

生態系制御, 越波制御 그리고 沿岸域開發의 最適化

柳青魯*, 鄭貴錫*, 金鉉周*, 孫炳奎*

1. 序論

海岸構造物의 設計는 安定性과 經濟性을 위주로 하던 1세대적 觀點에서 親水性 개념을 도입한 2세대적 觀點으로 발전되었고, 최근 여기에 生態系 制御를 포함시키는 3세대적 設계觀으로의 發想 轉換이 요구되고 있다. 즉, 海岸의 保護와 親水性 空間 제공뿐 아니라 資源造成 效果에 의해 沿岸域의 부가가치를 높이는 多目的, 多技能 沿岸域 開發 構想이 필요하다.

이에 본 연구에서는 海岸防災 및 沿岸域의 發展의 多技能化를 도모하기 위한 종합연구의 제 1 단계로서 각종 波浪制御 構造物을 越波制御 能力과 海岸 環境性의 觀點에서 종합적으로 비교 분석하고 人工魚礁를 이용한 波浪制御 및 越波制御에 관한 기초적 연구를 실시하였다. 천해역에 産卵礁 및 稚魚의 成育礁를 시설함으로써 水産資源 造成 효과를 얻고, 越波災害 위험이 적은 親水性 海岸空間 확보를 위한 越波制御工法으로서 人工魚礁의 적용성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 종래 실험결과를 재해석 또는 환산하고 본 연구서 실시한 水理模型實驗 결과를 보완하여 越波低減率 및 越波量 算定式의 종합적 검토와 潛堤 또는 人工魚礁 배후의 直立護岸에 대한 越波量 算定式을 정립하였다. 또한, 人工魚礁 system에 의한 波浪變形 計算은 波浪 에너지 平衡式에 透過 潛堤에 대한 波高減衰率 및 平均水位 計算法과 碎波帶內의 波高 및 平均水位에 대한 Bore Model를 응용한 簡易計算모델을 사용하였다. 이 波高·水位計算 방법을 사용하여 護岸 設置地點에서의 波高 및 平均水位를 계산하고, 提案式에 의해 越波量을 산정하여 그 適用性을 검토하였다.

2. 本論

2.1. 波浪制御構造物의 越波 低減 特性 및 海岸 環境性 比較

颱風 및 低氣壓性 暴風의 來襲이 빈번한 우리나라는 荒天時 沿岸施設物 및 船舶의 被害가 막심한 실정이다. 이에 그 원인을 분석하여 효율적인 防災計劃을 수립하기 위하여 기초적인 설문조사를 실시하였다. 제1종과 제3종을 대상으로 조사한 결과를 요약하면 漁港施設物의 경우 繫留岸壁은 대상항의 92%, 防波堤는 77%, 物揚場은 25%, 護岸은 33%가 재해를 경험하였고, 船舶 파괴의 경우 相互衝突에 의한 파괴가 대상항의 32%, 越波에 의한 파괴가 25%, 港內波高에 의한 파괴가 28% 등으로 나타났다. 또한 越波의 경우 거의 모든 항에서 발생하고 있으며 越波高가 2-8m 이상에 까지 달하는 것으로 나타났다. 漁港의 災害는 국소적인 海岸水理特性과 밀접한 관계를 가지며 특히 항 주위의 波高分布 및 高潮 등과 관련한 水面上昇 및 越波 등에 좌우됨을 알 수 있었다.

따라서, 越波의 효율적인 제어는 海岸域 開發을 위한 필수적인 요건이며, 종래에는 주로 天端高의 補強이나 消波블록의 施設 등으로 대책이 마련되어 왔으나 최근 마운드의 延長이나 潛堤 또는 人工養濱에 의한 대책 등이 제안되고 있다. 이들 대책은 背後空間의 活用, 開發計劃을 고려하여 선택될 수 있으나 종합적인 비교에 의한 選擇指針은 마련되지 않고 있다. 본 연구에서는 直立堤에 대한 越波量을 기준으로 각 대책의 시설에 따른 越波低減率을 비교하였다. 이를 위해 종래의 실험결과들이 재해석되었고 동일한 無次元量으로 환산하여 비교되었다. 또한 본 연구에서 실시한 水理模型實驗 결과를 보완하여 越波低減率, 經濟性, 景觀性 및 生態系와의 調和에 대한 검토를 행하였다. 그 결과가 Table 1에 요약되어 있으며 越波制御 측면에서는 消波블록의 施工도 양호한 방법이나 海岸 環境을 고려한 越波制御 工法으로 마운드 延長, 潛堤, 人工養濱 등이 양호함을 알 수 있었다.

