

# 碎波後 發生하는 沿岸流의 流速分布에 관한 研究

On-offshore Distribution of Longshore Current in the Surf Zone

金 京 鎬\*  
Kim, Kyoung Ho  
具 奉 權\*\*  
Koo, Bong Kuen

## Abstract

This study aims at the elucidation of the distribution of longshore currents after wave breaking. Longshore currents have relations to the beach process and dispersion of contaminants in the nearshore region, thus the understanding of its mechanism is very important. In the present study, using the electromagnetic current meter, the water particle velocity is measured in the 3-dimensional wave field and Eulerian mean velocity is obtained. At the same time, from the dispersion of tracer, the Lagrangian mean velocity is also obtained.

It is observed that the longshore currents were confined within the surf zone and the maximum value of them exists in the surf zone. The longshore currents were considered to be constant toward the depth and we obtained the similar distribution of longshore currents between the measured value and the theoretical ones by Longuet-Higgins model.

## 要 旨

沿岸流은 沿岸漂砂, 海岸浸食 또는 港灣埋沒의 原因이 되기도 하며, 沿岸域의 物質擴散의 外力으로 作用하기 때문에, 그 現象의 理解 및 究明은 工學으로 重要한 意味를 갖는다. 本 研究에서는 實驗을 통해서 沿岸流의 分布特性을 考察하고, 實驗結果를 Longuet-Higgins model 에 의한 計算値와 比較 檢討하였다. 一般적으로 沿岸流은 碎波帶內에 局限되어 分布하며, 碎波帶外에서는 매우 微弱함을 보였다. 沿岸流의 水深方向으로의 分布는 거의 一定하였으며, 實驗値와 計算値는 最大值 附近을 제외하고,  $N=0.05$  일 경우 좋은 一致를 보이고 있다.

## 1. 序 論

碎波帶를 包含한 海岸線 近傍에서는 여러가지 흐름이 相互 干涉해 가면서 作用하기 때문에 아주 複雜한 樣相을 띠고 있다. 예를 들면 波의

進行에 隨半하여 質量을 輸送하는 흐름, 碎波現象과 密接한 關係를 갖는 沿岸流(longshore current) 및 碎波帶內의 平均水位上昇이나 지형 변화에 基因하여 發生하는 離岸流(rip current) 등이 存在한다.

碎波帶內의 流速場에 關한 研究는 多數 行해져 왔지만, 극히 複雜性을 띠고 있기 때문에,

\* 正會員·忠北大學校 工科大学 助教授, 土木工學科

\*\* 正會員·忠北大學校 工科大学 教授, 土木工學科

充分한 究明은 되었다고 볼 수 없다.

海岸近傍에서의 흐름중 沿岸流는 碎波에 隨半해서 생기는 에너지 損失과 깊은 關係가 있으며<sup>(6)</sup>, 거의 碎波帶內에 局限되어 分布하는 것이 그 特徵이다. 沿岸流에 대해서는 Putnam, Munk & Traylor(1948)<sup>(2)</sup>에 의해서 처음으로 그 豫測式이 提案된 이래, 수많은 實驗的, 理論的 研究가 行해져 오고 있다.

沿岸流에 관한 研究의 흐름은 크게 2개의 段階로 大別할 수 있다. 그 하나는 沿岸流의 平均流速에 注目해서 研究를 行한 時期<sup>(3)</sup>과 Longuet-Higgins<sup>(1)</sup>의 radiation stress의 概念을 導入하고, 또한 沿岸流의 流速分布까지도 다루게 된 1960年代 後半以後의 研究段階이다<sup>(4,5,6,7)</sup>. 1960年代 以前의 研究에 있어서 流速의 測定은 主로 浮標 또는 染料를 利用한 Lagrange的인 方法이었고, 그 理論的인 解析도 너무 單純하며, 碎波帶全域을 통해서 단 하나의 平均流速밖에는 推定할 수 없다고 하는 缺點을 갖고 있었다.

1960年代 後半에 들어서면서, 그 理論的인 取扱이 多樣해졌으며, 流速의 測定도 各種 流速計를 使用하게 되었다. 水口들은<sup>(8)</sup> propeller式 流速計를 使用해서 沿岸流의 鉛直斷面分布의 特性을 考察하였고, 田中과 和田<sup>(9)</sup>는 超音波式 流速計를 利用해서 沿岸流 및 離岸流의 發生機構를 究明하고 있다. 最近에는 Huntley & Bown<sup>(10)</sup>, Thornton et al.<sup>(11)</sup> Huntley<sup>(12,13)</sup>, 堀川<sup>(14,15)</sup>들에 의해서 電磁流速計(electromagnetic current meter)를 利用한 沿岸流의 現地觀測도 報告되고 있다. 그러나 大部分의 電磁流速計는 probe가 크거나 drift 現象 등의 制約때문에 實驗室에서는 使用할 수 없는 것이 實情이었다.

