

時間領域不規則波受沒水結構物作用下波浪反射率 與波形變化之數值研究

石瑞祥¹ 周宗仁² 尹彰²

摘要

本論文利用邊界元素法配合時間領域之觀念及流體運動 Lagrangian 描述法建立消波式二維數值造波水槽來探討不規則波通過潛堤等沒水結構物後，其反射率暨波形之變化，以比較並探討時間領域內不規則波浪通過不同沒水結構物之消波效果。本研究以 Brestschneider- Mitsuyasu 波譜模擬活塞推拉式造波機之造波，水槽末端並設一消能區(sponge zone)以降低反射波之影響。利用等深水槽模擬不規則波在無任何結構物下遇垂直壁之反射率來檢驗本模式之準確性，並於自由水面上設置若干個虛擬波高計量取水面波形之變化，將所測得之水位資料分別以 Goda & Suzuki 等人所提之入、反射波分離法探討波浪之反射率，探討沒水潛堤之消波效果，同時根據各波高計所測得之反射率結果探討波高計之擺設位置對不規則波反射率量測結果之影響。

Numerical Study of Time-Domain Model for Irregular Waves Through Submerged Breakwaters

Ruey-Syan Shih Chung-Ren Chou John-Z Yim

ABSTRACT

Numerical simulations of irregular waves propagate over submerged breakwaters are investigated in this study by means of BEM. Based on the Lagrangian description and finite difference of time derivative, with the power spectrum defined by significant wave height and wave period employed for the condition of incident waves, the accuracy of the numerical model was first verified by studying the case of water tank without any obstacle. Sets of submerged bars are then fixed under the water tank for investigation. An artificial absorbing beach is employed at the other end of the flume to minimize the reflection effects. Power spectrum of Brestschneider-Mitsuyasu type was chosen for the generation of irregular waves. Time histories of water elevations are measured with numerous pseudo wave gages on the water surface, by comparing the spectra of these gages with the target, also refer to the methods for estimation of irregular incident and reflected waves presented by Goda & Suzuki, the dissipative efficiency of the breakwaters are therefore investigated.

一、緒論

近年來許多數值模式之建立與計算方法之開發隨著電子計算科技之快速發展而愈能逼真並準確的模擬與預測海岸工程上之各種物理現象，提供了海

岸結構施工設計及建構上許多可靠之參考數據，諸多國內外專家學者在數值造波水槽之研究分析上近來亦多有所突破與發展。由於海岸附近波浪之消能設施在傳統上大多以採用海堤、突堤、離岸堤等之護岸工法為主，台灣地區自 80 年代起陸續以海岸突堤、離岸堤等海岸保護工為之，以往為了達到消波之效果，堤防外側均推起大量的消波塊，此法雖可

1. 東南技術學院土木工程系 助理教授
2. 國立台灣海洋大學河海工程學系 教授

達到港池內靜穩度之要求而保障內陸之安全，然對於景觀及生態環境上之破壞及影響極大。近年來基於維護海岸自然景觀及親水政策之提倡，逐漸以所謂自然工法、生態工法等較為柔性之工法取代，而就海岸保護工程來說，類似潛堤、人工暗礁、養灘等之規劃方式似乎較為理想，對於各類潛堤之消波效果研究，國內、外均已具有相當多的專家學者提出許多不同的研究結果。利用設置潛堤之方式不但可以迫使波浪於堤上或堤後發生碎波，達到消波之效果，對景觀之破壞可以達到最小。本文利用數值方法模擬波浪通過沒水結構物之波浪反射率來探討此類問題。對數值造波水槽模式之研究，Madsen(1970)利用線性造波控制方程式模擬活塞式造波機之週期波造波問題。Brorsen 與 Larsen(1987)以邊界積分法解析非線性重力波之造波問題，而 Isaacson 等(1994)以 Green 定理解析時間領域內，瞬時、非線性波於水槽中之傳遞現象。周與石自(1996)起利用 Lagrangian 法描述流體運動之方式，配合時間差分之觀念以邊界元素法模擬孤立波及有限振幅波之造波、傳遞與波形變化之問題。數值造波水槽對各種非線性波之造波研究已相當成熟。僅管如此，然實際上海面上之波浪如眾所皆知為隨機運動之不規則波，對於不規則波之造波問題，Sugino 與 Tosaka(1990)以 BEM 法探討非線性不規則波之問題。Xu 與 Pawlowski(1993)利用 Green-Naghdi 定理建立 3D 數值水槽之非線性不規則波造波模式，Boo 與 Kim(1994)則以較高階之邊界元素模擬非線性不規則波，並利用 Stoke 二階非線性不規則波來探討浮體結構物周圍繞射之非線性現象。1998 年周與歐陽延續對數值水槽之研究以邊界元素法開發一可以不同設計波譜造不規則波之數值造波水槽，但礙於波浪受岸壁反射之影響，無法模擬足夠之波數。為解決此問題，周等(2000)將數值水槽末端設一消能區，開發為無反射式造波水槽，並應用此消波式水槽模擬不規則波之造波問題，得到相當好的結果。本文承襲此研究模式進一步探討沒水結構物之消波問題，於水槽中配置沒水結構物，利用有義波高 $H_{1/3}$ 及有義波浪週期 $T_{1/3}$ 所設計之波譜來模擬入射之不規則波，探討不規則波通過潛堤時波形之反射率及波浪變形之問題。

