



IRF 2024 Global Road Achievement Awards (GRAA)
全球道路成就獎「設計類」首獎

金門大橋 工程

陳明谷* / 台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部 協理

蔣啟恆 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理

郭呈彰 / 交通部高速公路局 總工程司

金門大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，橋梁全長約 4.77 公里，工址海域水深達 23 公尺，為台灣首座大規模跨海橋梁，工程設計、施工歷經約十三年完成，期間遭遇許多困難，經業主、設計監造團隊及施工團隊共同努力陸續克服，本工程於 2024 年榮獲國際道路協會全球道路成就獎 (IRF-GRAA) 設計類首獎，為國際道路橋梁工程指標性獎項，實屬難得。本文主要針對金門大橋工程計畫挑戰、創新策略與工法、執行成果及未來展望等各面向與讀者分享。

計畫背景

金門大橋工程範圍西起烈嶼（小金門）后頭地區、東迄於金寧鄉湖下地區，路線全長 5.414 公里，其中約 4.5 公里位於海上，大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，提供烈嶼與金門地區全天候的交通聯繫，並肩負提升觀光的效益，工程相關位置如圖 1 所示。金門大橋為國內首座大規模之跨海橋，且為國內首次於深水域花崗岩施作基樁，完成後亦為國內最大跨徑脊背橋，設計新穎、施工條件困難，工址環境條件艱鉅，為近期臺灣指標性橋梁工程。

計畫挑戰

複合功能需求

本工程除滿足交通功能以外尚須具備景觀地標意象並凝聚地方共識，建設一景觀橋梁，以促進金門觀光發展。規劃採用之景觀橋造型獨特，具 3 維曲線外型多種斷面變化施工極為複雜，必須妥善設計並配合縝密施工規劃。

險峻水深及堅硬地質

本工程路線於烈嶼端陸域為緩坡地形之紅土台地；向東進入烈嶼端海域後為礁岩地形之海域，海床起伏大；再向東約位於金門港道的中央，此段為深槽區水深約 23 公尺，深槽區寬度約 1,800 公尺，工址水深地形變化大詳見圖 2。

工址基盤為花崗岩，其上層為沖積層，依據補充鑽探成果顯示，於深槽區同一墩位布設 2 孔鑽孔，兩孔間水平方向距離約 25 公尺，岩盤深度差異竟達 10 公尺以

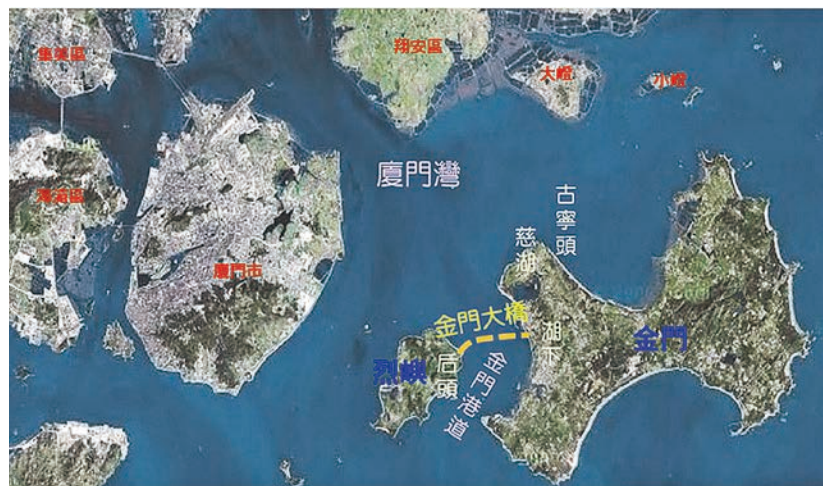


圖 1 工程位置示意圖

* 通訊作者，cmk46019@ceci.com.tw

上，顯示工址花崗岩層深度變化大，另於鑽孔柱狀圖亦可發現各深度的花崗岩風化程度亦變化大，詳見圖 3，於基礎設計時須特別考量此工址地質特性，也使本工程基礎施工特別困難。

惡劣海象、氣候

潮汐

金門地區潮汐為半日潮為主，最大潮位差達 6.3 公尺（如圖 4）。

波浪

民國 99 年 6 月 ~ 8 月於計畫路線鄰近海域進行波浪調查，調查結果顯示工址鄰近海域之波高為 0.1 ~ 0.3 公尺佔 70%，最大示性波高 0.64 公尺。於颱風波浪資料，本工程採用颱風深海波浪作為入射條件，受金門天然地形及淺灘影響，數值模式計算至工址橋墩區示性波高最大約為 0.33 公尺 ~ 1.32 公尺。

海流

本工程利用丹麥 DHI 水力數值模擬軟體之 HD 模組進行金門地區海域流況模擬。工址漲潮階段水流係由外海向廈門灣流動，而退潮時則方向相反，其中以金門島與烈嶼之間的金門港道及金門島東北側靠近圍頭灣附近之東北水道流速較大，在漲潮時流速約達 1.4 ~ 1.6 公尺 / 秒；退潮時流速則超過 1.6 公尺 / 秒（如圖 5）。

