

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

不規則波列與潛沒透水結構物的互制研究(II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-041-011-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

計畫主持人：董志明

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：林淑萍

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

不規則波列與潛沒透水結構物的互制研究 (II)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2221-E-041-011-

執行期間： 98 年 8 月 1 日至 99 年 7 月 31 日

計畫主持人：董志明

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

中華民國 99 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

不規則波列與潛沒透水結構物的互制研究 (II)

On the interaction between random wave trains and submerged permeable structures (II)

計畫編號：NSC 98-2221-E-041-011-

執行期限：98年8月1日至99年7月31日

主持人：董志明 嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

一、中文摘要

潛堤目前已經廣泛的用於海岸的保護上，潛堤設置的用意為提早破壞波浪結構及消散波力與能量，減少波浪對海岸的直接衝擊，進而達到保護灘線與維護自然景觀的目的。近來人造多孔結構物(如：碎石防波堤、人工魚礁、海堤的護甲層)已引起海岸工程界廣泛的興趣與討論，由於實際海面是不規則的，所以正確的呈現不規則波浪與潛沒透水結構物的互制現象是工程設計時相當重要的課題。本計畫規劃為兩年期，而目前正在執行的計劃(98.08~99.07)為將第一年發展完成的模式與多孔介質的模式結合，並引入座標轉換，探討不規則波列與任意形狀之透水潛沒結構物的互制作用。

關鍵詞：黏性數值波浪水槽、不規則波列、潛沒不透水結構物

Abstract

Submerged breakwaters are widely used for coastal protection against wave attack. The goal of this kind of structure is to reduce the transmitted wave energy by reflecting the waves and dissipating the incident wave energy by breaking up the waves. Recently, artificial porous structures such as rubble-mound breakwaters and artificial fishing reefs or armor layers for the protection of seawalls have received great interest in coastal and harbor engineering. Natural, sea waves will be irregular, with stochastically varying wave heights and periods. An accurate representation of the submerged permeable structure response

under irregular wave attack is of prime importance for engineering design purposes. The main purpose of the present project in the second year (98.08~99.07) is to develop a numerical model and using this numerical model to investigate the interaction between random wave trains and submerged permeable structures.

Keywords: viscous numerical wave tank, random wave trains, submerged impermeable structures

二、研究目的及文獻探討

早期人類為了抵擋波浪對沙灘及近岸房舍的破壞，便於岸邊築起一道道宛如海上萬里長城的海堤，海堤的修築雖然使波浪對近岸的破壞暫時得到減緩，但波浪於堤前的反射導致一段時日後海堤的堤趾便會嚴重沖刷而崩壞；除此之外，海堤的修築也阻擋了人們與大海親近的機會，有鑑於此，便有離岸堤的產生，離岸堤主要是將海堤的結構搬至外海，其功用是將波浪的能量阻攔在外海，削減其傳至近岸的能量以達保護灘面的效果，但離岸堤的設置會導致近岸船隻進出的不便，離岸潛堤於焉而生，離岸潛堤的施工為達方便之效大都於近岸先製作沈箱，然後以船隻將沈箱拖拉至規劃地點擺放，所以早期的潛堤都屬於不透水的形式，波浪通過潛堤時會因水深急遽變淺非線性效應增大而產生波高較大的高階波，此高階波(又稱為自由波)是由近乎共振交互作用(near-resonant interaction)所產生的，此現象由Bryand[1]接繫於世人面前後，引起許多學者對此現象的興趣，因此在西元1980-2000年間所

多學者投身於波浪與潛沒不透水結構物非線性互制的研究，如:Massel[2]、Rey[3]等人使用勢流理論結合非線性邊界條件，探討自由波與強制波的生成機制；Beji and Battjes[4]、Schaffer and Madsen[5]則使用 Boussinesq-type 的方程式去研究波浪通過潛堤的現象；Kittitanasuan 等人[6]、Driscoll 等人[7]、Ohyama and Nadaoka[8]則使用邊界元素法求解 Laplace 方程及非線性的自由液面邊界條件，探討波浪與潛沒不透水結構物的交互作用；上述的研究對於潛堤上方波高的描述都有不錯的效果，但是對於潛堤附近流場的描述則都不盡理想(因為無法描述渦流的現象)，於是求解 Navier-Stokes type 方程式的研究陸續出現，如：Huang and Sue[9]、Huang and Dong[10]...等。

