

港灣構造物巡查與檢測實施與評估要領—以沉箱式碼頭為例

賴瑞應¹ 黃宇謙²

¹ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心簡任研究員兼科長

² 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

摘要

因全球暖化緣故，近年來極端天氣事件造成商港之災害頻傳，例如：極端降雨造成商港聯外道路排水不及而溢淹、海平面上升造成金屬設備因海水浸泡加速鏽蝕、強颱損毀碼頭設施，造成停泊船隻受損等。除上述天災侵擾外，因港灣構造物多浸於海水中，相關構件檢測困難，且許多碼頭與防波堤等港灣構造物建造年代久遠，多數已超過或接近 40 年，有必要提出相對應的維護管理策略，以確保港埠的永續發展。

基此，交通部運輸研究所港灣技術研究中心為維持構造物在使用年限內能滿足性能要求，參考日本現行港灣設施之巡查檢測準則和臺灣海洋工程學會所出版之「港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編」，針對常見之各型式碼頭及防波堤，訂定巡查、檢測項目及劣化判定標準，109 年協助臺灣港務公司研訂「港灣構造物維護管理手冊」，據以提供其各分公司辦理港灣構造物之巡查及檢測工作，落實港灣構造物維護管理制度。爰此，本文針對沉箱式碼頭檢測項目、方法及劣化判定標準做簡要說明，提供維護管理單位執行相關維管工作應用參考。

一、前言

港灣構造物(碼頭及防波堤)主要建造材料為鋼筋混凝土與鋼板(管)樁，材料雖具耐久性，但受外在環境影響(風波潮流等外力作用及海洋高腐蝕性環境)與超負載因素等影響，結構易受到破壞。而以往我國較注重港灣構造物的新建，對於其例行性維護，相對於前者，預算的編列較少，然而此維護工作卻是其生命週期中，影響安全及使用性能之關鍵所在。在港灣構造物維護管理的過程，首先，須針對既有或新建構造物制定維護管理計畫。「港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編」^[1]建議應包含以下步驟：(1)針對設計使用年限、設計外力、區位環境、地質資料等提出基本構想和維管等級，(2)決定巡查及檢測之實施頻率、項目、實施方式(例如：人工目視或以無人機、無人船等進行巡查)，另包含巡查及檢測後需填列之巡檢表單、相關資料紀錄方式等，(3)針對巡查及檢測結果，彙整構件損傷劣化等異狀及發展程度，根據工程的專業判斷進行評估，依構件劣化度判定整體結構性能弱化程度，(4)根據總體評估結果，考量設施的安全性、重要性、維修的難易度和可行性、效果的持續性、維修相關費用等，訂定出維護維修方法和實施時機等。維護管理計畫制定流程，如圖 1 所示。



資料來源：港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編^[1]

圖 1 維護管理計畫制定流程圖

本文聚焦於港灣構造物之巡檢診斷及總體評估階段，以最常見之沉箱式碼頭為例，提出填寫案例，說明檢測項目、方法，以及劣化度判定與性能弱化度評估流程，提供維護管理單位應用參考。

二、港灣構造物之巡查與檢測

一般港灣構造物處在嚴峻的自然環境下，材料的劣化、構件的損傷、基礎的沖刷、下陷、掩埋等，都將引起使用期間性能降低之疑慮，故需有一套完善的巡查和檢測方法，以延長其使用年限及安全性。

巡查及檢測最大之差異為其辦理方式及執行頻率，前者以人工直接目視為主，若人員無法接近，可採無人機等間接目視方式辦理，後者則會使用各類儀器，以更詳細、深入的方式調查結構物，了解其實際情形並釐清劣化狀況。巡查及檢測作業流程，如圖 2 所示。

2.1 港灣構造物之巡查

巡查類別分為經常巡查及特別巡查，其類別、項目及頻率等列如表 1。依「港灣構造物維護管理手冊」^[2]建議，巡查設施包括碼頭、防波堤、海堤、護岸、公共設施、作業場所、道路橋梁、

