

ISSN:1812-2868

# 臺灣公路工程

第 47 卷 第 11-12 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 47 No.11-12 Dec. 2021

交通部公路總局

中華民國 110 年 12 月 15 日



封 面 說 明

關渡橋

廖城煜 提供



# 臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

## 第 47 卷 第 11-12 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

### 臺灣公路工程

#### 發行人

許 鈺 漳

#### 社長

林 聰 利

#### 總編輯

陳 敬 明

#### 總幹事

李 崇 堂

#### 編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 蔡宗成

劉雅玲 葉双福

陳松堂 薛讚添

陳營富 劉世桐

吳昭煌 李順成

謝哲雄 詹益祥

江金璋 邵厚潔

顏召宜

#### 實務報導

淡江大橋結構系統及隔震設備配置

.....詹益祥、鄭閔中、Kilian KARIUS、羅嘉麟、陳文凱... (2)

橋梁換底工法-先拆後建與先建後拆之探討

.....黃文治、劉世桐、吳鈞堂... (29)

## 淡江大橋結構系統及隔震設備配置

詹益祥<sup>1</sup>、鄭閔中<sup>2</sup>、Kilian KARIUS<sup>3</sup>、羅嘉麟<sup>4</sup>、陳文凱<sup>5</sup>

### 摘要

淡江大橋建設為北台灣重要交通建設計劃，位於臨近台灣海峽淡水河口，為襯托著名“淡江夕照”美景，公路總局辦理國際競圖委由中興工程顧問有限公司，德商萊恩安德工程顧問股份有限公司(Leonhardt Andrä und Partner)及國際知名建築師札哈哈第(Zaha Hadid Architects)聯合承攬團隊以“靜謐舞者”為題，採用單塔不對稱跨徑斜張橋設計，力求線條簡潔精練與淡江夕照相得益彰，如圖摘-1[1]。

淡江大橋採用全漂浮式結構單塔不對稱跨徑斜張橋，橋塔處不設橫梁，設計使用年限為120年，塔高自樁帽基礎以上總高度為211.4公尺，由水面下EL.-11.4至水面上EL.+200公尺，橋梁全長920公尺，其中主跨450公尺，背跨175公尺，配置淡水端二側跨75公尺+70公尺及八里端二側跨75公尺+75公尺，其橋面全寬隨南下及北上線繞行橋塔而變化，介於約45公尺至70公尺間，配置6線標準車道，南北雙向車道之內側車道於初期階段規劃為公車專用道，未來預計作為淡水輕軌系統八里延伸線使用，且設計階段即已將輕軌系統車輛載重納入設計考量，標準車道外側配置2.5公尺寬機車道及5公尺寬自行車及人行混合道，如圖摘-2 [10]~[20]。

淡江大橋之結構規劃為目前世界上最大之單塔不對稱跨徑斜張橋，台灣地處世界六大地震帶之一，本橋之不對稱幾何造型及超大跨徑配置，使設計面臨結構安全抗震系統嚴厲挑戰，採用全漂浮式結構系統設計，適切安排隔震消能設備並設置第二道抗震防護，有效降低地震力並達成安全抗震系統要求。

---

<sup>1</sup> 交通部公路總局西部濱海公路北區臨時工程處處長

<sup>2</sup> 交通部公路總局西部濱海公路北區臨時工程處幫工程師

<sup>3</sup> 德商萊恩安德工程股份有限公司 斯圖加特 德國計劃副理

<sup>4</sup> 中興工程顧問股份有限公司計劃經理

<sup>5</sup> 德商萊恩安德工程顧問股份有限公司 台灣分公司經理

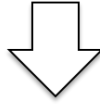


交通部公路總局  
西部濱海公路北區臨時工程處

West Coast Expressway Northern Region Temporary Engineering Office  
Directorate General of Highways, M.O.T.C.



中興工程顧問公司  
Sinotech Engineering  
Consultants, Ltd  
Taiwan R.O.C



德商萊恩安德工程顧問公司  
Leonhardt, Andrä und Partner  
VBI AG  
Germany

美國橋梁專業顧問  
USA Bridge Expert  
Advisor  
(QI YE)

Zaha Hadid Architects  
London UK

日本橋梁專業顧問  
Japan Bridge Expert  
Advisor  
(T. TSUTSUMI)

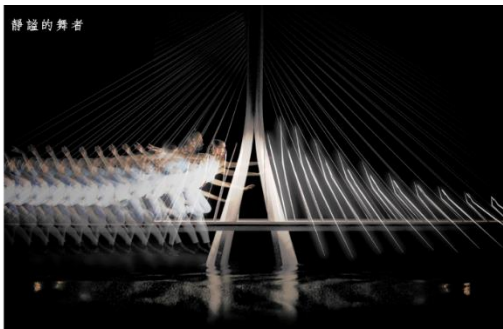


圖 摘-1 靜謐舞者

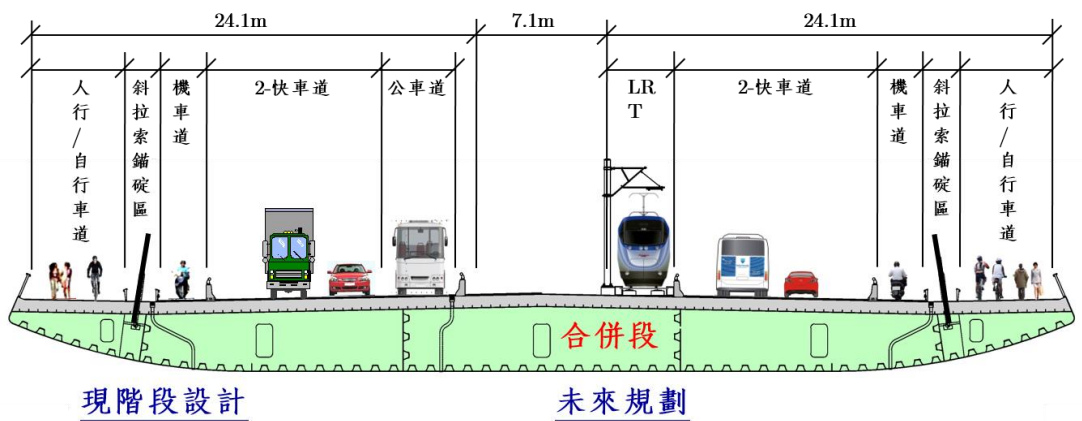
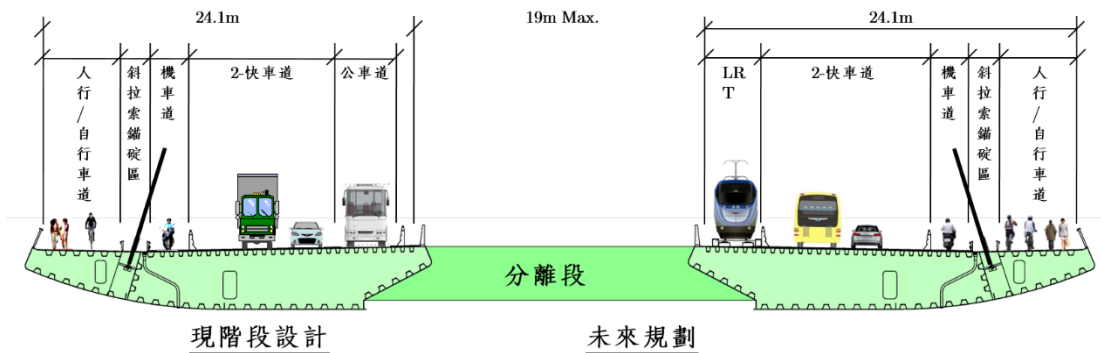
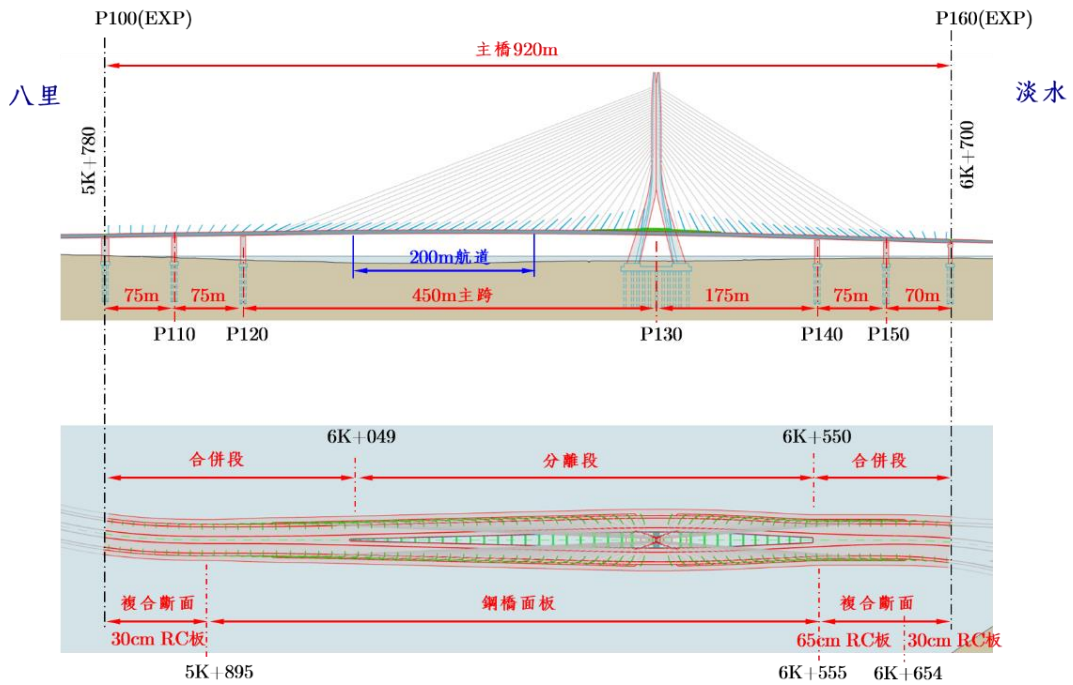


圖 摘-2 淡江大橋規劃

## 一、淡江大橋地理位置[1]

淡江大橋位於台灣北部淡水河口，臨近淡海新市鎮、台北港，連接新北市八里區及淡水區，連接台 2 線、台 15 線、台 61 線快速道路及台 64 線八里新店快速道路，建成後淡水與八里間交通不聯須再繞道關渡大橋，除可縮短 15 公里路程及有效改善關渡大橋之交通外，亦為臺北港及淡海新市鎮提供聯外道路，使北部公路系統更臻完善，如圖 1.1 所示。



圖 1.1 淡江大橋地理位置

## 二、淡江大橋橋型思維[1]

淡江大橋跨越淡水河口，東側緊鄰觀音山，西側為全台知名景點“淡江夕照”，對於橋型設計應最大程度考量不影響夕照美景外，亦應思考以當地人文出發融入壯闊觀音山及柔美淡水河意象，整體思考以“靜謐舞者”為題，納入“山”的意象如圖 2.1 的演化過程，亦融入“河”的意象如圖 2.2 所示。

### 三、地質水文條件[5]~[9]

#### 1. 水文條件

主橋範圍內淡水河水深由淡江端橋墩 P160 處約 1.5 公尺深，向八里端逐漸加深至主航道深槽處水深約 8.4 公尺，而後再逐漸變淺至約 P100 處為 0 公尺，如圖 3.1 所示。

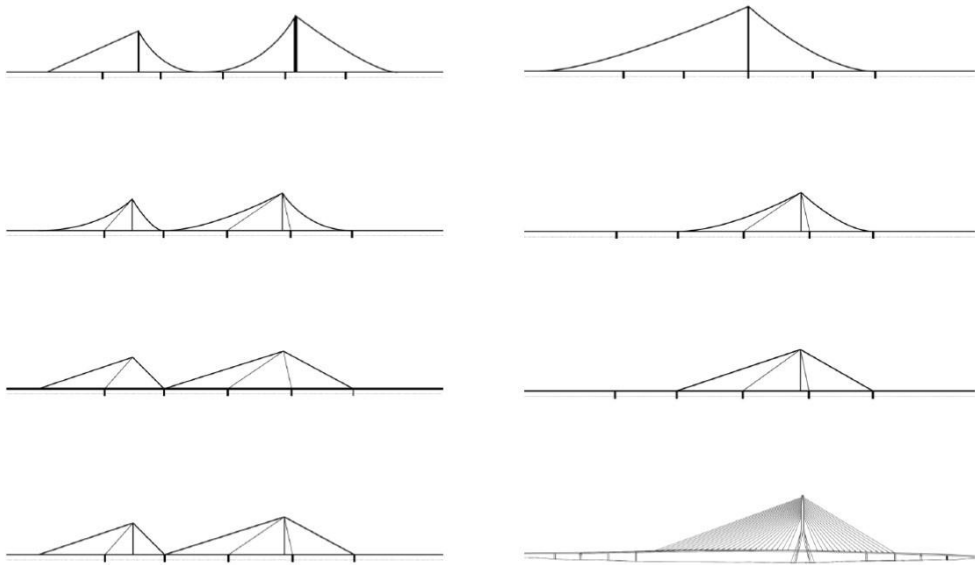


圖 2.1 淡江大橋“山”的意象

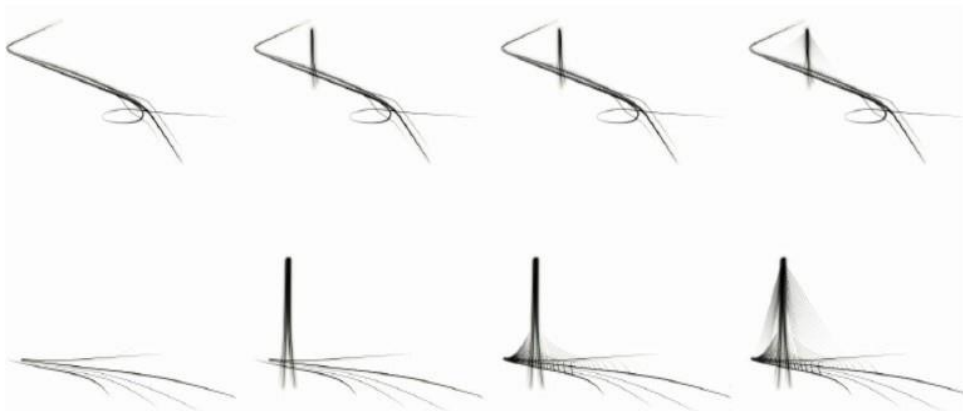


圖 2.2 淡江大橋“河”的意象



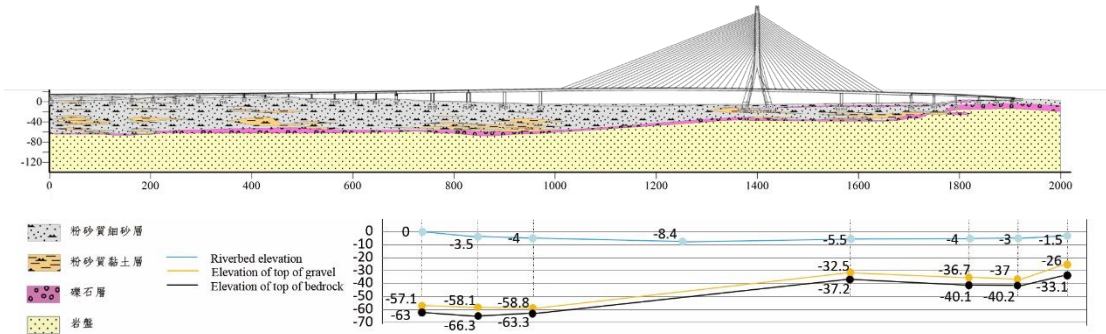
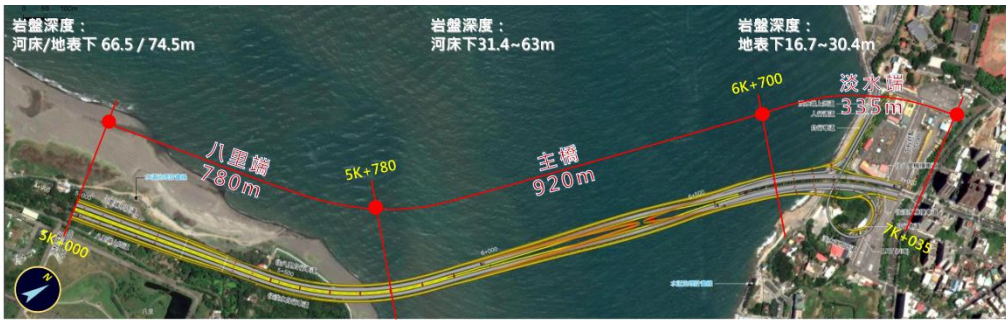


圖 3.1 橋址水文地質圖

## 2. 地質條件[1] [37]~[40]

河床上部為沈積覆土層，包括黏土、沈泥質砂及卵礫石，其下基岩則為細粒砂岩、泥岩、頁岩及礫岩互層組成，基岩為大南灣層軟弱砂岩，基岩深度由淡水端橋墩 P160 處約 EL. -33.1 公尺約略向八里端傾斜至橋墩 P110 處為 EL. -66.3 公尺，如圖 3.1 所示。

橋址範圍附近並無斷層通過，最鄰近橋址之地質構造為距離約 7-8 公里處存在新莊斷層，金山斷層及山腳斷層，其中山腳斷層於約一萬年前曾有作動，如圖 3.2 所示。

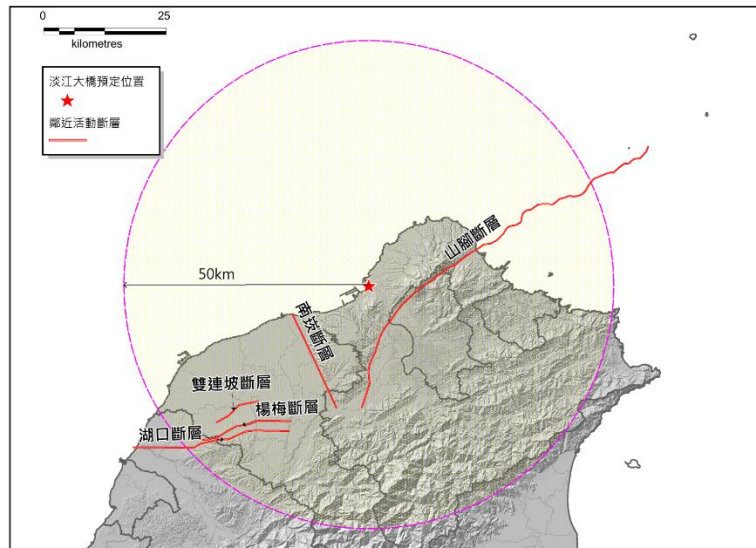


圖 3.2 橋址附近地震斷層圖

## 四、結構配置[10]~[20]，[28]

### 1. 結構跨徑及橋面鋼箱梁載重配置

本橋結構跨徑配置為 75 m + 75 m + 450 m (主跨) + 175 m (背跨) + 75 m + 70 m，主跨中央設置寬度 200 公尺，淨高 20 公尺航道，橋面不含分離區間之寬度介於 44.70 公尺至 55.30 m 間，如圖 4.1 所示。

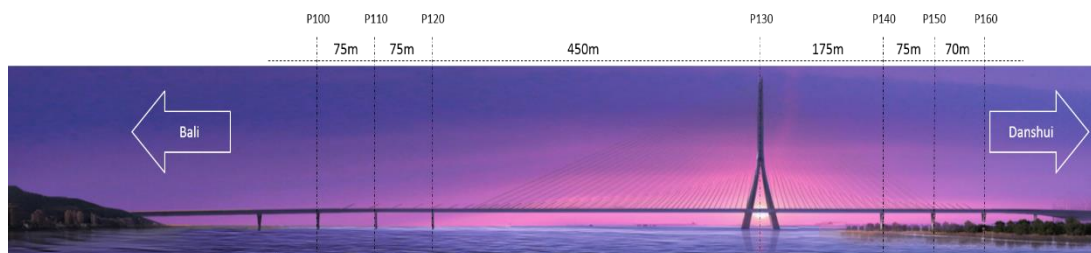


圖 4.1 橋梁結構跨徑配置圖

全橋鋼箱梁結構規劃考量以變化鋼箱梁靜載重方式輔助平衡幾何上不對稱之條件，且橋面結構於橋塔處必需分離約 15 公尺寬以繞行橋塔兩側，因此，橋面鋼箱梁結構於八里端為合併式複合結構鋼箱梁，包含 30 公分厚混凝土橋面板及鋼梁形成複合結構，如圖 4.2 所示綠色部份，之後將複合結構鋼箱梁以內預力方式先過渡轉換成合併式鋼床板結構鋼箱梁，如圖 4.2 所示黃色部份，再將合併式鋼床板鋼箱梁逐漸分離為南下線及北上線之分離式鋼床板鋼箱梁，其間則以鋼橫梁連接，如圖 4.2 所示橘色及紅色部份，繞行過橋塔後，於淡水側則再將分離式鋼床板鋼箱梁合併為包含 65 公分厚混凝土橋面及鋼梁之合併式複合結構鋼箱梁，如圖 4.2 所示藍色部份，最靠近淡水端處再將合併式複合結構鋼箱梁之混凝土厚度縮減為 30 公分厚，如圖 4.2 所示紫色部份。

