

100-162-7580
MOTC-IOT-98-H1EB011-1

跨河橋梁安全預警系統之建立研究 摘要集



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 12 月

100-162-7580
MOTC-IOT-98-H1EB011-1

跨河橋梁安全預警系統之建立研究 摘要集

編輯：邱永芳、謝明志、林雅雯

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 12 月

跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集

編輯：邱永芳、謝明志、林雅雯

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 台北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 12 月

印刷者：彩霖股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 150 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：100 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：1010004981

ISBN：978-986-03-1344-4 (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。

100

跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集

交通部運輸研究所

GPN : 1010004981

定價: 100 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：跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-03-1344-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010004981	運輸研究所出版品編號 100-162-7580	計畫編號 98-H1EB011-1
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：謝明志 研究人員：林雅雯 聯絡電話：04-26587197 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣科技大學、國立高雄應用科技大學、國立中興大學、財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會、中興工程顧問股份有限公司、國立臺灣海洋大學、中華顧問工程司、逢甲大學、國立臺灣科技大學生態與防災中心、國立交通大學 計畫主持人：李維峰、李良輝、蔡清標、游保杉、廖哲民、林三賢、王仲宇、廖清標、楊仲家、鄭明淵、黃安斌、黃然 研究人員：鄭世豪、薛憲文、林呈、呂珍謀、廖翊鈞、廖振程、洪紹勛、張慶民、詹穎雯、吳育偉、李瑞庭、張建智、邱建國、黃進國、羅冠顯、蔡明邑、陳家隆、袁瑜鎂、郭庭鳴、汪書瑜		研究期間 自 98 年 10 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：橋梁保護、橋梁損壞、橋墩沖刷、橋梁安全評估、橋梁材料、橋梁安全預警 摘要： 臺灣地理環境特殊，中央山脈高峰處超過3000公尺，但東西最寬處僅約150公里，造成臺灣河川坡度陡、流速急的現象，每年7、8月又有颱風豪雨的侵襲，面對目前及未來更為嚴峻的氣候變化挑戰，跨河橋梁如何提高安全性，颱風豪雨期間如何預警，亟需一套完整的研究。 本所自98年辦理交通部交辦「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」計畫，由公路總局、國道高速公路局經費共同支應，本所港研中心成立橋梁技術研發室並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、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共十項，從一個河系（大甲溪）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，提供橋梁管理單位決策支援，減少颱洪時期所造成的傷害，保障用路人安全。 「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」計畫共有13個子計畫，分別為「橋基保護工設計規範(草案)編訂之研究」、「橋河共治區基本資料調查」、「莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析」、「河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究」、「橋墩沖刷計算模式之建立研究」、「跨河橋梁安全評估之研究」、「訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範（草案）之研究」、「跨河橋梁保護工法之研究」、「研發抗磨耗、抗衝擊及耐久性橋墩材料之研究」、「跨河橋梁安全預警系統之建立研究及整合作業」、「橋墩沖刷之高科技即時監測系統研發、整合與應用」、「RC橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測之研究」、「橋梁通阻檢測分析模式建立之研究」，各子計畫皆出版研究報告外，並出版「橋基保護工設計規範(草案)」、「跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集」、「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」論文集、「跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範（草案）」、「RC橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測技術手冊」，本「跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集」即納編各子計畫2頁之摘要，俾利使用者閱覽及了解。			

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 12 月	34	100	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p>■普通</p>			
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: Abstract collections of computer-Aided safety diagnosis system for Hazard prevention of River-Crossing bridges			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-1344-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010004981	IOT SERIAL NUMBER 100-162-7580	PROJECT NUMBER 98-H1EB011-1
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ming-chih Hsieh PROJECT STAFF: Ya-wen Lin PHONE: (04) 26587197 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM October 2009 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology ; National Kaohsiung University of Applied Sciences ; National Chung Hsing University ; NCKU Hydraulics and Ocean Engineering R&D Foundation ; SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD. ; National Taiwan Ocean University ; China Engineering Consultants., Inc. ; FENG CHIA UNIVERSITY ; National Chiao Tung University, Disaster Prevention and Water Environment Research Center. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wei-F. Lee, Liang-Hwei Lee, Chang Lin, P. S. Yu, Che-Min Liao, San-Shyan Lin, Chung-Yue Wang, Ching Biau Liao, Chung-Chia Yang, Min-Yuan Cheng, An-Bin Huang, Ran Huang.s PROJECT STAFF: S.H. Cheng, Shyue Shiahn-Wern, J.M. Leu, Yi-Jiun Liao, Jen-Cheng Liao, Shao-Hsun Hung, ching-min Chang, Yin-Wen Chan, Yu-Wei Wu, Lee Jui-Ting, Jiang-Jhy Chang, Chien-Kuo Chiu, Chin-Kuo Huang, Guan-Suan Luo, Ming-I Tsai, Jia-Long Chen, Yu-Mei Yuan, Ting-Ming Kao, Shu-Yu Wang ADDRESS: PHONE:			
KEY WORDS: bridge protection, bridge damage, pier scouring, safety evaluation of bridge, materials of bridge, safety prevention of bridge			
ABSTRACT: The geographical environment in Taiwan is more specially. The elevation of central mountain is over than 3000 m. But the width of east edge to west edge only 150 km. Based on this special geographical environment, it caused the slope of rivers is steep; the speed of river is rapid in Taiwan. Typhoon happens in July and August each year. The challenge is more severe change of climate in the future. It needs a complete research for how to promote the safety of bridge and how to prevent the damage during typhoon. The plan “Computer-Aided safety diagnosis system for hazard prevention of river-crossing bridges.” processed from the Ministry of Transportation and Communications since 2009. The funds provided by Directorate General of Highways, MOTC and Taiwan Area National Freeway Bureau, MOTC, together. The Taiwan BTRD Center established under Harbor and Marine Technology Center and in cooperation with professional partners. The study items include fundamental survey, bridge damage survey, river hydraulic analysis, bridge monitoring, safety evaluation, protection methods, regulations review, engineering materials, prevention system, plan integration. This study covers river and bridges co-management of a river basin (Dajiaxi) form headstream to downstream. The aim of this study is to expect before even happen, to notify before even happen, early warning before even happen, to provide infomation for bridge management units, to reduce damages during			

typhoons, to keep the safety of road users.

There are 13 sub-projects in master project titled “Computer-Aided safety diagnosis system for hazard prevention of river-crossing bridges.” These sub-projects contain “Research on the composition of a code for protective design of bridge foundation (draft).”; “Fundamental survey of river and bridges co-management”; “Field investigation and analysis for the causes of bridge failure during typhoon Morakot”; “Prediction of flood stage and scour depth around bridge piers”; “The study of bridge scour model”; “the safety evaluation of cross-river bridges”; “Establishing the scouring inspection code (draft) for river-crossing bridge foundation”; “Research on the Protection of the Bridge”; “Development the abrasion-erosion resistance, impact resistance and durability materials for bridge pier”; “A study and integration of Computer-aided safety diagnosis system and integrating activity for hazard prevention of river-crossing bridges”; “Integration and applications of a high technology real-time bridge foundation scouring monitoring system”; “Evaluation for material durability and residual life predication of RC bridges“; “Development of a bridge blockage detection and analysis model.“ There are “A code (draft) on the composition of a regulation for protection design of bridge foundation”; ”Abstract collections of computer-aided safety diagnosis system for hazard prevention of River-Crossing bridges.”; ”Collections of computer-aided safety diagnosis system for hazard prevention of river-crossing bridges”; “A code (draft) of establishing the scouring inspection for river-crossing bridge foundation”; “Research on the protection of the bridge”; ”A technology manual of the evaluation for material durability and residual life predication of RC bridges,“ except research reports. In this report of “abstract collections of computer-aided safety diagnosis system for hazard prevention of river-crossing bridges” contains 2 pages abstract of each sub-project, it will help users to understand the contents easily.

<p>DATE OF PUBLICATION December 2011</p>	<p>NUMBER OF PAGES 34</p>	<p>PRICE 100</p>	<p>CLASSIFICATION <input type="checkbox"/>RESTRICTED <input type="checkbox"/>CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/>SECRET <input type="checkbox"/>TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/>UNCLASSIFIED</p>
--	-------------------------------	----------------------	--

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

跨河橋梁安全預警系統之建立研究摘要集

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目錄.....	V
橋基保護工設計規範(草案)編訂之研究.....	1-1
李維峰副教授	
國立台灣科技大學	
橋河共治區基本資料調查.....	2-1
李良輝教授	
高雄應用大學	
莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析.....	3-1
林呈教授	
國立中興大學	
河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究.....	4-1
游保杉院長	
國立成功大學	
橋墩沖刷計算模式之建立研究.....	5-1
廖翊鈞博士	
中興工程顧問公司	
跨河橋梁安全評估之研究.....	6-1
林三賢副校長	
國立臺灣海洋大學	
訂定跨河橋梁橋基沖刷檢測作業規範(草案)之研究.....	7-1
王仲宇教授	
中華顧問工程司	

跨河橋梁保護工法之研究.....	8-1
廖清標教授	
私立逢甲大學	
研發抗磨耗、抗衝擊及耐久性橋墩材料之研究.....	9-1
楊仲家教授	
國立臺灣海洋大學	
跨河橋梁安全預警系統之建立研究及整合作業.....	10-1
鄭明淵教授	
國立臺灣科技大學	
橋墩沖刷之高科技即時監測系統研發、整合與應用.....	11-1
黃安斌教授	
國立交通大學	
RC 橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測之研究.....	12-1
黃然教授	
國立臺灣海洋大學	
橋梁通阻檢測分析模式建立之研究.....	13-1
鄭明淵教授	
國立臺灣科技大學	

