

複合斷面地形에 있어서 規則波의 碎波減衰過程에 關한 研究

權赫珉*, 合田良實*

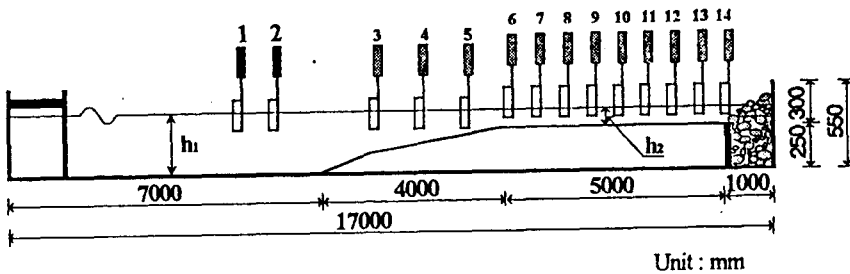
1. 머리말

-樣斜面上의 碎波現象은 많은 研究에 의해 매우 선명하게 됐다. 그러나, 실제의 海底地形은 沿岸沙州가 存在하는 複合斷面地形의 경우가 많고, 이러한 地形에서의 碎波現象은 충분히 解明되어 있지 않다. 本 研究에서는 複合斷面에서의 碎波減衰過程을 檢討하는 基礎的地形으로써 斜面上에 連接한 水平床을 선택하여 검토하도록 한다. 이러한 地形을 여기서는 水平step이라고 한다. 水平step上을 대상으로 하는 既存의 研究으로써 堀川·郭(1966), 水口(1978)등을 들 수 있다. 堀川·郭는 碎波始點부터 內部 energy의 減衰가 指數函數로써 裁現이 가능하다는 假定하에 減衰의 速度係數를 經驗적으로 求했다. 그러나, 堀川·郭의 解析에서는 碎波減衰後에 波高가 一定值로 安定하는 過程까지는 檢討하지 않는다. 이러한 碎波減衰終了後의 波高를 여기서는 安定波高라고 한다. 水口는 碎波後에 到達하는 安定波高와 水深과의 比率를 考慮하여, 渦動粘性 Model을 發表했다. 그러나, 이 Model은 安定波高·水深比를 0.5로써 어렵잡은 것에 불과하며, 安定波高에 到達하는 過程이나, 이것에 대한 週期の 影響등은 吟味하고 있지 않다.

本 研究는 斜面 및 水平 step上에서 波浪이 깨어져서 進行을 계속하여 安定한 波로 再生하는 過程을 解明하여 이것을 一般化하여, energy 減衰項의 適切한 表現式을 얻고자 함을 목적으로 한다.

2. 實驗方法

碎波減衰의 基礎 Data를 얻기 위하여 全長 17m, 幅 0.5m, 깊이 0.55m의 二次元造波水槽에서 實驗을 實施했다. 또한, 水平床上에서 碎波하는 限界의 波高를 얻기 위하여, 水深 10, 12cm에서 5種類의 週期에 대하여 入射波高를 微細하게 變化시키면서 實驗을 實施했다. 길이 1m의 1/10斜面上에 연속하여, 길이 3m의 1/20 勾配斜面上을 設置하여 그 뒷부분을 길이 5m의 水平床上을 設置했다. 水平



DISTORTED SCALE 1H = 3.33V TANK WIDTH = 0.50m

Figure 1. Sketch of experimental setup

* Yokohama National University, 156 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240 Japan

床의 높이는水路床上 25cm이며, 水平床上的水深은 6cm, 10cm에서 實驗을 行하였다. 하나의 波浪에 대하여 波形은 14地點에서 測定했다. 이를 위해 順番으로 波高計를 移動하여, 6地點의 同時測定을 3回씩 行하였다. 波高計 #1는 潮波板으로부터 3m 떨어져 있는 곳에 設置하였으며, #2의 位置를 調整하여 合田·鈴木(1976)에 의해 提案된 入,反斜波分離를 시도했다.

