

# 金門大橋工程研討會

◎ 2019 / 4 / 17 (WED)

## 鋼箱圍堰之設計規劃 與施工挑戰

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

金門大橋鋼箱圍堰施工範圍

2

鋼箱圍堰系統簡介

3

鋼箱圍堰施工規劃考量

4

鋼箱圍堰主要施工階段

5

鋼箱圍堰施工挑戰

6

結語





## 施工範圍

金門大橋

## 橋梁配置

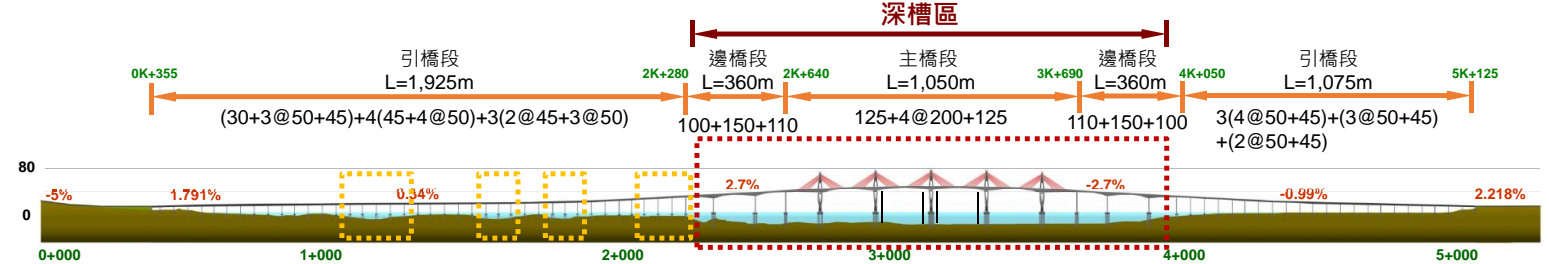
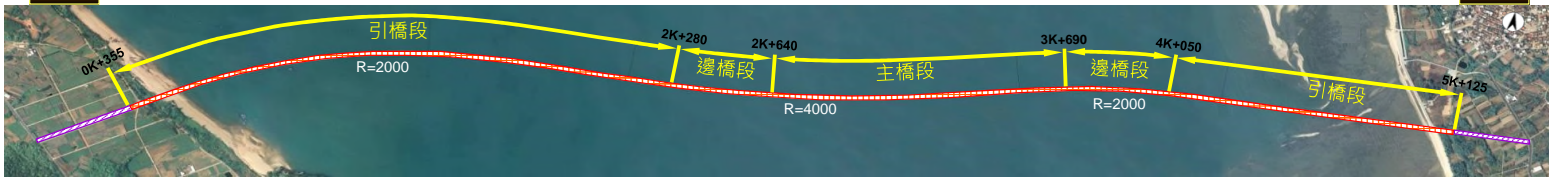
依橋梁位置區分為主橋段、邊橋段及引橋段三部分

烈嶼端

路段：▨

橋梁段：▨

金門端



橋梁段全長4.77公里

深槽區鋼箱圍堰：P41 ~ P51，合計11座

引橋段鋼箱圍堰：合計15座

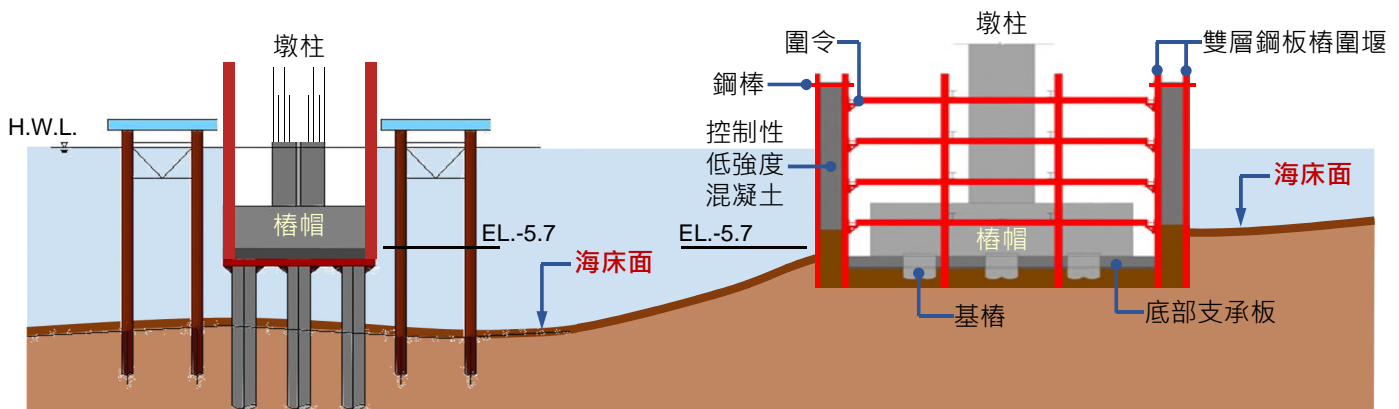
## 施工範圍

金門大橋

## 基礎圍堰型式規劃

■ 樁帽因各墩位海床位置不同，而有海床面下與海床面上之情形差異：

- 樁帽底位於海床面上，採用鋼箱圍堰施工（主邊橋、部分引橋）。
- 樁帽底位於海床面下，採用雙層鋼板樁圍堰施工（引橋段）。



鋼箱圍堰示意圖

雙層鋼板樁圍堰示意圖

## 鋼箱圍堰型式

- 本工程橋梁均採樁基礎型式，於考量樁帽施工時臨時圍堰之施工性及經濟性，當橋墩樁帽底緣距離海床面達**1.3m**以上時，即配合採**鋼箱圍堰系統**施工。
- 配合樁帽設計型式，深槽區計有**5種**不同型式鋼箱圍堰系統：

橋型	樁帽尺寸(m)	樁帽厚度(m)	個數
引橋	11.0×11.0	2.5	3
	11.0×9.0	2.5	10
	7.5×7.5	2.5	2
邊橋	18.4×16.8	4.0	4
	16.8×13.6	4.0	2
主橋	23.0×21.0	5.0	3
	29.0×21.0	5.0	1
	29.0×23.0	5.0	1

深槽區鋼箱圍堰  
合計11座



鋼箱圍堰及下構施工情形

## 系統簡介

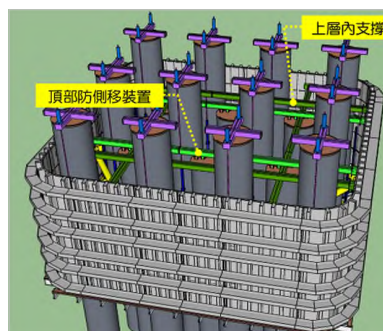
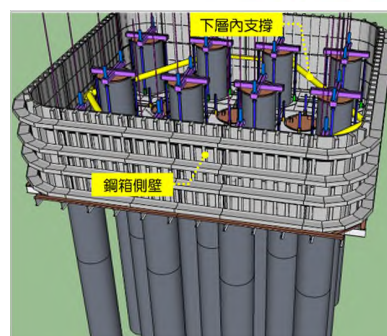
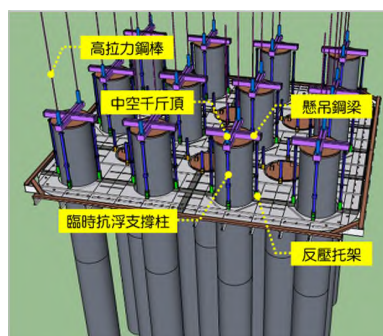
### 鋼箱圍堰系統簡介

#### 系統主要構件：

- 底板、鋼箱側壁及內支撐系統
- 下放系統（懸吊鋼梁、千斤頂、高拉力鋼棒）
- 臨時抗浮支撐
- 反壓托架
- 頂部側移防制裝置
- 上層及下層限位千斤頂
- 止漏封板
- 封底混凝土

#### 附屬設施：

- 施工走道
- 抽排水設施
- 監測設施

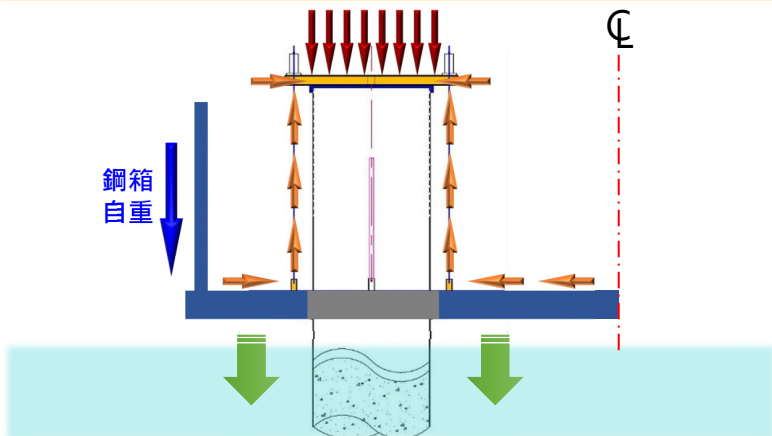


鋼箱工廠預組情形



## 下放系統

- 50T中空千斤頂（油壓控制）。
- 36mm $\Phi$ 高拉力螺旋鋼棒。
- 鋼棒上部傳力於懸吊鋼梁。
- 鋼棒下部藉由基座結合底板系統主梁。



- 下放階段載重傳遞路徑：  
鋼箱自重→底部基座→鋼棒→千斤頂→  
懸吊鋼梁→基樁外套鋼管

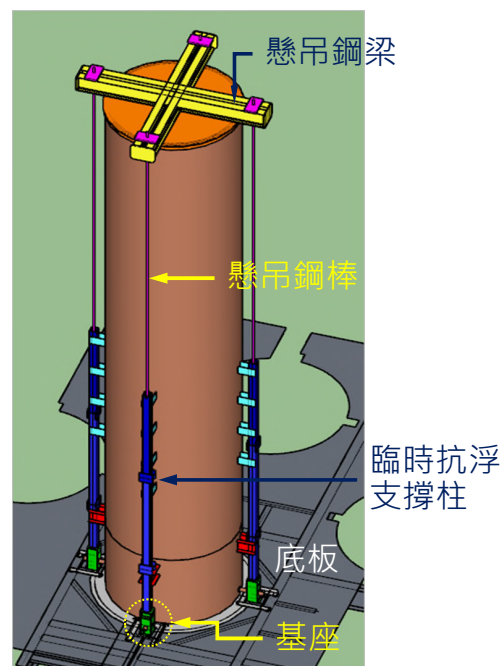
## 懸吊設施：高拉力鋼棒

## 懸吊鋼棒頂部：

- 2I-400×150組成十字型懸吊鋼梁。
- 鋼棒自懸吊鋼梁及臨時抗浮支撐柱中間穿過。
- 設置4支吊桿，對向二吊桿為一組，一組千斤頂下放時使用，另一組於澆置封底混凝土前增設。

## 懸吊鋼棒底部：

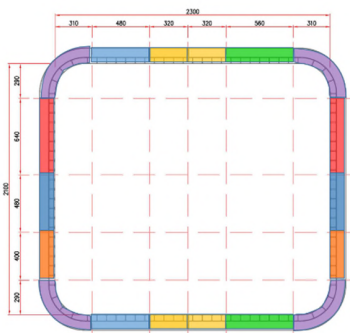
- 懸吊鋼棒基座（與臨時抗浮支撐柱共構）。
- 基座與鋼箱底板主梁銲接成一體，以傳遞載重。



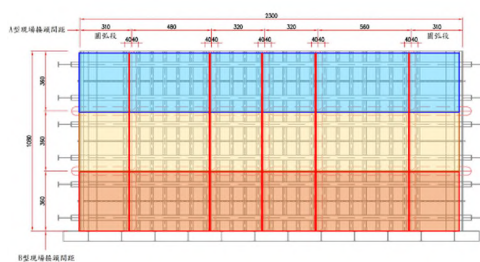


## 鋼箱側壁

- 為圍堰施工期間阻水擋浪，維持工作面為乾式施工環境之主要構件，其由鋼板模面、縱向與橫向型鋼貫材所組成。
- 鋼箱側壁區分單元設計，除須考量強度與安全之要求外，需具備易於轉用之功能，亦須具備易於組裝拆解之需求，以利海上及水中作業。



