

## 高雄港#101 碼頭水下結構腐蝕檢測與評估

吳美惠

### Corrosion Inspection and Assessment on Submerged Steel Piles of #101 Wharf in Kaohsiung Harbor

Mei-Hui Wu

#### 摘 要

碼頭結構處於海洋環境中，除了遭受波浪及船舶靠岸之撞擊作用外，容易有腐蝕問題產生，尤其以潮間帶與水下部位之鋼樁結構為甚。一旦腐蝕問題持續惡化，不僅會折損鋼樁使用壽命，也會對碼頭使用安全性構成極大威脅。因此，必須透過腐蝕檢測與評估，才能達成有效之碼頭維護管理，降低碼頭鋼樁腐蝕風險。碼頭水下結構物之腐蝕檢測對象，係指水下鋼樁及陰極防蝕系統，一般檢測項目包括目視檢查鋼樁與陽極塊表面腐蝕情況、鋼樁厚度與腐蝕速率量測、鋼樁保護電位量測、陽極塊重量檢查與壽命評估、海水水質分析等。本文採用上述檢測技術，並以高雄港#101 碼頭為例，探討鋼樁腐蝕檢測與陰極防蝕系統有效性評估技術，並提出維修改善建議。

關鍵詞：碼頭；鋼樁；腐蝕檢測；陰極防蝕；保護電位。

#### ABSTRACT

The steel piles of wharf immersed in seawater have suffered great impact of waves and serious corrosion problems, particularly the steel piles within the splash zone, tidal zone and continuously immersed zone. Once corrosion gets progressively worse without notice, eventually will lead to structural failure and decrease the service life of the steel piles and form a serious threat to the security of wharf. Therefore, by means of carrying out corrosion inspection and assessment programs, the effective maintenance of wharf structures can be achieved to decrease the corrosion risk. The corrosion inspection objects of underwater structure of wharf involve the submerged steel piles and the existing galvanic cathodic protection system on the steel piles. The general inspection items include visual inspection, material thickness and corrosion rate measurements, cathodic protection potential measurement, anode weight and service-life assessment, seawater analysis etc. #101 wharf in Kaohsiung harbor has been examined to discuss the corrosion inspection technique on the steel piles and the assessment of cathodic protection system's effectiveness. Recommendations for maintenance are also suggested.

Keywords: Wharf; Steel pile; Corrosion inspection; Cathodic protection; Cathodic protection potential.

---

中國鋼鐵公司新材料研究發展處 中鋼腐蝕測試中心

China Steel Corrosion Test Center, New Materials Research & Development Dept., China Steel Corp.

\* 連絡作者：t113@mail.csc.com.tw

# 1. 前言

碼頭結構有重力、板樁、棧橋及沉箱等數種型式<sup>[1]</sup>，長期處於海洋環境下，除了遭受波浪及船舶靠岸之撞擊作用外，尚須面對腐蝕問題，尤其以潮間帶與水下部位之鋼板(管)樁結構，腐蝕威脅更嚴重。若任憑腐蝕現象持續惡化，不僅會縮短鋼板(管)樁之使用壽命，且鋼樁斷面日漸縮小會導致強度降低，整個碼頭結構安全將有顧慮。因此，必須透過腐蝕檢測與評估技術<sup>[2-4]</sup>，對碼頭結構作定期檢測，掌握碼頭之腐蝕傾向與劣化情形，乃至於未來使用之剩餘壽命，才能達成有效之碼頭維護管理，降低碼頭鋼板(管)樁腐蝕風險。高雄港#101 碼頭為棧橋

式鋼管樁構造，主碼頭長度為 380 m，共分為 8 個單元，護岸長度為 112.5 m，共分為 2 個單元，合計為 492.5 m。碼頭岸肩寬度為 26 m，碼頭面設計高程為+2.81 m，設計水深為-16.3 m，並有安裝鋁陽極陰極防蝕系統保護鋼板(管)樁。該碼頭主要用途為承載二部卸船機進原料之用，自 1996 年 11 月開始啟用迄今，尚未執行任何腐蝕檢測。圖 1 為#101 碼頭位置示意圖，而圖 2 則為其結構斷面與鋼板(管)樁厚度量測之水深測點位置示意圖。本文以高雄港#101 碼頭為例，探討鋼板(管)樁腐蝕檢測與陰極防蝕系統有效性評估結果，並提出維修改善建議。

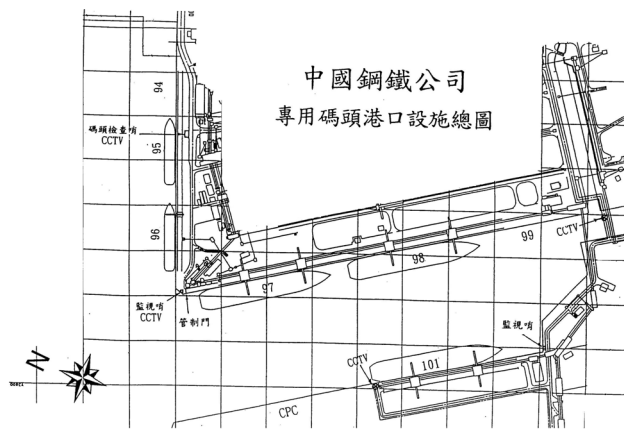


圖 1 #101 碼頭位置示意圖。  
Figure 1 Sketch map of #101 wharf.

