

# 港灣構造物安全檢查評估之研究(3/4)

## The research of Safety Inspection Assessment for Harbor Structures(3/4)

主管單位：<sup>1</sup>交通部運輸研究所港灣技術研究中心

陳桂清<sup>1</sup> 柯正龍<sup>1</sup> 張嘉峰<sup>2</sup> 李賢華<sup>3</sup> 簡臣佑<sup>2</sup>

Cheng, Kuei-Ching<sup>1</sup> Ko, Jeng-Long<sup>1</sup> Chang, Chia-Feng<sup>2</sup>

Lee, Sian-Hua<sup>3</sup> Jiang, Chen-You<sup>2</sup>

<sup>2</sup>財團法人臺灣營建研究院

<sup>3</sup>國立中山大學海洋環境及工程學系

### 摘要

本計劃為「港灣構造物安全檢查評估之研究」3/4期，此計畫之主軸圍繞於「檢測作業標準制訂」、「現有港灣構造物安全評估方法之檢討」與「維護管理系統建置」三項，希望藉由港灣構造物，包含碼頭(重力式、板樁式與棧橋式三種)與防波堤等，以基隆港目前現有的研究基礎上，再進行更深入之探討與設施資料之擴充。「檢測作業標準制訂」先前的研究已針對目視檢測標準修訂部分簡化檢測內容，並藉由圖示輔助增加實用性。而儀器檢測適用性探討部分以混凝土與鋼材兩類，撰寫其檢測原理、檢測程序、檢測注意事項與檢測內容；初步檢測安全評估方式研擬，修正單一構件評估與各設施整體狀況的整體評估，並增加構件權重問卷；詳細檢測安全評估以與目視與儀器檢測結果較為相關的碼頭岸肩鋼筋斷面損失進行分析，藉由輸入與檢測結果相關之數據，配合分析流程，檢視原始設計之需求。

今年度除修正部分目視檢測標準外，亦就儀器檢測內容之持續更新與水下檢測儀器之適用性進行相關工作。「現有港灣構造物安全評估方法檢討」先前的研究已藉由試驗之執行，研究所提破壞指標之影響性，探討設施結構破壞新型評估方式，將進一步驗證及修正、探討結構破壞之新型評估方式應用於鋼板樁碼頭與研議重力式碼頭結構破壞之評估方式。「維護管理系統建置」，將修正系統檢測標準、系統初步檢測安全評估方式與經常巡查輸入、建置防波堤維護管理系統與撰寫碼頭設施維護管理系統使用手冊，並擴大建置港灣構造物資料、研擬分析預測工具與建置檢測報告產出模組。研究成果之應用除可提供產官學研各界不同需求及應用外，亦可在經濟效益上，藉由掌握碼頭劣化異狀，有效維護，減少資源浪費。

**關鍵詞：**港灣構造物、檢測標準、執行程序

## Abstract

According to the two major policy direction provided by MOTC, "rebuild the international gateway to enhance national competitiveness" and "promote sustainable green transportation to meet the carbon reduction", the main industrial and commercial ports of Taiwan must be strengthened the effectiveness of harbor facilities to improve quality and energy of its services in order to reach the core values of international ports, and rebuild competitiveness of transportation hub in East Asia to promote local development. Recent decades, public transportation and other major construction projects extensively are built by reinforced concrete structures, because the durability of reinforced concrete leads little need to maintain. However, the structure is very vulnerable to damage due to the use of the environment (such as corrosive environment) and ultra-load. Its durability and safety is increasingly being questioned and considered.

The three major directions of this research in this year are to modify the standard inspections, to review the method of safety evaluation, and to modify the maintenance management system. According to these directions, this research also modifies the handbook of inspection, evaluation, and maintenance for wharf structure. Modifying the standards of inspections include: 1. Correcting visual inspection standards, and adding visual inspection drawing which can improve consistency for inspection results 、 2. Synthesizing inspection theorem, inspection process, inspection notice, and inspection content for each instrument inspection techniques to improve its workability 、 3. Correcting the weight for each structure elements and the evaluation method which can improve safety evaluation method for visual inspection. The application of research result can not only meet the needs on various fields, but also improve the development of inspection techniques.

**Keywords : harbor structure, inspection standard, inspection procedure.**

## 一、前言

依據交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等2大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣21世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。交通部運輸研究所已於100年12月26日召開「102年海岸及道路災害防救科技發展科技綱要計畫之研商會議」研商，召聚產官學界各方專家研商計畫執行內容。

近幾十年來交通建設等重大公共工程建設，均大量採用鋼筋混凝土結構興建，由於鋼筋混凝土材料甚具耐久性，因此甚少需要維護，但受使用環境(諸如腐蝕性的環境)及超負載等因素之影響，結構甚易受到損壞，其耐久性與安全性日益受到質疑與堪慮。

我國工程結構是否安全堪用，必需明確的瞭解，俾採必要之防範措施，基於此一要求，急需進行結構物安全評估工作，國外針對新舊結構物均有建立結構檢測方法及完善評估制度，使結構物達到安全，經濟、有效益之維護，增長使用壽命之目的，故針對碼頭設施結構物之檢測技術研究有其必要性。

