

# 橋梁安全監測跨領域整合平台

## Cross Field Integration Platform for Bridge Safety Monitoring

主管單位：財團法人國家實驗研究院

林詠彬<sup>1</sup>

古孟晃<sup>1</sup>

張國鎮<sup>1</sup>

Lin, Yung-Bin<sup>1</sup>

Gu, Meng-Huang<sup>1</sup>

Chang, Kuo-Chun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

### 摘要

本計畫擬進行橋梁即時監測系統與橋梁安全分析之整合應用，共同推動橋梁地震與洪水沖刷多重災害之防減災研究，並與橋梁公路管理單位及水利單位密切合作，其現地橋梁監測與量測所獲得之資料，包括颱風上游水域降雨、河系流域之水文、水理調查資料、颱風洪峰水位、橋梁橋墩基礎颱風期間沖刷、回淤、水位以及相關流速、加速度動態資料、傾斜計等現地橋梁監測資料，將建構資料庫於該一平台，此等相關資料完成後將提供給執行國科會相關氣象、水利、大地、結構、橋梁等學者，從事相關數值模型建構，以便進行包括颱風降雨與河床河道變遷、河床穩定、健康診斷與安全、橋墩基礎穩定、基礎耐洪設計、沖刷與橋墩基礎型態等不同研究題目相關之分析研究。此一研究成果將可持續提供學術領域之整合研究平台，期能發展橋梁地震與沖刷監測預警系統，藉由高科技橋梁即時沖刷監測系統之規劃建置與其相關監測資料的判讀、分析，確保橋梁於颱風侵襲中仍能確保其功能性以及橋梁安全。

**關鍵詞：**橋墩沖刷、橋梁安全、無線網路

### Abstract

The aims of this project is focus on the integration of the real time monitoring system and analyze the bridge safety to reduce the multi-hazard of bridge such as earthquake and flood, etc. This project also co-operated with the related management units for real time monitoring. The field data such as rainfall, hydrology investigation, water level of flood peak, scour depth and related velocity are constructed for the database of proposed monitoring platform. The monitoring results can be provided for building the related numerical model in different topics such as the stability analysis of bridge foundation, bridge design during the flooding, diagnosis of bridge health, etc. The proposed monitoring system not only can provide the data for research, but also can be applied to develop the related warning system for ensuring the original function and safety of the bridge.

**Keywords :** pier scouring, safety of bridge, wireless.

## 一、前言

本計畫以台灣重要橋梁為研究探討對象進行相關研究整合。本計畫將整合公路、水利與顧問公司之實務經驗，持續配合國科會永續學門相關研究計畫，整合專家學者參與本研究計畫，透過有效整合管理之機制，及相關學者專家參與的方式，確保計畫目標「橋梁安全監測跨領域整合研究平台」之達成。

目前公路總局颱風期間所採用之封橋水位為橋版底下1.5公尺，但鄰近海口之雙園大橋，在颱風期間時，橋梁卻在洪水高度遠低於此一封橋水位下倒塌，對此需特別針對橋梁沖刷情形加以深入研究。本計畫現地監測系統與現地調查獲得之資料除提供公路單位使用外，監測所獲得之數據與資料亦將提供國內學者進行後續資料之分析與跨領域之合作研究。其目標為研發有效而且低成本之現地橋梁地震與洪水沖刷監測系統，作為相關主管單位於颱風期間應變政策與決策擬定之依據與參考，此一研究平台建構完成後，將可供國內土木結構分析、大地、水利與結構健康診斷監測等專家學者進行後續資料之分析與跨領域之合作研究。

因此，本計畫將藉現地橋梁試驗，探討河系流域之河川水文、水理特性、地質與河床質條件、歷年河道變遷情形，以及附近影響河床斷面穩定性之因素、橋墩本身影響沖刷深之相關因素、河床與橋基保護工之現況與有效性等，分析目標橋梁的耐洪狀況，並研究橋梁所在區域之輸砂與河床穩定特性，進行數值模型與分析，從颱風警報、河系流域降雨預報與洪峰警報，研發有效而且低成本之現地橋梁地震與洪水沖刷監測系統，建立洪水沖刷封橋監測預警及開放通行…等決策支援。

本計畫擬進行橋梁即時監測系統與橋梁安全分析之整合應用，共同推動橋梁地震與洪水沖刷多重災害之防減災研究，並與橋梁公路管理單位及水利單位密切合作，其現地橋梁監測與量測所獲得之資料，包括颱風上游水域降雨、河系流域之水文、水理調查資料、颱風洪峰水位、橋梁橋墩基礎颱風期間沖刷、回淤、水位以及相關流速、加速度動態資料、傾斜計等現地橋梁監測資料，將建構資料庫於該一平台，此等相關資料完成後將提供給執行國科會相關氣象、水利、大地、結構、橋梁等學者，從事相關數值模型建構，以便進行包括颱風降雨與河床河道變遷、河床穩定、健康診斷與安全、橋墩基礎穩定、基礎耐洪設計、沖刷與橋墩基礎型態等不同研究題目相關之分析研究。此一研究成果將可持續提供學術領域之整合研究平台，期能發展橋梁地震與沖刷監測預警系統，藉由高科技橋梁即時沖刷監測系統之規劃建置與其相關監測資料的判讀、分析，確保橋梁於颱風侵襲中仍能確保其功能性以及橋梁安全。

