

# 浮防波堤設計

## 1. 浮防波堤設計流程

浮防波堤由浮體、繫留索及繫留基礎等 3 部份構成，特徵為：

- ① 存在透過波，消波效果隨作用波波長(即週期)而異。
- ② 海水交換效果大，不阻礙漂砂活動。
- ③ 對大水深、軟弱地盤，施工性及經濟性有利。
- ④ 必要經常維護管理。
- ⑤ 現場施工期短，可移設。
- ⑥ 對短週期波消波效果佳。
- ⑦ 堤頂永遠與海面保持一定高度。
- ⑧ 至目前為止，開發例屬兼顧養殖漁業為多，屬未完全成熟的防波堤結構。

浮防波堤設計流程如下



## 2. 設計條件

浮防波堤設計條件應考量下列事項：

### 1) 消波效能相關

必要考量背後水域靜穩度，決定應消除波的波高、週期及波向，因浮防波堤消波效果隨來襲波的週期及波向而異。必須明確確定消波對象波的波浪條件及目標透過率。

消波效能應考量波的不規則性，利用適切方法估算或利用水工模型實驗。

## 2) 安全性相關

- ① 設計波(波高、週期、波向)
- ② 潮位及水深
- ③ 流(流速、流向)
- ④ 風(風速、風向)
- ⑤ 地質條件

## 3. 浮體斷面

### 1) 浮體長度

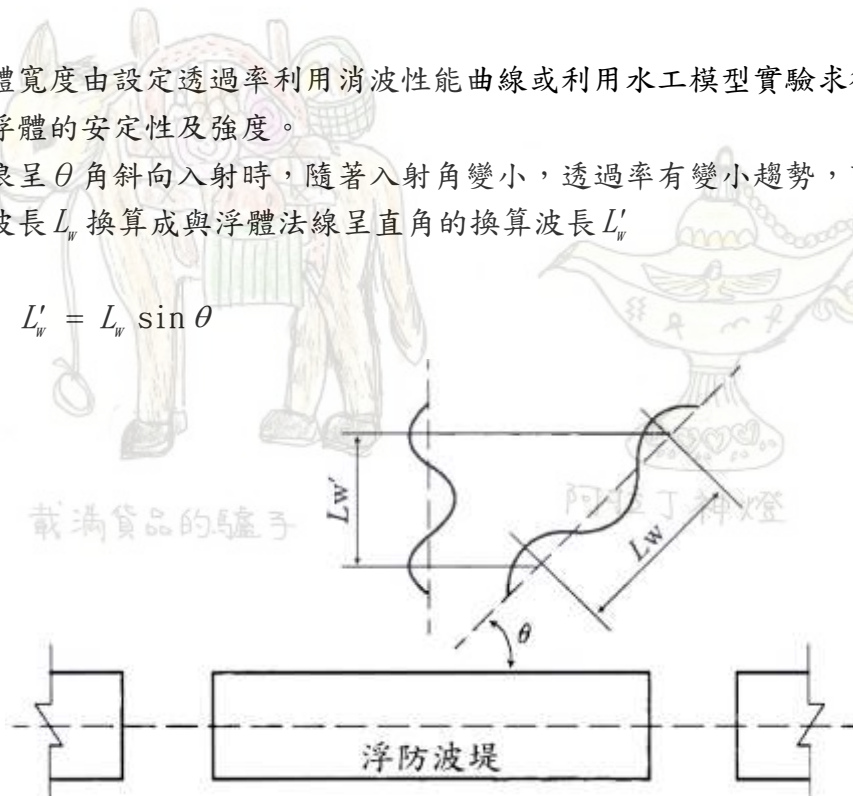
浮體長度過長，與浮體寬度不成比例時，斷面強度可能不足。受斜射波作用浮體轉動，浮體端部位移量會變大，因此每塊浮體長度宜在 40~60 公尺以內。