結構物之維修是為確保安全，使用功能及延長使用年限，以往我國工程與設施較注重興建，或全面維修，對於平常之維護均認為是例行公事，僅編列少數維護經費。而英、美、日等先進國家則均依環境特性，規劃一套完整之維護計劃，不但使維護經費做最有效之運用，並可杜絕龐大維護費用之浪費，且對人、社會及環境造成最低之衝擊。因應世界潮流與營建主流趨勢，未來構造物其維護管理所佔權重，將比興建或全面重建更形重要，因此，未來港灣結構物之劣化與維護時，相關檢測技術或維修工法與應用亦為本計劃重要之研究課題。本計劃將針對港灣構造物，針對其破壞型式，研擬港灣構造物檢測標準，參考先進國家經驗，制訂適用我國之標準。並建置檢測程序，撰寫維護管理手冊，提供工程師便利操作及應用。本計畫之研究成果將可具體提供國內各港務分公司辦理港灣構造物安全檢查評估及維護管理之參據。

## 二、計畫目的

為確保港灣構造物安全性、使用功能及延長使用年限，並符合英、美、日等先進國家之完整維護計劃，以達維護經費有效運用、杜絕維護費用浪費與對社會經濟環境造成最低之衝擊，故本案最終之目的有以下幾項主要之目的：

- 1.港灣構造物維護管理制度之建立
- 2.港灣構造物安全評估之研析
- 3.港灣構造物維護管理系統之建置

## 三、計畫對象與範圍

### 1.研究計畫對象

本計劃研究對象為碼頭(包含重力式、板樁式與棧橋式三種)與防波堤等港灣構造物為主，初步擬定將以基隆港為對象，本研究團隊已執行「基隆港西14至西15號碼頭結構安全檢測評估與系統建置」與「基隆港西2至西4號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究」兩案，故希望能再藉此研究基礎上，再進行更深入之探討與設施資料之擴充。

## 2. 研究計畫範圍

計畫範圍主要針對港灣構造物檢測標準，配合國內外之文獻資料，進行比較分析，藉以制訂適合我國之標準外。亦針對港灣構造物檢測建置其執程序，配合手冊之撰寫(包含施檢類型與頻率、構件編碼原則、目視檢測評估標準、儀器檢測建議與修復排序等)，藉以讓現場工程師能便於操作。至於安全評估部分，本研究亦將針對現有評估方式進行探討，並提出結合目視與儀器檢測之新式評估方法。

## 四、港灣構造物檢測作業標準制訂

### 4.1 碼頭構造物構件編碼原則與檢測表格修正

#### 1. 碼頭構造物構件編碼原則修正

目前重力與板樁式碼頭以10 m為一單元進行編碼，惟此編碼方式單元切割較多且檢測進行時較不易判別單元，故經專家座談會議後之建議，修正為以繫船柱進行編碼(棧橋式因其結構型式與判別較為容易，故仍維持原有方式)。故針對此兩類碼頭，以兩繫船柱間為一單元(Block)如圖1所示，若各碼頭間之交界若非繫船柱，則仍須編列為一單元，如圖1(1)所示。各碼頭單元構件拆解分為碼頭本體、海床與附屬設施。碼頭本體再拆分成岸肩、壁體與後線；附屬設施拆分成繫船柱、防舷材、車擋與起重機軌道。各構件之劣化狀況位置記錄如表1所示。

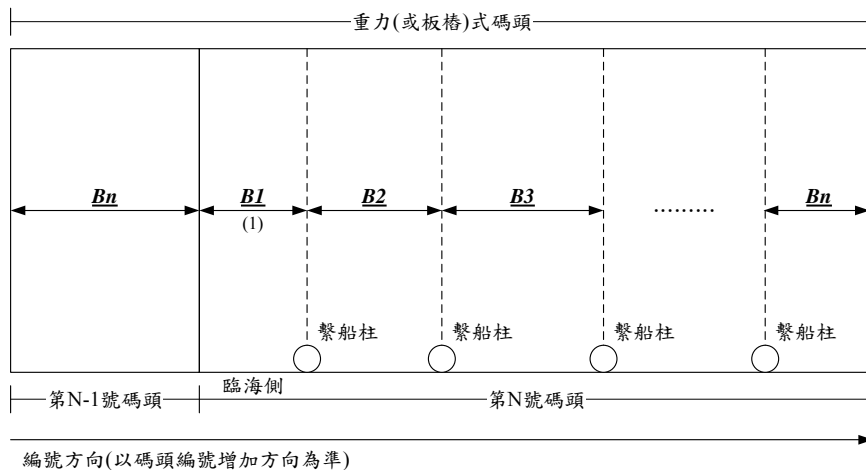


圖1、重力與板樁式碼頭單元編碼方式修正

表1、重力與板樁式碼頭構件劣化位置記錄方式說明

第1層構件	第2層構件	劣化位置描述
碼頭本體	岸肩	紀錄 X、Y 值(如圖 2(a)之(1)所示)
	壁體	紀錄 X、-Z 值(如圖 2 (b)之(2)所示)
	後線	紀錄 X 值(如圖 2(a)之(2)所示)
海床		紀錄 X 值(如圖 2(b)之(1)所示)
附屬設施	車擋	紀錄第 n 個
	繫船柱	一單元僅有一個
	防舷材	紀錄第 n 個
	吊車軌道	紀錄 X 值

