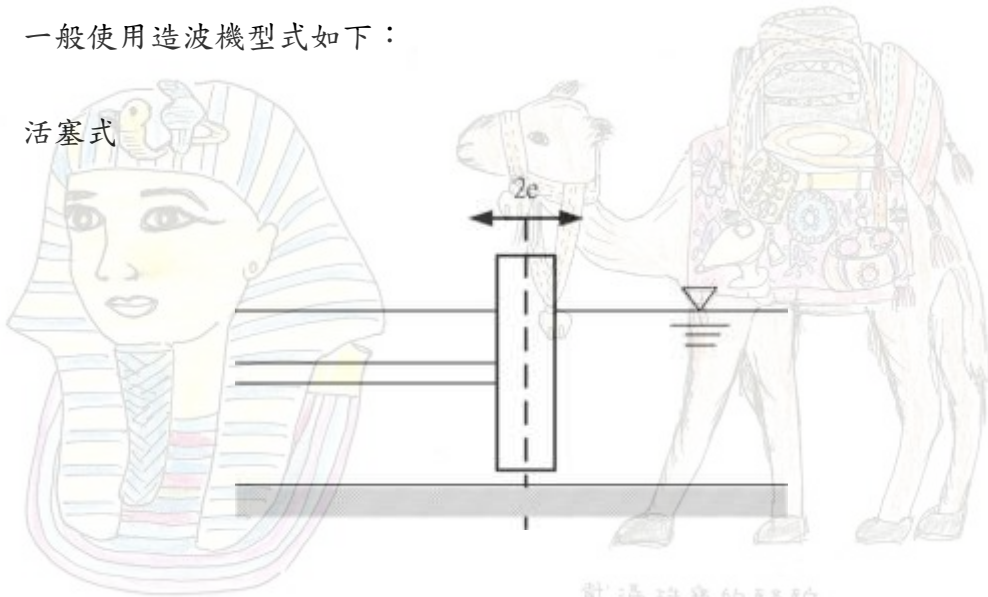


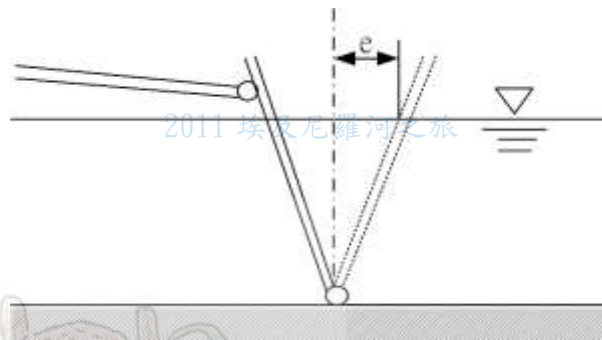
港灣海岸水工模型實驗造波裝置

一般使用造波機型式如下：

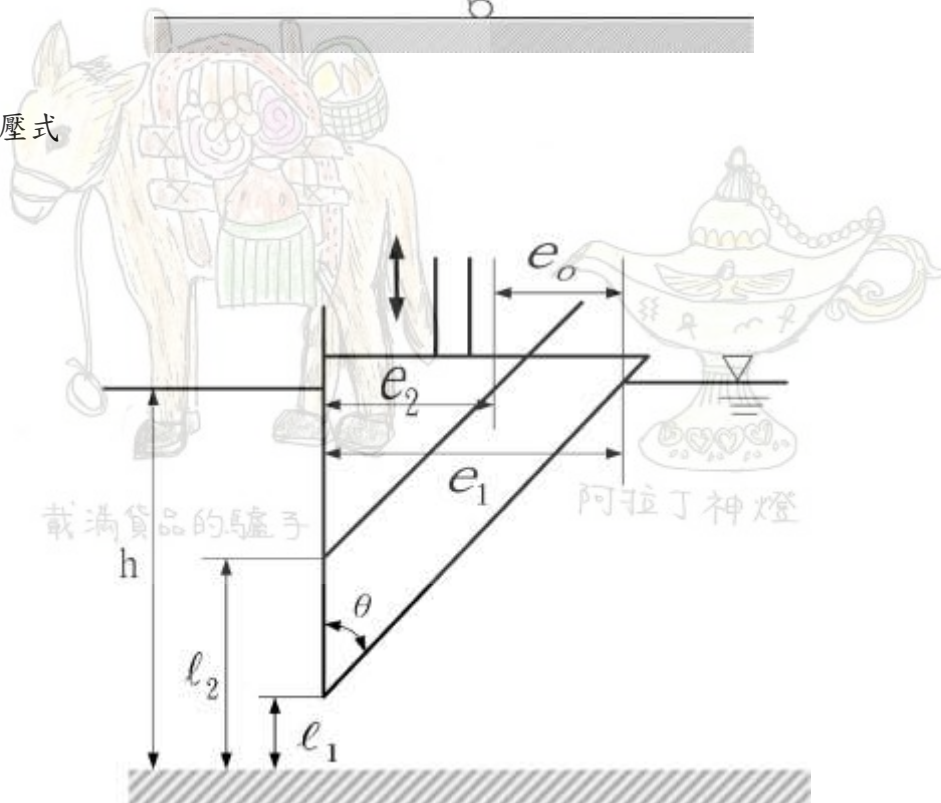
① 活塞式



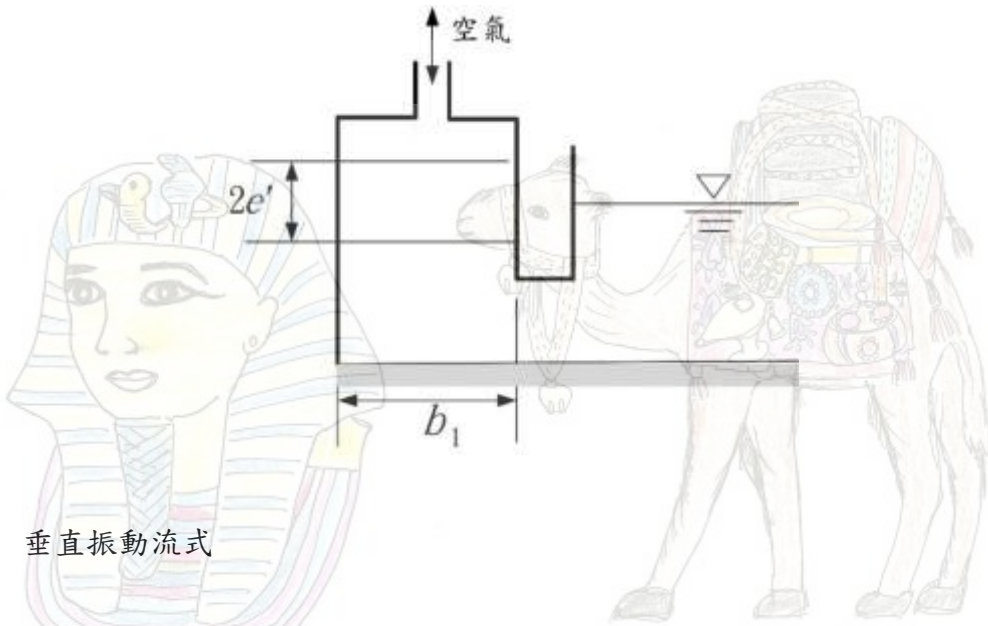
② 拍拉式



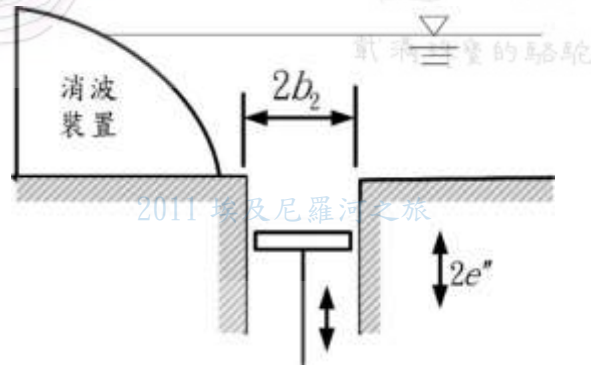
③ 柱壓式



④ 氣壓式



⑤ 垂直振動流式



1. 單方向造波裝置

1) 規則波

① 活塞式

活塞式造波機發生波高 H，可依下式求得

$$\frac{H}{2e} = 4 \frac{\sinh^2 kh}{\sinh 2kh + 2kh}$$

e：造波板半振幅

$$k = 2\pi / L$$

活塞式造波機驅動馬達必要馬力數(HP)，可依下式求得



阿拉丁神燈

$$W_{\max} = \frac{6.67BH^2L}{\eta T} \left(\frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh 2kh} \right)$$

B：水槽寬度

L：波長

η ：機械效率(約為 0.7)

② 拍拉式

拍拉式造波機發生波高 H，可依下式求得，e 為造波板振幅

$$\frac{H}{2e} = 4 \frac{\sinh kh}{kh} \frac{(1 - \cosh kh + kh \sinh kh)}{\sinh 2kh + 2kh}$$

拍拉式造波機驅動馬達必要馬力數(HP)，可依下式求得

$$W_{\max} = \frac{6.67BH^2L}{\eta T} \left(\frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh 2kh} \right)$$