橋基保護工設計規範(草案)編訂之研究

李維峰¹ 鄭世豪² 邱永芳³ 賴瑞應⁴

摘要

臺灣河川多屬坡陡流急，且因近年環境變遷氣候極端變化，致超大豪雨頻繁且雨量集中，導致河道受沖刷加劇，致使既有橋梁基礎更易裸露危及橋梁安全。目前橋梁工程實務應用雖有交通部頒定之「公路排水設計規範」、「跨河橋梁水文水理考量準則及注意事項」、「公路養護手冊」及經濟部頒訂之「申請跨河建造物設置注意事項」等規範或技術報告可資參考。但由於橋基保護工法種類繁多，防治功能與標的各有不同，因而針對橋基受沖刷後之保護或結構補強之設計、分析和應用限制，尚未被統整而可資參用。鑑此交通部運輸研究所邀集國內產、官、學界之專家，共同參與「橋基保護工設計規範(草案)」之編訂，期能制定符合國內橋基保護工設計之規範，以供橋基保護工設計之參考和確保道路橋梁使用之安全。

「橋基保護工設計規範(草案)」之編訂研究及初審工作，共舉辦3場專家學者諮詢會議及3場(北、中、南)說明會，再由交通運輸研究所召開16次之初審會議，按章節條文逐條詳細審慎討論內容及用辭，自98年8月開始至99年12月完成，歷時1年4個月方完成草案之編訂與初審工作，過程堪稱嚴謹周全。

本規範編訂原則敘明如下：

1. 本規範(草案)制訂之目的，在於建立適用於台灣本地既有跨河橋梁之基礎保護和補強設計的基本要求。
2. 本規範(草案)適用於既有跨河橋梁之基礎保護與補強設計，包含資料蒐集與調查、河川特性及沖刷機制評估、橋基受沖刷之穩定性分析、橋基保護和補強工法設計、維護與管理等。
3. 本規範(草案)制訂之目的，在於建立適用於台灣本地既有跨河橋梁之基礎保護和補強設計的基本要求。

1. 國立臺灣科技大學公共資產與設施管理研究中心副教授
2. 國立臺灣科技大學公共資產與設施管理研究中心助教授
3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

4. 本規範(草案)制訂之目的，在於建立適用於台灣本地既有跨河橋梁之基礎保護和補強設計的基本要求。
5. 本規範(草案)適用於既有跨河橋梁之基礎保護與補強設計，包含資料蒐集與調查、河川特性及沖刷機制評估、橋基受沖刷之穩定性分析、橋基保護和補強工法設計、維護與管理等。
6. 跨河橋梁之基礎保護及補強設計，依照本規範(草案)於既有橋梁結構上下游各 500 公尺範圍內辦理。
7. 本規範係參考「公路排水設計規範」、「公路養護手冊」、「公路橋梁設計規範」、「公路橋梁耐震設計規範」、「建築物基礎構造設計規範」、「水利工程技術規範」、「申請跨河建造物設置注意事項」、「跨河橋梁水文水理考量準則及注意事項」及美國聯邦公路總署相關規定等訂定之。
8. 本規範(草案)內容係以基本性與通盤性之規定為原則。國內各公路橋梁工程主辦機關在辦理橋基保護和補強規劃設計時，得依據本規範及最新技術，訂定其適合之規範。

關鍵詞：橋基保護工、跨河橋梁、保護工法

橋河共治基本資料調查研究

李良輝¹ 薛憲文² 張庭榮³ 俞駿輝⁴ 許志堅⁵ 邱永芳⁶ 曾文傑⁷

摘要

橋樑的基本類型主要有簡支樑橋、拱橋、鋼構橋、懸索橋、斜拉橋及其組合體系橋。大型橋樑建指拱橋、連續鋼構橋、斜張橋、懸索橋及由以上不同體系組合而成的橋樑。橋樑變形監測是對橋樑整體性能的監測，是用工程測量原理、技術和方法以及特種精密工程測量技術，對大橋主樑各控制斷面及索塔軸線的位移變形進行定期或即時監測，並繪編相應的位移變形影響線和影響面，以監視各控制部位位移變形狀態。透過觀測數據，對橋樑變形的顯著性進行分析，從而為總體評估橋樑的承載能力、營運狀態和耐久能力，以及特殊氣候、交通條件下或橋樑運營情況嚴重異常時發出預警信號，為橋樑的維修、養護與管理決策提供依據和指導。

臺灣的橋樑維護復建費用龐大，管理橋樑人力有限，橋樑因颱風沖刷、地震...等因素，有些未達其設計年限即產生危險。且臺灣地質脆弱，土石易遭沖刷而崩落，導致大雨時河流常含有極高的含砂石量，在這些自然環境的影響下，臺灣的河川在雨季時，常有高流速、大流量並夾帶大量泥沙的情形出現。對橋樑及河川的穩定與安全造成極大的威脅，所以亟需極早建立完整的橋河基本資料庫，以期降低未來受災之可能性，維持橋樑壽齡及保障人民生命財產。

本計畫配合交通部所規劃一系列系統性的「跨河橋梁安全預警系統之建立研究」相關領域之研究，並執行交通部公路建設「永續經營」之政策。建立橋河共治區資料庫。工作範圍為大甲溪流域(石岡壩以下至出海口)河道內及堤防外兩側 50 公尺之水平距離，範圍面積約 2300 公頃，於此範圍內進行下列幾項實驗，其中包含；地面控制點佈標及測量、河床高程量測及製圖、跨河橋樑測量及建模，及最後的成果製作，並制定橋樑變形監測技術規範之草案。

-
1. 國立高雄應用科技大學土木工程副教授
 2. 國立中山大學海洋環境及工程學系副教授
 3. 國立高雄應用科技大學土木工程博士生
 4. 國立高雄應用科技大學土木工程研究助理
 5. 國立中山大學海洋環境及工程學系碩士生
 6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
 7. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

地面控制點佈標及測量項目即進行已知平面控制點及高程控制點檢測，並以 1/1000 製圖精度標準，其控制點以 GPS 測量為原則，高程控制部分以直接水準測量為原則。航空標佈設以現有 GPS 控制點，三角點、精密導線點、水準點為上，選取其對空通視良好者（由天頂起算至少 40 度）佈設航空標。如必須設置航空標之點位，其通視不良設立困難時得視實際需要於附近處選設補助點佈設航空標，並配合 GPS+IMU（慣性姿態儀）輔助空中三角測量，航空標佈設於航線頭尾及測區四角，全部採用全控標，本案航空攝影規劃共 7 條航線，攝影長度約 105 公里。本次攝影採航測專用數位相機 UltraCam-Xp 進行拍攝，航向重疊(overlap)為 80%，側向重疊〈sidelap〉為 30%。航拍比例尺為 1/16600，地面解析度為 10cm/pixel。並搭配使用 IGI AERO Control II 256Hz 慣性導航系統，GPS+IMU（慣性姿態儀）增加攝影時投影中心之 GPS 資料及拍攝時飛行姿態資料，影像工作站採 INTERGRAPHY ImageStation 進行製作。

河床高程測量及製圖以雷射掃描技術(3D Lidar)或航空攝影進行 DEM 製作，其精度以符合 1/1000 製圖標準為原則，並以 500 公尺間距製作河床斷面圖，以及相關地形地物之標示：包括跨河橋樑、堤防、河岸保護工、跌水工、攔河堰、植生地類別、構造物（包括駁坎、欄杆、其他構築物等）等。本案為獲取更佳品質之數值高程模型(DEM)資料，本案同時進行空載雷射掃描(Airborne LiDAR)來獲取河床高度資料。使用設備為國內自強公司所有 RIEGL LMS-Q680i 雷射掃描儀，該設備可達每秒 266,000 點的測量速率，其測量精度為 2 公分，並配合 TerraSolid 軟體進行點雲平差及 DEM 製作。

跨河橋樑測量及建模以台 1 線大甲溪公路橋為例，並運用 3D 雷射掃描技術、近景攝影及角距監測技術等三種方式測量，並建立 3D 模型，於三種測量技術間進行精度比較，另外於豐水期可能通水斷面上至少三個橋樑跨距及橋樑兩個側面之點位變形監測技術之探討與調查，橋墩與橋墩間之變位數至少 4 個點以上，最後分析角距監測技術、近景攝影技術及雷射掃描技術等監測方法之可能變位監測精度。

於成果製作方面製作 3D 動態導覽影片，並製作 A0 地形彩色圖紙圖，內容編輯包含道路系統圖資及水系名稱等，並建置正射影像圖資及斷面圖資之 3D 管理、展示查詢及分析功能。

最後擬定橋樑變形監測技術規範之草案，提供橋梁變形監測中達到技術先進、經濟合理、安全適用制定本規範，而該規範僅適用於簡支梁型橋之結構、沉陷、位移、傾斜等測量，橋梁變形監測能反映橋梁在汛期過後變形程度或變形趨勢。於制定規範中所用之儀器設備必須經檢定合格，且應符合本規範之規定，測量除應符合本規範外，應要符合國家現行有關標準之規定。

關鍵詞：橋樑變形監測、雷射掃描、近景攝影、航空攝影測量

莫拉克颱風造成主要橋梁損壞之現地調查及災因分析

蔡清標¹ 林呈² 謝世圳³ 高明哲⁴ 邱永芳⁵ 張道光⁶

摘要

民國98年8月6日至8月9日間莫拉克颱風帶來超過200年重現期破歷年紀錄之降雨，造成高屏河流域多處大規模山崩、土石流、淹水及橋梁災害，此災害造成嚴重的經濟損失與人命傷亡。本研究即針對此次災害中主要受損的20座橋梁進行相關資料蒐集、災害調查與災因分析，以確實瞭解橋梁破壞之主要原因。

本計畫首先蒐集各計畫橋梁之相關基本資料及莫拉克颱風期間之水文、氣象及土砂地質等災害相關資料，其次根據現場調查結果進行計畫橋梁之災因分析。經現場調查及災因分析評估後顯示，受災之主要機制可概略分為洪水沖刷、土石流、漂流木掛淤及堰塞湖潰壩等單項、或複合型、多重型致災原因，並突顯橋面版溢淹後所產生壓力流之影響。本計畫最後根據此次橋梁受災成因分析結果，進一步提出未來可供研擬之相關課題，以供相關單位參考。本計畫之主要目的係針對高屏河流域於莫拉克颱風期間20座受損橋梁進行資料蒐集、災害調查與災因分析，以提供橋梁管理養護單位及相關從業人員對於此次災害之情況、及災害發生原因之深入瞭解，並根據災害成因進行復建或災防之評估。另外，依本計畫之災害調查與災因分析結果，提出未來可供研提之相關課題及橋梁維護管理措施，以達到防災目的。本計畫經實際現場調查分析後，可獲得以下幾點具體成果與結論

