

鋼板樁碼頭異常實例檢討

劉彥忠

土木碩士，水利技師

壹、前言

鋼板樁碼頭完成後或在施工中，最常發生的異常狀況，就是碼頭法線偏移，尤以施工過程中常見，法線偏移伴隨錨錠鋼板樁亦發生偏移及錨錠鋼板樁未偏移兩種情形，其發生原因各不相同，修護方法亦有異，碼頭工程除有大地工程難以目視之隱藏因子外，更含有海洋上千變萬化之不確定因素在內，無論施工者或設計者，均應小心面對隨時可能發生的狀況，並應於第一時間即採取對策，切忌推諉責任並延滯行動，以求將異常發生的損害降至最低，筆者曾參與之碼頭新建工程即遇到上述兩種情形幾乎同時發生的異常狀況，筆者全程投入修護之計畫及執行工作，略有一些心得，願就教於諸位先進。

貳、法線與錨錠鋼板樁同時偏移之檢討

一、碼頭概述：

國內某港口 103、104、105 號碼頭新建工程為「業主單位」與「出資公司」合作興建，由「出資公司」(註：以下統稱「本公司」)籌資、發包、監造，並委由「顧問公司」設計，「營造公司」負責施工。

該三座碼頭係水深 12~14 公尺之鋼板樁碼頭(平面位置如圖 A)，90.07.01 開工，事故發生時，三座碼頭之鋼板樁已打設完成，錨錠冠牆及高耐索、拉桿完成，抽砂回填工作亦已接近尾聲，105 號碼頭之背填土地改及鋪面均已完成，104 號碼頭之背填土完成約九成，但因業主單位卸煤機型式遲未定案「地改施工」尚未進行，103 號碼頭

背填土尚未完成，施作冠牆中，預定 93.05.31 全部完工。



圖 A 103.104.105 號碼頭平面位置圖

二、 事故發生：

92.08.07 筆者上班後，於例行巡視工地時，發現 104 號碼頭主冠牆及錨錠冠牆均往海側有明顯之偏移（碼頭中段突出之弧形線極為明顯），立即作了如下之處理：

三、 處理經過：

(一) 通知施工之營造公司當天立即行動

1. 碼頭法線全面測量以瞭解偏移量。
2. 派遣潛水員查看鋼板樁有無破損？
3. 主冠牆陸側背填土速挖除，一方面減除鋼板樁之主動土壓力，避免偏移情況惡化，另一方面查明高耐索、拉桿之實際情形。

(二) 通知設計單位，儘速派員至現場勘查事故發生原因，並提出因應之道。

(三) 通報業主工程單位，並陪同相關人員勘查工地，並聽取其意見，作為日後處理修繕工作之參考。

(四) 筆者向本公司主管及相關業務單位通報。

四、 檢查結果：

(一) 偏移狀況（圖 B）

1. 主冠牆法線偏移部份：冠牆法線長度 300 公尺，偏移量最小為兩端點處（水平距約 10 公尺）之 10 公分，偏移量最大為法線中央處（水平距約 150 公尺）之 74.2 公分。
2. 錨錠冠牆偏移部份：冠牆法線長度自 40 公尺起至 270 公尺止亦成兩端低及中間高之弧狀曲線，惟兩側偏移情形較主冠牆兩側為多，偏移量最小處為水平距 50 公尺處之 30.8 公分，偏移量最大處為水平距 150 公尺處之 72.5 公分。

(二) 高耐索斷裂狀況（圖 C）

1. 上層高耐索：165 組共斷 3 組（編號 35、36、82）
2. 下層高耐索：165 組共斷 7 組（編號 81~86、88）

(三) 鋼板樁無破損，無漏砂。

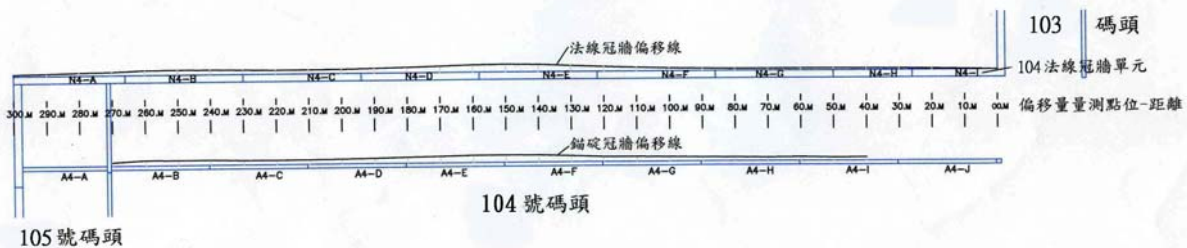
圖 B

300 M	290 M	280 M	270 M	260 M	250 M	240 M	230 M	220 M	210 M	200 M	190 M	180 M	170 M	160 M	150 M	140 M	130 M	120 M	110 M	100 M	90 M	80 M	70 M	60 M	50 M	40 M	30 M	20 M	10 M
14	19.5	26.4	30.5	44.5	46.5	44.8	40.3	36.7	38	40	46.1	53.7	61.2	71	74.2	71	56.4	45.2	35	24.7	21.2	18.4	17.5	17	17	15	14	10.3	4.7
			33.1	49.5	47.6	47.2	41.2	42.8	41.2	46.2	50.2	57.4	63.6	71.8	72.5	70.5	60.8	48.3	48.3	44.5	39	35.7	31.5	36.5	30.8	32			

與103法線距離

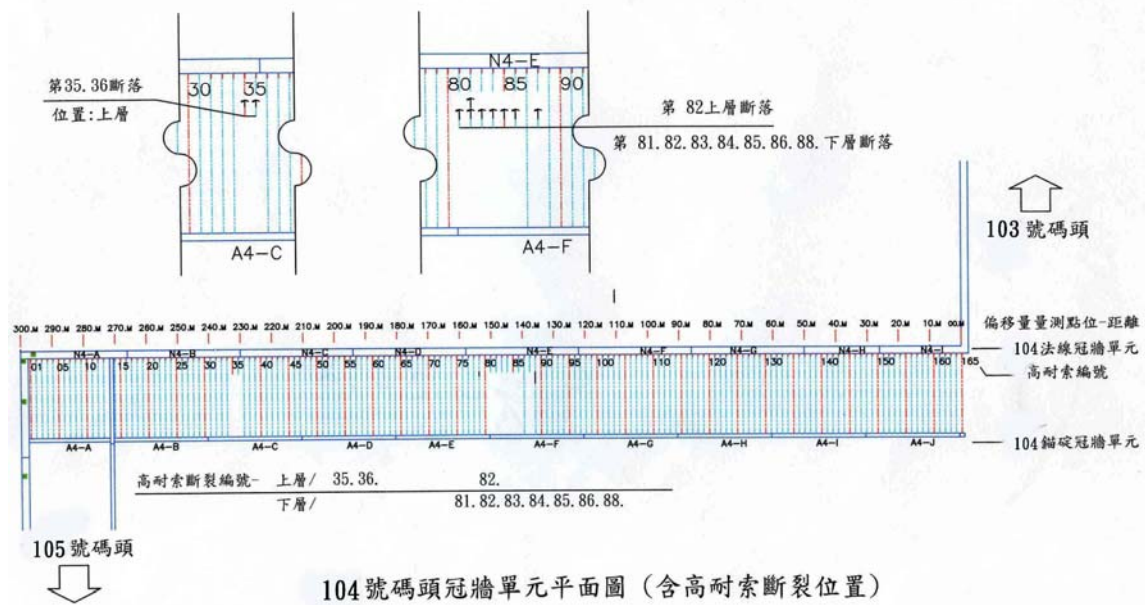
104法線側偏移量 (92.8.14測量)

104錨錠側偏移量 (92.8.11測量)



104號碼頭冠牆偏移量示意圖

圖 C



五、緊急修護計畫

(一) 依據

1. 顧問公司 92.08.08、92.08.11 兩次派員至現場勘查。
2. 本公司主導現場檢查之初部結果。
3. 本公司與業主、顧問公司、營造公司密集討論相關事宜
4. 顧問公司 92.9.10 提出「緊急防止惡化臨時措施建議書」

(二) 內容

1. 引言：描述現場狀況及檢查結果
2. 臨時施工措施：

(1) 步驟① 法線鋼板樁陸側挖方 (圖 1)

其目的在減少鋼板樁背後之主動土壓力，挖除之土方可就近回填於鋼板樁海側，以增加鋼板樁前方之背動土壓力，兩者均有利於現階段碼頭之

穩定，及下一階段鋼板樁之拉回。

(2) 步驟② 錨錠鋼板樁陸側挖方 (圖 2)

其目的亦在減少鋼板樁背後之主動土壓推力，其因開挖而造成之空間，可作為日後法線岸壁鋼板樁拉回之工作空間，挖除之土方仍可就近回填於法線岸

壁鋼板樁海側，以增加鋼板樁前方之背動土壓力，或棄置於後線較遠之廣場回填區。

(3) 步驟③ 法線岸壁鋼板樁海側海底地質改良 (圖 3)

於碼頭法線冠牆，靠中央偏移量較大兩個單元之海側海底 80 公尺x7 公尺面積範圍內，向下作 10 公尺深度 (EL-15.5 公尺至-25.5 公尺) 之土壤地質改良施工，使 N 值達到 16，以確保法線岸壁鋼板樁之背動土壓力可以保障未來碼頭岸壁不再發生位移。