鋼箱側壁平面單元規劃



鋼箱側壁立面單元規劃



本工程單壁式鋼箱圍堰



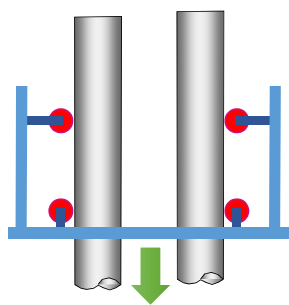
其他工程示意圖  
雙壁式鋼箱圍堰

## 鋼箱下放期間防晃動及導引設施

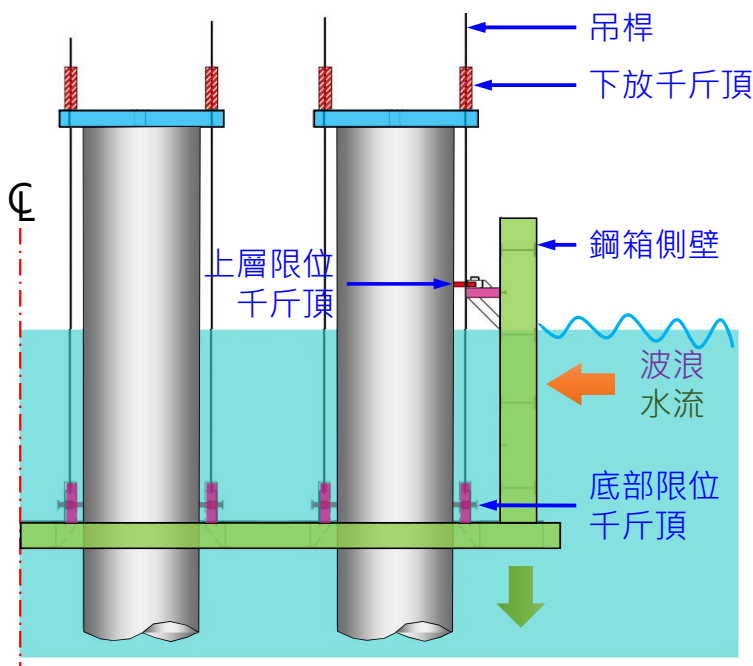
- 藉由上下兩層之限位千斤頂抑制下放期間之晃動效應。
- 調整限位千斤頂與外套鋼管間隙約1cm。
- 定位後鎖固上下兩層之限位千斤頂，以提供鋼箱系統水平方向之束制。



上層限位千斤頂



下放導引機制

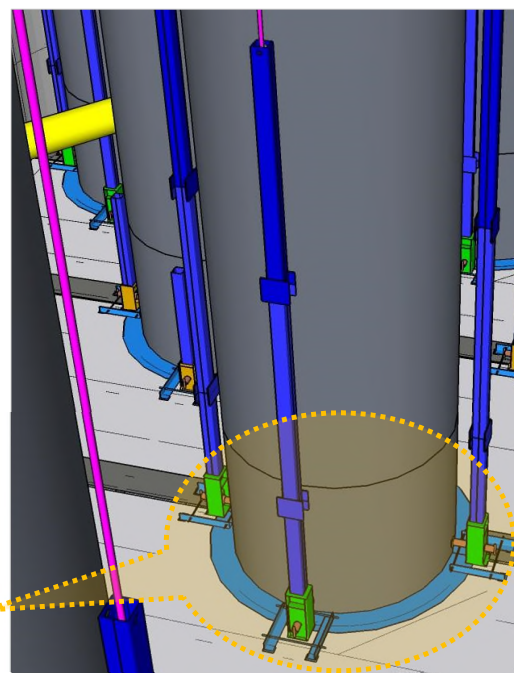
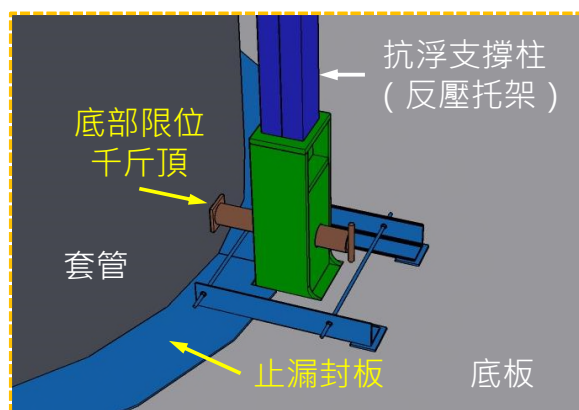


## 底部防側移裝置及止漏封板

- 每樁位設置四處底部限位千斤頂，於鋼箱測量定位後水下鎖固。
- 止漏封板功用為密封鋼箱底板及外套鋼管間之空隙，鋼箱下放後須由潛水人員水下密封止漏封板方能澆置第一次封底混凝土。

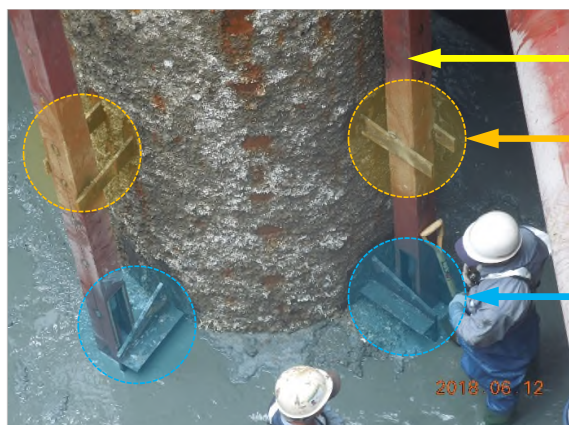


底部限位千斤頂



## 臨時抗浮支撐 >>> 圍堰內部抽水階段臨時性抵抗浮力

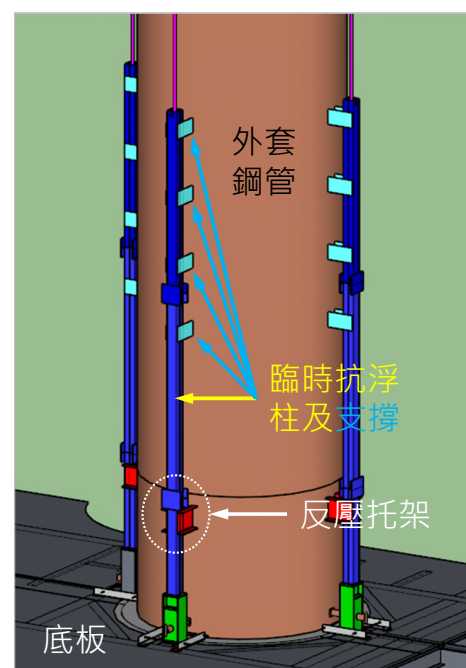
- 須配合每階段抽水作業逐步施作。
- 臨時抗浮支撐為整體浮力轉換至外套鋼管之臨時措施，其目的在使所有浮力轉換設施均可於乾式環境下施工，以確保銲接品質。



臨時抗浮支撐柱

臨時抗浮支撐

反壓托架

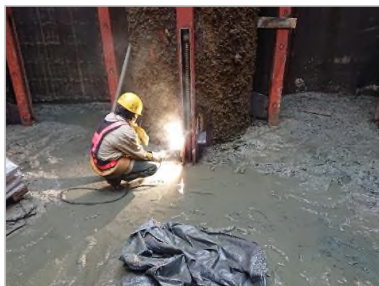




## 反壓托架

樁帽施工時抵抗整體浮力、重力

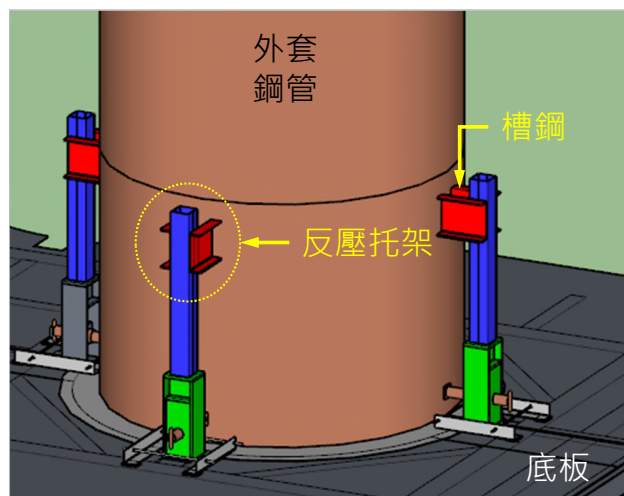
- 反壓托架為第二次封底混凝土澆置前，在乾式環境下進行槽鋼銲接施工。
- 反壓托架為外套鋼管截斷後，鋼箱系統抵抗浮力及垂直載重之主要機制。



反壓托架銲接

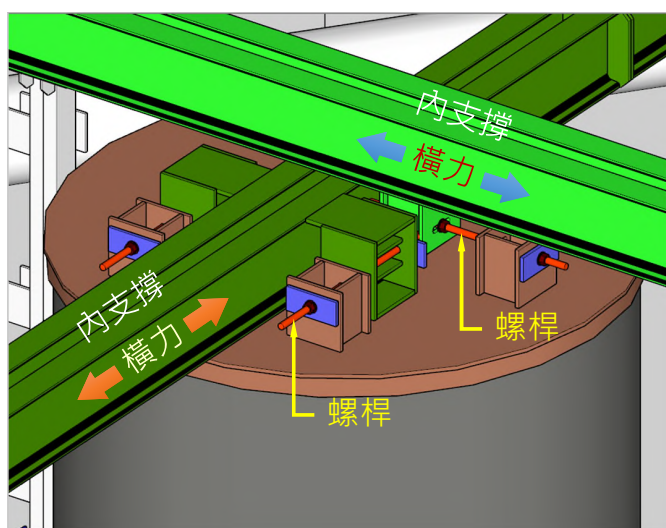


套管截斷前施工情形

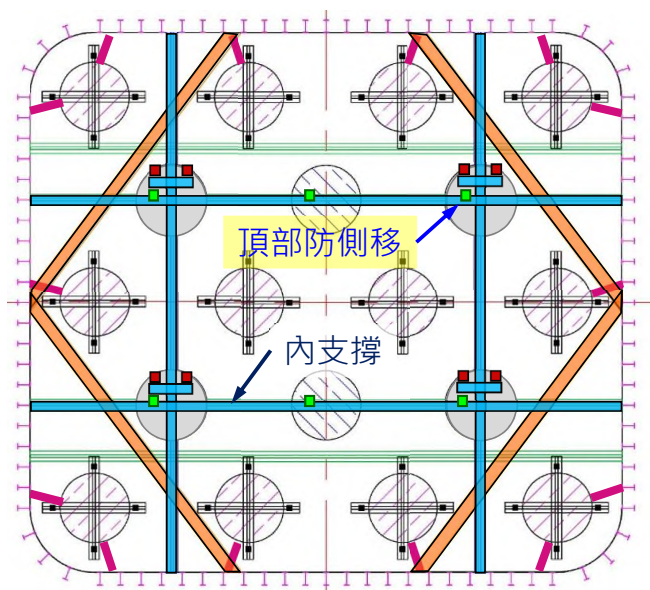


## 頂部側移抑制裝置

傳遞內支撐所受波浪及水流等衝擊載重，藉此抑制鋼箱壁體振動



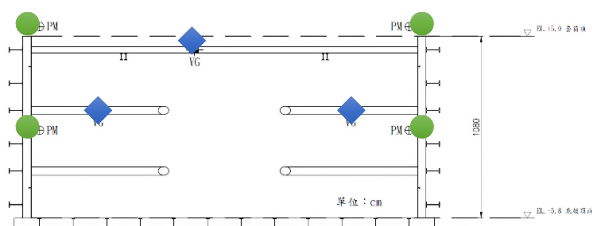
頂部防側移裝置模擬示意圖



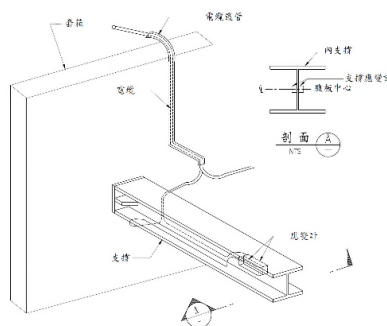
## 作業期間監測設施

除高潮位外，於鋼箱吊裝及澆置封底混凝土與樁帽等分項作業前後，均須觀測。

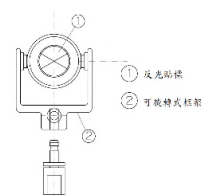
儀器項目	表示符號	監測頻率 (抽水期間)	監測頻率 (樁帽施工期間)	警戒值	行動值
支撐應變計	◆VG	每日高潮位時一次	每周兩次	設計降伏強度之60%	設計降伏強度之100%
反光規標	●PM	每日高潮位時一次	每周兩次	15mm	20mm