1. 根據莫拉克颱風期間相關水文資料蒐集與分析結果可知，莫拉克颱風襲台期間，在本省中南部降下破歷年紀錄之雨量，尤其在本計畫範圍內之高屏河流域，總降雨量均遠超過民國85年之賀伯颱風之最大降雨量，相當於全年平均降雨量之2/3。此外，降雨強度不論在連續24、48或72小時降雨延時下，多處山區甚至超過2000年重現期之累積雨量，此即為本次颱風造成多處嚴重災害最主要之原因。
2. 根據水利署對莫拉克颱風期間之洪峰流量分析報告，顯示荖濃溪、旗山溪及高屏溪本流內各控制點洪峰流量均超過200年之重現期，已超過河

1. 國立中興大學土木工程學系教授
2. 國立中興大學土木工程學系教授
3. 國立中興大學土木工程學系博士
4. 國立中興大學土木工程學系助理研究員
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

道之計畫洪峰流量(100年重現期之洪峰流量)，大量之洪水順流而下，亦為造成沿線橋梁受損的主要原因之一。

2. 由所蒐集莫拉克颱風後高屏流域內之地質災害，顯示主要之地質災害類型包括坡地崩塌、土石流及堰塞湖，且發生處遍及本流域之山區範圍內，此類大規模之土砂災害造成各河道內流路變遷不定，土石流及堰塞湖潰壩流更直接沖擊沿線之橋梁或其他構造物，致使流域內主要橋梁嚴重受損。
3. 本計畫利用計畫橋梁基本資料、莫拉克颱風之水文及土砂資料、橋梁之現地災損情形、現地居民訪談、航空衛星相片比對、災前災後相片比對…等相關調查資料，分別完成20座計畫橋梁之災因分析與受災流程圖。
4. 透過橋梁災前相片資料之蒐集與災後實際之現地災害勘查，完成本計畫額外提供之9座橋梁災損報告。
5. 根據20座計畫橋梁及9座額外提供橋梁之資料蒐集、現地調查及災因分析結果，本計畫進一步分析彙整各橋梁於莫拉克颱風期間之致災機制，主要可分為：(1)洪水沖刷；(2)土石流作用；(3)漂流木影響；(4)堰塞湖潰壩影響等四大類，而各機制往往相互影響或相伴出現。本計畫亦完成各類致災機制之詳細說明、致災流程及相互關係。此外，由於諸多橋梁之災害型態屬複合型或多重型災害，詳列各橋梁之多重致災機制。
6. 透過莫拉克颱風主要受損橋梁災害調查與災因分析、統計結果，本計畫就橋梁設計、養護、維修工程等技術方面提出未來可進一步研擬之課題，包括下列七項：
 - (1)水位高於大梁底部時，水流流場與河床沖刷特性。
 - (2)堰塞湖潰壩後的湧波對橋梁安全與沖刷之影響。
 - (3)漂流木掛淤於橋墩對橋基沖刷之影響。
 - (4)高水位、堰塞湖湧波及漂流木等作用間之相互影響。
 - (5)水流過彎之流速與沖刷力特性分佈。
 - (6)水流與橋梁間攻角效應對基礎沖刷與橋梁結構之影響。
 - (7)土石流堆積、堵塞河道對洪水流路、河道沖刷之影響。
7. 透過莫拉克颱風主要受損橋梁災害調查與災因分析、統計結果，本計畫就橋梁管理方面提出未來可進一步研擬之課題，包括：
 - (1)現有國內橋梁規範之重新檢討。
 - (2)橋梁封橋水位、預警通報系統等研擬。
 - (3)災害敏感帶於國土規劃上之檢討。

關鍵詞：莫拉克颱風、土石流、災因分析

河道水位與橋墩沖刷推估模式之建立研究

游保杉¹ 呂珍謀¹ 楊道昌² 郭振民² 詹勳全³ 陳薇伊⁴ 歐芳郡⁴
周容辰⁵ 陳潔⁵ 張智威⁵ 邱永芳⁶ 林雅雯⁷

摘要

本計畫旨在建立跨河橋梁橋墩沖刷預警方法，結合中央氣象局雷達雨量預報、現場水位與橋墩沖刷觀測資料，建立利用水文模式預報降雨事件在橋梁上、下游處可能的水位，然後根據橋墩觀測水位與橋墩沖刷資料建立之關係，進而估算此降雨對下游橋墩可能的沖刷深度，可以提供橋梁管理單位對於可能產生的災害提出預警。

由於臺灣地區河川多屬短陡且雨量相當充沛，經常造成河川上游集水區面臨每逢暴雨即發生洪水，進而對橋梁的安全造成莫大之威脅。以 2000 年碧利斯颱風為例，當時台 1 線高屏大橋受到碧利斯颱風帶來暴漲溪水沖毀橋墩，造成長達 100 公尺的橋面掉落至高屏溪中，且有 22 位民眾受輕重傷，救難相關單位動員近千名人員前往救援。2008 年辛樂克颱風在中部地區帶來超過 700 毫米的降雨，大甲溪溪水暴漲造成台 13 線后豐大橋斷裂，造成民眾 2 死 4 失蹤。同一場颱風也同時造成台 20 線甲仙橋、台 21 線牛眠橋、台 18 線五虎寮橋及北港台糖復興橋等橋梁傳出斷橋意外。2009 年莫拉克颱風在中南部多處降下刷新歷史紀錄的大雨，雙園大橋因上游河床砂石遭嚴重盜採，河床因砂石的補助不夠而下降，導致橋基裸露，因此橋墩被高屏溪洪水沖斷，造成斷橋長約 500 公尺，南端橋面剩 1100 公尺長，北端剩 200 公尺長，多位民眾失蹤。因此，若能發展一套對於在降雨期間的橋梁水位與沖刷深度關係，提供作為預警參考，應可給予民眾之生命財產更多的保障。

計畫包含雷達降雨預報資料校正、格網分布型降雨逕流模式分析石岡壩入流量，與石岡壩下游橋梁數值模式的檢驗與沖刷預測。首先在雷達降雨預報資料修正方面，利用支撐向量機迴歸方法修正 QPESUMS 雷達雨量的偏

-
1. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員
 3. 國立中興大學水土保持學系助理教授
 4. 國立成功大學水利及海洋工程學系研究助理
 5. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
 6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
 7. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

估，再利用 Kriging 空間誤差修正法修正雷達預報降雨，修正後的雷達雨量經由格網分布型降雨逕流模式計算後可以估算出石岡壩入流量，配合石岡壩的操作規則計算放流量，續以 CCHE1D 模式計算橋梁處的水位與流速，最後配合一般沖刷的分析即可提供橋梁處的可能沖刷深度，提供橋梁管理單位進行預警作業。

首先在雨量的部分，雷達雨量修正是參考大甲溪流域內的雨量站來進行 SVR 修正作業，考慮的因子有雷達格網的位置、上方九格雷達雨量與相距雷達站的距離等因子進行修正，修正後的成果可以有效提升雷達雨量的精確度，大幅提升各地區雨量分布的正確性。另外，為了修正雷達預報雨量，本計畫利用 Kriging 空間修正法分析誤差的空間分布，提供雷達預報雨量之修正。

格網分布型降雨逕流模式是利用規則格網來劃分成均勻的次集水區，利用地理資訊系統、遙測影像、數值地形模型與土壤數值圖等資料來建立集水區的地文特性(地表高程、邊界長度、地表坡度、土地利用與入滲參數)，整合雷達降雨的輸入條件，分別計算入滲、漫地流與渠道流，模擬石岡壩的入流量，利用不同的颱風歷史資料來建立模式的參數，並且加入誤差即時修正技術，驗證後本模式可以有效的模擬石岡壩的入流量，配合石岡壩的水庫操作規則，提供石岡壩放流量，以提供石岡壩以下橋梁水理演算之需。

橋梁數值模式計算是利用 CCHE1D 模式計算石岡壩以下各斷面位置處的水位，並根據動床模組分析沖刷深度。水理演算模式的驗證，以 2005 年的颱風事件紀錄與石岡壩放水量進行演算，水位模擬與實測趨勢頗為相近。動床水理模式模擬石岡壩放流後下游河道之洪水歷程，僅模擬之洪峰水位值稍略高於觀測之峰值，洪峰到達時刻與實際狀況十分吻合，因此本模式可以合理的模擬下游河道水位變化。根據辛樂克颱風在台 1 線大甲溪橋附近的沖刷結果比較，本模式可以合理預測河道的一般沖刷。本模式並根據 2005 年的調查斷面與 2005-2008 年颱風資料分析 2008 年可能的沖淤情況，其結果顯示本計畫之目標區域國道 1 號橋與國道 3 號橋附近之底床高程皆可合理掌握，驗證本程式具有足夠的沖刷預報能力。

關鍵詞：QPESUMS 雷達雨量、降雨逕流模式、水理演算、橋墩沖刷

橋墩沖刷計算模式之建立研究

廖翊鈞¹ 許長安² 廖哲民³ 邱永芳⁴ 林雅雯⁵

摘要

近二十年來國內跨河橋梁基礎沖刷災害時有所聞，自民國 80 年 7 月艾美颱風起，至今造成多處省縣道公路之橋梁阻斷，例如在允許的河床沖刷深度約為 8 公尺的高安全設計條件下，89 年 8 月 27 日 碧利斯颱風仍造成臺 1 線高屏大橋 P22 橋墩之崩塌與斷橋災情；97 年 9 月 14 日 辛樂克颱風造成省道臺 13 線后豐大橋、臺 21 線牛眠橋、臺 18 線五虎寮橋及臺 20 線甲仙大橋等四座主要公路橋梁倒塌；98 年 8 月 莫拉克颱風更造成包括臺 17 線雙園大橋等上百座橋梁斷裂；而國道跨河橋梁(如國道 3 號濁水溪橋與國道 4 號神岡高架橋)，歷年來亦因洪水沖刷而出現多次險情，嚴重影響人民之交通與生活。