近年來許多學者研究發現，透水潛堤的多孔材質能大幅減少入射波的能量，其消波的效果優於不透水潛堤；除此之外，透水潛堤因存在許多大小不等的孔隙，於是變成近岸魚群良好的庇護場所，因此許多學者興起以數值計算的方式研究規則波浪與透水潛堤的互制作用(Sakakiyama and Kajima[11]、Van Gent[12]、Liu 等人[13]、Huang 等人[14]、Garcia 等人[15])；但實際海面的波浪是不規則且隨機的，為了使研究成果能用於解決實際的海岸問題上，考慮波浪的隨機性是極其必要的，目前關於以數值計算方式研究不規則波與透水潛堤互制現象的研究有:Avgeris 等人[16]使用 Boussinesq-type 的模式求解潛堤透水性對不規則波列的影響；Lara 等人[17]則使用求解 Navier-Stokes type 的模式研究不規則波與透水潛堤的互制，然而這方面研究的相關文獻目前還相當少，許多相關的機制尚待釐清。本計畫主持人已開發完成求解 Navier-Stokes 方程以及完整的自由液面邊界條件的數值黏性波浪水槽(Dong [18])，並用其研究波浪與不透水潛堤互制時的非線性效應及渦流特性(黃、董及郭[19, 20]，Huang and Dong [21]，Dong and Huang [22])，近來更結合橢圓餘弦造波理論，完

成橢圓餘弦數值造波水槽的模式(董等人[23])，本計畫的目的即在進一步開發此模式使其可用於研究不規則波列與透水潛堤的互制上。

三、研究方法

本計畫的研究示意圖如圖 1 所示，而本計畫第二年所欲探討的問題為將第一年發展完成的模式與多孔介質的模式結合，並引入座標轉換，探討不規則波列與任意形狀之透水潛沒結構物的互制作用，以下則針對第二年研究所欲採行的方法與步驟區分成三方面加以說明：

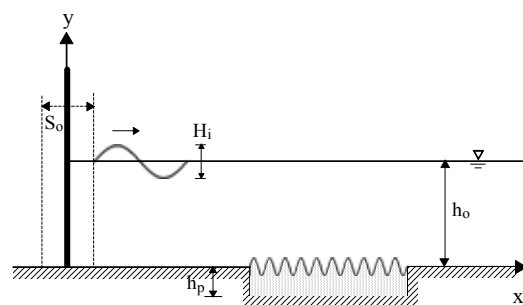


圖 1 本研究之示意圖

(A)水體介質的控制方程式

本研究計畫在水體紊流的計算上採用求解 $k-\varepsilon-E$ 模式，其控制方程為：

$$\frac{\partial}{\partial \xi} (U \xi_x + V \xi_y) + \frac{\partial}{\partial \eta} (U \eta_x + V \eta_y) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & g^{11} U_{\xi\xi} + g^{22} U_{\eta\eta} + 2g^{12} U_{\xi\eta} + f^1 U_{\xi} + f^2 U_{\eta} \\ &= \frac{R_{eff}}{J} \left\{ \left[U - \frac{2}{J} (b_1^1 v_{t,\xi} + b_1^2 v_{t,\eta}) \right] \cdot (b_1^1 U_{\xi} + b_1^2 U_{\eta}) \right. \\ &+ \left[V - \frac{1}{J} (b_2^1 v_{t,\xi} + b_2^2 v_{t,\eta}) \right] \cdot (b_2^1 U_{\xi} + b_2^2 U_{\eta}) \left. \right\} \\ &+ R_{eff} U_t + s_U \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & g^{11} V_{\xi\xi} + g^{22} V_{\eta\eta} + 2g^{12} V_{\xi\eta} + f^1 V_{\xi} + f^2 V_{\eta} \\ &= \frac{R_{eff}}{J} \left\{ \left[U - \frac{1}{J} (b_1^1 v_{t,\xi} + b_1^2 v_{t,\eta}) \right] \cdot (b_1^1 V_{\xi} + b_1^2 V_{\eta}) \right. \\ &+ \left[V - \frac{2}{J} (b_2^1 v_{t,\xi} + b_2^2 v_{t,\eta}) \right] \cdot (b_2^1 V_{\xi} + b_2^2 V_{\eta}) \left. \right\} \\ &+ R_{eff} V_t + s_V \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
& g^{11}k_{\xi\xi} + g^{22}k_{\eta\eta} + 2g^{12}k_{\xi\eta} + f^1k_{\xi} + f^2k_{\eta} \\
= & \frac{R_{eff}}{J} \left\{ [\sigma_k U - \frac{1}{J}(b_1^1 v_{t,\xi} + b_1^2 v_{t,\eta})] \cdot (b_1^1 k_{\xi} + b_1^2 k_{\eta}) \right. \\
& + [\sigma_k V - \frac{1}{J}(b_2^1 v_{t,\xi} + b_2^2 v_{t,\eta})] \cdot (b_2^1 k_{\xi} + b_2^2 k_{\eta}) \left. \right\} \\
& + \sigma_k R_{eff} k_t + s_k
\end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
& g^{11}\varepsilon_{\xi\xi} + g^{22}\varepsilon_{\eta\eta} + 2g^{12}\varepsilon_{\xi\eta} + f^1\varepsilon_{\xi} + f^2\varepsilon_{\eta} \\
= & \frac{R_{eff}}{J} \left\{ [\sigma_{\varepsilon} U - \frac{1}{J}(b_1^1 v_{t,\xi} + b_1^2 v_{t,\eta})] \cdot (b_1^1 \varepsilon_{\xi} + b_1^2 \varepsilon_{\eta}) \right. \\
& + [\sigma_{\varepsilon} V - \frac{1}{J}(b_2^1 v_{t,\xi} + b_2^2 v_{t,\eta})] \cdot (b_2^1 \varepsilon_{\xi} + b_2^2 \varepsilon_{\eta}) \left. \right\} \\
& + \sigma_{\varepsilon} R_{eff} \varepsilon_t + s_{\varepsilon}
\end{aligned} \quad (5)$$

