



光復大橋 耐震評估後之 基礎補強 設計與施工

The Retrofit Design and Construction of GuangFu Bridge Foundation after Seismic Evaluation

詹榮鋒／新北市政府工務局 局長

馮兆麟／新北市政府養護工程處 處長

簡必琦／新北市政府養護工程處 副處長

黃春田／新北市政府養護工程處 副處長

張英發／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部 技術經理

蔡建民／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部 計畫經理

黃振榮／國裕建設工程股份有限公司 工務部經理

池華偉／邑葛工程顧問有限公司 監造主任

光復大橋為串連新北市與台北市的重要橋梁，銜接新北市板橋區光復里與台北市萬華區。本工程於民國 66 年竣工通行使用距今已達 43 年，跨河主橋為四跨連續斜張橋，造型簡潔但也引人著目。本橋因為往來台北市及新北市防災救災重要橋梁，交通通行量大、交通繁忙且使用年代較久，配合新北市政府政策進行橋梁耐震能力評估，耐震評估等級與目標方面係依據民國 98 年「公路橋梁耐震能力評估及補強準則（草案）」辦理，在耐震評估分析方面則參考民國 102 年「公路橋梁耐震性能設計規範（草案）複審成果報告書」及民國 105 年「公路橋梁耐震性能設計規範草案案例研究」進行分析評估。

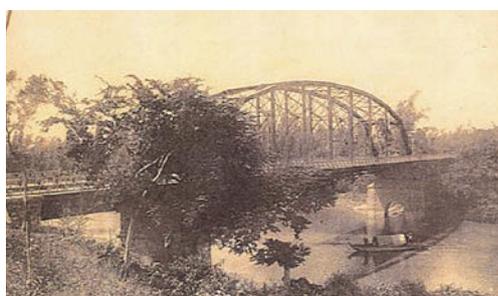
主橋段原設計係採 60 cm × 60 cm 方形預鑄預力混凝土空心樁，經耐震評估後基樁彎矩強度無法滿足現有耐震規範需求，且基礎沖刷嚴重，爰經耐震分析評估後，建議辦理下部結構墩柱的鋼板包覆補強及基礎基樁補強。因此，本補強作業針對主橋段之橋墩進行基礎及基樁補強，每一橋墩新增設 12 支 1.5 m 直徑的場鑄混凝土基樁。其中，本橋橋墩（編號 P10）位於新店溪深槽區，基礎補強須考量其防洪需求外，仍應維持橋梁通行安全。同時在現有橋梁淨高受限下施工，使得基樁施工困難度高；本橋基樁採雙套管圍堰施工，基礎則採雙層鋼板樁圍堰施工，施工期間不僅面臨河道高低水位的來回衝擊外，部分圍堰亦遭遇河水沖刷造成局部淘空等可變環境因素影響，使得本橋墩耐震補強施工面臨很大的危機。所幸經由本團隊的密切合作及配合，克服相關問題後完成本橋的耐震補強施工。

本文將對光復大橋的耐震分析及補強方案作說明，同時針對深槽區的橋墩設計與施工所遭遇的困難進行探討及介紹，作為未來橋梁基礎及基樁補強設計之參考。

關鍵字：光復大橋、耐震評估、基礎補強、斜張橋

前言

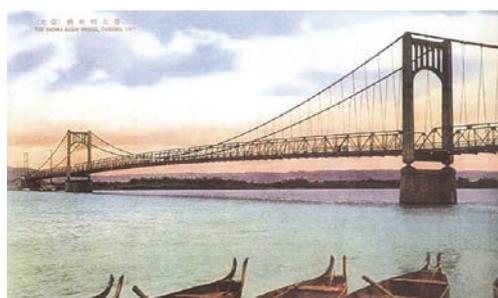
光復橋前身為昭和橋，與淡水河的臺北橋，和基隆河的明治橋（中山橋）、新店溪的川端橋（中正橋）並稱為「台北城四大名橋」。民國 22 年「昭和橋」竣工，為橋長 369 m，寬 4.5 m 之吊橋，民國 34 年 10 月 25 日，臺灣光復，改名為「光復橋」。民國 66 年 12 月 1 日光復橋重建通車，主橋 402 m，淨寬 20 m，包括 15 m 四線車道及兩側各 2.5 m 人行道，斜張式吊橋預力混凝土構造，是遠東地區首座採斜張式設計的橋梁，迄今橋齡超過 43 年^[1]。



第一代明治橋，1901（現名中山橋）



第二代台北橋，1925



昭和橋，1933（現名光復橋）



川端橋，1937（現名中正橋）

圖 1 台北城四大名橋相片
（相片參考自台灣土木史叢書）

光復大橋為銜接新北市板橋區光復里與台北市萬華區，跨河主橋為四跨連續斜張橋，跨徑配置為 67 m + 134 m + 134 m + 67 m，全長為 402 公尺。本橋橋面寬 20.4 m，上部結構主梁型式為預力 T 型梁，下部結構為框架式混凝土橋墩，橋墩基礎型式為預鑄預力混凝土樁基礎。



圖 2 光復大橋現況相片

本橋於 105 年委由台灣世曦工程顧問股份有限公司進行橋梁耐震能力評估後，耐震評估等級與目標方面係依據民國 98 年「公路橋梁耐震能力評估及補強準則（草案）」辦理，在耐震評估分析方面則參考民國 102 年「公路橋梁耐震性能設計規範（草案）複審成果報告書」及民國 105 年「公路橋梁耐震性能設計規範草案案例研究」進行分析評估。本橋段原設計係採 60 cm × 60 cm 方形預鑄預力混凝土空心樁，考量基礎冲刷下進行耐震分析評估後，發現基樁彎矩強度無法滿足現有耐震規範要求，下部結構須進行墩柱的鋼板包覆及基樁補強，故針對主橋段橋墩進行基礎及基樁補強。

考量為維持現有橋梁正常通車條件下進行本橋的補強施工作業，須考量基樁施工位於現有橋面板下方來執行，受橋下淨高限制。此外，本橋橋墩位於河道內，但有一橋墩（編號 P10）位於新店溪深槽區內，常年都有水且因地形因素，致河道遭遇水流局部淘刷嚴重，現有基樁已有懸露於河床面。同時考量因基礎掏空造成土壤結構鬆散，致基樁澆注混凝土無法成形之因素，全套管基樁施工須採用採雙套管施工工法予以克服。另其基礎施工則利用雙層鋼板樁圍堰工法將施工區域的水排除後，將新舊基礎結合在一起。

本橋係屬特殊的斜張橋橋型，於耐震分析時亦須進行較為詳實的分析後，為符合現有耐震評估規範的要求，大膽地採用較為特殊的施工工法完成本橋的補

強作業，過程中亦遭遇了許多困難並克服後，完成了本橋的補強作業。因此，特撰寫了本文章介紹本橋補強作業的構想、遭遇困難及克服艱難心路，並作為日後工程師的參考文獻。

耐震分析與評估結果

光復大橋台北端引橋係屬台北市政府管轄規範，已配合辦理相關補強作業完成，而新北端引橋部分已於 99 年由新北市政府改建竣工完成。因此，本橋分析結構耐震評估單元係光復大橋主橋（橋墩編號 P8 ~ P12）為主，其橋塔與橋墩為固接結構（R 為固接），斜張橋兩側則配置可動式支承（M 為可動式支承），而橋塔及橋塔之間橋面以外懸鉸接方式進行接合，其設計配置圖如圖 3，簡化後示意圖如圖 4，其中編號 P9 及 P11 為主橋段兩側橋塔，編號 P10 深槽區中橋塔。