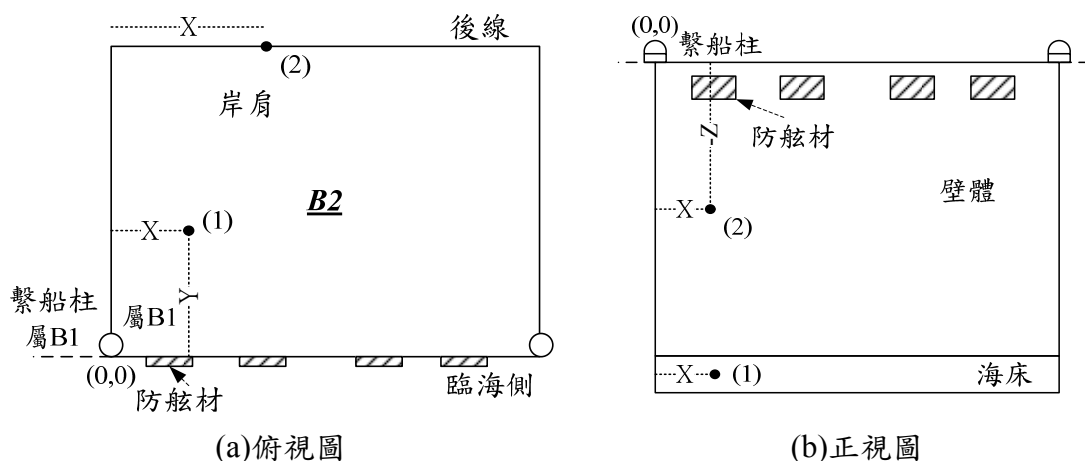


圖2、重力、板樁式碼頭構件劣化位置記錄方式圖示

## 4.2 碼頭構造物檢測表格修正

### (1) 經常巡查檢測表

由於該表建議為提供碼頭工務權責單位平時使用，其檢測方式以整體碼頭岸上構件進行記錄，故若各構件有劣化異狀發生，則填寫其最嚴重的劣化狀況等級(表格中僅顯示數值，對應之劣化狀況等級描述附加於其後)，並紀錄其所發生的單元位置與劣化位置，數量則以總數量為準，照片編號則紀錄拍攝相片編號之用。

### (2) 定期巡查檢測表

定期巡查以單一單元方式進行，巡查時除岸上目視檢測外，尚包含水下目視檢測，因此以碼頭各單元檢視各構件劣化異狀，並紀錄最嚴重者之劣化狀況等級與其劣化位置，並將該類型劣化數量以總量紀錄(照片編號同前述之經常巡查)。

### (3) 特別巡查檢測表

特別巡查乃針對天然或人為災後發生後為主，故以檢視岸上構件是否有達到劣化狀況為4之情形，故並非紀錄碼頭構件劣化狀況等級，而以紀錄「是/否」值。由於該表建議由工務權責單位於重大災害事故後進行快速岸上目視檢測，確認是否需進行緊急搶修，故除此部份外，其餘方式相同於經常巡查方式。

## 4.3 目視檢測標準內容之修正

檢測標準藉由前期之教育訓練與歷次工作會議討論回饋修正板樁式碼頭本體—壁體之接縫開裂與附屬設施—起重機軌道之損壞等劣化異狀。

### (1) 板樁式碼頭本體—壁體—接縫開裂

經第二次季工作會議討論後，在板樁式碼頭本體—壁體—接縫開裂劣化異狀上，因壁後回填粒料粒徑較大，故在劣化描述說明上將漏砂狀況數值予以調整，並將其名稱改為開裂深度。

### (2) 附屬設施—起重機軌道之損壞

雖已將藉由文獻收集而羅列之起重機軌道損壞予以簡化，以便於現場工程師進行檢測，但經意見回饋與現場勘查後，再將「兩軌間距高差」與「鋼軌生鏽」等描述予以刪除，餘下之兩軌間距左右差與鋼軌接縫高差較容易判別。

#### 4.4 修復工法之處置對策補充與單價建置

##### (1) 修復工法之處置對策補充

目前本計劃所建議之處置對策皆依各類型碼頭劣化異狀之等級而有所對應，本期藉由資料蒐集補充此項內容，既有建議之處置對策列表如圖3所示(圖中粗體字為本次新增部分)。

鋼筋混凝土構件修復工法	C1	樹脂砂漿塗抹工法	鋼構件修復工法	S1	新增鋼板焊補法
	C2	灌注環氧樹脂工法		S2	水中硬化環氧樹脂塗附法
	C3	修補水泥砂漿工法		S3	犧牲陽極式防蝕系統
	C4	混凝土及鋼筋修補		S4	外加電流式防蝕系統
	C5	陸側水中混凝土填補法		S5	鉚釘打設工法
	C6	回填料填補壓實法		S6	防蝕包覆修補法
	C7	水泥砂漿注射工法		S7	防蝕包覆重鋪法
	C8	水中混凝土澆置工法	其他構件修復工法	O1	拋石護基工法
	C9	噴凝土修復		O2	拋放麻袋混凝土法
	C10	增厚工法		O3	新增護基方塊法
	C11	FRP接合工法		O4	鋼軌矯正
			O5	鋼軌汰換	
			O6	防蝕塗料維修	
			O7	置換繫船柱	
			O8	構件脫落之維修	
			O9	置換防舷材	

圖3、碼頭構造物劣化處置對策表

##### (2) 修復工法之單價建置

修復工法單價建置之目的乃作為各構件劣化異狀在不同狀況等級下的對應，以便配合巡查後之劣化數量進行修復費用估算。針對此項工作，本案收集工程會「公共工程價格資料庫」、交通部運輸研究所港灣技術研究中心「碼頭本體設施維護管理系統建置之研究」、臺灣營建研究院「營建物價」與臺北市政府「RC橋梁維修補強手冊」進行彙整。