監測設施立面配置



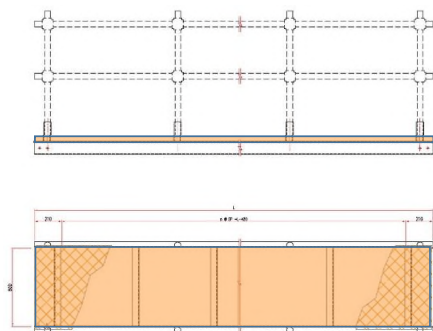
支撐應變計示意圖



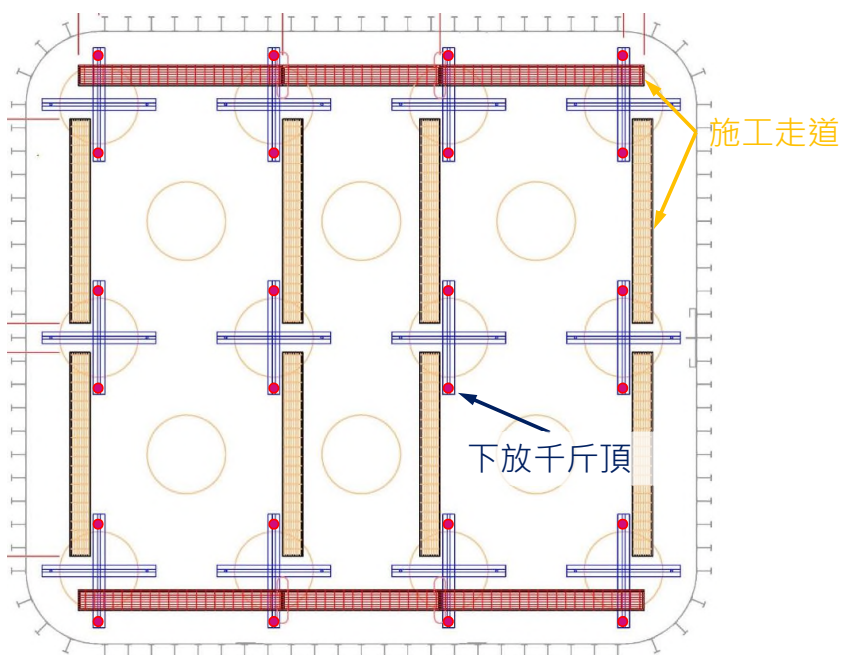
反光規標示意圖

## 套管頂部施工走道

- 配合千斤頂、鋼棒吊桿施工。
- 以槽鋼、角鋼製作。
- 配合施工人員進出。



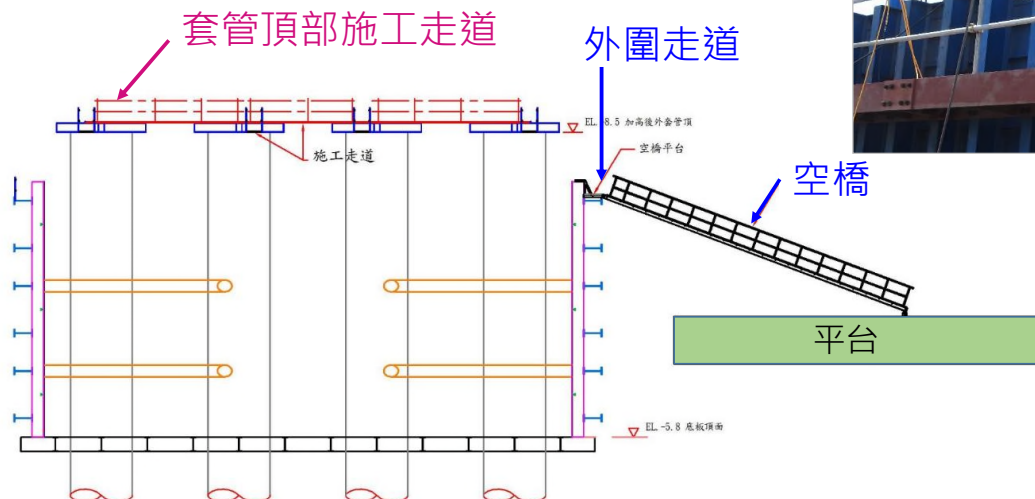
走道平、立面圖





## 鋼箱外圍施工走道

- 配合施工人員進出。



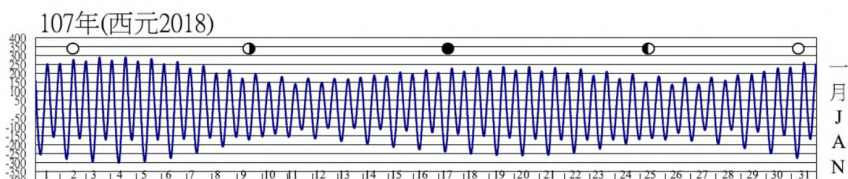
外圍走道照片



## 規劃考量

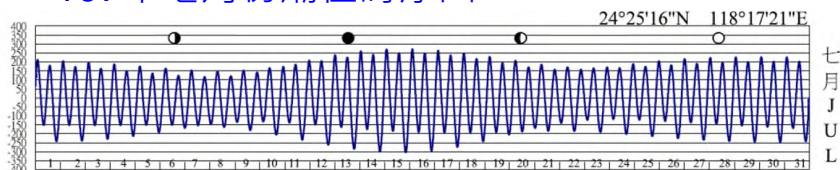
## 鄰近水頭測站潮汐資料

### 107年一月份潮位時序圖



滿月時潮差最大

### 107年七月份潮位時序圖



新月時潮差最大

### 中央氣象局提供之潮位資料

一月份水頭潮汐					
	潮時	潮高		潮時	潮高
2 ○	05:47	-285	25 L	17 ●	06:23 -245 65 L
	12:21	273	583 H		12:46 224 533 H
	18:17	-171	139 L		18:38 -147 163 L

約6小時

●上弦 1st quarter ○滿月 Full moon ●下弦 3rd quarter ●新月 New moon

七月份水頭潮汐					
	潮時	潮高		潮時	潮高
13 ●	00:08	232	542 H	28 ○	00:44 217 527 H
	06:07	-168	141 L		06:41 -152 158 L
	11:57	219	529 H		12:31 191 501 H
	18:28	-290	19 L		19:00 -247 63 L

約6小時

低於EL.0時低潮位時段約僅6小時

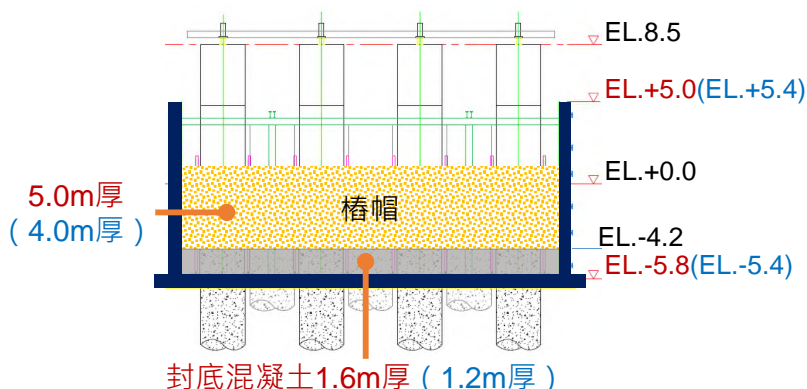
## 高程規劃

### ■ 鋼箱設計高程

- 主邊橋樁帽底緣設計高程均為EL.-4.2m，鋼箱高10.8m。
- 主橋封底混凝土厚1.6m，鋼箱底部高程EL.-5.8m，頂部高程EL.+5.0m。
- 邊橋封底混凝土厚1.2m，鋼箱底部高程EL.-5.4m、頂部高程EL.+5.4m。

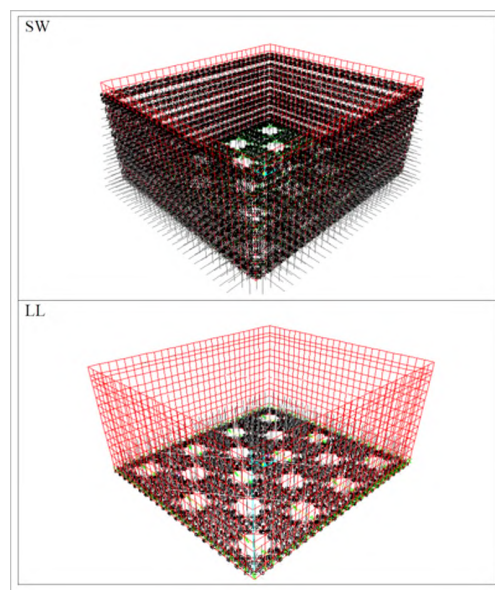
### ■ 潮位資料

設計潮位 (D.W.L.)	EL. +3.61m
最高高潮位 (H.H.W.L.)	EL. +3.16m
大潮平均高潮位 (H.W.O.S.T.)	EL. +2.24m
平均高潮位 (M.H.W.L.)	EL. +1.83m
平均潮位 (M.W.L.)	EL. +0.00m
平均低潮位 (M.L.W.L.)	EL. -1.76m
大潮平均低潮位 (L.W.O.S.T.)	EL. -2.25m
最低低潮位 (L.L.W.L.)	EL. -3.14m



## 載重分析

- 鋼箱自重(DL) 鋼材單位重：7.8 tf/m<sup>3</sup>
- 混凝土自重(RC) 混凝土單位重：2.4 tf/m<sup>3</sup>
  - 封底混凝土：主橋段厚度1.6m，邊橋段厚度1.2m。
  - 樁帽混凝土：主橋樁帽厚度5.0m，邊橋樁帽厚度4.0m。
- 活載重(LL)
- 靜水壓力(SW)
- 靜水壓力為深度與水密度乘積，垂直加載於鋼箱上。
- 水流力(PW)
- 水流力 = 水流壓力 × 流經圍堰面積
- 風力(Wind)
- 風力 = 風壓力 × 受風面積
- 波浪橫力(Wave)
- 以50年迴歸期推估波浪橫力。



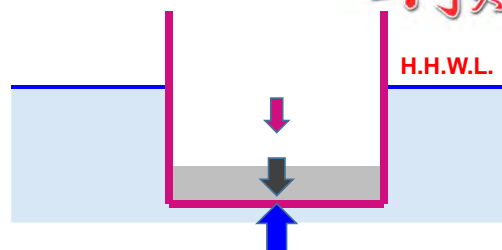
分析程式加載示意圖



## 載重分析

### ■ 鋼箱浮力

- 臨界狀態1 ( 最大浮力狀態 ) : 第一次封底混凝土澆置後，箱內海水抽乾作業期間，適逢最高高潮位。



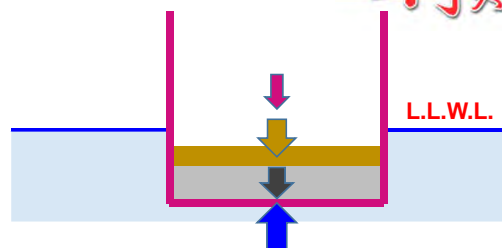
樁帽面積	樁數	浮力面積	箱重 + 第一次封底自重(A)	最高潮位	箱底高程	鋼箱總浮力(B)	浮力差額(B)-(A)	每支鋼管平均承受浮力差額
(m)×(m)	支	(m <sup>2</sup> )	(tf)	(m)	(m)	(tf)	(tf)	(tf/基樁)
P50 18.4×16.8	17	244.50	631.45	3.16	-5.4	2176.61	1545.16	90.89
P49 16.8×13.6	12	182.86	603.35	3.16	-5.4	1627.93	1024.58	85.38
P48 23.0×21.0	18	379.94	1631.94	3.16	-5.8	3540.43	1908.49	106.03
P47 29.0×21.0	22	483.04	1815.01	3.16	-5.8	4501.14	2686.13	122.10
P46 29.0×23.0	25	523.86	2248.83	3.16	-5.8	4881.55	2632.72	105.31

浮力差額概由反壓托架承擔

## 載重分析

### ■ 鋼箱浮力

- 臨界狀態2 ( 最大靜重狀態 ) : 澆置樁帽混凝土作業期間，適逢最低低潮位。



樁帽面積	樁數	浮力面積	箱重 + 封底自重(C)	1.0m樁帽自重(D)	最低潮位	鋼箱總浮力(E)	靜重差額(C)+(D)-(E)	每支鋼管平均承受靜重差額
(m)×(m)	支	(m <sup>2</sup> )	(tf)	(tf)	(m)	(tf)	(tf)	(tf/基樁)
P50 18.4×16.8	17	244.50	807.49	741.89	-3.14	574.67	974.71	57.34
P49 16.8×13.6	12	182.86	735.01	548.35	-3.14	429.80	853.56	71.13
P48 23.0×21.0	18	379.94	1905.50	1159.20	-3.14	1051.07	2013.63	111.87
P47 29.0×21.0	22	483.04	2162.80	1461.60	-3.14	1336.28	2288.12	104.01
P46 29.0×23.0	25	523.86	2626.01	1600.80	-3.14	1449.21	2777.60	111.10

