

碎波特性和 碎波帶內的 沿岸流 Characteristics of Wave Breaker and Longshore Current in the Surf Zone

金 京 鎬*
Kyoung-Ho Kim*

要 旨 : 碎波變形에 대한 從來의 研究는 흐름을 考慮하지 않은 境遇가 대부분 이었다. 즉 波浪의 變化가 흐름의 變化에 미치는 影響에 대해서는 어느 정도 연구가 수행되어 왔으나, 波浪에 의해 발생한 흐름이 다시, 碎波후 波高減衰, 平均水位 上昇 및 波向角 등 碎波帶內的 諸般 水理量의 變化에 대해 어떻게 寄與하는가에 대해서는 거의 報告되어 있지 않은 실정이다. 본 研究에서는 碎波에 의해 發生하는 에너지 損失과 밀접한 관계가 있다고 알려진 沿岸流를 考察하고, 이 沿岸流가 碎波후 波高減衰 및 平均水位 變動, 그리고 波向角에 어떻게 影響을 미치는가에 대해서 檢討하고, 沿岸流가 存在하지 않은 境遇와 比較 考察한다.

Abstract □ Many investigations of wave deformation without currents have been carried out experimentally and theoretically but, studies treating the effect of longshore current on the wave deformation are few. It is thus necessary to evaluate the effect of longshore current on the wave deformation after breaking. In the paper the wave height attenuation, the wave direction and the variation of mean water level are calculated in which effects of longshore current are involved. To assess the effect of longshore current on the wave deformation, factors above with longshore current are compared with them without longshore current by using calculated results.

1. 緒 論

碎波帶내에는 여러 가지 흐름이 相互干涉해 가면서 작용하기 때문에 波浪變形過程은 매우 복잡한 양상을 띠고 있다. 예를 들면 파의 진행에 수반하여 질량을 수송하는 質量輸送流, 그리고 碎波現象과 밀접한 관계를 갖는 沿岸流(longshore current) 및 쇄파대내의 평균수위 상승이나 지형변화에 기인하여 발생하는 離岸流(rip current) 등의 흐름은 파랑과의 상호작용하면서 존재한다.

이 중 沿岸流는汀線에 대해서 파가 경사지게 입사될 때汀線에 거의 평행한 방향으로 흐르는 흐름을 말하는데, 碎波에 수반해서 생기는 에너지 損失과 밀접한 관계가 있으며, 거의 碎波帶內에 국한하여 분포하는 것이 그 특징이라 할 수 있다(金과 片,

1987).

碎波 후의 파랑변형을 究明하기 위해서는 碎波限界 등에 관한 연구도 물론 중요하지만 쇄파의 内部機構에 대한 究明이 필요하게 된다. 쇄파의 内部機構에 관한 연구는 에너지 평형식을 이용하여 쇄파대내의 파를 해석하는 에너지 平衡式法과 非線形 波動方程式으로부터 해를 구해 해석하는 방법으로 大別된다.

에너지 平衡式에 의한 방법은 파동의 에너지 손실항 D의 評價方法에 따라 다시 渦動粘性 모델(Ijima & Takahashi, 1956 ; Mizuguchi, 1980) 그리고 쇄파를 단파와 유사시켜 생각한 短波모델(Le Méhauté, 1962 ; Hwang & Divoké, 1970 ; 岩桓 등, 1981) 및 난류이론을 적용한 亂流모델(Horikawa & Kuo, 1966 ; Izumiya & Horikawa, 1984) 등으로 分類된다.

또 비선형 파동방정식에 의한 방법으로서 Whi-

* 忠北大學校 土木工學科(Department of Civil Eng., Chung Buk National University, Cheongju 360-763, Korea)

tham(1962), Freeman과 Le Méhauté(1964), 岩田 등(1976)의 연구가 있다.

그러나 上記한 연구들은 흐름의 影響을 무시한 것들이 대부분이다. 즉 흐름을 고려하지 않은 경우의 波浪의 變形에 대해서는 많은 연구가 있어 왔으나 파랑에 의해 발생된 흐름이 다시 波浪에 영향을 주어 波高減衰現象 및 平均水位 상승 등의 변화에 어떻게 기여하는가에 대한 연구는 그 수가 적다.

