

## 港灣維護修補計畫

維護修補計畫是考量設施的安全性、重要性、修補難易度、效果持續性、修補費用等，決定修補時期及方法的計畫。

### 1. 概要

#### ① 基本考量

檢討修補的實施時期及方法有下列方法：

- i. 依劣化預測檢討，例如棧橋上部工。
- ii. 依耐用年數檢討，例如被覆防蝕。
- iii. 變狀顯著時檢討修補或更換，例如附屬設備。
- iv. 依過去實績檢討，例如水域設施

修補必要針對結構及構材選定適切的工法，預先可選定工法的構材有：

#### 2011 埃及尼羅河之旅

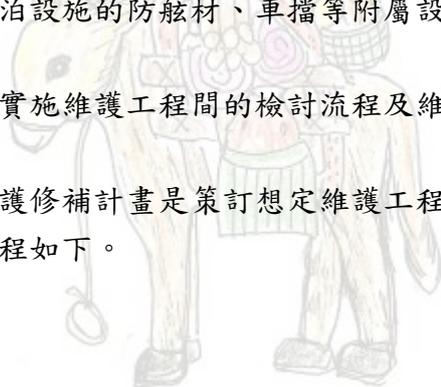
- i. 棧橋上部工等的鋼筋混凝土或預力混凝土  
因屬依修補材料或條件，修補方法已確定的構材。
- ii. 鋼材的被覆防蝕或電極防蝕  
因屬變狀顯著時實施修補或更換構材
- iii. 繫泊設施的防舷材、車擋等附屬設備

