

不規則外力과 捨石構造物의 安定性

柳靑魯*, 朴鍾和*, 金鉉周*, 張宰浩*

1. 序 論

捨石構造物의 安定性에 관한 많은 연구성과가 보고되어 왔지만 安定性 變化의 주요 原因에 대한 정량적인 평가는 아직도 미흡한 실정이다. 특히 不規則 海波의 統計的 特性과 波群 및 高波의 持續時間 등의 外力特性에 대한 영향은 Ryu and Sawaragi (1986)나 Van der meer(1986) 등에 의해 검토된 바 있지만 종합적으로 평가한 예는 찾아보기 힘들다. 또한 構造物의 建設場所, 構造物의 諸元 및 施工方法 등에 따라 安定性은 크게 변화하므로 이들의 영향을 보다 체계적으로 평가할 수 있는 設計 algorithm이 요구되고 있다.

본 연구에서는 捨石 또는 異型 block 被覆 構造物의 安定性 평가에 대한 종래의 연구를 정리하여 安定性에 대한 影響要因, 특히 不規則波의 作用을 상세히 검토하고 波群特性(spectrum型)과 高波의 持續時間 및 波浪의 統計的 特性에 의한 영향을 設計式에 도입하고자 하였다. 또 그 결과를 종래의 결과와 비교하면서 종합적인 設計system開發을 위한 基本指針을 제시하기로 한다.

이를 위해 먼저 종래의 設計式에 의한 設計例를 비교하여 捨石構造物의 설계상의 문제점을 검토한다. 그리고, 不規則波에 의한 실험 결과를 종합적으로 정리하여 波群特性과 波浪의 持續時間에 따른 破壞率의 變化를 검토하여 이를 고려한 安定性 評價方法을 개발하였다. 이로부터, 安定性變化의 주요 要因에 대한 綜合整理 및 data base化에 의한 設計system 構築의 가능성과 방향에 대해 논의하였다.

2. 本 論

2.1. 물리實驗과 解析方法

柳(1984)와 Ryu and Sawaragi(1986)의 規則波와 不規則波에 대한 실험결과를 재정리하여 波의 波群特性과 持續時間 효과에 관하여 해석하였다. 이 실험은 斜面傾斜 1:1.5, 1:2, 1:3의 3종류의 捨石堤를 대상으로 한 것이고, model의 縮尺效果를 고려하기 위하여 內部透水性을 조절해서 不規則波의 spectrum型이 다른 200 case에 대해 행한 것이다. 실험은 破壞가 더 이상 進行되지 않는 平衡斷面에 도달할 때까지를 대상으로 한 것으로 평균 700波 정도이며 그 사이의 破壞 進行過程을 조사하였다.

또 Van der Meer(1988)의 透水性을 변화시켜 행한 300case의 安定性 실험결과를 새로운 經驗式에의 適用性 검토를 위해 사용하였다.

2.2. 不規則波의 外力因子的 解析

外力要素로서 波浪의 해석은 波別解析과 spectrum解析 방법으로 행하였고, 時系列 特性의 하나인 波群特性과 그에 의한 安定性의 變化를 검토하고자 한다. 이를 위해 安定性에 영향을 미칠 수 있는 外力 parameter의 波群을 정의하고, 그 群波의 平均 energy($E_{sumj(\omega_1 H_c)}$)의 특징과 不規則波의 spectrum型과의 관계를 정리해서 安定性을 평가하는 外力 parameter로 도입한다. $E_{sumj(\)}$ 는 기준이 되는 波高 H_c 보다 큰 조건을 만족하고, 相對 surf-similarity parameter($\xi_{1/3} = \xi_{1/3} / \xi_{max}$)가 捨石의 安定性과 관련된 斜面상의 共振現象의 發生條件의 領域($1.5 < \xi_{1/3} < 2.5$)을 만족하는 波群의 平均 energy이고, 이와 spectrum peakedness parameter Q_p 와의 관계를 이용하였다.