### 2) 浮體間隔

浮體寬度由設定透過率利用消波性能曲線或利用水工模型實驗求得，同時應考量浮體的安定性及強度。

波浪呈  $\theta$  角斜向入射時，隨著入射角變小，透過率有變小趨勢，可依下式將入射波長  $L_w$  換算成與浮體法線呈直角的換算波長  $L'_w$

$$L'_w = L_w \sin \theta$$



### 3) 浮體高度

浮體吃水高度及乾舷高度，於 2) 決定浮體寬度時，利用水工模型實驗決定。

浮體乾舷過低會增加航行船舶辨認難度，過高會影響浮體本身安定性，宜於能滿足消波效果範圍內適度調整，通常設定於設計波高的 40% 左右。

### 4) 浮體間隔

設置數個浮體，或與其他結構物連接時，除確保港內靜穩外，浮體間不可發生碰撞，應保持適度間隔，宜利用水工模型實驗決定，亦可利用下式決定。

$$\sum \delta = 0.15L$$

$$\delta \leq 1.0B$$

$\delta$ ：浮體間隔

L：浮防波堤總延長(含間隔)

B：浮體間隔 2011 埃及尼羅河之旅

## 4 繫留部設計

浮防波堤繫留索斷裂，會漂流產生 2 次災害，設計時應考量定常漂流力及浮體運動，繫留索及基礎必要能夠承受張力。繫留部設計應利用水工模型實驗或數值模擬分析，設計流程如下。



