



柯 明 佳

台灣世曦工程顧問股份有限公司
金門大橋監造工程處 計畫經理

◆ 學歷

台灣工業技術學院 營建系研究所

◆ 專長

橋梁工程、營建管理

◆ 經歷

1993~2007 財團法人中華顧問工程司

2007~迄今 台灣世曦工程顧問股份有限公司

◆ 簡報摘要

金門大橋工程為國內少見之大型跨海橋梁，除了海水面下基樁及樁帽鋼箱圍堰施工極為困難外，出水面後主橋五塔混凝土結構造型墩柱為工程另一大特色。主橋墩柱與橋塔設計整體呈現高梁結穗飽滿的意象，亦提供脊背橋外置預力鋼索張拉功能，由於造型線條複雜、結構線形變化大，加上位於海上施工，其經驗值得提供後續國內跨海橋梁施工參考。

本文以海上造型墩柱及橋塔施工為主題，說明海上施工特殊考量，並由規劃、施工、管理等各層面環節做一完整介紹，藉以分享施工過程特殊經驗。

金門大橋

111年8月29日

高粱穗心造型墩柱施工實務

台灣世曦工程顧問股份有限公司
金門大橋監造工程處
計畫經理 柯明佳

1

目錄

CECI 

- 壹 前言
- 貳 施工規劃方式
- 參 遭遇問題與解決方式
- 肆 施工品質管制重點
- 伍 結語

2

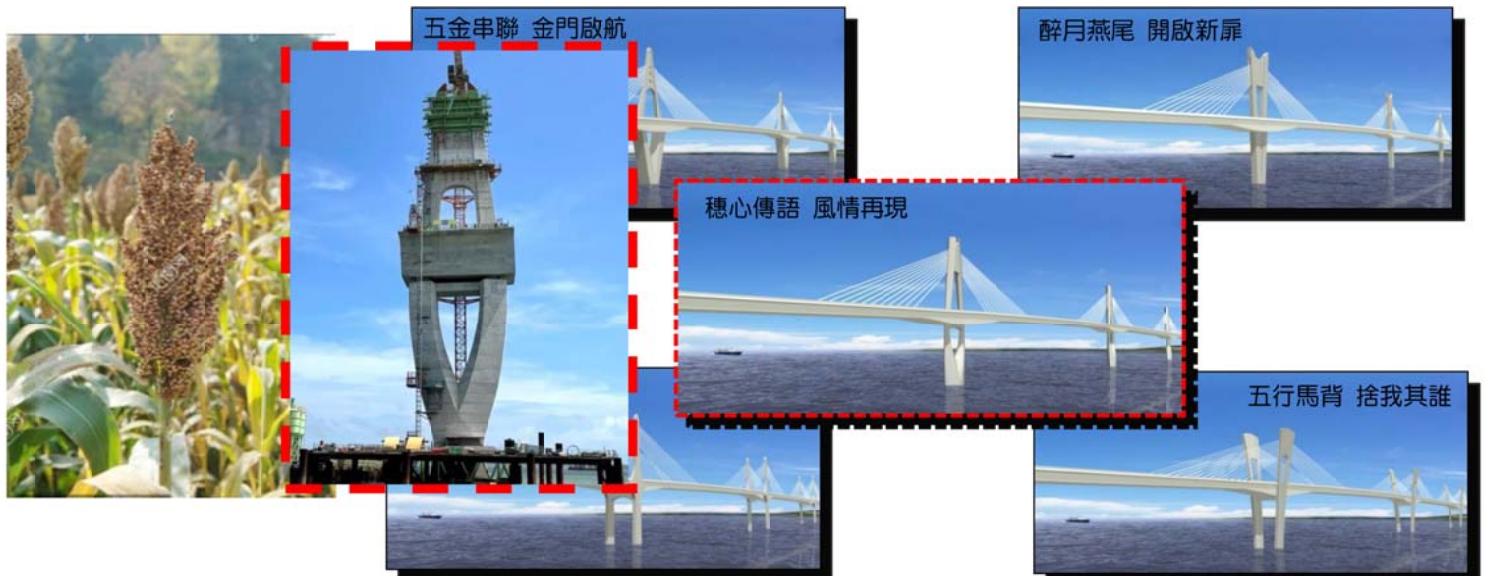
- ◆ 最深水位約**23公尺**
- ◆ 漲、退潮流速每秒約1.2~1.4公尺
- ◆ 每年冬季(12月至次年2月)**東北季風強烈**，使施工船機搖晃，影響海上施工作業甚大
- ◆ 每年春季(2月至6月間)為**多霧**的時節，**能見度常低於100公尺**，嚴重影響整體施工效率

