

# 海洋箱網養殖消波設施消波特性之研究

周宗仁\* 韓文育\*\*

## 摘 要

本文利用等能量波譜分割法、邊界元素法及線形疊加原理解析不規則波作用於固定沒水水平板及半潛式固定浮體所引起之波浪透過問題，藉以探討該二種構造物當作海洋箱網養殖用消波設施之消波特性。

數值方法首先將不規則入射波的週頻率波譜以等能量方式分割，計算出代表各成分波的週頻率，其次將成分波視為微小振幅波，利用邊界元素法計算出各成分波作用於各種結構物引起的透過率，然後以線形疊加原理計算出不規則波作用時的透過率。

結果發現固定沒水水平板對某些特定較長週期波具良好消波效果；半潛式固定浮體對短週期波具有良好的消波效果。

## 一、前 言

台灣四面環海，舉凡經濟、生產、遊憩等活動均與海洋有密切關係，此可由對外貿易仰賴海運、漁業為重要基礎產業及解嚴後多處海濱急速發展為遊憩中心獲得證明。在漁業方面，政府為避免內陸養殖超抽地下水引起地層下陷問題繼續惡化，近年來大力推展並進行海洋養殖及栽培漁業，如何以最經濟有效的方式營造良好海洋養殖漁業環境，實為當前海洋工程界另一重要課題；過去圍築海洋牧場之構造物如離岸堤、防波堤等，傳統上均是由海底向上構築以求阻絕波浪於外海，但該等構物阻斷海岸漂沙，極易破壞原有海岸之平衡，造成沿岸大量的侵蝕或堆積，嚴重影響國土保安及人民生命財產安全；又易阻斷海水流通交換，造成堤後水質劣化；且若堤體設置於大水深處，為確保安全，其斷面必須相當大，以致單位建設經費相對大幅提高。

利用固定沒水水平板及半潛式固定浮體作為消波構造物，其研究基礎係導源於波分裂現象，井島等(1970)(1971)以領域分割法，在微小振幅波理論下，推導垂直岸壁前靜水面處水平板及不透水固定潛堤所引起之波浪透過反射情形、波形變化及波壓分布理論解。周、湯(1983)將平板壓波方法實際應用在國內核二廠進水口的防波工程，獲得良好結果。周、翁、井島(1987)以邊界元素法(Boundary Element Method)進行有限振幅波對潛水固定水平板引起波浪分裂的理論研究。岳、姚、周(1989)亦利用邊界元素法將求得之有限振幅波速度勢代入Bernoulli方程式，求解固定水平板對垂直壁減壓之影響。從過去研究結果發現，波形分裂

\* 國立臺灣海洋大學河海工程研究所教授

\*\* 國立臺灣海洋大學河海工程研究所博士班研究生

後會使週頻率變大，波長變小，而產生一種較短週期波，能有效分散波能量及降低水面波動振幅，尤其對難以消滅之長週期波有所突破，達到降低反射率及減少波壓力的效果。

關於固定沒水水平板及半潛式固定浮體，過去雖已有專家學者從事理論及實驗之研究，但多針對規則波作探討。由於自然海面波動為複雜多變的不規則波運動，若僅以規則波理論解析自然海面波浪性質，有時會得到不太合乎自然現象的結果，追求更合理方法以解析波浪問題為本文主要目的之一。

本文數值方法係利用永井(1972)提出之等能量波譜分割法將不規則波分解為波譜成分波，再以邊界元素法解析各成分波(規則波)作用於固定沒水水平板及半潛式固定浮體引起波浪透過情形，最後以線形疊加原理獲得不規則波作用於該等結構物之行爲。為考量實用性，本文特將計算所得透過率小於 0.6、0.4 及 0.2 之無因次週頻率範圍以表列出，以為工程應用或進一步研究之參考。

## 二、規則波理論分析

### 2.1 固定沒水水平板

如圖1(a)所示，在一定水深  $h$  的海域中有寬度  $l$ 、厚度  $d$ 、沒水深度  $qh$  的水平板存在。座標軸原點位於靜水面上  $O$  點處，向上為  $Z$  軸，水平向右為  $X$  軸。

在距離結構物極遠 ( $X = l_1, -l_2$ ) 處設立兩假想邊界，將流體領域分為 (I)、(II) 及 (III) 三領域，並假設海底及結構物均為不透水。若各領域內流體均為非壓縮性、非黏性且非旋轉之理想流體，當領域 (I) 有一振幅為  $\xi_0$ ，週頻率為  $\sigma$  之簡諧波入射時，各領域的流體運動應持有速度勢  $\phi(x, z; t) = g\xi_0 / \sigma \cdot \phi(x, z) \cdot \exp(i\sigma t)$ ，式中  $g$  為重力加速度，勢函數  $\phi(x, z)$  應滿足 Laplace 方程式  $\nabla^2 \phi = 0$

#### 2.1.1 控制方程式

假設前述假想邊界 ( $X = l_1, -l_2$ ) 離結構物甚遠，(I)，(III) 領域的流體運動不受因結構物存在而引起的散射波影響，則領域 (I) 的勢函數  $\varphi_1(x, z)$  及領域 (III) 的勢函數  $\varphi_3(x, z)$  可分別表示為

$$\varphi_1(x, z) = [e^{ik(x-l_1)} + \psi_1 e^{-ik(x-l_1)}] \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (1)$$

$$\varphi_3(x, z) = \psi_2 e^{ik(x+l_2)} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (2)$$

其中  $\varphi_1$  為複數反射率， $\varphi_2$  為複數透過率， $k$  為  $\sigma^2 h/g = kh \tanh kh$  之根。

領域 (II) 係為由假想邊界面 ( $X = l_1, -l_2$ )、自由水面、固定海底面及不透水結構物表面所包圍的封閉二次度領域。利用 Green 定理 (Green's Second Identity Law)，選用適當 Green 函數  $\ln(1/r)$ ，則領域 (II) 內任意一點的速度勢  $\phi(x, z)$  可表示為

$$\phi(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma} \left[ \frac{\partial \phi(\xi, \eta)}{\partial \nu} \ln \frac{1}{r} - \phi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial \nu} \left( \ln \frac{1}{r} \right) \right] ds \quad (3)$$