各處置對策之修復工法單價與其計價單位如**錯誤! 找不到參照來源。**所示，各修復工法單價分析如表2-24~**錯誤! 找不到參照來源。**所示。其應用有以下限制：

- A. 修復工法僅針對一般常見之方式提供單價建議。
- B. 若其劣化狀況等級為4者，因需進行結構分析瞭解成因與是否影響安全性，再進行結構補強。故因其需另進行結構設計，非以巡查紀錄所載之劣化數量來進行計算，故並包含於修復工法單價之內。
- C. 表2所列之修復工法單價，未包含假設工程費用，因此費用會因個案而有所差

異，故使用時，需再另行估計此費用。  
 D. 因緊急維修與緊急搶修有時間急迫性，修復單價難以估計，故不屬本案修復工法單價範疇。

表2、修復工法單價列表

工法名稱	單位	單價(元)
1.鋼筋混凝土修復工法(C)		
(1)樹脂砂漿塗抹工法(C1)	m	937.5
(2)灌注環氧樹脂工法(C2)	m	2,600
(3)修補水泥砂漿工法(C3)	m <sup>2</sup>	1,000
(4)混凝土及鋼筋修補(C4)	m <sup>2</sup>	2,350
2.鋼構造物修復工法		
(1)新增鋼板焊補法(S1)	m	2,082
3.其他修復工法(O)		
(1)拋石護基工法(O1)	m <sup>3</sup>	870
(2)拋放麻袋混凝土法(O2)	m <sup>3</sup>	2,950
(3)新增護基方塊法(O3)	m <sup>3</sup>	3,290
(4)防蝕塗料維修(O6)	個	617
(5)置換繫船柱(O7)	個	22,944
(6)構件脫落之維修(O8)	個	5,629
(7)置換防舷材(O9)	個	56,295
(8)置換車擋(O10)	個	1,350

## 五、現有港灣構造物安全評估方法之檢討以混凝土棧橋式碼頭結構安全評估為例

本案例分析主要參考文獻有關棧橋式碼頭檢測相關研究(港灣技術研究中心2010年)，將所需數據代入後，再依修正後之整體破壞評估方式，重新評估。該案例中有七個構件(梁構件)，而每一構件有若干檢測斷面如表3所示。

表3、各構件破壞指數計算表

Members	d(cm)	(f)(cm)	Si(cm)	$\theta_i$	$\sigma_i(\text{kgf/cm}^2)$	Avg.E <sub>i</sub>	D <sub>e</sub>
#1-E3	25	5.3	0.2643	0.013416	450.6	2.871	3.87
#2-F4	25	2.2	0.1011	04434	550.0	0.800	--
#2-F7	25	2.8	0.0785	03536	572.2	0.615	1.71
#3-F2	25	3.4	0.2833	0.013116	584.7	2.232	3.23
#4-E5	25	4.2	0.311	0.014952	465.1	3.121	--
#4-E6	25	3.7	0.0516	02423	585.2	0.412	2.77
#5-F1	25	4	0.1457	06938	529.6	1.297	--
#5-F4	25	1.8	0.0981	04228	505.9	0.823	2.06
#6-F2	25	2.4	0.032	01416	554.8	0.253	--
#6-F3	25	3.2	0.0981	045	465.2	0.939	1.59

Members	d(cm)	(f)(cm)	Si(cm)	$\theta_i$	$\sigma_i(\text{kgf/cm}^2)$	Avg.E <sub>i</sub>	D <sub>e</sub>
#7-F3	25	2.7	0.032	01435	479.8	0.292	--
#7-F4	25	4.1	0.1685	08062	574.7	1.395	1.84
			Max.	0.014952	585.2		
			Avg	0654	536.5		

(1) 個別構件破壞指標計算

A.  $\sum E_i^e$  = 構件e破壞前累計吸收之應變能量(accumulated strain energy)。

B.  $\delta_{Me}$  = 外力作用下，e構件之最大變形量， $\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{est.i}) = 0.014952$ 。

C. D<sub>e</sub>值計算。

在  $\delta_{ue}$  值無法事先得知時，可以相關材料之經驗值代入，或以實測所得之最大變位數據  $\delta_{Me} = \text{Max}(\delta_{est.i})$  代入之；Q<sub>ye</sub>值之計算亦同以實測最大值。本試算例中暫以此方式行之，則De值之計算結果如表3中所示。

(2) 整體結構破壞指標(structural damage index,  $\Phi$ )

$$\Phi = \frac{2}{M} \sum_e^M \left[ \frac{\phi_r}{\phi_l} \cdot \delta_e^{\alpha_e} \right] \dots\dots\dots(1)$$

