

## 固定海岸結構物消波之研究

周宗仁<sup>1</sup> 韓文育<sup>2</sup>

關鍵詞：等能量波譜分割法、邊界元素法、線形疊加原理、波浪透過係數。

### 摘 要

本文解析不規則波作用於固定沒水水平板、半潛式固定浮體及潛堤所引起之波浪透過問題，藉以探討該三種構造物之消波特性。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，但對較長週期波則消波效果不理想；潛堤對長週期波之消波效果較之其對短週期波之消波效果為佳，但因其透過率大於 0.6，故並非良好的消波結構物。

## EFFECTS OF FIXED COASTAL STRUCTURES ON WAVE DISSIPATION

Chung-Ren Chou and Wen-Yu Han

*Department of Harbour and River Engineering  
National Taiwan Ocean University  
Keelung, Taiwan 20224, R.O.C.*

*Key Words:* spectral resolution method, boundary element method, linear superposition, wave transmission coefficient.

### ABSTRACT

A study of the waves transmitting through a fixedly submerged plate, a fixed float or a submerged obstacle is presented. The analysis is based on the spectral resolution method described by Nagai, from which each component wave is known exactly. By assuming the incident wave to be small in amplitude wave, the wave transmission coefficient of this regular wave are obtained using the 2-D boundary element method. The wave transmission coefficient for irregular wave can be obtained using superposition. It is found that both the fixedly submerged plate and the submerged obstacle are effective in dissipating long waves; the fixed float is more effective for short waves. Since the transmission coefficient of the submerged obstacle is greater than 0.6, it is not a favorable dissipating structure.

<sup>1</sup> 國立臺灣海洋大學河海工程研究所教授

<sup>2</sup> 國立臺灣海洋大學河海工程研究所博士班研究生

## 一、前言

在港灣工程設計上，波浪為主要外力，過去，防止波浪入侵之構造物如防波堤、海堤等，其構造在傳統上多為由海底向上構築，以求遮斷阻絕波浪於外海，達到港內靜穩之目的。近年來由於大型船舶的出現，傳統式防波堤不斷向外海大水深處延伸，極易破壞原有海岸之平衡，造成沿岸大量的侵蝕或堆積，且堤體設置於大水深處，為確保安全，其堤體斷面必須相當大，以致單位建設經費相對大幅提高。為解決上述傳統防波堤之缺點，尋求優良有效之消波方法，為港灣學者專家努力的目標。

近年，不少學者專家提出以固定沒水水平板、半潛式固定浮體或潛堤作為消波構造物，其優點為：

1. 避免完全阻斷海岸漂沙，防止海岸線侵蝕或堆積。
2. 不妨礙海水流通交換，避免堤後水質劣化，造成環保問題。
3. 沒水水平板、潛堤位於水中，不會破壞自然景觀。
4. 對於構築在大水深海域，可減輕堤址基礎荷重。
5. 整體構造所需材料較少，相對建設費用降低，且施工期可縮短。

利用固定沒水水平板、潛堤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 [1][2] 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 [3] 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 [4] 以邊界元素法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 [5] 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、半潛式固定浮體及潛堤，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 [6] 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、半潛式固定浮體及潛堤引起波浪透過情形，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為。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  $\ell$ 、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 ( $x = \ell_1, -\ell_2$ ) 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  $\zeta_0$ ，週頻率為  $\sigma$  之簡諧波入射時，各領域的流體運動應持有如下式所示速度勢  $\Phi(x, z; t)$

$$\Phi(x, z; t) = \frac{g\zeta_0}{\sigma} \cdot \phi(x, z) \cdot \exp(i\sigma t) \quad (1)$$

式中  $g$  為重力加速度

式 (1) 中之勢函數  $\phi(x, z)$  應滿足下式 Laplace 方程式

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

#### 2.1.1 領域 (I)、(III) 的勢函數表示法

假設前述假想邊界 ( $x = \ell_1, -\ell_2$ ) 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

$$\varphi_1(x, z) = [e^{ik(x-\ell_1)} + \psi_1 e^{-ik(x-\ell_1)}] \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (3)$$

其中  $\psi_1$  為複數反射率， $k$  為  $\sigma^2 h/g = kh \tanh kh$  之根。

$$\varphi_3(x, z) = \psi_2 e^{ik(x+\ell_2)} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (4)$$

其中  $\psi_2$  為複數透過率。

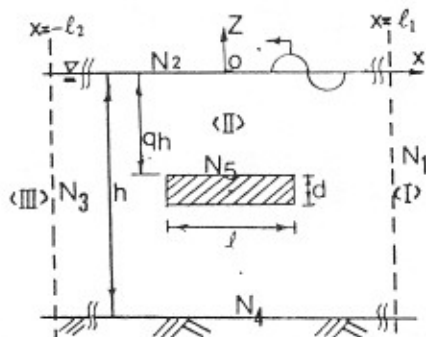
在假想邊界 ( $x = \ell_1$ ) 上勢函數  $\varphi_1$  及其向  $x$  之正方向導函數  $\bar{\varphi}_1 (= \partial\varphi_1/\partial x)$  可表示為

$$\varphi_1(\ell_1, z) = (1 + \psi_1) \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (5)$$

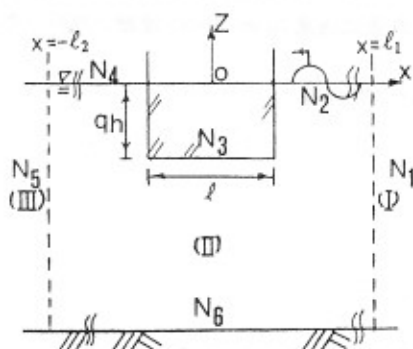
$$\bar{\varphi}_1(\ell_1, z) = ik(1 - \psi_1) \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (6)$$

而在假想邊界面 ( $x = -\ell_2$ ) 上之勢函數  $\varphi_3$  及其向  $x$  負方向導函數為  $\bar{\varphi}_3 (= -\partial\varphi_3/\partial x)$

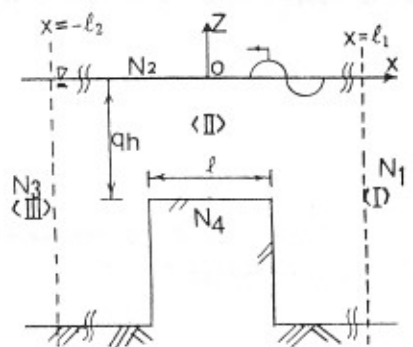
$$\varphi_3(-\ell_2, z) = \psi_2 \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (7)$$