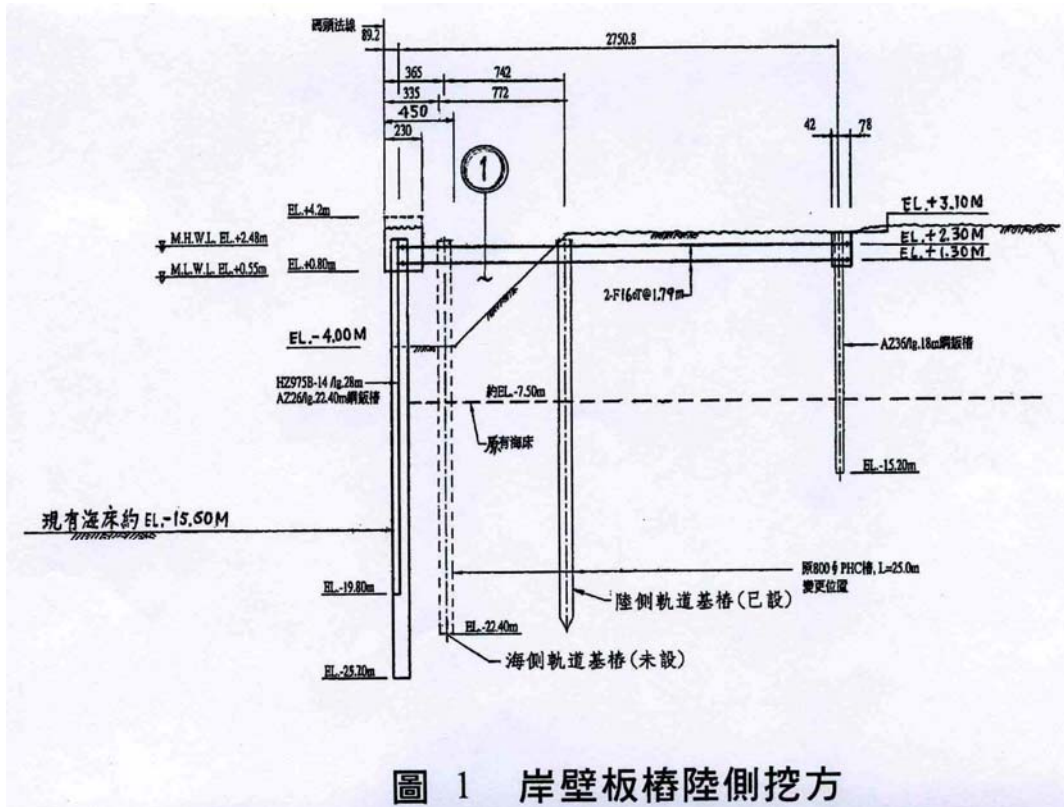


圖 1 岸壁板樁陸側挖方

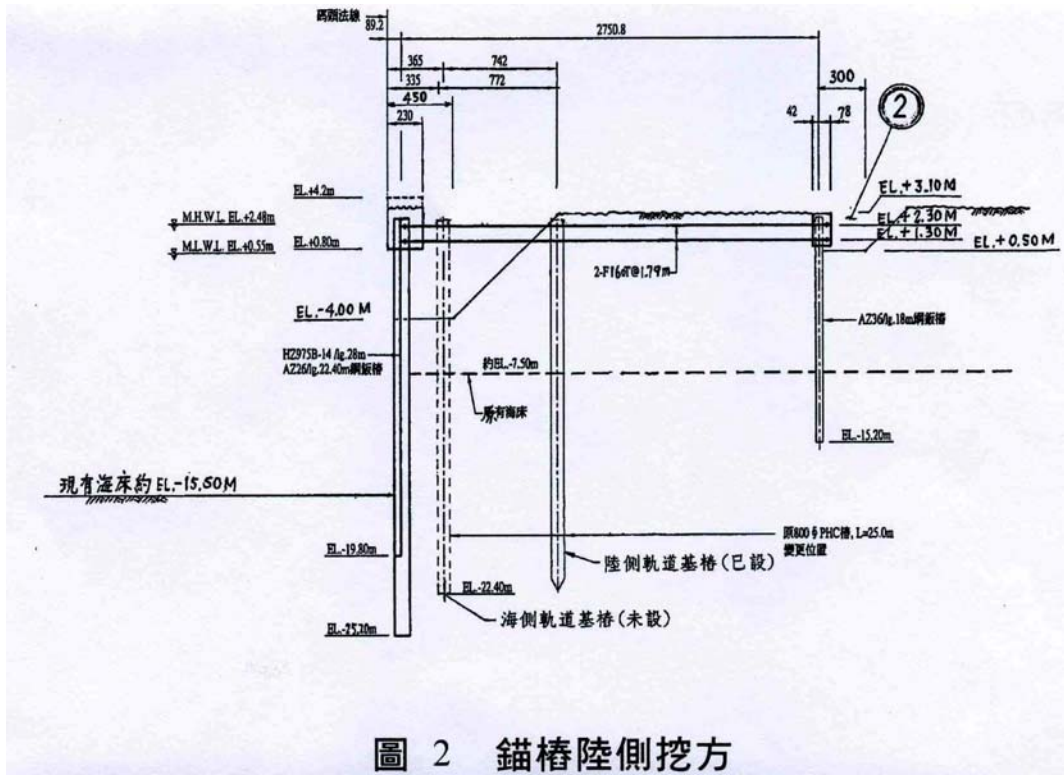
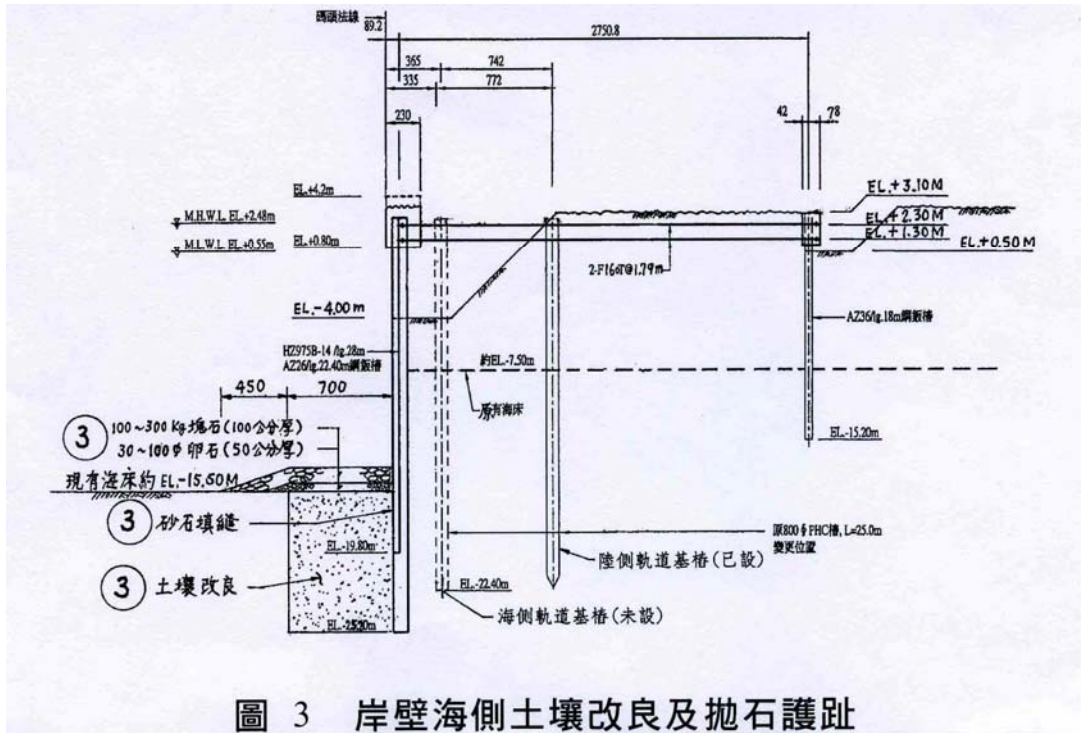
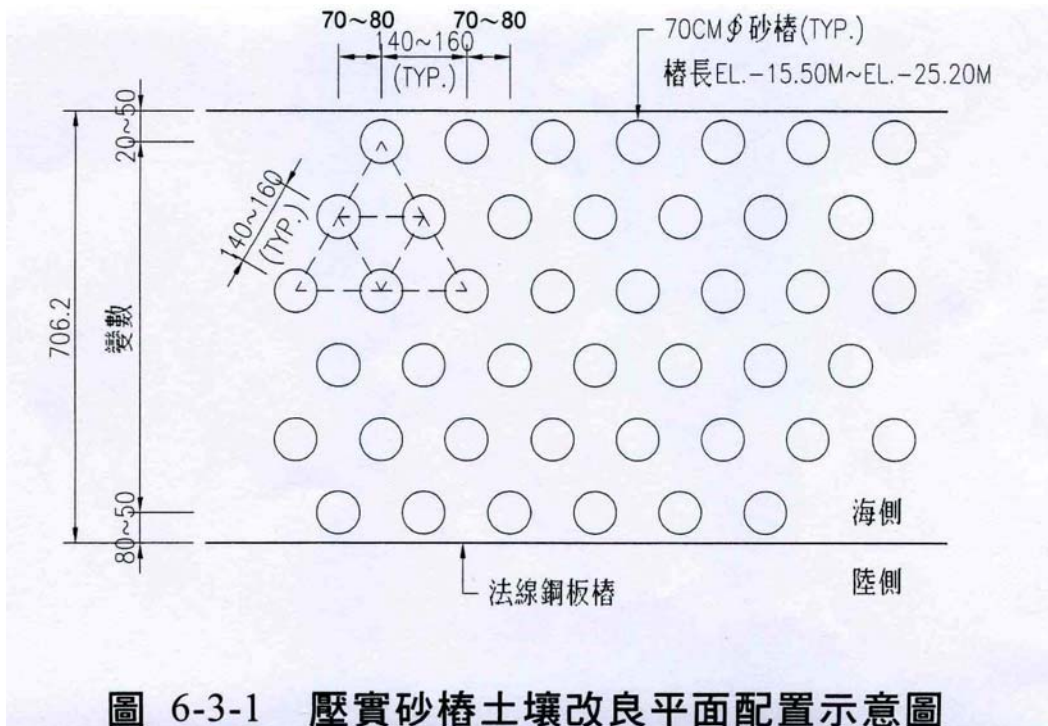


圖 2 錨樁陸側挖方



- (4) 地質改良工法：採壓實砂樁工法 (圖 6-3-1)
- (5) 步驟③ 拋石護趾 (圖 3)
- 地質改良施工完成後，EL-15.5
- 公尺之海床上，再加拋 50 公分厚 30 ~ 100kg 卵石及 100 公分厚 100 ~ 300kg 塊石 (如圖 3)，可更加強岸壁海側之背動土壓力。