#### ② 至實施維護工程間的檢討流程及維護修補計畫的定位

維護修補計畫是策訂想定維護工程的流程、至標準修補實施時期及方法等，流程如下。



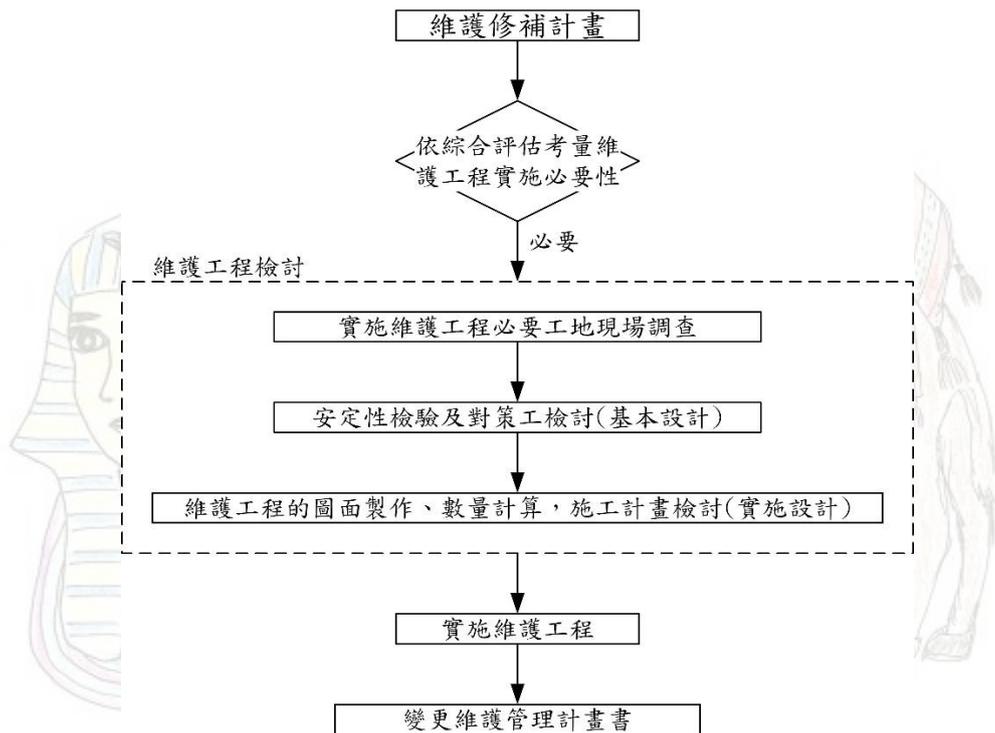
載滿珠寶的駱駝



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈



實施維護工程，通常會依現場調查、基本設計、實施設計等程序。維護修補計畫內容，不包含維護工程判斷是否要實施後的相關現場調查、基本設計、實施設計等檢討程序。

## 2. 修補時期

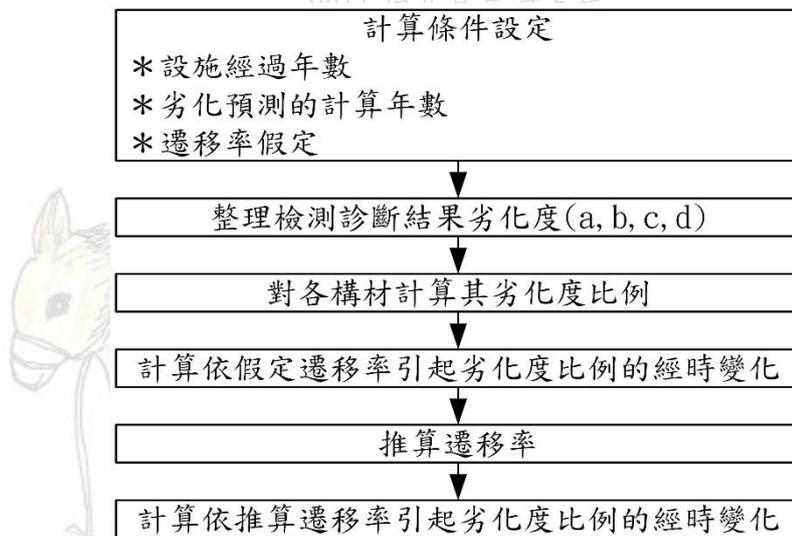
修補實施時期是考量變狀進行狀況及綜合評估結果、殘餘供用期間、經濟性、設施用狀況、工地現場限制條件等適切設定。檢討修補時期必要進行劣化預測，其代表性預測法的概要如下。

對象	預測方法	預測必要資料	劣化預測可取得資訊	注意點
檢測項目或結構物	Markov 連鎖模式	劣化度分布 (a~d) 性能降低度 (A~D)	未來劣化度或性能降低度	新案結構物預測精度偏低
檢測項目或結構物	標準劣化速度	標準劣化速度(遷移率)	未來劣化度或性能降低度	因依實績的標準劣化速度、預測精度偏低

鋼筋混凝土構材	氯化物離子滲透開始引起鋼筋腐蝕	混凝土現有擴散係數、表面氯化物離子濃度、發生腐蝕臨界氯化物離子濃度	混凝土內鋼筋開始腐蝕時期	發生腐蝕臨界氯化物離子濃度是設計上的值、一般採用 $2.0\text{kg/m}^3$ ，可能超過結構物設計值。
鋼材	鋼材腐蝕速度	鋼材厚及腐蝕速度	未來鋼材厚減少量	
鋼材 (電極防蝕)	陽極消耗速度	陽極消耗量及消耗速度	未來陽極消耗量	
鋼材 (被覆防蝕)	指數性劣化度惡化模式	劣化度分布(a~d)	未來劣化度	