在河川區域面臨諸多自然與人為等諸多不確定性因子的影響下，跨河橋梁的安全將存在很高的風險。在橋梁破壞將對人民生命財產造成很大威脅的前提下，如何發展合適的分析工具，解析橋墩附近的水理與動床現象，提供與橋梁安全維護與管理參考，以防止此類災害再次發生，實為當前相當重要的研究課題。

本研究之目的期望藉由理論的研析、數值分析計算模式的研發、現場案例的模擬檢討，協助釐清橋河共治區的水理與動床問題，解析結構物的設置對水理條件與床型變化的影響，並完成沖刷深度推估模式，可提供與相關管理單位作為橋梁維護管理的參考依據及防災預警參考應用。

河床質因水流的動能而離開床面的行為稱為沖刷，而水流受到阻礙時，底床在阻礙物的附近發生沖刷的現象稱為局部沖刷。位於河川中的橋墩若對水流產生阻礙，即會發生局部沖刷現象。目前有相當多研究與實驗針對橋墩流場的局部沖刷現象進行經驗公式的發展，然經驗公式無法在時間與空間上計算橋墩對河床的影響，且使用上有適用性的問題，適用範圍常隨複雜度降低則愈無法考慮周圍流場的變化，橋墩幾何形狀與當地河床質的影響。如

-
1. 中興工程顧問股份有限公司水利及海洋工程部 工程師
 2. 財團法人中興工程顧問社 研究員
 3. 中興工程顧問股份有限公司水利及海洋工程部 工程師
 4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
 5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

此，適當的計算模式發展顯得相當重要。橋墩沖刷屬於局部現象，因此需排除一維模式的適用性；而三維模式發展過程相當耗時，在長時間的變量流模擬時，穩定性及計算效率均不若二維模式便利。因此，本研究橋墩沖刷計算模式的發展以二維為主。二維模式在面對橋墩等內部邊界時，如何簡化內部邊界數值處理的複雜性，增進計算模式的實用性，為本研究模式發展的重點之一。在蜿蜒河道處，在水理上會有水面超高(凹岸水位高於凸岸水位)的現象，在動床上則會有局部沖淤(凹岸沖刷，凸岸淤積)的現象發生，實務上亦常為水工構造物破壞的重點位置。因此，如何將彎道二次流(secondary flow)效應納入計算模式，亦為模式發展的另一個重點。

本研究發展之水深平均平面二維水理模式是奠基於明渠流理論，而二維明渠流即是三維 Navier-Stokes 方程組之簡化與近似，它是將 Navier-Stokes 方程組自底床至水面做深度方向積分，並利用底床與水面之運動邊界條件，且假設水深方向之速度與加速度分量可忽略、流體壓力呈靜水壓分布及底床坡度平緩等條件下推導而得，一般亦統稱其為二維淺水波方程組或 2D Saint-Venant 方程組。模式可合適解析現場實際的水理動床歷程，符合現場實況的變量流與非均勻質沉澱的分析功能，重點功能包括變量流、非均勻質、彎道二次流(secondary flow)效應與內部邊界處理等。

本研究建置之定床水理數值模式已整合彎道二次流、內部邊界處理，並完成以數個具實驗資料之定床水理算例來驗證所建置之二維變量流水理模式之精確度，結果顯示本研究所提出之數值模式可適用於恆定性緩變量至非恆定性急變量之各種流況，特別是對含水躍或移動震波等不連續水流問題有極佳之解析能力。此外，本模式可模擬乾濕交替之河床，配合非結構性網格處理不規則河道、阻水構造物與地形之優勢，可有效模擬實際水利工程遭遇之各種流況。而輸砂及動床水理部分亦已完成整合彎道二次流、內部邊界處理，並與相關實驗資料驗證其功能性，驗證結果顯示本動床模式可合理模擬一般河道之沖淤變化。並也建立沖刷深度推估模式、完成沖刷深度與水理條件之關聯性分析，協助另一子計畫『跨河橋梁安全預警系統之建立研究及整合作業』預警系統之建立，提供橋梁管理單位規劃設計與防災預警參考。

關鍵詞：數值模擬分析、橋墩沖刷、橋河共治區

跨河橋梁安全評估之研究

林三賢¹ 廖振程² 張嘉峰³ 林炤圭⁴ 許師瑜⁵
邱永芳⁶ 賴瑞應⁷

摘要

臺灣最常使用的跨河橋梁基礎型式，分別為沉箱基礎與樁基礎。本研究的目的主要是為了提出在暴雨或颱風期間時，評估橋梁安全的方法。本評估方法以沖刷深度、河川水流流速與水位高度為影響因素，訂出一破壞包絡線作為指標，藉以評估橋梁安全。同時進行案例試算分析，分別對沉箱基礎與樁基礎各取一案例，以破壞包絡線評估橋梁安全。

依據交通部運輸研究所公路防救災資訊系統 2007~2009 橋梁阻斷資料分析，颱風作用期間導致橋梁封橋交通阻斷計 161 座，而豪雨作用導致橋梁封橋交通阻斷計 14 座，顯示颱風對橋梁造成之影響為豪雨之 11.5 倍，若以縣市區分則為高雄縣 73 座、南投縣 15 座、宜蘭及嘉義各 14 座、屏東縣 13 座、臺中縣及臺南縣各 11 座、臺東縣 9 座、苗栗縣 5 座、彰化縣 4 座、臺北縣、花蓮縣及雲林縣各 2 座，顯示颱風主要影響區域為中南部縣市橋梁。而由 1998~2009 年資料顯示，臺灣過河段橋梁於颱風作用下橋梁因基礎受洪水沖刷累計共 59 座橋沖毀，計 308 座橋樁基裸露。其中沉箱基礎受沖刷影響佔 73%，樁基礎受沖刷影響佔 27%。

臺灣跨河段橋梁基礎結構型式主要為沉箱基礎與樁基礎，沉箱基礎因橋墩沖刷所導致之破壞，可區分為橋墩基礎土層流失導致基礎承载力破壞、橋墩與裸露沉箱受洪水之側向水流力作用所導致之傾覆破壞及受洪水之側向水流力作用之滑移破壞。基樁裸露導致的基礎結構破壞模式，則可區分為基礎承载力破壞、基樁樁身挫曲、剪力與彎矩破壞。

彙整國外影響沖刷因子資料可歸類為地形/水理、洪水流動傳輸、河床沉積物與橋梁幾何形狀四大類共 57 細項 (Melville 與 Coleman, 2000)，另

-
1. 國立臺灣海洋大學河海工程學系 教授兼副校長
 2. 財團法人臺灣營建研究院 副研究員兼副組長
 3. 財團法人臺灣營建研究院 研究員兼組長
 4. 國立臺灣海洋大學河海工程學系 副教授
 5. 國立臺灣海洋大學河海工程學系 博士生
 6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
 7. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

國內目前對橋梁耐洪能力初步評估所考量的影響因素則計 15~17 項因子。跨河段橋梁於受颱風作用下，沖刷深度的變化、流速的變化及水位高度的變化為攸關橋梁基礎結構受力安全穩定變化最直接的因素，其中沖刷深度的變化為影響橋梁基礎承載能力的改變，水流流速則為影響作用於基礎結構上之水流作用力大小，而水位高度的變化則為影響水流作用力分佈的範圍。

經由分析可知，各不同沖刷因子對橋梁基礎之影響最終將反映表現在橋梁基礎結構處，河床沖刷深度的改變、流速的改變及水位高度的改變，其中沖刷深度的變化為影響橋梁基礎承載能力的改變，水流流速則為影響作用於基礎結構上之水流作用力大小，而水位高度的變化則為影響水流作用力分佈的範圍。

由沉箱基礎分析案例顯示，沉箱案例基礎承載及傾覆穩定分析可知，隨水流流速增加，基礎容許沖刷深度變小，其中在低水流流速時傾覆分析之容許沖刷深度相較承載分析為大；然而當水流為高流速時，傾覆分析之容許沖刷深度相較承載分析為小。

基樁影響沖刷因子參數分析，顯示不同水位高度之橋梁基礎耐洪安全係數分布非成線性相關，因此傳統僅利用水位高度變化作為橋梁封橋之標準可能較無法反映橋樑之狀況。另由基礎破壞包絡線分析可知，容許沖刷深度變化，隨水流流速的增加，相對於水位高度的增加會大幅降低。由水流作用外力變化分析可知，若考慮水流作用外力為公路橋梁設計規範(98)規定之 2 倍至 7 倍的分析結果，基礎容許沖刷深度由隨水流流速增加而明顯降低。

綜合以上分析成果，可知橋梁基礎受沖刷的破壞機制，主要多是由基礎穩定所控制，僅需於流速較大時注意結構本身的材料強度是否足夠。因此橋梁基礎結構之穩定性為攸關橋梁結構安全之優先關注對象，此與交通部公路總局（2005）「河川橋梁之橋墩（台）沖刷保護工法之研究」統計臺灣橋梁因洪水沖刷而傾倒沉陷或崩塌破壞，係多源自橋梁之穩定性(含基礎承載力)不足所造成之結果相符。