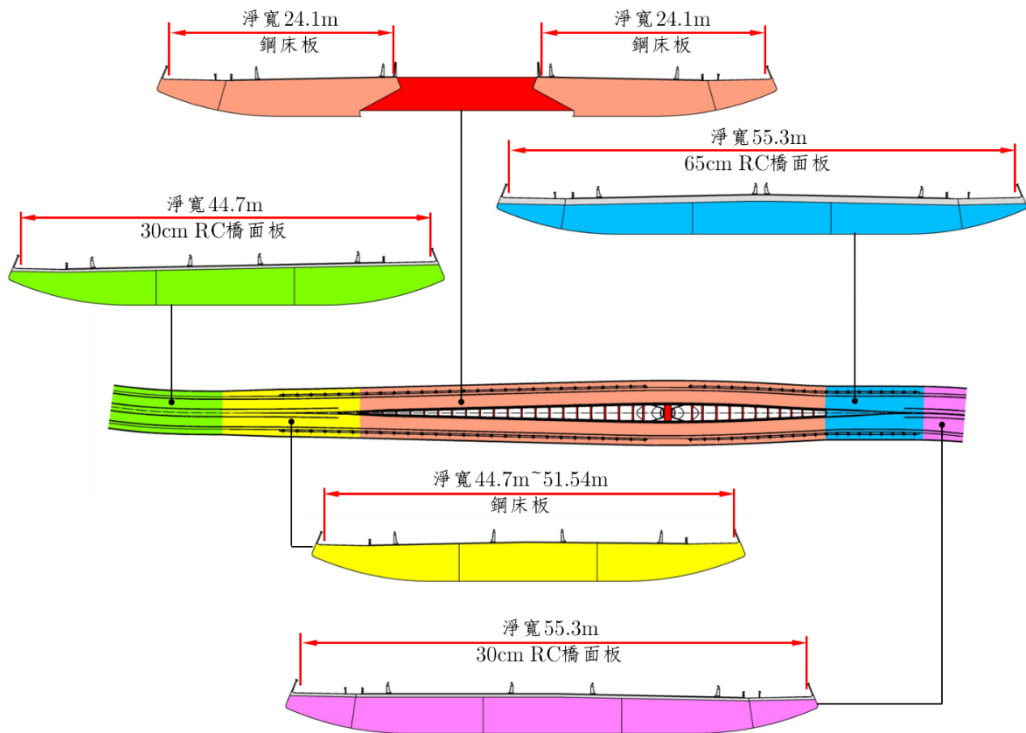


圖 4.2 橋面鋼床板結構及複合結構配置圖

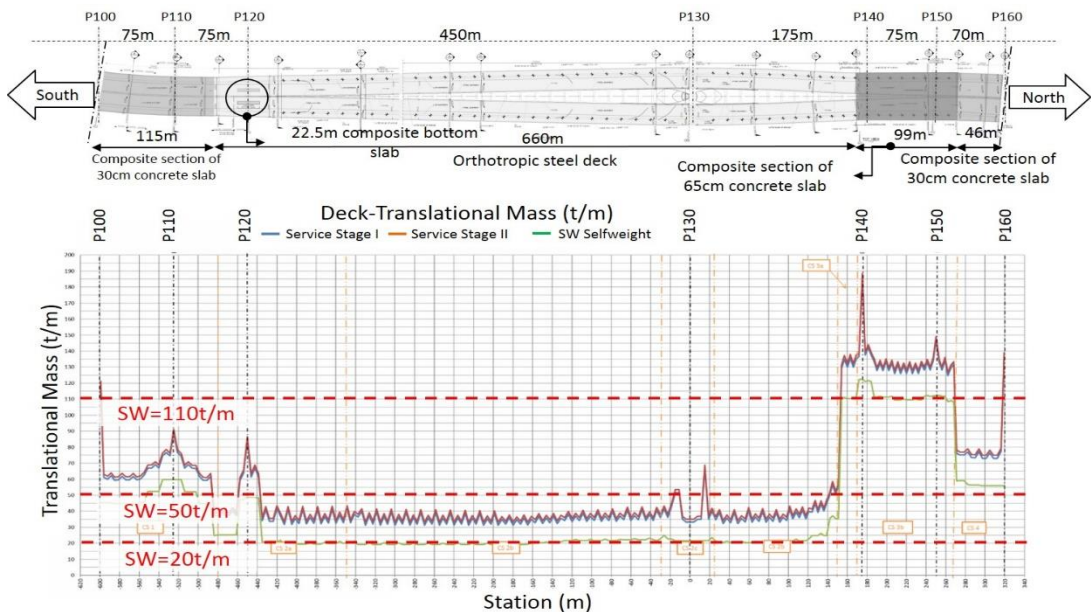


圖 4.3 橋面鋼床板結構及複合結構載重分佈配置圖

前述之結構形式變化為依據多次反覆分析調整以達到在現有不平衡幾何條件下於不同服務狀態，即初期公車專用道階段及未來輕軌捷運系統服務階段，及長期橋梁自重狀態下之最佳載重分佈狀況，如圖 4.3 所示[4]。

橋面配置 6 線標準車道，南北雙向車道之內側車道於初期階段規劃為公車專用道，未來預計作為淡水輕軌系統八里延伸線使用，且設計階段即已將輕軌系統車輛載重納入設計考量，標準車道外側配置 2.5 公尺寬機車道及 5 公尺寬自行車及人行混合道。

## 2. 橋塔結構配置[1] [10]~[20]

橋塔結構在淡江大橋中扮演極其重要的角色，除肩負配合”淡江夕照”整體景觀外，亦需承擔橋梁結構穩定之重任，因此無論其造型或其功能要求皆為重中之重。

在造型上經反覆變化思考修正，主要在於以在地人文元素”靜謐舞者”為題，簡化其線條造型同時考慮光線反射面變化，不以過於繁複造型干擾美麗夕陽為主，如圖 4.4 所示。

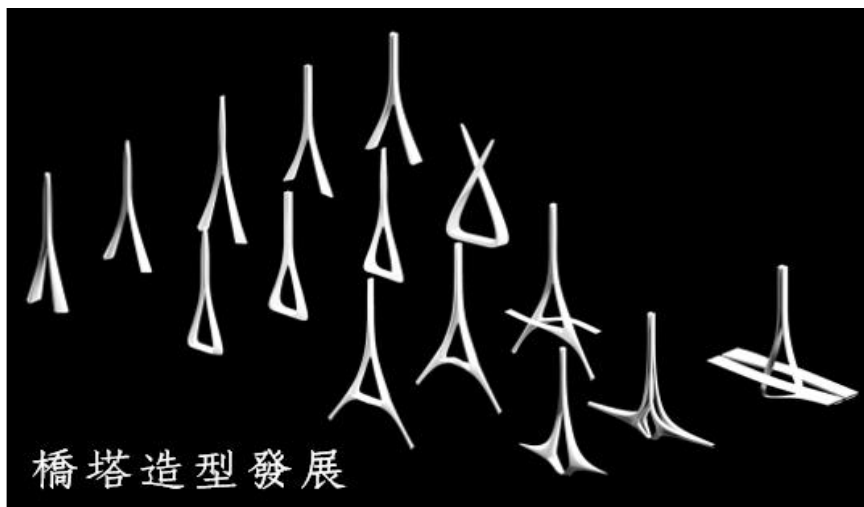


圖 4.4 橋塔造型思考變化圖

一年之中夕陽位置是隨季節不同持續改變的，橋塔位置之選擇除不可妨礙夕陽美景外，亦應考慮施工難易度，設計團隊研究不同位置、不同視角觀賞夕陽之景觀，描繪計畫週邊既有景觀，解析空間元素，評估遠景、中景、近景、不同高程及其明暗面變化進行評估，如圖 4.5 及 4.6 所示，同時配合河床基岩承載層由淡江端向八里端傾斜之地質條件，將橋塔位置選定於偏向淡水側，極簡造型除與”淡江夕照”相得益彰外，基礎結構施也因為降低橋塔位置基礎水深以及基岩承載層較淺極大降低其困難度。



圖 4.5 視覺景觀環境分析位置圖

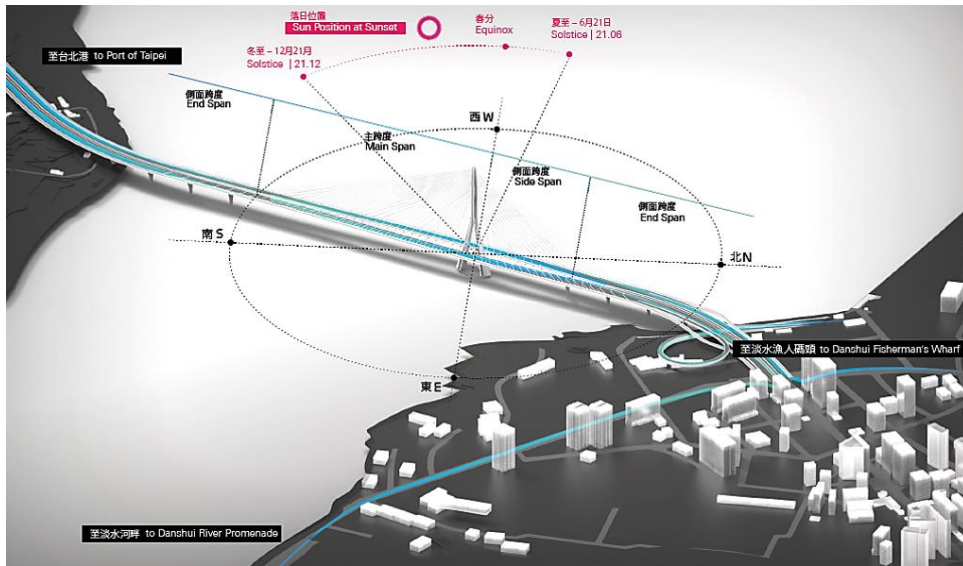


圖 4.6 橋塔位置與夕陽相關位置圖

淡江大橋橋塔平行於橋軸方向，立於分離式橋面鋼箱梁中央，南北向車道各自分流於橋塔兩側的特點，有別於一般斜張橋將橋塔橫跨於車道兩側的方式，此獨樹一幟之橋型曲線益加柔和優美，當然大幅提高了設計及施工挑戰，如圖 4.7 所示。



圖 4.7 淡江大橋整體造型

橋塔全高 211.4 公尺(基礎頂面高程-11.4m 至+200m)，於+72m 以下為分離式塔腳，以上則合併橋塔 3D 曲面造型是影響光線反射變化的關鍵，佇立於淡水河口，隨太陽移動位置，光線反射時時變化，隨時幻化不同光影，同一天內景象萬千，如圖 4.8 所示，對於結構設計及施工而言，是極為複雜嚴苛的挑戰。

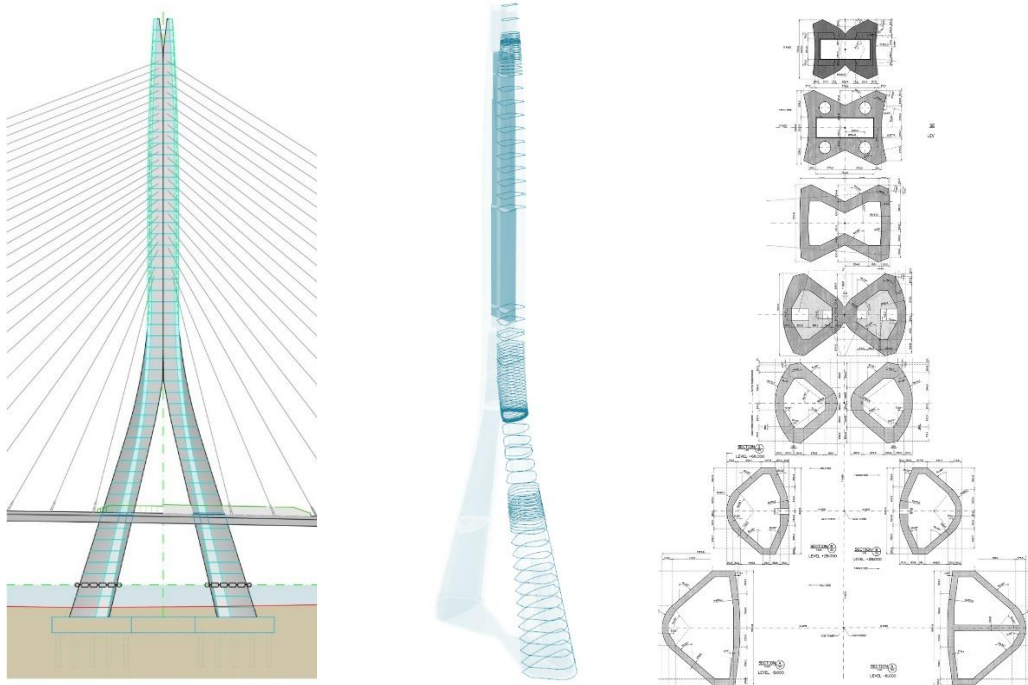


圖 4.8 橋塔細部造型設計

### 3. 橋墩結構配置[10]~[20]，[28]

淡江大橋除橋塔外，於八里端及淡水端之背跨及側跨亦配置 4 支墩柱，即 P110、P120、P140 及 P150，各橋墩配合橋塔造型及實際支撐橋面鋼箱梁抗震需求，設計為倒人字型橋墩造型，與橋塔造型互為呼應，設計施工上在橋墩頂部施加預力板抵抗人字造型分離部份引發之橫向力，並且配合河床水深範圍調整人字造型線條一致性，達成景觀統一舒適性，如圖 4.9 及 4.10 所示。

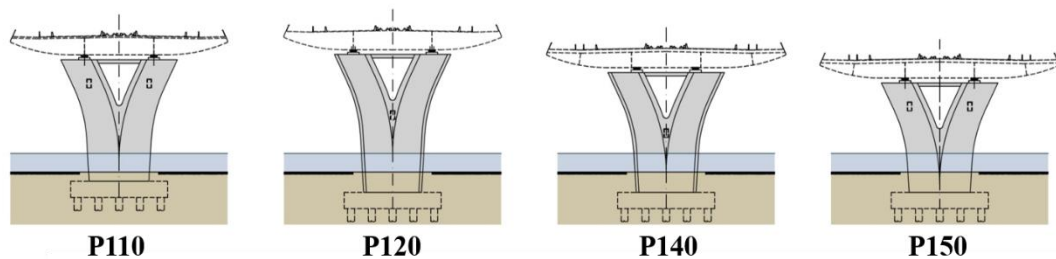


圖 4.9 橋墩造型設計

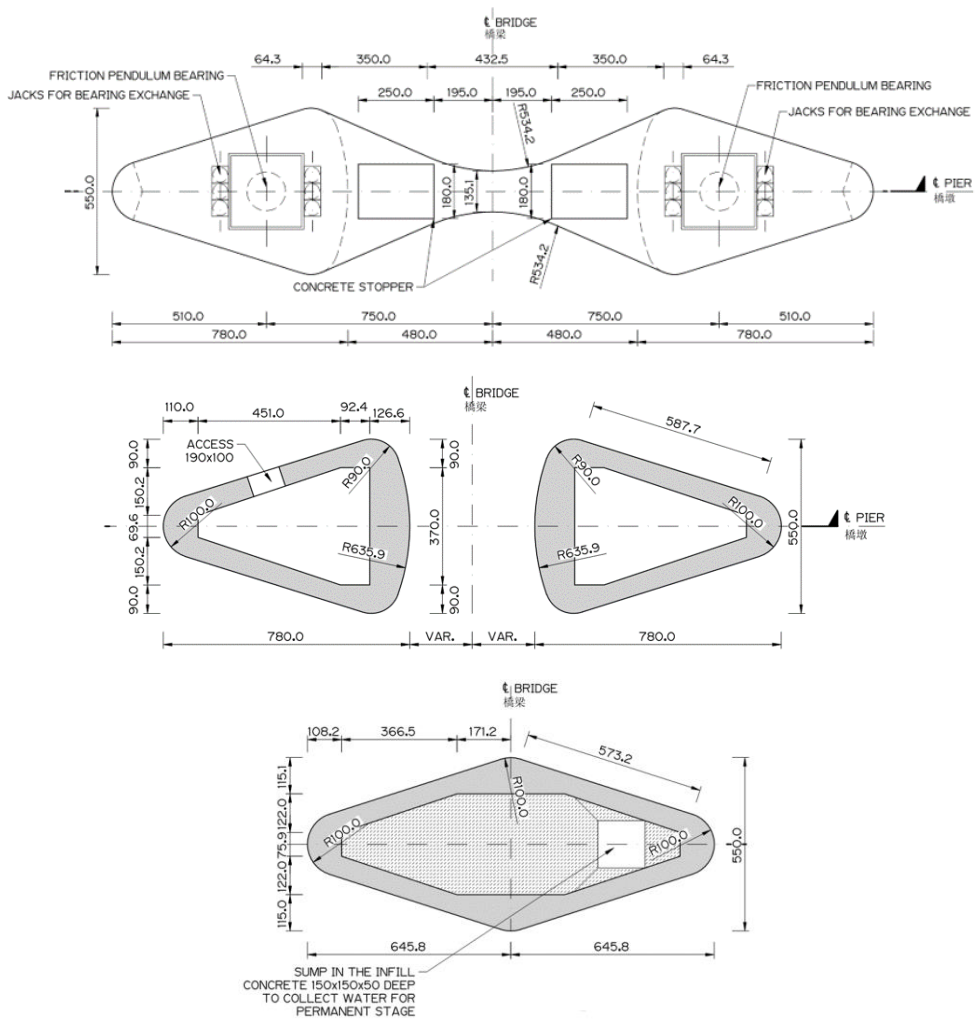


圖 4.10 橋墩斷面造型設計

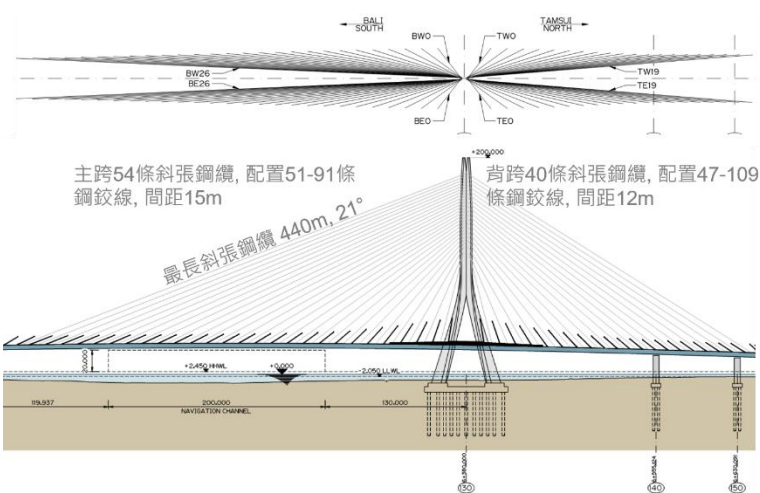


圖 4.11 斜張鋼纜配置圖



#### 4. 斜張鋼纜配置[10]~[20]

淡江大橋之斜張鋼纜設計於主跨及背跨鋼箱梁東、西兩側各配置 27 條(BW0-BW26, BE0-BE26)及 20 條斜張鋼纜(TW0-TW19, TE0-TE19) 共計 94 條斜張鋼纜，如圖 4.11 所示，施拉端錨碇於橋塔內錨碇鋼箱上，固定端則錨碇於橋面鋼箱梁內部，其錨碇位置配合橋面鋼箱梁各節塊長度及重量，各斜張鋼纜間距約為 12 公尺及 15 公尺，承擔橋面鋼箱梁各種極限狀態之載重。

按照斜張鋼纜於不同狀態之受力大小，每束斜張鋼纜分別採用 47 條 - 109 條  $\phi 15.7\text{mm}$  鍍鋅七線鋼絞索，成束斜張鋼纜內部填充微晶蠟(Microcrystalline Wax)，外部以具螺線(Helical Fillets)之 HDPE 保護管包覆，用以防蝕及減小雨、風引致之振動，於靠近橋面處設置防破壞保護管(Anti-Vandalism Pipe)及降低鋼纜受風振幅之阻尼器，如圖 4.12 所示。

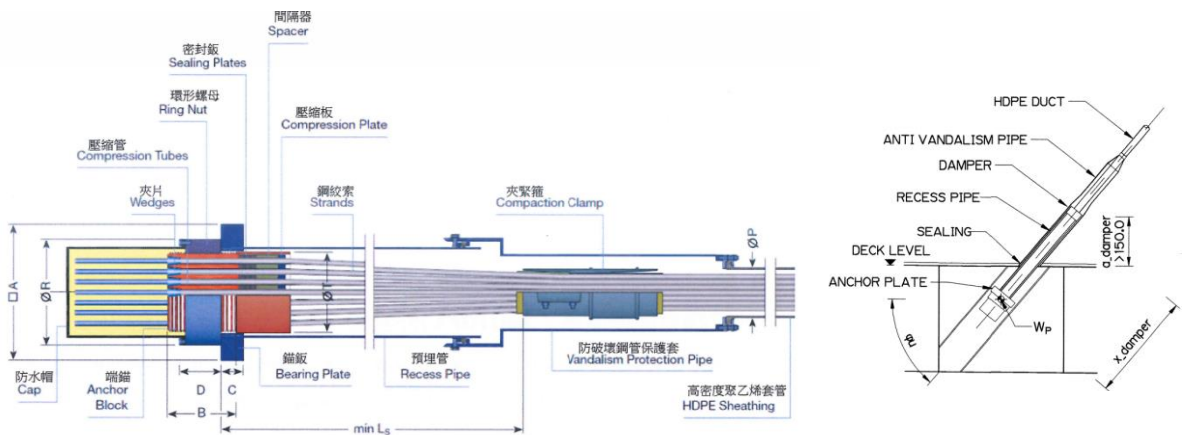


圖 4.12 斜張鋼纜組成

除斜張鋼纜外，為抵抗橋面鋼箱梁因為不平衡跨徑之載重條件及地震極限狀態下所產生之上舉力，於 P120 及 P140 橋墩分別設置 4 束-42 條  $\Phi 15.7\text{mm}$  鋼絞線及 8 束-117 條  $\Phi 15.7\text{mm}$  鋼絞線錨固鋼纜(Anchor Cable)，如圖 4.13 所示。

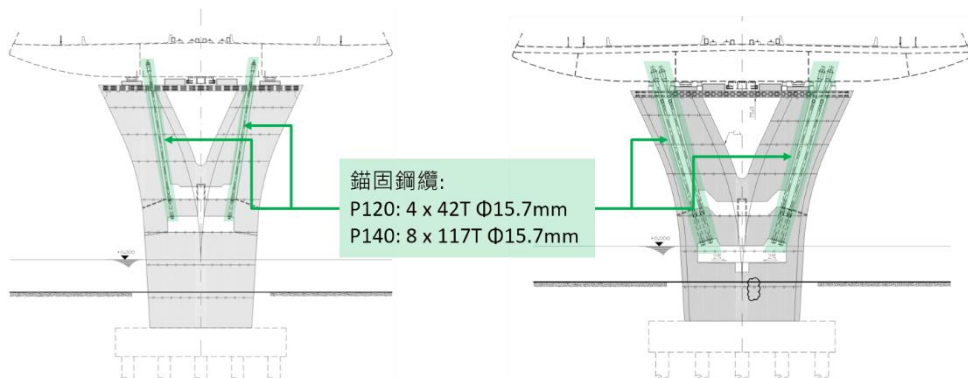


圖 4.13 P120 及 P140 橋墩錨固鋼纜配置圖

## 五、全漂浮結構系統及隔震設備配置[21]~[28]

### 1. 全漂浮結構系統概述

淡江大橋結構採用全漂浮式系統設計，即橋塔下方不設橫梁承載橋面載重，上部結構鋼箱梁之垂直載重由斜張鋼纜直接承載於橋塔上，八里塔腳設置滑動機制可於垂直方向上下滑動，當水平方向上承受地震力，風力及溫度效應時，於橋軸方向以 HFR (Hydraulic Fuse Restrainer)將外力傳遞至淡水塔腳，並可按其受力大小進行全束制或以液態黏滯性阻尼方式進行滑動，而於橋軸橫向藉由單向式摩擦單擺支承由最佳化之曲面曲率半徑及摩擦係數組合及橫向剪力樺，提供消能以制約移動幅度及震後復位能力，如圖 5.1 所示。

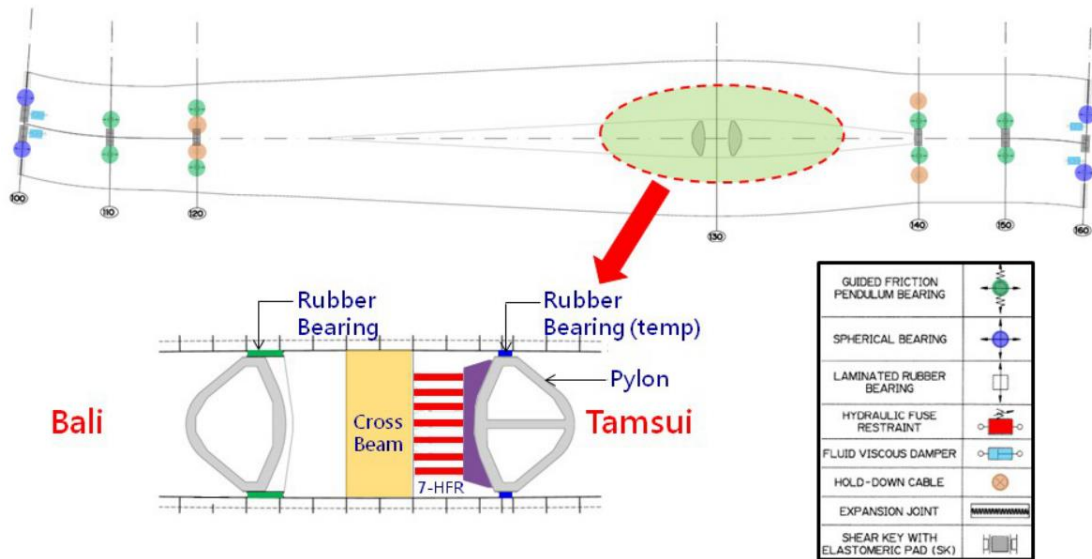


圖 5.1 全漂浮系統配置

### 2. 設計地震等級及設計性能要求[2]~[4] [37]~[40]

耐震設計為台灣橋梁設計最重要之課題之一，本橋結構設計設定使用年限為 120 年，且要求達到生命線(Life Line)要求，亦即於極限地震事件時橋體不得崩塌外，地震後本橋仍應能至少提供一條車道提供週邊環境作為救援緊急通道使用，因此整體設計以性能設計(Performance Base Design)為基礎，明確定義各種不同等級地震事件後結構應變量限制及各結構元件之破壞控制要求，如表 5.1 及表 5.2 所示。

表 5.1 地震等級及設計性能表-1

Seismic Intensity	Hazard Level (Return Period)	Service Performance Level	Damage Performance Level	Behaviour Factor R	Structural Behaviour
SEE (Safety Evaluation Earthquake)	80%/50y (30 y)	Fully Operational	None	1.0	Elastic
DBE (Design-Based Earthquake)	10%/50y (475 y)	Operational	Minimal	1.0	Essentially Elastic
MCE (Maximum Considered Earthquake)	2%/50y (2500 y)	Limited service (Emergency vehicle only)	Repairable	1.0~1.5	Limited Ductility

NOTE:

(1) Seismic events of SEE type are characterized by a significant probability to occur more than one time during the life span of the bridge.