(a) 固定沒水水平板



(b) 半潛式固定浮體



(c) 潛堤

圖 1 定義圖 (a) 固定沒水水平板 (b) 半潛式固定浮體 (c) 潛堤

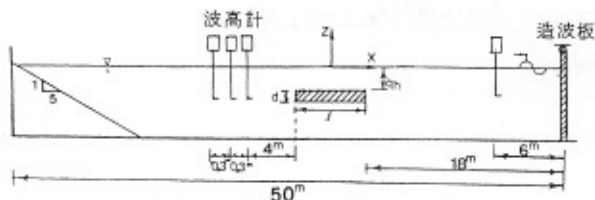


圖 2 斷面水槽模型配置圖

$$\bar{\phi}_3(-l_2, z) = -ik\psi_2 \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (8)$$

### 2.1.2 領域 (II) 勢函數表示法

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，經選用適當 Green 函數，如  $\ln(1/r)$ ，則領域 (II) 內任意一點的速度勢  $\phi(x, z)$  可由上述封閉邊界面上速度勢值  $\phi(\xi, \eta)$  及其對邊界法線方向之導函數值  $\partial\phi(\xi, \eta)/\partial\nu$  來表示

$$\phi(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma} \left[ \frac{\partial\phi(\xi, \eta)}{\partial\nu} \ln \frac{1}{r} - \phi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial\nu} \left( \ln \frac{1}{r} \right) \right] ds \quad (9)$$

式中， $r = \sqrt{(x-\xi)^2 + (z-\eta)^2}$ ， $\nu$  表法線方向， $\Gamma$  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

$$\phi(\xi', \eta') = \frac{1}{\pi} \int_{\Gamma} \left[ \frac{\partial\phi(\xi, \eta)}{\partial\nu} \ln \frac{1}{R} - \phi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial\nu} \left( \ln \frac{1}{R} \right) \right] ds \quad (10)$$

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

### 2.1.3 積分方程式之分離化

對任意形狀之邊界線  $\Gamma$ ，積分方程式 (10) 無法求得理論解，必須用數值解析。本文利用線形元素將式 (10) 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 [7]，可將式 (10) 分離化並以下列矩陣形式表示

$$[\phi] = [O] [\bar{\phi}] \quad (11)$$

式中

$$[\phi] = \phi_i \quad (i = 1, N)$$

$$[\bar{\phi}] = \bar{\phi}_i = \partial\phi_i/\partial\nu \quad (i = 1, N)$$

$$[O] = [H + I]^{-1} [G]$$

$$[H] = H_{ij} \quad (i, j = 1 \sim N)$$

$$H_{ij} = \begin{cases} \bar{H}_{ij} & (i \neq j) \\ \bar{H}_{ij} + 1 & (i = j) \end{cases}$$

$$[G] = G_{ij} \quad (i, j = 1 \sim N)$$

$[I]$  = 單位矩陣

$$\bar{H}_{ij} = h_{ij}^1 + h_{i,j-1}^2 \quad (i, j = 1 \sim N)$$

$$G_{ij} = g_{ij}^1 + g_{i,j-1}^2 \quad (j \geq 2)$$

$$\bar{H}_{i1} = h_{i1}^1 + h_{iN}^2 \quad (i, j = 1 \sim N)$$

$$G_{i1} = g_{i1}^1 + g_{iN}^2 \quad (j = 1)$$

對各線形元素使用無次元座標系  $\xi$ ，並導入 Gauss 積分公式時

$$h_{ij}^1 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left[ \frac{1}{2}(1-\xi) \frac{\partial}{\partial \nu} \left( \ln \frac{1}{r} \right) d\xi \right] \frac{\Delta s_j}{2}$$

$$= \begin{cases} -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{m=1}^{k_m} (1-\xi_m) \frac{r'_m}{r_m^2} W_m & (i \neq j) \\ 0 & (i = j) \end{cases}$$

$$h_{ij}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left[ \frac{1}{2}(1+\xi) \frac{\partial}{\partial \nu} \left( \ln \frac{1}{r} \right) d\xi \right] \frac{\Delta s_j}{2}$$

$$= \begin{cases} -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{m=1}^{k_m} (1+\xi_m) \frac{r'_m}{r_m^2} W_m & (i \neq j) \\ 0 & (i = j) \end{cases}$$

$$g_{ij}^1 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left[ \frac{1}{2}(1-\xi) \left( \ln \frac{1}{\xi \Delta s_j / 2} \right) d\xi \right] \frac{\Delta s_j}{2}$$

$$= \begin{cases} -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{m=1}^{k_m} (1-\xi_m) \cdot \ln(r_m) W_m & (i \neq j) \\ \frac{\Delta s_j}{2\pi} \left[ \frac{3}{4} - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\Delta s_j}{2} \right) \right] & (i = j) \end{cases}$$

$$g_{ij}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \left[ \frac{1}{2}(1+\xi) \left( \ln \frac{1}{\xi \Delta s_j / 2} \right) d\xi \right] \frac{\Delta s_j}{2}$$

$$= \begin{cases} -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{m=1}^{k_m} (1+\xi_m) \cdot \ln(r_m) W_m & (i \neq j) \\ \frac{\Delta s_j}{2\pi} \left[ \frac{5}{4} - \frac{3}{2} \ln \left( \frac{\Delta s_j}{2} \right) \right] & (i = j) \end{cases}$$

式中， $\Delta s_j = [(x_{j+1} - x_j)^2 + (z_{j+1} - z_j)^2]^{1/2}$ ， $k_m$  為使用 Gauss 積分公式的積分點數， $\xi_m$  表示積分點的無次元座標，該點的加權函數為  $W_m$ ， $r_m$  為點  $(x_i, z_i)$  至積分點  $\xi_m$  間的距離， $r'_m$  為點  $(x_i, z_i)$  與被積分元素  $j$  間的垂線長度，可用下式計算。

$$r'_m = (x_i - x_j) \sin \theta - (z_i - z_j) \cos \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{z_{j+1} - z_j}{x_{j+1} - x_j}$$