## 二、研究方法

本計畫本年度選定高屏溪感潮段，以台17線跨高屏溪之新雙園大橋為研究標的，進行橋梁監測儀器開發建置研究工作，整合本計畫自行研發之監測系統，包括多項具創新性的橋梁沖刷感測元件與監測資料網路傳輸設施應用。另因配合公路總局新雙園大橋改建工程，提前於100年配合工程進度安裝橋梁監測系統下部工程。另

與國家網路中心於本年度進行技術合作，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，並將網路資料庫延伸應用於區域定址服務系統(LBS)，建構可共用橋梁安全監測資料之網路服務系統平台。

## 2.1 水文、水理資料整理分析

水文水理資料，包括周遭環境之變遷，與河道河槽之變異息息相關，因此歷年之河床斷面資料、河床保護工之設置，橋墩基礎之補強等，應加以蒐集、整理分析。本項工作將和颶洪中心共同進行，主要工作包括：

- a. 彙整橋梁橋址，上下游至少各500公尺範圍內之水文、水理資料。
- b. 調查橋梁附近影響河床斷面穩定性之可能因子。

## 2.2 橋址沖刷現況檢查

橋梁發生倒塌斷橋前，往往係經歷數次颶洪豪雨之沖刷後，由於河岸之側向侵蝕崩退、河道之深槽移動、...等河道流路變遷，即古人所云之「十年河東、十年河西」，吾人時常可看見在每次洪流通過期間，橋址上下游河岸變遷與高灘地逐漸崩退之現象，而造成橋梁基礎嚴重裸露的沖刷歷程，進而導致原理置於高灘地內之橋基嚴重裸露。若橋基大幅沖刷裸露後，將引致橋基之穩定度降低或穩定失衡，若作用於橋梁之外力的影響已大於橋梁結構所具有之穩定度時，將造成橋梁失去平衡，產生傾斜、移位或下陷、崩塌損毀的情事。亦因此，如何就橋梁災害歷史成因的深入瞭解、橋梁沖刷潛勢與流路變遷趨勢之評估，乃至於裝置監測預警系統以偵測橋梁的沖刷與變位情形，據以研判橋梁之狀態，以利在颶洪沖刷歷程中採行相關緊急應變處置作為，進而確保橋梁與行車安全，乃當前急迫之任務。故研發並建立高科技橋梁檢監測系統，在斷橋災害發生前，橋梁管理單位能先行採取應變處置措施，以確保用路人之生命安全，實乃極為重要之研究課題。

然而在將監測儀器系統安裝於橋墩前，吾人則須先就跨河橋梁與河道沖刷之動態變化現象加以瞭解，此乃其涉及橋址上下游河相演變之歷年河道平面流路變化情形。故未來乃將先就國道一號中沙大橋跨河橋梁的歷年平面流路變遷與沖刷災因進行調查與判讀分析，預先研判未來之河道變遷趨勢與可能之未來沖刷潛勢與災損機制。以作為本計畫所擬安裝之監測儀器系統裝置於最適之橋墩位置的選取依據、與監測橋梁沖刷動態行為的系統儀器所觀測到的數據之準確與否的判讀參考。

為達上述目標，首先須於洪水或災損發生前，經由計畫橋梁之過去沖刷歷史資料的蒐集與分析，快速得到過往沖刷災害成因與未來沖刷趨勢評估，以達到對於計畫橋梁之過往沖刷歷史的瞭解。再者，為助於颶洪期間橋梁沖刷動態行為之觀察與研判、或於沖刷災害發生後，迅速地設計有效之因應對策，須建立可快速查詢跨河橋梁之沖刷歷史資料庫，據以協助觀測橋梁沖刷動態行為時之研判參考依據。爰此，基於對跨河橋梁(下部結構之基礎沖刷)、及周邊河段之河道環境做長期性歷史資料之記錄與蒐集，若能進行具完整性、又有系統化的歸納分類與沖刷歷史資料庫建置，並深入瞭解其歷年基本相關特性，將有助於本計畫採取積極可行之高科技橋梁檢監測系統建置之方案規劃設計與安裝實測。為達前述目的，則吾人必須先瞭解研究案