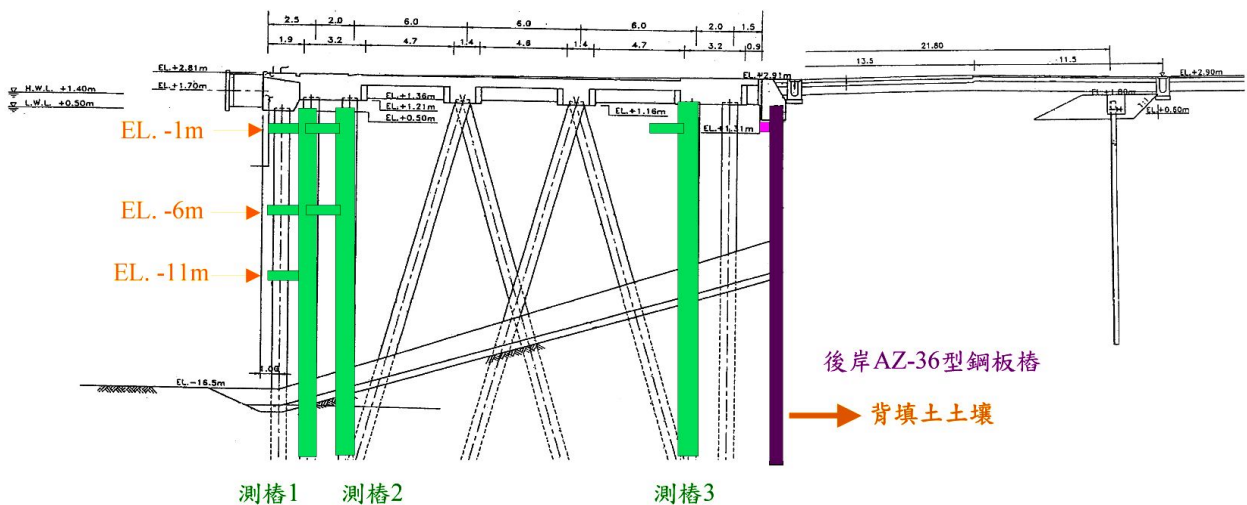


圖 2 #101 碼頭結構斷面與鋼板(管)樁厚度量測之水深測點位置示意圖。  
Figure 2 Schematic section of #101 wharf and sites of measured SPP & SSP at different water levels.

表 1. #101 碼頭鋼樁厚度量測之測樁編號、測點位置及測點數。

Table 1 The measured steel pile serial number, sites and amount of #101 wharf.

碼頭位置	測樁編號	測點位置(E.L.)	測點數	
鋼管樁	C1 ~ C20	第 1 支	+0.5 m、-1 m、-6 m 及-11 m	80
		第 2 支	+0.5 m、-1 m、-6 m 及-11 m	80
		第 3 支	+0.5 m、-1 m 及-6 m	60
鋼板樁	D1 ~ D24	+0.5 m 或-1 m	24	

## 2. 研究方法

碼頭水下結構物之腐蝕檢測對象，係指水下鋼樁及陰極防蝕系統。在鋼樁腐蝕檢測上，檢測項目通常包括目視檢查、鋼樁厚度與腐蝕速率量測等。在陰極防蝕系統評估上，檢測項目包括鋼樁保護電位量測、位於潮間帶之鋼管樁防蝕帶(FRP 與油布)包覆狀況、陽極塊外觀目視檢查(如消耗及銲接情況)、陽極塊重量檢查與剩餘壽命評估、海水水質調查等。如防蝕帶已脫落，且鋼樁外露，則必須量測鋼樁之厚度與腐蝕速率，以掌握鋼樁之腐蝕情形。

### 2.1 目視檢測

透過攝影或照相方式進行目視檢測，檢查重點為潮間帶之防蝕帶劣化狀況、鋼樁有無破孔或變形(大小尺寸、位置、數量)，以及陽極塊安裝位置、數量、消耗情況(均勻或局部腐蝕、有無明顯過度消耗或折損)、與鋼樁之銲接狀況，逐一記錄及描繪，以了解鋼樁表面之損壞情況、範圍及程度。

### 2.2 鋼樁厚度量測與腐蝕速率計算

碼頭鋼管樁厚度檢查之測樁數目，是採取平均每 24 m 設定為一排測樁，共計 20 排測樁(標示編號為 C1 ~ C20)。而每一排測樁分別選定 3 支直樁(自海側起)作為測樁，測樁數共計為 60 支。自海側起第一支及第二支測樁皆選定 3 個測點，分別為設計高程-1 m、-6 m 及-11 m 處；第三支測樁則選定 2 個測點，分別為設計高程-1 m 及-6 m 處，測點數共計為 160 點。碼頭後岸 AZ-36 型鋼板樁厚度檢查之測樁數目，是採取平均每 20 m 設定為一支測樁，共計 24 支測樁(標示編號為 D1 ~ D24)。有關厚度量測之測點編號、測樁位置及測點數，均整理於表 1 中。

在測樁位置之不同水深測點表面上，進行海生

物及銹蝕敲除，使金屬暴露面積約為 15 cm × 15 cm 左右。利用英製 Cygnus I 型(水下)超音波測厚儀，將探頭直接放置在已敲除潔淨之鋼樁表面，直接讀取 9 次厚度數據，並將整個量測過程錄影存證。鋼樁腐蝕速率之計算如下式：

$$\text{腐蝕速率(mm/yr)} = \frac{\text{原始厚度(mm)} - \text{現有最小厚度(mm)}}{\text{使用年期(yr)}}$$