3. 增加檢測工作

- (1) 碼頭法線岸壁鋼板樁檢查：碼頭法線全部鋼板樁，包括 HZ 主樁，AZ 副樁等，由冠牆底至現有海床止，實施全面地毯式檢查，包括目視位移量、折損、脫樁等現象，並做攝影、拍照及記錄，俾便作為後續研擬修護計畫之依據及完工後之追蹤。
- (2) 高耐索拉力檢測：高耐索內力之施拉是控制鋼板樁變形之主要因素，各施工階段及完工階段高耐索保有之內力，應符合各階段之需求。

施工階段隨海床之浚挖，應密切觀測高耐索內力之變化情形，當鋼板樁產生過大變形時，即應調整高耐索內力，使鋼板樁變形得以控制，而完工階段高耐索之內力應鎖定於近似設計載重。因此，為確認各高耐索之拉力是否符合設計之需求，故需將每支高耐索進行拉力檢測，以供後續研擬修護計畫參考之依據。

- (3) 高耐索拉桿材質送驗
- (4) 逐日監測冠牆偏移量

(三) 執行經過

1. 法線鋼板樁及錨錠鋼板樁陸側挖方之施工，自事故發生之次日即獲得各方之同意，而立即先行施工，以防災害惡化擴大，事後證明此一緊急措施，確實對遏止岸壁偏移有明顯的效果。以壓實砂樁工法在海上作地質改良之施工，交原營造公司 92.11.24 開始施工，並於 92.12.30 完工，事隔三年餘，碼頭至今未再發生異常狀況，是因土壤

地質經改良之施工後，N 值大幅提高至 30 (較原地 N 值 11~17 提高約一倍)。

2. 高耐索拉力檢測 92.10.23 完成，顯示符合設計需求。
3. 高耐索及拉桿材質送驗結果 92.11.18 完成，拉桿之抗拉強度、降伏強度、伸長率、硬度及碳硫含量均符合 JIS 規範規定。

六、正式修護計畫

(一) 依據：

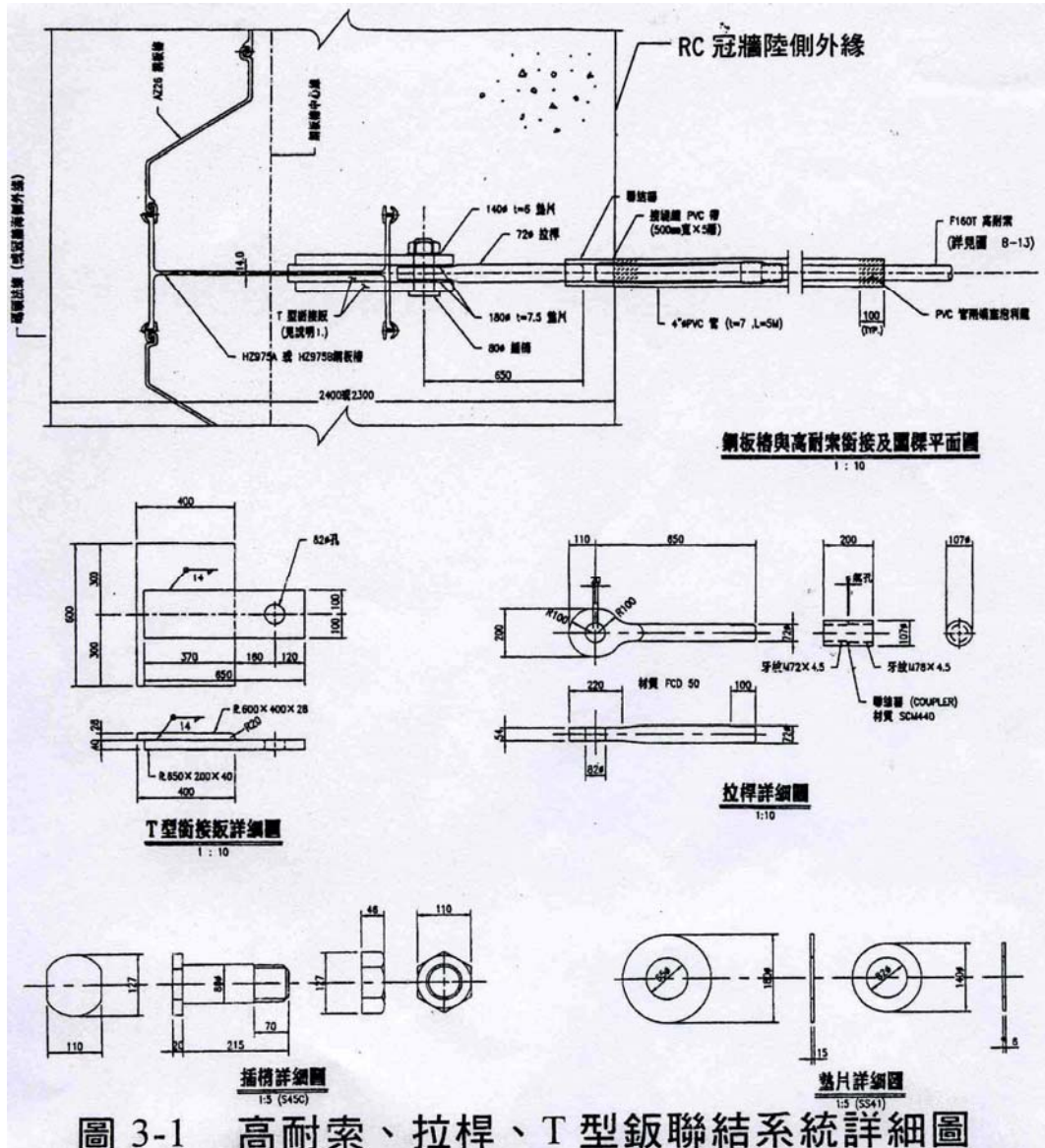
1. 經相關單位人員多次討論
2. 顧問公司 92.11.21 提出「受損修護計劃書」
3. 業主工程單位 92.12.02 核定准予備查施工

(二) 內容

1. 碼頭損害狀況
 - (1) 碼頭法線主冠牆往海側偏移
 - (2) 錨錠冠牆往海側偏移
 - (3) 高耐索前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離—本工程設計之上下層高耐索，其前端之 72mm Φ 拉桿均埋入於碼頭法線 RC 冠牆內，經仔細檢視後發現，前述之所謂「高耐索斷裂」，其實高耐索本身並未斷裂，都是經由聯接器聯接高耐索與 T 型板之 72mm Φ 拉桿斷裂 (聯接系統詳細圖如圖 3-1)，各拉桿斷裂後均留置於聯接器內 (見照片 3-2~3-5)。
 - (4) 冠牆施工縫遭擠壓碎裂—104 碼頭與 105 碼頭交界處。
 - (5) 冠牆伸縮縫之間隙擴大—共有四

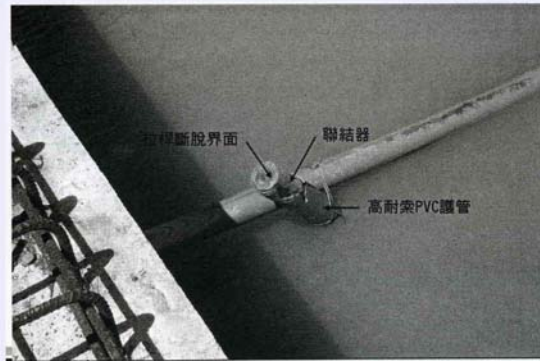
處，間隙約 5~30 公分。

- (6) 冠牆本體裂縫—因位移太大，冠牆 RC 本體無法承受張力而產生裂縫。





照片3-2 第82號上層拉桿斷脫照片(一)



照片3-3 第88號下層拉桿斷脫照片(二)



照片3-4 聯結器拆卸照片(一)



照片3-5 聯結器拆卸照片(二)

2. 修護施工理念

- (1) 減少主動土壓力－法線鋼板樁之陸側土壤進行改良。
- (2) 增加被動土壓力－法線及錨錠鋼板樁之海側土壤進行改良。
- (3) 提高構件強度－部份高耐索、拉桿材質升級。
- (4) 使碼頭恢復原位－由錨錠鋼板樁陸側施力，拉回法線鋼板樁，使碼頭恢復原位。

3. 修護施工步驟（前三步驟同「臨時施工措施」）

- (1) 步驟④ 錨錠鋼板樁海側土壤改良（圖 6-4）本土壤改良之方法採用「壓實砂樁工法」，其目的為提高土壤之貫入 N 值。
- (2) 步驟⑤ 碼頭法線主冠牆及錨錠

冠牆鑿除（圖 6-5） 中央兩單元冠牆偏移過大，不利於拉回，全部鑿除，待鋼板樁以新設 F270T 高耐索置換原 F160T 高耐索 80 條完成後，開始進行鋼板樁拉回動作，待鋼板樁拉回動作完成後，重製 RC 冠牆，碼頭恢復原位即可宣告成功。

- (3) 步驟⑥ 錨錠鋼板樁海側挖方及拆卸高耐索（圖 6-6）高耐索之拆卸應採間隔跳島方式施工，並隨時監測已呈懸臂狀之法線鋼板樁變位狀況。
- (4) 步驟⑦ 錨錠鋼板樁陸側增設 H 型鋼樁（圖 6-7）為增加 AZ36 錨錠鋼板樁之斷面係數（剛性），於原錨錠鋼板樁之陸側以震動工法，在兩高耐索間每隔約 1.79 公尺增設 400x400x13x21 H 型鋼樁乙支。