本研究所建立之破壞包絡線分析模式，搭配現地監測資料，可作為即時評估現場橋梁基礎安全。

關鍵字：跨河橋梁，沉箱基礎，樁基礎，破壞包絡線

跨河橋梁沖刷潛勢評估及檢測方法之研究

洪紹勛¹ 王仲宇² 李維峰³ 連惠邦⁴ 邱永芳⁵ 柯正龍⁶

摘要

對橋梁管理單位而言，建立有效之橋基檢測相關作業流程、注意事項與表格，並且如何應用於颱風事件前、中、後進行有效的沖刷檢測與評估、執行緊急應變處置、快速災損調查與評估以及據以擬定相關因應對策，以維護橋梁之安全，特別是在各階段之巡查檢測、封橋研判、封橋後之應變與處置、橋基沖刷受損等級與沖刷成因分類等，皆予以具體地表格化或流程化。

有關跨河橋梁橋基沖刷檢測作業實為橋梁檢測作業中最為複雜的一環，其檢測的標的物除了橋梁結構之外，同時與河川之水文水理情形息息相關，因此橋梁沖刷的檢測，必須要結合橋梁下部結構安全性、河川水文水理環境評估以及橋梁、河川的防護設施是否健全之評估，但絕大多數的橋台與橋墩結構可能隱藏在水面以下，並且橋台與橋墩基礎等結構物又均埋設於地面以下，因此不易由一般目視檢測得知其健全狀態，故若要進行完整且詳細的沖刷檢測評估，亦必須搭配儀器非破壞檢測、流速的量測、沖刷深度丈量以及搭配歷年河川變遷之資料等，諸多複雜而費時之程序，因此界面繁複卻又至關重要的橋梁構件之檢測工作，對檢測人員之組成與資格宜訂定更高標準的檢測作業流程、準則，以及早發現具沖刷危險性之橋梁，並提出處置建議。然而現階段臺灣並無完整的沖刷檢測作業流程，其他國家現有的沖刷檢測方法、流程也不完全適用於臺灣的河川地理環境，因此本論文即檢討如何研定一套適於臺灣河川環境的橋梁沖刷潛勢評估作業辦法。

橋梁沖刷問題長期造成臺灣公路橋梁的威脅，又由於橋梁種類眾多、構造各異，且所屬河系不同、水文水理條件不一，要將所有類別的橋梁於同一規範下進行沖刷檢測與維護，實有其困難之處，然而現階段世界各國在規範橋梁檢測方面，各已有其立論依據以及作法，故本研究對國內外的相關沖刷評估及檢測之文獻進行比較，例如美國聯邦公路總署之橋梁及沖刷檢測制

-
1. 財團法人中華顧問工程司橋梁技術中心工程師
 2. 財團法人中華顧問工程司橋梁技術中心主任
 3. 臺灣科技大學教授
 4. 逢甲大學營建及防災中心主任
 5. 交通部運研所港灣技術研究中心主任
 6. 交通部運研所港灣技術研究中心研究員

度，日本財團法人綜合技術研究所之沖刷檢測評估制度，以及臺灣現行之橋梁檢測制度，綜合以上結果本研究訂定出全新的沖刷潛勢評估表格，其中納入相關河川環境及橋梁基本資料的記錄以輔助橋梁之評估，本研究之表格同時與臺灣現有的相關沖刷評估表格以及日本所擬定出的表格進行比較，此外本研究擬定之表格與現有表格亦實際現地橋梁進行填寫及比較其結果。

目前國內有關橋梁檢測制度多為橋梁結構本體為基礎所做之結構檢測，且依據其檢測頻率而定，檢測內容除簡略介紹檢測橋梁構件項目外，對於其檢測目的、檢測定義、監測結果參數的取得等，並無明顯的表定。對於橋梁沖刷檢測項目，也無一明確的規範，因此本研究以國內目前橋梁檢測制度為基礎，擬定橋梁沖刷檢測種類與其定義之項目。至於橋梁檢測程序及流程方面，臺灣目前並無訂定專門用於沖刷檢測之作業流程，目前各個不同的橋梁管理單位僅有全面性的橋梁管理養護流程，這對於河川環境變化劇烈的臺灣而言，顯得略有不足，故訂定適合臺灣環境的沖刷檢測、評估流程，確實有其必要性。

本研究亦擬定適用於臺灣的沖刷檢測流程及階段，共分為年度汛期前檢測、颱風事件前檢測、颱風事件中檢測、颱風事件後檢測以及年度汛期後檢測共五個階段，以及定義各階段檢測之可能執行檢測之方法種類，在此將沖刷檢測種類分為目視檢測與詳細檢測例兩大類，其中共包含 DER&U 評估、簡易沖刷潛勢評估、現況紀錄、詳細沖刷潛勢評估、沖刷深度及水位流速檢測、以及橋梁結構及河道斷面檢測，針對於其中所使用的詳細沖刷潛勢評估及簡易沖刷潛勢評估的部分，必須訂定相對應之沖刷檢測表格，但使用太多的表格進行橋梁檢測又可能造成現場人員填寫上的困難，以及可能發生不同表格所評估的分數必須進行比較之困擾，故本研究擬定單一表格可適用於詳細及簡易沖刷潛勢評估。

同時彙整各檢測階段適用的相關非破壞儀器檢、監測方法。橋梁沖刷潛勢的評估無法僅藉由橋梁現地的人員量測或是目視檢測而完成，例如在颱風事件發生的當下，實際的橋墩沖刷深度是無法依靠人員現場量測而得到，同時基於安全的考量，颱風事件發生之當下也不適合橋檢人員於現場進行檢測，因此颱風當下之橋墩沖刷深度的掌握必須依靠沖刷監測系統。同時在各項橋梁相關的基本資料蒐集方面，例如橋梁基礎的尺寸、深度...等，時常會遇到橋梁過於老舊，導致各類結構尺寸、設計相關之資料已不復留存，而無法順利進行橋梁穩定度之分析或是基礎裸露比之計算，因此完整的沖刷潛勢評估必須要適當的搭配非破壞檢測技術的進行，才能完成較準確的沖刷潛勢評估。

關鍵字：沖刷潛勢評估、潛勢評估表、沖刷監測、基礎深度檢測

跨河橋梁保護工法之研究

廖清標¹ 張慶民² 李仲強³ 邱永芳⁴ 賴瑞應⁵

摘要

臺灣河川多屬坡陡流急，於洪水期間，橋墩或橋基之河床受到劇烈的沖刷，常導致橋梁傾倒而造成交通中斷的情況。再者由於橋梁為交通運輸與民生活動之重要管道，若因災害發生造成破壞，勢將對災後之聯絡、急難救助與物資運輸造成重大衝擊，嚴重影響救災工作之進行。因此，橋梁保護工法之研究實為當前之重要課題。

然而由於臺灣橋台、橋墩及橋基保護工之現場沖刷問題相當複雜，無法純靠現場調查或數值模擬單方面努力就可以解決，惟有結合水工模型試驗技術，實際了解橋梁保護工法的災害遞移能力及對河床演變之影響，方能針對橋台及橋墩沖刷防治工法相關問題進行妥善之探討。

本計畫全期透過數值模擬分析及渠槽試驗，了解橋墩及河道保護工法受水流沖刷破壞成因及規模程度，進而透過水工模型試驗提出橋河共治區橋墩保護工法及其施設方式之建議。整體工作執行內容係由國內、外橋梁保護工法相關研究文獻及橋墩沖刷理論蒐集分析出發，並以砂質河道橋墩沖刷及石塊衝擊力試驗，深入探討橋河共治區水流流動過程與橋墩沖刷之互制現象，然而本計畫渠槽試驗皆為不加砂且不考慮水流攻角、石頭或漂流木及工法損壞之沖刷試驗，其試驗條件係以固定橋墩基礎下，以三種不同流量、五種保護工法(格籠工法、砂腸袋工法、潛堰固床工工法、透水混凝土塊工法、橋墩開口工法)及兩種非均勻橋墩型式($D/D^* 0.4$ 、 0.7)，進行室內渠槽試驗(斷面試驗)，藉以了解非均勻橋墩於不同流量及不同保護工法情況下，局部最大沖刷深度及沖刷範圍之關係，並研評保護工法之適用性，其試驗成果顯示，砂腸袋工法僅適合用於海堤或低流速的堤防護岸，潛堰固床工工法屬於全斷面結構，非本計畫所探討的橋墩局部保護工。因此，本計畫係採以蛇籠工法布設於水工模型試驗進行測試。

-
- 1.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授
 - 2.逢甲大學營建及防災研究中心 水工試驗組組長
 - 3.逢甲大學營建及防災研究中心 數值模擬組組長
 - 4.交通部運研所港灣技術研究中心主任
 - 5.交通部運研所港灣技術研究中心研究員

而本計畫水工模型試驗的工法測試，包含橋墩局部工法與河道整治工法的組合。其中，河道整治工法係透過數值模擬初步測試工法的水理特性；例如測試設置工法後的水深分布、流速變化...等，並藉由數模所測試工法的相關布置提供給水工模型試驗進行擺設。而設置工法後的河道沖刷、橋墩沖刷、河岸側向侵蝕、甚至流路變遷...等特性，係透過水工模型試驗進行分析。其河道整治數值模擬以及水工模型試驗成果說明如下：

本計畫測試的河道整治工法係以改變河道地形的工法為主，包含河中砂洲疏濬與營造階梯式斷面兩種方案，其中河中砂洲疏濬又包含疏濬寬度100(m)、200(m)及300(m)等項目。各種測試項目並與原始河道地形的模擬結果比對結果顯示，疏濬寬度100m方案的改善效果較不明顯；疏濬寬度200m方案已明顯降低流速與橋墩局部沖刷；疏濬寬度300m方案的改善效果與疏濬寬度200m方案接近，顯示疏濬寬度300m方案的改善效果應已趨近一穩定狀態。因此，河中砂洲疏濬寬度300m方案建議於水工模型試驗予以進行測試；階梯式斷面方案部分，該方案與原始河道地形的模擬結果接近，流速與橋墩局部沖刷的降低效果較不明顯。然而，階梯式斷面方案會引導水流集中於固定流路，發生沖刷的橋墩位置較固定，以便橋墩局部保護工法的布設。因此，階梯式斷面方案亦於水工模型試驗中予以進行測試。

