



串連離岸式 LNG 碼頭與陸上接收站 - 第三座 LNG 接收站海上棧橋

台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部資深協理 / 蔣啟恆
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理 / 劉 珊
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理 / 陳明谷
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部正工程師 / 許肇安

關鍵字：基礎施工、橋梁耐久性、跨海橋梁

摘要

第三座液化天然氣接收站(下稱三接)棧橋工程由台灣中油公司主辦，工址位於桃園市觀音區外海，三接原規劃採外部圍堤及內部填實方式，後因環保因素考量，為避開藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態區及保留原棲地環境，並提供港區內藻礁所需之營養鹽，改採棧橋型式連接LNG碼頭及儲槽氣化區；後續另配合行政院以「保護藻礁最大化、影響供電最小化」所提之外推方案再將港區外推455公尺。於外推方案規劃時，考量原圍堤之沉箱已預製完成，故於港區內採沉箱堤方式延伸至LNG碼頭。因當地屬生態敏感區位，須盡量拉大棧橋跨徑減少落墩以降低對藻礁產生影響，且配合政府能源政策，

棧橋工程需先行完成以供後續氣化廠商布管需求，故在橋型選擇上，須就建設期程、功能需求及降低海床環境影響面積等因素進行考量。而工址水深達18公尺，棧橋基礎施工另需針對安全性、施工性等進行妥善規劃，另海域橋梁之設計尤須對於橋梁耐久性詳加考量，以降低後續維管需求。本文將說明上述議題之考量與因應對策及本工程之特色。

一、前言

(一) 緣起

為配合政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」之新能源政策，考量核一、核二與核三廠機組如



期除役，及未來北部地區電力缺口，配合台電公司刻正辦理「大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫」，規劃於大潭電廠增建3~4部燃氣發電機組，第一部新增機組預定自民國111年開始商轉之用氣需求，另評估未來北部民生及工業用天然氣市場將持續成長、中油公司永安及台中兩座接收站卸收能量、管輸能力已接近上限及台灣地區北中南整體性天然氣穩定供應策略等因素；經審慎評估後，台灣中油公司遂規劃於觀塘工業區興建第三座LNG接收站。

惟因第三接收站站址有藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態，台灣中油公司依據

環評審查會議決議提出「迴避替代修正方案」，「迴避替代修正方案」乃以縮小開發規模方式並避開藻礁、柴山多杯孔珊瑚等敏感環境生態區及保留原棲地環境進行規劃，為提供港區內藻礁所需之營養鹽，工業港採離岸配置，期望能同時滿足工程開發需求與生態永續發展。110年5月3日行政院另提出「外推方案」將工業港往海側外推 455 公尺，將遠離海岸線約 1.2 公里，也取消浚挖及填海造地工程，避免對於藻礁及礁體可能的破壞，並縮短 1 公里防波堤，讓海域更加開放，「迴避替代修正方案」與「外推方案」示意如圖1。

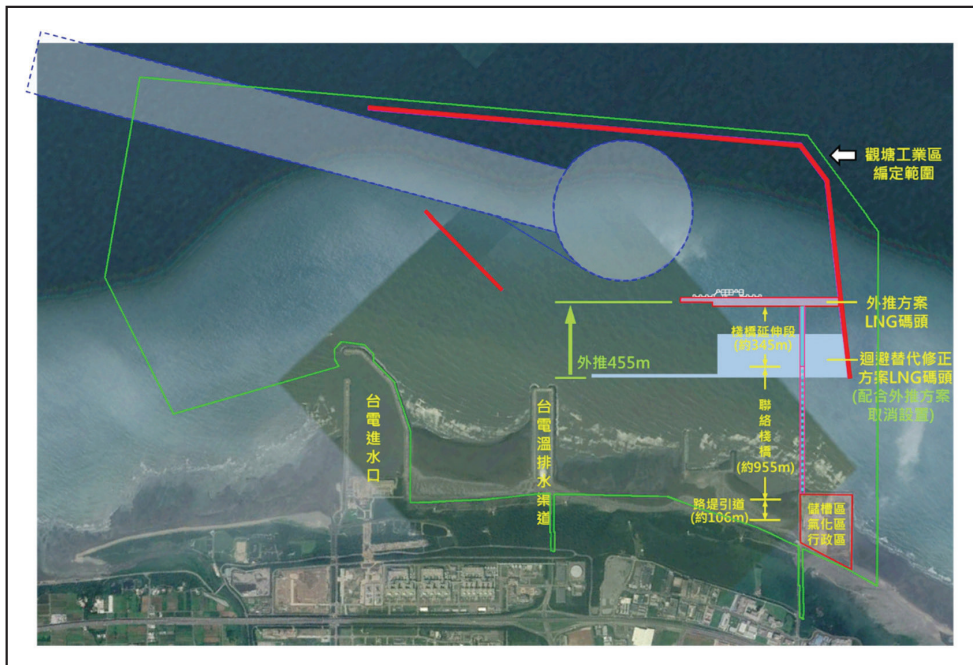


圖 1 連絡棧橋 (含外推方案) 示意

(二) 工程範圍及內容

本工程位處桃園市觀音區塘尾、大潭地區，連絡棧橋主要功能為銜接LNG儲存槽與離岸卸收碼頭，以利相關管線鋪設及人員通行之用。

配合LNG儲存槽與離岸卸收碼頭位置及高程需求，本工程配置依工址條件區分為儲

存槽側路堤長度約106公尺、橋梁段長度約955公尺及外推後沉箱路堤長度約345公尺，如圖2所示，棧橋及路堤寬度視管線配置需求分為8.5公尺寬及21.5公尺寬，於中央設置雙向2車道，並於車道兩側配置管線，另考量管線配置膨脹彎管之需求，配合橋墩及外推沉箱配置，約每110-115公尺設置一處橫向10.4公尺×縱向15公尺之彎管平台，本工程彎管平台配置及管線布設如圖2及圖3所示