쇄파대내에서 흐름이 파랑변화에 미치는 영향에 대한 연구로는 Sakai 등(1988), Simons 등(1988), 그리고 Sakai와 Kobayashi(1990) 등을 들 수 있는데 이들 연구도 흐름이 파랑의 逆方向인 경우에 局限해서 다루고 있다.

본 연구에서는 沿岸流가 쇄파대내에서 波高減衰現象, 波向角 및 平均水位 變動에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 檢討하고, 또 沿岸流가 存在하지 않는 경우에 대해서도 계산을 함께하여 兩者를 비교했다.

2. 碎波로 인한 波의 變形

본 연구에서는 에너지 平衡式法을 이용하여 碎波帶內의 波浪變形에 대해서 考察한다. 汀線에 나란한 방향으로 수심이 변하지 않는 直線海岸에 대해 파와 흐름이 공존하는 2次元 波動場을 상정하고, 질량, 운동량, 에너지 및 波數 保存式으로부터 沿岸流, 波向角, 波高分布 및 平均水位 상승에 대한 기본식을 誘導한다. 이를 계산하여 沿岸流가 波向角, 파고감쇠현상 및 평균수위 변동에 미치는 영향을 評價한다. 계산은 外海에서 汀線을 향한 방향으로 進行하였으며, 평균수위 변동으로 인한 정선의 이동은 移動境界를 利用함으로써 해결하였다.

2.1 基礎方程式

波가 汀線에 대해서 임의의 각 θ 를 갖고서 입사하는 경우에는, 汀線에 나란한 방향으로 沿岸流가 존재하게 된다. Fig. 1과 같이 좌표계를 設定하고, y축과 평행한 방향으로 수심이 변화하지 않는 直線海岸을 가정하면, y축 항의 미분항이 없어지고, x축 방향으로의 흐름 U가 0이 되므로 2차원적인 解析이 可能하게 된다.

또한 傾斜지게 입사한 파는 汀線에서 거의 直角이 되며, 파향각 θ 는 波數의 非回轉 法則, 즉

$$\nabla_x \vec{k} = 0 \tag{1}$$

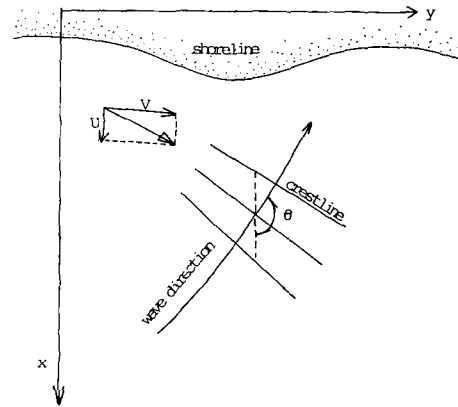


Fig. 1. Coordinate system.

의 條件으로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$\frac{d}{dx} (k \cdot \sin \theta) = 0 \tag{2}$$

이 때 파수 k는 波數 保存式으로부터 救하게 된다.

파고분포 H는 에너지 保存式으로부터, 정상상태로 가정하면 시간 미분항이 없어지고 x방향의 流速 U가 0이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (E \cdot C_{gx}) + S_{yx} \frac{\partial V}{\partial x} + D = 0 \tag{3}$$

여기서 $C_{gx} = nC \cos \theta$

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right]$$

$$S_{yx} = E \cdot n \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta$$

平均水位 변동 η 에 대해서도 앞서와 같은 가정으로부터 運動量 保存式으로부터 다음과 같이 表現된다.

$$g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho(h+\eta)} \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \tau_x V \cos \theta \cdot \sin \theta = 0 \tag{4}$$

여기서 $S_{yx} = E[n(\cos^2 \theta + 1) - 0.5]$ 이다.

또한 沿岸流 V는 y 방향의 運動量 保存式으로부터 다음과 같이 表現된다.

$$\frac{1}{\rho(h+\eta)} \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \tau_x V(1 + \sin^2 \theta) - \varepsilon_{yx} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 0 \tag{5}$$

여기서

$$\tau_x = \frac{2fH}{T(h+\eta) \sinh k(h+\eta)}$$

또, ϵ_{yx} 는 확산계수로서 Longuet-Higgins(1970)가 제안한 다음식을 이용하였다

$$\epsilon_{yx} = N \xi \sqrt{g(h+\eta)} \quad (6)$$

여기서 N은 水平混合에 대한 無次元 係數로서 Longuet-Higgins는 $0 < N \leq 0.016$ 값을 제안했으며, ξ 는汀線으로부터 떨어진 距離를 나타낸다.

