



金門大橋 主橋造型墩柱 施工規劃 與 挑戰

郭呈彰／交通部高速公路局第二新建工程處 處長

張震宇／交通部高速公路局第二新建工程處第五工務所 主任

潘小珍／交通部高速公路局第二新建工程處第五工務所 副主任

黃俊憲／台灣世曦工程顧問股份有限公司 工程師

盧建州／台灣世曦工程顧問股份有限公司 工務所主任

謝克岱／台灣世曦工程顧問股份有限公司 計畫副理

金門大橋工程（以下簡稱本工程）為國內少見之大型跨海橋梁，其建設目的為提供大、小金門間全天候陸運交通服務，以解決小金醫療匱乏、土地利用失衡及水路交通限制等問題，並期達到活化大小金門與促進觀光產業發展之願景。

本工程路線全長 5.41 公里，跨海橋梁段共 4.77 公里（圖 1），其中跨越深槽區最深之主橋共落有 5 墩（橋墩編號 P44～P48），橋長 1,050 公尺，為金門大橋主跨路段。主橋橋墩柱提供跨徑 200 公尺之脊背橋梁支撐及金烈水道 5,000 噸級客輪通過大橋淨空所需，墩柱最高 39.15 公尺，連同橋塔總高為 78.5 公尺，整體造型呈現「高粱穗心」意象。本文以海上造型墩柱施工為主題，冀望藉由經驗之分享提供後續國內相關施工作業參考。

穗心傳語 風情再現

金門大橋主橋造型係由金門縣縣民進行票選，最終由「穗心傳語 風情再現」之高梁穗心造型獲得勝選，設計者利用三條不同曲率半徑的線條及單柱分雙

柱等結構線形變化進行設計，充分將金門縣在地的高粱文化與橋梁結構結合為一體（圖 2）。墩柱的造型，其出水面後由單柱收縮腰身再分支成雙柱，再順延橋塔呈現高粱結穗飽滿的意象，由斷面來看，分別由四

