

蘇澳港防波堤沉箱圖像資料調查分析評估

洪維屏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
林受勳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
薛憲文 國立中山大學海洋環境及工程學系教授

摘要

蘇澳港位於宜蘭縣蘭陽平原南端之蘇澳灣內，北距基隆港 50 哩，南距花蓮港 40 哩，港口中心位置為北緯(N) 24 度 35 分 60 秒，東經(E)121 度 52 分 24 秒。因應蘇澳港部份碼頭結構物損壞，本研究針對其防波堤沉箱進行水面上目視水面下攝影調查，分析颱風期間前後結構物破壞情形，研擬短期及長期的維護措施及估算工程經費，並提出沉箱式防波堤維護工法建議，以防範未然，提供蘇澳港於防波堤遭受颱風侵襲後，能有一完整的應變措施。

一、前言

蘇澳港位於臺灣東部，東臨太平洋，每年受到颱風侵襲，使得防波堤在颱風期間受波浪之作用，導致消波胸牆的破壞，防波堤受到惡劣波浪與颱風期間極端大浪的侵襲作用，造成每年必須加以維修與復建，故在蘇澳港整體規劃及未來發展，預定利用平面折繞射數值模式，評估防波堤所承受之堤址外力。

藉由堤址附近圖像資料調查分析；水面上下攝影調查作業；港區內水深背景地形調查；水面以上結構物檢測評估，以進行各項檢測成果比對，並針對沉箱安全評估探討分析等項進行蘇澳港防波堤沉箱圖像資料調查分析評估。

二、蘇澳港防波堤沉箱圖像資料調查

2.1 現況環境

本研究調查分析評估地點為蘇澳港港區內，以及南、北外廓防波堤附近海域範圍。

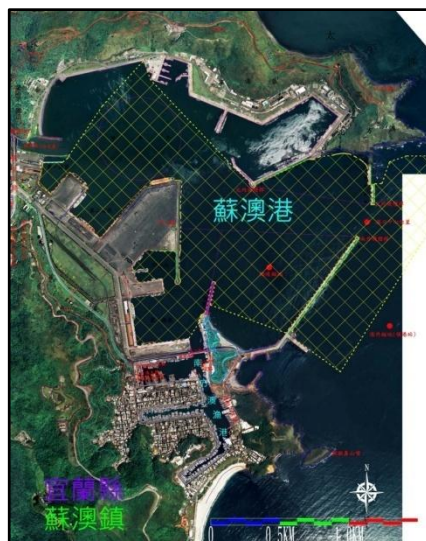


圖 1 港區內水深背景地形調查範圍 (斜線區域)

範圍包含(1)南外廓防波堤：測區範圍沿著南外廓防波堤(含南突堤岸沉箱)，內外側各 50 公尺，自碼頭堤岸區，至堤頭燈塔處，測帶寬約 100 公尺，全長約 2 公里，面積約 0.2 平方公里。(2)北外廓防波堤：測區範圍沿著北外廓防波堤內外側各 50 公尺，自碼頭堤岸區，至堤頭燈塔處，測帶寬約 100 公尺，全長約 500 公尺，面積約

0.05 平方公里。其中，港區內水深背景地形調查範圍，如圖 1 斜線區域所示；堤址附近圖像資料調查分析範圍，如圖 2 斜線區域所示。

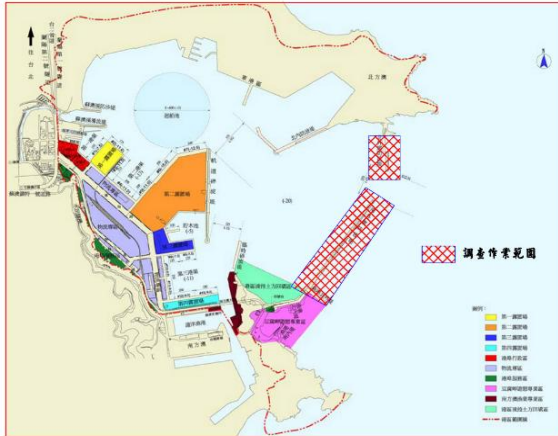


圖 2 堤址附近圖像資料調查分析範圍

2.2 蘇澳港內水深調查

1. 堤址附近圖像資料調查分析

本調查分析主要採用多音束測深系統進行施測。作業步驟除包含：事前準備工作、測線規劃、儀器檢校、儀器架設及疊合測試(patch test)外，於水深測量(測深)施測時，需再進行船隻導航及定位、水位觀測、水中聲速量測、船隻姿態角觀測等工作項目，將所有觀測資料進行內業處理與計算，才可得到歸算後的水深地形成果(成果詳如圖 3 所示)。