式中  $r = \sqrt{(x-\xi)^2 + (z-\eta)^2}$ ， $\nu$  表邊界向外法線方向， $\Gamma$  表封閉界線。

當  $\phi(x, z)$  移至邊界上之特定点 ( $\xi', \eta'$ )，假設邊界線為平滑曲線，由於 Green 函數的

特異性，邊界上點 $(\xi', \eta')$ 之速度勢 $\phi(\xi', \eta')$ 可以下式表示

$$\phi(\xi', \eta') = \frac{1}{\pi} \int_{\Gamma} \left[ \frac{\partial \phi(\xi, \eta)}{\partial \nu} \ln \frac{1}{R} - \phi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial \nu} \left( \ln \frac{1}{R} \right) \right] ds \quad (4)$$

$$\text{式中, } R = \sqrt{(\xi' - \xi)^2 + (\eta' - \eta)^2}$$

對任意形狀之邊界線 $\Gamma$ ，積分方程式(4)無法求得理論解，必須用數值解析。本文利用線性元素將(4)式沿著第一假想邊界面 $(X=l_1)$ 、自由水面、第二假想邊界面 $(X=-l_2)$ 、海底及結構物表面分別以 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ 、 $N_5$ ，共計 $N$ 個節點加以分割 $(N=N_1+N_2+N_3+N_4+N_5)$ ，每相鄰兩節點長為 $\Delta S_i$ ， $(i=1, N)$ ，由周(1983)，可將(4)式分離化並以下列矩陣形式表示

$$[\phi] = [O][\bar{\phi}] \quad (5)$$

式中 $[\phi]$ 及 $[\bar{\phi}]$ 分別表示邊界上勢函數值及其導函數值， $[O]$ 為與邊界幾何形狀有關之係數矩陣，其值請參考文獻7。

### 2.1.2 邊界條件

(1) 由於自由水面的動力學邊界條件、運動學邊界條件及大氣壓力一定，忽略非線形項，可得

$$\bar{\phi} = \frac{\sigma^2}{g} \cdot \phi, z = 0 \quad (6)$$

(2) 假定海底及結構物表面固定且不透水，其法線方向的流速為0，可得

$$\partial \phi / \partial \nu = 0 \quad (7)$$

(3) 假想邊界面的邊界條件

領域(I)、(II)、(III)之流體在假想邊界面處 $(x=l_1, x=-l_2)$ 其流體運動必須滿足能量流束(energy flux)及質量流束(mass flux)連續之條件，即

$$\phi(l_1, z) = \varphi(l_1, z) \quad (8)$$

$$\bar{\phi}(l_1, z) = \bar{\varphi}(l_1, z) \quad (9)$$

$$\phi(-l_2, z) = \varphi(-l_2, z) \quad (10)$$

$$\bar{\phi}(-l_2, z) = \bar{\varphi}(-l_2, z) \quad (11)$$

### 2.1.3 微小振幅波速度勢之解析

將(1)式在假想邊界面 $x=l_1$ 上取 $x$ 正方向導函數，代入(9)式中，兩邊各乘 $\cosh k(z+h)$ ，再由 $z=-h \sim 0$ 積分得反射率 $\psi_1$ 為

$$\psi_1 = \frac{k}{N_0 \sinh kh} \int_{-h}^0 \phi \cosh k(z+h) dz - 1 \quad (12)$$

$$N_0 = \frac{1}{2}(1 + 2kh / \sinh 2kh)$$

將(2)式在假想邊界面  $x = -l_2$  上取  $x$  負方向導函數，代入(11)式中，兩邊各乘  $\cosh k(z+h)$ ，再由  $z = -h \sim 0$  積分得透過率  $\psi_2$  為

$$\psi_2 = \frac{k}{N_0 \sinh kh} \int_{-h}^0 \phi \cosh k(z+h) dz \quad (13)$$

將  $\phi_1$  代入(1)式之導函數及(9)式可得邊界上 ( $x = l_1$ ) 各節點之勢函數在  $X$  正方向導函數值與勢函數值間的關係如下

$$\bar{\phi}_1(p) = \frac{2ik \cosh k(z_p + h)}{\cosh kh} + \sum_{r=1}^{N_1} \phi_1(r) f_1(r, p) \cdot \Delta z_p \quad (14)$$

其中 
$$f_1(r, p) = -\frac{ik^2 \cosh k(z_r + h) \cosh k(z_p + h)}{N_0 \sinh kh \cosh kh}$$

$$\Delta z_p = \Delta S_p, (p = 1, N_1)$$

將  $\psi_2$  代入(2)式之導函數及(10)式可得邊界上 ( $x = -l_2$ ) 上勢函數導函數值與勢函數值間的關係如下

$$\bar{\phi}_3(q) = \sum_{r=1}^{N_3} \phi_3(r) f_2(r, q) \cdot \Delta z_q \quad (15)$$

其中 
$$f_2(r, q) = \frac{-ik^2 \cosh k(z_r + h) \cosh k(z_q + h)}{N_0 \sinh kh \cosh kh}$$

將(14)式及(15)式式矩陣化後得

$$\{\bar{\phi}_1\} = [Z] + \{F\} \{\phi_1\} \quad (16)$$

$$\{\bar{\phi}_3\} = \{R\} \cdot \{\phi_3\} \quad (17)$$

其中 
$$[Z] = \frac{2ik \cosh k(z_p + h)}{\cosh kh}$$

$$\{F\} = f_1(i, j) \cdot \Delta z_j \quad (i, j = 1, N_1)$$

$$\{R\} = f_2(i, j) \cdot \Delta z_j \quad (i, j = 1, N_3)$$

將(5)，(7)，(16)，(17)代入(5)並整理後得邊界上各元素的微小振幅波速度勢值的聯立一次方程式如下

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{bmatrix} = -[K]^{-1} \begin{bmatrix} O_{11} \\ O_{21} \\ O_{31} \\ O_{41} \\ O_{51} \end{bmatrix} [Z] \quad (18)$$