↑ 最高潮位 EL.3.16M
 ↓ 最低潮位 -EL.3.14M
 最大潮差約6.3M



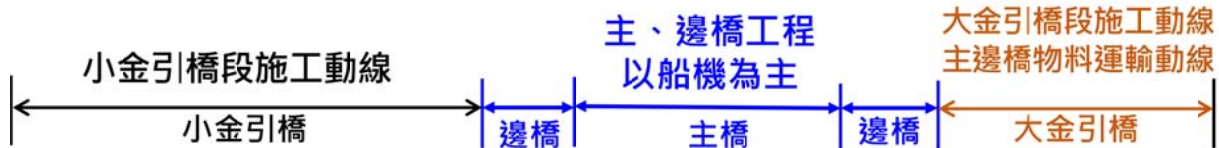
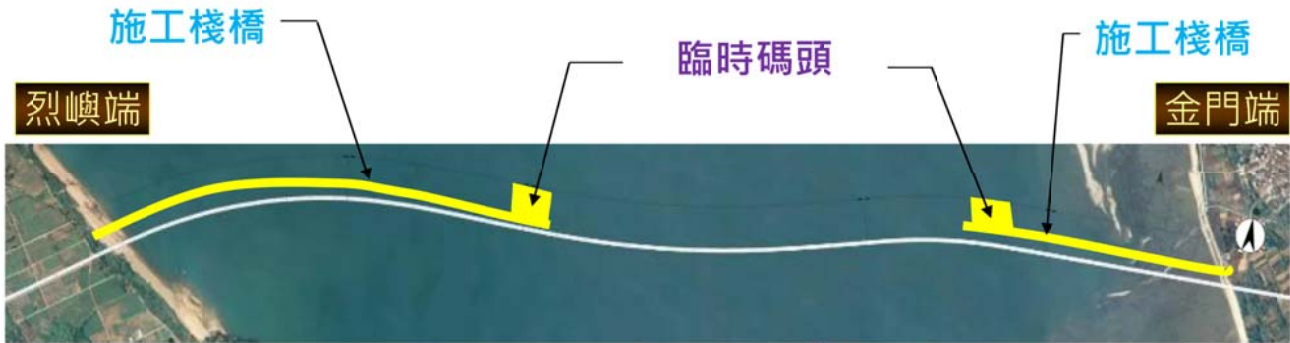
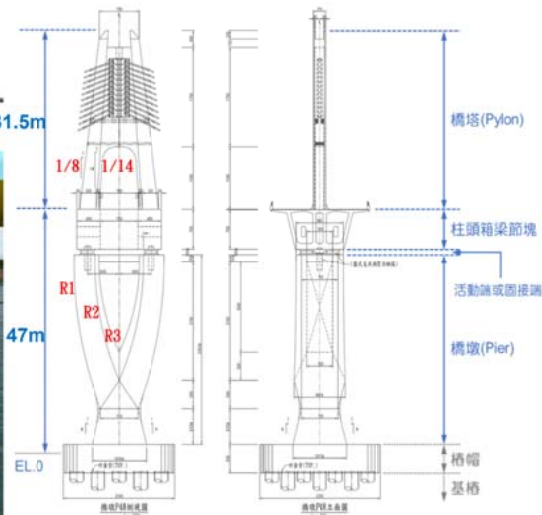
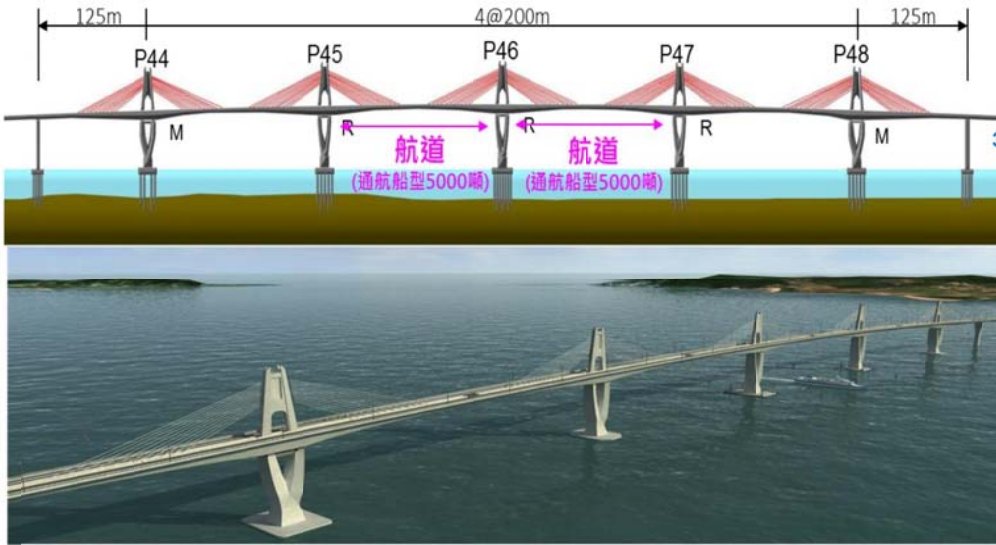
◆ 由住民票選深具地方意象之橋塔造型

配合金門縣政府要求，研擬五種橋塔造型方案，供金門縣居民票選，票選決定採**高粱穗心型橋塔**方案。



■ 金門大橋主橋採脊背橋設計：跨越小三通航道及金烈水道深槽區

- ✓ 主跨徑200m為國內最大跨度脊背橋，P44及P48活動端各設置4顆5,000噸之盤式支承
- ✓ 墩柱高度：39.15公尺(P46)、38.07公尺(P45、P47)、33.83公尺(P44、P48)
- ✓ 橋塔高度：31.5公尺



■ 混凝土

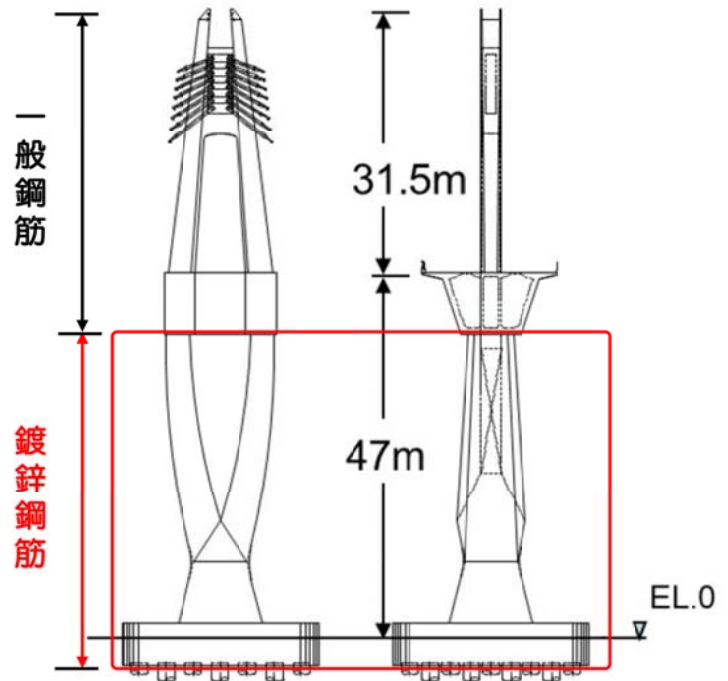
- 採 II 型水泥
- 限制水膠比(W/P Ratio) ≤ 0.4
- 混凝土56天齡期抗氯離子穿透能力符合CNS 14795等級為“低”以下標準
- 使用高爐石粉、飛灰
- 均採用350kgf/cm²「自充填混凝土」

■ 鋼筋

- 基礎、墩柱採用鍍鋅鋼筋

■ 加大保護層

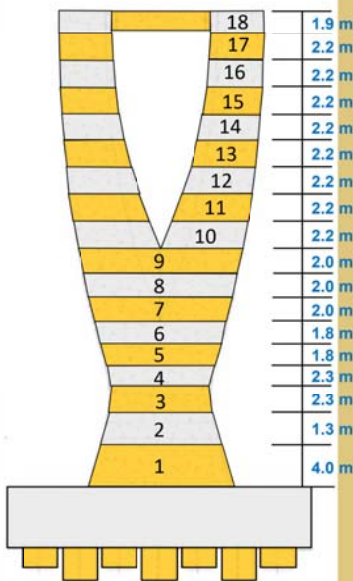
腐蝕區域 橋梁部位	腐蝕區域	
	極嚴重鹽害區	一般區域
基礎、基樁	10	10
柱、牆	10	5
橋面板頂層筋	6.5	4
箱梁內層筋	4	2.5
箱梁腹板外露面	6.5	4