③ 柱壓式

柱壓式造波機發生波高 H，可依下式求得

$$\frac{H}{2e_o} = 1.63 \left[\frac{kh \sinh kh - \tan \theta \frac{h}{e_o} (\cos kl_2 - \cos kl_1)}{\sinh 2kh + 2kh} \right]$$

$$e_o = l_1 - l_2$$

④ 氣壓式

氣壓式造波機發生波高 H，可依下式求得

$$\frac{H}{2e'} = \frac{2\pi b_1}{L}$$

⑤ 垂直振動流式

垂直振動流式造波機發生波高 H ，可依下式求得

$$\frac{H}{2e''} = \frac{4 \sinh kh \sin kb_2}{\sinh 2kh + 2kh}$$

垂直振動流式造波機驅動馬達必要馬力數(HP)，可依下式求得

$$W_{\max} = \frac{1}{8} \frac{BH^2L}{\eta T} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

2) 活塞式造波裝置的造波運動速度

① 簡谐波

簡谐波造波板運動速度 $U(t)$ 為

$$U(t) = \zeta_0 \sigma \frac{\sinh kh \cosh kh + kh}{2 \sinh^2 kh} \sin \sigma t$$

ζ_0 為造波振幅， $\sigma (= 2\pi/T)$ 為造波角週頻率， T 為造波週期， k 為波數。

② 孤立波

模擬孤立波時，根據 Boussinesq 理論，造波板運動速度 $U(t)$ 可依下式。

$$U(t) = x_0 \omega \operatorname{sech}^2(t - t_c)$$

載滿貨品的驢子