本橋原設計圖說中之材料使用，預力梁及塔柱採用之混凝土強度為 350 kg/cm²，而橋墩及橋面採用之混凝土強度為 280 kg/cm²，鋼筋強度（fy）為 2,800 kg/cm²，鋼索最低極限強度為 19,000 kg/cm²。本橋工址介

於台北市萬華區至新北市板橋區光復里，分屬台北盆地之台北二區及一區，無斷層經過。為完成本橋的結構分析評估，建立整體結構模型係有其必要性，完成後之整體結構模型如圖 5 所示。其中，主塔墩柱為中空結構，其斷面以 SAP2000 進行斷面設定後，再採用 AutoCAD 進行斷面評估，確保兩者沒有太大的差異下進行分析及評估作業，如圖 6 所示。

經採側推分析後，其行車向及垂直行車向的塑性鉸分佈圖如圖 7 所示。另由面積相等原則，以「等降伏能量法」雙線性化技巧決定容量震譜之降伏點，獲得性能狀態之譜位移容量，其有效最大地表加速度（Effective Peak Acceleration, EPA）與譜位移關係圖如圖 8 所示。由圖所示，其上部結構的耐震能力尚符耐震規範判斷標準要求之耐震性能。

考量現有橋墩為中空結構，鋼筋於墩底塑鉸區搭接並開設人孔，且現場橋墩已局部產生裂縫，建議於墩柱內部灌注部分混凝土及外部鋼板包覆，以避免較大地震發生時，因施工細節而產生結構破壞。而 P8 橋墩鄰近現有堤防及防汛道路，因涉及堤防的防洪要