水工模型試驗成果部分，本計畫共測試五種方案，試驗結果顯示階梯式斷面或階梯式斷面+蛇籠工法，經水工模型試驗結果雖流路可在預期位置，惟階梯式斷面邊坡會有沖刷形成不穩定情況，另主深槽沖刷深度亦較大。砂洲疏濬300m已可達到良好保護效果，雖各重現期流路並無一定規律，但臺1線甲溪橋與海線鐵路橋最大沖刷深度皆屬於安全範圍內，並非一定要施設橋梁保護措施，故本案即為最佳方案。

最後本計畫亦研擬橋河共治區橋墩保護方案之流程，供橋河共治區橋墩保護工法及其施設方式之建議，並作為未來相關單位設計橋墩保護工法時之參考。該流程係先以數值模擬檢討橋梁安全，若屬於危險橋梁時，則需研擬河道疏濬，以不需配置橋墩保護工法為前提下達到預期保護效果，若疏濬有其困難甚或不可行時，則需研擬橋墩保護工法，其工法需先以渠槽(斷面)試驗進行測試，最後輔以水工模型試驗、二維或三維水理分析驗證並檢討橋墩沖刷情況，以確定橋河共治方案。

關鍵字：數值模擬、橋墩保護工法、橋墩沖刷

研發抗磨耗、抗衝擊及耐久性橋墩材料之研究

楊仲家¹ 詹穎雯² 劉玉雯³ 卓世偉⁴ 邱永芳⁵ 張道光⁶

摘要

橋墩混凝土構造的磨損型態與其座落之地理環境密切相關，且所遭受之磨耗作用不同，如石塊與浮木撞擊、流水夾帶泥砂沖擊、與砂石的摩擦作用等，將造成不同型態的磨耗損壞，所以不同的損壞型態應相對應有不同的修補方式。因此，研發抗磨耗、抗衝擊及耐久性橋墩材料，除採用較具抵抗性的混凝土材料以減緩各種磨損作用外，還需搭配依水工結構物特性的修補工法，才能達到預期修補目標。對橋梁墩柱混凝土設計而言，提昇混凝土耐衝擊與耐磨損性質可由漿體與骨材兩方面著手。如在漿體部分可以將水灰比降低增加混凝土強度，隨而增加耐衝擊與耐磨損性質。在添加礦物摻料方面，由文獻中發現可有效增加耐衝擊磨損性質。但需注意因其卜作嵐反應較慢，而使其早期抗磨損性較差。對骨材性質而言，粗骨材硬度與磨損量有反比之關係，使用硬度較大之骨材，其混凝土可獲得較佳之耐磨性。而粗骨材於混凝土中體積量的多寡亦對混凝土耐衝擊磨損性質有重要的影響。通常骨材量越高，混凝土耐衝擊磨損性質越佳。因此如果能充分掌控上述各關鍵因素的影響，設計優質的混凝土，可提升橋梁基礎混凝土之抗衝擊磨耗效能，延展其服務年限，並達到維護公共工程與國家資源永續利用之目標。對耐久性而言，鋼筋混凝土設計上，混凝土除力學上的考量外，亦提供一層物理與化學的保護層，使得結構物內部鋼筋可避免因外在環境因子所引起的腐蝕。當橋梁處於高濕度的海域環境下，空氣含大量的氯化鈉與氯化鈣，很容易伴隨著水氣藉由吸附與吸收現象進入混凝土中。因此橋梁墩柱混凝土抗氯離子能力，往往為橋梁耐久性或服務年限設計上主要的考量，而由本研究的結果分析研究可以發現，耐久性會隨著水灰比降低而有正向的效益。同樣的爐灰用量增加也有正向效益的影響。而在修補材料試驗結果發現添加纖維的混凝土補修複合材料均可較混凝土基材本身有較好的力學性質、耐磨損性質、耐衝擊性質、與提升界面拉拔力。若考量體積穩定性則以碳纖維表現較鋼纖維佳。本研究相關試驗結果將提供工程單位維護橋樑依據，若能充分掌控上述

1. 國立臺灣海洋技術大學材料工程研究所教授

2. 國立臺灣大學土木工程學系教授

3. 國立嘉義大學土木與水資源工程系教授

4. 中華科技大學建築系助理教授

5. 交通部運研所港灣技術研究中心主任

6. 交通部運研所港灣技術研究中心研究員

各關鍵因素的影響，設計優質的混凝土，可提升橋梁基礎混凝土之抗衝擊、磨耗、與耐久效能，延展其服務年限，並達到維護公共工程與國家資源永續利用之目標。

由以上之分析可知，抗磨耗、抗衝擊及耐久性橋墩材料之研發必須面對的主要課題有：一是如何由混凝土之材料組成與硬固性質評估其抗磨耗、抗衝擊及耐久性；二是橋墩修復補強材料之應用技術。因此，必須對高抗磨耗、抗衝擊及耐久性混凝土的性能進行系統化、科學性的試驗研究，並在此研究成果基礎上，制定其品質標準、設計規範和施工作業規範，有效並完整地將高抗磨耗、抗衝擊及耐久性混凝土的技術應用和發展納入工程契約與規範系統，俾利於設計監造單位、產製廠商與施工廠商於設計監造、產製與施工時之遵循。

本研究藉由配比設計，探討橋梁墩柱混凝土的耐磨耗、耐衝擊、耐久性。下表 1 為配比設計。其試驗電數分別為水膠比：0.30、0.35、0.40、與 0.45 共 4 種。粗骨材體積含量：0.30 m³/m³、0.35 m³/m³、與 0.40 m³/m³ 共 3 種。爐灰替代量：30%與 50%共 2 種。再修補材料設計上，本研究以較不會發生黏結界面問題與符合實務施工需求的混凝土系補修材料做為主要研究對象。一般而言混凝土系補修材料有高分子聚合物混凝土與強化纖維混凝土補修材兩大類。但高分子聚合物混凝土需要在特殊環境聚合，較無法於工地現場或水中施作，因此擬以常用補強材鋼纖維與碳纖維加入混凝土中成為混凝土補修複合材料。在混凝土基材方面，將粗粒料用量增加至 0.40 m³/m³。且水膠比提升至 0.3。並考量文獻指出矽灰添加可大幅改善耐磨性質，因此在混凝土基材上除加入爐石與飛灰礦物摻料外，亦加入水泥量 10%的矽灰做為漿體的一部分。相關試驗分別依 ASTM C39 進行抗壓強度試驗、ASTM C1138 耐磨損試驗、ACI 544 衝擊試驗、含砂水流試驗、與耐久性試驗。

由磨耗試驗結果而言，磨耗量會隨著水膠比增加而有增大趨勢，與力學性質趨勢相同。而當粗粒料用量較高時，磨耗量亦有下降之趨勢。對添加爐灰而言，添加 50%爐灰配比之抗磨耗性質大於 30%。對含砂水流沖擊磨耗試驗結果而言，混凝土沖磨量隨水膠比增加而增加，且粗粒料用量較高時，沖磨量隨之減少。此外，混凝土中以添加 50%爐灰取代水泥時，其沖磨量小於 30%者，約 16%、21%、5%與 14%。對衝擊試驗結果而言，混凝土中粗粒料含量較多時可提升其抗衝擊性。而當粗粒料含量相同時，混凝土之衝擊破壞次數則以水膠比大者較少。此外，不同水膠比混凝土之衝擊破壞次數，以爐灰含量為 50%大於爐灰 30%者。而耐久性會隨著水灰比降低而有正向的效益。同樣的爐灰用量增加也有正向效益的影響。而粗骨材關聯性研究結果，水膠比 0.3 與 0.35 氯離子傳輸係數會隨著骨材用量的增加而有下降之趨勢。

但水膠比 0.4 與 0.45 粗骨材用量的增加會造成負面影響，如粗骨材用量 $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 時，氯離子傳輸係數會較 $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 減少約 14%。因此建議未來抗衝擊磨耗配比設計可以採低水膠比高粗粒料用量之方向。對修補材料而言，添加纖維對於混凝土抵抗水中磨耗及沖磨的能力都有所提升，鋼纖維約可以提升 25~50% 左右，而碳纖維則約可提升 20%。對衝擊試驗結果而言，添加纖維的混凝土補修複合材料，可使混凝土有效提升混凝土抵抗衝擊的能力。

關鍵詞：磨耗、衝擊、耐久性、橋墩混凝土

跨河橋梁安全預警系統之建立研究

鄭明淵¹ 蔡明修² 吳育偉³ 張于漢⁴ 陳泰宏⁵ 邱永芳⁶ 謝幼屏⁷

摘要

臺灣地區河川短陡且雨量充沛，每逢暴雨即發生洪水，進而對橋梁的安全造成莫大的威脅。2008 年辛樂克颱風來襲時，在中部地區帶來超過 700 毫米的降雨，大甲溪溪水暴漲造成台 13 線后豐大橋斷裂，除此之外更造成了台 20 線甲仙橋、台 21 線牛眠橋、台 18 線五虎寮橋及北港台糖復興橋等橋梁傳出斷橋意外。因此，若能建構一套跨河橋梁安全預警系統，提早預估橋梁安全等級，以提供作為相關單位預警的參考，方可給予民眾生命財產更多的保障。政府各交通工程管理單位為此已投注相當多經費進行橋梁監測及預警研究課題，但是這些研究成果如何進行橫向整合，並與防災預警通報體系結合，提升橋梁防災預警時效，實為一重要課題。

本研究以流域管理及橋河共治概念建立水理分析模式，研發有效低成本之橋梁監測系統，制定橋梁沖刷檢測準則，研發河道、橋墩保護工法及耐磨、抗衝擊之工程材料，並檢討現有橋梁安全保護法規，建立封橋後即時替代道路網路查詢系統，提供橋梁管理單位颱風時橋梁安全評估、監測預警及檢測開放通行等決策支援。其中橋梁監測與檢測結果可驗證水理分析之結果，保護工法亦可由水理分析模擬來檢視其成效為何，保護工法及工程材料的選擇設置為影響到安全評估的結果，當安全評估結果需封橋時，一般道路使用者可即時上網查詢替代道路路線，最後再檢討現行規範，並訂定河道使用管理建議。