繫留部設計流程

### 1) 繫留配置

決定繫留索數、水平距離、與法線所呈角度及繫留基礎設置位置等。原則上在浮體近旁繫留索不可交錯，以避免繫留索間的摩擦。

### 2) 定常漂流力

作用於浮體的定常漂流力(外力)如下：

① 水流引起漂流力  $p_c$

② 波引起漂流力  $p_w$

可利用水工模型實驗或下式決定。

$$p_w = \frac{\omega_0}{8} \left( \frac{H}{\sqrt{2}} \right)^2 (1 - K_T^2) L_B$$

2011 埃及尼羅河之旅

$\omega_0$  : 海水單位體積重量

H : 設計波高

$K_T$  : 透過率

$L_B$  : 對波的浮體投影長度

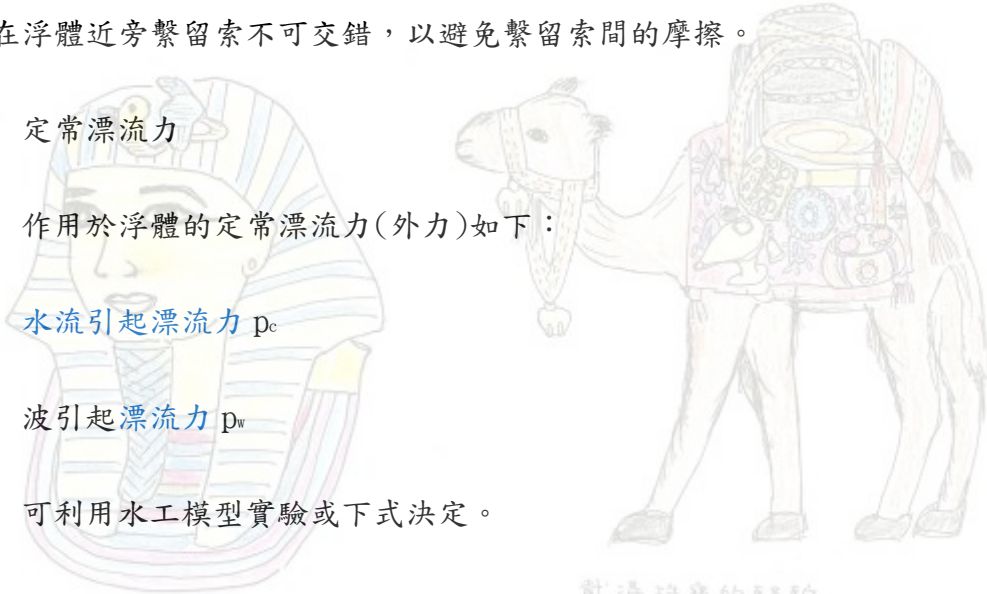
③ 風引起漂流力  $p_a$

④ 總定常漂流力 p

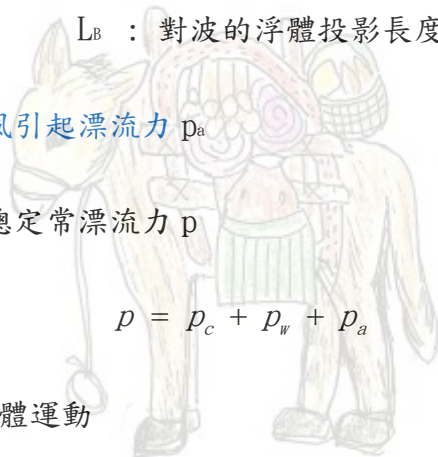
$$p = p_c + p_w + p_a$$

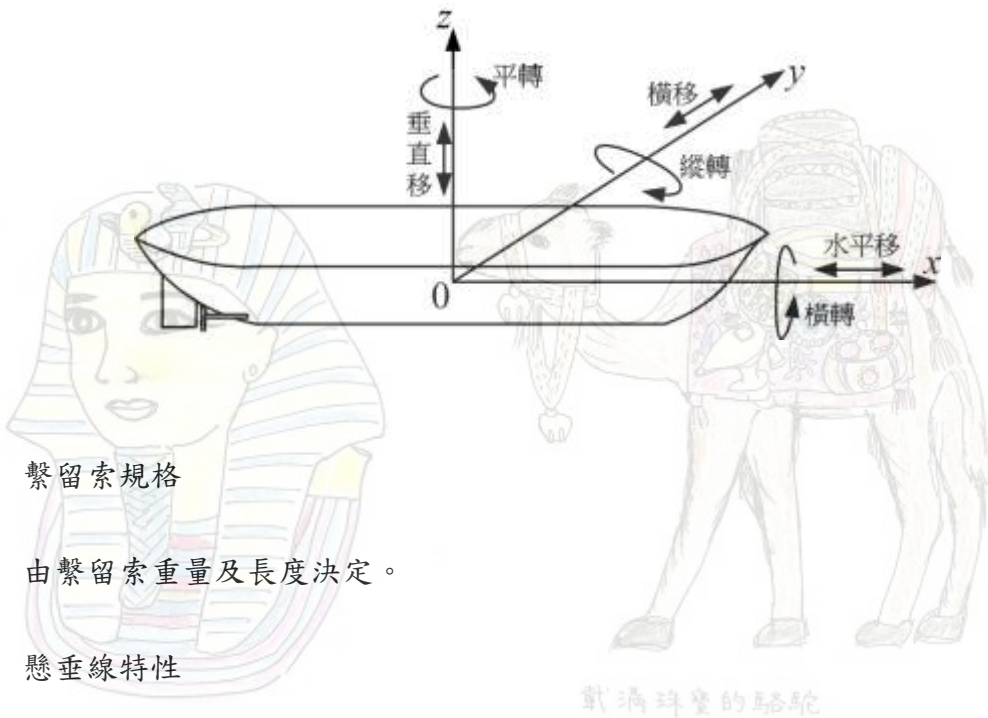
### 3) 浮體運動

浮體受規則或不規則波作用，會作下圖所示 6 自由度運動，必要利用模型試驗或數值分析決定其運動量。



載滿珠寶的駱駝





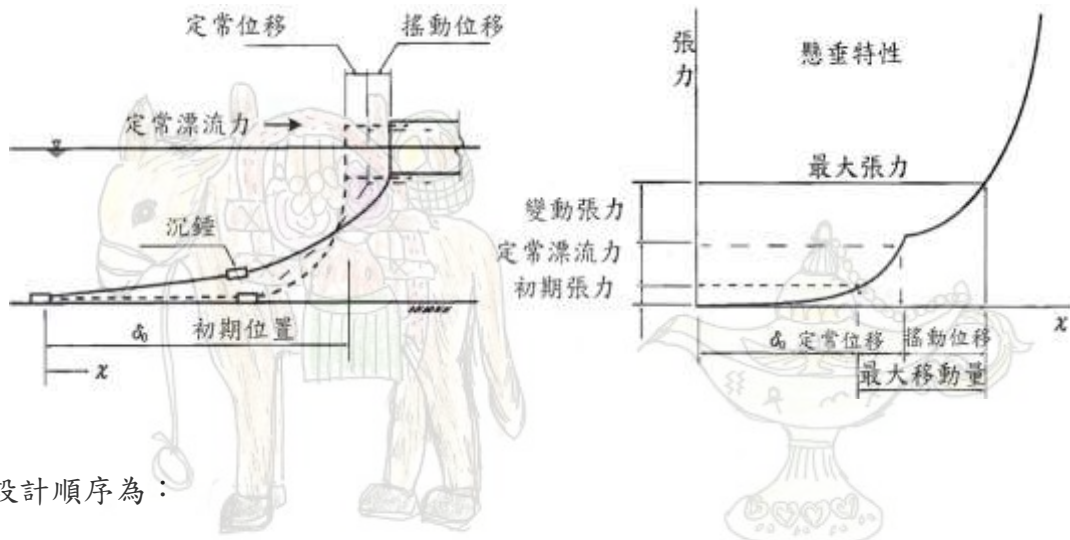
4) 繫留索規格

由繫留索重量及長度決定。

5) 懸垂線特性

依繫留索規格製作懸垂線，針對最危險潮位計算繫留索張力及浮體的位移量進行設計。懸垂線特性指繫留索的固有非線型彈簧特性，下圖為鏈懸垂線特性圖。

2011 埃及尼羅河之旅



設計順序為：

- Ⓐ 浮體繫留於預定位置，無外力作用時的初期張力。
- Ⓑ 定常漂流力作用於浮體，移動至與繫留索的復原力達平衡位置時發生的張力。