(2) After any seismic event the bridge must be inspected and may require re-alignment and re-centring.

結構耐震設計以性能設計定義為基礎，進行加速度反應譜動力分析外，亦進行工址地震危害度分析及擬合規範反應譜之地震歷時進行非線性動力分析。

表 5.2 地震等級及設計性能表-2

Bridge components	SEE – 30y event	DBE – 475y event	MCE – 2500y event
Cable-stayed system	No damage	No damage	Minimal damage
Superstructure	No damage	Minimal damage	Minimal damage
Bearings and Shear Keys	No damage	Minimal damage	Repairable damage
Hydraulic Fuse Restraints	Minimal damage	Minimal damage	Repairable damage
Expansion joints	No damage	Minimal damage	Repairable damage
Piers	No damage	Minimal damage	Repairable damage
Pylon	No damage	Minimal damage	Minimal damage
Foundations	No damage	No damage	No damage

上述設計地震力等級區分為下列三種等級：

- a. SEE(Safety Evaluation Earthquake)：地震規模為 30 年回歸期，50 年內超越機率 80%，設計上要求於此地震事件發生時，全橋結構仍處於彈性範圍，各結構元件無損壞狀況，橋梁可維持完全正常服務營運。
- b. DBE(Design-Based Earthquake)：地震規模為 475 年回歸期，50 年內超越機率 10%，設計上要求於此地震事件發生時，全橋結構基本上仍處於彈性範圍，可能產生少數破壞，橋梁仍可維持服務營運。
- c. MCE(Maximum Considered Earthquake)：地震規模為 2500 年回歸期，50 年內超越機率 2%，全橋結構可能進入有限塑性範圍，設計上橋梁不得崩塌，發生破壞部份皆為可修復，且可至少提供一線車道供緊急救援車輛通行。

### 3. 隔震系統平面佈設[21]~[27]

淡江大橋結構隔震消能設計系統配置如圖 5.1 所示，茲分述如下：

- a. P130 橋塔淡水腳中央處設置 7 支聯合作動之 HFR(Hydraulic Fuse Restrainer)機制，於一般服務狀態下 HFR 作用如同剛性束制般提供 7 x 750 噸 = 5250 噸之橋

軸方向束制力，當地震發生時，HFR 於橋軸方向支承力量可能超過 5250 噸，此時設備則由原來剛性束制藉由閥門開啓轉變為速度型液態黏滯性阻尼器，作為地震時隔震消能使用，其組成率要求  $F=CV^\alpha$ ， $\alpha=0.05$ ，衝程可達 400mm，地震後 HFR 內部油壓系統需容許橋梁依斜張鋼纜內力及橋塔八里腳橡膠支承墊剪力變形進行復位，若因其他原因未能完全復位，則可人為介入進行完全復位。

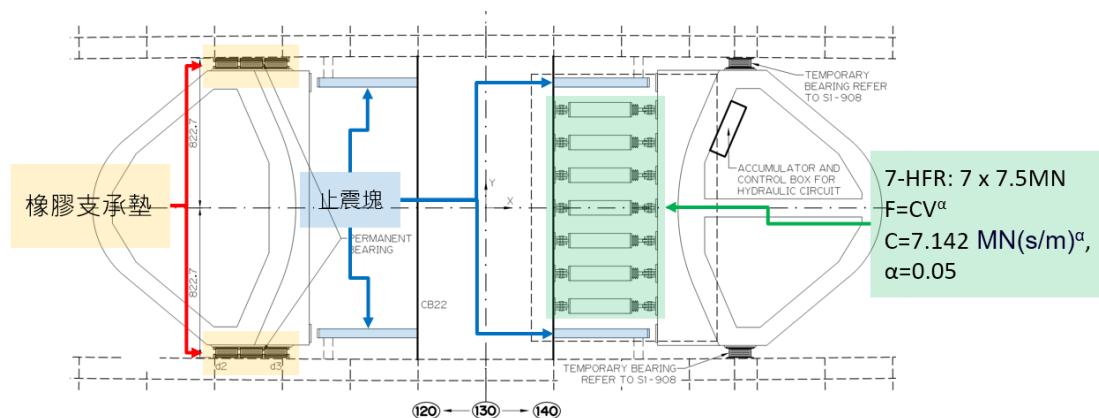
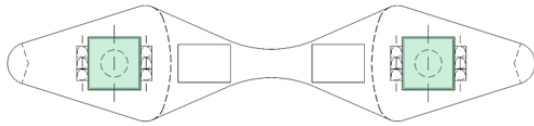


圖 5.2 P130 橋塔耐震設備配置圖

P130 橋塔八里腳之東、西側則各設置 3 片橡膠支承墊(Elastomeric Bearing) 限制橋面鋼箱梁橫向移動，在橋軸方向上則依其受力大小以橡膠支承墊剪力變形勁度變位，而於服務狀態時支承墊可隨橋面鋼箱梁因溫度之伸縮變化而垂直上下滑動如圖 5.2 所示。

- b. 橋墩 P110，P120，P140 及 P150 於橋墩頂部各設置 2 個單向式摩擦單擺支承 (Friction Pendulum Bearing)，即支承可自由於橋軸方向滑動，而於橫向上雖亦可移動，惟依所選用之曲率半徑及摩擦係數於移動過程中產生消能作用，且地震事件結束後亦可回復至原位，為達到可隔震消能作用及復位能力二者間平衡，曲率半徑及摩擦係數之組合亦經多次反覆分析調整達到最佳組合，如圖 5.3 所示。



摩擦單擺支承: 縱向自由活動, 橫向參數為  
 P110, P120 and P150:  $f=7\%$ ,  $r=2400\text{mm}$   
 P140:  $f=4\%$ ,  $r=3000\text{mm}$

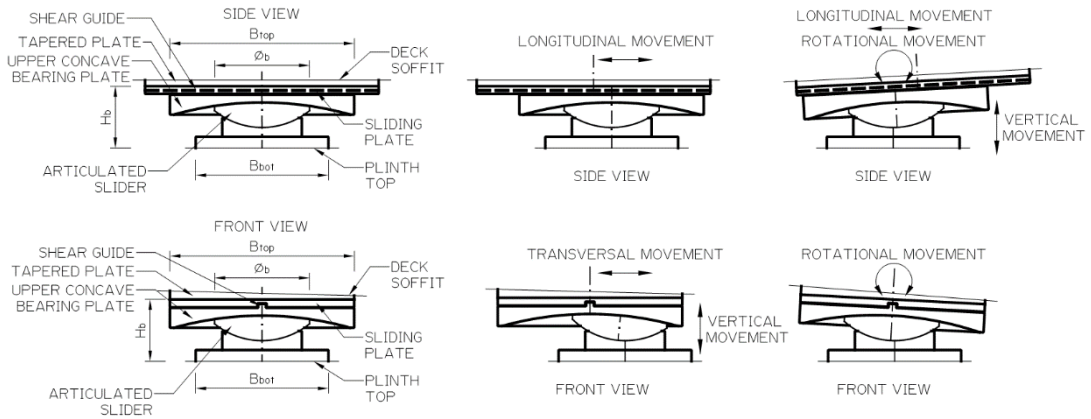


圖 5.3 摩擦單擺支承設備配置及參數圖

c. P100 及 P160 處設置設備包括剪力樺(Shear Key)、FVD 液態黏滯性阻尼器(Fluid Viscous Damper)以及球型支承(Spherical Bearing), 剪力樺為限制橋面鋼箱梁橫向移動而於橋軸方向則可自由滑動, 球型支承為各向皆可移動及轉動, 惟因橋面箱型梁橫向移動受剪力樺限制無法移動, 故球型支承在橫向移動亦受限, 而其轉動機制仍可自由運作, 液態黏滯性阻尼器之配置要求每支皆應可承擔 500 噸, 主要作為橋塔處 HFR 之二道防線使用, 如圖 5.4 及 5.5 所示。

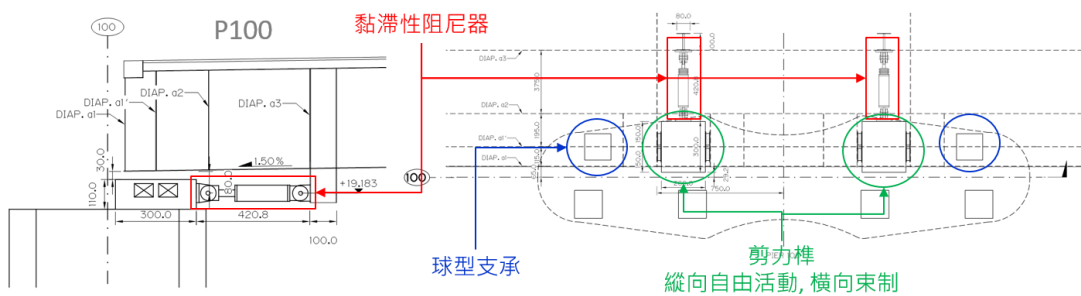


圖 5.4 P100 耐震設備配置圖

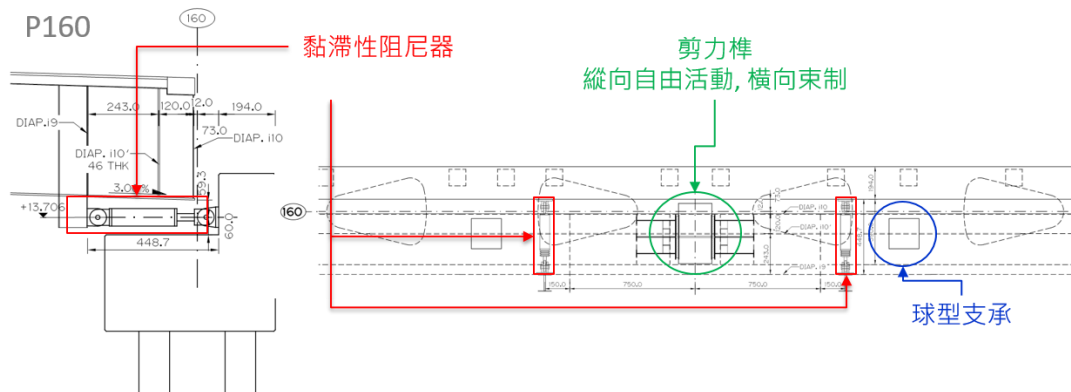


圖 5.5 P160 耐震設備配置圖

#### 4. 防震第二道防護系統

淡江大橋為能保證極限地震事件後，仍能作為生命線提供至少一線車道作為救援使用，設置多處防震第二道防護設施作為當主要抗震設備破壞時，仍能保障橋梁安全無虞。

- a. 倘若發生大於最大考量地震時，即 2500 年回歸期地震時，設置於橋塔淡水腳之 7 支 HFRs，可能因超過設定衝程而破壞，因此於橋塔中央橫梁上南、北兩側各設置止震塊(Stopper)，於 HFR 破壞後仍可將地震力傳遞至橋塔上，如圖 5.6 所示。

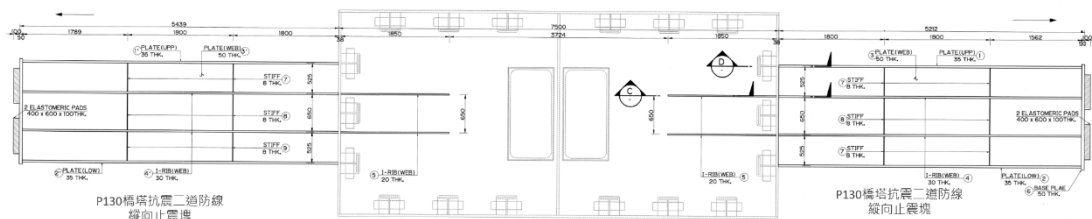


圖 5.6 橋塔抗震二道防線止震塊

- b. 當發生大於最大考量地震狀況發生時，裝置於 P110、P120、P140 及 P150 頂部之摩擦單擺支承亦可能因過大橫向位移而產生落盤，因此於上述橋墩頂部設置止震塊，當地震事件小於最大地震時，該止震塊除可作為施工或更換摩擦單擺支承時臨時支承用外，則無其他作用，而當地震超過預期之最大考量地震時，則可保證限制摩擦單擺支承過大位移防止落盤狀況，而將橋面鋼箱梁載重傳遞至橋墩，如圖 5.7 所示。

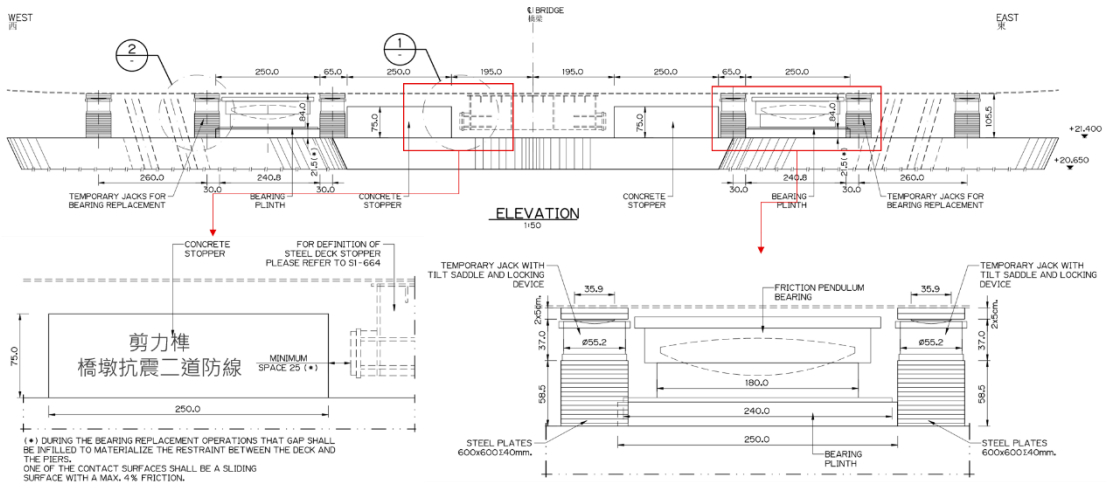


圖 5.7 橋墩抗震二道防線圖

c. 前已述及設置於 P100 及 P160 之 FVD 原即作為橋塔 HFR 因各種狀況發生破壞時之二道保護措施，如圖 5.4 及 5.5 所示。

### 5. 加速度反應譜分析[2] [3] [4] [10]

按照部頒公路橋梁耐震規範結構加速度反應譜可知，當結構體振動週期大於  $T_0$  之後，加速度反應譜值大幅降低，如圖 5.8 所示，因此提高整體結構之柔性，降低其振動週期，為降低結構地震力方法之一，惟結構之變位可能加大，因此適切設置隔震消能設施減小結構變位亦為必需措施，本案結構經多次反覆分析調整結構勁度及隔震設備消能參數，取得結構地震力與地震變位間取得最有利的平衡狀態。

Microzonation	$S_{SS}$ [g]	$S_{DS}$ [g]	$S_{MS}$ [g]	$T_0$ [s]
Taipei Zone 2	0.17	0.6	0.8	1.3

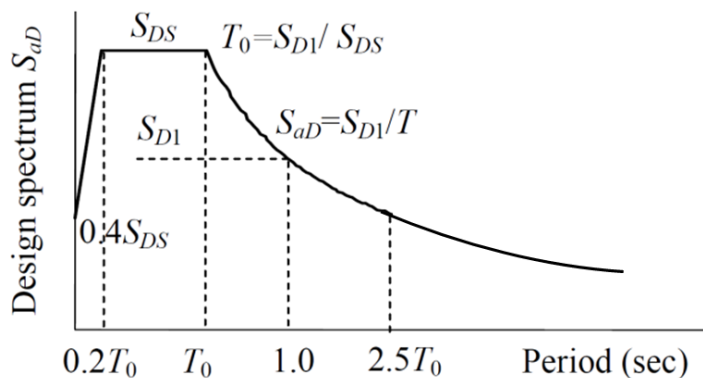


圖 5.8 台北二區加速度地震反應譜

淡江大橋橋址位於地震分區為台北二區，地震加速度反應譜如圖 5.9 所示，按前述之結構配置及隔震設施佈設進行結構動力分析，依其分析結果反覆調整各隔震設施之消能參數後，整體結構之基本振動週期為 4.44 秒，主要振態及其參與質量與前 200 振態之振動週期及累計參與質量亦如圖 5.10 所示，由分析結果可見橋塔勁度在軸向及橫向對於整體結構的動力行為重大影響，尤其是第 1 及第 3 振態中橋塔的縱向勁度及橋面鋼箱梁的垂直勁度，以及第 2 振態中橋塔的橫向勁度及分離式橋面鋼箱梁的扭轉特性，整體結構之主要振態週期落於反應譜衰減區有效降低地震力，且整體阻尼隔震系統亦有效的消能及減小變位。

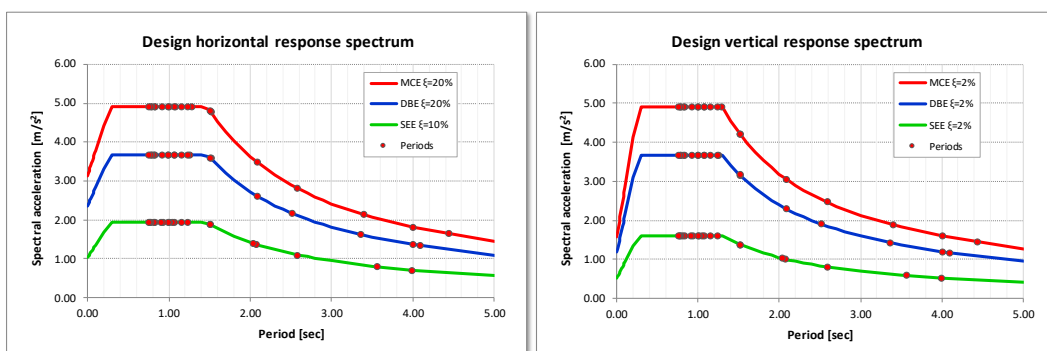


圖 5.9 淡江大橋加速度地震反應譜

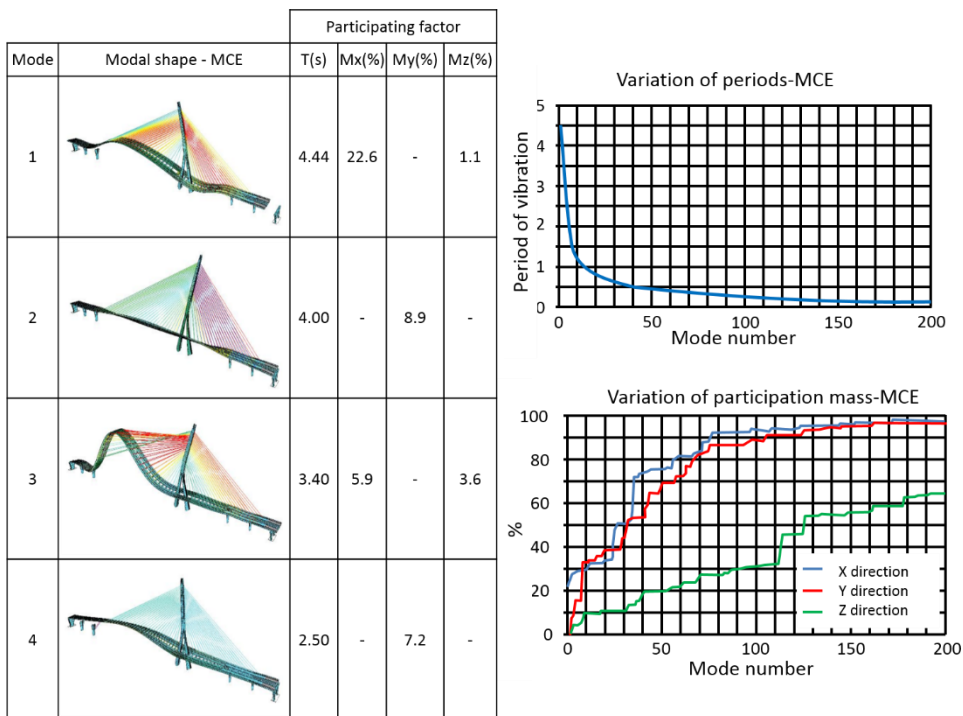


圖 5.10 淡江大橋主要振態及前 200 振態週期



## 6. 非線性地震歷時分析[2]~[4] [10] [37]~[40]

本案設計階段進行之非線性地震歷時分析包括二部份說明如下：

- 針對橋址進行地震危害度分析，根據參數解構結果顯示，回歸期 2475 年貢獻危害度主要的震源為近距離的區域震源與山腳斷層，以及遠距離的隱沒帶震源，求得本計畫場址均布危害度反應譜(Uniform Hazard Response Spectrum)，如圖 5.11 所示，再依照規模、距離、場址 Vs30、PGA 及均布危害度反應譜形，選取三組真實地震歷時記錄，包括 1999 年集集地震、2002 年 331 地震及 2013 年花蓮地震，擬合均布危害度反應譜求得人造地震加速度歷時資料，進行橋梁非線性地震加速度歷時動力分析，如圖 5.12 所示。