例橋梁本身的相關基本資料與沖刷災害歷史。因此，橋梁歷年相關資料諸如：橋址溪段之河道基本資料、橋梁基本資料、施工資料、橋梁耐洪調查表格、歷次颱風沖刷之受災資料、及航照影像、...等項目便應先行彙整建檔，以對兩座計畫橋梁之沖刷災損與維修養護歷史有所瞭解，作為儀器安裝之最適橋墩位置的選取依據。茲將研究方法說明如下：

1. 橋梁相關基本資料蒐集與彙整：本計畫之主要工作內容，在建置橋梁之沖刷歷史資料，針對不同時期橋梁或其保護工...等之沖刷成因進行分析探討。首先即針對橋梁沖刷相關資料進行蒐集，歸納彙整之橋梁基本與歷史資料擬蒐集項目如下：橋梁各時期之基本資料、歷次橋梁施工相片及影片、橋梁建造、修復、復建、拓寬工程等竣工報告及相關圖說、不同時期之橋梁保護工建造(修復、復建)竣工報告及相關圖說、蒐集歷年橋址之河床高程變化、蒐集橋址附近地質資料、沖刷巡查檢測紀錄、歷年沖刷災害及歲修養護資料或文獻報告、歷次空中勘察或勘災紀錄、歷年航空照片或相片基本圖。
2. 河川相關基本資料蒐集與彙整：橋梁沖刷破壞成因除受到橋梁基礎型式、歷年歲修維護工程之施設情形、沖刷受災歷史與致災機制等影響外，河川水文、水理特性(如：重大颱風之洪峰流量規模、單寬流量大小...等)、地質與河床質條件、歷年河道變遷情形、...等橋址所在河川相關特性亦為重要之影響因素。有關橋址處河川相關基本資料擬蒐集項目如下：橋址地文概況、河川治理計畫、河道斷面、河床質、鄰近構造物基本資料、鄰近水位站之流量資料等。
3. 橋梁沖刷歷史災害資料之蒐集與建置：高屏溪雙園大橋之沖刷歷史災害資料蒐集與彙整，應根據其沖刷受災歷史事件(如颱風、豪雨、...等)，分別針對受災前(颱風前)、受災中(颱風期間)、受災後(颱風後)等不同時期蒐集不同之沖刷歷史相關資料。颱風前屬橋梁與河川現況資料，將有助於瞭解沖刷前之初始現場狀況；颱風中屬洪水流況、沖刷與搶險過程等過程之記錄，則有助於瞭解洪水沖刷之動態過程與跡象，以供研判沖刷受災成因、並可作為橋梁動態結構行為之比對參考；颱風後則屬災損狀況、搶修與復建等規劃及施工相關資料，除瞭解橋梁沖刷受損程度及工程復建情形外，亦是下一次颱風事件(之初始現場狀況)的颱風前基本資料。以颱風或豪雨事件為基準之橋梁沖刷歷史資料蒐集與建置，將可清楚瞭解造成橋梁沖刷災害之始末，探討其災害成因。
4. 橋梁沖刷災害成因探討、沖刷潛勢與流路變遷趨勢之研判：臺灣橋梁沖刷破壞災害之成因甚為複雜，同一橋梁不同時期之沖刷災害，均可能有不同之沖刷災害成因。因此，為能迅速清楚的明瞭橋梁沖刷災害成因，本計畫未來擬以災因流程圖、搭配現場相片之展示方式，來探討並瞭解計畫橋梁於各時期之沖刷災因。再者，將蒐集橋址處歷年航照影像，進行河道流路變遷之判讀與比對，並調查橋梁附近影響河床斷面穩定性之因素、橋梁本身影響沖刷深度之相關因素、河流與橋基保護工之現況與有效性等，以研判未來計畫執行期間之橋梁沖刷潛勢與流路變遷趨勢。其中，蒐集歷年颱風受災之資料，則可增進對橋址上下游河道狀況及橋梁受災歷史情形的全面性瞭解、初步分析目標橋梁的耐洪現

況，並據以研判未來河川流路變遷趨勢與橋梁沖刷受災潛勢、及進行沖刷深度調查與確認、或進行必要之補充地質調查，作為儀器安裝之最適橋墩位置的選取依據。

進行橋梁耐洪調查表格時應考慮之因素，至少應包括橋梁附近影響河床斷面穩定性之因素、橋梁本身影響沖刷深度之相關因素、河流與橋基保護工之現況與有效性諸因素。影響橋梁耐洪能力之安全因素大致可分為兩類，一為河道所造成之沖刷影響，包括橋梁附近影響河床斷面穩定性之因素、河流與橋基保護工之現況；另一為橋梁構造之耐洪影響，包括橋梁本身影響沖刷深度之相關因素。其主要工作包括：

1. 調查橋梁附近影響河床斷面穩定性之因素、橋梁本身影響沖刷深度之相關因素、河流與橋基保護工之現況與有效性等。
2. 初步分析目標橋梁的耐洪現況。
3. 沖刷深度調查與確認。
4. 進行必要之補充地質調查。