$$x_0 = h_0 \sqrt{\frac{4H_0}{3(H_0 + h_0)}}$$

載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅

阿拉丁神燈

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{h_o}} \sqrt{\frac{3H_o}{4h_o} \left(1 + \frac{H_o}{h_o}\right)}$$

$$t_c = \pi / \omega$$

x_o 為造波板的半衝程(semistroke)， H_o 為欲造波的孤立波波高， h_o 為造波水槽水深， ω 為特徵角頻率(characteristic angular frequency)， t_c 為特徵時間(characteristic time)。

③ 不規則波

模擬造波波譜為 $S(f)$ 時，造波板運動速度 $U(t)$ 為

$$U(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2df S(f_n)} \sigma_n \cos(\sigma_n t - \varepsilon_n)$$

其中 $\sigma_n = 2\pi f_n$ ， ε_n 為界於 0 與 2π 間之隨機變數。

① Brestschneider 波譜 2011 埃及尼羅河之旅

$$S(f) = 0.430 \bar{H}^2 \bar{T}^{-4} f^{-5} \exp(-0.675 \bar{T}^{-4} f^{-4})$$

② Brestschneider-Mitsuyasu 波譜

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 / T_{1/3}^4 f^{-5} \exp(-1.03 T_{1/3}^{-4} f^{-4})$$