#### 2.1.4 幾何學上的邊界條件

(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

$$\bar{\phi} = \frac{\sigma^2}{g} \cdot \phi \quad , \quad z = 0 \quad (12)$$

(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

$$\partial \phi / \partial \nu = 0 \quad (13)$$

式中  $\nu$  表法線方向

(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 ( $x = \ell_1, x = -\ell_2$ ) 其流體運動必須滿足能量流通量 (energy flux) 及質量流通量 (mass flux) 連續之條件，即

$$\phi(\ell_1, z) = \varphi(\ell_1, z) \quad (14)$$

$$\bar{\phi}(\ell_1, z) = \bar{\varphi}(\ell_1, z) \quad (15)$$

$$\phi(-\ell_2, z) = \varphi(-\ell_2, z) \quad (16)$$

$$\bar{\phi}(-\ell_2, z) = \bar{\varphi}(-\ell_2, z) \quad (17)$$

#### 2.1.5 微小振幅波速度勢之解析

在假想邊界面上，將式 (5) 代入式 (14) 中，兩邊各乘  $\cosh k(z+h)$ ，再由  $z = -h \sim 0$  積分得反射率  $\psi_1$  為

$$\psi_1 = \frac{k}{N_0 \sinh kh} \int_{-h}^0 \phi \cosh k(z+h) dz - 1 \quad (18)$$

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

將式 (7) 代入式 (16) 中，兩邊各乘  $\cosh k(z+h)$ ，再由  $z = -h \sim 0$  積分得透過率  $\psi_2$  為

$$\psi_2 = \frac{k}{N_0 \sinh kh} \int_{-h}^0 \phi \cosh k(z+h) dz \quad (19)$$

將式 (18) 代入式 (6)、(15) 得邊界上 ( $x=\ell_1$ ) 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

$$\bar{\phi}_1(p) = \frac{2ik \cosh k(z_p + h)}{\cosh kh} + \sum_{r=1}^{N_1} \phi_1(r) f_1(r, p) \cdot \Delta z_p \quad (20)$$

其中

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

$$\Delta z_p = \Delta z_{p+1} - z_p \quad , \quad (p = 1, N_1)$$

將式(19)代入式(8)、(17)得邊界( $x = -\ell_2$ )上勢函數導函數值與勢函數值間的關係如下

$$\bar{\phi}_3(q) = \sum_{r=1}^{N_3} \phi_3(r) f_2(r, q) \cdot \Delta z_q \quad (21)$$

其中

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

$$\Delta z_q = z_{q+1} - z_q, \quad (q = 1, N_3)$$

將式(20)及式(21)矩陣化後得

$$\{\bar{\phi}_1\} = [Z] + \{F\} \{\phi_1\} \quad (22)$$

$$\{\bar{\phi}_3\} = \{R\} \cdot \{\phi_3\} \quad (23)$$

其中

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

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

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

將式(12)、(13)、(22)、(23)代入式(11)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

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{bmatrix} = -[K]^{-1} \begin{bmatrix} O_{11} \\ O_{21} \\ O_{31} \\ O_{41} \\ O_{51} \end{bmatrix} [Z] \quad (24)$$

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 $\phi_3$ 代入式(19)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 $K_t$

$$K_t = |\psi_2| \quad (25)$$

## 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 $\ell$ 、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( $N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6$ )，每個元素以線形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

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \end{bmatrix} = -[K]^{-1} \begin{bmatrix} O_{11} \\ O_{21} \\ O_{31} \\ O_{41} \\ O_{51} \\ O_{61} \end{bmatrix} [Z] \quad (26)$$

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 $\phi_5$ ，代入式(19)及(25)，則可求出半潛式固定浮體之規則波透過率 $K_t$

## 2.3 潛堤

如圖1(c)所示，在一定水深 $h$ 的海域中有寬度 $\ell$ 、沒水深度 $qh$ 的潛堤存在。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、第二假想邊界面、海底(含結構物表面)分別以 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ ，共計 $N$ 個節點加以分割( $N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ )，每個元素以線形元素作為分離化元素，同樣以2.1節所示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

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = -[K]^{-1} \begin{bmatrix} O_{11} \\ O_{21} \\ O_{31} \\ O_{41} \end{bmatrix} [Z] \quad (27)$$

其中

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

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  $\phi_3$ ，代入式(19)及式(25)，則可求出潛堤之規則波透過率  $K_t$

### 三、不規則波理論分析

本研究採用永井 [6] 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  $K_T$ 。

本文波譜採用 Bretschneider 波譜，解析時將入射波譜無因次化，可簡化計算過程。

#### 3.1 等能量波譜分割法

##### 3.1.1 本文有關波浪物理量

(1) 週頻率波譜使用下列只考慮正週頻率波譜

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df = \bar{\zeta}^2 \quad (28)$$

式中  $f$  為頻率， $m_0$  為波譜全能量。

上述波譜與零上切法 (zero up cross) 求出之有義波高間有下列關係

$$H_{1/3} = 1.60\bar{H} = 4.00\sqrt{m_0} = 4.00\sqrt{\int_0^{\infty} S(f) df} \quad (29)$$

波譜與零上切平均週期間有下列關係 (Rice[8])

$$\bar{T} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} S(f) df}{\int_0^{\infty} f^2 S(f) df}} \quad (30)$$

而有義波週期  $T_{1/3}$  與平均週期  $\bar{T}$  間有下列關係 (Bretschneider[9])

$$\bar{T} = 0.9T_{1/3} \quad (31)$$

(2) Bretschneider 波譜

本文以 Bretschneider 波譜為入射波譜，可表示如下

$$S(f) = 0.432 \frac{\bar{H}^2}{\bar{T}^4 f^5} \exp\left\{-\frac{0.675}{(\bar{T}f)^4}\right\} \quad (32)$$

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

Bretschneider 波譜滿足式(29)與有義波高  $H_{1/3}$  間的關係，但不滿足式(30)所示與平均週期  $\bar{T}$  間關係，若將式(30)中平均週期以  $\bar{T}_c$  表示，則 Bretschneider 波譜之  $\bar{T}$  與式(30)之  $\bar{T}_c$  間有下列關係

$$\bar{T}_c = \bar{T} / \sqrt[4]{0.675\pi} = 0.829\bar{T} \quad (33)$$

Bretschneider 波譜之尖峰週頻率  $f_{op}$  可表示為

$$f_{op} = \frac{1}{\bar{T}} \sqrt[4]{\frac{4}{5} \times 0.675} = 0.857/\bar{T} \quad (34)$$