二、基本假設

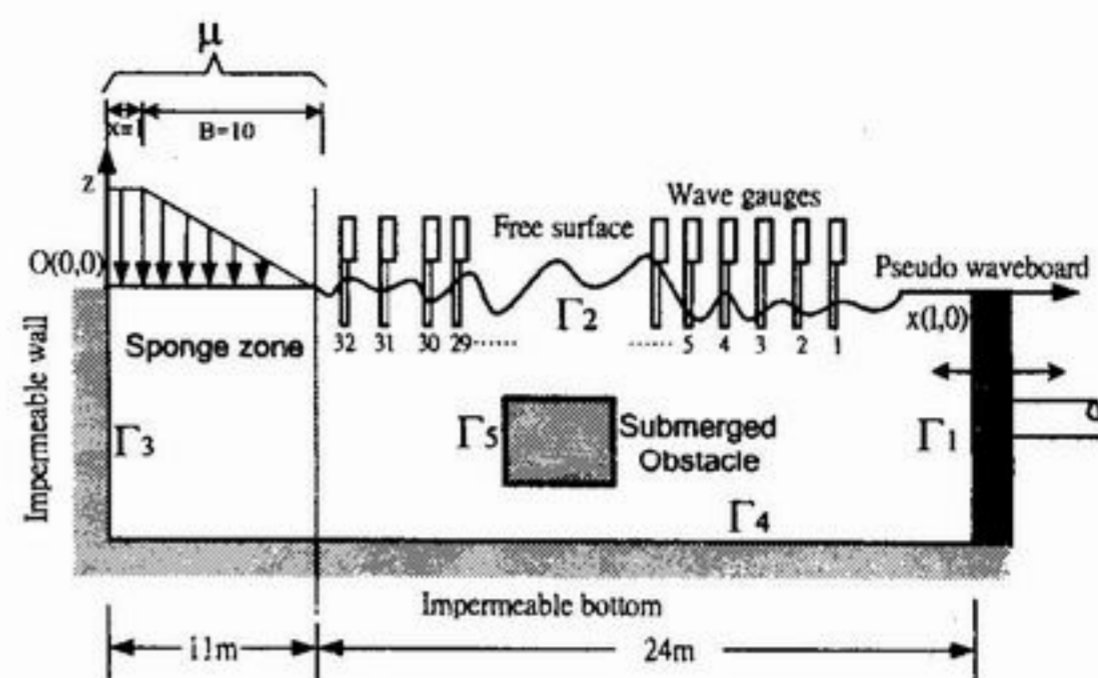


圖 1 數值造波水槽之斷面示意圖

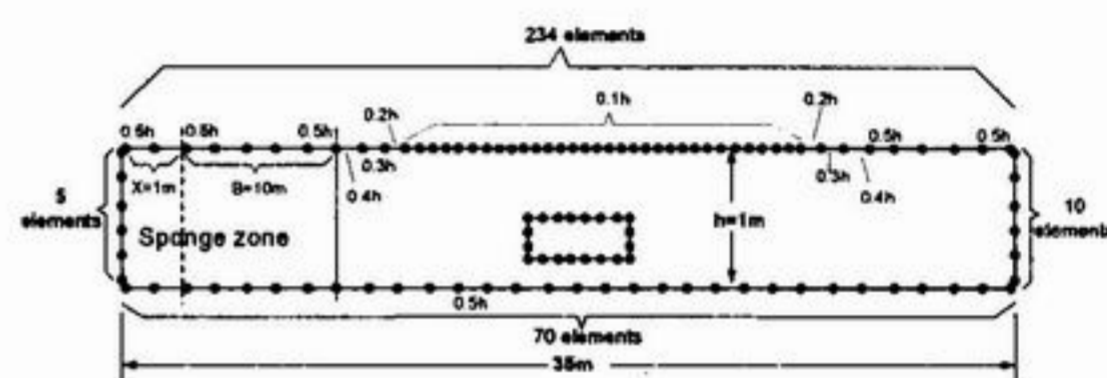


圖 2 解析領域邊界元素分割圖

造波水槽之斷面圖如圖 1. 所示，x 軸以水平向右為正，z 軸以垂直向上為正，於離垂直岸壁 $x=l$ 處設一虛擬造波邊界面 Γ_1 ，整個解析之領域形成一封閉之區域，其中 $\Gamma_1 \sim \Gamma_5$ 分別表示虛擬造波板、自由水面、垂直岸壁、不透水底面及沒水潛堤邊界，各邊界以 $N_1 \sim N_5$ 個元素作分割，其中自由水面上之分割採用不等分割，如圖 2 所示。領域內之流體假定為非粘性、非壓縮性之理想流體，當波浪往垂直岸壁之方向推進時，領域內之流體運動存有一速度勢 Φ ，此速度勢應滿足下列 Laplace 連續方程式：

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

1. 在自由水面 Γ_2 上，令大氣壓力恆為一定且為 0，依動力學及運動學邊界條件可得下列關係式：

$$u = \frac{Dx}{Dt} = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad (2)$$

$$w = \frac{Dz}{Dt} = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{D\Phi}{Dt} + g\eta - \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{P}{\rho} = 0 \quad (4)$$

上式中之 D 表示全微分， g 為重力加速度， η 為水面波形， P 為水面上之壓力。

水槽非消波段之水面上令大氣壓力恆為一定並視為 0，故 $P=0$ 。在虛擬消波透水層之水面上參考 Cao(1993)之方法，本文採用之 $P(x,\zeta)$ 可以表示為：

$$P(x,\zeta) = \mu(x)\Phi(\xi,\eta,t) \quad (5)$$

$$\mu(x) = \mu_0 \rho \left(\frac{x_B - x}{B}\right)^\alpha, \quad x_X < x < x_B \quad (6)$$

$$\mu(x) = \mu_0 \rho, \quad x \leq x_X \quad (7)$$

其中 x_X 及 x_B 分別為定值段及漸變段之起點位置， B 為漸變段(線性變化 $\alpha=1$)之長度， μ_0 為消能係數。

2. 在虛擬造波板邊界 Γ_1 上，造波板之移動速度 $U(t)$ 應滿足水分子水平方向之速度，即：

$$\bar{\Phi} = \frac{\partial \Phi}{\partial n} = -U(t) \quad (8)$$

根據有義波高及有義波浪週期，造波板邊界條件之假設可利用下列既定之波譜或任意波譜來制造不規則波，即：

$$S_0(f) = Af^{-5} \exp(-Bf^{-4}) \quad (9)$$

本文採用 Brestschneider-Mitsuyasu 波譜，故：

$$A = 0.257H_{1/3}^2 / T_{1/3}^4 \quad (10)$$

$$B = 1.03 T_{1/3}^{-4} \quad (11)$$

自由水面之水位變化根據能量波譜可由下式求得：

$$\zeta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2dfS(f_n)} \cos(\sigma_n t - \varepsilon_n) \quad (12)$$

其中 $\sigma_n = 2\pi f_n$ ， ε_n 為界於 0 與 2π 間之隨機變數。因此任意水深水粒子之水平向速度 $U(t)$ 可以表示如下：

$$U(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2dfS(f_n)} \sigma_n \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos(\sigma_n t - \varepsilon_n) \quad (13)$$

3. 在垂直岸壁 Γ_3 、不透水底床 Γ_4 及沒水結構物 Γ_5 上，垂直其方向水分子之速度為 0，即：

$$\bar{\Phi} = \frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (14)$$

三、數值方法

3.1 控制方程式

依據 Green 第二定理，解析領域內任意一點之速度勢 $\Phi(x,z;t)$ 可藉由邊界上之速度勢 $\Phi(\xi,\eta,t)$ 及其對邊界上法線方向之一次導函數 $\partial\Phi(\xi,\eta,t)/\partial n$ 來決定，即解析領域內任意一點 (x,z) 之速度勢可以下列積分方程式表示：

$$\Phi(x,z;t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Gamma} \left[\frac{\partial\Phi(\xi,\eta,t)}{\partial n} \ln \frac{1}{r} - \Phi(\xi,\eta,t) \frac{\partial}{\partial n} \ln \frac{1}{r} \right] ds \quad (15)$$

其中 $r = [(\xi-x)^2 + (\eta-z)^2]^{1/2}$ 。當領域內之任意點 (ξ',η') 趨近於平滑之邊界面 (ξ,η) 時，其速度勢則可由下列積分方程式表示：

$$\Phi(\xi',\eta';t) = \frac{1}{\pi} \int_{\Gamma} \left[\frac{\partial\Phi(\xi,\eta,t)}{\partial n} \ln \frac{1}{R} - \Phi(\xi,\eta,t) \frac{\partial}{\partial n} \ln \frac{1}{R} \right] ds \quad (16)$$

其中 $R = [(\xi-\xi')^2 + (\eta-\eta')^2]^{1/2}$ 。

上式經以 R 線形元素離散化後，可以再化為下列之矩陣形式：

$$[\Phi_i] = [O_{ij}] [\bar{\Phi}_j] \quad ij=1\sim 5 \quad (17)$$

$[\Phi]$ 及 $[\bar{\Phi}]$ 分別表示邊界上之速度勢及其法線方向之導函數值， $[O]$ 為與邊界幾何形狀有關之係數矩陣。(詳情請參閱 Chou & Shih (1996))

3.2 波浪反射率之測定

對於波浪入反射波分離法之研究，Figaard(1995) 與 Mansard(1980)等均曾探討此問題，本文採用 Goda & Suzuki (1976)所提出之方法求反射率。於水面上自虛擬造波板起在潛堤前後各取若干個測點量取其水面變化之歷時，經由平均水位以零上切法(zero-up cross)之方式求得示性波高 $H_{1/3}$ 及示性波週期 $T_{1/3}$ ，並利用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transfer, FFT)求得其能量波譜，故不規則波通過沒水結構物之反射率可經由堤前各波高計所測得之水位變化資料以 Goda 法探討波浪之反射率。根據 Goda(1976)之方法，利用兩個測點所測得之水位變化以 FFT 方式將入、反射波分離，於 $x=x_1$ 處，合成波形為：

$$\eta_1 = (\eta_i + \eta_r)_{x=x_1} = A_1 \cos \sigma t + B_1 \sin \sigma t \quad (18)$$

$$\begin{cases} A_1 = a_i \cos\theta_i + a_r \cos\theta_r \\ B_1 = a_i \sin\theta_i + a_r \sin\theta_r \end{cases} \quad (19)$$

