

橋梁沖刷防災 雲端監測技術

林詠彬、古孟晃、李柏翰、廖泰杉、吳志泓、陳倫奇

橋梁是交通的重要樞紐，橋梁損壞會造成人命及財產的損失，因此不容輕忽。然而現今僅依據經驗，目視水位高程以評估橋基安全，實非長久之計，而有必要發展出適合使用於台灣橋梁複合災害的即時預警監測系統。

台灣除受地震危害之外，平均每年侵襲 3.5 次的颱風造成的災害更是重大。颱風豪雨不僅沖蝕河床與海岸，更危及跨河構造物與港灣海岸結構，嚴重影響河川與海岸國土地形地貌，並威脅到人民生命財產的安全。

目前台灣大小橋梁有二萬餘座，它們都是交通的重要樞紐。然而有些老舊橋梁除了耐震強度不足外，風雨沖刷所導致的基礎裸露更危害到橋梁的穩定性與承載能力，若損壞會造成人命及財產的損失，這些問題不容輕忽。

橋梁安全的重要性

民國 89 年碧利斯颱風造成高屏大橋斷落，有 22 位用路人墜橋受傷；90 年桃芝颱風造成台中市東門橋斷裂，有母子二人開車經過而跌落，不幸造成 1 死 1 失蹤；97 年辛樂克颱風來襲，后豐大橋斷裂造成 2 人死亡 4 人失蹤的重大事件；98 年 8 月莫拉克颱風造成台灣中南部一百多座橋梁斷裂，四十多座交通部公路總局管轄的橋梁受創嚴重，其中雙園大橋有 16 座橋墩被沖垮，橋面斷落 460 公尺，造成車輛墜河，民眾傷亡失蹤。



台中后豐大橋



嘉義五虎寮橋

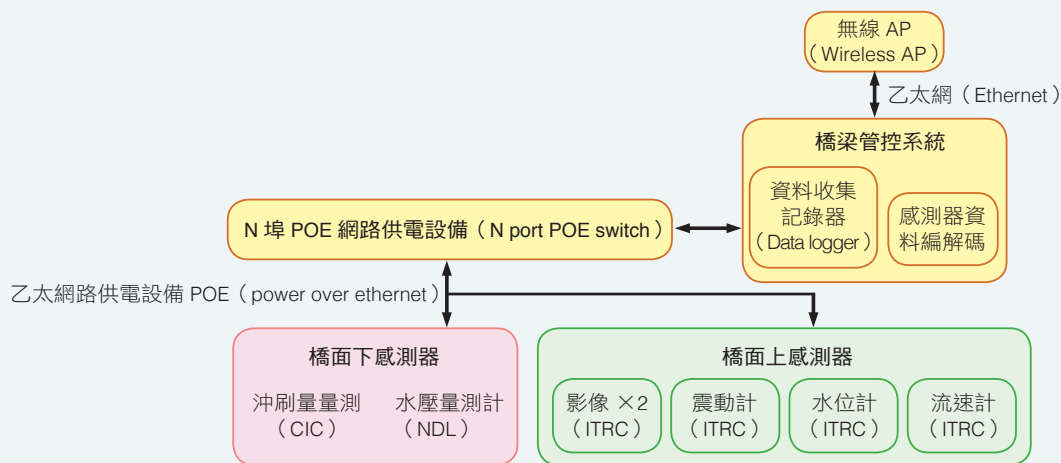


高雄甲仙大橋



高雄雙園大橋

橋梁在颱風侵襲期間的沖刷倒塌



橋梁管控系統與周邊感測器架構圖

綜合國內橋梁現有的問題主要是：

- (1) 橋齡老舊，不同時期建造的橋梁所適用的耐震設計規範不同，老舊的橋梁耐震能力堪虞。
- (2) 河川上游經常施作水壩及各種攔水設施，改變河川的平衡，致使下游河床流失，影響河道的穩定性。
- (3) 過度開採砂石使得河床流失、地質脆弱且容易遭受風化及沖蝕，造成橋基裸露，影響橋梁結構的安定性，即使施作橋梁及樁基保護工程也僅能保障短期的安全。
- (4) 部分縣市政府因經費問題無法設置專人負責橋梁管理，地方政府缺人又缺錢，橋梁維修作業一拖再拖，加上超載車輛過度使用造成橋接裂縫擴大、橋面版經常損毀，影響行車安全。