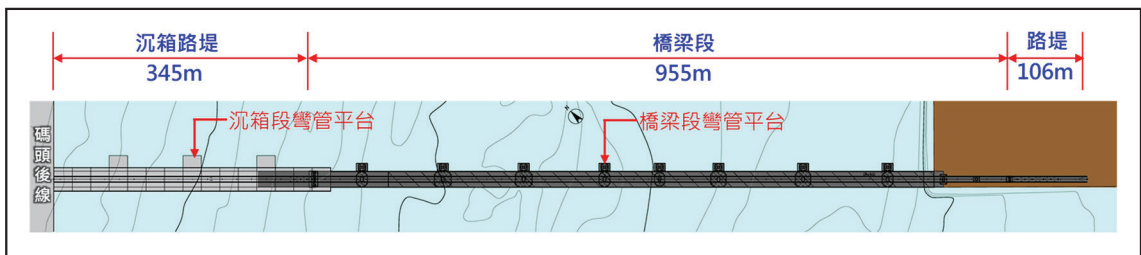


圖2 本工程彎管平台配置圖

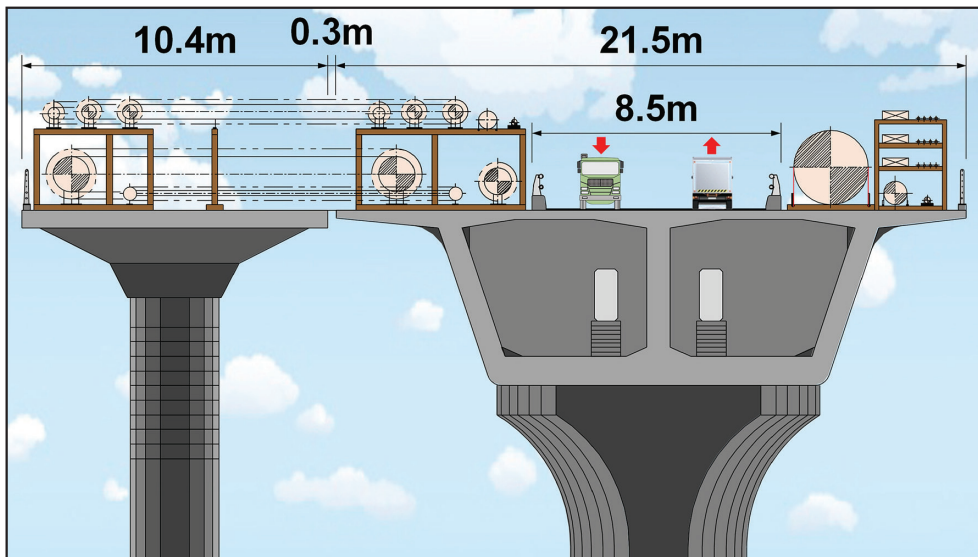


圖3 橋面管線及車道配置圖



二、工程設計與考量

(一) 道路及交通工程

1. 設計原則

本計畫為觀塘工業區開發計畫之中油第三座液化天然氣接收站區內之新建棧橋暨聯絡道路工程，計畫道路為銜接LNG儲存槽區與離岸卸收碼頭之連絡棧橋(含外推方案之沉箱段)，棧橋主要將跨越LNG儲存槽區與離岸卸收碼頭間之近岸海域範圍，因此，於路線定線規劃設計原則，首要考量橋下淨高及沉箱高程需能滿足因應波浪潮升高程之棧橋使用需求及船隻通行需求，並依據實際環境條件與交通需求，使計畫道路線形最佳化，以發揮最佳交通服務功能。

2. 路線平縱面設計

計畫路線以離岸卸收碼頭為棧橋西端起點，路線往東藉由外推方案之沉箱路堤(EL.+5.5m)銜接至棧橋原工程A1橋台後，以橋梁型式跨越近岸海域範圍(EL.+17.0m)，再銜接至儲存槽區最南側之區內道路(EL.+6.0m)。計畫路線之平面線形，依據路線起終點銜接位置，布設為直線段，並無設

置平曲線。而縱面線形之布設，則考量跨海域之波浪潮升高程與起終點銜接區內道路之路面高程；跨海部分之縱面最高點考量為梁深(6m)+設計潮位(EL.+2.95m)+1.3×波高(5.84m)，設計高程取EL.+17.0m，兩端則配置最大縱坡4.5%之引橋(道)段銜接西側之延伸段沉箱與東側之儲槽陸域道路，本工程縱面線型如圖4示意。

3. 標準斷面

本計畫道路依據維修車輛行駛需求，將規劃配置雙向2車道之道路斷面，並依據道路結構型式，劃分為起點沉箱引道段、21.5m寬橋梁段、8.5m寬橋梁段及終點陸域引道段四種橫斷面配置，分段示意詳如圖5，並說明如下：

(1) 起點沉箱引道段

起點沉箱引道段係因應外推方案連接棧橋原工程及外推LNG碼頭，布設於原工程里程0K+136.2以西，延伸至-0K+209為止，採沉箱基礎型式，並視縱坡需求配置箱涵。本段全寬為21.5公尺，主要提供車輛通行與管線設置之使用，其中提供作為道路之空間，寬度為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬

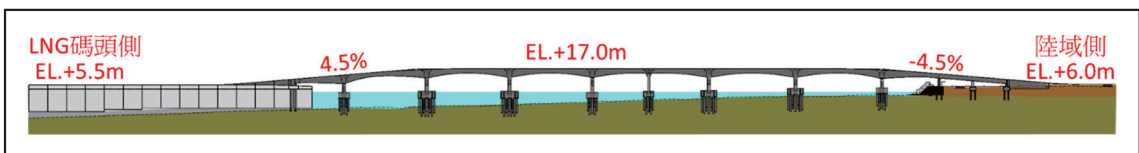


圖 4 縱面線型示意圖

3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，其餘則作為管線設置空間使用，有關起點沉箱引道段標準斷面配置詳參圖6，彎管平台處寬度則加大至32.2公尺，斷面配置詳圖7。

(2) 21.5m 橋梁段：

計畫道路之橋梁段，規劃為21.5公尺與8.5公尺兩種不同寬度之橋梁斷面，於里程0K+145~1K+001之路段，橋寬規劃為21.5公尺，主要提供車輛通行與管線設置之使用，