氣象

每年 10 月至次年 3 月東北季風強勁，3 月至 5 月易有濃霧，經統計每年約有 2 個颱風侵襲（如圖 6）。

距離遠人、機、料運補困難

金門島距離台灣約 220 公里，工程人員須離鄉背井，參與意願低。大型施工機具、物料須採海運，運輸達 8 ~ 10 小時，且易受天候影響，物料上金門料羅港後仍須島內陸運運輸至工區，對於物料的管控及配合要求甚高。

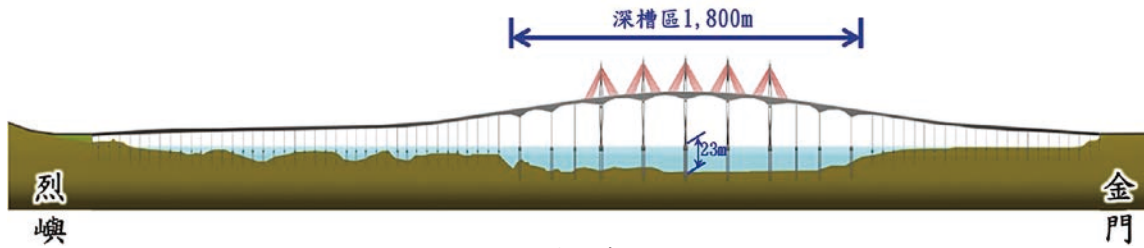


圖 2 水深地形圖

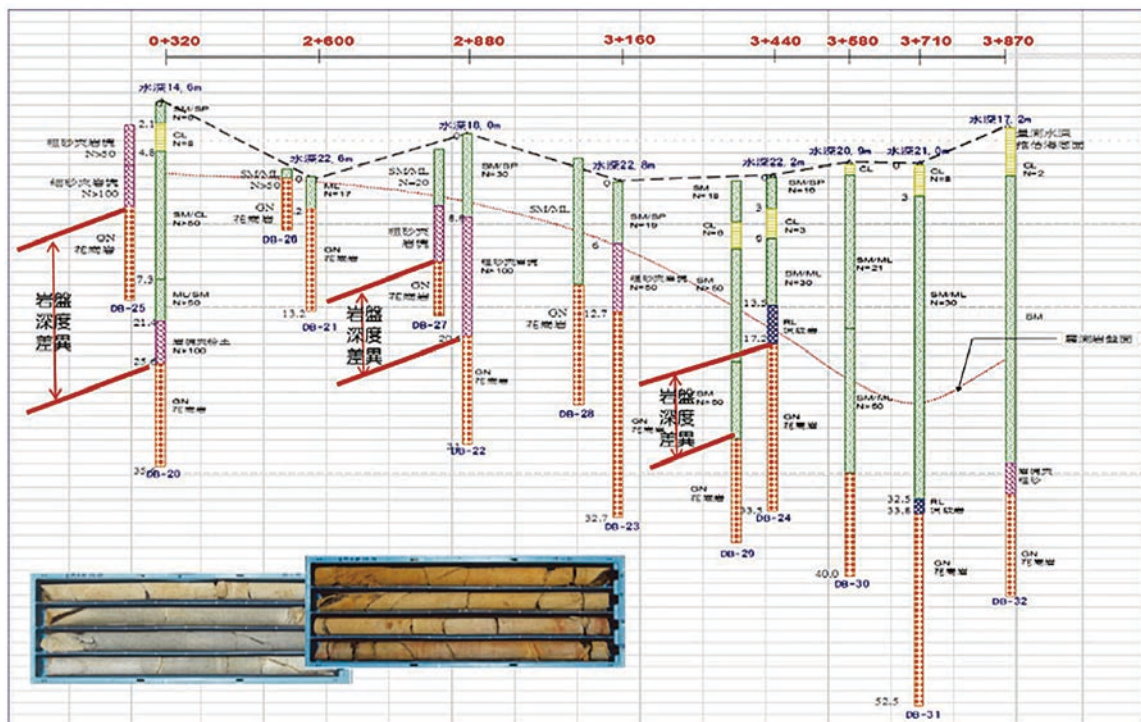


圖 3 岩盤深度及風化程度差異



構台處退潮狀況



構台處漲潮狀況

圖 4 工址漲、退潮情形

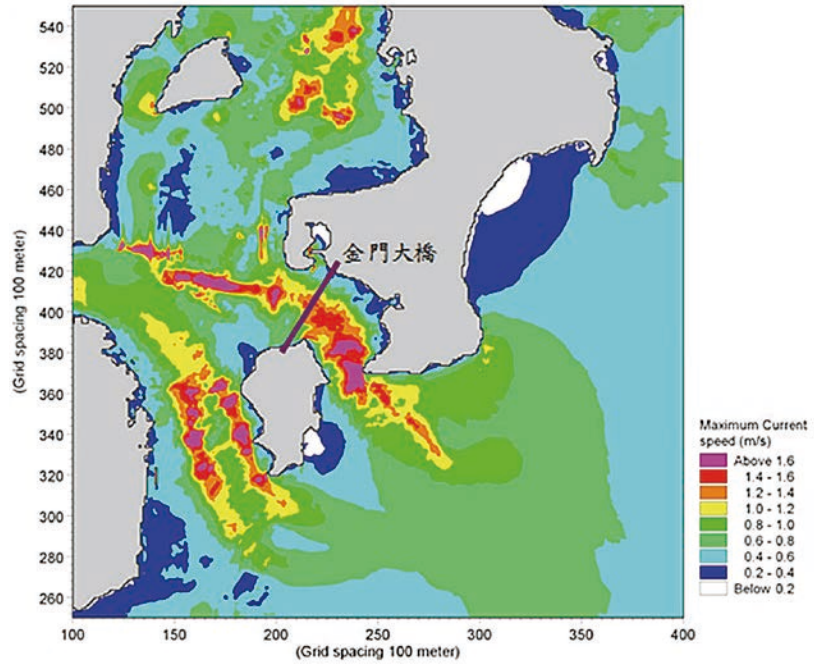
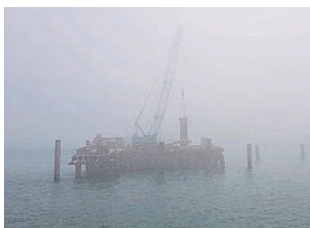