基礎設施、高壓變電站設備及相關附屬設施；巡查項目以沉箱式碼頭為例，包含：碼頭法線、車擋、繫船柱、防舷材、鋪面及排水、照明、爬梯等附屬設施，以人工目視方式檢查前列項目之外觀有無破損、劣化或遺失等；巡查頻率則建議每週至少 1 次。而若於重大災害事件如：颱風、強降雨(相關時雨量標準依維護管理單位訂之)、地震、意外事故(船舶撞擊)等發生後，或於經常巡查發現顯著異狀，則進行特別巡查。

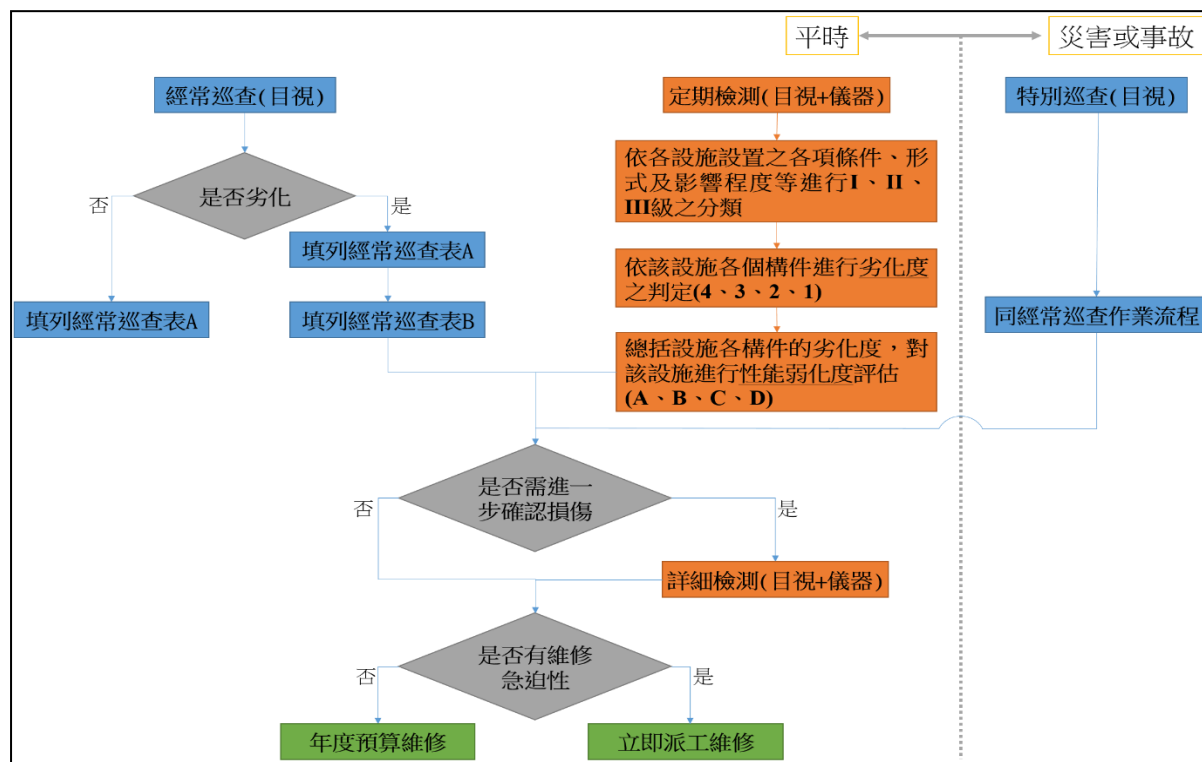


圖 2 港灣構造物巡查及檢測作業流程圖

表 1 巡查類別、項目及頻率

類別	建議執行單位	巡查項目及頻率		巡檢方式
經常巡查	管理單位	公共設施、作業場所、道路橋梁及其附屬設施	至少每週 1 次	目視/岸上/交通船
		碼頭及其附屬設施	至少每週 1 次	
		其他港區公共基礎設施依需求	至少每半月 1 次	
		高壓變電站設備	至少每月 1 次	
		防波堤、海堤、護岸	至少每季 1 次	
		其他結構物有另訂巡查頻率者，從其規定		
特別巡查	管理單位	重大災害或事故發生後(颱風過後或地震震度大於 4 級)或經常巡查發現顯著異狀		目視(岸上)

註：新建構造物，必須保留竣工圖及相關資料，做為日後巡查之基本資料，既有結構物，第一次巡查時，必須建立該構造物之相關資料，做為日後依據。

資料來源：港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編^[1]

2.2 港灣構造物之檢測

一般檢測可依有無侵入結構物分為破壞性及非破壞性之檢測，和巡查最大不同之處，檢測通常需使用各類儀器，以更詳細、深入的方式調查結構物本身，以了解其實際情形，故花費時間及經費較多。檢測對於同一結構物之頻率通常會間隔較長，或僅在認為有必要時進行，以釐清設施的劣化狀況。

2.2.1 檢測類別、項目及頻率

檢測類別包括定期檢測及詳細檢測，其檢測項目、頻率及方式，如表 2 所示。

表 2 檢測類別、項目及頻率

類別	建議執行單位	檢測項目及頻率	檢測方式
定期檢測	委外發包廠商	港灣構造物：至少 5 年 1 次 一般橋梁：至少 2 年 1 次 鋼結構、複合結構及特殊性橋梁：1 年 1 次 其它設施依相關規定辦理	目視(包含水下)、依需求配合儀器進行詳細檢測