① 利用 Markov 連鎖模式進行劣化預測

結構物的經過年數的劣化度分布，可利用機率手法的 Markov 連鎖模式，進行劣化預測，其流程如下。



② 利用標準劣化速度進行劣化預測

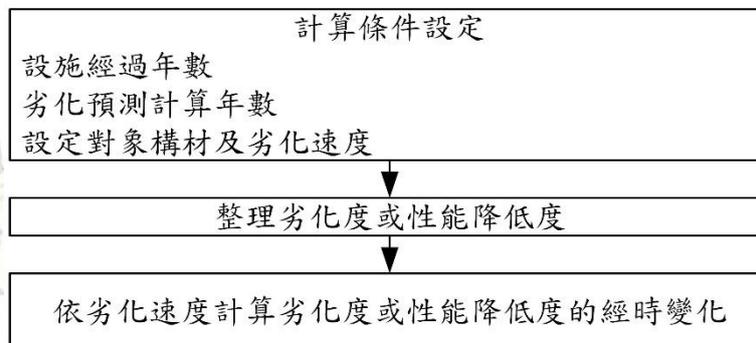
依過往實績得到標準劣化速度(年)如下表，可簡易推估劣化速度。

構材	劣化度	d	c	b	a
上部工(棧橋式)		0	8	25	43
上部工(鋼板樁式)		0	9	26	46
上部工(重力式)		0	9	26	45
下部工(被覆防蝕) *1		0	6	17	30
下部工(電極防蝕) *1 *2		-	-	-	30
碼頭面		0	10	29	51
防波堤消波工		0	11	34	58
防波堤上部工		0	9	26	46
上部工(鋼橋塗裝)		0	16	30	41
上部工(混凝土橋電極防蝕)		-	-	20	-
下部工(鋼橋、混凝土橋表面被覆)		-	-	15	-
道路鋪裝		-	-	10	-

