

〈論 文〉

河口域에 設置된 離岸堤에 依한 河口地形變化에 關한 研究

A Study on the Deformation of the Topographic Feature due to the Construction of the detached Breakwater in the River-mouth Area

梁 嶮 模*
Yun-Mo, Yann

李 文 贊**
Moon-Chan, Lee

Abstract

The flow pattern of the nearshore current generated around the breached breakwaters and river-mouth was simulated by numerical model in the case of the inclined incident wave without river discharge when the detached breakwaters were installed at the river-mouth area for the protection against the blockade of the river-mouth.

The validity of the numerical model was testified by comparison with the results obtained through the hydraulic model test at the fixed bed. The deformation of the topographic features around the river-mouth and the detached breakwaters was examined through the three-dimensional hydraulic model test at the movable bed.

The usefulness of the detached breakwater work for the protection against the blockade of the river-mouth was identified by the experimental results.

本 研究에서는 河口域에 離岸堤를 設置했을 경우 河川流가 없고 波가 傾斜져서 入射해 올 때 河口 및 堤體 周邊에 發生하는 海浜流의 흐름상태를 數值計算에 의해서 구하고 固定床 水理實驗을 통하여 얻은 結果와 比較해서 本 數值모델의 妥當性을 檢證하였다. 또한 移動床 水理實驗을 통하여 河口 및 離岸堤 周邊에서 일어나는 地形變化를 檢討하여 河口閉塞 防止對策으로서 離岸堤工法の 効用性을 確認하였다.

波에 의한 漂砂移動이 현저해서 中小河川에서는 가끔 河口가 閉塞되는 일이 있다.

이러한 河口閉塞으로 인하여 여러가지 社會的, 經濟的인 損失을 입게 된다. 따라서 著者は 河口閉塞을 防止할 目的으로 종래 海岸侵蝕 防止對策에 使用 되어온

1. 序 論

河川이 自然下流하여 砂浜海岸에 河口를 가지는 경우 波浪에너지에 비해서 河川流가 아주 격을 때에는

* 釜山大學校 工科大學 土木工學科 教授

** 釜山大學校 大學院(博士課程)

離岸堤를 河口閉塞 防止工法에 適用해서 固定床 水理實驗을 통하여 河口周邊에 發生하는 海濱流의 거동에 대해 研究한 바가 있다.^{1,22)}

海濱流의 工學的인 重要性은 그 發生領域이 沿岸海城이라는 점이다. 이러한 海濱流는 漂砂現象을 媒介로 해서 이루어지는 地形變化와 沿岸에 버려지는 汚染物質의 擴散等에 많은 영향을 미치게 된다.

따라서 本 研究에서는 첫째로 地形變化와 汚染物質의 擴散等에 密接한 關係가 있는 海濱流에 대해서 基本的인 認識과^{3)~5)} 아울러 河川流가 없을 경우 波가 傾斜져서 入射할 때 河口域에 設置된 離岸堤에 의해서 그 周邊에 發生하는 海濱流의 흐름상태를 數值計算^{6),7)}에 의해서 구하고 이를 固定床 水理實驗으로부터 얻은 結果와 比較·檢討하였다. 둘째로 河口附近에 離岸堤를 設置해서 i) 波만이 存在하는 경우와 ii) 波와 河川流가 共存하는 경우의 各各에 대해서 移動床 水理實驗을 통하여 河口地形變化를 調査하고 河口閉塞 防止對策으로서 離岸堤工法의 効用性을 檢討하였다.

2. 離岸堤 周邊에 發生하는 海濱流의 數值解析

2-1. 海濱流의 基本方程式

Fig. 1과 같은 座標系에서 水深을 h, x, y 方向으로 時間平均한 一定流速 및 平均水位 變動量을 U, V, η 라 하면 海濱流의 基本式 및 連續方程式은 다음과 같다.

