

地工技術

臺灣河川橋梁基礎問題與案例介紹

何泰源 吳文隆 蕭秋安 蔡立盛

台灣世曦工程顧問股份有限公司

摘 要

臺灣地質變化複雜、地形陡削，河川短促、河床坡度大且雨量集中，在極端氣候情況下，橋梁基礎設計為符合支承力、沉陷量、抗沖刷、抗震力等之規範要求，基礎規模愈做愈大，愈做愈深，其所面臨之重大挑戰，包括橋梁基礎沖刷、基礎型式選用、擋土開挖、施工空間侷限、水中構築、卵礫石及岩層鑽掘困難等問題，本文說明國內河川橋梁基礎刻正遭遇之沖刷問題，並列舉國內三個工程設計案例，供作工程各界之參考。

關鍵字：橋梁基礎沖刷、橋梁基礎保護、設計施工、維護管理。

Case studies and Current Problems of River Bridge Foundation in Taiwan

Tai-Yuan Ho Wen-Long Wu Chiao-Ann Hsiao Li-Sheng Tsai

CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

Abstract

The geology of Taiwan is complex, and the terrain is steep. The rivers are short and steep, and the rainfall is concentrated. Under extreme climate condition, in order to satisfy the requirements for bearing capacity, settlement, scouring and earthquake resistance, the bridge foundation has increased in size and depth. The design of bridge foundation faces major challenges, including scouring, foundation selection, deep excavation, limited working space, underwater construction, piling in gravel and rock, etc. This article explains the current problems of river bridge foundation in Taiwan, and three case studies on foundation design are presented here for reference.

Key Words : Scouring of Bridge Foundation, Protection of Foundation, Design and Construction, Management and Maintenance.

一、前 言

臺灣河川橋梁目前面臨之主要問題有橋梁各部結構老化、橋梁安全性不符耐震設計規範之規定及橋梁基礎因沖刷而裸露等問題，故橋墩基礎裸露為臺灣橋梁目前面臨之主要災害問題之一。臺灣的河川大都有坡陡流急之特性，再加上砂石被大量盜採與超採等因素，使得臺灣橋梁基礎裸露情形甚為嚴重。在基礎裸露如此嚴重之情形下，如果碰上颱風及豪雨，尤其近年來極端氣候導致時有超乎預

期之超大豪雨發生，原已嚴重裸露之橋墩基礎經此豪雨洪水沖刷，其災害極可能立即發生，並無封橋或交通管制的反應時間。國內遭逢颱風或豪雨時，封閉橋梁的機制多採河川水位有無達警戒值作為依據，但是民國97年的辛樂克颱風及98年的莫拉克颱風，中部的后豐大橋及南部的雙園大橋，都是在河川水位未達警戒值前發生斷橋。目前國內已引進流域管理的概念，除監測河川水位外，也根據歷史災情資料，歸納出對應參考的雨量站，並參考歷史雨量資料，採時雨量及24小時累積雨量訂出個別橋梁的封閉警戒值。

本文主要係針對臺灣河川橋梁基礎沖刷概況、橋基沖刷之補強設計施工問題、橋基沖刷之維護管理及案例介紹依序作說明，期能供作爾後相關規設工作之參考。

二、臺灣河川橋梁基礎概況

臺灣河川之河床地質大致可分為泥砂(或卵礫石)質及岩層質河床，河流侵蝕河床造成河床降低，泥砂質河床降低之情況如照片一所示。至於泥岩、砂岩、頁岩之岩層質河床，因成岩時間較短、強度較低，經河流沖刷、解壓、旱季雨季的反復乾溼作用，裸露岩層經常產生風化、消散及侵蝕現象，形成河床縱向槽溝，如照片二所示，通常岩層的沖刷深度較不易估算，且設計上易生輕忽。

臺灣河川橋梁基礎容易受到沖刷災害的致災原因，大致可從河川水利特性及橋梁結構特性兩方面加以檢討。在河川水利特性方面可檢討(1)地形(河川蜿蜒情況、河道變動歷史、狹窄處及匯流口等)，(2)河床地質材料，(3)歷年河床下降趨勢，(4)築壩取水、砂石開採等；橋梁結構特性方面可檢討(1)橋址位置，(2)橋台、橋墩佈設，(3)基礎型式與埋深，(4)有無施設沖刷保護工等。

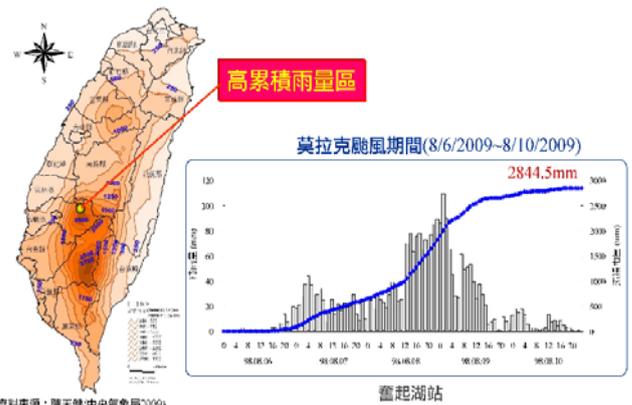
從88年、90年的象神颱風、桃芝颱風以降，及至97年的卡玫基颱風、辛樂克颱風，98年的莫拉克颱風，99年的凡那比颱風等，颱風所帶來的雨量，因受氣候異常的影響，雨量超乎預期的現象逐漸明顯。以莫拉克颱風為例，於阿里山地區連續5日降雨量約達2844mm，為其最大月平均雨量約908mm的3倍以上，如圖一所示，亦超過臺灣年平均雨量2493mm；高強度延時長的降雨，接近世界最大雨量包絡線，加上山區地質破碎，導致阿里山地區的道路橋梁嚴重受創，交通中斷；此外，交通部公路總局甫於當年(98年)6月完成全台50座老舊橋梁的發包施工，莫拉克颱風又造成該局所管轄的橋梁斷裂約達41座之多，為歷年之最，這些斷橋大部份不在50座改建老舊橋梁範圍內。近年來橋梁基礎沖刷受災情況可由照片三(a)~(d)窺知一二。



照片一 泥砂質河床因沖刷導致河床降低



照片二 岩層河床沖刷出新河槽



圖一 莫拉克颱風於阿里山地區(奮起湖站)降雨紀錄



照片三 近年來橋梁沖刷受災情況

三、河川橋基設計施工問題

3.1 橋梁基礎型式與選用

常用之橋梁基礎型式有(1)直接基礎、(2)樁基礎及(3)沉箱基礎(井筒基礎)及(4)連續壁基礎，其選用原則除考慮地層條件(有時須以地質觀點思考會更周延)及橋梁上構傳至基礎之載重條件外，尚須考慮下列因素：

