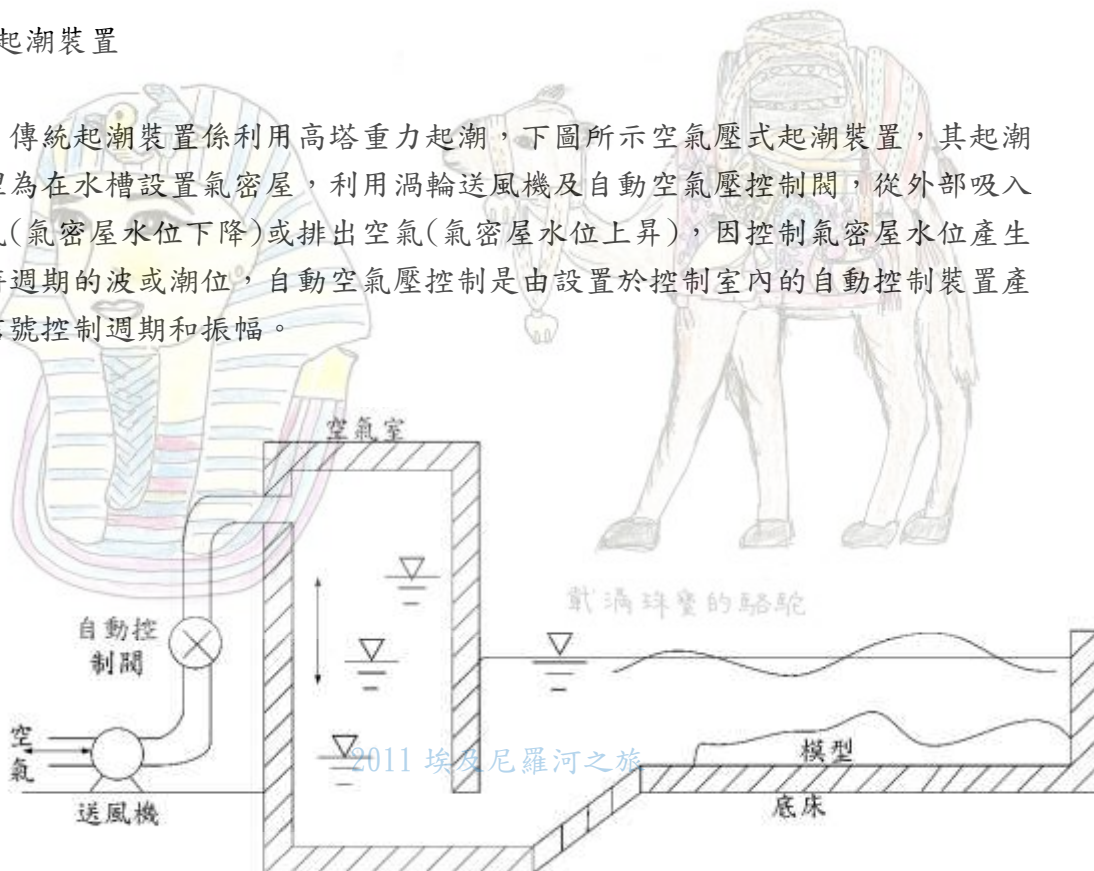


# 港灣海岸水工模型潮汐實驗

## 1. 起潮裝置

傳統起潮裝置係利用高塔重力起潮，下圖所示空氣壓式起潮裝置，其起潮原理為在水槽設置氣密屋，利用渦輪送風機及自動空氣壓控制閥，從外部吸入空氣(氣密屋水位下降)或排出空氣(氣密屋水位上升)，因控制氣密屋水位產生期待週期的波或潮位，自動空氣壓控制是由設置於控制室內的自動控制裝置產生信號控制週期和振幅。



## 2. 潮流實驗相似

數值分析潮流平面變化時，會將黏性非壓縮性流體 Navier-Stokes 運動方程式及連續方程式，從海底至海面進行積分，求得下列對水位變動量  $\eta$ 、斷面平均流速  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$  的 2 維平面流方程式，作為控制方程式進行解析，暴潮計算亦使用同樣公式。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [\bar{u}h] + \frac{\partial}{\partial y} [\bar{v}h] = 0$$