\*1：加入發生損傷等的值，被覆防蝕材的耐用年數依製造商指定值

\*2：電極防蝕陽極的耐用年數依製造商指定值

利用上述劣化速度表估算劣化預測的流程如下

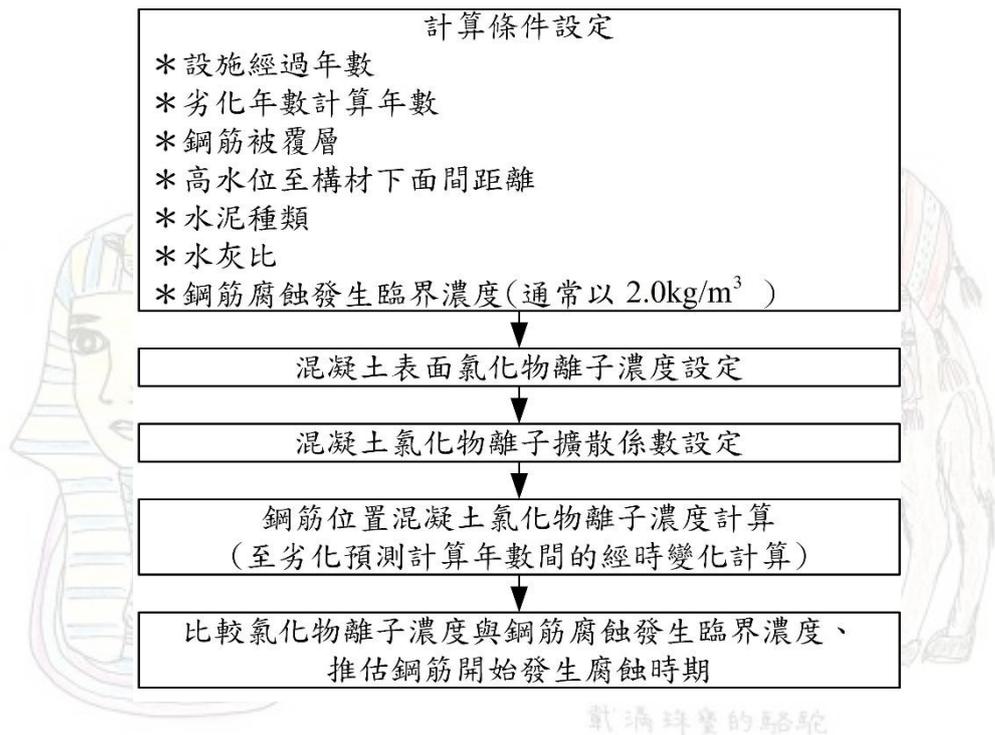


### ③ 預測氯化物離子滲透開始引起鋼筋腐蝕時期

預測氯化物離子滲透開始引起鋼筋腐蝕時期的流程如下。

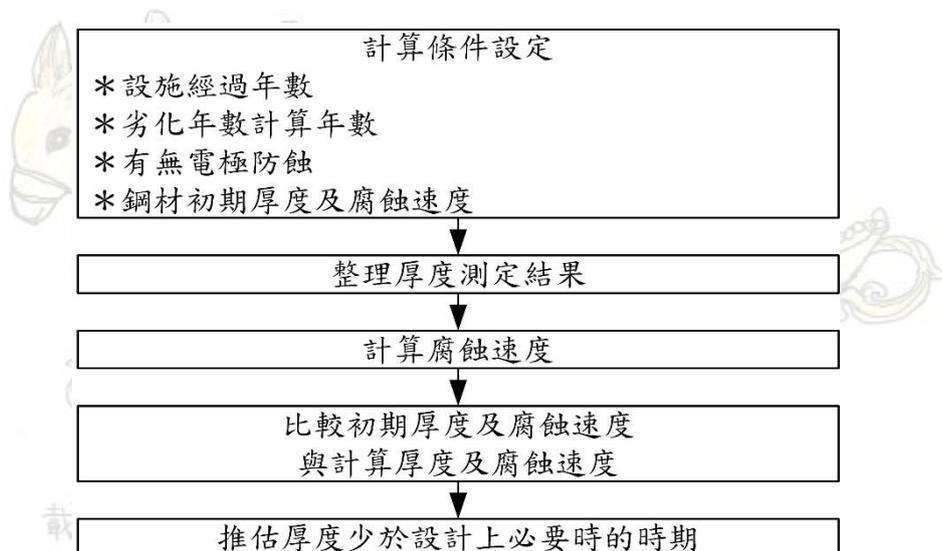
載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈



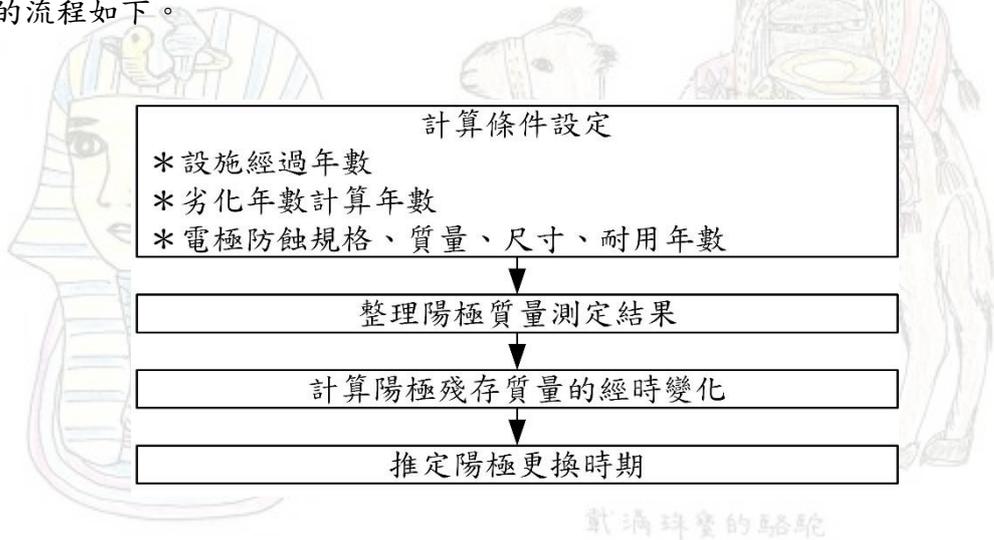
#### ④ 鋼材劣化預測

鋼材劣化預測是，依鋼材厚度測定結果的厚度及腐蝕速度預測。腐蝕速度是依厚度減少量除以經過年數算出，可依腐蝕速度預測未來的殘厚、及預測達臨界值的年數。預測鋼材未來殘厚及預測達臨界值年數的流程如下。