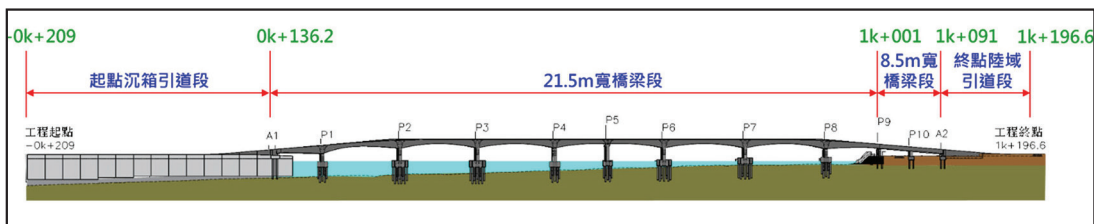


圖 5 本工程立面圖

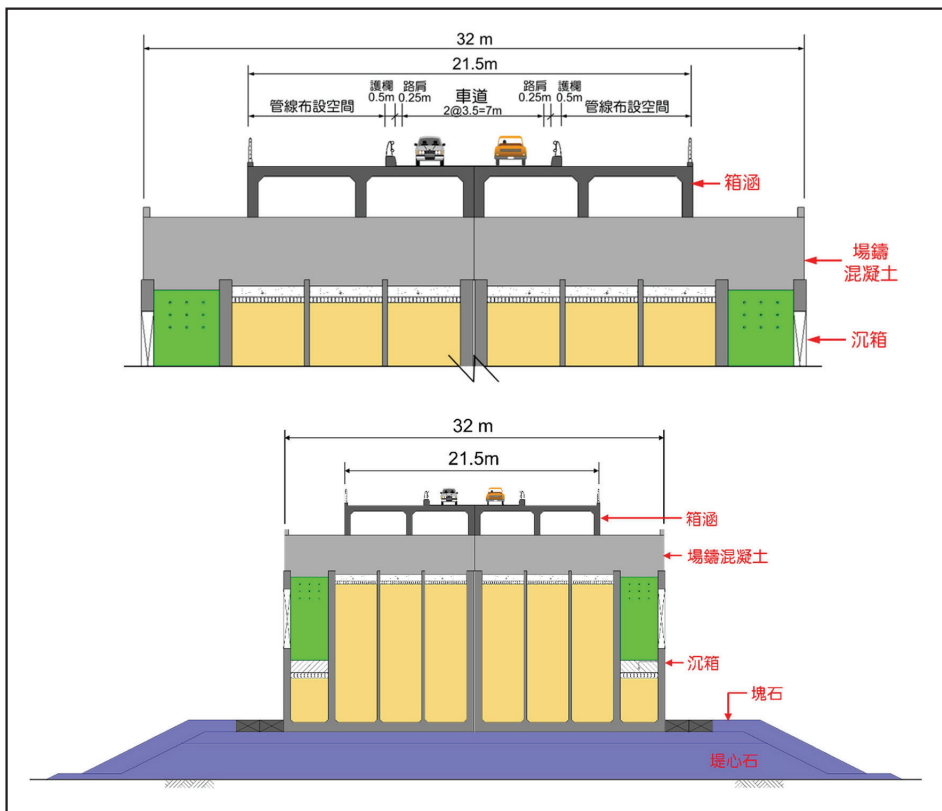


圖 6 起點沉箱引道段標準斷面圖



其中提供作為道路之空間，寬度為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，其餘則作為管線設置空間使用，有關21.5m橋梁段之標準橫斷面配置詳參圖8。

1K+001~1K+091之路段，橋寬規劃為8.5公尺，主要提供車輛通行之使用，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，有關8.5m橋梁段之標準橫斷面配置參見圖9。

(3) 8.5m 橋梁段：

計畫道路於里程1K+001進入陸域，管線離開橋面轉折進入儲槽區，故於里程

(4) 終點陸域引道段：

終點陸域引道段為跨海域棧橋向東連接儲槽區平面道路之橋梁引道，引道段道路布

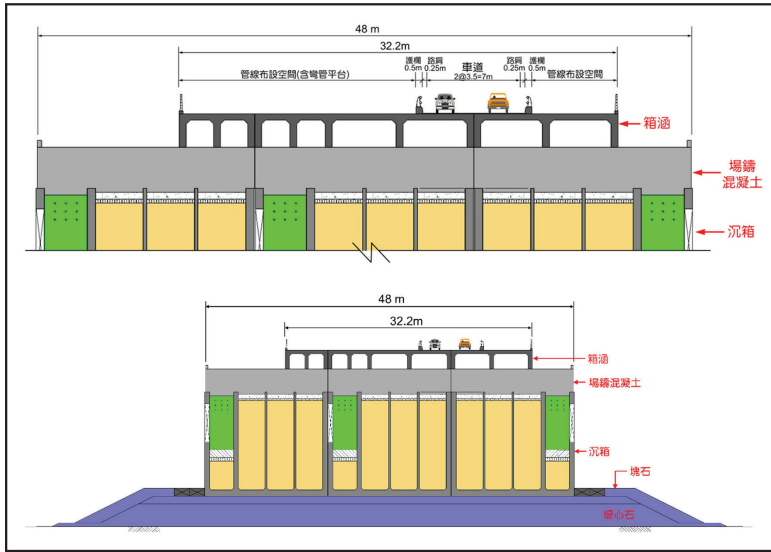


圖 7 起點沉箱引道段標準斷面圖 (彎管平台處)

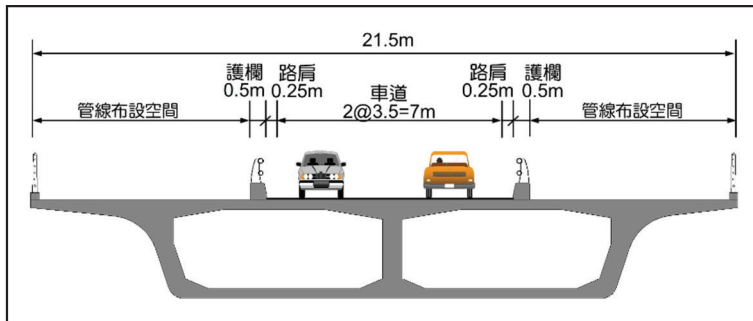


圖 8 21.5m 寬橋梁標準斷面圖



設於里程1K+091~1K+196.6，採路堤結構型式，全寬為8.5公尺，配置雙向2車道，每車道寬3.5公尺，並留設0.25公尺寬外路肩，以及設置0.5公尺外側護欄，有關終點陸域引道段標準橫斷面配置詳參圖10。

(二) 結構工程

1. 橋梁工程

橋梁工程為本計畫關鍵項目，橋梁配置須綜合考量環境保護、期程配合、海上施工安全、經濟性與維護性等，本計畫於設計初期即依據功能需求研提2種橋型方案，訂定相關評估因子及配分，綜合評估比較後建議採預力混凝土箱型梁橋，橋梁型式評選表如表1所示。

(1) 橋梁配置

橋梁配置綜合考量海床擾動範圍及工期需求等，本工程橋梁段自西向東依序區分為海域二個橋梁單元及陸域一個橋梁單元。考量減少於海域落墩，海域橋梁單元分別為

第一單元 $65+3@110+75=470\text{m}$ 及第二單元 $80+2@115+76=386\text{m}$ ，採懸臂工法施作；陸域部分之第三單元 $2@45=90\text{m}$ ，則採場撐工法施作。

上部結構第一、二單元為變梁深(3~6公尺)，橋全寬為21.5公尺，第三單元為等梁深預力箱型梁橋(3公尺)，橋全寬為8.5公尺。下部結構P1~P8(含棧橋橋墩及彎管平台橋墩)為海域施工，P9~P10、A2橋台及路堤段擋土牆則於陸域施工。