圖 5 金門地區最大流速分布圖



工址濃霧狀況



颱風侵襲

圖 6 工址濃霧及颱風侵襲情形

創新策略與技術

景觀橋梁規劃

本工程為呼應「三分交通、七分觀光」的建設宗旨，希望建構具景觀意象之跨海橋梁，故於較宏觀的道路平面線形，設計時於海上採三組半徑 2,000 公尺以上的反向圓

曲線搭配緩和曲線而成，避免長直線的布設導致線形單調，提供用路人行經橋梁時動態視覺感受，也可有效避免東西向道路長時間受日照眩光的影響。道路縱面設計考量二次爬升，兼顧經濟性與金門港口航道淨高需求、陸域地形的順暢銜接、橋梁之景觀性等，詳見圖 7。

橋梁型式考量位於海域之水深區分為主橋段、邊橋段及引橋段（詳圖 8），於跨越深水區域採用超大跨徑橋梁，減少深水域橋墩數，另於兩側較淺水域範圍則考量施工性與經濟性採一般跨徑，整體跨徑配置由小至大漸進優美變化（詳圖 9）。

主橋段主要跨越通航航道及深槽區海域，主橋橋梁型式除考量航道淨寬及淨高需求外，尚須考量塑造金門地區另一新的優美地標，提昇金門觀光資源，且須考量

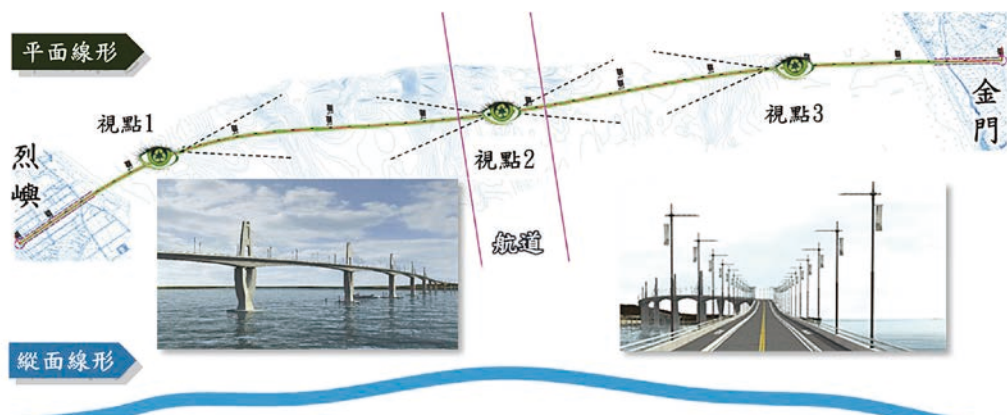


圖 7 平立面線型規劃示意圖

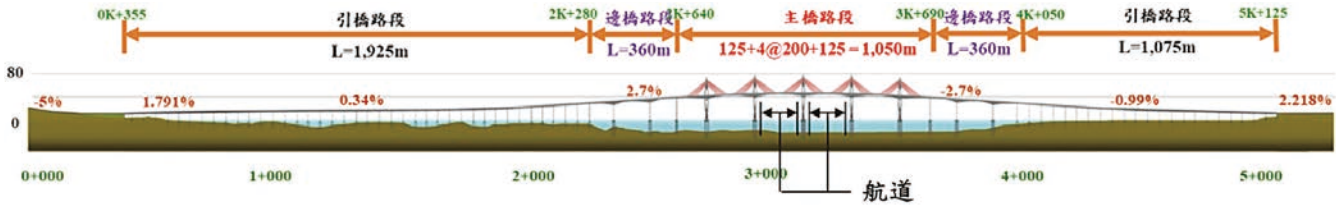


圖 8 橋梁配置圖



圖 9 橋梁跨徑漸進優美變化

施工性、經濟性、景觀性等因素。主橋段配合 5000GT 客貨輪航道寬度需求，及考量深槽急流區域之施工困難度，主跨配置 200 公尺，儘量減少於深水區域內落墩，研議採用預力混凝土箱型梁脊背橋型式，採懸臂工法施工。橋塔造型配合金門縣政府要求採縣民票選決定，故研提五種造型方案（詳圖 10），包含橋塔配置於橋面中央與配置於橋面兩側之型式，經票選結果採演繹自高粱穗心的橋塔造型，呈現之語彙為「穗心傳語、風情再現」，造型獨特優美深具景觀自明性（詳圖 11）。

