

港灣海岸水工模型實驗歪比模型與輕質底質

移動床漂砂實驗是探討流體運動、海底底質及海底地形等交互作用起因的複雜現象。流體運動除波浪本身的繞射、折射及淺化等現象外，並包含波浪引起的沿岸流，沿岸流是影響漂砂活動重要因素之一。移動床漂砂實驗必要對延長 10 數公里的海灘線進行才會得到有意義結果，然而實驗水槽規模有限，因此不得已必要將模型縮尺採用歪比，即平面與水深採用不同的幾何學縮尺。

1. 輕質底質

歪比模型，首先要依移動床實驗相似所述相似條件，決定模型的 ρ' ($= \rho_s / \rho - 1$) 與 d ， ρ_s 、 ρ 分別為底質與流體的密度。使漂砂移動形態相似的必要條件為

$$\frac{\omega_{op}}{\omega_{om}} = \frac{U_p^*}{U_m^*}$$

因 u^* 具有速度因次，依固定床實驗相似得

$$\frac{\omega_{op}}{\omega_{om}} = \left(\frac{\ell_p}{\ell_m} \right)^{1/2}$$

若令

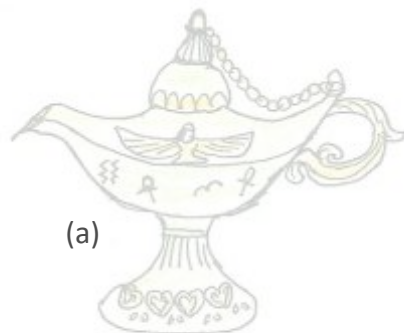
$$\frac{\ell_p}{\ell_m} = \frac{Z_p}{Z_m}$$