### 2.3 設置不同橋梁沖刷監測系統並進行資料蒐集

橋墩沖刷監測之方式依所使用的感測器不同而有所差異，但最重要者必須滿足臺灣河川沖刷特性要求，尤其是洪水除了泥沙泥漿外，更包括有巨大流木、流石之撞擊，即使監測感測元件晶片系統埋設於橋墩後方，不正面直接承受洪水衝擊，橋墩後方渦流亦將帶引相關流石與流木撞擊監測元件，因此監測元件之保護以及其相關設計是否可以承受橋墩後方渦流所帶引相關流石與流木撞擊乃為本計畫之是否成功之最重要條件，此外，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。

本研究利用無線網路監測系統，此一系統包括即時橋梁震動監測、即時沖刷監測等二部分，其中，即時橋梁震動監測係作為地震災害對橋梁損害監測，即時量測紀錄其訊號以供分析，並可即時進行快速地震損害評估；無線沖刷監測系統預計採用改良型沖刷磚、LED沖刷影像監視及音響音訊和奈米元件實驗室所發展的震動沖刷元件等四種不同的監測技術以便互為驗證，作為地震或颱風洪水沖刷監測橋梁安全，並透過即時影像監測網頁，可於地震與颱風期間同步獲得現地橋梁影像與安全狀況，於必要時緊急啟動欄柵封橋系統措施。

無線網路微機電感測器沖刷監測系統以無線網路通訊技術及嵌入式系統的蓬勃發展，使得無線感測網路已成為未來感測與控制系統的主流，無線網路微機電感測器沖刷監測系統除大幅提升使用及安裝的便利性外，其軟硬體設備成本也隨著技術提升及市場擴張逐年下降極具競爭優勢。無線感測網路與微機電感測器可達成大量佈建感測器的目的，同時具備低成本、低功耗、體積小、容易佈建，並具遠端雙向同步監控能力、可程式化、可動態組成等特性，無線感測網路架構整合微機電製程感測元件應用於結構監測預警系統，對國家之防災、減災與救災的貢獻極大。無線網路微機電感測器沖刷監測系統可即時監測水位、沖刷深度、回淤及現地流域流況，極適合用於現地進行預警監測。無線網路微機電感測器沖刷監測系統提供大量佈建感測器功能，可同時整合不同的感測器於同一晶片（例如：加速度計、溫度計、濕度

計、壓力計、風速計、GPS...等)，同時具備低成本、低耗電、體積小、佈建容易、網路自癒能力，並具遠端雙向同步監控能力、可程式化、可動態組成，並可傳送現地即時影像等特性，可即時監測水位、沖刷深度、回淤及現地流域流況，當達預警資訊時，此系統可即時自動傳送相關訊息於相關人員，以採取適當應變措施，極適合用於現地進行預警監測。本計畫進行下列工作：

1. 設置不同沖刷深度監測裝置，進行沖刷監測成效比較。
2. 結構監測設備之傾斜計、沉陷計、橋墩基礎水位計將同步整合於無線網路微機電感測器沖刷監測系統，並和相對沉陷計、水流速度的監測系統進行配對分析。
3. 裝設完成後微機電感測器沖刷監測系統，將視現地橋梁需要自動進行50Hz到1Hz量測，洪汛期間增加資料收集頻率。
4. 整理分析監測資料。
5. 評估比較不同沖刷監測方法之成效，據以繕寫功能規範。

## 2.4 研擬橋梁沖刷預警之安全評估程序

樁為深入土層之柱型構件，作用是將上部結構之垂直荷載通過樁將力量的傳遞至土層中，以確保結構之安全使用，樁基礎通常以樁端之點承力及樁側之摩擦阻力來抵抗軸向的荷重，而點承力及摩擦阻力與樁的斷面積、承載層之土壤特性及埋置深度有著密切關係。土壤沖刷後造成整體結構產生不穩定情況發生的原因可歸納出下列幾點（A）樁基礎承載力不足：樁體埋置深度隨沖刷深度增加而減少，使得提供抵抗軸向荷重的樁側摩擦阻力也隨之降低，而樁側在失去土壤包覆後同時造成阻水斷面增加，樁體因此承受更大的側向力及軸向荷載，當荷重超過樁本身極限承載力時結構不穩定情形隨即發生；（B）樁體自身破壞：隨沖刷深度及水壓力變化，樁體之受力情況（軸力及彎矩）也有所改變，當軸力及彎矩超過樁體所能承載的能力時，即產生破壞情形。

本研究利用有限元素分析軟體，考量水、土壤及結構間互制關係，建制合理的3D實體模型進行分析，針對不同沖刷深度、流速及壅水高度對基礎承載力及結構穩定性造成之影響，釐定結構失穩之破壞機制，同時依基樁尺寸與配筋基樁結構體破壞之軸力-彎矩交互影響曲線，與樁在各不同沖刷階段的受力情況做檢核，探討樁體本身承載能力的安全係數。