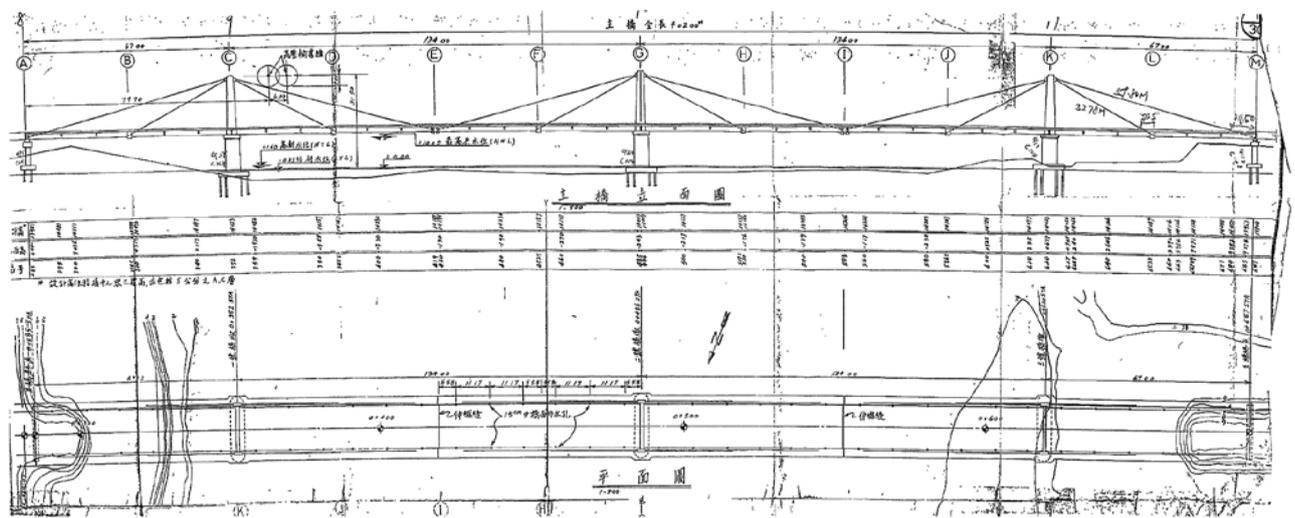


圖 3 光復大橋跨河主橋設計配置圖

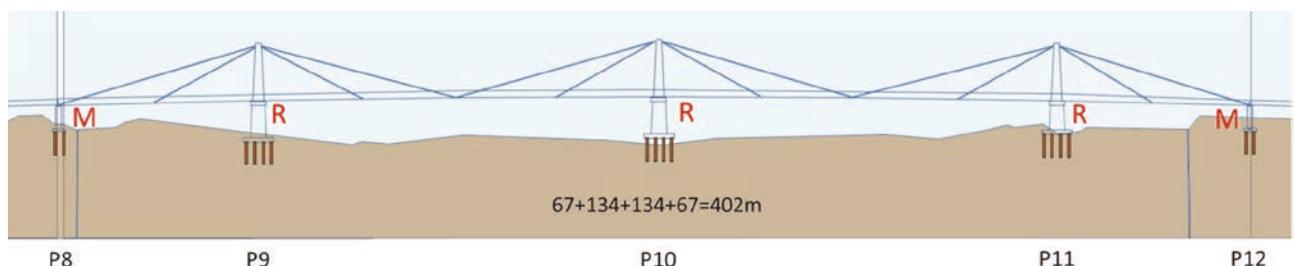


圖 4 光復大橋跨河主橋結構配置示意圖

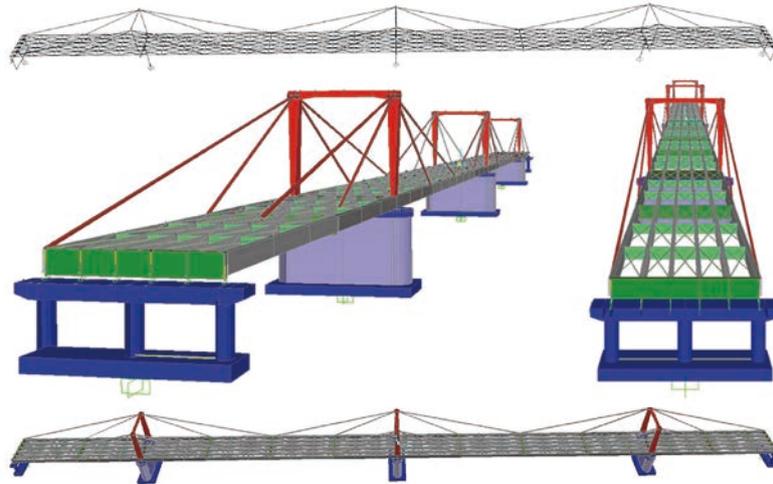


圖 5 光復大橋跨河主橋整體結構模型

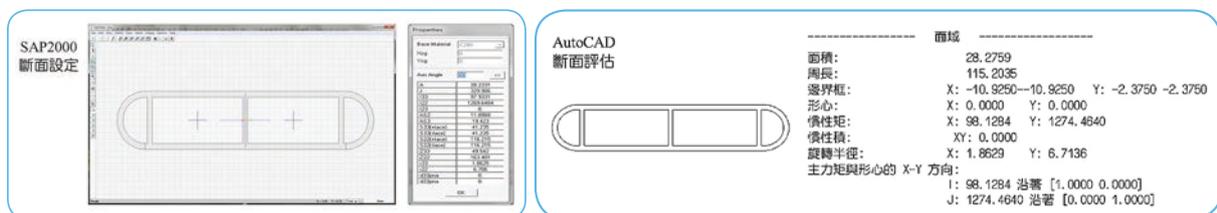


圖 6 主塔墩柱断面設定及評估



圖 7 側推分析下之塑性鉸分佈圖

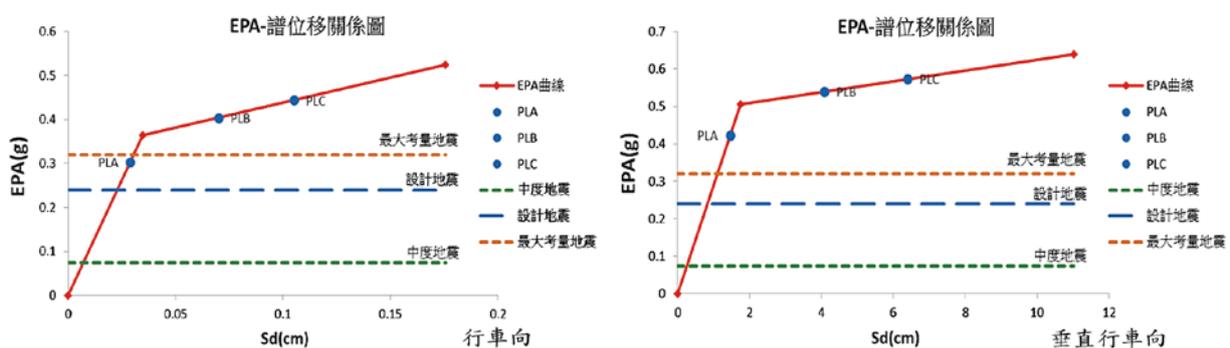


圖 8 有效地表加速度 (EPA) 與譜位移關係圖

求致補強作業成本高，且墩柱周遭均作為休閒空間使用，打設混泥土地坪使得基礎土層地質條件較佳。如此一來，經由主橋塔柱的勁度提升及分擔邊跨的橫向作用力，分析結果 P8 橋墩的基礎可不用補強作業。

本橋進行結構耐震分析時，在考量分析軟體的穩定性及結構週期、屬性的不同，原則上係採上部結構與下

部結構分開的二個個別結構模型進行分析，但為確認下部結構對上部結構的影響，將新增基樁等轉換成等值彈簧，於分析模式下進行結構分析，如圖 9 所示。

為求謹慎及比對不同柱底模式下的耐震評估成果，於結構分析過程中，考量柱底為固接或彈簧兩種模式進行分析，分析結果如圖 10 所示。由圖中結果

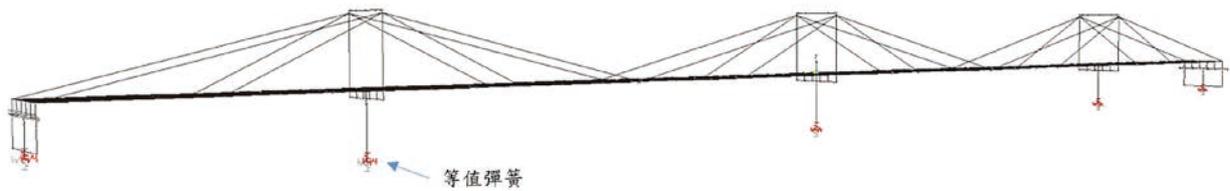


圖 9 下部結構採等值彈簧之分析模型

進行比對，其結果差異不大，表示採用柱底為固接模式，仍可符合本案耐震分析需求。

對於橋墩基礎的分析，考量柱底受力及基礎版上方長期穩定之覆土重或其它靜載重下，基礎版高度效應以 3 個節點及 2 個元素剛性桿件模擬，基礎版本體則以桿件元素模擬；樁以桿件元素模擬，節點可採上部較密、下部較疏方式，以減少自由度。對於土壤彈簧模擬，基礎版土壤模擬僅考慮水平變位前方土壤水平向效應，樁土壤彈簧考慮樁底鉛垂向、鉛垂向摩擦、水平向等效應。本工程各橋墩基礎耐震分析之結構模型如圖 11 所示。

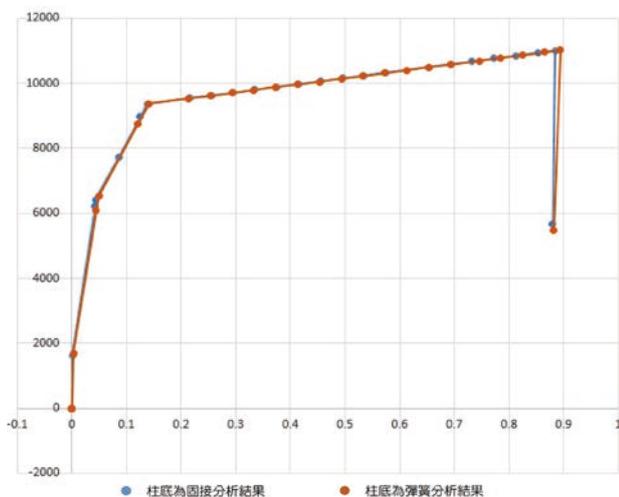


圖 10 考量柱底為固定及等值彈簧之分析比對圖

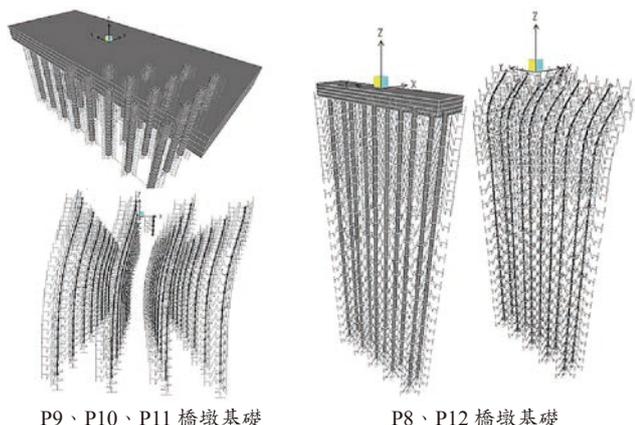


圖 11 各橋墩基礎耐震分析結構模型

橋墩基樁經耐震分析後，橋墩編號 P9、P10 及 P11 之樁頂設計地震力，經綜合橋軸向與橫向部分，其地震作用受力如表 1 所示。其中 P9 及 P11 基樁最大彎矩為 33.6 tf-m，而 P10 在考量河床沖刷下基樁最大彎矩為 154 tf-m。另參考 TL-500PC 基樁規格，本橋基樁採 42 根 5 mm 鋼線，其總面積為 8.23 cm²，其極限彎矩強度約為 25.1 至 39.1 tf-m。因此，在考量在沖刷深度最深時，當地震發生，基樁所能承受彎矩是有所不足，故配合進行補強作業。

表 1 補強前各橋墩基樁於設計地震力作用下之受力

P9、P11	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-172 ~ -342	26.5 ~ 27.6	27.2 ~ 33.6
P10	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-319 ~ -386	38 ~ 39	138 ~ 154

綜上所述，橋墩基樁須進行基礎補強，因此配合於 P9、P10 及 P11 各增設 12 支 1.5 m 直徑場鑄基樁，其補強位置在橋墩行車向前後各 6 支；P12 增設 4 支 1.5 m 直徑場鑄基樁，其補強位置在橋墩垂直行車向各 2 支，其基樁位置示意圖如圖 12 所示。經考量補強基樁後重新進行耐震分析，各橋墩基礎耐震分析之結構模型如圖 13 所示。

