

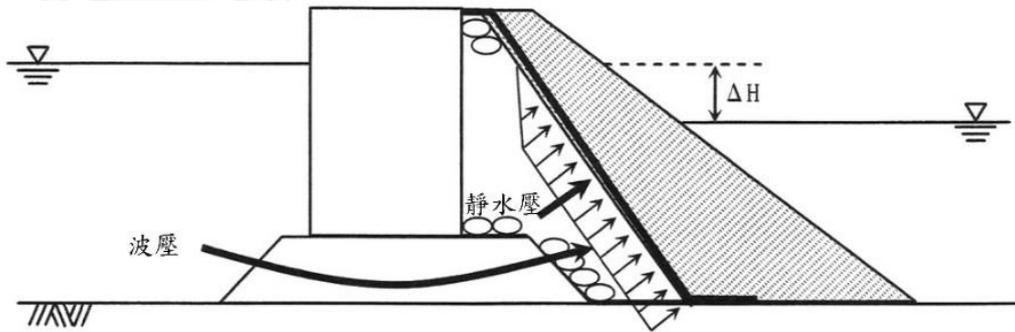
海面處理場內外水位差或波浪作用遮水布的作用力

鋪設於拋石基礎或內埋工上的遮水布，兼具有遮水機能附加效果，承受波浪或潮汐等起因的水位差影響。為確保遮水布的安定性，加諸於遮水布的載重，必要大於波壓與海面處理場內外水位差起因的靜水壓的合計，並考量遮水布的強度。