靜重差額概由反壓托架承擔

步驟示意

- 基樁施工完成時之外套管狀態。

EL.+5.5



步驟示意

海上組裝過程1

- 續接外套管及安裝頂蓋。
- 焊接牛腿

EL.+8.5

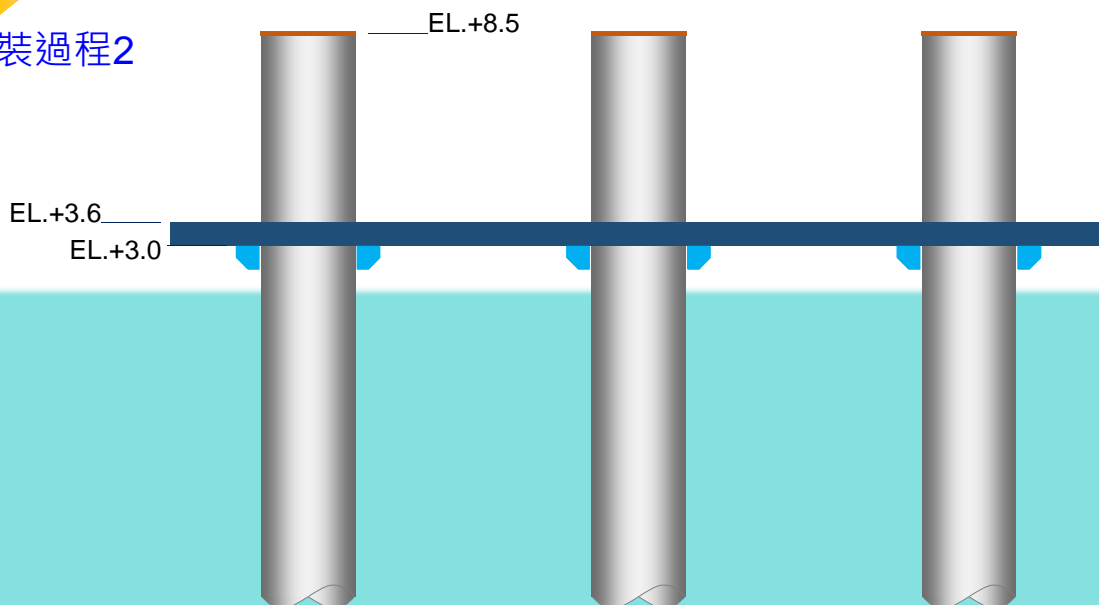
EL.+3.0





步驟示意

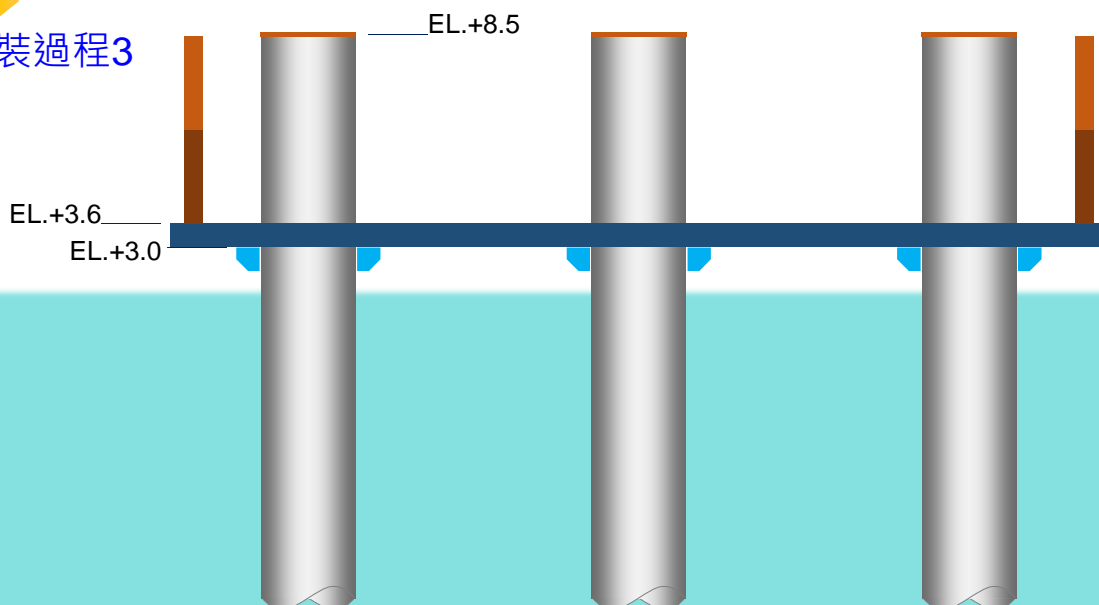
海上組裝過程2



- 鋼箱底板組裝。

步驟示意

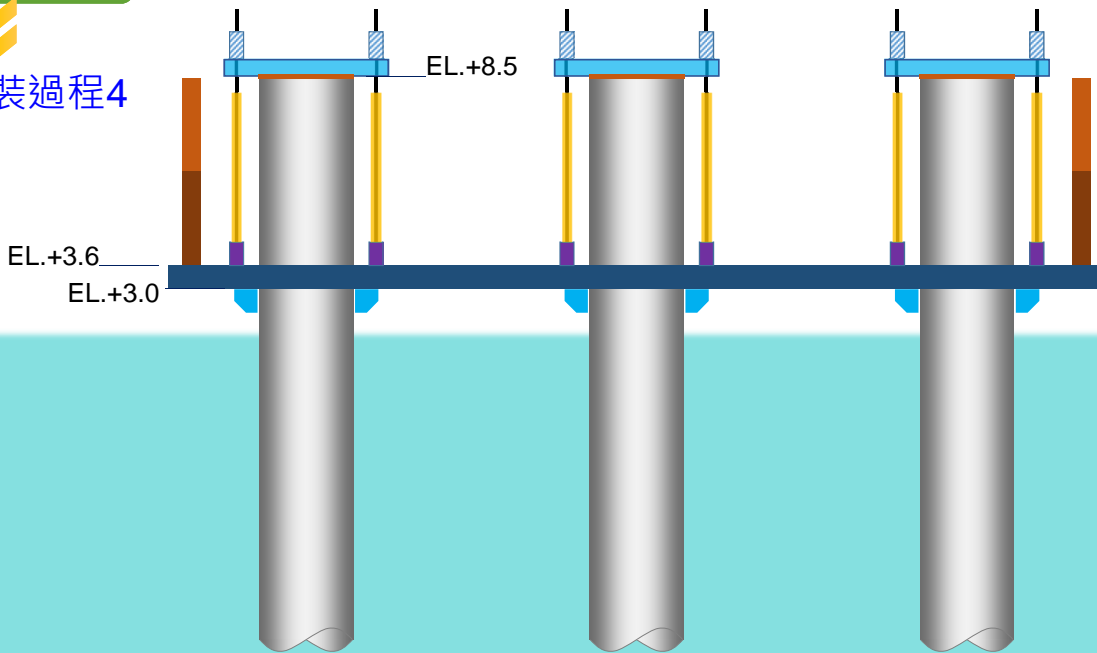
海上組裝過程3



- 安裝下、中層側壁及支撐。

步驟示意

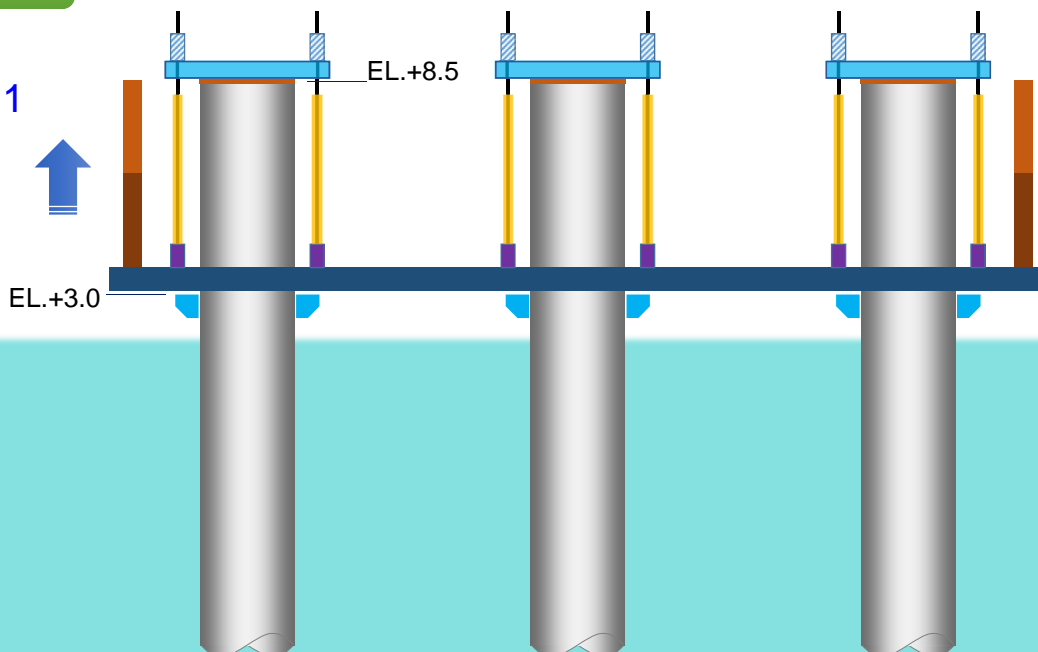
海上組裝過程4



- 安裝下放系統。

步驟示意

下放過程1

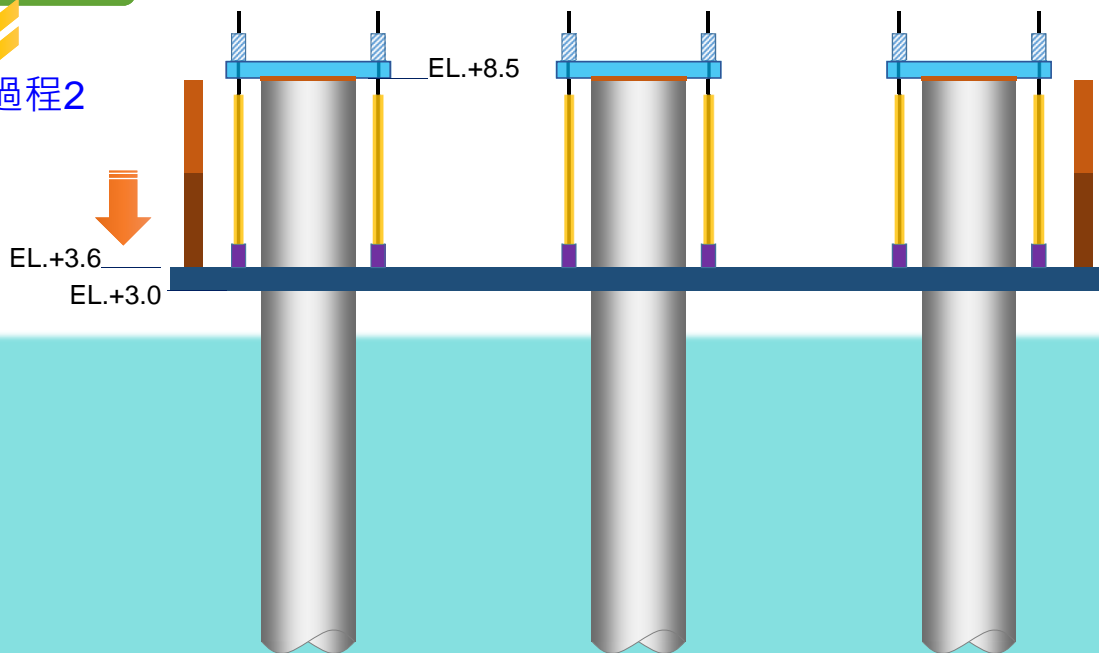


- 底板、下兩層側壁、內支撐組裝完成後須進行試提作業。



步驟示意

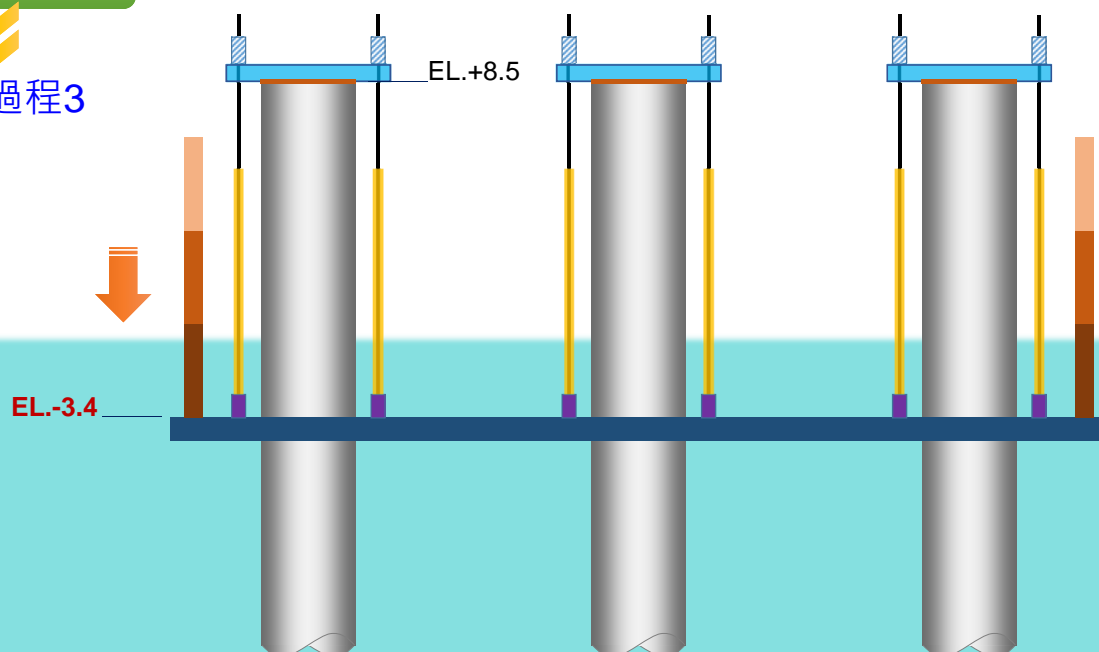
下放過程2



- 切割牛腿，準備進行第一次下放。

步驟示意

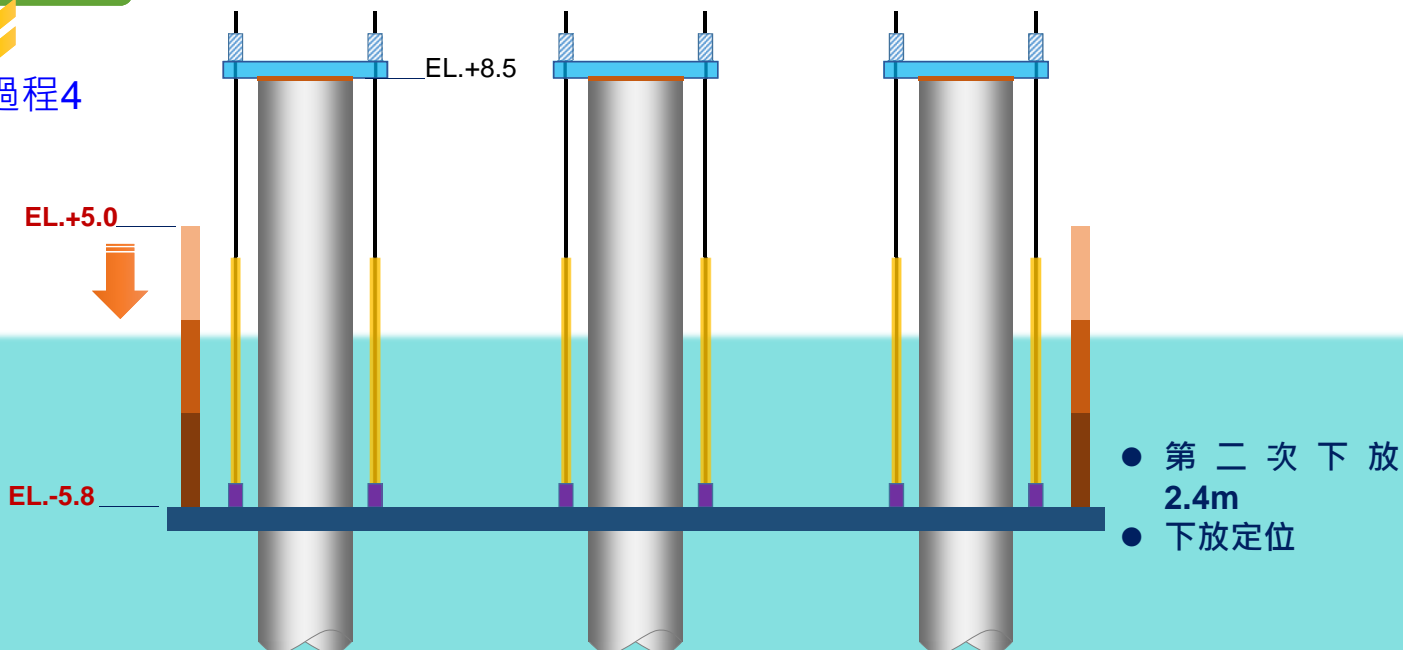
下放過程3



- 第一次下放 7m
- 組裝上層側壁及內支撐
- 續接臨時抗浮支撐柱