其中 $\theta_i = kx_1 + \varepsilon_i$, $\theta_r = kx_1 + \varepsilon_r$, ε 為相位角。
於 $x=x_2(=x_1+\Delta l)$ 處，合成波形為：

$$\eta_2 = (\eta_i + \eta_r)_{x=x_1+\Delta l} = A_2 \cos\sigma t + B_2 \sin\sigma t \quad (20)$$

$$\begin{cases} A_2 = a_i \cos(\theta_i + k\Delta l) + a_r \cos(\theta_r + k\Delta l) \\ B_2 = a_i \sin(\theta_i + k\Delta l) + a_r \sin(\theta_r + k\Delta l) \end{cases} \quad (21)$$

其中 k 為波數， σ 為角頻率，解得入、反射波振幅：

$$a_i = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l - B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 + A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{1/2} \quad (22)$$

$$a_r = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l + B_1 \sin k\Delta l)^2 + (B_2 - A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{1/2} \quad (23)$$

$$\text{入射波總能譜 } E_i = \int_{f_{\min}}^{\max} S_i(f) df \quad (24)$$

$$\text{反射波總能譜 } E_r = \int_{f_{\min}}^{\max} S_r(f) df \quad (25)$$

$$\text{則反射率 } kr = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (26)$$

四、結果與分析

4.1 不規則波之消波

如圖 3 所示，分別為無消波區 ($\mu=0$) 及有消波區 ($\mu=1$) 之空水槽在有義波週期 $T_{1/3}=1.4$ 之不規則波造波過程所測得之水面波形變化歷時比較。圖 4 為空水槽在有義波週期 $T_{1/3}=0.6 \sim 1.4$ 之造波範圍所測得之反射率變化圖，在 $T_{1/3}=1.2$ 所測得之結果較小，而 $T_{1/3}=0.6$ 及 $T_{1/3}=1.4$ 之結果較接近全反射之理想結果。而圖 5 為不同位置各組波高計所測得之反射率，顯見有些地點所測得之值差異性較大(圈起者)。

4.2 潛堤長度對波形變化之影響

圖 5(a)~(d) 所示為波形變化歷時圖，在同一段時間序列內，入射波條件為 $T_{1/3}=0.8\text{sec}$ ，在堤高固定為 $0.5h$ 之條件下，潛堤長度達到水深之 4 倍時，