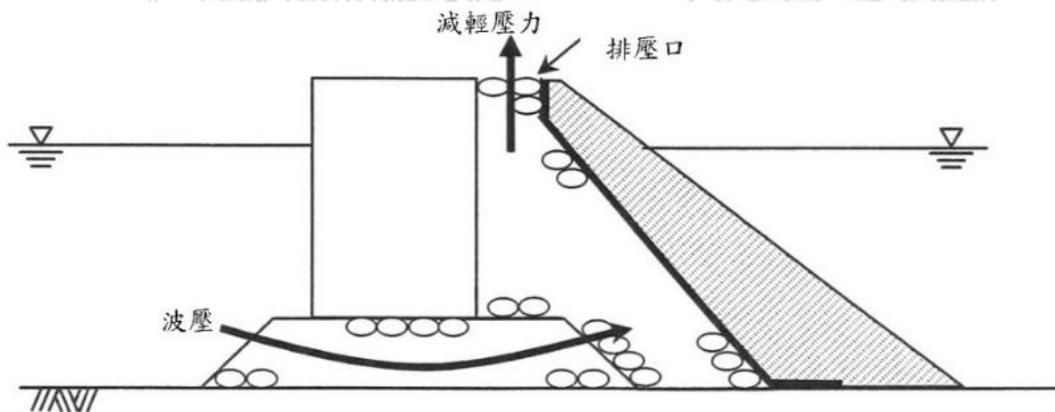
填海造地護岸兼為防波護岸時，波壓強大，應充分檢討其影響。

1. 合成堤

合成堤護岸構成海面處理場內外水位差對遮水布影響，如下圖依靜水壓理論即可容易解決。

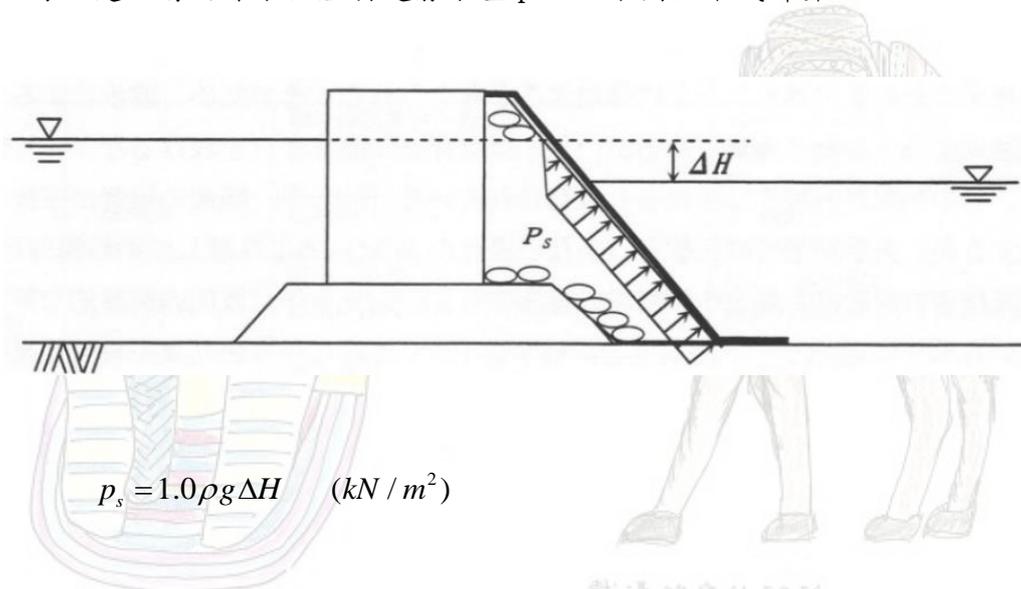


波浪引起壓力，對一般合成堤，可視作用於沉箱前趾的波壓，不會衰減，直接作用於遮水布，依波浪條件可能會有極大壓力作用，宜於沉箱背後配置如下圖所示排壓口。排壓效果已經實驗及解析確認有效，排壓效果依排壓口寬度而異，經實驗結果，有排壓口比無排壓口會有 30%~40%減壓效果。



1) 海面處理場內外水位差引起靜水壓

海面處理場內外水位差引起靜水壓 p_s ，如下圖依下式計算。



$$p_s = 1.0\rho g\Delta H \quad (\text{kN}/\text{m}^2)$$

ρ : 水密度 (t/m^3) (通常為 $1.03\text{t}/\text{m}^3$)

g : 重力加速度 ($9.81\text{m}/\text{s}^2$)

ΔH : 海面處理場內外水位差(m)