貳 施工規劃方式

1 墩柱-模板昇層規劃

墩柱昇層規畫



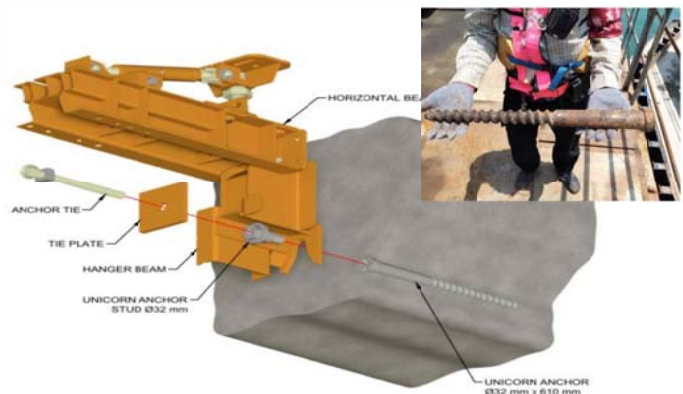
以P46為例



EFCO系統模板



組成方式



CANTILEVERED WALL SYSTEM ANCHOR SETTING

■ 造型模板輪轉規劃

➢ 墩柱模板資源共有3套：

因現場無足夠空間可進行模板修改，故每次昇層模板拆除後需立即運回岸上進行尺寸修改，依現場需求時間再運回作業面組裝。



陸上預組

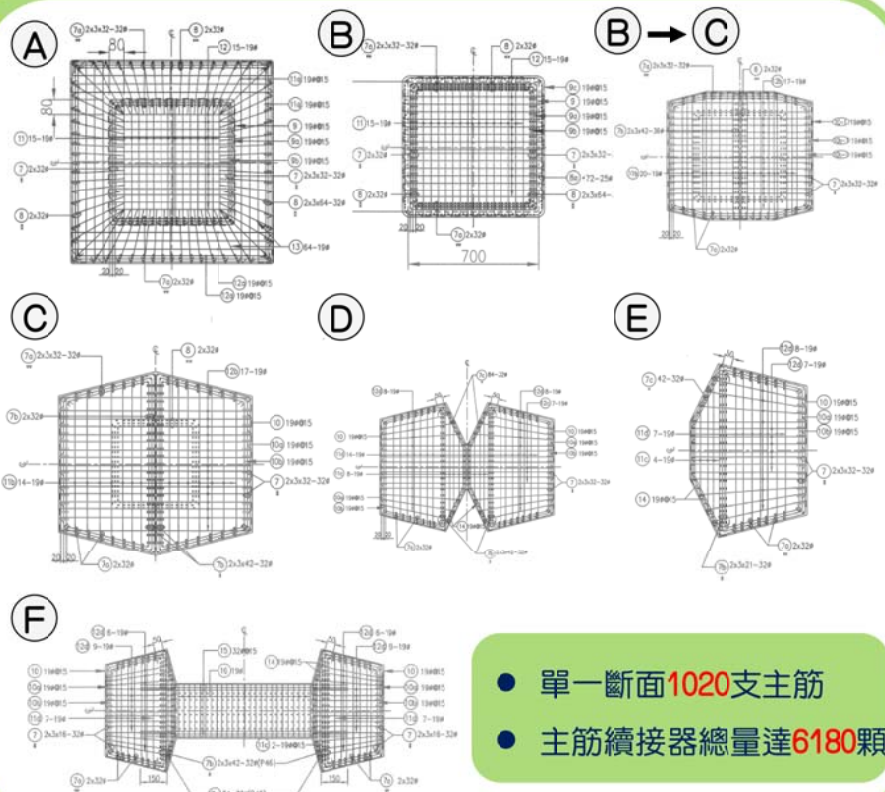
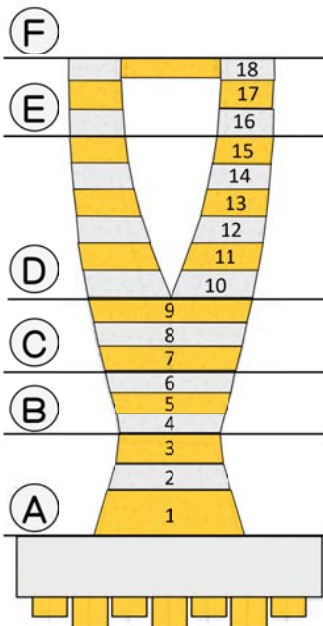


船舶運輸

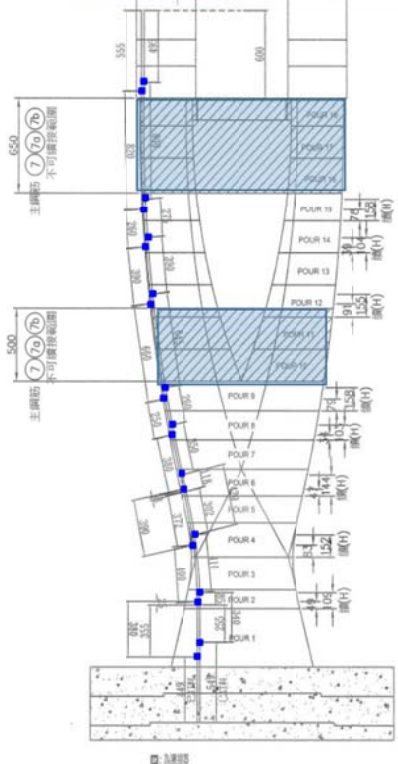
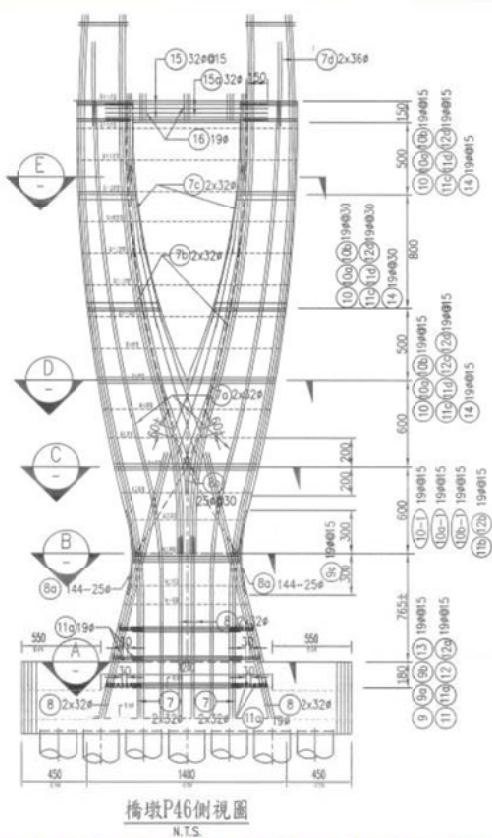