斜面 1/20이 시작되는 곳으로부터 波高計 #3, #4, #5 또한, step과 斜面的 境界에 波高計 #6을 1m 間隔으로 設置했다. step의 위에서는 #7부터 #14까지 8個의 波高計를 60cm 間隔으로 設置했다. 2 種類의 水深에 대하여 5가지의 週期를 가지고 波高를 4種類로 變化시키면서 實驗을 行했다. 波高는 一樣水深部 2地點, 斜面上 3地點 또한 水平床上的 9地點에서 測定했다.

Data의 Sampling 時間은 0.05sec로써 1회에 1024個의 Data를 取得하였다. 그리고 고속 Fourier 變換(Fast Fourier Transform)을 利用한 Band filter에 의해 주파수 0.3Hz부터 3.6Hz까지의 範圍의 變形을 抽出하여 解析을 實施했다. 波高는 Zero-down cross法으로 決定했다.

3. 安定波高 推定

水平床上的 碎波減衰過程의 波高 Data에 關하여 $H = H_0 \exp(-\epsilon x/d) + Hr$ 關係를 假定하여 逐次最小2乘法에 의해 安定波高 Hr 을 구했다. 이의 解析은 堀川·郭의 實驗值에 대해서도 適用했다.(Fig. 2) 또한, 岩垣(1965)의 層流境界理論에 의하여 底面摩擦影響을 補正했다. 단, 摩擦影響係數는 岩垣등에 의한 理論值의 40%增値를 사용했다. 이 그림으로부터, 水深이 동일하더라도 周期가 길수록 安定波高가 큰 것을 알 수 있다.

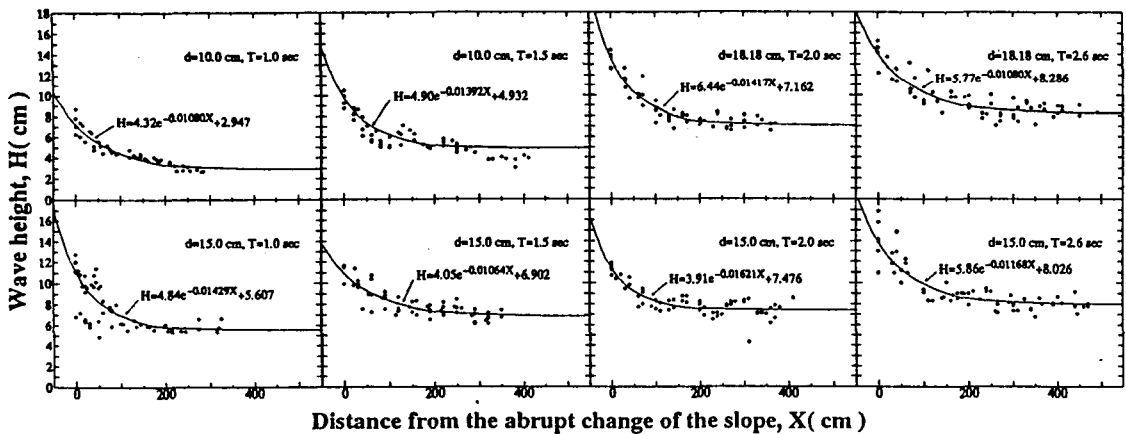


Figure 2. Estimation of a wave height

Fig. 3은, 本 實驗 및 堀川郭의 實驗에서 얻어진 水平 step 地形에서의 安定波高와 碎波限界波高의 水深에 대한 比를 보인 것으로, 合田(1975)의 碎波指標(勾配 0)와 比較하고 있다. 이 그림으로부터 水平 step에서의 限界波高는 一樣斜面的 것보다 작은 것을 알 수 있다. 이것은 1/20勾配斜面에서 水平床上的의 地形으로 變化하는 것의 影響이 아닐까 생각된다. 그리고, 水平床上的의 安定波高는 週期の 影響을 받아 水深波高比(d/L_0)의 函數임을 알 수 있다. 安定波와 一樣水深에서의 碎波限界波高는 合田(1975)의 碎波指標를 가지고 係數 A를 각각 0.10 및 0.128로 바꿈으로써 推定이 可能했다. 밑의 式(1)는 安定波高에 關한 一般式이며, 式(2)는 一樣水深에서의 非碎波最大限界波高의 一般式이다.