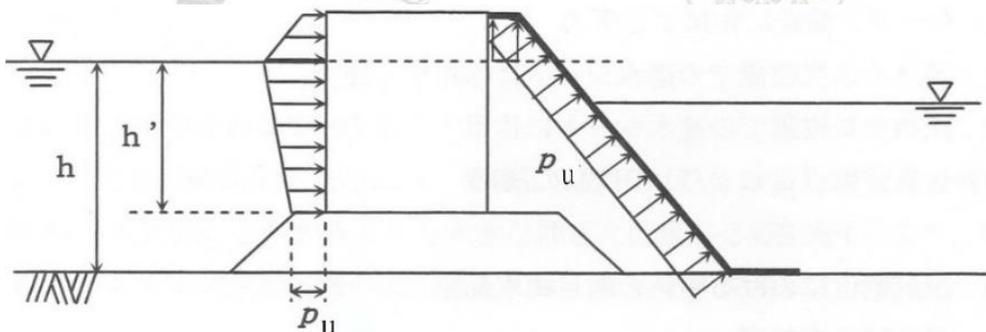
2011 埃及尼羅河之旅

2) 波浪引起壓力

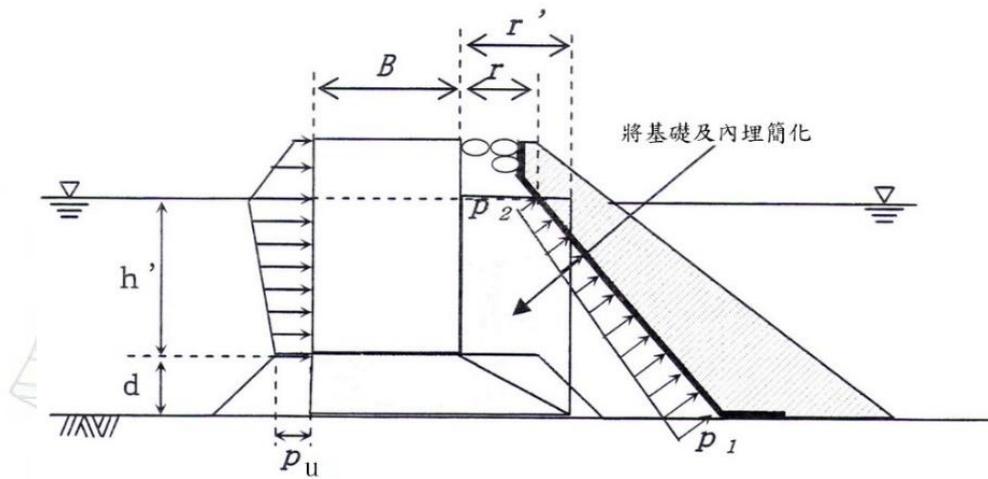
(1) 無排壓口

在拋石基礎或內埋工坡面鋪設遮水布時，拋石基礎或內埋工呈封閉狀態，作用於沉箱前趾的波壓，不會衰減，直接作用於遮水布。如下圖，作用於沉箱前趾的波壓 p_u (即前趾上揚波壓)，可依合田波壓公式計算(各係數參照之)。

$$p_u = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)\alpha_1\lambda_3\alpha_3\rho H_{\max} \quad (1)$$



(2) 有排壓口



如上圖，設置有排壓口時，可依藤井等提案的下列簡略式計算出排壓口部壓力 p_2 。

$$\frac{p_2}{p_u} = \left\{ 1 + \sigma^2 \left[K_1 + K_2 \frac{p_2}{p_u} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$K_1 = \left(\frac{r}{d} B a_1 + \frac{r}{r'} h' a_2 \right)$$

$$K_2 = \left[\left(\frac{r}{d} \right)^2 B b_1 + \left(\frac{r}{r'} \right)^2 h' b_2 \right] \frac{4}{T} \frac{p_u}{\rho g}$$

$$p_1 = \sqrt{1 + \sigma^2 (K_3 + K_4)^2} \cdot p_2 \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{r}{r'} h' a_2$$

$$K_4 = \frac{4}{T} \left(\frac{r}{r'} \right)^2 h' b_2 \frac{p_2}{\rho g}$$

$$r' = \frac{\frac{1}{d} + \frac{1}{r}}{\left(\frac{1}{d} \right)^2 + \left(\frac{1}{r} \right)^2}$$

p_u ：作用沉箱前趾波壓

p_1 : 作用內埋工坡趾遮水布壓力
 p_2 : 作用排壓口遮水布壓力
 σ : 角周波數 ($\sigma = 2\pi / T$, T : 波週期)
 d : 基礎高
 r : 設計潮位內埋內自由水面寬
 r' : 內埋部有效寬
 B : 沉箱寬
 h' : 設計潮位基礎頂面水深
 ρ : 水密度
 g : 重力加速

a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 是 Dupuit · Forchhermer approximaton 評估紊流場的透水係數

$$a_1 = \alpha_0 \left[(1 - n_1)^3 / n_1^2 \right] (\nu / gD_{15}^2)$$

$$a_2 = \alpha_0 \left[(1 - n_2)^3 / n_2^2 \right] (\nu / gD_{15}^2)$$

$$b_1 = \beta_0 \left[(1 - n_1) / n_1^3 \right] (1 / gD_{15})$$

$$b_2 = \beta_0 \left[(1 - n_2) / n_2^3 \right] (1 / gD_{15})$$

α_0 : 常數 (拋石 = 1500)

β_0 : 常數 (拋石 = 1.8)

n_1 : 基礎空隙率

n_1 : 內埋空隙率

ν : 水動黏性係數 (10°C 時 $1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)

