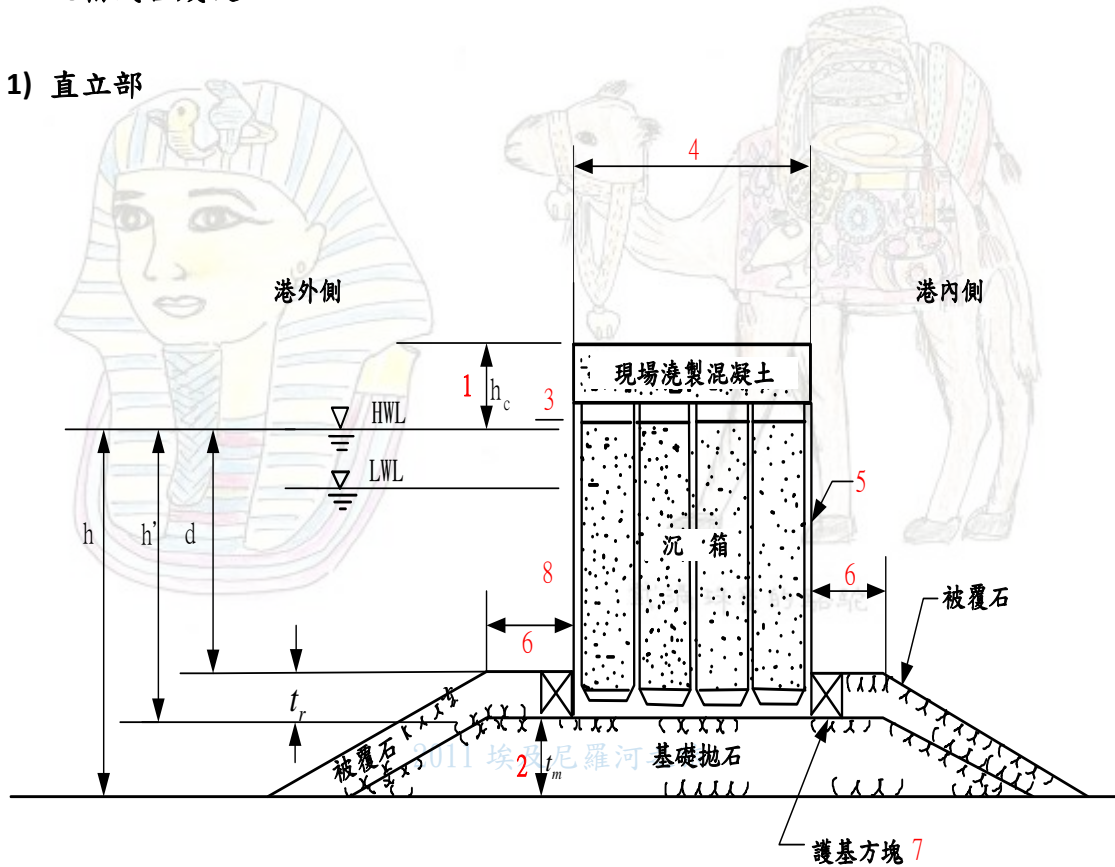


防波堤安定計算

1. 沉箱式合成堤

1) 直立部



紅色數字表示決定斷面尺寸順序

合成式沉箱防波堤初始斷面決定順序

合成式沉箱防波堤初始斷面決定順序如下：

1 堤頂高度 h_c

堤址水深 $h = \text{設置水深} + \text{設計潮位}$

港內容許傳達波高率 $K_T = H_T/H_i$

依容許傳達波高率公式得 h_c

堤頂高 $h_c = h_c + \text{設計潮位}$

2 拋石層厚度

(1) 基礎拋石層厚度 t_m 原則上大於 1.5m

(2) 被覆層厚度取 t_r

(3) 被覆層面至設計潮位間水深： $d = h - (t_m + t_r)$

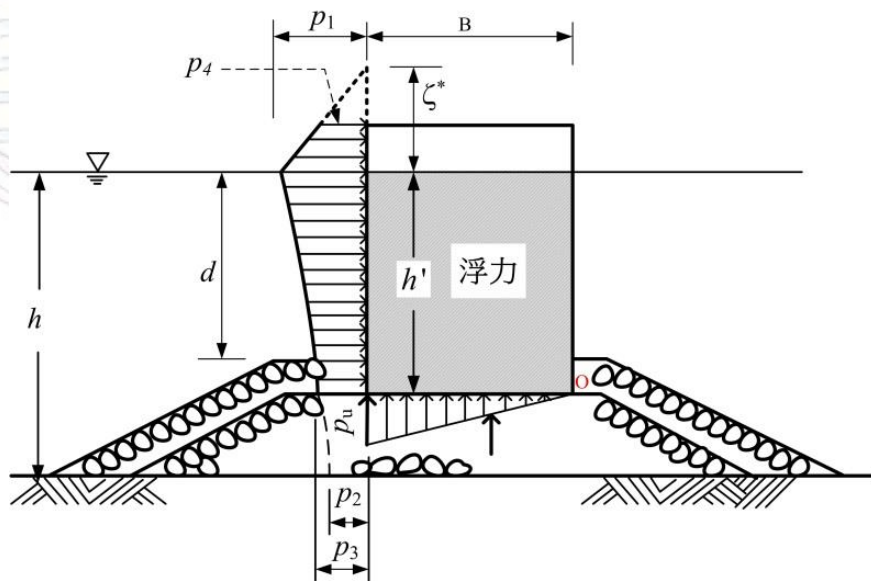
(4) 沉箱底面至設計潮位間水深： $h' = h - t_m$

3 沉箱頂高

一般沉箱頂高度 $h_{top} = h_c + HWL + 0.5$

4 堤體寬度 B

由下述(3)堤體最小寬度 B 滑動及轉動結果決定。



(1) 最大波高 Hmax

參考合田公式，利用線上即時演算(波浪公式集)計算出

(a) 最大波高 Hmax

$$h_b = h + 5H_{1/3} \tan \theta$$

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

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

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

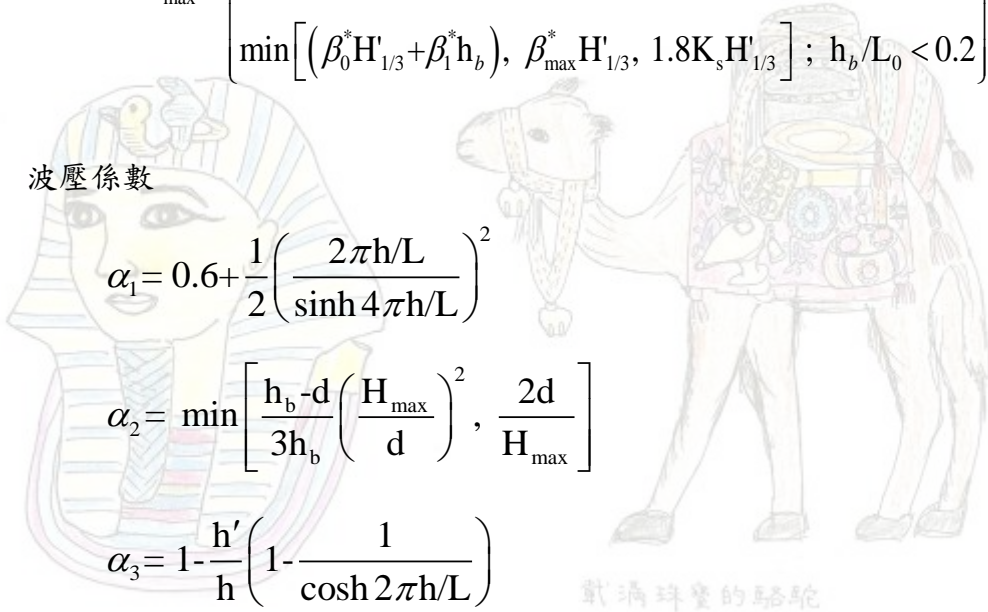
$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8K_s H'_{1/3} & ; h/L_0 \geq 0.2 \\ \min \left[(\beta_0^* H'_{1/3} + \beta_1^* h_b), \beta_{\max}^* H'_{1/3}, 1.8K_s H'_{1/3} \right] & ; h_b/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

(b) 波壓係數

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