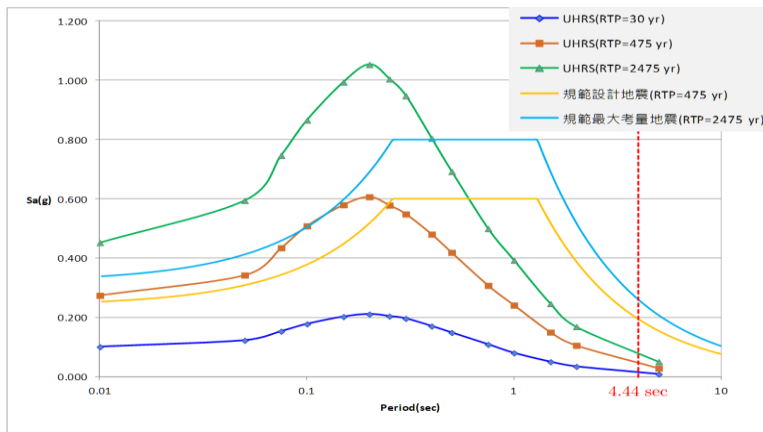


圖 5.11 地震危害度分析結果與規範地震反應譜比較

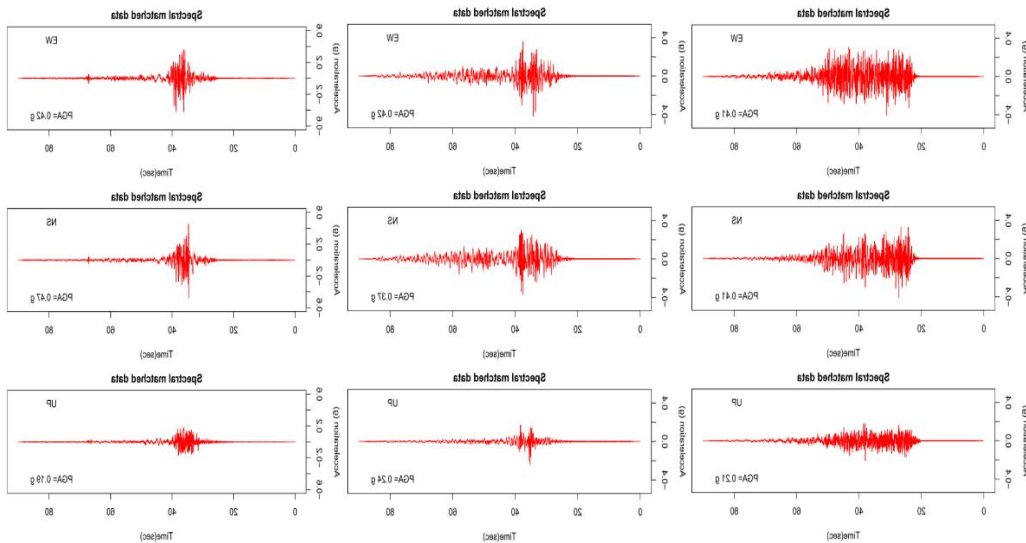


圖 5.12 地震危害度分析擬合人造地震加速度歷時

- b. 依照公路橋梁設計規範之加速度反應譜擬合之七組人造地震歷時資料進行分析，如圖 5.13 所示，檢核整體結構阻尼比及各隔震構件之變位量。

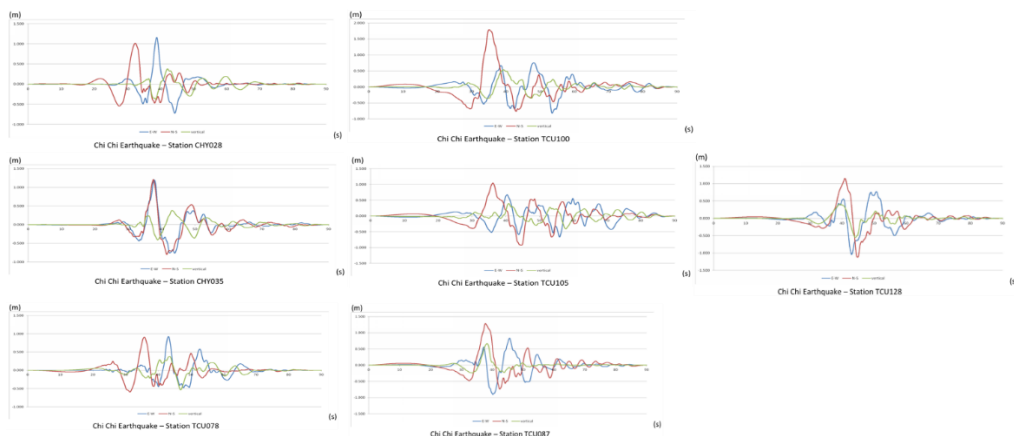


圖 5.13 擬合公路橋梁耐震規範人造地震加速度歷時曲線

- c. 進行非線性地震加速度歷時動力分析時，除考慮整體結構同時振動外，亦考慮強地動在複雜波傳中可能產生之空間變異性，考慮波傳方向如圖 5.14 所示。

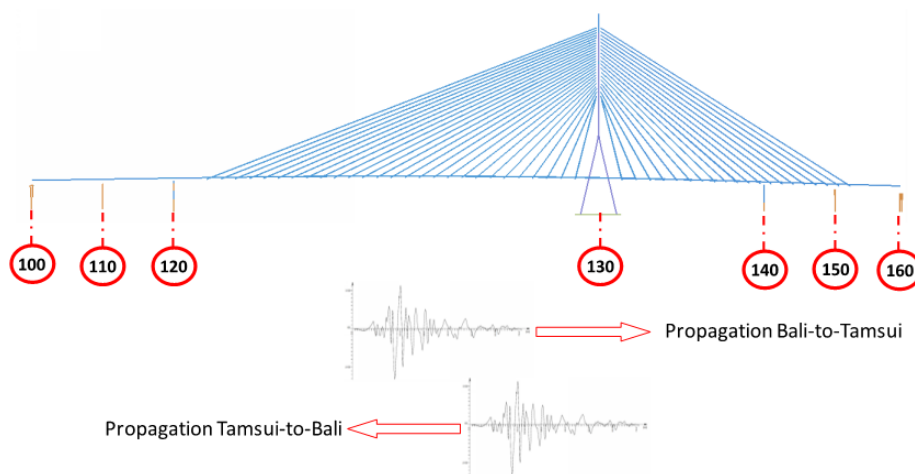


圖 5.14 地震加速度歷時分析波傳方向

## 六、橋梁監測系統[29]~[36]

淡江大橋為重要橋梁，設計使用期要求為 120 年，完工營運後之橋梁安全必需仰賴完善之監測系統及定期或不定期檢修維護，對全橋健康狀況進行掌握，因此設計團隊根據設計過程對於橋體行為的理解，在重要部份設置監測設備及建立完善自動化監測管理制度，方能有效利用所取得資料，即時處理各種突發狀況，進行全方位橋梁安全管理。臺灣公路工程第 47 卷第 11-12 期-412

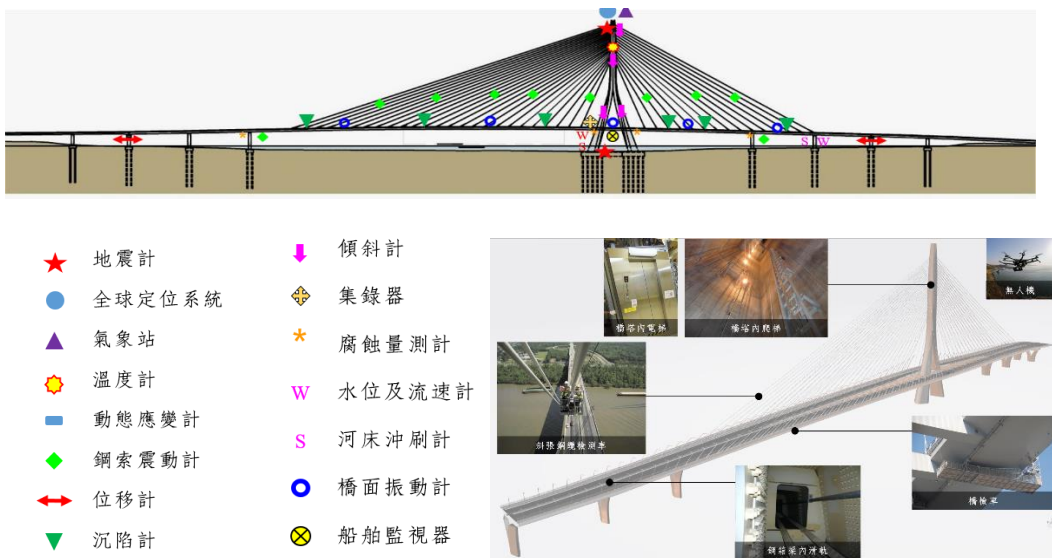


圖 6.1 橋梁監測系統配置圖

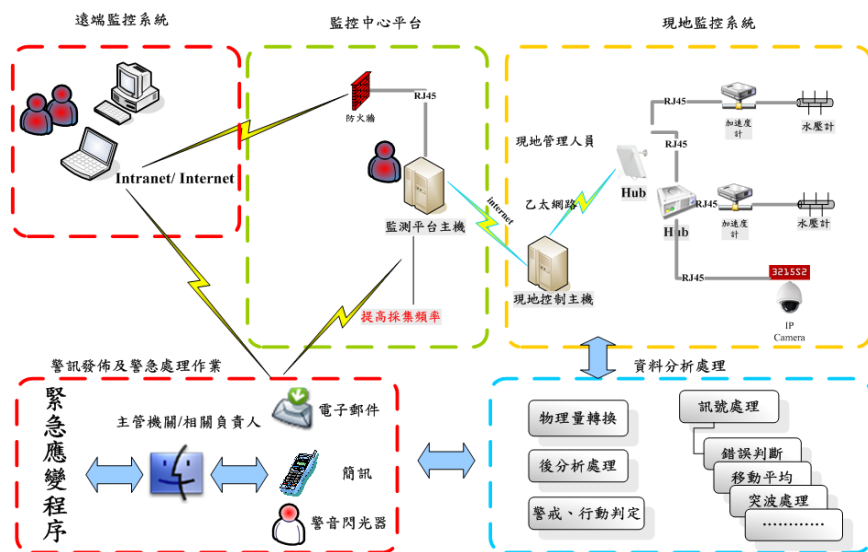


圖 6.2 自動化監測管系統規劃圖

## 1. 監測項目

按照設計時所得重要資訊，將監測設備約略分為三類，選定橋體關鍵位置配置監測設備，如圖 6.1 所示，並說明如下：

- a. 橋體安全監測：包括橋塔傾斜角度監測，振動監測，鋼纜力量監測，箱梁應變監測，箱梁振動監測，伸縮縫位移監測，橋墩基礎沖刷監測，腐蝕監測，混凝土氯離子監測等。
- b. 環境條件監測：包括風速，風向，溫度，降雨量，水位，流速，地震，大氣氯鹽

監測等。

- c. 船舶及河面監看系統：網路即時影像錄影系統 CCTV。

## 2. 自動化監測管理

淡江大橋採用結構自動化監測系統包含五個系統模組達成連續監測、即時分析、遠端監看、立即警訊，以便即時採取行動，如圖 6.2 所示。

- a. 監測中心平台模組：接收監測數據及影像廣播服務，與交控系統進行資料交換進行交通控制。
- b. 遠端監看系統模組：隨時監看各量測儀器及現地影像，提供歷時資料及報表，即時了解橋梁安全狀態。
- c. 資料分析處理模組：控制資料擷取器(Data logger)取得數據，由結構分析模型計算相應物理量，將數據及影像資料傳送至監測平台。
- d. 現地監控系統模組：透過資料分析處理模組進分析，最後透過網際網路將數據及影像資料傳送到監測平台供使用者查詢。
- e. 警訊發佈及緊急處理作業：當監測數據接近系統設定的警戒值時，回饋給監測平台主動提高監測系統採集頻率，並與交控模組進行連動控制及時處理特殊事件。

## 柒、結論

淡江大橋設計計畫目標為改善整體北台灣交通網促進區域發展，且橋體設計需與著名“淡江夕照”美景相互輝映，公路總局採用國際競標方式廣邀世界知名設計顧問公司共襄盛舉，並邀請國內學者專家及淡水在地人文學者共同組成評選委員會進行評選，最終遴選中興工程顧問公司與德商萊恩安德工程顧問股份有限公司(Leonhardt Andrä und Partner)聯合設計團隊，包含世界知名建築師札哈哈第(Zaha Hadid Architects)，作為優勝團隊進行設計，設計期間各設計成果皆經計畫管理團隊林同棧工程顧問公司審查管理，公路總局為求謹慎確保設計安全無虞，最終設計成果亦再邀請國家地震中心學者專家進行審查，歷經二年通力合作終於完成淡江大橋設計，其特點包含下列各項：

1. 淡江大橋主跨長度 450 公尺及背跨 175 公尺，建成之後將為目前世界最大單塔不對稱斜張橋。
2. 淡江大橋以人文為出發點，以“靜謐舞者”為題，融合“山”的壯闊及“河”之柔美，以極簡線條與“淡江夕照”相互輝映，無疑是一幅“夕照下靜謐舞者”的美景。
3. 淡江大橋結構採用全漂浮式斜張橋型式，合理適切的配置隔震消能設施及調整全橋結構勁度，有效降低地震力及變位量達成安全耐震要求。
4. 淡江大橋設計年限要求為 120 年為世界先進之設計要求，且服務營運期間要求達成“生命線”條件，當極端地震狀況發生時，淡江大橋將成為週邊環境可信賴之緊急救援

通道。

5. 淡江大橋雖為極簡線條設計，然而，”極簡為最複雜的簡化”，其橋體結構施工難度極高，目前由工信工程股份有限公司團隊施工中，完成後將成為世界主跨最長之單塔不對稱斜張橋，為我國營造技術走向國際社會之重要里程碑。

## 參考文獻

1. 淡江大橋國際競圖服務建議書 - 中興工程顧問股份有限公司, Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG, 中華民國 104 年 8 月 3 日
2. 公路橋梁耐震設計規範 - 中華民國交通部頒布, 中華民國 107 年 12 月
3. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2005.
4. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2014.
5. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) 水理分析及水工模型試驗期末報告 (定稿版) - 成功大學水工試驗所, 中華民國 106 年 12 月
6. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) 水理分析及水工模型試驗期末報告 (定稿版) - 成功大學水工試驗所, 中華民國 106 年 12 月
7. 郭金棟、蔡長泰、謝正倫：「淡水河口南北海岸地形穩定之研究（二）」，臺灣省水利局第十工程處，新北市，1993。
8. 李錫堤、黃俊鴻、劉進金、蔡榮君、洪國華、林書毅：「林口台地及其鄰接海岸地形變遷與地貌復原可行性探討」，台北市，行政院公共工程委員會，1998。
9. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心：「八里、林口海岸漂砂調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」，台中市，2001。
10. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 細部設計計算書(定稿版) - 中興工程顧問股份有限公司, Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG, 中華民國 106 年 12 月
11. AASHTO/AWS Bridge Welding Code D1.5M/D1.5 2002
12. ACI Building Code Requirements for Structural Concrete.
13. AISC "Code of Practice for Steel Buildings and Bridges."
14. ASCE "Guidelines for The Design of Cable-Stayed Bridges."
15. PTI "Recommendations for Stay Cable Design and Testing."
16. CEB-FIP Model Code 1990: Design Code
17. Eurocode 8 Part 1 – General rules, seismic actions and rules for buildings
18. Eurocode 8 Part 2 – Bridges
19. AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design
20. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 細部設計圖(定稿版) - 中興工程顧問股份有限公司, Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG, 中華民國 106 年 8 月

21. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 設計原則 (定稿版) - 中興工程顧問股份有限公司, Leonhardt, André und Partner VBI AG, 中華民國 105 年 3 月
22. EN 1337 Structural bearing – Part 1 General design rules 2000
23. EN 1337 Structural bearing – Part 2 Sliding elements 2004
24. EN 1337 Structural bearing – Part 3 Elastomeric bearings 2005
25. EN 1337 Structural bearing – Part 5 Pot bearings 2005
26. EN 1337 Structural bearing – Part 7 Spherical and cylindrical 2004
27. EN 15129 Anti-seismic devices, November 2009
28. FHWA-IF-12-027: “Manual for Design, Construction and Maintenance of orthotropic Steel Deck Bridges”; February 2012; published by US Department of Transportation-Federal Highway Administration
29. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 橋梁耐久性及生命周期評估報告-中興工程顧問股份有限公司, 中華民國 105 年 7 月
30. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 淡江大橋鋼筋混凝土材料耐久性之探討 - 財團法人臺灣營建研究院中華民國 105 年 7 月
31. U.S.A. Caltrans, “Memo To Bridge Designers”, 2006.
32. Caltrans, “Bridge Design Specification”, State of California of Transportation, 2003.
33. EN1990, “Eurocode : Basis of structural design”, 2002.
34. EN1992-1-1, “Eurocode2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings”, 2004.
35. EN206-1, “Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity”, 2004.
36. BS 8500-1:2006, “Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1 - Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier”, 2006.
37. 淡江大橋及其連絡道路新建工程(第 3 標) - 場址地震危害度分析 中興工程顧問股份有限公司, 中華民國 106 年 1 月
38. Abrahamson, N. A., W. J. Silva, and R. Kamai (2014), Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025–1055, doi: 10.1193/070913EQS198M.
39. Abrahamson, N., N. Gregor, and K. Addo (2015), BC hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes, *Earthquake Spectra*, 051712EQS188MR, doi: 10.1193/051712EQS188MR.
40. Cheng, C. T., S. J. Chiou, C. T. Lee, Y. B. Tsai (2007). Study on probabilistic seismic hazard maps of Taiwan after Chi-Chi earthquake, *Journal of GeoEngineering*, 2, 19–28.

## 橋梁換底工法-先拆後建與先建後拆之探討

黃文治<sup>1</sup>、劉世桐<sup>2</sup>、吳銚堂<sup>3</sup>

### 摘要

臺灣位處環太平洋地震帶上，地震發生的次數相當頻繁，又臺灣於熱帶海洋上之地區，颱風與豪雨甚為頻繁，加上河川盜採砂石之影響，均嚴重影響臺灣之橋梁，尤以河川盜採砂石影響最鉅。其中以橋梁基礎裸露最為常見與最嚴重，造成橋梁尚未達到使用年限，甚至橋梁興建完成10年內須辦理改建或基礎加固等。



橋梁尚未達到使用年限而有橋基裸露之情形，為確保用路人行車安全，於民國90年以前，國內常以橋基保護工法來維護橋梁安全，常見的橋基保護工法為水利工法（固床工、拋石工法、蛇籠工法或貨櫃工法等）及基礎補強工法（擴座托底、包墩等），其中水利工法多屬臨時性或局部保護措施，然基礎補強工法常為龐大突兀基礎構造物，增加了河川遮蔽率及沖刷潛勢，衍生其他沖刷問題；民國91年台1線溪州大橋為國內首見跨河橋梁之換底工法，該法係將嚴重裸露的舊有基礎拆除，並興建深度足夠的新基礎替代，由於橋梁換底工法可完全解決橋基裸露的問題，因此民國91年以後，橋梁換底工法逐漸成為改善橋梁基礎裸露的主流工法，進而演化出多種的橋梁換底工法，例如民國100年台88線萬大大橋即為另類換底工法的代表。

換底工法之應用，適用於跨河橋梁之河床急遽下降、橋基嚴重裸露的橋梁，主要係增強其垂直支撐力及抗沖刷能力；亦可運用於下部結構(基礎、橋柱及帽梁)耐震能力不足之橋梁。另值得注意的是，換底工法之新設基礎或基樁，應盡量比既有之基礎或基樁深度更深。

**關鍵詞：**橋梁、換底工法、沖刷

<sup>1</sup> 交通部公路總局第二區養護工程處工務科副工程司

<sup>2</sup> 交通部公路總局第二區養護工程處處長

<sup>3</sup> 交通部公路總局第二區養護工程處工務科科长

## 一、前言

橋梁換底工法是橋梁辦理下部結構改建時，必須保留上部結構以供車輛通行(即維持交通順暢)，依橋基拆除、興建的先後順序，可分為「先拆後建換底工法」及「先建後拆換底工法」。

先拆後建換底工法：於擬辦理橋梁下部結構(基礎、橋柱及帽梁)改建之墩柱旁，架設臨時支撐結構(鋼構架或 RC 臨時支撐柱)再搭配臨時鋼帽梁之構造與設置，施工原理係將既有橋墩承載力轉移到臨時支撐結構上，將舊有的基礎、橋柱及帽梁予以打除，並新建新的基礎、橋柱及帽梁，再將承載力轉回新建帽梁上，故先將舊有橋梁之下部結構打除，再新建橋梁下部結構，並將橋墩承載力轉移至新下部結構上，稱之「橋梁先拆後建換底工法」。又橋梁先拆後建方式有橋基改建、橋基與墩柱改建及下部結構整體改建(基礎、橋柱及帽梁)等 3 種，如圖 1-1、圖 1-2。

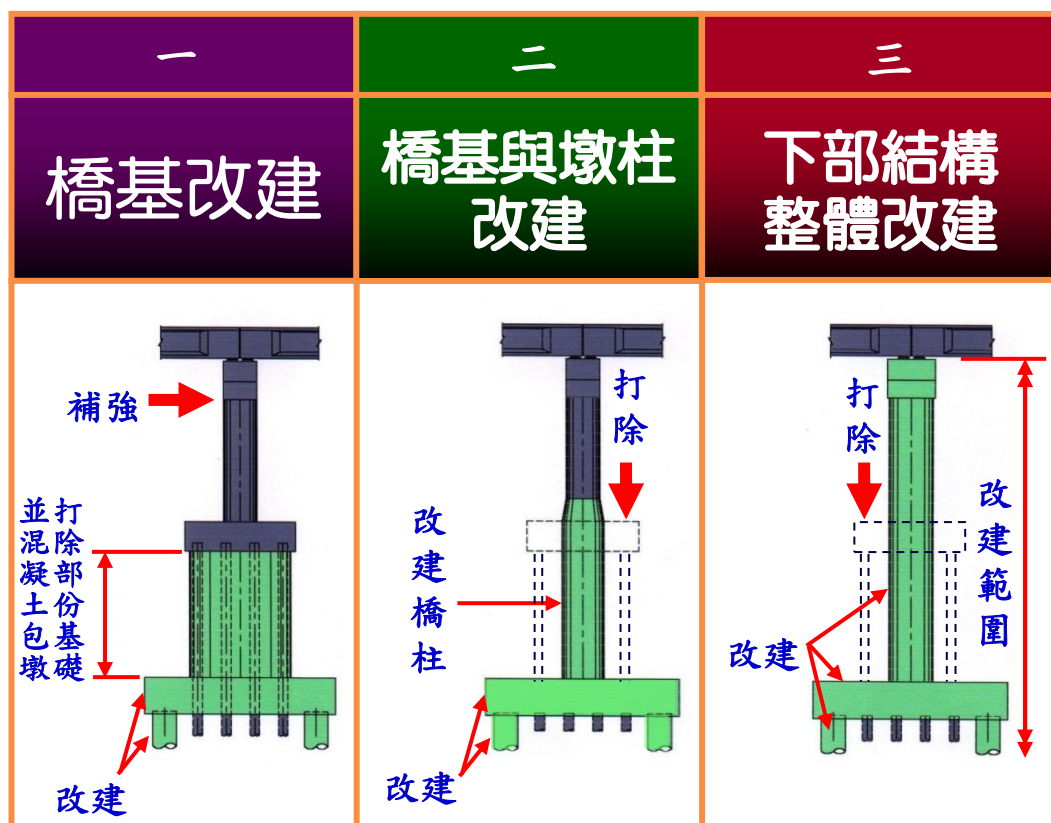


圖 1-1 橋梁先拆後建換底工法 3 種方式





圖 1-2 先拆後建換底工法第二種方式(橋基、墩柱改建) 第三種方式(整體改建)

先建後拆換底工法：於擬辦理橋梁下部結構(基礎、橋柱及帽梁)改建之墩柱旁，先施作永久基礎、橋柱及帽梁等，施工原理為將既有橋墩承載力轉移到新建的上部結構上，再將舊有的基礎及橋柱等予以打除，稱之「橋梁先建後拆換底工法」。又橋梁先建後拆方式有下部結構之帽梁拆除新建與既有帽梁繼續使用等 2 種，如圖 1-3、圖 1-4、圖 1-5。