其中，既有的上部結構及基礎載重須考量由既有基樁來承受其作用力外，其餘補強後之基礎及地震力可由補強基樁來分擔。補強後分析結果如表 2 所示，P10 既有基樁受力於補強後已大幅下降，而補強後新增補強基樁的受力如表 3 所示，整體可符合耐震需求。

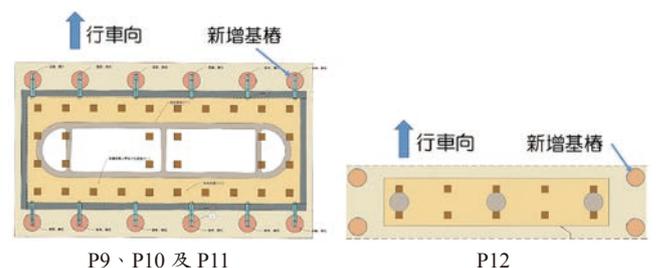
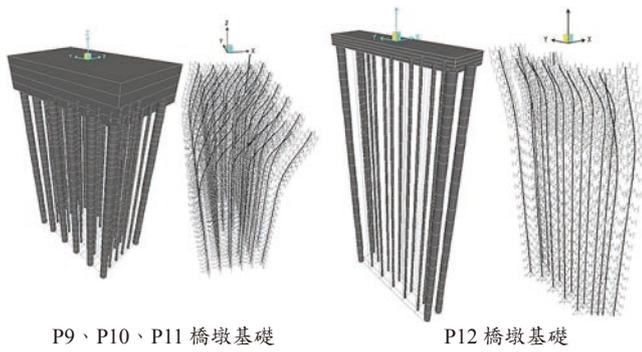


圖 12 各橋墩增設基樁位置示意圖



P9、P10、P11 橋墩基礎 P12 橋墩基礎
圖 13 各橋墩基礎補強後之耐震分析結構模型

表 2 補強後既有基樁於設計地震力作用下之受力

P9、P11	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-222 ~ -252	4.9 ~ 24.9	19.1 ~ 43.2
P10	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-224 ~ -254	4.8 ~ 25.3	18.1 ~ 42.8

表 3 補強後新增補強基樁於設計地震力作用下之受力

P9、P11	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-652 ~ -626	22.9 ~ 149.7	164.1 ~ 423.5
P10	軸力 [tf]	剪力 [tf]	彎矩 [tf-m]
壓力樁	-644 ~ -617	22.5 ~ 149.4	158.5 ~ 411.0

補強設計與工程特色

本橋經耐震分析後，須進行本橋的基樁、基礎及墩柱進行補強作業，其中墩柱部須進行耐震能力補強。對於 RC 橋柱耐震能力不足之補強方式，國內常用的橋柱補強方法，大致可採用三種方法，分別為混凝土 RC 包覆工法、鋼板包覆工法及碳纖維材包覆工法。本橋因墩柱位處河道中，長期會與河水接觸，受

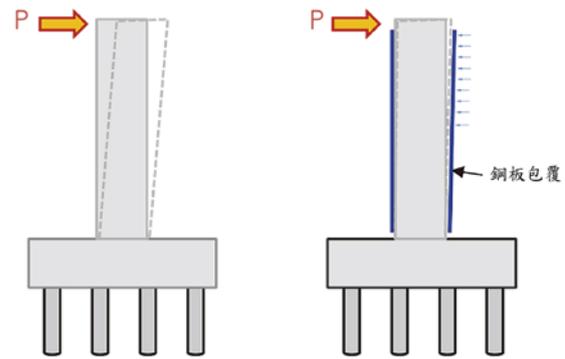


圖 14 墩柱鋼板包覆之補強前後受力與變形示意圖

限於碳纖維材料遇水會劣化，本處不適合採用包覆工法；另 RC 包覆工法須要較大的包覆空間與尺寸，恐會對河川水流造成阻礙與影響。因此本工程橋墩補強，主要係採鋼板包覆工法，以提供墩柱較好的圍束力，讓柱子有更好的韌性，就類似於橋墩外側穿上鐵衣，柱子要變形，外側的鐵衣可以提供橋墩束制且具較好的變形能力，如圖 14 所示。

本橋跨越新店溪，主橋段橋墩位於河道，如圖 15 所示。其中主塔墩柱編號 P9 及 P11 位於兩端的高灘地上，而 P10 位置處於深河槽，常年有水。本工程的墩柱基樁與基礎補強作業，為減少補強後基礎結構量體以維河中水流的通暢，同時要符合水理主管單位的要求，新舊基礎結合以不增加過多結構體造成阻水為原則。因此，新增基樁施築於基礎外側後，開挖至舊有基礎下方後再將新舊基樁結合成一體。為達到原設計目標，橋墩基礎採用托底方式來進行補強，其施工作業示意圖如圖 16 所示。