其中

$$[K] = \begin{bmatrix} O_{11}F - I & O_{12}\sigma^2/g & O_{13}R & 0 & 0 \\ O_{21}F & O_{22}\sigma^2/g - I & O_{23}R & 0 & 0 \\ O_{31}F & O_{32}\sigma^2/g & O_{33}R - I & 0 & 0 \\ O_{41}F & O_{42}\sigma^2/g & O_{43}R & -I & 0 \\ O_{51}F & O_{52}\sigma^2/g & O_{53}R & 0 & -I \end{bmatrix}$$

解上式可求得各邊界上的勢函數  $\phi_i$  ( $i=1,5$ )。將其中  $\phi_3$  代入(13)即可得規則波作用時的複數透過率  $\psi_2$ 。利用下式可求出透過率  $K_t$ ：

$$K_t = |\psi_2| \quad (19)$$

## 2.2 半潛式固定浮體

如圖1(b)所示，在一定水深  $h$  的海域中有寬度  $l$ 、吃水深度  $qh$  的半潛式固定浮體存在。座標軸原點位於靜水面上  $O$  點處，向上為  $Z$  軸，水平向右為  $X$  軸。

將第一假想邊界面、自由水面左側、結構物表面、自由水面右側、第二假想邊界面、海底分別以  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ 、 $N_5$ 、 $N_6$ ，共計  $N$  個節點加以分割 ( $N=N_1+N_2+N_3+N_4+N_5+N_6$ )，每個元素以線性元素作為分離化元素，利用2.1節所示解析方式可求得邊界上規則波速度勢函數之一次聯立方程式如下

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \end{bmatrix} = -[K]^{-1} \begin{bmatrix} O_{11} \\ O_{21} \\ O_{31} \\ O_{41} \\ O_{51} \\ O_{61} \end{bmatrix} [Z] \quad (20)$$

其中

$$[K] = \begin{bmatrix} O_{11}F - I & O_{12}\sigma^2/g & 0 & O_{14}\sigma^2/g & O_{15}R & 0 \\ O_{21}F & O_{22}\sigma^2/g - I & 0 & O_{24}\sigma^2/g & O_{25}R & 0 \\ O_{31}F & O_{32}\sigma^2/g & -I & O_{34}\sigma^2/g & O_{35}R & 0 \\ O_{41}F & O_{42}\sigma^2/g & 0 & O_{44}\sigma^2/g - I & O_{45}R & 0 \\ O_{51}F & O_{52}\sigma^2/g & 0 & O_{54}\sigma^2/g & O_{55}R - I & 0 \\ O_{61}F & O_{62}\sigma^2/g & 0 & O_{64}\sigma^2/g & O_{65}R & -I \end{bmatrix}$$

式中  $[O]$ 、 $[Z]$ 、 $[F]$ 、 $[R]$  之計算方式與2.1節所述方法雷同。

經解上式得  $\phi_5$ ，代入(13)及(19)式，則可求出半潛式固定浮體之規則波透過率  $K_t$ 。

## 三、不規則波理論分析

本研究採用永井(1972)推導的等能量波譜分割法分割入射波波譜，將波譜成分波視為微

小振幅波，利用前節邊界元素法解析各成分波受結構物影響之透過率 $K_t$ 值，然後利用線形疊加原理求出不規則波作用於結構物之透過率 $K_T$ 。

### 3.1 等能量波譜分割法

本文波譜採用Bretschneider波譜，可表示如下

$$S(f) = 0.432 \frac{\bar{H}^2}{T^4 f^3} \exp \left\{ -\frac{0.675}{(Tf)^4} \right\} \quad (21)$$

式中 $\bar{H}$ 為有義波平均波高， $T$ 為平均週期， $f$ 為週頻率。

將週頻率 $f$ 乘以有義波週期 $T_{1/3}$ ，可得無因次週頻率 $f^* = T_{1/3} f$ 並利用

$S^*(f^*) = S(f^*)/H_{1/3}^2 = S(f)/H_{1/3}^2 T_{1/3}$ 關係，可得無因次Bretschneider波譜如下

$$S^*(f^*) = a f^{*-5} \exp[-(b f^{*-4})] \quad (22)$$

$$a = b/4$$

$$b = 0.675/0.9^4 = 1.0288$$

經計算無因次之波譜能量 $m_0^*$ 及有義波高 $H_{1/3}^*$ 如下

$$m_0^* = \int_0^\infty S^*(f^*) df^* = \frac{a}{4b} = \frac{1}{16} \quad (23)$$

$$H_{1/3}^* = 4.00\sqrt{m_0^*} = 1 \quad (24)$$

利用永井(1972)等能量波譜分割法以 $m$ 個分割數將無因次波譜分割，使各成分波之無因次能量 $\Delta E = 1/16m$ ，可決定分割週頻率 $f_n^*$

$$f_n^* = \sqrt[4]{b/\ln(m/n)} = 1.0071/\sqrt[4]{\ln(m/n)} \quad (25)$$

式中 $n=1, 2, \dots, m$

其次利用成分波的能量 $\Delta E$ 對 $f_{cn}^*$ 的二次力矩與無因次波譜 $S^*(f^*)$ 對原點的二次力矩相等的條件可求得各成分波代表週頻率 $f_{cn}^*$

$$f_{cn}^* = \sqrt{\frac{8am\sqrt{\pi}}{\sqrt{b}} \left[ \Phi \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{m}{n-1} \right)} \right) - \Phi \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{m}{n} \right)} \right) \right]} \quad (26)$$

式中 $\Phi(x)$ 為下式所示誤差函數

$$\Phi(x) = \int_0^x \frac{\exp(-z^2/2)}{\sqrt{2\pi}} dz \quad (27)$$

### 3.2 不規則波作用時之透過率 $K_T$

經由第二章求得各成分規則波作用時之透過率 $K_t$ 後，不規則波作用時之透過率 $K_T$ 可由下式計算

$$K_T = \frac{H_{1/3}}{(H_{1/3})_0} = 4.0 \sqrt{\int_0^\infty S_T^*(f^*) df^*} \quad (28)$$