式中

$$\frac{1}{R_{eff}(U,V)} = \frac{1}{R_e} + v_t$$

$$\frac{1}{R_{eff}(k)} = \frac{1}{R_e} + \frac{v_t}{\sigma_k}$$

$$\frac{1}{R_{eff}(\varepsilon)} = \frac{1}{R_e} + \frac{v_t}{\sigma_{\varepsilon}}$$

$$\begin{aligned}
s_U = & R_{eff} \left[\frac{1}{J}(b_1^1 P_{\xi} + b_1^2 P_{\eta}) + \frac{2}{3J}(b_1^1 k_{\xi} + b_1^2 k_{\eta}) \right. \\
& \left. - \frac{1}{J^2}(b_2^1 v_{t,\xi} + b_2^2 v_{t,\eta}) \cdot (b_1^1 V_{\xi} + b_1^2 V_{\eta}) \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s_V = & R_{eff} \left[\frac{1}{J}(b_2^1 P_{\xi} + b_2^2 P_{\eta}) + \frac{2}{3J}(b_2^1 k_{\xi} + b_2^2 k_{\eta}) \right. \\
& \left. - \frac{1}{J^2}(b_1^1 v_{t,\xi} + b_1^2 v_{t,\eta}) \cdot (b_2^1 U_{\xi} + b_2^2 U_{\eta}) \right]
\end{aligned}$$

$$s_k = -\sigma_k R_{eff} (G - \varepsilon)$$

$$s_{\varepsilon} = -\sigma_{\varepsilon} R_{eff} (c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k})$$

$$\sigma_k = \frac{c_{\mu}}{c_k}$$

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{c_{\mu}}{c_{\varepsilon}}$$

$$\begin{aligned}
G = & v_t \left\{ 2 \left[\frac{1}{J}(b_1^1 U_{\xi} + b_1^2 U_{\eta}) \right]^2 + 2 \left[\frac{1}{J}(b_2^1 V_{\xi} + b_2^2 V_{\eta}) \right]^2 \right. \\
& \left. + \left[\frac{1}{J}(b_1^1 V_{\xi} + b_1^2 V_{\eta} + b_2^1 U_{\xi} + b_2^2 U_{\eta}) \right]^2 \right\}
\end{aligned}$$

$$J = x_{\xi} y_{\eta} - y_{\xi} x_{\eta} = b_1^1 b_2^2 - b_1^2 b_2^1$$

$$\begin{cases} b_1^1 = y_{\eta} = J \xi_x \\ b_1^2 = -y_{\xi} = J \eta_x \\ b_2^1 = -x_{\eta} = J \xi_y \\ b_2^2 = x_{\xi} = J \eta_y \end{cases}$$

$$g^{11} = \frac{1}{J^2} \left((b_1^1)^2 + (b_2^1)^2 \right)$$

$$g^{22} = \frac{1}{J^2} \left((b_1^2)^2 + (b_2^2)^2 \right)$$

$$g^{12} = \frac{1}{J^2} (b_1^1 b_1^2 + b_2^1 b_2^2)$$

$$f^1 = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (J g^{11}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (J g^{21})$$

$$f^2 = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (J g^{12}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (J g^{22})$$