2. 港區內水深背景地形調查

本調查使用多音束測深系統測量蘇澳港港區內及港外至 30 公尺處水深地形(成果詳如圖 4 所示)。

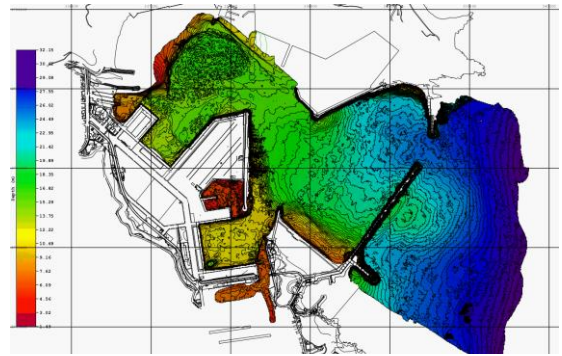


圖 3 堤址附近圖像資料調查成果

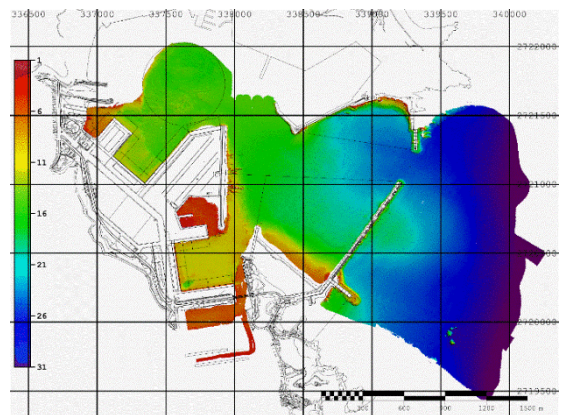


圖 4 港區內水深背景地形調查成果

2.3 水面上下攝影調查作業

於蘇澳港南、北外廓防波堤進行堤腳及堤址水下目視檢查及攝影，主要由潛水夫進行水下攝影調查作業，可即時判斷並以錄影和人工量測方式，描述堤區消波塊堆置現況。

1. 第 1 次攝影調查作業

本次攝影調查作業成果，如表 1 所示。檢查沉箱數量分別為南外廓防波堤 39 座、漁港北外堤 7 座及北外廓防波堤 12 座。防波堤沉箱編號如圖 5 所示。

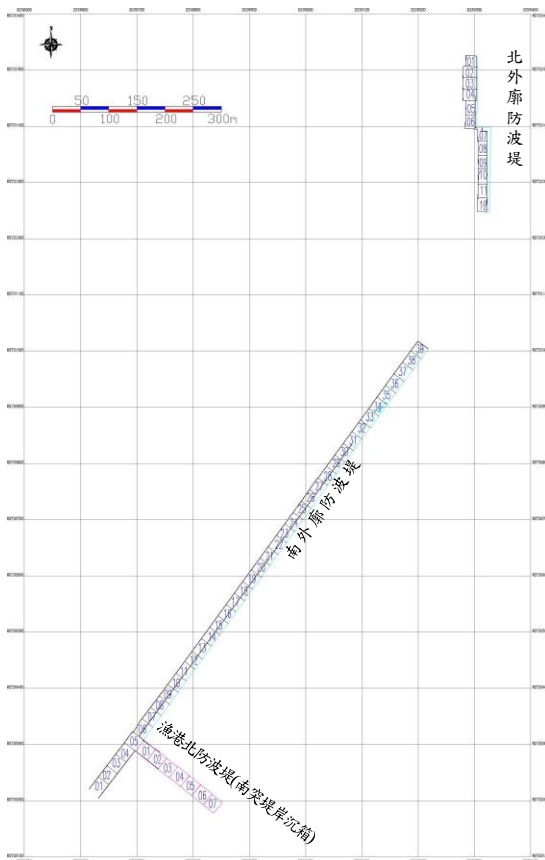


圖 5 蘇澳港防波堤沉箱編號

調查時，N12 沉箱海側水面下發現明顯橢圓形破孔，橫向長度約為 2.5m，高度約為 1m，鋼筋已明顯裸露，疑似船隻碰撞造成，水面岸壁亦發現疑似擦撞脫漆痕跡。南外廓防波堤外側 S21 沉箱外側底部(已施工修復)發現掏空狀態，長度約 3.5m，高度約 2.6m，內部縱深約為 2.5m，疑似為修復施工灌漿流失瑕疵，S23 沉箱底部發現破孔，長度約為 1.5m，高度約為 1.4m，內部縱深約為 1.5m。S05/S04 內側堤腳銜接處海床發現礫石區，疑似沉箱內部流失的礫石。

2. 第 2 次攝影調查作業

本次攝影調查作業成果如表 2，檢查沉箱數量同第 1 次作業。

調查時，N07 及 N10 沉箱已明顯曾經修復，底部較為凌亂。惟 N12 沉箱海側水面下於 108 年 3 月份發現橢圓形鋼筋裸露破孔尚未進行修復。N10 堤腳內外側海床均發現礫石區，疑似沉箱內部灌漿流失的新礫石。S19 外側沉箱底部(已施工修復)發現掏空狀態，長度約 6~8m，高度約 1.9m，內部縱深約為 3.0m，疑似為修復施工灌漿流失瑕疵。S21 沉箱底部(已施工修復)發現掏空狀態，疑似為修復施工灌漿流失瑕疵，但因安全考量，未進入施工架結構內部測量。

表 1 第 1 次水下攝影調查成果(僅標出異常處)調查日期:108 年 3 月

沉箱編號	堤腳狀況及異常說明
N02	外側護基方塊位移
N03	外側護基方塊位移
N07	沉箱外突鋼板模修補底部長約 1m 高約 1.2m 未封模 疑似兩處原破損沉箱壁
N12	沉箱壁面破損橢圓形孔長約 2.5m 高約 1m 鋼筋裸露
S21	縫隙 20cm 施工修補底部明顯掏空疑似施工瑕疵
S23	沉箱底部發現破孔
E07	外堤角延伸右外側頂部損毀

註 N：北外廓防波堤

S：南外廓防波堤

E：漁港北外堤

表 2 第 2 次水下攝影調查成果(僅標出異常處)調查日期：108 年 10 月

沉箱編號	堤腳狀況及異常說明
N06	護基方塊位移
N07	沉箱外突鋼板模修補部分鋼筋裸露
N11	疑似修補灌漿礫石釋出海床大型消波塊，外側護基方塊位移80cm
N12	水面檢查壁面破孔
N11	疑似修補灌漿礫石釋出海床大型消波塊
S19	沉箱底部疑似施工瑕疵造成坑洞
S21	底部明顯掏空疑似施工瑕疵
E07	外堤角延伸右外側頂部損毀

2.4 水面以上結構物檢測評估

北外廓防波堤堤體現況檢視可知其主體係採沉箱堤。由兩次現勘成果可知，防波堤堤體無位移及破壞等情形發生。整體而言，並無明顯損壞，其中堤面場鑄混凝土破損、部分消波胸牆混凝土剝落、沉箱大小不一等現象，初步評估應暫不影響堤體功能及安全性，尚不需立即辦理修繕作業，建議後續應持續辦理巡查檢視。

南外廓防波堤堤體之主體係採消波沉箱堤，現勘期間正在進行「蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港外堤)」，雖正進行修復工程，惟第 1 次現勘仍可見到堤面及胸牆出現數處裂縫，堤頂亦有部份陷落及修補情形，推測係因修復工程尚未完成所致，而過往已破壞之堤體大致已修復完成。第 2 次現勘時，沉箱堤體已修復完畢，惟堤面仍有些許破損之情形。

漁港北外堤堤體為沉箱合成堤，E04 沉箱前緣有發現 H 型鋼版樁，研判應為修復沉箱壁面時所留下，其 E04 沉箱堤面場鑄混凝土出現破洞之情形。

本研究參考 101 年及 102 年於蘇澳港之現勘記錄、104 年蘇迪勒颱風災損現勘、105 年梅姬颱風災損現勘與 108 年現勘紀錄進行比較；將以往之現勘之成果分析，漁港北外堤之沉箱破洞已修復完成；南外廓防波堤 SB6 沉箱，為主體破壞之沉箱，於第 1 次現勘時已修繕完畢，而 S14 沉箱，也於第 1 次現勘時已修復完成，其 S23~S24、S31、S34~S35 及 S37 沉箱則於第 2 次現勘時已修復完成；北外廓防波堤之 N10 及 N06 沉箱，過去胸牆破壞之情形，本次現勘則呈現修復之狀態，其大部分胸牆及沉箱堤面混凝土產生剝落情形，可能為原設計上方之胸牆及堤面混凝土因混凝土強度較低或是配筋不足等原因，導致大浪來襲發生越波時，在保護不足的情況下而發生破壞。



南外廓防波堤現況



南外廓防波堤海側現況



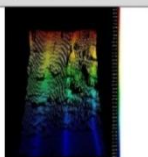
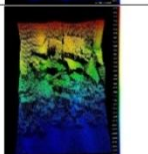
北外廓防波堤現況

圖 6 堤體現況檢視照片

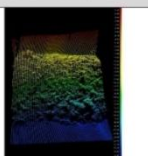
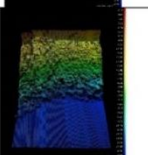
整體而言，由於本研究現勘期間亦正進行「蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港外堤)」，故現勘成果無明顯損壞，現況防波堤堤體亦未發現明顯位移及破壞等情形發生，以往破壞之部分已於第2次現勘時修復完畢，可見之破壞主要以堤面場鑄混凝土破損、部分消波胸牆混凝土剝落等現象為主，且因堤體修復後無顯著破壞情形，經評估應暫不影響堤體功能及安全性，尚不需立即辦理修繕作業，建議後續仍應持續辦理巡查檢視。