(3) 波譜無因次化

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

$$f^* = T_{1/3}f \quad (35)$$

利用下列關係

$$S^*(f^*) = S(f^*)/H_{1/3}^2 = S(f)/(H_{1/3}^2 T_{1/3}) \quad (36)$$

可得無因次 Bretschneider 波譜如下

$$S^*(f^*) = a f^{*-5} \exp[-(b f^{*-4})] \quad (37)$$

$$a = b/4$$

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

經計算無因次之尖峰週頻率  $f_{op}^*$ 、波譜能量  $m_0^*$ 、有義波高  $H_{1/3}^*$  及有義週期  $T_{1/3}^*$  分別如下

$$f_{op}^* = 0.952 \quad (38)$$

$$m_0^* = \int_0^{\infty} S^*(f^*) df^* = \frac{a}{4b} = \frac{1}{16} \quad (39)$$

$$H_{1/3}^* = 4.00\sqrt{m_0^*} = 1 \quad (40)$$

$$\begin{aligned} T_{1/3}^* &= \frac{1}{0.9} \sqrt{\frac{m_0^*}{\int_0^{\infty} f^{*2} S^*(f^*) df^*}} \\ &= \frac{1}{0.9\sqrt[4]{\pi b}} = 0.829 \end{aligned} \quad (41)$$

(4) 無因次波譜分割

利用  $m$  個分割數將無因次波譜分割，使各成分波之無因次能量  $\Delta E$  相等，可決定分割週頻率  $f_n^*$ ,  $n=1,2,\dots,m$ , ( $f_m^* = \infty$ )，因

$$\Delta E = \frac{1}{16m} \quad (42)$$

可得

$$\int_0^{f_n^*} S^*(f^*) df^* = n\Delta E = n/(16m) \quad (43)$$

將式(37)代入上式得



$$f_n^* = \sqrt[4]{b/\ln(m/n)} = 1.0071/\sqrt[4]{\ln(m/n)} \quad (44)$$

各成分波代表週頻率  $f_{cn}^*$ ，可利用成分波的能量  $\Delta E$  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求得，即

$$\int_{f_{n-1}^*}^{f_n^*} f^{*2} S^*(f^*) df^* = f_{cn}^{*2} \Delta E = f_{cn}^{*2} / (16m) \quad (45)$$

將式(37)代入上式得

$$f_{cn}^* = \sqrt{\frac{8am\sqrt{\pi}}{\sqrt{b}} \left[ \operatorname{erf} \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{m}{n-1} \right)} \right) - \operatorname{erf} \left( \sqrt{2 \ln \left( \frac{m}{n} \right)} \right) \right]} \quad (46)$$

式中  $\operatorname{erf}(x)$  為下式所示誤差函數

$$\operatorname{erf}(x) = \int_0^x \frac{\exp(-z^2/2)}{\sqrt{2\pi}} dz \quad (47)$$

### 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  $K_i$  後，不規則波作用時之透過率  $K_T$  可由下式計算

$$K_T = \frac{H_{1/3}}{(H_{1/3})_0} = 4.0 \sqrt{\int_0^\infty S_T^*(f^*) df^*} \quad (48)$$

其中

$S_T^*(f^*) = K_i^2 S^*(f^*)$ ， $S_T^*(f^*)$  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、半潛式固定浮體及潛堤為研究對象，其中沒水水平板厚設為一定值  $d/h = 0.05$ ，三種結構物之寬度水深比  $\ell/h$  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、半潛式浮體及潛堤之計算領域分別分割成 336 ( $N_1 = 21$ 、 $N_2 = 121$ 、 $N_3 = 21$ 、 $N_4 = 121$ 、 $N_5 = 52$ )、328 ( $N_1 = 21$ 、 $N_2 = 61$ 、 $N_3 = 43$ 、 $N_4 = 61$ 、 $N_5 = 21$ 、 $N_6 = 121$ )、323 ( $N_1 = 21$ 、 $N_2 = 121$ 、 $N_3 = 21$ 、 $N_4 = 160$ ) 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 ( $K_i$ ) 圖。

對於不規則波之解析，首先應確立合理之波譜分割數

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

	$\sigma^2 h/g$	$m=12$	$m=24$	$m=36$
$1/h=2.0$ $q=0.1$	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	0.89408
$1/h=2.0$ $q=0.3$	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

$m$ ，以節省計算時間，經對固定沒水水平板在  $\ell/h = 2.0$ ， $qh=0.1h$  及  $\ell/h = 2.0$ ， $qh=0.3h$  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，再利用式(48)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及潛堤在  $\ell/h=1.0$ ， $q=1/3$  及半潛式固定浮體在  $\ell/h=1.0$ ， $q=0.3$  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，其沒水深度  $qh=10\text{cm}$ ，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  $K_t = H_t/H_i$ 。

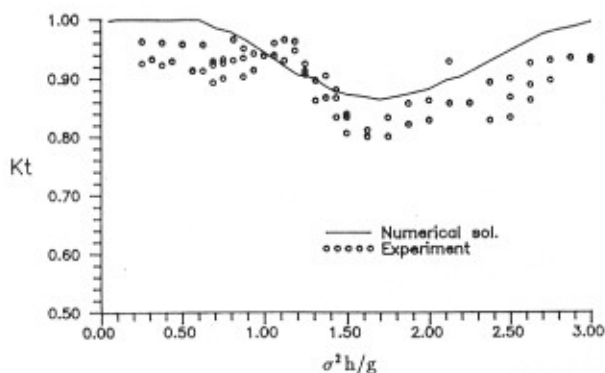


圖3 沒水水平板 ( $l/h = 1, q=1/3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

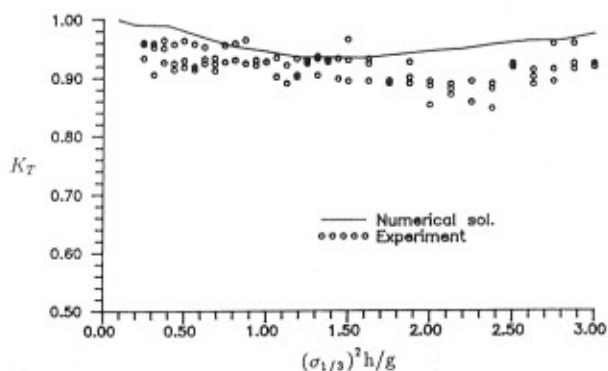


圖6 沒水水平板 ( $l/h = 1, q=1/3$ ) 不規則波透過率數值解與試驗值比較

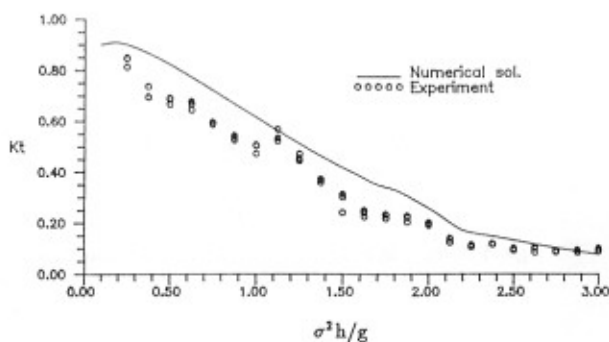


圖4 半潛式固定浮體 ( $l/h = 1, q=0.3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