1.施工性、經濟性及工期：例如(1)卵礫石地層之粒徑太大或樁徑太小，基樁施工鑽掘可能會有困難，(2)岩層性質影響基樁鑽掘貫入能力，(3)於邊坡上採用樁基時，其施工便道或構台費用可能很高，且影響景觀生態較大，可考慮採用井基，(4)地下水文條件亦影響基礎之施工性，及(5)基礎施工對整體工期之影響等。

2.沉陷問題檢核：別忽略基礎沉陷問題，其可能影響結構之使用性、安全性，尤其基礎加載後，地層中應力增量影響深度範圍內存在壓縮性土層時，應予檢核基礎沉陷問題。

3.環境條件改變：例如河流沖刷、開發行為造成基礎覆土改變，影響基礎承載能力，設計時應慎選基礎型式或予以特別考量。

目前國內河川橋常須面對河床下降及颱風帶來超大豪雨的沖刷考驗，故一般若無特別考量，樁基礎為優先採用之基礎型式，而直接基礎多不予採用。至於沉箱基礎在某些地層條件下，其施工品質與工期較難掌握，如照片四所示，加上沖刷問題日趨嚴重，故亦漸少採用。

3.2 河川橋基礎設計之沖刷考量

橋梁防洪工程設計主要係依據「申請跨河建造物設置注意事項」(99年，經濟部)之相關規定辦理，設計時最大可能沖刷深度通常取局部沖刷深度、河槽束縮沖刷深度、河床質移動層厚度、長期沖刷深度四項之和，以下茲以實際案例說明河川橋梁基礎高程之決定。沖刷深度為決定基礎高程之重要參考依據，以國內某河川橋為例，其主要工程內容為高灘地路段之舊橋原址改建，按「公路排水設計規範」(98年，交通部)及國內外相關研究計算沖刷深度，其沖刷深度計算結果如表一所示。

因本改建案例橋墩處之地表約EL.209m，深槽區河床最低點約EL.196m，計畫河床約

EL.207m，故依規定，柱底不得高於EL.196m，加上基礎版厚度，將來基礎開挖深度將達16m(EL.209m - EL.196m + 橋墩基礎版厚度3m = 16m)以上。因在本工址地層條件下，按以往工程經驗，基礎開挖16m之擋土壁施工確有困難，「申請跨河建造物設置注意事項」雖有柱底高程應低於河川斷面最低點及計畫河床高之規定，惟另有規定「但地形環境特殊，橋墩底部埋設有實際困難者，得由申設單位在維護橋梁安全，確實考量河道擺盪及沖刷深度影響，提出加深基樁或其橋墩底部至實際河川斷面最低點部分不作為支承摩擦樁使用或適當局部保護措施下之安全評估說明，並參考計畫河床高辦理。」，因此最後將墩柱底訂在EL.200m，並採取加深基樁方式處理。

表一 某河川橋沖刷深度計算例

橋墩最大可能沖刷深度(m)	
一、局部沖刷深度(m)	3.56
二、河槽束縮沖刷深度(m)	0.09
三、河床質移動層厚度(m)	0.24
四、河床長期沖刷深度(m)	6.48
橋墩最大可能沖刷深度(m)(一~四總和)	10.37

3.3 河川橋基礎設計施工問題

對於遭受沖刷以致基礎出露之橋墩，因包圍在墩柱及基礎周圍的地盤土壤流失，其基礎承載能力下降，墩柱無支撐長度增加，若與原設計條件相比較，橋梁自然頻率發生改變，結構強度降低，可能使得整體結構系統穩定安全性快速惡化，而變成危橋。至於河川於墩柱處發生淤積時，雖不致於造成橋梁基礎承載能力的下降，但因墩柱無支撐長度縮短，將導致橋梁自然頻率之改變，而影響地震時橋梁之安全性。故對新建或改建之橋梁，於設計階段均應謹慎考量河川的沖淤條件，預判將來沖淤條件之可能改變，以及改變時是否影響橋梁安全。當橋基裸露時，即代表橋址抵抗河川沖刷之能力不足，並衍生橋梁耐震能力不足的問題；再者，國內已頒佈橋梁耐震設計規範，依新規範標準，老舊橋梁可能存在抗震能力不足的問題，因此，應可將橋梁沖刷問題及不符新規範之耐震能力不足問題並案改善。

深槽區之沖刷深度更深，其所衍生之基礎施工、基礎開挖擋土施工益形困難，因沖刷問題致

須進行改善之橋梁，通常為沖刷問題嚴重且為交通要道之橋梁，茲將其改建或基礎補強時，實務上經常面對之施工問題說明如後。

1. 基礎施工

一般所稱之河川橋梁基礎常指基樁或沉箱基礎，但對於沖刷深度較大的橋址，沉箱施工相對於基樁施工將更形困難，且工期與施工品質亦較難控制。因此，若無特殊考量，對有沖刷疑慮之橋梁(照片四)，仍以採用基樁為宜。依近年來的經驗，基樁之施工常因沖刷之設計考量，導致(1)須採用大口徑基樁、(2)樁長增加、(3)樁孔鑽掘容易發生坍孔、(4)樁孔鑽掘貫入困難、(5)機具設備不足、及(5)若採全套管機具施工時容易發生套管拔除困難、套管變形、底管磨損、機具設備故障率高(如照片五(a)~(d)所示)等現象，施工困難度增加，以上因素往往造成無法如期完工。

另表二為國內較大口徑($\phi 150 \sim \phi 300 \text{cm}$)之全套管機具設備數量(98年)調查結果，供各界參考，由表中可知目前國內大口徑全套管基樁驅動設備合計約110部，其中 $\phi 200$ 之設備約佔70%。

表二 國內較大口徑全套管基樁施工設備調查表

套管驅動設備		搖管式	全迴式
機具數量	$\phi 150$	8部	6部
	$\phi 200$	65部	11部
	$\phi 250$	15部	—
	$\phi 300$	2部	3部
主要機型廠牌		德國LEFFER、 義大利NCB、 義大利CASAGRANDE、 臺灣凌基、臺灣彎管、 臺灣鉅輪、韓國釜瑪	日本三菱、 NIPPON SHARYO、 德國 LEFFER

*受訪廠商(依筆劃排序)：大合公司、大昶公司、山富機械公司、臺灣彎管公司、申揚公司、同豐公司、祐彬公司、堂源公司、振壹公司、富岡公司、擊順公司、鈺成公司等12家。