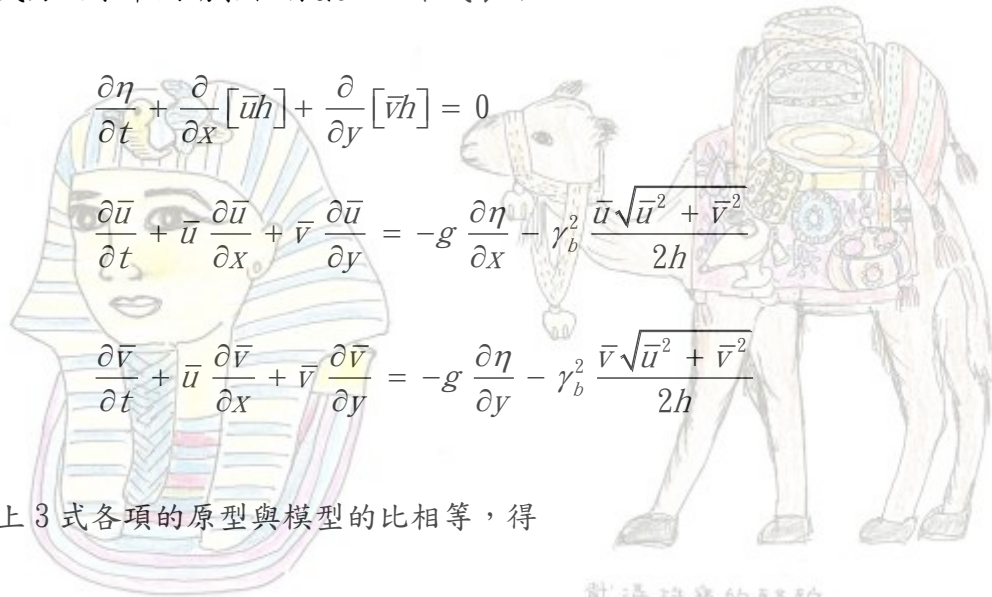
$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = f\bar{v} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma_b^2 \frac{\bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{(\eta + h)} + L \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = f\bar{u} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma_b^2 \frac{\bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{(\eta + h)} + L \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right)$$

式中， $f$  為柯氏力、 $\gamma_b^2$  為海底摩擦係數、 $L$  為水平渦動黏性係數。通常可忽略柯氏力及水平渦動黏性係數，以下式表示

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [\bar{u}h] + \frac{\partial}{\partial y} [\bar{v}h] = 0$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma_b^2 \frac{\bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{2h}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma_b^2 \frac{\bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{2h}$$


戴滿珠寶的駱駝

將上 3 式各項的原型與模型的比相等，得


$$\frac{\bar{u}_p}{\bar{u}_m} = \frac{\bar{v}_p}{\bar{v}_m} = \left( \frac{Z_p}{Z_m} \right)^{1/2}$$

$$\frac{t_p}{t_m} = \left( \frac{\ell_p}{\ell_m} \right) / \left( \frac{Z_p}{Z_m} \right)^{1/2}$$

2011 埃及尼羅河之旅

$$\frac{(\gamma_b^2)_p}{(\gamma_b^2)_m} = \left( \frac{Z_p}{Z_m} \right) / \left( \frac{\ell_p}{\ell_m} \right)$$

式中， $\ell_p / \ell_m$  為水平縮尺 =  $x_p / x_m = y_p / y_m$ ，由於無水平縮尺必要與垂直縮尺相同的限制，故可採用歪比。流量縮尺如下

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \left( \frac{Z_p}{Z_m} \right)^{3/2} \left( \frac{\ell_p}{\ell_m} \right)$$


阿拉丁神燈

海底摩擦係數通常為 Reynolds 數的函數是個棘手問題，潮流是以流速 0 為基準作週期變化，即 Reynolds 數隨時變化，海底摩擦係數亦隨之時時刻刻發生變化，樋口以最大流速作為模型的代表流速，將模型流速分成層流及紊流 2 種