$$H/d = 0.10(d/L_0)^{-1} \{1 - \exp(-1.5 \pi d/L_0)\} \quad (1)$$

$$H/d = 0.128(d/L_0)^{-1} \{1 - \exp(-1.5 \pi d/L_0)\} \quad (2)$$

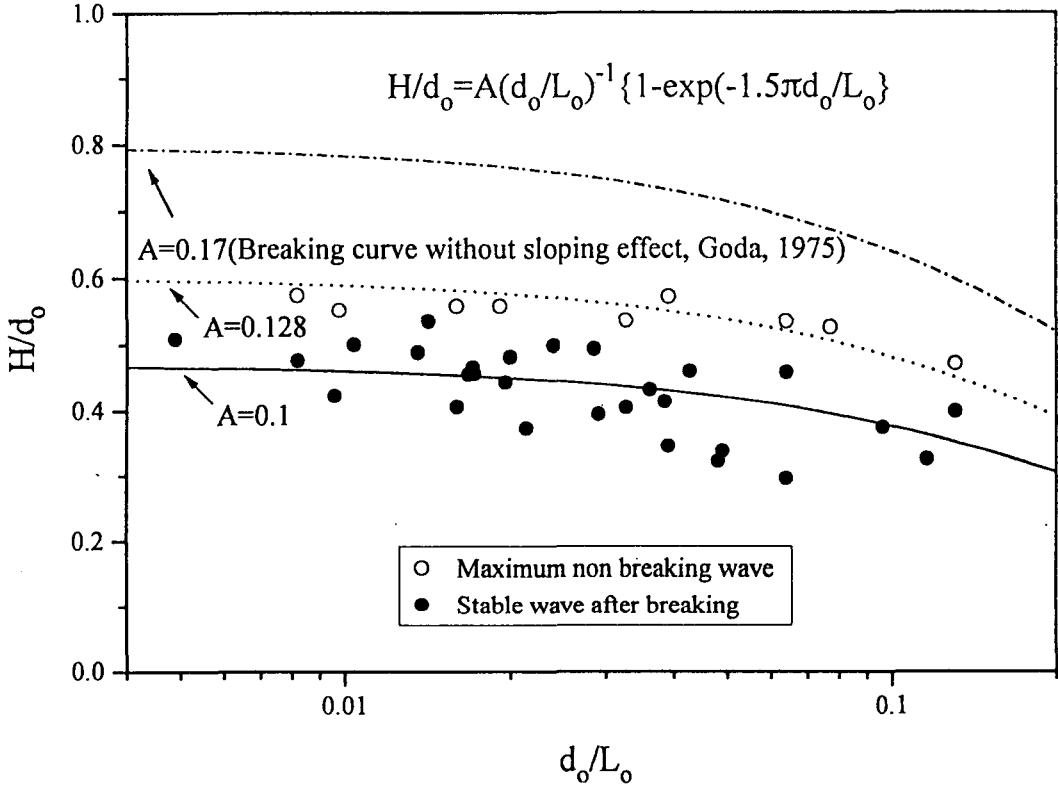


Figure.3 Height to depth ratio of maximum nonbreaking waves and stable waves after breaking.

4. 一次元波衰變形 Model

經驗적으로 얻어진 安定波高·水深比 및 水平床에서의 碎波限界波高·水深比를 Parameter로 하는 energy 減衰項을 安定化하여 이를 energy 平衡方程式에 代入하여 波高減衰를 計算하여 實驗結果와 比較했다.

4.1 基礎方程式 및 差分化

本 一次元波衰變形 Model은 基礎方程式으로 energy 平衡方程式을 가지고 差分法으로 數值計算한 것이다.

$$\frac{\partial(EC_g)}{\partial x} = 0 \quad : \text{碎波前} \quad (3)$$

$$\frac{\partial(EC_g)}{\partial x} = -\frac{K}{h} [EC_g - (EC_g)_s] : \text{碎波後} \quad (4)$$

여기서, 添字 s는 碎波後의 安定波를 나타낸다. 式(4)를 波高에 대하여 다시쓰면,

$$\frac{\partial(H^2 C_g)}{\partial x} = -\frac{K}{d} C_g [H^2 - \Gamma^2 d^2] \quad (5)$$

여기서, $H_s = \Gamma d \Gamma = 0.10(d_o/L_o)^{-1}(1 - \exp(-1.5 \pi d_o/L_o))$

$$d = d_o + \bar{\eta}$$

여기서, d_o 는 정수심, $\bar{\eta}$ 는 평균수위, H_s 는安定波高, K 는減衰速度係數 그리고 Γ 는安定波의波高·水深比이다.