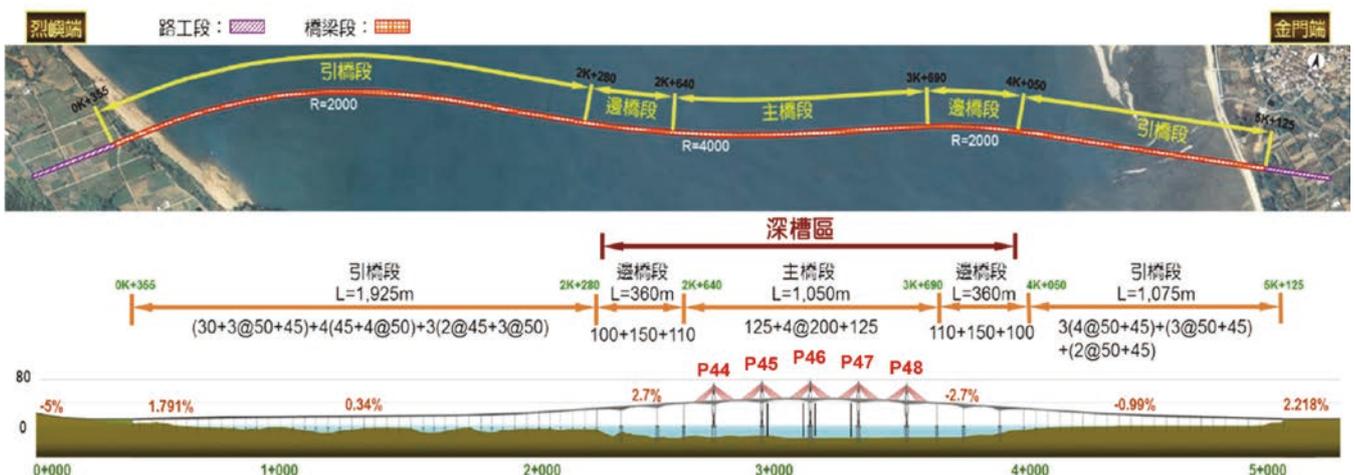


圖 1 金門大橋橋梁配置圖



圖 2 金門大橋造型墩柱 — 穗心傳語風情再現

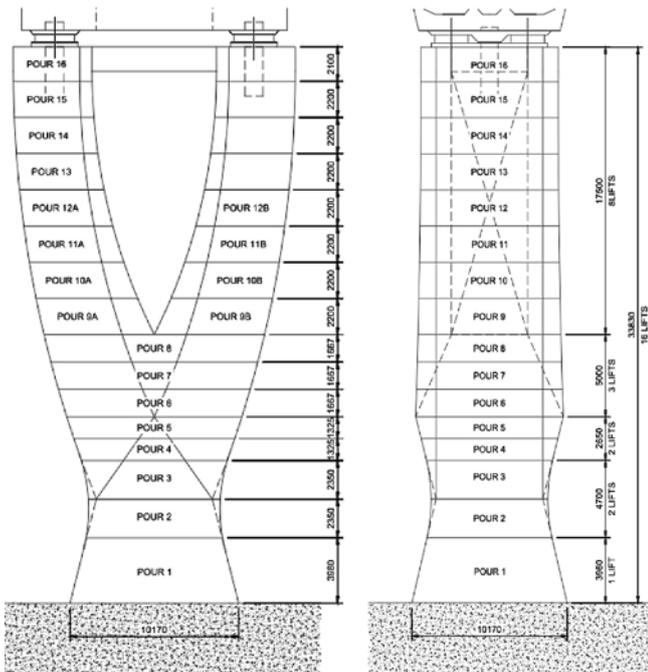


圖 3 金門大橋造型墩柱分層圖示

方型漸變成八角形、八角型變成十角形，逐漸上昇後，再分支成六角形對稱二支柱直抵柱頭梁底(圖3)。

由於墩柱線條複雜、結構線形變化大，在每昇層曲率鋼筋續接量超過上千支、如何準確呈現結構優美線條、及在海上有限作業空間之規劃及物料管理等環境背景下構築此造型橋墩柱，實為工程師一大挑戰。

海上施工特殊考量

海域施工機具及空間規劃

海域深槽區每一墩位宛如獨立孤島工作面，施工初期須設置墩柱施工所需之吊車站立位置及物料堆置空間，故分別規劃以打設施工構台或搭配船機施工。承載起吊機具分為二階段，第一階段由於墩柱尚低於海水潮位面，在利用鋼箱圍堰阻水之條件下，採施工構台或船機承載吊車，構築1~5昇層墩柱並於樁帽基

礎預埋塔吊基座(圖4)。第二階段墩柱昇層已高於海水面，則規劃於樁帽頂部構築內構台(圖5)，並採用塔式吊車施作其餘墩柱昇層、柱頭節塊、塔柱及外置預力等，此時施工構台或平台船則作為物料暫置空間。

施工控制測量

受限於海上佈設固定控制點有其困難度，若於近岸採傳統式全測站經緯儀則因測距過長精度不易控制，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，近距則以全測站經緯儀為輔。為消彌衛星定位系統誤差，以增加測回及觀測時間方式減少誤差。

鋼筋施工特殊考量

本工程位於極嚴重鹽害區，原設計於橋墩鋼筋係規劃採用「環氧樹脂鋼筋」或「鍍鋅鋼筋」，承包商可依自身規劃安排擇一使用，本工程墩柱鋼筋則採用熱浸鍍鋅鋼筋。而物料運補受限海上作業空間不足，所有鋼筋材料均於岸上清點後，利用船機運送至現場暫置，再依序以塔吊分別吊至施工位置綁紮。



圖 4 樁帽基礎預埋塔吊基座



圖 5 樁帽頂部內構台設置

為克服主橋造型變化，主筋於加工階段即將各斷面設計曲率預彎成型，考量鋼筋曲率各種變化及工作性，規劃高度每 6 公尺續接 1 次（此續接長度遠較一般直線主筋續接每 9 公尺一處縮短許多，其考量於下段詳述），由於鋼筋為曲線續接，現場於鋼筋角度調整完成後，採 3 件式續接器對鎖施工以維持鋼筋曲線方向性。

箍筋、繫筋長度亦隨墩柱造型漸變，綁紮時搭配符合結構需求的搭接方式施工（圖 6），施工過程中鍍鋅鋼筋若有損傷，則依本工程特訂條款 05081 規定，以高鋅成份 94% 以上之富鋅漆 3 度修補。

預埋件安裝

各項假設工程或附屬工程之預埋件於施工前預先規劃完成，於施工階段進行放樣預埋。本工程採用 EFCO 系統模板，於每昇層鋼筋綁紮完成須埋設模板固定用套件 unicorn — anchor D32 mm × 61 cm，俾利模板爬昇固定，另配合場鑄柱頭節塊施工埋設托架預留孔（圖 7）、活動端柱頭板臨時固定設施、塔吊或上下設備墩柱連結預埋件，以及設計圖說各項設施盤式支承下盤安裝樁孔、剪力鋼箱、腐蝕感測器（圖 8）、排水 PVC 管、避雷針接地管線…等，均需預埋於準確位置。

EFCO 系統模板規劃

本工項選用 EFCO 系統模板，EFCO 系統模板具有支撐系統化、模板客製化，並提供施工平台作業空間等優點，適合墩柱線型變化及海上作業環境所需。主橋墩柱 5 墩依高度及型式不同分為 3 種 Type（表 1），高度各為 33.83、38.07 及 39.15 公尺，分別規劃採 16