最近 電磁流速計의 probe가 充分히 小型化되어, 實驗室에서도 使用할 수 있게 됨에 따라, 本 研究에서도 3次元 平面水槽에서 電磁流速計로 碎波帶內의 水粒子 流速을 測定하고, 이것에 基礎해서 沿岸流의 分布特性을 考察한다. 또한 流速測定과 同時에 投入된 tracer의 移動距離를 追跡함으로써 Lagrange的 沿岸流速도 함께 求한다. 그리고 Longuet-Higgins에 의해서 提案된 沿岸流에 대한 理論式을 計算하고, 實驗結果와 比較 考察한다.

## 2. 基本 理論

2.1 波와 흐름이 共存하는 경우의 各種 保存式<sup>(16,17)</sup>  
 流體運動은 一般的으로 質量 및 運動量의 保存式에 適切한 境界條件을 導入함으로써 定式化된다. 그림 1과 같은 座標系를 갖는 波動場에서 流速의 平均量이 水深方向으로 一定하다고 假定하고(즉 평면상의 2차원 흐름으로 가정), 水深方向으로 積分한 다음 時間平均한 保存式에 境界條件을 考慮해서 整理하면 다음과 같이 碎波帶內의 流體運動의 基本式을 얻을 수 있다. 理論式의 展開에 있어서 流速成分은 時間平均流와 파동에 의한 유속의에 亂流成分까지도 考慮하였다.

質量保存(conservation of mass) :

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ \rho(h+\bar{\eta}) \} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\hat{M}_i + M_i) = 0 \quad (1)$$

$$\hat{M}_i = \int_{-h}^{\eta} \rho v dx = \rho U(h+\bar{\eta})$$

$$M_i = \int_{-h}^{\eta} \rho u_i' dz$$

運動量 保存(conservation of momentum) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \hat{M}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tilde{U}_i \hat{M}_j + S_{ij}) \\ = T_i - \bar{\tau}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} L_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\hat{M}_i = \hat{M}_i + M_i$$

$$\tilde{U}_i = \hat{M}_i / \rho(h+\bar{\eta})$$

$$\begin{aligned} S_{ij} = \int_{-h}^{\eta} (\rho u_i' \rho u_j' + p \delta_{ij}) dz \\ - \frac{1}{2} \rho g (h+\bar{\eta})^2 \delta_{ij} - \frac{M_i M_j}{\rho(h+\bar{\eta})} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bar{\tau}_i = (\mu + \epsilon) \frac{\partial U_i}{\partial z}$$

$$T_i = -\rho g (h+\bar{\eta}) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x_i}$$

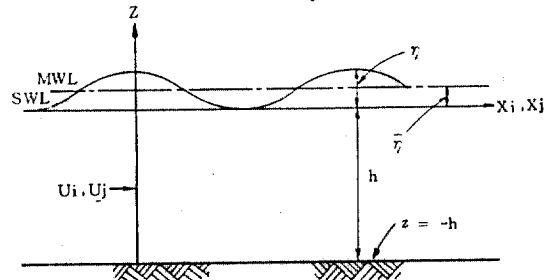


그림 1. 좌표계

윗식에서,  $\rho$ 는 流體의 密度,  $h$ 는 靜水深,  $\bar{\eta}$ 는 平均水位變動量,  $\hat{M}$ 는 平均流速成分에 의한 質量輸送  $M$ 는 波動成分에 의한 質量輸送  $U$ 는 水平方向의 平均流速成分,  $u'$ 는 水平方向 流速의 波動成分,  $S_{ij}$ 는 Radiation Stress,  $\bar{\tau}_i$ 는 底部摩擦應力,  $T_i$ 는 平均水位의 傾斜로 인해서 생기는 單位 面積當의 水平力,  $p$ 는 壓力, 그리고  $\frac{\partial}{\partial x_j} L_{ij}$ 는 亂流에 의한 水平混合項(lateral mixing term)을 나타내며, 添子  $i, j$ 는 水平方向의 座標  $(x, y)$ 를 나타내는 量이고, “—”는 時間平均을 意味한다.

上記 式들을 간략하게 하기 위해서, 式 (1)과 (2)에서 波形傾斜 및 波高水深比의 2乘 order는 다른 項에 비해서 작은 양이므로 省略하면<sup>(18)</sup>, 다음과 같은 式을 얻는다.

質量 保存 :

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(h+\bar{\eta}) + \frac{\partial \hat{M}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

運動量 保存 :

$$\frac{\partial \hat{M}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (U_i \hat{M}_j + S_{ij}) = T_i - \bar{\tau}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} L_{ij} \quad (5)$$

또 變動量으로서 波動成分만을 考慮하고, 微小振幅波 理論을 適用하면, 式 (3)으로 表示되는 radiation stress,  $S_{ij}$ 는 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$S_{ij} = \frac{EC_g}{C} l_i l_j + \frac{E}{2} \left( \frac{2C_g}{C} - 1 \right) \delta_{ij} \quad (6)$$

여기서,  $E$ 는 單位 面積當의 波의 에너지이고,  $C_g$ 는 群速度(Group velocity),  $C$ 는 波의 位相速度,  $l_i$  및  $l_j$ 는 波의 進行方向에 대한 方向餘弦(directional cosine),  $\delta_{ij}$ 는 單位 텐서이다.