圖 15 墩柱基樁補強現場

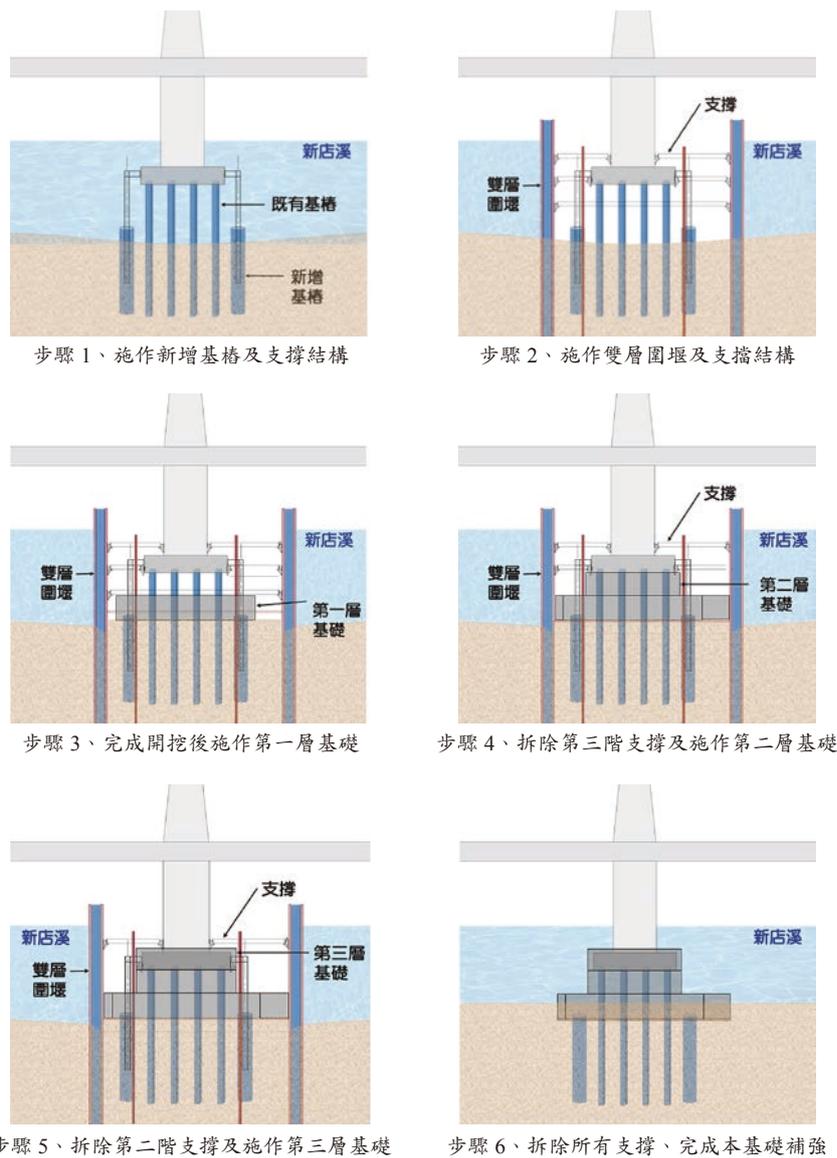


圖 16 基樁補強工步驟示意圖

顧名思義，補強工法是在既有結構物鄰近增設新的結構支撐，作為舊有結構補強需求。因此，補強施工時須考量現有結構體的存在，同時要顧及橋梁結構的安全並要維持原有營運，其施工困難度往往會較新建工程更為困難與複雜。對於本橋的基樁與基礎補強，主塔墩柱編號 P9、P10 及 P11 各新增 12 支 1.5 m 直徑場鑄混凝土基樁，墩柱編號 P12 新增 4 支 1.5 m 直徑場鑄混凝土基樁，並要將新基樁與既有基礎結合在一起。特別是墩柱 P10，該橋墩柱於補強施工作業時，不僅要先施作施工便橋外，同時亦需架設施工構台到河中，方可進行基樁施工及後續圍堰施工。

本工程於補強設計過程中，面臨不少困難點須加以克服，同樣也是本工程特色，包含了本橋施工作業

的淨高限制、雙層套管基樁施工、開挖階段安全支撐及基礎開挖雙層圍堰等。以下就本工程特色與克服工程困難作概要介紹與說明。

淨高限制下的基樁施工

本橋墩基樁增設於行車向橋下，其上方橋梁尚要維持正常車輛通行營運下，使得本墩柱基樁的施工淨高受限，增加施工困難度。考量其橋墩位置不同所產生的不同淨高限制，擬定其施工作業措施。如圖 17 所示，高灘地的高度受限時，可採降挖方式來增加其作業高度，便於施工。深河槽區的墩柱 P10，常時有水，須配合新店溪的河水潮位來調整施工便橋與施工構台高程，以利基樁施工。構台高程須避免於高潮位時遭



圖 17 墩柱 P10 之施工便橋及施工構台配置

淹沒，但也要顧及其施工淨高的最大需求。

考量橋下淨高受限下，除施工機器須配合採用合宜大小外，基樁鋼筋長度的搭接為設計時考量重點。設計時考量若以鋼筋搭接時，主筋搭接過長會減少其可施作長度，增加過多的搭接數，造成施工的困擾。因此本工程之基樁搭接係採鋼套環方式處理，其搭接方式如圖 18 所示。

雙層套管基樁施工工法

本次補強基樁採 1.5 m 直徑場鑄混凝土樁，原則上係採全套管基樁施工，為一般橋梁工程常被使用的基樁工法。該基樁施工大都是單層的套管，於完成套管內土壤挖掘，配置鋼筋籠並灌注混凝土後拔除套管，如圖 19 所示。然而，墩柱 P10 因位於深槽區中，水深達 12 公尺，配合橋墩處的河床高程及水位高度，無法採用一般的全套管基樁施工，其最上端的混凝土會遭遇河水水流衝擊流失無法成形。此外，若考量以築島圍堰後施作基樁，不僅施工法經費高，且因施工期長而長期佔據通洪面積，不易通過水理分析及水利主管單位的核可。因此，同時考量因基礎掏空造成土壤結構鬆散，致基樁澆注混凝土無法成形之因素，全套管基樁施工須採用採雙套管施工工法予以克服，如圖 20



圖 18 基樁鋼筋搭接施工相片

所示，並已全部施築完成。本墩柱所採用的雙套管施工，是於一般單層套管的外側再套一層外套鋼管，其深度深入土壤約 3 公尺深，讓外套鋼管可以達到止水效果，內部可以施作基樁，基樁澆注完成後保留至基礎施工時，於開挖後再切除。

開挖階段安全支撐

為確保橋梁於基礎開挖階段的整體安全性，設計時就考量增設臨時支撐作為開挖時的補償支撐。首先，於場鑄基樁施工階段內插入型鋼，以作為開挖時安全支撐使用，如圖 21 所示。當完成第一階支撐後，即開始進行安全支撐的安裝，將基礎可能承受之地震力傳遞至新的基樁。本項安全支撐於第二層基礎澆注完成後即可拆除，完成其負擔的安全任務。



圖 19 墩柱 P9 及 P11 基樁施工示意圖及相片



圖 20 墩柱 P10 雙層套管基樁施工示意圖及相片



圖 21 墩柱安全支撐示意圖及施工相片

雙層圍堰

為將新舊基礎結合在既有基礎下方，施工時須採雙層圍堰工法將施工區域的水排除後，以利於其下方施工，包含其配置鋼筋及灌注混凝土。本橋墩所使用的圍堰工法，即利用雙層鋼板樁、板樁間內填土壤的方式，將圍堰外側的水阻隔於外，俟內側的水抽乾後，於內側進行開挖、配置鋼筋、組模及澆注混凝土，讓基礎結構可以結合在一起，使達到橋墩耐震補強能力。

墩柱 P10 的雙層圍堰配置圖如圖 22 所示，其中雙層圍堰打設雙層 SP-IV 鋼板樁，長度 23 m、間距約為 1 m，中間填充土壤阻隔河中滲流至內部。除此之外，因本圍堰深度較深，為加強其勁度需求，於圍堰外側各加設長 30 m 的 H 型鋼樁 (H300 × 300 × 10 × 15)，以確保開挖的安全性。

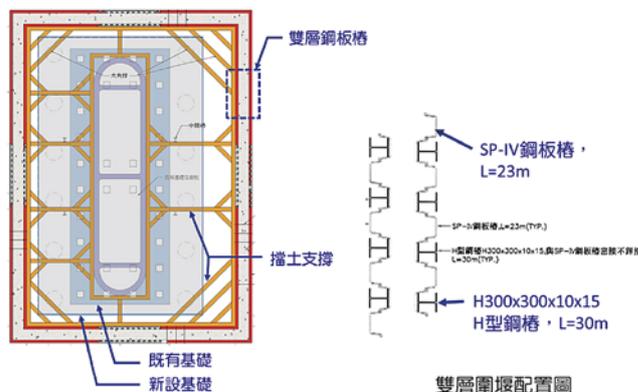


圖 22 墩柱 P10 雙層圍堰配置圖

施工經費受限的施工工法考量

本工程河中墩柱 P10 位於深河槽中，長年有水，雙層圍堰施工順利為本工程的關鍵點，因此於設計階段就要詳加考量及評估。設計階段亦針對表 4 所列的

表 4 設計階段各種圍堰工法評估比較表

No	圍堰工法	工期 [月]	經費 [萬元]
1	鋼板樁 + H 型鋼 (非複合) 雙層圍堰	6	3,300
2	鋼板樁 + H 型鋼 (複合) 雙層圍堰	7	5,000
3	鋼管樁圍堰	8	6,600
4	鋼板樁 + H 型鋼 (河中對拉) 雙層圍堰	7	3,500