詳細檢測	委外發包廠商	於經查巡查、特別巡查或定期檢測後，認為有必要時進行之。	目視(包含水下)、依需求配合儀器進行詳細檢測

註：新建構造物，必須保留竣工圖及相關資料，做為日後檢測之基本資料，既有結構物，第一次檢測時，必須建立該構造物之相關資料，做為日後依據。

資料來源：港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編^[1]

2.2.2 檢測項目分類

檢測項目根據構造物設置各項條件及形式，及影響構造物性能的程度等，先進行 I、II、III 級之分類(如表 3)。

表 3 檢測項目分類

類別 性能	I 類	II 類	III 類
影響程度	- 對設施性能與安全性產生直接影響的構件 - 設施整體的位移和沉陷	- 對設施性能產生影響的構件 - 鋼構件的防蝕設施	- 附屬設施 - 防舷材、繫船柱、防護欄、爬梯等

資料來源：港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編^[1]

2.2.3 檢測構件劣化度判定

檢測劣化度判定標準，係根據各種設施構件的性能要求來進行，共分 1~4 級(如表 4)。

表 4 構件劣化度判定標準

構件劣化度	劣化度判定標準
4	構件的性能有顯著降低狀態
3	構件的性能呈降低
2	有變化，但是構件的性能沒有降低
1	沒有變化

註：根據目視進行巡查與檢測，劣化度判定不確定 3 或 2 時，可保守判定為 3。

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

2.2.4 沉箱式碼頭檢測項目及構件劣化判定標準

碼頭構造型式繁多，依不同構造型式有其重點檢測項目。本節以沉箱式碼頭為例，藉由先前提出之檢測內容，進行其檢測項目及構件劣化判定標準說明。沉箱式碼頭主要以沉箱構築成壁體，以本身重量承受上部荷重，並抵抗背後土壓力、海側水壓力及船舶衝擊力，適用於地質良好的地盤。其主要檢測重點項目如圖 3 所示，可分為本體結構、岸壁法線、鋪面、海床基礎以及防舷材、繫船柱等附屬設施，其分類如表 5。