(2) 基礎型式

本工程共計有10座橋墩及2座橋台。由前期大地工程調查成果顯示本路段沿線工址地盤多為卵礫石夾砂，前期試挖報告中亦顯示卵礫石最大礫徑可達60公分以上，橋梁基礎型式之選擇，須依據地形、地質狀況、水位、施工條件、施工環境、荷重條件、基

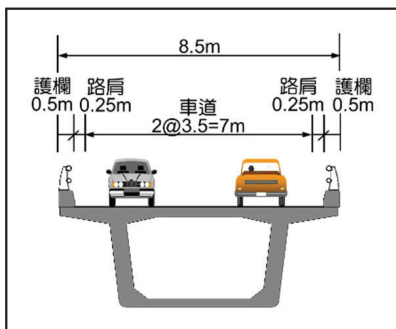


圖 9 8.5m 寬橋梁標準斷面圖

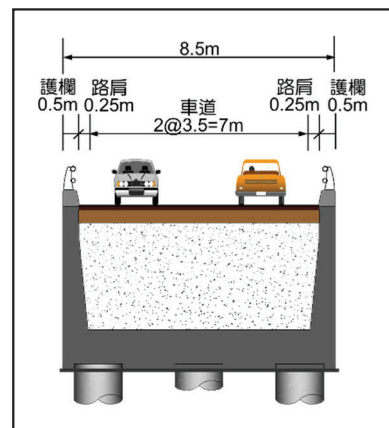


圖 10 終點陸域引道段標準斷面圖



表 1 橋梁型式評選表

方案研擬背景		中油公司為配合國家能源政策，須完成可承載LNG管線及後續維修車輛通行之跨海橋梁以於供氣時程內完成配管，並請本團隊進行相關設計工作								
類別	評選項目及權重	功能 (5%)	技術 (5%)	成本 (10%)	工期 (25%)	工址環境 (20%)	安全 (25%)	維護 (10%)	評分	排序
	方案概述									
橋梁型式	鋼橋	3	5	6	22	12	18	5	71	2
	預力混凝土橋	5	5	8	20	15	21	9	83	1

礎特性、環境維護及經濟性等研擬適用之基礎型式，尚需考量本工程為海上施工，且工址位於敏感生態藻礁區域，故須特別考量施工之風險性及對週遭環境之影響，故本工程基礎規劃採全套管基樁，考量施工性、結構穩定並減少海床開挖，位於海域之橋墩樁帽置於海床面以上，以退潮時不露出基樁為原則，基樁突出海床面之部分配合外套鋼管施工，基礎施工期間透過鋼管之圍束保護，除基樁打設之點位以外，對海床完全無干擾。基樁樁徑考量工址地質條件及國內機具之動員，基樁樁徑採2公尺，並配合內徑至少為2.2公尺之外套鋼管施工。本工程全套管基樁示意圖如圖11所示。

(3) 施工補充鑽探

為確認本工程地質條件及確保基樁承載能力，本計畫另規劃於施工階段進行補充鑽探工作，鑽探位置為各橋墩(台)處，鑽孔數除P2、P3、P6、P7因基樁數量較多規劃為兩孔外，其餘均為一孔，補充鑽探成果回饋設計單位確認樁長後，現場方能施工。

2. 沉箱工程

(1) 沉箱配置

本工程於起點引道段里程-0K+209~0K+136.2 範圍設置沉箱，考量原外海圍堤之沉箱再利用，本段沉箱尺寸採25公尺×16公尺，另因道路斷面需求及後續維修考量，採二座沉箱合併方式配置，即單組沉箱斷面為25公尺(縱向)×32公尺(橫向)，全段共配置15組(B01~B30)，約每4組於北側另設置一座沉箱作為彎管平台使用(B31~B33)，因應水深由西向東漸淺，採用之沉箱區分為16.0公尺(B01~B08及B31)、14.5公尺(B09~B11)及13.5公尺(B13~B30、B31及B32)三種高度，沉箱東端與原棧橋工程銜接段，則配合縱坡於沉箱頂施作箱涵，沉箱平立面配置如圖12所示。

沉箱頂部高程，考量便於陸上施工作業條件，應在高潮位上，設計採用EL.+2.50m，較平均高潮位(EL.+1.31m)高出1.19公尺以上，為兼顧施工便利性及經濟性之考量，並於其上設置3公尺厚場鑄混凝土至LNG碼頭後線高程(EL+5.50m)。

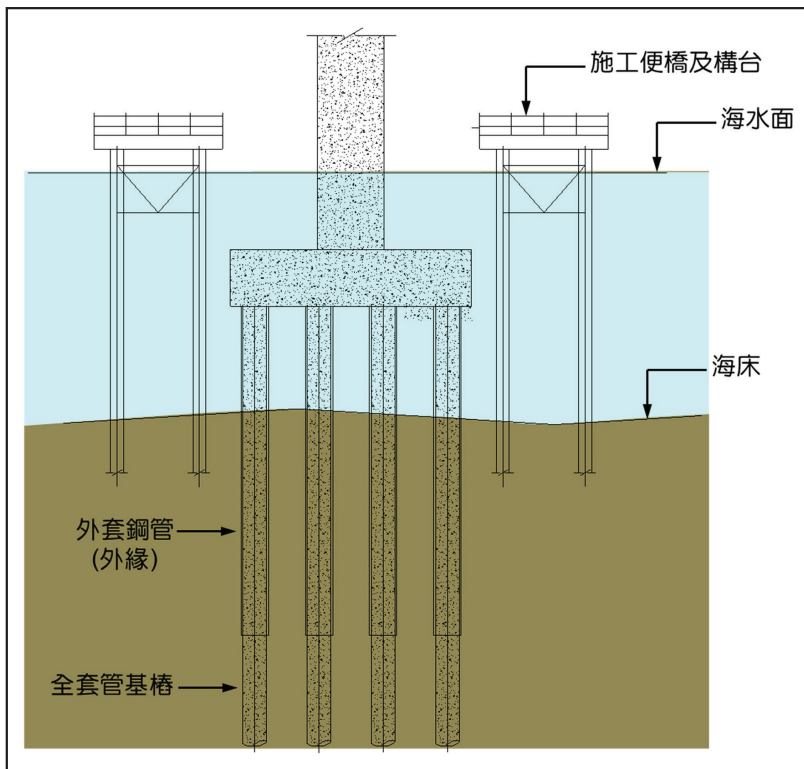


圖 11 本工程全套管基樁示意圖

(2) 沉箱段與橋梁之介面

原工程以A1橋台與延伸段沉箱之路堤箱涵銜接，一側為橋梁上部結構，另側為沉箱箱涵，因沉箱箱涵一般存在沉陷可能，為避免A1橋台因沉陷而產生非預期之橋梁結構破壞，本處橋台與沉箱結構不共構而採獨立設置，橋台仍以基樁型式承載，基樁於沉箱完成封頂後即可進場施作。另於橋台與沉箱箱涵銜接介面處，於橋台背後配設進橋板以維持行車舒適性。