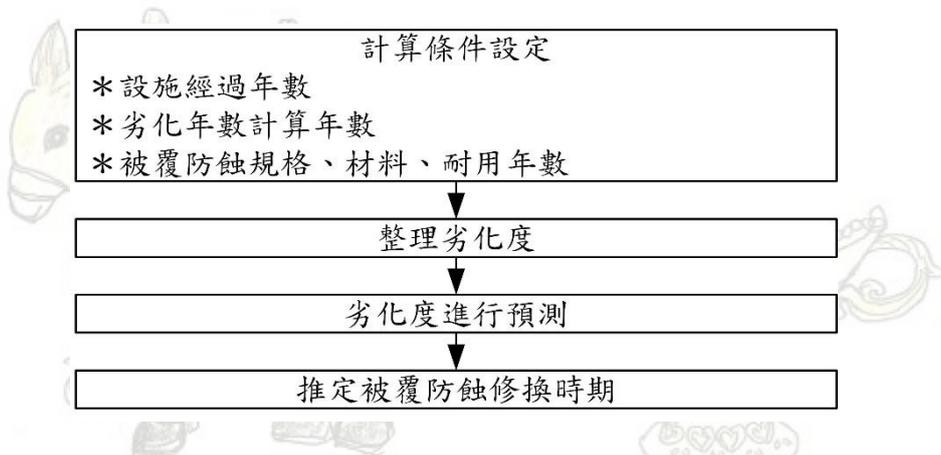
### ⑤ 電極防蝕工(通電陽極)劣化預測

電極防蝕工(通電陽極)劣化預測是依受管理狀態防蝕電極的陽極殘存質量，假定耐用年數期間每年陽極減少量一定，以線性漸減。電極防蝕工劣化預測的流程如下。



### ⑥ 被覆防蝕工劣化預測

被覆防蝕工非永久性，必要以適當週期加以重新塗裝或更換。被覆防蝕工劣化可依被覆材料膨脹、剝落等確認，依目測決定劣化度。被覆防蝕工耐用年數隨防蝕工法及使用材料而異。



### 3. 修補考量及工法選定

選定修補工法，必要考量下列事項：

- ① 設施結構特性：形狀及尺寸、鋼材配置及口徑
- ② 劣化度及綜合評估

- ③ 設施重要度
- ④ 自然條件
- ⑤ 利用狀況
- ⑥ 施工上限制條件：可施工時期及時間、施工期間、作業空間
- ⑦ 施工難易度
- ⑧ 修補材料種類
- ⑨ 修補後維護管理難易
- ⑩ 殘餘供用期間
- ⑪ 經濟性

修補方法是考量修補相關費用而決定，著眼點如下：

- \* 比較數個修補方案，選定最適工法的構材，例如棧橋上部工。
- \* 依修補材料或條件，修補方法已確定的構材，例如鋼材被覆防蝕、電極防蝕等。
- \* 變狀顯著時實施修補或更換的構材，例如防舷材等附屬設備。

港灣設施修補費用的估價方法如下：

- \* 參考專門業者的估價 2011 埃及尼羅河之旅
- \* 參考過往實績、案例、修補單價等

## 1) 混凝土結構物修補工法

### (1) 修補工法種類

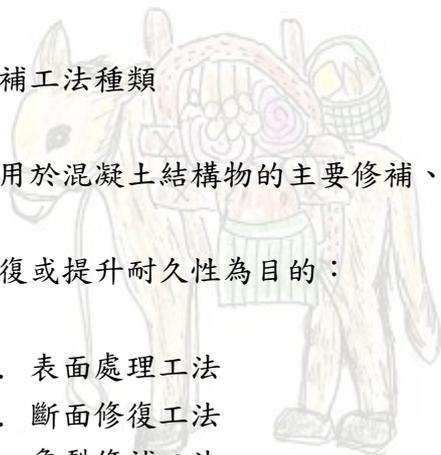
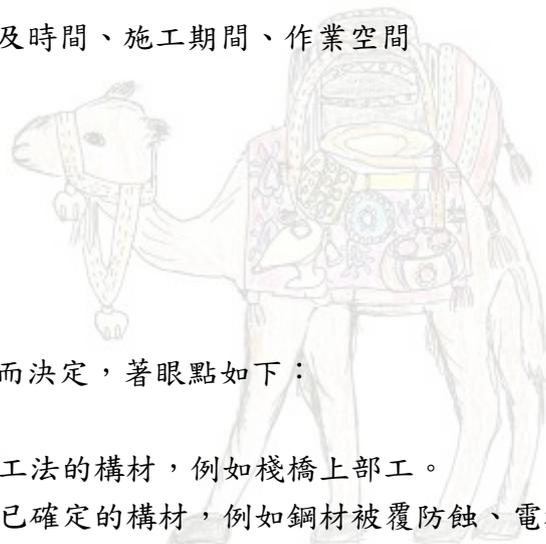
適用於混凝土結構物的主要修補、補強工法分成：