最後根據上述之分析方法，預先分析計算不同壅水高度、流速及沖刷深度下所對應承載力破壞與結構體破壞之安全係數並建立三向關係圖，供現場評估時使用，當進行洪水時現場實際執行緊急應變作業時，乃以實測之基礎沖刷深度、實際觀測之水位及流速，與預先計算好之資料比對，隨時可了解產生承載力破壞與樁體破壞之安全係數，當其中一項之安全係數下降至警戒值對應之安全係數時，應採取警戒措施，當其安全係數下降至行動值對應之安全係數時，則立即採取應變措施。本計畫進行下列工作：

1. 建立完整程序，據以計算基礎剩餘之極限承載能力。
2. 調查橋梁承受靜載重、車輛活載重等，並計算基礎所承受之力量並研訂橋梁洪災當下的安全警戒數值。

3. 建立基礎沖刷深度與安全警戒數值關係。

## 2.5 進行沖刷深度與振動模態之關連性資料

由於土壤大多為不均質的材料所組成，特性參數多且複雜不容掌握，早期分析受限於電腦輔助計算工具及相關軟體發展，在樁基礎分析時為了簡化便於計算，通常將有關土壤部分利用等值彈簧或等值樁在樁基礎元素上沿著軸方向佈設來替代，但卻無法考慮土壤基礎間之互制作用及放大效應等，對於分析結果準確性會產生影響。

為能得到更精確分析結果，本研究使用有限元素分析方法利用三維空間模型來處理複雜幾何問題，將土壤結構一併建構於墩柱分析模型中，進行整體結構（包含土壤）在不同沖刷深度狀態下的模態分析，並與墩柱之振動實驗結果做比對，釐定出隨著沖刷深度的增加和墩柱振自然頻率之間的關聯性及相互影響因子，提供基礎沖刷評估及沖刷預測使用。本計畫進行工作：

1. 建立墩柱振動模型建立橋梁結構模態分析方法。
2. 進行橋梁振動試驗，建立橋墩(Pier)墩身之自然振動頻率(Frequency)與基礎沖刷深度兩者間之關聯性，驗證墩柱/土壤介面之輸出入參數。
3. 進行不同沖刷深度的模態分析。
4. 振動模態與橋墩基礎沖刷深度關係，評估基礎沖刷預測未來。

## 2.6 GIS web 即時橋梁影像資訊平台建構

GIS系統平台由Client/Server，發展至Web GIS，提供各式API(應用程式介面)，供應用系統進行整合，目前市面上常見的Web GIS，包含UrMap，Yahoo Map，Google Map...等。提供的圖台，包含2D的地圖及衛星空照圖。本計畫建立之橋梁流速、水位高及沖刷深度交互影響資料庫研究成果，搭配即時監測設備，建立一套橋梁預警安全維護管理系統，為顧及到橋梁的安全性與使用性，本系統將取得監測系統之監控資料，透過行動值與警戒值之訂定判斷即時運算後之橋梁基樁現況是否失去穩定，並以視覺化方式呈現，以供橋梁監管單位作為封橋時機的依據。本計畫進行工作：

1. GIS系統平台之建立。
2. GIS資料交換格式平台與資料庫建立。
3. 與公路單位商討即時網頁呈現之方式。
4. 橋墩基礎沖刷深度安全預警與即時影像之建置。

## 2.7 LBS 定址救災、防災系統之開發與應用

LBS(Location Base Service)的定義是透過獲取行動用戶位置，並且在電子地圖平台協助下，為用戶提供相關應用資訊的一種服務，目前相關應用主要提供個人定址消費訊息，大都為電信業者提供多元化服務的新應用，著重於使用者生活、工作上的便利與提供緊急連絡應用，如方向導航、資訊查詢、行動商務、醫療追蹤、緊急救援等，可透過手機發出一個帶有使用者目前地理位置的資訊，讓LBS根據這些資訊來提供相關的應用服務。

鑒於以往發生颱洪沖刷或地震橋梁災害時，公路單位相關人員常需緊急調派人員前往橋梁現址勘查，主管決策人員只能被動透過現地人員傳遞回報訊息，才能獲知現地橋梁之狀況，現地勘查人員與主管決策人員無法隨時隨地獲得現地資訊、也無法紀錄整個災害歷程及設施受災情形，部分橋梁現址雖已有建置攝影與通訊儀器等軟硬體設備，以及配合有線/無線區域網路，建構即時災情監視影像及傳輸系統。但是以定點架設監視器的方式來掌握現況，不管是設備的採購還是後續的維運都是高成本的支出，尤其在比較偏遠地方，更常受限於網路及人力不足，對於救災、勘災人員動態的掌握與運用，更是困難，也無法以現有的數據網路方式來進行監控。藉由LBS的發展，本計畫研發結合LBS行動監視與救災、防災服務系統，利用行動設備24小時網路服務，配合電信業者的無線通訊，達到任意時間與地點，皆可進行多方互動式的即時防救災的工作。