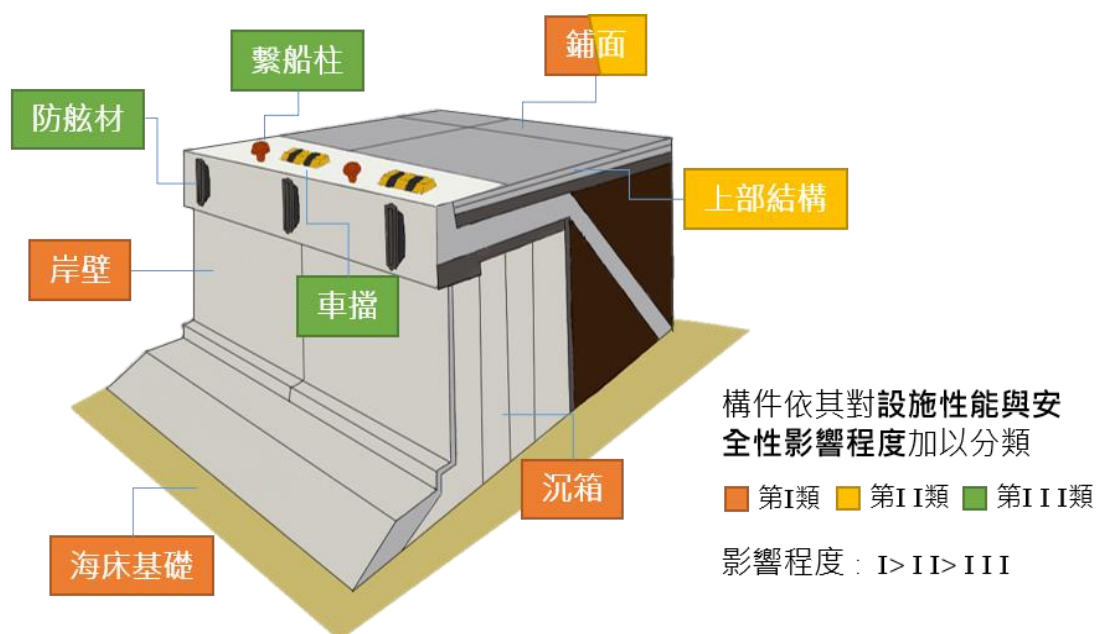


圖 3 沉箱式碼頭檢測標準分類圖

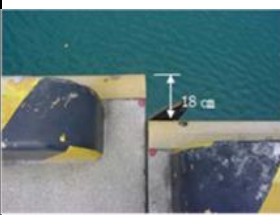
表 5 沉箱式碼頭檢測項目分類

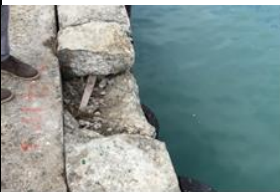
類別 設施	I 類	II 類	III 類
沉箱式碼頭	•【岸壁法線】凹凸、出入 •【鋪面】淘出、空洞化、下陷、坍塌 •【本體結構】沉箱的空洞化、混凝土的劣化、損傷 •【海床基礎】沖刷、土砂的淤積	•【鋪面】混凝土/瀝青鋪面等的劣化、損傷 •【上部結構】混凝土劣化、損傷	左欄以外