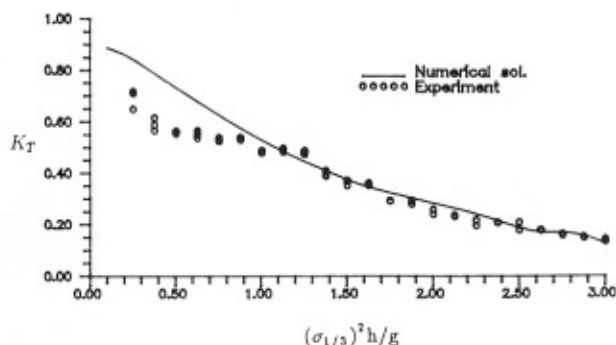


圖7 半潛式固定浮體 ( $l/h = 1, q=0.3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

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  $V = 9.48\%$ 。

圖5 為潛堤在  $l/h=1$ ,  $q=1/3$  情形下規則波透過率之數值解與試驗值比較圖，若同樣以上述偏差  $V$  分析數值

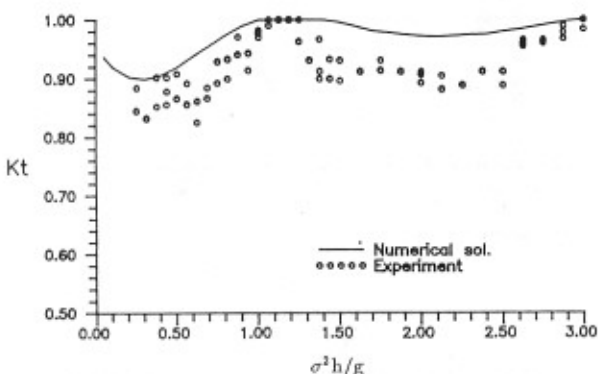


圖5 潛堤 ( $l/h = 1, q=1/3$ ) 規則波透過率數值解與試驗值比較

解與實驗值間之相關性，可得偏差  $V = 4.77\%$ 。

## 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 ~ 3.5cm 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6 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7 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  $V = 8.25\%$ 。

圖8 為潛堤在  $l/h=1$ ,  $q=1/3$  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  $V = 7.67\%$ 。

由以上數值解與試驗值之偏差均在 10% 以內，可證明



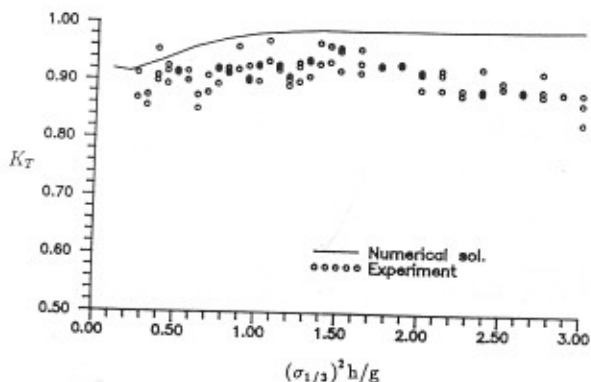


圖 8 潛堤 ( $\ell/h = 1, q=1/3$ ) 不規則波透過率數值解與試驗值比較

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 9 表示固定沒水水平板在各種特定板寬 ( $\ell/h = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ), 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  $\ell/h = 0.5, 1.0, 1.5$ ，水平板沒水深度愈淺，其最小透過率亦愈小，但  $\ell/h = 2.0$  時，則無此規律，當  $\ell/h = 1.0, q = 0.1, \sigma^2 h/g = 0.9 \sim 1.2$  及  $\ell/h = 2.0, q = 0.3, \sigma^2 h/g = 0.4 \sim 0.6$  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  $\ell/h = 0.5$  時，沒水深度愈大，其透過率愈大，即消波效果減小，該現象在  $\ell/h = 1.0, \sigma^2 h/g < 1.7$  及  $\ell/h = 1.5, \sigma^2 h/g < 0.8$  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  $\ell/h = 1.0, q = 0.1$  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 10 表示固定沒水水平板在特定板寬 ( $\ell/h = 0.5$ 、

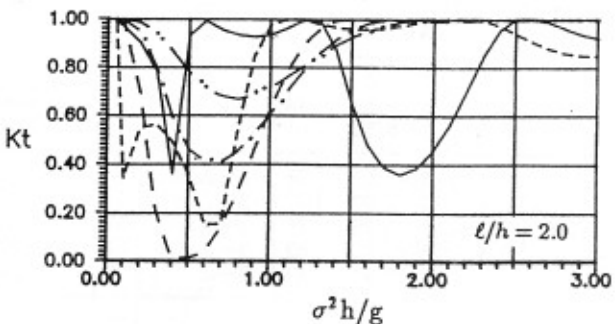
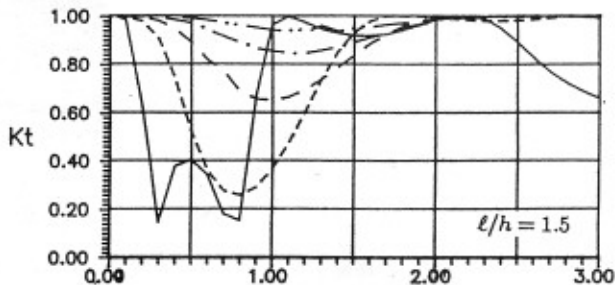
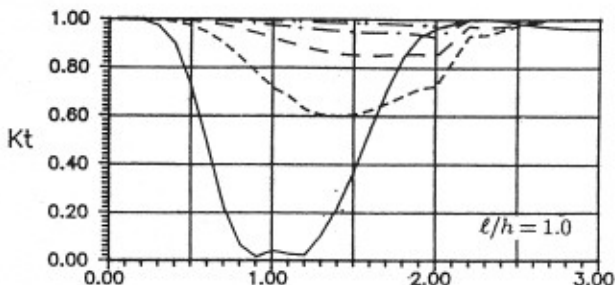
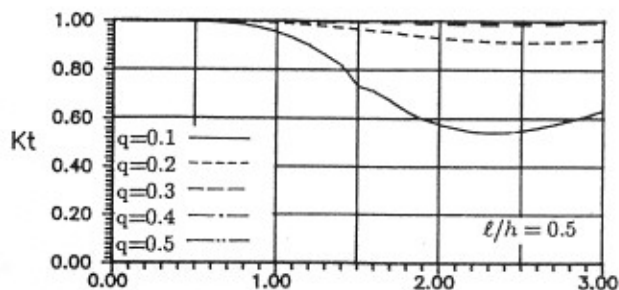


