

港灣海岸水工模型實驗移動床實驗相似

移動床實驗目的是了解波浪作用引起結構物基礎淘刷實驗、或預測漂砂移動致使海灘地形變動。波浪移動床漂砂相似律有下列力學條件

- 1) 漂砂臨界移動水深相似
- 2) 漂砂量相似
- 3) 海灘斷面形狀相似
- 4) 底質移動形態相似

另外必要滿足波浪條件、幾何學等相似。

- 1) 漂砂臨界移動水深相似

臨界移動水深以 h_i 表示，在水深 h_i 處的波高及波長以 H 及 L ，深海波值分別以 H_0 及 L_0 表示。不同學者提出各種不同公式，檢討地形變動直接影響時，可採用下列佐藤、田中公式 [埃及尼羅河之旅](#)

$$\frac{H}{L_0} = \left[0.4243 \frac{2}{\pi} \rho' \right]^{2/3} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{1/3} \sinh \frac{2\pi h_i}{L}$$

$$\rho' = \frac{\rho_d}{\rho} - 1$$

考量波折射效應，如[固定床實驗相似](#)，將波長 L_0 、 L 採用垂直縮尺時，上式的相似條件如下。

$$N_d = \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right) N_{\rho'}^{-2}$$

[載滿貨品的驢子](#)

d ：底質粒徑

ρ_d ：底質密度

ρ ：海水密度

N 為原型/模型的縮尺比， N_d 、 $N_{\rho'}$ 分別表示對 d 及 ρ' 的縮尺。

[阿拉丁神燈](#)

2) 漂砂量相似

漂砂量分成平行於灘線的沿岸漂砂量及垂直於灘線的離向岸漂砂量。

(1) 沿岸漂砂量相似

採用下列岩櫃、樁木的全沿岸漂砂量 Q_y 公式

$$Q_y = 673 \times M \times N \times (\sin 2\alpha_b)^{4/3} \times \cos \alpha_b \quad (\text{m}^3/\text{hr})$$

$$M = i^{4/3} d^{-1/2}$$

: 表示海岸特性

$$N = H_b^3 \left(\frac{H_b}{L_o} \right)^{2/3}$$

: 表示入射波特性

α_b : 碎波點處入射波角度

2011 埃及尼羅河之旅

i : 海底坡度

d : 底質粒徑

H_b : 碎波波高

相似條件如下。

$$N_{Q_y} = N_{\rho'}^{-3/2} N_d^{-1/2} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{-11/6} \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^{29/6}$$

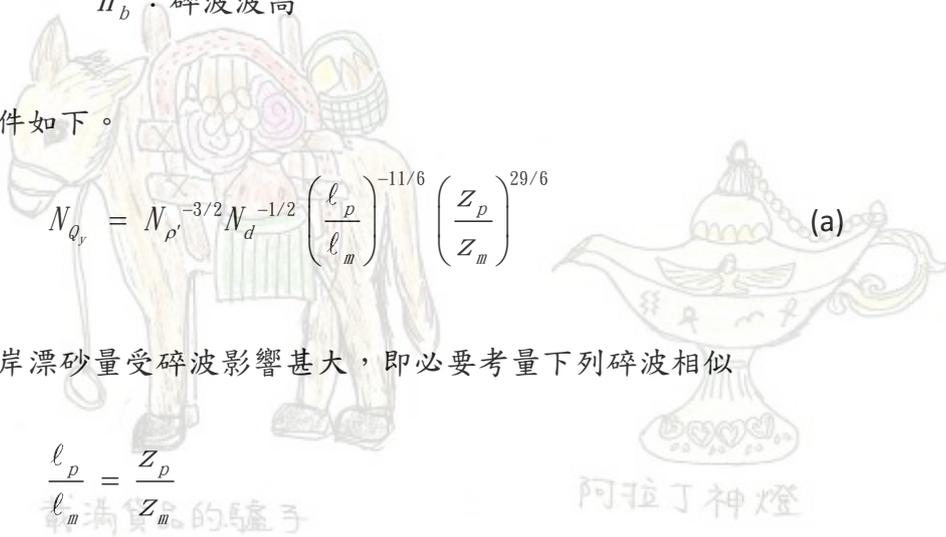
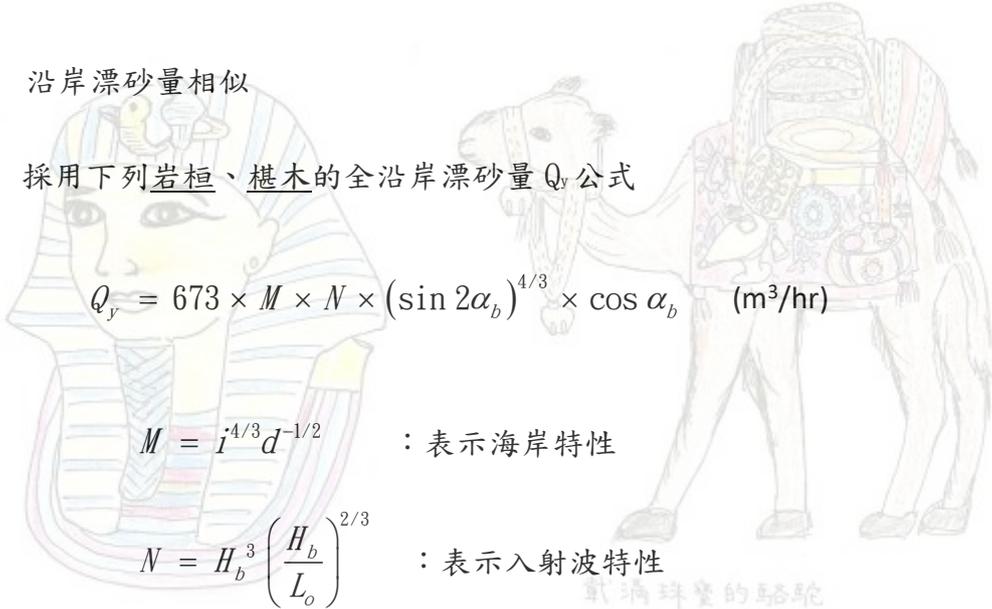
由於沿岸漂砂量受碎波影響甚大，即必要考量下列碎波相似