* 釜山水產大學校 海洋工學科 (Department of Ocean Eng., National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

2.2. 生態系 制御를 考慮한 越波制御 對策

淺海域의 産卵礁 및 稚魚의 成育礁의 機能에 대해서는 魚礁의 機能的 觀點에 대한 종래의 연구 결과로부터 대부분 밝혀져 있으며 이를 水産資源의 保護 育成뿐 아니라 防災의 機能과 연계시키는 것은 越波制御와 生態系 制御機能을 병합한 沿岸域 開發의 最適化시스템 구축과 관련하여 중요한 연구 과제라 할 수 있다. 이는 人工魚礁의 波浪制御 效果 및 그에 따른 越波의 低減 效果를 검토함으로써 그 適用性을 확인할 수 있다. 이를 위해서는 종래 越波量 算定式의 종합적 검토를 통해 人工魚礁를 시설한 배후 防波堤나 護岸을 대상으로 한 새로운 越波量 算定式을 정립하여야 한다. 또한, 人工魚礁 시설에 따른 주변의 海岸水理學의 特性이 규명되어야 하며, 波浪의 變形 및 平均水位의 變化 特性과 그에 따른 沿岸流의 變動 特性 等等에 대한 연구가 필요하다. 이를 적용한 계산 및 비교의 주요 節次는 Fig.1과 같은 흐름으로 고려할 수 있다.

越波量 算定 모델의 改善은 從來의 越波量을 종합적으로 비교 검토하고 人工魚礁 배후에서의 海岸水理學의 特性을 고려하여 적합한 파라미터화에 의해 검토될 수 있다. 한편, 종래 越波量 算定 모델은 入射波形的 假定, 深海波의 波高分布 特性을 淺海域에 적용한 것이 문제점으로 지적된 바 있고, 深海波 諸元을 대상으로 하고 있어 正確性이 낮을뿐 아니라, 水中構造物에 의한 波浪制御 效果에 의한 越波量의 低減을 직접 계산할 수 없어 變化된 波浪特性을 深海波 諸元으로 환산하여야 하는 번거로움이 있었다. 또한 人工魚礁 배후에서의 平均水位 增加에 의한 天端高 變化 特性을 고려할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 構造物 前面波를 대상으로 하여 Power model과 Exponential model에 대한 종래의 산정식에서 제안된 파라미터들의 適合性을 검토하였고, weir model을 根幹으로 한 power model의 경우 Shiigai et al.(1977)의 파라미터(식(1))가 양호하고, run-up model을 바탕으로 한 exponential model의 경우 朴等(1987)의 파라미터(식(2))가 비교적 양호함을 알 수 있었다.

$$Q/h_c^2 = 0.3863 (h_c/H)^{-1.8502} \quad (1)$$

$$Q/\sqrt{gLH^2} = 0.07686 e^{-2.12235h_c/H} \quad (2)$$

여기서, Q는 越波量(cm³/cm.sec), H, L은 構造物 前面波高 및 波長, h_c는 天端高, g는 重力加速度이다. 構造物 前面波를 대상으로 한 越波量 算定式의 적용을 위해서는 深海波 諸元을 構造物 設置地點의 波浪으로 변환시키는 것이 필요하다. 자연해빈상 1차원 波浪變形에서 碎波 이전의 波高變化는 식(3)과 같은 微小振幅波理論이나 首藤(1974)의 波高變化 計算式을 적용할 수 있다.

$$H/H_0 = c/2nc_0 = [(1+4\pi h/L/\sinh(4\pi h/L)) \tanh 2\pi h/L]^{-0.5} \quad (3)$$

한편, 碎波帶내의 波高變化 計算은 Bore model을 사용하였고, 그 적용성은 規則波 및 不規則波에 대해 間瀬(1986)에 의해 검토된 바 있다.

$$dP/dx + D = 0 \quad (4)$$

$$P = 1/8 \rho g H^2 \sqrt{gh} \quad (5)$$

$$D = B \rho g H^3 / 4 \gamma^{3T} (H/h)^4 \quad (6)$$

여기서, γ 는 海底傾斜의 函數이며, B는 海底傾斜 및 水深에 따라 정해지는 經驗常數이다.

한편, 平均水位는 다음 식에 의해 계산할 수 있고, 여기서는 波高變化 計算과 함께 有限差分法으로 계산하였다. 海岸線에서의 水位가 0.1% 이내로 收斂할 때까지 반복 계산하여 안정된 解를 구하고자 하였다.

$$d\bar{\eta}/dx = -(0.6/h + \bar{\eta}) d(H^2(0.5 + 4\pi(h + \bar{\eta})/L/\sinh 4\pi(h + \bar{\eta})/L)/8)/dx \quad (7)$$

碎波水深과 碎波波高에 대한 계산은 여러가지 방법들이 제안되어 있으나 規則波와 不規則波에 대해 汎用性이 있는 畠田(1984)의 碎波限界式을 사용하였으며, A는 상수로서 規則波의 경우 0.17, 不規則波의 경우 0.16이 일반적이다.

