

海上施工安全管理

台灣世曦工程顧問股份有限公司 謝克岱 計畫副理

中華民國111年8月30日

目錄

- 壹 前言
- 貳 環境背景
- 參 深槽區主邊橋施工安全
- 肆 淺灘區引橋施工安全
- 伍 海上安全設施及管理
- 陸 人因關懷及訓練
- 柒 結語

金門大橋-國內首座長跨距跨海大橋



■ 海上施工與陸域差異

- 海中無穩固立足點
- 可利用空間狹小
- 需使用大量船機
- 運補依賴海運、補給不易
- 受週遭海象、潮汐及天候環境影響





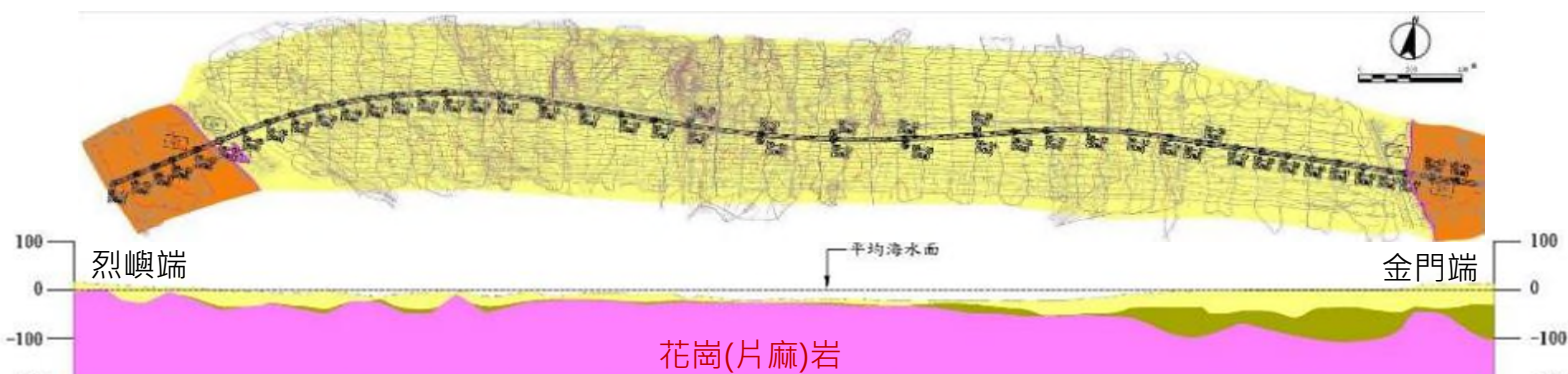
■地質分佈剖面

- 上層為砂黏土沖積層(厚度2-65m)
- 基盤為花崗岩質地緻密、單壓強度達2000kgf/cm²
- 兩者間夾雜厚度不均之風化岩層，強弱懸殊，且遇水軟化情形顯著
- 岩盤深度及傾斜變化大



圖例：

- 沖積層(Qa1)N<50
- 沖積層(Qa2)N>50
- 紅土台地
- 花崗岩/
花崗片麻岩

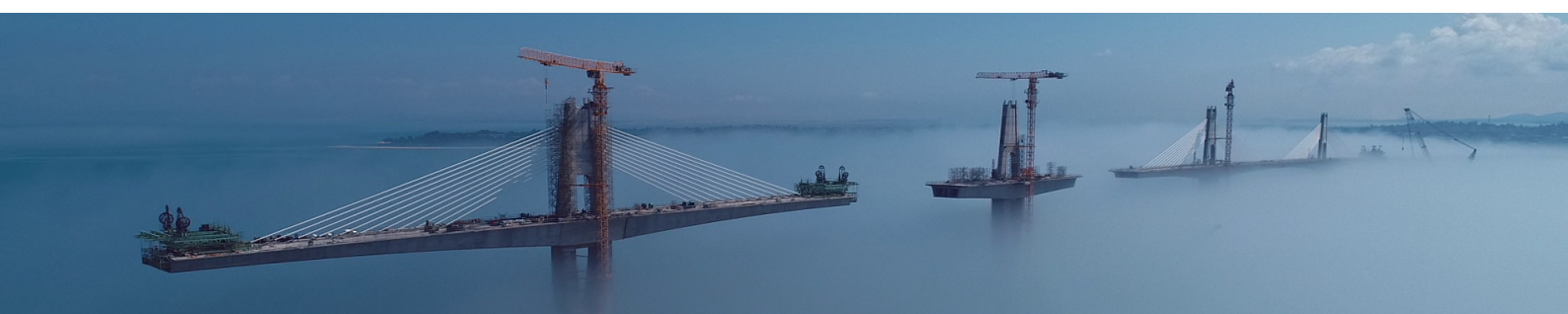




7

■ 氣象資料統計：

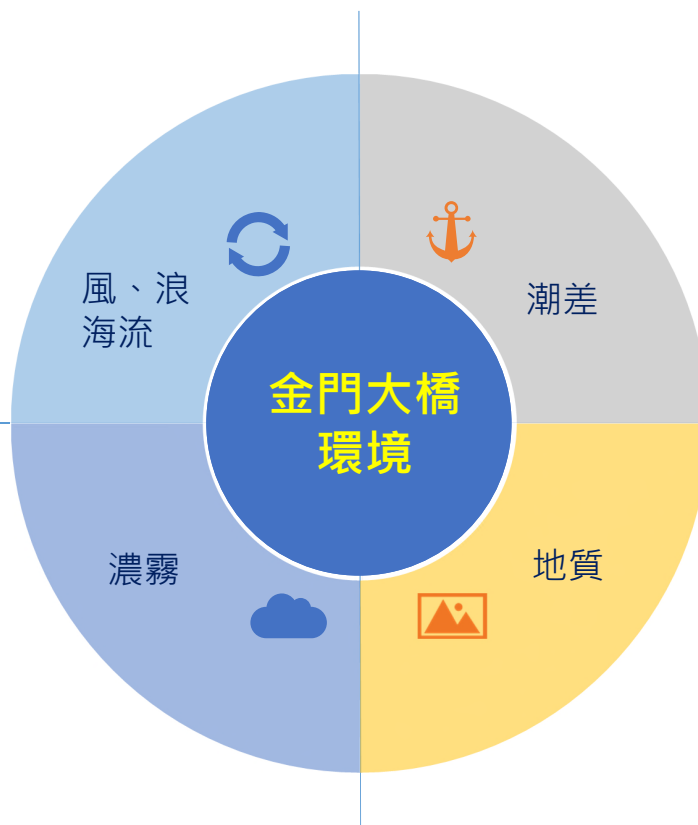
- 風、浪→年平均112天(≥ 6 級風、浪高2.5-3.0m)
- 霧→年平均30.6天(其中12天 ≤ 500 m機場封閉)
- 海流→漲退潮南北走向、速達1.4 ~ 1.6m/s、最大潮差6.3m
- 水深→最深水位23m



