

多重災害橋梁監測技術開發與應用

Development and applications of bridge monitoring technologies for multi disasters

主管單位：財團法人國家實驗研究院

張國鎮

林詠彬

陳俊仲

古孟晃

Chang, Kuo-Chung Lin, Yung-Bin Chen, Chun-Chung Gu, Meng-Huang

國家地震工程研究中心

摘要

一般而言橋梁之耐地震與沖刷的能力對於台灣發展影響甚鉅。因此，橋梁安全監測乃是刻不容緩的工作。由於台灣地形關係，故洪水造成沖刷深度對橋梁具有莫大威脅。洪水期間之水位、流速和沖刷深變化影響橋梁安全甚鉅，故發展穩定性且可靠之橋梁監測預警系統乃本計畫之主要目標。本計畫以數做台灣重要橋梁為研究探討對象，安裝沖刷監測系統，即時監測河川水位、流速與沖刷深度，用以評估橋梁安全。

關鍵詞：沖刷、監測、區域定址服務、無線通訊

Abstract

Generally speaking, the capacity of withstanding for bridges by earthquake and scouring largely influence developments of Taiwan. According to the topography of Taiwan, the flood problems and related scouring problems always menace the safety of bridges. During the flooding, water level, velocity and related scouring depth also largely affect the safety of bridge, so the essential object of this project is to develop a stable and reliable monitoring and warning system for safety of bridges. Several important bridges in Taiwan were selected for monitoring targets in this project. The monitoring system was installed into those above targets for real time monitoring of water level, velocity and scouring depth, etc. Then the essential physical parameter will be calculated for evaluation of the safety of bridges.

Keywords : scouring, monitoring, location based service, wireless

一、前言

全球氣候變遷現象以及世界人口持續成長導致經濟活動區域集中，間接造成天然災害規模日益擴大，而臺灣位處東亞沿岸，氣候形態同時受到大陸及海洋氣候影響，因此具有經常性的降雨與颱風。再者，臺灣島位於環太平洋地震帶上，屬於全球地震活動相當頻繁區域，上述提及之災害引致的洪水以及地震等因素，均可能對土木結構設施造成損壞，進而威脅到民生安全及經濟財產的損失。以跨河橋梁結構而言，除了無法避免須承擔天然災害嚴酷的挑戰之外，另因設施服務年限需求較長，同時還面臨著結構材料老化或劣化現象及人為維護不當或遭蓄意破壞等威脅。根據交通部統計資料，臺灣目前計有兩萬多座橋梁，歷經九二一集集地震以及多次風災災害的經驗與教訓，各層級橋梁管理權責單位均不斷致力加強橋梁安全管理及防災技術的提昇，有鑑於此，開發多重災害橋梁監測技術有其必要性與急迫性。

多重災害橋梁監測技術主要開發目的在於期望藉由此技術，可即時掌握監測橋梁結構於常時及災時之結構安全效益，藉以提供管理權責單位正確且可靠之資訊，進一步評判橋梁設施服務功能，必要時封閉橋梁降低用路人生命財產的損失，以及定義橋梁結構設施維護週期的參考。現階段橋梁監測技術項目著重於地震災害監測與用路使用與服務性的監測，尚缺乏針對洪水可能引致橋墩基礎沖刷災害可靠的監測技術，主要原因除了學理上探討現地橋梁沖刷現象時，需同時考量橋梁結構特性、基礎土壤條件與河川水流流況等互制影響相當不易外，而對於現地橋梁基礎欲準確監測複雜的沖刷流況困難度更高，導致開發現地橋梁沖刷監測技術需突破之技術瓶頸及資源需求甚高。本文將簡述本中心於多重災害橋梁監測技術研發現階段之成果以及目前於現地橋梁建置試辦應用實例所獲取之經驗。以現階段實驗室技術發展現況而言，包含沖刷監測機制感測單元的開發、感測資料傳輸系統的應用、動床水工試驗水槽的建置與規劃，於現地橋梁建置試辦應用實例包含國道1號及國道3號大甲溪段橋梁、新后豐大橋、跨濁水溪之國道1號中沙大橋以及跨高屏溪之新雙園大橋等現地橋梁安全沖刷監測系統建置資訊概述。