A1橋台完成後，鄰近之橋梁上構可於封頂混凝土完成或場鑄混凝土完成後分別採取

相關配套措施，確認施工架穩定性，以進行現場支撐、組模及混凝土澆置。沉箱段與橋梁介面處立面圖詳圖13。

(三) 結構耐久性考量

本工程屬海中構造物(位於極嚴重鹽害區)，為提升耐久性考量藉由採用II型水泥及添加卜作嵐材料，抑制混凝土原材料中鹼的釋出、降低混凝土孔隙中OH⁻離子量、降低PH值；另要求配比設計降低混凝土滲透性，本計畫要求混凝土56天齡期抗氯離子穿透能力須符合CNS 14795之低等級標準。本計畫也藉由提升混凝土設計強度及明訂最大水膠



比等方式，確保混凝土膠結緻密性，降低腐蝕物質侵入速度，本工程混凝土設計強度及最大水膠比詳表2。

有關鋼筋之耐久考量，其保護層厚度依據公路橋梁設計規範第十二章海洋環境下防蝕設計之規定，應符合表2之規定，另為避免因混凝土微裂縫產生鋼筋鏽蝕，本工程所有鋼筋均採鍍鋅鋼筋防蝕；惟設計階段考量本工程基樁大部分皆永久浸於水中，且基樁鋼筋皆配合有外套鋼管保護，腐蝕危害相對較低，另基樁鋼筋籠續接施工須配合銲接，銲

接作業後甚難滿足鍍鋅要求，故基樁鋼筋不採鍍鋅處理。

本工程原棧橋段P1橋墩及A1橋台，為銜接卸收碼頭，以4.5%縱坡由橋面高程EL.+17.0m向西漸降，考量P1橋墩及A1橋台原已位於碼頭回填之陸域範圍，受海水、波浪等影響程度較低，原設計支承採熱浸鍍鋅方式防蝕；惟考量外推方案變更調整後，將使P1橋墩及A1橋台落於海域範圍內，且位於浪濺區，腐蝕條件更加嚴格，將研擬此二墩位支承改為SUS 316不鏽鋼支承。