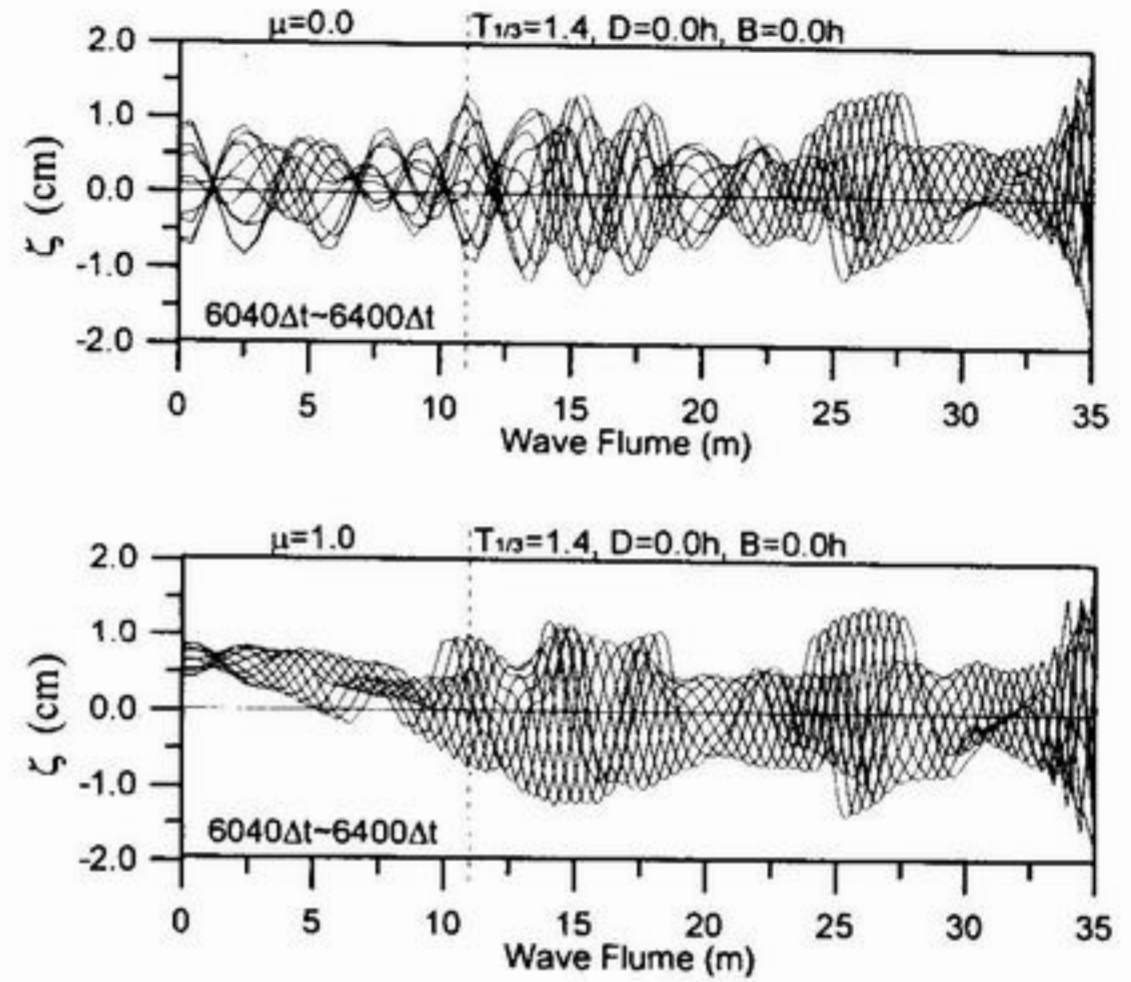


圖 3 不規則波通過無消波區 ($\mu=0$) 及有消波區 ($\mu=1$) 之空水槽波形變化歷時比較圖

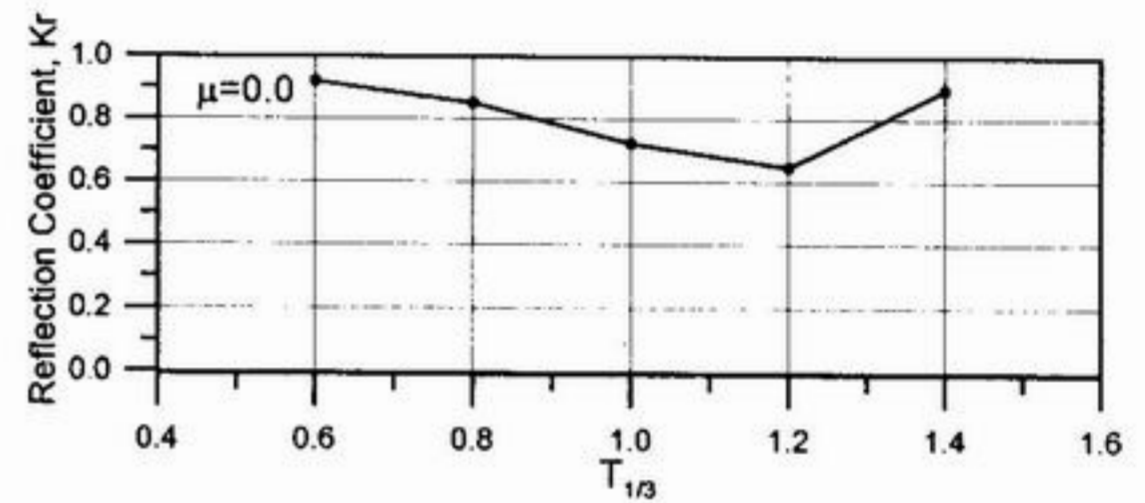


圖 4 不規則波通過無潛堤空水槽反射率變化

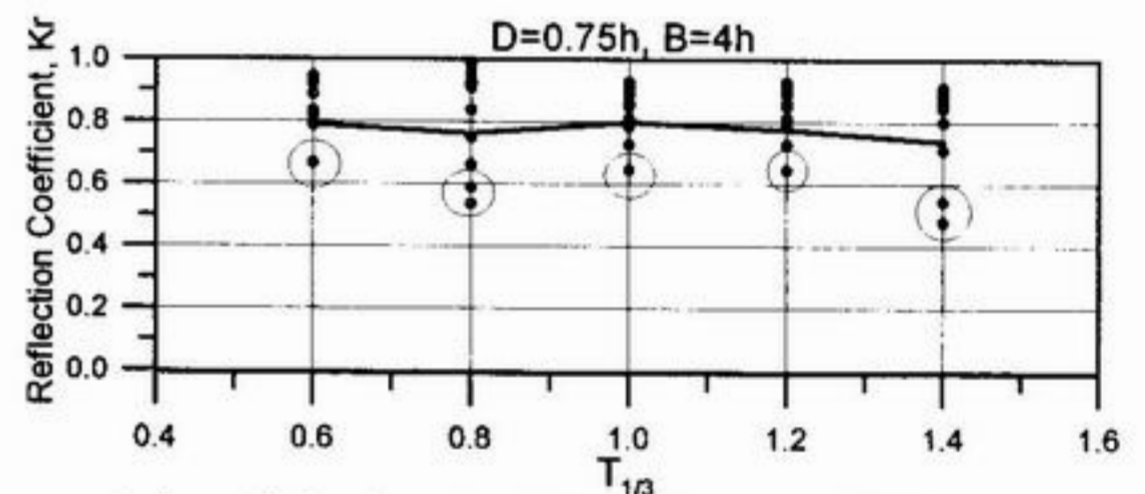


圖 5 波高計位置與所測反射率之關係

於堤前附近有明顯的部份重複波形成，波浪通過潛堤之波高相對於圖 6(a) 亦較小，不同於規則波之情形，由於不規則波乃由許多相異之成份波所組成，故堤前所顯現之重複波明顯程度並不代表反射率之大小，對於不同有義波週期之計算例無法以圖 6 之方式來判斷反射率之大小。圖 7 發現除了 $T_{1/3}=0.8\text{sec} \sim 1.0\text{sec}$ 有較明顯之重複波波外，隨著週期的加大，波長逐漸變長，在同一時段內，重複波之形成地點往造波板方向移，但重複波之現象亦逐漸不明顯。當堤長為 $B=1h$ 而堤高增為 $D=0.75h$ 時，由圖 8 發現隨著 $T_{1/3}$ 的遞增，堤前之部份重複波波愈加明顯，比較圖 8(d) 與圖 7(d) 發現堤前雖然有明顯的

部份重複波波形形成，但堤後的波高並未如預期的大幅減小，研判係因堤前之反射波應為週期較短的成份波，而長週期大部份波均通過潛堤之上方，根據圖 9 之計算例發現當堤高不變，堤長增加為 $B=3h$ 時，波浪受潛堤影響加劇，水深變淺所產生的淺化效應時間加長，波高變大而波長變短，在現實上甚至有發生堤上碎波的可能性，本文僅討論不發生碎波之情況，暫時無法模擬不規則波之碎波情形。

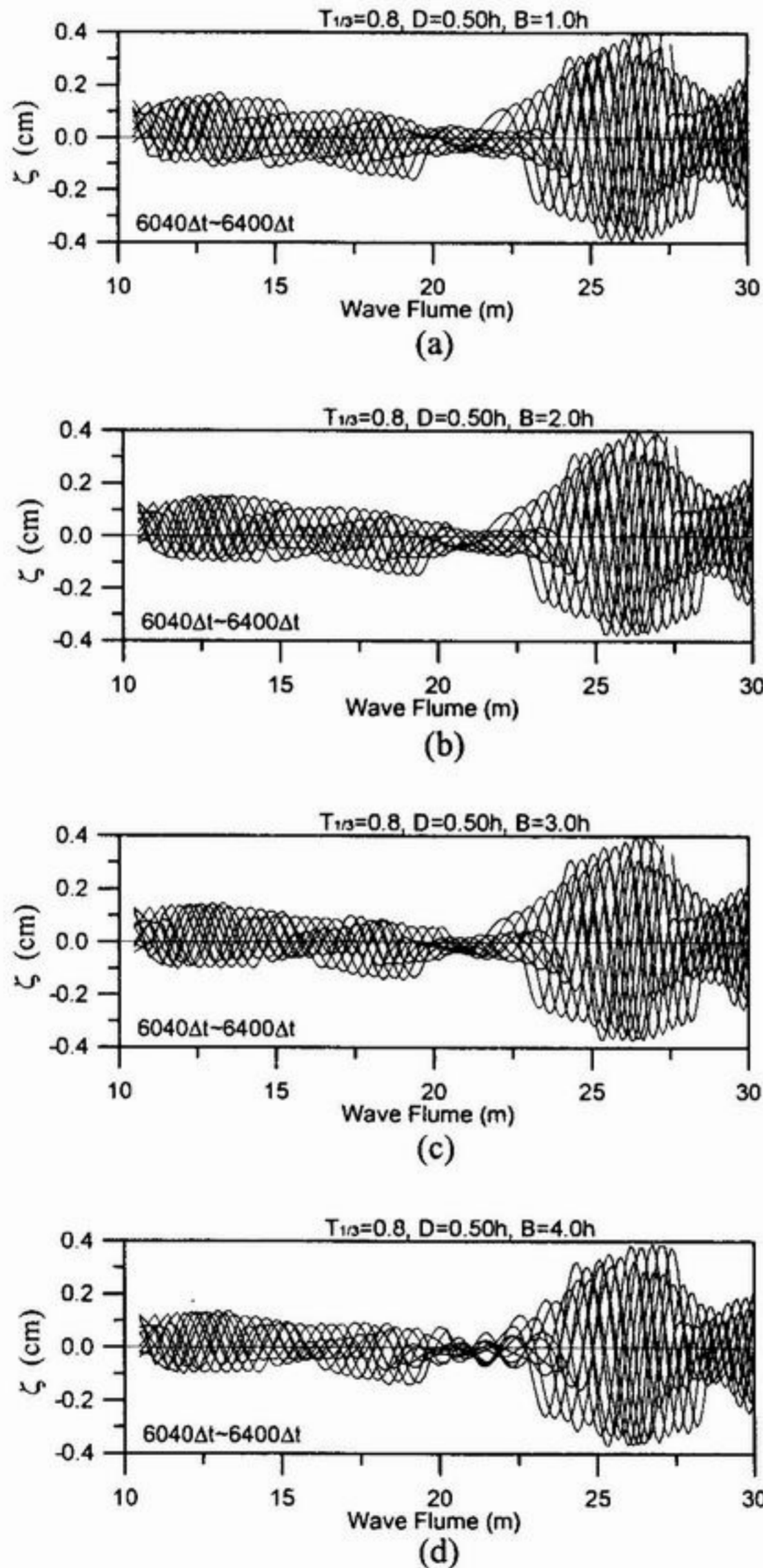


圖 6 不規則波通過不同長度潛堤之波形變化歷時

4.3 波浪反射率分析

反射率之計算乃根據水面虛擬波高計所測得之水位變化以 Goda 之入、反射波分離法計算反射

率之值。本文根據周等(2002)對孤立波及週期波所作之研究結果採用消能係數 $\mu=1$ 來消滅不規則波之能量雖能消滅大部之反射波，但仍有少部份波浪反射，此部份的能量大小視入射波浪之條件而定。當水槽內設置沒水結構物後，整個模擬過程變得更為