$$\frac{\ell_p}{\ell_m} = \frac{Z_p}{Z_m}$$

即

$$N_{Q_y} = N_{\rho'}^{-3/2} N_d^{-1/2} \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^3$$

單位寬度平均沿岸漂砂量以 \bar{q}_y 、漂砂帶寬以 B 、 $N_B = (\ell_p / \ell_m)$ 時



$$N_{\bar{q}_y} = N_{\rho'}^{-3/2} N_d^{-1/2} \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^2 \quad (b)$$

(2) 離向岸漂砂量相似

離向岸漂砂量尚無完整公式，石原、榎木利用岩櫃、榎木的全沿岸漂砂量 Q_y 公式說明離向岸漂砂量相似條件與沿岸漂砂量相似條件相同，即

$$N_{q_x} = N_{q_y}$$

(3) 漂砂量連續方程式相似

漂砂量連續方程式與地形變動量間有下列關係式

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_x}{\partial y} \right\}$$

2011 埃及尼羅河之旅

λ 為砂空隙率，若模型與原型的砂空隙率相同時

$$N_t^{-1} = N_{q_x} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{-1} \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^{-1} = N_{q_y} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{-1} \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^{-1} \quad (c)$$

即

$$N_{q_x} = N_{q_y}$$

3) 海灘斷面形狀相似

驗證海灘斷面形狀相似，必要檢討：

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

(1) 沿岸砂洲發生臨界

模型與原型必要屬相同形態的海灘，可利用沿岸砂洲發生臨界判斷屬於暴風海灘(侵蝕型)或正常海灘(堆積型)。

(2) 灘線前進後退臨界

利用下列尾崎、砂村對初期坡度 $\tan \theta$ 海灘推導出的灘線前進後退臨界公式判斷海灘前進或後退。

$$\left(\frac{H_o}{L_o}\right)^{0.96} \sqrt{gH_b} \times d^{-1.8} \tan \theta > 64 \quad \text{灘線後退}$$