2.2 計算方法

沿岸流가 존재하는 경우에 있어서, 波高分布는 식 (3)으로부터 구하게 되는데, 이 때 식 (2)의 波向角 θ , 식 (4)의 平均水位變動 η , 그리고 식 (5)의 沿岸流 V가 이용된다.

식 (3)에서 D는 碎波後의 亂流에 의해서 생기는 에너지 損失項으로서, 쇄파대내의 파괴분포의 推定은 이것의 평가방법에 크게 좌우된다. 에너지손실항 D에 대한 모델로는 여러 가지가 있는데(Führböter, 1970; Battjes 등, 1978), 본 研究에서는 다음과 같은 岩桓 등(1981)의 모델을 이용하였다.

$$D = B \rho g H^2 (H/h)^4 / 4 \gamma^3 T \quad (7)$$

여기서 B는 碎波水深에 대한 相對水深의 크기로서 $1 \leq B \leq 5$ 의 범위를 갖는 常數이고, γ 는 碎波水深(h_b)에 대한 碎波波高(H_b)를 나타내는 값으로서 다음과 같이 표현된다.

$$\gamma = 0.7 + 5S \quad (8)$$

여기서 S는 海底傾斜이다.

쇄파한계에 대해서는 Goda(1970)가 제안한 다음식을 利用하였다.

$$\frac{H_b}{L_b} = A \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h_b}{L_b} (+ 15 \tan^{4/3} \theta) \right\} \right] \quad (9)$$

여기서 A=0.17, L_b 및 L_b 는 각각 深海 및 碎波點에 있어서의 波長을 가리킨다.

평균수위 변동은 식 (4)로부터 구하게 되는데, 식 (2), (3), (5)를 聯立하여 計算함으로써 이 때에도

역시 沿岸流의 영향을 받는 平均수위 변동을 구할 수 있다. 平均수위 변동으로 인한 汀線 境界의 移動은 線形 補簡을 이용해서 구했다.

3. 計算 結果 및 考察

본 계산에서는 海底傾斜, 波向角, 波形傾斜 등을 달리해 가면서 여러 가지 경우에 대해 계산을 修行하고, 그 결과 중 몇 가지 예에 대해서 檢討하기로 한다.

3.1 碎波點에 있어서의 波의 特性

沿岸流가 존재하는 경우에 대해서 碎波點에 있어서의 파의 特性을 알아보기 위하여, 해저경사와 파형경사를 달리했을 경우에 대해서, 쇄파점에 있어서의 파향각(θ_b)과 深海에서의 파향각(θ_o)의 비(θ_b/θ_o), 쇄파점에서의 平均수위 하강, 쇄파수심에 대한 碎波波高의 비, 쇄파점의 위치 등에 대해서 Table 1, 2, 3에 나타내었다.

波形傾斜와 海底傾斜가 동일한 경우 碎波點에 있어서 쇄파特性은 파형경사가 큰 경우는 파향각의 크기, 즉 沿岸流의 세기에 따라 약간의 차이를 보이지만 全般的으로 큰 차이를 보이지 않는다.

Table 1. Characteristics of breaker

| S, T, H_o/L_o | θ_o | (θ_b/θ_o) θ_b | η_b/H_b | H_b/h_b | H_b/h_b Goda | h_b/L_o |
|-------------------|------------|-------------------------------------|--------------|-----------|-------------------|-----------|
| 1/20, 0.833, 0.06 | 30 | (0.755) 22.643 | -0.032 | 0.642 | 0.71 | 0.122 |
| | 25 | (0.754) 18.855 | -0.034 | 0.670 | 0.71 | 0.119 |
| | 20 | (0.745) 14.907 | -0.039 | 0.723 | 0.72 | 0.111 |
| | 0 | (---) 0 | -0.039 | 0.718 | 0.72 | 0.115 |
| 1/30, 0.833, 0.06 | 30 | (0.717) 21.512 | -0.033 | 0.640 | 0.70 | 0.108 |
| | 25 | (0.720) 18.004 | -0.034 | 0.656 | 0.70 | 0.100 |
| | 20 | (0.718) 14.359 | -0.037 | 0.687 | 0.70 | 0.103 |
| | 0 | (---) 0 | -0.036 | 0.695 | 0.70 | 0.104 |