- Ⓒ 波浪週期運動引起浮體運動產生的變動張力。

## 6) 繫留索

繫留索張力可依下式計算。

$$\frac{P_B}{T_{\max}} \geq F$$

$P_B$  : 繫留索切斷試驗載重(kN)

$T_{\max}$  : 繫留索最大張力(kN)

$F$  : 安全率(3.0 以上)

## 7) 浮體位移量

- ① 法線方向位移量，以浮體間或浮體與連接其他防波堤不會發生衝撞為原則，應滿足下列條件：

① 對固定結構物： $\delta_1 + \delta_2 < \delta$

② 浮體間： $2\delta_2 < \delta$

2011 埃及尼羅河之旅

$\delta_1$  : 定常漂流力引起位移

$\delta_2$  : 波引起位移振幅

$\delta$  : 浮體間或浮體與連接其他防波堤間の間隔

- ② 浮體為單體時，法線方向及垂直法線方向的位移可取浮體寬度為容許值。

## 8) 繫留基礎

繫留基礎分如下圖所示重力式及握裹力式 2 種。



- ① 重力式

適用於承载力良好地盘，承载力不足软弱地盘须设置抛石层或进行换置砂

地盤改良等，必要重量以下式檢討其對滑動的安定性。

$$\frac{\mu(W_w - T_v)}{T_H} \geq F$$

- $\mu$  : 摩擦係數
- $W_w$  : 繫留基礎水中重量
- $T_v$  : 繫留基礎處繫留索最大張力水平分力
- $T_H$  : 繫留基礎處繫留索最大張力垂直分力
- $F$  : 安全率(=1.2)

② 握裹力式

握裹力式有如將錨埋入海底地盤，無垂直方向抵抗力，設計時盡可能在基礎部無垂直張力產生，通常安全率採用 1.2。握裹力  $T_A$  可以下列公式計算：

軟泥 :  $T_A = 8W_w^{2/3}$