#### ① 回復或提升耐久性為目的：

- i. 表面處理工法
- ii. 斷面修復工法
- iii. 龜裂修補工法
- iv. 電極化學防蝕工法

#### ② 回復或提升力學性能為目的：

- i. 更換工法
- ii. 增設工法



阿拉丁神燈

- iii. 增厚工法
- iv. 捲立工法
- v. 黏著工法
- vi. 預力工法

(2) 修補工法選定

① 鋼筋混凝土

以因鹽害劣化鋼筋混凝土構材劣化度為指標的標準修補、補強工法例如下表。

劣化度	工法例	預期效果
a	FRP 黏著、斷面修復、增厚	耐載力提升
b	表面被覆、電極防蝕、斷面修復	去除腐蝕因子、抑制腐蝕進行
c	表面被覆、電極防蝕	抑制鋼材腐蝕進行
d	表面被覆	減低鋼材腐蝕因子供給量

② 預力混凝土

2011 埃及尼羅河之旅

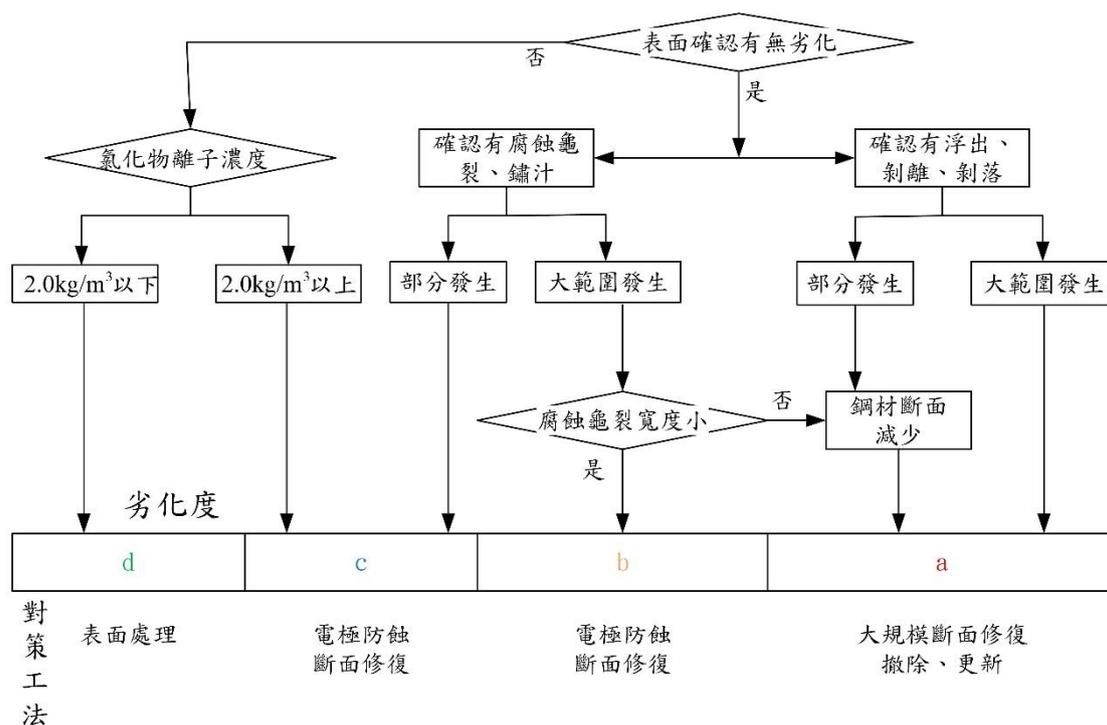
預力混凝土是在混凝土斷面導入預力，無法大量挖除，因此使用電極防蝕較為有利，以預力混凝土構材劣化度為指標的標準對策工法選定流程如下表。



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈



## 2) 鋼結構物修補工法

港灣設施鋼結構物劣化的修補，是針對下部工構材，以下列工法為主。

- ① 被覆防蝕工
- ② 電極防蝕工
- ③ 無防蝕鋼材(含腐蝕餘厚對策)