8



- 吊掛作業
- 船機穩定
- 船機靠泊
- 鋼管打設
- 高鹽害造成機械損壞
- 混凝土澆置
- 避颱



- 構台/棧橋/鋼箱施工及穩定性
- 人員上下構台安全
- 每日僅有兩個時段可進行搶灘運補

- 吊裝作業
- 航行安全
- 夜間安全
- 運補斷航
- 濕度高造成機械損壞

- 施工棧橋/構台立柱貫入深度
- 頂昇式平台船站立穩定性
- 基樁鑽掘

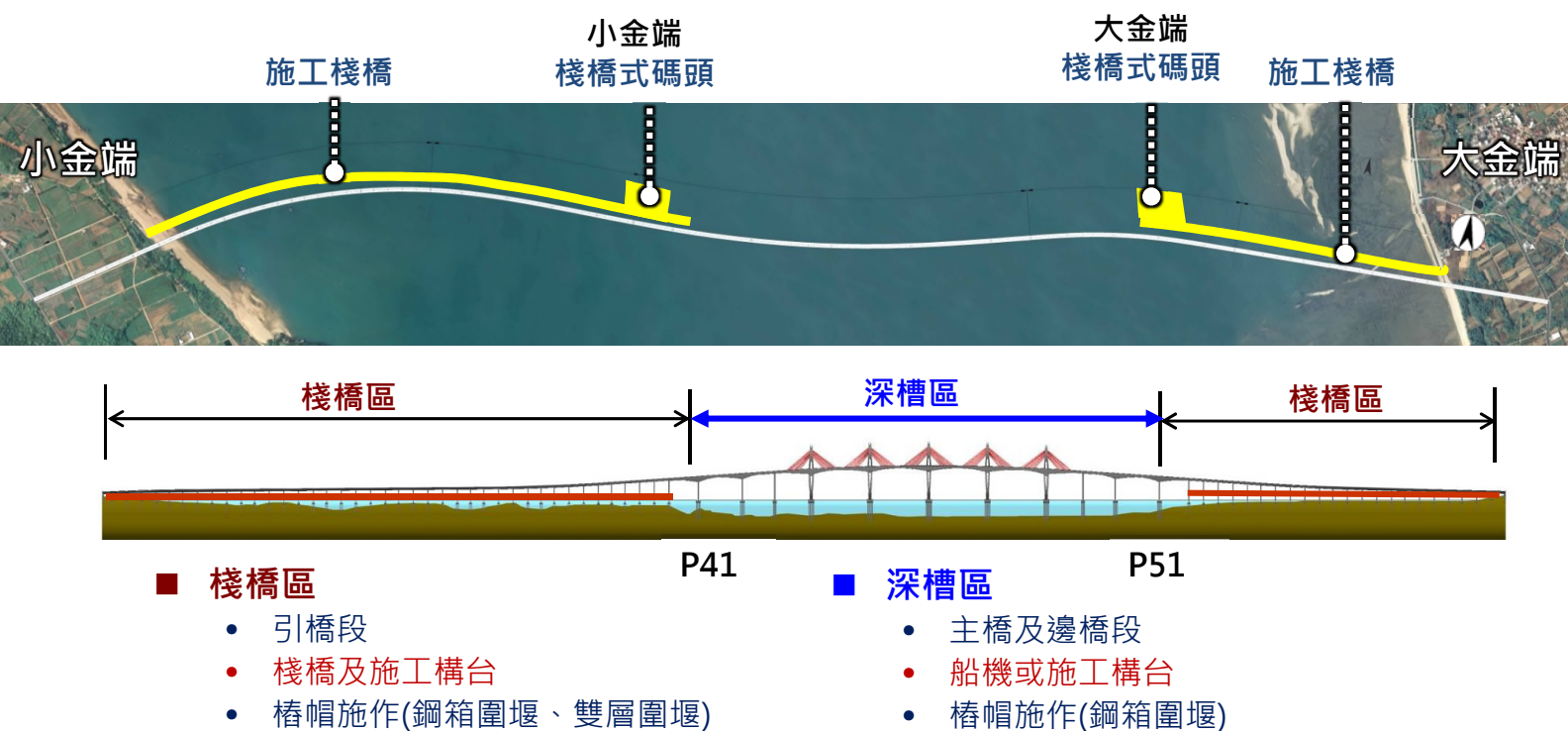
貳 環境背景 - 設計階段降低風險策略



■ 工址現況潛在危害辨識

類別	項目	潛在危害		危害對策
		危害	影響	
工址現況	地形、地貌	<ul style="list-style-type: none"> • 水深達23m 	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎施工難度高 • 海上及水下作業安全 	<ul style="list-style-type: none"> • 詳實水深測量 • 減少深水域落墩數 • 研擬適當施工規劃及海上作業相關安全規定
	地質條件	<ul style="list-style-type: none"> • 地質變化大 • 花崗片麻岩地質堅硬且風化層度變化大 	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎承载力評估 • 基礎施工安全 	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎承载力折減調查評估 • 基礎型式、施工機具評估選擇 • 考慮海流、波浪沖刷、基礎承載層位置岩性確認
	氣象	<ul style="list-style-type: none"> • 強風、濃霧、豪雨 	<ul style="list-style-type: none"> • 施工作業延誤或失敗 • 人員安全 • 海中作業安全 	<ul style="list-style-type: none"> • 工法、工期、設備要充分考量 • 相關測候設備及勞工休息室
	海象	<ul style="list-style-type: none"> • 潮差、波浪及海流等作用 • 海上施工、運輸 	<ul style="list-style-type: none"> • 海上施工、運輸 • 海流、波浪造成基樁淘刷 	<ul style="list-style-type: none"> • 依據海象資料，作為施工船機選擇及工期估算之考量 • 橋基防淘刷設計考量
	施工棧橋	<ul style="list-style-type: none"> • 棧橋耐久性 • 人員進出 	<ul style="list-style-type: none"> • 棧橋使用性 • 不當載重毀損棧橋 • 機具翻落海中、物料飛落 	<ul style="list-style-type: none"> • 棧橋構件防蝕塗裝 • 適當棧橋面積。 • 經常性檢查，是否影變形、鏽蝕等，並立即修復