Table 2. Characteristics of breaker

| S. T. H_o/L_o | θ_b | (θ_b/θ_o) θ_b | η_b/H_b | H_b/h_b | H_b/h_b Goda | h_b/L_o |
|------------------|------------|-------------------------------------|--------------|-----------|-------------------|-----------|
| 1/20, 1.00, 0.04 | 30 | (0.591) 17.723 | -0.046 | 0.812 | 0.81 | 0.063 |
| | 25 | (0.592) 14.799 | -0.047 | 0.812 | 0.81 | 0.064 |
| | 20 | (0.593) 11.867 | -0.048 | 0.808 | 0.80 | 0.065 |
| | 15 | (0.590) 8.855 | -0.044 | 0.819 | 0.80 | 0.065 |
| | 10 | (0.593) 5.925 | -0.048 | 0.810 | 0.80 | 0.067 |
| 1/30, 1.00, 0.04 | 30 | (0.575) 17.254 | -0.042 | 0.747 | 0.77 | 0.061 |
| | 25 | (0.579) 14.477 | -0.043 | 0.770 | 0.77 | 0.060 |
| | 20 | (0.582) 11.640 | -0.044 | 0.760 | 0.77 | 0.062 |
| | 15 | (0.584) 8.753 | -0.045 | 0.758 | 0.76 | 0.063 |
| | 10 | (0.583) 5.831 | -0.042 | 0.766 | 0.76 | 0.063 |

그러나 동일한 파형경사에 대하여 해저경사가 변화할 때 평균수위 하강(η_b/H_b)은 거의 변화가 없으나, 碎波水深에 대한 碎波波高의 비(H_b/h_b)는 해저경사가 클 수록 크게 나타나고 있다. 그리고 해저경사가 동일하고 波形傾斜가 변화하는 경우는 η_b/H_b , H_b/h_b 모두 波形傾斜가 작을 수록 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

특히 H_b/h_b 의 값은 沿岸流의 값이 클 수록 작은 값을 보이다가 沿岸流가 작을 수록 Goda의 研究結果와 잘 일치하고 있다. 또한 파향각의 비(θ_b/θ_o)는 파형경사가 작을 수록 작은 값을 나타내고 있다.

3.2 沿岸流의 分布特性

고정된 해저경사에 대해서 파향각의 크기에 따른 沿岸流速의 分布에 대해 고찰해 본다. 해저경사를 $S=1/10$ 로 고정하고 파향각을 變化시켜 가면서 計算한 結果를 Fig. 2(a)에 나타냈다. 碎波帶内에서는 쇄파점 근방을 제외하고 沿岸流速은 파향각이 클 수록 最大流速의 발생 위치도汀線측에 치우치고 있으며, 분포형상이 첨예화되는 것을 알 수 있다.

Table 3. Characteristics of breaker

| S. T. H_o/L_o | θ_b | (θ_b/θ_o) θ_b | η_b/H_b | H_b/h_b | H_b/h_b Goda | h_b/L_o |
|------------------|------------|-------------------------------------|--------------|-----------|-------------------|-----------|
| 1/20, 1.25, 0.02 | 30 | (0.425) 12.756 | -0.052 | 0.881 | 0.89 | 0.032 |
| | 25 | (0.415) 10.381 | -0.053 | 0.894 | 0.89 | 0.031 |
| | 20 | (0.420) 8.404 | -0.054 | 0.883 | 0.89 | 0.031 |
| | 15 | (0.436) 6.544 | -0.054 | 0.879 | 0.88 | 0.034 |
| | 10 | (0.436) 4.364 | -0.050 | 0.885 | 0.88 | 0.034 |
| 1/30, 1.25, 0.02 | 30 | (0.433) 13.003 | -0.049 | 0.812 | 0.82 | 0.031 |
| | 25 | (0.439) 10.984 | -0.049 | 0.812 | 0.82 | 0.032 |
| | 20 | (0.442) 8.845 | -0.045 | 0.825 | 0.82 | 0.032 |
| | 15 | (0.446) 6.689 | -0.049 | 0.821 | 0.82 | 0.032 |
| | 10 | (0.450) 4.497 | -0.050 | 0.812 | 0.81 | 0.033 |

Fig. 2(b)는 $S=1/20$ 로 고정된 해저경사에 대한 計算結果이다. Fig. 2(a)와 같은 경향을 보이고 있으나, 해저경사가 $S=1/10$ 인 경우 보다는 유속이 작게 나타나고 있으며, 분포형상도 완만하게 나타난다.