三、成果資料比對

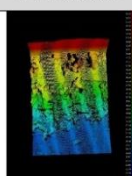
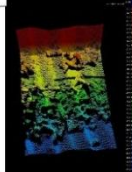
本研究比對蘇澳港外廓防波堤颱風期間前後2次檢測成果，經檢視北外廓防波堤海測 N05、N10、港測 N05 沉箱、南外廓防波堤海測 S10 沉箱及漁港北外堤港測 E06 沉箱之颱風期間前後水深點雲成果，並無明顯之變異情形。

沉箱編號	作業時間	潛水攝影截圖	多音束點雲成果
#10	第一次		
	第二次		

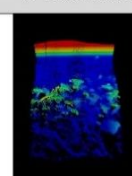
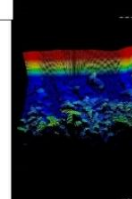
北外廓防波堤海測

沉箱編號	作業時間	潛水攝影截圖	多音束點雲成果
#05	第一次		
	第二次		

北外廓防波堤港測

沉箱編號	作業時間	潛水攝影截圖	多音束點雲成果
#10	第一次		
	第二次		

南外廓防波堤海測

沉箱編號	作業時間	潛水攝影截圖	多音束點雲成果
#06	第一次		
	第二次		

南外廓防波堤港測

圖7 光學與聲學資料比對成果

光學與聲學資料比對成果，部分摘錄如圖7所示。

四、沉箱安全評估探討分析

4.1 結構物堤址波浪外力評估

1. 資料蒐集及分析-颱風波浪

本研究區位於臺灣東海岸，平均每年約有1.76個颱風侵襲附近海域，故附近港灣構造物之設計皆須以颱風波浪為基準。因此，颱風資料之完整蒐集及颱風波浪之準確推算，將直接影響海上工程之安全及結構物之安定；以港灣構造物設計之50年迴歸期設計條件而言，本研

究區受 ENE 向影響最大，其外海波浪條件 $H_o=17.4\text{m}$ 、 $T_o=17.7\text{sec}$ ，並逐漸向南遞減，至 S 方向時降為 $H_o=10.9\text{m}$ 、 $T_o=13.9\text{sec}$ (如表 3 所示)。

2. 折繞射平面數值分析

利用 MIKE21 數值模擬軟體之 SW 模組計算後，可得各方向颱風波浪之折、繞射係數 (K_r 、 K_d) 分佈詳圖 8 所示。

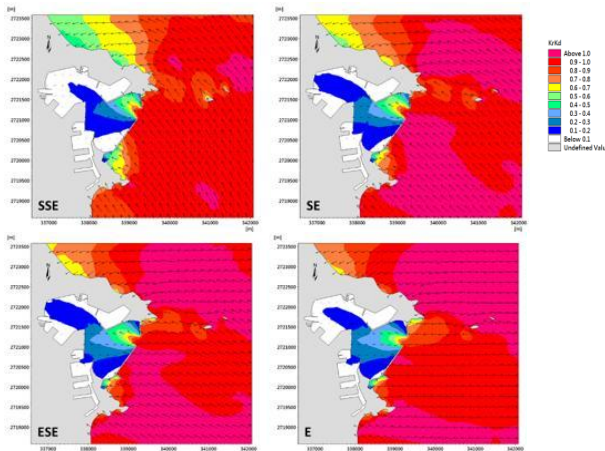


圖 8 50 年迴歸期颱風波浪波高分佈

藉由防波堤斷面設計時所採用之堤址波高值，與相對之波力、潮升及越波等物理量之推估所採用之深海波高，係為二維斷面波壓理論之結果，並未考量平面折繞射之影響因子，故在應用時，可採用 Goda 定義之等值深海波高 H_o' (equivalent deep water wave) 觀念修正深海波高。由於 H_o' 僅考量淺化現象，因此，實際採用 H_o' 時，必須加入折射係數(K_r)、繞射係數(K_d)修正，得出等值深海波高 $H_o'=H_o \cdot K_r \cdot K_d$ ，後續進行結構安全性分析時，將以此結果做為評估外力條件之依據。

本研究以 S~N 向採逆時針方

向之設計波浪推估堤址波高，由結果可知，ESE 向波浪對南外廓防波堤之影響最大。分析結果顯示南外廓防波堤各堤址高程範圍內之最大波浪作用值以 ESE 向波浪為主，其週期為 16.80sec，折繞射係數約為 0.6~1.10 間，堤址波高約介於 7.95m~15.79m。

表 3 蘇澳港外海各方向各迴歸期颱風設計波高分析表

波向	250		200		100		50		25		20		10	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
S	13.7	14.7	13.3	14.6	12.1	14.3	10.9	13.9	9.6	13.4	9.2	13.2	7.8	12.7
SSE	14.0	15.0	13.7	14.9	12.8	14.7	11.8	14.4	10.7	14.0	10.4	13.9	9.2	13.5
SE	17.8	17.2	17.4	17.1	16.2	16.8	14.9	16.4	13.6	15.9	13.1	15.7	11.5	15.2
ESE	19.6	17.6	19.2	17.5	17.9	17.2	16.5	16.8	15.0	16.3	14.5	16.2	12.8	15.6
E	20.7	18.8	20.3	18.7	18.9	18.2	17.4	17.7	15.7	17.2	15.2	17.0	13.3	16.3
ENE	20.6	20.4	20.1	20.3	18.6	19.6	17.1	18.9	15.4	18.2	14.8	17.9	12.9	16.9
NE	18.6	20.9	18.1	20.7	16.7	19.9	15.2	19.1	13.6	18.1	13.0	17.8	11.2	16.6
NNE	14.9	21.3	14.5	21.0	13.4	20.0	12.1	19.0	10.7	17.8	10.3	17.3	8.7	15.9
N	12.9	19.1	12.5	18.9	11.4	18.0	10.2	16.9	8.8	15.7	8.4	15.3	6.9	13.8

3. 舊有及現今設計條件之比對檢討

本研究進行深海颱風波浪推算及暴潮位設計條件探討，並將分析結果與舊有設計條件比對，以瞭解設計條件是否適宜。

(1) 深海颱風波浪推算

於設計波浪部份，經由前述分析，本研究選定 1940~2017 年 148 個對本區影響較大的颱風，進行深海颱風波浪推算，而由推算結果與原設計 SSE、SE、ESE 及 E 向之深海波浪條件進行比對，顯示其波高與週期均明顯高於原設計，波高約增加 55%~69%，週期約增加約 12%~33%(如表 4 所示);本研究長

期之深海波浪推算在主要波向(S~SE 向)有增加之趨勢，以南外廓防波堤過往損壞記錄顯示，原設計之波高條件有低估之虞。

表 4 深海颱風波浪推算波高與原設計條件比對結果

	原設計(13 年回歸期)		本計畫推算(50 年回歸期)		與原設計波浪比對結果	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
SSE	7.7	13.0	11.9	14.5	55%	12%
SE	9.0	13.0	14.9	16.2	66%	25%
ESE	9.9	13.0	16.0	16.8	62%	29%
E	10.0	13.0	16.9	17.3	69%	33%

(2) 暴潮位設計條件探討

由舊有設計條件資料顯示，原設計採用大潮平均高潮位+暴潮偏差+2.50m 進行設計，較歷年之實測最高高潮位+2.47m(中央氣象局 1981~2012 實測)為高，僅略低於與本研究推算之 50 年回歸期極端水位+2.57m，尚符合現況設計之需求，故建議暫不予調整。惟於考量未來氣候變遷之情況下，推估未來 50 年後之水位為+2.82m，原設計水位偏低量達 0.32m，對結構安全將有危險之影響。