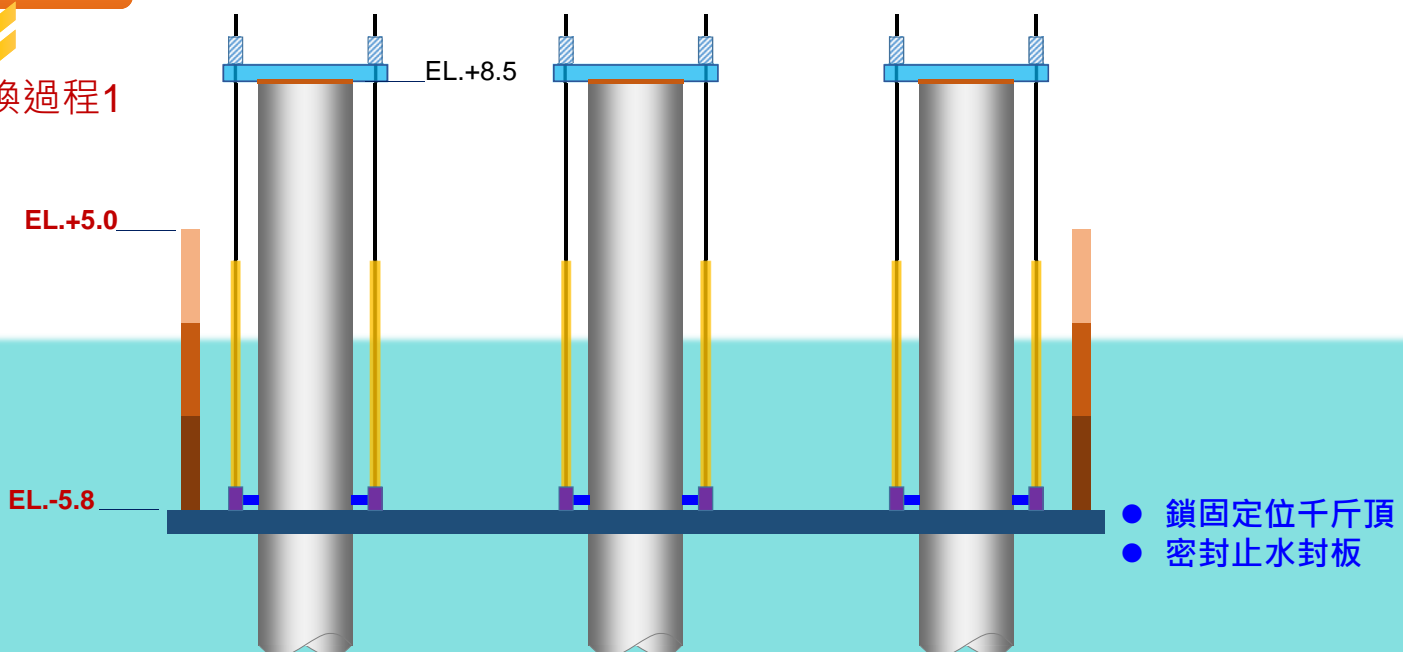
步驟示意

下放過程4



步驟示意

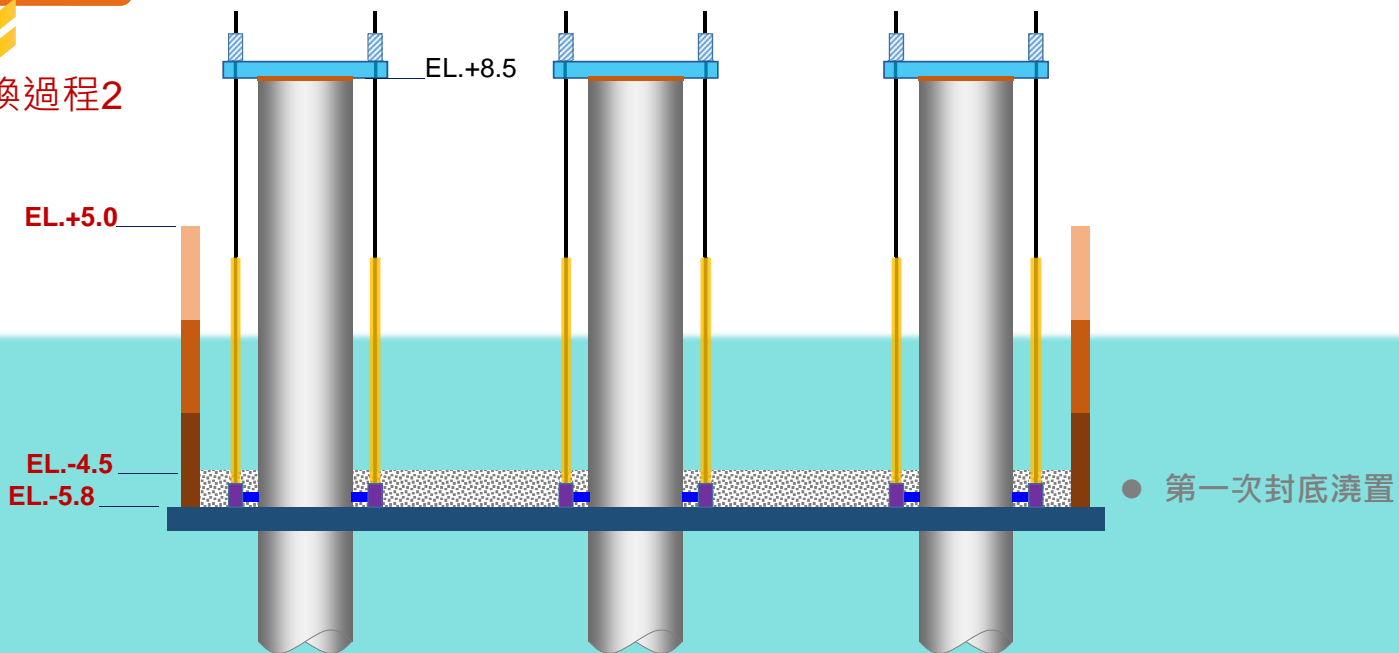
浮力轉換過程1





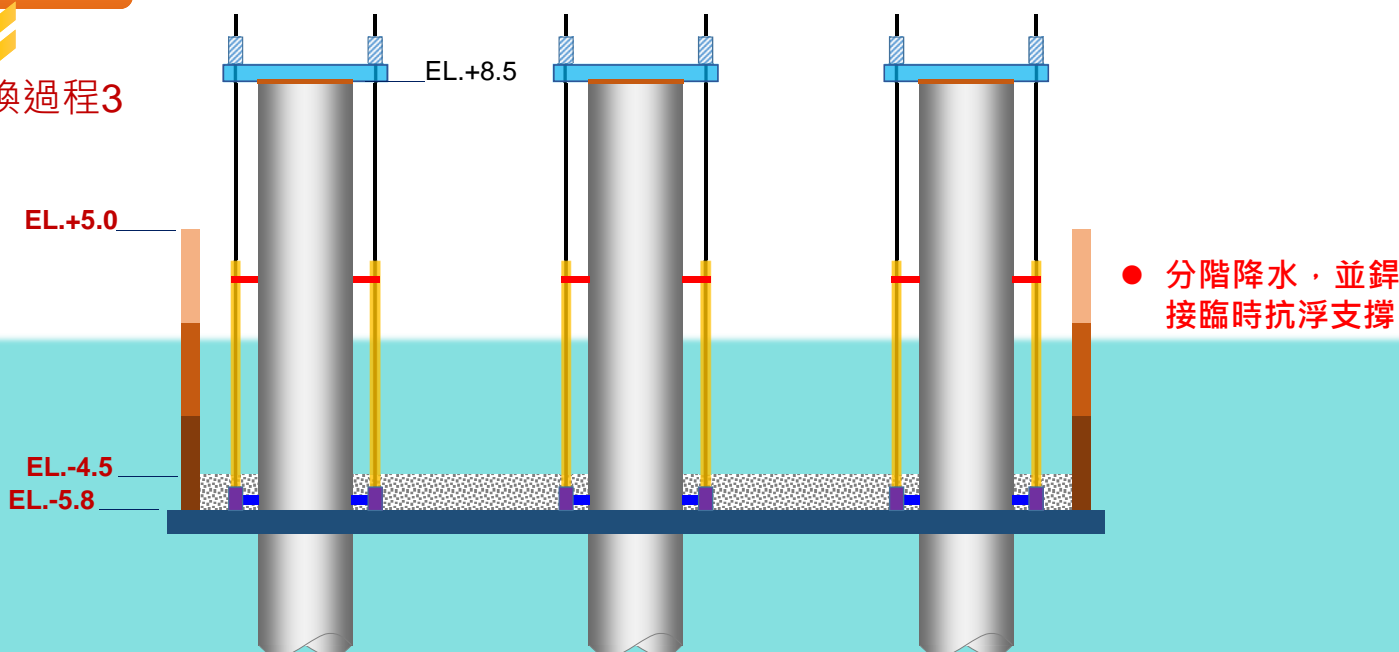
步驟示意

浮力轉換過程2



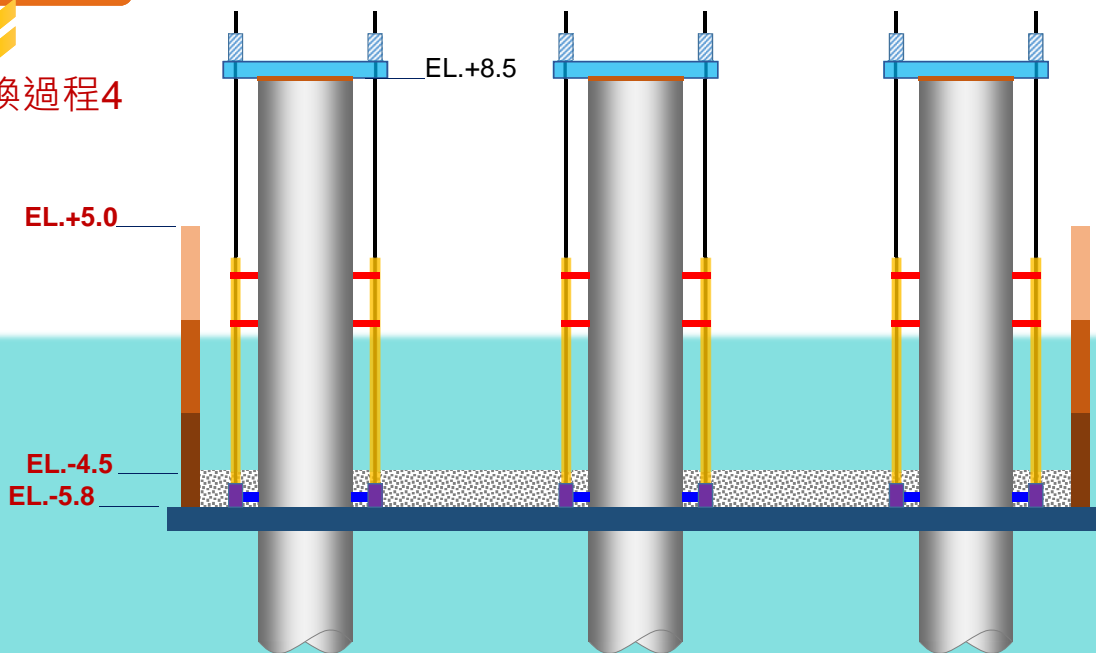
步驟示意

浮力轉換過程3



步驟示意

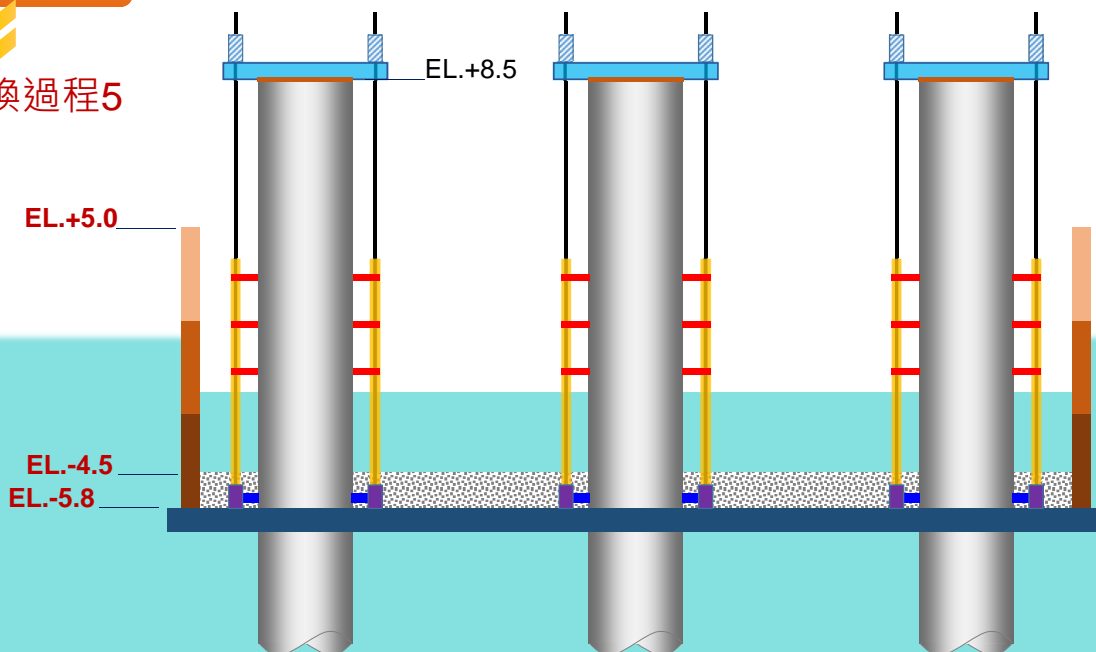
浮力轉換過程4



● 分階段降水，並銲接臨時抗浮支撐

步驟示意

浮力轉換過程5

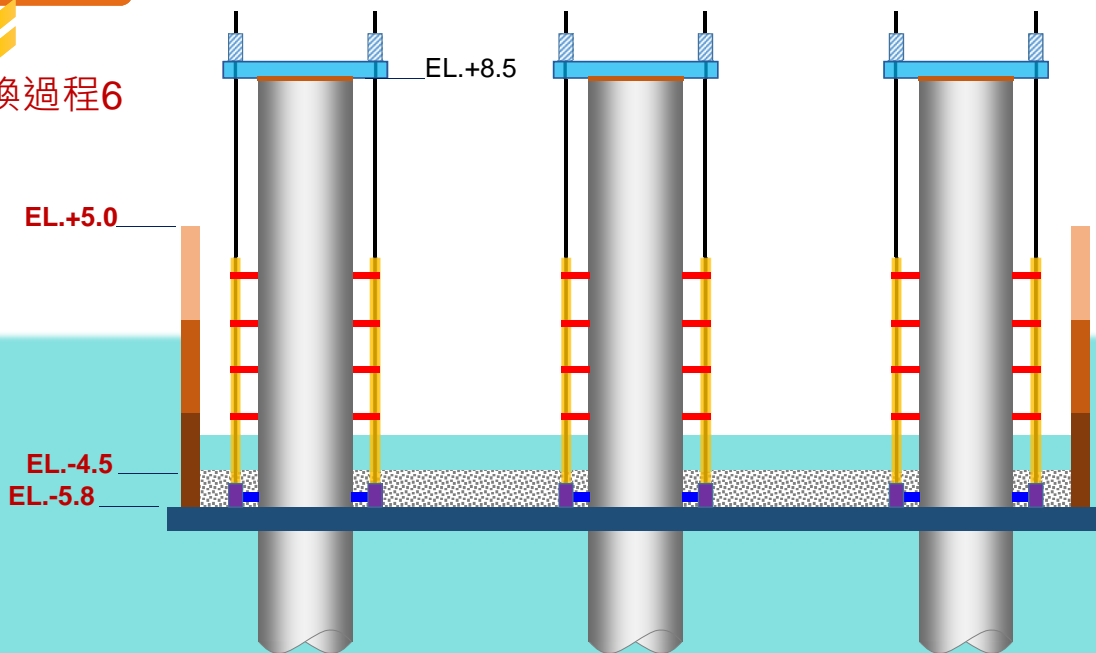


● 分階段降水，並銲接臨時抗浮支撐



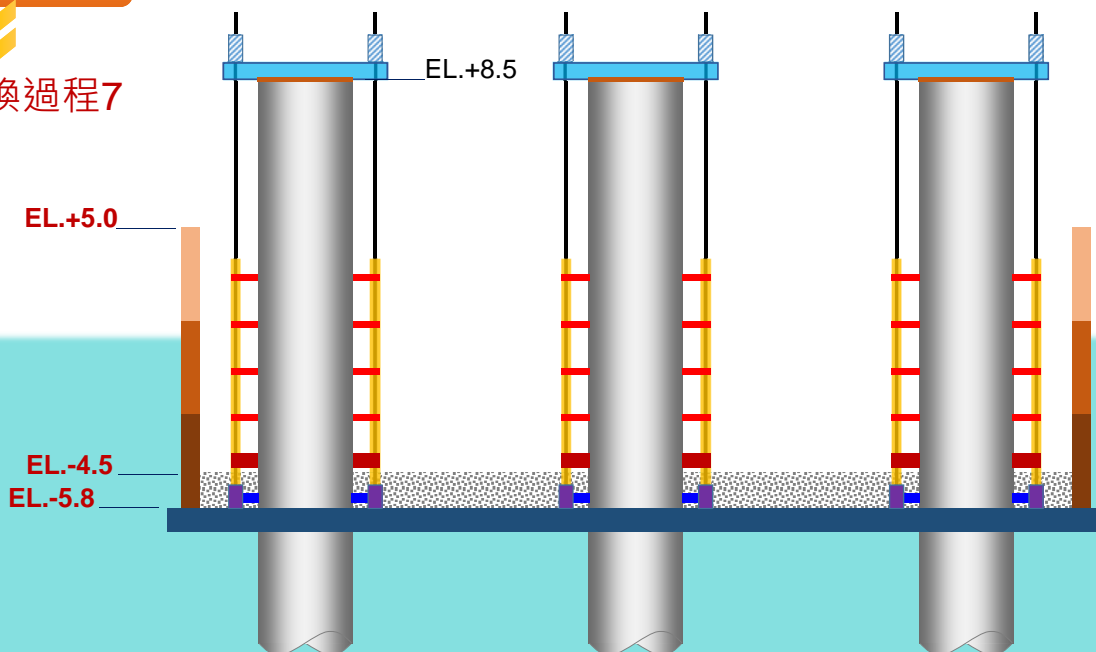
步驟示意

浮力轉換過程6



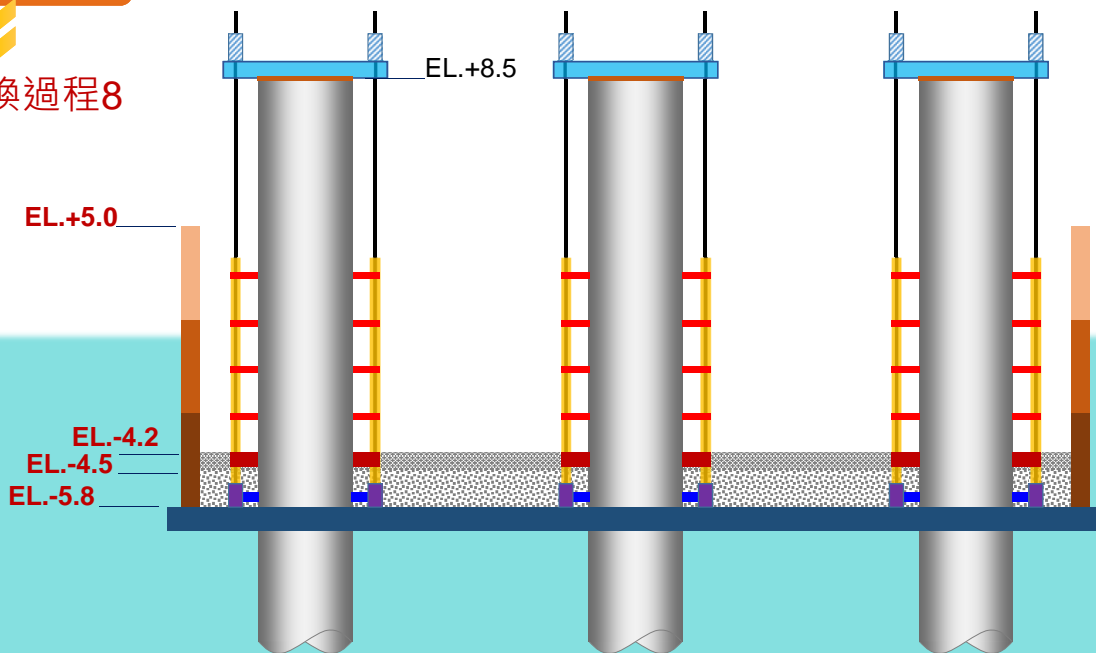
步驟示意

浮力轉換過程7



步驟示意

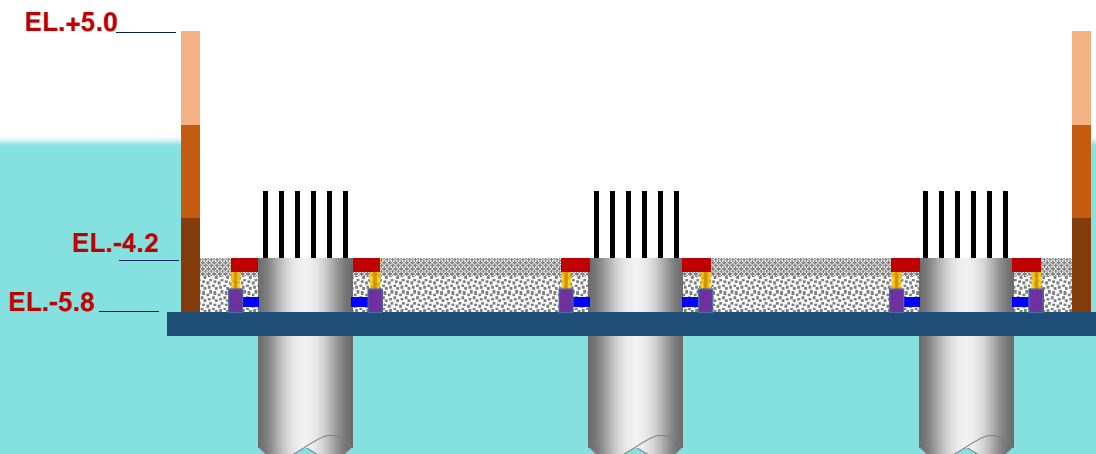
浮力轉換過程8



- 第二次封底澆置
- 浮力轉換完成

步驟示意

浮力轉換過程9



- 切除外套鋼管，續行樁頭處理等後續工作。