水下感測器節點

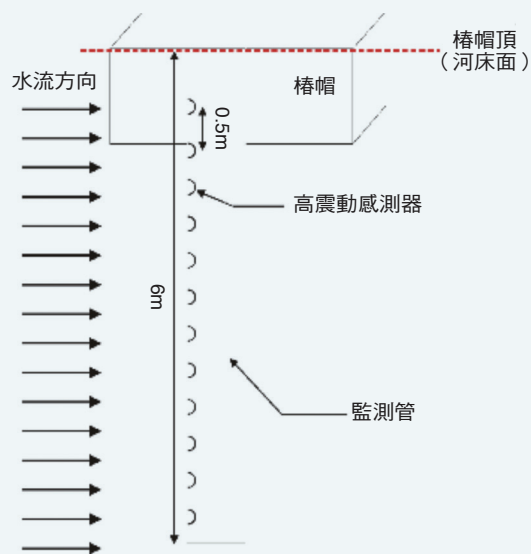
雲端監測系統

為了讓民眾及政府單位能在第一時間得知橋梁的即時資訊，國家實驗研究院開發了一套監測系統，這系統由國家實驗研究院所屬單位，即國家地震工程研究中心（國震中心）、儀器科技研究中心（儀科中心）、國家奈米元件實驗室（奈米中心）、國家晶片系統設計中心（晶片中心）、台灣颱風洪水研究中心（颱洪中心）及高速網路與計算中心（國網中心）共同開發。

有些老舊橋梁除了耐震強度不足外，風雨沖刷所導致的基礎裸露更危害到橋梁的穩定性與承載能力，若損壞會造成人命及財產的損失。

這項研究主要是把橋梁管控系統裝設於濁水溪流域的四座橋，分別是「中沙大橋」、「名竹大橋」、「自強大橋」及「西濱大橋」。在感測器方面，分為橋面下感測與橋面上感測，橋面下感測以國震中心、晶片中心與奈米中心製作的應力感測節點、沖刷量量測計與水壓量測計為主。橋面上感測則包含影像模組、三軸震動計、水位計、流速計四種物理量量測儀。

感測器安裝完成後由 Wi-Fi 無線通訊系統傳至堤岸上的中繼點，再以有線網路把資料傳送至國網中心，資料經分析整理後立即與網頁同步，使民眾可以在第一時間得知橋梁的狀況。萬一風災造成斷電，則會啟動備用電源，系統會及時儲存資料，等電力恢復正常後繼續傳輸。

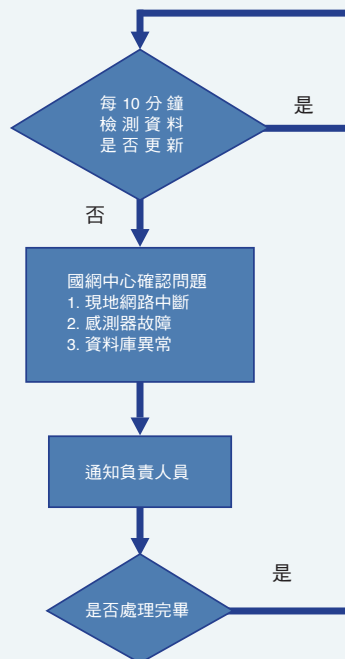


沖刷監測系統安裝示意圖

橋墩沖刷監測元件

理想的沖刷監測計應能包括水位高程變化、河床深度變化、基礎沖刷外露高度等主要監測項目。橋墩沖刷監測的方式依感測器的不同而有差異，但最重要的是必須滿足台灣河川沖刷特性的要求，尤其是洪水除了泥沙泥漿外，還包括巨大漂流木、流石的撞擊，即使監測感測元件埋設在橋墩後方，不會正面承受洪水衝擊，橋墩後方的渦流也會帶引流石與流木撞擊監測元件。