$$H_b/L_0 = A\{1-\exp(-1.5\pi d/L_0(1+15\tan^{4/3}\theta))\} \quad (8)$$

한편, 人工魚礁 설치후의 波浪變形 計算은 進술한 波高變化 및 水位 計算모델에 아래 식과 같은 高山等(1985,1988)의 透過潛堤에 대한 波高 減衰率 및 平均水位 計算式을 사용하여 人工魚礁 직배후에서의 波高 및 水位를 計算하여 적용하였다.

$$K_H = -0.92(B/L_0) + 0.42(h_{RT}/H_0) + 3.8(H_0/L_0) + 0.51 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \bar{h}/H_0 &= 0.085(B/L_0) + 0.16(h_{RT}/H_0) - 0.38(H_0/L_0) + 0.125, & 0 < h_{RT}/H_0 < 0.5 \\ &= 0.048(B/L_0) + 0.056(h_{RT}/H_0) - 0.21(H_0/L_0) + 0.076, & 0 < h_{RT}/H_0 < 0.5 \end{aligned} \quad (10)$$

波浪 에너지 平衡式에 透過潛堤에 의한 變化率과 Bore model을 응용한 簡易 計算 모델을 적용하여 人工魚礁 배후의 波高 및 平均水位를 計算하고, 선정된 越波量 算定모델에 의해 越波量을 計算하였다. 여기서 人工魚礁群의 規模에 따른 越波量의 低減 效果를 검토하기 위해 幅 및 上部水深에 따른 低減效果를 比較한 것이 Fig. 2에 도시되어 있다. 그림으로 부터 上部水深이 얕을수록, 그리고 幅은 넓을수록 越波量의 低減은 양호한 것을 알 수 있다.

3. 結論

進술한 일련의 연구를 통해 海岸의 環境性 및 景觀性도 양호하고 海岸域의 親水性 空間 確保 및 水産資源 造成에 유리한 人工魚礁에 의한 越波制御 工法의 타당성을 검토함으로써 沿岸域 開發의 最適化를 위한 기초적 연구를 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 황천시 우리나라 沿岸의 越波災害는 막심하며 효율적인 越波 防災 및 沿岸 開發 技法이 필요함.
- 2) 효율적인 越波制御를 위해 直立消波堤 전면에 마운드 延長, 潛堤, 人工養濱 등의 複合機能施設이 양호한 대책으로 고려됨.
- 3) 人工魚礁 배후 護岸의 越波量 산정을 위한 越波量 算定모델은 構造物 前面波를 대상으로 한 exponential model이 비교적 양호한 것으로 나타났고, 水中構造物 배후 平均水位를 고려하여야 보다 근사함.
- 4) 人工魚礁를 이용한 越波 및 生態系 制御에 의한 沿岸域 開發의 最適化 技法은 水産資源 造成의 효과를 포함한 多技能 多目的 海岸 開發에 응용될 수 있을 것으로 고려됨.
- 5) 人工魚礁에 의한 波浪變形 및 平均水位 計算을 위한 보다 엄밀한 計算모델의 개발과 越波量 算定式의 체계화를 위한 다양한 構造 및 條件에 대한 data base가 필요함.

4. 參考文獻

- 1) Goda, Y. (1985): Random seas and design of marine structures, Univ. of Tokyo Press, 1-323.
- 2) 高山知司, 永井紀彦, 關口忠志(1985): 廣天端幅潛堤의 波浪低減效果에 關する 不規則波實驗, 海岸工學 講演會論文集, 32, 545-549.
- 3) 柳青魯, 張善德, 林琦瑋(1986): 人工魚礁의 規模 및 配置에 關한 研究, Vol. 38, 水振研究報, 1-24.
- 4) 間瀬 肇(1986): 不規則波浪의 波群特性と淺海變形特性に 關する 研究, 京都大學博士學位論文, 207p.
- 5) 朴相吉(1986): 面的防禦工法による 海岸防災效果에 關する 基礎的 研究, 大阪大學博士學位論文, 151p.
- 6) 高山知司, 池田直太, 永井紀彦, 高山優(1988): 廣天端幅潛堤의 越波低減效果에 關する 不規則波實驗, 海岸工學講演會論文集, 35, 587-591.
- 7) J. P. Ahrens and M. S. Heimbaugh(1988): Sea wall overtopping model, Coastal Eng., 795-806.
- 8) Nobuhisa Kobayashi and Andojo Wurjanto(1988): Wave overtopping on coastal structures, Coastal Eng. ASCE(115-2), 235-251.