## 2.2 沿岸流에 대한 Longuet-Higgins 모델<sup>(4,5)</sup>

그림 2와 같이 直線海岸에 波가 直角으로 入射한다고 假定하고, 定常狀態를 想定하면 運動量 保存式 (5)는 式 (7), (8)과 같이 改쳐 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{\rho(h+\bar{\eta})} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} = -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \quad (7)$$

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} = -\tau_y + \frac{\partial}{\partial x} (L_{xy}) \quad (8)$$

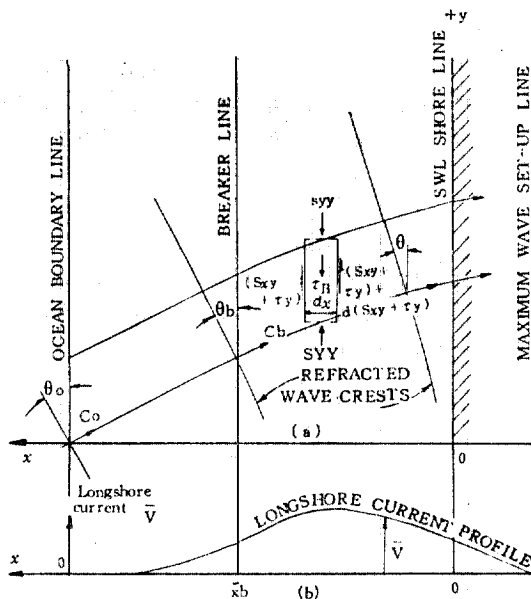


그림 2. Schematic of oblique wave incidence on a plane beach longshore current profile

式 (7)이 Wave set-up을 求하는 式이고, 式 (8)이 沿岸流를 나타내는 式이다.

그림 2에서 波의 進行方向을 十方向으로 하고,  $\alpha = 180^\circ - \theta$ 로 나타내면 式 (7)과 (8)에서  $S_{xx}$  및  $S_{xy}$ 는 各各 다음과 같다.

$$S_{xx} = \frac{E}{2} \left( \frac{2C_g}{C} - 1 \right) \quad (9)$$

$$S_{xy} = -\frac{C_g}{C} \sin \alpha \cos \alpha = -\frac{\sin \alpha}{C} F_x \quad (10)$$

여기서,  $F_x$ 는 에너지 Flux이다.

또  $L_{ij}$ 는 水平混合을 나타내는 量으로서 다음과 같이 表現된다.

$$L_{xy} = \mu_e h \quad (11)$$

$$\mu_e = N \rho x \{g(h+\bar{\eta})\}^{1/2}$$

여기서,  $V$ 는 沿岸流速이고,  $N$ 은 무차원의 turbulent closure 상수로서, 실험조건 또는 연구자들에 따라 각각 많은 값들이 제안되고 있다. Longuet-Higgins는  $0 < N \leq 0.016$ 의 範圍의 값을 取할 것을 提案하고 있다. 式 (8)에서  $\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}$ 는 driving force로서, 式 (10)를 考慮하면 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \begin{cases} = \frac{5}{4} m^2 \rho \{g(h+\bar{\eta})\}^{3/2} S \left( \frac{\sin \alpha}{C} \right), & \text{in the surf zone} \\ = 0, & \text{outside the surf zone} \end{cases} \quad (12)$$

여기서,  $m$ 는 振幅-水深比로서,  $m=0.41$ 의 값을 취하며,  $S$ 는 海底傾斜률 나타낸다. 또한 底部摩擦應力  $\tau_y$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\tau_y = \frac{2}{\pi} m f \rho \{g(h+\bar{\eta})\}^{1/2} V \quad (13)$$

여기서,  $f$ 는 摩擦係數이다.

近似的으로  $S=(h+\bar{\eta})/x$ 라 두고, 式 (8)에 式 (11), (12) 및 (13)를 代入해서 整理하면 다음과 같이 誘導된다.

$$p \frac{\partial}{\partial x} \left( x^{5/2} \frac{\partial V}{\partial x} \right) - q x^{1/2} V = \begin{cases} -r x^{3/2}, & 0 < x < x_B \\ 0, & x_B < x < \infty \end{cases} \quad (14)$$

여기서,  $p, q$  및  $-r$ 은 常數로서 다음과 같고, 添子  $B$ 는 碎波點에서의 量이다.