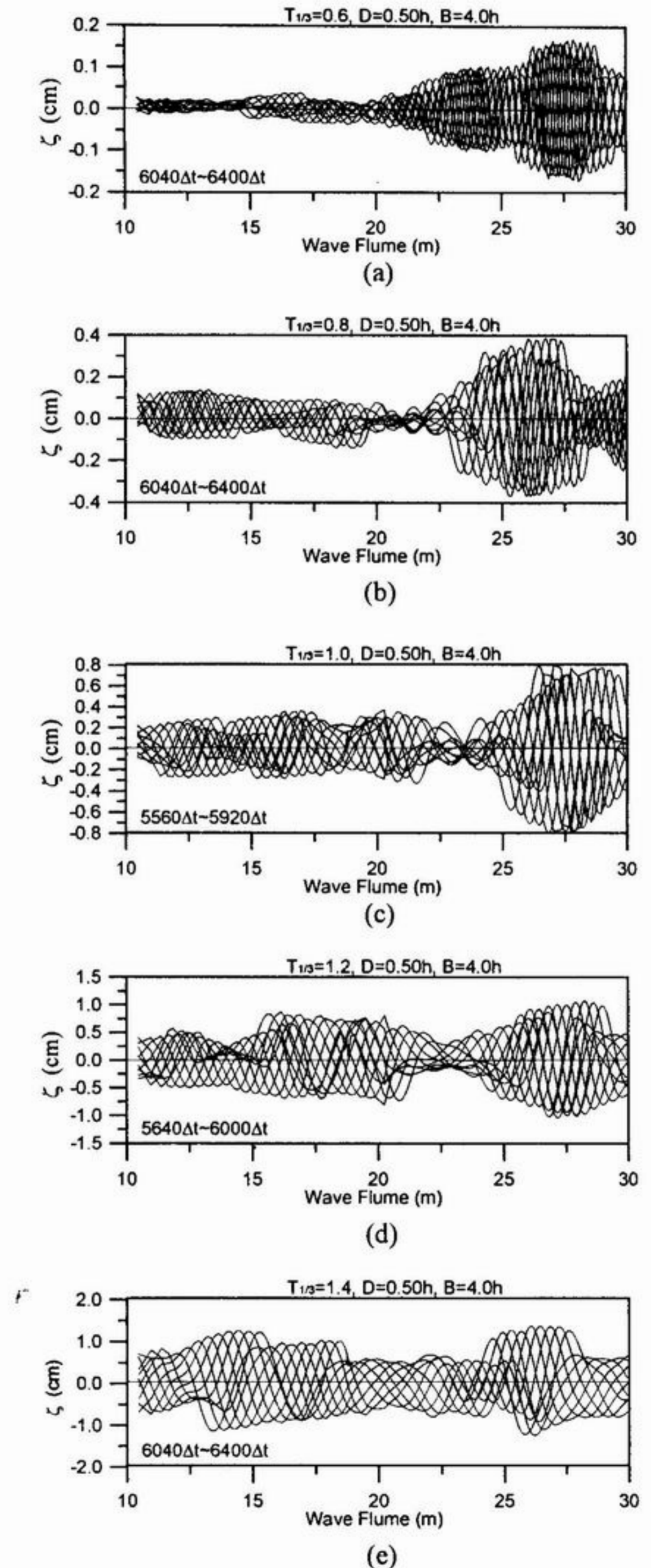


圖 7 不規則波通過固定長度潛堤時波形變化

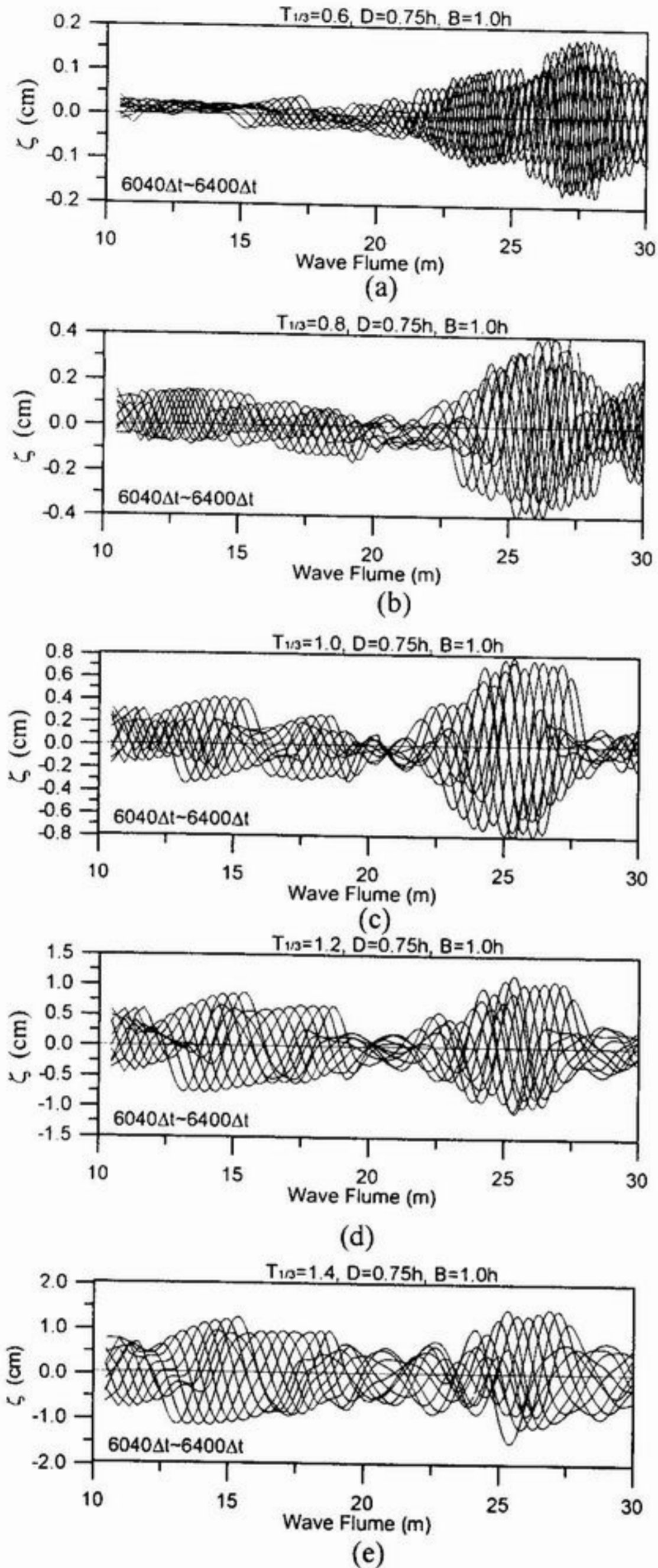


圖 8 不同週期不規則波通過潛堤之波形變化歷時

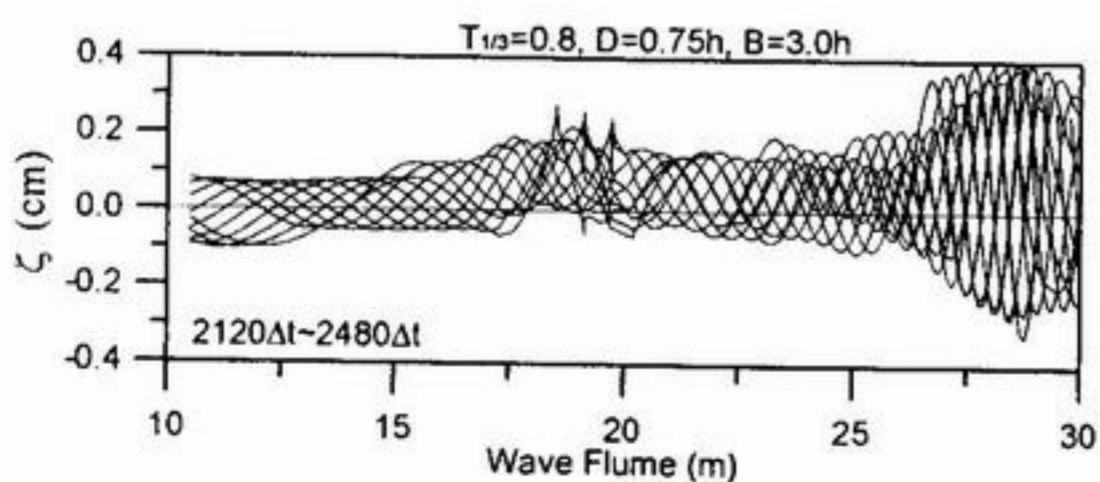
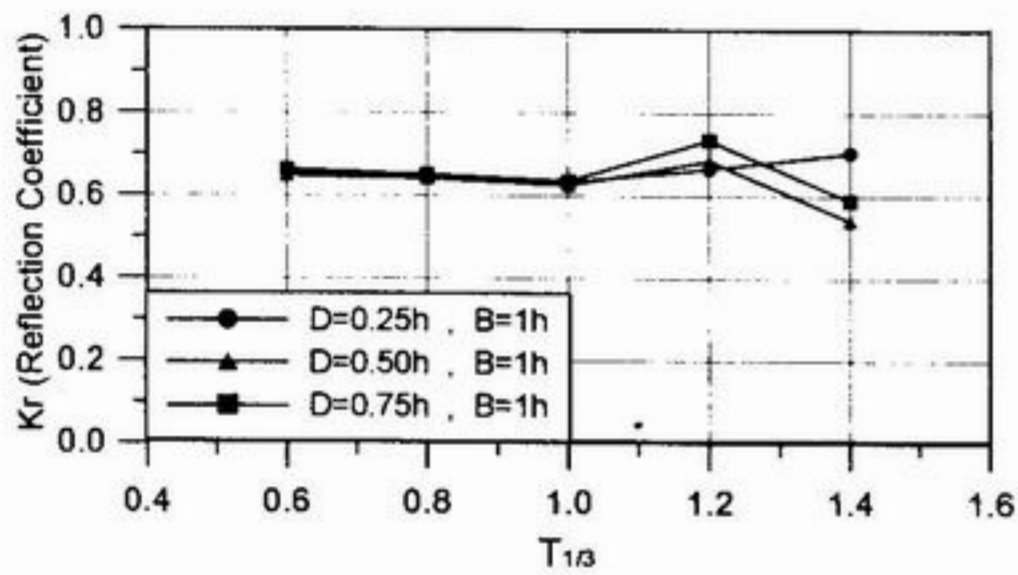
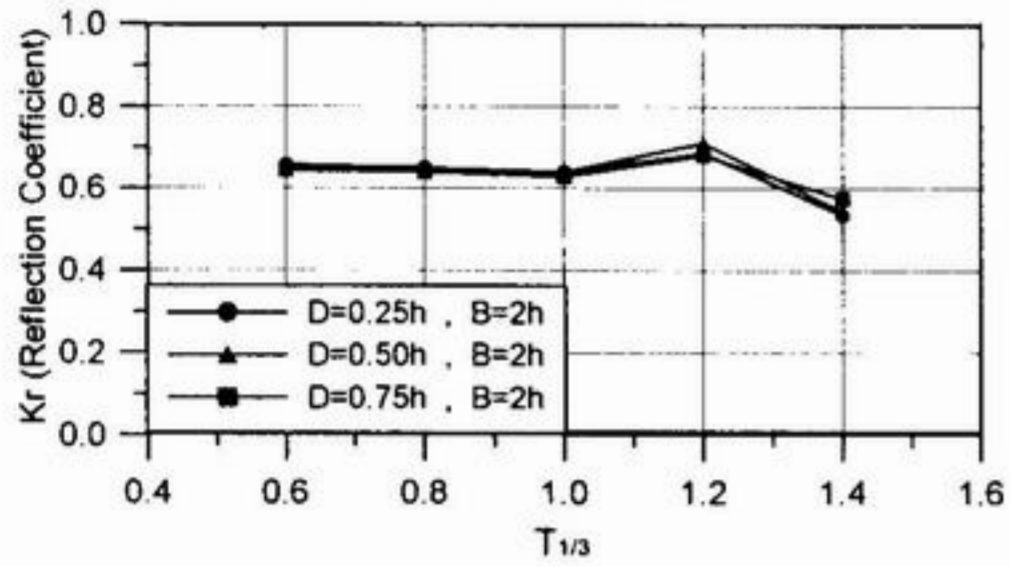


圖 9 不規則波通過 $D=0.75h$ 潛堤之波形變化歷時

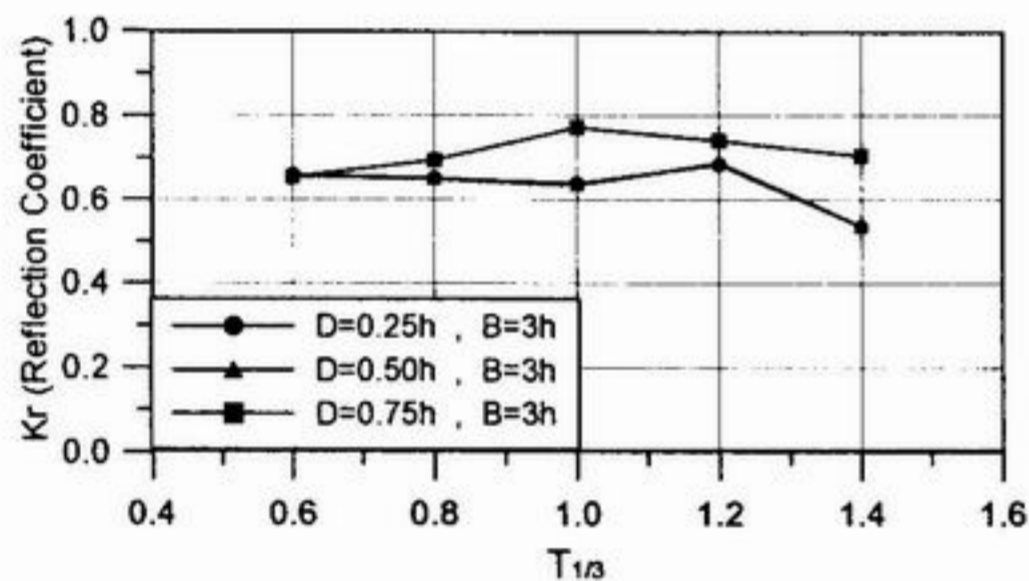
複雜，產生兩個影響數值計算穩定性之問題，其一為波浪受結構物影響之碎波現象，其二為入射波通過結構物所產生之反射波以及少量自消能區返回之波浪無法利用水槽末端之消波技術將反射波消除，此反射波將直接對造波板邊界，造成影響而發生二次造波等問題。對於第一個問題，由於本研究不考慮發生碎波效應之反射率，若因此發生計算過程不穩定而停止之計算，則仍以數值計算停止前所測得之結果來分析，但效模擬波數較不發生碎波時之大量波數少許多，分析時間較短，波譜較不完整。其次對於結構物之反射波問題，為避免造波受反射波之影響，與實驗室所採取之方式相同，分析時間自波浪到潛堤再反射到波高計之時間開始分析，到二次反射波到達波高計前之間的時間為分析之資料段，以此探討反射率之變化趨勢。