식(3),(5)를前進差分을 이용하여 다시쓰면 다음과 같으며, 이를 가지고 계산을 한다.

$$(EC_p)_{i+1} = (EC_p)_i \quad (6)$$

$$(H_{i+1}^2)(C_p)_{i+1} - (H_i^2)(C_p)_i^2 = -\frac{K}{(d_i)}(C_p)_i[(H_i)^2 - (\Gamma_i d_i)^2] \quad (7)$$

그리고, 平均水位에 대해서는運動量의平衡方程式을 가지고

$$d \frac{d\bar{x}}{dx} = -\frac{1}{\rho g(d_o + \bar{\eta})} \frac{dS_{xx}}{dx} \quad (8)$$

여기서, x 는 海岸方向으로의距離, g 는重力加速度, ρ 는 물의密度
Radiation 應力 S_{xx} 은 다음式으로 주어진다.

$$S_{xx} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \left[1 + \frac{4kd}{\sinh 2kd} \right] \quad (9)$$

본 Model에서는 首藤(1974)의理論值와의比較를 통하여 다음의간략式을 이용하여碎波帶에서의非線形淺水係數를 계산했다.

$$K_s = K_{so} + 0.0015(d/L_o)^{-2.87}(H_o'/L_o)^{1.27} \quad (10)$$

4.2 새로운 一次元波衰變形 Model의 생각과 계산순서

實驗으로부터 얻은入射波는 이미非線形波衰로 되어 있으므로實驗에서 얻어진波高 H_F 가式

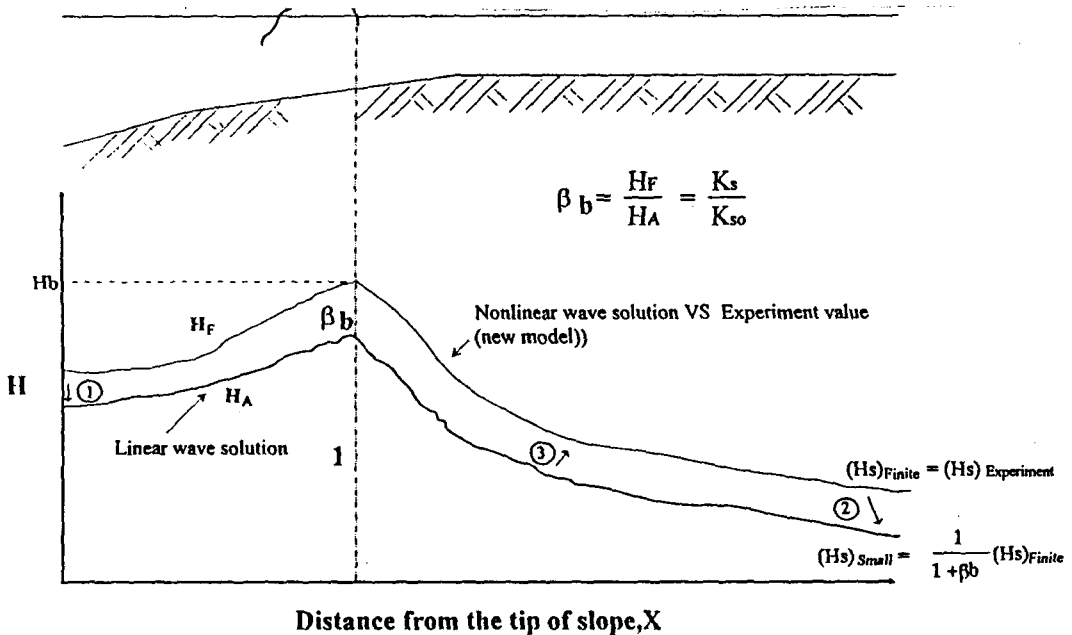


Figure.4 Conceptual sketch of treatment of wave heights in new model

(10)의 洩水變形을 받았다고 보고 反復收斂計算에 의해 微小振幅波로써의 相當水深海波高 H_o' 를 算定한다(①). energy 平均方程式에 의한 計算은 微小振幅波로써 波高(H_A)를 가지고 한다. 이의 結果는 非線形性을 考慮한 式(10)을 가지고 非線形波高로 換算한다. (H_F) 碎波地點은 새롭게 計算된 非線形波高를 碎波指標와 比較하여 判斷한다. 碎波地點이 決定되면 그 地點에서 非線形波高와 線形波高의 比率($1 + \beta b$)을 計算하여 두고 碎波後의 全過程에 동일한 比率로 計算해 간다 (②).