各種圍堰工法進行工期及經費評估，在評估淨高受限條件及工址施工環境等因素，以方案 3 的鋼管樁圍堰安全度最高但費用高且工期長，而以方案 4 的 H 型鋼 (河中對拉) 須於採潛水夫於河中施工最具危險性。經討論及審查後，最終以工程經費最省的方案 1 為本墩柱圍堰工法。

施工困難與遭遇問題

本工程於 107 年 11 月發包，由國裕建設工程股份有限公司得標，監造廠商為邑菖工程顧問有限公司，並於 107 年 11 月開工。施工期間遭遇河中段施工的地質不確定風險、施工高度受限、施工困難及颱風來擊等問題，所幸經由施工團隊間的合作及配合，完成本工程之施工。

河中段施工的地質不確定風險

本工程於 107 年 7 月設計時，依據「橋梁維護管理系統資料」中河床測量大斷面數據作為設計時河床高程考量，故以該數據 EL-7.62 作為設計高程，如圖 23。後經施工廠商搭設施工構台於 P10 附近施築基樁時，察覺墩柱下方的地質條件略與設計參考時不同，經向業主反映後並

爭取於墩柱附近進行補充地質鑽探。經實際量測及於基礎版鄰近進行地質鑽探後，發現其河床高程於 108.07 時已下降至 EL-9.12，且於河床上的上層地質不佳，其 N 值都很低。因此，配合該地質條件及河床高程進行第一次雙層鋼板樁圍堰及擋土支撐之變更，採長 23 公尺的 IV 型雙層鋼板樁，並於其外側各加設長 30 公尺長的 H 型鋼樁 (H300 × 300 × 10 × 15)，經審查後據以施工。

依中央氣象局資料顯示，2019 年共有 3 個颱風發佈海上與陸上颱風警報，分別為利奇馬、白鹿及米塔等；同時期，新店溪也經歷多次的大水沖擊後，造成河床持續下陷，且本橋墩位處感潮帶，動床效應相當顯著。另依「新店溪中上游治理規劃報告」資料 [2]，新店溪計畫洪水位 Q200 年頻率因素下之平均流速在中正橋下流為 3.22 m/sec。而實際於光復大橋橋墩柱施工時，發現其深河槽橋墩四周的河水流速相當急，經現場實際量測，河水流速約為 3.1 m/sec。

本工程於 108 年 11 月完成基樁施工並進行雙層鋼板樁施作，並於 109 年 4 月完成雙層鋼板樁圍堰。本工程圍堰原係以鋼索辦理圍堰環梁圍束，惟於回填土時圍堰上游側因內側土壤回填造成局鋼索斷裂，後辦理圍堰環梁加強，改以鋼索加密配置辦理環梁圍束，惟繼續辦理圍堰土方回填後，發現鋼索鬆脫及上游側圍堰大變形，於是緊急徵調 36φ 預力鋼棒辦理圍堰環梁圍束。同時，施工廠商通報圍堰局部產生大變位，並邀集設計單位及專家學者至現場勘查與指導，以供日後補救參考。有關墩柱 P10 圍堰變形位置如圖 24 所示，其變形相片如圖 25 所示。

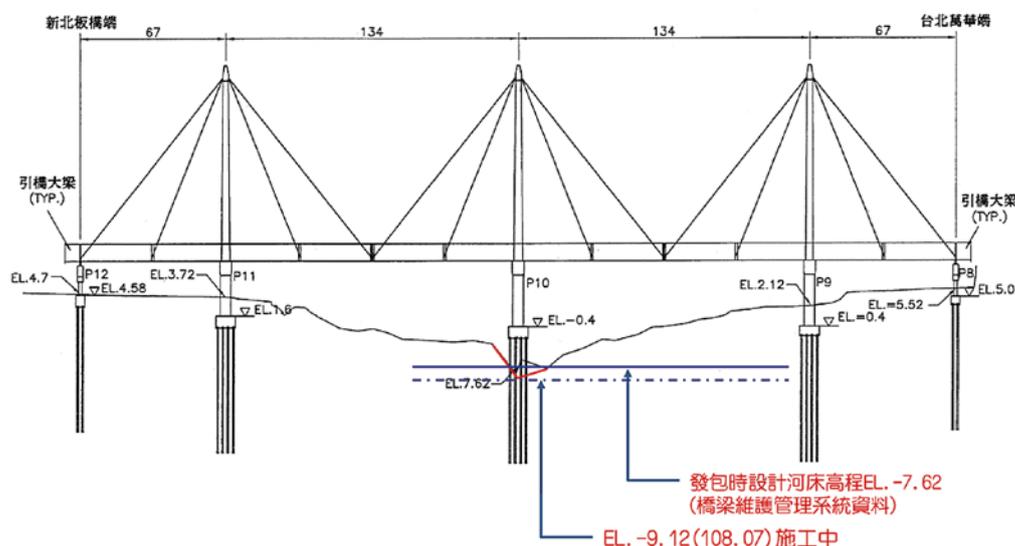


圖 23 河床高程示意圖

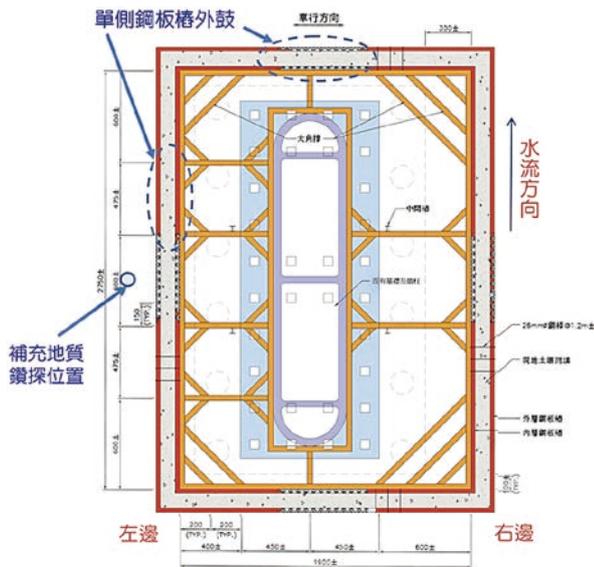


圖 24 墩柱 P10 圍堰變形位置示意圖



圖 25 墩柱 P10 圍堰變形相片

本案於雙層鋼板樁略有變位時，曾量測其河床深度到 EL -10.8 甚至更低。因此，推測應為圍堰設置完成造成水流流線變長，致流速變大掏挖圍堰周圍河床。同時，施工廠商於施工構台附近進行河床深度量測，其河床量測高程如圖 26 所示。其中，最低點位於圍堰鄰新北市側下游處（編號為 2 與 B 交叉點處），其高程為 EL -10.1，較前次河床測量值再往下降低 1 公尺以上。同時，據施工人員說明，P10 橋墩處曾進行部分拋石作業，以加強雙層鋼板樁圍堰外層河床高度及改善其地質條件。此外，施工廠商亦進行該橋墩處

（P10 橋墩）圍堰內之河床高程量測，其高程如圖 27 所示，其平均高程約為 EL -8.11。經了解，雙層鋼板樁圍堰內已配合施工需求，進行部分土壤回填，以減少其基樁裸露，其所量測的數據為已完成回填後之數據。相關數據經整理後，各高程示意圖如圖 28 所示。