上式中之原始厚度，係指鋼樁之設計厚度與其最大許可差之總和。根據 CNS 7851 規範，鋼板(管)樁之設計厚度及許可差如表 2 所示。

### 2.3 鋼管樁保護電位量測

鋼管樁保護電位量測係使用三用電表，將正極接於電位測試箱之不銹鋼測試棒(銲接於鋼管樁上，並呈電連通狀態)，負極則與氯化銀參考電極(Ag/AgCl/sat. KCl)連接，再將氯化銀參考電極放置於測樁水深測點位置上，然後直接讀取三用電表顯示銀幕上之電位值。於量測電位時，分別採用遠端與近端等二種方式進行，遠端量測是直接將參考電極沿著碼頭岸邊放置於不同水深測點位置上；而近端量測則是請潛水夫將參考電極擺放在極靠近測點之位置上。

表 2. 鋼板(管)樁之設計厚度與其厚度許可差之關係(根據 CNS 7851 規範)。

Table 2 Wall thickness design and thickness allowance of SSP and SPP. (Based on CNS 7851 Standard)

基樁型式	設計厚度	許可差
U 型鋼板樁	< 10 mm	± 1.0 mm
Z 型鋼板樁	≥ 10 mm, < 16 mm	± 1.2 mm
H 型鋼板樁 鋼管樁	≥ 16 mm	± 1.5 mm

## 2.4 陽極塊重量檢查與剩餘壽命評估

陽極塊重量檢查是將整塊陽極塊切割並吊至碼頭面板上，再將其表面海生物及腐蝕生成物去除後，觀察並記錄腐蝕程度、尺寸及剩餘重量。於完成重量檢查後，再將陽極塊銲接於原位置上，並拍照存證銲接後之外觀。陽極塊剩餘壽命評估之計算如下[5]：

$$\text{陽極年平均消耗量(kg/yr)} = \frac{\text{陽極原始重量(kg)} - \text{陽極剩餘重量(kg)}}{\text{經過年數(yr)}}$$

$$\text{陽極剩餘壽命(yr)} = \frac{\text{陽極剩餘重量(kg)}}{\text{陽極年平均消耗量(kg/yr)}}$$

## 2.5 海水水質調查

海水水質調查之取樣位置與水深如表 3 所示，水質調查項目包括海水之 pH 值、懸浮物含量、導電度、氯離子濃度與硫酸根離子濃度。其中，氯離子與硫酸根離子濃度係利用離子層析定量分析法(ion

表 3. #101 碼頭海水水質調查之取樣位置。  
Table 3 Sampling sites of seawater collected from #101 wharf.

取樣位置	水深
測樁編號 C1	
測樁編號 C5	-1 m
測樁編號 C9	-6 m
測樁編號 C13	-11 m
測樁編號 C16	

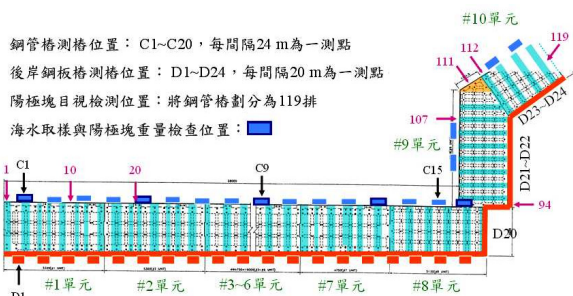


圖 3 鋼管樁平面分佈與鋼板(管)樁厚度量測位置示意圖。

Figure 3 Illustration of SPP distribution and measured sites of SPP & SSP.

chromatography, IC)檢測之。

## 3. 結果及討論

### 3.1 鋼板(管)樁厚度量測

圖 3 為鋼管樁平面分佈與鋼板(管)樁厚度量測位置示意圖，位於潮間帶之鋼管樁防蝕帶(FRP 與油布包覆)均無脫落，且外觀完好；而位於水下之鋼管樁則無破孔或變形狀況發生。鋼管樁測樁之最小厚度為 11.6 mm，最大厚度為 12.3 mm，平均厚度為 11.9 mm。圖 4 為鋼管樁測樁位置與平均厚度關係，可看出除了在碼頭左右兩端之剩餘厚度有較大差異之外，其餘測樁之剩餘厚度均與設計厚度相近，且厚度減薄量均在設計厚度(12 mm)之 5% 內。

依據日本標準規範，鋼樁腐蝕速率之評估基準為 0.20 mm/yr<sup>[4]</sup>，一旦腐蝕速率超過 0.20 mm/yr 時，表示鋼樁腐蝕程度嚴重。在鋼管樁原始厚度為 13.2 mm 之假設下，鋼管樁之腐蝕速率與水深關係如圖 5 所示，腐蝕大致上呈均勻分佈，平均腐蝕速率為 0.178 mm/yr，較規範值 0.20 mm/yr 低。但部份測樁(編號 C1-2、C2-1、C3-1、C7-1、C8-1、C13-1、C13-2、C17-1、C18-1、C19-1~C19-3、C20-1 及 C20-2)之腐蝕速率均超過 0.20 mm/yr 規範值以上。

圖 6 為碼頭後岸鋼板樁測樁位置與現有厚度、腐蝕速率之關係，鋼板樁最小厚度為 17.0 mm，最大厚度為 17.8 mm，各測樁平均厚度在 17~18 mm 之間，