現場組裝

墩柱昇層規畫



- 單一断面1020支主筋
- 主筋續接器總量達6180顆



■ 海域施工空間及機具

➤ 潮位線以下墩柱施工：

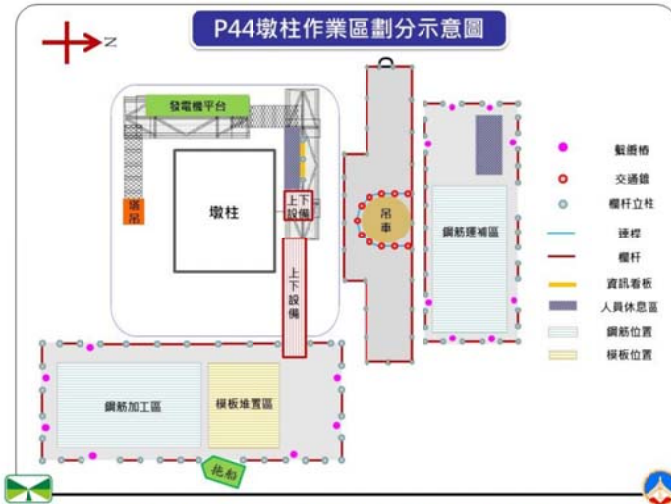
墩柱第1-3昇層利用樁帽鋼箱圍堰之乾式施工環境，進行墩柱結構施工；樁帽頂設置塔吊、內構台及上下設備，配置工作船(起始構台)作為物料暫置區、鋼筋加工區及人員休息區。



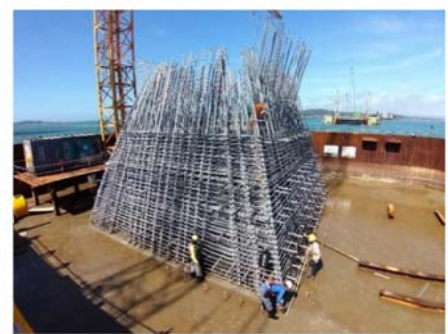
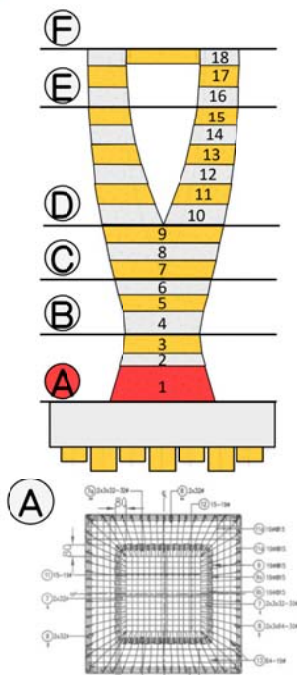
■ 海域施工空間及機具

➤ 潮位線以上墩柱施工：

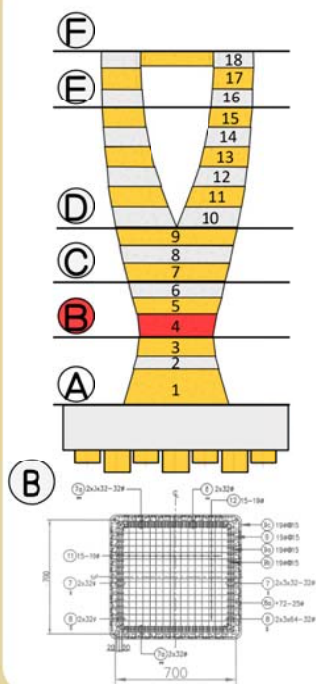
第4昇層以上利用內構台設置上下設備、人員休息區及設備暫置區，配置工作船(起始構台)作為物料暫置區、鋼筋加工區進行施工。



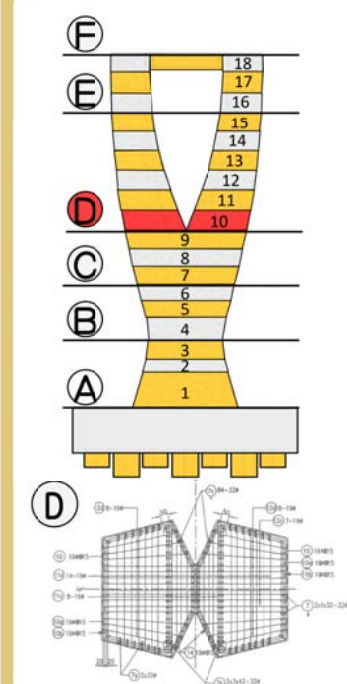
➤ 鋼筋延伸出基礎面配置排列需**注意主筋走向**。

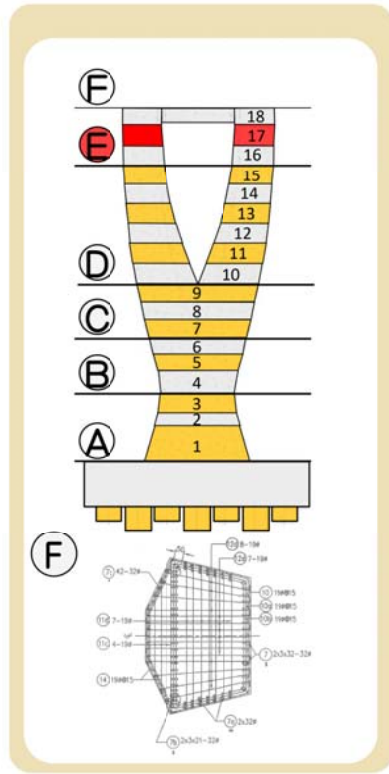


- 鋼筋曲率需製作**樣版**隨時檢查，確認鋼筋**保護層**。
- 澆置前需先完成次一昇層鋼筋樣版，以免鋼筋**錯位**。

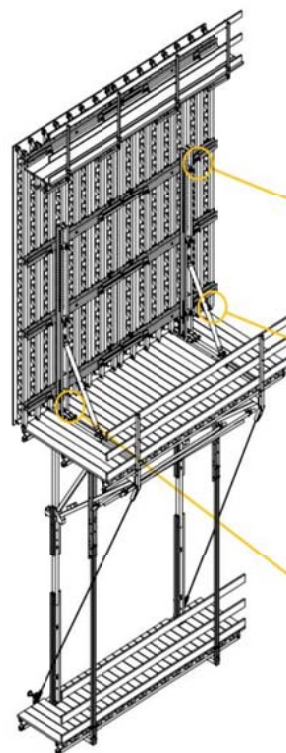
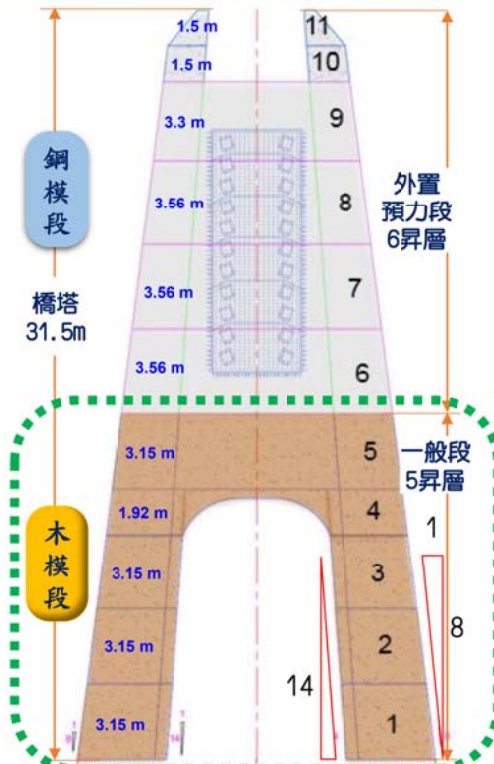