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{\max}}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_{\max}} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left(1 - \frac{1}{\cosh 2\pi h/L} \right)$$



(c) 波壓作用高(越波高度) ζ^*

2011 埃及尼羅河之旅

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

(d) 波壓強度 p_1, p_2, p_3, p_4, p_u

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2\beta) \gamma_w H_{\max}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh 2\pi h/L}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$p_4 = p_1 \left(1 - \frac{h_c}{\zeta^*} \right)$$

載滿貨品的驢子



$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta) \alpha_1 \alpha_2 \gamma_w H_{\max}$$

(e) 波壓水平及垂直合力

i. 選定越波時的越波高度 h_c^*

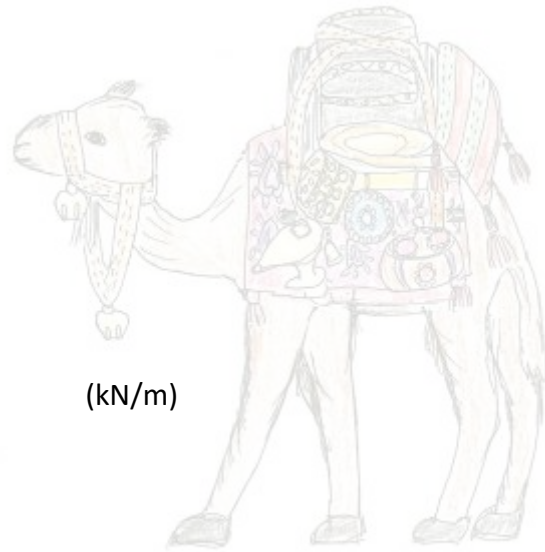
$$h_c^* = \min(\zeta^*, h_c) \quad (\text{m})$$

ii. 波壓水平合力 P

$$P = \frac{1}{2}(p_1 + p_4)h_c^* + \frac{1}{2}(p_1 + p_2)h'$$

iii. 上揚合力 U

$$U = \frac{1}{2} p_u B \quad (\text{kN/m})$$



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅

iv. 水平合力力矩 M_H

$$M_H = \frac{1}{6}(2p_1 + p_3)h'^2 + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)h'h_c^* + \frac{1}{6}(p_1 + 2p_4)h_c^{*2} \quad (\text{kNm/m})$$

v. 上揚合力力矩 M_U

$$M_U = \frac{2}{3} UB$$

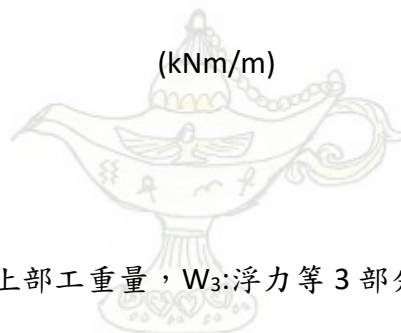
(f) 堤體重量 W'