目前開發的水下感測器節點已能夠克服流石與流木撞擊的問題，其主要技術是把感測器節點裝設在金屬球中，再把金屬球鎖在鋼構管上並埋設在橋墩下的泥沙中。當金屬球因洪水沖刷而裸露時，由金屬球量測到的加速度訊號就可判斷目前沖刷的

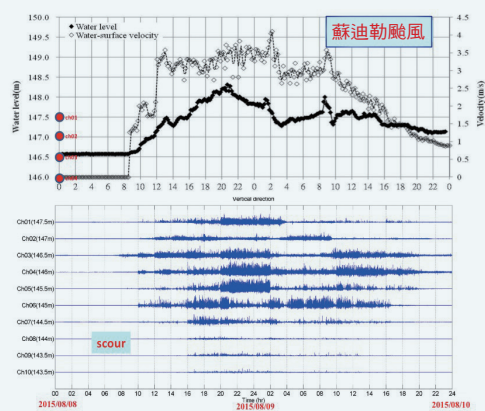
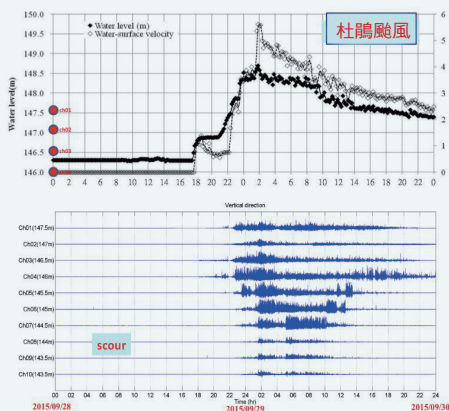


檢測與通報流程圖

橋墩沖刷監測的方式依感測器的不同而有差異，但最重要的是必須滿足台灣河川沖刷特性的要求。



橋墩沖刷監測系統

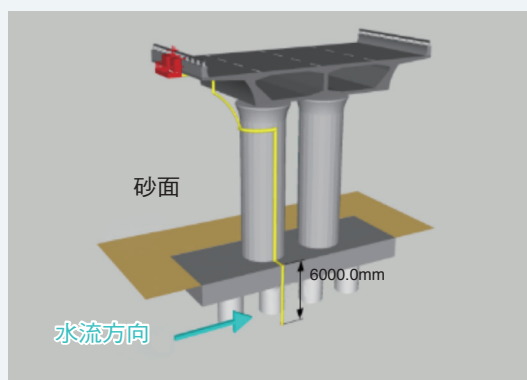


深度，這樣新型的鋼構管也有隨時可抽換的優點，增加後續維護工作的方便性。在現地橋墩上也安裝了網路攝影機，由傳回的即時畫面可以得知當前的水位高度，為橋梁的安全多一份保障。

監測系統現地安裝

為了建置現地橋墩量測機制，必須安裝橋梁安全預警的感測器，並確保現地量測的穩定性。從感測器取得的資料可分析不同的即時沖刷監測系統效能，互為印證即時沖刷深度量測資料，以做為颱風期間河川水位與沖刷深度的即時監測，並掌握橋梁基礎發生不安全狀態的臨界值，提供橋梁管理單位採取緊急應變作業的判斷，藉以改善目前僅以水位高低做為封橋依據的不足，對於提升國內橋梁耐洪能力的維護管理有所助益。

建構的沖刷監測系統會先以橋梁基本結構尺寸及土壤參數輸入分析，求得可能發生流速及水位高所對應的沖刷深度，建立水位高、流速及沖刷深度數據資料，由監測系統即時量測的數據可有效掌握橋梁穩定狀態，提供橋梁管理單位洪水期間橋梁管理時的重要參考訊息及依據，並在適