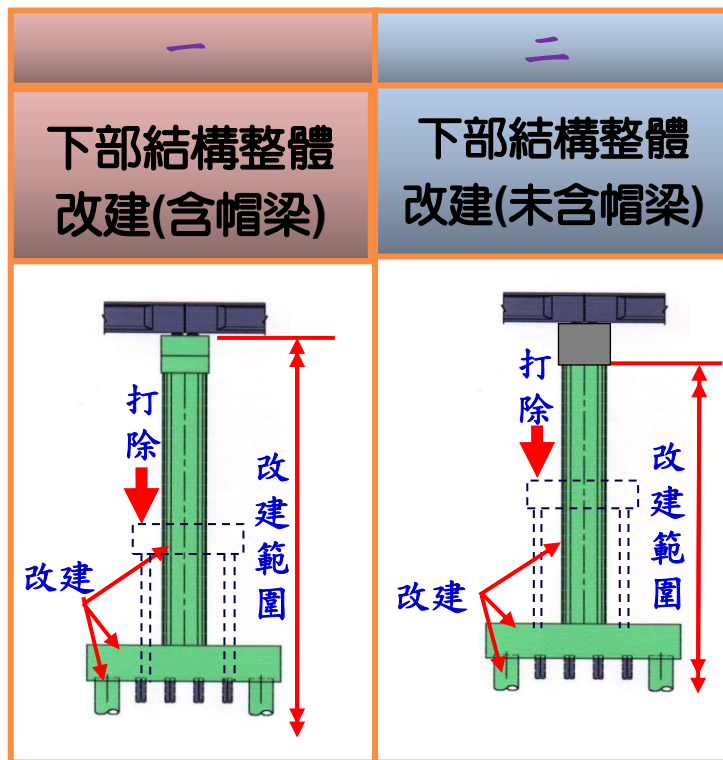


圖 1-3 橋梁先建後拆換底工法 2 種方式



圖 1-4 先建後拆換底工法第一種方式[下部結構整體改建(含帽梁)]



圖 1-5 先建後拆換底工法第二種方式[下部結構整體改建(未含帽梁)]

## 二、先拆後建換底工法

橋梁先拆後建方式前已陳述有 3 種方式，計有橋基改建、橋基與墩柱改建及下部結構整體改建(基礎、橋柱及帽梁)，橋基改建之換底方式較為少見，故在此不予以撰述，以下茲就橋基與墩柱改建及下部結構整體改建等 2 種型式之換底工法分別說明，其下部結構整體改建以「台 3 線 210k 烏溪橋橋基改建工程」案例說明；橋基與墩柱改建以「台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37)」案例說明。

### 2.1 下部結構整體改建-台 3 線 210k 烏溪橋橋基改建工程

烏溪橋位於台 3 線跨越烏溪河川上，為連接台中市霧峰區與南投縣草屯鎮間之重要橋梁(如圖 2-1-1)，民國 88 年 921 地震災後進行復建，後又因受河川下游盜採砂石及洪水沖刷影響，致使河床持續下降，P9~P13 間之橋梁沉箱基礎嚴重裸露，基礎被沖刷最大裸露長度高達 7.5 公尺(如圖 2-1-2)，因此既有基礎垂直承載力及側向承載力業已明顯降低，影響用路人之行車安全，故被列為全省極待改善之受損橋梁之一。又考量本工程上部結構係於民國 91 年改建完成，結構尚新且良好，且「台 3 線烏溪橋」位處草屯地區對台中地區的重要聯絡橋梁，交通量甚大，如打除重建將影響交通甚鉅，經多次研議後，決議沿用既有上部結構及維持原有交通之條件下，採換底工法 P9~P15 墩柱下部結構整體改建方式辦理，以提昇本橋整體耐震能力及抗洪功能，這也是公路總局第一座採下部結構整體改建之換底工程。



圖 2-1-1 台 3 線烏溪橋橋基改建工程位置圖

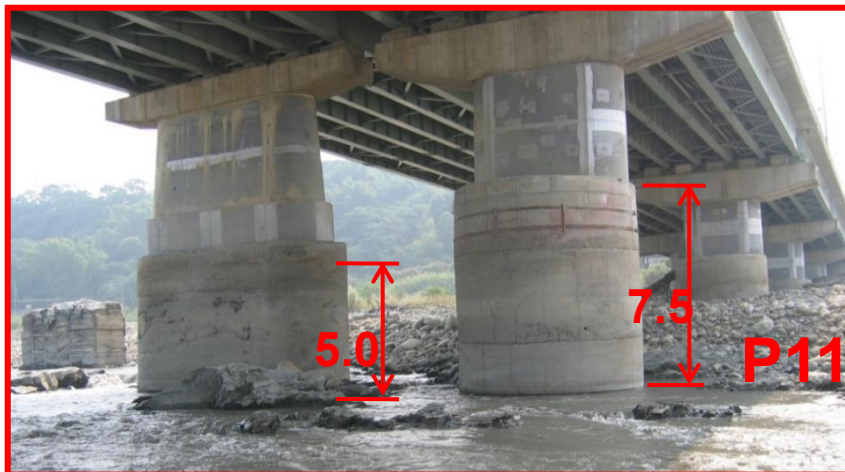


圖 2-1-2 台 3 線烏溪橋基礎被沖刷最大裸露長度高達 7.5 公尺

### 2.1.1 台 3 線 210k 烏溪橋換底工法介紹

施工時首先於欲改建墩柱之橋基周圍施作六支臨時支撐柱，於臨時柱上施作臨時帽梁構架（鋼結構），作為橋墩(柱)及基礎拆除改建期間之臨時支撐系統，如圖 2-1-3 所示，且於千斤頂頂升之大梁處，施作大梁臨時支撐加勁版，以增加臨時鋼帽梁構架支撐鋼梁之勁度。另為確保頂升時橋梁結構安全，因此在頂升施作處附近裝設監測系統，其監測設備為：電子式傾斜計、電子式沉陷計等，以監控橋梁之安全。

頂升之千斤頂，如圖 2-1-4 所示，設置於臨時鋼帽梁構架上，頂升時採取分段頂升，分次累計增加 50 噸（每個千斤頂荷重）後，停止半小時讓結構穩定，並同時進行量測紀錄每個千斤頂的讀值及大梁位移量。之後，再依次進行頂升，如此當舊有橋墩支承處有明顯的分離時，即停止頂升，並固定臨時支撐鋼墊片與設置止震鋼構，此時橋梁之重

量業已轉移至臨時支撐鋼構架上來承載。

載重轉置後，即可進行舊有橋墩與基礎之拆除工作，俟新基礎、墩柱及帽梁建造完成後，載重再轉置於新墩柱上，便可拆除 6 支臨時支撐柱及頂升之臨時支撐鋼構架，以完成改建的工作。

在橋梁被使用中進行換底工作，因此有實際載重作用於橋上時，各種維持管理項目的量測結果，也就會含有動態成分，而這些動態的數值，大多是由監測所獲得的，因此橋梁換底工法均必須設置「橋梁監測系統」，以監控橋梁頂升及臨時支撐時之橋梁安全，烏溪橋橋梁監測系統，如圖 2-1-5 所示。

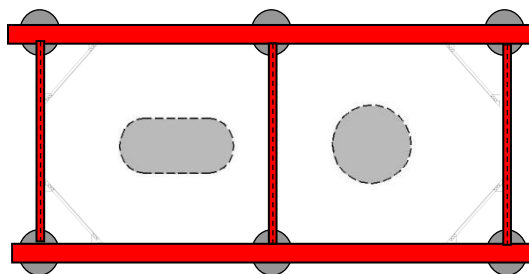


圖 2-1-3 台 3 線烏溪橋換底工程六支臨時支撐柱

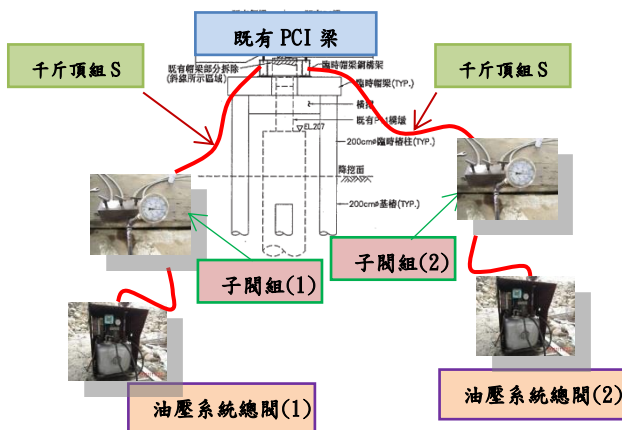


圖 2-1-4 台 3 線烏溪橋換底工程頂升千斤頂

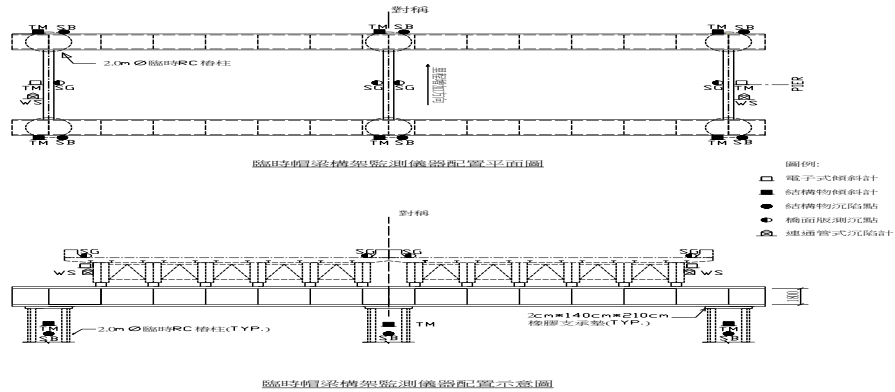
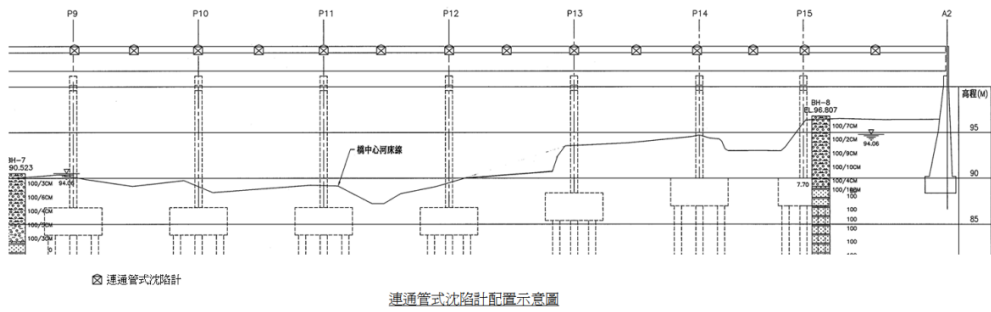
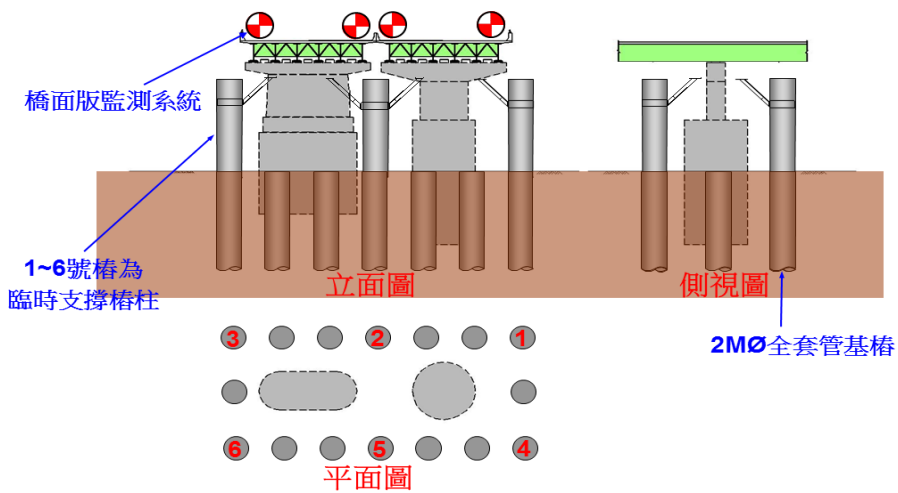


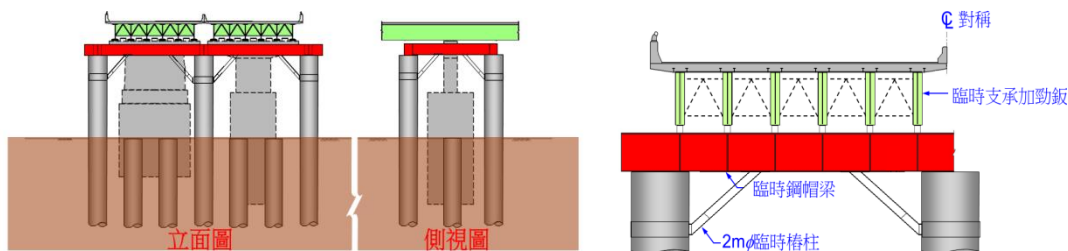
圖 2-1-5 台 3 線烏溪橋換底工程各項監測儀器配置規畫圖

## 2.1.2 台 3 線 210k 烏溪橋換底工法施工步驟

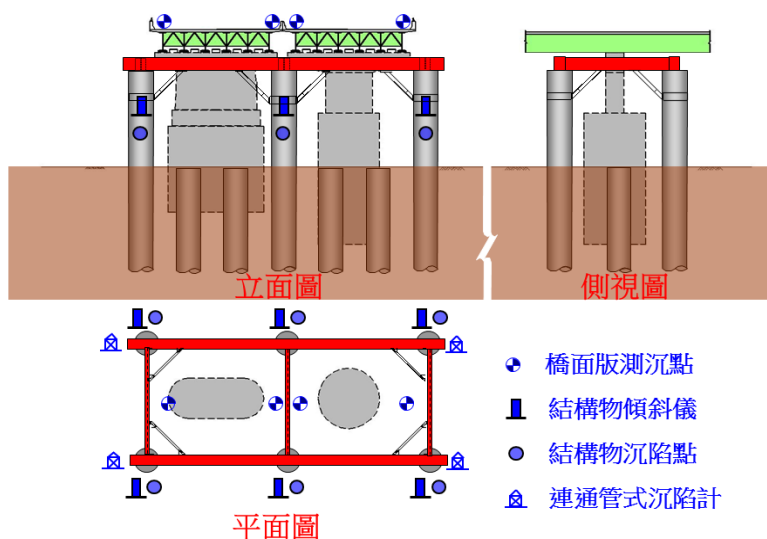
a. 施工步驟一：安裝橋面版監測系統與施作 2M $\phi$  全套管基樁



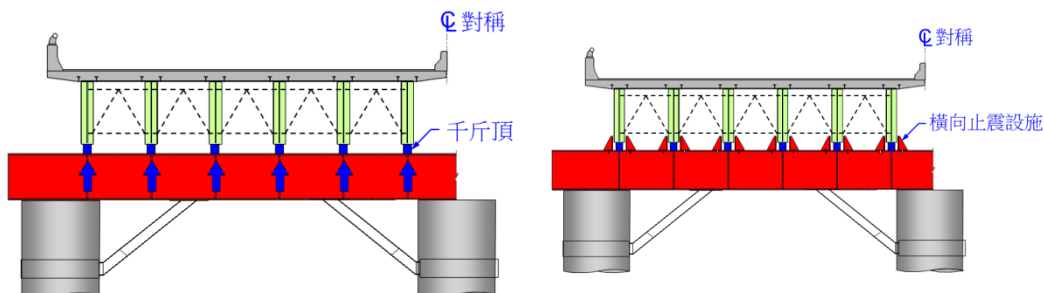
b. 施工步驟二：施作臨時帽梁構架；c. 施工步驟三：施作大梁臨時支承加勁鈹



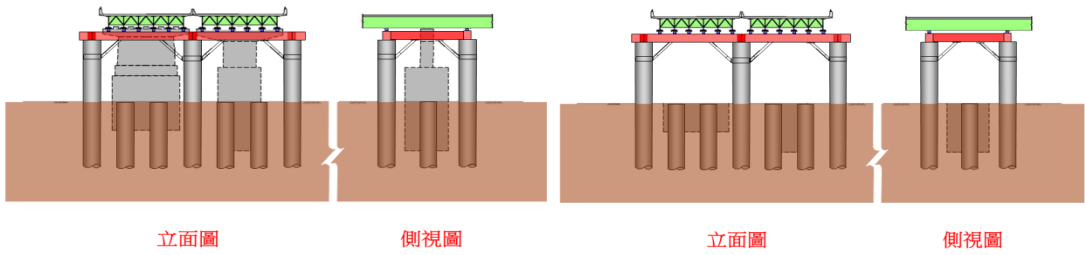
d. 施工步驟四：安裝橋面版監測系統與施作 2MØ 全套管基樁



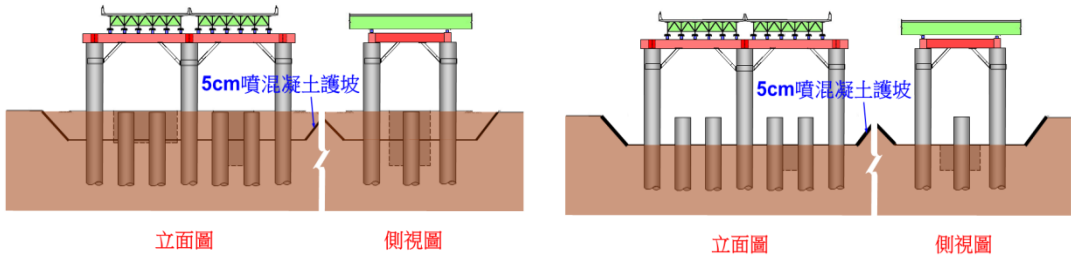
e. 施工步驟五：臨時帽梁構架裝設千斤頂；f. 施工步驟六：施作大梁止震設施



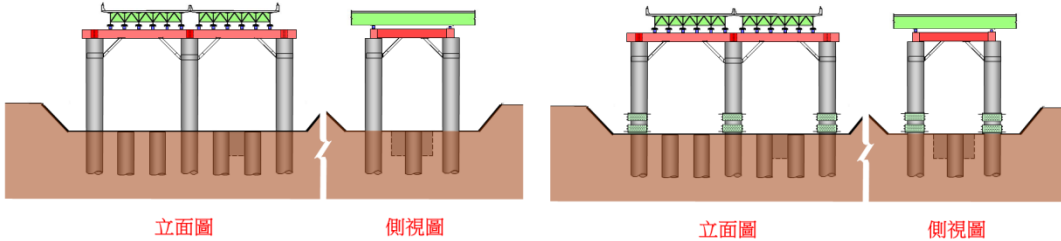
g. 施工步驟七：拆除原橋橋墩及沉箱基礎



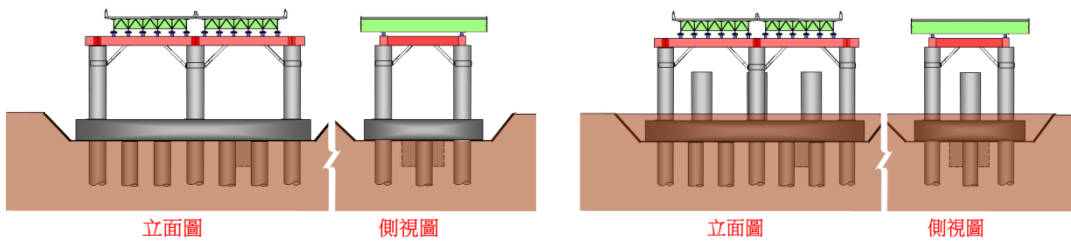
h. 施工步驟八：基礎開挖並清除河床面下舊有沉箱



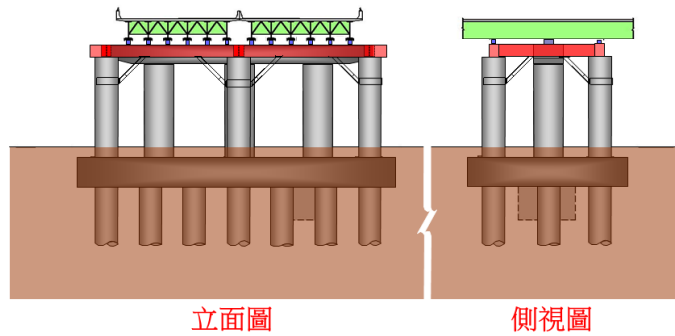
i. 施工步驟九：施作樁柱錨錠構架



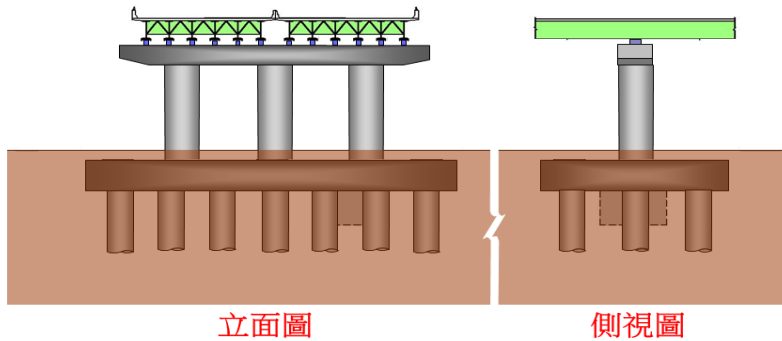
j. 施工步驟十：施作新基礎、墩柱及回填



k. 施工步驟十一：施作新基礎墩柱及帽梁



l. 施工步驟十二：拆除臨時支撐構架及兩側 RC 臨時支撐柱，完成改建作業



## 2.2 橋基與墩柱改建-台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37)

溪州大橋為台一線跨越濁水溪之橋梁，北接彰化縣溪州鄉，南接雲林縣西螺鎮，為當地南北交通要道(如圖 2-2-1)。民國 90 年桃芝颱風挾帶超過 200 年頻率洪峰流量 28900 cms，洪峰水位已大幅超過溪州大橋一級警戒水位 26.8m，致使河床持續下降，致使 P38~P56 橋墩間既有之  $\phi 60\text{cm}$  PC 樁基礎嚴重裸露，故於 93 年 6 月完成換底 19 墩。

97 年卡玫基、辛樂克風災後溪州大橋上游右岸水路往北側方向侵襲，又造成 P35~P37 等既有 PC 樁基礎被沖刷最大裸露長度高達 9.2 公尺(如圖 2-2-2)，因此造成橋梁承载力與穩定性不足，呈現危橋狀態並產生安全疑慮，影響用路人之行車安全，故被列為全省極待改善之受損橋梁之一。經考量本工程上部結構無損害且良好，又「台 1 線溪州大橋」位處雲林地區對彰化地區的重要聯絡橋梁，交通量甚大，如打除重建將影響交通甚鉅，經多次研議後，決議沿用該橋梁 P38~P56 換底工法方式辦理，即橋墩既有上部結構及帽梁繼續使用，橋基與墩柱予以改建方式辦理，以提昇本橋整體耐震能力及抗洪功能，這也是公路總局第二座採橋基與墩柱改建之換底工程。