*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)

한편, 波의 持續時間(t)은 波別解析에 의한 作用波數(N)로 정의하고, 安定性에 대한 $\xi_{1/3}^*$ 의 영향과 결합하여 식(1)과 같이 고려하였다.

$$D(\%) = A\sqrt{N} [X] \quad (1)$$

여기서 A는 $\xi_{1/3}^*$ 에 따른 변화를 常數 또는 函數로서 나타낸 것으로, 본 연구에서는 cos 函數를 사용하였다.

이들의 碎波率 변화에 대한 波特性에 의한 持續時間의 효과는 斜面상의 共振現象 등에 의한 破壞進行特性을 고려한 것으로 종래의 단순한 波數만에 의한 표현과는 달리 捨石의 破壞進行 경향을 고려한 것이다.

2.3. 종래 設計式의 問題點

規則波를 대상으로 한 종래의 設計式들은 波高, 週期, 波向, 傾斜角, 海水 및 捨石의 比重, 摩擦係數, 破壞率, 透水係數, 捨石의 形狀, 海底傾斜, 水深, 被覆層의 두께, 天端高 등을 고려하고 있으며, 波高(H) 이외의 因子는 經驗常數에 포함하여 다음 식과 같은 형태로 표현하고 있다.

$$W \geq \alpha H^3 \quad (2)$$

종래의 대표적인 規則波에 대한 設計式과 Ryu와 Van der Meer의 不規則波에 대한 設計式으로 계산한 예를 Fig. 1에 나타내었다. 이들 그림에서 알 수 있는 것처럼 設計式에 따라 捨石重量이 2배 이상까지 차이가 생긴다. 또, 不規則波의 不規則性和 관련된 parameter의 영향에 대해 $E_{sumj}(\cdot)$, Q_p , $N(t)$ 등에 대한 고려가 새롭게 지적될 수 있다.

종래의 대표적인 不規則波에 대한 設計式의 하나인 Ryu and Sawaragi(1986)의 식에는 破壞率과 不規則波의 特性을 고려하여 다음 식과 같은 형태로 나타내었다.

$$W_r \geq \left[\frac{\rho_w g (6.15 Q_p + 20.0)}{(\rho_r g)^{1/3} (D + 30.1)} \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right]^{3/2} H_{1/3}^3 \quad (3)$$

여기서는 持續時間의 영향을 고려하지 않았고, 이와 유사한 Van der Meer(1986)의 식은 Q_p 의 영향을 고려하지 않았다. 그러나, 이들 식이 포함하고 있는 스펙트럼 尖銳度 파라미터 Q_p 와 波浪의 持續時間 N을 外力要素로 정리하여 사용하는 예는 드물기 때문에 현장 적용시에는 충분한 검토를 요한다.

2.4. 不規則波에 대한 安定性 評價

전술한 捨石堤 設計상의 문제점을 개선하기 위하여 Ryu and Sawaragi(1986)가 제안한 設計式에 波의 持續時間 효과를 도입해서 정리하고자 하였다. 이를 위해 식(1)과 와 같은 방법으로 그 영향을 고려하였다. 이것은 $\xi_{1/3}^*$ 에 따른 破壞의 進行特性을 表現한 것으로 柳(1984)의 規則波에 의한 持續時間 효과에 대한 ξ 의 영향 등의 자료로부터 도입한 것이다.

Fig. 2는 Ryu and Sawaragi(1986)가 제안한 식에 의한 破壞率과 본 연구에서 도입한 새로운 개념에 의한 결과를 나타낸 것이다. 安定性에 대한 波의 持續時間과 波群特性을 동시에 고려하여 破壞率의 變動特性을 정리한 Fig. 2의 (b)가 (a)에 비해서 나쁘지 않은 相關性을 가지고 있다. 이것은 전술한 개념으로 波의 持續時間 효과를 표현하는 것이 가능하다는 것을 의미한다. 이 관계를 적용하여 捨石의 重量計算式으로 고쳐 써면 다음 식과 같다.