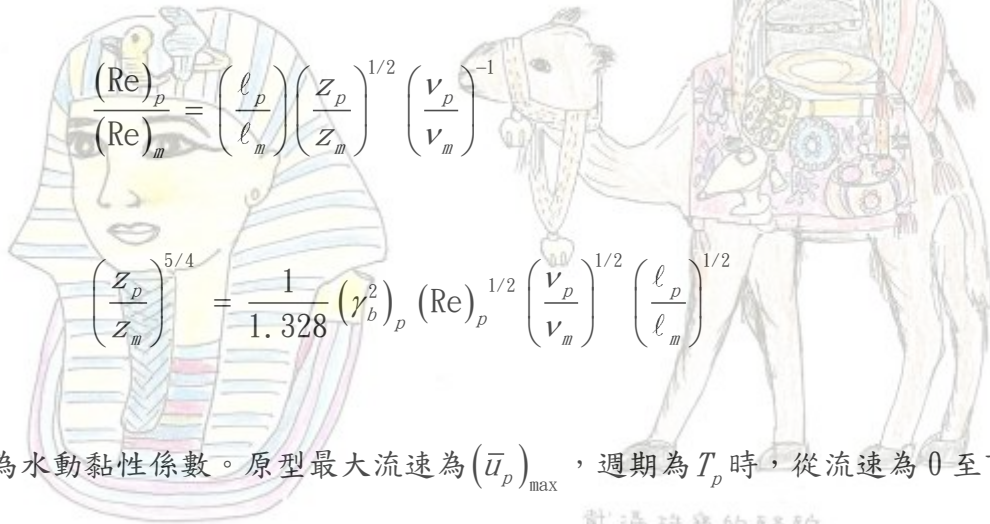
狀況，層流時模型海底摩擦係數 $(\gamma_b^2)_m$ 可依下式。

$$(\gamma_b^2)_m = \frac{1.328}{(\text{Re})_m} \quad , \quad (\text{Re})_m < 10^5$$

依上述相似關係，得原型與模型的 Reynolds 數有下列關係。

即

$$\frac{(\text{Re})_p}{(\text{Re})_m} = \left(\frac{\ell_p}{\ell_m}\right) \left(\frac{Z_p}{Z_m}\right)^{1/2} \left(\frac{v_p}{v_m}\right)^{-1}$$

$$\left(\frac{Z_p}{Z_m}\right)^{5/4} = \frac{1}{1.328} (\gamma_b^2)_p (\text{Re})_p^{1/2} \left(\frac{v_p}{v_m}\right)^{1/2} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m}\right)^{1/2}$$


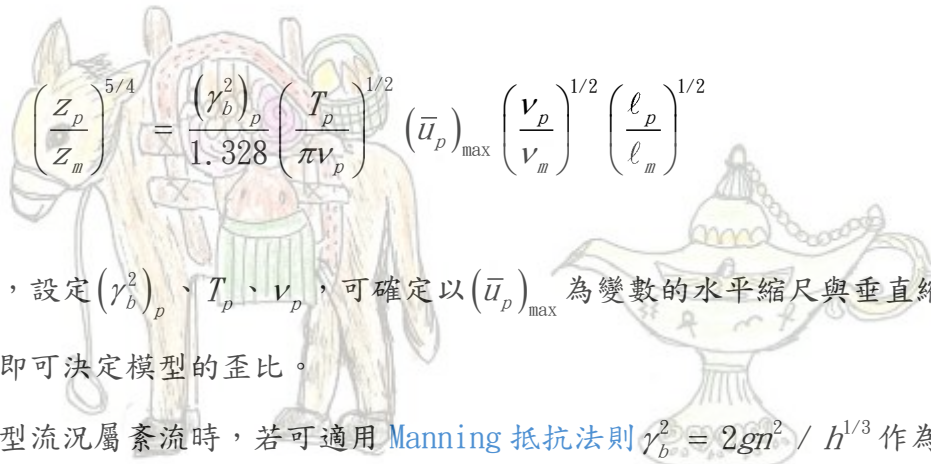
$\nu$  為水動黏性係數。原型最大流速為  $(\bar{u}_p)_{\max}$ ，週期為  $T_p$  時，從流速為 0 至下一個流速為 0 間流下距離視為最大流動距離  $L_p$ ，則