系統安裝位置示意圖

當時機啟動緊急應變措施，如封橋撤離等，避免橋梁無預警破壞或倒塌。

值得一提的是，為了能夠準確獲得沖刷深度，在橋墩下每 50 公分裝置一顆金屬球，每顆金屬球都由網路線連接到 POE 網路供電設備，接收到即時訊號後再傳輸至國網中心。

監測儀器雲端監控

目前監控平台設計是每 10 分鐘就自動利用網路、影像、數據等參數檢測感測器



雲端即時橋梁安全監測網頁

與監視系統的運作狀況，若發生異常時會自動以 E-mail 通報給相關人員，待處理完畢後再回報給國網中心，由國網中心確認運作是否正常。

目前也完成了網頁以及手機、平板電腦的 APP，網頁部分可即時展示橋體三軸感測器、水位、流速、橋墩加速度冲刷監測等歷線圖，並設有現場影像、不同顏色的警示燈號，以及水位、流速的動畫，讓一般民眾可以清楚得知目前橋梁的安全狀況，網頁中也有快速傅立葉轉換（fast Fourier transform, FFT）分析圖供專家學者參考。

手機及平板電腦部分目前只有安卓（Android）系統開放下載行動 APP 裝置，可透過手機、平板電腦監看即時監測資料、現場影像，以及調閱歷史資料，同時可顯示橋梁的安全狀況。

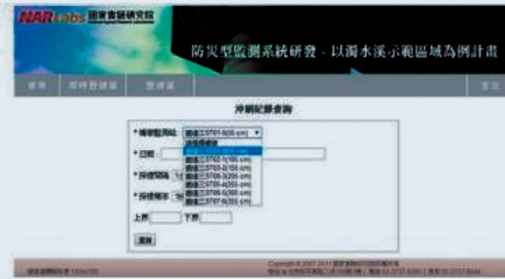
橋梁是交通的重要樞紐，洪水冲刷會使基礎裸露危害橋梁的穩定性與承載能力，導致橋梁損壞造成人命及財產的損失，因



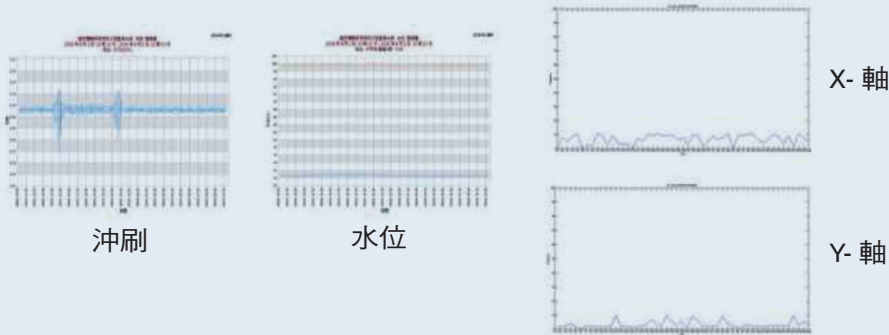
行動介面展示

● 歷線圖

- 沖刷
- 水位
- 流速



FFT 分析圖



網頁資料歷史分析畫面

此不容輕忽。然而現今僅依據經驗，目視水位高程以評估橋基安全，實非長久之計，有必要發展出適合使用於台灣橋梁複合災害的即時預警監測系統。

考量現地施工環境、洪水衝擊等諸多因素，國家實驗研究院已在大甲溪、濁水溪、高屏溪三大流域裝設橋梁複合災害即時預警監測系統，透過地震和洪水沖刷與橋梁基礎的穩定性及安全性能資料進行分析。藉由數據比對與數值模型的逐次修正，期望發展出適用於本土橋梁與流域特性的

橋梁危害分析模型，配合即時監測預警系統的建置，提供橋梁與流域更多的安全。

林詠彬、古孟晃、李柏翰
國家實驗研究院國家地震工程研究中心

廖泰杉
儀器科技研究中心

吳志泓、陳倫奇
國家高速網路與計算中心