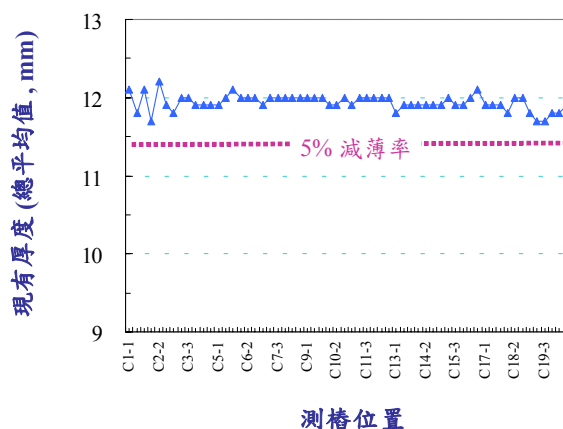


圖 4 鋼管樁測樁位置與平均厚度關係。  
Figure 4 Variation of average thickness with measured site of SPP.

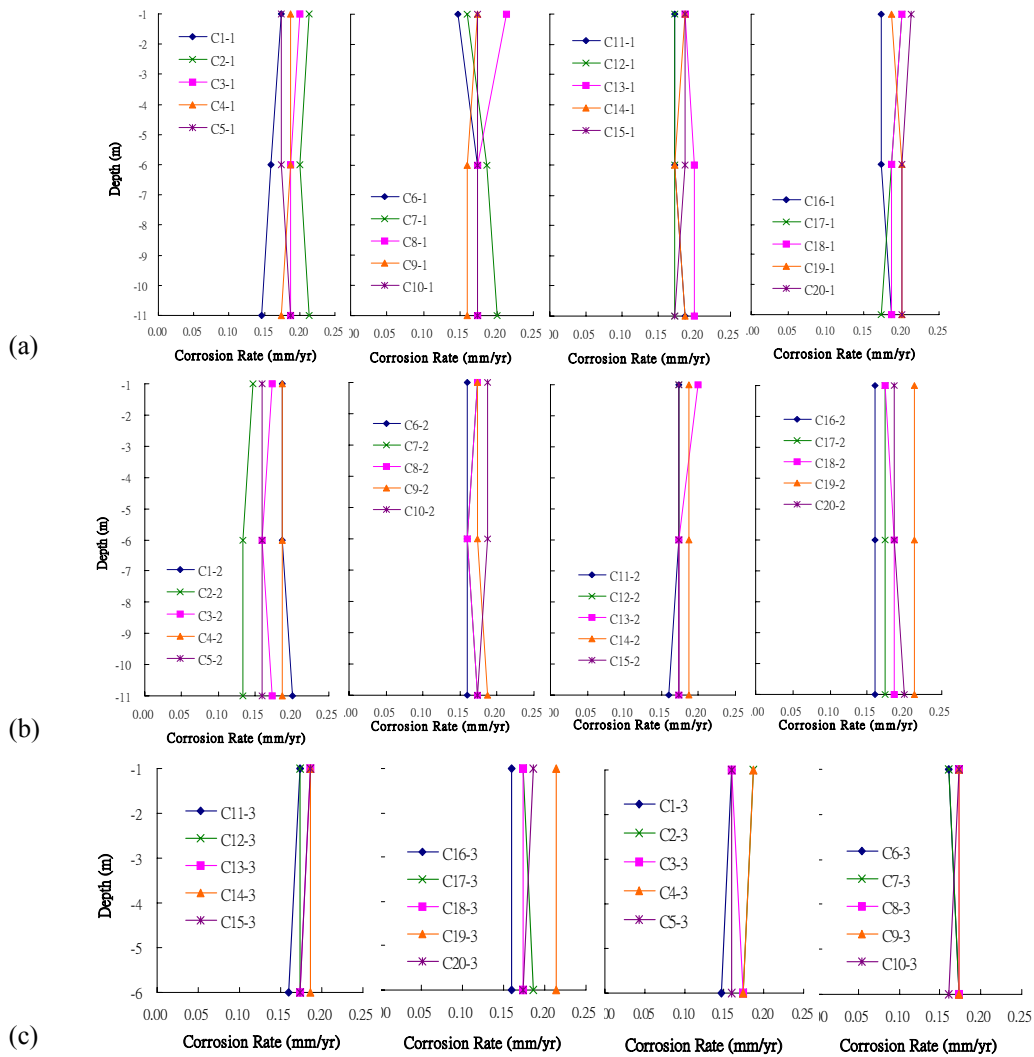


圖 5 鋼管樁之腐蝕速率與水深關係：(a) 第一列，(b) 第二列，以及 (c) 第三列。

Figure 5 Variation of corrosion rate with measured site of SPP: (a) the front row, (b) the middle row, and (c) the rear row.