5. 實驗結果와 一次元 Model의 比較

Fig. 5는 實驗値와 一次元 Model의 比較를 보여준 그림이다. step이 시작되는 400cm부터는 전 Data에 대하여 摩擦影響을 補正한 것에 대하여 400cm前의 Data는 補正하지 않았다. 計算의 경우 式(5)의 速度減衰係數 K는 0.15로 했다. 全體의으로 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 特別히, 碎波地點의 豫測이 좋은 경우는 減衰하는 過程이 精度 높게 表現되었다.(Run group 1, case 4.7) 그러나, 長週期的의 波浪이 step上에서 깨지기 시작하는 경우는 現在의 本 Model로써는 說明이 가능하지 않다. (Run group 2, case 13.17) 또한 碎波後의 減衰速度는 長週期를 가진 波浪이 比較적 なる 것을 알 수 있다. (Run group 1, case 20)

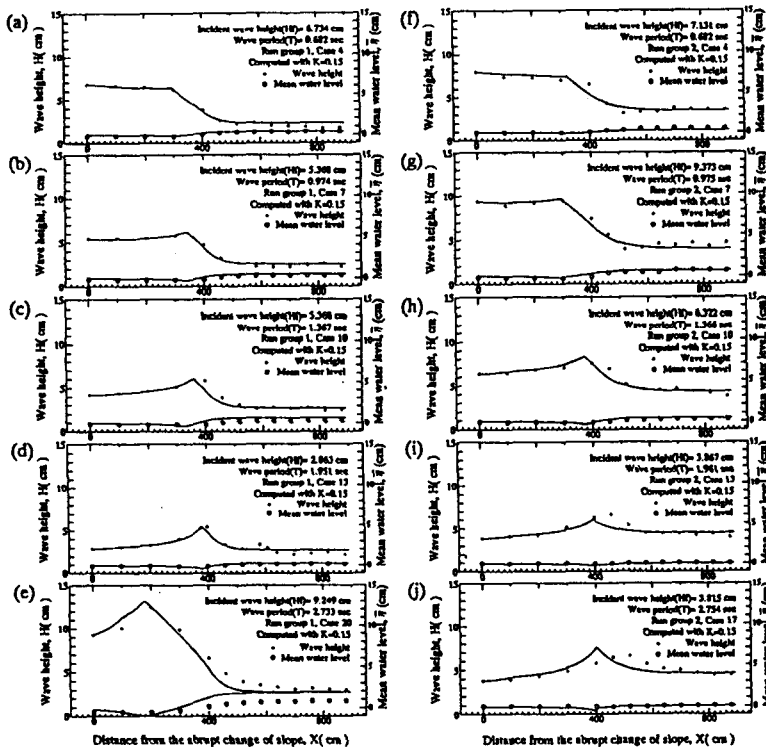


Figure.5 Comparison of 1-D wave deformation model with experimental data

6. 主要한 結論

水平 step에서의 限界波高는 一樣斜面에서의 것보다 작음을 알았다. 이것은 1/20勾配斜面부터 水平床上에 地形이 變化하는 것의 影響이지 않을까 생각된다. 그리고, 水平床上의 安定波高는 週期の 影響을 받아, 水深波長比(d_0/L_0)의 函數임을 알았다. 安定波高와 一樣水深에서의 碎波限界波高는 畠田(1975)의 碎波指標를 가지고 係數A를 각각 0.10 및 0.128로 바꿈으로써 推定이 가능했다. 더욱이, 水平床에서의 碎波減衰過程의 波高 變化는 새롭게 定式化한 energy減衰項을 가지고 適切히 推定이 가능함을 확인했다.