- 浮力及靜重差額概由反壓托架承擔。

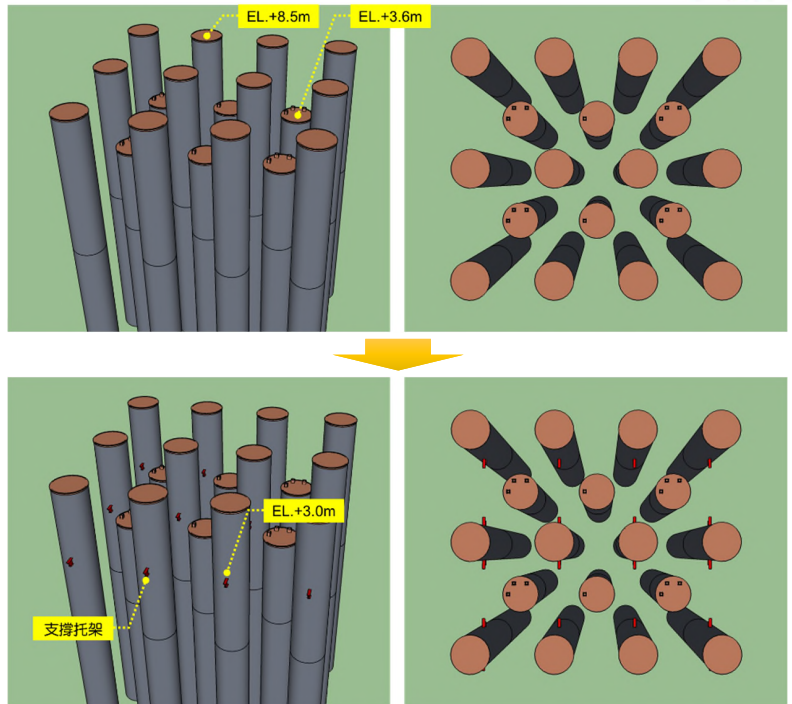


## 施工步驟1 續接套管及加蓋

- 部分基樁外套鋼管續接加高至預定高程。
- 外套鋼管頂設置加勁蓋板。
- 銲接鋼箱底板支撐托架（牛腿）。

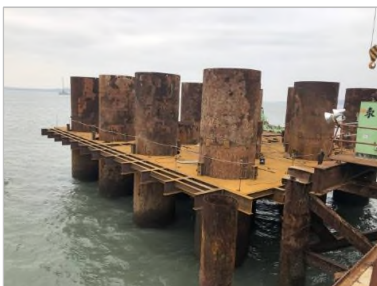


套管加高作業

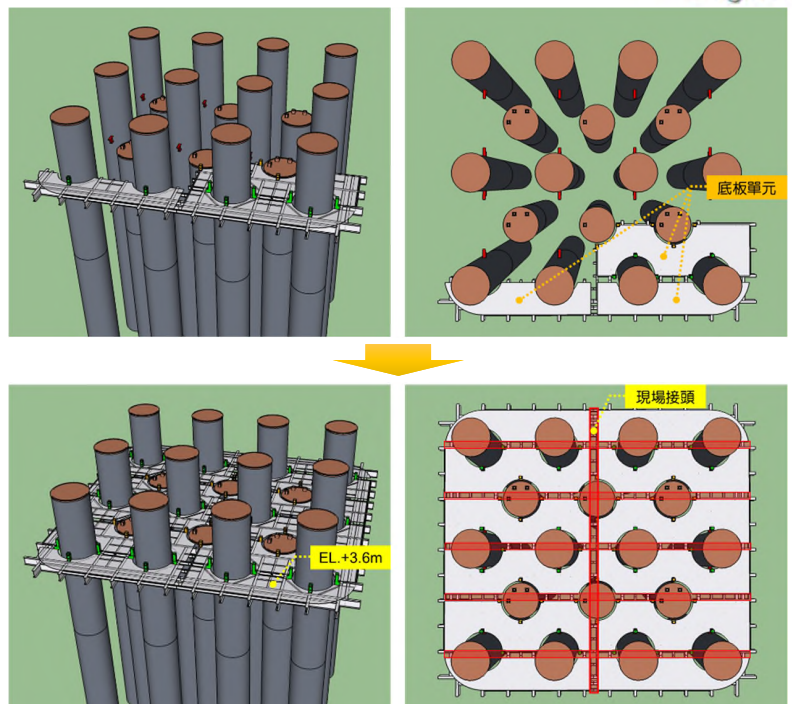


## 施工步驟2 鋼箱底板施工

- 鋼箱底板系統區分單元依序吊裝於支撐托架上。
- 相鄰單元以螺栓或銲接方式連結。
- 安裝底板單元間之頂部接合鋼板。



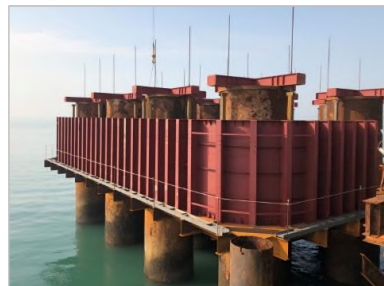
鋼箱底板施工





### 施工步驟3 >>> 安裝兩層側壁及支撐

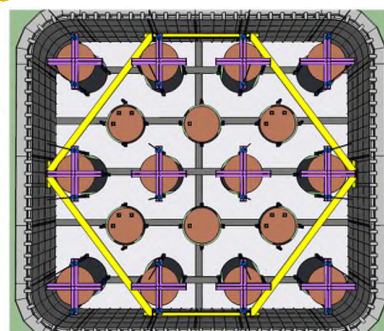
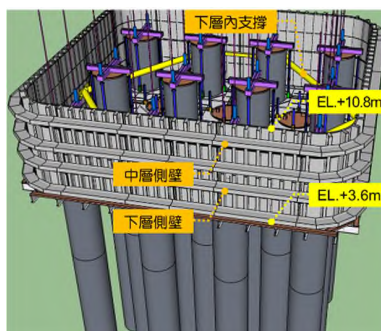
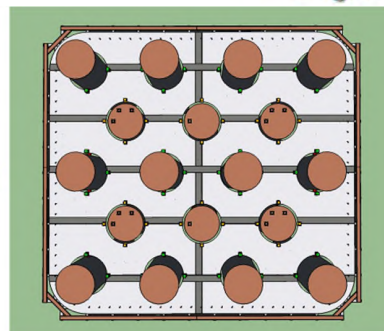
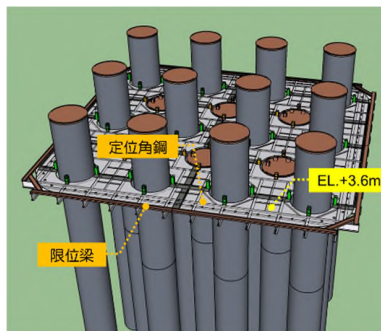
- 安裝限位梁及定位角鋼。
- 安裝鋼箱下、中層側壁及底層內支撐。
- 預組止漏封板。