鋼板樁腐蝕呈不均勻分佈，但厚度減薄量尚在設計厚度(18 mm)之 5%內。在原始厚度為 19.5 mm 之假設下，所有測樁之腐蝕速率均較規範 0.20 mm/yr 高，平均腐蝕速率高達 0.301 mm/yr。

### 3.2 鋼管樁保護電位量測

在鋼管樁保護電位量測上，採遠端量測之主要範圍為主碼頭，而採近端量測之範圍則包括主碼頭與護岸，且其測點位置與測厚位置相同，圖 7 為鋼管樁保護電位分部情況。不論是採近端或遠端量測，所有測樁之電位均在 -750 mV (vs. 氯化銀參考電極) 以

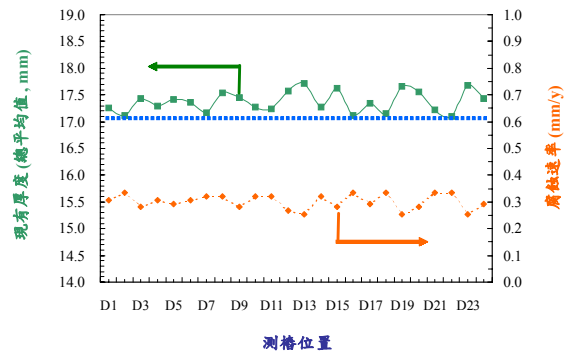


圖 6 碼頭後岸鋼板樁測樁位置與現有厚度、腐蝕速率之關係。

Figure 6 Variations of average thickness and corrosion rate with measured sites of SSP.



下，達陰極防蝕保護標準<sup>[6]</sup>。其中，近端量測之電位介於-901 ~ -975 mV 之間，而遠端量測則在-876 ~ -950 mV 之間，近端量測之第一列平均值(-943 mV)與遠端量測之平均值(-928 mV)差異為 17 mV，故未來在陰極防蝕系統之一般檢查維護管理上，可以遠端量測方式替代近端量測，進行鋼管樁保護電位量測監控，並於鋼樁厚度定期檢測時，同時進行近端電位量測，如此以來，可節省巨觀之系統維護管理費用。

### 3.3 碼頭陽極塊目視檢測

在#1 ~ 8 單元上有 93 排鋼管樁，#9 ~ 10 單元上則有 26 排，合計有 915 支(圖 3)，而每支鋼管樁上至少應有一塊犧牲陽極。由目視檢測結果發現，陽極塊與鋼管樁之銲接情況良好，但大多數在靠近碼頭後岸之陽極塊，已被海土所半埋或完全埋沒，而裸露於海水中之陽極塊，其外觀腐蝕形貌大致上可區分為三類：(1) 表面幾乎完全為海生物所覆蓋，幾乎不見白色腐蝕生成物，且外觀仍保留原有之形狀。(2) 表面同時為白色腐蝕生成物及海生物所覆蓋，且白色腐蝕生成物呈不均勻分佈。(3) 表面絕大部份為白色腐蝕生成物所覆蓋，或外觀已失去原有

之形狀(圖 8)。此外，分佈在同一鋼管樁且同一水位上之陽極塊，有腐蝕反應呈現出兩極化之情況發生，由此可判定碼頭所使用之鋁陽極品質不一，有些極容易腐蝕消耗，有些溶解不均勻，有些則似呈鈍化狀態，無溶解反應。

由於陽極消耗為必然之現象，且唯有透過消耗陽極才能產生電流，以提供保護鋼管樁所需之電流，故對於似無溶解反應之鋁陽極，必須列為追蹤管制之對象。為了方便日後追蹤與比較，將陽極塊外觀具有「腐蝕不明顯」與「腐蝕明顯」之特徵，依其實際分佈於碼頭鋼管樁之位置，整理於圖 9 中，可發現第 1 ~ 5 排鋼管樁之鋁陽極，有「腐蝕不明顯」群聚現象；而鋁陽極「腐蝕明顯」群聚現象，則集中在第 8 ~ 12 排與第 20 ~ 26 排(分別是在#1 單元與#2 單元中)。

在碼頭後岸#1 ~ 8 單元共檢查 249 塊鋁陽極，其中有 29 塊有「腐蝕明顯」情況出現，但並無群聚現象發生，圖 10 為碼頭後岸鋼板樁鋁陽極「腐蝕明顯」之分佈情況。由於在碼頭後岸之海土堆積情況較嚴重，其中#9 ~ 10 單元後岸鋼板樁之所有陽極塊，已被海土埋沒，#8 單元鋼板樁之部份陽極塊也被海土埋沒，故無法得知是否有「腐蝕明顯」情況發生。