*調查時間：98年12月

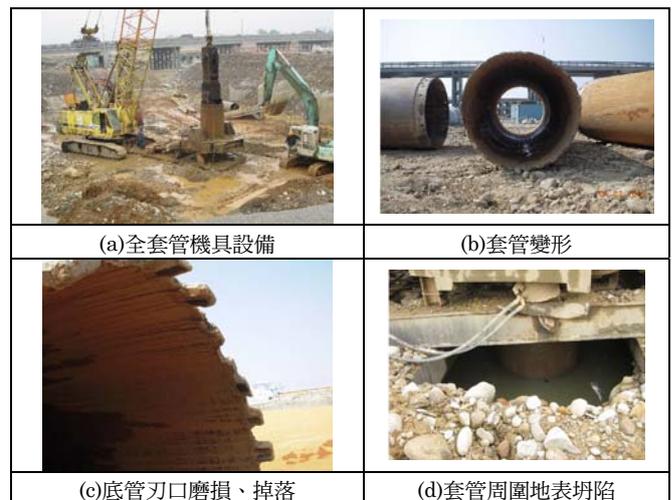
2. 基礎開挖擋土設施

依法規規定，橋墩底部高程以低於實際河川斷面最低點及計畫河床高為原則，對沖刷深度較大的橋址，其橋墩基礎版埋設深度將相當深，若屬舊橋改建之工程，因施工期間仍須維持車輛安全通行，常無法採用斜坡明挖或部分降挖後再打設擋土壁的方式開挖構築基礎版(因明挖或降挖將使得既有橋梁基礎之周圍土壤側向解壓或部份基礎因開挖而外露，危及既有基礎之承載能力)，基礎版埋深往往挑戰國內現有擋土工法之施

工能力極限，或甚至超出國內常用工法所能適用範圍。致於河川行水區之基礎開挖施工，因基礎埋深問題，其圍堰施工困難加劇，常因擋土壁打設困難、開挖面內外水頭差大，導致壁體水密性差而滲水，開挖底部發生砂湧，須採行緊急補救措施，嚴重者開挖擋土設施潰敗，致使工期延誤或發生工程事故。另外，開挖施工期間之抽排水、降水亦容易發生問題。



照片四 由沖刷而出露之沉箱可知，在某些地層條件下，沉箱之施工品質較難掌握



照片五 全套管樁因大口徑、樁長深、施工困難度增加

3. 鄰近施工問題

若因橋基沖刷情況嚴重，或因豪雨沖刷而部份橋梁斷落，致須改建之既有橋梁，尚須面臨橋下基礎施工、開挖施工淨高受限問題，或因交通維持之需而採半半施工時之鄰近施工問題，如照片六(a)~(b)所示。施工淨高受限情況下之機具設備施工可行性、鄰近施工之安全性於設計階段即應詳加考量，整體而言，施工淨高受限及鄰近施工問題均增加施工期間之工安風險與增加工期，施工期間應嚴格落實相關設計及圖說規定，以利有效掌控工進及降低工安風險。



(a)橋下施工淨高受限問題 (b)鄰近施工安全性問題

照片六 淨高受限及鄰近施工問題

四、河川橋基礎維護管理

4.1 橋基沖刷安全調查與監測

因為有沖刷危險的橋基被埋置在土中或水下，欲對所有橋梁逐橋、逐墩做詳細檢查，需要龐大的費用與時間，且須輔以河川水利、水文知識背景才能在檢查現場或災害發生前做出精確判斷。若能先依據簡易基準作第一次的篩選，找出容易受到沖刷災害的橋梁，再作更詳細的第二次調查較為經濟可行，詳細調查之方法可參考交通部公路總局(2005)、基礎工(2005)及日本鐵道總研報告(2009)等相關文獻。以下介紹日本鐵路橋的篩選法為例進行說明。

表三 日本鐵道總研第一次評估之評分項目

條件	評估項目
河川的環境條件	①地形、②河寬狹窄、③河床材料、④河床整體下降
橋梁(橋墩)的結構條件	⑤相對河川彎曲處的橋墩所在位置、⑥相對河岸的橋墩所在位置、⑦與下游落差、⑧埋置深度、⑨基礎的岩層狀況
防護條件	⑩有無實施防護工程、⑪變形程度、⑫河床面與基礎底面的高低差

日本鐵道總合研究所依據表三所示分類作成表四，透過目視對各評估項目進行調查，並參考過去的紀錄，選擇符合當地狀況分類，統計各個橋墩的各項得分，再篩選出可能沖刷橋梁。得分越低代表越容易受到沖刷，同時只要有一項符合表四中的◆符號者，便是須注意之橋梁。

該研究所比較本評估法與工程人員的經驗判斷，發現需要做詳細調查的橋墩其得分均未達110分，因此以110分做為判定門檻。

為維護橋梁通行安全，及早發現橋梁缺陷，並使得損壞能即時預警，以免損壞持續惡化與擴大，甚至造成重大災害，故橋梁基礎沖刷監測與

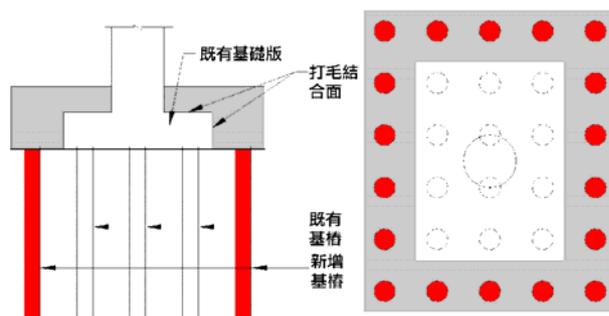
預警系統，實有其必要。國內常用的沖刷監測方法包含埋設磚塊、無線訊號器、聲納測深計、網路視訊攝影及光纖監測、電磁式反射儀(Time Domain Reflectometry, TDR)等，通常將沖刷感測器埋設於橋墩後方，以避免遭受洪水時流石及流木撞擊，實際的沖刷監測顯示，橋墩後方渦流亦經常帶引流石及流木，撞擊破壞埋設於橋墩後方的沖刷感測器。

4.2 既有橋梁基礎補強對策

對沖刷有安全疑慮之既有橋梁的沖刷保護措施，可從水利對策與結構補強對策兩方面著手，拋石工法、蛇籠工法、鼎塊工法、潛堰工法等水利對策可詳參交通部公路總局(2005)、交通部運輸研究所(1998)、財團法人中華顧問工程司(2009)及經濟部(2010)等相關文獻，以下僅就可能採用之基礎結構補強對策作說明。