$$< 64 \quad \text{灘線前進}$$

4) 底質移動形態相似

底質移動形態可依下式分成 3 個領域



$$\frac{u^*}{\omega_o} < 1 \quad \text{推移砂領域}$$



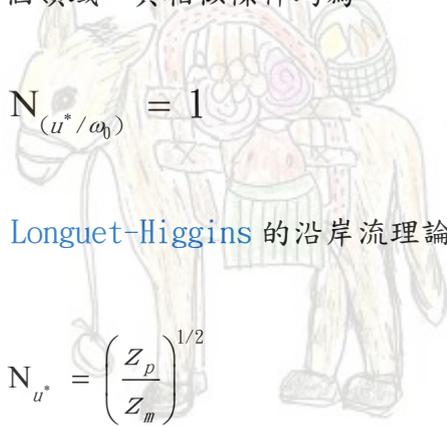
載滿珠寶的駱駝

$$1.0 < \frac{u^*}{\omega_o} < 1.7 \quad \text{躍動砂領域}$$

2011 埃及尼羅河之旅

$$1.7 < \frac{u^*}{\omega_o} \quad \text{浮遊砂領域}$$

不論那個領域，其相似條件均為



$$N_{(u^*/\omega_o)} = 1$$

若使用 Longuet-Higgins 的沿岸流理論，對紊流邊界層



阿拉丁神燈

$$N_{u^*} = \left(\frac{Z_p}{Z_m}\right)^{1/2}$$

載滿貨品的驢子

ω_o 是砂沉降速度，可依下式計算

$$\omega_o = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} \rho' d}$$

C_D : 砂阻力係數

$$C_D = K' / R_e^n$$

$$R_e = \frac{\omega_o d}{\nu}$$

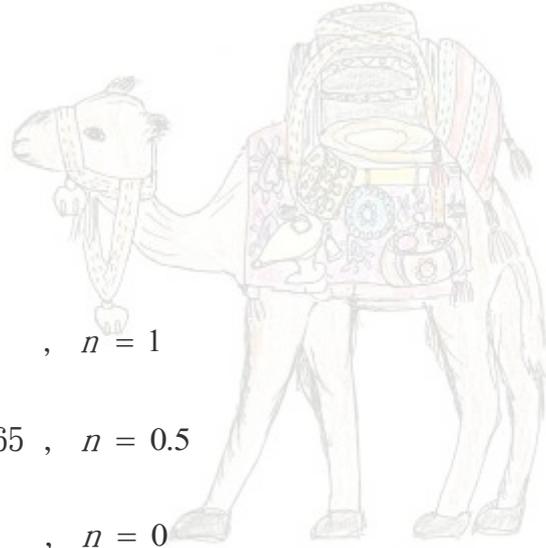
ν : 動黏性係數

K' 、 n 是依實驗取得的下列常數

$$R_e < 1 : K' = 24 \quad , \quad n = 1$$

$$1 < R_e < 10^3 : K' = 12.65 \quad , \quad n = 0.5$$

$$10^3 < R_e < 10^5 : K' = 0.4 \quad , \quad n = 0$$



載滿珠寶的駱駝

當現場與模型底質的 **粒子 Reynolds 數** 在相同範圍時，依下列可求得 ρ' 與 d 間的關係，相異時必要依 $C_D = K' / R_e^n$ ，個別求取 C_D 。

$$\left. \begin{aligned} R_e < 1 & : N_{\omega_o} = N_{\rho'} N_d^2 \\ 1 < R_e < 10^3 & : N_{\omega_o}^3 = N_{\rho'}^2 N_d^2 \\ 10^3 < R_e < 10^5 & : N_{\omega_o}^2 = N_{\rho'} N_d \end{aligned} \right\}$$

u^* 是摩擦係數，紊流邊界層時可依下式計算

$$(u^*)^2 = f_x (u_{b \max})^2$$

載滿寶品的驢子

(d)



阿拉丁神燈

$u_{b \max}$ 是底面水粒子最大速度， f_x 是與灘線呈垂直方向流引起摩擦係數，可依下式計算。

$$f_x = \frac{1}{2} f_w$$

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log \frac{1}{4\sqrt{f_w}} = -0.08 + \log \frac{a_m}{k_e}$$

K_e 是對應粗度，約為砂漣波高的 3 倍， a_m 是底面水粒子最大速度振幅

$$a_m = \frac{H}{2} \left(\sinh \frac{2\pi h}{L} \right)^{-1}$$

底質相似條件如上述，無法全部滿足，只能選定影響海灘地形變動最大者決定相似率，目前何者影響海灘地形變動最大尚無定論。原則考量底質輕質化、移動形態、漂砂量等的相似條件，即依下列順序決定。

- ① 依(d)式求出模型 ρ' 與 d 間的關係。
- ② 依(a)、(b)式決定 ρ' 與 d 。
- ③ 依(c)式求出地形變動時間相似條件。
- ④ 依①~③條件檢討沿岸砂洲發生條件、是否滿足灘線前進後退條件。



載滿貨品的驢子

回港灣海岸水工模型實驗



阿拉丁神燈