其中 $\beta_1$ 為鋼筋斷面損失係數，但一般來說鋼筋斷面損失不容易測出。本計畫中以腐蝕電位之數據及其與腐蝕機率之關係，推估其與斷面損失之關係式來計算。計算 $\Phi$ 值時，若均為同類型構件時，其式可簡化，在計算過程中，各相關參數值則依相關公式算出如表4所列，表中 $\alpha_{ve}$ 之值為1時，則代表同一組檢測數據間之誤差值小於5%，最後得到整體結構破壞標之計算結果如下：

$$\Phi = \frac{1}{M} \sum_e^M [\delta_e^{\alpha_e}] = 0.856 \dots\dots\dots(2)$$

表4、整體破壞指標所需參數值

Member	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$	$\alpha_{ve}$	$\alpha_e$	$\delta_e$
#1	0.9	0.92	1.0	0.828	0.8	1.51	.713
#2	0.9	0.98	1.0	0.882	1.0	1.134	.929
#3	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.234	.777
#4	0.9	0.92	1.0	0.828	0.7	1.725	.823
#5	0.95	0.98	1.0	0.931	1.0	1.074	.894
#6	0.9	0.96	1.0	0.864	0.8	1.447	.941
#7	0.9	0.92	1.0	0.828	0.8	1.501	.916
Avg							.856

(3) 整體結構安全評估

$$S_d \leq S_n \cdot \Phi \dots\dots\dots(3)$$

若為強度設計法、則S<sub>d</sub>值為0.85fc'。目前試算的結果(在相當有限的檢測數據及設計參數下)，#118號碼頭之 $\Phi$ 值經代入公式計算後得出為0.856。當 $\Phi$ 值為



0.856時表示結構位於第一級之安全程度，亦即僅需進行日常檢測作業即可。

## 六、港灣構造物維護管理系統建置

### 6.1 維護管理系統更新與港灣構造物資料擴充

#### 1. 維護管理系統更新

##### (1) 系統軟體架構

架構內容包含伺服器軟體、資料庫軟體與地理資訊系統等，如4所示，本案伺服器使用Apache系統，其支援HTML、PHP與JavaScript等語言，而採用的資料庫為MySQL，並藉由PHP語言進行資料庫的輸出入，地理資訊系統採用Googlemaps，並藉由JavaScript語言將相關資訊展示地圖中



圖4、本案維護管理軟體架構

##### (2) 系統資料庫架構

維護管理系統資料庫為建置之核心，若資料拆分合宜，會降低儲存空間並增加執行效率，本案系統資料庫中各資料表說明如下。各資料可將不同的資料表以聯集方式查詢，以便於資料的使用，如圖5所示，可將港灣基本資料、碼頭基本資料與單元基本資料，藉由港灣編碼(hbID)與碼頭編碼(portCode)將三個資料表聯集，以便於系統中獲得所有資料。

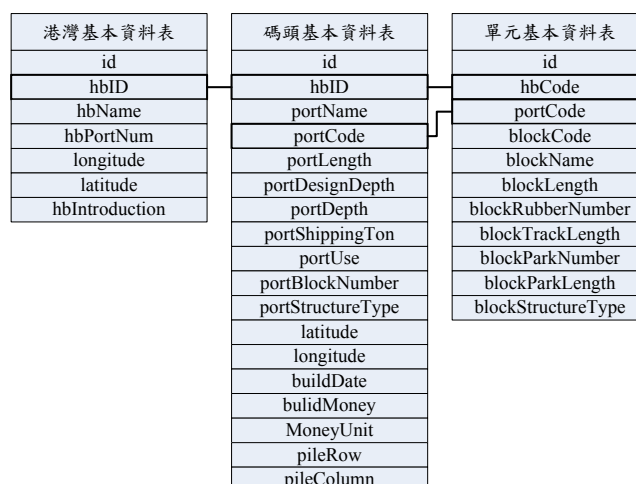


圖5、關聯式查詢方式示意

### (3)系統功能架構與建置

系統功能架構如圖6所示，各模組功能概述如下：

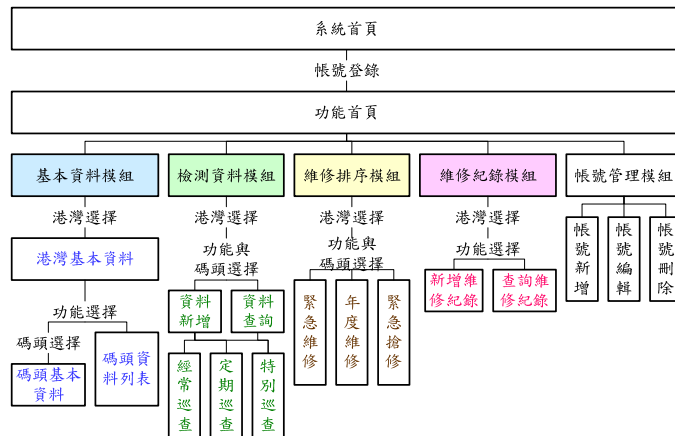


圖6、碼頭維護管理系統功能架構

檢測資料模組，可以進入各類型巡查之查詢與新增功能中，如圖7所示。經常巡查之新增與查詢-選擇經常巡查之查詢並以碼頭為標的，可進入經常巡查資料列表，如圖8所示，列表資料包含檢測時間、檢測天候、檢測者、檢測者意見、並可針對各料表資料查詢、編輯、刪除與列印(此部份於下節檢測報告模組說明)。詳細的巡查資料如圖9所示，可展示各檢測時間，經常巡查資料的內容，包含各構件劣化異狀的狀況、劣化單元、劣化位置、劣化數量與照片等，並可編輯與刪除各構件。巡查資料的編輯可針對選擇構件劣化異狀發生之單元進行變更、並可變更劣化狀況等級、劣化位置、劣化數量與劣化照片，亦可刪除此筆巡查紀錄(即此劣化構件異狀為1無異狀)，如圖10、圖11所示。而圖12之編輯功能，則為針對各筆巡查資料修正巡查天候與檢測者意見，如圖12所示。選擇經常巡查之新增並以碼頭為標的，即可新增一筆新的經常巡查資料，如圖13所示，檢測者除可輸入一般性的巡查資料，如檢測天氣、與檢測員意見，並可針對岸上構件劣化異狀輸入其劣化等級(有不同的劣化描述與圖示予以對應)、劣化單元、劣化位置、劣化數量與劣化照片等。