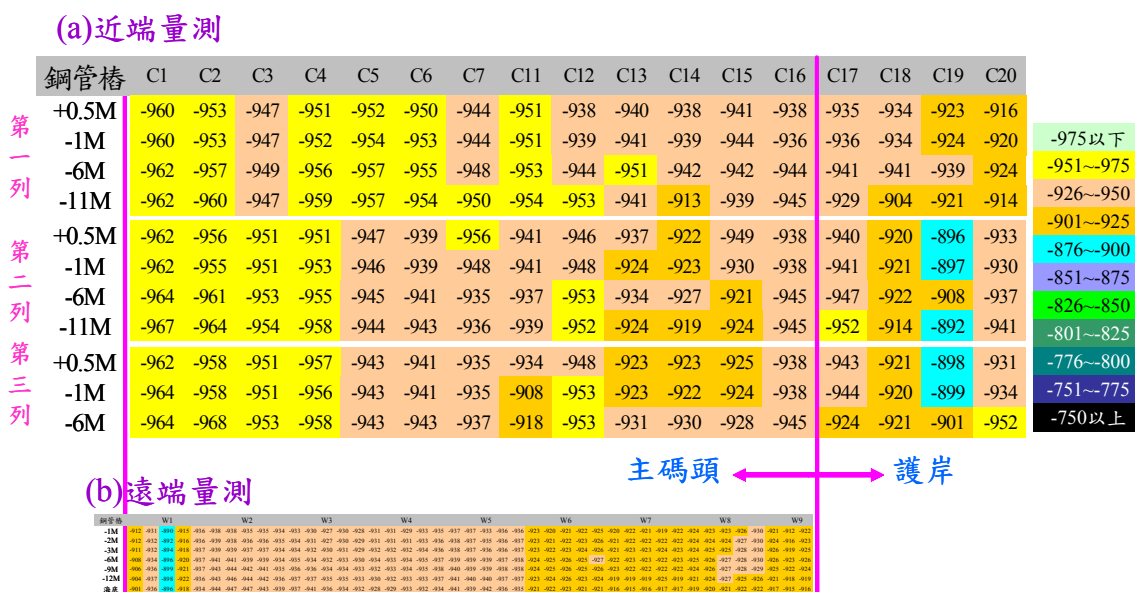


圖 7 鋼管樁保護電位(單位為 mV vs. Ag/AgCl(Sat' KCl))分佈情況：(a) 近端量測，(b) 遠端量測。

Figure 7 CP potential (mV vs. Ag/AgCl(Sat' KCl)) distribution of measured SPP: (a) the reference electrode is placed near the measured sites and (b) the reference electrode is placed far.

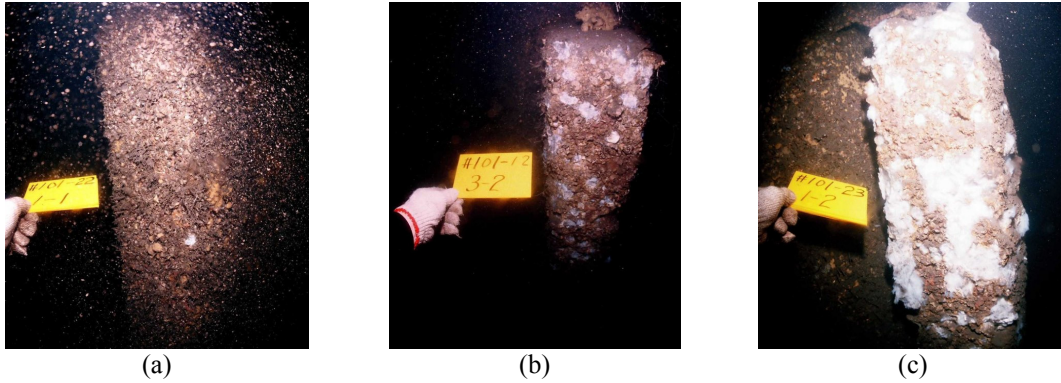


圖 8 鋁陽極塊之消耗外觀。

Figure 8 Appearances of Al sacrificial anode system.

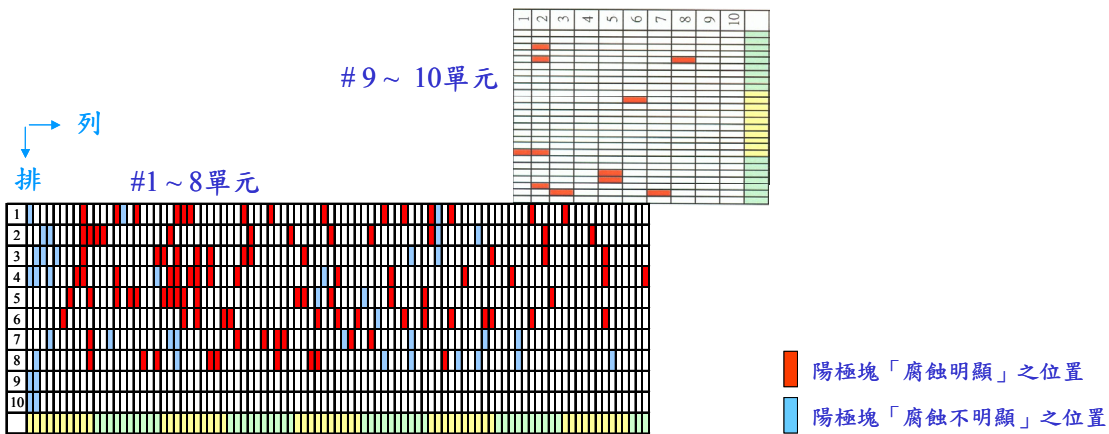


圖 9 鋼管樁陽極塊外觀呈「腐蝕不明顯」與「腐蝕明顯」之分佈情況。

Figure 9 Depletion of sacrificial anode installed on SPP, where blue blocks and red blocks represent anodes in less corrosion condition and serious corrosion condition, respectively.

### 3.4 碼頭陽極塊重量檢測

在主碼頭上採均勻抽樣方式，抽檢 5 塊鋁陽極重量檢查，抽樣位置分別為測樁編號 C1、C5、C9、C13 及 C16 位置上之第一支直樁。這些鋁陽極之設計尺寸為(255, 210) mm × 245 mm × 1000 mm，每一塊鋁陽極含碳鋼芯心之初期重量約為 168.5 kg，周圍則為 95.5 cm。各抽樣陽極塊之外觀如圖 11 所示，編號 C1 與 C5 陽極塊之外觀腐蝕不明顯，而編號 C9、C13 及 C16 陽極塊則具有較明顯之腐蝕外觀。在海生物去除之後，原先表面為海生物所附著之部位，其腐蝕程度較輕微；而原先表面為白色腐蝕生成物所附著之部位，其腐蝕程度則較嚴重。此外，鋁陽極長度方向兩端之腐蝕程度，皆較其餘表面嚴重。