圖 6 主筋 3 件式續接器對鎖施工

~ 18 昇層施工，並因應各昇層斷面變化，每昇層高度由 1.325 ~ 4.00 公尺不等（圖 3）。受制海上施工空間有限，系統模板於現場安裝前先行於陸域端依斷面需求配置修改單模尺寸並進行預組（圖 9），續經由船機運送至工作面後再於工作平台清潔並噴塗脫模劑。

因本工程位於極嚴重鹽害區，橋墩主鋼筋之保護層規定為 12 cm、橋墩箍筋之保護層為 10 cm，每片單模皆使用 4" × 3/16" TUBE 支撐，螺栓連結固定並調整模板弧型，模板完成定位後，保護層厚度為本階段施工檢查重點，接續安裝灌漿平台及上下設備以維護混凝土澆置人員安全（圖 10）。

海上混凝土澆置作業

主橋墩柱位於海上深槽區，混凝土澆置作業需倚賴混凝土拌和船進行供料。混凝土澆置時，需將海上拌和船錨碇完善，澆置前以清水清洗澆置面（圖 11），以免鹽分附著影響品質，再以泵送車及輸送管進行混凝土澆置（圖 12）。



圖 7 柱頭節塊埋設施工托架預留孔



圖 8 鋼筋腐蝕感測器埋設

表 1 深槽區主橋墩柱型式統計表

墩位	橋墩型式	支承型式	剪力鋼箱型式	昇層階數	昇層高度	墩柱高 (m)
P44	活動端支承	5000tonf 雙向活動型	2000tonf 縱向活動型	16	1.325 m ~ 3.98 m	33.83
P45	固接端	-	-	17	1.825 m ~ 4.22 m	38.07
P46	固接端	-	-	18	1.30 m ~ 4.00 m	39.15
P47	固接端	-	-	17	1.825 m ~ 4.22 m	38.07
P48	活動端支承	5000tonf 雙向活動型	2000tonf 縱向活動型	16	1.325 m ~ 3.98 m	33.83



圖 9 EFCO 系統模板陸域地組



圖 10 EFCO 系統模組立情形



圖 11 澆置面清洗



圖 12 墩柱昇層拌和船澆置

依墩柱昇層規劃，每昇層混凝土約 43 ~ 386 立方米，採連續澆置方式完成。海上拌和船滿載混凝土量約 800 立方米，可滿足單次最大澆置量 386 立方米，每次採用一艘拌和船作業，另一艘作為備用或支援。

造型墩柱採用 350 kgf/cm² 自充填混凝土，澆置時施工人員持長桿或 PVC 管沿模板面緩慢上下抽動以利空氣之排出，避免拆模後外觀有過大之氣泡產生。由於海上施工淡水取得不易難以濕治養護，故拆模後以噴灑或塗抹養護劑為主（圖 13、圖 14）

海域造型墩柱施工經驗分享

曲線造型鋼筋施工

本工程造型墩柱主筋每層續接量超過上千支是極為困難及挑戰的工作，再加上墩柱造型變化，原採用二件式鋼筋續接器鎖固後無法配合墩柱角度塑型，經重新檢討後改採用三件式續接器，其特點可固定上下曲線鋼筋，再藉由第三件反向螺牙進行鎖固，藉以克服曲線鋼筋具方向性問題。



圖 13 養護劑噴灑



圖 14 養護劑塗抹

以往經驗，墩柱主筋續接一般規劃採 9 公尺長度續接以減少損耗及提升工率，惟實際施工時發現曲線鋼筋因自重易下垂對接不易，且受限海上作業僅能以一部吊車或塔吊逐一吊裝續接端，以一個斷面需續接上千支主筋而言，工率無法有效提升。在起吊機具資源受限之下，為能加快鋼筋續接速度，重新檢討將主筋縮短為 6 公尺一搭，除克服鋼筋下垂不易控制問題，將 D36 單支重量降到 47 公斤上下，鋼筋吊至定點入牙即可脫離由人力接手，並輔以樣架支撐，可分成 2 組人員分別進行對接及鎖固動作，雖然縮短鋼筋後會增加續接器數量，但藉由減少機具依賴調整為人工分組組裝結果，可提昇工率達 50%。