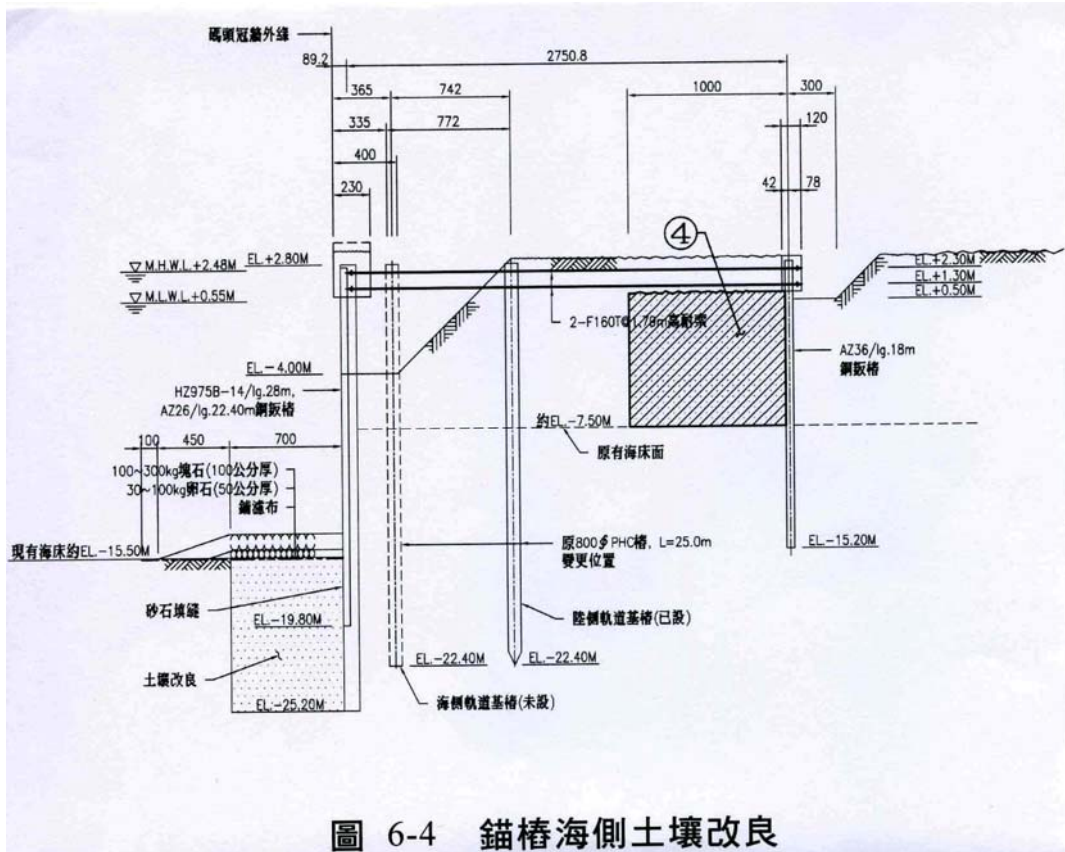


圖 6-4 錨樁海側土壤改良

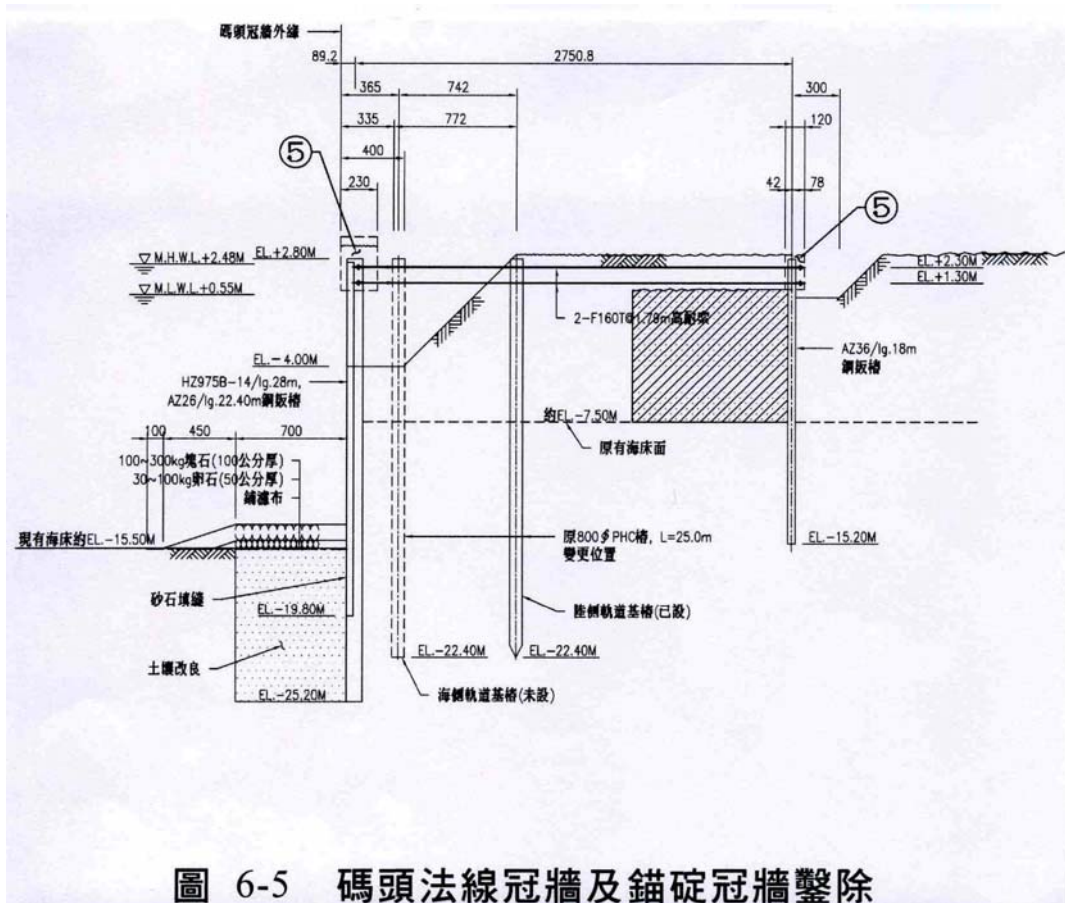
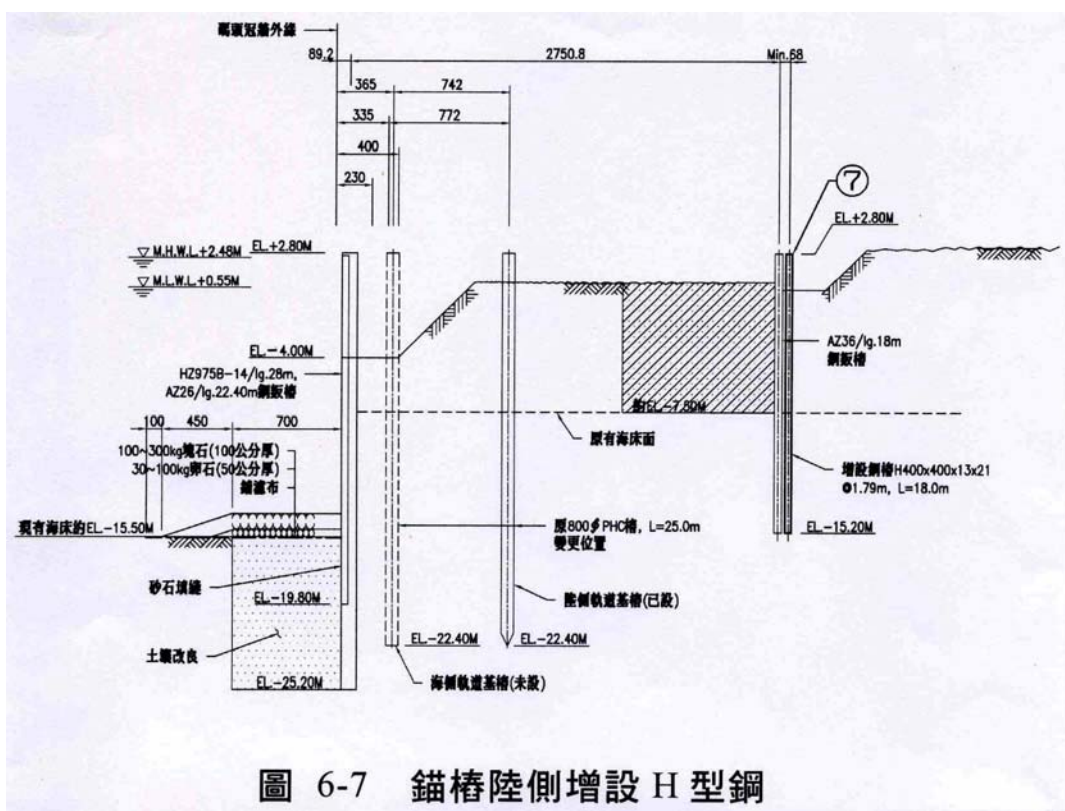
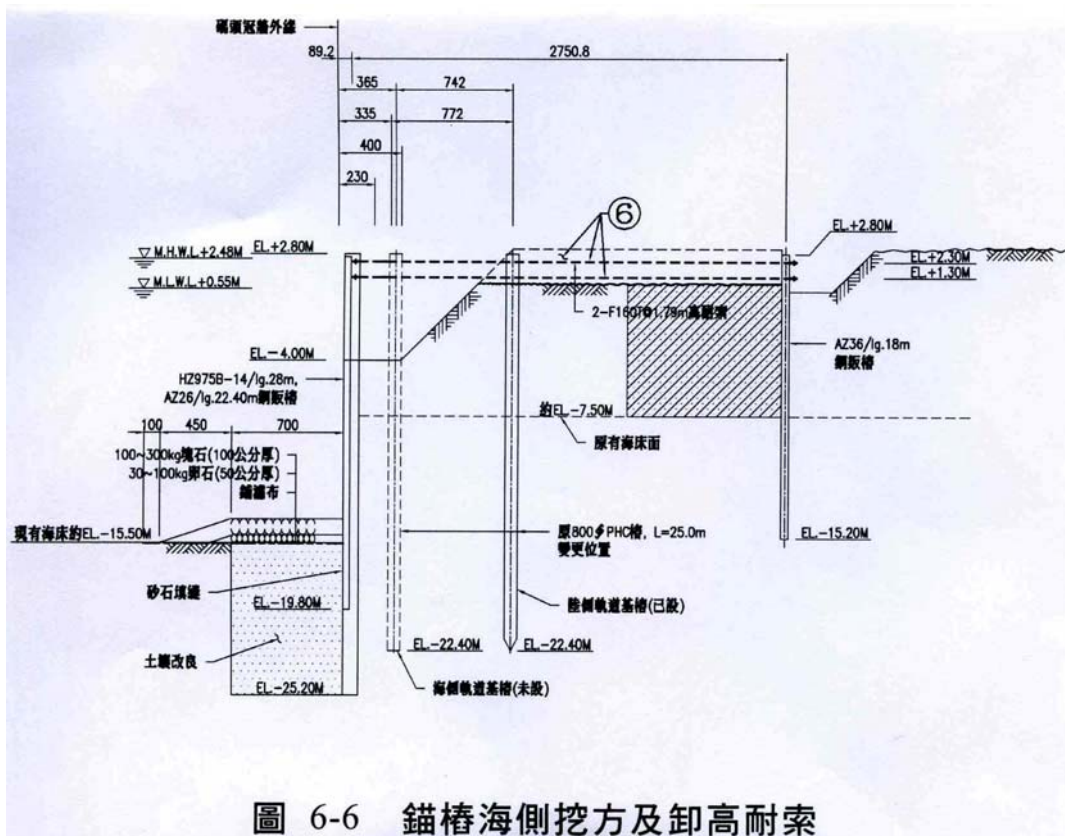