將堤體重量 W' 分割成 W_1 :沉箱重量, W_2 :上部工重量, W_3 :浮力等 3 部分。

$$W_1 = W_{11} + W_{12}$$

$$W_{11} = \rho_{rcx} \times (h' + h_T + h_{top}) \times B \times a / 100$$

$$W_{12} = \rho_b \times (h' + h_T + h_{top}) \times B \times b / 100$$



阿拉丁神燈

a: 鋼筋混凝土所佔比例

b: 填充材所佔比例

ρ_{rc} : 鋼筋混凝土單位體積重量

ρ_b : 填充材單位體積重量

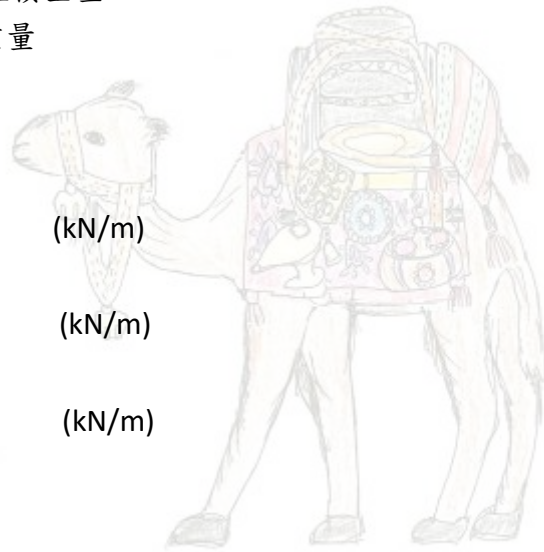
h_{top} : 沉箱頂高度

h_T : 設計潮位

$$W_2 = \rho_c B (h_c - h_T - h_{top})$$

$$W_3 = \rho_w B h'$$

$$W' = W_1 + W_2 - W_3$$



(kN/m)

(kN/m)

(kN/m)

載滿珠寶的駱駝

(2) 堤體最小寬度 B

(a) 滑動

$$F = \frac{\mu W}{P} = \frac{\mu(W' - U)}{P} = \frac{\mu \left(W' - \frac{1}{2} p_u B_s \right)}{P}$$

即
$$B_s = \frac{(FP - \mu W')}{\frac{1}{2} \mu p_u}$$

F: 安全率

(b) 轉動

$$F = \frac{W_x}{P y} = \frac{W' \frac{B_o}{2} - M_U}{M_H}$$



阿拉丁神燈

$$F = \frac{(a_1 + a_2 + a_3) \frac{B_o^2}{2} - \frac{1}{6} p_u B_o^2}{M_H}$$

$$B_o = \sqrt{\frac{FM_H}{\frac{1}{2}(a_1 + a_2 + a_3) - \frac{2}{3}U}}$$

$$a_{11} = \rho_{rc} \times (h' + h_T + h_{top}) \times a / 100$$

$$a_{12} = \rho_b \times (h' + h_T + h_{top}) \times b / 100$$

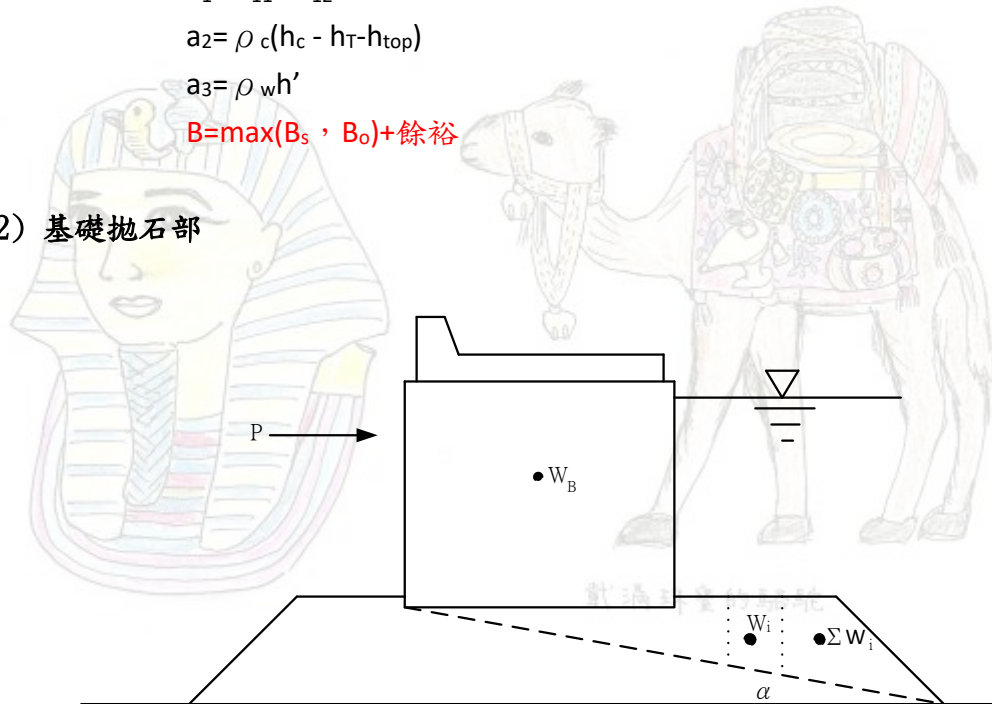
$$a_1 = a_{11} + a_{12}$$

$$a_2 = \rho_c (h_c - h_T - h_{top})$$

$$a_3 = \rho_w h'$$

$$B = \max(B_s, B_o) + \text{餘裕}$$

2) 基礎拋石部



2011 埃及尼羅河之旅

對合成堤基礎拋石(拋石基座)，假定為直線滑動時，其安全率如下

$$F = \frac{(W - P \tan \alpha) \tan \phi}{W \tan \alpha + P}$$

P: 水平波力合力(t/m)