其中(c_{μ} , $c_{\varepsilon 1}$, $c_{\varepsilon 2}$, c_k , c_{ε})為實驗的常數值, 分別為(0.09, 1.44, 1.92, 0.09, 0.09/1.3)。

(B) 孔隙介質的控制方程式

黏性流體在剛性透水介質中流動時, 本研究做了以下的基本假設:(1)剛性透水介質具均質性與等向性。(2)黏滯性流體為不可壓縮。本研究並不打算採用雷諾體積平均方程式(VARANS)求解本問題(Hsu 等人 [24]), 而改採用 Mei and Foda [25]根據 Prevost [26]的推導方式, 僅取空間平均, 並於透水介質中考慮流體粘滯性以及慣性力的影響, 而於阻力項部份引用 Sollitt and Cross [27]的研究結果, 除了包括一般低雷諾數的線性阻力外, 亦加入高雷諾數時之非線性阻力(紊流作用項)與非穩態時之附加阻力, 推導出非穩態時之黏滯性流體作用於高滲透性剛性透水介質的連續方程式及動量方程式:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} (u \xi_x + v \xi_y) + \frac{\partial}{\partial \eta} (u \eta_x + v \eta_y) = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& g^{11}u_{\xi\xi} + g^{22}u_{\eta\eta} + 2g^{12}u_{\xi\eta} + f^1u_{\xi} + f^2u_{\eta} \\
= & \frac{R_e}{J} [u \cdot (b_1^1 u_{\xi} + b_1^2 u_{\eta}) + v \cdot (b_2^1 u_{\xi} + b_2^2 u_{\eta})] \\
& + R_e S u_t + s_u
\end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
& g^{11}v_{\xi\xi} + g^{22}v_{\eta\eta} + 2g^{12}v_{\xi\eta} + f^1v_{\xi} + f^2v_{\eta} \\
= & \frac{R_e}{J} [v \cdot (b_1^1 v_{\xi} + b_1^2 v_{\eta}) + u \cdot (b_2^1 v_{\xi} + b_2^2 v_{\eta})] \\
& + R_e S v_t + s_v
\end{aligned} \quad (8)$$

式中

$$s_u = R_e \left[\frac{1}{J}(b_1^1 P_{\xi} + b_1^2 P_{\eta}) + \frac{v m_w}{K_p} u + \frac{C_f n_w^2}{\sqrt{K_p}} u \sqrt{u^2 + v^2} \right]$$

$$s_v = R_\epsilon \left[\frac{1}{J} (b_2^1 P_\xi + b_2^2 P_\eta) \right] + \frac{v n_w}{K_p} v + \frac{C_f n_w^2}{\sqrt{K_p}} v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$J = x_\xi y_\eta - y_\xi x_\eta = b_1^1 b_2^2 - b_1^2 b_2^1$$

$$\begin{cases} b_1^1 = y_\eta = J \xi_x \\ b_1^2 = -y_\xi = J \eta_x \\ b_2^1 = -x_\eta = J \xi_y \\ b_2^2 = x_\xi = J \eta_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} g^{11} = \frac{1}{J^2} \left((b_1^1)^2 + (b_2^1)^2 \right) \\ g^{22} = \frac{1}{J^2} \left((b_1^2)^2 + (b_2^2)^2 \right) \\ g^{12} = \frac{1}{J^2} (b_1^1 b_1^2 + b_2^1 b_2^2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} f^1 = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (J g^{11}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (J g^{21}) \\ f^2 = \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (J g^{12}) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (J g^{22}) \end{cases}$$

其中 u 、 v 為透水介質中之空間平均流速 (spatially averaged velocity)，又可稱為內部速度 (intrinsic velocity)； n_w 為孔隙率； K_p 為內部滲透係數 (intrinsic permeability)，依據 McDougal [28] 的研究指出 $K_p = 1.643 \times 10^{-7} \times [d(mm)/10(mm)]^{1.57} \times n_w^3 / (1 - n_w)^2$ ； C_f 為紊流阻力係數 (turbulent resistance coefficient)，Arbhabhiramar and Dinoy [29] 依據實驗結果指出 $C_f = 100 \times [d(m) \times \sqrt{(n_w / K_p)}]^{-1.5}$ ； s 為慣性係數 (inertial coefficient)，一般需要由實驗決定，本研究擬採用 Losada 等人 [30] 的建議將其視為 1.0。