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

表 6 為依沉箱式碼頭項目分類，填寫檢測方法以及劣化度的判定標準為案例，並提供相關劣化照片做為評判參考

表 6 沉箱式碼頭檢測填寫案例

分類	檢測項目		方法	劣化度的判定標準		劣化照片
I 類	岸壁法線	凹凸、位移、錯動及前傾	目視 ● 位移量	4	☐ 相鄰沉箱間有 20cm 以上的凹凸	
				3	☒ 相鄰沉箱間有 10 到 20cm 程度的凹凸	
				2	☐ 上述以外的情況，相鄰沉箱間有 10cm 以內的凹凸	
				1	☐ 沒有變化	
	鋪面	背填土砂流出、下陷、淘空、坍塌	目視	4	☐ 沉箱背後有土砂流出 ☐ 沉箱背後有土砂下陷 ☐ 對車輛的通行和步行造成很大障礙	 
				3	☒ 鋪面上有 3cm 以上的下陷 ☐ 鋪面和背後地面間有大於 30cm 下陷 ☒ 沉箱接縫處有明顯的開口、偏差	
				2	☐ 鋪面上有小於 3cm 的下陷 ☐ 鋪面和背後地面間有小於 30cm 下陷 ☐ 沉箱接縫處有輕微的開口、偏差	
				1	☐ 沒有變化	

II 類	本體結構	沉箱孔洞、破損、鋼筋裸露、腐蝕、混凝土裂縫、損傷	目視 ● 裂紋，剝離、損傷 ● 鋼筋露出 ● 劣化預兆	4	☐ 有使內填料流出的破洞、裂紋和缺損 ☐ 大範圍鋼筋露出	
				3	☒ 在多個方向有 3mm 寬度的裂紋	
				2	☐ 在一個方向有 3mm 寬度的裂紋 ☐ 局部有鋼筋露出	
				1	☐ 沒有變化	
	海床基礎	沖刷、土砂的淤積	潛水調查 ● 海底面的起伏 ● 沖刷淤積	4	☐ 岸壁前有深 1m 以上的沖刷 ☒ 伴隨著沖刷，可看出對基礎與岸壁本體的影響	
				3	☐ 在岸壁前有 0.5~1.0m 之沖刷深度	
				2	☐ 有深度/高度小於 0.5m 的沖刷或淤積	
				1	☐ 沒有變化	
	鋪面	混凝土/瀝青鋪面劣化、損傷	目視	4	☐ 混凝土鋪面裂紋度在 2m/m ² 以上 ☐ 瀝青鋪面裂紋率 30% 以上 ☐ 可看到影響車輛通行，步行的裂紋	
				3	☒ 混凝土鋪面裂紋度在 0.5~2m/m ² ☐ 瀝青鋪面裂紋率 20~30%	
				2	☐ 可看到少許裂紋	
				1	☐ 沒有變化	
	上部結構 (有 RC)	混凝土劣化、損傷	目視 ● 裂紋，剝離、損傷 ● 鋼筋露出 ● 劣化的預兆	4	☐ 有弱化碼頭性能的損傷	
				3	☐ 有寬度 3mm 以上的裂紋 ☐ 大範圍鋼筋露出	
				2	☐ 寬度小於 3mm 的裂紋 ☒ 局部鋼筋露出	
				1	☐ 沒有變化	

三、港灣構造物之總體評估

針對檢測結果，整理出港灣構造物之構件發生的損傷、劣化或異狀及發展程度，並藉由各構件綜合評估整體設施性能弱化度。

3.1 整體設施性能弱化度評估

在評估整體設施性能弱化度時，總括該設施所檢測之構件的劣化度，採用 4 個階段的指標 (A~D) 來表示整體設施性能的弱化程度，如表 7 所示。

表 7 整體設施性能弱化度評估標準

性能弱化度	評估標準
A	性能有顯著弱化情況
B	設施性能有弱化情況
C	有異狀，但還不到設施性能弱化狀態
D	未有異狀，設施性能充分保持的狀態

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

3.1.1 劣化度判定及性能弱化度評估實施單元

進行劣化度判定及性能弱化度評估，要根據設施的種類、構造形式等以制定必要的實施單元，以碼頭為例(如表 8)進行說明。

表 8 碼頭劣化度判定及性能弱化度評估實施單元

設施種類	劣化度判定 (4、3、2、1)	性能弱化度的評估 (A、B、C、D)
重力式	沉箱每 1 座	以每一船席或泊位為標準。 (註：每一設施都是不同構造型式所構成的情況，要根據每一構造型式的實施單元，做適當的設定。)
板樁式	上部結構每 1 跨距	
棧橋式	上部結構每 1 單元	
浮動碼頭	每 1 浮箱	