硬泥 :  $T_A = 5W_w^{2/3}$

砂 :  $T_A = 3W_w$

平岩 :  $T_A = 0.4W_w$

5. 浮體設計

浮體除必要於浮遊時保持安定外，製作、拖航及設置期間亦必要有確保其安全的結構，浮箱防水性必須足夠。設計流程如下



浮體設計流程

1) 設定浮體斷面時，注意下列事項決定使用材料及構材厚度。

① 鋼材防蝕

鋼製浮體主要結構防蝕可參考下表。

防蝕部位	防蝕規格
外側(飛沫帶)	防鏽 3 年+防蝕層 27 年(0.3mm/年)
外側(水中)	電力防蝕 30 年+防蝕層 (0.02mm/年)
內側	防鏽或防蝕層(0.05mm/年)

② 鋼筋保護層

混凝土製浮體的鋼筋保護層厚度，可依下式計算。

$$C_{\min} = \alpha C_0$$

$C_{\min}$ : 最小厚度

$\alpha$ : 對應混凝土設計基準強度  $f'_{ck}$  的值

$$18N / mm^2 < f'_{ck} < 34N / mm^2 \text{ 時 } \alpha = 1.0$$

$$f'_{ck} \geq 34N / mm^2 \text{ 時 } \alpha = 0.8$$

$C_0$ : 下表所示基本保護層。

部位	$C_0$ (cm)
外側(飛沫帶)	6.0
外側(水中)	5.0
內側	3.0

2) 生物附著

計算浮體重量時必須考量海中生物的附著重量。以現址實測值為主，無實測值時可以  $80N/m^2$  計算。但隨浮體形狀或部位有可能差異很大。

3) 浮體安定

浮體自浮時對傾斜、翻轉的安定計算可依下式推算(下圖)



$$I/V - \overline{CG} = \overline{MG} > 0.05D$$

V: 排水容量(m<sup>3</sup>)(V=LBD, L: 浮體長度, B: 浮體寬度, D: 浮體吃水)