4.2 舊有結構物防波堤結構安全性分析-計算結果與分析

1. 護基方塊護面石及堤址塊石重量計算

(1)原設計計算結果

本研究採 Hudson 公式及谷本勝利(Tanimoto)利用原設計颱風波浪條件計算結果得，方塊重量須達到 7.03 t~11.05 t，但由原設計圖斷面兩種護基方塊尺寸，分別為 3m x 2m x 2m(A 型)及 3m x 3m x 2m(B 型)，計算其重量分別為 27.6 t 及

41.4 t。經檢討護基方塊 A 型及 B 型重量皆大於 11.05 t，符合原設計之颱風波浪需求。

(2)本研究分析結果

由現場堤址攝影與測量結果可知，目前 SB19 與 SB21 沉箱於海側處，底部有明顯掏空現象，顯示護基方塊無法有效保護堤基，可能遭遇之颱風波浪條件已遠超過原設計。本研究以 50 年迴歸期颱風波浪推估近岸波場推算後，發現其所需護基方塊重量為 99.85 t~124.13 t，其中，於水深-21m~-22m 所需護基方塊重量最大(124.13t)，若採用開孔方塊，其重量需達 54.15 t，目前現況護基方塊之重量皆無法符合所需護面重量。

將其水深對應沉箱編碼得知水深-21m~-22m 為 SB21、SB22、SB33 等沉箱，由現場堤址調查結果得知，南外廓防波堤堤腳水下檢查發現得知 SB21 於海側處，其沉箱底部有明顯掏空現象；而有明顯施工修復現象分別為 SB21 沉箱前後堤腳，其分析結果與現況相符。另由實際颱風波浪觀測資料可發現，目前出現之最大波高為 14.8m，週期為 13.9sec。經計算其護基方塊重量約需 71t，仍大於現有方塊之 41.4t。

2.堤體穩定分析

(1)原設計條件計算結果探討

依原設計波浪條件考量採用 Goda 所建議之波壓折減係數檢討後，區分以不同波浪作用狀況的消波式沉箱波壓係數 Crest I、II a、II b 之波壓折減率加以考量其穩定結果，詳表 5 所示，本研究波壓修正

計算後，即使採用最大波力保守計算下，其滑動安全係數 SFs 介於為 1.24~1.86，皆可滿足於規範之需求。而設計之傾倒安全係數 SFo 介於為 2.05~2.68，亦可符合規範之要求。上述分析可顯示於原波浪設計條件下，對現有堤體穩定性並無疑慮。

另由本研究考量不同情況下波壓修正計算後，波力較原設計總波力(P)增減互見，其約介於 246.79~308.00t 間，而總揚力(U)增減變化較大，其範圍介於 0.08~129，由表得知，Crest I 情形下之波力及揚力皆有增加，導致滑動及傾倒安全係數與原設計結果相比略有減少，分別為 1.24 與 2.05；而 Crest II a 情況下之波力及揚力皆減小，導致滑動安全係數及傾倒安全係數增加，為 1.64 與 2.53；如依 Crest II b 之情形，其波力減小且總揚力接近於 0，因此，其滑動安全係數及傾倒安全係數分別為 1.76 與 2.56。均符合規範需求，顯示原設計與 Goda 波壓係數修正方式計算結果差異不大，皆符合規範安全係數 1.20。

(2) 本研究設計條件之計算結果探討

表 6 為推算後與原設計之比較值，而在考量不同水深計算後之結果，其滑動安全係數(SFS)介於 0.65~1.19 間，；而傾倒安全係數(SFo)介於 0.97~1.82 間，由表中可看出，研究推算之設計條件下，於部份水深條件下無法滿足規範要求，顯示在計算推算條件下現有堤體有滑動及傾倒之可能。

而考量不同情況下波壓修正

計算，Crest I 情形下之波力及揚力皆有增加，導致滑動及傾倒安全係數略有減少，其與原設計結果相比分別為 0.65~0.74 與 0.96~1.20；Crest II a 情況下之波力及揚力皆減小，導致滑動安全係數及傾倒安全係數增加，為 0.95~1.06 與 1.37~1.66；如依 Crest II b 之情形，其波力減小且總揚力極小，因此，其滑動安全係數及傾倒安全係數分別為 1.09~1.19 與 1.52~1.81。

另依據前述折繞射之分析成果，水深較淺處雖有波浪集中之現象，惟由波力計算結果可知，水深越深其所受波力越大；顯示本計畫區波力主要仍受水深主控，且安全係數有隨水深增加而下降之趨勢。

3. 消波艙結構安全性探討

由前節之整體外力作用下堤體可符合安全之要求，但由現場消波艙破壞情況，顯示可能有大於消波艙所能負荷之外力作用發生，因而產生破壞。由於消波艙主要受側向波力作用，以下將針對消波艙之混凝土剪力破壞及在波力作用下滑動及傾倒之機制加以探討。

(1) 消波艙之剪力破壞分析

消波艙開孔壁面所承受之波力雖增加至 58.71~65.89 t，但仍會小於混凝土可提供抗剪力強度 (131.69 t)，故現況仍安全無虞。而由表 7 中可看出，在波力增加對於後側胸牆之混凝土抗剪力強度仍遠高波力作用，故現況仍亦屬安全無虞。

(2) 消波艙胸牆滑動破壞分析

消波艙前側胸牆在現今波力

增加後，前側胸牆之滑動安全係數由 0.80~0.93，顯示會有立即性破壞之可能。而後側胸牆之滑動安全係數(0.17~0.20)仍遠小於規範之要求，因此，勢必會有破壞之虞。相關計算如表 8 所示。

表 5 用原設計波浪條件之波壓修正穩定計算表

堤址水深 (m)	參數	CrestI 數值	CrestIIa 數值	CrestIIb 數值
A (-20~-21)	總波力(P)	297.15	248.76	252.94
	總波力矩(Mp)	3698.55	3430.11	3795.64
	總揚壓力(U)	129.00	65.79	2.22
	總揚壓力矩(Mu)	2150.43	1024.58	-153.26
	總防波堤重力(WA)	1246.69	1246.69	1246.69
	總防波堤重力矩(MA)	16195.11	16195.11	16195.11
	總浮力(WB)	502.29	502.29	502.29
	總浮力矩(MB)	6278.62	6278.62	6278.62
	堤體水中重 (WA-WB-U)	615.40	678.61	742.18
	堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	7766.06	8891.91	10069.75
	$SF_s=[f*(WA-WB-U)]/P$	1.24	1.64	1.76
	$SF_o=(MA-MB-Mu)/Mp$	2.10	2.59	2.65
	總波力(P)	295.55	246.79	250.60
	總波力矩(Mp)	3677.21	3405.86	3759.94
B (-21~-22)	總揚壓力(U)	128.00	65.34	2.25
	總揚壓力矩(Mu)	2133.76	1017.78	-150.94
	總防波堤重力(WA)	1246.69	1246.69	1246.69
	總防波堤重力矩(MA)	16195.11	16195.11	16195.11
	總浮力(WB)	502.29	502.29	502.29
	總浮力矩(MB)	6278.62	6278.62	6278.62
	堤體水中重 (WA-WB-U)	616.40	679.06	742.15
	堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	7782.73	8898.71	10067.43
	$SF_s=[f*(WA-WB-U)]/P$	1.25	1.65	1.78
	$SF_o=(MA-MB-Mu)/Mp$	2.12	2.61	2.68
	總波力(P)	301.84	250.80	254.71
	總波力矩(Mp)	3921.11	3593.10	3973.62
	總揚壓力(U)	124.88	64.05	1.09
	總揚壓力矩(Mu)	2081.75	998.79	-168.32
C (-22~-23)	總防波堤重力(WA)	1298.37	1298.37	1298.37
	總防波堤重力矩(MA)	16841.01	16841.01	16841.01
	總浮力(WB)	528.04	528.04	528.04
	總浮力矩(MB)	6600.50	6600.50	6600.50
	堤體水中重 (WA-WB-U)	645.45	706.28	769.24
	堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	8158.76	9241.72	10408.83
	$SF_s=[f*(WA-WB-U)]/P$	1.28	1.69	1.81
	$SF_o=(MA-MB-Mu)/Mp$	2.08	2.57	2.62