其中  $S_T^*(f^*) = K_t^2 S^*(f^*)$

$S_T^*(f^*)$  表示受不規則入射波  $S^*(f^*)$  作用時，結構物後側之波譜， $(H_{1/3})_0$  表示有義波入射波高。

## 四、數值計算

本文以固定沒水水平板及半潛式固定浮體為研究對象，其中沒水水平板厚設為一定值  $d/h = 0.05$ ，二種結構物之寬度水深比  $l/h$  分別取為 0.5、1.0、1.5、2.0。沒（吃）水深度  $qh$  分別取為 0.1h、0.2h、0.3h、0.4h、0.5h。首先將固定沒水水平板及半潛式固定浮體之計算領域分別分割成 336 ( $N_1 = 21$ 、 $N_2 = 121$ 、 $N_3 = 21$ 、 $N_4 = 121$ 、 $N_5 = 52$ )、366 ( $N_1 = 21$ 、 $N_2 = 81$ 、 $N_3 = 41$ 、 $N_4 = 81$ 、 $N_5 = 21$ 、 $N_6 = 121$ ) 個節點經分別計算規則波無因次週頻率  $\sigma^2 h/g = 0 \sim 3$  作用時所發生波浪透過情形，並將計算結果分別就以上各種特定結構物寬度在各種不同沒（吃）水深度繪製成無因次週頻率 ( $\sigma^2 h/g$ ) - 透過率 ( $K_t$ ) 圖。

對於不規則波之解析，首先應確立合理之波譜分割數  $m$ ，以節省計算時間，經對固定沒水水平板在  $l/h = 2.0$ ， $qh = 0.1h$  及  $l/h = 2.0$ ， $qh = 0.3h$  之配置下，將入射波譜以  $m = 12$ ，24，36 分割，經分別計算不規則波之透過率如表 1，由表中可知，當  $m = 12$  之計算結果與  $m = 24$  及  $m = 36$  計算結果間差異僅在 2% 以內，故本文進行數值計算時將波譜以  $m = 12$  個週頻率分割，個別計算各成分波透過率，再利用 (28) 式計算不規則波透過率。

## 五、實 驗

為驗證本數值方法的正確性，經利用斷面水槽分別就固定沒水水平板在  $l/h = 1.0$ ， $q = 1/3$  及半潛式固定浮體在  $l/h = 1.0$ ， $q = 0.3$  之情形下進行透過率檢證試驗；斷面水槽長 50m，寬 1.8m，高 1.5m，造波機為活塞推拉式不規則造波機，以電腦控制其造波狀況，波高量測係利用容量式波高計配合電腦讀取波高資料；實驗水深  $h = 30\text{cm}$ ，於造波機前 6m 處設置一支波高計以測定入射波高，並於造波機前方 18m 處設置實驗模型，水平板厚度  $d = 1.2\text{cm}$ ，在模型後方 3m 處每隔 30cm 設置波高計一支共計 3 支，以測定透過波高；實驗配置如圖 2。

### 5.1 規則波

規則入射波週期以無因次週頻率  $\sigma^2 h/g$  表示，在  $\sigma^2 h/g = 0.2 \sim 1.5$  間每隔 0.0625 造波一次，在  $\sigma^2 h/g = 1.5 \sim 3.0$  間每隔 0.125 造波一次，共計有 33 種入射波週期；為避免碎波現象發生，其入射波高在 2~3.5cm 之間；實驗時將波高計測得之波高資料，由個人電腦以每 0.025 秒記錄一個波高值，經程式運算出造波時間內全程波形，再經分別判斷不受反射影響的入射波及反射波有效分析時間，並於各該時間內分別取 3~5 個波平均值為入射波高  $H_i$  及透過波高  $H_t$ ，則可求出透過率  $K_t = H_t/H_i$ 。

圖 3 為水平板在  $l/h = 1$ ， $q = 1/3$  情形下規則波透過率之數值解與試驗值比較圖，由圖中

可發現數值解與實驗值二者趨勢相同，若將數值解與實驗值二組資料以偏差  $V = \sqrt{\sum (X_{num} - X_{exp})^2 / (N-1)}$  (式中  $X_{num}$  表示數值解， $X_{exp}$  表示實驗值， $N$  表示實驗次數) 之方式分析其相關性，則可求得偏差  $V$  為 5.53%。

圖4為半潛式固定浮體在  $l/h=1$ ， $q=0.3$  情形下規則波透過率之數值解與試驗值比較圖，若同樣以上述偏差  $V$  分析數值解與實驗值間之相關性，可得偏差  $V=9.48\%$ 。

## 5.2 不規則波

不規則入射波係將 Bretschneider 波譜經逆 FFT 轉換成電壓訊號驅動不規則造波機用以模擬不規則波，實驗時在  $(\sigma_{1/3})^2 h/g = 0.2 \sim 3.0$  間與前述規則波相同分法以 33 種有義週期造波，(但  $\sigma_{1/3} = 2\pi / T_{1/3}$ )，為使波浪通過模型時不產生碎波，經適當控制  $H_{1/3}$  在  $2 \sim 3.5$  cm 之間，由於不規則波係由不同波高、週期的波群組成，在入射波及透過波有效分析時間內，將波高計測得之資料以零上切法求取入射波有義波高  $(H_{1/3})_I$  及透過波有義波高  $(H_{1/3})_T$ ，則可求出不規則波透過率  $K_T = (H_{1/3})_T / (H_{1/3})_I$ 。

圖5為水平板在  $l/h=1$ ， $q=1/3$  情形下不規則波透過率之數值解與試驗值比較圖，同樣以上述偏差  $V$  分析數值解與實驗值間之相關性，可得偏差  $V$  為 5.31%。

圖6為半潛式固定浮體在  $l/h=1$ ， $q=0.3$  情形下不規則波透過率之數值解與試驗值比較圖，同樣以上述偏差  $V$  分析數值解與實驗值間之相關性，可得偏差  $V=8.25\%$ 。

由以上數值解與試驗值之偏差均在 10% 以內，可證明本文數值解之可信賴度。

# 六、結果分析

## 6.1 固定沒水水平板

### 6.1.1 規則波

圖7表示固定沒水水平板在各種特定板寬 ( $l/h=0.5、1.0、1.5、2.0$ )，不同沒水深度 ( $q=0.1、0.2、0.3、0.4、0.5$ ) 情形下之波浪透過率  $K_t$  與無因次週頻率  $\sigma^2 h/g$  關係圖。