圖 6-5 碼頭法線冠牆及錨碇冠牆鑿除



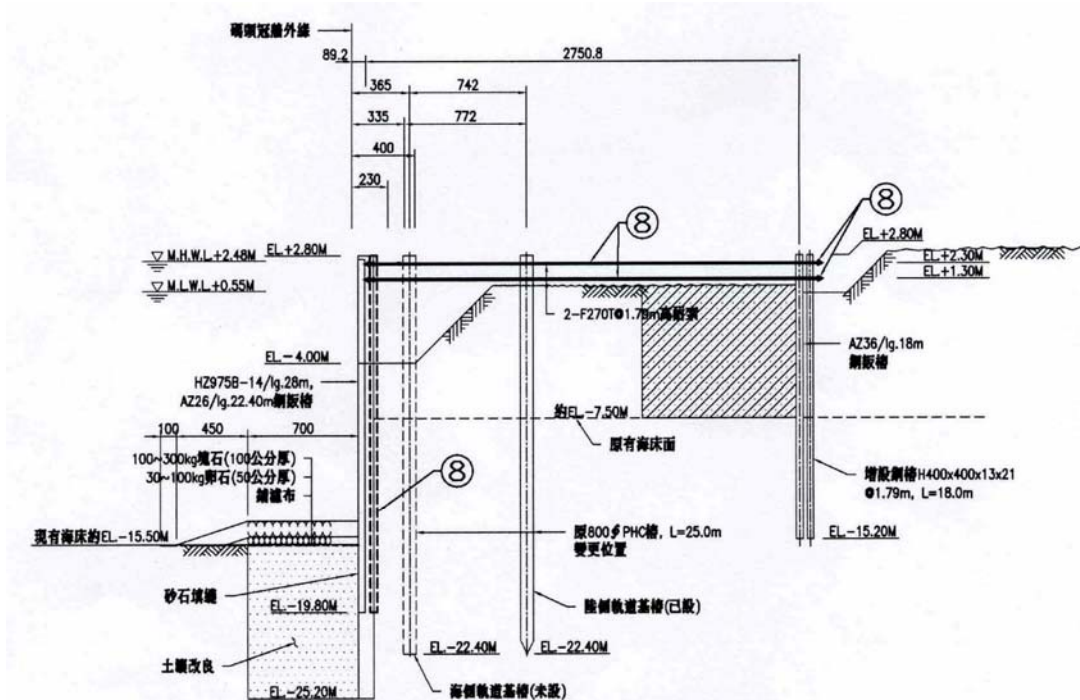


圖 6-8 岸壁板樁背後沖樁同時安裝高耐索由錨樁處施力拉回岸壁板樁

(5) 步驟⑧ 由錨錠板樁陸側施力拉回法線鋼板樁(圖 6-8)高耐索強度升級,換裝完成後,開始進行板樁拉回動作,但為求施拉力之效率,同時在法線鋼板樁背後沖樁,沖樁管配置示意圖 6-8-1。

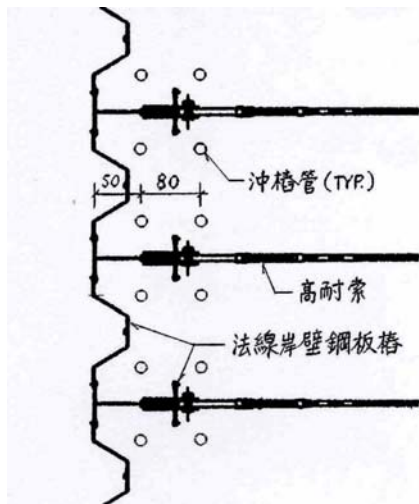


圖 6-8-1 沖樁管配置示意圖

- (6) 步驟⑨ 澆築錨錠板樁 RC 冠牆並連接 H 型鋼樁
- (7) 步驟⑩ 法線鋼板樁陸側填方並連接 H 型鋼樁(同前 4)
- (8) 步驟⑪ 澆築法線板樁 RC 主冠牆並連接 H 型鋼樁
- (9) 步驟⑫ 法線鋼板樁陸側土壤改良
- (10) 步驟⑬ 澆築防舢材基座及緣石
- (11) 步驟⑭ 冠牆施工縫碎裂、伸縮縫間隙及本體修護
- (12) 步驟⑮ 冠牆本體裂縫修護

(三) 執行經過

1. 主冠牆鑿除 93.3.17 開始施工, 93.4.8 完成。
2. 新設 F270T 高耐索 93.3.23 前完成發包手續, 4 月初起, 陸續在工地交貨。

3. 原 F160T 高耐索之拆卸工作，當新設高耐索陸續進場後，93.4.10 開始施工，93.6.6 完成 88 條換裝作業。
4. 主冠牆 RC 鑿除 93.3.17~93.4.8 完成，新設 F270T 高耐索亦於 93.6.6 換裝並施力拉緊完成，93.6.1 開始進行法線鋼板樁拉回動作，(法線鋼板樁背後沖樁，與以兩部重型油壓機在錨錠板樁陸側施力拉回法線鋼板樁之動作，同時進行)，至同月 20 日施工完成，法線鋼板樁拉回之成果，較預期為佳(雖未完全拉回，但鋼板樁之位置，扣除保護層後，已可進入新製之 RC 主冠牆內，即不影響外觀，更無安全顧慮)。
5. 主冠牆及錨錠冠牆 RC 澆築工作，次日(93.6.21)隨即開始施工，錨錠冠牆於 93.7.15 首先完成，主冠牆部份，兩個單元長度共 72 公尺亦分別於 93.7.28 及 93.8.7 順利完成。
6. 冠牆施工縫擠壓碎裂修護、冠牆伸縮縫間隙修護、冠牆本體裂縫修護及碼頭防舷材基座及緣石之重製工作，在 93.8~10 月間陸續依顧問公司提出「受損修護計劃書」之規範施工完成。
7. 碼頭卸煤機軌道 800mm Φ PC 基樁 97 支 93.6.9 開始施工，93.8.17 施工完成，背填土於 93.8.15 亦配合完成，施工最後階段開始製作卸煤機軌道 RC 鋼樑 50M (93.8.15~93.11.10)。
8. 碼頭 AC 鋪面，在卸煤機軌道 RC 鋼樑完成後，立即開始施工，並於

93.11.24 全部完工。

七、事故發生之可能原因

許多事故之發生，來得突然，原因錯綜複雜，往往並非單一因素所造成，屬於工程範疇之事故，更是如此，本工程之事故即是一例，筆者因任職出資公司，曾親身參與全部工程之監造工作，願意在此就個人見解詳為分析，以作為來者之鑑。

(一) 碼頭卸煤機軌道 800mm Φ PC 基樁 97 支 92.6.26 開始施工，至 92.7.3 止，施工完成 89 支，在接進完成時，碼頭法線發生偏移，基樁打設為造成偏移之近因。

(二) 104 號碼頭為「業主單位」之卸煤碼頭，但因卸煤機規格相關單位遲遲不能決定，故其軌道鋼樑 PC 基樁之樁位無法定案，施工單位為配合政策而延滯施工，原預定 92.1.5 打樁，延至 92.6.26 才開工。在長達六個月之滯工等待期間，碼頭後續地質改良工作無法施工(地質改良後打樁，鋼板樁接樁可能因打樁擠壓而開裂)，港域浚挖之砂土持續回填至 104 碼頭後方，而碼頭已回填土部份長久處於飽和含水未達設計強度之狀態，遇後方廣場繼續回填土之橫向推力及間歇性之震動力(推測為基樁打設時所生成)作用，導致鋼板樁主動土壓力倍增，而錨錠鋼板樁前土壤因未達設計強度，尚無法承受法線鋼板樁之拉力及後方推力之情形下，最後終而使冠牆發生異常緩慢偏移之現象。

(三) 營造公司在施工過程中之鋼板樁

打設、高耐索安裝及施預力、港池浚挖、回填砂及冠牆澆置等施工流程、施工記錄、施工照片及施工品質檢查表，均顯示符合施工規範要求。

(四) 基樁打設、回填之砂土有液化傾向、鋼板樁向海側偏移，此三者之因果關係：當基樁打設時，已回填之砂土受震動力影響加速液化，推動法線鋼板樁向海側偏移，錨錠板樁海側土壤因液化作用而使被動土壓力不足，又因陸側廣場土壤持續液化造成主動土壓力過大，而完全失去錨錠之功能，終而使法線鋼板樁向海側偏移之狀況更形惡化。