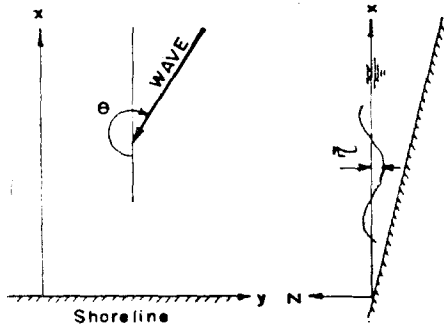


Fig. 1. Coordinates System.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} U + (h+\eta) \frac{\partial}{\partial y} U^2(h+\eta) + \frac{\partial}{\partial y} U \cdot V(h+\eta) \\ &= -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} N_x \frac{\partial U}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} N_y \frac{\partial U}{\partial y} - g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} V(h+\eta) + \frac{\partial}{\partial x} U \cdot V(h+\eta) + \frac{\partial}{\partial y} V^2(h+\eta) \\ &= -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial s_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} N_x \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} N_y \frac{\partial V}{\partial y} \\ &- g(h+\eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h+\eta)U + \frac{\partial}{\partial y} (h+\eta)V = 0 \dots\dots\dots(3)$$

위 식에서 η 는 水位變動量의 時間平均을 나타내며 S_{xx}, S_{xy} 및 S_{yy} 는 레디에이션 應力(radiation stress)으로서 다음 식과 같이 表示된다.⁸⁾

$$\left. \begin{aligned} S_{xx} &= E[(2n-1/2)\cos^2\theta + (n-1/2)\sin^2\theta] \\ S_{xy} &= \frac{E}{2} \cdot n \cdot \sin 2\theta \\ S_{yy} &= E[(2n-1/2)\sin^2\theta + (n-1/2)\cos^2\theta] \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

(4)식에서 $E = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2$ 이며 $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$ 이다(H : 波高, k : 波數). 碎波帶와 같이 水深이 아주 얇은 領域에서는 $n \approx 1$ 이 되므로 (4)식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} S_{xx} &= \frac{E}{2} (3 \cos^2\theta + \sin^2\theta) \\ S_{xy} &= \frac{E}{2} \sin 2\theta \\ S_{yy} &= \frac{E}{2} (3 \sin^2\theta + \cos^2\theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(1) 및 (2)식에서 τ_x 및 τ_y 는 底部摩擦力이며, 다음 식과 같이 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} \tau_x &= \rho \cdot f \cdot u_b \cdot U \\ \tau_y &= \rho \cdot f \cdot u_b \cdot V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

(6)식에서 f 는 摩擦係數이고 u_b 는 底部에 있어서 湍流자 속도의 振幅이며 長波라고 假定하면, 다음 식과 같다.

$$u_b = \sqrt{g(h+\eta)} \cdot \frac{H}{2(h+\eta)} \dots\dots\dots(7)$$

또한 (1) 및 (2)식에서 N_x 및 N_y 는 水平混合係數이며 Longuet-Higgins⁹⁾에 의하면 다음 식과 같다.

$$N_x = \frac{N \cdot h \sqrt{g \cdot h}}{\tan \beta}, \quad N_y = \frac{N \cdot h \sqrt{g \cdot h}}{\tan \beta} \dots\dots(8)$$

(8)식에서 β 는 海底傾斜이며 N 은 無次元 확산定數이다.

2-2. A.D.I法에 依한 數值計算

海濱流의 流速 U, V 및 平均水位 變動量 η 를 計算하기 위해서 Fig. 2와 같이 格子點 및 變數를 定義한다. (1)~(3)식의 連續的인 量을 A. D. I(Alternating direction Implicit)法에 의해서 離散的인 量으로 置換하고 時間 間격 Δt 를 二等分해서 前半時間 間격에서는 x 方向의 運動方程式과 連續方程式은 x 方向으로만

implicit 로 풀어서 U_{ij} 및 η_{ij} 의 값을 구하고 이것을 y 方向의 運動方程式에 代入해서 explicit 로 V_{ij} 값을 구한다. 이어서 後半時間 間격에서는 반대로 y 方向의 運動方程式과 連續方程式을 y 方向으로만 implicit 로 풀어서 V_{ij} 및 η_{ij} 의 값을 구하고 이것을 x 方向의 運動方程式에 代入해서 explicit 로 U_{ij} 를 구한다. 이것을 한 주기로 해서 定常狀態가 될 때까지 反復한다.