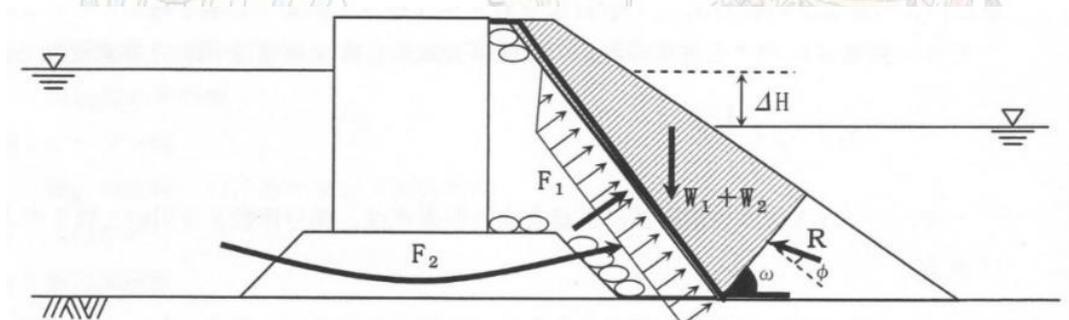
D_{15} : 拋石 15% 粒徑

合成堤設有排壓口時，作用波壓計算流程如下。

- ① 對無排壓口時，依(1)式，即合田波壓公式計算出作用於沉箱前趾的波壓，即沉箱前趾的上揚波壓 p_u 。
- ② 依(2)式計算出作用排壓口遮水布壓力 p_2 ，由於(2)式為對 p_2/p_w 的超越方程式，無法直接求解，必要利用例如 Newton 近似法等，首先給予 p_2/p_w 適當的初期值，再利用返覆近似計算，求得正確 p_2/p_w 值，即得 p_2 值。
- ③ 依(2)式計算出作用內埋工坡趾遮水布壓力 p_1 值。

3) 被覆層壓材載重估算法

被覆層壓材載重估算概念如下圖，為確保遮水布安定性，被覆層(遮水布)壓材的載重必要大於波浪引起壓力的合力 S_1 ，及海面處理場內外水位差引起靜水壓的合力 S_2 等 2 者的合力。



壓材載重 R ，依一般設計法的安全驗證，安全率為 f 時，必要滿足下式。

$$S_1 + S_2 < \frac{1}{f} R$$

2011 埃及尼羅河之旅

依可靠設計法安全驗證，部分係數為 γ 時，則必要滿足下式。

$$\gamma_{S_1} S_1 + \gamma_{S_2} S_2 < \gamma_R R$$

S_1 : 波浪引起壓力的合力(kN/m)

S_2 : 海面處理場內外水位差起因的靜水壓合力(kN/m)