由圖中可發現固定沒水水平板對波浪透過率之影響係隨著平板寬度、沒水深度及波浪週期而變化，一般而言，板寬愈大對較長週期波之影響程度也愈大，且在任一板寬及沒水深度情形下均會有最小透過率現象出現，對於特定板寬  $l/h=0.5、1.0、1.5$ ，水平板沒水深度愈淺，其最小透過率亦愈小，但  $l/h=2.0$  時，則無此規律，當  $l/h=1.0$ ， $q=0.1$ ， $\sigma^2 h/g=0.9 \sim 1.2$  及  $l/h=2.0$ ， $q=0.3$ ， $\sigma^2 h/g=0.4 \sim 0.6$  時，其波浪透過率趨近於零，即水平板在上述配置及波浪條件下，將有極佳消波效果。當  $l/h=0.5$  時，沒水深度愈大，其透過率愈大，即消波效果減小，該現象在  $l/h=1.0$ 、 $\sigma^2 h/g < 1.7$  及  $l/h=1.5$ ， $\sigma^2 h/g < 0.8$  時亦可發現，但在其他配置及週期時則無此現象。

為探究固定沒水水平板在不同配置情形下對波浪之影響程度，經將透過率小於 0.6、0.4、0.2 之無因次週頻率範圍列於表 2 之左側，由表中可知當  $l/h=1.0$ ， $q=0.1$  時，在  $\sigma^2 h/g=0 \sim 3$  中有 35% 之週期其透過率小於 0.6，其中甚至有 22% 之週期其透過率小於 0.2，以消波觀點，此種配置為本文沒水水平板計算例中之最佳配置。又由表中各種配置情形下，其透過率小於 0.2 之無因次週頻率均在 0.28 ~ 1.35 範圍內，可知固定沒水水平板對較長週期波消波效果較短週期波消波效果為佳。

### 6.1.2 不規則波

圖8表示固定沒水水平板在特定板寬 ( $l/h=0.5、1.0、1.5、2.0$ )，不同沒水深度 ( $q=0.1$



、0.2、0.3、0.4、0.5)情形下不規則波透過率KT與有義波無因次週頻率 $(\sigma_{1/3})^2 h/g$ 關係圖。

由圖中可發現，固定沒水水平板在任一種配置下，對某特定週期均會有最小透過率現象發生，一般而言，水平板沒水深度愈小，其最小透過率亦愈小，但當 $l/h=2.0$ 、 $q=0.1$ 之情形下之最小透過率反較 $q=0.2、0.3、0.4$ 時為大；又由圖中亦可發現板寬愈大對較長週期波之影響程度也愈大，此現象可由表2右側所示透過率小於0.6之無因次週頻率範圍以 $l/h=2.0$ 時為最大獲得佐證。

將圖8不規則波透過率與圖7所示規則波透過率圖比較可知，不論入射波為規則波或不規則波，其發生最小透過率之週期並無明顯改變，且板寬愈大對較長週期波之影響愈大的現象亦相同，惟不規則波透過率隨週期變化較規則波為穩和，此現象亦可由表2 明顯看出，即在相同沒水平板配置情形下，不規則波透過率KT小於0.6 之無因次週頻率範圍百分比較規則波者為大，但不規則波透過率值則有較相對規則波者為大之趨勢，此與不規則波係由許多不同週期波浪組成，其波浪性質有平均化的現象相吻合。

## 6.2 半潛式固定浮體

### 6.2.1 規則波

圖9表示半潛式固定浮體在特定堤寬( $l/h=0.5、1.0、1.5、2.0$ )，不同吃水深度( $q=0.1、0.2、0.3、0.4、0.5$ )情形下之波浪透過率Kt與無因次週頻率 $\sigma^2 h/g$ 關係圖。

由圖中可發現，對特定浮體寬度 $l/h$ ，其 $qh$ 與Kt有成反比之趨勢，即吃水深度 $qh$ 愈大，其透過率Kt愈小；當 $\sigma^2 h/g$ 趨近於0時，不論 $l/h$ 及 $qh$ 值為何，其透過率均趨向一定值（約0.8~0.9之間），而當 $\sigma^2 h/g$ 愈大時，其透過率趨近於0，即入射波長愈短時，波浪會被完全阻隔，消波效果良好。

為探究半潛式固定浮體在不同配置情形下對波浪之影響程度，經將透過率小於0.6、0.4、0.2之無因次週頻率範圍列於表3之左側，由表中可知，浮體寬度愈大，吃水深度愈深，其消波效果愈好，惟其透過率小於0.2之週期範圍 $\sigma^2 h/g$ 均大於1.0，由此可知，半潛式固定浮體對短週期波具有良好的消波效果，但對較長週期波浪則消波效果不佳。

### 6.2.2 不規則波

圖10表示半潛式固定浮體在特定堤寬( $l/h=0.5、1.0、1.5、2.0$ )，不同沒水深度( $q=0.1、0.2、0.3、0.4、0.5$ )情形下不規則波透過率KT與有義波無因次週頻率 $(\sigma_{1/3})^2 h/g$ 關係圖。

由圖中可發現，不規則波透過率與圖9 規則波透過率趨勢相同，即吃水深度 $qh$ 愈大，其透過率Kt愈小；另由表3 可發現，在相同配置情形下，不規則波透過率 $KT < 0.6$ 及 $KT < 0.4$ 之無因次週頻率範圍較規則波者為大，此與不規則波性質相吻合，又由表中可知不規則波透過率小於0.2之無因次週頻率均大於1.2，由此可知，半潛式固定浮體對較短週期有義波具有良好的消波效果，但對較長週期有義波則消波效果不佳。

## 七、結 論

本文利用等能量波譜分割法適當選取分割數  $m=12$ ，配合邊界元素法及線形疊加原理可適當解析不規則波對固定沒水水平板及半潛式固定浮體之透過問題，經得分析結論如下：

1. 利用數值解析波浪問題時，應考量波浪的不規則性，其結果較符合自然現象。
2. 固定沒水水平板對某些特定較長週期波具良好消波效果，宜進一步研究，或可彌補傳統消波構造難以消滅長週期波之困擾。

3. 半潛式固定浮體對短週期波具有良好的消波效果，但對較長週期波浪則消波效果不理想。
4. 固定沒水水平板及半潛式固定浮體應用為海洋箱網養殖之消波構造應有其正面效果，惟其實用尺寸、配置及組合效果仍有待進一步研究。