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

3.1.2 設施性能弱化度評估方法及流程

評估設施性能弱化度，不能只根據每個構件劣化度判定結果多少做教條式的評估，也要根據對設施性能的影響、現場狀況做綜合性的評估，建議之評估方法詳見表 9，評估流程詳見圖 4。

表 9 設施性能弱化度評估方法

檢測項目分類	每個巡查與檢測項目的性能弱化度				性能弱化度
	A	B	C	D	
I類	有「4從一個到數個」巡查與檢測項目，設施的性能呈非常弱化的狀態	有「4 且3從一到數個」巡查與檢測項目，設施的性能呈弱化狀態	A,B,D以外	全部是1	每個巡查與檢測項目被評估的性能弱化度當中，最嚴格的判定
II類	有「許多4且幾乎是4+3」巡查與檢測項目，設施的性能呈非常弱化的狀態	有「數個4且許多4+3」巡查與檢測項目，設施的性能呈弱化狀態	A,B,D以外	全部是1	
III類	—	—	D以外	全部是1	

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

〔STEP 1〕：依據不同設施的檢測項目及劣化度標準，判定每一構件的劣化度（4、3、2、1）。



〔STEP 2〕：接著依檢測項目分類（I、II、III級）和每個構件的劣化度狀況，綜合評估設施整體性能弱化度（A、B、C、D），惟可根據劣化部位對設施性能的影響、現場狀況再做綜合性的評估及調整。



〔STEP 3〕：性能弱化度（A、B、C、D）的評估，要把最嚴格的判定做為性能弱化度的評估。

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

圖 4 設施性能弱化評估流程

3.2 沉箱式碼頭性能弱化度評估案例

以下為以沉箱式碼頭為案例，進行整體之性能弱化度，供更深了解總體評估運作原理及操作方式，如表 10，碼頭位置示意圖，如圖 5。

表 10 性能弱化評估案例(以沉箱式碼頭為例)

		劣化度判定結果										劣化數目					項目之性能弱化度	整體之性能弱化度
巡查及檢測項目及劣化樣態		分類	1 BL	2 BL	3 BL	4 BL	5 BL	6 BL	7 BL	8 BL	9 BL	10 BL	1	2	3	4	合計	
碼頭法線	凹凸不平	I 類	4	2	2	3	2	3	2	2	1	1	1	2	5	2	10	B*1
本體結構	劣化損傷	I 類	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	0	4	6	0	10	C
碼頭路面	下陷損傷	I 類	1	2	2	2	2	4	3	2	2	3	1	2	6	1	10	A
	鋪面劣化	II 類	1	2	2	2	2	4	4	2	2	2	2	0	7	1	10	B
海底地基	侵蝕堆積	I 類	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	0	4	6	0	10	C
上部結構	劣化損傷	II 類	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	9	0	0	10	C

說明：

*1：1BL 的碼頭法線項目(I 類)劣化度判定結果為「4」，依照表 9 原則本應該將該項目之性能弱化度評定為 A，但考量碼頭兩邊對於船舶靠離的安全性影響較小，故將該項目之性能弱化度評定為「B」。

*2：6BL 的碼頭路面的下陷損傷項目(I 類)劣化度判定結果為「4」，故將該項目之性能弱化度評定為「A」。而碼頭整體之性能弱化度以最嚴格判定做為性能弱化度的評估，故整體之性能弱化度為「A」。

資料來源：港灣構造物維護管理手冊^[2]