二、實驗技術發展現況

本中心開發之橋梁安全監測系統首要著重技術之可應用性與監測資料之可靠性，近幾年橋梁沖刷監測技術需求逐漸受到相關單位的重視，產官學界也針對橋梁安全沖刷監測議題陸續投入研發資源，因此歷年來本中心研發團隊針對橋梁沖刷監測機制感測單元已開發出多種不同感測模組，包含應用光纖光柵感測元件之光纖沖刷計、整合微機電製程元件建構之沖刷感測計、沖刷磚、漂浮磚及近期研發中之視頻沖刷磚等元件。此外，針對橋梁沖刷試驗規劃與執行，本中心藉由建置動床水工試驗水槽，對於受沖刷橋墩基礎正進行一系列研究性的實驗探討，本節依各研發階段之感測模組及試驗水槽建置工作概要說明如下：

(1)光纖沖刷計(林詠彬等人, 2005): 應用光纖於土木結構感測具有許多優點與特色，技術上也已趨向成熟發展階段，光纖沖刷計係應用光纖光柵感測元件製作成具沖刷

定性式感測機制單元(如圖 1)，各感測單元可佈建於現地橋梁基礎下方不同高程位置，因埋置土層與受水流沖刷狀態下感測單元定性上產生的訊號不同，可藉此判別基礎下方不同高程是否為受沖刷狀態，而得到基礎沖刷深度的變化資訊。此技術曾於 2004 年艾利颱風期間應用於台中大肚橋成功量測得現地沖刷深度資訊。

(2)微機電製程感測沖刷計：應用微機電製程壓力感測元件於沖刷監測技術上，除了可有效降低感測元件製作硬體成本並縮小感測單元之體積外，同時後端可較容易整合於相關開發中之先進訊號傳輸系統，如無線感測網路及遠端監測控制系統。藉由光纖沖刷計開發成功的經驗，本中心應用類似的現地佈建方式與感測機制，將微機電製程感測元件製作成具沖刷定性式感測機制單元(如圖 1)，並將感測訊號與無線傳輸網路系統進行整合開發，以建構一套具經濟性與訊號可靠性的橋梁安全沖刷量測系統為目標。

(3)沖刷磚與漂浮磚：應用微機電製程振動感測元件，本中心研發出沖刷磚與漂浮磚機制量測沖刷深度資訊(如圖 2)，沖刷磚及漂浮磚均可埋置於橋梁基礎下方，當受到水流沖刷流況改變感測單元束制條件時，沖刷磚可感測得沖刷振動訊號提供深度資訊，而漂浮磚將上浮至水面並發送深度訊號，藉由水面上方之訊號接收器判別沖刷深度資訊。

(4)視頻沖刷磚(如圖 3)：近期本中心正研發新式沖刷感測元件除了保有沖刷磚之感測特性外，同時應用視頻感測功能達到沖刷深度量測效果。現階段已於國道 1 號中沙大橋初步完成現地橋墩基礎感測元件安裝作業，將持續針對此種感測元件進行測試驗證與系統整合工作。

三、現地橋梁建置試辦應用實例

現地橋梁安全監測系統建置試辦作業可直接驗證所開發的沖刷量測技術與整合之系統應用於現場的可行性，目前本中心已於大甲溪段國道 1 號橋梁、國道 3 號橋梁等河段安裝橋梁沖刷監測元件，並不定期至現地進行系統維護作業與改善。近期並於國道 1 號中沙大橋與雙園大橋等砂質河段建置試辦性橋梁安全監測系統，持續進行現地遠端資料蒐集及監測系統評析建置研究工作。以大甲溪段建置試辦系統為例，監測橋墩配置如圖 4 所示，現地採用無線傳輸方式配合有線光纖網路將感測訊號傳送至遠端伺服器之資料庫，同時規劃建構整合式的橋梁安全監測平台，將各現地監測橋梁資訊及實驗室水槽試驗資料以網頁介面進行展示與監控，後續將提供給橋梁安全資訊判讀及防救災行動參考使用。現地橋梁除橋墩沖刷深度監測資訊外，也針對河川水位、水流流速及橋梁振動等資訊進行蒐集，針對多重災害特性對監測橋梁的威脅進行防範研究與監測技術的提昇。

四、橋梁安全監測平台與區域定址服務系統應用

國家地震中心與國家網路中心於本年度進行技術合作，已初步完成橋梁安全跨領域監測系統網路資料庫之系統建置作業，整合國震中心 98 年度獲得交通部高速公路局之「高科技橋梁檢測系統建置試辦計畫」三年研究計畫所建置監測平台，並將