## 謝 誌

本研究承國立臺灣海洋大學河海工程研究所碩士班研究生劉俊志先生及盧銳明先生協助實驗，特此致謝。參考文獻

1. 井島、尾崎、江口、小林(1970)：水平板による防波堤と岸壁に関する理論的研究(2)，第十七回海岸工學講演會論文集，pp.97-106
2. 井島、佐佐木(1971)：潛堤の効果に関する理論的研究，第十八回海岸工學講演會論文集，pp141-147。
3. 周石泉、湯麟武(1983)：沿海發電廠冷卻水路防波工程新工法－壓波板的作用與實例。第七屆海洋工程研討會論文集，pp37.1-37.29。
4. 周宗仁、翁文凱、井島武士(1987)：潛水固定式繫留水平板受規則波作用引起波之分裂及衰減，河海研究NO.34。
6. 岳景雲、姚武田、周宗仁(1989)：固定水平板對垂直壁減壓之影響。第十一屆海洋工程研討會，pp455-467。
7. 周宗仁(1983)：邊界元素法在波浪力學之應用，國立臺灣海洋大學河海工程學系，中華民國72年。
8. C.L.Bretschneider(1968)：Significant waves and wave spectrum, Ocean Industry.
9. Nagai,K.,(1972)：Diffraction of the irregular sea due to breakwaters, Coastal Engineering in Japan, JSCE.15.

表 1 入射波譜以  $m=12$ 、 $24$ 、 $36$  分割時，  
沒水水平板透過率數值解之比較

		$\sigma_{\frac{1}{h}}^2/\frac{1}{g}$	$m=12$	$m=24$	$m=36$
$l/h=2.0$	$q=0.1$	0.1	0.83808	0.83050	0.83131
		1.0	0.87444	0.86165	0.85849
		2.0	0.83484	0.83655	0.83797
		3.0	0.89265	0.89525	0.89406
$l/h=2.0$	$q=0.3$	0.1	0.87405	0.88229	0.88778
		1.0	0.78454	0.78416	0.78326
		2.0	0.97652	0.97719	0.97516
		3.0	0.99182	0.99492	0.99334

表 2 固定沒水水平板透過率與波浪週期關係

$l/h$	$q$	規 則 波						不 規 則 波					
		$Kt<0.6$		$Kt<0.4$		$Kt<0.2$		$Kt<0.6$		$Kt<0.4$		$Kt<0.2$	
		$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%
0.5	0.1	1.90~2.00	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.1	0.55~1.60	35	0.65~1.50	28	0.70~1.35	22	0.40~1.60	40	0.60~1.20	20	—	—
1.5	0.1	0.20~0.90	23	0.25~0.80	18	0.28~0.32 0.70~0.80	1 3	0.15~0.90	25	0.20~0.65	15	0.35~0.50	5
	0.2	0.45~1.20	25	0.60~1.05	15	—	—	0.35~1.10	25	—	—	—	—
2.0	0.1	0.35~0.45 1.55~2.15	3 20	0.40~0.42 1.68~1.90	1 7	—	—	—	—	—	—	—	—
	0.2	0.05~0.80	25	0.10~0.12 0.45~0.75	1 10	0.56~0.70	5	0.00~0.75	25	0.10~0.55	11	0.56~0.70	5
	0.3	0.20~1.00	27	0.26~0.86	20	0.30~0.75	15	0.20~0.90	23	0.25~0.70	20	0.30~0.75	15
	0.4	1.00~2.80	20	—	—	—	—	0.30~0.90	20	—	—	—	—

透過率小於某定值之週期範圍  
註：% — 全週期範圍

表 3 半潛式固定浮體透過率與波浪週期關係

$l/h$	$q$	規 則 波						不 規 則 波					
		$Kt<0.6$		$Kt<0.4$		$Kt<0.2$		$Kt<0.6$		$Kt<0.4$		$Kt<0.2$	
		$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%	$\sigma^2/h/g$ 範圍	%
0.5	0.1	3~2.05	12	—	—	—	—	3~2.20	27	—	—	—	—
	0.2	3~1.90	37	3~2.50	17	—	—	3~1.65	45	3~2.50	17	—	—
	0.3	3~1.50	50	3~1.90	37	3~2.50	17	3~1.20	68	3~1.90	37	3~2.90	3
	0.4	3~1.10	63	3~1.50	50	3~2.06	31	3~0.90	78	3~1.60	47	3~2.50	17
	0.5	3~0.86	71	3~1.30	57	3~1.75	42	3~0.70	77	3~1.15	62	3~2.00	33
1.0	0.1	3~1.80	40	3~2.65	12	—	—	3~1.70	43	3~2.50	17	—	—
	0.2	3~1.40	53	3~2.00	33	3~2.85	5	3~1.05	65	3~2.05	32	—	—
	0.3	3~1.05	65	3~1.55	48	3~2.15	28	3~0.80	73	3~1.40	53	3~2.50	17
	0.4	3~0.80	73	3~1.25	58	3~1.90	37	3~0.60	80	3~1.10	63	3~2.10	30
	0.5	3~0.56	81	3~1.00	67	3~1.55	48	3~0.45	85	3~0.90	70	3~1.70	43
1.5	0.1	3~1.30	57	3~2.15	28	—	—	3~1.00	67	3~2.00	33	—	—
	0.2	3~1.00	67	3~1.60	47	—	—	3~0.80	73	3~1.50	50	—	—
	0.3	3~0.75	75	3~1.30	57	3~2.10	30	3~0.60	80	3~1.10	63	3~2.30	23
	0.4	3~0.55	82	3~1.00	67	3~1.65	45	3~0.40	87	3~0.90	70	3~1.80	40
	0.5	3~0.40	87	3~0.75	75	3~1.40	53	3~0.30	90	3~0.65	78	3~1.40	53
2.0	0.1	3~0.90	79	3~1.70	43	—	—	3~0.70	77	3~1.50	50	—	—
	0.2	3~0.70	77	3~1.40	53	3~2.50	17	3~0.55	82	3~1.20	60	3~2.40	20
	0.3	3~0.55	82	3~1.05	65	3~1.90	37	3~0.40	87	3~0.90	70	3~1.85	38
	0.4	3~0.40	87	3~0.80	73	3~1.50	50	3~0.30	90	3~0.70	77	3~1.50	50
	0.5	3~0.30	90	3~0.60	80	3~1.20	60	3~0.20	93	3~0.50	83	3~1.20	60