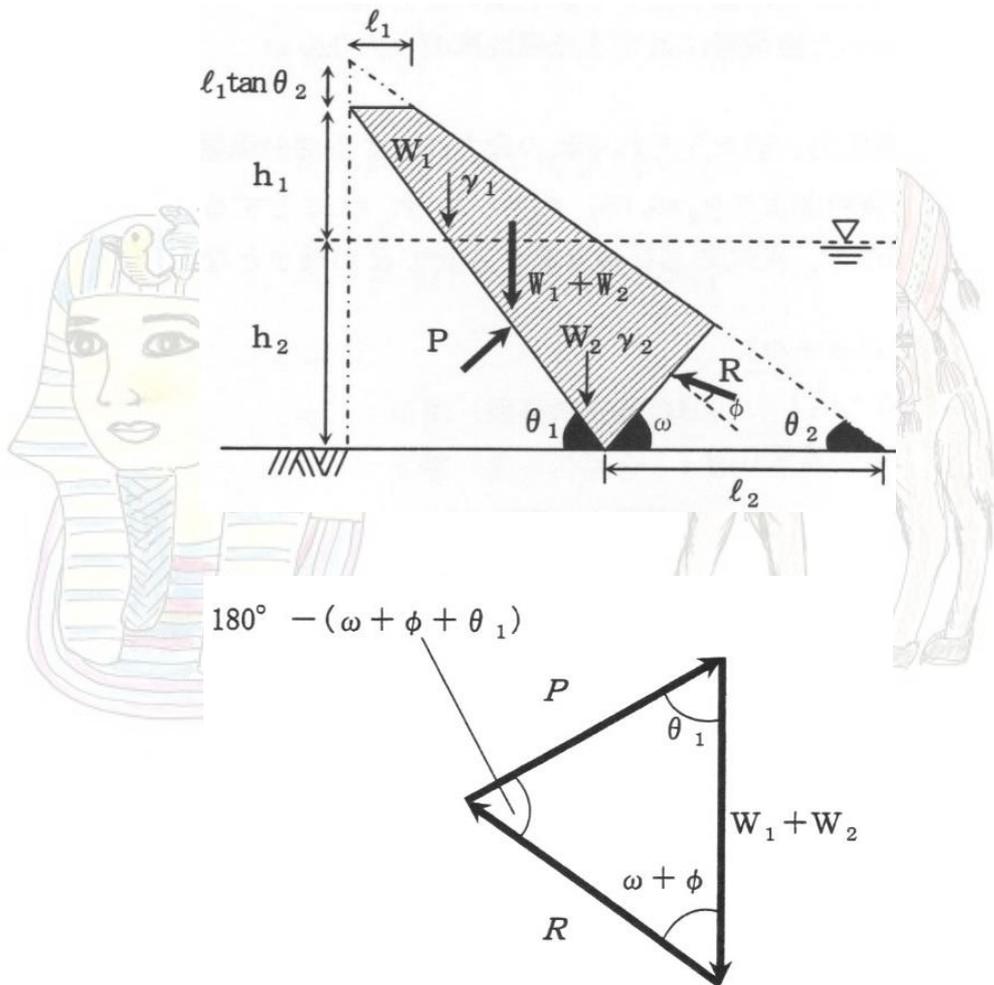
R : 利用試錯楔法求得被覆層承受被動抵抗合力(kN/m)

γ_{S_1} : 波壓合力的部分係數(=1.2)

γ_{S_2} : 靜水壓合力的部分係數(=1.3)

γ_R : 被動抵抗合力的部分係數(=0.65)

被覆層諸元如下圖。



如上圖，被動抵抗合力 R ，依其力平衡，可利用下式變化 ω 值，取 R 為最小者為被動抵抗合力 R 。

$$R = \frac{(W_1 + W_2) \sin(\phi + \omega)}{\sin(\phi + \omega + \theta_1)}$$

$$W_1 = \frac{\gamma_1}{2} \left[\frac{(h_1 + \ell_1 \tan \theta_2)^2}{\tan \theta_2} - \ell_1^2 \tan \theta_2 - \frac{h_1^2}{\tan \theta_1} \right]$$

$$W_2 = \frac{\gamma_2}{2} \left(\frac{h_1 + \ell_1 \tan \theta_2}{\tan \theta_2} + \frac{h_1 + h_2}{\tan \theta_1} + \ell_2 \right) h_2 - \frac{(2h_1 + h_2) h_2}{\tan \theta_1} - \ell_2^2 \frac{\sin \theta_2 \sin \omega}{\sin(\omega + \theta_2)}$$

W_1 ：被覆層空氣中部分重量(kN)

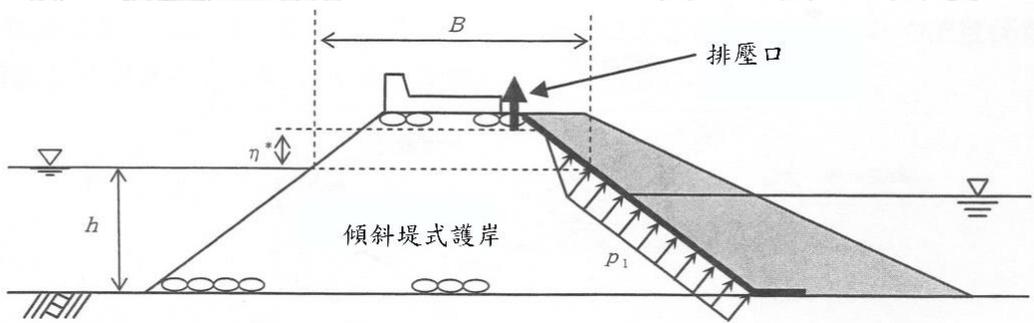
W_2 ：被覆層水中部分重量(kN)

h_1 ：水面至被覆層頂面高(m)