ϕ : 拋石內部摩擦角($^{\circ}$)

$W = W_B + \Sigma W_i$

W_B : 堤體重量(kN/m)

W_i : 滑動直線以上拋石分割片有效重量(kN/m)

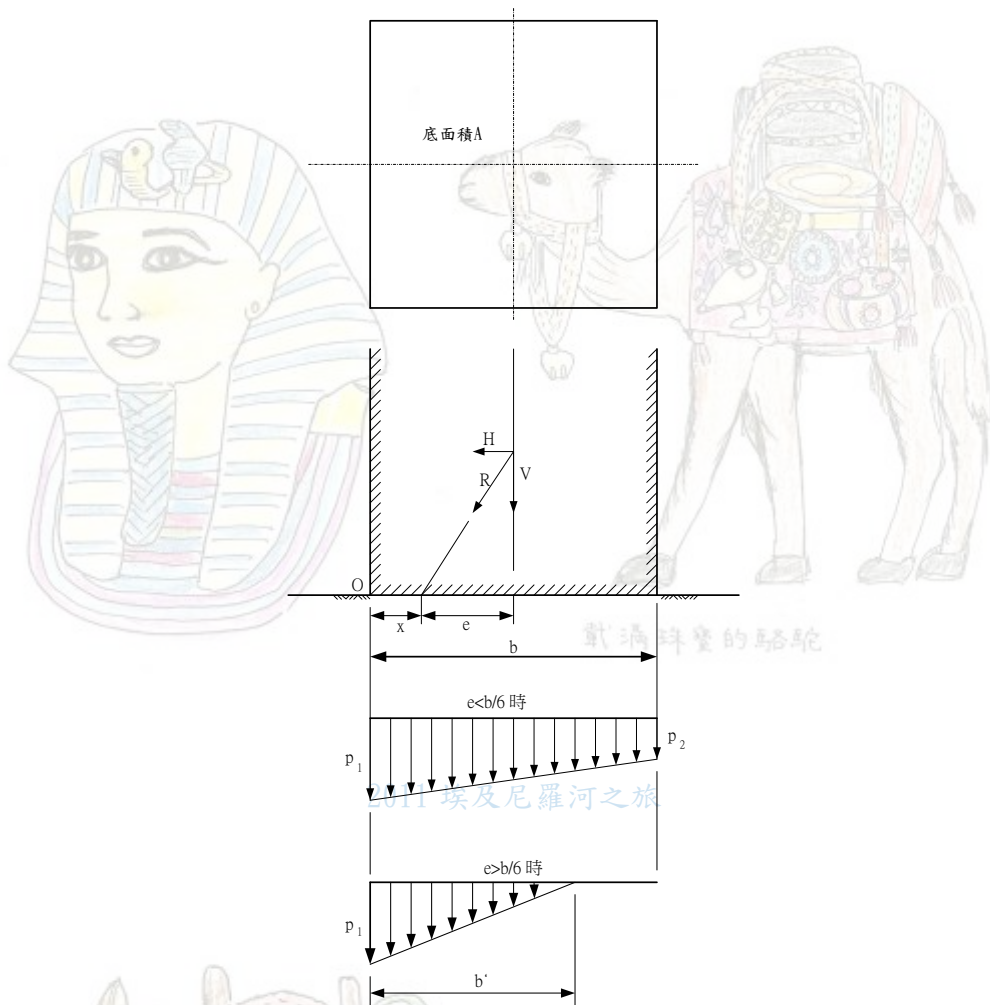
α : 滑動面與水平線夾角

3) 地盤

(1) 平面基礎承载力

重力式結構物垂直分力偏心作用時，基礎承载力以下列方式檢討。

① 堤體底面地盤反作用力



堤體底面地盤反作用力

① 首先判別作用於堤體底面合力 R 的偏心率 e 的位置(上圖)。

$$e = \frac{b}{2} - x$$

$$x = \frac{M_V - M_H}{V}$$

② $e \leq \frac{1}{6}b$ 時

最大反作用力 $p_1 = \left(1 + 6\frac{e}{b}\right)\frac{V}{A}$

最小反作用力 $p_2 = \left(1 - 6\frac{e}{b}\right)\frac{V}{A}$



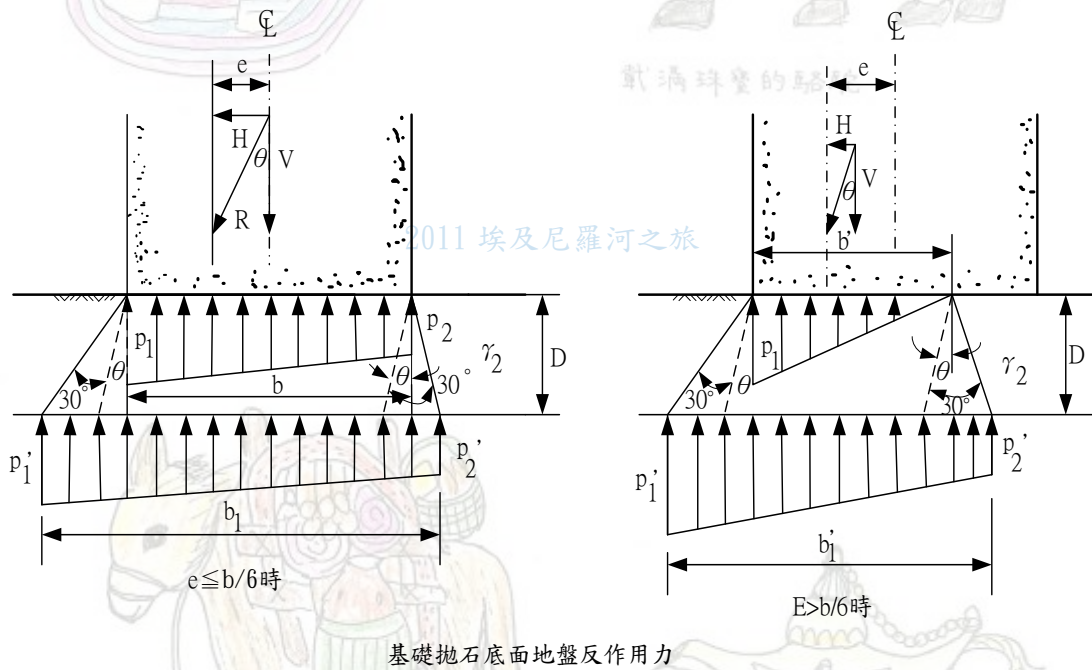
阿拉丁神燈

③ $e > \frac{1}{6}b$ 時

最大反作用力 $p_1 = \frac{2}{3} \left(\frac{1-e}{b} \right) \frac{V}{A}$

分佈寬度 $b' = 3 \left(\frac{b}{2} - e \right)$

② 基礎拋石底面地盤反作用力



① 首先判別作用於堤體底面合力 R 的偏心率 e 的位置(上圖)。

$e = \frac{b}{2} - x$

$x = \frac{M_V - M_H}{V}$

阿拉丁神燈

② $e \leq \frac{1}{6}b$ 時