表 5 用原設計波浪條件之波壓修正穩定計算表(續)

堤址水深 (m)	參數	CrestI 數值	CrestIIa 數值	CrestIIb 數值
D (-23~-24)	總波力(P)	308.00	255.06	258.84
	總波力矩(Mp)	4170.14	3787.85	4191.25
	總揚壓力(U)	122.00	62.82	0.12
	總揚壓力矩(Mu)	2033.74	980.39	-182.68
	總防波堤重力(WA)	1350.04	1350.04	1350.04
	總防波堤重力矩(MA)	17486.91	17486.91	17486.91
	總浮力(WB)	553.79	553.79	553.79
	總浮力矩(MB)	6922.37	6922.37	6922.37
	堤體水中重 (WA-WB-U)	674.25	733.43	796.13
	堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	8530.80	9584.15	10747.22
E (-24~-25)	$SF_s=[f*(WA-WB-U)]/P$	1.31	1.73	1.85
	$SF_o=(MA-MB-Mu)/Mp$	2.05	2.53	2.56
	總波力(P)	305.78	252.66	256.38
	總波力矩(Mp)	4139.91	3754.96	4151.12
	總揚壓力(U)	120.75	62.25	0.08
	總揚壓力矩(Mu)	2012.90	971.58	-181.38
	總防波堤重力(WA)	1350.04	1350.04	1350.04
	總防波堤重力矩(MA)	17486.91	17486.91	17486.91
	總浮力(WB)	553.79	553.79	553.79
	總浮力矩(MB)	6922.37	6922.37	6922.37
	堤體水中重 (WA-WB-U)	675.50	734.00	796.17
	堤體水中重力矩 (MA-MB-M _u)	8551.64	9592.96	10745.92
	$SF_s=[f*(WA-WB-U)]/P$	1.33	1.74	1.86
	$SF_o=(MA-MB-Mu)/Mp$	2.07	2.55	2.59

表 6 本計畫 50 年颱風波浪之波壓修正穩定計算

斷面	穩定計算結果	CrestI		CrestIIa		CrestIIb	
		數值	比例	數值	比例	數值	比例
A (-20 ~ -21)	總波力(P)	445.60	1.50	357.44	1.44	368.98	1.46
	總波力矩(Mp)	5468.60	1.48	4807.57	1.40	5472.01	1.44
	總揚壓力(U)	202.63	1.57	119.42	1.82	17.39	7.83
	總揚壓力矩(Mu)	3377.84	1.57	1914.82	1.87	23.43	-0.15
	總防波堤重力(WA)	1246.69	1.00	1246.69	1.00	1246.69	1.00
	總防波堤重力矩(MA)	16195.11	1.00	16195.11	1.00	16195.11	1.00
	總浮力(WB)	502.29	1.00	502.29	1.00	502.29	1.00
	總浮力矩(MB)	6278.62	1.00	6278.62	1.00	6278.62	1.00
	堤體水中重 (WA-WB-U)	541.77	0.88	624.98	0.92	727.01	0.98
	堤體水中重力矩 (MA-MB-Mu)	6538.65	0.84	8001.67	0.90	9893.06	0.98
B (-21 ~ -22)	SFs=[f*(WA-WB-U)]/P	0.73	0.59	1.05	0.64	1.18	0.67
	SFo=(MA-MB-Mu)/Mp	1.20	0.57	1.66	0.64	1.81	0.68
	總波力(P)	464.13	1.57	370.19	1.50	380.51	1.52
	總波力矩(Mp)	5700.14	1.55	4996.63	1.47	5646.53	1.50
	總揚壓力(U)	208.75	1.63	123.09	1.88	17.91	7.96
	總揚壓力矩(Mu)	3479.86	1.63	1973.76	1.94	23.99	-0.16
	總防波堤重力(WA)	1246.69	1.00	1246.69	1.00	1246.69	1.00
	總防波堤重力矩(MA)	16195.11	1.00	16195.11	1.00	16195.11	1.00
	總浮力(WB)	502.29	1.00	502.29	1.00	502.29	1.00
	總浮力矩(MB)	6278.62	1.00	6278.62	1.00	6278.62	1.00
C (-22 ~ -23)	堤體水中重 (WA-WB-U)	535.65	0.87	621.31	0.91	726.49	0.98
	堤體水中重力矩 (MA-MB-Mu)	6436.63	0.83	7942.73	0.89	9892.50	0.98
	SFs=[f*(WA-WB-U)]/P	0.69	0.55	1.01	0.61	1.15	0.64
	SFo=(MA-MB-Mu)/Mp	1.13	0.53	1.59	0.61	1.75	0.65
	總波力(P)	492.56	1.63	391.47	1.56	402.08	1.58
	總波力矩(Mp)	6310.69	1.61	5482.02	1.53	6199.52	1.56
	總揚壓力(U)	212.75	1.70	126.02	1.97	17.35	15.92
	總揚壓力矩(Mu)	3546.54	1.70	2022.75	2.03	7.53	-0.04
	總防波堤重力(WC)	1298.37	1.00	1298.37	1.00	1298.37	1.00
	總防波堤重力矩(MC)	16841.01	1.00	16841.01	1.00	16841.01	1.00
	總浮力(WB)	528.04	1.00	528.04	1.00	528.04	1.00
	總浮力矩(MB)	6600.50	1.00	6600.50	1.00	6600.50	1.00
	堤體水中重 (WC-WB-U)	557.58	0.86	644.31	0.91	752.98	0.98
	堤體水中重力矩 (MC-MB-Mu)	6693.97	0.82	8217.76	0.89	10232.98	0.98
	SFs=[f*(WC-WB-U)]/P	0.68	0.53	0.99	0.58	1.12	0.62
	SFo=(MC-MB-Mu)/Mp	1.06	0.51	1.50	0.58	1.65	0.63

表 6 本計畫 50 年颱風波浪之波壓修正穩定計算(續)