- h_2 : 水面至海底高(m)
- l_1 : 被覆層頂寬(m)
- l_2 : 被覆層海底面寬(m)
- θ_1 : 海底面與內埋坡面呈角度($^\circ$)
- θ_2 : 海底面與被覆層面呈角度($^\circ$)
- γ_1 : 被覆層空氣中部分單位體積重量(kN/m³)
- γ_2 : 被覆層水中部分單位體積重量(kN/m³)
- ω : 海底面與被覆層破壞面呈角度($^\circ$)
- φ : 被覆層內部摩擦角($^\circ$)

2. 傾斜堤

1) 遮水布作用波壓



作用於傾斜堤式廢棄物填海造地護岸遮水布波壓，如上圖，將之簡化成靜水面以上呈三角形分布，靜水面以下呈一樣分布。前面波壓 p_1 及波壓作用高度 ζ^* 可表示如下。

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta) \alpha_1 \lambda_1 \rho g H_{\max}$$

$$\zeta^* = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_{\max}$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi h/L}{\sinh 4\pi h/L} \right)^2$$

$$\lambda_1 = \exp(-4.9 \times (B/L))$$



阿拉丁神燈

$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8K_s H'_{1/3} & ; h/L_0 \geq 0.2 \\ \min\left[(\beta_0^* H'_{1/3} + \beta_1^* h_b), \beta_{\max}^* H'_{1/3}, 1.8K_s H'_{1/3}\right] & ; h_b/L_0 < 0.2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\beta_0^* = 0.052 [H'_{1/3}/L_0]^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$$

$$\beta_1^* = 0.63 \exp[3.8 \tan \theta]$$

$$\beta_{\max}^* = \max\{1.65, 0.53 [H'_{1/3}/L_0]^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)\}$$

合田對 H_{\max} ，堤址位置在碎波帶外側時，以(4)式第 1 式計算，在碎波帶內側時，以(4)式第 2 式計算， h_b 採用距離防波堤壁面至 $5H'_{1/3}$ 外海水深處的水深值。有義波高 $H'_{1/3}$ 的水深值，取防波堤設置處水深 h 。

2011 埃及尼羅河之旅

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H'_{1/3} & ; h/L_0 \geq 0.2 \\ \min\left[(\beta_0 H'_{1/3} + \beta_1 h), \beta_{\max} H'_{1/3}, K_s H'_{1/3}\right] & ; h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

$$\beta_0 = 0.028 [H'_{1/3}/L_0]^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$$

$$\beta_1 = 0.52 \exp[4.2 \tan \theta]$$

$$\beta_{\max} = \max\{0.92, 0.32 [H'_{1/3}/L_0]^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)\}$$

$\tan \theta$ 為海底坡度， K_s 表示淺化係數， $H'_{1/3}$ 為依下式表示的換算外海有義波高

$$H'_{1/3} = K_d K_r K_f H_0^0$$

K_d 及 K_r 分別為繞射係數及折射係數， H_0^0 為外海處有義波高，換算外海有義

波週期與外海有義波週期相同。B 為靜水面位置傾斜堤寬，L 為波長。

此遮水布作用波壓，原則上適用於無衝擊波壓作用於遮水布時，為避免發生衝擊波壓作用於遮水布，必要設置排壓口。不設置排壓口時，應設計成不會發生越波的設計。依過往實驗結果遮水布，在相同設計條件下，無排壓口斷面承受的衝擊波壓約為有排壓口的 2 倍。

當護岸背後逐漸填滿廢棄物，可確保遮水布安定時，可將排壓口封閉，但是波浪條件嚴峻時，以保留排壓口為宜。擔憂會發生衝擊波壓時，護岸形狀及波浪條件為主要因素，宜進行水工模型試驗確認。