(C) 兩不同介質交界面的 matching condition

求解(1)-(8)式時較困難的部分為兩區域交界面 matching condition 的處理，在求解二相介質時，水體部分為求解時間平均的物理量，而透水介質部分則為求解空間平均的物理量，空間平均的物理量含有部分的紊流擾動量，兩種平均物理量並不等價，故兩邊物理量直接用於交界面互傳時會產生困難，但依據 Losada 等人 [31] 的實驗發現，透水介質中所存在的紊流擾動

量甚小，用於交界面時則可將兩者視為相同的流動系統，直接透過 matching condition 互傳。在交界面的處理上，本計畫擬於交界面上各自佈置一個網格點，如圖 2 中的點 w_1 及點 p_1 ，兩點間物理量的互傳則以 Deresiewicz and Skalak [32] 所提出的邊界條件為之，如下所述：

$$U_w = n_w u_p \quad (9)$$

$$V_w = n_w v_p \quad (10)$$

$$[-P_d + \frac{2\mu}{J} (b_2^1 V_\xi + b_2^2 V_\eta)]_w \quad (11)$$

$$= [-p + \frac{2\mu}{J} (b_2^1 v_\xi + b_2^2 v_\eta)]_p$$

$$[\frac{1}{J} (b_2^1 U_\xi + b_2^2 U_\eta + b_1^1 V_\xi + b_1^2 V_\eta)]_w \quad (12)$$

$$= [\frac{1}{J} (b_2^1 u_\xi + b_2^2 u_\eta + b_1^1 v_\xi + b_1^2 v_\eta)]_p$$

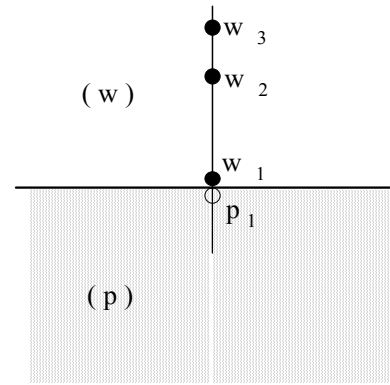


圖 2 靠近透水底床的計算格網分佈圖

至於點 w_2 及點 w_3 則為位於對數率牆函數 (log-law wall function) 可適用範圍內的點，水體中 FA 的計算點則由 w_3 開始計算起，邊界條件計算及更新的程序為，將透水介質中的物理量透過邊界條件(9)-(12)式經 p_1 點傳至 w_1 點，使用尚未更新的底床剪應力 τ_w ，則點 w_2 上的物理量可由 Ilegbusi [33] 所提出適用於透水底床的修正型對數率牆函數得知

$$\frac{U_l - U_t}{\sqrt{\tau_w / \rho}} = \frac{1}{\kappa} \ln \left\{ E \frac{y \cdot \sqrt{\tau_w / \rho}}{v} \right\} \quad (13)$$

$$\tau_m = \frac{c_n \cdot V_t \cdot U_l}{1 + \sqrt{\tau_w / \rho} / (\kappa U_l)} \quad (14)$$

$$\tau = \tau_w + \tau_m \quad (15)$$

$$k = \frac{|\tau / \rho|}{\sqrt{C_\mu}} \quad (16)$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{(\tau/\rho)^3}}{\kappa y} \quad (17)$$

其中 U_i 及 U_l 分別代表透水介質交界面及所在計算點的水平平均速度，而 V_i 則為透水介質交界面的垂直平均速度， κ 為 Von Karman 常數等於 0.41， E 為粗糙係數 (roughness coefficient) 當牆面為光滑時其值等於 9.0， τ_w 為底床剪應力， τ_m 為因透水介質的透水性額外增加的剪應力， c_n 為實驗常數，Ilegbusi 建議將其視為 1.0。當 w_2 點計算完後，將 w_2 點視為水體的下邊界以 FA 的方法計算 w_3 以上點的物理量，則可得 w_3 點新的水平速度，將此速度代入(13)式，重新更新原有的底床剪應力 τ_w ，由新的剪應力 τ_w 透過(13)式又可更新 w_2 點的 U_l 、 k 及 ε ，如此反覆計算則可以得到收斂解。

為了使波浪能透過下游邊界而不產生反射，本計畫擬將原數值模式(董等人[23])下游邊界條件的處理由原先的輻射邊界改為海綿層 (sponge layer) 吸收邊界與 Sommerfeld 條件相結合的處理方式。