Goda(1976)曾對波高計擺設位置對反射率估算結果之影響提出討論，認為規則波時波高計最近可置於結構物前四分之一波長之位置，小於此長度所測得之結果較不精確，波高計之間隔 Δl 不得為二分之一波長之整數倍，避免測到波節處之資料而產生太大之誤差，且須滿足 $0.05L < \Delta l < 0.45L$ 。本文主要之波高計自堤前 2m 開使以間隔 10cm 之間距架設，分析時取間隔 50cm 之兩波高計為一組來分析，各波高計之位置及各組波高計之編號分別如表 1 及表 2 所示。經分析結果發現每一組波高計在不同位置所測得之反射率有些許不同之結果，但整體趨勢是一致的，單一固定位置及單一筆試驗資料所分析之結果容易造成較大的誤差。規則波試驗有明顯的波峰與波節，波高計須避免置放於二分之一波長倍數的位置，即波節之處，然不規則波既是隨機波，波長不會固定，波高計所擺設之位置對反射率之測量結果會因週期 $T_{1/3}$ 之不同而有所影響。圖 10(a)~(d)為不規則波遇固定長度潛堤之反射率變化圖，(a)與(b)圖顯示，當潛堤長度小於 2 倍水深時，堤高之變化似乎對週期 $T_{1/3} < 1.0$ 之波群影響不大。當 $B > 2h$ 時，如(c)與(d)所示除了 $T_{1/3}=0.6$ 、 $B=3h$ 之外，整體之反射率在 $D=0.75$ 時均較 $D=0.25$ 及 0.5 時提升許多，反射率亦隨著 $T_{1/3}$ 增加(波長增長)而逐漸降低。如圖 11 所示，當潛堤高度 $D=0.25h$ 及 $0.5h$ 且長度 $B=1h$ 及 $2h$ 時，有義波週期之變化對反射率之影響不大，僅有