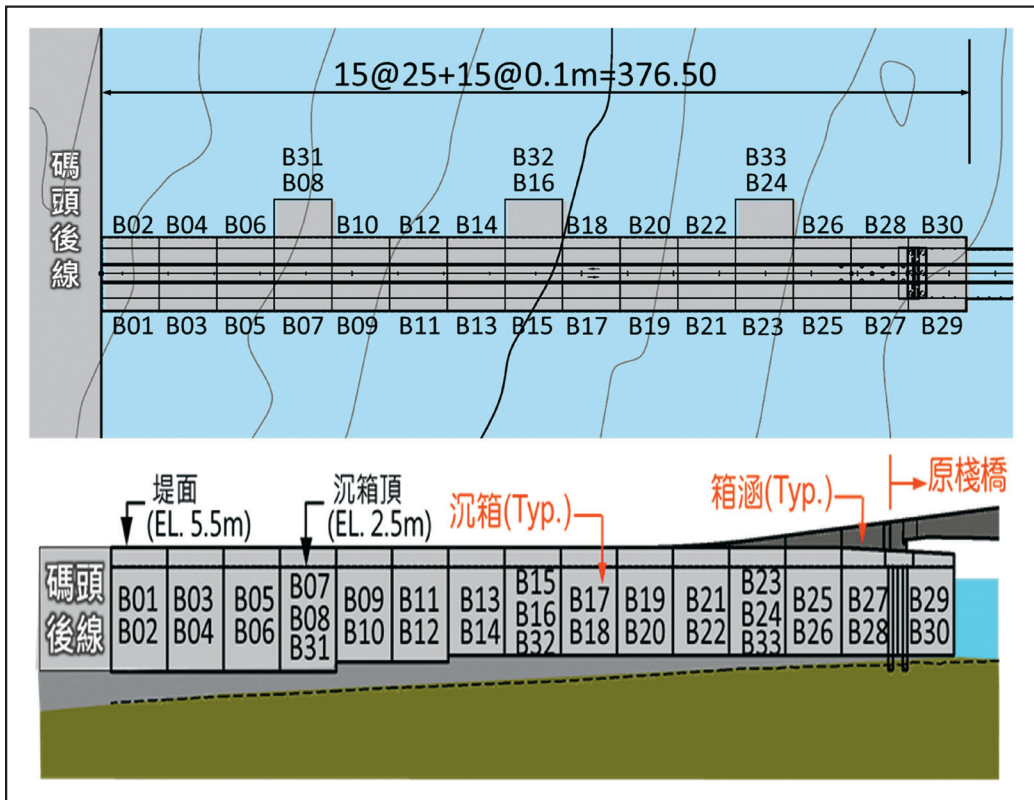


圖 12 沉箱平面配置圖

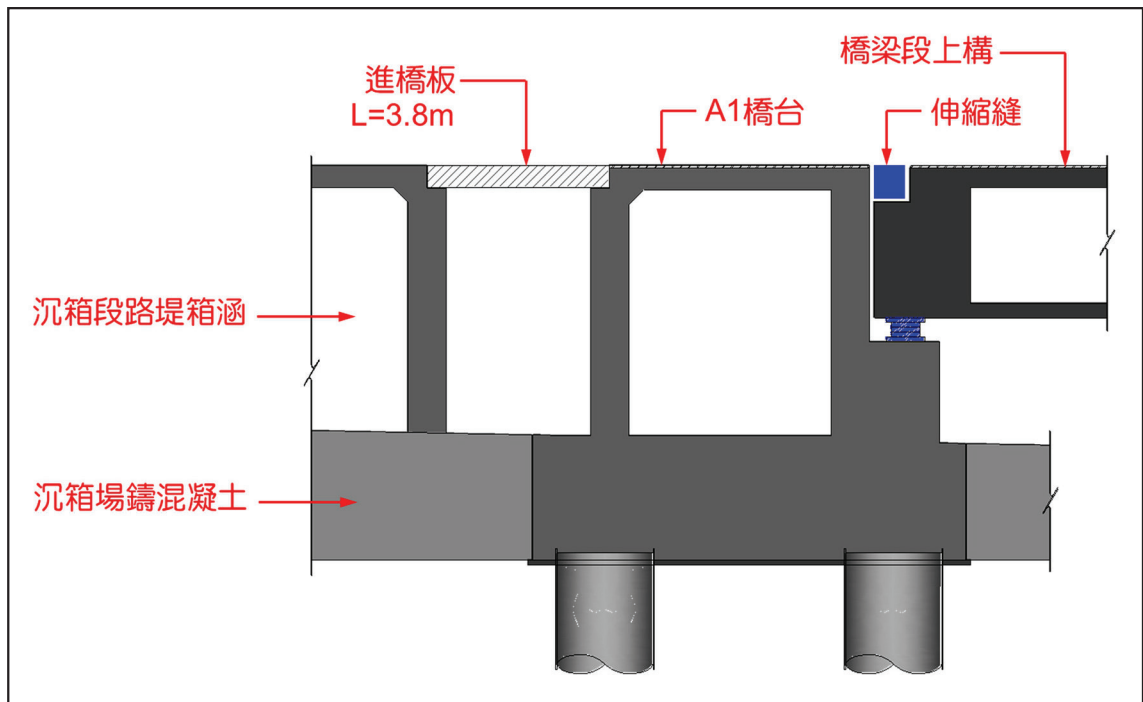


圖 13 沉箱段與橋梁介面處立面圖

表 2 混凝土強度、最大水膠比及保護層厚度規格表

類型	混凝土 28 天 最小抗壓強度 $f'_c(\text{kgf/cm}^2)$	最大 水膠比	部位	保護層
箱形梁橋	420	0.4	預力橋橋面板頂面	7.5cm
			箱形梁外側	7.5 cm
			箱形梁內側及隔梁	4.0 cm
下部結構 與擋土牆	350		橋墩(主鋼筋)	12.0 cm
			橋墩(繫筋、箍筋及螺箍筋)	10.0 cm
	385		橋臺、翼牆及擋土牆	10.0 cm
			橋墩、橋臺、翼牆及擋土牆等之基礎、沉箱	10.0 cm
沉箱段	350		場鑄基樁	10.0 cm
			沉箱	10.0 cm
雜項	350		箱涵	10.0 cm
		橋護欄、橋隔欄	4.0 cm	
		進橋板頂面及側面	7.5 cm	
		進橋板底面	10.0 cm	



表 3 本工程工址潮位資料表

設計潮位	D.W.L	EL:+2.950m
最高潮位	H.H.W.L	EL:+2.110m
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	EL:+1.648m
平均高潮位	M.H.W.L	EL:+1.311m
小潮平均高潮位	H.W.O.N.T	EL:+0.940m
平均潮位	M.W.L	EL:-0.232m
小潮平均低潮位	L.W.O.N.T	EL:-1.151m
平均低潮位	M.L.W.L	EL:-1.740m
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	EL:-2.322m
最低潮位	L.L.W.L	EL:-2.880m

(四) 環境維護

本工程位於敏感生態藻礁區域，周圍並發現多杯孔珊瑚之棲息，施工前、施工中均需嚴格控管，避免因工程施工造成生態環境之破壞，相關作為列舉如下：

1. 施工前辦理逐墩調查，確認無多杯孔珊瑚棲息，否則於設計階段調整墩位配置。
2. 基樁施工設置汙染防治膜，減輕對於生態環境衝擊。
3. 配合環評承諾，便橋、構台所影響面積須小於 1.3 公頃。
4. 施工期間定期進行噪音、振動、放流水及柴山多杯孔珊瑚等監測作業。
5. 上構採用懸臂工法施工，避免於海域架設支撐，減少對於海床之干擾。

三、施工規劃構想

本工程施工規劃須考量減低對環境之衝

擊、縮短工期、經濟性、安全性等原則，另須配合工址環境如現場地形、海象條件及支撐架設條件等因素。初步研擬本工程海域橋梁段以場鑄懸臂工法施工，陸域段則採場撐工法施工；而延伸段為符合供氣時程並盡量節省經費，規劃將原圍堤工程已預製完成之沉箱作為路堤段再利用。

而本工程海象環境因受台灣海峽束縮地形影響，易有強風、大浪發生及高低潮位差異大等不良海象因素，設計時均須納入詳細評估。本工程基本潮位資料如表3，工址潮差最大可達5.8公尺以上，另依據模擬結果，工址波高最高可達5.84公尺，相關資料須納入施工規劃考量。

(一) 施工便橋及構台規劃考量

本工程因位處海上施工環境，易因天候因素影響施工工率及安全，故本計畫於設計

階段，即規劃設置施工便橋作為人、機、料之運輸通道，並於海上各橋墩處設置施工構台，以利基樁、基礎、橋墩施作，並作為上構柱頭場撐段支撐使用。施工便橋及構台由H型鋼組合而成，鋼構廠加工及現場組裝快速，施工便橋及構台完成後，即可如一般陸域施工環境，本工程施工便橋及構台施工考量之重點如下：

1. 施工期間施工機具動線與施工場地之規劃。
2. 船機施工運補碼頭之規劃。
3. 藻礁保護與監測。
4. 空氣、污水及噪音等污染防制作業。
5. 考量施工車輛動線，每跨設置一處避車彎。

6. 配合環評承諾，便橋、構台所影響面積須小於 1.3 公頃。

有關本案施工便橋及構台配置及施工照片詳圖14及圖15。

(二) 全套管基樁配合外套鋼管施工規劃

本工程基礎規劃採全套管基樁型式，海水中因施工需求採外套鋼管作為基樁之外模使用，並考量外套鋼管自立性，另需能提供施工載重及樁帽圍堰抗浮摩擦力，故須打入海床中一定深度。施工時，首先於施工構