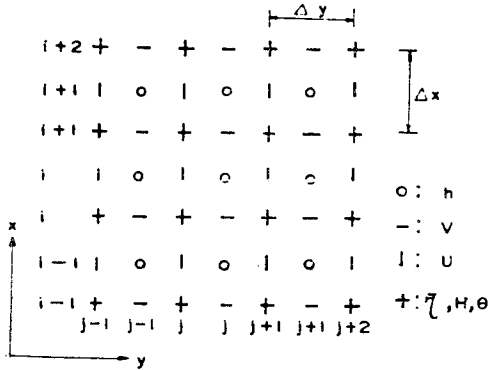


Fig. 2. Network for Calculation

2-3 數值解析例

2-3-1 入力資料 및 實驗裝置

本 研究에서는 레디에이션 應力(Radiation stress)을 計算하기 위한 入力資料로서 實驗에 의해서 測定된 波高 및 波向을 使用하였다. 實驗에 使用된 水槽는 Fig. 3 과 같이 길이 20m, 幅 4m, 높이 0.6m 로서 一端에 1/20 의 一定傾斜 模型海浜(固定床)을 만들고 中央에 幅 0.5m 의 河川을 設置하였다. 또한 實驗波는 移動床 水理實驗을 고려하여 $H_0=6.0\text{cm}$, $T=0.8\text{sec}$ 로 하였다. 波의 入射角을 20° 로 하였으며 河川流는 고려하지 않았다.

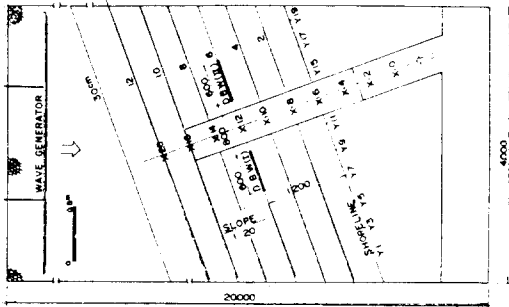


Fig. 3. Experimental Apparatus.

2-3-2. 計算結果 및 考察

(1)~(3)식을 차분화하여 格子間隔($\Delta x, \Delta y$) 20cm, 時間間隔(Δt) 0.02 sec, 海底傾斜(β) 0.05, 摩擦係數(f) 0.025, 擴散係數(N) 0.01 을 使用해서 河口 및 離岸堤 周邊의 흐름상태를 數值計算하고 그 結果를 波高 分布와 함께 나타내면 Fig. 4~6 과 같으며, 이를 考察해 보면 다음과 같다.

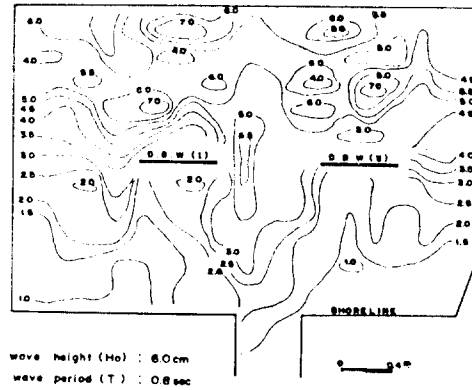


Fig. 4. Distribution of Wave Height.

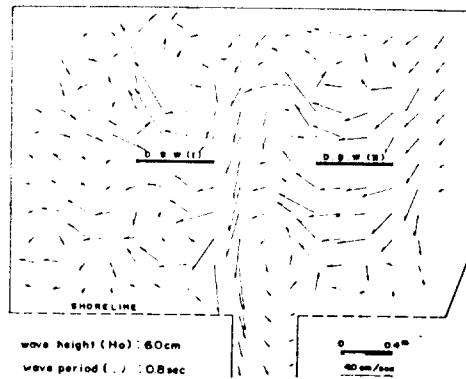


Fig. 5. Flow Pattern of Nearshore Current.

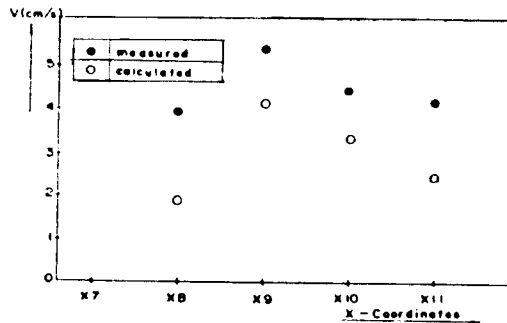


Fig. 6. Velocity distribution behind detached Breakwater (II). (Y16-section).