分佈寬度 $b_1 = b + D[\tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta)]$

最大反作用力 $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D$

最小反作用力 $p_2' = \frac{b}{b_1} p_2 + \gamma_2 D$

③ $e > \frac{1}{6}b$ 時

分佈寬度 $b_1' = b' + D[\tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta)]$

最大反作用力 $p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D$

最小反作用力 $p_2' = \gamma_2 D$

P_1' : 基礎拋石底面最大地盤反作用力(kN/m²)

P_2' : 基礎拋石底面最小地盤反作用力(kN/m²)

b_1 : $e \leq \frac{1}{6}b$ 時, 壁基礎拋石下部載重分佈寬度(m)

b_1' : $e > \frac{1}{6}b$ 時, 壁基礎拋石下部載重分佈寬度(m)

γ_2 : 基礎拋石單位體積重量(水中部份為水中單位體積重量)
(kN/m³)

D : 基礎拋石厚度(m)

θ : $\tan^{-1}(H/V)$

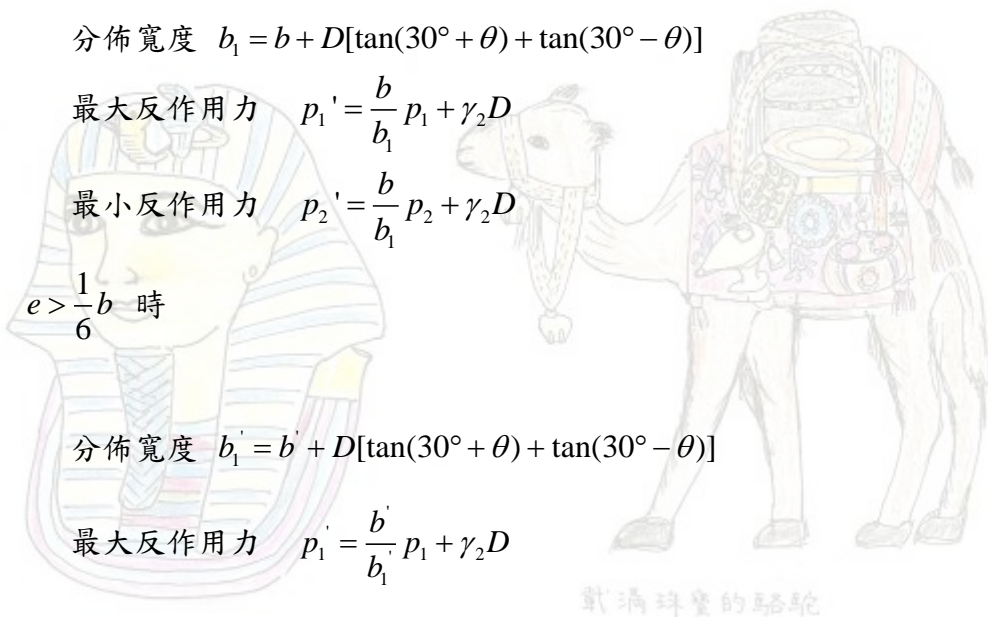
(2) 基礎地盤容許承载力

① 砂質土地盤容許承载力 q_a

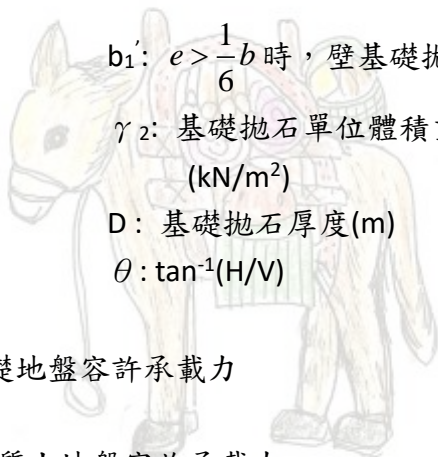
$$q_a = \frac{1}{F} (\beta * \gamma_1 * B * N_r) + \gamma_2 D$$

q_a : 地盤容許承载力(kN/m²)