2) 壓材設計

利用實驗模擬壓材受各種不同波壓作用時的被動抵抗力，係利用油壓千斤頂使壓材產生各種位移，測定被動抵抗力與護岸未發生位移時的外力間關係。

(1) 遮水布壓材安全性驗證

遮水布壓材載重，可靠設計法安全驗證可依下式。

$$\gamma_{S_1} S_1 + \gamma_{S_2} S_2 < \gamma_R R$$

S_1 ：波浪引起壓力合力(kN/m)

S_2 ：海面處理場內外水位差起因的靜水壓合力(kN/m)

R：利用上述試錯楔法求得被覆層承受被動抵抗合力(kN/m)

γ_R 、 γ_{S_1} 、 γ_{S_2} 如下，分別為被動抵抗合力、波壓合力及靜水壓合力的部分係數。

$$\gamma_R = (1 - \alpha_R \beta_T V_R) B_R$$

$$\gamma_{S_1} = (1 - \alpha_{S_1} \beta_T V_{S_1}) B_{S_1}$$

$$\gamma_{S_2} = (1 - \alpha_{S_2} \beta_T V_{S_2}) B_{S_2}$$

β_T 是目標可靠性指標， B_R 、 B_{S_1} 、 B_{S_2} 分別為被動抵抗合力、波壓合力及靜水壓

合力的平均值偏差(平均值/特性值)， V_R 、 V_{S_1} 、 V_{S_2} 分別為變動係數(標準偏差/

平均值)， α_R 、 α_{S_1} 、 α_{S_2} 分別為感度係數，若性能函數以 $Z = R - S_1 - S_2$ 表示，則得

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sigma_Z}, \alpha_{S_1} = \frac{\sigma_{S_1}}{\sigma_Z}, \alpha_{S_2} = \frac{\sigma_{S_2}}{\sigma_Z}$$

(2) 部分係數設定法

可靠性設計法通常是將目標可靠性指標 β_T 對現行設計法進行率定而設定部分係數，此處是以其他結構物的目標可靠性指標作為參考，設定遮水布壓材安定性的目標可靠性指標而決定部分係數。

設定部分係數時，除必要設定目標可靠性指標外，亦必要設定各項的平均值偏差 B 、變動係數 V 及感度係數 α 。波力及靜水壓的平均值偏差及變動係數可參考既往文獻設定，壓材載重可依實驗結果推定。設定感度係數時，可對複數個斷面加以試算而估算出平均值。

(3) 設定平均值偏差 B 及變動係數 V

2011 埃及尼羅河之旅

① 波力

參考既往文獻，考量外海波高推算精度、波浪變形計算制度、沉箱式合成堤波力計算式推算精度，得

$$B_{S_1} = 1.0 \times 0.97 \times 0.91 = 0.88$$

$$V_{S_1} = \sqrt{0.10^2 + 0.04^2 + 0.19^2} = 0.22$$

② 靜水壓

使用潮位的平均值偏差及變動係數得

$$B_{S_2} = 1.0 \quad V_{S_2} = 0.2$$

③ 遮水布壓材載重

依實驗結果，求出實驗值與計算值的比的機率分佈，與正規分佈比對而得

$$B_R=0.9 \quad V_R=0.2$$

(4) 設定目標可靠性指標 β_T

考量管理型廢棄物處理場的設施重要度及遮水布受災後的復原有困難度，遮水布壓材安定的目標可靠性指標宜採用 $\beta_T=2.4$ 。

(5) 部分係數提案

為設定感度係數，針對遮水護岸設置水深及波浪條件，試算出滿足目標可靠性指標 $\beta_T=3.5$ 的斷面。計算此等斷面的感度係數的平均值得

$$\alpha_R=0.77, \quad \alpha_{s_1}=-0.47, \quad \alpha_{s_2}=-0.40$$

2011 埃及尼羅河之旅

利用此感度係數，與先前設定的平均值偏差及變動係數，可得部分係數如下。

$$\gamma_R=0.65, \quad \gamma_{s_1}=1.20, \quad \gamma_{s_2}=1.30$$



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

回廢棄物填海造地護岸