(1) Fig. 5에서 알 수 있듯이 오른쪽 離岸堤(II) 背後에 存在하는 沿岸流로 인하여 堤體(II) 背後에 있는 漂砂는 어느정도 河川쪽으로 移動되리라 생각된다.

(2) 두 離岸堤 사이로 流入되는 흐름이 河口를 향하고 또 오른쪽 堤體(II) 背後에 存在하는 沿岸流와 合流되므로서 왼쪽 堤體(I) 背後에는 약간의 堆積現象이 豫상된다. (Fig. 5)

(3) 왼쪽 離岸堤(I)의 영향으로 인하여 河川을 횡단하는 흐름이 發生해서 堤體 옆 河道에 약간의 堆積이 豫상된다. (Fig. 5)

(4) Fig. 6 은 離岸堤(II) 背後에서 測定된 y 方向의 海浜流 流速 V와 計算에 의해서 구한 結果를 나타낸 것이며 計算 및 實驗值가 어느 정도 一致하고 있음을 알 수 있다.

3. 離岸堤에 依한 河口周邊의 地形變化

3-1 實驗波浪 및 底質粒徑

海浜은 一般的으로 波浪條件, 海底傾斜 및 底質粒徑에 따라 侵蝕型 및 堆積型으로 나눌 수 있으며, 이러한

海浜의 平衡斷面限界에 대해서 掘川·砂村¹⁰⁾은 다음과 같은 식을 指案하였다.

$$\left. \begin{aligned} \text{侵蝕型} : \frac{H_0}{L_0} &\geq 7 (\tan\theta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0}\right)^{0.67} \\ \text{堆積型} : \frac{H_0}{L_0} &\leq 4 (\tan\theta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0}\right)^{0.67} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

H_0 : 深海波高, L_0 : 深海波長

d : 底質粒徑, $\tan\theta$: 初期海底傾斜

固定床에서 使用한 波浪條件($H_0=6.0\text{cm}$, $T=0.8\text{sec}$) 및 海底傾斜($\beta=1/20$)에 대해서 (9)식을 利用하면 底質의 粒徑을 바꾸므로서 侵蝕型($d_{50}=0.02\text{cm}$ 以下) 및 堆積型($d_{50}=0.05\text{cm}$ 以上)의 實驗이 모두 可能하다. 그러나 本 研究에서는 우선 堆積型斷面($d_{50}=0.059\text{cm}$, 比重: 2.60)에 대해서만 實驗하였다.

3-2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 3과 같이 固定床 海浜에 1/20의 傾斜로 모래를 깔아서 移動床 模型海浜을 만들고 固定床에서와 같이 幅 0.5m의 河川을 設置하였다. 波의 入射角을 20°로 하여 造波開始 30分 後에 波를 멈추고 point gage로써 海底地形을 測定하였으며 各種 條件에 따른 實驗種類는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental Case

| Exp. Case | Detached Breakwater | | | River Discharge | | Wave | | Remarks |
|-----------|---------------------|---------------|-------------|-----------------|--------|--------|--------|--|
| | Water depth(cm) | Interval (cm) | Length (cm) | Q(l/s) | Fr. No | T(sec) | Ho(Cm) | |
| 1-1 | — | — | — | — | — | 0.8 | 6.0 | h _b : 12cm d ₅₀ : 0.059cm |
| 2-1 | 4 | 80 | 60 | | | | | |
| 3-1 | 6 | | | | | | | |
| 1-2 | — | — | — | 11 | 0.2 | 0.8 | 6.0 | |
| 2-2 | 4 | 80 | 60 | | | | | |
| 3-2 | 6 | | | | | | | |

3-3 實驗結果 및 考察

河口 및 離岸堤 周邊의 地形變化에 대한 平面分布 및 縱斷變化를 나타내면 Fig. 7-10과 같고 이를 考察하면 다음과 같다.

1) 波만이 存在하는 경우

(1) 離岸堤가 없을 경우 河口前面에서의 堆積現象은 堤體가 있을 때 보다도 현저하다.

(2) 離岸堤가 있을 경우에는 그 位置에 關係없이 右側 堤體(II)의 前方으로부터 河川쪽으로 砂州가 돌출되어 河道內의 一部에 상당한 堆積現象을 보였으나 河道入口에서의 堆積은 적었다.