四、結果與討論

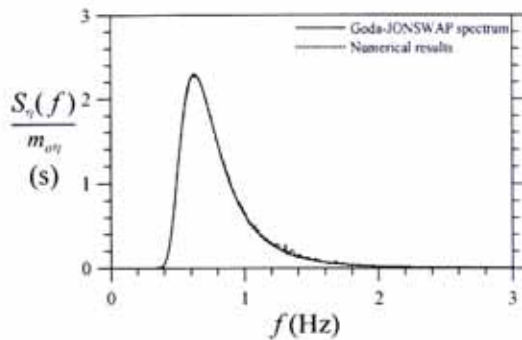


圖 3 本不規則波數值造波模式模擬結果與 Goda-JONSWAP 目標波譜比較圖。

為了證實本數值不規則波造波模式的準確性，本研究將本模式的不規則波造波結果與 Goda-JONSWAP 目標波譜做一比較，造波條件為靜水深(h_o)40 cm、指示波高($H_{1/3}$)1.0 cm、主頻(f_p)為 0.625 Hz、譜峰參數(γ)為 1.0，數值模式所造波列的頻譜圖與與目標波譜 (Goda-

JONSWAP 波譜)之比較如下圖所示，由圖 3 明顯發現本數值模式的頻譜圖與 Goda-JONSWAP 波譜相當吻合，代表本數值不規則波造波模式的準確度相當良好。

為進一步證實本透水底床模式的準確性，本研究則將本模式的計算結果與 Mase 等人[34]的解析解做一比較，Mase 等人解析解的波浪條件為靜水深 31.3 cm、波高 3.0 cm、波浪週期 1.3 sec，透水底床的性質為 $n_w = 0.4$ ， $d_{50} = 1.5$ cm；剛性透水沙連連長 $\lambda = 1.0$ m，連高 $a_s = 10.0$ cm，沙連區平均深度為 $h_p = 20$ cm，波浪通過剛性透水沙連時波高變化的數值結果及解析解如下圖所示，由圖 4 明顯發現本數值模式的計算結果與解析解的擬合度相當的好。

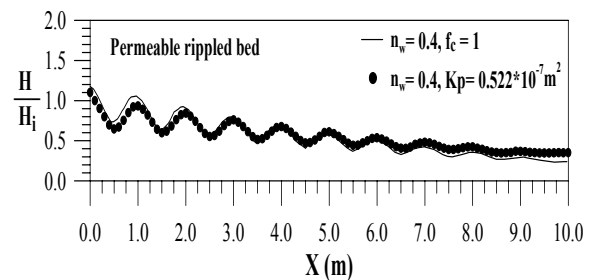


圖 4 週期 $T = 1.3$ s、波高 $H_i = 3.0$ cm 的波浪通過剛性透水沙連時波高的比較圖。(—) Mase 等人之解析解；(●) 數值結果。

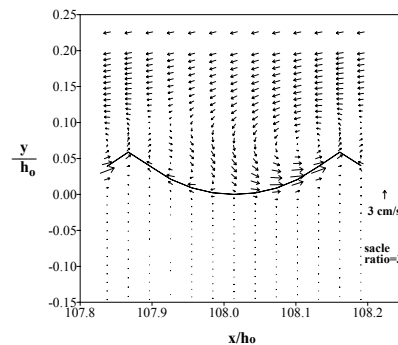


圖 5 週期 1.09 s、波高 6.0 cm、靜水深 17 cm 的波浪通過剛性透水沙連時 Eulerian 時均流速。

沙連附近週期平均流速的分佈，直接影響沙連底床上沙粒的捲升及傳輸，因此瞭解沙連附近的流場特性是相當重要的課題。圖 5 即為靜水深 17 cm、波高 6.0 cm、

波浪週期 1.09 sec，沙漣漣高及漣長分別為 1.0 cm 及 5.0 cm 時，週期平均的 Eulerian 時均流速，由圖可發現在沙漣附近時均流速形成一組渦流對(vortex pair)，此渦流對會將漣谷的沙粒往兩漣峰推移，造成海邊常見漣峰尖銳而漣谷的平緩的沙漣形狀(並非正弦或餘弦函數的形狀)。

圖 6 為造波條件為靜水深(h_o)40 cm、指示波高($H_{1/3}$)4.0 cm、主頻(f_p)為 0.625 Hz、譜峰參數(γ)為 3.3 的不規則波列通過下列三種條件下的透水矩形潛堤時於潛堤上方波列的頻譜圖，Case1 為無放置任何透水潛堤的情況，故其頻譜與目標波譜接近，至於 Case2 因其透水潛堤高度還不是很高，故高階非線性能量移轉現象不明顯，因此其結果與 Case1 雷同，而 Case3 因其透水潛堤上方水深較淺，故非線性現象明顯，在頻譜主頻旁側(sideband)先產生能量轉移現象(產生 f_1 、 f_2)，後再藉由非線性時的 superharmonics 效應，能量進一步移轉至 $f_p + f_1$ 、 $f_1 + f_2$ 的更高頻分量處，此現象與不透水底床時的結果相當接近。至於透水結構物所引發的能量衰減效應於此例中不甚明顯。