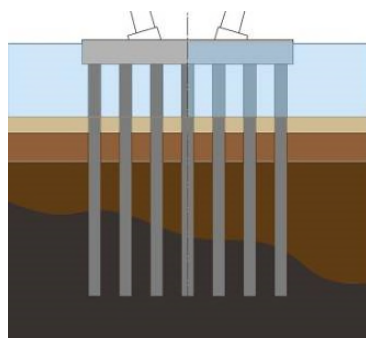
■ 配合海床深度區分施工方式



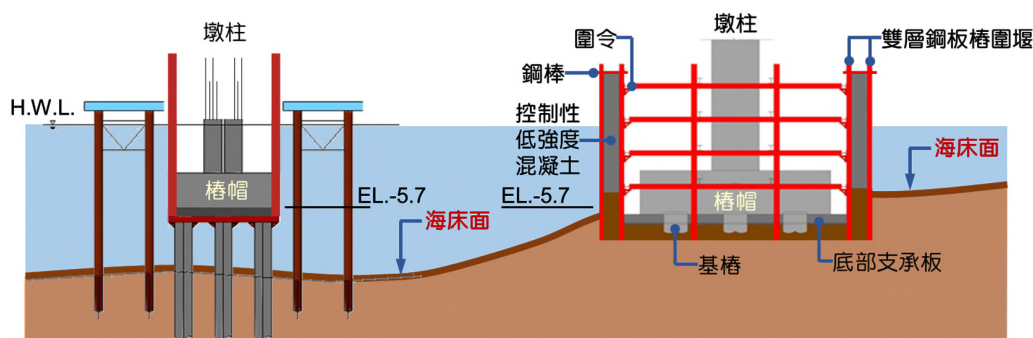
11

■ 選擇橋梁型式及工法

- 加大跨徑減少水域落墩-主橋4跨均200公尺
- 航道滿足5000T船型通航需求，橋塔高度符合飛航安全
- 採用基樁基礎-避免深水作業
- 淺灘區採用雙層鋼板樁圍堰工法
- 深水區採用樁帽鋼箱圍堰工法
- 引橋段採支撐先進工法；主、邊橋跨徑大採懸臂工法



全套管場鑄RC基樁基礎



鋼箱圍堰示意圖

雙層鋼板樁圍堰示意圖

12



深槽區主邊橋施工安全

海上建設-從建立穩固據點開始



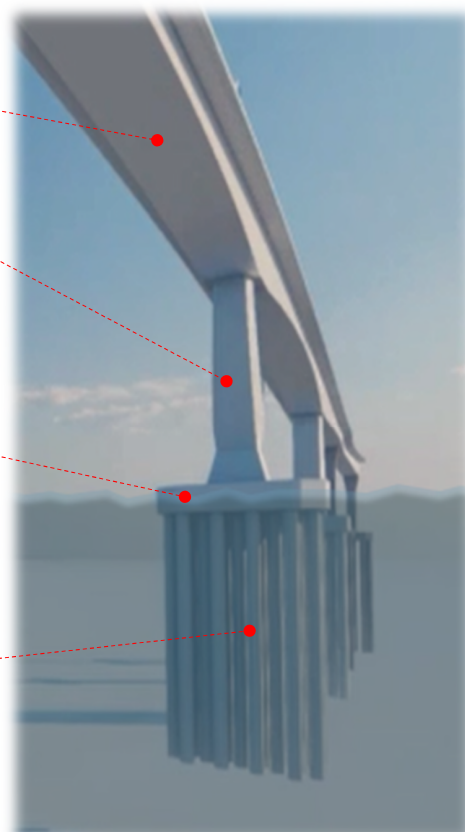
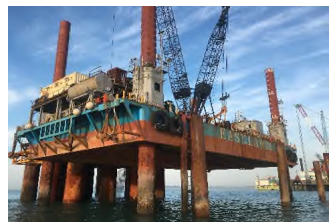
參

深槽區主邊橋施工安全



■ 主邊橋施工主要 假設工程

海上重要假設工程



■ 基樁鑽掘

方式一：海域構台

利用基樁外鋼套管作為構台承載樁

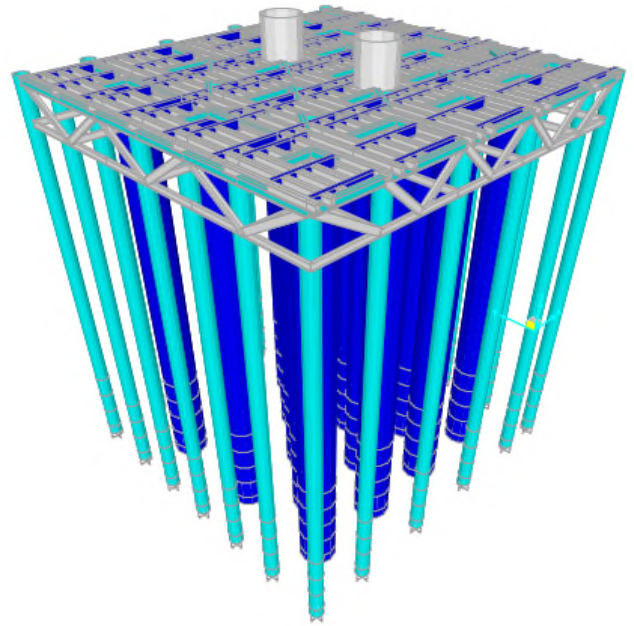
■ 需求考量：高於海平面5.7m、施工載重及空間

■ 結構安全考量：

- 地盤承載力，立柱貫入深度
- 垂直力：含靜載重、施工活載重、衝擊載重
- 水平力：波浪力、水流力、風力、地震力
- 鋼構架整體穩定

【優點】受風浪影響小、安全性高

【缺點】設置成本高、耗時



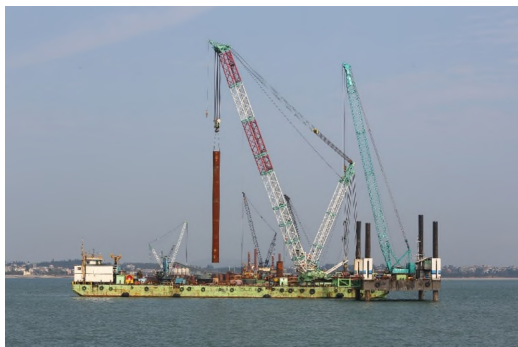
危害因素：臨水作業人員落海、感電風險、物體飛落及機具使用被捲被夾、施工構台崩塌、營建機械翻落

15

■ 海域構台 施工流程及安全對策

危害因子：船舶穩定性、小三通航安、海象、構台倒(崩)塌、感電、人員落海

①基樁外套鋼管打設



②構台輔助立柱打設



③立柱平聯、橫梁設置



- 船機適航性評估/起重機翻覆
- 利用平潮下放外套鋼管/輔助立柱
- 確認外套鋼管/輔助立柱打入海床深度
- 小三通船舶由管制小組指揮降速/安全巡邏船戒護
- 救生衣/救生圈/平台船護欄