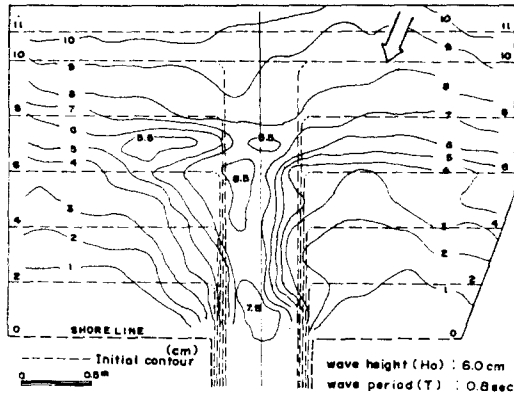
(3) 離岸堤를 碎波帶 附近($x/x_b=1.0$)에 設置했을 경우에는 陸岸쪽($x/x_b=0.067$)에 있을 때 보다도 河道內에서의 堆積現象이 적었다.

(4) 河道內에 發生하는 砂州의 크기 및 位置도 堤體의 設置水深에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

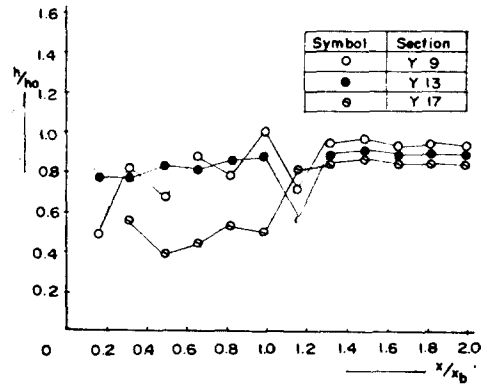
2) 波와 흐름이 共存하는 경우

(1) 離岸堤가 없을 경우에는 河川流의 영향으로 인하여 河口 및 河道內에 堆積現象은 거의 볼 수 없었다.

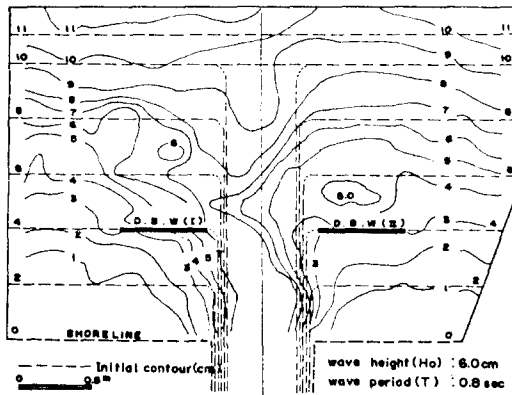
(2) 離岸堤를 設置했을 경우에는 그 位置에 關係없이 河道內에 상당한 侵蝕現象을 볼 수 있었다.