表 1 透水矩形潛堤的幾何參數值

Case	潛堤上方水深	堤寬	n_w
1	40 cm	0 m	0.1
2	20 cm	2.84 m	0.1
3	10 cm	2.84 m	0.1

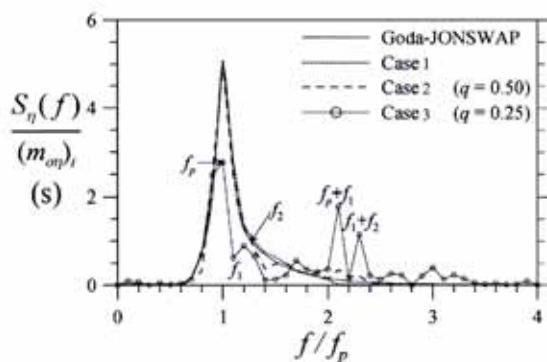


圖 6 靜水深(h_o)40 cm、指示波高($H_{1/3}$)4.0

cm、主頻(f_p)為 0.625 Hz、譜峰參數(γ)為 3.3 的不規則波列通過三種不同透水矩形底床之頻譜圖。

五、計畫成果自評

本研究的成果相當豐碩，而大致主要的成果可歸納為下列二項：

1. 開發出不規則波通過任意形狀透水的潛沒結構物之紊流計算模式，將來此模式可進一步用來研究許多不規則波列與各式透水潛沒結構物的互制問題。
2. 已利用此模式瞭解部分不規則波列與透水潛堤互制時波譜能量轉移的機制，將來對於現場潛堤的設計規劃應有重要的幫助。

六、參考文獻

- [1] Bryant, P.J., 1973. Periodic waves in shallow water. *J. Fluid Mech.*, Vol. 59, pp. 625-644.
- [2] Massel, S.R., 1983. Harmonic generation by waves propagation over a submerged step. *Coastal Eng.*, Vol. 7, pp. 357-380.
- [3] Rey, V., M. Belzons and E. Guazzelli, 1992. Propagation of surface gravity waves over a rectangular submerged bar. *J. Fluid Mech.*, Vol. 235, pp. 453-479.
- [4] Beji, S. and J.A. Battjes, 1994. Numerical simulation of nonlinear wave propagation over a bar. *Coastal Eng.*, Vol. 23, pp. 1-16.
- [5] Schaffer, H.A. and P.A. Madsen, 1995. Further enhancements of Boussineq-type equations. *Coastal Eng.*, Vol. 26, pp. 1-14.
- [6] Kittitanasuan, W., Y. Goda and T. Shiobara, 1993. Deformation of nonlinear waves on a rectangular step. *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 36, pp. 133-153.
- [7] Driscoll, A.M., R.A. Dalrymple and S.T. Grill, 1992. Harmonic generation and transmission past a submerged rectangular obstacle. *23rd Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp. 1142-1152.
- [8] Ohya, T. and K. Nadaoka, 1994.