- 自動電擊防止裝置/漏電斷路開關
- 合格吊籠
- 安全帶/防墜器/安全母索
- 救生衣/救生圈

16

■ 海域構台 施工流程及安全對策

危害因子：海象、構台倒(崩)塌、感電、小三通航安、人員落海

④ 鋼管平聯焊接



- 下平聯低於高潮位，需利用低潮位進行銲接施工
- 自動電擊防止裝置/漏電斷路開關
- 合格吊籠
- 安全帶/防墜器/安全母索
- 救生衣/救生圈/警戒船

⑤ 構台完成、上機鑽掘



- 構台安全監測/巡檢
- 安全護欄
- 物料確實牢固
- 安全帶/防墜器/安全母索
- 救生衣/救生圈/警戒船

17

■ 基樁鑽掘

方式二：頂昇式平台船

頂昇式平台船拖航至定點後，以棒錨將船身頂離海面成為穩固平台、輔以吊車及導向架打設外套鋼管進行基樁鑽掘

- 需求考量：施工載重及空間
- 船舶安全考量：棒錨長度及強度

【優點】施工面設置快速

【缺點】易受海面波浪影響



危害因子：人員落海、墜落、感電、物體飛落、機具使用被捲被夾、營建機械翻落

18

■ 頂昇式平台船 施工流程及安全對策

危害因子：棒錨滑動、小三通航安

① 船機定位



② 預製導架設置



③ 基樁外套鋼管打設



④ 上機鑽掘



- 下棒錨確認海床地質環境
- 棒錨長度與強度
- 小三通船舶由管制小組指揮降速/安全巡邏船戒護
- 救生衣/救生圈

- 導管架陸上預組
- 利用平潮下放外套鋼管
- 外套鋼管打入海床深度
- 救生衣/救生圈
- 安全護欄

19

■ 船舶資源挹注 引進大型施工船舶

	動力拖船	起錨船	工作平台船	頂昇式平台船	起重船	海上拌和船	浮沉台船
施工船機	6	1	8	4	2	2	2
	拖航船舶	起錨/拖航	物料運補/暫置、鑽掘機平台		吊運大型機具、鋼管、節塊	供應混凝土	節塊暫置/運補



頂昇式平台船-東地1號



頂昇式平台船-東彥號



起重船-東坪8號(650T)



起重船-東坪9號(800T)



頂昇式平台船-海岸二號



起錨船-和洲號



浮沉台船-駿逸1號



混凝土拌和船-東彥11號

20

■設備機具挹注 振動樁錘

打樁設備	振動樁錘
	6



ICE250NF(振動力712T)



ICE1412(振動力305T)



DZJ240(振動力186T)



DZP150(振動力110T)

■設備機具挹注 各式鑽掘機組

各式船機及設備投入約20億資金

鑽掘設備	1.5mø搖管機	2.0mø搖管機	1.5mø RCD	2.0mø RCD	2.5mø RCD
	1	1	1	4	6



RCD鑽掘機組



RCD鑽頭



RCD擴孔鑽頭



土鑽



全套管搖管機



鯊魚夾

■ 基樁施工 安全注意事項

危害：地質變化大坍孔造成鋼管滑落

■ 坍孔

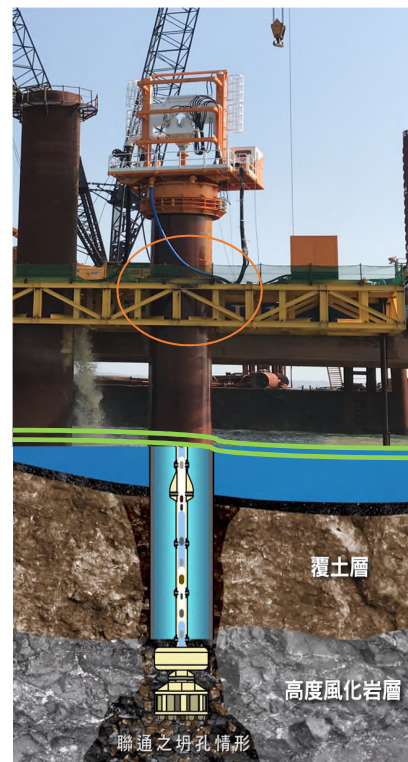
- 坍孔造成外套鋼管滑落、鋼管與樣架需確實固定
- 藉由出渣水色判斷是否坍孔

■ 海上晃動造成金屬疲勞

- 案例：海上拌和船壓送桿斷裂
- 方案：所有接頭進行補強



基樁位置圖



聯通之坍孔情形

23

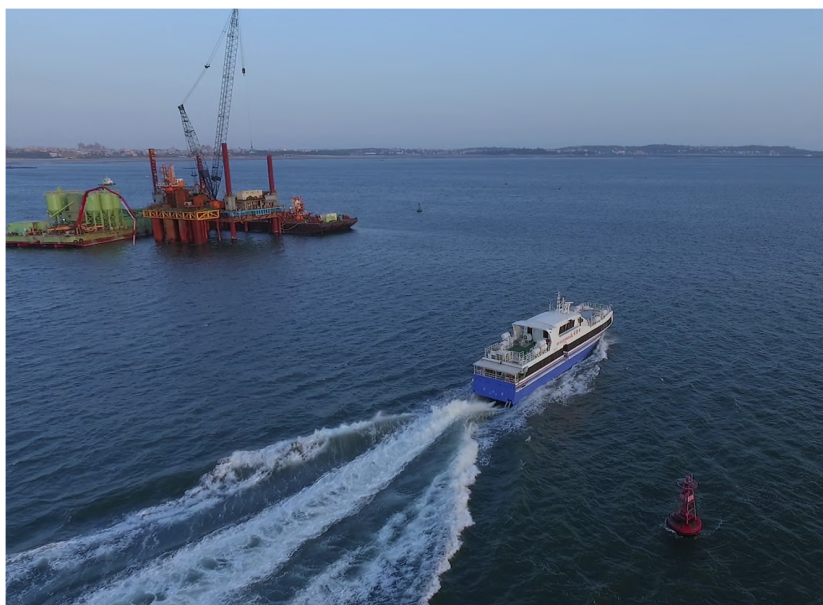
■ 降低小三通排浪影響

危害因子：人員落海

小三通航班每天最多48航次、正常航速20-25節、排浪2.5m

■ 航安會議、航船布告

- 由小三通業者、航港局、港務處、海巡署等組成溝通平台
- 發佈航船布告，小三通船舶通過減速至10節以下(排浪約1公尺)