上述之網路資料庫延伸應用區域定址服務系統(Chow 等人, 2006), 建構可共用橋梁安全監測資料之網路服務系統平臺。

(1)區域定址服務系統: 目前智慧型手機其最熱門的服務莫過於區域定址服務系統(Location Based Service, LBS)。LBS 是基於位置服務的一種, 透過具定位技術的行動裝置找出使用者所在的位置, 並根據位置提供使用者所需的相關服務, 一般行動裝置透過 GPS 與網路通訊, 在地理資訊系統平台的支援下, 為使用者提供相應服務的一種增值業務。LBS 定位服務的提供首先要由裝置內的 GPS 或由其他輔助定位方式計算出使用者的地理位置, 然後傳遞坐標與其他所需的資料至 LBS 定位服務提供者, 經系統結合, 處理過後的數據便可作為定位相關的應用, 最後再將這些應用或服務回傳給使用者的行動裝置或其他資訊應用系統, 例如當橋梁監測到有危險須禁止通行時, 可透過 LBS 告警橋梁附近的人, 以避免生命財產的損失。

(2)Web-XML 服務: Web 服務(Web Service)常使用於 LBS 應用中, 由於 LBS 主要將資料收集於資料伺服器群中, 提供不同介面設備的界接與存取, 而 Web Service 利用通訊協定將資料以使用者要求方式提供, 其中資料格式往往需要統一規格才有辦法將資訊提供給不同來源。

(3)LBS 橋梁監測定址系統: 行動展示介面與地理資訊系統結合展示, 將利用 Android SDK 開發以 Android 為環境的監視與地理資訊系統, 利用 MVC 架構設計應用程式流程。實作地理資訊系統整合監測資料。

(4)動態事件回饋模組: LBS 資料中心的資料庫設計以容易資料分享的方式儲存, 並利用 XML 格式提供各種應用服務作資料交換。使用者可透過電腦網頁瀏覽方式查詢預報資訊外, 亦可透過行動裝置搭配 GPS 獲得 LBS 服務, 行動裝置透過本身附有的 GPS 服務, 獲取目前的位置, 利用此位置跟 LBS 資料中心索取該位置附近的預報資訊, 最後再透過 Google Map 與預報資訊將結果展示。

(5)行動地理資訊瀏覽端: 行動裝置的系統環境選取部分, 系統使用 Android 系統環境, 利用 Android Google API 實作, 利用 Android 上提供的模組以達到 LBS 服務, 並結合 Google Map 行動版地理資訊系統, 達到橋梁 LBS 監測服務及相關增值服務。行動地理資訊瀏覽端上的介面主要以地理資訊展示為主, 背景服務定時擷取監測預報資訊, 並且將瀏覽者所在位置附近的監測警示資訊列出, 透過圖文一起展示讓瀏覽者更快速與輕易的了解附近橋梁狀態(如圖 5), 此外另可查詢某一監測點的細部資訊。

五、橋梁安全監測系統水工試驗驗證

本計畫所建置位於水利署新店辦公室試驗場之水工模型進行模型試驗, 進行重現期大流量之水工試驗, 並分別使用水尺及電磁流速儀量測斷面各點位之水深及流速。

試驗中土壤承载力之安全係數計算, 當剩餘埋置深度小於 1 公分時會達到臨界破壞條件, 然而當沖刷深度超過埋置深度實則發生基礎掏空之不穩定傾倒, 加上試驗中之不確定因素, 以及由沖刷歷時曲線觀測可看出, 沖刷歷程之第二階段, 沖刷

淘蝕與回填交互作用影響，產生拉鋸，沖刷深度起伏不定，因此於試驗中確切預測破壞時間及破壞模式實屬不易，並因控制破壞模式之剩餘埋置深度過小，亦不容易以量測之方式驗證破壞之確切發生原因，故於現階段之試驗所得之結果為當剩餘埋置深度小於 1 公分或沖刷已達基礎底部時將產生破壞，因此縮尺模型沖刷監測系統對此安全標準之量測十分重要。

本系統已建置於現地橋梁，然現地橋梁受環境因素所限制，不能期望也無法達成傾倒之安全預警與傾倒狀態，本研究利用前述所研發建置沖刷感測系統，建置橋梁縮尺模型，並使用所開發 LBS 監測預警平台，於水工試驗所進行橋梁傾倒與預警試驗，透過水工模型水理試驗獲得水道性質，與水工模型縮尺試驗，規劃並建立橋梁傾倒展示，利用 LBS 平台可即時觀測橋梁狀況，於橋梁傾倒前發出預警並封橋。