- 特殊造型採用**鋼模**處理，須先進行預組確認鋼筋**保護層**及與模板**固定方式**。





- 注意各項設備預埋位置，例如塔吊側撐板、電梯側撐板、監測設備及柱頭三角托架預埋板等。
- 建議左右昇層平衡爬升，可減少模板修改時間

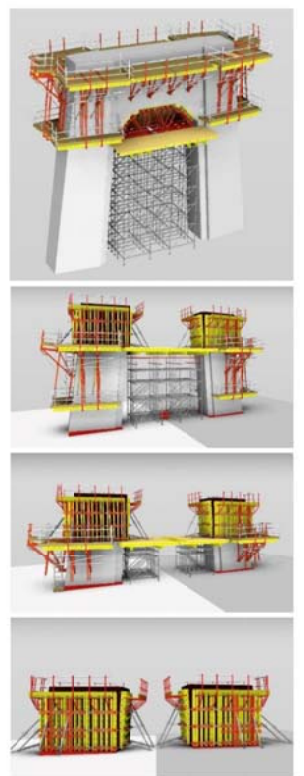


Simple adjustment of the formwork elements for neat and tidy concrete joints

Move element sideways
By releasing the Strongback Connector U 100-120.

Precise adjustment of the angle of inclination
With Adjustable Brace CB 164-224.

Element height adjustment
For VARIO GT 24. With Height Adjusting Unit CB. For MAXIMO and TRIO. With Adapter TRIO-CB.



橋塔昇層規劃

PERI 模板系統

■ 橋塔模板1~5昇層-木模

➢ 橋塔木模資源共有2套：

此模板系統較為輕量化，且設計組裝方式主要在陸上已將所有變化之模板製作完成，現場僅需依結構尺寸進行拆、組修改即可，毋須運回岸上修改，惟需大型船舶固定配合移動作業。



陸上預組



模板暫置修改船舶

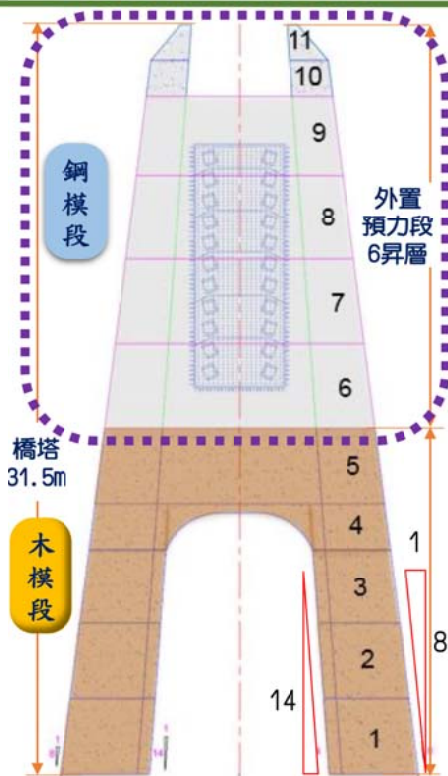


現場組裝

■ 橋塔模板6~11昇層-鋼模

➢ 橋塔鋼模資源共有2套：

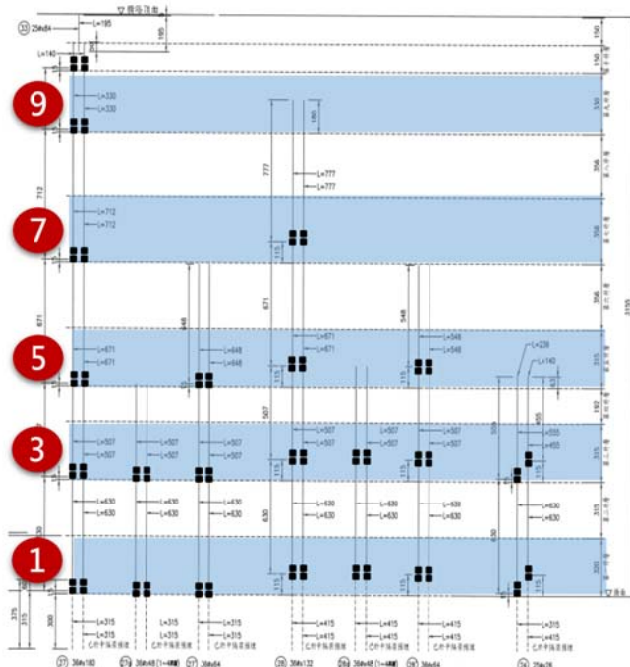
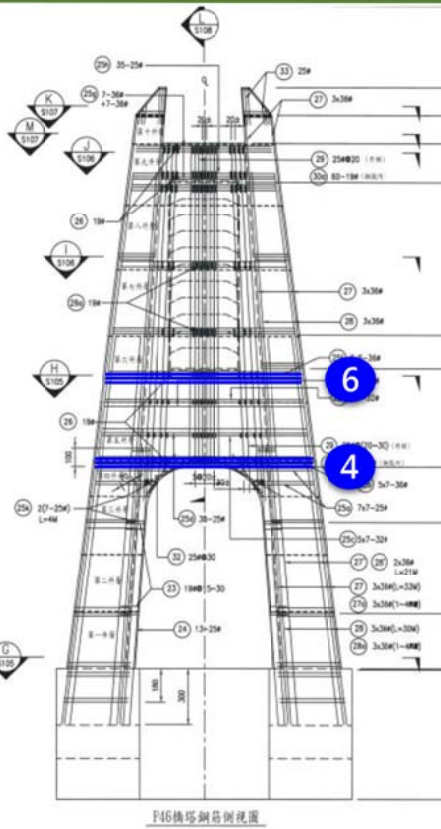
上半部採用鋼模主要考量外置預力套管角度變化，套管外伸部分缺口可用角鋼組合的方式便於調整及加快作業速度。因橋塔外型漸變，故鋼模需依結構尺寸進行拆、組修改即可，毋須運回岸上修改，惟需大型船舶固定配合移動作業。