따라서 沿岸流는 해저경사가 클 수록, 또 波向角이 클 수록 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

3.3 沿岸流 波向角에 미치는 영향

Fig. 3(a)는 海底傾斜를 고정시켰을 경우, 沿岸流의 크기에 따른 波向角의 크기를 보여주고 있다. 파향각이 $\theta=30^\circ$ 인 경우는 碎波點을 지나면서 파향각이 약간 增加하다가 減少하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 파향각이 작아질 수록 완만한 變化를 보여주고 있는데, 이것은 沿岸流의 간섭에 起因한 것으로 생각된다.

波向角을 고정시키고 해저경사를 變化시키면서 計算한 結果도 앞의 結果와 잘 一致하고 있다(Fig. 3(b)). 이것은 해저경사가 클 수록 연안류가 크게 나타나는 사실에 비추어 妥當한 結果로 생각된다.

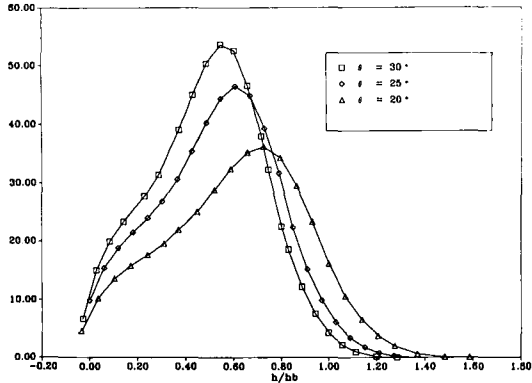


Fig. 2(a). Longshore current profile (S=1/10).

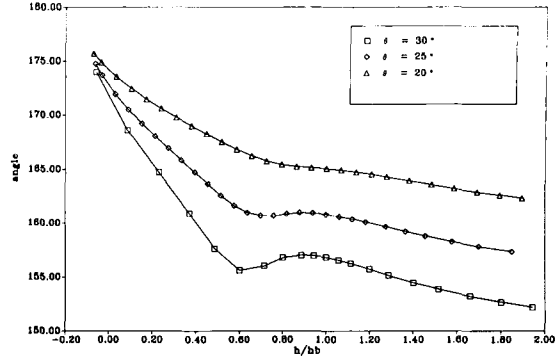


Fig. 3(a). Wave direction (S=1/10).

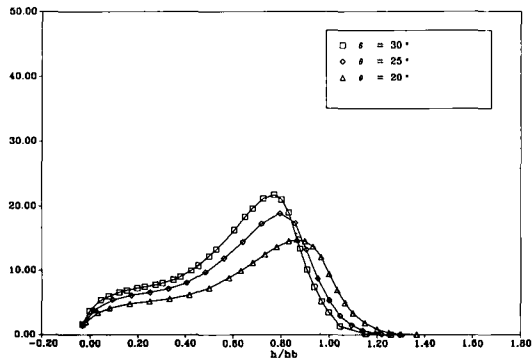


Fig. 2(b). Longshore current profile (S=1/20).

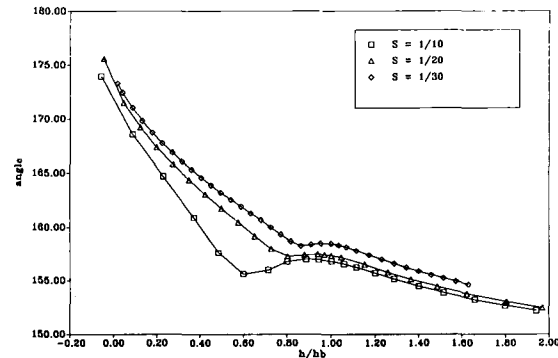


Fig. 3(b). Wave direction ($\theta=30^\circ$).