為確保雙層圍堰的安全，經由業主召集各單位進行研商，除進行各時段點的河床深度監測外，並採取下列各項措施且於執行後獲得控制，順利完成各項作業。首先，為確保本墩柱雙層圍堰的安全，於雙層鋼板樁先行開孔，讓圍堰內外的水壓力先達到平均，以

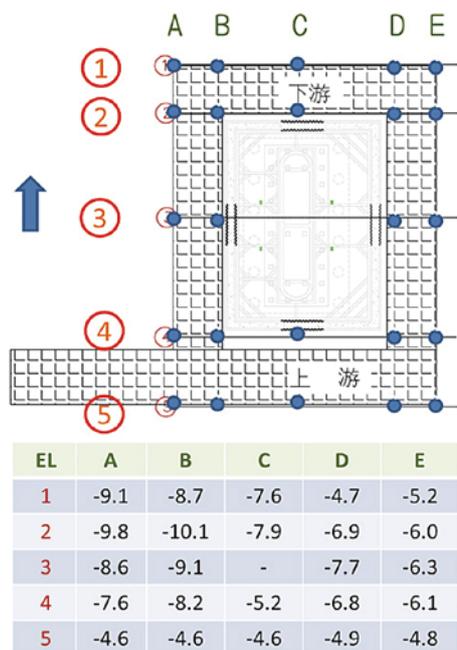
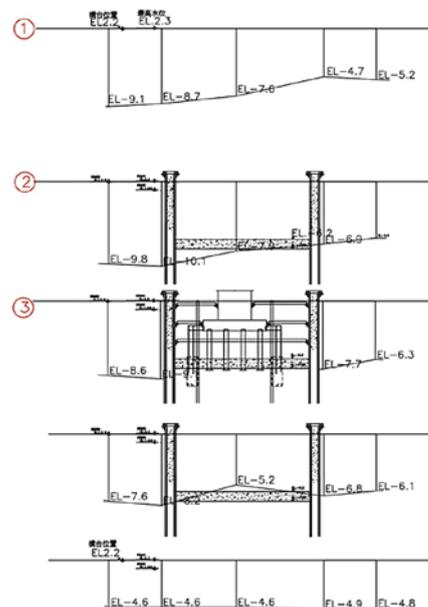


圖 26 墩柱 P10 圍堰外側河床量測高程



減少變形持續惡化，施工前後相片如圖 29 所示。

其次，進行雙層鋼板樁外側之加固作業，用以增加外側圍堰的穩定度。本項施工作業採太空包加混凝土方式，確實增加外層土壤壓力，加固鋼板樁以減少河水漲退對鋼板樁的影響，同時可減緩河水的淘刷；並於圍堰的上下流加設擾流支柱，以擾亂水流減緩水流流速及漲退潮的流速，以期降低水流流速作用於圍

堰的作用力，如圖 30 所示。

考量雙層鋼板樁圍堰基礎範圍內的穩定，改變原開挖支撐後之基礎灌注，改採先以水中混凝土灌注，使得圍堰底部有一層較大的支撐，可作為很好的支撐作用，將會使得後續處理更為方便。施工時須配合灌注作業，其灌注速度要慢，以降低水中混凝土於灌注之流動側壓力。誠如以上所述，經由多次颱風的吹襲及河床沖刷，

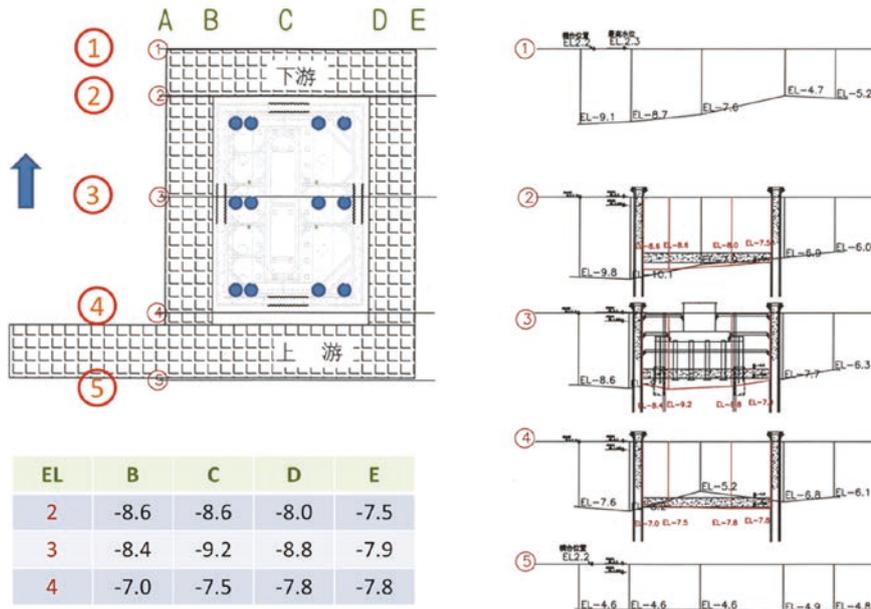


圖 27 墩柱 P10 圍堰內側河床量測高程

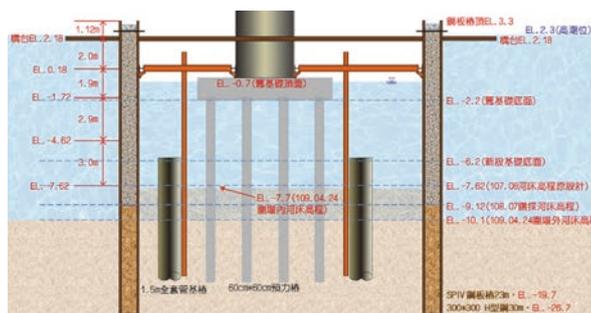


圖 28 墩柱 P10 圍堰量測高程示意圖



圖 29 雙層鋼板樁圍堰開孔現況相片



圖 30 圍堰前加設擾流支柱

使得既有基礎下方的沖刷深度加劇，且其位置位於基礎下方，無法事先探測知道。因此，本次施工時共澆注約 954 方水中混凝土，較原估算高程再下降約 1.5 公尺。

本橋墩柱 P10 位處新店溪深槽區中央，曾於 2019 年（108 年）遭遇多次颱風影響，造成該河段的河床沖刷加劇，而本橋段屬新店溪的感潮段，退潮時容易發生淘刷，而漲潮時容易迴淤，但迴淤時大都為沉泥地質，故造成其橋墩處之地質條件不佳。本工程於第一次變更設計時，已配合工址現況辦理補充地質鑽探，其地質條件及深度與原設計有所差異，然於事故發生後再經現場人員實際量測圍堰最嚴重的區域，其河床又再下降 2.0 公尺以上。

本橋墩圍堰變形發生，主要為局部河床土質變異性大，且因圍堰設置造成水流流線加長，流速加速致淘空基礎河床。另外，由於圍堰主要受潮汐影響大，尤其是漲退潮時，迎水面承受很大的作用力。由於河床的下降可能致圍堰的結構勁度減低，加上其角隅處因受力較大使得結構變形量較大，且受漲退潮之反覆力作用，致使圍堰有所變形。所幸經由上述相關措施施設後，結構之穩定性及安全性獲得確認，並順利施工完成。