(五) 高耐索前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離：假設錨錠板樁功能正常，該板樁應藉由高耐索之聯結，拉住法線鋼板樁使其不發生偏移，或使其不致發生過大之偏移，但本工程之實況為，擔當聯結重任之高耐索並未斷裂，卻在緊要關頭其前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離，此乃為偏移量高達 75 公分之主因。

因此，由損壞特質研判－72mm

Φ 拉桿材質 FCD50 為球狀石墨鑄鐵件，經工地取得實體送經濟部標準檢驗局，雖經 92.11.18 實驗報告顯示拉桿之抗拉強度、降伏強度、伸長率及硬度均符合 JIS 規範規定，但這種鑄鐵並不適合本工程作為拉桿功能之材料，其道理在於，實驗項目及 JIS 規範均無「抗剪力」之規定，審視拉桿斷裂實體，應為受剪力破壞，何況「鑄鐵」材質本就易遭脆性破壞，在此可大膽推論，鑄鐵製拉桿即無抗剪能力，抗拉強度又不如鉻鉬鋼，遭遇基樁打設之上下震動時，立即被剪斷，因此產生以下之問題：

1. 鋼板樁與高耐索之聯結系統發生問題
2. 拉桿材質選用得並不適合，因未考慮承受「剪力」，因此顧問公司 92.11.21 提出「受損修護計劃書」步驟⑤提高高耐索強度，並將聯結器系統廢棄不用，拉桿改以材質鉻鉬鋼(SCM440)之傳統高耐索套頭直接以插銷聯結鋼板樁。

下表為「FCD50 石墨鑄鐵件」與「SCM440 鉻鉬鋼」不同材質之比較表

標稱	材	降伏點	抗拉強度	伸長	收縮	衝擊	硬度
FCD50	鐵	35kg/mm ²	50kg/mm ²	7%	不定	不定	241
SCM440	鋼	85	100	12%	45%	6 以上	352

(六) 由緊急修護措施判斷，法線鋼板樁之被動土壓力不足，因為：

1. 鋼板樁之入土深度可能不足
2. 鋼板樁海側土壤貫入 N 值可能太低

因此顧問公司 92.09.10 提出「緊急防止惡化臨時措施建議書」之步驟
③ 法線岸壁鋼板樁海側海底地質改良，即為提高鋼板樁海側土壤貫入 N 值之最直接而有效之工法。

(七) 本工程聯結法線鋼板樁與錨錠板樁之高耐索，採用上、下雙層方式，與傳統高耐索僅為單層聯結方式，大不相同，如何能使上、下雙層之高耐索同時受力，為最大的問題，如每次均為單層受

力，則非設計不足即是超額設計，設計不足會影響安全，超額設計則是不符合經濟原則，兩者均不足取，雖說國內外均曾有先例，但經仔細查證後發現，該等案例均有其特殊背景，與本工程之時空環境、構造原理、施工方法等均不相同，此種設計理念確有商榷之空間。

(八) 事故發生之後，本公司曾多次派遣水下工作人員，對法線鋼板樁之偏移情形作詳細之檢查，發現鋼板樁本體並未彎曲亦未折損，而是從上至下整樁向外海變位（圖 D），同樣的，錨錠板樁之變位與法線鋼板樁變位同質同量，這表示：

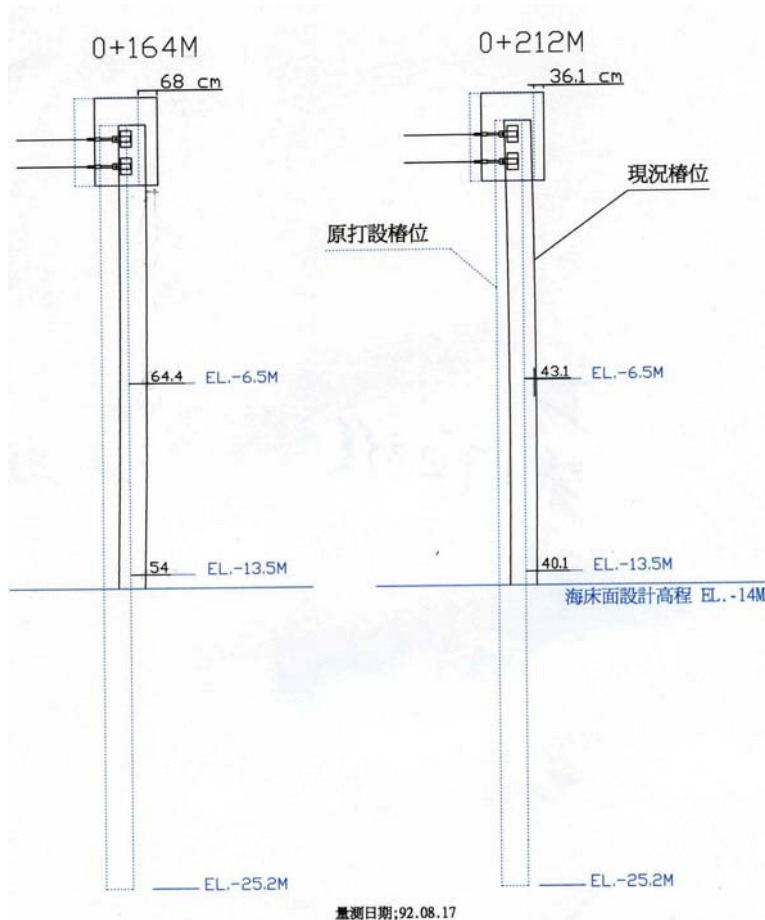


圖 D 104 號碼頭法線鋼板樁之偏移量示意圖

1. 海側海底土壤 N 值不足，故無法產生足夠的被動土壓力來抵抗 ① 基樁打設震動之近因。② 長達六個月以上飽和含水土壤向海側之主動土壓力。
2. 碼頭回填土確有液化現象，致使錨錠板樁亦得不到足夠的被動土壓力支撐，而使錨錠功能盡失。
3. 鋼板樁之設計強度及材質均應無問題。

八、發生之後遺症：
詳下章。

參、法線偏移，但錨錠鋼板樁未偏移之檢討

一、碼頭概述：93.11.12，103 號碼頭 AC 全部鋪設完成。

二、事件發生：

93.12.4 (週六) 本公司值班工程人員上午 9:30 通報「103 號碼頭靠 104 碼頭端部發生明顯位移 (照片 2-1)，碼頭面下陷約 30 公分，伸縮縫開裂 (照片 2-2)，土方有自伸縮縫流失之狀況」。



照片 2-1 103 號碼頭靠 104 碼頭端部發生明顯位移



照片 2-2 104 碼頭伸縮縫開裂圖 E

三、處理經過：

(一)「位移」及「下陷」處，當天下午立即進行開挖，一則，快速減輕主動土壓力，遏止災害擴大，二則，檢視高耐索之實際情形。

(二) 通報相關單位，儘速作詳細檢查，以得到最佳之修護方案。

四、檢查結果：

(一) 偏移狀況 (如圖 E)

1. 主冠牆法線偏移部份：冠牆法線長度 200 公尺，偏移量最大為法線靠 104 碼頭端部起水平距約 20 公尺處之 40 公分，偏移長度約 40 公尺。

2. 錨錠冠牆無偏移。

(二) 高耐索斷裂狀況 (如圖 F，斷裂數量如下，圖 F 僅供參考)

1. 上層高耐索：112 組共斷 22 組

2. 下層高耐索：112 組共斷 20 組

3. 高耐索並未斷裂，其前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離 (照片 2-3, 2-4) 鋼板樁無破損，無漏砂。



照片 2-3 前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離



照片 2-4 前端之 72mm Φ 拉桿斷裂脫離

圖 E

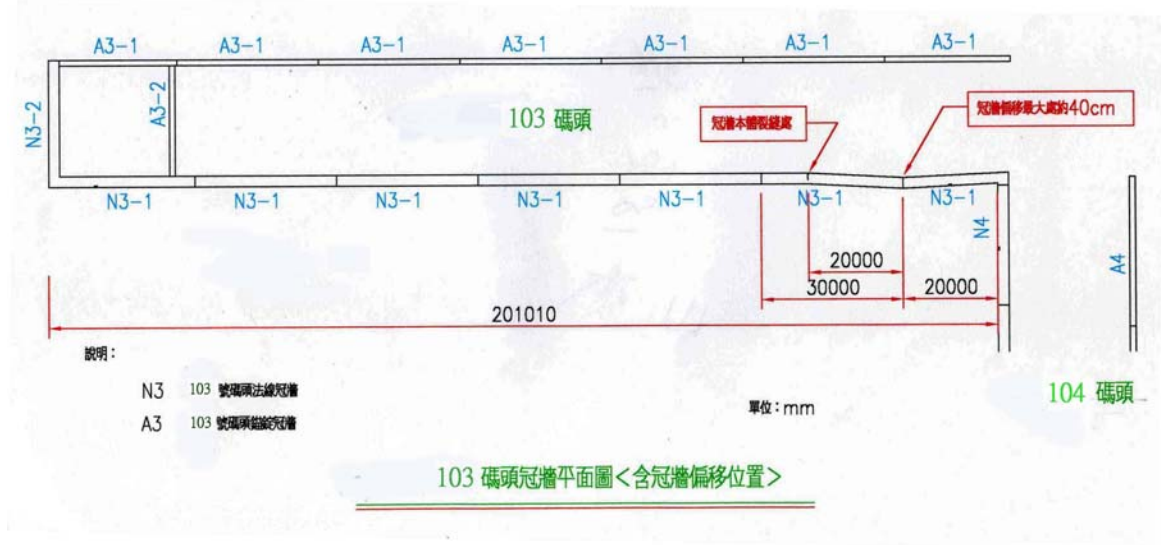
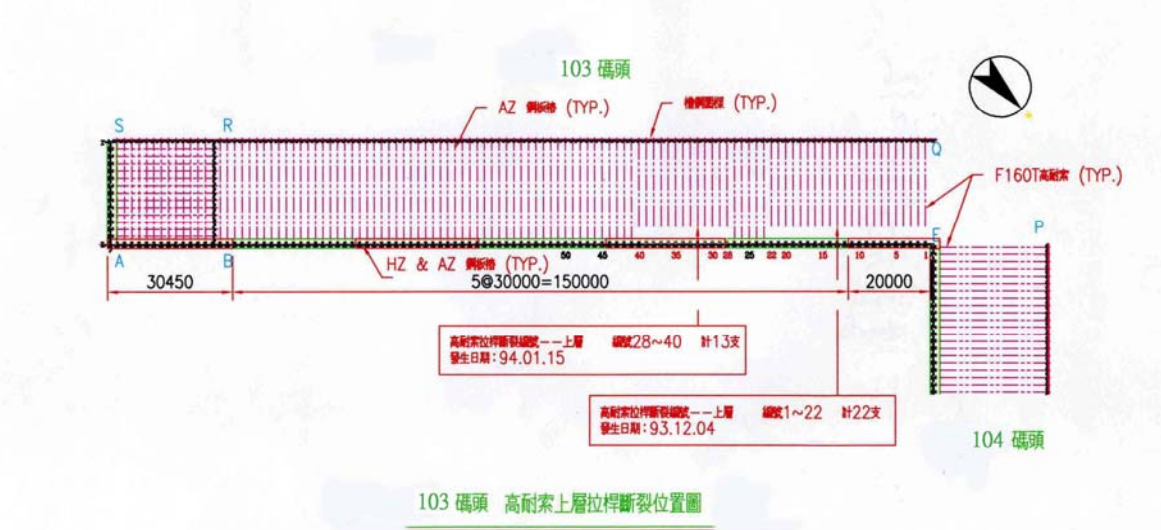