斷面	穩定計算結果	CrestI		CrestIIa		CrestIIb	
		數值	比例	數值	比例	數值	比例
D (-23 ~ -24)	總波力(P)	523.72	1.70	414.51	1.63	425.28	1.64
	總波力矩(Mp)	6989.95	1.68	6020.29	1.59	6805.06	1.62
	總揚壓力(U)	216.88	1.78	128.91	2.05	16.68	139.00
	總揚壓力矩(Mu)	3615.39	1.78	2070.36	2.11	-11.61	0.06
	總防波堤重力(WD)	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04	1.00
	總防波堤重力矩(MD)	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91	1.00
	總浮力(WB)	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79	1.00
	總浮力矩(MB)	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37	1.00
	堤體水中重 (WD-WB-U)	579.37	0.86	667.34	0.91	779.57	0.98
	堤體水中重力矩 (MD-MB-Mu)	6949.15	0.81	8494.18	0.89	10576.15	0.98
E (-24 ~ -25)	SFs=[f*(WD-WB-U)]/P	0.66	0.51	0.97	0.56	1.10	0.60
	SFo=(MD-MB-Mu)/Mp	0.99	0.49	1.41	0.56	1.55	0.61
	總波力(P)	538.60	1.76	424.56	1.68	433.87	1.69
	總波力矩(Mp)	7192.60	1.74	6183.00	1.65	6945.67	1.67
	總揚壓力(U)	221.25	1.83	131.50	2.11	16.97	212.13
	總揚壓力矩(Mu)	3688.24	1.83	2112.00	2.17	-12.51	0.07
	總防波堤重力(WE)	1350.04	1.00	1350.04	1.00	1350.04	1.00
	總防波堤重力矩(ME)	17486.91	1.00	17486.91	1.00	17486.91	1.00
	總浮力(WB)	553.79	1.00	553.79	1.00	553.79	1.00
	總浮力矩(MB)	6922.37	1.00	6922.37	1.00	6922.37	1.00
	堤體水中重 (WE-WB-U)	575.00	0.85	664.75	0.91	779.28	0.98
	堤體水中重力矩 (ME-MB-Mu)	6876.30	0.80	8452.54	0.88	10577.05	0.98
	SFs=[f*(WE-WB-U)]/P	0.64	0.48	0.94	0.54	1.08	0.58
	SFo=(ME-MB-Mu)/Mp	0.96	0.46	1.37	0.54	1.52	0.59

表 7 後側胸牆所受波力及混凝土剪力關係表

離胸牆頂 距離(m)	單位面積 (m ²)	剪力強度 (t)	波力 (t)
0.50	1.52	95.14	4.86~5.06
1.00	1.76	110.64	9.95~10.36
1.50	2.01	126.14	15.27~15.90
2.00	2.26	141.64	20.83~21.68
2.50	2.51	157.13	26.61~27.70
3.00	2.75	172.63	32.62~33.96
3.50	3.00	188.13	38.87~40.46

表 8 防波堤胸牆現況滑動安全分析表

斷面	抗滑動力	滑動力	分析結果
A (-20 ~-21)	前側胸牆剪力樁(t)(A)=	前側胸牆平均波壓(t/m ²)=	0.93
	前側重量(t)(B ₁)=	前側胸牆作用面積(m ²)=	
	前側摩擦力(t)(C ₁)=	前側胸牆平均波力(t)=	0.20
	後側重量(t)(B ₂)=	後側胸牆平均波壓(t/m ²)=	
	後側摩擦力(t)(C ₂)=	後側胸牆作用面積(m ²)=	
		後側胸牆平均波力(t)=	
B (-21 ~-22)	前側胸牆剪力樁(t)(A)=	前側胸牆平均波壓(t/m ²)=	0.87
	前側重量(t)(B ₁)=	前側胸牆作用面積(m ²)=	
	前側摩擦力(t)(C ₁)=	前側胸牆平均波力(t)=	0.19
	後側重量(t)(B ₂)=	後側胸牆平均波壓(t/m ²)=	
	後側摩擦力(t)(C ₂)=	後側胸牆作用面積(m ²)=	
		後側胸牆平均波力(t)=	
C (-22 ~-23)	前側胸牆剪力樁(t)(A)=	前側胸牆平均波壓(t/m ²)=	0.85
	前側重量(t)(B ₁)=	前側胸牆作用面積(m ²)=	
	前側摩擦力(t)(C ₁)=	前側胸牆平均波力(t)=	0.18
	後側重量(t)(B ₂)=	後側胸牆平均波壓(t/m ²)=	
	後側摩擦力(t)(C ₂)=	後側胸牆作用面積(m ²)=	
		後側胸牆平均波力(t)=	
D (-23 ~-24)	前側胸牆剪力樁(t)(A)=	前側胸牆平均波壓(t/m ²)=	0.84
	前側重量(t)(B ₁)=	前側胸牆作用面積(m ²)=	
	前側摩擦力(t)(C ₁)=	前側胸牆平均波力(t)=	0.18
	後側重量(t)(B ₂)=	後側胸牆平均波壓(t/m ²)=	
	後側摩擦力(t)(C ₂)=	後側胸牆作用面積(m ²)=	
		後側胸牆平均波力(t)=	
E (-24 ~-25)	前側胸牆剪力樁(t)(A)=	前側胸牆平均波壓(t/m ²)=	0.80
	前側重量(t)(B ₁)=	前側胸牆作用面積(m ²)=	
	前側摩擦力(t)(C ₁)=	前側胸牆平均波力(t)=	0.17
	後側重量(t)(B ₂)=	後側胸牆平均波壓(t/m ²)=	
	後側摩擦力(t)(C ₂)=	後側胸牆作用面積(m ²)=	
		後側胸牆平均波力(t)=	

4.3 受損結構補強方案評估研擬

1.短期補強(急迫性)方案研擬

臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司蘇澳港營運處辦理「蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港北堤)」，於 107 年 5 月 31 日開工，其工程針對蘇澳港南、北外廓防波堤進行水上及水下之補強作業，包含沉箱破損修補、既有護基方塊重新吊排及堤面混凝土修補等，並於 108 年 4 月 25 日完工，故針對堤體結構補強暫無急迫性。

2.長期補強(逐年維護)方案研擬

(1)堤體穩定補強方案初探

經前述堤體穩定分析可知，其破壞可能發生於滑動或是傾倒上。由於沉箱主體為直接抵擋波浪作用，故如有沉箱發生移動或傾覆破壞，勢必會對港內造成影響。如要改善現有沉箱可能發生之移動或傾覆現象，其解決方式可將現有場鑄加高，以增加堤體自重方式因應，另亦可佐以堤後背填方式作為改善。惟依據前述波力計算結果可知，於本研究推算之設計條件下，堤體受波壓最大可達 536t/m，而滑動安全係數僅 0.64，因差異較大，若需補足堤體之重量，場鑄需加高甚多；故初步建議可採堤後背填或是加寬堤體之方式增加堤體抵抗波浪之能力，以解決堤體安全性欠佳之問題。

(2)方塊位移補強方案初探

考慮現有護基方塊移動，將造成堤基淘空並使沉箱發生前傾現象，些微掏空雖不致影響沉箱擋浪功能，但如長期持續淘空，不排除

會造成沉箱本體損傷而致破壞。故護基方塊之穩定性雖屬附屬保護設施，但其安全性亦需重視。基此，現場方塊雖未出現位移，但由過往破壞案例亦有發現方塊及消波塊流失等現象，且經結構計算可知，現有方塊重量已小於規範所需之重量。因此，除因密切注意現有方塊或消波塊之保護情況外，如有發生位移等情形，應考量以吊具將其歸位，防止堤基繼續掏空，或可利用水中混凝土修補方塊與沉箱之縫隙，防止堤基細料流失。另亦可考量製作符合重量需求之開孔方塊(>51.21t)，確保堤體安全。