承上所述系統涵蓋層面多且廣，故本研究擬以災害預警資料交換機為核心建置資料倉儲伺服器，並運用資料交換平台提供資料分享介面。並整合跨河橋梁計畫研究成果，使研究成果能提供跨河橋梁安全預警系統加值應用，提升公路管理人員災害管理能力。因此，需要一套架構於網際網路下之系統，可讓公路管理單位及各子計畫研究人員能夠在不同平台皆能瀏覽相關資料。另外，為了資料易於辨識，網頁中使用 GIS 圖形化介面，方便使用者查詢。

-
1. 國立臺灣科技大學營建工程系教授
 2. 淡江大學土木工程學系助理教授
 3. 國立臺灣科技大學營建工程所博士後研究員
 4. 國立臺灣科技大學營建工程系博士生
 5. 國立臺灣科技大學營建工程系博士生
 6. 交通部運研所港灣技術研究中心主任
 7. 交通部運研所港灣技術研究中心研究員

本研究根據系統使用需求的目標，發展規劃分為四個部份：(1)資料交換平台、(2)資料倉儲、(3)預警通報機制、(4)使用者介面。(1)資料交換平台：為達到各資源共享之目的，國內現有交通相關系統皆為獨立運作且資料互不相連，許多資料皆重複建置且格式不一，造成資源共享不易，因此本研究以智慧代理人為基礎，建立一資料交換平台。在此架構下可共享災情資訊，並得以整合各項資源。為避免在系統整合時重複建置系統之問題，此階段建構一多代理人模式。代理人技術已被應用在各種不同的領域，例如計畫排程、資訊檢索等，藉由此項技術的運用可以減少工作量以及資訊量，使用者可以指派代理人完成特定的任務或是與代理人相互合作，完成共同的目標。本文藉由智慧代理人間可相互溝通之特性，建立一多代理人之環境，協助完成整合交通工程相關資訊管理系統。系統所建置的六個智慧代理人分別是資料擷取代理人、資料過濾代理人、資料比對代理人、資料更新儲存代理人、Web Service 代理人及標籤註記代理人(2)資料倉儲：以資料倉儲的理念進行資料分類儲存，其項目包含了 GIS 圖層、儀器監測值、氣象報告、水文資料、橋梁安全評斷標準及相關法規與規範等資訊；並可進行資料更新、查詢、加值運用與資料共享，同時檢討不同需求並進行整合，以避免資料重複建置。(3)預警通報機制：本研究為了維護橋梁不同階段之安全，將以往僅著重於災害救援的層級更向前推進至災害預防，根據安全評估模式確立診斷標準，進行電腦分析研判，對橋梁現況進行有效的監控管理，以降低災害來臨時所造成之損害；而災害來臨時，提供第一時間系統性緊急措施的決策建議，將助於減少災害擴大的可能性。(4)使用者介面：跨河橋梁安全預警系統頁面主要由系統簡介、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 1~3 小時橋梁的安全狀況(當橋梁在「安全」狀態時顯示綠燈；達「警戒」標準時顯示黃燈；達「行動」標準時則顯示紅燈)，點選各橋梁的標示可顯示即時、未來 1~3 小時、檢測表單及封橋後路徑規劃等功能。

跨河橋梁預警系統結合了氣象觀測與預測模式、降雨逕流模式、河道演算(一維水理分析)、橋墩沖刷計算(二維水理分析)、跨河橋梁安全評估、跨河橋梁安全預警模式等六大模組，組成預警系統推估並預測三小時之河川水位、流速及沖刷深度等因子做為橋梁安全評估之預警推估與發佈，改善過去僅由觀測水位因子即進行警訊發佈而無法對未來三小時做有效預測，使得預警發佈失效的缺點。

關鍵詞：安全預警系統、資料倉儲、資料交換平台

橋墩沖刷之高科技即時監測系統研發、整合與應用

黃安斌¹ 李瑞庭² 何彥德³ 黃信忠⁴ 古景宇⁴
邱永芳⁵ 陳志芳⁶

摘要

受臺灣氣候、地形與地質特性之影響，暴雨期間河流水位高漲且流速極高，在上游區域則經常觸發土石流使得河川洪水具有高泥沙含量。此高泥沙含量洪水可將巨石浮起，順溪流向下沖刷，造成更大之衝擊與破壞力。目前現有橋墩沖刷監測系統，如埋設橋址磚塊為利用流失磚塊之數量估算河川遭沖刷之深度；無線電小型訊號器為將具有發射無線電功能感測器埋設於河道中，當河道遭受沖刷後感測器則浮出，由接收器接收此感測器訊號來辨別沖刷深度；聲納及透地雷達沖刷探測器為偵測超音波回傳時間來辨識河床得深度；埋入型沖刷探測器(磁性滑動套環)為將磁性的套環裝置於具有磁通開關之長管且此長管為灌入河床內，當河床下降時套環會跟著下降，藉由通過磁通開關得到套環位置，即可知沖刷深度；水下攝影機為利用防水相機或攝影機以直接方式記錄河床隨時間之變化；重垂式沖刷探測計為將重錘固定於一鋼索或中空鋼管，當河床遭受沖刷時，重錘則會下降並牽引鋼索，即可得知沖刷深度大小；溫度式沖刷感測計為利用河水與土層溫度的不同來判斷河床與水的界面以得知沖刷深度，並可利用河床深度之溫差效應得知河水水位，上述監測系統方法，有些不易滿足自動化即時監測之要求，或以電子式感測器為基礎在臺灣常有之颱風洪水情況下很容易受雷擊或水流衝擊破壞以致於無法發揮功能。

近年來，有許多光纖感測技術之研發。光纖感測技術相對於傳統電子感測技術的優點包括(1)體積小—光纖直徑一般為 250 μm 左右體積甚小；(2)耐久性高—光纖之主要成份是矽(silica)為非金屬，可以長期埋在地下而不易腐蝕或改變其性質；(3)光纖訊號可長(數十公里)距離傳輸而不受電磁波干擾；(4)可以在同一光纖上做多點分佈式的監測。

-
1. 國立交通大學土木工程學系教授
 2. 國立交通大學土木工程學系博士生
 3. 國立交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
 4. 國立交通大學防災與水環境研究中心計畫助理
 5. 交通部運輸研究所港研中心主任
 6. 交通部運輸研究所港研中心副研究員

由於河道因橋墩或水中結構物存在，使得水流產生局部阻礙或干擾現象，並進而造成局部河床之沖刷侵蝕與高程下降的情形。若就橋基或橋臺的局部沖刷來說，則專指橋基或橋臺與水流的干涉作用，而在墩臺周邊形成強烈墩前壅水、向下射流、馬蹄型渦流、尾跡渦流及局部沖刷坑的現象，因此，橋基或橋臺下方水壓於上述作用下，其水壓並非呈靜態水壓非佈，故藉由光纖式分佈式水壓/差壓監測管，可量測其水壓分佈狀態，並配合室內橋墩模型沖刷試驗結果，以推估現場橋墩沖刷深度。

本研究計畫為橋墩沖刷即時監測之高科技術研發，並整合與應用目前現有之橋墩沖刷即時監測技術。選定國道3號及臺3線東勢大橋進行感測器安裝與安全監測，感測器包括孔隙水壓計、傾斜儀、漂浮式流速量測儀、水位即時監測設備及讀取系統。將本計畫二座橋墩所得資料進行統合、整理與分析後，對大甲溪橋墩的安全監測，提供一實用而經濟的橋墩沖刷監測與安全判釋方法。藉由整合橋梁安全監測與分析結果，橋梁主管機關可以更有效的在確保用路人安全與便利的條件下對橋梁封閉與否做出合宜的決策。

關鍵詞：光纖感測、橋墩沖刷監測、孔隙水壓計

RC 橋梁材料耐久性評估與殘餘壽命預測之研究

黃然¹ 張建智¹ 葉為忠¹ 梁明德² 翁在龍³ 邱永芳⁴ 曾文傑⁵

摘要

橋梁是陸地運輸交通網的主要結構物之一，橋梁依構造材料可分為幾種類型，其中(RC)或預力混凝土(PC)橋梁佔臺灣橋梁總數的比例甚高。橋梁是公路和鐵路運輸發展的重要樞紐，橋梁承載力和通行能力扮演著全線貫通的關鍵因素，更肩負增進社會經濟發展與民眾生活福祉的樞紐角色。然而既有橋梁的劣化、老化、損傷甚至承載力不足時有發生，此因交通量超過預期地的快速增加或運輸工具超載所致，修復的橋梁需要符合更高的標準。既有橋梁缺陷發生的主要原因，不外是使用中實際情況與原先設計構思的狀況有一定的差異、場址與材料選擇的錯誤、基礎方案選擇不合理或施作不當、結構系統選擇的失誤、橋梁結構分析法選擇上的差異、施工管理不當等，可能導致橋梁品質低劣而達不到原先設計需求，若再加以暴露於惡劣的環境，更會加速橋梁結構缺陷和損傷的產生。

針對既存的鋼筋混凝土橋梁，如何透過檢測方法手段以瞭解並評估其耐久性的狀況，並且進而預測其殘餘壽命，是一重要的議題。從現場量測到的資料，透過有系統的分析方式，化為工程師可以理解的數據，再加以評估橋梁的耐久性現況、制定策略並評估其壽命，實為刻不容緩的課題。橋梁檢測的內容一般包括了混凝土抗壓強度、腐蝕速率量測、腐蝕電位量測、中性化深度量測、氯離子濃度、保護層厚度、裂縫寬度與位置等與腐蝕相關的數據。如何使用這些數據並且考量其它非腐蝕因子來評估橋梁的耐久性，並且計算殘餘壽命是很重要的考量。

常用的橋梁評估法包括公路總局使用的 D.E.R&U 法、內政部營建署訂頒之「A.B.C.D 評等法」、模糊數學及層級分析法等。這些方法基本上有幾個特點，其一為訂立需要評估的項目；其二許多項目無法量化，因此需有量化的方式；其三將代表不同意義的量化指標以及非量化指標統合在一起；其