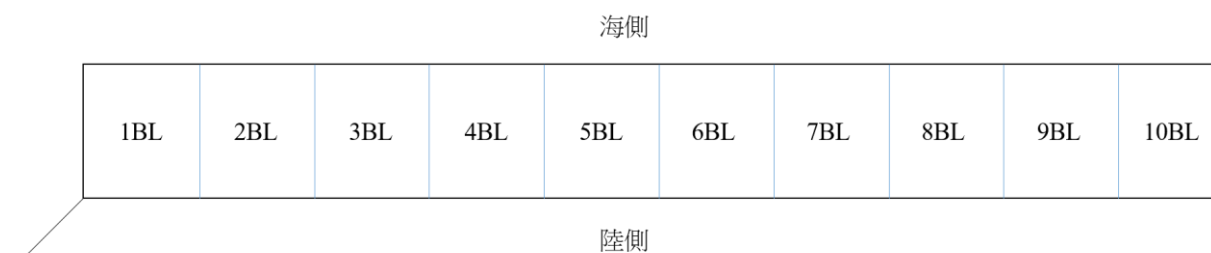


圖 5 案例之碼頭位置示意圖

四、結論與建議

4.1 結論

以往公共工程與重要設施大都較注重興建，一般都要發現嚴重劣化問題後，才開始進行全面維修，造成工程期間營運停頓及經濟損失，此外，對於日常之巡查檢測維護作業，僅編列少數預算，導致維護成效不彰，爰此，延長既有設施之使用年限，確保其永續經營，以及避免重複修護及龐大重建經費之損耗，建立構造物維護管理機制，已成為未來各項設施刻不容緩之課題。

本文針對沉箱式碼頭檢測項目及劣化判定標準做簡要說明，以利維護管理單位落實執行相關維管工作，惟後續仍需根據整體評估結果，考量設施的安全性、重要性、維修難易度和可行性、效果的持續性、維修相關費用等，訂定出維護方法和實施時機等，本文著力於港灣構造物之巡查檢測及性能評估，維護計畫僅列出基本構想，其他如後續處置對策，建議回歸維管單位本於工程及管理專業，選定適用工法及措施。

4.2 建議

1. 各項港灣設施巡查及檢測頻率，建議可依實務執行情形、人力配置等，進行滾動式調整。
2. 近來國內商港遭受極端降雨、海平面上升以及颱風強度增加等極端天候影響，港灣構造物維護管理及調適策略需因應氣候變遷進行調整。
3. 港灣構造物巡查及檢測工作，因港區幅員廣大，可考量引進並使用新興科技進行港灣結構物之巡查及檢測作業，例如：無人機應用於港區巡查、遠距操控無人探查裝置(Remote Operated Vehicle, ROV)應用於棧橋式碼頭底版檢測等，此外，建議維護管理單位未來可持續蒐整科技應用案例，並盤點可實行之標的，於評估可行性後，進行場域試辦試行，以提升維管效率、精簡人力。

參考文獻

1. 邱永芳、蔡瑤堂 (2018)，「港灣設施巡檢診斷指南與實施要領彙編」，台灣海洋工程學會。
2. 臺灣港務股份有限公司 (2020)，「港灣構造物維護管理手冊」。
3. 黃宇謙 (2021)，「港灣構造物維護策略研析與管理資訊系統應用推廣」，交通部運輸研究所。
4. 黃宇謙 (2020)，「臺中港港灣構造物維護策略探討與管理系統擴建」，交通部運輸研究所。
5. 黃宇謙 (2019)，「港灣構造物維護策略與管理系統之研究」，交通部運輸研究所。
6. 臺灣港務股份有限公司 (2020)，「各項設施之巡查、檢測及維護權責作業要點」。
7. 日本國土交通省港灣局 (2020)，「港灣の施設の点検診断イドライン 第1部 総論」。
8. 日本國土交通省港灣局 (2020)，「港灣の施設の点検診断イドライン 第2部 実施要領」。
9. 交通部 (2019)，「2020年版運輸政策白皮書-運輸部門因應氣候變遷調適與防災分冊」。