在解決主筋續接及工率問題後，墩柱箍、繫筋綁紮亦為施工挑戰，隨造型墩柱斷面不斷變化，除箍、繫筋長度隨之改變外，箍筋設計內、外各三層，最長達 8 公尺，繫筋最長則達 13.3 公尺，綁紮時需平行穿過層層主筋鉤掛於正確位置。施工初期以整段箍、繫筋定尺作料，由於鋼筋較長，在僅 2.5 公尺寬作業平台的有限空間環境下搬運具相當之危險性，且因曲率造成箍、繫主筋鉤掛品質控制不易。經與設計單位研議，同意將箍、繫筋拆解，增加搭接及彎鉤以縮短鋼筋長度，減少對穿以增加工作性，改變作法後工率提昇達 33%。

材料精確管理

本工程位於離島地區，物料補給本就不易，所有材料皆需仰賴台金間之貨船運輸，以主筋為例，每支鍍鋅鋼筋在台灣端由鋼鐵廠出廠後，需經過續接器加工廠、鍍鋅廠、高雄港海運至金門料羅港，下料後再

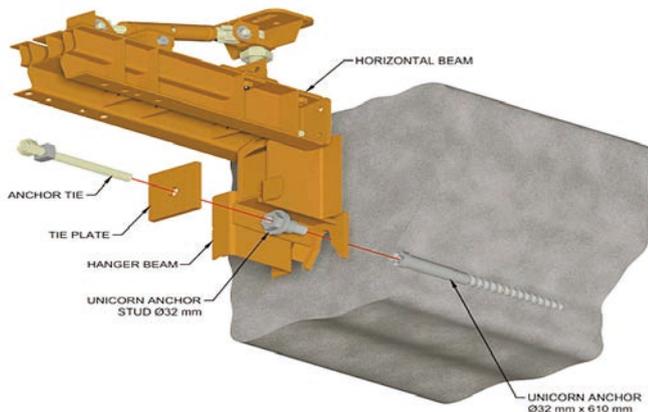
陸運至工區暫置區，經分料以後才可分送至海上各工作面，其中任何一環節發生遺漏，即出現缺料問題。工作初期，曾以一般過磅秤重的方式管控鋼筋，結果於施工過程發現支數短缺造成作業停擺，由於墩柱鋼筋有特殊造型及鍍鋅需求，每層鋼筋亦有專屬尺寸在變化，幾乎無法於鋼筋短缺時遞補使用。因此用料時程管控提早於 1 個月前下單訂製，於台灣端加工廠製作時，數量估算必須保守不可太過於精算，並且分別於台灣端及金門工區現場指派專員配合到料數量、位置逐支清點，始徹底解決鋼筋物料的補給問題。

系統模板選用

因應主橋造型墩柱每一昇層造型變化，模板選用 EFCO 系統模板，EFCO 系統以各項構件組成構架，以芬蘭板作為模板面，模板面可隨造型墩柱曲率變化進行裁切，塑造所需造型。

囿於海上空間有限，無暫置模板空間，故需於陸域事先進行地組。工地備有二套模板系統，在前一昇層拆模之前，次一昇層模板即可於陸域端進行地組，在鋼筋綁紮完成後直接將模板運至海上進行吊裝組立。EFCO 系統設有 2.5 公尺寬工作平台，並預埋 32 號螺栓鎖固（圖 15），設計荷重 700 kgf/m²，工作平台除作為模板可調斜撐支點外，最重要的是提供人員安全作業之空間（圖 16）。

由於主橋各墩 5~8 昇層為單柱分成雙柱之前置階段，造型變化相對複雜，該部份除 EFCO 系統模板外，另搭配訂製造型鋼模作為輔助，縮短作業時程（圖 17），並藉以完成主橋造型墩柱（圖 18）。



CANTILEVERED WALL SYSTEM ANCHOR SETTING

圖 15 【EFCO】D32 mm × 61 cm unicorn — anchor



圖 16 系統模板工作平台



圖 17 墩柱搭配鋼模造型位置



圖 18 墩柱完成

結語

本工程造型墩柱施工經驗累積至今，謹彙總施工心得如下，期望對讀者有所助益：

1. 審慎規劃：詳實評估主筋曲率變化，精確模擬續接處變化。
2. 良好施工性：系統模板預先拆解及地組、減少高空作業壓力。
3. 模板系統適時轉換：依造型階段性，以適當鋼模輔助塑型。
4. 分層確實：昇層澆置明確、準確控制外觀曲率。
5. 提升穩定性：配置塔式吊車、施工期間有效降低浪潮影響。
6. 掌握施工契機：配合海象研判最佳施工時機、階段全力投入資源趨趕。

參考文獻

1. 金門大橋建設計畫第 CJ02-2C 標金門大橋接續工程施工技術規範：第 03110 章【場鑄混凝土結構用模板】、第 03214 章【熱浸鍍鋅鋼筋】、第 03315 章【自充填混凝土】。
2. 工程設計構想基本資料。
3. EFCO 系統模板施工圖。 