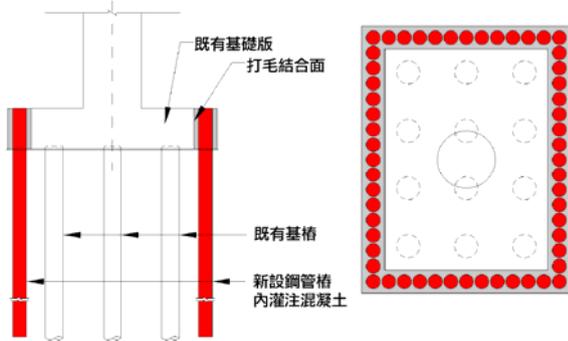
因沖刷而導致橋梁基礎承載能力的降低，提升基礎承載能力(承載力、抗剪力、變形性)的方法，可於既有基礎周邊，施作新的基礎結構物與其相結合，以增加基礎的承載能力，相關補強工法說明如下。

(1)增設基樁工法：本工法(如圖二所示)即於既有基礎周圍增設新基樁之補強方法，增樁後與既有基礎的結合，採用擴大基礎版的方式，擴大部份的基礎與既有基礎聯結一體相當重要。本工法為維持樁基礎的間距，其基礎將較既有基礎大，當用地有所限制時，可採垂直橋軸方向之梁下兩側增設基樁的方式，亦可採用較大口徑的基樁，以降低樁的數量。本工法國內採用較多，如台3線里港大橋、台17線國姓橋、台17線雙園大橋及台19線北港大橋等均曾採用本工法進行基礎沖刷補強。



圖二 增設基樁工法示意圖

(2)增設鋼管樁工法：採用鋼管樁、微型樁或土壤強化壁等，緊密圍繞裸露的橋基，以保護橋基，防止橋基遭受沖刷，本工法(如圖三所示)通常與固床工配合使用。施工完成後，將其頂部與既有基礎結合成一體。



圖三 增設鋼管樁工法示意圖

(3)地下連續壁工法：本工法(如圖四所示)即於既有基礎的周圍增設地下連續壁的補強方法，其頂版應與既有基礎結成一體。本工法增設後的基礎剛性較高，基礎較大且施工時間較長，與增樁工法比較，其工期及工程費較高。由於橋下施工空間有所限制，RC壁的鋼筋籠須配合現場施工條件作必要的分段接續，施工性較差。若因用地的限制，可採於垂直橋軸方向的梁下兩側施築地下連續壁。

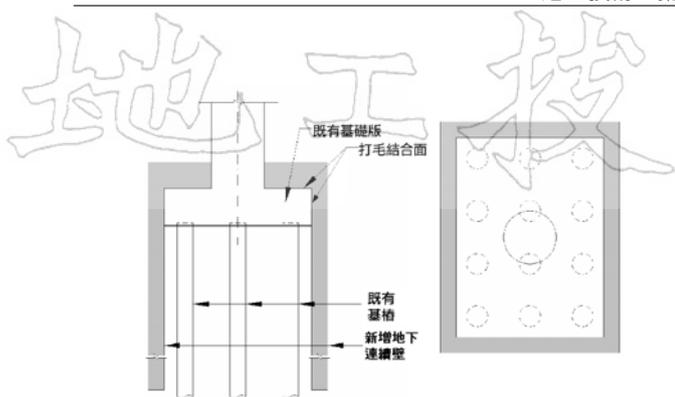
(4)換底工法：經評估採前述基礎結構補強工法修補，仍無法滿足基礎之承載要求，或因諸多限制，前述工法無法施工或評估不經濟時，可採用本工法，施作新基礎取代舊基礎，視實際需求可自基礎板以下重新施作，亦可自橋墩以下全部重新施作(如圖五所示)。

表四 日本鐵道總研第一次評估之評分表

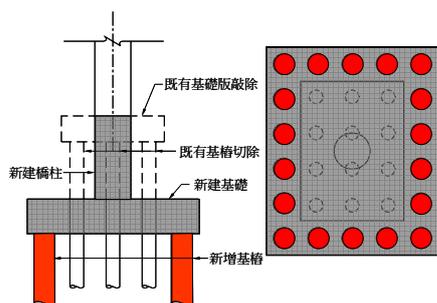
評估項目	分類	得分		
河川的環境條件	地形	平原	10	
		河谷平原	10	
		沖積地	0	
		山地	5	
	河寬狹窄	無	15	
		有	0	
	河床材料	砂	10	
		礫	0	
		裸岩、巨礫石	10	
	河床整體下降	有	0	
無		10		
橋梁(橋墩)的結構條件	相對河川彎曲處的橋墩位置	直線及曲線內側	15	
		曲線外側	0	
	相對河岸的橋墩位置	流水中	5	
		陸地(無堤防)	10	
		陸地(無堤防、鄰接水路)	0	
		陸地(有堤防)	25	
		陸地(有堤防、鄰接水路)	15	
		無	20	
	與下游的高低差	高度	~1m	5
			1m~2m	0
2m~			◆	
形式		混凝土	-	
		塊石、版樁等	-	
變形	有變形	◆		
施工範圍	僅部分河寬	◆		
埋置深度比	直接基礎/樁基礎	以埋置深度比1.5為滿分，以0為0點加權給分	50	
	沉箱基礎	以埋置深度比3.5為滿分，1.0為0點加權給分		
埋置深度變化	有1.5m以上的增減	◆		
基礎地層狀況	應為岩層	15		
	岩層	30		
基礎結構形式	直接基礎/木樁	-		
	樁基礎	-		
	沉箱	-		

評估項目	分類	得分		
防護條件	無	0		
	不明	0		
	蛇籠	有變形	0	
		無變形	5	
		變形不明確	0	
	塊石	變形	無變形	20
			變形中/部分流失/亂疊	5
			變形嚴重/流失	◆
			變形不明確	0
			連結	5
	護坦	連結	5	
		埋置	河床>護坦上面	20
			護坦下面<河床≤護坦上面	10
	變形	河床≤護坦下面	◆	
		有變形	◆	
混凝土固床	鋪設範圍	周邊全面	40	
		2D以上(D:橋墩軀體寬)	20	
		不到2D(D:橋墩軀體寬)	0	
版樁	埋設	河床>基礎底面	20	
		河床≤基礎底面	◆	
	變形	有變形	◆	
變形不明確	0			
特殊事項	河川改道	-		
	其他環境變化	-		
	河川流向與橋墩方位	-		
	河口處的特殊條件	-		
	受災紀錄	-		
	相鄰橋梁的存在	-		
其他	-			

※加總各項得分，得分越少者越須注意沖刷問題。
 ※◆代表符合該項的橋墩不管總分多少都要注意。
 ※混凝土固床也包括橋墩周圍的部分施工。
 ※-係指不直接評分，但是最好做調查的項目。