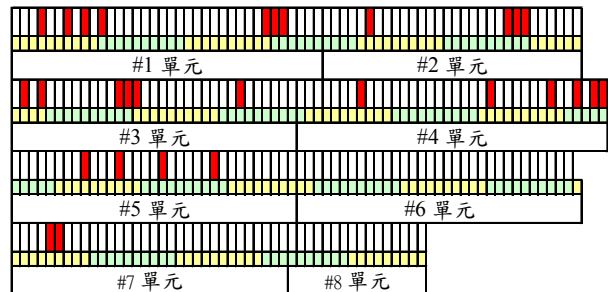


圖 10 碼頭後岸鋼板樁陽極塊外觀呈「腐蝕明顯」之分佈情況。

Figure 10 Depletion of sacrificial anode installed on SSP, where red blocks represent anodes in serious corrosion condition.

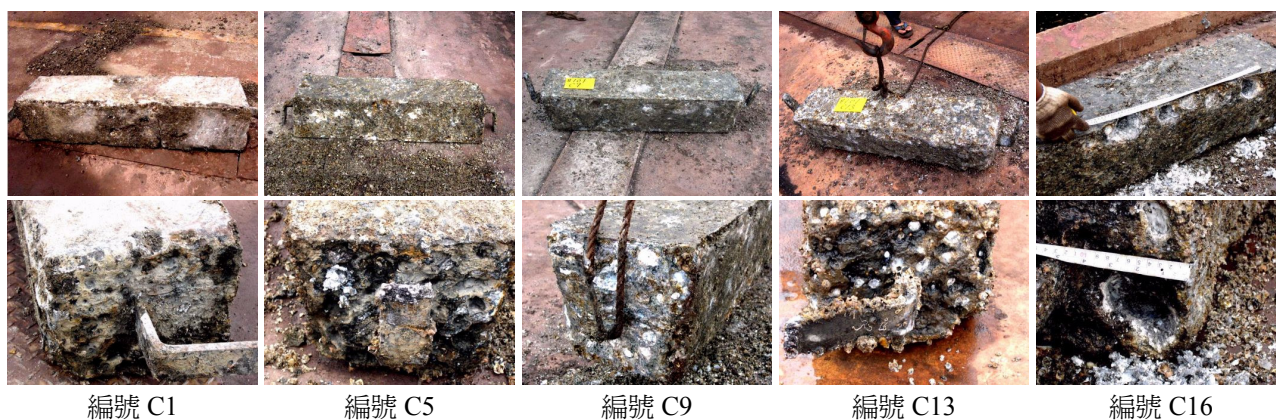


圖 11 抽樣陽極塊之外觀。

Figure 11 Appearances of sampling sacrificial anodes.

表 4 為陽極塊重量抽樣檢查結果，其損耗重量在 5.5 ~ 16.5 kg 之間，年平均消耗量為 0.73 ~ 2.20 kg/yr，各鋁陽極之腐蝕消耗差異頗大。對年平均消耗量為 2.20 kg/yr，可利用率為 0.75 ~ 0.95 之鋁陽極而言，其剩餘壽命約 54 ~ 68 年，遠超過一般陽極塊之 20 年設計使用年限。因此，推測造成鋁陽極腐蝕消耗差異大之可能原因有二，一為陽極塊表面海生物之清除狀況不甚理想，實際鋁陽極損耗重量應該會更大；另一為鋁陽極品質不一。

### 3.5 海域水質調查

表 5 為#101 碼頭海域水質調查結果與人工海水水質比較，除了 pH 值之外，氯離子濃度、硫酸根離子濃度、懸浮物與導電度均隨水位之深淺而變化，卻不因取樣位置而有明顯差異存在。其中海水氯離子濃度在 16307 ~ 23961 ppm 之間，平均值為 21509 ppm，較人工海水 23968 ppm 偏低。硫酸根離子濃

度在 2376 ~ 2866 ppm 之間，平均值為 2688 ppm，較人工海水 2551 ppm 偏高。pH 值在 7.5 ~ 7.9 之間，平均值為 7.7，與人工海水相同，顯示海水無酸化跡象。海水懸浮物最高達 103 ppm，平均值為 68 ppm，顯示中鋼碼頭海域受固態懸浮物污染機會低。海水導電度在 36.1 ~ 42.9 mS/cm 之間，均較人工海水 45.5 mS/cm 低，故#101 碼頭海域無明顯污染跡象。

### 3.6 綜合討論

#101 碼頭鋼管樁測樁之厚度減薄量均在設計厚度(12 mm)之 5%內，但由於其中有 14 支測樁腐蝕速率已超過 0.20 mm/yr 規範值，測樁腐蝕速率不符合規範之數量佔總測樁數之 23%，顯示整座碼頭鋼管樁腐蝕速率有偏高之趨勢，建議增加厚度檢測頻率，以追蹤其腐蝕劣化趨勢。而碼頭後岸鋼板樁測樁之腐蝕速率均超過 0.2 mm/yr 規範值，就腐蝕程度而言，鋼板樁之厚度減薄量較鋼管樁高出許多，顯示

表 4. #101 碼頭鋼管樁陽極塊重量抽樣檢查結果。

Table 4 Results of weight measurement of sampling anode removal from SPP of #101 wharf.