經多次試驗測試，並規建立實驗標準流程，當橋梁開始試驗後，於網頁即顯示橋梁沖刷深度、水位、流速等資訊，並於橋梁達臨界狀態前發出預警，於行動值封橋行動發出後，橋梁持續沖刷，橋梁發生沉陷(圖 6a)，最後傾倒破壞(圖 6b)，藉由此試驗，可模擬並觀測橋梁於洪水中，其沖刷倒塌與預警裝置之可行性，其發展沖刷坑也可供沖刷公式與倒塌行為的相關研究使用，此試驗最終也舉辦相關成果展示，提供橋梁管理單位與工程先進至現場參觀，期對台灣橋梁安全提供更完整研究。

六、展望

橋梁建設為國家發展中重要的一環，其耐震、沖刷與耐久性能力的良窳對於國家發展永續環境影響甚鉅。除相關監測計畫之持續進行並研發更為先進的監測感測系統外，其耐久性、可靠、穩定性為未來研發之重點，此外，為因應數據傳輸技術之進步，本計畫亦將持續發展雲端技術，開發不同系統的手持裝置介面，以便工程人員可經由手持裝置查詢相關資訊，並即時於手機進行多方視訊、定位、地圖、影像及網頁預警通知之防災與救災服務。

參考文獻

1. 林詠彬、張國鎮、陳俊仲、吳信宏、李路生(2005)，「光纖監測於橋梁沖刷安全之研發」，結構工程，Vol.20，No.1，pp. 111-124。
2. Chow, C. Y. Mokbel, M. F. and Liu, X., "A peer-to-peer spatial cloaking algorithm for anonymous location-based service", Proceeding GIS '06 Proceedings of the 14th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems, pp. 171 - 178, 2006.