24



金門大橋532支基樁，全長20,880公尺
109年4月30日全部完成

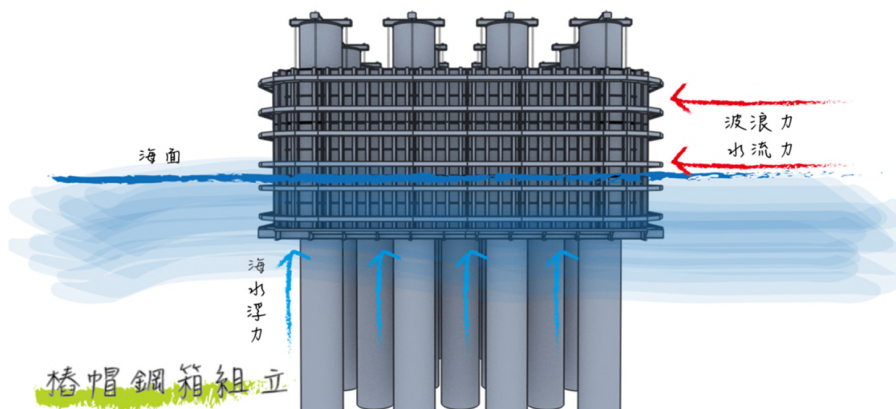
25

■ 國內首座鋼箱圍堰設計施工

- 提供樁帽水下施工乾式環境
- 結構安全考量：
 - 靜水壓力、施工載重、波浪力、每日2次漲退潮海流
 - 最大抵抗1000-5000噸上浮力

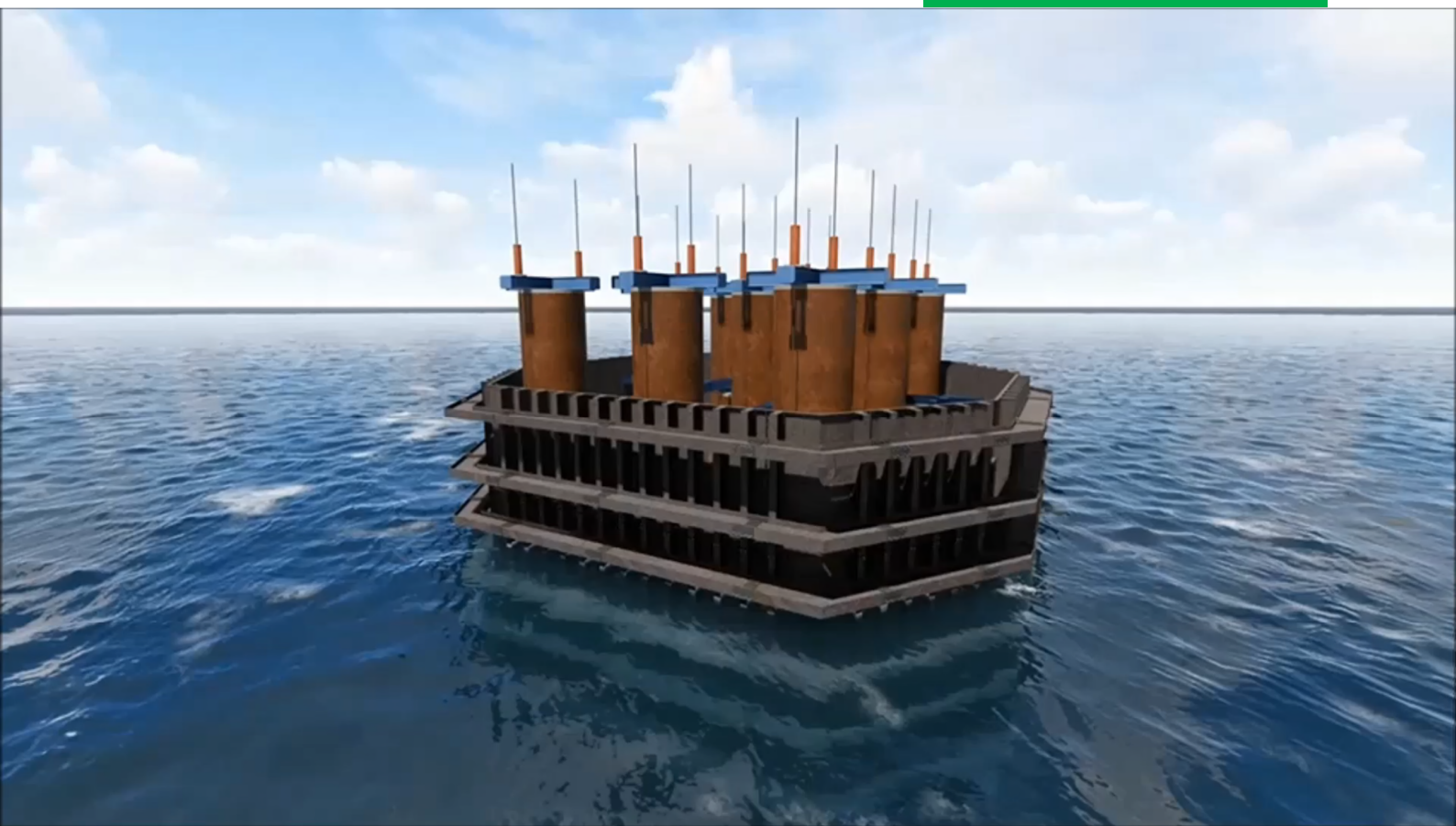


樁帽底在最低潮位以下



危害因素：臨水作業人員落海、感電風險、吊掛過程物體飛落及碰撞、鋼箱設置不當發生倒(崩)塌

26



27

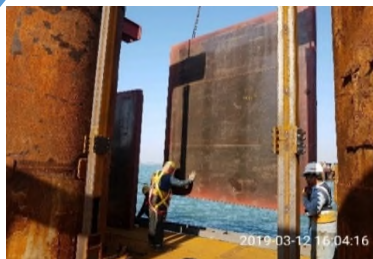
■ 鋼箱圍堰組裝 施工流程及安全對策

危害因子：倒(崩)塌、物體飛落、
人員落海、人員墜落

① 底板組裝



② 側模組立



③ 鋼箱第一次下放



④ 內支撐安裝



- 於水面上進行組立
- 底板大模塊大面積組裝，減少現場銲接及栓接數量
- 側模構件先於地面進行組裝，減少組裝作業危險

- 下放系統安裝前檢點鋼棒完整性
- 海象觀測
- 減少小三通船隻排浪造成搖晃

- 內支撐依設計圖安裝

28

■ 鋼箱圍堰組裝 施工流程及安全對策

危害：海象、人員落海、浮力、鋼箱倒塌(崩)塌、感電、墜落

⑤ 第二次下放至定位



- 海象觀測
- 減少小三通船隻排浪造成搖晃
- 通水閥門開啟保持內外水頭平衡

⑥ 封底混凝土



- 通水閥門開啟內外水頭平衡

⑦ 反壓牛腿焊接



- 抽水後產生浮力，反壓牛腿為鋼箱力量傳遞至外套鋼管重要機制，銲接品質為重關鍵作業

⑧ 樁頭處理



- 內支撐監測
- 通風設施
- 上下設備

■ 樁帽施工空間管理

有限空間妥善規劃管理減少風險

■ 頂昇式平台船(大型平台船)+小型平台船

- ① 起重機
- ② 上下設備及步道
- ③ 人員休息區
- ④ 材料暫置
- ⑤ 發電機
- ⑥ 繫船柱固定船舶
- ⑦ 材料暫置及運補



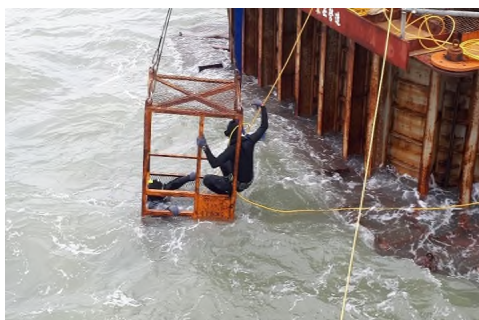
金門大橋73座樁帽
110年5月28日全數完成

■ 鋼箱潛水作業管理

危害因子：溺水

■ 潛水作業時機

- 水下銲接止漏環片(半月板)及限位千斤頂(鋼箱內潛水)
- 鋼箱滲漏：先由內部進行樹脂灌漿；無法止漏時，再由潛水人員於鋼箱內外側進行縫隙填補(鋼箱內、外潛水)