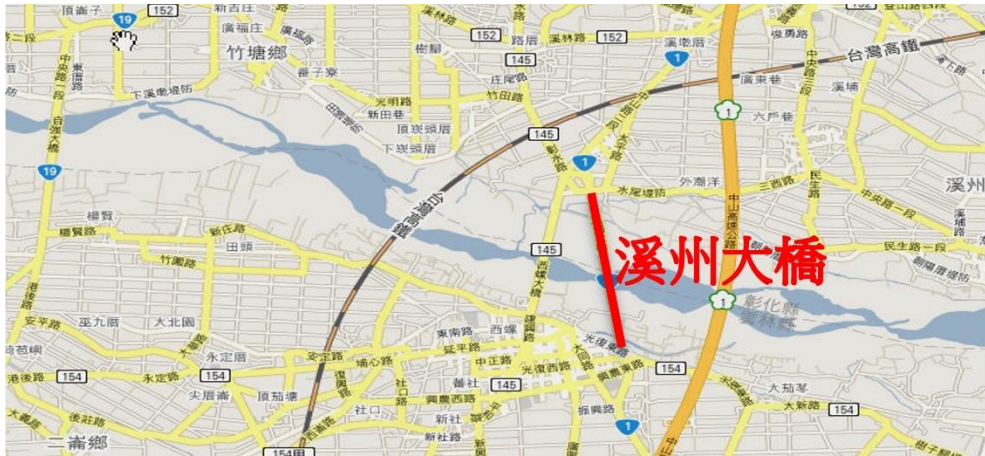


圖 2-2-1 台 1 線溪州大橋橋基保護工程位置圖

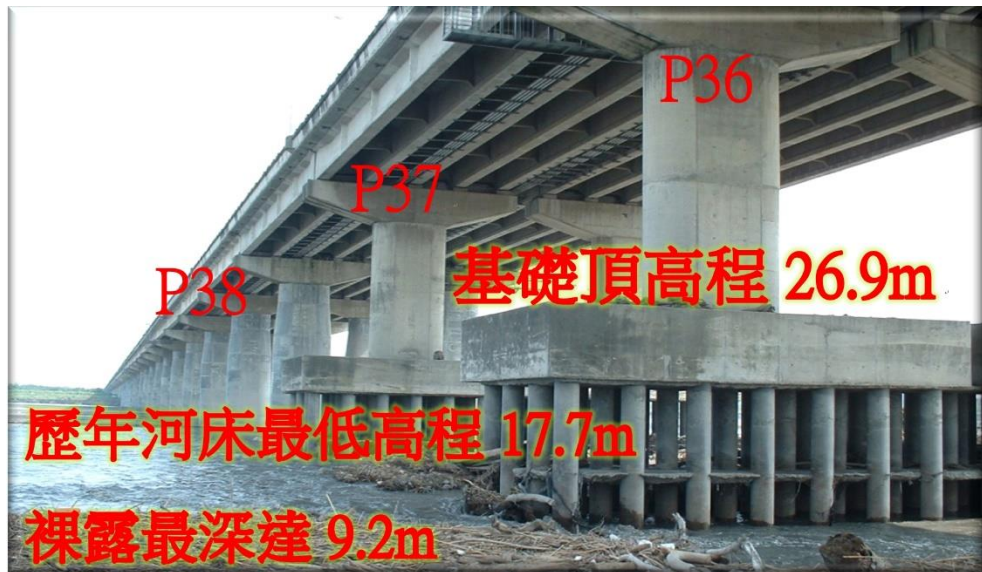


圖 2-2-2 台 1 線溪州大橋基礎被沖刷最大裸露長度高達 9.2 公尺

### 2.2.1 台 1 線溪州大橋換底工法介紹

施工時首先於欲改建墩柱之橋基周圍施築 14 支 1.5M $\phi$ 全套管基樁，於全套管基樁上架設支撐鋼架及帽梁托架（鋼結構），作為橋墩(柱)及基礎拆除改建期間之臨時支撐系統，如圖 2-2-3 所示。另為確保頂升時橋梁結構安全，因此在既有橋梁上部結構及支撐鋼架上裝設監測系統，其監測設備為：結構物傾斜計、連通管式沉陷計等，以監控橋梁之安全。

頂升之千斤頂，如圖 2-2-4 所示，共設置 24 個於支撐鋼架上，頂升前量測並記錄各監測系統數值，後填塞帽梁墊片，架設千斤頂、油壓管路及測微計等，並記錄帽梁托架與安全支撐構架間隙初始值。啟動油壓幫浦，每 10T 記錄一次千斤頂施力值及頂升距

離，並與設計值互相校核，分次累計增加 30 噸（每個千斤頂荷重）後，停止半小時讓結構穩定，施力至設計值及記錄頂升距離，估算所須墊片厚度，施力至 90T，填塞鋼墊片，之後，再解除千斤頂壓力，測微計歸零，重新加壓至設計值，檢核測微計讀數有無變化，確認載重有效轉移。

載重轉置後，每墩帽梁施作 120 支 24mm $\phi$ 化學錨栓，如圖 2-2-5 所示，固定帽梁托架與安全支撐構架，即可進行舊有橋柱與基礎之拆除工作(1.以人工敲除保護層並切斷鋼筋；2.以鑽心機分離墩柱；3.以破碎機敲除墩柱、橋基及 PC 樁)，俟新基礎建造完成及新舊柱接合後，載重再轉置於新墩柱上，便可拆除臨時托架及支撐鋼構架，以完成改建的工作。

橋梁於車輛通行中進行換底工作，因此有橋面上載重作用於橋梁下部結構上，故橋梁結構也就會含有各項之動態成分，而這些動態的數值，大多需由監測所獲得的，因此橋梁換底工法均必須設置「橋梁監測系統」，以監控橋梁頂升及臨時支撐時之橋梁安全，溪州大橋橋梁監測系統，如圖 2-2-6 所示。

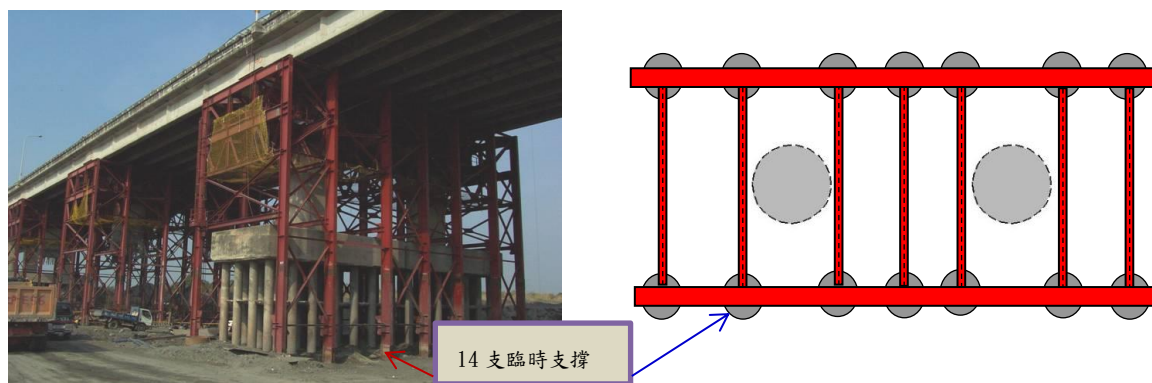


圖 2-2-4 台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37) 千斤頂及油壓管線配置示意圖

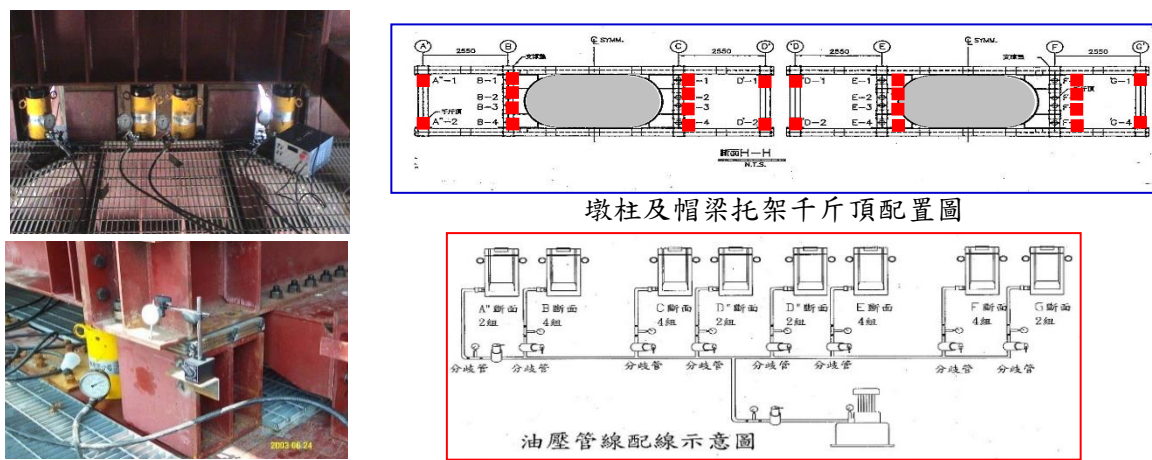


圖 2-2-4 台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37) 千斤頂及油壓管線配置示意圖

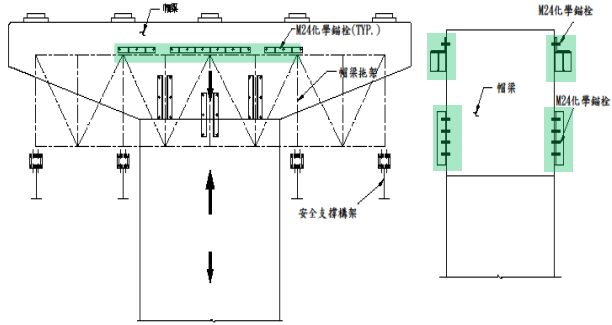


圖 2-2-5 台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37) 化學錨栓及固定帽梁示意圖

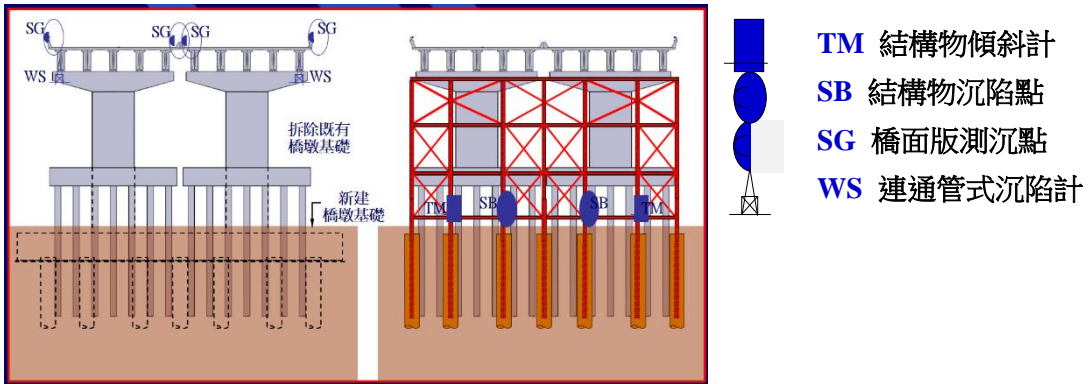


圖 2-2-6 台 1 線溪州大橋橋基保護工程 (P21~P37) 監測儀器規劃佈設圖

### 2.2.2 台 1 線溪州大橋換底工法施工步驟

a. 施工步驟一：施築 1.5m $\phi$  全套管基樁並插入鋼柱

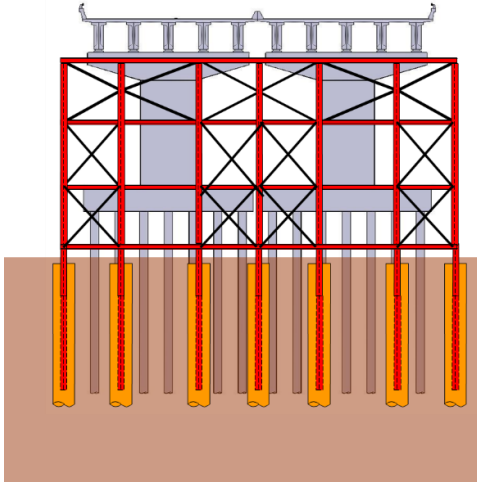
鋼筋籠吊放

鋼柱板吊放

施築基樁

鋼柱

b. 施工步驟二：架設臨時支撐鋼架



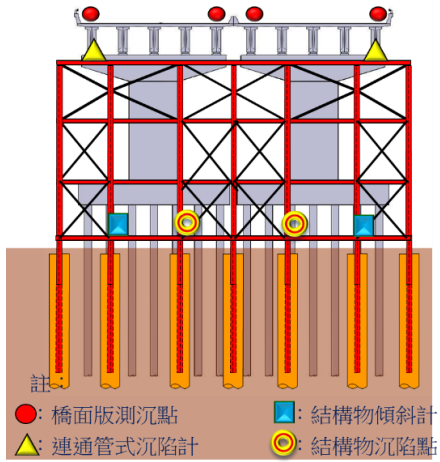
■ 托架安裝



■ 臨時支撐架安裝



c. 施工步驟三：裝設橋梁監測系統



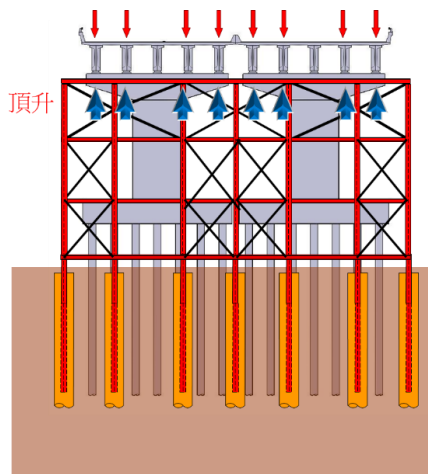
■ 支撐應變計



■ 結構物傾斜計



d. 施工步驟四：架設千斤頂進行頂升作業



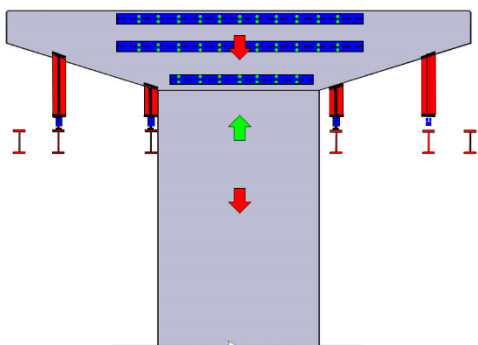
■ 千斤頂頂昇



■ 加壓幫浦



e. 施工步驟五：化學錨栓固定帽梁托架



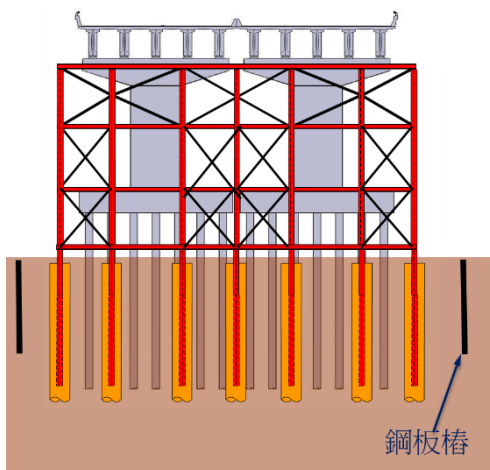
錨栓鑽孔



錨栓拉拔試驗



f. 施工步驟六：施作鋼板樁擋土設施



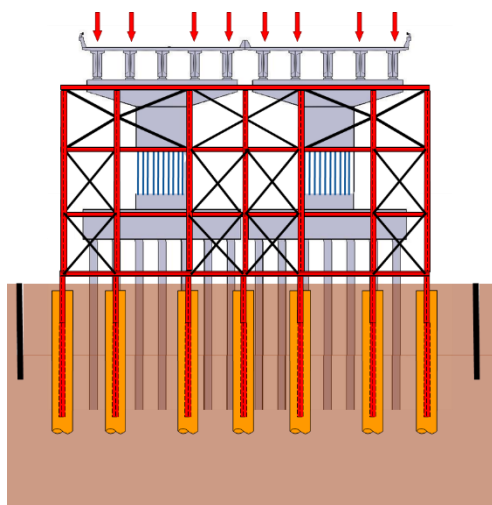
鋼板樁打設



型鋼檔土及背拉



g. 施工步驟七：墩柱分離



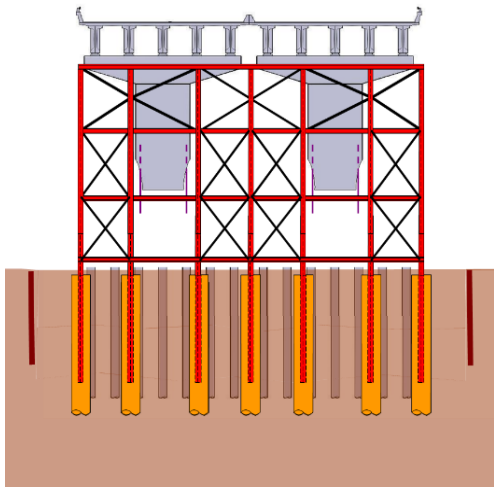
混凝土保護層敲除



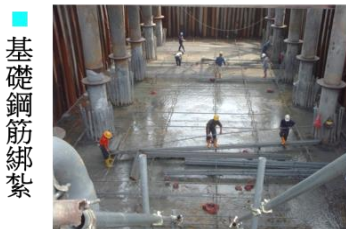
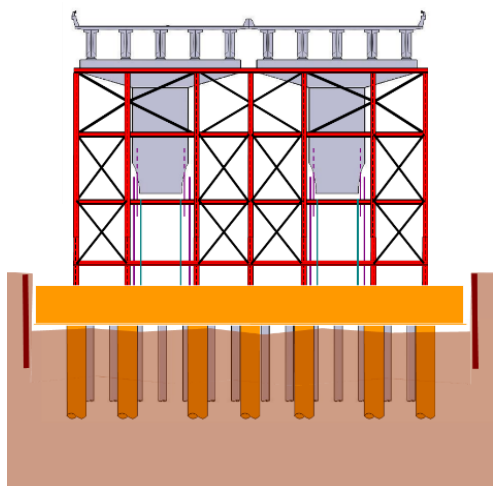
墩柱分離



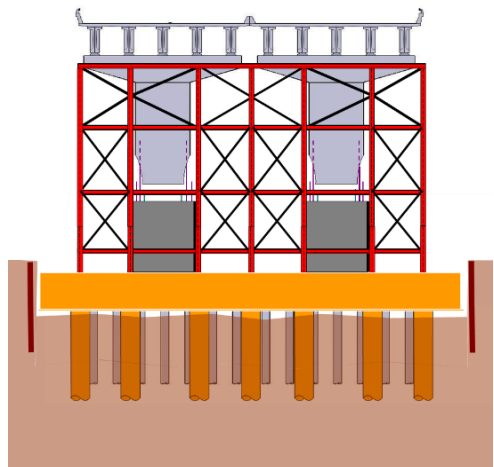
h. 施工步驟八：拆除原有墩柱及基礎



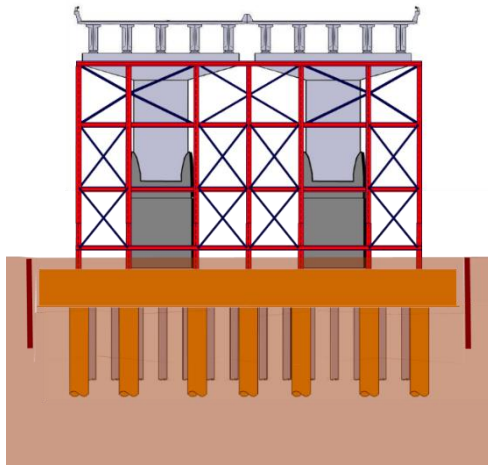
i. 施工步驟九：新基礎(樁帽)施工



j. 施工步驟十：新建墩柱



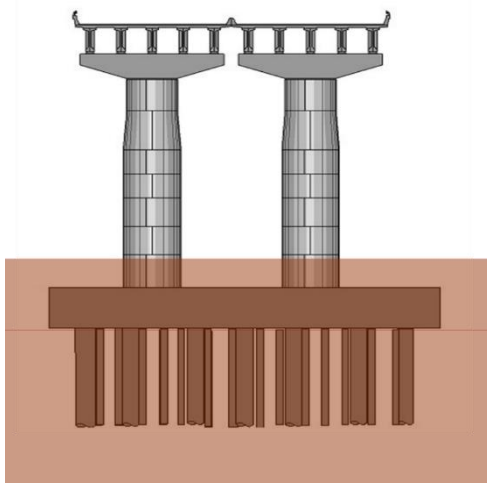
k. 施工步驟十一：新舊柱以早強無收縮混凝土接合



■ 無收縮混凝土灌漿



l. 施工步驟十二：拆除臨時支撐鋼架完成橋基保護



■ 支撐架拆除



### 三、先建後拆換底工法

橋梁先建後拆方式前已陳述有 2 種方式，計有下部結構整體改建(未含帽梁)及下部結構整體改建(含帽梁)，以下茲就下部結構整體改建(未含帽梁)及下部結構整體改建(含帽梁)等 2 種型式之換底工法分別說明，其下部結構整體改建(未含帽梁)以「台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程」案例說明；下部結構整體改建(含帽梁)以「106 年第 9 次一般災害台 21 線隆華新橋 P5 與 A2 復建工程」案例說明。

### 3.1 下部結構整體改建(未含帽梁)-台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程

63 線烏溪橋位於台 63 線 13K+808~14K+879，1998 年 1 月竣工通車後，為連接臺中市霧峰區與南投縣草屯鎮的重要橋梁(如圖 3-1-1)。民國 91 年之前，烏溪河道高灘地約位於 P41 橋墩處，民國 91 年以後，由於颱風及洪水沖刷，高灘地逐年向南移動，並退縮至 P47 橋墩處(如圖 3-1-2)，另導致原高灘地橋墩 (P42~P46) 沉箱基礎裸露嚴重，最大裸露高度達 8m(如圖 3-1-3)，已達既有沉箱深度的一半，因此既有沉箱基礎垂直承載力及側向承載力業已明顯降低，影響用路人之行車安全，並列為本處一級監控橋梁及極待改善之受損橋梁之一。

本工程係為前臺灣省政府住宅及都市發展局辦理，於民國 97 年新建完成，結構尚新且良好，且「台 63 線烏溪橋」為中投公路連接霧峰至草屯的交通樞紐，每天約有 1 萬 1 千多輛車次通行，交通量甚大。且本工程不僅為連接縣市跨越烏溪重要道路橋梁，並可經由台 63 線連絡至國道三號，又考量施工期間交通不能中斷之需求，如打除重建將影響交通甚鉅，經多次評估與研議後，為徹底提升橋梁耐洪及耐震能力，乃辦理橋梁基礎換底工程。

又幾經考量後，決議沿用既有上部結構、帽梁及維持原有交通之條件下，其中 P42~P47 沉箱基礎與墩柱採先建後拆換底工法進行改建，P41 墩柱採鋼鈎包覆，以提昇本橋整體耐震能力及抗洪功能，這也是公路總局繼台 88 線萬大大橋橋基補強工程第二座採下部結構未含帽梁整體改建之換底工程。



圖 3-1-1 台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程位置圖





圖 3-1-2 台 63 線烏溪橋橋址河道高灘地退縮示意圖



圖 3-1-3 台 63 線烏溪橋基礎被沖刷最大裸露長度高達 8 公尺

### 3.1.1 台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程換底工法介紹

本工程考量受限於既有橋墩沉箱基礎緊鄰影響，導致中央墩柱施工空間不足之問題，為避免開挖階段影響既有橋梁穩定性，本案採二階段降挖(搭配臨時擋土支撐+中央墩柱臨時基礎)。第一階段降挖，首先於欲改建墩柱之原地線降挖 5.5M，並於既有墩柱基礎沉箱外側施作臨時擋土沉箱，有效減少開挖施工造成對原土層之擾動，兩側基礎採沉箱式壁體作為開挖之臨時擋土支撐，如圖 3-1-4 所示，且於臨時擋土沉箱內回填土方，以利施作永久柱基樁及外側兩支永久墩柱。