$$p = N \rho g^{1/2} S^{3/2}$$

$$q = \frac{2}{\pi} m f \rho g^{1/2} S^{1/2}$$

$$r = \frac{5}{4} m^2 \rho g^3 S^{5/2} \frac{\sin \alpha_B}{(gh_B)^{1/2}}$$

式 (14)에  $\bar{X}=x/x_B$ ,  $\bar{V}=V/V_0$ 와 같은 無次元 量을 代入하면 式 (14)는 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$P \frac{\partial}{\partial \bar{X}} \left( \bar{X}^{5/2} \frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{X}} \right) - \bar{X}^{1/2} \bar{V} = \begin{cases} -\bar{X}^{3/2}, & 0 < \bar{X} < 1 \\ 0, & 1 < \bar{X} < \infty \end{cases} \quad (15)$$

$$P = (\pi/2) (SN/mf)$$

$V_0$ 는 碎波點에서의 沿岸流速으로서 다음과 같이 주어진다.

$$V_0 = \frac{5\pi}{8} \frac{m}{f} (gh_B)^{1/2} S \sin \alpha_B \quad (16)$$

$V$ 와  $\frac{dv}{dx}$ 가  $\bar{X}=1$ 에서 연속적이라는 조건을 이용하여 式 (15)를 積分하면 다음과 같은 解를 얻는다.

(1)  $P \approx 2/5$ 인 경우

$$\bar{V} = \begin{cases} A\bar{X} + B_1\bar{X}^{3/2}, & 0 < \bar{X} < 1 \\ B_2\bar{X}^{3/2}, & 1 < \bar{X} < \infty \end{cases} \quad (17)$$

$$A = 1/(1-5P/2),$$

$$B_1 = \{(p_2-1)/(p_1-p_2)\} * A$$

$$B_2 = \{(p_1-1)/(p_1-p_2)\} * A,$$

$$p_1 = -3/4 + (9/16 + 1/P)^{1/2}$$

$$p_2 = -3/4 - (9/16 + 1/P)^{1/2}$$

式 (17)에서의 모든 parameter ( $A, P, B_1, B_2$ )는  $P$ 의 함수이다.

(2)  $P=2/5$ 인 경우

$$\bar{V} = \begin{cases} \frac{10}{49} \bar{X} - \frac{5}{7} \ln \bar{X}, & 0 < \bar{X} < 1 \\ \frac{10}{49} \bar{X}^{-5/2}, & 1 < \bar{X} < \infty \end{cases} \quad (18)$$

그림 3은  $P$ 의 값을 달리 했을 때,  $\bar{X}$ 에 대한  $\bar{V}$ 의 分布를 圖示한 것이다.

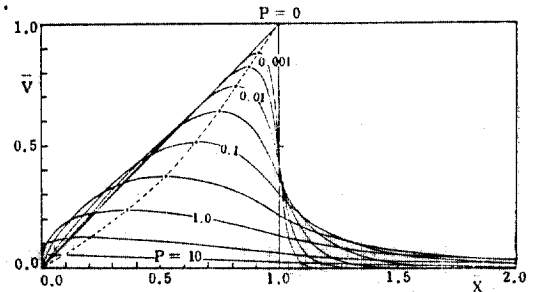


그림 3. Dimensionless longshore current profiles as function of P-parameter (from [Longuet-Higgins, 1970]).

### 3. 碎波帶內的 流速場에 대한 實驗

#### 3.1 實驗裝置

實驗은 그림 4에 圖示한 바와 같이, 길이 20m, 幅 10m의 平面水槽에 造波板에 대해서 30°의 角度를 갖도록 海岸模型을 만들어 行했다. 海底傾斜는  $S=1/10$ 이고, 一樣水深部の 水深은 36cm가 되도록 製作하였다. 本 實驗에 앞서서, 豫備實驗을 行하여 可能한 限, 水槽의 固有振動으로 因한 橫振動이 發生하지 않는 範圍內에서 波의 週期를 選定하였으며, 또한 循環流가 생기지 않는 沿岸流速場이 形成되는 範圍內에서 波高를 擇했다. 實驗波의 條件은 표 1과 같다.

그림 4에서  $x$ 軸은 汀線(shoreline)에 垂直한 方向,  $y$ 軸은 汀線方向, 即 沿岸流의 흐름 方向을 나타낸다. No. 0-6은 流速 및 波形을 測定하

## 丑 2. 電磁流速計의 諸元

機能 및 諸元	
測定方向	直交 2成分(4方向)
測定範圍	0~25cm/sec 0~100cm/sec 3 Range 變換式 0~200cm/sec
測定誤差	±2%/Full scale
使用溫度	0~50°C
센서의 外型치수	φ8×30(L)mm

의 移動距離를 追跡하여 Lagrange 的 流速도 구 하였다.

實驗으로 부터 얻은 水粒子 流速의 時系列 때 이타는 100 Hz, 또는 25 Hz 의 間隔으로 digital 化하였다. digital 데이터로부터 沿岸流速(V)은 다음과 같은 式에 依해서 얻어진다.

$$V(x, t) = \frac{1}{LM} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M Q(x, t + j\Delta t) \quad (19)$$

여기서, Q는 디지털 데이터이고, M은 1 週期當 分割數(M=T/Δt), L은 解析에 利用한 波의 數, T는 週期 그리고 Δt는 sampling 한 時間 間隔이다.