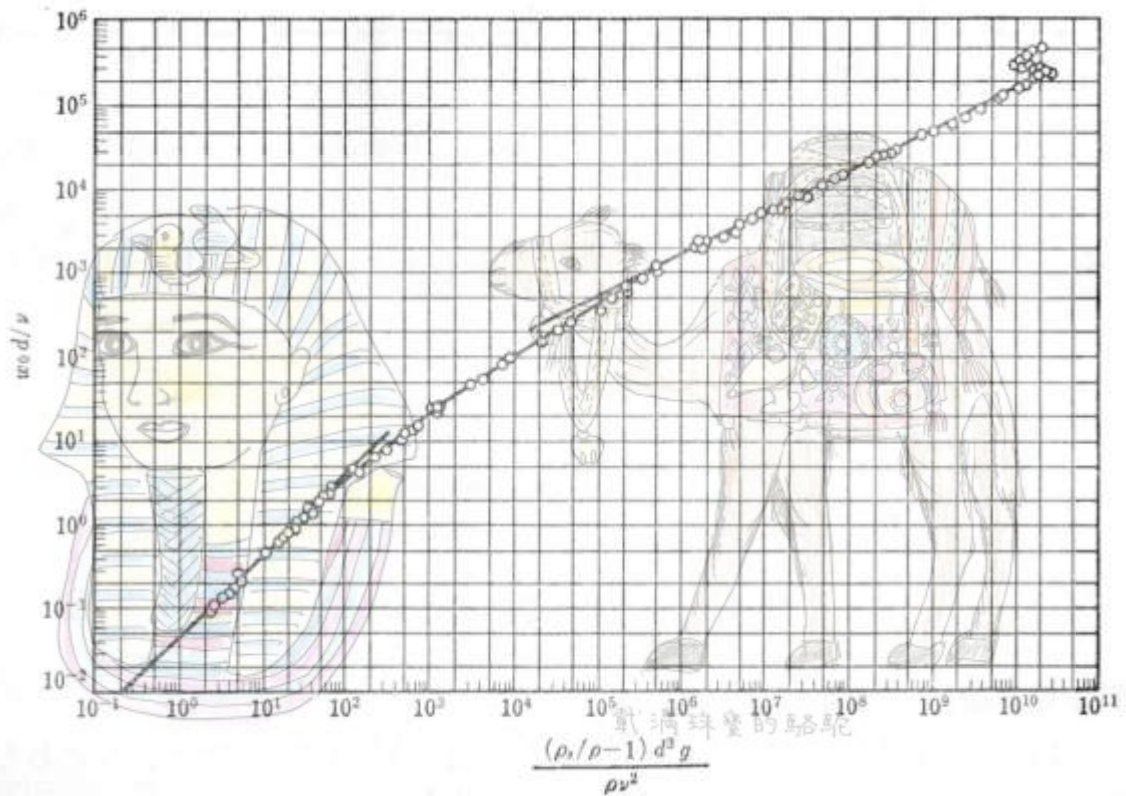
即

$$\frac{\omega_{op}}{\omega_{om}} = \left(\frac{Z_p}{Z_m} \right)^{1/2}$$

沈降速度 ω_o ，Yalin 利用多數實驗得到下圖所示 ρ' 與 d 的關係式， ν 為流體動黏性係數。

載滿珠寶的駱駝





將上圖所示關係以下列近式表示

2011 埃及尼羅河之旅

$$y = 0.05X^{(-0.0126 \ln x + 0.939)} \quad (b)$$

$$y = \frac{\omega_0 d}{v}$$

$$x = \frac{(\rho_s / \rho - 1) d^3 g}{\rho v^2}$$

原型底質平均粒徑 d_p 為 0.5cm 時，依上圖可知底質沈降速度 $\omega_{op}=44\text{cm/sec}$ ，

若模型幾何學縮尺 $\ell_m/\ell_p=1/30$ 時，依(a)式得 $\omega_{om} \doteq 8\text{cm/sec}$ ，再依上圖得模型底質平均粒徑 $d_m=0.05\text{cm}$ ，即粒徑縮尺 $d_m/d_p=1/10$ ，可知粒徑縮尺與幾何學縮尺並不相同。

為使底質更加容易移動，可使用比重較輕的煤炭粉(coke，密度為 $1.8 \sim 1.95\text{g/cm}^3$)或合成樹脂粉(bakelite，密度為 $1.3 \sim 1.4\text{g/cm}^3$)作為模型底質，依過往學者經驗，使用輕質底質時，灘線會有比使用砂粒時更容易前進、碎波點至岸側間海灘坡度會有變陡峭的趨勢。

一般構成海灘的底質為無內部黏性的非黏著性砂，模型底質粒徑多小時會出現剪力特性的黏著性，尚無定論，通常以不小於 0.01cm 為宜。

2. 歪比模型

移動床漂砂實驗必要以廣範圍領域為對象，為將之重現於有限水槽，必要採用小比例縮尺，通常固定床遮蔽實驗採用大於 1/100 以上縮尺，移動床漂砂實驗則必要視水槽模型、實驗範圍及實驗條件而定，以縮尺 1/250 為宜，實際上小於 1/300 者亦不為奇。依此縮尺，水深淺、波高小無法移動底質，必要增大垂直縮尺，將波高增大以利底質移動，即所謂「歪比模型」，海底坡度變陡，幾何學相似不存在，會引發移動床實驗相似所述各項問題。

① 海底坡度

歪比模型致使模型海底坡度變陡，Paul 利用實驗發現，初期海底坡度變陡會使灘線前進變少，碎波點至岸側海底坡度會有變緩趨勢，無法保持海灘斷面的相似性。上述模型底質輕質化剛好呈與歪比模型相反趨勢，因此將二者適切組合，可能會得到適宜的地形重現。由於尚無定量評估，可利用斷面移動床實驗作為前置實驗，利用試錯法覓出歪比。本歪比模型實驗結果是綜合平面縮尺及垂直縮尺的結果，因此不可將模型灘線的前進後退量直接乘以平面縮尺換算成原型的灘線移動量。

2011 埃及尼羅河之旅

② 斷面漂砂前置實驗

佐藤依下列程序進行實驗

- i. 斷面實驗水平縮尺採用與平面水槽預定採用的平面縮尺。
- ii. 將歪比做 1:2, 1:3, ... 變化，以模型與原型的移動臨界水深比與垂直縮尺一致的條件的波高作用，覓出最接近原型的碎波點及海灘斷面時的縮尺，作為歪比。
- iii. 依現場波高實測值的能量流束總和作為代表波高，即

$$\sum_{i=1}^n C_{gi} H_i^2 p_i = H_s C_{gs} P$$

C_{gi} ：實測波群速度

H_i ：實測波波高

p_i ：發生頻率

H_s ：模型使用代表波波高

C_{gs} ：模型使用代表波群速度

P ：發生頻率總和



阿拉丁神燈

估算模型使用代表波時所需代表波週期 T_s ，考量實測波週期 T_i 的發生頻率 p_i ，以下式計算

$$T_s = \frac{\sum_{i=1}^n p_i T_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

估算模型使用代表波高，佐藤首先依下列公式計算漂砂完全臨界移動水深 h_c

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.4 \left(\frac{d}{L_0} \right)^{1/3} \left(\sinh \frac{2\pi h_c}{L} \right) \left(\frac{H_0}{H} \right) \quad (c)$$

再覓出原型與模型的砂臨界移動水深比，選定該比與垂直縮尺一致時的波高，作為模型波波高。若波長亦採用垂直縮尺，又令

$$\frac{Z_m}{Z_p} = \frac{1}{\mu}$$

2011 埃及尼羅河之旅

得

$$h_{cp} = \mu h_{cm}$$

$$L_p = \mu L_m$$

將上式代入(c)式得

$$\left(\frac{H_p}{H_m} \right) = \left(\frac{d_p}{d_m} \right)^{1/3} \left(\frac{1}{\mu} \right)^{1/3} \times \mu \quad (d)$$

上式，給予模型平均粒徑 d_m ，即可決定模型波高 H_m ，此模型波高會大於利用 Froude 法則求得的波高，模型波形尖銳度會陡於原型波形尖銳度。

本方法除考量漂砂臨界移動水深相似外，依(d)式決定 d_b/d_m 時，引用(a)式關係，即可考量底質移動形態的相似性。

回港灣海岸水工模型實驗