圖 1、光纖及微機電製程感測沖刷計

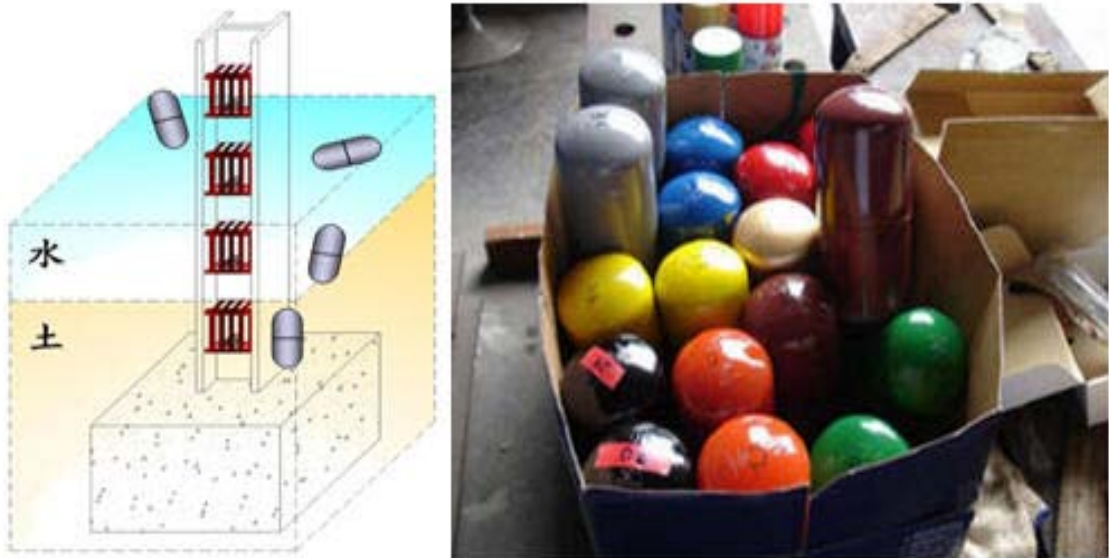


圖 2、沖刷磚與漂浮磚

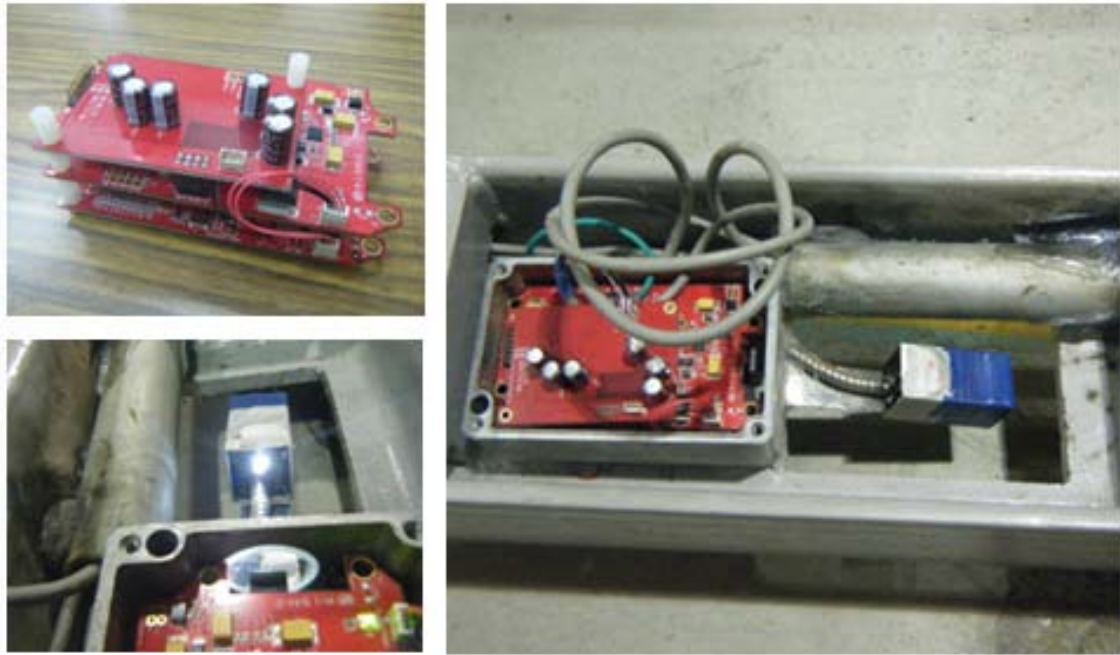


圖 3、開發中之視頻沖刷磚

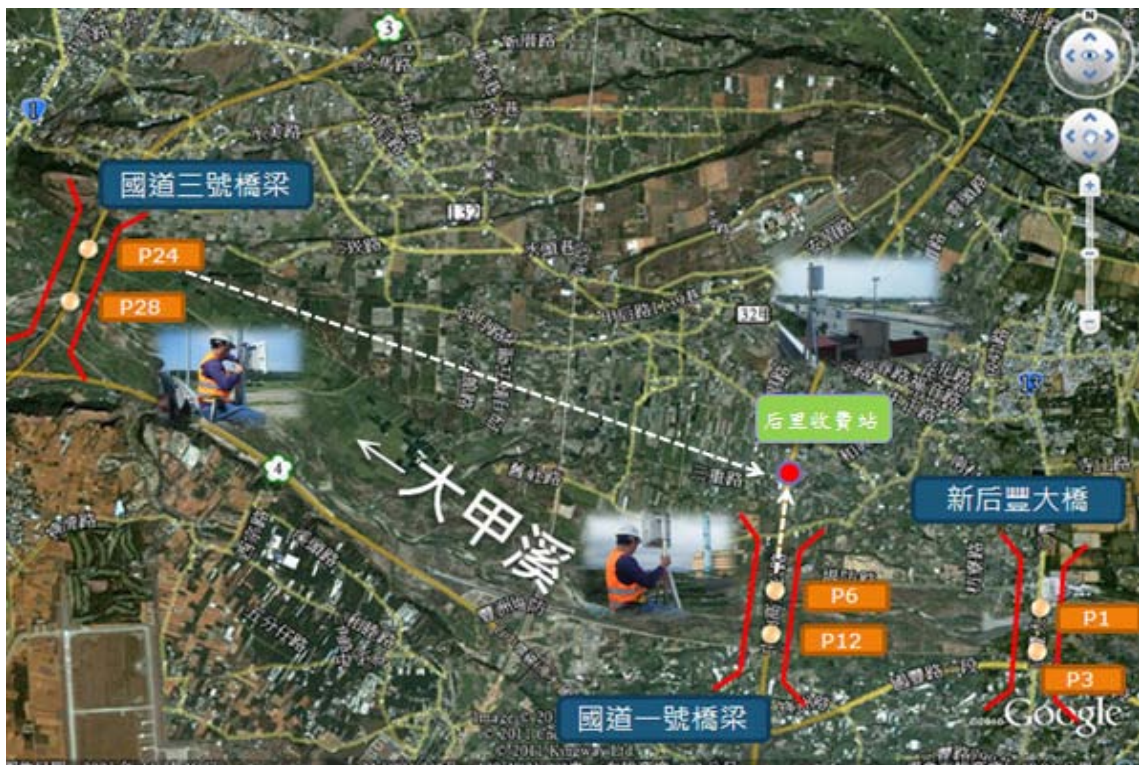


圖 4、大甲溪段監測橋梁橋墩配置



圖 5、橋梁防救災手機即時監測與檢測影像平台



(a)



(b)

圖 6、橋梁沖刷後發生沉陷與破壞 (a) 沉陷 (b) 倒塌