位置編號	剩餘重量(kg)	平均周圍(cm)	最大孔蝕深度(cm)	腐蝕程度	消耗重量(kg)	消耗量(kg/yr)
C1	163	95	2.5	輕微	5.5	0.73
C5	162	94	2.5	輕微	6.5	0.87
C9	160	94	3.0	中等	8.5	1.13
C13	153	92	4.0	嚴重	15.5	2.07
C16	152	90	5.0	嚴重	16.5	2.20
平均值	158	93	3.4	—	10.5	1.40



鋼板樁之腐蝕情況較鋼管樁嚴重。

僅管鋼管樁保護電位均在-750 mV (vs.氯化銀參考電極)以下，達陰極保護標準，然而整座碼頭所使用之鋁陽極品質卻有很大差異，年平均消耗量之差異高達 3 倍。對具有「消耗不明顯」特徵之鋁陽極，惟恐潛在有鈍化問題，而不具有防蝕作用；具有「消耗明顯」特徵之鋁陽極，則惟恐消耗過快，降低使用壽命之疑慮。因此，二者皆必須列為追蹤管制之對象，建議實施定期目視檢查，以維護陰極防蝕系統之防蝕效果。從海域水質調查結果得知，#101 碼頭海域除了硫酸根離子輕微偏高以外，海水水質大致上良好，不因取樣位置而有明顯差異，也無明顯污染跡象。

對於使用年期僅 7.5 年，同時具有陰極防蝕系統之鋼樁而言，碼頭後岸鋼板樁之腐蝕速率顯然偏高，此或許為原始厚度值高估之緣故。但從另一角度來看，碼頭鋼板(管)樁之腐蝕速率皆較其餘使用年期在 16 ~ 27 年之碼頭高，故有可能為鋼板(管)樁起

表 5. #101 碼頭海水取樣水質調查結果與人工海水水質比較。

Table 5 Chemical composition analysis results of sampling seawater collected from #101 wharf and a sacrificial seawater.

取樣位置 與水深(m)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	pH	懸浮物 (ppm)	導電度 (mS/cm)	
測樁 1	-1	16307	2818	7.5	84	40.0
	-6	22070	2672	7.8	58	42.2
	-11	21312	2608	7.6	88	40.6
測樁 5	-1	21660	2760	7.8	81	37.8
	-6	23269	2803	7.8	69	42.7
	-11	21160	2655	7.8	103	41.6
測樁 9	-1	19791	2447	7.6	68	36.9
	-6	23961	2866	7.8	43	42.7
	-11	22321	2696	7.8	61	40.6
測樁 13	-1	19070	2376	7.8	57	36.1
	-6	23531	2843	7.9	46	42.9
	-11	21526	2619	7.8	79	41.9
測樁 16	-1	19861	2502	7.6	71	37.1
	-6	23719	2847	7.8	53	42.8
	-11	23075	2804	7.7	53	41.8
平均值	21509	2688	7.7	68	40.5	
人工海水	23968	2551	7.7	61	45.5	

始腐蝕量較高之影響，一旦鋼板(管)樁腐蝕量開始隨陰極防蝕作用而減緩時，使用年期之增加會稀釋其腐蝕速率值。因此，建議增加厚度檢測頻率，除了可更精準評估鋼管(板)樁腐蝕速率，並可監測其腐蝕劣化趨勢。

#### 4. 結論與建議

高雄港#101 碼頭鋼管樁經以目視檢查、鋼板(管)樁厚度量測、腐蝕速率計算、陽極塊重量檢查、剩餘壽命評估、海水水質調查等腐蝕檢測分析，可得到以下結論：

1. 碼頭鋼板(管)樁測樁之厚度減薄量，均在設計厚度之 5% 內。
2. 有 14 支鋼管樁測樁與後岸所有鋼板樁測樁之腐蝕速率均超過 0.2 mm/yr 規範值，顯示整座碼頭鋼管樁腐蝕速率有偏高之趨勢，建議增加厚度檢測頻率，除了可更精準評估鋼管(板)樁腐蝕速率，並可監測其腐蝕劣化趨勢。
3. 鋼管樁保護電位均在-750 mV (vs.氯化銀參考電極)以下，達陰極保護標準。未來在鋼管樁保護電位量測監控上，可以遠端量測方式替代近端量測，節省巨觀之系統維護管理費用。
4. 整座碼頭鋁陽極品質差異很大，對具有「腐蝕不明顯」與「腐蝕明顯」特徵之鋁陽極，皆必須列為追蹤管制之對象，建議實施定期目視檢查，以維護陰極防蝕系統之防蝕效果。
5. 碼頭海域除了硫酸根離子輕微偏高之外，海水水質大致上良好，無明顯污染跡象。

#### 參考文獻

1. 台灣省政府交通處，港灣構造物設計標準(下冊)，第八篇，民國 70 年。
2. 吳美惠，「中鋼碼頭腐蝕檢測技術、檢測標準與陰極防蝕評估技術之建立」，中鋼內部研究報告 PJ92641，2005。
3. 李賢華，「港灣構造物安全檢測與評估」，港灣構造物安全檢測與評估研習會論文集，交通部運輸研究所，2002。
4. 交通部運輸研究所，「碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究」，91-20-715，MOTC-IOT-IHMT-

MA9011，2002年2月。

- 交通部運輸研究所，「港灣構造物陰極防蝕準則訂定研究」，93-61-794，MOTC-IOT-92-H1BB02-1，2004年4月。

- NACE Standard RP0169-2002: Standard Recommended Practice for Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.

收到日期：2005年8月25日

修訂日期：2006年1月18日

接受日期：2006年5月10日