(3) 消波艙胸牆破壞補強方案初探

消波艙胸牆破壞類型包括後側胸牆及側牆破壞兩種，但整體而論皆屬於消波艙本身結構性破壞。因此，消波艙胸牆補強方案初步建議採用以下幾種方法。

A. 消波艙後側胸牆及側牆面改進：經檢核，現有消波胸牆之後側胸牆主要破壞原因為滑動及傾倒破壞；而後側胸牆破壞後，則因消波艙整體失去穩固之結構型式，導致整體連鎖破壞。因此，如要改善後側胸牆之穩定性，可藉由增加剪力筋方式因應，改進其原本因抗剪力不足而發生滑動破壞之情形，且可增加胸牆與堤面混凝土之連結，以抵抗傾覆之可能；或以增厚胸牆方式來增加胸牆重量，以抵抗其抗傾覆之能力。除此之外，側牆發生破壞原因，亦有可能是波力作用於外牆時並非均勻分佈，如波

力較偏於一側，則會造成側牆受彎矩作用產生破壞而分離，因此，建議將消波艙後側胸牆增厚至寬3m及3.5m，高3.5m，並植入#6號鋼筋@0.1m，L=2.0m作為剪力筋加強其抗剪強度，側牆則建議加厚至1.0m，以增加抵抗彎矩破壞之作用力，詳圖9所示。

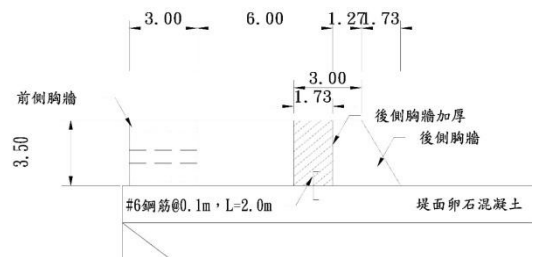


圖9 消波艙後側胸牆及側牆面改進斷面示意圖

B. 消波艙內填放塊石或消波塊：此法係利用大型塊石填充於消波艙內，除可增加堤體自重外，亦可藉由填充艙內空間來增加消波艙開孔面及側牆抵抗力矩，惟此法需考量消波孔直徑與塊石大小之關係，亦即需採用大型塊石以防止塊石藉由消波孔流失，有關消波效果，則可以水工模型試驗加以確認。但考慮大型塊石取得不易，且容易由消波孔流失之問題，因此，亦可考量採用消波塊替代，惟填放之消波塊應慎選固定性較佳且適合蘇澳港既有消波艙尺寸之型式，詳圖10所示。

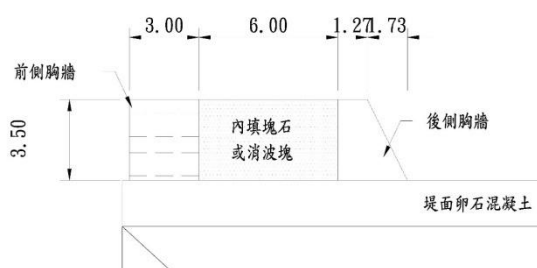


圖 10 消波倉內填放塊石或消波塊斷面示意圖

五、沉箱式防波堤維護工法探討

為配合沉箱式防波堤檢測評估項目，並綜合上述之維護管理工法依結構位置及劣化項目，概分為水上部份及水下部份，彙整如表 9 所示。

表 9 沉箱式防波堤維護管理工法

檢測位置和項目		劣化程度	維護管理工法
水上部份	胸牆	龜裂損傷 (龜裂寬度目測約<3mm, 龜裂長度目測約<5cm)	「裂縫注入工法」
		明顯損傷 (龜裂寬度目測約>3mm, 龜裂長度目測約>5cm)	「充填增厚工法」 「斷面修復工法」
	剝離與鋼筋外露	局部混凝土剝落	「充填增厚工法」
		胸牆損傷致高度不足	「斷面修復工法」
	堤面	混凝土剝落致鋼筋外露	「防蝕噴漿工法」
		輕微損傷 (龜裂寬度目測約<3mm, 龜裂長度目測約<5cm)	「裂縫注入工法」
		明顯損傷 (龜裂寬度目測約>3mm, 龜裂長度目測約>5cm)	「充填增厚工法」 「鋪面修復工法」
		堤面混凝土斷裂	
	沉箱	輕微不均勻沈陷 (輕微積水)	「無筋頂面增厚工法」
		明顯不均勻沈陷 (嚴重積水)	「斷面修復工法」
水下部份	胸牆	局部混凝土剝落	「充填增厚工法」
		混凝土剝落致鋼筋外露	「防蝕噴漿工法」
	堤面	堤面混凝土斷裂	「斷面修復工法」
		輕微不均勻沈陷 (輕微積水)	「無筋頂面增厚工法」
	沉箱	堤體變位不明顯 (變位量約<5cm)	「沉箱間隙改善工法」
		堤體變位明顯 (變位量約>5cm)	「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「波壓消滅工法」
	傾斜	輕微傾斜 (傾斜率約<3%)	「沉箱間隙改善工法」
		明顯傾斜 (傾斜率約3~5%)	「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「堤體重置工法」
	沈箱	嚴重傾斜 (傾斜率約>5%)	
		堤體輕微損傷 (龜裂寬度目測約<3mm, 龜裂長度目測約<5cm)	「裂縫注入工法」
水下部份	胸牆	堤體明顯損傷 (龜裂寬度目測約>3mm, 龜裂長度目測約>5cm)	「充填增厚工法」
		堤體混凝土斷裂	「斷面修復工法」
	堤面	輕微不均勻沈陷 (輕微積水)	「無筋頂面增厚工法」
		明顯不均勻沈陷 (嚴重積水)	「斷面修復工法」
	沉箱	堤體變位不明顯 (變位量約<5cm)	「沉箱間隙改善工法」
		堤體變位明顯 (變位量約>5cm)	「沉箱間隙改善工法」 「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「波壓消滅工法」
	傾斜	輕微傾斜 (傾斜率約<3%)	「沉箱間隙改善工法」
		明顯傾斜 (傾斜率約3~5%)	「堤體穩固工法」 「堤體穩固工法」 「堤體重置工法」
	沈箱	嚴重傾斜 (傾斜率約>5%)	
		堤體輕微損傷 (龜裂寬度目測約<3mm, 龜裂長度目測約<5cm)	「裂縫注入工法」

水下部份	鋼筋外露	● 壁體側牆混凝土剝落但鋼筋未外露	● 「充填增厚工法」
		● 壁體剝落致鋼筋外露	● 「防蝕噴漿工法」
	沈箱	● 堤體輕微損傷 (龜裂寬度目測約<3mm, 龜裂長度目測約<5cm)	● 「裂縫注入工法」
		● 堤體明顯損傷 (龜裂寬度目測約>3mm, 龜裂長度目測約>5cm)	● 「充填增厚工法」 ● 「防蝕噴漿工法」 ● 「鋼支堡工法」
	護基方塊	● 部分發生下陷位移 (變位量約<5cm)	● 「方塊固結工法」
		● 小規模下陷位移 (變位量約5~10cm)	● 「重置改善工法」
	消波塊	● 大範圍下陷位移 (變位量約>10cm)	● 「新製補強工法」
		● 部分消波塊移動或滾落	● 「加拋改善工法」
	基礎海床	● 消波塊散落沉陷達一層，堤體滑動安全率有減低之虞	● 「新製加重工法」
		● 消波塊面減少，堤體滑動安全率已減低	● 「加寬補強工法」