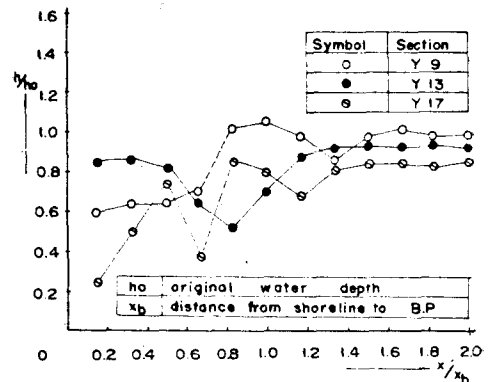
(a) Case No. 1-1



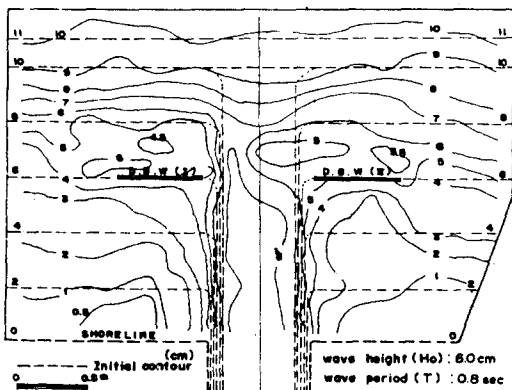
(a) Case No. 1-1



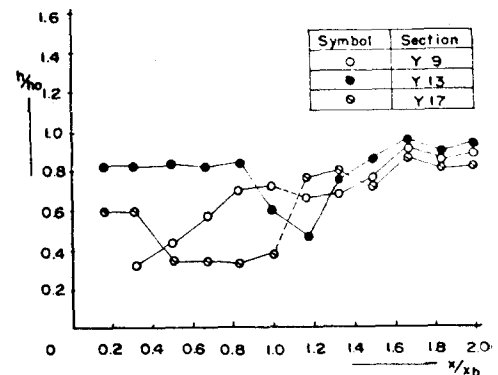
(b) Case No. 2-1



(b) Case No. 2-1



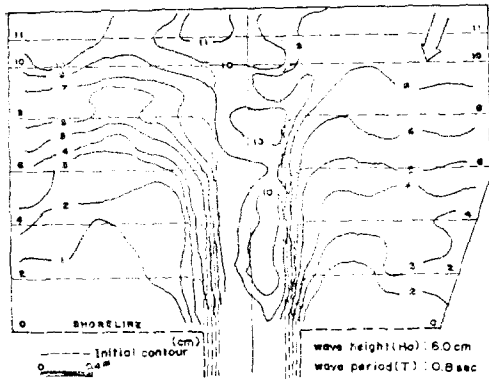
(c) Case No. 3-1



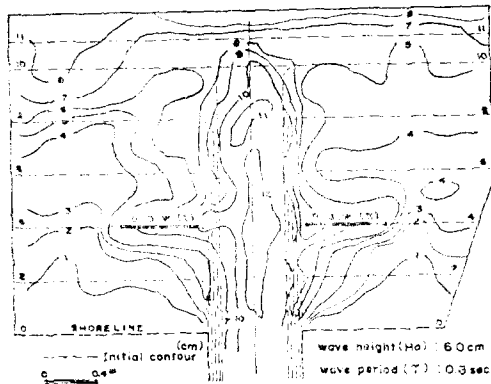
(C) Case No. 3-1

Fig. 7. Plan of Deformation of Topographic Feature (with wave only)

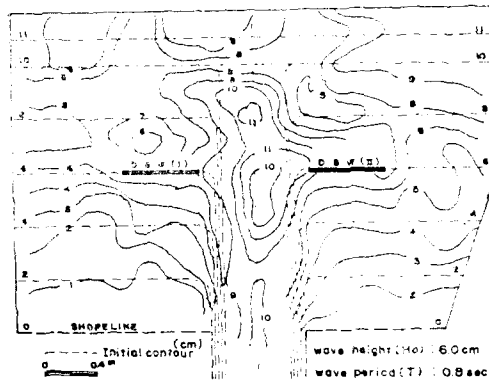
Fig. 8. Profile of Deformation of Topographic Feature. (with wave only)