圖7、檢測資料模組巡查類型之查詢與新增-以基隆港為例

檢測時間	檢測天候	檢測者	檢測者意見	詳細資料	刪除記錄	編輯記錄	檢測報告
20131024	晴	關臣佑	無	查詢	刪除	編輯	列印

圖8、碼頭經常巡查資料列表-以基隆港東2號碼頭為例

基隆港-東2號碼頭-經常巡查紀錄表							
港灣名稱	花蓮港	碼頭編號	東2號碼頭	檢測日期	20131024		
構件名稱	劣化類型	劣化狀況	劣化單元	劣化位置	劣化數量	劣化照片	編輯
岸屑	裂縫	1					編輯
	剝落	1					編輯
	沉陷	4	B04	X=3m, Y=2m	20m <sup>2</sup>	照片	編輯
後線	沉陷	1					編輯
繫船柱	腐蝕龜裂	1					編輯
防舷材	龜裂破壞	2	B04	3個	1個	照片	編輯
車擋	龜裂破壞	1					編輯
起重機軌道	腐蝕位移	1					編輯

圖9、碼頭經常巡查紀錄表-以基隆港東2號碼頭為例

經常巡查資料編輯		
檢測時間	20131024	
港灣名稱	基隆港	
碼頭名稱	東2號碼頭	
單元名稱	B04	
構件名稱	附屬設施-防舷材	
劣化類型	龜裂破壞	
劣化狀況	1	
劣化位置X	X=	0 m
劣化位置Y	Y=	0 m
劣化位置N	第	3 個
劣化數量(面積)		0 m <sup>2</sup>
劣化數量(長度)		0 m

圖10、碼頭經常巡查紀錄編輯-1-以基隆港東2號碼頭為例



圖11、碼頭經常巡查紀錄編輯-2-以基隆港東2號碼頭為例

經常巡查基本資料編輯

檢測天氣: 無

檢測員意見

確認修改

圖12、碼頭經常巡查基本資料編輯-以基隆港東2號碼頭為例

2013年10月23日							
檢測日期	2013年10月23日					檢測天氣	晴
港灣名稱	基隆港	碼頭名稱	西2號碼頭			檢測人員	簡臣佑
構件名稱	劣化類型	劣化狀況	劣化描述	劣化單元	劣化位置	劣化數量	
岸屑	裂縫	2	局部可見2~3個部位有裂縫(裂縫寬度約3mm以下)顯示	1	X Y	m	
	剝落	1	無異狀	1	X Y	m <sup>2</sup>	
	沉陷	1	無異狀	1	X Y	m <sup>2</sup>	
後線	沉陷	1	無異狀	1	X	m <sup>2</sup>	

圖13、碼頭經常巡查資料新增-以基隆港西2號碼頭為例

(4)港灣構造物資料擴充

本案今年度針對基隆港碼頭基本資料與經常巡查資料(共5座)擴充如下表5

所示，表中針對西1b號碼頭、西16號碼頭、東1~3號碼頭建置之單元基本資料包含單元長度、防舷材數量、吊車軌道長度、車擋數量、車擋長度與單元結構型式等。表列資料亦建置於維護管理系統中。

表5、本年度港灣構造物資料擴充單元基本資料列表(節錄)

港灣編碼	碼頭編碼	單元編碼	單元名稱	單元長度	防舷材數量	吊車軌道長度	車擋數量	車擋長度	單元結構型式
klh	0w02	B01	1號單元	8.9	0	無	無	無	棧橋
klh	0w02	B02	2號單元	9.2	1	無	無	無	棧橋
klh	0w02	B03	3號單元	9.3	1	無	無	無	棧橋
klh	0w02	B04	4號單元	8.8	1	無	無	無	棧橋
klh	0w02	B05	5號單元	8.7	1	無	無	無	棧橋
klh	0w02	B06	6號單元	9	1	無	無	無	棧橋

## 6.2 檢測報告產出模組建置

此模組並未建置獨立選項供使用者選擇，而是置於各類型巡查資料列表中。圖中選擇列印，即進入巡查報告下載頁面中。當點擊選擇，即會顯示以PDF格式產出之報告，報告分為兩部分，第一部分為港灣名稱、碼頭名稱與檢測時間等一般性資料與各構件劣化狀況列表，如圖14所示，列表資料包含劣化構件、劣化類型、劣化狀況、劣化單元、劣化位置與劣化數量；而第二部分為配合前述列表對應之劣化照片，如圖15所示。

基隆港定期巡查報告					
碼頭名稱：西2號碼頭			檢測時間：20080225		
劣化構件	劣化類型	劣化狀況	劣化單元	劣化位置	劣化數量
面版岸肩底部	剝落	2	E01	第3個	0.15m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E02	第1個	0.25m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E05	第2個	0.15m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E06	第1個	0.15m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E0	第4個	0.03m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E2	第3個	0.05m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E8	第2個	0.61m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E0	第5個	0.61m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E21	第3個	0.05m <sup>2</sup>
面版岸肩底部	剝落	2	E22	第3個	0.05m <sup>2</sup>
無檢測意見					
檢測者簽章：			審核單位簽章：		