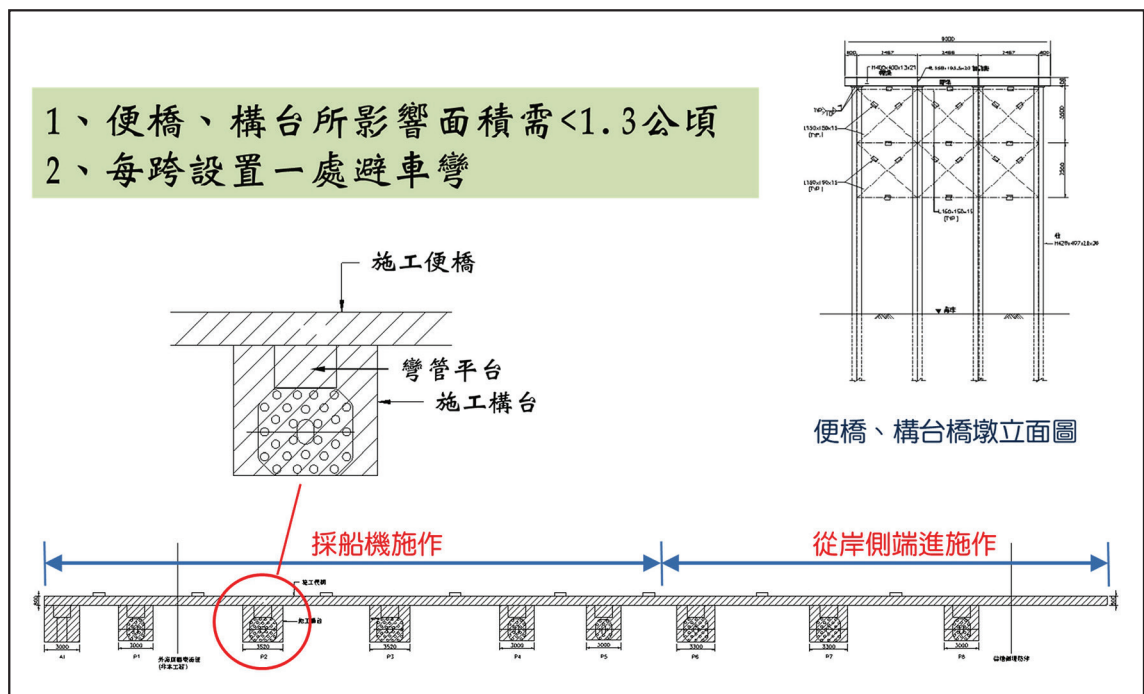


圖 14 本案施工便橋及構台配置圖



台打設外套鋼管後，挖除內部土石，此時外套鋼管內部充滿海水，吊放鋼筋籠後澆置水中混凝土，使海水逐漸排出，最後於基樁上固定鋼箱圍堰來施作基礎板。本工程外套鋼管及全套管基樁施工照片如圖16。

(三) 樁帽圍堰施工規劃

本工程工址位於敏感生態藻礁區域，且落墩處水深達12公尺，考量海域環境施工及樁帽施工時臨時圍堰之施工性及經濟性，故位於海域之墩位(橋台A1、橋墩P1~P8)基礎規

劃採樁帽圍堰方式施工，樁帽高程規劃以退潮時可露出樁帽但不露出基樁為原則。施工時，首先將樁帽圍堰於構台上組立，將圍堰底板逐步下放至基礎底高程，藉由懸吊支撐於外套鋼管上，並於圍堰內抽水時架設內支撐系統，使圍堰內部形成乾式環境，供基礎板及橋墩施工，另配合規劃適當之施工監測系統，如支撐應變計及反光規標等，以利樁帽之順利施作。有別於傳統鋼板樁圍堰，完全無須擾動既有海床，可大幅降低施工對既有藻礁之影響。本案樁帽圍堰示意圖及施工照片如圖17及圖18。

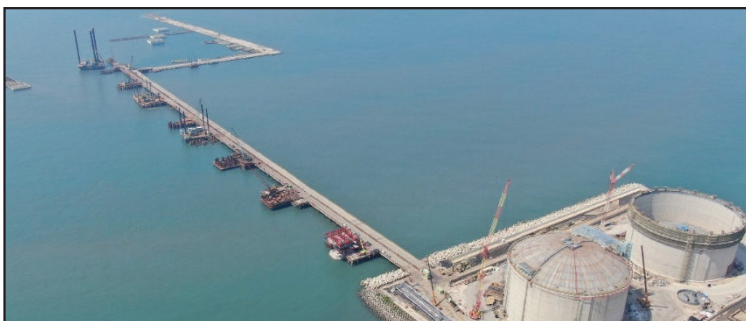


圖 15 本案施工便橋及構台施工照片



圖 16 本工程外套鋼管及全套管基樁施工照片

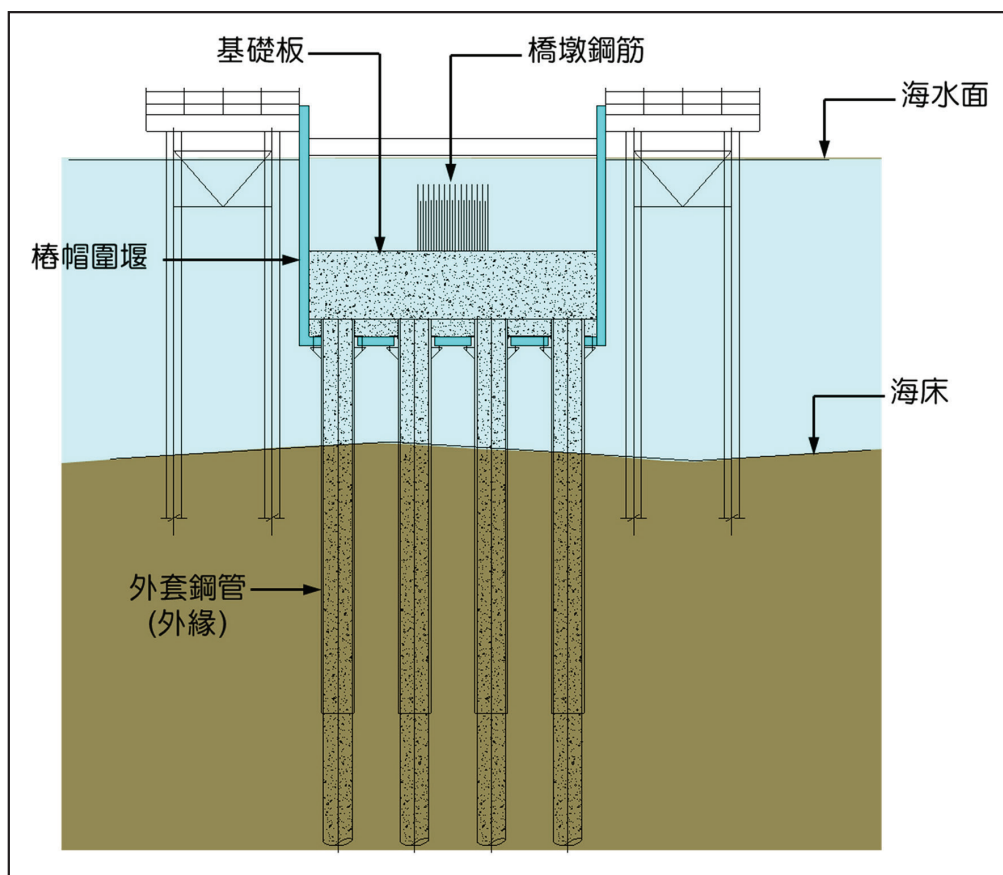


圖 17 本工程樁帽圍堰示意圖



圖 18 本工程樁帽圍堰施工照片



(四) 懸臂工法

本工程位於敏感生態藻礁區域，橋梁採大跨度懸臂工法配置，除可盡量減低橋墩及基礎對於海床之影響，並可於施工構台直接進行柱頭場撐段之施作後，藉由懸臂工作車之推進，避免施工期間於海中進行支撐，且懸臂工法於國內施工經驗相當豐富，工程品質穩定。