$$L_p = \frac{1}{\pi} (\bar{u}_p)_{\max} T_p \quad \text{2011 埃及尼羅河之旅}$$

即

$$(\text{Re})_p = (T_p / \pi \nu_p) (\bar{u}_p)_{\max}^2$$

得

$$\left(\frac{Z_p}{Z_m}\right)^{5/4} = \frac{(\gamma_b^2)_p}{1.328} \left(\frac{T_p}{\pi \nu_p}\right)^{1/2} (\bar{u}_p)_{\max} \left(\frac{v_p}{v_m}\right)^{1/2} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m}\right)^{1/2}$$


上式中，設定  $(\gamma_b^2)_p$ 、 $T_p$ 、 $\nu_p$ ，可確定以  $(\bar{u}_p)_{\max}$  為變數的水平縮尺與垂直縮尺的比，即可決定模型的歪比。

模型流況屬紊流時，若可適用 Manning 抵抗法則  $\gamma_b^2 = 2gn^2 / h^{1/3}$  作為抵抗法則時，Manning 粗度係數  $n$  的比可依下式計算。

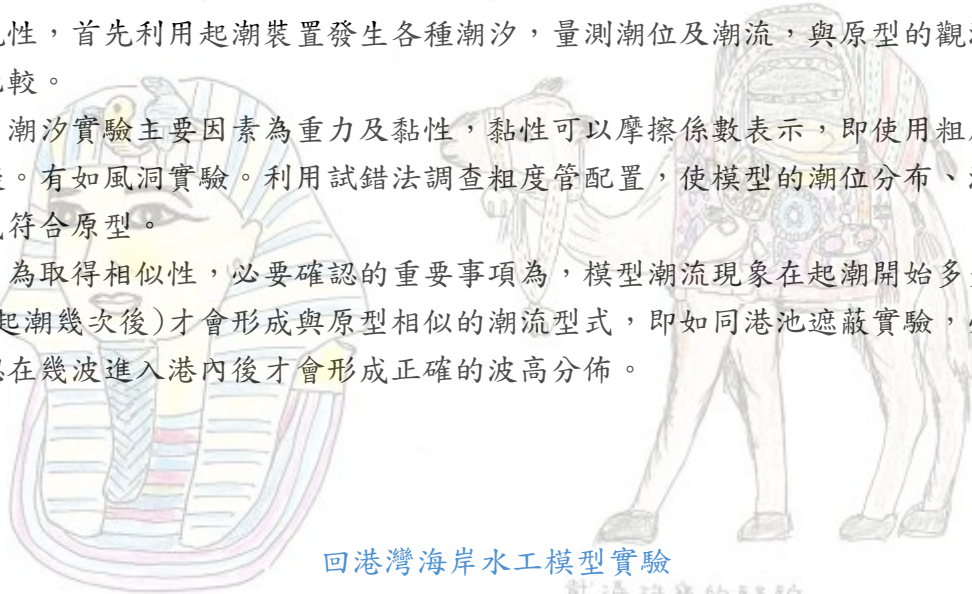
$$\frac{n_p}{n_m} = \left(\frac{Z_p}{Z_m}\right)^{3/2} \left(\frac{\ell_p}{\ell_m}\right)^{1/2}$$

### 3. 預備實驗

如同漂砂動床實驗，必要進行預備實驗確定模型相似性，以期獲得可靠的重現性，首先利用起潮裝置發生各種潮汐，量測潮位及潮流，與原型的觀測結果比較。

潮汐實驗主要因素為重力及黏性，黏性可以摩擦係數表示，即使用粗度管模擬。有如風洞實驗。利用試錯法調查粗度管配置，使模型的潮位分布、潮流型式符合原型。

為取得相似性，必要確認的重要事項為，模型潮流現象在起潮開始多少時間(起潮幾次後)才會形成與原型相似的潮流型式，即如同港池遮蔽實驗，必要確認在幾波進入港內後才會形成正確的波高分佈。



回港灣海岸水工模型實驗

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