六、結論與建議

1. 蘇澳港防波堤原設計係採用 13 年迴歸期颱風波浪作為設計條件，依現行規範採用 50 年迴歸期颱風波浪做為檢核依據。綜合前述依據，針對堤基保護方塊重量、沉箱穩定性及消波倉安全性三部份分析，其結果分述如下：

(1) 現有堤基保護方塊之現場堤址攝影與測量結果，顯示並無滑動或流失情形。但依據本研究推算颱風波浪結果，堤基方塊重量應達 116.4 9 t 以上，空心方塊則需 51.21t 以上；另由實際颱風波浪觀測資料，最大波高為 14.8m，週期為 13.9sec，經計算其護基方塊約需 71t，均顯示現況方塊重量明顯不足(27.6 t 及 41.4 t)，未來可能發生移動破壞之風險。

(2) 依設計條件下波壓修正計算結果，沉箱滑動安全係數介於 0.65~1.19 間，而傾倒安全係數介於 0.97~1.82 間，顯示現有堤體並不符合 50 年迴歸期設計需求。經估算現況維持堤體穩定可承受之波高為 8.85m(安全係數 ≥ 1.2)及 10.12

m(安全係數 ≥ 1.2)，與歷年實測最大颱風波浪比較可知，至少曾發生 4 次波高大於堤體穩定容許上限波高值之情形，顯示現有堤體結構安全已有立即性之危險。本計畫波力計算乃採用規範建議之 Goda 波壓公式，參考以往水工模型試驗經驗，此波力公式較為保守，故現場波浪大於設計波浪時，應有可能未發生破壞之情況。但以目前臺灣地區各大商港之胸牆破壞情形，以蘇澳港之破壞最為嚴重，顯示原設計波浪確有偏低之現象。

- (3) 依本計畫推算 50 年迴歸期條件下就消波胸牆分析計算，前側胸牆考量受剪力及滑動分析中，現況所受剪力並不影響其結構安全，但其滑動安全係數 0.80~0.93，可能會有立即性之滑動破壞之虞；另後側胸牆在剪力作用下可保持安全，不過於滑動安全係數為 0.17~0.20 及傾倒安全係數為及 0.34~0.38，顯示有可能發生立即性破壞之情形。但後側胸牆一旦發生滑動或傾倒，則會使其與側牆連接面產生裂縫或間隙。隨著受大浪之侵襲，會使間隙處形成破壞面而逐漸加大，最後導致後側胸牆與側牆分離造成破壞。而在失去後側胸牆後亦會使原先穩固之前側胸牆、側牆及後側胸牆四邊固定形式發生改變，在無後側支撐之情況下，也將導致前側胸牆失去背後支持，而有傾覆之虞。
2. 為因應氣候變遷之影響，故於本計畫推算之深海颱風波浪條件及 50 年迴歸期最高高潮位下，根據國際航海協會針對氣候變遷對海事工程影響之建議，將深海颱風推算波高增加 10%、週期增加 5%，水位則以每年增加 5mm/yr 之速率重新計算，經 Goda 波壓修正係數檢核後，總波力由現況之 534.20t/m 增加至 560.97t/

m，增加幅度約 5%，可見氣候變遷之影響對現況仍有一定程度之影響。其滑動安全係數自 0.65 略降至 0.60，仍未達 1.0 之安全需求，顯示有立即性發生破壞之風險，應儘速進行檢測及補強作業。另由氣候變遷情境下可滿足規範要求(安全係數 ≥ 1.2)或維持堤體穩定(安全係數 ≥ 1.0)可承受之最大波高分析結果可知，在滿足規範要求之條件下，沉箱僅可承受 8.55m 以下之波浪襲擊，而若需維持堤體穩定，沉箱最大僅可承受 9.98m 之波浪。

3. 依分析結果，初步研擬受損結構補強方案及防止舊有結構物受損之預防措施，分述如后：
 - (1) 現有沉箱如遭遇大浪時，可能發生之移動或傾覆現象，其解決方式建議可採堤後背填或增加堤寬之方式進行，均可確保堤體穩定之安全。惟考量堤後為一開闊水域，堤後背填將可能有回填料流失之問題，故建議以增加堤寬(新設沉箱 2.5m)之方式以抵抗波壓並增加堤體穩定。
 - (2) 於颱風過後，如發現方塊或消波塊有位移情形，則應立即以吊具將其歸位，以防止堤基繼續淘空，另亦可利用水中混凝土修補歸位後方塊與沉箱之細縫，以防止堤基細料流失。另亦可考量製作符合重量需求之開孔方塊(>51.21t)，以確保堤體安全。
 - (3) 消波艙後側胸牆可藉由增加剪力筋方式，改進其原本因抗剪力不足而發生滑動破壞之情形，且可增加胸牆與堤面混凝土之連結，以抵抗傾覆之可能；另以增厚胸牆方式來增加胸牆重量，以抵抗其抗傾覆之能力。因此，補強方案初步建議將消波艙後側胸牆增厚至寬 3m 及 3.5m，高 3.5m，並植入 #6 號鋼筋 @

0.1m，L=2.0m 作為剪力筋加強其抗剪強度，側牆則初步建議加厚為1.0m，以增加抵抗彎矩破壞之作用力。另亦可考量於消波艙內填放塊石或消波塊來增加消波艙開孔面及側牆抵抗力矩。

- (4) 綜合結構安全改善之立即性及工程經費等因素之考量下，初步建議應優先針對消波艙胸牆之破壞進行補強，接著則針對方塊之位移問題進行改善，最後則俟經費許可進行堤體穩定之補強作業。
- (5) 現今規範中規定，所使用之鋼筋混凝土最小混凝土設計強度則應達 280kg/cm^2 ，而無筋混凝土最小混凝土設計強度應達 210kg/cm^2 。但現有蘇澳港防波堤於設計時沉箱主體混凝土(鋼筋混凝土)及堤面及胸牆混凝土(無筋混凝土)皆無法合於規範要求，故於後續整建時可逐步改善為合於規範之要求，增加抵禦波浪之能力。

ng Wave Pressure”, Coastal Eng. in Japan, Vol.15,1971,pp.82-90.

7. Goda,Y.,and T.,Fukumori, “Laboratory Investigation of Wave Pressure Exerted upon Vertical and Composite Walls”,Report of the Port and Harbour Research Institute.,Vol.11,No.2,1972,pp.3-45.
8. Goda,Y., “New Wave Pressure Formulae for Composite Breakwaters”,Proc. 14th Coastal Eng.,Copenhagen,1974,pp.1702-1720.
9. Shore Protection Manual,1984.
10. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan,2009.

七、參考文獻

1. 谷本勝利等，「不規則波實驗による混成堤マウンド被覆材の安定性に關する研究」，日本港灣技術研究所，1982。
2. 交通部運輸研究所，港灣海氣象觀測資料年報，民國 106 年。
3. 行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範。
4. 臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司，蘇澳港外廓防波堤災損修復工程(含漁港外堤)，民國 107 年。
5. Goda,Y., “The Fourth order approximation to the pressure of Standing Waves”,Coastal Engineering in Japan ,Vol. 10,1967,pp.1-11.
6. Goda,Y., “Experiments on the Transition from Nonbreaking to Postbreaki