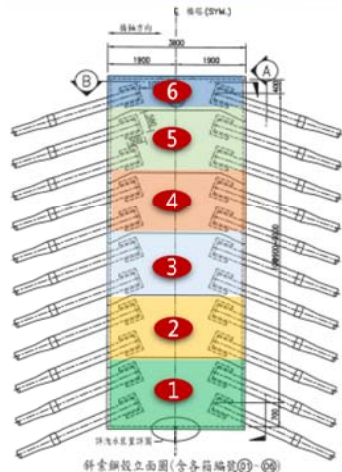
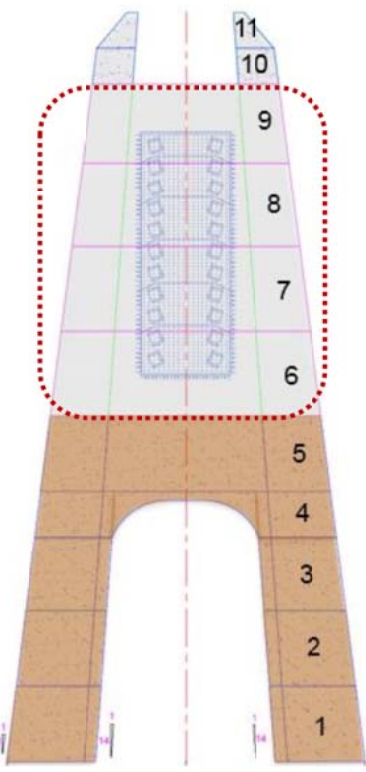
橋塔昇層規劃



鋼模系統



鋼筋續接位置規劃



分塊編號	分塊尺寸 寬(M)	高(M)	長(M)	重(T)	數量	備註
P44-48-1	1.40	2.28	4.20	17.40	5	第一層吊裝
P44-48-2	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-3	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-4	1.40	1.80	4.20	16.03	5	第二層吊裝
P44-48-5	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-6	1.14-1.40	3.30	1.14-4.20	10.54	5	

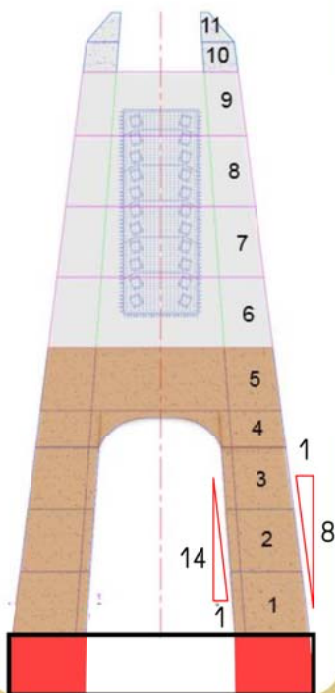


鋼殼昇層位置

鋼殼基本資料

工廠檢驗

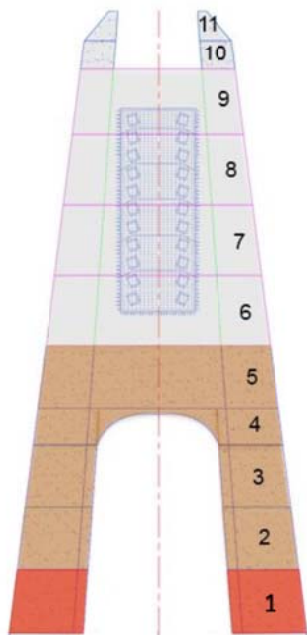
橋塔埋設段



- 橋塔鋼筋於柱頭板埋設階段，定位、高程皆需確實控制於設計位置。
- 確認鋼筋斜率，內側為1/14、外側為1/8。



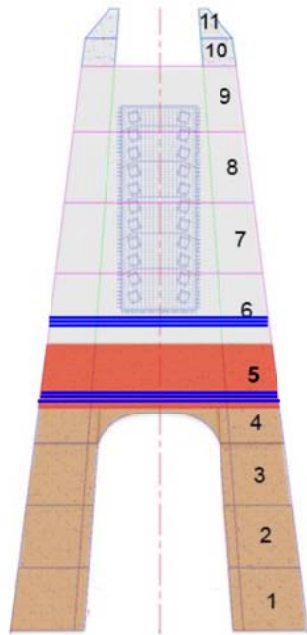
橋塔第1昇層



- 鋼筋樣架以設計斜率進行組立。
- 系統模(含施工平台)預先地組，確認各連結插銷、螺絲緊固。
- 鋼筋綁紮中，預先標註對拉螺桿位置，減少抵觸後處理的時間。



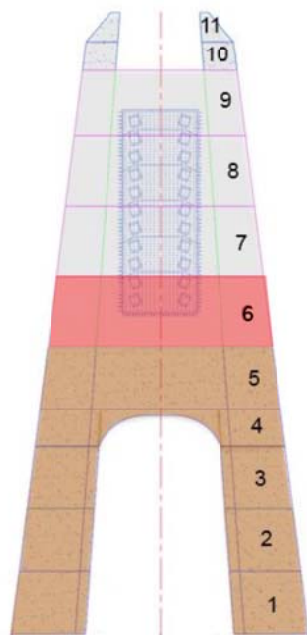
橋塔第5昇層



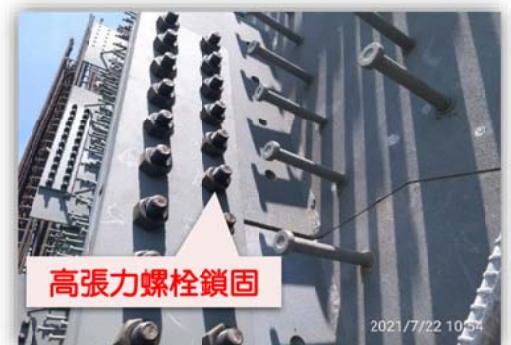
- 本昇層鋼筋綁紮，需搭配永久預力鋼棒套管設置，依序逐層作業。
- 套管配置需注意其間距維持20公分以上，避免影響鋼棒承壓板安裝及預力施拉。



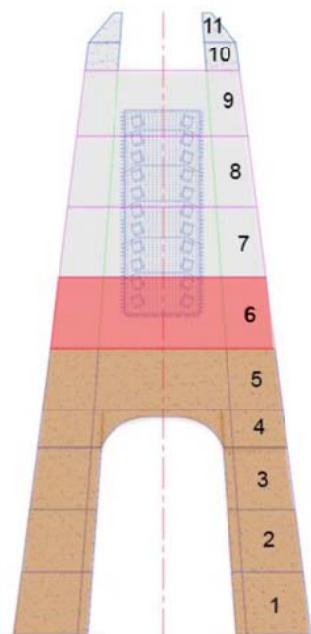
橋塔第6昇層



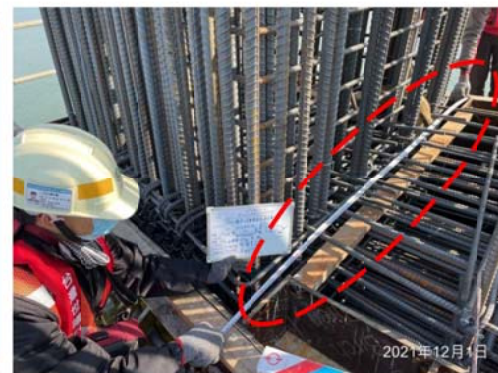
- 鋼殼及鋼導管地組，確認安裝方向、順序及導管長度符合設計圖說。
- 第1節鋼殼底座設置，高程、位置安裝中需確認，並檢討適度縮小斷面尺寸，利於現場空間應用。