深水基礎規劃

本工程橋梁基礎型式之選擇，除考量地形、地質狀況、水位、施工條件、施工環境、荷重條件、基礎特性及經濟性等研擬適用之基礎型式。

跨海橋梁基礎依施工、結構方式不同，可分為樁基礎、沉箱基礎、鋼管板樁井筒基礎等類型（詳圖 12），本工程考量，由於工址岩盤深度差異大沉箱基礎穩定性不佳，且須配合深水作業施工風險高；鋼管板樁井筒式則考量基礎板樁需打設入岩，施工困難且風險亦高；樁

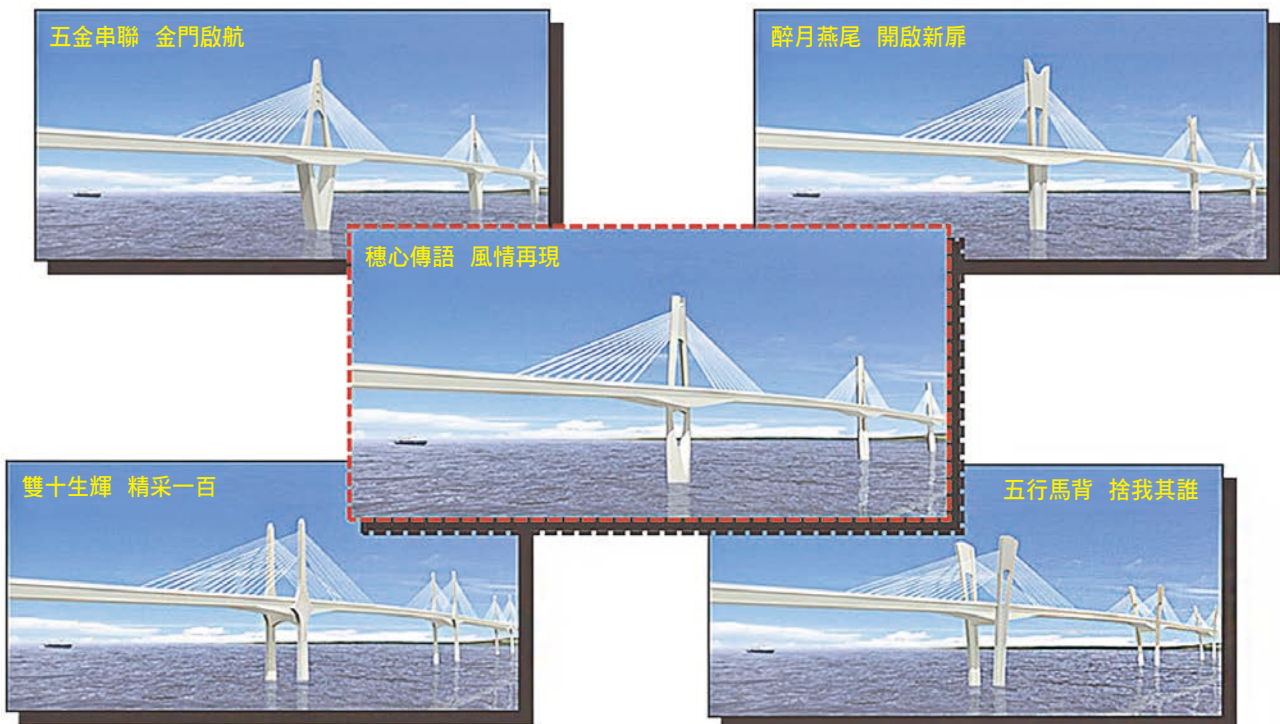


圖 10 供縣民票選之主橋橋塔造型方案

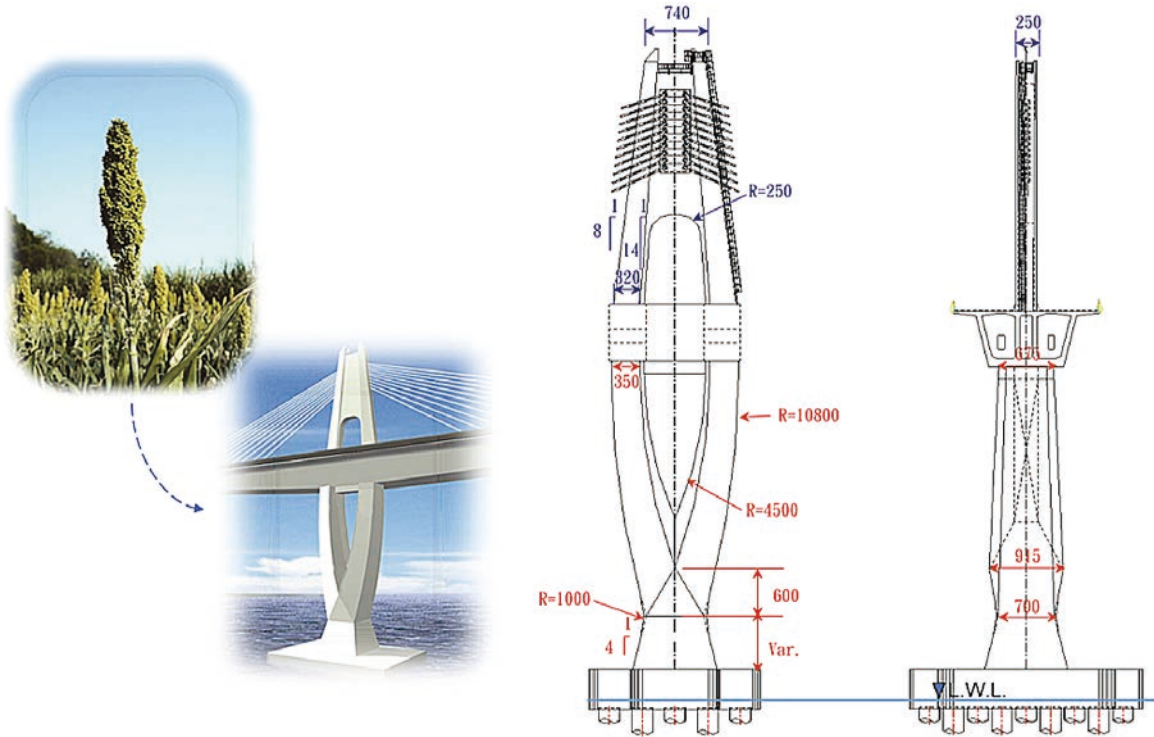


圖 11 高梁穗心橋塔造型方案

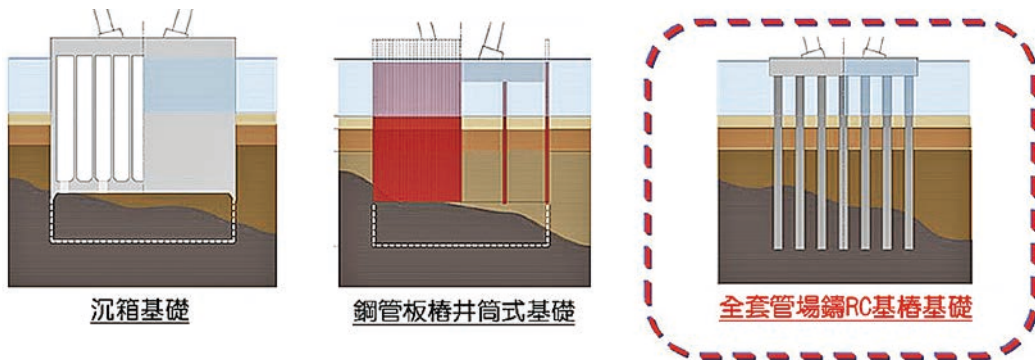


圖 12 基礎型式示意圖

基礎型式無需人員於水下作業，近年來大口徑基樁施工機具取得相對容易，且樁基礎易因應地盤變化調整，故本工程經評估採樁基礎型式較易因應工址地質變化。另於樁帽高程之規劃，須綜合考量施工性、景觀性、耐

久性及維護性等，本工程設計階段經與各相關單位討論後，樁帽高程之訂定於引橋段以退潮時不露出樁帽為原則，主橋與邊橋段以退潮時露出樁帽但不露出基樁為原則（詳圖 13）。



圖 13 各橋段樁帽高程配置

考量深槽區水深達 23 公尺，傳統鋼板樁形式圍堰因巨大水壓已不可行，故規劃改採懸吊式套箱圍堰（為國內首座案例），另綜整全橋段墩位水深，訂定當橋墩樁帽底距海床面達 1.3 公尺以上時，建議亦配合採懸吊式套箱圍堰施工，套箱圍堰懸吊於基樁外套鋼管（詳見圖 14），套箱圍堰於海面以上組裝完成後配合千斤頂同步下放，配合於圍堰底板封底止水後，抽水、架設內支撐系統，即可提供乾式施工環境，另規劃適當之施工監測系統，如支撐應變計及反光規標等，大幅提升施工安全並降低費用。