### 三、研究成果

本計畫101年度選定高屏溪感潮段，以台17線跨高屏溪之雙園大橋為研究標的，進行橋梁監測儀器開發建置研究工作，由整合本計畫自行研發之監測系統，包括多項具創新性的橋梁沖刷感測元件與監測資料網路傳輸設施應用。另因配合公路總局新雙園大橋改建工程，提前於100年隨工程進度安裝橋梁監測系統下部工程。並與國家網路中心於本年度進行技術合作，已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，並將上述之網路資料庫延伸應用區域定址服務系統(LBS)，建構可共用橋梁安全監測資料之網路服務系統平台，使用前述建置感測系統與平台。

#### (1) 橋梁安全沖刷監測系統建置

本計畫選定選定高屏溪感潮段，以台17線跨高屏溪之雙園大橋為研究標的，進行橋梁監測儀器開發建置研究工作，由整合本計畫自行研發之監測系統，包括多項具創新性的橋梁沖刷感測元件與監測資料網路傳輸設施應用。本計畫於100年度配合雙園大橋改建工程，經協調相關公務單位獲得同意，於雙園大橋工址進行現地橋梁沖刷監測系統建置與實測。選定以P2橋墩為監測點位，執行之施工程序不影響改建工程，並完全配合現地新建工程之工序進行，現階段亦已完成下部監測管硬體及上部監測箱安裝作業，今年度將持續進行系統維護並完成傳輸系統建置作業。

雙園大橋改建工程於原橋址上游側施設一座能符合現今防洪需求之新橋，並以「施工快、跨徑大、景觀佳、安全性高」為優先考量原則。主橋採大跨徑設計，主跨徑96~120公尺，墩柱由原舊橋67墩減少至19墩，以增加通水斷面，提高防洪能力。橋全長度，主橋長2178公尺、高雄端引道340公尺、屏東端引道382公尺，共計2900公尺，另高雄端台21線上下匝道2座計502公尺。橋全寬度，主橋全寬26公尺、引道橋全寬20.8公尺。改建之雙園大橋示意如圖1。

本研究規劃裝設沖刷深度與結構體相關監、檢測系統以進行橋梁監測系統建置研究，作為橋梁初始基本資料，以利未來比對之用。其中沖刷深度量測以視頻式沖刷計、自激式沖刷計及微機電式等感測元件。對此，經評估選定跨高屏溪之新雙園大橋，P2橋墩上游之橋墩側面，安裝監測設備，並同時於橋墩安裝訊號管線，將訊



號傳至橋面後，於橋面護欄側邊設置監測箱及加速度感測元件，置監測設備於現場，並於橋墩之間佈置訊號及電力傳輸線。圖2為P2橋墩橫斷面安裝監測管之示意圖，本計畫於該橋墩安裝研發之沖刷感測元件，監測管底端置於橋墩下方深度約10m處，圖3為監測管配置於基礎之平面圖。除下方監測管外，也同樣於橋墩樁帽上部沿橋墩配置回填覆土之沖刷及水位監測管(如圖4)。

進場前之感測元件製作及檢測工作於實驗室進行，製作完成之感測單元需經測試，確保量測資訊之可得性，再安裝於鋼套管，圓形之鋼套管可提供感測單元保護功能及加強監測管之勁度，套管經適當開孔加工，確保監測管可於水下時，保持水流可經由感測單元進行量測。現地監測管安裝施工作業係配合現場改建工程之工序空檔進場施作，如圖15~圖18。

於101年度，因高屏溪雙園大橋日間不供給市電，故本年度於日間採用太陽能搭配風力發電系統以加強日間電力供給(如圖9與圖10)。並裝設監視攝影機以掌握水情資訊。並採用WiMAX無線傳輸技術搭配高速傳輸之資料集成系統用以將現場數據傳回資料庫中(如圖11與4.12)。

## (2) 監測成果

適逢2012年8月21日天秤颱風侵襲台灣，天秤颱風於8月21~8月28期間先後登陸台灣本島2次，本中心於此期間亦持續監測台17線橫跨高屏溪之新雙園大橋的沖刷狀況。如圖13為比對上游萬大與高屏大橋水位資料之比較圖，圖414則為8/20~8/28所獲得之數據資料。