橋塔第6昇層



➤ 鋼模銜接底座：為環狀鋼模座能順利閉合，在木模最後一昇層頂部加設內支撐強力鎖固防止混凝土側壓力影響結構尺寸。



海上施工作业首重**施工空間之建置**及**物料之運補**，因此主橋各墩位配置塔式吊車及施工構台或平台船，以拖船搭配大型平台船載運鋼筋、模板及鋼構件等各種原物料運補至各工作面，並利用**混凝土拌和船**協助完成海上澆置作業。



主橋配置塔式吊車



各墩配置施工構台或平台船



拖船搭配平台船進行運補



拌和船協助澆置作業

- 深槽區各橋墩施工採用海上拌和船進行混凝土供料為唯一施工選項，工地設置**兩艘混凝土拌和船**，每艘可生產約**800M³**混凝土供橋梁結構澆置。
- 拌和船之粒料、水泥等混凝土材料運補，利用靠泊於大金端**臨時碼頭**進行。
- 拌和船上分別設置**42米**及**56米**混凝土壓送車，最高可供應至柱頭節塊澆置作業需求。



東坪7號拌和船



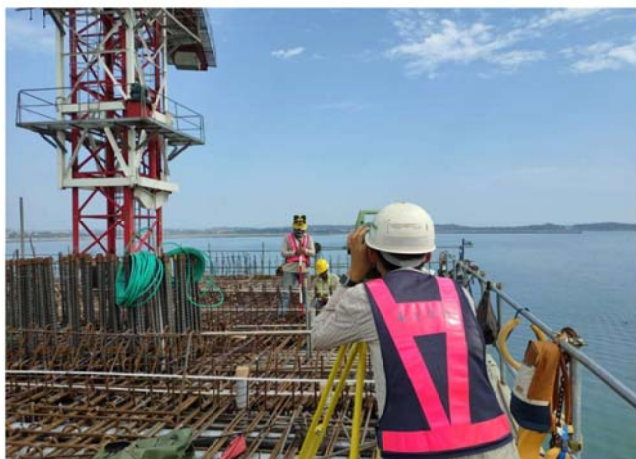
拌和船澆置現況

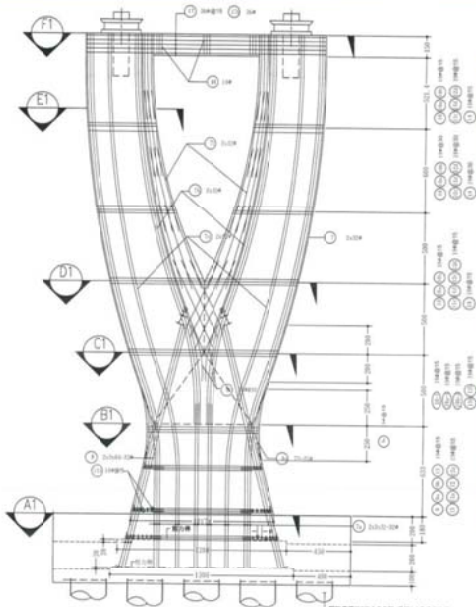


拌和船取樣作業

■ 施工測量

- 受限於海上佈設固定控制點有其困難度，故現場施工測量**主要以衛星定位系統(GPS) 搭配即時動態定位 (RTK) 為主**，精度可控制在2公分誤差範圍內，近距則以全測站經緯儀為輔。為降低測量誤差，需增加測回及衛星收測時間予以消彌。





主橋墩柱側視圖

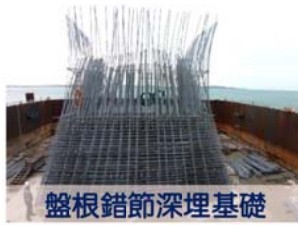
墩柱每一昇層
皆有專屬鋼筋



高梁穗心逐步綻放



擎天巨柱收緊腰身



盤根錯節深埋基礎

時程管控

- 一般鋼筋下單至供料需7天，鍍鋅鋼筋下單至供料需14天
- 管控於30天前訂料

流程管控

- 檢料確認
- 下單確認
- 追蹤鍍鋅廠時程
- 管制載運船班時程
- 進場分料確認

追蹤

- 專人追蹤
- 定期覆核進展

參 遭遇問題及解決

墩柱鋼筋爬昇複雜

造型墩柱主筋續接多、弧度各異

- 主橋墩柱主筋續接總量達6180顆，及旋轉角度各異。

因應方法

- 主筋配合墩柱造型，採用3件式續接器克服鋼筋曲率問題、調整鋼筋續接長度，減少機械作業以增加人力方式併行，縮短施工時間達35%。
- 箍、繫筋為克服墩柱較大斷面，研提替代方案節省約33%的綁紮時間。
- 延長工時，採二班制施工。



採用3件式續接器克服主筋曲率問題



造型墩柱主筋弧度各異

- 施工圖繪製主筋弧度與現場實際作業長度差異，造成主筋續接落入**不可續接段**。

因應方法

- 提前在**不可續接段前2處**續接位置收測鋼筋續接後之高程**進行比對**，確認鋼筋高程後修正訂料尺寸。

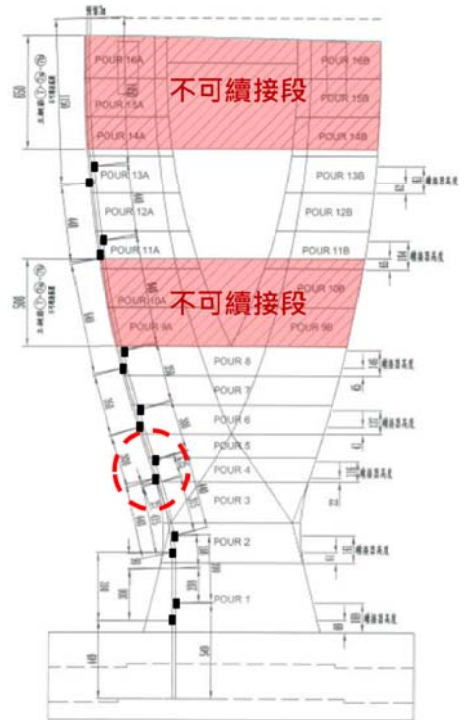


圖 7-7-1主筋位置圖

造型墩柱外觀弧度多變

- 外觀**造型弧度多變**使系統模板加工預組困難。

因應方法

- 由**具經驗模板領班**對模板工加強訓練，授以模板加工技巧，提昇施工工率。
- 增加模板資源，採**事先預組**縮短修改模板時間並由專業領班進行尺寸複檢避免錯誤。



