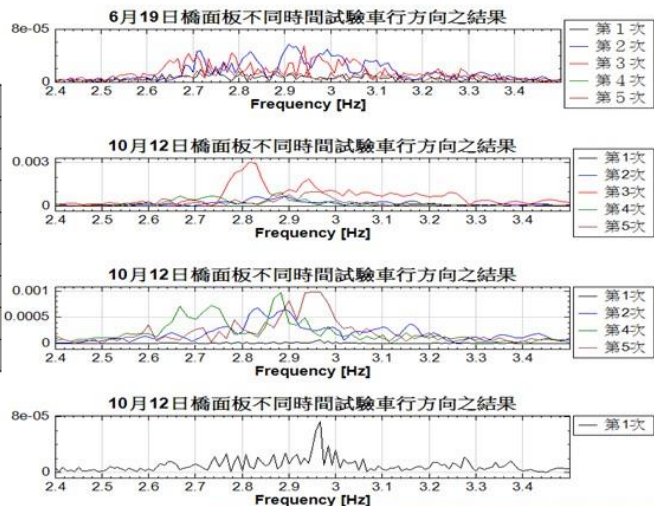
五、橋梁振動檢測案例分析(第2次檢測)

1. 橋面板起點(車行方向)

2次試驗橋面板振動頻率大致為2.7、2.8及2.97Hz，

2次試驗結果振動頻率改變不大。

試驗次數	6月19日主頻	10月12日主頻
1	2.75	2.97
2	2.91	2.83
3	2.94	2.81
4	2.77	2.88
5	3.06	2.95
平均數	2.89	2.89
標準差	0.13	0.07
變異係數	4.44%	2.45%



交通部運輸研究所43

五、橋梁振動檢測案例分析(第2次檢測)

1. 橋面板起點(垂直車行方向)

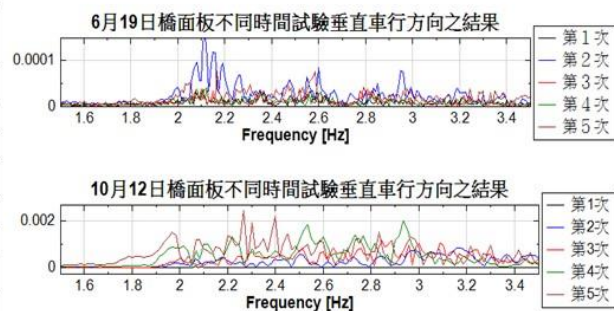
6月19日試驗振動主頻於2.1Hz，其他振動頻率為2.37、2.61、2.86

10月12日振動頻率大致為2.1、2.3及2.85Hz

6月19日及10月12日試驗結果顯著振動頻率仍一致

唯10月12日2.1Hz頻率較不明顯。

試驗次數	6月19日主頻	10月12日主頻
1	2.08	2.07
2	2.12	3.18
3	2.81	2.89
4	2.13	2.93
5	2.58	2.27
平均數	2.34	2.67
標準差	0.33	0.47
變異係數	14.12%	17.74%

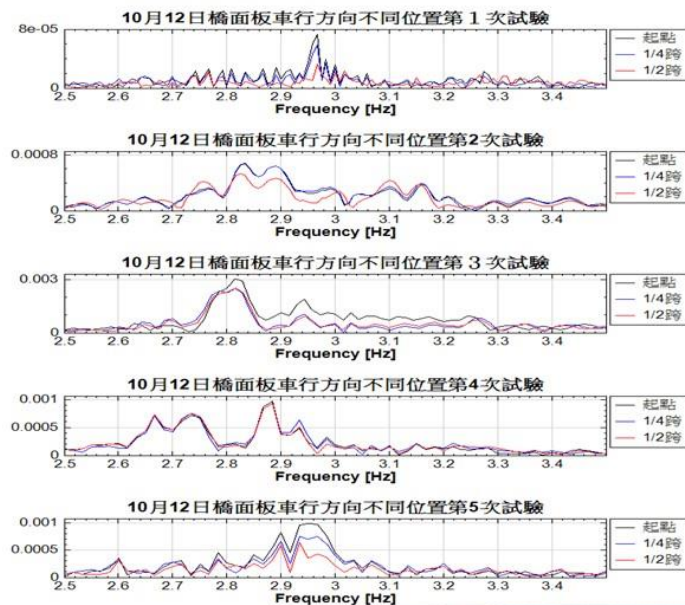


交通部運輸研究所44

五、橋梁振動檢測案例分析(第2次檢測)

2. 橋面板不同位置(車行方向)

橋面板車行方向起點、1/4跨及1/2跨振動現象具一致性

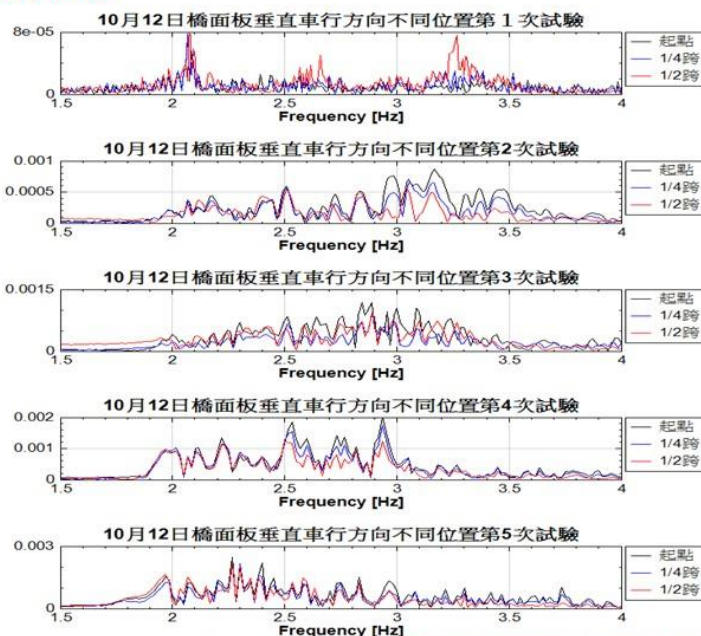


交通部運輸研究所45

五、橋梁振動檢測案例分析(第2次檢測)

2. 橋面板不同位置(垂直車行方向)

橋面板垂直車行方向起點、1/4跨及1/2跨振動現象具一致性



交通部運輸研究所46

六、結論與建議

結論

- (1) 橋梁維護策略最佳化包括本年度建構鋼橋橋梁風險成本評估模式+之前發展的鋼筋混凝土橋風險成本評估模式
- (2) 針對TRENDS系統架構及網頁資料庫做一整理紀錄
- (3) 針對一座橋梁振動量測結果進行分析。

建議

- (1) 橋梁風險評估模式需進一步與橋管單位進行研討及驗證，以符合實務應用。
- (2) TRENDS系統架構及網頁資料庫之整理可再參考資訊工程師之建議增補內容。
- (3) 橋梁振動量測未來可針對一座橋梁不同跨伸縮縫處進行不同時期量測並分析。

交通部運輸研究所47

簡報完畢
謝謝各位

交通部運輸研究所 48