D: 吃水(m),  $D=W/(\gamma_w BL)$

W: 沉箱重量(含附著生物重量)

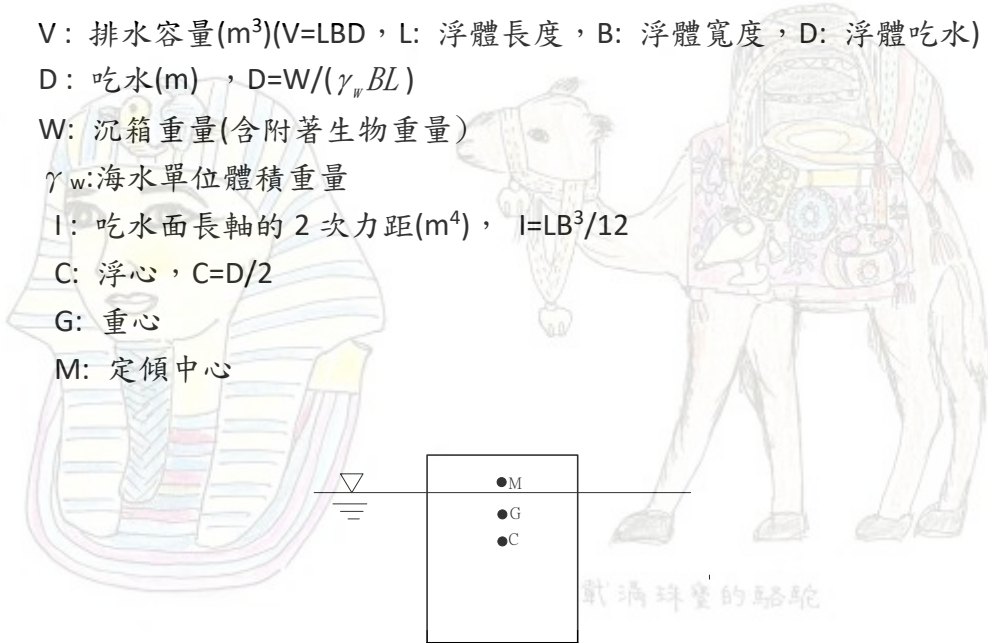
$\gamma_w$ : 海水單位體積重量

I: 吃水面長軸的 2 次力距(m<sup>4</sup>),  $I=LB^3/12$

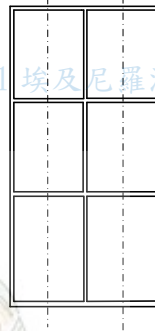
C: 浮心,  $C=D/2$

G: 重心

M: 定傾中心



2011 埃及尼羅河之旅



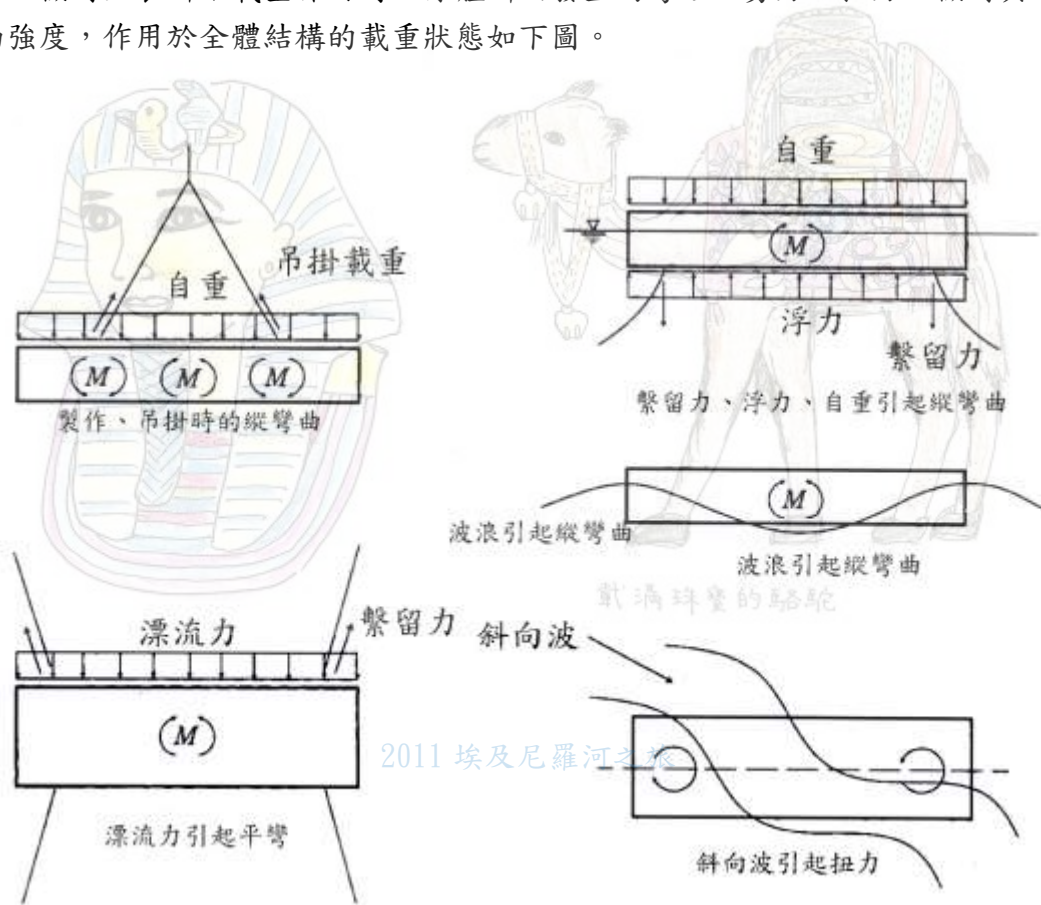
#### 4) 設計載重

作用於浮體載重如下表。載重作用於全體結構時，視浮體為樑結構。載重作用於局部結構時，作用於各構材。

	作用載重
	波浪載重
全體結構	製作、設置時載重
	定常漂流力
	繫留力及浮力引起載重
局部結構	自重
	靜水壓
	波壓

### 5) 全體強度

檢討上表所示載重作用時，浮體斷面發生的彎矩、剪力，扭力，檢討其斷面強度，作用於全體結構的載重狀態如下圖。



### 6) 局部強度

檢討作用於浮體局部結構的波壓  $p$ ，有義波高為  $H$  時，可依下式

$$p = 1.5\gamma_w H$$

### 7) 構材安全性評估

構材安全性可依容許應力法對全體結構及局部結構進行評估。混凝土製浮體發生龜裂，除造成鋼筋腐蝕及混凝土劣化外，亦會影響浮體防水性，浮體內部滲水時，會使浮力減少，堤身下沉，甚至失去消波功能。

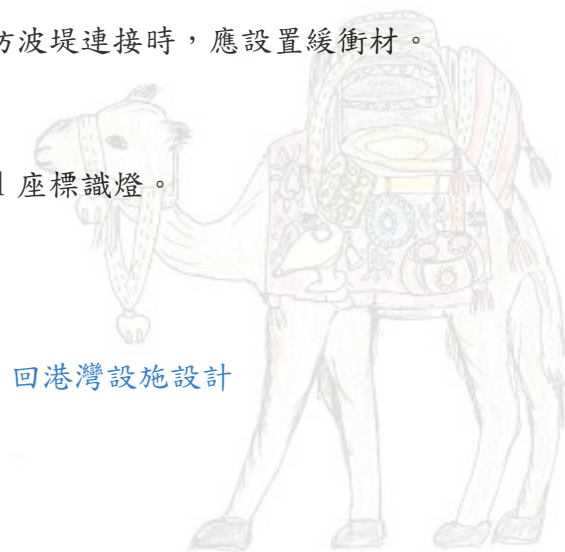
## 8) 附屬設備

### ① 緩衝材

設置數個浮體或與其他固定防波堤連接時，應設置緩衝材。

### ② 標識燈

原則上於浮防波堤兩端各設 1 座標識燈。



回港灣設施設計

載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