淨高限制下的基樁施工

本工程高灘地的橋墩基樁尚可採用局部降挖方式來增加施工作业淨高，但墩柱 P10 位於深河槽中，常時有水，須配合本橋址新店溪的河水潮位來調整施工便橋與施工構台高程，以利基樁施工。構台高程須避免於高潮位時遭淹沒，但也要顧及其施工淨高的最大需求，詳如圖 31。由圖中可看出，施工便橋由墩柱 P11 高灘地河岸較高處往 P10 施工構台逐漸降低，而施工構台的高程不僅須考量河水潮位，同時也要考量施工空間需求。因此在這種情況下，若同時遭逢高水位及大潮時，部分較低的施工便橋會被河水淹沒至構台面。



圖 31 墩柱 P10 之施工便橋及施工構台配置

本橋橋下淨高約為 5 m，使得基樁原可採用 12 m 至 14 m 長的鋼筋，大幅縮短至現有的 4 m。在淨高受限下，施工機具須配合作高度調整，以利適用於本工程，避免損及上部結構及墩柱，其施工時相片如圖 32 所示；另主筋搭接雖採鋼套環方式續接方式處理外，搭接數較一般基樁多，使得工作量增加多、施工進度較為緩慢。本工程基樁施工相片如圖 33 所示。在施工廠商努力鑽趕下，本工程基樁已順利完成相關施工作业。

施工困難

本工程為基礎補強，與新建橋梁的最大不同點為新橋沒有任何的結構體阻碍施工作业，而補強工程存在既有基礎及基樁，不僅造成施工空間受限的施工困難外，同時須於各施工階段都要小心作業，注意並避免於施工過程中造成基樁或基礎的作何損傷而發生意外。

本工程在完成水中混凝土灌注及第一階支撐加強後，逐步完成第二階支撐及第三階支撐施工，開始進行打底混凝土灌注。其中，於第三階支撐施工時，其支撐構件不僅要架設於既有基礎的下方，同時須穿過基礎下方的基樁並不損及其結構。既有基樁係採用 60 公分的矩形基樁，根數高達 32 根，因此於支撐施作及基礎鋼筋綁扎的施工作业都顯相對困難。有關執行第一層基礎鋼筋施工及混凝土灌漿及養護，如圖 34 至圖 38 所示。另第一層混凝土施工澆置完成後，將遭遇原結構基樁之短柱效應，應予以考慮，爰採用保麗龍板隔離原有基樁，以防止短柱效應發生。



淨高受限之基樁挖掘施工作业



淨高受限下之基樁套管接合施工



淨高受限之鋼筋籠搭接施工



淨高受限下之基樁灌注混凝土作業

圖 32 基樁施工相片



圖 33 基樁鋼筋搭接施工相片



圖 38 墩柱 P10 第一層基礎混凝土養護相片

在完成第一層基礎施工後，接者進行第二層基礎施工及混凝土灌漿及養護，則會遭遇既有基礎的存在，高度受限，同時各鋼筋主筋都要避開原有基樁，造成施工作業的困難，其施工相片如圖 39 至圖 43 所示。第二層基礎施工完成後，大致上橋墩柱已達到耐震要求的安全，接下來為墩柱的水刀清洗及第三層基礎施工及鋼板包覆。

為達到如期如質完成的施工目標，縱使基礎下方空間受限，進行基礎鋼筋施工作業長，施工團隊全力以赴，努力不懈來進行，分為二班值並施工至凌晨，其用心值得肯定。

結論

國內曾完不少座橋梁的基礎補強及換底工法案例，其補強經費都相當可觀，據統計每一墩柱的換底經費約在 2,500 萬至 8,000 萬間，與其橋梁跨徑之基礎尺寸、配置等有關，但更與其施工環境、施工困難度息息相關。於河道高灘地作之補強作業，因無施工便橋、構台及圍堰等措施，其費用將可大幅減少；而於深槽區辦理施工，其中施工便橋、構台及圍堰等措施就佔據大部分費用，特別是深開挖工程。本工程在最小工程經費下完成基礎及基樁補強，相較於以往所採用的換底工法，本次



圖 34 墩柱 P10 第一層基礎底層鋼筋施工相片



圖 39 墩柱 P10 第二層基礎鋼筋施工相片



圖 35 墩柱 P10 第一層基礎上層鋼筋施工相片



圖 40 墩柱 P10 第二層基礎組模相片



圖 36 墩柱 P10 第一層基礎組模施工相片



圖 41 墩柱 P10 第二層基礎基礎混凝土澆注施工相片



圖 37 墩柱 P10 第一層基礎混凝土澆注施工相片



圖 42 墩柱 P10 第二層基礎基礎養護相片



圖 43 墩柱 P10 水刀清洗作業相片



圖 44 光復大橋完工相片

所花費的經額較少，但同樣達到橋梁耐震補強的效果。惟施工過程中經歷了圍堰變形及河床持續沖刷等大自然無法預測之變異現象，幸好各委員專家及長官提供了實戰經驗，經由施工團隊用心施工，順利完成本基礎補強施工。日後倘若遭遇類似本橋的深開挖案例，則建議可採用勁度高的鋼管樁圍堰工法，可以支撐較深的開挖深度且安全性較高，惟其費用較為昂貴。

光復大橋若採改建新橋方式辦理，約需 30 億元的經費，且會對現有交通造成較大的衝擊。目前上部結構看起來尚屬良好，承載能力亦符合規範要求，因此本次就下部結構耐震補強方式辦理，補強經費僅需約 2

億元，補強後亦可提供新北市民安全通行橋梁。

本工程施工期間在新北市府各級長官的督導，劉賢琳、陳賜賢及葉連發委員的寶貴意見，及參與本工程之所有工作夥伴們齊心努力下，順利安全完成了本工程之基樁與基礎補強作業，特撰文將本工程的設計與施工過程作一說明，以供工程師設計施工的案例參考。

參考文獻

1. 中國土木水利工程學會，台灣土木史叢書·交通工程誌 V – 橋梁工程篇。
2. 新店溪中上游治理規劃報告，民國八十七年四月，台灣省政府水利處。

110 年 3 月 22 日 蔡總統英文接見中工會及各專門工程學會理事長

宋裕祺理事長擔任各學會理事長代表發言第一位，發言內容略述如下。

總統閣下：

我是中工會理事與土木水利工程學會理事長宋裕祺。

政府近年來積極推動綠能產業，目前離岸風電相關產業國產化目標已逐漸落實在風力機支撐結構的製造與施工，但上游工業的規劃與設計業務仍主控在國外廠商，去年開始經濟部已著手推動訂定適用於台灣工程環境的離岸風力機之調查、設計、施工與運轉等規範，對國內工程界而言意義重大。經濟部制定相關規範的作法有助於將專業技術紮根台灣，未來國內離岸風電設計、施工與運維團隊將有實際工程業績，進而可以組成國家隊以承攬國外工程，工程界除感謝也會配合政府政策，繼續往前邁進。

土木水利工程學會是亞洲土木工程聯盟的五個創始會員國之一，積極參與國際工程聯盟事宜。學會在增進國際工程技術交流、提升亞洲基礎建設與永續發展以及培育亞洲青年工程人才多有努力。此外學會在協助政府訂定工程政策或解決工程問題也扮演積極的角色，學會是結合產官學研的平台，也是政府的民間幕僚機構，總統閣下若有需學會效力之處，敬請不吝吩咐。