γ_1 : 基礎底面下土單位體積重量(水面下部份為水中單位體積重量)(kN/m³)



載滿珠寶的駱駝



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

γ_2 : 基礎底面上土單位體積重量(合成堤為基礎拋石單位體積重量) (kN/m^3)

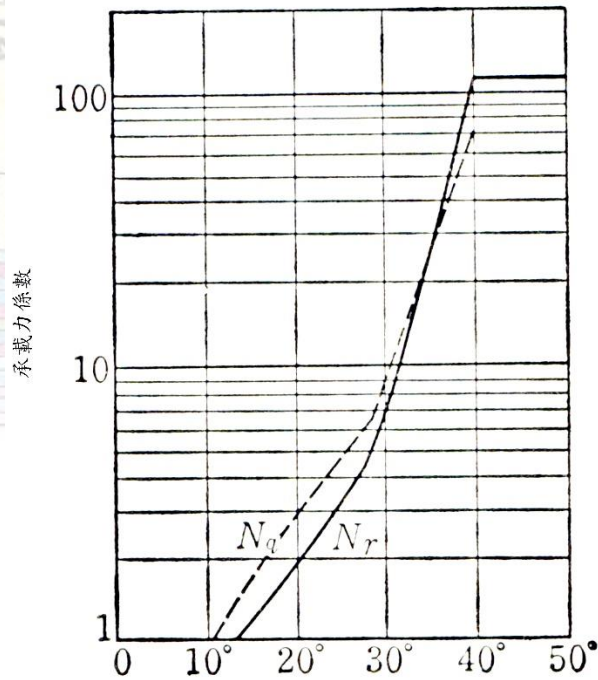
β : 基礎形狀係數(帶狀=0.5)

B: 基礎最小寬度(圓形基礎時為直徑, 合成堤時為基礎拋石下部分佈寬)(m)

D: 基礎貫入深度(合成堤時為基礎拋石厚度)(m)

N_r, N_q : 承載力係數, 由上圖求得。

F: 安全率



內部摩擦角 ϕ

承載力係數 N_r, N_q

⑥ 黏性土地盤容許承載力(連續基礎時)

$$q_a = \frac{1}{F} (1.18k_B + 6.94C_o) + \gamma_2 D \quad \frac{H}{B} \leq 0.4$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.84k_B + 5.52C_o) + \gamma_2 D \quad \frac{H}{B} \geq 0.4$$

q_a : 地盤容許承載力(kN/m^2)

k: 地盤粘着力增加係數(kN/m^3)

C_o : 基礎底面土黏着力(kN/m^3)

B: 基礎最小寬度(m)

γ_2 : 基礎底面上土單位體積重量(合成堤為基礎拋石單位體積重量) (kN/m^3)

D: 基礎貫入深度(合成堤時為基礎拋石厚度)(m)

F: 安全率

© 偏心傾斜載重

直立壁底面載重及外力分力引起偏心量及傾斜大時承载力會減少，必要檢討偏心傾斜載重，下式為單層砂質土地盤的計算式。



$$\theta = \frac{H}{V}$$

$$\varepsilon = \frac{2e}{B}$$

$$q_v = \frac{\gamma B}{2} N$$

$$F = \frac{q_v}{V/B}$$



θ : 水平分力與垂直分力與合力的傾斜角(度)