造型變化採鋼模組立



造型模板地組



專業領班進行複檢



造型模板組立

三大問題

- ❁ 預力鋼棒套管
- ❁ 外置預力鋼導管
- ❁ 鋼殼安裝



預力鋼棒預埋件

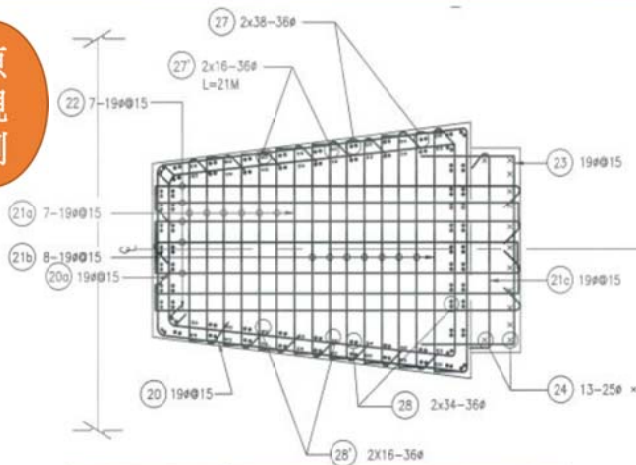


外置預力鋼導管

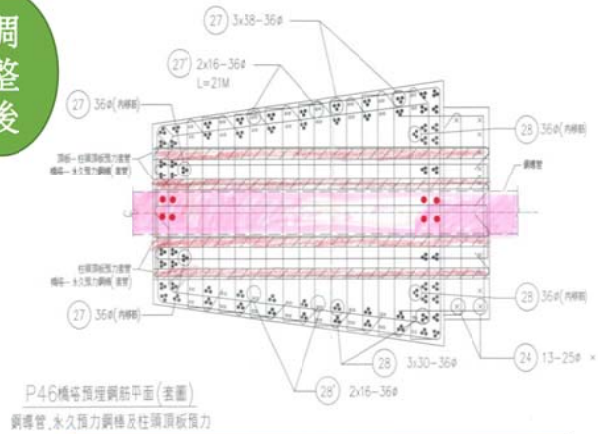


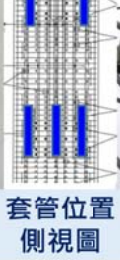
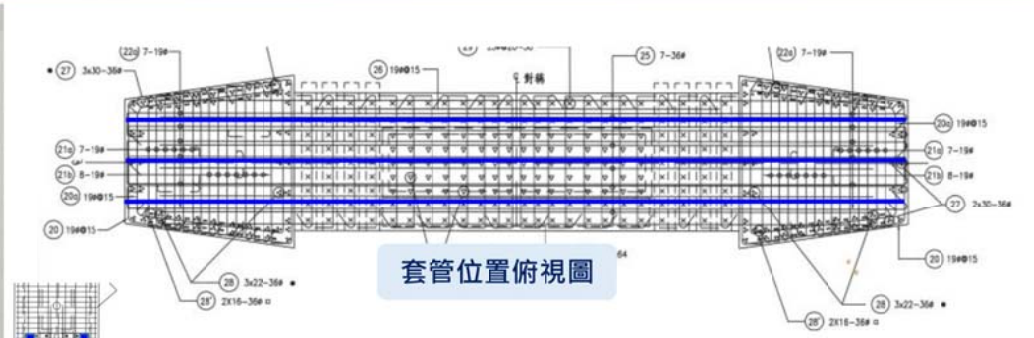
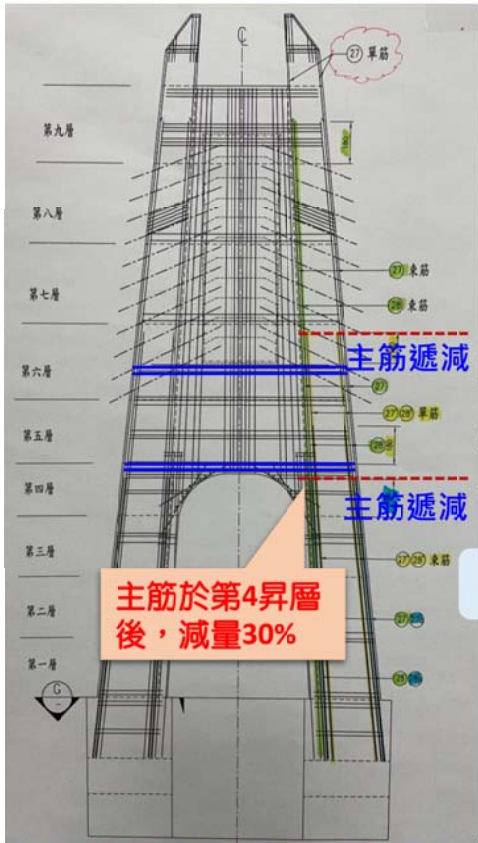
鋼殼安裝

原規劃



調整後





永久鋼棒預留管配置

鋼殼基座與套管抵觸、塔吊能量不足

- 原規劃基座結構未考量套管位置
- 規劃塔吊最大吊升荷重不足

因應方法

- 變更基座設計，避開預力套管位置。
- 調用90T吊車上橋面協助吊裝





鍍鋅前續接器密封保護



鋼筋載運進場



到場取樣送驗



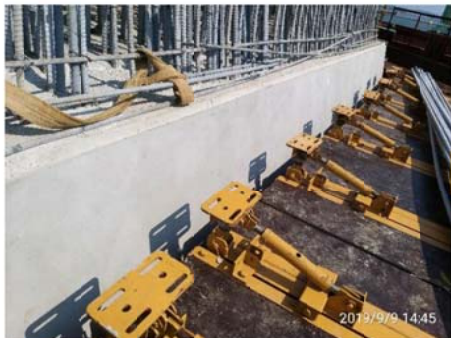
鋼筋物料搬運清點



鋼筋續接頭清潔



鋼筋續接頭清潔



混凝土昇層線控制



鋼筋保護層調整



鋼筋續接後扭力試驗(15%)



使用防蝕包覆之鐵線



以高鋅成份94%以上之富鋅漆修補



模板保護層檢查



拌和船澆置前測試運轉



澆置面清洗



混凝土坍流度試驗



灌漿管澆置高度確認(墩柱)



吊桶+卸料管澆置(橋塔)



完成面噴塗養護劑

- ✔ 事前審慎規劃
- ✔ 器材具有良好施工性
- ✔ 人員調度機動性
- ✔ 物料、運補、施工介面確實管理
- ✔ 把握施工契機

感謝聆聽