圖四 地下連續壁工法示意圖



圖五 換底工法示意圖

採用(1)~(3)工法有可能增加橋址束縮沖刷的機會，應詳加評估，若與水利對策合併使用，成效更獲保障；若採換底工法，則因新基礎可考量沖刷深度問題而將基礎埋深作合宜之調整或從結構設計加強，通常更易於克服或降低沖刷之影響。

4.3 橋梁維護管理

橋梁沖刷維護管理應考量橋梁的生命周期進行之，客觀的預估每個階段橋梁的情況，於適當的時間以適當的方法進行沖刷維護，以最低的成本得到最佳的維護效果。另外預防維護的成效往往高於結構物受損後的事後維護，如能於橋梁選址及設計時預先考量，輔以完善的預防維護，應可以有有效的延長橋梁壽命。

五、橋基沖刷對策施工案例介紹

河川橋梁基礎受河水沖刷、淘空之影響，使既有基礎懸露於河床面上，以致基礎承载力降低而無法承受上部荷重，並因基礎裸露而減少河川之通水面積。對於新建或改建之橋梁基礎，為維護橋梁安全，須依「申請跨河建造物設置注意事項」規定，將橋墩底部高程設置低於實際河川斷面最低點及計畫河床高。因此橋墩開挖之深度常

深達12~20m，開挖採用之臨時擋土設施於設計上須特別謹慎考量；同時橋墩基樁設計長度亦屢創新高，使得施工因難度不斷增加。

以下將以三個代表性工程實例說明，首先介紹基礎因沖刷嚴重裸露之工程案例A，採換底工法改善之；案例B及案例C則分屬不同地質條件(卵礫石或砂質土層)之危險橋梁改建案，其設計考量與施工檢討分述如後，以提供日後類似工程參考。

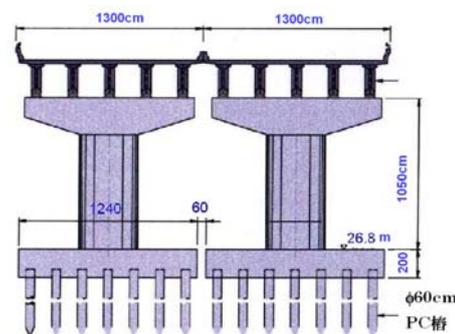
5.1 案例A：橋基換底工程

案例A為跨越濁水溪之橋梁，為當地南北交通要道。桃芝颱風來襲，夾帶豐沛雨量，沖毀橋基原有之蛇籠保護工，基樁嚴重裸露如照片七，造成橋梁承载力與穩定性不足。

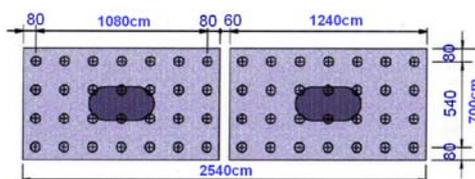
此橋於民國83年2月通車，橋長3,030m，為二座獨立並列之預力I型梁橋，每座橋寬13m，總寬26m，南北二向各採快慢車混合三車道。橋主孔跨徑35m，共80孔，原橋墩斷面及基礎配置如圖六及七所示。



照片七 案例A橋墩基樁嚴重裸露損壞情形



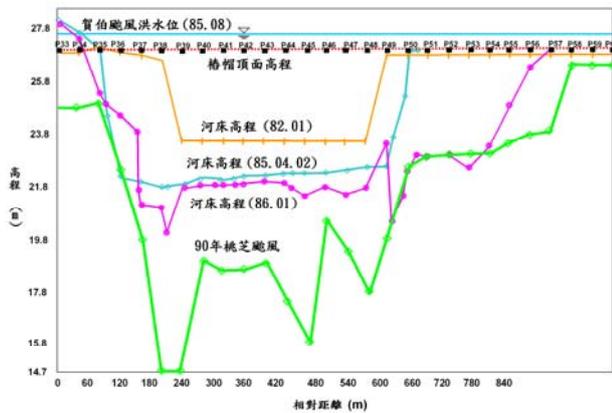
圖六 案例A原橋墩橫斷面圖



圖七 案例A原基樁配置圖

橋址沿線地層屬濁水河流域之沖積層，為砂質礫石、粉土質砂及粉土質黏土等所組成，地表面下35m範圍內多為砂質礫石及粉土質砂所組成，間夾1~5m厚之粉土質黏土，標準貫入試驗N值介於5~27間；地表面下35m以下為粉土質黏土偶夾薄砂層，標準貫入試驗N值介於11~20間。

橋址歷年河床高程受沖刷變化如圖八所示。81年寶島颱風過境，河床嚴重下降2~5m；82年1月於P38~P50之間進行橋基保護工程，以直徑50cm、長10.5m之PC排樁圍繞橋墩基礎，並於橋頭以連接梁與原有基礎固結串連，形成9m×28m之緊密長方體；83年提姆颱風及道格颱風過境後，造成P38~P47護基排樁嚴重損壞或沖失；85年賀伯颱風造成P34~P50區間排樁保護工受損、橋基裸露約2.6m；90年桃芝颱風來襲，夾帶豐沛雨量，溪水暴漲，濁水溪在此橋址之洪峰流量高達約29000cms，超過二百年頻率之設計流量，河床下降5m以上，P38~P49之橋墩基樁嚴重裸露最大達10m，P39橋墩並有多支基樁斷裂，造成本橋承載力與穩定性不足，而有安全性之疑慮，急需改善。



圖八 案例A歷年河床高程變化圖

本案工程內容係在既有橋墩基礎周圍新設基礎版及基樁後，拆除原有裸露之基礎版及基樁，並於新設基礎上改建底柱以連接原橋結構。在施工期間係以架設安全支撐構架支撐原有帽梁，以暫時承載上部結構載重並下傳至新設基樁如照片八所示；原有基礎版及裸露基樁部份拆除後改建之長圓形墩柱，並以鍍鋅鋼板包覆墩柱，以提高耐衝擊能力。

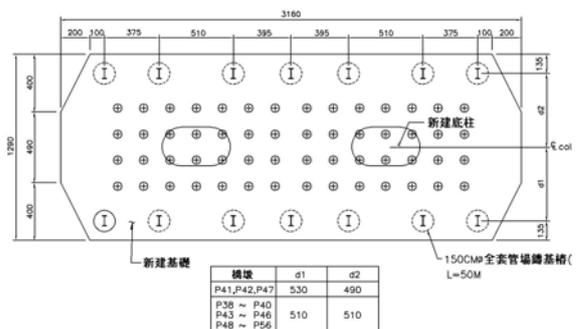
橋址之新建基樁採直徑1.5m、樁長50m之全套管基樁，每墩配置14支基樁、19墩(橋墩