圖 1、雙園大橋改建工程示意圖

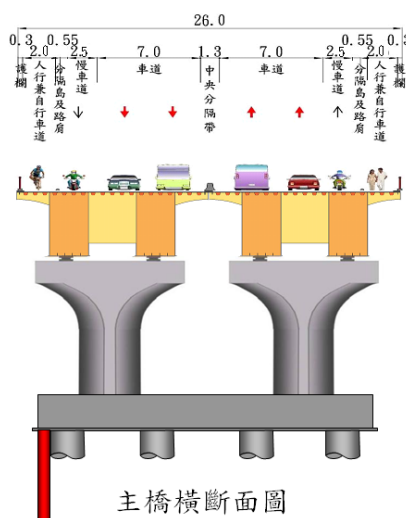


圖 2、P2 橋墩橫斷面安裝監測管之示意圖

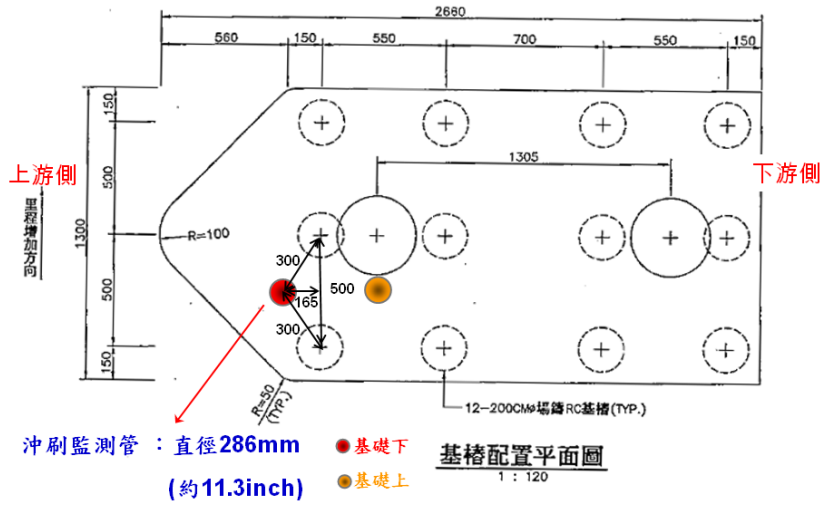


圖 3、監測管配置於基礎之平面圖

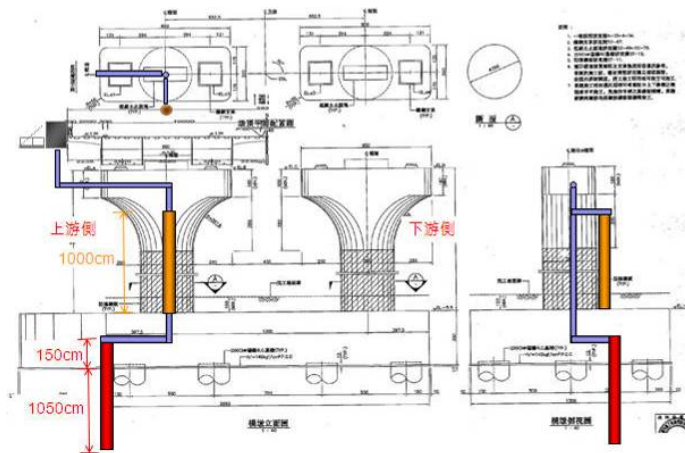


圖 4、橋墩樁帽上部沿橋墩配置回填覆土之冲刷及水位監測管



圖 5、冲刷監測管現地組裝(鋼套管)



圖 6、冲刷監測管現地吊裝作業



圖 7、沖刷監測管現地工序(配合基礎底板施工)



圖 8、沖刷監測管現地配管(配合基礎底板灌漿)