下層側壁及限位梁組裝情形



止漏封板預組

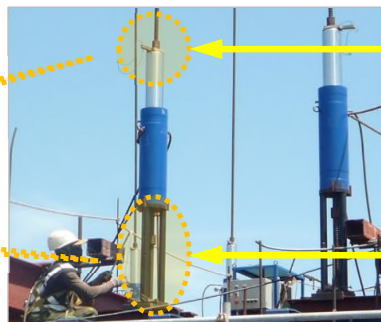
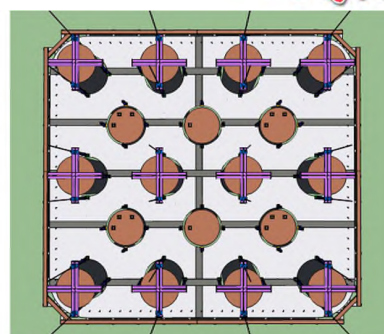
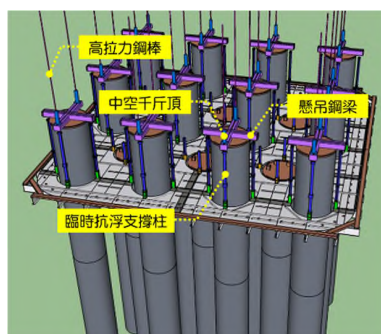


### 施工步驟4 >>> 安裝下放系統

- 安裝下放系統，包括套管頂部懸吊鋼梁、鋼棒、臨時抗浮支撐柱、中空千斤頂及油壓設備等。
- 下放過程中高拉力鋼棒須逐段以鋼棒續接套筒接續。



下放系統



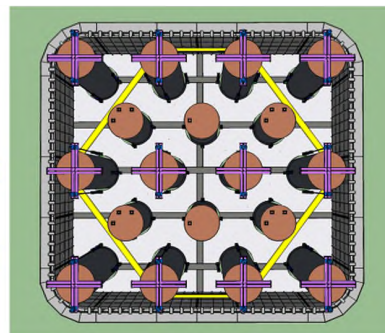
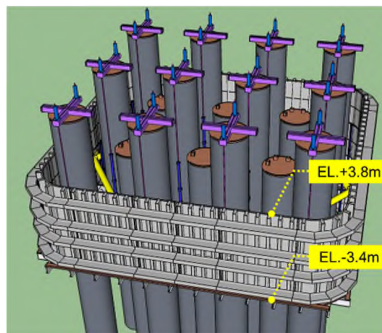
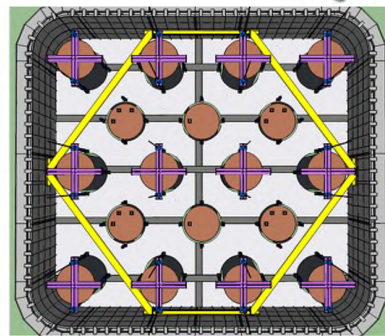
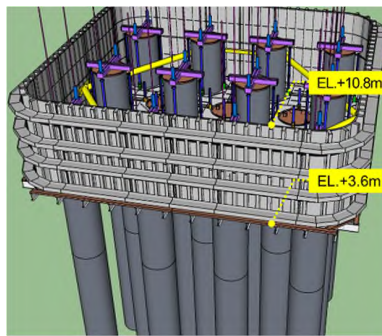
夾具：螺帽及Y型墊片

千斤頂底部基座



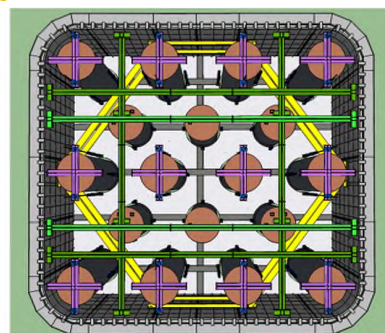
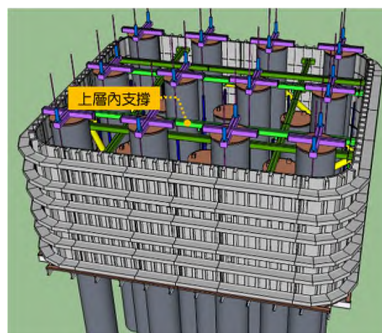
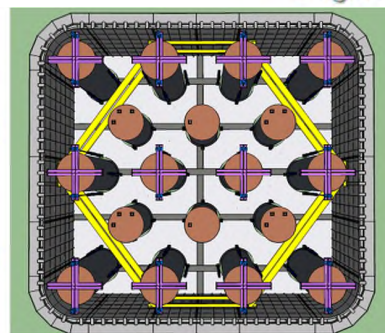
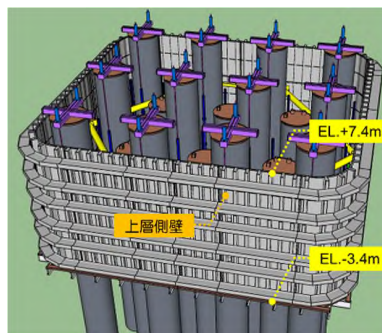
## 施工步驟5 第一次下放鋼箱