Table 1. Comparative evaluations of overtopping and eco-structural functions

Terms	Vertical absorbing wall			Block mounted wall	Prolonged mound	Submerged breakwater	Artificial reef
	2-D slit	3-D slit	Perfor cell				
Scenery	Normal	Normal	Normal	Bad	Good	Good	Excellent
Ecology	Bad	Bad	Bad	Normal	Good	Good	Good
Economics	Good	Good	Good	Good	Normal	Normal	Bad
Reduction rate of overtopping rate	4/5~1/3	1/2	2/5	3/4 ~ 1/4	2/5 ~ 1/7	2/3~1/3	3/4 ~ 1/20
h/H	0.79 ~	1.07 ~ 4.5	1.09 ~ 3.02	0.79 ~ 3.15	1.08~ 4.14	0.39~1.1	0
H/L	0.012~ 0.036	0.013~ 0.1	0.021~ 0.086	0.007 ~ 0.044	0.034~ 0.06	0.012~ 0.036	0.028~ 0.071
h _c /H	0.5~ 1.19	0.69~ 1.92	0.69~ 1.92	0.5 ~ 2.0	0.51~ 1.02	0.2 ~ 1.2	0.14~ 0.34
l _m /L					0~0.6		0~1.0
h _m /h					0.6~0.9		0
B/L						0 ~ 0.24	
h _r /H						0.39~0.57	
Remarks	Takayama (1982)	Ojaki (1979)	Author's test	Goda(1985) Takayama(1984)	Author's test Park (1987)	Takayama (1988)	Inoue (1985)

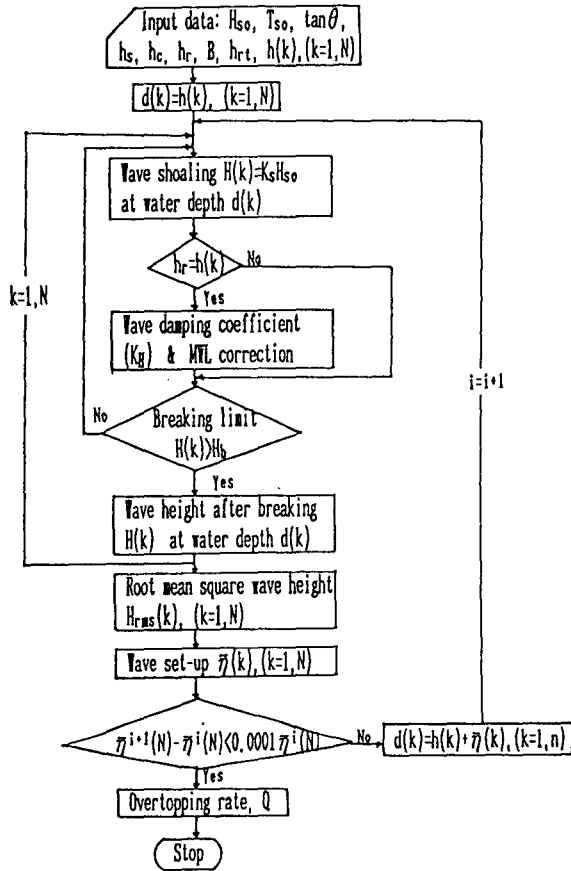


Fig.1. Flow of the calculation procedure of wave height, MWL, and overtopping rate.

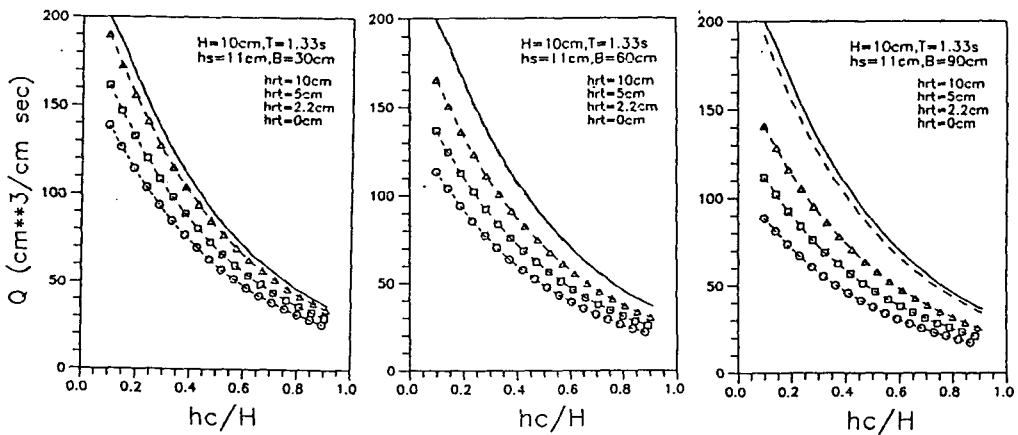


Fig.2. Overtopping reduction effects according to upper water depth and width of artificial habitat.