圖 9、風力發電機



圖 10、太陽能板



圖 11、監視攝影機與無線網路天線



圖 12、高速資料集成系統

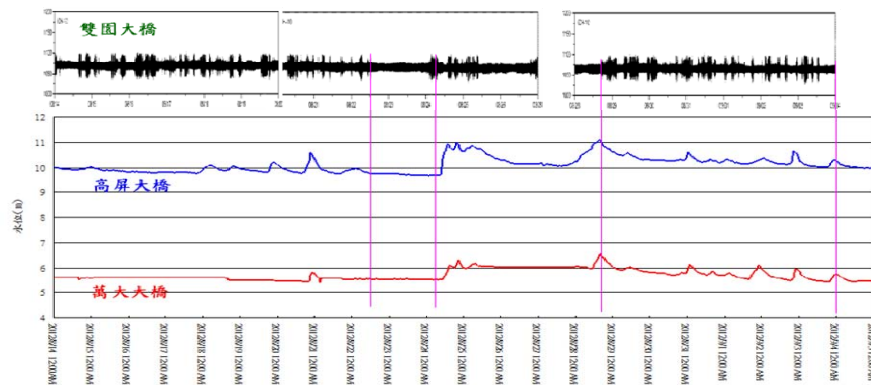


圖 13、新雙園大橋 P2 橋墩沖刷感測器資料與上游水位比對

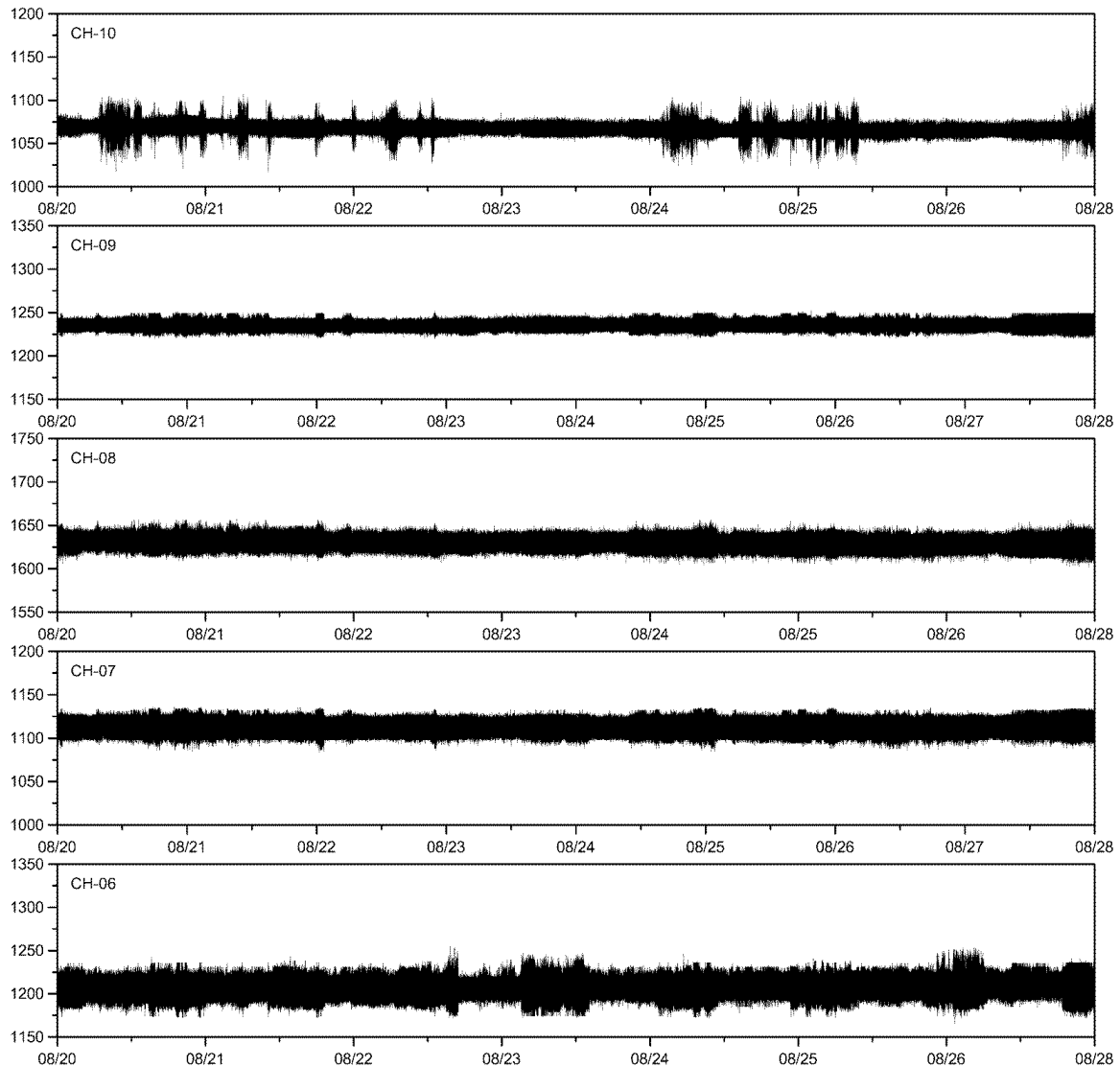


圖 14、8/20~8/28 新雙園大橋 P2 橋墩沖刷感測器資料

綜合現地橋梁沖刷監測系統建置試辦成果，本計畫整合國震中心、災防科技中心、颱洪中心和奈米元件實驗室，針對跨河橋梁安全進行各種災害防救、監測與資源開發技術的提昇，降低跨河橋梁災害產生的損失。已整合數種新研發之感測元件，於實驗室以動床沖刷水工試驗，驗證所研發之橋梁安全監測系統有效性。並已於國道1號中沙大橋與雙園大橋等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，可提供現地橋梁災防應變決策之參考。

#### 四、結論與建議

本計畫已成功將數種即時監測資訊結合無線網路成功的將重要物理資訊傳遞置資料庫儲存，針對儀器耐候與傳輸效率等細部問題進行改進，建議未來將資料回饋至預測模式中，使其持續精進以確保系統之可靠度並定期維護保養以獲取最佳的資料。