-
1. 國立臺灣海洋大學河海工程系教授
 2. 國立臺灣海洋大學河海工程系兼任教授
 3. 國立臺灣海洋大學材料工程研究所兼任助理教授
 4. 交通部運輸研究所港研中心主任
 5. 交通部運輸研究所港研中心副研究員

四為訂立服務品質滿足的門檻。前述步驟，多需經過專家的討論與研擬，然後透過數學的操作得到一評估總分，最後仍是要經過專家們的討論來決定這些數值所代表的意義。以量化角度而論，評估的系統是否完整與數學操作無關係，而與取樣、問卷設計、參考資料的充足與否有關。也就是說一個可靠的評估系統，取決於對問題整體考量的周延性與資料蒐集的完備性，且應降低人為的因素以保持客觀性。

然而橋梁壽命預測需要考量的因子較為複雜，採用數學的方式來建模亦有其困難性。實務上若排除橋梁設計的錯誤以及施工的瑕疵，則橋梁的使用年限應無疑慮。然而，橋梁的耐久性可能會受到惡劣暴露環境所影響，而最後導致結構的服務品質無法達到使用水準，而提前終止使用壽命。橋梁耐久性多半的研究，都著重於鋼筋腐蝕的影響。橋梁的整體服務品質並不是只與材料耐久性有關，亦須考量如抗震能力、承載能力等，這些行為會互相影響；如果在橋梁壽命預測只考慮單一因素，可能會有失真之處。然而，多重因子的互相影響機制，目前尚無可靠的物理與數學的基礎，亦即不易推得互相影響的函數；即便找到互相影響函數，建立多因子的數學模式恐會龐大複雜；推得的數學模式，恐怕也無解且數值解也無法驗證其正確性。因此，目前橋梁殘餘壽命預測相關研究，多以耐久性考量為主，並且以鋼筋生鏽所造成的影響為思考主軸。

緣此，本計畫係僅針對鋼筋混凝土橋梁之材料狀況耐久性做檢測評估，其他型式橋梁並不在本研究範疇之內。而影響鋼筋混凝土橋梁的耐久性因子甚多，粗略來分可以環境因子、施工因子、設計因子、材料因子、維護營運因子等五類，若是將所有因子全部考量，則會造成兩個困境：其一為各因子所需的調查量以及數據過於龐雜，而使得最後評估的作業難以實踐；其二為若採用層級分析法作為決定因子間的相對權重時，因為層級分析法假設各層因子間為獨立關係，並無相關，最後整體的評價乃是由各因子評定分數乘上相對權重再加總起來。而根據所蒐集之相關文獻認為橋梁耐久性的主要因素為材料因子，而其他的影響因子作用則用放大係數將材料因子加入最後整體的評價當中即可。此種思維在實務操作上較為可行。並進一步做橋梁殘餘壽命預測。

計畫執行間選擇宜蘭五結橋及新竹誠仁橋做為實際案例驗證，材料耐久性檢測項目包含混凝土品質及鋼筋腐蝕為重點，並提供適合的檢測項目、檢測方法、檢測標準，檢測成果可供做橋梁結構物耐久性參考，且作為橋梁管理的決策依據，亦即作為決定既有鋼筋混凝土橋梁維修、補強或拆除，相關內容編集成手冊以做為技術轉移與教育推廣之用途。

關鍵詞：鋼筋混凝土橋梁、耐久性檢測、殘餘壽命預測、混凝土老劣化

橋梁通阻檢測分析模式建立之研究

鄭明淵¹ 邱永芳² 邱建國¹ 歐昱辰¹ 吳育偉³ 張于漢⁴ 林雅雯⁵

摘要

橋梁為臺灣地區用來連絡河流兩岸之重要交通工程設施，然而臺灣屬季風型氣候夏季多雨，每年洪水來襲皆造成橋梁重大威脅，由於河水沖刷將導致河床降低，致使橋梁基礎裸露，影響橋梁的安全性能。且臺灣為多地震的國家，一旦發生地震等大規模天然災害時，橋梁倒塌或斷裂的機率很高。為避免災害發生時，造成橋梁損壞導致交通中斷、居民受困甚或是人員傷亡等事件的發生，對現有橋梁進行全面檢測勢在必行。然而國內橋梁數量高達數萬座，若對所有橋梁進行破壞性檢測或全面性結構分析，將花費許多時間與經費。有鑑於此，此研究參考目前國內外相關文獻，評估「移動式非破壞性振動檢測」、「材料劣化評估」、「地震破壞潛勢」、「人工智慧橋梁耐震推論」與「地表震動分析」之可行性與後續之整合應用，進而發展建置一符合臺灣地區特性之「橋梁通阻檢測分析模式」。

移動式非破壞性振動檢測方面，由於橋梁受損時橋柱的自然頻率會隨之降低，因此本計畫以橋柱的自然頻率變化作為橋梁損壞健康診斷之依據。透過移動式振動檢測儀器比較平時與災害後橋柱自然頻率的變化，以及伴隨頻率變化之各種結構參數改變，作為判定橋梁安全與否之標準。同時，本研究評估適合於國內採用之振動頻率檢測方式，共進行4座橋梁試驗，分別為宜蘭舊牛鬥橋、新店思源橋、宜蘭執信橋及南投集集橋，經實驗確認，微震法(非直接量測，儀器放於靜止拖車上)為建議方案。災後，由於橋梁受損或沖刷深度加大時，橋柱的振動頻率將會改變，可以非破壞性振動檢測方式量測振動頻率之變化值，藉此解析沖刷深度或橋梁破壞所造成頻率的影響，判斷橋梁之安全狀態，進而做為橋梁封橋管制後是否開放通行之依據。

材料劣化評估方面，殘餘容量(Residual capacity，亦即橋梁劣化現況)是影響耐震能力之關鍵因素，因此本研究考量臺灣地區環境因素，應用「災害預警資料交換機」，擷取港灣研究中心大氣腐蝕實驗室所量測建置之臺灣地區大氣腐蝕資料，再應用材料實驗方式分析，求得大氣環境對橋梁 RC 材料

1. 國立臺灣科技大學營建工程系教授
2. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
3. 國立臺灣科技大學營建工程所博士後研究員
4. 國立臺灣科技大學營建工程系博士生
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

劣化評估方面，殘餘容量(Residual capacity，亦即橋梁劣化現況)是影響耐震能力之關鍵因素，因此本研究考量臺灣地區環境因素，應用「災害預警資料交換機」，擷取港灣研究中心大氣腐蝕實驗室所量測建置之臺灣地區大氣腐蝕資料，再應用材料實驗方式分析，求得大氣環境對橋梁 RC 材料之影響，據此初步繪製橋梁劣化曲線圖，以求得較精確之橋梁殘餘容量，並作為後續推估地震破壞潛勢分析之依據。

地震破壞潛勢方面，本研究建置不同典型橋梁型態之地震易損度曲線，找出在不同地震強度下之損壞狀況機率。地震造成橋梁損壞原因主要由地表震動(PGA)與永久位移(PGD)二項所造成。本研究將非破壞性振動檢測結果，及材料劣化評估所求得之橋梁殘餘容量納入考量，探討在地表震動(PGA)下所造成之橋梁損壞。而橋梁受損程度又可分為降服加速度(A_y)與完全損壞加速度(A_c)。本研究發展一側推分析模式，根據橋梁設計或竣工圖，結合現地環境、橋梁現況(移動式非破壞振動檢測結果)、殘餘容量(材料劣化評估結果)等資料，兼顧計算準確與操作簡易的特性，透過地震損壞影響因子求算 A_y 及 A_c 值。為驗證該分析模式的準確性，本研究取得公路總局「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」計畫成果中 132 座橋梁細部分析的資料，選擇其中 12 種代表性的橋梁型式，以本研究所開發的側推分析模式求得之橋梁 A_y 與 A_c 值。與上述計畫結果進行比對，驗證本研究所開發的側推分析之準確性。並考量材料劣化之因素，另選擇 132 座以外 12 座橋梁(與上述 12 座合計 24 座)，計算分析五種材料劣化程度(0%,5%,10%,20%,35%)影響下之橋梁 A_y 與 A_c 值。

國內其他較小型橋梁數量眾多，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。因此，本研究考量尋優速度與推論準確性，應用快速混雜基因演算法融合支持向量機，發展一「人工智慧機械學習推論模式」，透過快速混雜基因演算法搜尋模式最適參數值，應用支持向量機分析迴歸輸入(簡易調查耐震能力影響因子)與輸出(細部評估 A_y 、 A_c)之映射關係。採用前一階段橋梁細部評估結果(考量材料劣化之 24 筆案例)，應用人工智慧推論模式透過案例學習，找出輸入(簡易目視調查耐震能力影響因子)與輸出(細部評估 A_y 、 A_c 值)之映射關係。首先以 24 座經細部評估求得五種鋼筋劣化程度之橋梁 A_y 、 A_c 值為輸出(Output)，並同樣以 24 座橋梁簡易調查之資料與材料劣化因素為輸入因子(Input)，共計 120 筆案例(24 座橋 x 5 種劣化程度=120 筆)建立資料庫。然後再應用進行

案例訓練學習，以提高預測準確率。最後，全台省縣道三千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。

地表震動分析模式依據中央氣象局所發布之地震規模與震源等資料，利用震動強度衰減率修正地震規模和距離之關係，並以格網方式將臺灣地區切割成不同格狀區域，再依各地區的地盤種類和距離之不同，分別求算其地表加速度。據此，可以情境方式，模擬不同地區所發生之地震，推估臺灣地區不同格網內之地震強度，然後再進行地震破壞潛勢分析，求得此地震強度下，各橋梁可能的損壞機率，以提供公路橋梁管理單位作為擬定維修補強策略之參考。

關鍵詞：橋梁損壞健康診斷、材料劣化評估、橋梁側推分析、演化式支持向量機推論模式