3.4 沿岸流가 波高減衰에 미치는 영향

Fig. 4(a)는 沿岸流의 크기에 따른 파고감쇠를 나타내고 있으며, 해저경사를 고정시키고 파향각을 달리해 가면서 計算한 結果이다. 沿岸流가 클 수록, 즉 波向角이 클 수록, 波高減衰는 작게 나타나고 있다.

흐름이 없는 경우의 파고감쇠에 대해서는 Mase 모델에 의한 계산치(×)와 비교를 위해 함께 圖示했다. 波向角이 0°인 경우, 즉 연안류가 존재하지 않는 경우(◇)와 Mase 모델을 쇄파점 부근에서는 一致하고 있으나 中間 水深域에서는 差異를 보이고 있다. 이것은 쇄파대 밖의 파고 算定에 있어서, 사용한 基本式의 차이와 이에 따른 碎波波高의 상대적 크기에 기인하는 것으로 推定된다.

沿岸流가 존재하는 경우는 존재하지 않은 경우에 비해서 쇄파 후 상당한 거리까지 일정한 크기의 파고를 維持하다가 감쇠되고 있는 것을 알 수 있으며, 이 때 감소부의 기울기는 연안류가 클 수록 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 4(b)는 동일한 波向角에 대해서 해저 경사의 변화에 따른 파고의 減衰를 나타내고 있으며, 역시 앞의 결과와 一致하고 있다.

同一한 海底傾斜에 대해서, 흐름이 있는 경우와 흐름이 없는 경우($\theta=0^\circ$)에 대하여 같은 波形傾斜에 대한 파고분포에 관해 圖示한 것이 Fig. 5이다. 흐름이 존재하는 경우에는 쇄파파고가 작게 나타나고 있으며, 파형경사가 작을 수록 쇄파점의 위치는 汀線측으로 移動하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 해저경사가 클 수록 더욱 두드러지게 나타나고 있다.

3.5 沿岸流가 平均水位 變動에 미치는 영향

Fig. 6(a)는 고정된 海底傾斜에 대해서, 연안류의 크기에 따른 평균수위 변화를 나타낸 것이다. 沿岸流가 클 경우, 즉 파향각이 클 경우, 평균수위 변동의 상승 기점이 汀線측으로 이동함을 알 수 있고, 中間 水深域에서는 파향각이 클 경우, 평균수위 변동이 작게 나타나지만 汀線 부근에서는 거의 일치함을 알 수

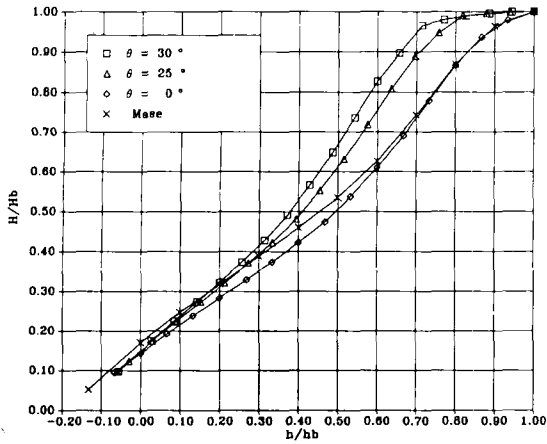


Fig. 4(a). Wave height attenuation in the surf zone ($S=1/10$).

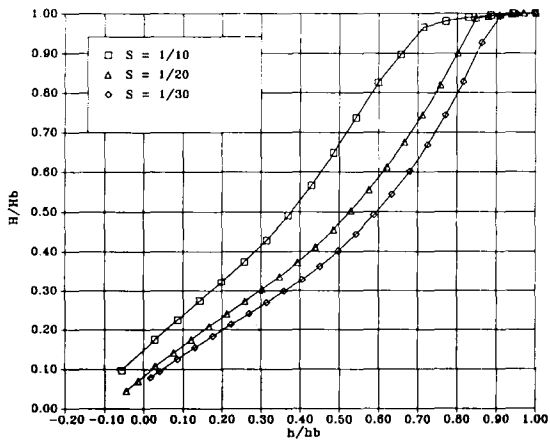


Fig. 4(b) Wave height attenuation in the surf zone ($\theta=30^\circ$).