### 3.3 波形的 測定

各 測線의 測定點사이를 容量式 波高計를 設置한 臺車를 適切히 移動시켜 가면서, 時間 波形的 變化를 데이터 레코더에 記錄하였다. 深海波의 測定을 위해서는 그림 4 에서와 같이 造波板에서 약 4.6 m 되는 距離에 波高計 1臺를 配置하였다. 特히 水深이 낮은 部分에서 波高計의 檢出部가 底部에 닿아서, 波高計를 들어 올려야 할 경우, 또는 造波機의 長時間 加동으로 因해서 波形이 定常性을 잃었다고 判斷되는 경우에는 造波機를 일단 停止시키고, 靜水面을 새로이 記錄하여, 平均水位의 分布의 算定에 있어서의 誤差를 줄였다. 測定은 測線 No.0-6 의 全 測線에 沿해서, x 方向으로 碎波帶內에서는 5 cm 間隔, 碎波帶 밖에서는 15 cm 間隔으로 行하여, 平面分布를 얻을 수 있도록 하였다.

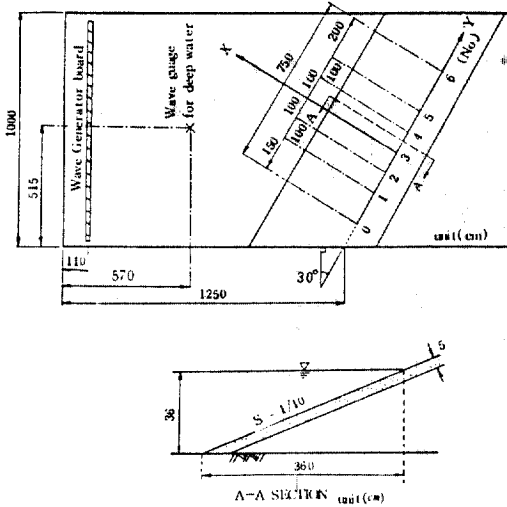


그림 4. Experimental set-up

丑 1. 實驗波의 條件

諸元 \ case	case I	case II
週期(sec)	1.14	0.91
深海波波高(cm)	6.68	6.70
波形傾斜	0.033	0.052
深海波入射角(°)	30	30
碎波點의 入射角(°)	25.8	20.3
碎波形式	plunging	plunging

기 위한 測線을 表示한 것으로, 各 測線間의 間隔은 兩端에서 2 m, 그 外에는 1 m로 하였다.

### 3.2 流速測定

流速測定에는 日本 計測 技研製의 小型 電磁流速計(electromagnetic current meter)를 利用하였다. 이 流速計의 特長으로서는 流速의 方向 判別이 可能하며, 또 calibration이 必要하지 않은 利點이 있다. 또 實驗室에서의 使用에 있어서, 問題點이었던 센서의 크기도 小型化 되었고, 長時間의 測定時에 나타나는 基準點의 drift 現象도 改善되어 安全한 應答을 보이는 點이다. 本 實驗에 利用한 電磁流速計의 機能 및 諸元을 표 2에 보인다.

流速의 測定은 水槽壁의 影響을 가장 적게 받는다 고 생각되는 測線 No.3 에서 이루어졌으며, x 方向으로 10 cm 間隔, 水深方向으로 2~3 點을 測定했다. 또한 流速測定과 同時에 投入된 tracer

#### 4. 實驗結果와 考察

##### 4.1 波高 및 平均水位 變動

그림 5(a), (b)는 各各 case I 및 case II에 대해서 水位의 時間波形으로 부터 얻어진 波高의 平面分布를 圖示한 것이다. 兩 case 共히 測線 No. 4 部近에서 波高가 약간 높기는 하지만, 等波高線이 汀線과 거의 平行을 이루고 있는 것을 알 수 있다. 따라서  $y$  方向에 대해서 流速 및 平均水位 變動의 變化는 無視可能하므로, 2 次元의 解析이 可能하다고 생각된다. 그림 中, 實線은 等波高線, 點線은 碎波點(breaking point)를 連結한 線, 一點鎖線은 測線 No. 3을 表示하고 있다.

그림 6(a), (b)는 測線 No. 3 에 있어서의 波高 및 平均水位 變動의  $x$  方向의 分布를 보인 것이다. 그림 中 (○)은 平均水位 變動에 대한 實驗結果이고, 點線은 그것을 連結한 것이다. 그리고 (●)은 波高의 測定值로서 多少의 偏差는 보이고 있지만 거의 定常性을 維持하고 있다. 直線은 測定波高에 대한 最適線을 나타낸다.

##### 4.2 沿岸流의 流速分布

그림 7(a), (b)는 各各 case I 및 case II에 대한 沿岸流의  $x$  方向 및 水深方向의 斷面分布를 圖示한 것이다. 各 (a), (b)의 그림 中에서, 윗쪽 그림이 沿岸流의  $x$  軸方向의 分布이고, 아래 그림이 鉛直方向의 流速分布이다.