圖14、定期巡查報告資料列表-以基隆港西2號碼頭為例

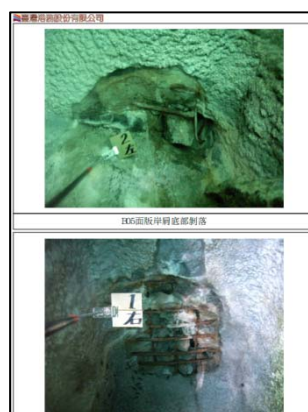


圖15、定期巡查報告照片

## 6.3 分析預測工具之研擬

目前設施劣化預測之方式以迴歸分析法、馬可夫鏈法、可靠度法與類神經網路法等較具研究成果。惟馬可夫鏈法、可靠度法與類神經網路法等乃藉由數學方法計算劣化狀況後再間接求取維修經費，其計算上勢必加入更多假設，以便求取最後結果。為將碼頭檢測維護對策與修復費用預估編列加以連貫，本案開始之初即針對各構件的可能劣化狀況進行區分，以利各構件一旦有劣化產生，即可有其維護對策來因應，輔以檢測期間，記錄劣化數量與系統內建置的工法單價資料庫，即可產出修復費用預估的編列，提供現地工程師參考，為此，本案在分析預測目的上，為求得

碼頭構造物未來修復經費，以供管理單位作為未來預算運用掌握之用，故採取直接以迴歸分析配合檢測後預估之修復費用估算與歷年修復成本，作為本研究計算之方式。

1. 各年度估算修復費用( $C_{(E,i)}$ , E為估算金額(estimate), i為年)計算： $C_{(E,i)}$ 藉由歷年巡查資料將各構件劣化數量配合劣化類型所需修復工法之單價進行計算而得，如圖16所示。
2. 各年度實際修復累加費用( $C_{(R,i)}$ , R為實際發生金額(Real), i為年)：如有該年度實際修復費用發生，則將各年度實際修復費用累加，如圖17(a)所示。另外在實際狀況，可能多年皆無任何維護手段介入，如圖17(b)與圖17(a)相較，第3年未有實際修復，理論上，該年度的預估修復費用將會隨時間增加(劣化如未處理，其狀況等級將隨時間增加)。
3. 預測修復累加費用( $C_{(P,i)}$ , P為預測金額(Predict), i為年)：將各年修復費用( $C_{(E,i)}+C_{(R,i)}$ )迴歸分析，經迴歸分析後，可推估下一年度，或若干年後之年度預估修復總費用，如圖18之 $C_{(P,6)}$ 所示。第6年度修復費用需將 $C_{(P,6)}$ 扣除累加至前一年度之實際修復總費用( $C_{(R,5)}$ )即為該年度估算修復費用( $C_{(E,6)}$ )。

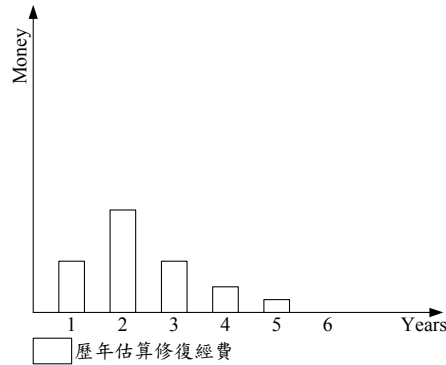


圖16、各年度估算修復經費( $C_{(E,i)}$ )

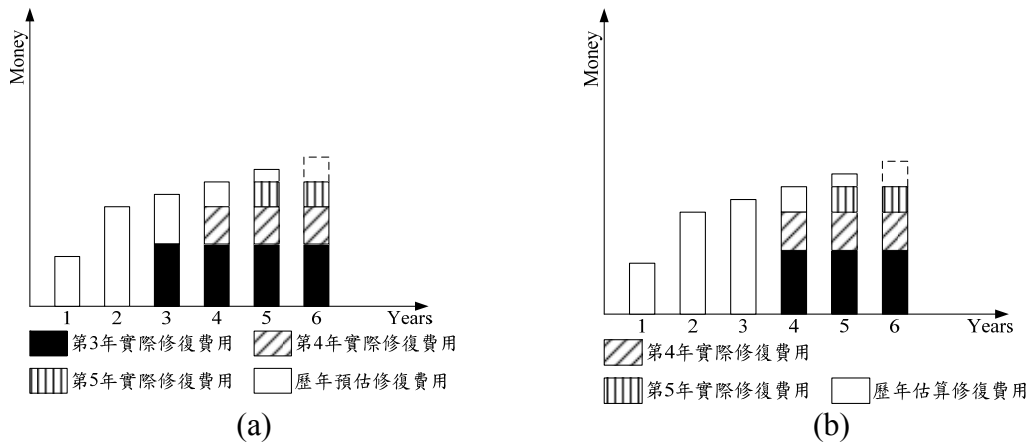


圖17、各年度實際修復經費( $C_{(R,i)}$ )與估算修復經費( $C_{(E,i)}$ )