있다. (X)로 표시된 그림은 Mase 모델에 의한 계산값인데, 본 계산의 $\theta=0^\circ$ 의 결과 (\diamond)보다 크게 나타나고 있다. 이에 대한 원인은 Fig. 5에서 설명한 바와 동일한 것으로 판단된다.

동일한 파향각에 대해서 해저경사의 변화에 따른 평균수위 변화는 Fig. 6(b)에 나타났다. 앞서와 마찬가지로沿岸流가 클수록, 즉 해저경사가 클수록, 평균수위 상승 기점이汀線측으로 이동함을 알 수 있다. 그리고 중간 수심역에서는 해저경사가 작을수록 평균수위 상승이 크게 나타나지만汀線 부근에서는 반대로 나타나고 있으며, 연안류가 작을수록 역전되는 점의 위치가 深海측으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 그리고 중간 수심역에서는 해저경사가

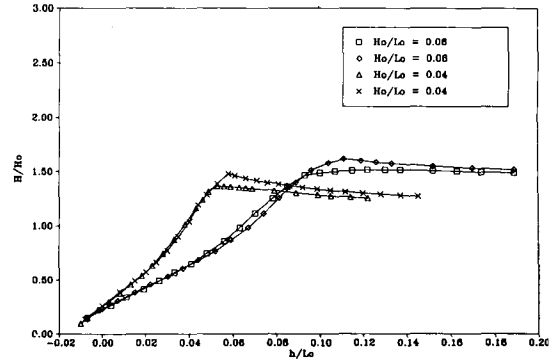


Fig. 5. Distribution of wave height ($S=1/10$).

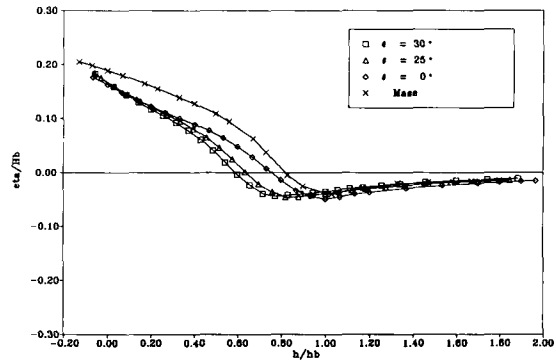


Fig. 6(a). Variation of mean water level ($S=1/10$).

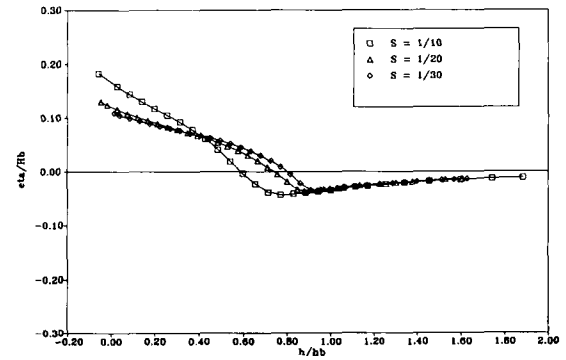


Fig. 6(b). Variation of mean water level ($\theta=30^\circ$).

작을수록 평균수위 상승이 크게 나타나지만汀線 부근에서는 반대로 나타나고 있으며, 연안류가 작을수록 역전되는 점의 위치가 深海측으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

碎波帶 내에서沿岸流의 영향을 고려한 경우 波高

減衰와 平均水位 변동이 어떻게 변화하며, 沿岸流의 영향이 얼마나 기여 하는가에 대해서 計算結果를 考察하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일한 波形傾斜에 대하여 海底傾斜가 변화할 때 평균수위의 하강은 거의 변화가 없으나 碎波水深에 대한 쇄파파고의 비(H_b/h_b)는 해저경사가 클 수록 큰 값을 나타내고 있다. 그리고 海底傾斜가 동일하고 波形傾斜가 변화하는 경우는 η_b/H_b , H_b/h_b 모두 波形傾斜가 작을 수록 큰 값을 갖는다.

2) 沿岸流는 해저경사가 클 수록, 파향각이 클 수록, 碎波帶内에서 상대적으로 큰 값을 나타내며, 最大流速의 발생위치는 汀線측으로 이동하고 그 分布形象도 첨예화한다.