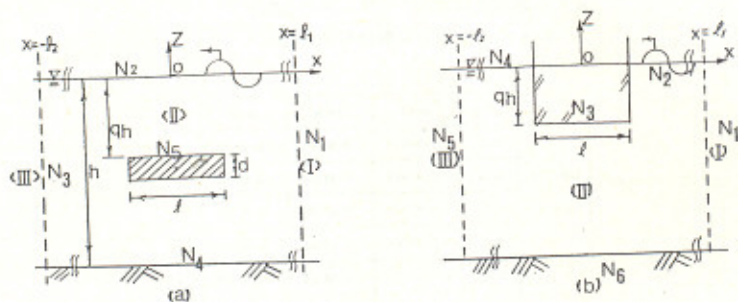


圖 1 定義圖

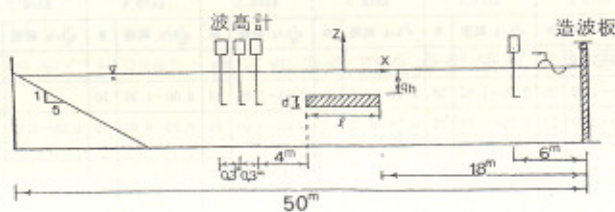


圖 2 斷面水槽模型配置圖

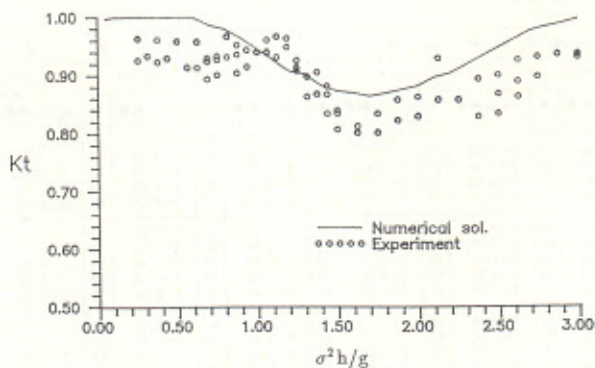


圖 3 沒水水平板 ( $l/h=1, q=1/3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

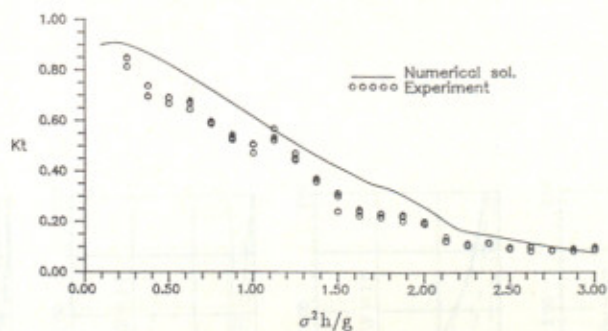


圖 4 半潛式固定浮體 ( $l/h=1, q=0.3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

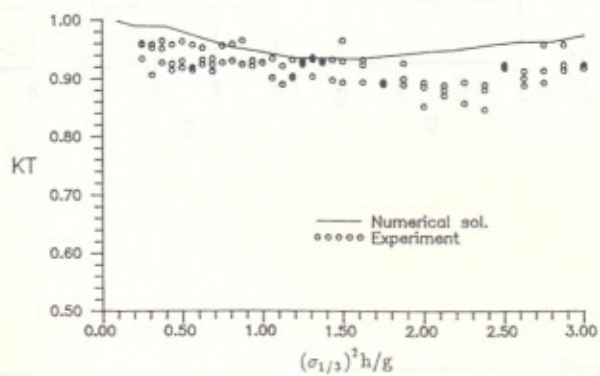


圖 5 沒水水平板 ( $l/h=1, q=1/3$ ) 不規則波透過率數值解與試驗值比較

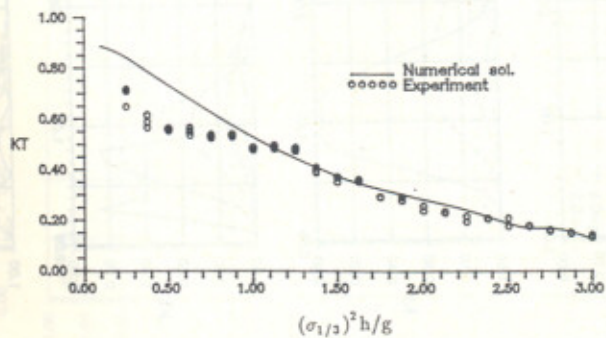


圖 6 半潛式固定浮體 ( $l/h=1, q=0.3$ ) 不規則波透過率數值解與試驗值比較

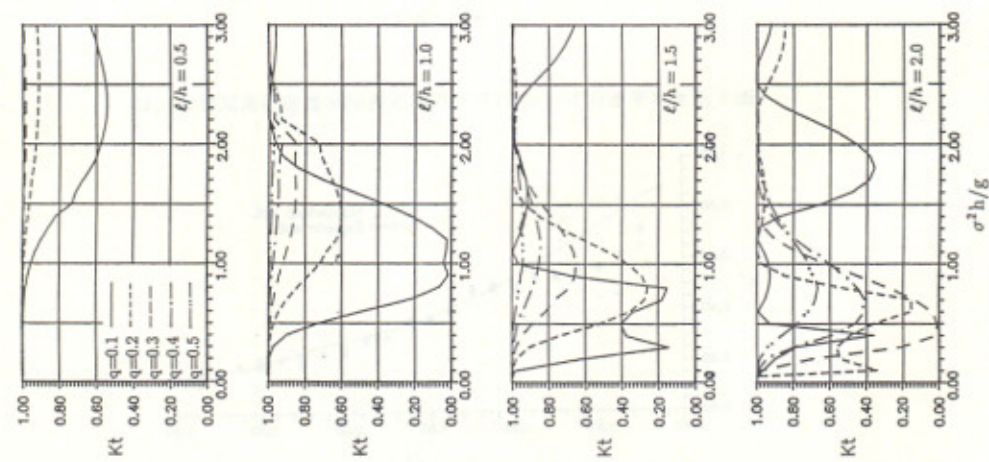


圖 7 沒水水平板在特定板寬, 不同沒水深度之規則波透過率  $K_t$

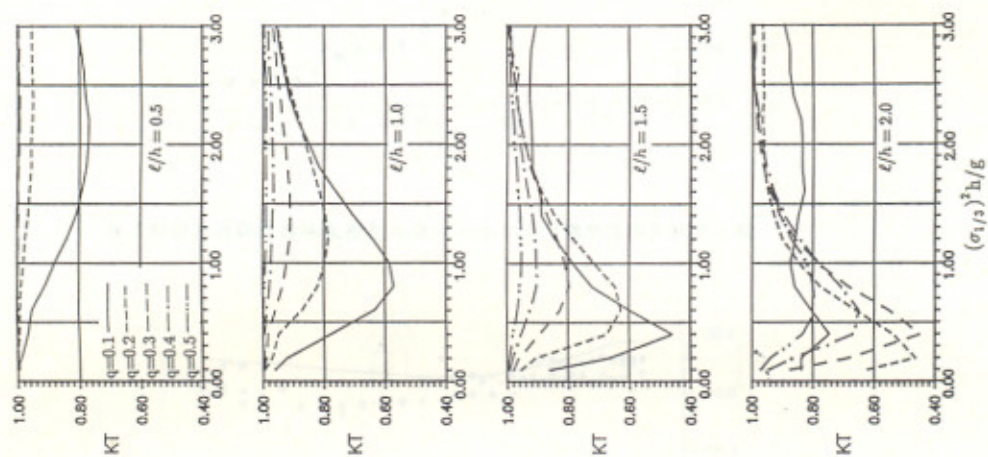


圖 8 沒水水平板在特定板寬, 不同沒水深度之不規則波透過率  $K_T$

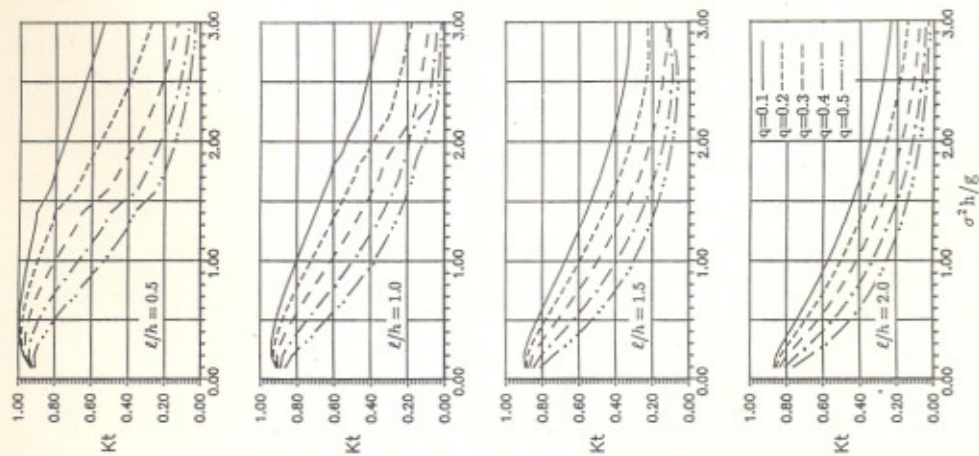


圖 9 半潛式固定浮體在特定板寬, 不同沒水深度之規則波透過率  $K_t$

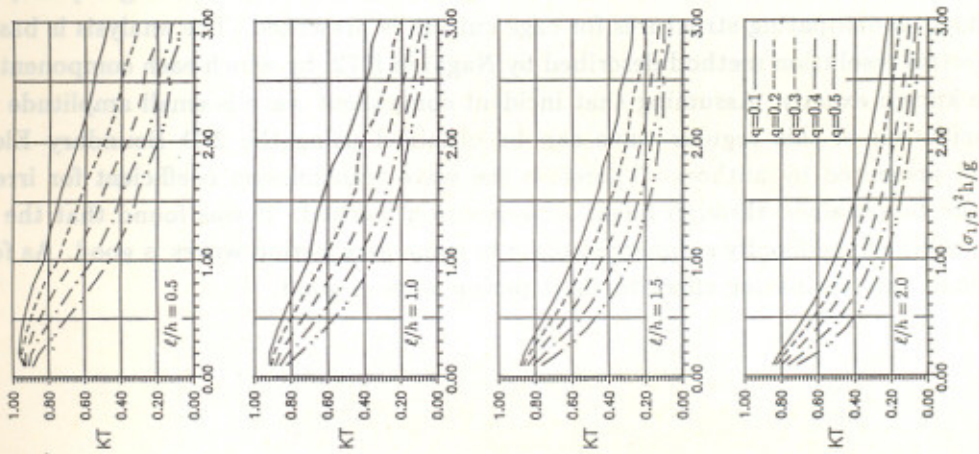


圖 10 半潛式固定浮體在特定板寬, 不同沒水深度之不規則波透過率  $K_T$

# A STUDY OF DISSIPATING STRUCTURES FOR CAGE CULTURE

C.R. CHOU<sup>1</sup>      W.Y.Han<sup>2</sup>

## ABSTRACT

An approach for the waves transmitting through a fixedly submerged plate, and a fixed float as dissipating structures for cage culture is presented. The analysis is based on the spectral resolution method described by Nagai in 1972, by which each component wave can be known exactly. Assuming that incident component wave is small amplitude wave, the oscillation of this regular wave can be obtained using the 2-D Boundary Element Method presented by authors. Therefore the wave transmission coefficient for irregular wave can be obtained through linear superposition method. It was found that the dissipating effect of the fixedly submerged plate to some long period waves is good. As for the fixed float, the dissipating effect to short period wave is good.

---

<sup>1</sup>Professor, National Taiwan Ocean University, Dept. of Harbor and River Engineering

<sup>2</sup>Graduate Student, National Taiwan Ocean University, Dept. of Harbor and River Engineering