P38~P56)共計施作266支，基樁配置圖如圖九所示。另基樁頂部須插入11m長之H型鋼柱(埋入深度5.2m)，以便後續架設臨時安全支撐構架。

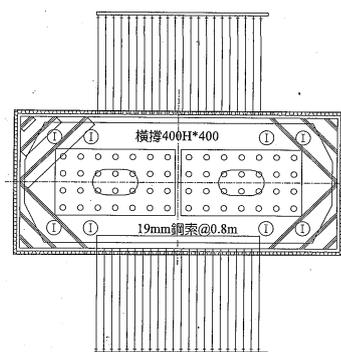
本工程橋墩總計19墩，每墩新基礎版開挖施工約34.0×15.6m，開挖深度約6.0m，擋土支撐採背拉式系統配置，以使基礎開挖範圍內有較大的作業空間，並打設13m鋼板樁作為擋土壁，如圖十、十一所示。



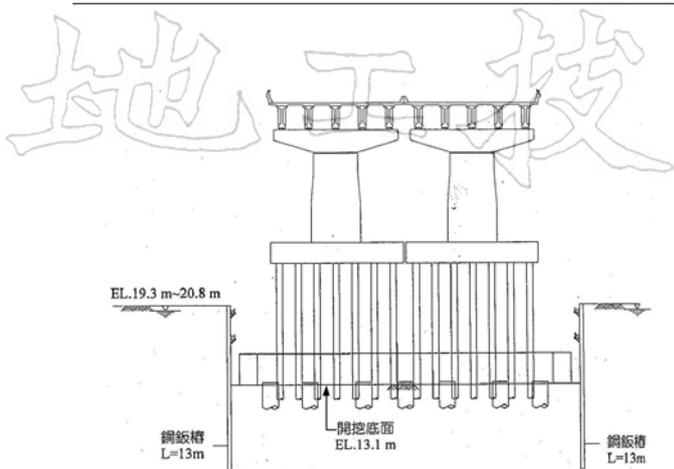
照片八 案例A新設基樁及安全支撐構架施工



圖九 案例A新設全套管基樁配置圖



圖十 案例A背拉系統支撐平面配置詳圖



圖十一 案例A基礎開挖擋土措施斷面圖

本工程施工包含打設基樁、架設安全支撐鋼構架、拆除舊橋基、新建基礎、新建墩柱、新舊墩柱接合區澆築無收縮性混凝土及拆除安全支撐構架等主要作業。本工程施工工法創新獨特，施工步驟繁雜且密切相關，在工期短促、鄰近施工、橋下施作空間受限，且尚須維持橋上交通、維護橋梁安全之情況下，工程具有相當挑戰性，除須注意每個施工細節外，亦須配合監測系統來確保施工期間既有橋梁之安全，為國內少見具特殊技術之重大工程。

5.2 案例B：卵礫石地層橋梁改建工程

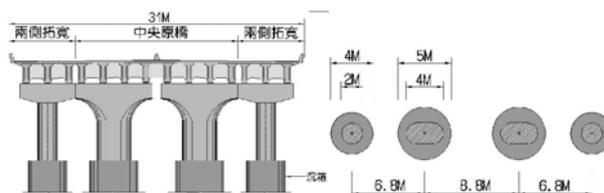
案例B為跨越大甲溪之橋梁，為地方上重要運輸要道，受到大甲溪砂石盜採及過度濫採的影響，使得河槽區河床持續下降，尤其以敏督利颱風來襲時，造成橋墩沉箱基礎嚴重裸露如照片九所示，產生結構安全上之疑慮，急需改善。

此橋兩次興建，全長約640m，其中央原橋於民國78年竣工，寬19m，之後於民國87年拓寬為31m寬，車道雙向劃設六快車道、二機車道。



照片九 案例B橋墩基樁嚴重裸露損壞情形

本橋全橋計有16橋孔，每孔跨徑均為40m，中央原橋與兩側拓寬之上部結構連結成一體，其間並無縱向伸縮縫，而下部結構各自獨立。中央原橋下部結構各橋墩基礎均為直徑5公尺、深14公尺之圓形沉箱。兩側拓寬橋下部結構各橋墩基礎均為直徑4公尺、深14公尺之圓形沉箱如圖十二所示。



圖十二 案例B原橋墩橫斷面圖

橋址地層自地表面下約20m範圍內為鬆散無膠結之沖積層，以卵礫石為主，其N值為100/6-10cm，地表面下約20m以下為頭嵙山火災山相礫石層，間夾2至3層厚2m左右之薄層砂、頁岩互層，礫石粒徑約4cm至1m，其中以10至30cm者多數，間夾薄層透鏡體砂層，膠結甚為疏鬆，膠結物為粗砂或細礫，其N值在100以上。

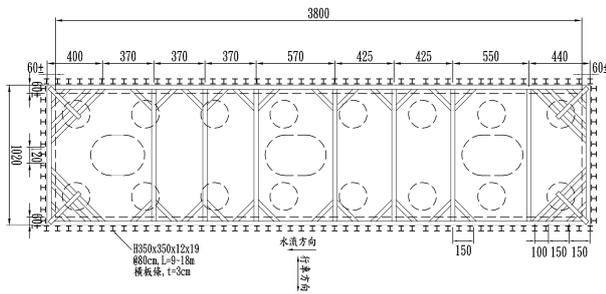
此橋自完工後因受歷年水害，位在主河道之沈箱基礎嚴重裸露。921地震造成橋址上游河道地貌大幅改變，橋墩沉箱裸露，雖曾以鋪設蛇籠、鼎形塊等保護工進行橋基加固，但仍多次遭洪水沖損。尤其民國93年7月敏督利颱風與8月艾莉颱風來襲，挾帶豐沛雨量，溪水暴漲，更使橋梁P1~P6橋墩沉箱基礎嚴重裸露，最大深達約8公尺。

本案工程係將原橋墩P1~P6約280m路段進行主橋改建，以提升橋梁耐洪能力。依據民國90年交通部頒佈之「公路排水設計規範」，計算橋梁之水文、水理資料後，推估橋墩最大可能沖刷深度為25公尺，經評估基礎頂需低於計畫河床高(EL.207.6 m)及實際河川斷面最低點，依據現場測量資料，河川斷面最低點位於P4與P5橋墩間，為EL.196.4 m，後因民國97年期間辛樂克颱風，使得橋址深河槽河床持續下降，基於安全考量，基礎頂部採低於歷年河川斷面之最低點EL.192.4m處。

改建橋梁之基礎型式採用全套管基樁，基樁直徑2.0m，考量沖刷深度，樁長採40m(含空打則約50m)，施工情形如照片十所示，基樁配置圖如圖十三所示。



照片十 案例B橋墩基礎施工(先降挖)