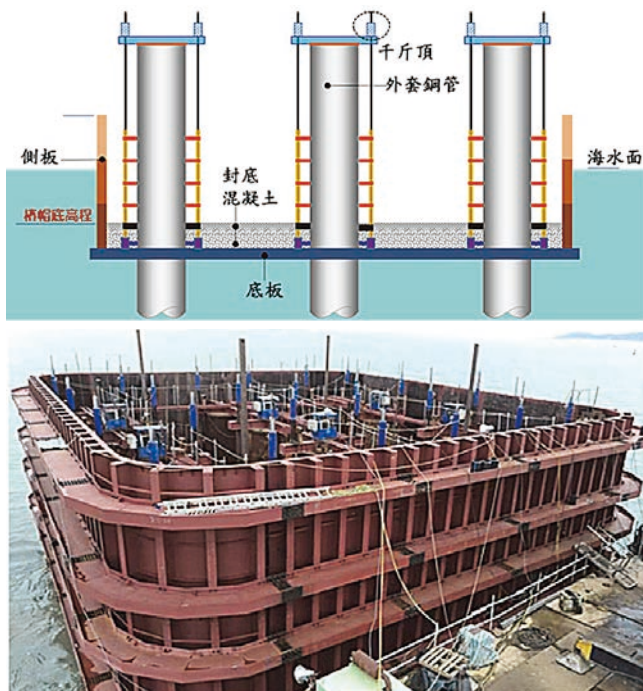


圖 14 懸吊式套箱圍堰

考量本工程之樁基礎類似座落於海中之柱體，因柱體之阻礙影響周遭之水流，致使鄰近底床剪力增大，將產生海床淘刷情形，為避免深槽區域墩位因海床受淘刷加大基樁裸露長度，本工程於深槽區範圍橋墩 P42 至橋墩 P50 設置防淘刷保護工（詳圖 15），以避免完工後發生刷深現象。但仍須考量施工過程中受海流影響而發生淘刷之可能，本計畫配合水工模型試驗驗證結果，在無保護工之情況下，海床將產生淘刷，且淘刷將於基樁套管打入海床後 48 小時內完成，若配置防淘刷保護工則無受損（詳圖 16），故本設計除以水工試驗之結果驗證外，另配合妥善研擬防淘刷保護工之施作時機，於施工規範要求於打設外套鋼管之前須先拋放第一層袋裝 e 卵石，以避免鋼管打設後即時的淘刷產生。

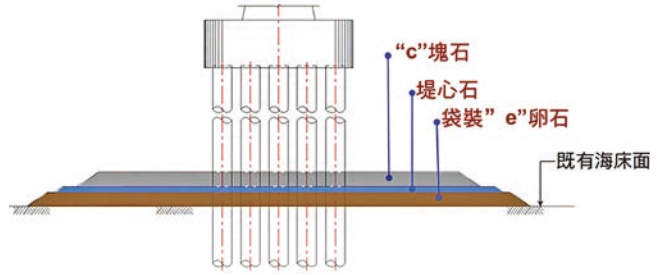


圖 15 防淘刷保護工配置

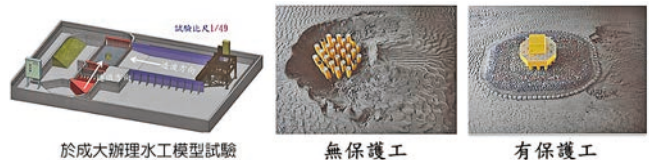


圖 16 水工模型試驗結果

上部結構預鑄節塊施工規劃

為降低上部結構現場施工風險及縮減工期需求，本工程主、邊橋段上部結構採預鑄節塊配合遠距運輸及海上節塊吊裝方式施工。預鑄場之選址，原則上優先考量運輸便利性、場地取得、設場面積需求、承載條件等因素進行綜合評估，由於工區內及鄰近工址之金門地區皆無合適之預鑄場地，幾經權衡折衷後，本工程預鑄場址最終選定於高雄市茄萣區興達港北側區域，完成之預鑄節塊配合海運方式運至金門工址進行吊裝作業。

本工程主、邊橋預鑄單元除隔梁節塊須於橋墩柱頭場鑄外，總計須於預鑄場產製 376 個箱梁節塊，節塊預鑄完成後，運輸路徑及所使用設備詳如圖 17 所示，預鑄場區內主要使用提梁機完成運輸工作，工區外則使用多軸板車載運節塊至興達港區臨時裝運碼頭，預鑄場距離工址約 260 公里，每航次需 40 ~ 48 小時，運輸作業期間需嚴密監控天候及海象條件，確保運輸安全。

預鑄節塊運至金門工區後，每一節塊重量約 75 噸至 268 噸，需利用大型起吊設備進行吊裝，於 47 公尺高空接合，吊裝作業前須精密計算大梁拱度變化，施工期間則須配合現場測量回饋調整，確保最終節塊能順利閉合。另因現場吊裝作業平穩度易受強陣風影響，施工控制須注意配合管控，相關施工作業採 24 小時連續進行（詳圖 18）。

耐久性考量

本工程採預力混凝土箱型梁橋，工址位於海水中及近海岸，易受海水飛沫之影響，屬極嚴重鹽害區，基於耐久性考量，混凝土使用 C3A 含量適度之 TYPE II 水泥添加高爐石粉或飛灰等卜作嵐材料或 IS (MS) 高爐中



圖 17 運輸路徑及相關設備



圖 18 海上預鑄節塊吊裝

度抗硫水泥、IP (MS) 卜作嵐中度抗硫水泥，限制混凝土之最大水膠比，另適當提昇混凝土強度，可增加其水密性，並要求辦理混凝土抗氯離子穿透能力試驗，要求使用之配比須符合 56 天齡期混凝土符合 CNS 14795 等級為「低」以下標準。在上構結構設計要求達到 0 張應力，以避免裂縫產生，有助於鋼筋防蝕。下部結構鋼筋採鍍鋅鋼筋，以提昇防蝕效果。基礎施工為防制裂縫產生，若採分層澆置時，要求澆置施工縫需配合施工規範相關要求處理後方可澆置下一昇層混凝土，位於外露面之接縫須作防水處理以杜絕可能的腐蝕因子，混凝土養護期最短 14 天，且養護期間應以適當措施控制其冷卻速率，養護期間混凝土表面溫度每 24 小時之累計溫降不超過 11°C。另亦配合現行規範相關規定，依環境等級加厚混凝土保護層。脊背橋使用之外置預力斜索採同步射出高密度聚乙烯 (HDPE) 內套管並灌注油脂之鍍鋅單根鋼絞線 (Co-extruded mono-strand)；並配合高密度聚乙烯 (HDPE) 材質外套管具四層防蝕保護功能。