圖 F



(三) 冠牆伸縮縫開裂兩處。

(四) 冠牆本體，承受不了偏移發生時之張力，亦產生裂縫。

五、整體修護計畫與執行要點

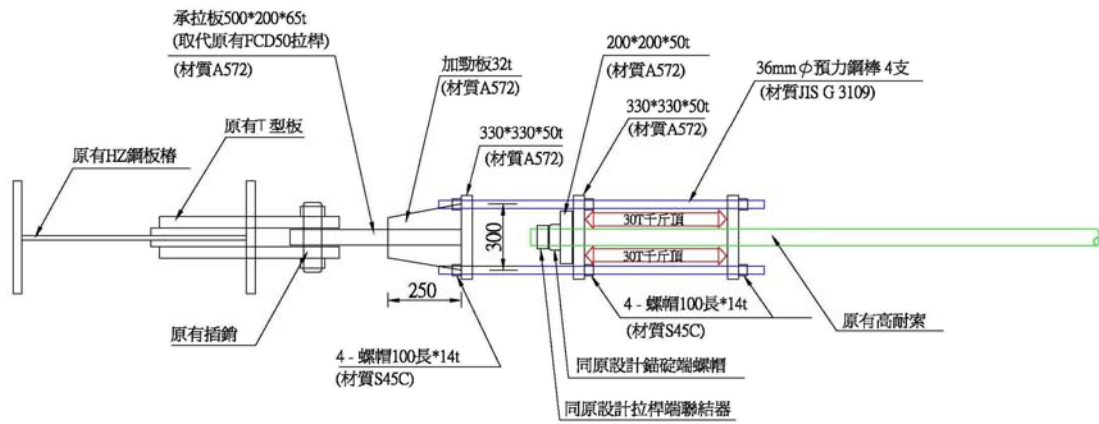
步驟 1 主冠牆之一部份鑿除：須鑿除至鋼板樁之 T 型板外露，俾便裝置新製之承拉板及聯結構件共 44 組。

步驟 2 高耐索之 72mm Φ 拉桿更換為新製之承拉板（含聯結構件）：

施工圖詳如圖 G、M，承拉板強度計算式見次三頁

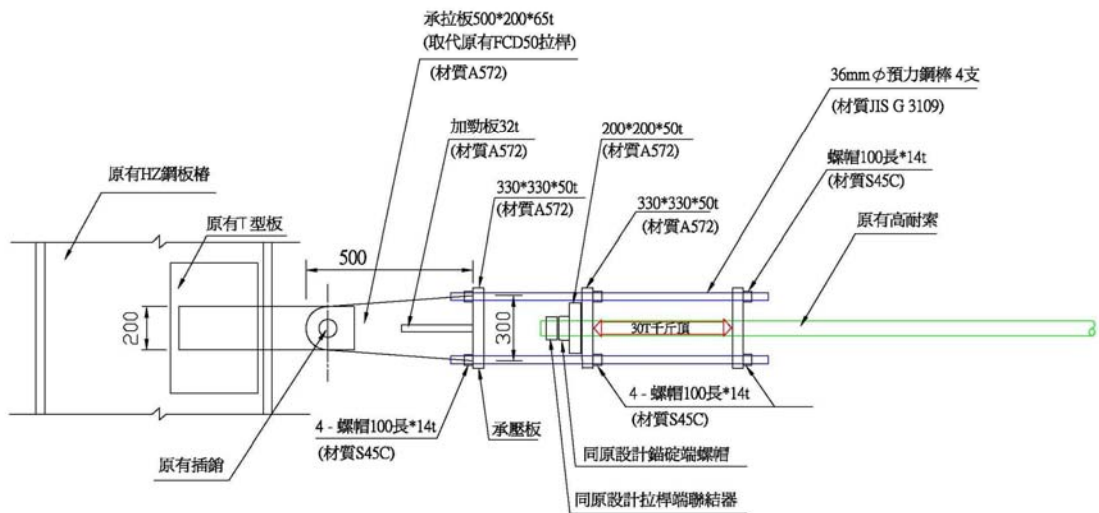
步驟 3 法線鋼板樁陸側沖樁同時藉高耐索以不超過每條 40T 之拉力將主冠牆拉回（照片 2-5,2-6）

步驟 4 主冠牆澆築：必須將鋼筋聯接（或焊接），再澆置混凝土，冠牆須加厚至足以將預力鋼棒之螺帽外緣包覆在冠牆內（圖 H）。



平面圖 單位：mm

圖G 103碼頭高耐索拉桿置換為承拉板施工詳圖



立面圖 單位：mm

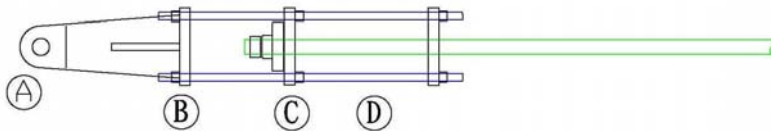
圖M 103碼頭高耐索拉桿置換為承拉板施工詳圖

承拉板強度計算式

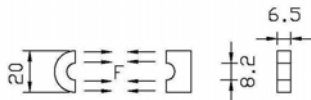
材料強度

預力鋼棒: $F_y = 112T$

A572鋼板Grade 50: $f_y = 3,520 \text{ kg/cm}^2$



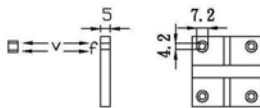
檢核點A



承拉板插梢處之拉應力

$$F \text{ 容許拉力} = 0.6f_y * A_s = 0.6 * 3520 * 6.5 * (20 - 8.2) \\ = 162 \text{ T} > \text{高耐索拉力} = 160 \text{ T} \quad \text{O.K}$$

檢核點B



1. 螺帽外圓周對承壓板之剪應力

$$\text{每支螺帽之外力} = 160,000 / 4 = 40,000 \text{ kg} \\ \text{抵抗剪力之面積} = 3.14 * 7.2 * 5 = 113.04 \text{ cm}^2$$

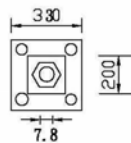
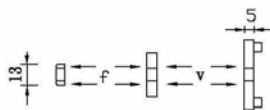
$$v \text{ 剪應力} = 40000 / 113.04 \\ = 353 < 0.33f_y = 1160 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

2. 螺帽厚度對承壓板之壓應力

$$\text{每支螺帽之外力} = 160,000 / 4 = 40,000 \text{ kg} \\ \text{抵抗壓力之面積} = 3.14 * (3.6 * 3.6 - 2.1 * 2.1) = 26.847 \text{ cm}^2$$

$$f \text{ 壓應力} = 40000 / 26.847 \\ = 1490 < 0.6f_y = 2112 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

檢核點C



1. 螺帽厚度對承壓板之壓應力

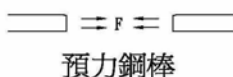
$$\text{螺帽之外力} = 160,000 \text{ kg} \\ \text{抵抗壓力之面積} = 98 \text{ cm}^2 \\ f \text{ 壓應力} = 160000 / 98 \\ = 1632 < 0.6f_y = 2112 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

2. 200*200承壓板對330*330承壓板之剪應力

$$200 * 200 \text{ 承壓板之外力} = 160,000 \text{ kg} \\ \text{抵抗剪力之面積} = 200 * 4 * 5 = 4000 \text{ cm}^2$$

$$v \text{ 剪應力} = 160000 / 4000 \\ = 40 < 0.33f_y = 1160 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

檢核點D



預力鋼棒

$$F \text{ 容許拉力} = 0.6F_y = 0.6 * 112T \\ = 67 \text{ T} > 160 / 4 = 40 \text{ T} \quad \text{O.K}$$

步驟 5 冠牆伸縮縫間隙修護：先於間隙內灌注無收縮水泥砂漿，再於冠牆陸側壁上增貼2公尺寬瀘布兩層，並於背後拋卵石料。

步驟 6 冠牆本體裂縫修護：先將裂縫表面以「水中硬化型環氧樹脂密封劑，如 EX400 型或同級品」加以密封，再以注射針頭灌注「長時間水中硬化型環氧樹脂灌注劑，如 BOND E2800 型或同級品」。