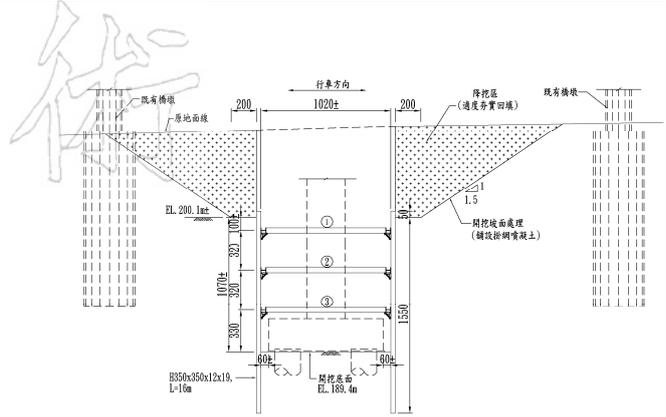


圖十三 案例B新設基樁及開挖支撐平面配置圖

新基礎開挖因無須考慮維持車輛通行問題(已另建便道供交通維持之用),故首先考慮斜坡明挖並配合河道改道及開挖面內抽水之簡易方式進行基礎開挖作業。此工程新建範圍在橋墩PA~PE,基礎版尺寸約為38×9m,橋墩PA~PC基礎開挖深約9~12m,橋墩PD~PE基礎開挖深約為16.6~17.8m。為降低全套管基樁空打段長度於卵礫石之中摩擦力及降低擋土壁打設困難,橋墩PD~PE採斜坡明挖降低6.6m後再打設擋土壁,擋土支撐採H型鋼樁配合橫板條配置如圖十四所示。本案例之施工過程,基樁施工遭遇最大困境,因樁徑達2.0m,樁長40m,全套管鑽掘過程,套管發生卡管,套管變形,底管磨損,機具設備故障率高等問題不斷出現,由最初約14~20天完成一支基樁,到熟練階段則約5天完成一支基樁,部份路段因增建一車道,故面臨橋下施工淨高受限問題。

5.3 案例C：砂土層地質橋梁改建工程

案例C為跨越曾文溪之橋梁,距出海河口約8公里,本橋因河床下刷橋基裸露嚴重,在蓄蜜颱風造成橋墩P 26產生下陷傾斜損壞,無法使用,屬須儘速改善之老舊受損橋梁,如照片十一所示。



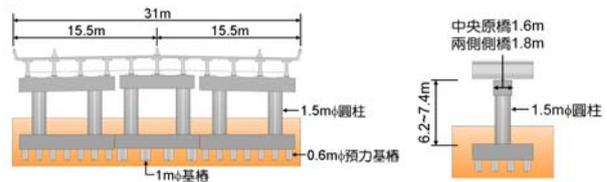
圖十四 案例B基礎開挖擋土措施斷面圖



照片十一 案例C最低潮位時基礎版露出水面

此橋分兩次興建,全長約1260m,中央原橋於民國67年竣工,橋寬8.2m。後因交通需求量增加,續於上下游兩側增建拓寬,81年完成拓寬,合併總橋寬31m,車道配置為雙向各2車道及1機車道,設有中央分隔護欄及機車道護欄。

橋跨徑均為30m,共計42個橋孔,中央原橋與兩側拓寬橋之橋面版連結成為一體,中央原橋為雙柱框架式橋墩,柱直徑1.5m、高約7.3m;基礎為樁基礎,基樁直徑1m,樁長20~26m。兩側拓寬橋亦為雙柱框架式橋墩,柱直徑1.5m、高約7.3m;基礎為預力基樁,基樁直徑0.6m,樁長22~24m,如圖十五所示。

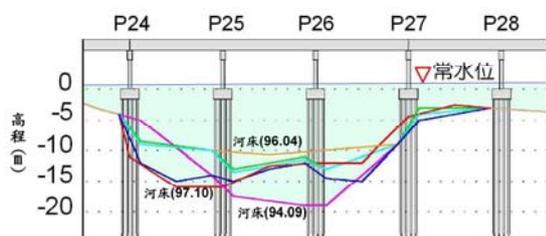


圖十五 案例C原橋墩橫斷面圖

橋址沿線地層屬曾文溪流域之沖積層,工址地層主要由回填土、粉質細砂、砂質粉土、黏土質粉土、粉質黏土所組成,地表面下42m範圍內多為粉土質砂所組成。間夾1~5m厚之粉土質黏

土，標準貫入試驗N值介於5~30間；地表面下42m以下為粉土質砂偶夾薄黏土層，標準貫入試驗N值介於30~50間，為較佳之承載層。

此橋因河床下刷橋基裸露嚴重，更因此增加阻水面積，加劇了沖刷的效應。歷年河床變動如圖十六所示，深槽區橋基嚴重裸露，於94年9月因颱風豪雨連續侵襲，基礎裸露深度曾高達19 m，亦即中央原橋基樁埋入深度僅剩約5 m，側橋部份僅埋入約7 m；96年橋墩P24~P27緊急保護措施，鋼堰施築完成後，深槽區有效回淤4 m，惟基樁裸露長度仍深達約15 m。



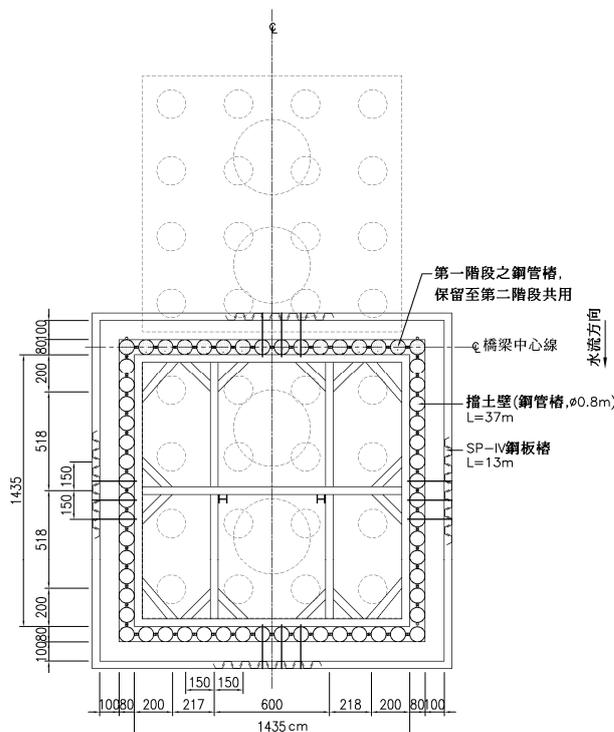
圖十六 案例C歷年河床高程變化圖

本案工程係將原橋墩P18~P33約450m路段進行整體改建，以提升橋梁耐洪能力。依據民國90年交通部頒佈之「公路排水設計規範」，經橋梁之水文、水理計算後，推估橋墩最大可能沖刷深度為17m。基樁採直徑1.5m、樁長55m之全套管基樁，深槽區橋墩每墩配置16支基樁、4墩(橋墩P22N~P23N)共計施作266支，如圖十七所示。由於施工期間仍需維持通車之情形，故新建橋址施工採用採半半施工，基礎版各自獨立，先完成下游側基礎後再進行上游側。