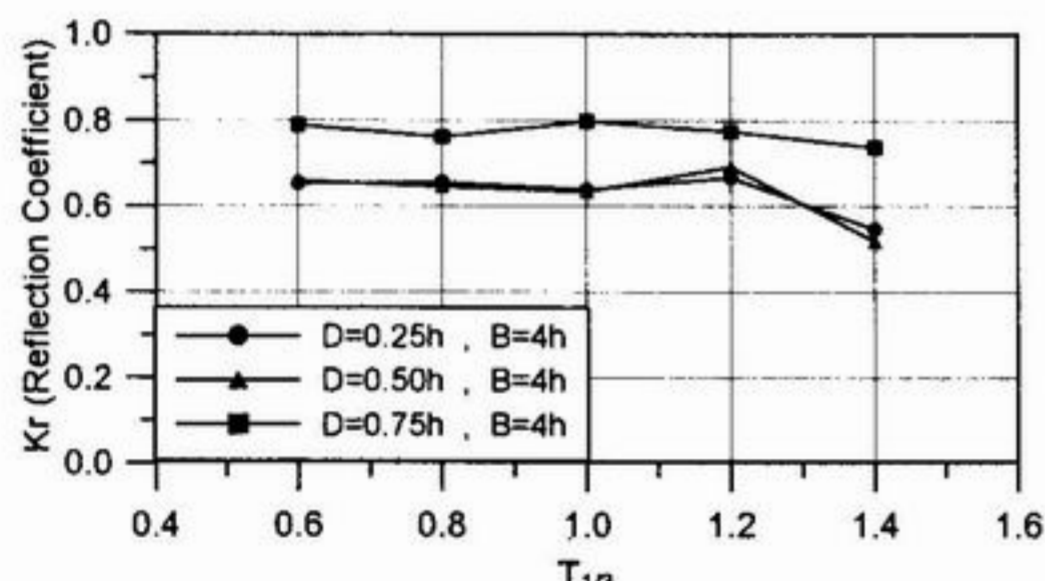
(a)



(b)

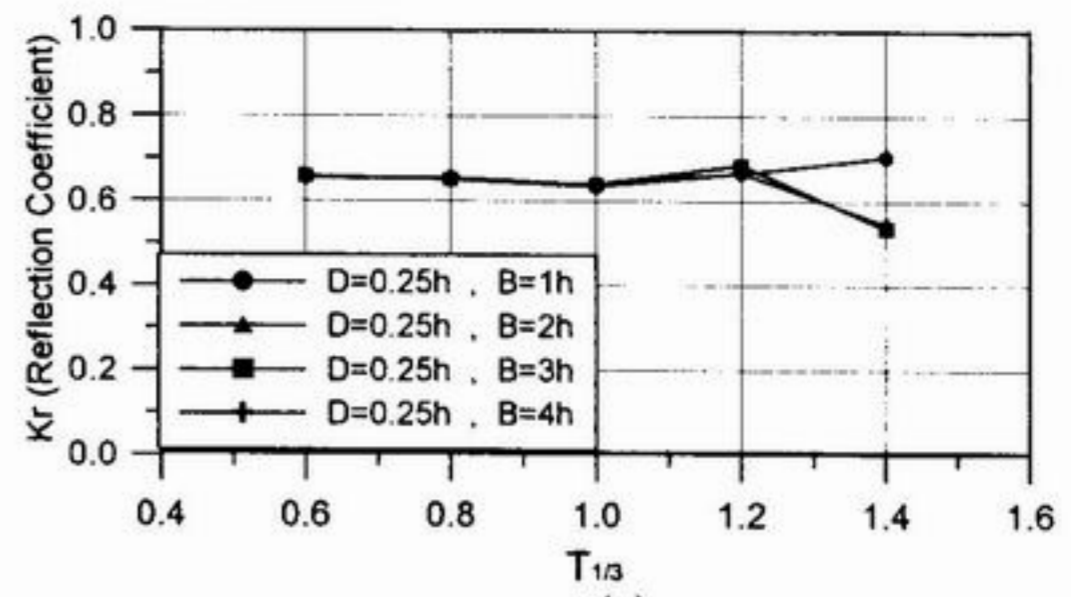


(c)

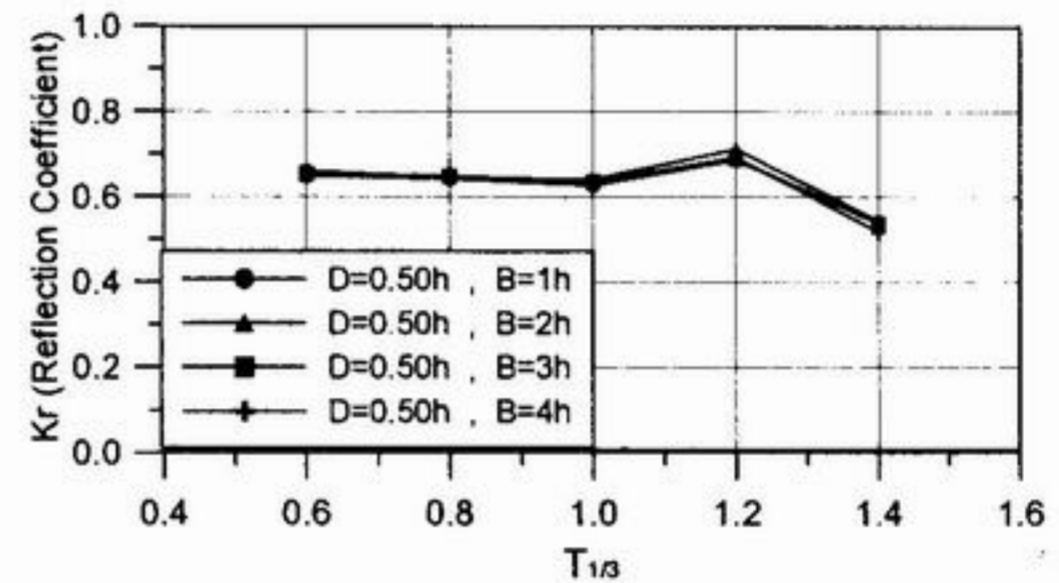


(d)