另於中央墩柱處施作永久基礎，再施作永久構造物(新橋柱及其基礎)，藉由預力將上部結構載重移轉至新橋墩上，並拆除既有沉箱基礎，使其橋梁於力量轉移至改建橋墩前，其既有沉箱基礎仍可保持入土深度達 8m 進行換墩工程，且一併克服中央墩柱施工空間不足之問題，最後施作中央墩柱永久基礎，待中間永久基礎施工完成後，於永久基礎及臨時基礎間架設千斤頂，並於千斤頂施予預頂後，再將中央墩柱之臨時基礎切割分離，並予以打除，其載重利用千斤頂進行第二次力量轉移，將力量由臨時基礎轉移至

永久基礎上，於釋放載重後，再進行拆除臨時基礎，並於永久橋柱上包覆防衝鋼板，如圖 3-1-5 所示。

本工程採二階段降控，降控深度高達 11.5M(第一階段降控 5.5M 第二階段降控 6M)，又既有沉箱基礎最大裸露達 8 公尺及施工期程跨越兩次汛期，因此在工程施工中且橋梁被使用通車中，需隨時掌握各橋墩結構之即時狀態，另在橋梁通車之行駛車輛會含有動態成分，而這些動態的數值，須由監測所獲得的，因此本工程必須設置「橋梁監測系統」，以監控橋梁車輛行駛及基礎開挖中之橋梁安全，並作為封橋與工程是否可施工之決策依據，以確保橋梁、用路人與施工人員安全，故於橋梁下部結構安裝連通管沉陷計、應變計、結構物傾斜計及無線追蹤粒子等感測器，如圖 3-1-6 所示。

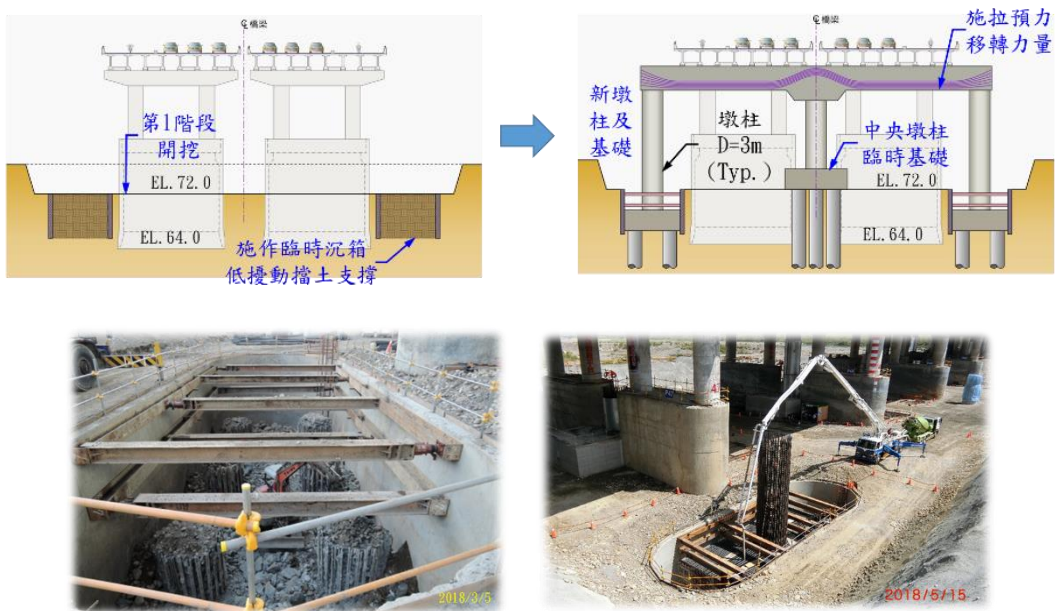


圖 3-1-4 台 63 線烏溪第一階段降控及基礎採沉箱擋土支撐與永久墩柱示意圖

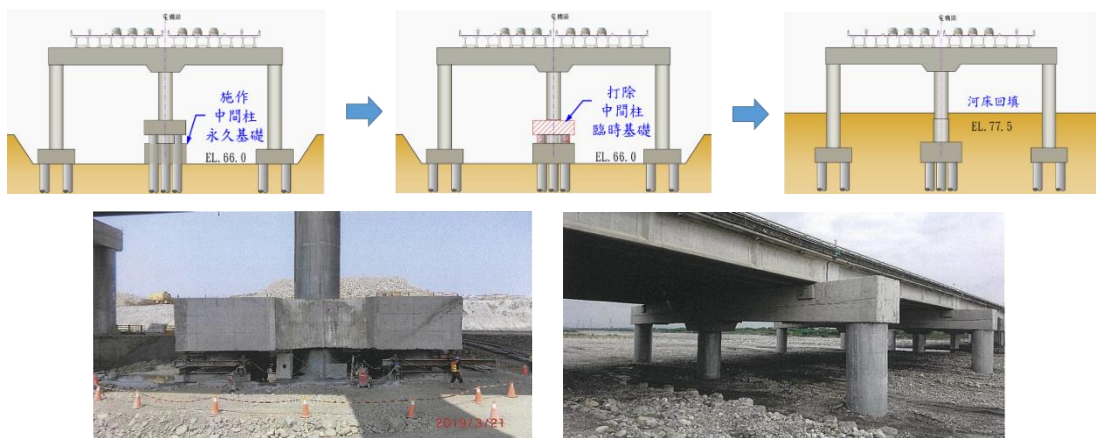


圖 3-1-5 台 63 線烏溪橋中央墩柱之臨時基礎及永久墩柱施工示意圖

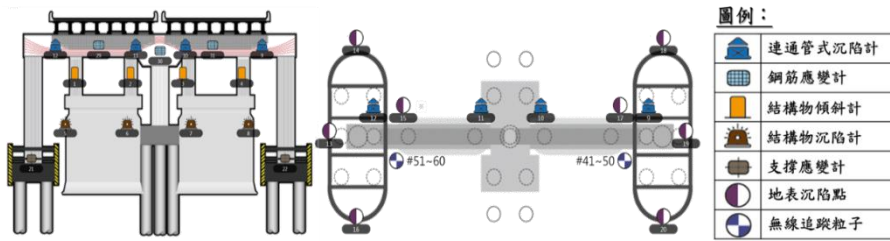
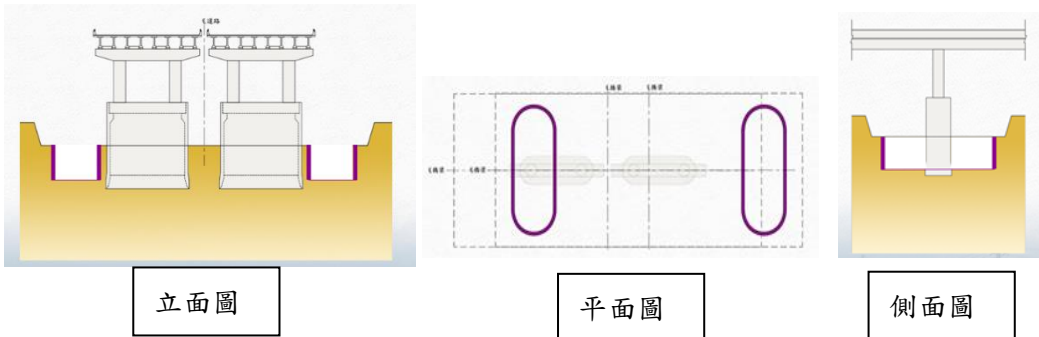


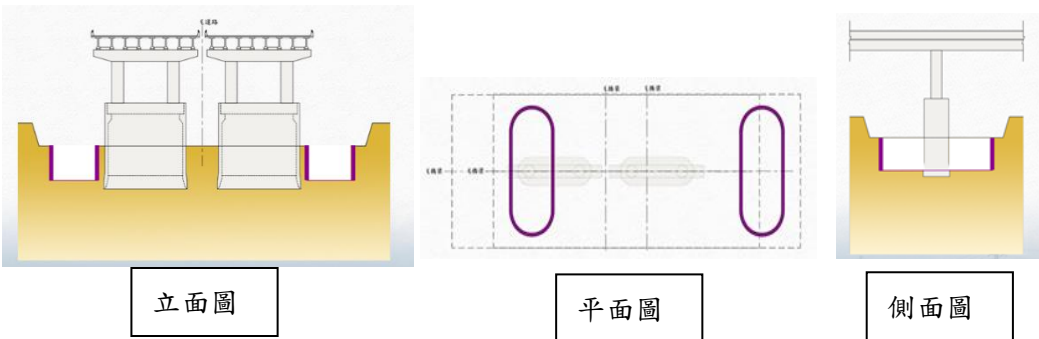
圖 3-1-6 台 63 線烏溪橋監測儀器規劃佈設圖

### 3.1.2 台 63 線烏溪橋換底工法施工步驟

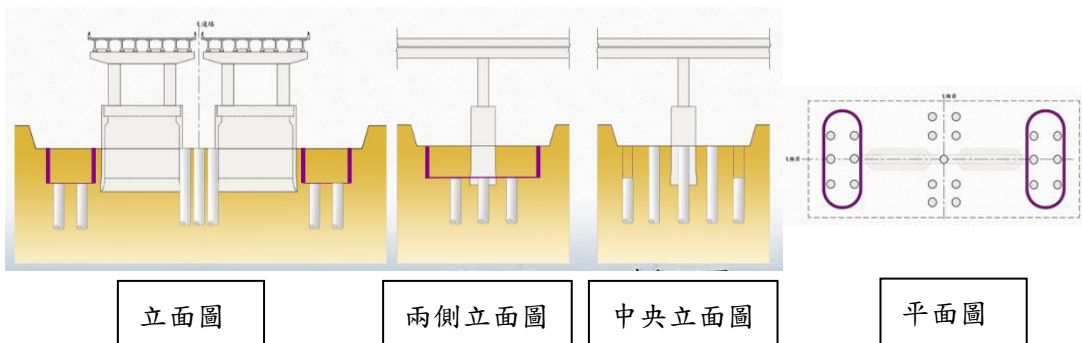
a. 施工步驟一：於既有墩柱基礎沉箱外側施作 2 座臨時擋土支撐沉箱



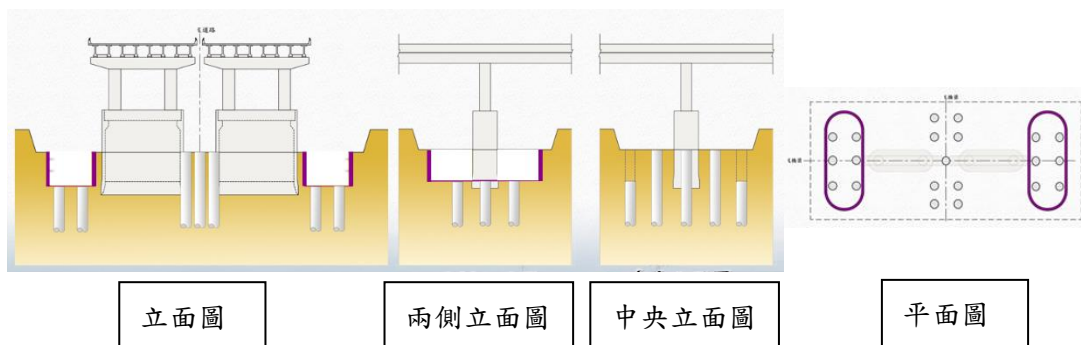
b. 施工步驟二：外側 2 座臨時擋土支撐沉箱-沉箱內土方回填



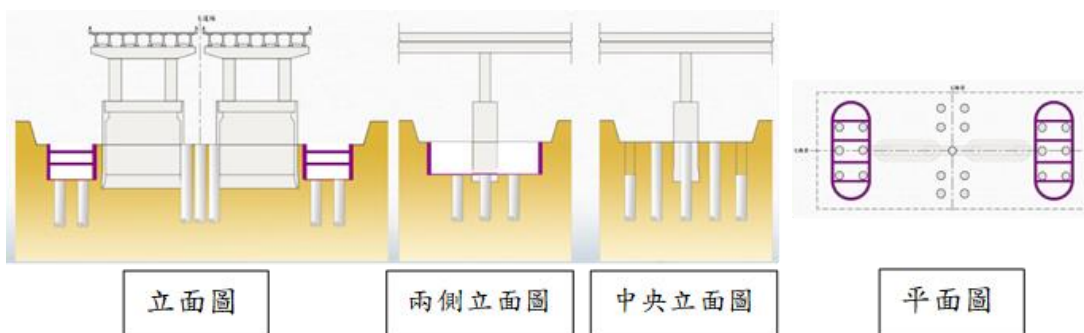
c. 施工步驟三：外側 2 座臨時擋土支撐沉箱內及中央柱打設全套管基樁



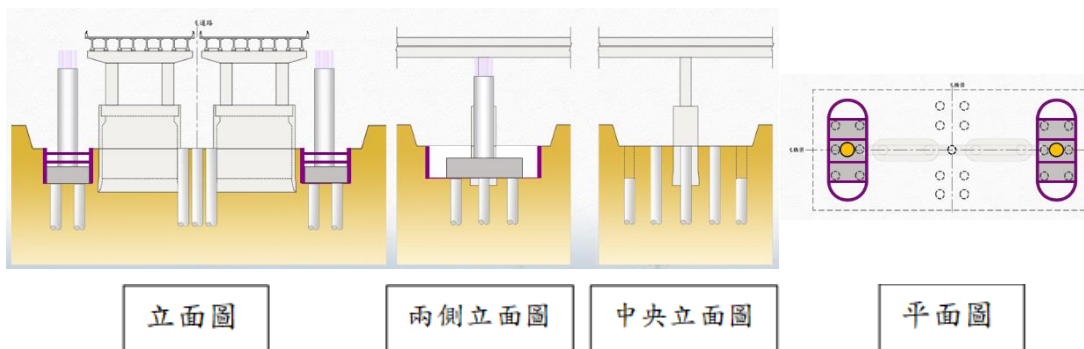
d. 施工步驟四：外側 2 座臨時擋土支撐沉箱進行第二次降挖(含基樁打除)



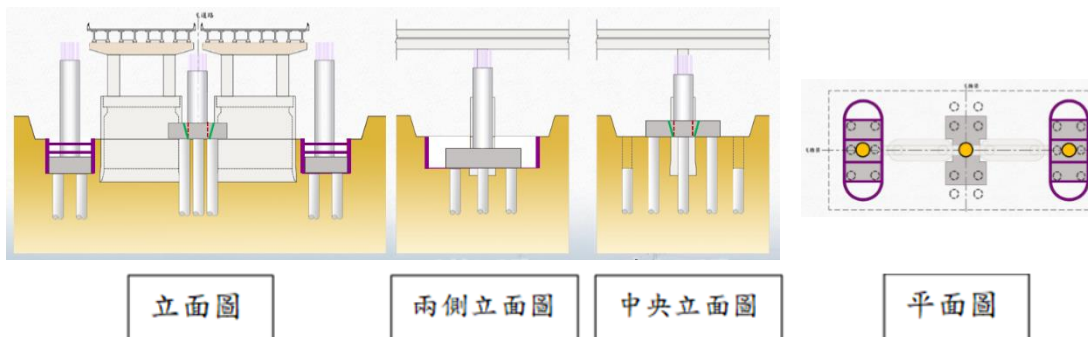
e. 施工步驟五：外側 2 座臨時擋土支撐沉箱架設水平支撐型鋼



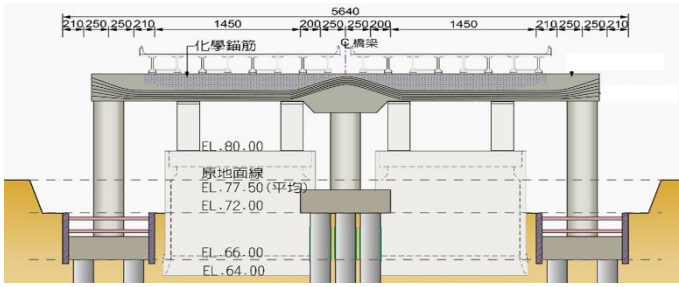
f. 施工步驟六：兩側臨時擋土沉箱內，施作永久基礎及墩柱，預留頂部鋼筋



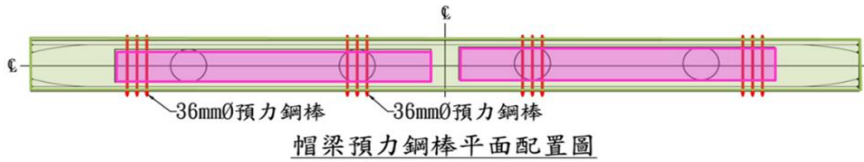
g. 施工步驟七：施作中央柱之臨時基礎(中央墩柱預埋鋼套環、並預留灌漿管)



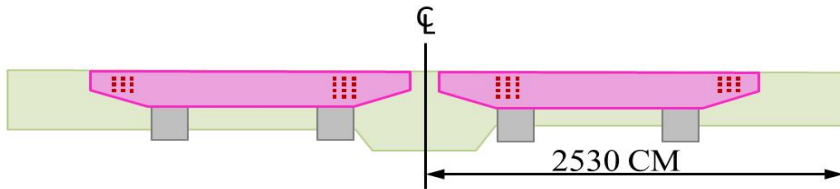
h. 施工步驟八：既有帽梁打毛、植筋及埋設預力鋼棒套管



植筋及埋設預力鋼棒套管

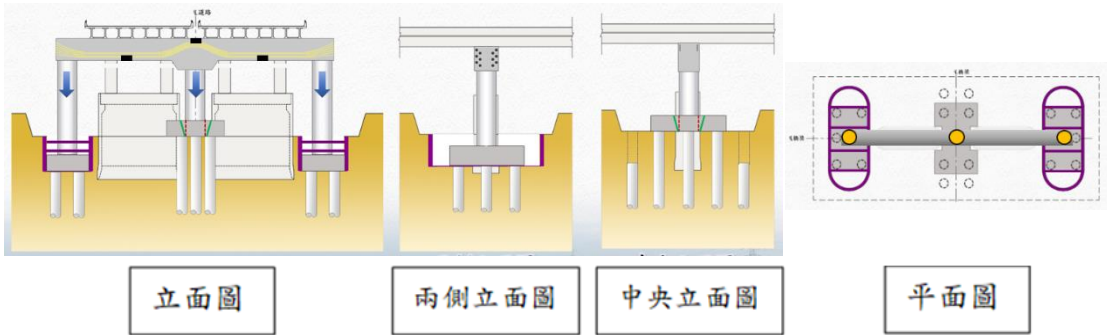


帽梁預力鋼棒平面配置圖

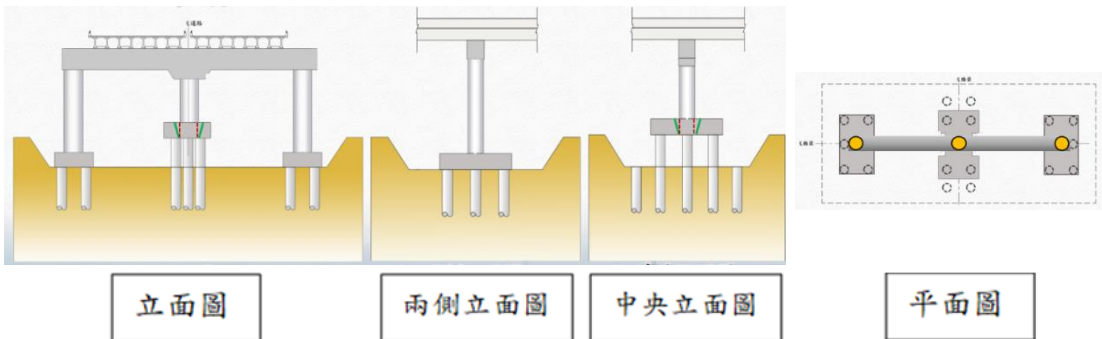


帽梁預力鋼棒立面配置圖

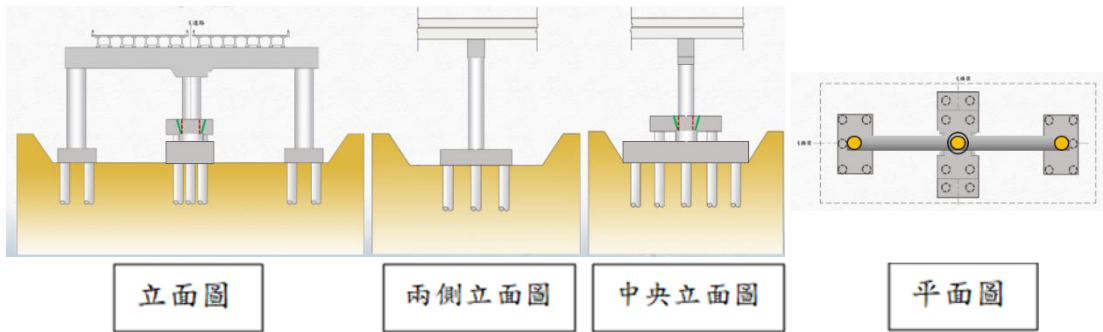
i. 施工步驟九：施築新帽梁(應變計黏貼於帽梁主筋、設置預力鋼腱，施拉預力)



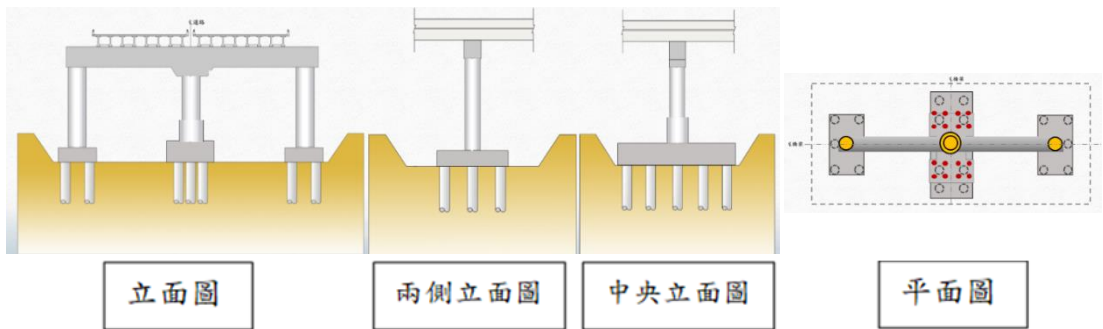
j. 施工步驟十：開挖至預定高度、打除既有沉箱及墩柱、拆除臨時沉箱



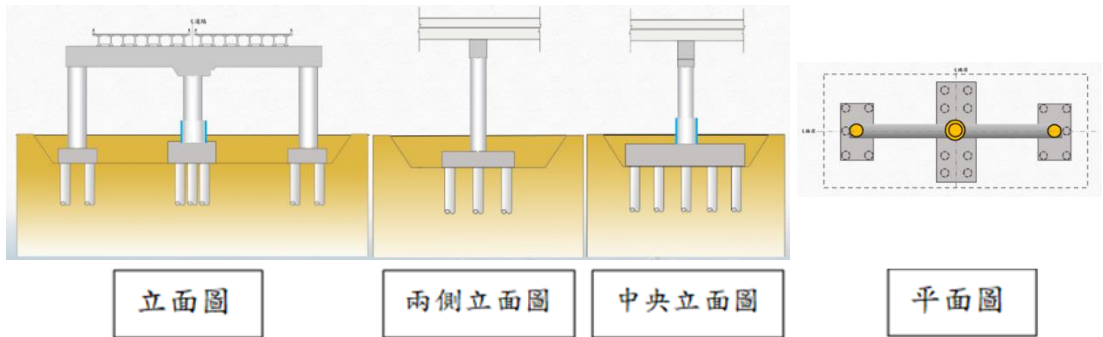
k. 施工步驟十一：施作中央永久基礎、用灌漿孔澆注混凝土、擴大中央墩柱



l. 施工步驟十二：中央永久基礎架設油壓千斤頂，力量轉移後拆除臨時基礎



m. 施工步驟十三：中央永久柱防撞鋼板包覆，回填土方至原地面線



### 3.2 下部結構整體改建(含帽梁)-台 21 線隆華新橋 P5 與 A2 復建工程

隆華新橋位於南投縣信義鄉新中橫公路台 21 線 104K+990~105K+330，全長 340 公尺，座落於和社溪流域，橋梁右側為山側，左側臨和社溪，橋梁終點鄰近頭坑溪與和社溪匯流口下游處，為南投縣信義鄉通往塔塔加重要橋梁之一(如圖 3-2-1)。隆華新橋係因 98 年 8 月莫拉克風災造成和社溪對該路段路基沖刷而興建，並於 102 年完工通車。又於 106 年 0602 豪大雨溪水暴漲沖刷，造成 P5 墩柱臨山側帽梁開裂，裂縫範圍涵蓋帽梁頂至帽梁底，最大寬度達 8mm，且 P5 墩柱臨河側大梁與鑄鋼支承有脫離狀況，其墩柱