- 試提作業。
- 切除支撐托架（牛腿）。
- 控制下放系統**同步均衡下放**，下放過程須維持鋼箱內外水位平衡。
- 將鋼箱下放**7.0m**至第一階段預定高程，並**調平鋼箱**。
- 鎖固鋼箱上下兩層之限位千斤頂以**臨時固定鋼箱**，避免因潮汐或波浪影響導致鋼箱底板與外套鋼管相互碰撞。



## 施工步驟6 安裝上層側壁及支撐

- 安裝中層內支撐。
- 安裝鋼箱上層側壁，並安裝頂層內支撐。
- 續接鋼棒及臨時抗浮支撐柱。

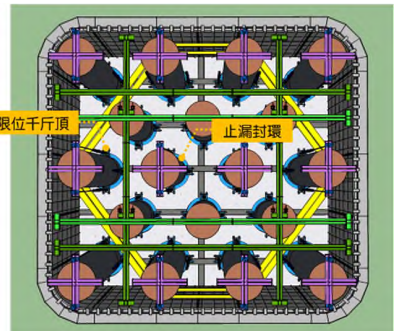
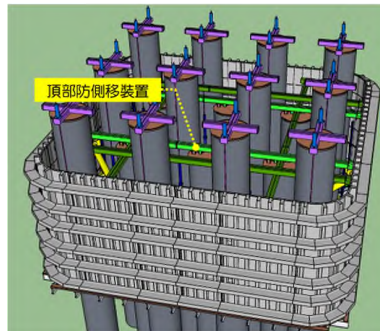
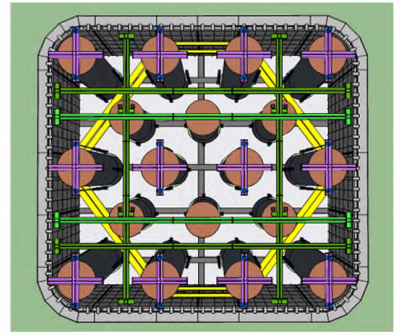
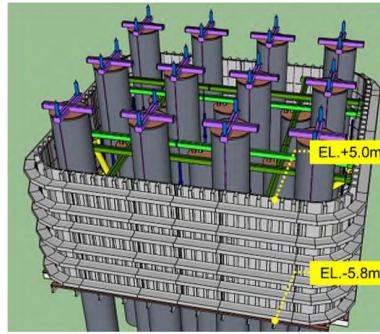


上層側壁安裝



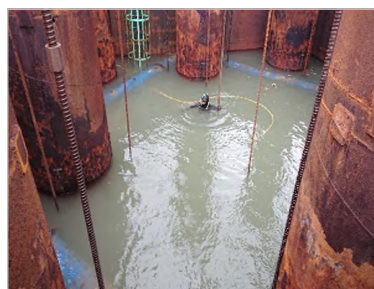
## 施工步驟7 >>> 第二次下放鋼箱

- 將鋼箱再下放2.4m至設計高程（底板上緣EL.-5.8m處），期間須維持鋼箱內外水位平衡。
- 安裝頂部防側移裝置，並與外套鋼管連接固定。
- 鎖固下層限位千斤頂，使鋼箱底部能承受橫力。
- 水下由潛水人員固定止漏封板。
- 鋼箱定位完成後，加裝1組懸吊鋼棒。



## 施工步驟8 >>> 首次封底及逐階抽水

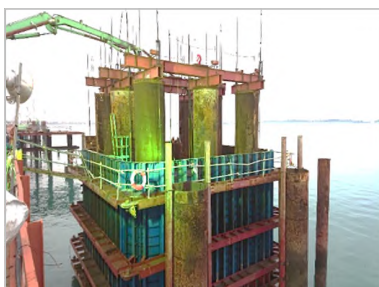
- 第一次水下澆置封底混凝土（厚度約1.3m），完成後水下確認澆置成果。
- 封底混凝土達設計強度後，封閉通水孔，開始逐階抽水（每階段約降1.0m），每階降水時須銲接臨時抗浮支撐後方可進行下一階段降水直至抽水完成。



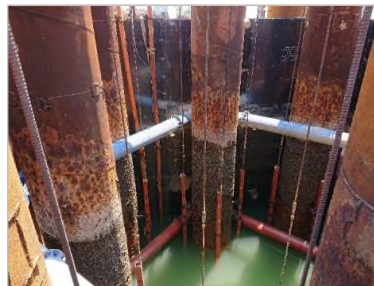
水下確認澆置成果



鋼箱內逐階抽水



第一次封底澆置



逐階抗浮支撐施工



鋼箱內部抽水完成

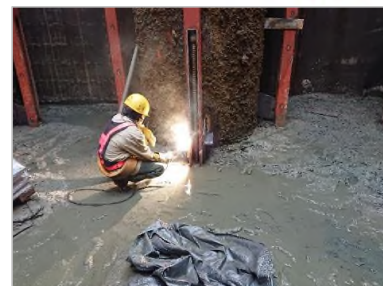


## 施工步驟9 >>> 反壓托架及二次封底

- 清理第一次封底混凝土之表面雜物及浮漿，及外套鋼管所附著之海中生物。
- 於乾式環境下銲接反壓托架。
- 第二次澆置封底混凝土（厚度約0.3m），澆置完成面須整平至樁帽設計高程（主邊橋段EL.-4.2m，引橋段EL.-5.7m）。



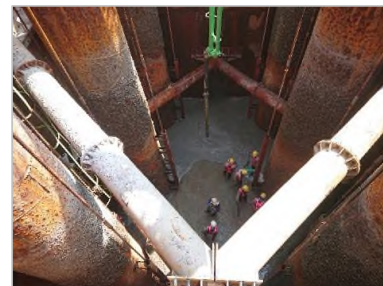
圍堰工作面清理



反壓托架銲接



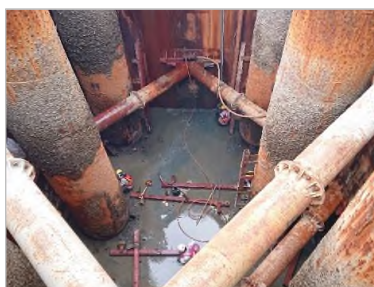
反壓托架



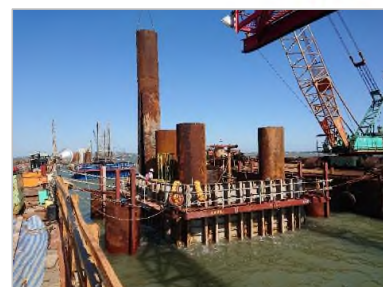
第二次封底澆置

## 施工步驟10 >>> 切除套管、樁頭處理

- 拆除鋼棒及懸吊鋼梁。
- 切除樁帽底部設計高程以上之外套鋼管、臨時抗浮支撐柱。
- 樁頭劣質混凝土處理。



拆除鋼棒及臨時抗浮支撐



移除外套鋼管



樁頭處理中

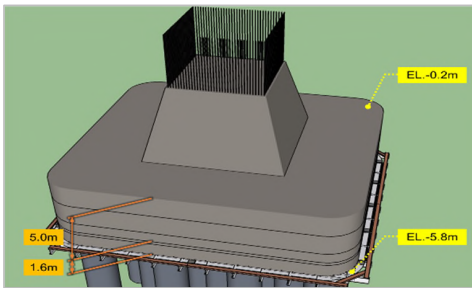


鋼箱圍堰工作面樁頭處理完成

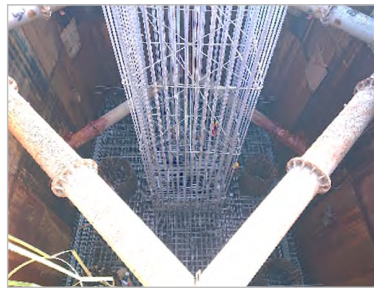


## 施工步驟11 下部結構作業

- 樁帽及橋墩鋼筋綁紮。
- 澆置樁帽混凝土，並分層澆置橋墩混凝土。
- 橋墩升層至一定高度以上時，拆除內支撐及鋼箱側壁（鋼箱底板不予拆除）。
- ◆ 鋼箱圍堰分項作業完成。



主橋樁帽完成示意圖



樁帽及橋墩鋼筋綁紮



樁帽澆置



鋼箱上層側壁拆除



鋼箱下層側壁拆除

## 施工挑戰

● 如何確保浮力及其他垂直施工載重可順利傳遞至基樁外套鋼管？

- 鋼箱垂直向主要傳力機制：反壓托架；水平向主要傳力機制：限位千斤頂。
- 分階抽水施工時，應確實配合施作每階段之臨時抗浮支撐。
- 於鋼箱規劃設計時，反壓托架為傳遞垂直向載重之主要設施，封底混凝土與外套鋼管間之黏結力不宜計入。
- 外套鋼管長期浸泡於海水中，極易附著海中生物，於各項銲接作業前應確實清理，以確保銲接強度。



鋼箱圍堰分階抽水情形



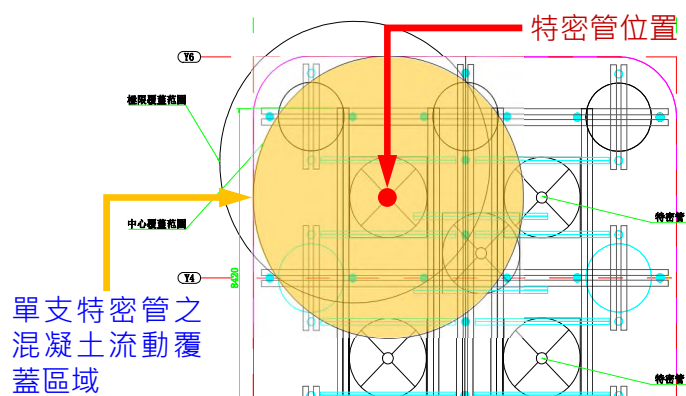
臨時抗浮措施

反壓托架



## 如何確保封底混凝土於水中澆置確實？

- 封底混凝土除抵抗浮力之功用外，亦兼具提供鋼箱水平束制、穩定鋼箱側壁、底部止水等功能。
- 水下組裝基樁外套鋼管與鋼箱底板空隙間之止漏封板，應確實填實縫隙。
- 封底混凝土使用特密管水中澆置，並注意流動覆蓋情形，隨時以水尺量測澆置面高程，以確保混凝土可確實充填鋼箱內部，及其與基樁外套鋼管間之空間。



## 封底瑕疵導致海水滲漏如何補救？

- 鋼箱底部易滲水區域：鋼箱角隅、外套鋼管周圍等混凝土不易充填之區域。
- 補救措施：
  - ▶ 止漏樹脂灌漿：工法略同隧道工程止漏灌漿技術，所選灌漿材料須具備高黏著強度、低黏滯度、凝結速度快、膨脹性、滲透性、彎曲強度高等特性。
  - ▶ 鋼箱外部水下填補銲接止水。



灌漿機具



快速接頭及供漿管



灌漿壓力監控



止漏灌漿成效

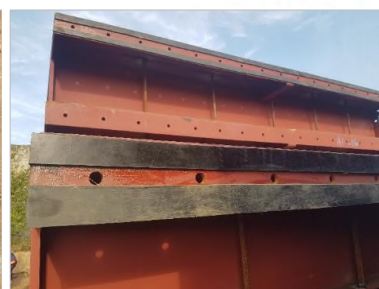


## 鋼箱側壁如何防止海水滲漏？

- 鋼箱側壁各單元接合處為易滲水處。
- 預防措施：
  - ▶ 於鋼箱壁體接合部預先黏貼止水膠條（橡膠材質，約為5cm寬、5mm厚）。
  - ▶ 側壁單元海面上組裝完成後，以矽利康填補接縫空隙。
- 補救措施：
  - ▶ 使用橡膠材質強固型修補膠帶（可水中修補縫隙）密封接縫。
  - ▶ 漏水處局部銲接。



止水膠條



壁體接合部止水施工



壁體接合部止水施工



強固型修補膠帶

## 結語



審慎規劃



詳實評估載重  
精確模擬分析



良好施工性



鋼箱各部易於安裝拆解  
極力減少水下作業工項



浮力完整轉換



分階抽水分階臨時抗浮  
反壓托架確實銲接施工



確實封底



封底澆置確實  
準確控制高程



提升穩定性



圍堰各階段均穩固束制  
施工期間有效抑制振動



掌握施工契機



配合海象研判最佳施工時機  
臨界階段全力投入資源趲趕



# 金門大橋工程研討會

◎ 2019 / 4 / 17 (WED)

## 簡報完畢

## 敬請指教



The background image is an aerial photograph showing the Jinmen Bridge under construction. The bridge's approach ramp is visible, extending from a green, hilly area in the foreground towards the sea. The water is blue, and several construction barges and ships are visible in the distance. The sky is clear and blue.