潛水作業主管



裝備檢點



藍白旗通知船舶

■ 潛水作業管理項目

- 潛水作業計畫
- 潛水作業前辦理緊急應變演練
- 職業潛水技術士證
- 潛水作業主管全程監看
- 懸掛藍白旗警示經過船舶

31

■ 內構台-爭取更多常時乾式作業環境

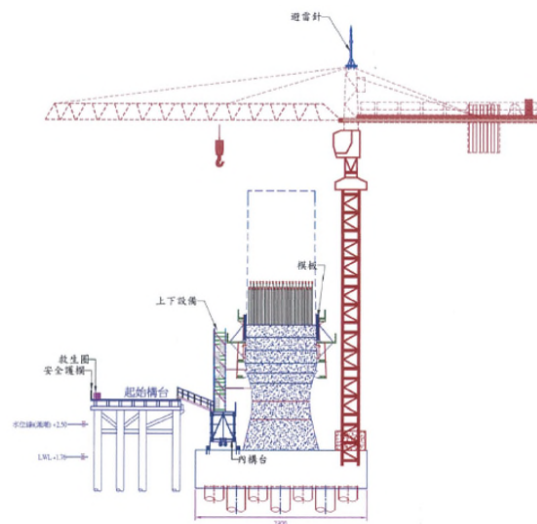
- 創造上下設備基礎、施工電梯基礎、人員休息區、發電機等設備高於海面上
- 結構安全：鋼構架之穩定性、垂直荷重、波浪力、水流力、地震力、風力

危害因子：人員落海、墜落、感電、上下船設備及機具使用被捲被夾、鋼筋倒塌及物體飛落



塔吊基礎

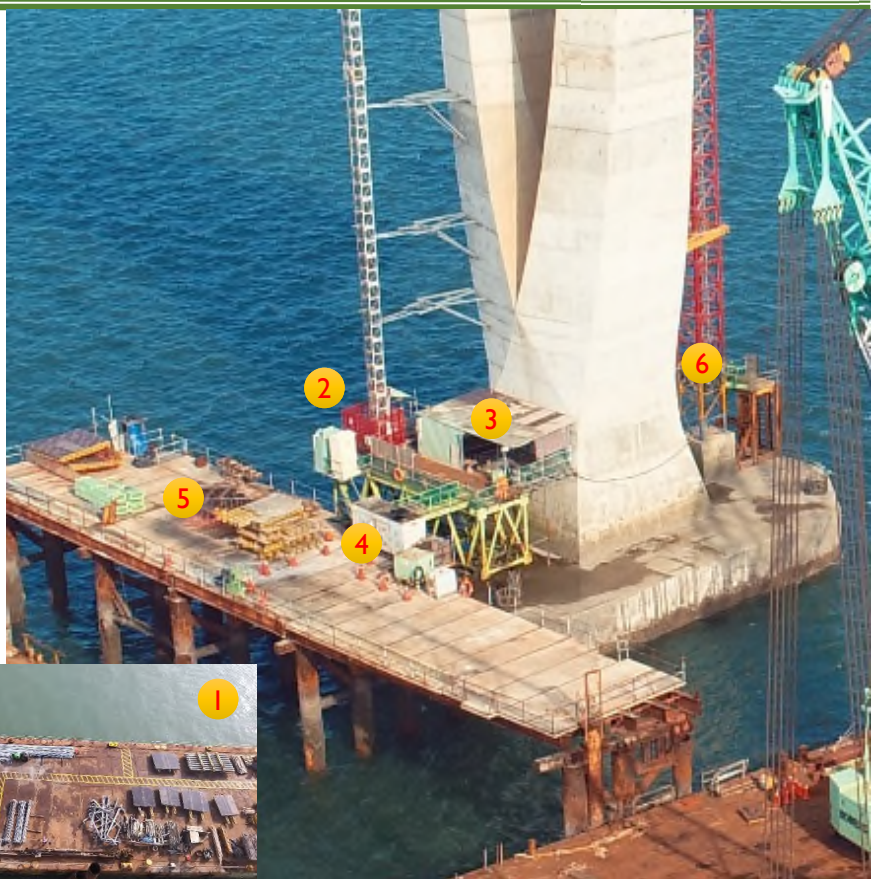
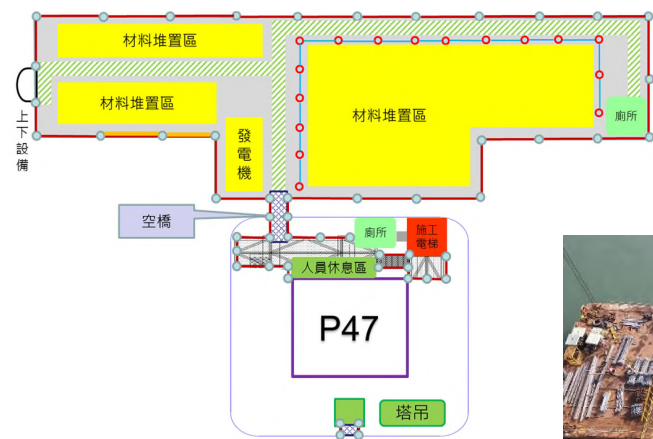
內構台



32

有限空間妥善規劃管理減少風險

- ① 平台船空間規劃
- ② 施工電梯
- ③ 人員休息區
- ④ 發電機
- ⑤ 材料暫置區
- ⑥ 塔吊基礎



危害因子：模板倒塌、物體飛落、墜落

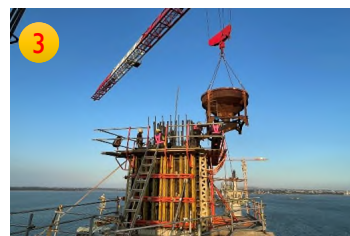
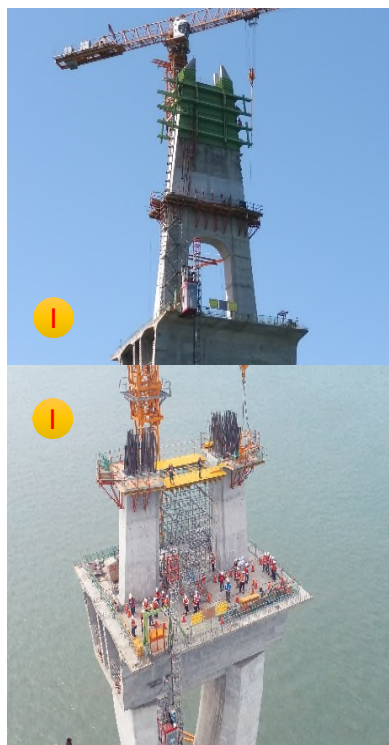
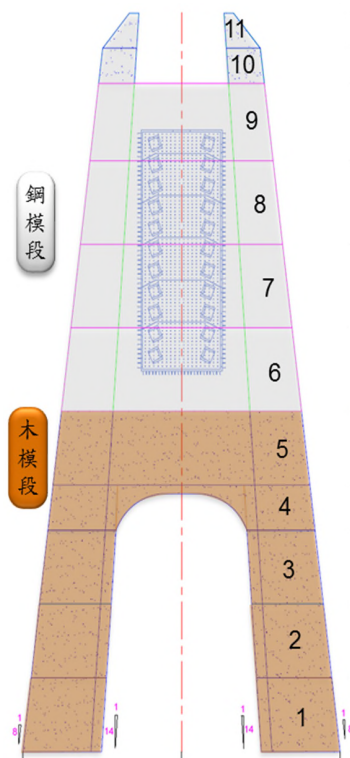
- 1 EFCO系統模板工作平台寬2.5公尺，荷重700kgf/m²，嵌入式**螺栓預埋確實及荷重限制**為管理重點
- 2 爬昇過程全程穿戴背負式安全帶
- 3 吊勾設置第三索
- 4 施工平台欄杆圈圍