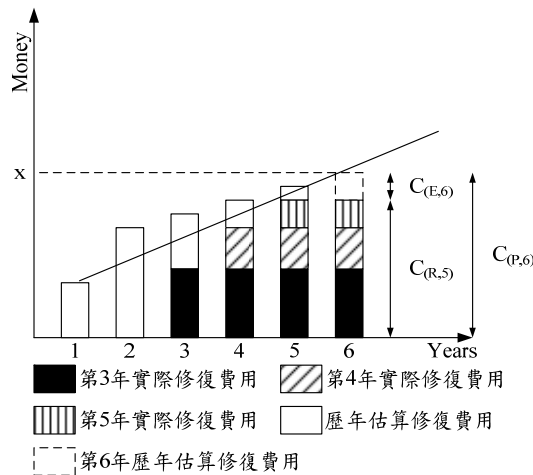


圖18、未來修復費用預測

## 七、結論與建議

本案今年度已依契約內容完成工作項目，以下就「港灣構造物檢測作業標準制訂」、「現有港灣構造物安全評估方法之檢討」與「港灣構造物維護管理系統建置」三部分說明執行成果。

### 7.1 結論

#### 1. 港灣構造物檢測作業標準制訂部分

- (1) 碼頭構造物單元編碼修正：針對重力與板樁式碼頭修正以繫船柱作為切割依據，以便於實際作業之需。
- (2) 各類型巡查表格修正：完成經常、定期與特別巡查檢測表格、以符合各類型巡查之特性。
- (3) 儀器檢測紀錄之增列：增加3D光達檢測與防蝕系統(陽極塊)腐蝕電位測定技術之案例，提供更便利的技術與案例於維護管理手冊中，供檢測人員參考。
- (4) 修復工法之處置對策補充與單價建置：本年度增列18項工法，以便對應構件各劣化狀況等級之處置方式，並針對常見之修復工法，建置其單價，以便配合劣化數量予以估算修復費用。

#### 2. 現有港灣構造物安全評估方法之檢討

- (1) 各類型碼頭安全評估方法之建立：完成各類型碼頭安全評估方法之建置。
- (2) 各類型安全評估方法案例之分析：針對各類型碼頭安全評估方法，提供案例作為應用時之參考。

#### 3. 港灣構造物維護管理系統建置

- (1) 維護管理系統更新與港灣構造物資料擴充：更新既有維護管理系統，並已配合前述之檢測作業標準，以便以制定之各類巡查方式與檢測標準進行資料記錄，資料庫並已增加5座碼頭之基本資料，亦可操作進行各類型之巡查。
- (2) 檢測報告產出模組建置：已建置可依巡查日期，產出各類型巡查報告之模組，以便管理單位使用。
- (3) 分析預測工具之研擬：提出未來修復費用之預測，並藉由實際之巡查紀錄(連續兩年資料)估算修復費用，並預測未來修復費用，作為示範案例。

## 7.2 建議

由於本年度針對「港灣構造物檢測作業標準制定」部分，已初步完備，未來將於此架構上，擴大港灣設施資料的建置(例如剩餘之基隆港碼頭基本資料)，以增加「港灣構造物維護管理系統建置」部分的可操作性，並持續收集歷年維護工法的資料，充實單價資料庫。港灣構造物安全評估部分，目前已將各類型碼頭建置分析方法並提供案例，故後續建議針對分析方法擬定安全評估程序，以便使用時有所依循。

## 八、參考文獻

1. 日本運輸省港灣技術研究所，”港灣構造物腐蝕評價手法”No.501,P11，1984。
2. 交通部基隆港務局，”基隆港東防波堤延伸工程規劃評估”，2005。
3. 交通部運輸研究所，”海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材構造物陰極防蝕技術與應用研討會”，2004。
4. 交通部運輸研究所，”港灣構造物設計基準研究-碼頭設計基準研訂及說明草案”P3-14，1997。
5. 交通部高雄港務局，”高雄港港灣設施維護管理手冊”，2006.12。
6. 李維峰、張嘉峰、簡臣佑等，”北部地區省道公路公共工程(含隧道、橋梁)維護管理制度之研究”，交通部公路總局第一區養護工程處，2008。
7. 張嘉峰、簡臣佑等，”交通設施生命週期評估技術整合與應用”，交通部運輸研究所，2005。
8. 張嘉峰、簡臣佑等，”基隆港西2至西4號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究”，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2008。
9. 陳添宇，”類神經網路於橋梁老劣化預測之研究”，2005.01。
10. 郭世榮、簡連貴、蕭松山等，”港灣設施防災技術之研究(一)-港灣構造物維護管理準則之研究”，交通部運輸研究所，2004。
11. 許文政，”橋梁生命週期成本評估構件劣化預測模式之研究”，2005.06。
12. 湯麟武、徐忠猶、黃正欣，”港灣及海域工程(中國工程師手冊水利類第十一篇)2nd”，中國土木水利工程學會，1999。
13. 蘇吉立、陳桂清等，”碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(1/4)”，交通部運輸研究所，2007。
14. 蘇吉立、陳桂清等，”碼頭本體設施維護管理系統建置之研究(2/4)”，交通部運輸研究所，2007。
15. 饒正、陳桂清、柯正龍、張道光，”碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究”，2002。
16. Carl A Thoresen，”Portdesigner’s handbook-recommendation sand guidelines”，2003。
17. BlueViewTechnologies，<http://www.blueview.com/>。
18. Saaty Thomas L. Decision Making For Leaders-the analytic hierarchy process for decision sin acomplex world, Pittsburgh, PA:RWS Publications，1990。