$H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 為欲模擬造波波譜的有義波高及週期。

③ JONSWAP 波譜

$$S(f) = \alpha (2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[-\left(\frac{f}{f_p} - 1 \right)^2 / 2\sigma^2 \right]}$$

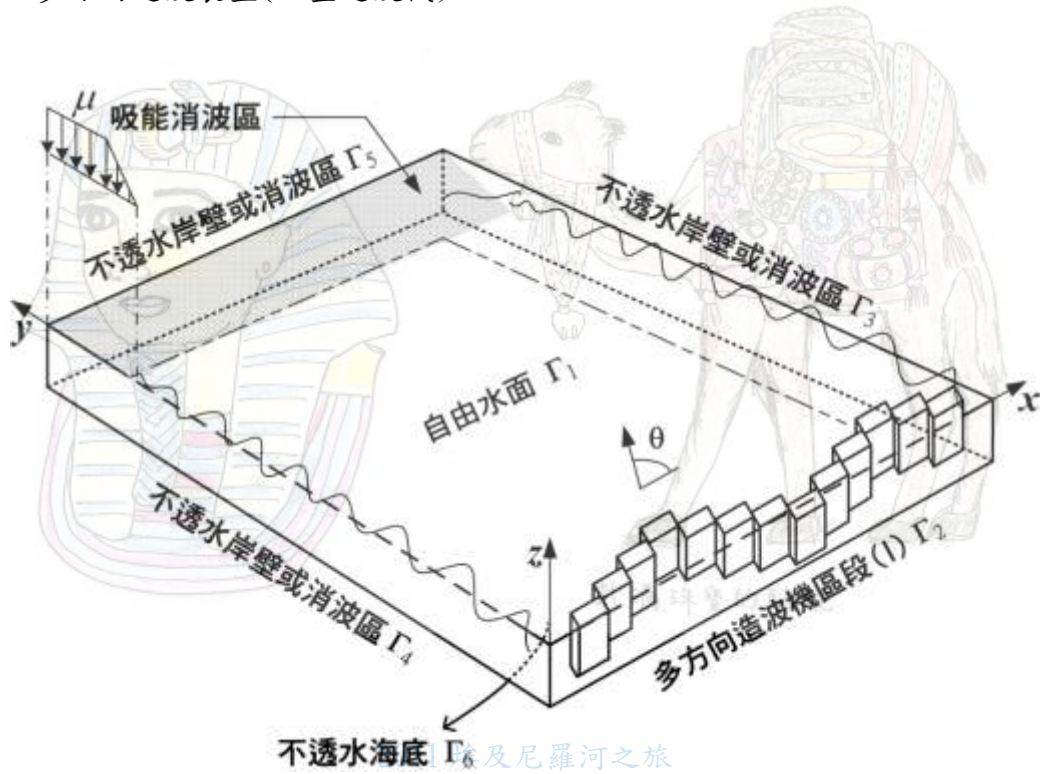
$$\begin{cases} \sigma = 0.07 & f \leq f_p \\ \sigma = 0.09 & f > f_p \end{cases}$$

$$\alpha \approx 0.081$$

$$\gamma \approx 3.3$$

f_p 為頂點頻率

2. 多方向造波裝置(蛇型造波機)