監測計畫

為掌握工址腐蝕條件對於大橋鋼筋、混凝土之影響，及橋梁結構特性，故於大橋設計時亦納入監測工作，相關工作內容及目的說明如下：

長期材料腐蝕試驗與橋墩腐蝕監測

預計進行金門大橋所使用混凝土之相關材料特性之探討，包括基本材料力學性質、耐久性、長期體積穩定性與水中磨耗特性等，並以所獲得之性質，回饋橋梁管理單位進行未來橋梁之維護與監測參考之用；同時安裝腐蝕監測計於部份橋墩處，一旦腐蝕情況發生即可迅速掌握並進行相關後續處置。

本計畫預計進行之項目為配合施工廠商提送使用之材料配比製作混凝土試體，進行室內加速試驗，探討混凝土中性化與氯離子入滲之關係。並於工址橋墩 P44、P48 處之箱型梁頂板中央適當位置各施作 1 個尺寸為 0.6 m × 0.6 m × 0.6 m 之鋼筋混凝土塊，其鋼筋採用一般鋼筋，及橋墩 P41、P51 基礎上方適當位置各施作 4 個尺寸

為 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 之立方鋼筋混凝土塊，4 個鋼筋混凝土塊中，2 個配置一鋼筋，另 2 個配置防蝕處理鋼筋，配置如圖 19 所示，後續配合鑽心取樣用以掌握橋梁混凝土及鋼筋狀況。

另於引橋位置 P10、P25、P60、P70 之橋墩，邊橋位置之 P41、P51，主橋位置 P44、P46、P48 之橋墩，每個橋墩的潮間帶（平均低潮位以下 1 公尺處）、飛沫區（平均高潮位以上 1 公尺處）與飛沫區之上（設計潮位以上 5 公尺處）各一個斷面，每個斷面裝設 1 個腐蝕感測器，其中 P25、P41、P44、P46、P48 及 P51 位置則再額外多裝 1 個腐蝕感測器於海平面以下位置（最低潮位以下 3 公尺處），共計 33 個腐蝕感測器，每個腐蝕感測器將量測腐蝕電位、電流、相對溼度，以提供腐蝕程度之判斷，相關配置如圖 20 所示，後續配合以檢測員每年 1 次之定期資料讀取方式進行。

配合施工時之橋梁部分構件初始值之量測

於橋梁施工過程中，進行部分重要構件之監測儀器安裝佈設，以利為該構件完工後之初始值之量測，以及回饋橋梁設計單位對於日後其他相關設計所需之修正。主要針對環境影響因素（風速、溫度、雨量、濕度）、鋼纜索力、外置預力錨碇塊應變、主橋橋塔傾斜量及橋體位移、主橋箱梁及基樁應變等進行初始值量測。

完工時之橋梁結構初始值之量測

針對甫完工且尚未開放通車之時，進行載重實驗以及環境振動量測，將可量測各項構件初始狀態之數值，以輔助日後以監測結果對於橋梁健康狀況之判定。主要辦理主橋段之動、靜態載重試驗、橋體結構微振量測、鋼纜微振量測以及全橋三維雷射掃描，以達紀錄橋梁在通車前之橋體應變狀態、模態振型、自然頻率與影響線之建立，並延續施工階段所監測之鋼纜索力變化，以及全橋之三維空間座標之建立。

完工後之完整監測系統規劃

本計畫為整體監測系統之初步階段，僅進行後續完整監測系統之規劃及各項儀器所需管線之設計分配與預埋規劃，依照本計畫所建構之金門大橋監測系統架構，未來可預期針對索力、基樁應變以及橋跨之應變反應進行監測及預警作業。

執行成果

1. 金門大橋於民國 111 年（2022 年）10 月正式完工通車。其具體成果如下：
 - (1) 台灣跨海橋梁里程碑：成功完成全長 5.41 公里海域水深達 23 公尺之跨海橋梁，為台灣首座大規模跨海大橋，且為國內最大跨徑脊背橋，透過本工