圖 9 沒水水平板在特定板寬，不同沒水深度之規則波透過率  $K_t$  (數值解)

表2 固定沒水水平板透過率與波浪週期關係

		規 則 波						不 規 則 波					
l/h	q	Kt<0.6		Kt<0.4		Kt<0.2		Kt<0.6		Kt<0.4		Kt<0.2	
		$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%
0.5	0.1	1.90~2.80	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	0.06~0.80	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	1.90~2.80	20	—	—	—	—	0.30~0.90	20	—	—	—	—

透過率小於某定值之週期範圍  
註：% =  $\frac{\text{透過率小於某定值之週期範圍}}{\text{全週期範圍}}$

表3 半潛式固定浮體透過率與波浪週期關係

		規 則 波						不 規 則 波					
l/h	q	Kt<0.6		Kt<0.4		Kt<0.2		Kt<0.6		Kt<0.4		Kt<0.2	
		$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%	$\sigma_{\frac{2}{3}}^2h/g$ 範圍	%
0.5	0.1	3~2.65	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	60	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	70	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	70	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

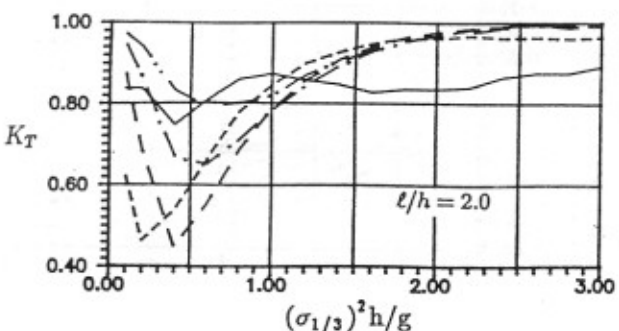
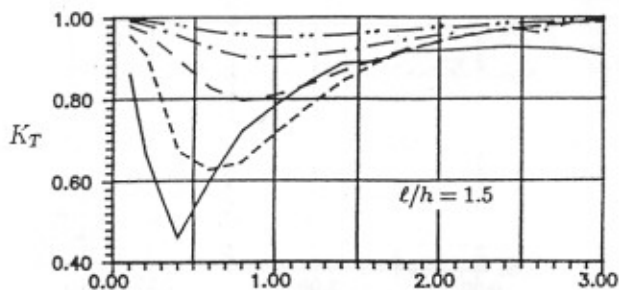
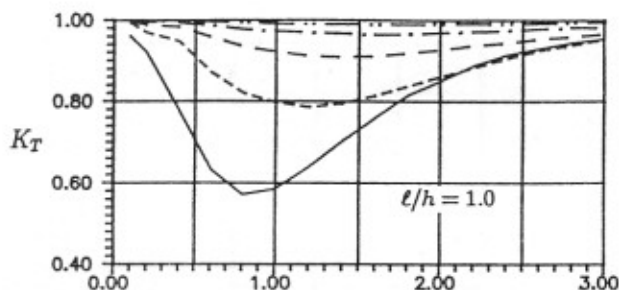
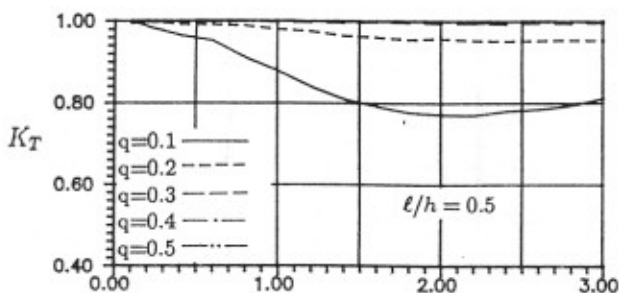


圖 10 沒水水平板在特定板寬，不同沒水深度之不規則波透過率  $K_T$  (數值解)

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  $K_T$  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 10 不規則波透過率與圖 9 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緩和，此現象亦可由表 2 明顯看出，即在相同沒水水平板配置情形下，不規則波透過率  $K_T$  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 11 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  $K_t$  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  $K_t$  有成反比之趨勢，即吃水深度  $qh$  愈大，其透過率  $K_t$  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 12 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  $K_T$  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 11 規則波透過率趨勢相同，即吃水深度  $qh$  愈大，其透過率  $K_t$  愈小；