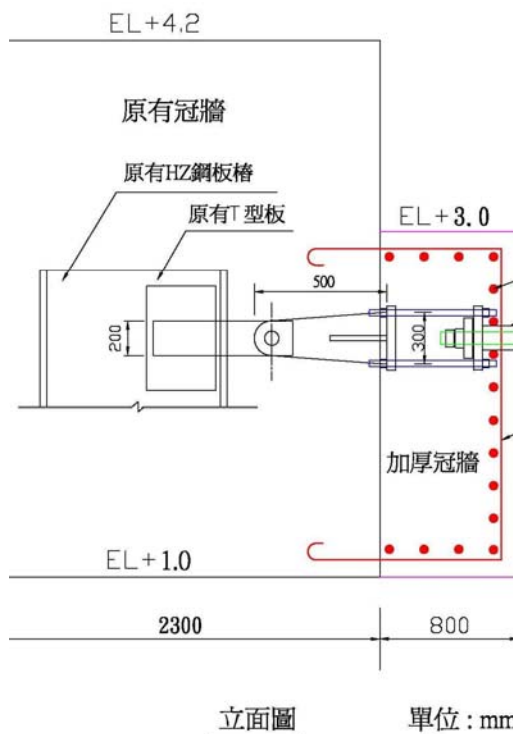
93.12.4 事故發生後，因鑑於工期之壓力，且剛剛歷經 104 號碼頭偏移之修護經驗，筆者承上級長官之命，毅然挑起主導整體修護計畫與執行之責任（但必須在合資單位與設計單位之認可原則下進行），筆者邀集相關人員密集討論後，93.12.8 整體修護計畫已然成形，93.12.11 即從鑿除冠牆開始施工，同時拆除已斷裂之拉桿，93.12.18 開始安裝新製之承拉板，並對冠牆施以拉力，次日 93.12.19 即發現冠牆已有縮回現象，93.12.20 測量得知 40 公分之偏移，拉回 20 公分，93.12.22 竟然已全部拉回，接下來之修護工作按部就班，94.2.16 全部竣工。



照片 2-5 法線鋼板樁以新製之承拉板拉回（一）



照片 2-6 法線鋼板樁以新製之承拉板拉回（二）

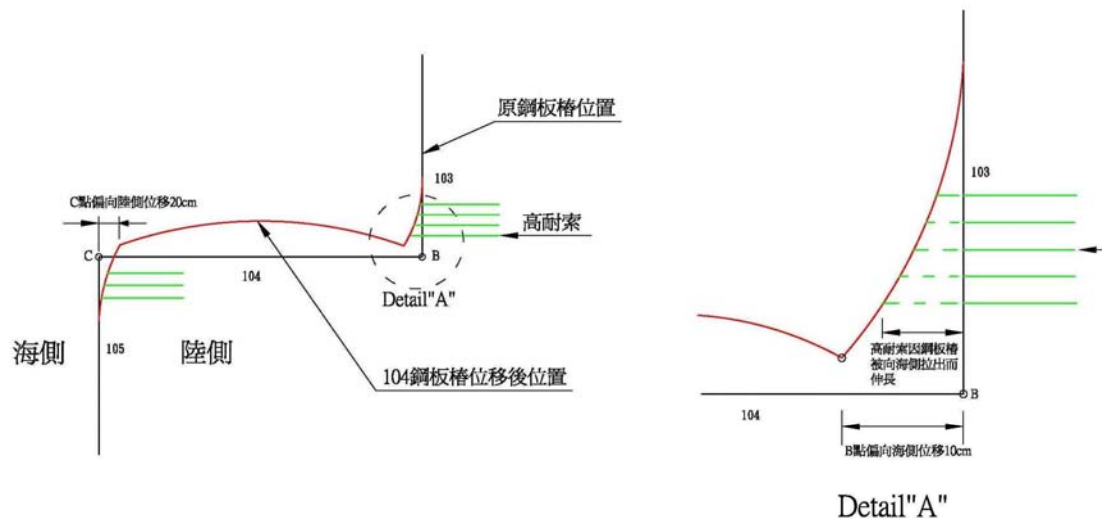


圖H 103碼頭冠牆加厚施工圖

六、事故發生之可能原因

(一) 高耐索之拉桿斷裂原因—本 103 號碼頭損壞處係位於 104 碼頭與 103 碼頭轉角處緊臨之兩單元，約 40 公尺長範圍，研判係當初 104 碼頭向海側（外）偏移時，導致 103 碼頭鄰近單元之高耐索部份過度承受額外加上之拉力（詳圖 K），使得拉桿斷裂，高耐索失去作用，並由轉角處開始損壞之連鎖反應，並延伸傳遞至第二單元之前半段。第二單元之後半段開始時不受影響，碼頭結構維持完好。拉桿斷裂之原因，與前節所述相同，不再贅述。

(二) 其他損害如冠牆偏移、伸縮縫間隙擴大及冠牆本體裂縫均係由於高耐索之拉桿斷裂脫離時所造成。



圖< 103碼頭高耐索被拉伸示意圖

肆、結論與建議

一、14 公尺水深之碼頭，剛好屬於棧橋式碼頭與鋼板樁碼頭之臨界水深選擇點，傳統觀念應以棧橋式碼頭設計，才符合安全考量，如以鋼板樁碼頭設計，則應再輔以海底地質改良之增加土壤 N 值，

或某種程度的增加鋼板樁樁長，以求得經濟及安全雙全之設計成果，應為值得進一步研究的課題。筆者曾任選「北部鋼板樁碼頭 A、南部鋼板樁碼頭 B」比較資料：

	104 號碼頭	北部鋼板樁碼頭 A	南部鋼板樁碼頭 B
船席水深	14 公尺	13 公尺	11.5 公尺
鋼板樁型式	單 HZ(寬 0.53M)	雙 HZ (寬 1.01M)	單 HZ (寬 0.53M)
鋼板樁長度	28 公尺	29 公尺	30 公尺
鋼板樁入土深度	11.2 公尺	12.8 公尺	16.8 公尺
高耐索佈設	雙層 (受力不均)	單層	單層
高耐索拉力	160T (上下兩條)	200 T (平行兩條)	每條 270 T
承受被動土壓面積	7.4 m ² /M	9.58 m ² /M	16.8 m ² /M
承受被動土壓面積 比值 (104 碼頭=1)	1	1.29	2.27

- 二、土木工程的安全係數均有詳細規範，一般設計者只要謹守規定，工程完成後，除遇重大災難外，均能安然渡過設計年限，惟在施工階段，因會面臨到各種複雜不同的狀況，而工程本身又未完成，施工至各個不同的階段時，結構體能承受之外力又很難推算，因此工程在施工中破壞之案例，遠較完成後為普遍。以本文所述之 104 號碼頭偏移案例而言，設計案首重經濟條件（鋼板樁長度不足、拉桿材質不佳），而使安全條件面臨臨界狀況，又適逢碼頭回填砂之地改延宕施工達六個月之久，因而產生的主動土壓力造成事故發生，如果像 105 號碼頭，回填砂之後，地改緊接著施工，自始至終不會發生碼頭偏移之事故，同樣的設計、同樣的地質，不同樣的施工步調，結果大不相同。
- 三、由上觀之，筆者建議，好的設計者應將施工過程中對結構體之影響分階段作較詳細的評估，以提醒施工者注意，好的施工者更應確實掌握自己的施工脈動，遇有異常狀況（如地質不符原設計、施工方式須變更、施工進度被迫停滯等），必須立即向設計單位反應，平時之監測、計錄等工作務必落實，此次 104 號碼頭卸煤機軌道基樁打設時，施工單位對碼頭法線之測量工作，有疏忽之情形，未能在偏移剛產生時，就先發現而停工，造成之偏移繼續擴大，增加日後處理之困難度。
- 四、土木工程的设计者之心態「保守」應大於「創新」，「安全考量」應大於「成本考量」，一個工程的作法採大多數案例之作法，通常發生之錯誤機會較少，亦是偏安全之作法，如執意採創新工法，則必須增加一些成本來保障安全，本文所述之 104 號碼頭，如採較長之鋼板樁，並採單層大拉力高耐索佈設直接以套環與鋼板樁聯結，而不以拉桿經過聯結器與鋼板樁聯結，或直接採棧橋式碼頭之傳統設計，相信發生問題的機會應該不大。
- 五、「業主單位」與「出資公司」密切合作，果斷行事，為化解危機之唯一途徑，本案例之過程，足資同業討論、研究及參考。103、104 號碼頭相繼發生偏移事故之後，參與工程之相關單位人士，秉持儘速找出問題、解決問題之信念，從未互相抱怨、推卸責任，甚至於各單位之高階主管對從業人員只有鼓勵，從無責難，到底沒有人願意見到事故發生，我想這種和諧的氣氛才是使問題很快得以解決之原因，在此，特別值得一提的是，「出資公司」在得知施工單位並無明顯缺失時，營建部門主管即表示在保險理賠到位之前，公司先撥專款作為修復費用（追訴責任、要求賠償、仲裁訴頌等手段均非解決之道），一定要儘速趕上完工進度，這種負責果斷之態度，是吾等土木工程從業人員應認真學習的。

六、104 號碼頭 92.8.7 發生偏移事件之後，歷經 5 個月的時間研擬修護計畫，7 個月的修護時間，至 93.11.30 完成全部新建工程（完工照片如 2-7），因偏移事件而增加費用約 3200 萬元，94 年 10 月獲保險理賠約 1450 萬元。

103 號碼頭新建工程於 93.11.12 已全部完成，因受 104 號碼頭偏移之牽扯，致使內部高耐索過度承受拉力，又因拉桿材質不佳，與 104 號碼頭情形相同，承受不了拉力而終於斷裂，93.12.4 發現偏移後，立即展開研擬修護計畫及修護施工齊頭並進，於 94.2.16 完成全部修護工程，因偏移事件而增加費用約 500 萬元，因保險已過期，並未獲保險理賠。

兩座碼頭因「偏移事件」，「出資公司」扣除保險理賠，增加支出約 2250 萬元，事後並未向任何單位求償，但整體三座碼頭（103.104.105）新建工程算是成功的，至今該三座碼頭未再發生異常狀況，並維持正常營運。

七、特將事件始末忠實記載，以個人寶貴經驗提供日後碼頭設計及施工者作為參考、殷鑑。



照片 2-7 104 號碼頭完工全景