■ 橋塔爬昇安全

危害因子：墜落、物體飛落

- ① PERI系統模板、鋼模設置施工平台
- ② 考量塔吊能量，橋塔錨碇鋼殼拆分成6節組裝
- ③ 受限海上拌和船壓送高度限制，混凝土壓送車二次接駁，或以吊桶配合塔吊方式澆置



35

■ 塔柱上下設備

危害因子：墜落

- 上下設備、塔吊、施工電梯設置壁連桿事先規劃預埋，與結構物確實連結
- 上下設備荷重限制

- ① 上下設備壁連桿
- ② 施工電梯壁連桿



36

■ 海上節塊吊裝與陸域差異

- 節塊需由船舶運載餵料
- 動態環境起吊



37

■ 節塊運輸安全

危害因子：墜落、物體飛落、船舶航行安全

- 船舶運輸取得詳細的氣象/海象預報資訊。
- 浪高 $\geq 1.5\text{m}$ 暫停平台船運輸
- 節塊裝船配置及**固定**
- 運輸船舶於公海航行時，依國際海上避碰規則
- 鄰近小三通航道時，遵照交維及警示措施



1



3

2

- 1 興達港裝船碼頭
- 2 底部固定措施
- 3 楔形木墊塊支承確保節塊垂直



38

■海上節塊吊裝安全

危害因子：墜落、物體飛落

- 吊裝海浪/海象環境確認
- 瞬間陣風如超出10M/S(≥ 6 級風)，暫停吊掛作業
- 節塊起吊後船舶即刻退出投影面
- 鄰近小三通航道時，遵照交維及警示措施



手持風速計/塔吊風速計



39



2020.06.29
2022.06.29



2021.06.26
2022.06.25



攝影：吳家興



40



橋梁全線於111年7月21合龍

41

肆

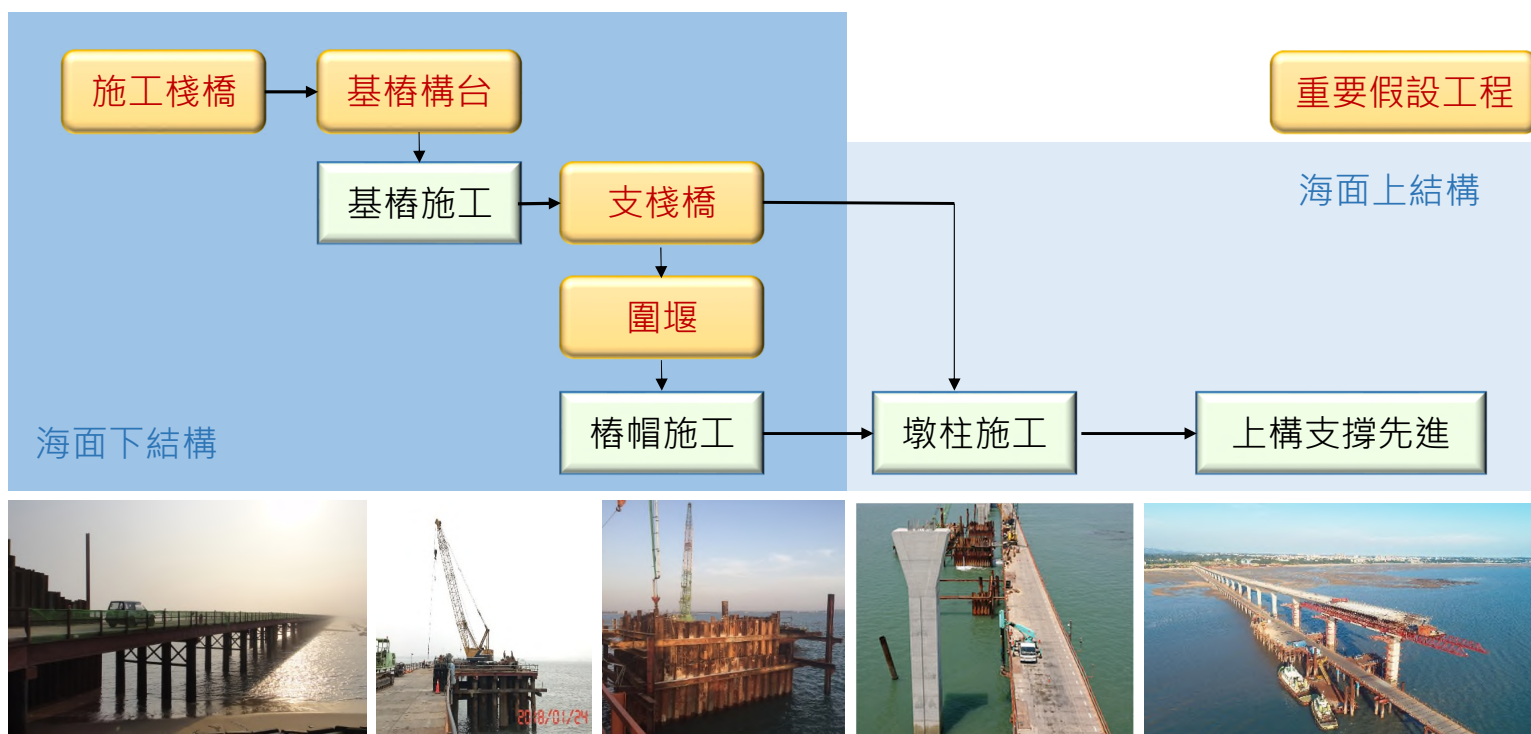
淺灘區引橋施工安全

施工棧橋-創造海上的施工便道



金門大橋利用施工棧橋運送物資達60餘萬噸！

■ 引橋施工主要假設工程



43

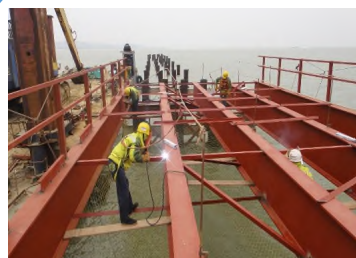
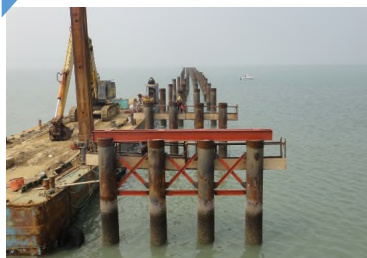
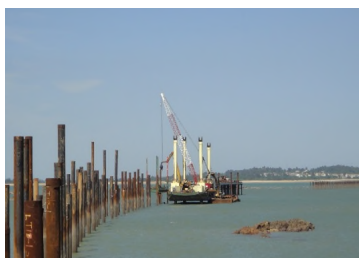
肆 淺灘區引橋施工安全 - 施工棧橋1/4