(a) Case No. 1-2

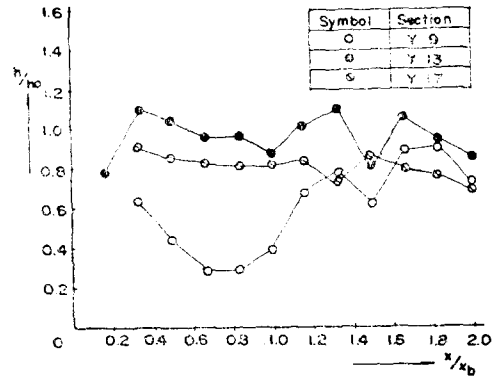


(b) Case No. 2-2

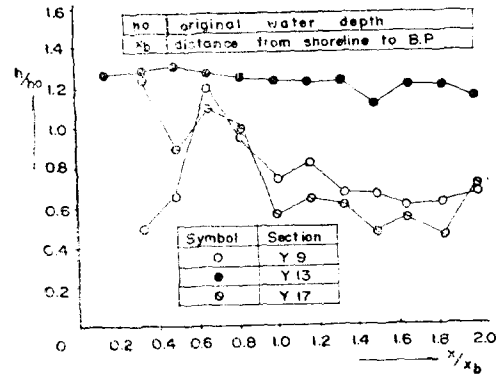


(c) Case No. 3-2

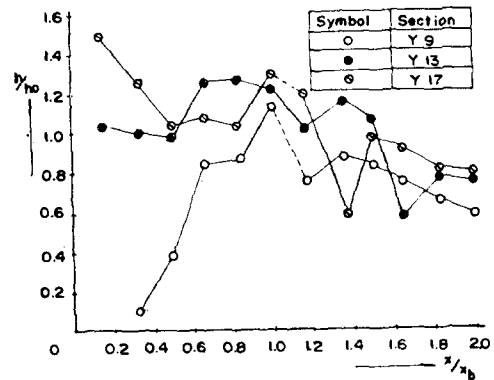
Fig. 9. Plan of Deformation of Topographic Feature. (with wave plus river discharge)



(a) Case No. 1-2



(b) Case No. 2-2



(c) Case No. 3-2

Fig. 10. Profile of Deformation of Topographic Feature. (with wave plus river discharge)

4. 結 論

離岸堤工法에 의한 河口閉塞 防止效果를 檢討하기 위하여 河口域에 離岸堤를 設置해서 그 周邊에 發生하는 海濱流의 pattern을 數值 및 水理實驗에 의해서 考察하고 移動床 水理實驗을 통하여 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 河口 및 離岸堤 周邊의 波高 및 波向이 既知일 때 堤體背後에 發生하는 海濱流의 흐름상태를 數值計算에 의해서 예측하였으며 이는 測定된 海濱流의 流速과 어느정도 一致됨을 알았다.

(2) 數值計算에 의해서 구한 海濱流의 흐름상태로부터 漂砂移動의 卓越方向을 推定한 것과 移動床 水理實驗으로부터 얻은 結果를 比較해 보면 定性的으로 잘 一致됨을 알 수 있었다.

(3) 河川流가 없고 波만이 存在하는 경우에 移動床 水理實驗의 結果에 의하면 河口前面에서의 堆積現象은 離岸堤가 있을 때 보다 없을 때가 현저하였다. 또한 堤體가 碎波帶 附近($x/x_b=1.0$)에 있을 경우가 陸岸쪽 ($x/x_b=0.67$)에 있을 때 보다도 河道內에서의 堆積量이 적음을 알 수 있었다.

(4) 河川流와 波가 共存하는 경우 堤體가 없을 때에는 河口 및 河道內의 地形變化는 거의 없었으나, 堤體가 設置됨에 따라 河道內에 侵蝕現象이 일어났다.

(5) 河川流의 有無에 關係없이 離岸堤의 設置水深이 適切하면 離岸堤工法이 河口閉塞 防止對策으로서 效果가 있음이 確認되었다.

끝으로 본 연구는 1984년도 문교부 학술조성비에 의해서 수행된 것으로 문교당국과 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. 梁崙模: “河口閉塞防止工法에 관한 研究(I),” 釜

山大學校 工科大学研究報告, 第23輯, pp.393—402, 1982

2. 梁崙模·李文贊: “河口閉塞防止工法에 관한 研究(II),” 釜山大學校 工科大学 研究報告, 第26輯, p.1—10, 1983.

3. Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart; “Radiation Stress and Mass Transport in Gravity Waves, Application to Surf Beat, J. of Fluid Mech., vol. 13, 1992.

4. Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart; “The Generation of Capillary Waves by Steep Waves.” J. of Fluid Mech., vol.16, 1963.

5. Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart; “Radiation Stress in Water Waves, Aphysical Discussion with Application.” J. of Fluid Mech vol. 16, 1963.

6. 泉雄士: “構造物周邊의 海濱流變動에 關する 研究,” 日本大阪大學大學院土木工學科修士論文, 1981.

7. 金子安雄·堀江 毅·村上和男: “ADI法による潮流と擴散の數值計算,” 港灣技術研究報告, vol. 14, No.1, p. 61, 1975.

8. Longuet-Higgins, M.S.; “Recent Progress in the Study of Longshore Currents, Waves on Beach and Resulting Sediment Transport,” Academic press, pp.203~248, 1972.

9. Longuet-Higgins, M.S.; “Longshore Current Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 1,2” J. of Geophys. Res., vol. 75, pp. 6778~6801, 1970.

10. 堀川·砂村: “波による二次元海濱變形에 關する 實驗的 研究” 第21回海岸工學講演會論文集, pp. 193~200, 1974.