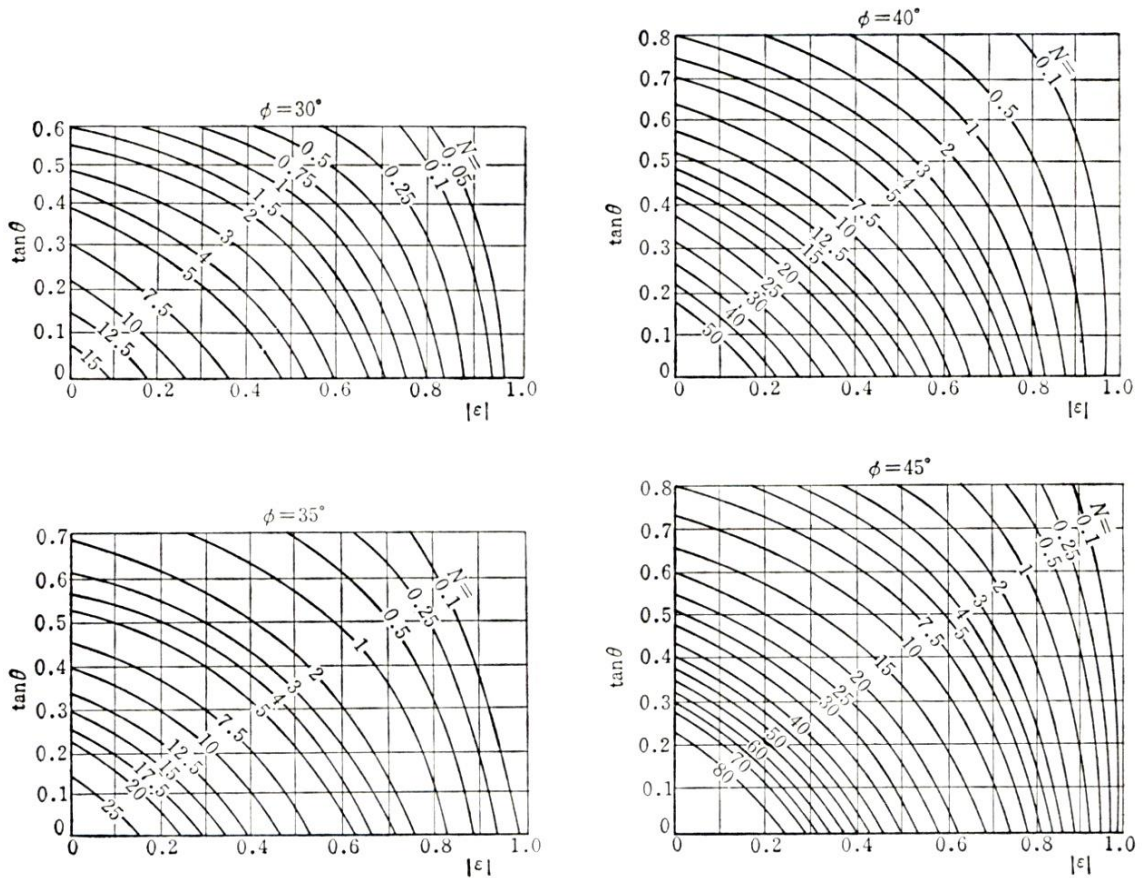
ε : 載重偏心度

γ : 土單位體積重量(水面下部份則為水中單位體積重量) (kN/m³)

N : 承载力係數，可由下圖求得。(ϕ 取通常計算土壓時加 5°)。

F : 安全率(1.0 以上)

2011 埃及尼羅河之旅



4) 沉箱拖航

沉箱自浮時對傾斜、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(m³)(V=LBD, L:沉箱長度, B:沉箱寬度, D:沉箱吃水)

D: 吃水(m), $D=W/(\gamma_w BL)$

W: 沉箱重量

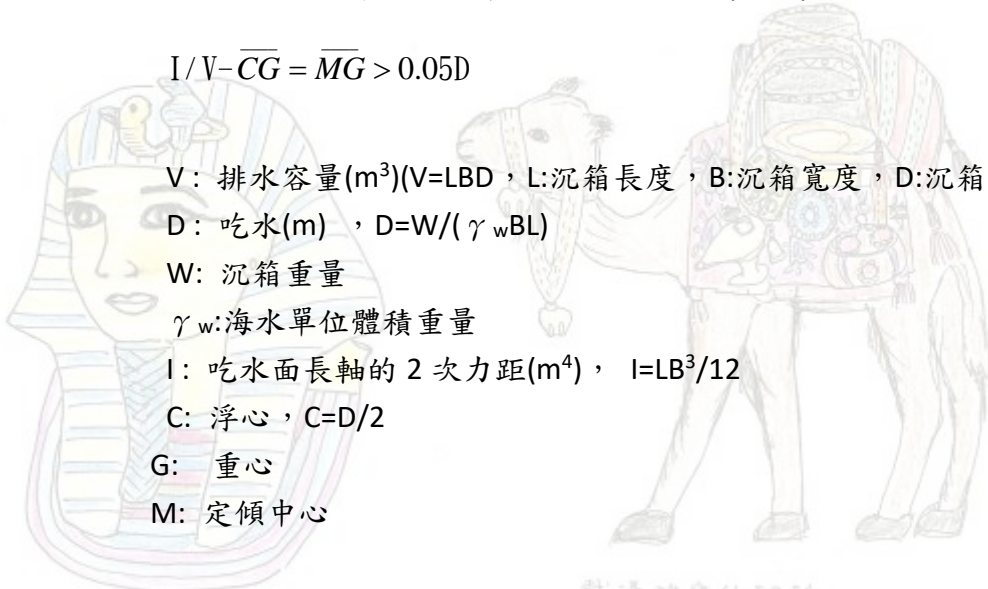
γ_w : 海水單位體積重量

I: 吃水面長軸的 2 次力距(m⁴), $I=LB^3/12$

C: 浮心, $C=D/2$

G: 重心

M: 定傾中心



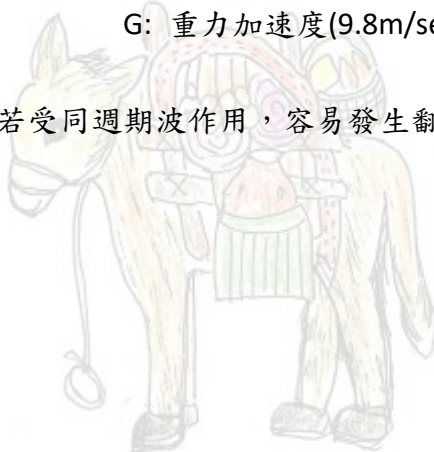
長距離拖航時，沉箱橫搖固有週期 T 可依下式估算

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K^2}{g \cdot GM}}$$

K: 沉箱橫方向的回轉 2 次半徑(m)

G: 重力加速度(9.8m/sec²)