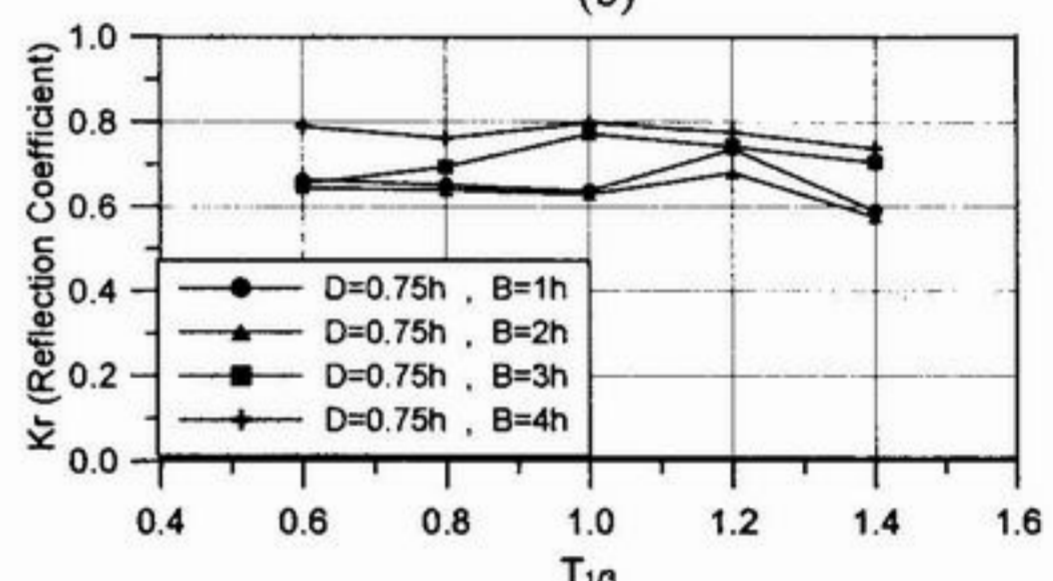
圖 10 不規則波遇固定長度潛堤之反射率變化
 在 $D=0.25h$ 時對 $T_{1/3}=1.4$ 波浪之反射率有影響。
 $D=0.75$ 時，反射率開始隨著堤長之增加而增加，
 $B=4h$ 對所有週期 $T_{1/3}>0.6$ 均有影響， $B=3h$ 對 $T_{1/3}>0.8$ 有影響，當堤長減為 $2h$ 時，反射率受堤長之影響降低。由圖 10 與圖 11 發現在 $T_{1/3}=1.2$ 時，反射率相較於其他週期之波浪均較高，受潛堤變化之影響幅度也較小。



(a)



(b)



(c)

圖 11 不規則波遇固定高度潛堤之反射率變化

表 1 各測站波高計之位置

測站編號	位置 (m)	測站編號	位置 (m)	測站編號	位置 (m)	測站編號	位置 (m)
01	31.0	09	22.7	17	21.9	25	21.1
02	29.0	10	22.6	18	21.8	26	20.0
03	26.0	11	22.5	19	21.7	27	19.0
04	25.0	12	22.4	20	21.6	28	18.0
05	24.0	13	22.3	21	21.5	29	17.0
06	23.0	14	22.2	22	21.4	30	15.0
07	22.9	15	22.1	23	21.3	31	12.0
08	22.8	16	22.0	24	21.2	32	11.0

表 2 分析反射率之波高計組合

組別	測站編號 (間隔 0.5h)		組別	測站編號 (間隔 0.5h)	
01	11	16	04	08	13
02	10	15	05	07	12
03	09	14	06	06	11

五、結論

本文利用邊界元素法之數值造波水槽模擬不規則波通過沒水潛堤前水面波形之變化，並探討波浪之反射率變化與潛堤高度及長度間之關係，經分析整理後得到以下之結論：

1. 本文模式探討不規則波受潛堤影響之方式就整體而言為一可行之方式，可預測不規則波沒水結構物之反射率，作為水工試驗前之參考。
2. 水槽內設置沒水結構物後，整個模擬過程變得更為複雜，波浪受結構物影響之碎波現象及入射波通過結構物後反射波所產生的二次造波問題並無法利用水槽末端之消波技術將能量消除，故除了增加水槽之長度外，未來將研究是否將造波板邊界進一步改為無反射式造波機。
3. 波高計之架設位置經分析結果發現每一組波高計在不同位置所測得之反射率有些許不同之結果，但整體趨勢是一致的，單一固定位置及單一筆試驗資料所分析之結果容易造成較大的誤差。不同於規則波之明顯的波峰與波節，不規則波無固定波長，波高計所擺設之位置對反射率之測量結果會因 $T_{1/3}$ 之不同而有所影響。
4. 潛堤長度小於 2 倍水深時，堤高之變化乎對週期 $T_{1/3} < 1.0$ 之波浪的反射率影響不大。當 $B > 2h$ 時，除了 $T_{1/3} = 0.6$ 、 $B = 3h$ 之外，整體之反射率在 $D = 0.75$ 時均較 $D = 0.25$ 、 0.5 時提升許多，反射率亦隨著 $T_{1/3}$ 增加而逐漸降低。

謝誌

本文係國科會研究計畫「時間領域不規則波受沒水結構物作用下波浪反射率與波形變化之數值研究」(編號 NSC92-2611-E-236-001)之研究成果，承蒙國科會經費之補助使本研究得以順利完成，謹致感謝之意。

參考文獻

- 1.周宗仁、石瑞祥、尹彰(2000)"消波式二維數值造波水槽的開發研究"，第二十三屆海洋工程研討會論文集，119 頁-126 頁。
- 2.Boo, S.Y.and Kim, C.H. (1994) "Simulation of fully nonlinear irregular waves in a 3-D numerical wave tank", *Pro.4th Int. Offshore and Polar Eng. Conf*, Vol. III, Osaka, Japan, PP.17~23.
- 3.Brorsen, M. and Larsen, J. (1987) "Source generation of nonlinear gravity waves with the boundary integral equation method", *Coastal Engineering*, Vol.11, No.4, PP.93~113.
- 4.Cao, Y., Beck,R.F. & Schultz, W.W. (1993) "An absorbing beach for numerical simulations of nonlinear waves in a wave tank", *Proc. 8th Intl. Workshop Wavter and Floating Bodies*. pp.17~20.
- 5.Chou, C.R. and Ouyang, K. (1998) "Development of numerical irregular wave making channel", *Pro. Of the 8th China-Japan symposium on Boundary Element Method*, Acadmic Publisher, pp.142~149.
- 6.Chou, C.R. and Shih, R.S. (1996) "Generation and deformation of solitary waves", *China Ocean Eng.*, China Ocean Press, Vol.10, No.4, pp.419-432.
- 7.Figaard, P. & Borsen, M. (1995) " A time-domain method for separating incident and reflected irregular waves", *Coastal Eng.*, Vol.24, pp.205~215.
- 8.Goda, Y. and Suzuki, Y. (1976) " Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments", *Proc. 15th Int. Conference on Coastal Engineering*, Honolulu, Vol.1, pp.828~845.
- 9.Isaacson, M., Cheung, K.F., Mansard, E. and Miles, M.D. (1994) "Transient wave propagation in a laboratory flume", *J. of Hydraulic Research*, Vol.31, No.5, pp.665~680.
- 10.Mansard, E. and Funke, E. (1980) "The measurement of incident and reflected spectra using a least square method", *Proc. 17th Int. Conference on Coastal Engineering*, Sydney, Vol.1, pp.154~172.
- 11.Sugino, R, and Tosaka, N. (1990) "Boundary element analysis of nonlinear irregular water wave problem", *Pacific congress on marine science and technology*, pp.18~25.
- 12.Xu, Q., Pawlowski, J.S. and Baddour, R.E. (1993) "Simulation of nonlinear irregular waves by Green-Naghdi Theory", *Int. workshop on water wave and floating bodies*, New-foundland, Canada.