直線型活塞式造波板蛇型造波機如上圖，N 片活塞式造波板蛇型造波板的運動速度 $U(j, t)$, ($j=1, 2, \dots, N$)如下：

① 簡諧波

$$U(j, t) = a\alpha\sigma \sin(\sigma t - kjw_B \cos \theta_B)$$

$$\alpha = \frac{\sinh kh \cosh kh + kh}{2 \sinh^2 kh}$$

θ_B = 造波方向(以 x 軸為基準)

a = 造波振幅

α = θ_B 板修正係數

σ = 造波角頻率(= $2\pi/T$, T = 造波週期)

k = 造波波數

h = 造波水深

w_B = 每塊造波板寬度

② 短峰波

$$U(j,t) = a_1 \alpha_1 \sigma_1 \sin[\sigma_1 t - k_1(jw_B) \cos \theta_{B1}]$$

$$+ a_2 \alpha_2 \sigma_2 \sin[\sigma_2 t - k_2(jw_B) \cos \theta_{B2}]$$

θ_{B1}, θ_{B2} = 造波方向(以 X 軸為基準逆時針為正)

a_1, a_2 = 造波振幅

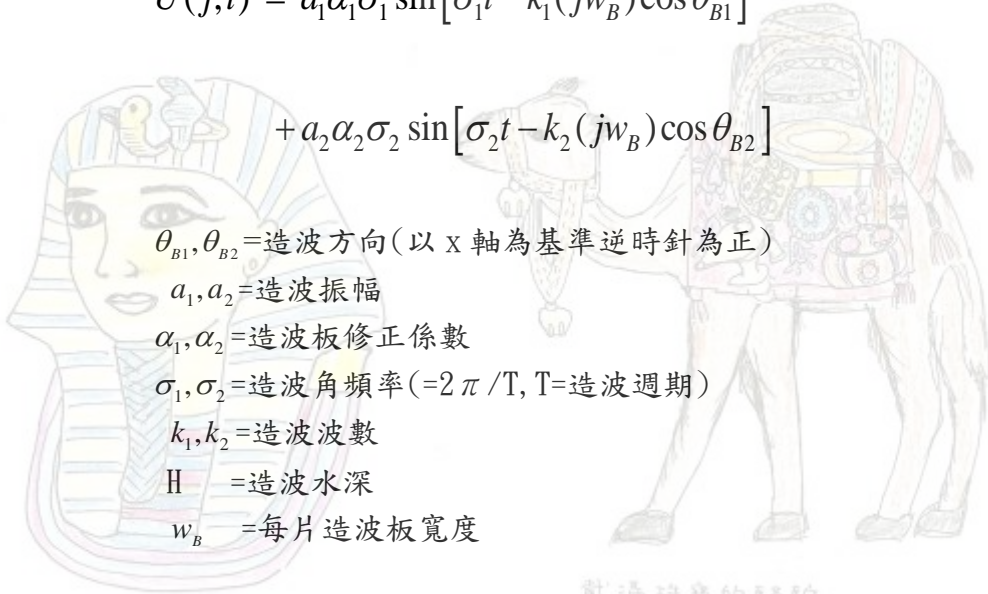
α_1, α_2 = 造波板修正係數

σ_1, σ_2 = 造波角頻率(= $2\pi/T$, T=造波週期)

k_1, k_2 = 造波波數

H = 造波水深

w_B = 每片造波板寬度



載滿珠寶的駱駝

③ 孤立波

$$U(j,t) = x_0 \omega \operatorname{sech}^2 \omega(t - t_c - jw_B \cos \theta_B)$$

2011 埃及尼羅河之旅

$$x_0 = h_0 \sqrt{\frac{4H_0}{3(H_0 + h_0)}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{h_0}} \sqrt{\frac{3H_0}{4h_0} \left(1 + \frac{H_0}{h_0}\right)}$$