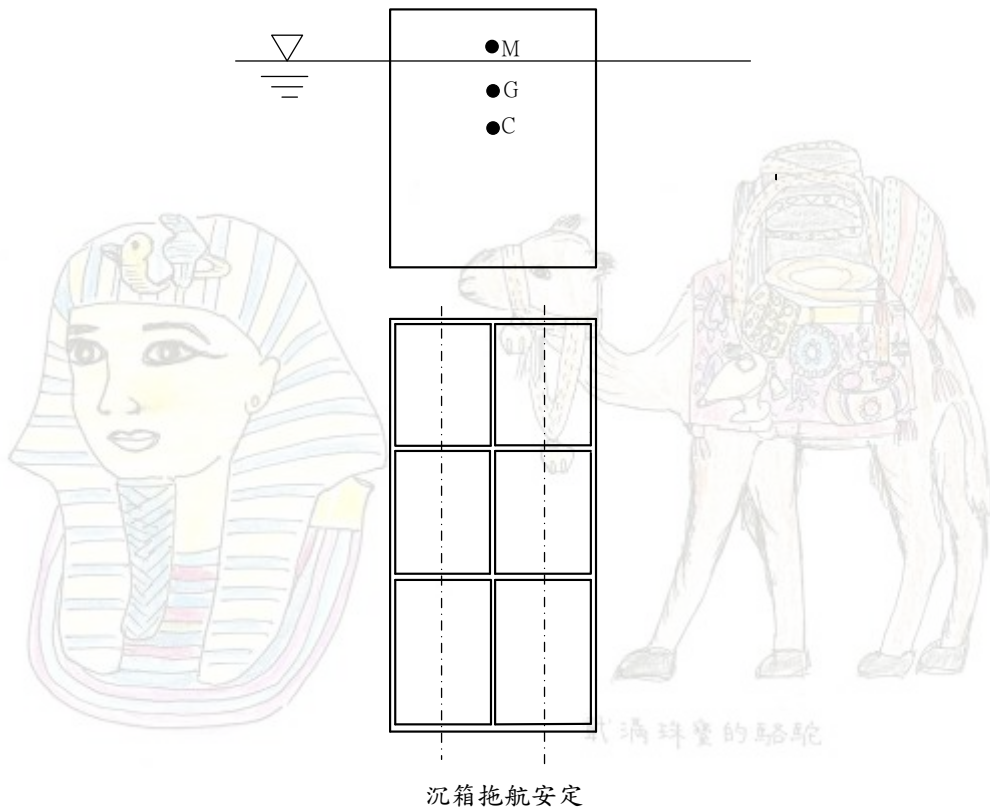
拖航時若受同週期波作用，容易發生翻轉，宜特別注意。



載滿貨品的驢子



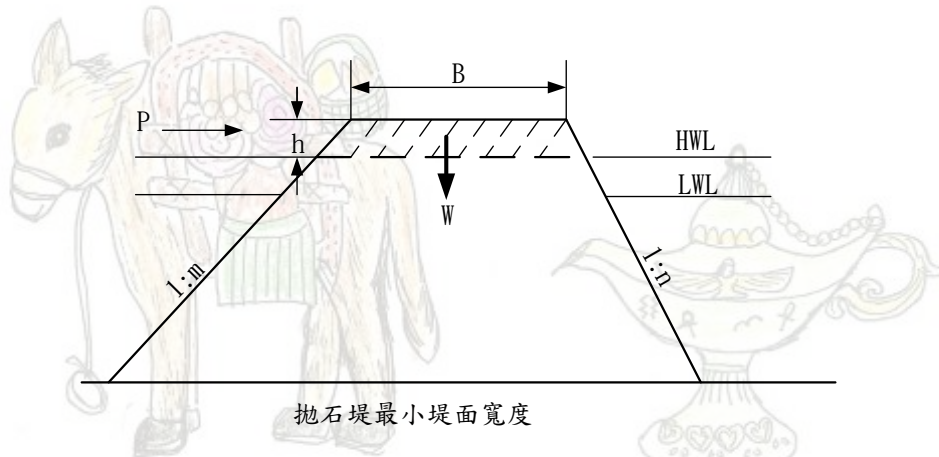
阿拉丁神燈



2011 埃及尼羅河之旅

2. 傾斜拋石堤

① 拋石堤最小堤面寬度



載滿袋的驢子 $F = \frac{\mu W}{P}$

$P = 1.5w_o Hh$

$W = w_r \left(B + \frac{m+n}{2} h \right) h$

阿拉丁神燈

H: 在防波堤碎波波高

μ : 拋石面摩擦係數(設為 1.0)

w_r : 拋石海中單位容積重量, 以 9.8kN/m^3 計

w_o : 海中單位體積重量, 以 10.3kN/m^3 計

h: 大潮平均高潮位至堤面高度(m)

P: 作用於海面上全碎波波力(kN/m)

W: 大潮平均高潮位至堤面間拋石重量, 以拋石海中重量計算。

F: 安全率

即拋石堤面最小寬度為

$$B = \frac{FP}{\mu w_r h} - \frac{m+n}{2} h$$

② 被覆材重量

① 靜水面以上

採用 Hudson 公式

② 靜水面以下水深 D 處

採用 Hudson 公式, 但作用波高採用下列虛擬波高

$$H_{dummy} = \frac{2\pi H^2}{L \sinh \frac{4\pi D}{L}}$$

H: 作用波高

L: 波長

③ 被覆層厚度

① 粗石

$$e = 3 \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$$

② 消波塊

$$e = 2 \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$$



載滿珠寶的駱駝



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈

W: 粗石或消波塊重量(1 個) (kN)

e: 被覆層厚度 (m)

γ : 被覆材密度 (kN/m³)



回港灣設施設計



回外廓設施設計要點

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