우선 沿岸流의  $x$  方向의 分布에 대해서 考察해 본다. 그림에서 작은 円은 投入된 트레이서의 移動距離를 追跡해서 얻은 Lagrange의 沿岸

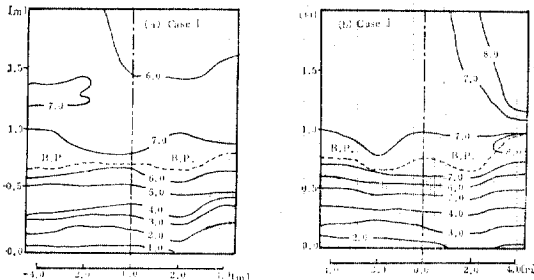
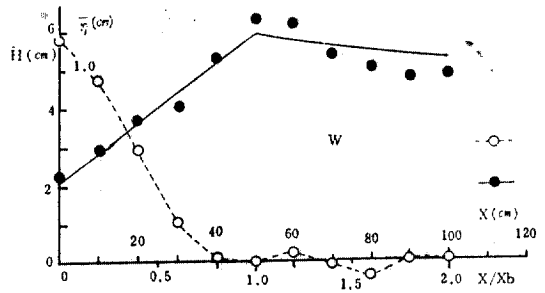
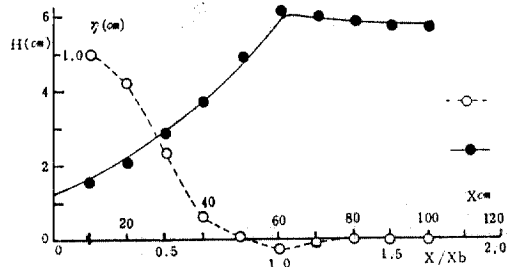


그림 5. Wave height contour lines



(a) Case I



(b) Case II

그림 6. Wave height and Wave Set-up

流速을 나타내고, 點線은 그 平均値에 該當한다. 實線(▲)은 電磁 流速計에 依한 測定值로서, 鉛直 斷面에 대해서 平均한 값이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, 트레이서의 移動距離의 追跡에 의한 測定値는 極히 散布하고 있음을 알 수 있다. 또한 汀線 附近에서 트레이서에 의한 移動 速度가 流速計에 의한 測定值보다 過大評價되고 있는데, 이는 波의 遡上(run-up)에 起因하는 것으로 推定된다. 이러한 點에 비추어 트레이서를 利用해서 沿岸流를 推定할 경우에는 相當한 注意를 要한다. 그러나 그 平均値는 汀線 附近을 除外하고, 流速計에 의한 測定值와 分布形狀에 있어서 暗은 點을 볼 수 있다. 實驗 case I, case II 共히 트레이서에 의한 測定值가 最大 沿岸流速을 境界로 하여, 岸側에서는 流速計에 依한 값보다 크고, 深海側에서는 그것보다 약간 작은 값을 나타내고 있다. 流速計에 의한 測定值를 보면, 碎波帶 外에서 그 크기는 아주 작게 나타나고 있으며, 汀線 方向으로 감에 따라 점점 增加하여 碎波帶內에서

### 4.3 沿岸流의 實驗値와 理論値의 比較

沿岸流의 實驗結果와 Longuet-Higgins 모델에 의한 計算結果를 比較圖示하면 그림 8(a), (b)와 같다. (a), (b)는 各各 case I 과 case II에 대한 結果이다. 縱軸은 無次元 沿岸流速  $\bar{V} = V/V_0$ 로써, 橫軸은  $\bar{X} = x/x_0$ 로써 나타냈으며, 그림 中, (○)은 流速計에 의한 測定値, (●)은 트레이서에 의한 測定値의 平均値, 그리고 B.P.는 碎波點의 位置를 表示한다. 實線은  $N$ 을 媒介變數로 하여 計算된 Longuet-Higgins의 모델(式 (17), (18))에 의한 理論値이다. 一般의 으로 沿岸流速의 理論値는  $N$ 이 增加함에 따라서, 最大流速의 發生位置가 汀線側으로 移動하면서, 減小해 가는 것을 볼 수 있는데, 이것은 그림 3에서 parameter를  $P$ 로 했을 때, 計算된 結果와 그 傾向이 같다.