■ 施工棧橋 施工流程及安全對策

- 淺灘區打設鋼管作為施工棧橋承載樁
- 金門端1公里、烈嶼端2公里、提供運輸動線

危害因子：鋼樁承載力不足、構件倒塌、船舶穩定、海象、墜落、溺水

- ① 鋼管樁打入施工
- ② 鋼管樁平聯
- ③ 主梁聯結
- ④ 鋪設覆工版



- 船機適航性評估/起重機
- 確認鋼管樁立柱位置及入海床深度
- 確認棧橋上部結構構件銲接
- 救生衣/救生圈

- 自動電擊防止裝置/漏電斷路開關防電擊
- 合格吊籠
- 安全帶/安全母索/防墜器
- 救生衣/救生圈

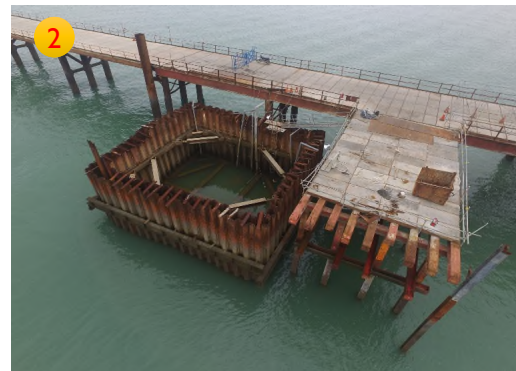
金門大橋施工棧橋立柱共851支，每支都有履歷！

44

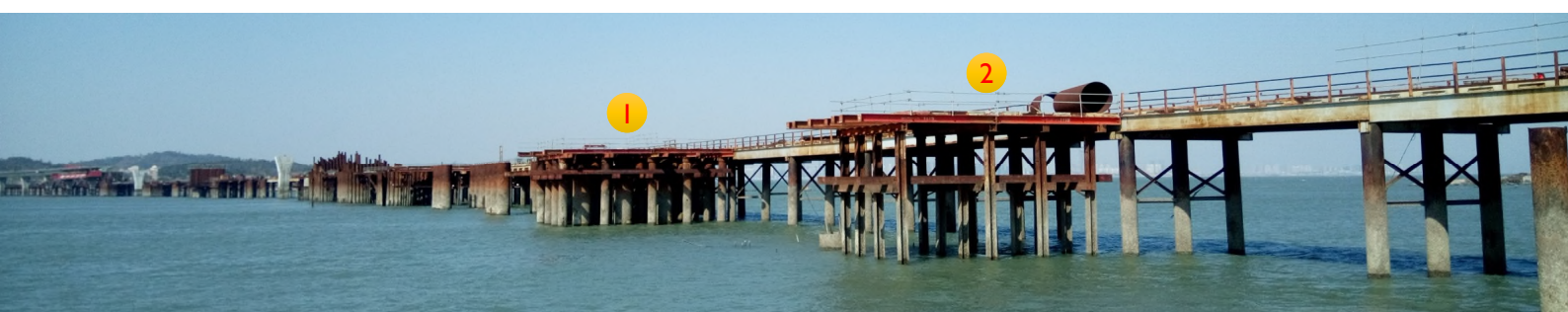
■ 棧橋側邊設置基樁構台及支棧橋

- 沿棧橋搭設基樁構台、支棧橋提供引橋施工空間
- 設計高程+4.2m

- 1 基樁構台
- 2 支棧橋



危害因子：鋼樁承載力不足、構件崩塌



45

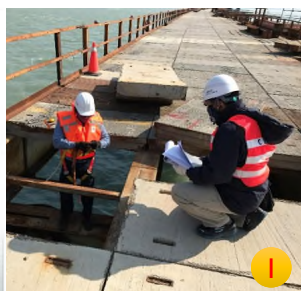
肆 淺灘區引橋施工安全-施工棧橋3/4

■ 施工棧橋管理1/2

施工棧橋前後使用近10年

■ 鋼結構安全管理

- 1 技師公會安全鑑定
- 2 鋼管樁防蝕塗裝
- 3 由海上巡檢棧橋構件
- 4 橋面覆工板維護



危害因子：墜落、棧橋崩塌



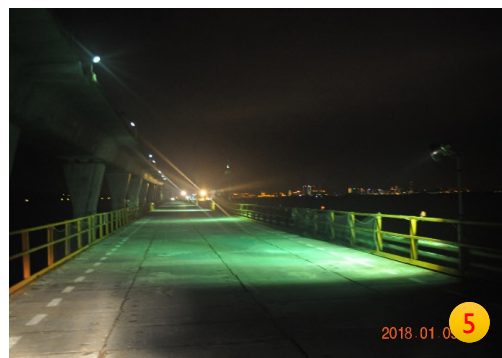
46

■ 施工棧橋管理2/2

危害因子：墜落、棧橋崩塌、車輛落海

■ 使用管理

- ① 限重、限速、空間管理、人車分流
- ② 預拌車駕駛勤前路線告知
- ③ 迴車遵從指揮
- ④ 暫置物料固定
- ⑤ 夜間警示及照明



47

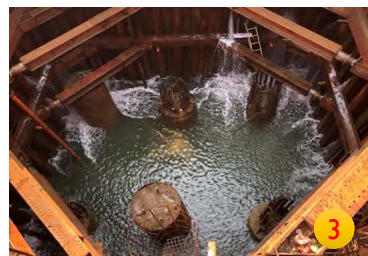
肆 淺灘區引橋施工安全-雙層鋼板樁圍堰

■ 雙層鋼板樁圍堰滲水處理

危害因子：圍堰結構倒崩塌、溺水

- 海床軟硬岩盤交錯，板樁產生間隙
- 板樁間回填材CLSM固結過程中因潮差致圍堰底層滲漏
- 配合低潮位澆置CLSM、內支撐配合潮汐分層施工
- 板樁間回填材CLSM低壓灌漿固結改良

- ① 鋼板樁使用船機及棧橋打設
- ② CLSM澆置
- ③ 滲水情形、固結灌漿



48