整體朝臨河側傾斜約 1/100 之角變量(如圖 3-2-2)，橋梁安全性堪慮。為確保用路人行車安全，先於 P5 橋墩帽梁底設置臨時重型支撐(如圖 3-2-3)，予以支撐帽梁，防止災害持續擴大。另辦理台 21 線隆華新橋 P5 與 A2 復建工程(以下簡稱「本工程」)，以保障用路人之行車安全，又為解決靠山側邊坡不穩之疑慮，於 107 年 11 月完成臨山側邊坡地錨擋土牆(如圖 3-2-4)。

「隆華新橋」於 102 年完工通車，其結構尚新且良好，為台 21 線新中橫公路聯絡日月潭及阿里山兩大國際觀光景點之重要通道，也是南投線信義鄉之重要維生道路。且本工程為鋼構箱型梁，於 106 年 0602 豪大雨溪水暴漲沖刷後，經 6 月 8 日橋檢車勘查後，發現 P5 橋墩帽梁靠山側帽梁兩端均有裂縫發生，且臨河側盤式支承上盤脫離損壞，上構鋼箱型梁並未損壞，經設計公司研議後，為考量橋梁儘速修復、長期安全及提升耐洪及耐震能力，採橋梁換底工法施作。

又經多次評估與研議後，決議 P5 橋墩上部結構(鋼箱型梁)保留，帽梁、墩柱及基礎全部改建，並採先建後拆換底工法進行改建。P5 橋墩所採換底工法係於 P5 橋墩四周新設 4 處直徑 400cm 井基，用以取代舊有基礎，且新設 4 墩柱組合取代舊墩柱，另以鋼構框型帽梁，取代舊有 RC 帽梁。



圖 3-2-1 台 21 線隆華新橋 P5 與 A2 復建工程位置圖



墩柱朝臨河側傾斜約 1/100

帽梁頂面及中央支承水泥砂漿墊塊開裂狀況



左側大梁下翼板與支承上盤脫離(上盤凸緣有摩擦痕跡)

圖 3-2-2 台 21 線隆華新橋 P5 帽梁受損情形





圖 3-2-3 P5 橋墩帽梁底設置臨時重型支撐及支承增設臨時鋼墊片



圖 3-2-4 臨山側地錨擋土牆

### 3.2.1 台 21 線隆華新橋 P5 與 A2 復建工程換底工法介紹

一般換底工法是先新設臨時支撐，先轉移上部結構負載至臨時支撐，打除既有下部結構與基礎，再新設基礎與橋墩，接著再轉移上部結構負載至新設橋墩上。

然而，本工程之橋梁本身，並非因原基礎強度或深度不足而須改善，係因墩柱本身損壞所致，故本工程採打除置換 P5 橋墩柱及帽梁，保留原上構(鋼箱型梁)。於既有 P5 橋墩基礎四周新設 4 支直徑 400cm 井基，用以取代舊有基礎。本工程和一般換墩工法所不同處在於，直接以新設 4 墩柱組合取代舊墩柱，並設置永久鋼構帽梁，取代舊帽梁，如圖 3-2-5 所示，如此可省去新建基礎、帽梁的時間，亦避免材料打除運棄。

依上述構想，鋼構帽梁將分二階段辦理(如圖 3-2-6)：

(一) 第一階段：設置口字型框架，並於框架上設置千斤頂，將大梁荷重移轉置新設

橋墩，移轉完成後，再行打除舊有帽梁與墩柱。

- (二) 第二階段：於原口字型框架中間增設王字型永久構架，此構架上將配合既有大梁結構，增設三處固定式鑄鋼支承，並配合結構分析結果，先預拱 9.8mm(此構架之計算最大垂直撓度為 3.4mm)，完成此結構後再移除周邊二臨時構架。

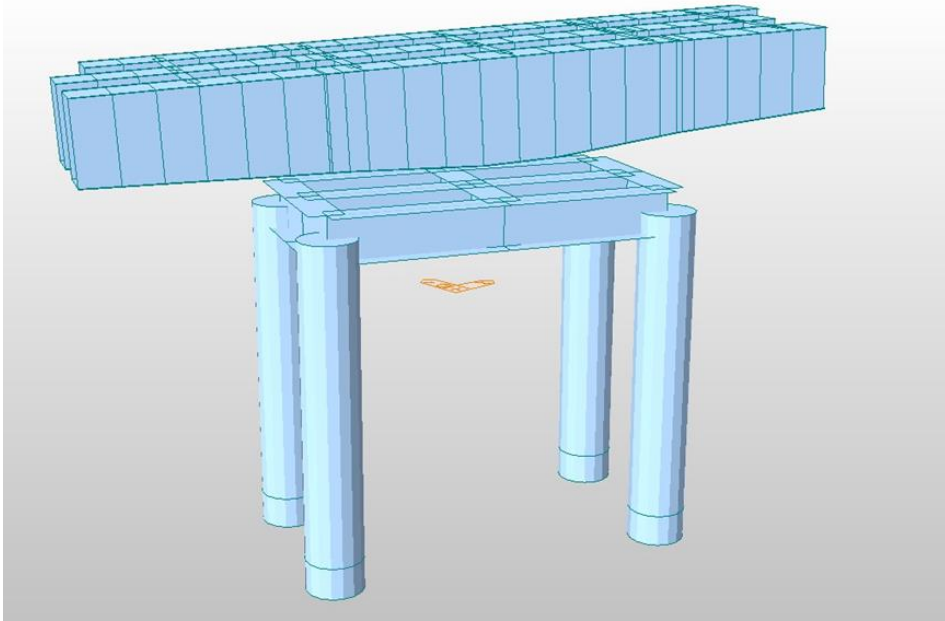


圖 3-2-5 台 21 線隆華新橋 P5 橋墩柱復建示意圖

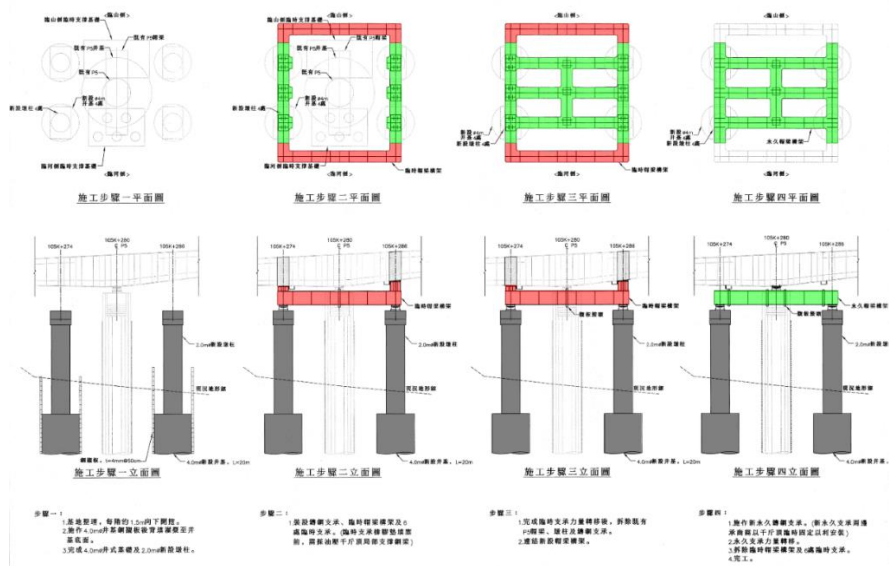
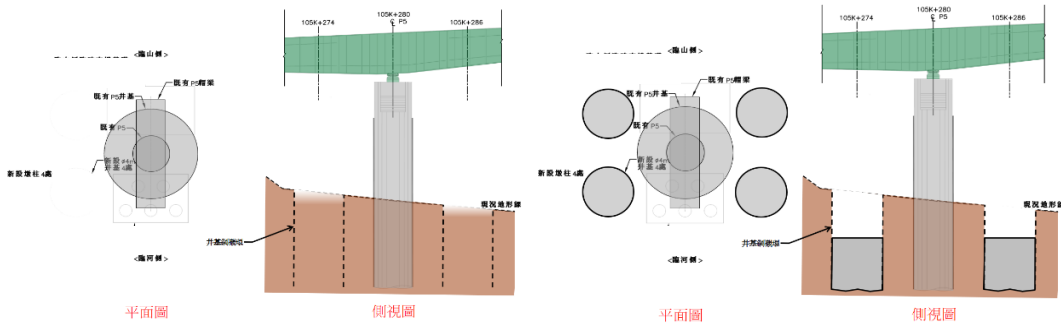


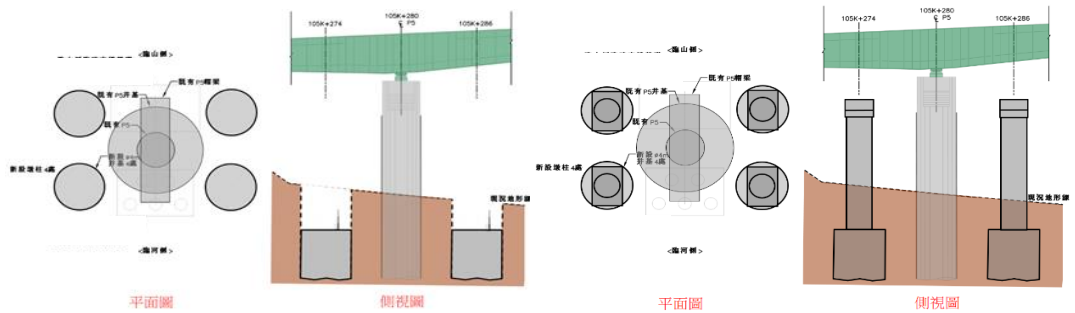
圖 3-2-6 台 21 線隆華新橋 P5 橋墩柱換底施工示意圖

### 3.2.2 台 21 線隆華新橋 P5 橋墩柱工法施工步驟

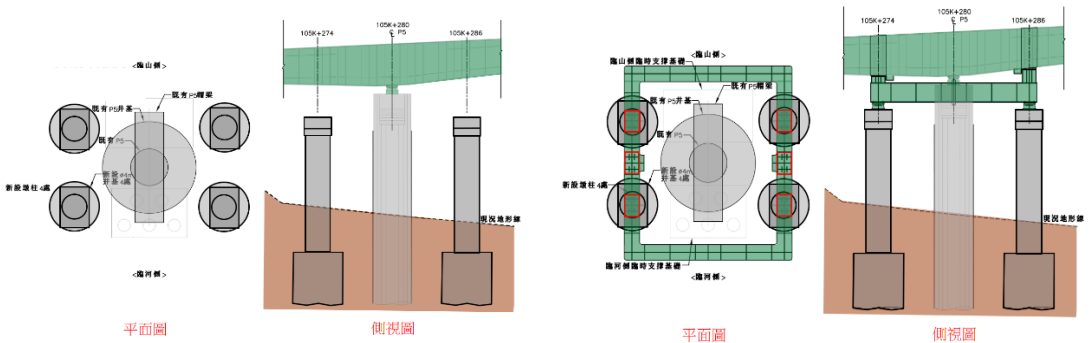
#### a. 施工步驟一：施作 4MØ 井基



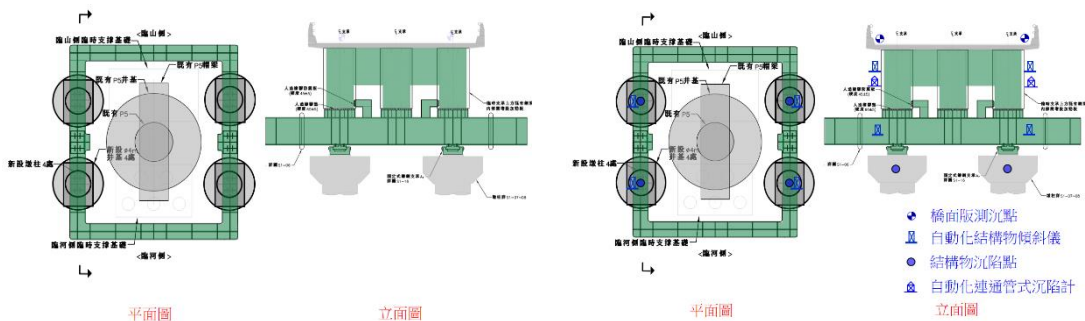
#### b. 施工步驟二：施作 2MØ 墩柱及鋼構托梁



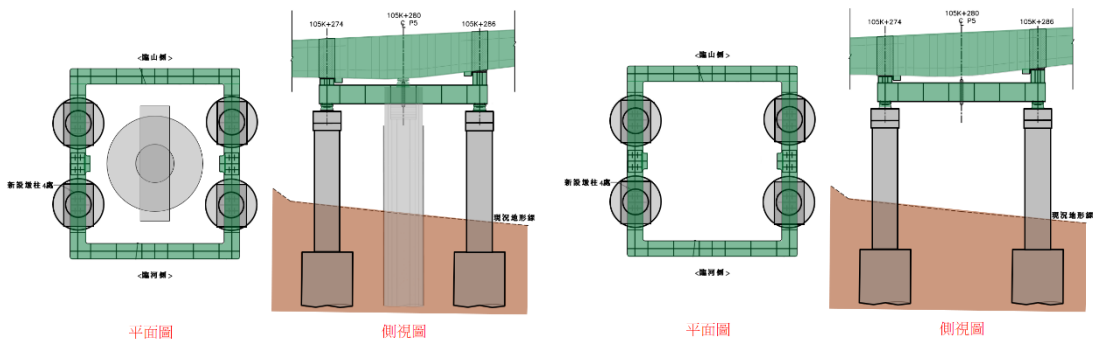
#### c. 施工步驟三：裝設鑄鋼支承、臨時帽梁構架及臨時支承



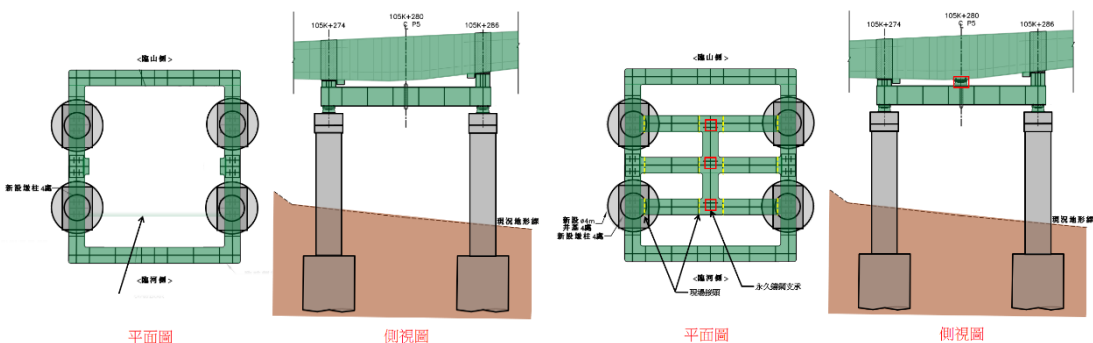
#### d. 施工步驟四：裝設監測儀器



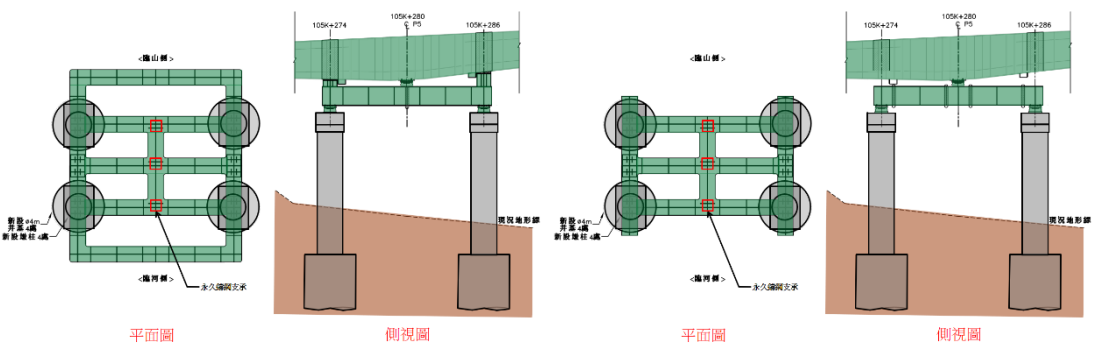
e. 施工步驟五：完成臨時支承力量轉移，拆除既有 P5 帽梁、墩柱



f. 施工步驟六：連結新設帽梁構架後，施作新永久鑄鋼支承



g. 施工步驟七：連結新設帽梁構架後，施作新永久鑄鋼支承



## 四、結論與建議

### 4.1 橋梁採用換底工法之時機：

1. 橋梁尚未達到使用年限而有橋基裸露之情形。
2. 橋梁上部結構完好，下部結構(基礎、橋柱及帽梁)耐震能力不足或有損壞。
3. 橋梁位於交通要道上，打除重建將影響交通甚鉅或施設便道(便橋)不易。

#### 4.2 橋梁採用換底工法之優點：

橋梁採換底工法改建，保留了既有橋梁之上部結構，完成橋梁耐洪及耐震補強的工作。由於橋梁上部結構的保留，除了節省公帑、維持既有交通及維生管線外，另因應既有橋墩與基礎的型式、工址環境的特性（包括地形、地質與河川水文）等，解決國內橋梁基礎裸露問題及下部結構耐震能力不足或有損壞之新解決方案。

#### 4.3 「先拆後建換底工法」及「先建後拆換底工法」之分析：

換底工法之「先拆後建」與「先建後拆」之方式，係依據橋基拆除、興建的先後順序予以區分，其優劣分析如下：

1. 先拆後建換底工法：是先新設臨時支撐，並轉移上部結構負載至臨時支撐，打除既有下部結構與基礎，再新設基礎與橋墩，接著再轉移上部結構負載至新設橋墩上。優點是可重建與舊有相同的橋墩柱結構(基礎、橋柱及帽梁)；缺點是施工過程中，上部結構載重係先由既有橋墩轉移至臨時支撐上，最後再由臨時支撐上轉移至新橋墩上，總計需 2 次力量轉移，施工時間較長，且於第 1 次載重轉移後至第 2 次轉移前，所有載重均由臨時支撐負載，其抗震能力較弱，故於施工期間須借由監測系統予以監測橋梁狀況，又 2 次力量轉移時均須封橋。
2. 先建後拆換底工法：於施工過程中，上部結構負載均由既有墩柱支撐，俟新設基礎與橋墩完成後，再由既有橋墩直接轉移至新橋墩上。優點是施工過程中，上部結構載重係由既有橋墩支撐上，最後直接轉移至新橋墩上，總計僅需 1 次力量轉移，施工時間較短，且無需臨時支撐，故施工中結構行為較安全，又力量轉移時無須封橋(車輛正常行駛或降速行駛)；缺點是重建之橋墩柱結構(基礎、橋柱及帽梁)無法與舊有的橋墩柱結構相同，尤其是帽梁，對橋梁整體結構較易形成不對稱結構之行為。

## 五、結語

1. 採換底工法是取代局部或全橋改建，提高既有橋梁之勁度與強度，排除交維改道行車風險。
2. 換底工法最先採用的是「先拆後建」方式施作，又思維考量施工快速及組裝簡單，大多臨時支撐係採用型鋼支撐架，後因型鋼支撐架的勁度較低、抗震能力較差、迎水面寬且耐洪能力差，現在臨時支撐大多已改用混凝土柱支撐，以提高其勁度與強度，並降低先拆後建換底工法的風險及適用性。
3. 有關採換底工法相關之結構分析與橋梁監測部份，可參閱我於臺灣公路工程第 37 卷第 8 期(100 年 8 月)發表「橋梁頂升換底工法分析與監測管理之研究-以省道台 3 線烏溪橋為例」之文章。
4. 常有人問我橋梁改建加固，其「先拆後建換底工法」與「先建後拆換底工法」何者較

好，我參與 6 座橋梁之採換底工法施作，個人認為在兩者均可施作的環境與條件下，我會選「先拆後建換底工法」，因可重建與舊有相同的橋墩柱結構(基礎、橋柱及帽梁)，尤其是帽梁部份，較與既有結構相對稱。

5. 橋梁換底工法之上部結構頂升作業，是換底工法施工非常重要的一環，也是廠商最常犯的一項錯誤，頂升到一個階段需靜置一個小時以上(尤其上部結構為鋼構時)，係讓集中載重漸變為均佈荷重，但我常見到廠商一直頂升至支承分離為止，這樣對上部結構是不好的。
6. 我所參與 6 座橋梁採換底工法之施作，最難也最有技術性的橋梁是「台 1 線溪州大橋橋基保護工程」，該工程係採「先拆後建換底工法」，其既有帽梁須保留，且舊柱 1/3 長度亦須保留，又該工程臨時支撐係採用型鋼支撐架，頂升須考量支撐結構之應變與上部結構之總重量(含活載重)，又不能造成橋面伸縮縫下陷位移，影響行車安全。
7. 橋梁換底工法之測量作業，其測量精度較一般橋梁之精度更為嚴謹與更大，因新建之基礎、橋柱及帽梁，均須與既有的上部結構(橋面版及梁)相密合，否則將造成新舊結構無法結合，我所參與換底工法 6 座橋梁之中，就有一座的 RC 臨時支撐柱測量有誤差，最後支撐柱打除重做。

## 參考文獻

1. 游明益、林曜滄、王炤烈、張菝薇，「換底工法於沖刷水害橋梁之應用以台一線溪州大橋橋基加固工程為例」，中華技術第 71 期.P110~121，2006 年。
2. 張志斌，「橋梁換底工法施工簡介—以台一線溪州大橋為例」簡報，臺灣世曦工程顧問股份有限公司，2008 年 12 月。
3. 翊盛工程顧問有限公司，「第十八屆公共工程金質獎得獎作品之台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程」，現代營建第 472 期.P4~17，2019 年 4 月。
4. 謝俊雄、蔡宜宏、楊育勸，「台 63 線烏溪橋 P41~P47 橋梁改善工程獲第 12 屆公共工程金安獎優等之經驗分享」，臺灣公路工程第 46 卷第 1 期，2020 年 3 月。
5. 「公路橋梁設計規範」，交通部，2015 年 4 月。
6. 「公路橋梁耐震設計規範」，交通部，2019 年 1 月。
7. 「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」，內政部，2010 年 9 月。
8. 「鋼結構設計手冊」，中華民國結構工程學會，2003 年 1 月。

---

# 臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 110 年 12 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：社團法人中華民國領航弱勢族群創業暨就業發展協會

地 址：10859 臺北市萬華區西園路二段 261 巷 12 弄 44 號 1 樓

電 話：(02)2309-3138

中華民國 110 年 12 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用  
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

---

半年新臺幣 150元  
一年新臺幣 300元  
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)  
帳號(共14碼)：1 2 2 9 7 1 0 2 1 0 8 0 1 9  
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN200410003

定價新臺幣30元