$$t_c = \pi/\omega$$

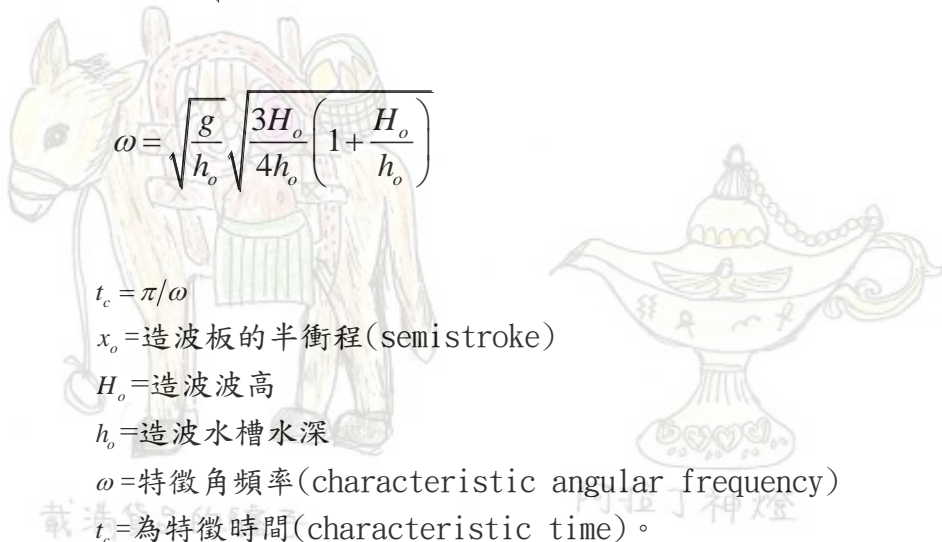
x_0 = 造波板的半衝程(semistroke)

H_0 = 造波波高

h_0 = 造波水槽水深

ω = 特徵角頻率(characteristic angular frequency)

t_c = 為特徵時間(characteristic time)。



載滿寶物的神燈

④ 單方向不規則波

模擬造波波譜為 $S(f)$ 時，造波板運動速度 $U(j, t)$ 為

$$U(j,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2df S(f_n)} \sigma_n \cos[\sigma_n t - k_n(jw_B) \cos \theta_B - \varepsilon_n]$$

$$\sigma_n = 2\pi f_n$$

k_n = 造波波數

ε_n = 界於 0 與 2π 間之隨機變數。

① Brestschneider 波譜

$$S(f) = 0.430 H^2 T^{-4} f^{-5} \exp(-0.675 T^{-4} f^{-4})$$

② Brestschneider-Mitsuyasu 波譜

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 / T_{1/3}^4 f^{-5} \exp(-1.03 T_{1/3}^{-4} f^{-4})$$

$H_{1/3}$ 及 $T_{1/3}$ 為欲模擬造波波譜的有義波高及週期。

③ JONSWAP 波譜

$$S(f) = \alpha (2\pi)^{-4} g^2 f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma \exp\left[-\left(\frac{f}{f_p} - 1\right)^2 / 2\sigma^2\right]$$

$$\begin{cases} \sigma = 0.07 & f \leq f_p \\ \sigma = 0.09 & f > f_p \end{cases}$$

$$\alpha \approx 0.081$$

$$\gamma \approx 3.3$$

f_p = 頂點頻率

④ 多方向不規則波

模擬造波頻率波譜為 $S(f)$ ，能量方向分佈函數 $h(\theta, f)$ 為

$$h(\theta, f) = \left[\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cos^{2S} \left(\frac{\theta}{2} \right) d\theta \right]^{-1} \cos^{2S} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$= \left[\frac{1}{\pi} 2^{2S-1} \frac{\Gamma^2(S+1)}{\Gamma(2S+1)} \right] \cos^{2S} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$S = \begin{cases} S_{\max} (f/f_p)^5 & f \leq f_p \\ S_{\max} (f/f_p)^{-2.5} & f > f_p \end{cases}$$

$$\begin{cases} f \leq f_p \\ f > f_p \end{cases}$$

S 為方向集中度參數， S_{\max} 表示波浪方向分佈最大集中度， f_p 為波譜頂點頻率。

- $S_{\max} = 10$, 風波
- $= 25$, 衰減距離較短的湧浪
- $= 75$, 衰減距離較長的湧浪

造波板運動速度 $U(j, t)$ 為

2011 埃及尼羅河之旅

$$U(j, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2df S(f_n)} \sigma_n \cos \left[\sigma_n t - k_n(jw_B) \cos \theta_{f_n} - \varepsilon_n \right]$$

$$\theta_{f_n} = h(\theta, f_n)$$

回港灣海岸水工模型實驗



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