本工程懸臂工法施工示意圖如圖19(以第一單元為例)，施工照片如圖20。

(五) 沉箱施工規劃

近年海事工程案例中，沉箱拖放效率逐年增進，以往傳統海事施工案例中，沉箱拖放速度約為每週1座，以可施工季6個月而言，一般年拖放座數約24~30座，而參酌

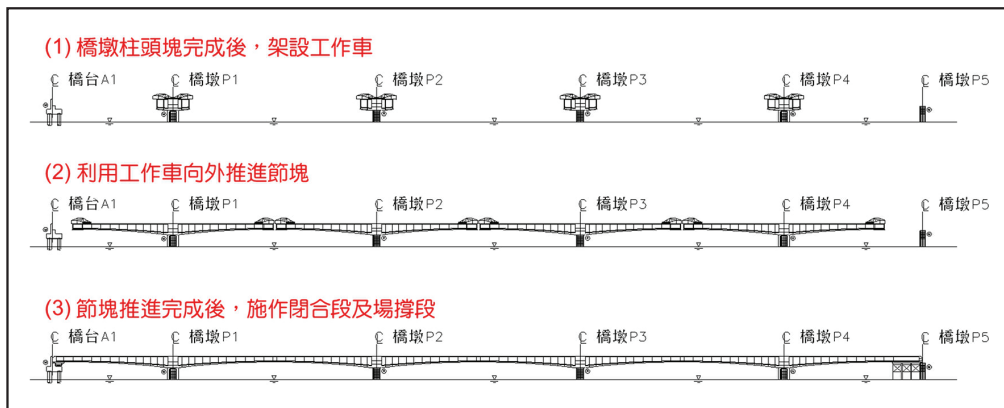


圖 19 本工程懸臂工法施工程序示意圖 (第一單元)



圖 20 本案懸臂工法施工照片

台北港以往案例，年拖放速度最大可達約49座，高雄港則為80座。依現況中油公司第三接收站施工標案，正常之沉箱拖放速率大致為40座/年，做為工期規劃之目標，本工程延伸段沉箱施工工序如下：

1. 整地、鋪放襯墊、拋石
2. 沉箱起浮、拖放
3. 沉箱填充
4. 沉箱封頂
5. 護基方塊吊放

沉箱施工作業流程圖如下圖21。

四、結論

台灣中油第三座液化天然氣接收站棧橋工程為配合政府能源政策，施工期程緊迫，且因當地屬生態敏感區位，故於橋型規劃及整體施工規劃務須完善。本工程因位處海上施工環境，容易因天氣因素而影響施工工率及安全，故本計畫於設計階段，即規劃設置

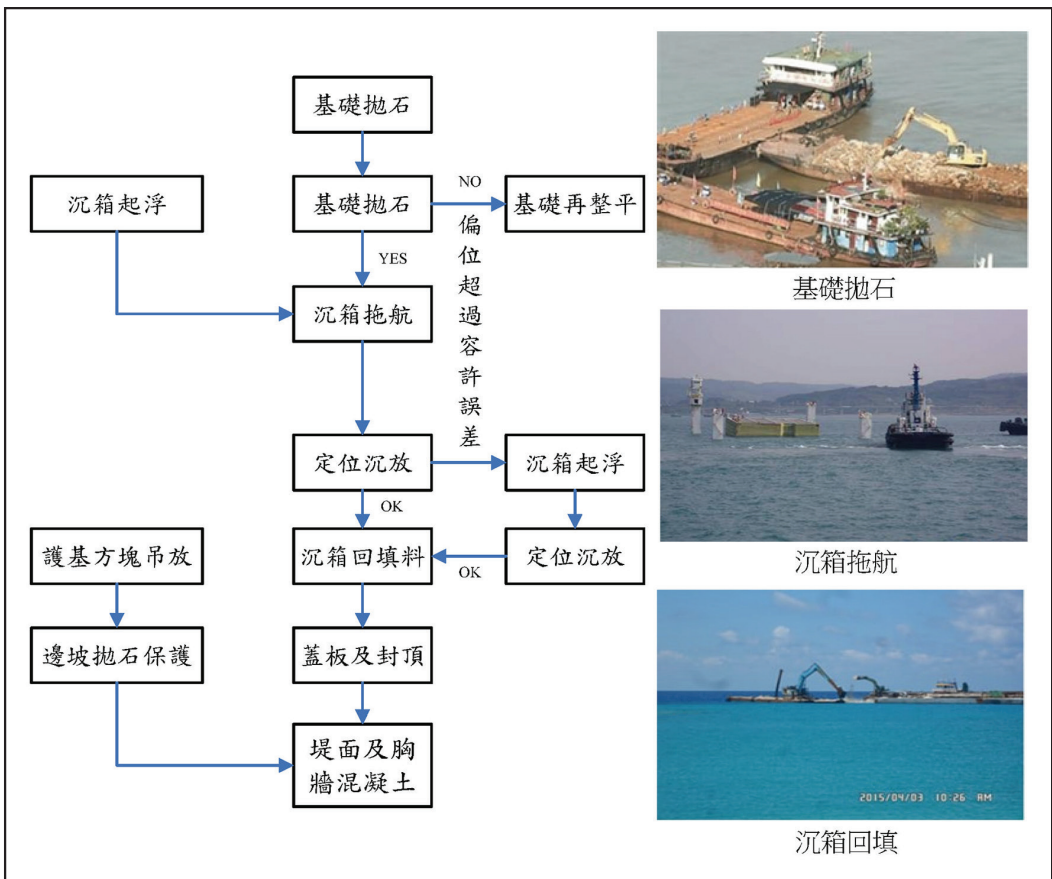


圖 21 沉箱施工作業流程圖



施工便橋作為人、機、料之運輸通道，並於各橋墩處設置施工構台，以利基樁、基礎、橋墩施作。為避免東北季風影響工進，規劃在第一年工作季即完成所有便橋及構台打設，以利於基樁及後續作業銜接，不受冬季風浪影響，另考量各橋墩工作面需同時展開不翻用，於工程費中納入相關經費編列。

海上之橋梁工程，尤需注意結構之耐久性，藉由鋼筋、混凝土、鋼腱等材料多方面的防蝕考量，以及在橋梁配置上盡量避免結

構遭受飛沫侵襲，以降低橋梁在海洋環境中銹蝕的產生。

後續因應外推方案變更，在不變動原工程已完成工項之前提下，僅僅取消外海填築引道部分，並考量鄰標已製作沉箱再利用之可行性，採沉箱方式銜接至外推LNG碼頭，不論對於中油供氣期程、工程經費等面向，都已朝向最佳化設計之考量，希望藉由這些努力，使本工程如質如實完工，使政府能源政策目標得順利達成。