理論値와 實驗結果를 比較해 보면, 그 分布形狀에 있어서, 碎波點(B.P.) 近傍과 碎波帶 밖에서는 比較的 一致를 보이고 있으나, 流速의 最大値 附近에서는 理論値가 過少評價되고 있다.  $N=0.05$ 로 取할 경우, 理論의 最大値는 實驗値보다 case I에서 約 21%, case II에서 約 13

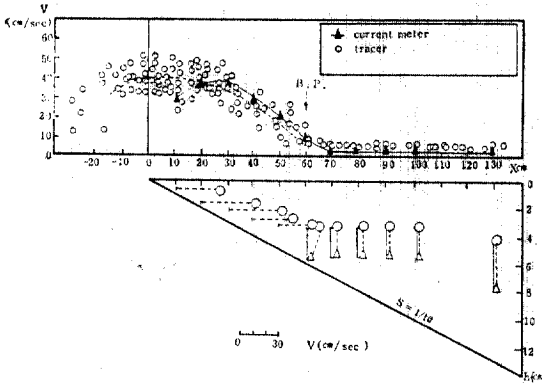


그림 7(a). Experimental results for longshore currents(case I)

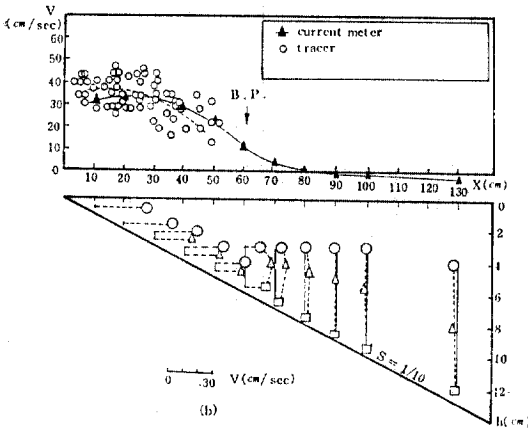


그림 7(b). Experimental results for longshore current(case II)

最大流速이 存在한다. case I에서는  $x \approx 20$  cm, case II에서는  $x \approx 30$  cm의 곳에서 最大値를 보인다. case II의 경우 深海側에서 眞의 沿岸流가 發生한 것은, 水槽 全體에 작기는 하지만 循環流가 存在하는 것이 아닌가 생각된다.

沿岸流의 鉛直方向의 分布를 考察해 본다. 그림에서 円이나 三角形 等의 表示는 鉛直方向의 相對的 位置를 나타낸다. 水深이 얇은 곳에서는 probe의 크기의 制約때문에 測定點의 數가 적기는 하지만, 本 實驗의 範圍內에서는 鉛直方向, 即 水深方向으로는 沿岸流의 流速分布가 거의 一定함을 알 수 있다.

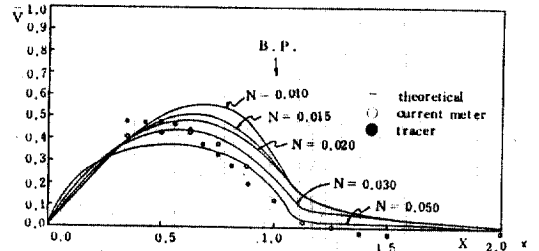


그림 8(a). Comparisons of theoretical longshore current with measured ones for case I

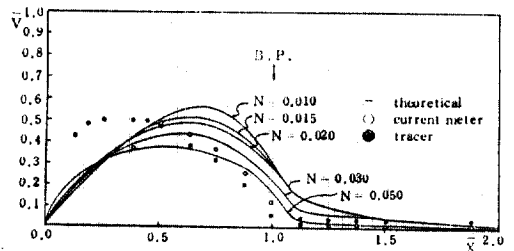


그림 8(b). Comparisons of theoretical longshore current with measured ones for case II

% 작게 나타나고 있다.

Longuet-Higgins는 水平混合의 程度를 나타내는 無次元 常數  $N$ 으로서  $0 < N < 0.016$ 의 範圍의 값을 提案하고 있으나, 그림 8에서도 알 수 있는 바와 같이 本 實驗에서는 대략  $N \approx 0.05$ 의 값에서, 實驗値와 理論値가 比較의 一致하고 있다. 이것은 沿岸流의 計算에 支配的인 影響을 주고 있는 因子  $P$  중에,  $N$  이외에 摩擦係數,  $f$ 도 包含되어 있으므로, 이것에 의한 것으로 推定된다. 摩擦係數에 대해서는, 多數 報告되어 있기는 하지만<sup>(9,12)</sup>, 定量的인 算定方法을 뚜렷이 提示할 수 있는 段階에까지는 이르지 못하고 있는 實情이므로, 이에 대한 定量的인 評價方法이 確立되어야 하겠다.

## 5. 結 論

本 研究에서는 3次元 波動場에  $S=1/10$  一定 海底 傾斜面을 만들고, 碎波後 沿岸流에 대한 水理 實驗을 行하여 Longuet-Higgins 모델에 의해 計算된 理論値와 比較해 보았다. 以上の 研究를 통해서 얻은 結論은 다음과 같다.

(1) 沿岸流는 거의 碎波帶內에 局限되어 分布하고, 碎波帶 밖에서는 아주 微弱함을 알 수 있다.

(2) 汀線 附近에서 트레이서에 의한 沿岸流의 實測値가 流速計에 의한 實測値보다 一般적으로 크게 나타나는데, 이것은 波의 翹上(run-up)에 起因하는 것으로 推定된다. 그리고 트레이서에 의해서 얻은 沿岸流는 크게 散布하므로, 注意를 要하며, 트레이서를 利用하여, 沿岸流를 求할 경우에는 그 平均値를 取하는 것이 바람직하다.