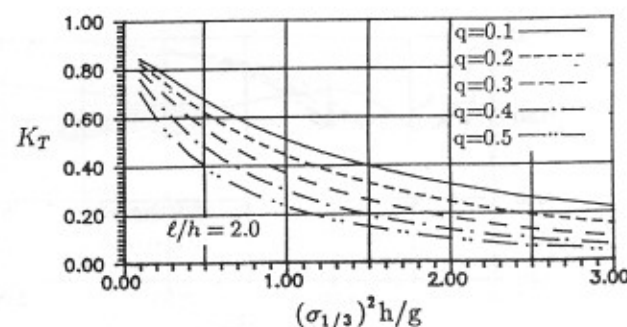
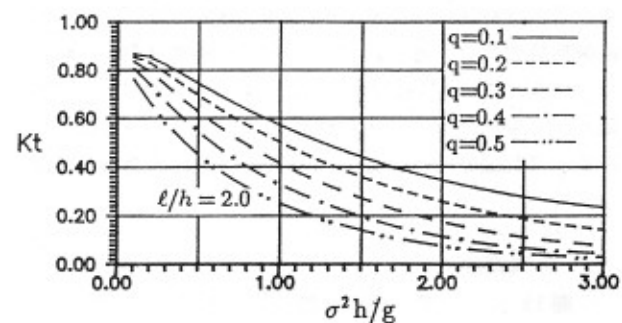
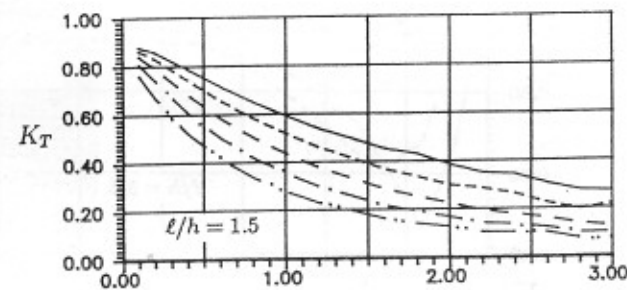
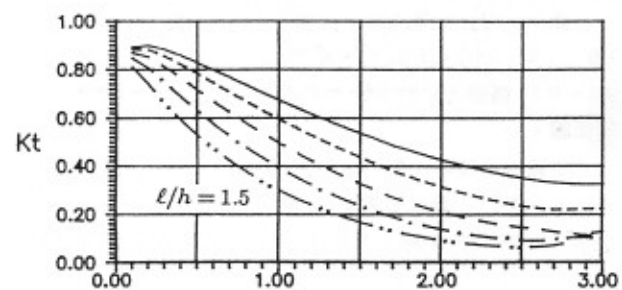
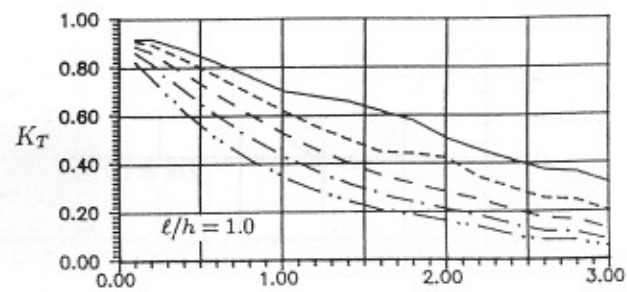
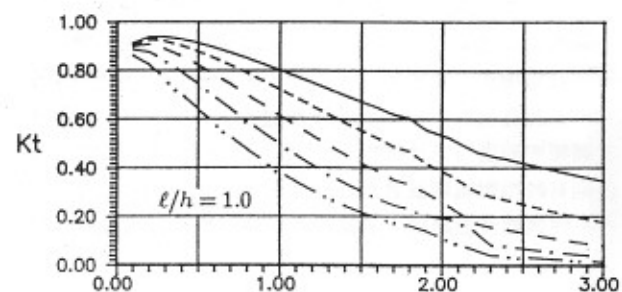
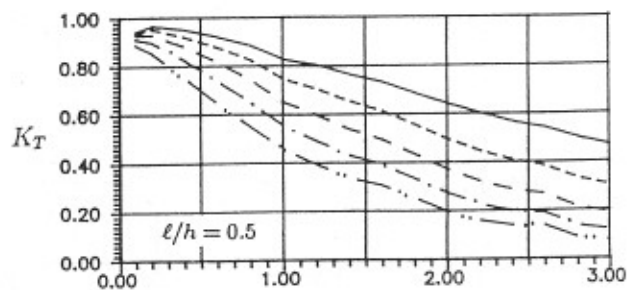
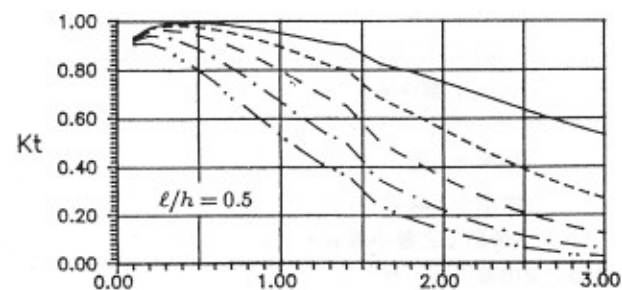


圖 11 半潛式固定浮體在特定板寬，不同沒水深度之規則波透過率  $K_t$  (數值解)

圖 12 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  $K_T$  (數值解)

另由表 3 可發現，在相同配置情形下，不規則波透過率  $K_T < 0.6$  及  $K_T < 0.4$  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。

### 6.3 潛堤

#### 6.3.1 規則波

圖 13 表示潛堤在特定堤寬 ( $\ell/h = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ )，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，潛堤之最小透過率均出現在較長週期範圍內。又潛堤之透過率值有隨入射波週期呈震盪性變化之現象，該現象在堤寬愈大且沒水深度愈小時愈為明顯，此時發生全透過的機會也愈多。對沒水深度而言，當  $q \geq 0.3$  時，其透過率有隨沒水深度增加而遞增之趨勢。由於潛堤在各種配置情形下其透過率均大於 0.6，可知潛堤對規則波之消波效果並不理想，故不另如沒水水平板及半潛式固定浮體般列表說明透過率與週期範圍之關係。

#### 6.3.2 不規則波

圖 14 表示潛堤在特定堤寬 ( $\ell/h = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ )，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  $K_T$  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，對特定堤寬，沒水深度愈小，透過率亦愈小，以週期而言，潛堤對長週期波之影響程度較短週期波為大，但由於不論何種配置，其透過率值均無低於 0.7 者，故知潛堤對不規則波之消波效果亦不佳，由此可證明潛堤並非一實用之消波構造。

經將不規則波透過率與圖 13 規則波透過率比較，可知不規則波透過率隨週期之變化情形顯然較規則波者為緩和，此與不規則波性質相吻合，亦較符合自然現象。

## 七、結論

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減長週期波之困擾。
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. 潛堤對長週期波之消波效果較之其對短週期波之消波效果為佳，但因其透過率均大於 0.6，故不是良好消波結構物。