3) 波向角은 碎波點 직후부터 약간 增加하다가 다시 減少하고, 연안류가 클 수록 변화가 크게 나타나는데, 이것은 연안류의 간섭에 기인하는 것으로 판단된다.

4) 碎波帶内에서의 波高減衰는 연안류가 존재하는 경우가 존재하지 않은 경우 보다 작게 나타나며, 쇄파 후 일정한 거리까지 파고를 維持하다가 감소하는 경향이 있다. 이 때 減少部의 기울기는 연안류가 존재하지 않는 경우보다 급하게 나타나고 있으며, 연안류가 클 수록 더욱 급하게 된다. 또한 沿岸流가 존재하지 않은 경우에는 해저경사가 작을 수록 波高減衰가 크게 나타난다.

5) 平均水位 변동은 연안류가 클 수록 상승 기점이 汀線측으로 이동하고, 中間水深域에서의 평균수위 상승이 작게 나타난다. 고정된 파향각에 대해서는 해저경사가 완만할 수록, 中間水深域에서의 평균수위 상승이 크게 나타나며, 汀線측에서는 반대로 작게 나타나고 있다.

沿岸流가 존재하지 않은 경우에는 波形傾斜가 클 수록, 쇄파대내에서의 평균수위 상승이 크게 나타난다. 또한 海底傾斜가 클 수록 평균수위 하강과 상승 폭이 크게 나타나고 있다.

辭 謝

본 연구는 과학재단 지원사업의 일환으로 수행되었다.

參考文獻

- 金京鎬, 片宗根, 1987. 碎波帶内에서의 波浪變形과 흐름장의 構造, 文敎部 自由課題 報告書, 1-3.
- 岩桓雄一, 間瀬肇, 田中剛, 1981. 淺海域における不規則波의 波高變化に關する研究, 京大防災研究所年報, 第24號 B-2, 509-514.
- 岩田好一郎, 1976. 淺海波의變形構造と波浪制御に關する基礎的研究, 大阪大學博士學位論文.
- 合田良實, 1970. 碎波指標의整理について, 土木學會論文 報告書, 第18號, 39-49.
- Ijima, T.T. et al., 1956. A Study of wave properties in the surf zone by using stereo-camera system, *Proc. of 3rd Japanese Cong. on Coastal Eng., JSCE*, 99-116.
- Mizuguchi, M., 1980. An heuristic model of wave height distribution in surf zone, *Proc. of 17th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 278-289.
- Le Mehaute, B., 1962. On non-saturated breakers and wave run-up, *Proc. of 8th Conf. on Coastal Eng. ASCE*, 77-92.
- Li-San Hwang and Divoky, D., 1970. Breaking wave set-up and decay on gentle slopes, *Proc. of 12th Cong. on Coastal Eng., ASCE*, 1: 377-390.
- Horikawa, K., and Kuo, T., 1966. A study on wave transformation inside surf zone, *Proc. of 10th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 1: 217-233.
- Izumiyama, T., and Horikawa, K., 1984. Wave Energy equation applicable in and outside surf zone, *Coastal Eng. in Japan*, 27: 119-137.
- Whitham, G.B., 1962. Mass, momentum and energy flux in water waves, *J. of Fluid Mechanics*, 12: 135-147.
- Freeman, J.C., and Le Mehaute, B.J., 1964. Wave breakers on a beach and surging on a dry bed, *J. of the Hydraulic Division, ASCE*, 90: No. HY2, Proc. Paper 3834, March, 187-216.
- Sakai, S., Hirayama, K. and Sakai, H., 1988. New parameter for wave breaking with opposing current on sloping bed, *Proc. of 20th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 1035-1044.
- Simons, R.R., Grass, A.J. and Kyriacou, A., 1988. The influence of currents on wave attenuation, *Proc. of 20th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 363-376.
- Sakai, S. and Kobayashi N., 1990. Breaking condition of shoaling waves on opponent current, *J. of waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, 116(2) 302-306.
- Longuet-Higgins, M.S., 1970. Longshore current generated by obliquely incident sea waves. 2, *J. of Geophys. Res.*, 75: 6790-6801.
- Führbötter, A., 1970. Air entrainment and energy dissipation in breaker, *Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng.*, II: 395-398.
- Battjes, J.A., and Janssen, J.P.F.M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, *Proc. of 16th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, 1: 569-587.