以劣化度為指標的防蝕工對策如下表

劣化度	劣化內容	對策
a	防蝕性能顯著降低	全面修補、調整檢測診斷計畫
b	防蝕性能降低	部分修補、調整檢測診斷計畫
c	無防蝕性能降低但發生變狀	檢計變更檢測診斷計畫
d	無異狀	持續觀察

發現變狀時必要究明原因，並檢討防蝕工法的適用性。修補防蝕工時必要考量適用工法的種類及特性，發現比想定劣化進行速度更快的劣化時，應依其原因，檢討變更防蝕工法的種類或材料。

對各劣化度的防蝕工對策概要如下表

防蝕工種類		劣化度	對策概要	
工廠被覆	海洋塗裝	a	變更工法、全面修補	
		b	變更工法、部分修補	
		c、d	持續觀察	
	超厚膜樹脂系被覆工	a	變更工法、全面修補	
		b	變更工法、部分修補	
		c、d	持續觀察	
	重防蝕被覆工	a	變更工法、全面修補	
		b	變更工法、部分修補	
		c、d	持續觀察	
耐蝕性金屬被覆工	a	變更工法、全面修補		
	b	變更工法、部分修補		
	c、d	持續觀察		
工地現場被覆	水中硬化型被覆工	a	全面修補	
		b	部分修補	
		c、d	持續觀察	
	礦脂被覆工	a	全面修補	
		b	部分修補	
		c、d	持續觀察	
	無機被覆工	砂漿被覆工	a	全面修補
		混凝土被覆工	b	部分修補
		電著被覆工	c、d	持續觀察
電極防蝕(通電陽極工法)	a	全面修補		
	b	部分修補		
	c、d	持續觀察		
無防蝕鋼材			防蝕對策、補強對策	

(1) 被覆防蝕工

港灣鋼結構物被覆防蝕工的修補範圍及工法例如下表。

被覆防蝕		修補範圍	修補工法	
			海上大氣中	飛沫帶、乾滿帶、海水中
塗裝		部分修補	* 塗裝 * 水中硬化被覆	* 水中硬化被覆
		全面修補	* 塗裝 * 水中硬化被覆	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆
重 防 蝕	聚乙烯 被覆	部分修補	* 棒法 * 托肩法 * 礦脂被覆 * 水中硬化型被覆	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆
		全面修補	* 礦脂被覆	* 礦脂被覆
	熱塑性 聚氨 被覆	部分修補	* 修補用聚乙烯被覆 * 水中硬化被覆	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆
		全面修補	* 修補用聚乙烯被覆 * 水中硬化型被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆
超厚膜樹 脂系被覆		部分修補	* 超厚膜被覆 * 水中硬化被覆	* 水中硬化被覆
		全面修補	* 超厚膜被覆 * 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆
水中硬化 被覆		部分修補	* 水中硬化被覆	
		全面修補	* 水中硬化被覆 * 礦脂被覆 * 砂漿被覆	
礦脂被覆		部分修補	* 礦脂被覆	
		全面修補	* 礦脂被覆	
砂漿被覆		部分修補	* 砂漿被覆 * 水中硬化被覆	
		全面修補	* 砂漿被覆 * 水中硬化被覆 * 礦脂被覆	
耐蝕性 金屬被覆		永久性	* 利用耐蝕性金屬增厚銲接 * 利用耐蝕性金屬托肩	
		應急性	* 水中硬化被覆	

檢討被覆防蝕工修補時期的劣化預測方法，通常有下列 2 種方法：

- i. Markov 連鎖模式劣化預測
- ii. 依耐用年數的劣化預測

被覆防蝕工劣化度的對策工例如下表。

劣化度	對策工例
a	覆防蝕工全面修補
b	劣化部分修補，必要考量應否提前檢測診斷時期
c	無修補必要，依被覆防蝕工種類考量應否提前檢測診斷時期
d	持續原訂定期檢測診斷