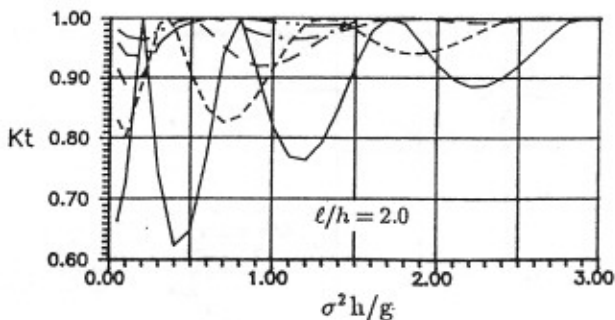
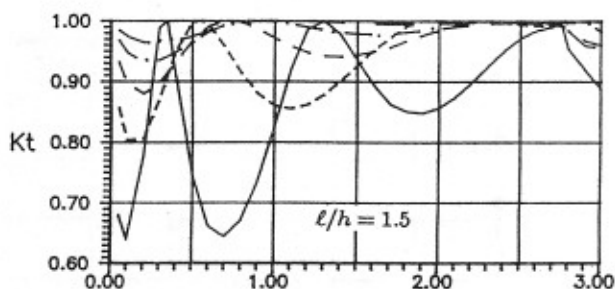
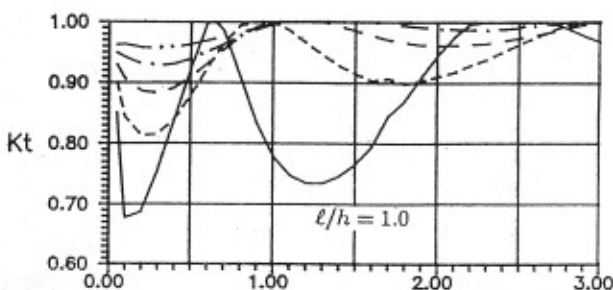
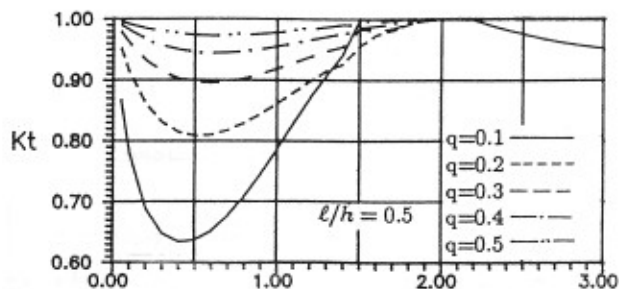


圖 13 潛堤在特定板寬，不同沒水深度之規則波透過率  $K_t$  (數值解)



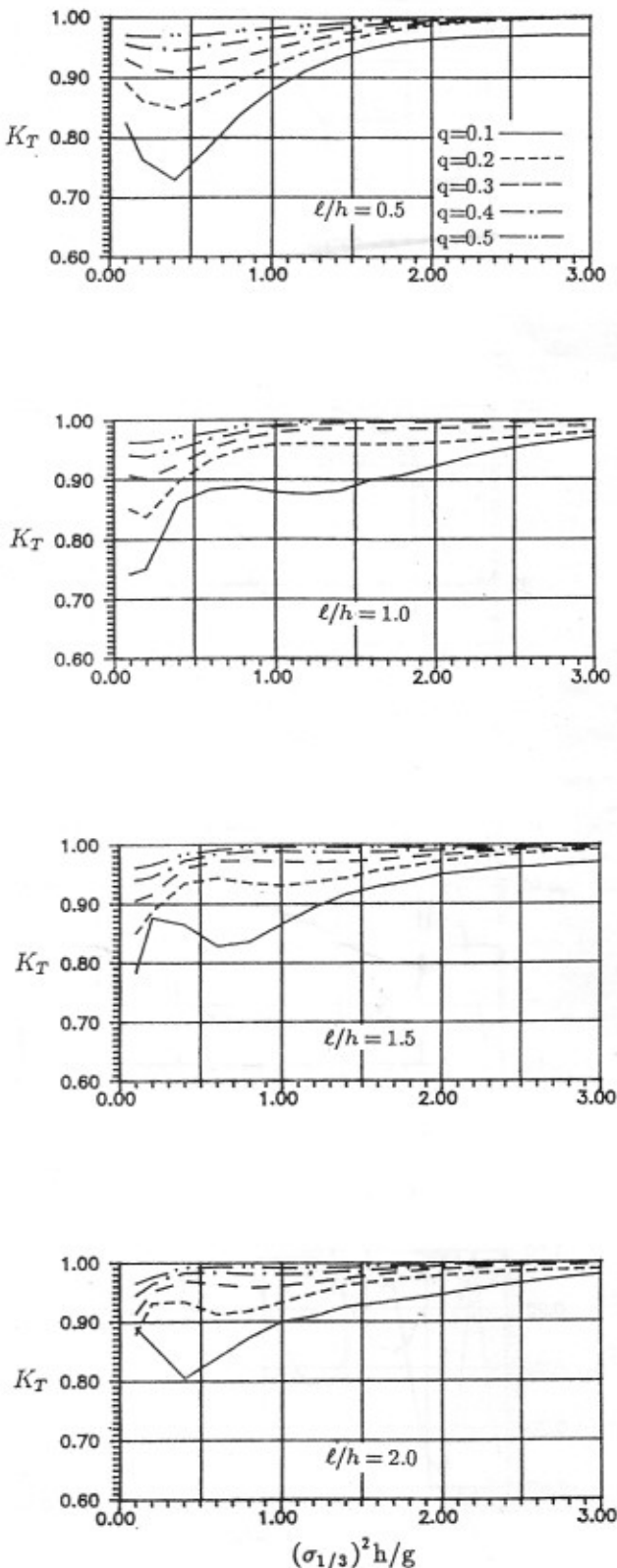


圖 14 潛堤在特定板寬，不同沒水深度之不規則波透過率  $K_T$  (數值解)

## 謝誌

本研究承國科會補助 (計畫編號：NSC.82-0209-E-019-026)，國立臺灣海洋大學河海工程研究所研究生劉俊志先生及盧銳明先生協助實驗，併此申謝。

## 參考文獻

1. 井島、尾崎、江口、小林，「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，日本，第97-106頁(1970)。
2. 井島、佐佐木，「潛堤の效果に関する理論的研究」，第十八回海岸工學講演會論文集，日本，第141-147頁(1971)。
3. 周石泉、湯麟武，「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，臺灣，第37.1-37.29頁(1983)。
4. 周宗仁、翁文凱、井島武士，「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，海洋大學，臺灣(1987)。
5. 岳景雲、姚武田、周宗仁，「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論文集，臺灣，第455-467頁(1989)。
6. 永井康平，「不規則な海の波の屈折および回折の計算」，日本運輸省港灣技術研究所報告，第11卷，第2號，日本(1972)。
7. 周宗仁，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，臺灣(1983)。
8. Rice, S. O., "Mathematical analysis of random noise", *Journal of Bell System Technology*, Vol. 23 and 24 (1944).
9. Bretschneider, C. L., "Significant waves and wave spectrum", *Ocean Industry* (1968).

82年4月12日 收稿  
82年7月26日 修改  
82年8月9日 接受