- Transformation of a nonlinear wave train passing over a submerged shelf without breaking. *Coastal Eng.*, Vol. 24, pp. 1-22.
- [9] Huang, R.R. and Y.C. Sue, 1998. Numerical simulation on nonlinear interaction of water waves with submerged obstacles. *Proc. Flow Modeling and Turbulence Measurements VII, Taiwan, ASCE*, pp. 545-554.
- [10] Huang, C.J. and C.M Dong., 1999. Wave deformation and vortex generation in water waves propagating over a submerged dike. *Coastal Eng.*, Vol. 37, pp. 123-148.
- [11] Sakakiyama, T. and R. Kajima, 1992. Numerical simulation of nonlinear wave interacting with permeable breakwaters. *23rd Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp. 1517-1530.
- [12] Van Gent, M.R.A., 1995. Wave interaction with permeable coastal structures. *Ph.D. Thesis*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- [13] Liu, P.L.-F., P. Lin, K.A. Chang and T. Sakakiyama, 1999. Numerical modeling of wave interaction with porous structures. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, Vol. 125, pp. 322-330.
- [14] Huang, C.J., H.H. Chang and H.H. Hwung, 2003. Structural permeability effects on the interaction of a solitary wave and a submerged breakwater. *Coastal Eng.*, Vol. 49, pp. 1-24.
- [15] Garcia, N., J.L. Lara and I.J. Losada, 2004. 2-D numerical analysis of near-field flow at low-crested permeable breakwaters. *Coastal Eng.*, Vol. 51, pp.991-1020.
- [16] Avgeris, I., T.V. Karambas and P. Prinos, 2004. Boussinesq modeling of wave interaction with porous submerged breakwaters. *29th Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp. 604-616.
- [17] Lara, J.L., N. Garcia and I.J. Losada, 2006. RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures. *Coastal Eng.*, Vol. 53, pp.395-417.
- [18] Dong, C.M., 2000. The development of a numerical wave tank of viscous fluid and its applications. *Ph D thesis*, National Cheng Kung Univ., Tainan, Taiwan.
- [19] 黃清哲、董志明、郭金棟，1996，「波浪通過不平滑底床的變形」，*中國土木水利工程學刊*，第八卷，第四期，625-636 頁。
- [20] 黃清哲、董志明、郭金棟，1998，「波浪通過梯形潛堤的變形」，*中國土木水利工程學刊*，第十卷，第四期，397-406 頁。
- [21] Huang, C.J. and C.M Dong., 1999. Wave deformation and vortex generation in water waves propagating over a submerged dike. *Coastal Eng.*, Vol. 37, pp. 123-148.
- [22] Dong, C.M. and C.J. Huang, 1999. Vortex generation in water waves over a submerged rectangular dike. *9th Int. Offshore and Polar Eng. Conf.*, Vol. 3, pp. 388-395.
- [23] 董志明、黃惠欽、黃清哲，2005，「數值波浪水槽中 Cn 波之產生及其傳遞特性之研究」，*海洋工程學刊*，第五卷，第一期，13-30 頁。
- [24] Hsu, T.J., T. Sakakiyama, and P.L.-F. Liu, 2002. A numerical model for wave motions and turbulence flows in front of a composite breakwater. *Coastal Eng.*, Vol. 46, pp. 25-50.
- [25] Mei, C.C. and M.A. Foda, 1981. Wave-induced stresses around a pipe laid on a poro-elastic sea bed. *Geotechnique*, Vol. 31, No. 4, pp. 509-517.
- [26] Prevost, J.H., 1980. Mechanics of continuous porous media. *J. Eng. Sci.*, Vol. 18, pp. 787-800.

- [27] Sollitt, C.K. and R.H. Cross, 1972. Wave transmission through permeable break-waters. *13th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 1872-1864.
- [28] McDougal, W.G., 1993. State of the art practice in coastal engineering. *Lecture Notes*, National Cheng Kung University, Taiwan.
- [29] Arbbhiramar, A.M. and A.A. Dinoy, 1973. Friction factor and Reynolds number in porous media flow. *J. Hydraulics Div.*, Vol. 99, pp. 901-911.
- [30] Losada, I.J., M.D. Patterson, and M.A. Losada, 1997. Harmonic generation past a submerged porous step. *Coastal Eng.*, Vol. 31, pp. 281-304.
- [31] Losada, I.J., M.A. Losada, and F.L. Martin, 1995. Experimental study of wave-induced flow in a porous structure. *Coastal Eng.*, Vol. 26, pp. 77-98.
- [32] Deresiewicz, H. and R. Skalak, 1963. On uniqueness in dynamic poroelasticity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 53, pp. 783-788.
- [33] Illegbusi, O.J., 1989. Turbulent boundary layer on a porous flat plate with severe injection at various angles to the surface. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 32, No. 4, pp. 761-765.
- [34] Mase, H., K. Takeba, and S. Oki, 1995. Wave equation over permeable rippled bed and analysis of Bragg scattering of surface gravity waves. *J. Hydraulic Res.*, ASCE, Vol. 33, No. 6, pp. 789-812.

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：董志明		計畫編號：98-2221-E-041-011-				計畫名稱：不規則波列與潛沒透水結構物的互制研究(II)	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p style="text-align: center;">無</p>
---	--------------------------------------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究的成果相當豐碩，而大致主要的成果可歸納為下列二項：

1. 開發出不規則波通過任意形狀透水的潛沒結構物之紊流計算模式，將來此模式可進一步用來研究許多不規則波列與各式透水潛沒結構物的互制問題。

2. 已利用此模式瞭解部分不規則波列與透水潛堤互制時波譜能量轉移的機制，將來對於現場潛堤的設計規劃應有重要的幫助。