① 塗裝、有機防蝕工的對策工例及實施時期如下表。

劣化度	劣化、損傷例	對策實施時期	維護修補對策例
a	大範圍發生銹蝕引起剝落或龜裂	1 年以內	大損傷修補 * 使用礦脂被覆工 * 究明原因、採取防止腐蝕措施 * 修補方法：全面修補
b	發生銹蝕引起剝落或龜裂	2 年以內	小損傷修補 * 使用超音波黏著工法 * 確認損傷範圍 * 修補方法：部分修補
c	塗膜或被覆剝落或龜裂散在	-	持續觀察
d	無異狀	-	依原訂實施定期檢測診斷

② 耐蝕性金屬被覆工的對策工例及實施時期如下表。

劣化度	劣化、損傷例	對策實施時期	維護修補對策例
a	* 被覆材脫落 * 因船舶衝擊被覆部大範圍損傷 * 鋼材露出腐蝕	1 年以內	損傷範圍大 * 依礦脂被覆工法修補 * 修補後提早定期檢測診斷
	* 因船舶衝擊部分被覆損傷		損傷範圍小

b	*鋼材露出腐蝕	2年以內	*依增厚銲接法、托肩法修補 損傷範圍稍大 *礦脂被覆工法修補 *修補後提早定期檢測診斷
c	*因漂流物碰撞損傷 *鋼材未露出 *保持防蝕性能	持續觀察	損傷範圍小 *依增厚銲接法、托肩法修補
d	無異狀	持續觀察	依原訂實施定期檢測診斷

③ 礦脂被覆工的對策工例及實施時期如下表。

劣化度	對策實施時期	維護修補對策例
a	1年以內	全面修補(劣化、損傷大) 部分修補(劣化、損傷大) *保護蓋修補 *礦脂防蝕材更換 *次構材更換
b	2年以內	部分修補(劣化、損傷水) *保護蓋修補 *礦脂防蝕材更換 *次構材更換
c	依檢測診斷結果判斷	必要時實施部分修補(次構材)
d	-	依檢測診斷計畫實施

④ 混凝土被覆工的對策工例及實施時期如下表。

劣化度	對策實施時期	維護修補對策例
a	1年以內	混凝土脫落(大)、混凝土龜裂(大) 鋼筋露出(大)、發生鏽汁(大)、PCa版脫落(大) *全面修補、部分修補
b	2年以內	混凝土脫落(中)、混凝土龜裂(中) 鋼筋露出(中)、發生鏽汁(中)、PCa版脫落(中) *部分修補
c	依檢測診斷結果判斷	混凝土脫落(小)、混凝土龜裂(小) 鋼筋露出(小)、發生鏽汁(小)、PCa版脫落(小) *必要時實施部分修補
d	-	依檢測診斷計畫實施

⑤ 砂漿被覆工的對策工例及實施時期如下表。

劣化度	對策實施時期	維護修補對策例
a	1年以內	保護蓋脫落 *全面修補 保護蓋損傷(大) 砂漿露出(大) *部分修補
b	2年以內	保護蓋損傷(小) 砂漿露出(小) *部分修補
c	依檢測診斷結果判斷	必要時實施部分修補、更換次構材
d	-	依檢測診斷計畫實施

## (2) 電極防蝕工

電極防蝕工分成通電陽極方式及外部電源方式等2種。防蝕管理電位(海水氯化銀電極為-800mV)為可具維持防蝕效果的下限值，卑電位(-側)時，可判斷具有防蝕效果。電位測定結果大於防蝕管理電位，必要實施細部臨時檢測診斷，究明原因並實施對策。

陽極消耗量測定結果，發現陽極殘存壽命短於至下次細部定期檢測診斷期間時，表示陽極將完全消耗，必要立案陽極更換計畫，若陽極殘存壽命短於1年時，應實施陽極更換。

## (3) 無防蝕鋼材(含腐蝕餘厚對策)

### 4. 施工條件

維護管理計畫書實施修補，必要記載應考量事項及諸條件例如下：

- \* 施工期間限制
- \* 作業時間限制
- \* 作業空間限制(例如棧橋的海面與上部工下端間的淨空)
- \* 有無暫設工(鷹架等)必要
- \* 波浪、潮位、潮流等影響
- \* 利用船舶時，離靠難易
- \* 與相關單位協調連繫