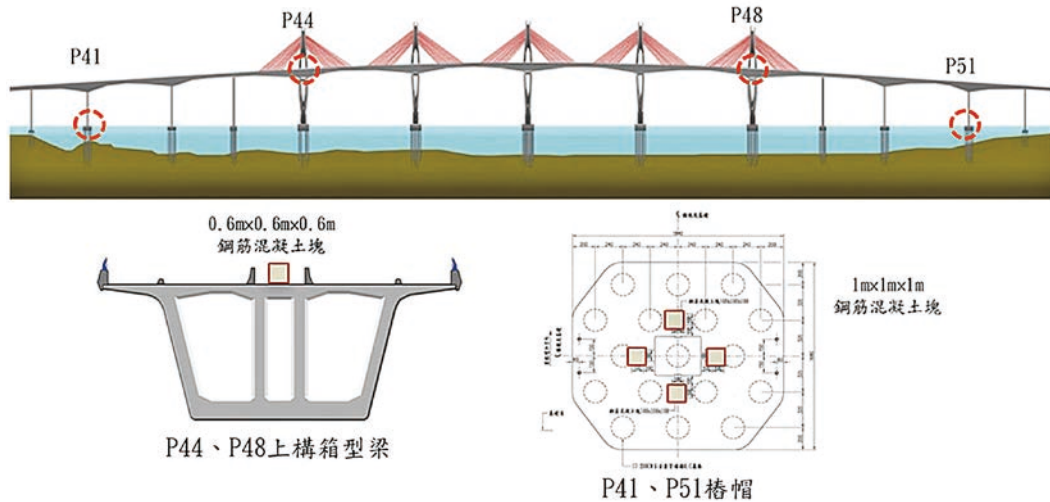


圖 19 長期鋼筋混凝土材料腐蝕試驗配置示意圖

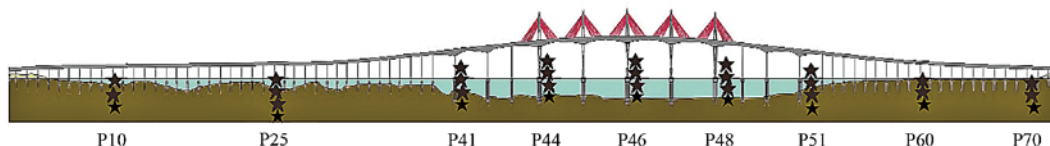


圖 20 橋墩腐蝕監測配置示意圖

程經驗，可提昇國內海上橋梁工程的設計及施工技術水準。

- (2) 技術標準建立：透過本工程建立了台灣本土化的跨海橋梁造價資料與施工技術規範，特別是在深水域花崗岩施作基樁的寶貴經驗。
- (3) 大、小金門陸運連結：提供烈嶼鄉與金門地區全天候交通聯繫，除可解決大小金門間物資運送、緊急醫療及居民往來不便之現況外，更可有效促進金門地區觀光遊憩系統之開發，達到改善當地居民交通、人道救援及提昇整體觀光價值之綜合效益。
- (4) 獲獎肯定：本計畫卓越的工程品質獲得下列榮譽獎項

- 民國 109 年 勞動部金安獎 A 組優等
- 民國 109 年 公共工程委員會公共工程金質獎土木類設計、監造特優
- 民國 110 年 大地工程學會優良大地工程獎
- 民國 110 年 交通部公共工程優良獎
- 民國 112 年 中華民國熱浸鍍鋅協會優良熱浸鍍鋅工程獎特優
- 民國 112 年 中華民國結構工程學會結構工程技術獎
- 民國 112 年 中國土木水利工程學會工程環境與美化獎
- 民國 113 年 交通部年金路獎傑出工程類第一名
- 2024 年度國際道路協會 (IRF) 全球道路成就獎 (Global Road Achievement Awards, GRAA) 「設計」類大獎

2. 全球道路成就獎獲獎過程

「金門大橋」榮獲 2024 年度國際道路協會 (IRF) 全球道路成就獎 (Global Road Achievement Awards, GRAA) 「設計」類大獎，該獎項是全球道路與交通領域中最具權威的獎項之一，評選過程極為嚴格，來自全球各地的道路與交通領域菁英專家組成的評審團，針對世界各國引以為傲的參選項目進行評比，並選出每一類別中最为傑出的單一工程。「金門大橋」能夠在眾多優秀的競爭者中脫穎而出，獲得「設計」類別的大獎，此一殊榮無疑是對該項目卓越設計與創新精神的



圖 21 2024 IRF GRAA 頒獎合影照片，由左至右分別為：陳明谷／台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部協理、柯明佳／前台灣世曦工程顧問股份有限公司中工處經理、蔣啟恆／台灣世曦工程顧問股份有限公司副總經理、黃炳勳／台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理、蘇育民／國立高雄科技大學土木工程系助理教授、施義芳／前台灣世曦工程顧問股份有限公司董事長、郭呈彰／交通部高速公路局總工程師、張震宇／交通部高速公路局第二新建工程分局主任、馮焱明／交通部高速公路局規劃組科長。

高度肯定。頒獎儀式於 2024 年 12 月 12 日，在美國奧蘭多舉行的 IRF 全球道路與明日會議 (R2T Conference & Exhibition) 年會上正式頒發。

當天頒獎典禮配合於晚宴舉行，晚宴前主辦單位精心安排雞尾酒茶會，讓各國得獎團隊能有交流的時間。「金門大橋」榮獲之「設計」類獎項安排於第二順位頒獎，大會安排於介紹影片撥放結束後由授獎代表上台領獎，會後獲獎團隊合影詳見圖 21。

未來展望

金門大橋完成後成為金門新地標，大橋的連結促進兩島資源共享並擴展金門旅遊資源的深度，除了可吸引更多遊客到訪以外，更可帶動大、小金區域發展，提昇在地經濟效益。另透過本工程建置之監測系統所累積的數據、通車後之維管經驗，將成為台灣未來耐久性設計與本土化維護管理的關鍵參考資料。金門大橋的完成為台灣海事工程奠定了堅實基礎，可供後續如離岸風電、其他跨海交通建設計畫參考，提升國內海事工程的國際競爭力。🇹🇼