(3) 本 實驗의 範圍 內에서는 沿岸流는 鉛直 方向으로 一定한 分布를 하므로, 一般적으로 運動 方程式을 水深 方向으로 積分해서, 平均流를 取하는 것은 妥當性이 있다고 볼 수 있다.

(4) 沿岸流의 實測値와  $N=0.05$ 인 경우의 理論値의  $x$  方向의 分布 形狀은 大體적으로 一致하고 있으나, 理論値의 最大流速의 크기가  $H_0/L_0=0.033$ (case I)의 경우, 약 21%  $H_0/L_0=0.052$ (case II)의 경우, 약 13% 작게 나타나고 있다.

(5) 本 實驗에서 水平 擴散의 程度를 나타내

는 常數  $N$ 은 Longuet-Higgins가 提案한  $0 < N < 0.016$ 의 範圍를 크게 벗어나고 있다. 이것에 대해서는 今後 波動場에 適用 可能한 摩擦係數의 定量的인 評價方法이 確立되어야 할 것이다.

여러가지 制約條件때문에 實驗 case가 적었지만, 沿岸流(longshore current)에 대해서 어느 程度 밝혀졌다. 今後의 課題로서는 本 研究를 土臺로 하여, 實驗 case를 늘림과 同時에, 海底 傾斜(bottom slope)의 變化, 그리고 一定 海底 傾斜가 아닌 任意의 海底 傾斜面에 대해서 研究해야 할 必要性을 느낀다.

## 謝 辭

本 研究는 1986年度 文敎部 學術 研究 造成費에 依해서 遂行된 研究임을 밝히며, 本 研究를 可能케 한 文敎部 當局에 심심한 感謝를 드리는 바이다.

## 參 考 文 獻

1. Longuet-Higgins, M.S., and Stewart, R.W., "Radiation Stress in Water Water Waves; A Physical Discussion, with Applications", *Deep Sea Research*, Vol. 11, 1964, pp. 529~562.
2. Putnam, J.A., Munk, W.H. and Traylor, M.A., "The Prediction of Longshore Currents", *Trans. A.G.U.*, Vol. 30, No. 3, 1949, pp. 337~345.
3. Inman, D.L. and Quinn, W.H. "Currents in the Surf zone", *Proc. of 2nd Conf. on Coastal Eng.*, 1951.
4. Longuet-Higgins, M.S. "Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 1", *Jour. of Geophys. Res.*, Vol. 75, 1970, pp. 6778~6789.
5. Longuet-Higgins, M.S. "Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 2", *Jour. of Geophys. Res.*, Vol. 75, 1970, pp. 6790~6801.
6. Thornton, E.B., "Variation of Longshore Current across the Surf Zone", *Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng.*, 1970, pp. 291~308.
7. Bowen, A.J., "The Generation of Longshore Currents on a Plane Beach", *Jour. of Mar. Res.*, Vol. 27, 1969, pp. 206~215.



8. 水口 優, 大嶋義隆, 堀川清司, “沿岸流速の断面分布について”, 第25回 海岸工学講演會論文集, 1978, pp. 425~429.
9. 田中寛好, 和田 明, “海浜流の發生機構に関する實驗的研究”, 第27回 海岸工学講演會論文集, 1980, pp. 153~157.
10. Huntley, D.A. and Bowen, A.J., “Field Measurement of Nearshore velocities”, *Proc. of 14th Conf. on Coastal Eng.*, 1974, pp. 538~557.
11. Thornton, E.B., Galvin, J.J., Bub, F.L. and Richardson, D.P., “Kinematic of Gravity Waves”, *Proc. of 15th Conf. on Coastal Eng.*, 1976, pp. 461~476.
12. Huntley, D.A., “Lateral and Bottom Forces on Longshore Currents”, *Proc. of 15th Conf. on Coastal Eng.*, 1976, pp. 645~659.
13. Huntly, D.A., “Long Period Waves on a Natural Beach,” *Jour. of Geophys. Res.*, Vol. 81, No. 36, 1976, pp. 6441~6449.
14. 堀川清司, 堀田新太郎, 水口 優, 磯部雅彦, “碎波後の波にともなう流速場に関する現地観測”, 第26回 海岸工学講演會論文集, 1979, pp. 46~50.
15. 磯部雅彦, 水口 優, 堀川清司, “碎波帯付近の波にともなう流速場に関する現地観測”, 第27回 海岸工学講演會論文集, 1980, pp. 148~152.
16. Phillips, O.M., “*The Dynamics of the Upper Oceans*”, Cambridge University Press, 1966, pp. 261.
17. 金京鎬, 碎波後 波高減衰 및 平均水位 變動에 관한 研究, 서울大學校 博士學位論文, 1986.
18. 水口 優, 海浜循環流のメカニズムに関する基礎的研究, 東京大學 博士學位論文, 1979.

(接受: 1986. 8. 1)