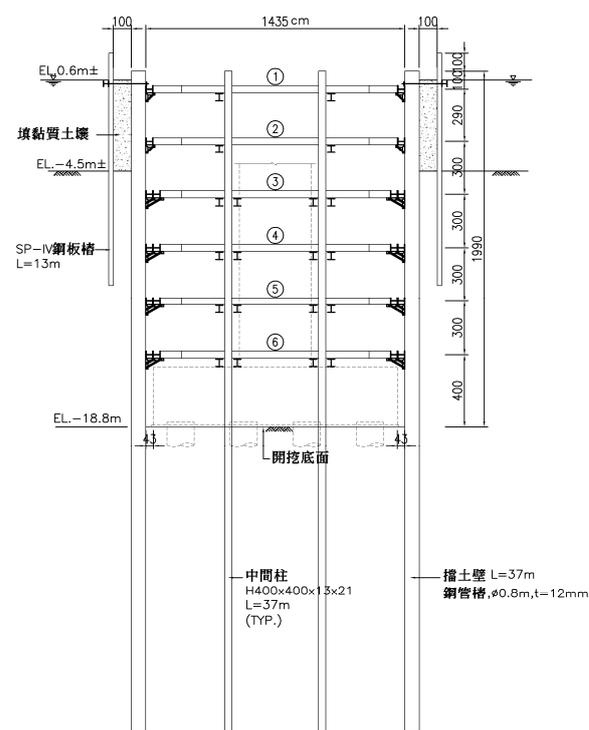
本工程主要新建橋墩P19N~P24N，為遵守基礎頂高程需低於計畫河床高及實際河川斷面最低點之規定，位於行水區橋墩(P21N~P22N)基礎開挖深度約達20m，開挖擋土設施若採用一般之鋼板樁則有支撐勁度不足之虞，且本工程新建橋墩鄰近既有橋墩，屬鄰近施工，因此施工過程，仍需確保維護既有橋梁的行車安全。

經分析評估，本案例採用直徑80cm、長度37m之高勁度鋼管樁，輔以外層鋼板樁之雙層圍堰工法，作為臨時性開挖擋土設施，其配置及施工情形，如圖十八與照片十二所示。其中兩鋼管樁間以勾槽方式銜接，如照片十三所示，勾槽間之空隙，則以止水材料填塞。由於國內鋼管樁作為臨時開挖擋土設施之施工案例較少。而本工程鋼管樁亦

長達37m，且須採震動壓入方式施作，施工初期常發生鋼管摩擦抵抗力高及兩鋼管樁間勾槽銜接度不佳等問題，一日僅能完成一至二支鋼管樁，後經採用高壓水刀輔助工法及增加震動能量，至熟練階段一日已可完成七支鋼管樁。



圖十七 案例C新設基樁及開挖支撐平面配置圖



圖十八 案例C基礎開挖擋土措施斷面圖



照片十二 案例C鋼管樁開挖支撐施工



照片十三 案例C鋼管樁勾槽銜接情形

六、結語

1. 國內河川橋梁基礎問題，在既有之人為因素未完全改善的情況下，屢遭非可預期之極端氣候條件超大豪雨肆虐，橋基沖刷問題益形嚴重，時有斷橋發生，應妥為因應。目前封橋時機多採河川水位高度認定之，若將橋基沖刷深度納入考量，應更能反應實際狀況，惟洪水發生時之沖刷監測確有困難，此為後續有待努力之方向。

2. 新建或改建之河川橋梁，於設計階段應謹慎考量河川各方面的條件，包括其地質條件、施工條件及工期、技術經驗等因素深入探討掌握，妥為規劃設計，以利於如期如質完工。

3. 近年來河川橋梁改建(或新建)時，基礎埋設深度不斷加深以致基礎施工、開挖擋土施工難度明顯升高，挑戰國內現有機具設備與施工能力極限。再者，橋梁改建之橋下施工淨高問題、鄰近施工安全性問題於設計即應詳加考量，施工階

段應嚴格落實相關圖說規定，並謹慎施工方能掌控工進，降低工安風險。

4. 河川橋梁安全評估調查應予積極進行，日本鐵道總研之篩選河川沖刷橋梁的作法及調查表，可供國內之參考。

5. 橋梁沖刷維護管理應考量橋梁的生命周期進行之，於適當的時間以適當的方法進行沖刷維護，以最低的成本得到最佳的維護效果，且預防維護的成效往往高於結構物受損後的事後維護。

參考文獻

- 中興工程顧問社(1999)，"橋基保護工法與沖刷防治技術研討會論文集"。
- 交通部(2008)，"公路橋梁耐震設計規範"。
- 交通部(2009)，"公路排水設計規範"。
- 交通部(2009)，"公路橋梁設計規範"。
- 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"。
- 交通部臺灣區國道新建工程局(2006)，"河川變遷、堤防保護與橋墩基礎型式選擇之整合研究"。
- 交通部運輸研究所(1998)，"本省西部重要河川橋樑橋基災害分析與橋基保護工法資料庫系統之建立"。
- 財團法人中華顧問工程司(2001)，"從設計方面防止橋梁基礎沖刷倒塌之研究"。
- 財團法人中華顧問工程司(2009)，"2009莫拉克颱風八八水災橋梁勘災紀實"。
- 陳福勝、何泰源(2000)，"土工結構物之維護與補強新技術之發展"，中華技術，p.73~p.90。
- 經濟部(2010)，"申請跨河建造物設置注意事項"。
- 蕭秋安、周功台、高邦基(2007)，"橋梁基礎修復補強設計與施工案例介紹"，土工技術114期，p.33~p.44。
- 日本鐵道總研報告(2009)，"洗掘災害發生要因の分析と洗掘要注意橋りょう抽出手法"，vol.23，No.3，p.23~p.28。
- 基礎工(2001)，"基礎工の洗掘と維護管理"，vol.29，No.9，P2.~P5。
- 基礎工(2005)，"地中構造物の變狀と維持管理の課題"，vol.22，No.8，P2.~P5。