$$W_{new} \geq \left[\frac{\gamma_w(6.15Q_p + 20.0)}{\gamma_s^{1/3}(D/(A\sqrt{N}) + 30.1)} \frac{\tan\theta}{\tan\phi} \right]^{3/2} H^{3/3} \quad (4)$$

이 새로운 식에 의한 捨石重量 特性을 조사하기 위하여 종래의 不規則波에 대한 計算式과 비교해서 나타낸 것이 Fig. 3이다. 이 그림은 계산조건으로 부터 각각의 設計式에 필요한 因子를 가정하여 계산한 결과를 나타낸 것으로 波의 持續時間 효과에 의한 捨石重量의 차이를 볼 수 있다. 이로 부터 波의 持續時間 효과를 고려한 安定性評價의 重要性을 지적 할 수 있다. 본 연구에서 얻어진 식(4)에 의한 결과와 종래의 Ryu and Sawaragi(1986)가 제안한 식을 이용한 결과 사이에는 상당한 차이가 있으며, 이는 不規則外力 特性의 취급의 相異에 의한 것으로 차후 상세히 검토해야 할 과제라 할 수 있다. 특히, 堤體의 透水性 p 와 Q_p 의 평가가 중요함을 지적할 수 있다.

波의 持續時間, 波群特性과 構造物의 透水性에 의한 安定性의 변화에 대하여는 定式化가 가능하지만, 天端高의 特性, 波와 構造物과 地盤의 相互作用에 의한 安定性이 평가되어야 할 필요가 있다. 또 이러한 영향을 설계제약조건으로 고려할 수 있는 最適化한 設計 algorithm을 구축할 필요가 있다 (Ryu et al.).

3. 結論

종래 設計式의 특징과 문제점으로 부터 종합적인 捨石堤의 設計指針을 구축하기 위해서는 捨石堤의 安定性에 관한 상세한 평가와 波浪制御機能이 고려된 設計system의 最適化가 필요하다. 이를 위해서는 安定性 및 波浪制御에 관한 영향인자별 평가가 필요하다. 그래서 본 연구에서는 安定性에 중점을 둔 不規則波의 영향을 定式化하여 最適 設計system 構築의 設計制約條件에 응용할 수 있도록 하였다. 특히, 不規則波의 持續時間과 波群特性에 의한 破壞率 變化 및 捨石重量을 구할 수 있는 새로운 設計式을 제시하였다. 또 安定性에 대한 透水性의 영향을 이 식에 도입하여 평가할 수 있도록 定式化하고자 했다. 또한 이들 data 및 設計式은 適用性이 우수한 것으로 나타났고 綜合 設計 system 構築을 위한 data base 및 設計制約條件으로 활용할 수 있음을 검증하였다.

금후 보다 종합적인 data base의 구축을 위해서는 다양한 조건에 대한 실험과 解析方法의 開發이 필요하고, 構造 諸元의 변화에 의한 安定性의 변화 및 構造物과 地盤의 相互作用에 대한 安定性 평가 등이 定式化되어야 할 것이다.

4. 參考文獻

- 1) 賀來兼治 小林信久 柳青魯(1991) : 不規則波に代す緩傾斜捨石堤の設計式の提案, 海岸工學論文集, 38, pp.661-665.
- 2) 柳青魯 (1984) : 捨石防波堤の水利學的最適設計に關する基礎的研究, 大阪大學博士論文, 165p.
- 3) C. E. R. C. (1984) : Shore Protection Manual, Vol.2, US Army, CERC, pp.7.202-7.243.
- 4) Ryu, C. R., Y. Kang and J. Kim (1992) : Optimal design of rubble mound structures under the irregular wave, Proc. of 23rd ICCE, ASCE, (Will be appeared).
- 5) Ryu, C. R. and T. Sawaragi (1986) : A new design method of rubble mound structures, Proc. 20th ICCE, ASCE, pp. 2188-2202.
- 6) Van der Meer (1988) : Rock slopes and gravel beaches under wave attack, Doctoral Thesis, Delft Univ. of Technology, 152p.

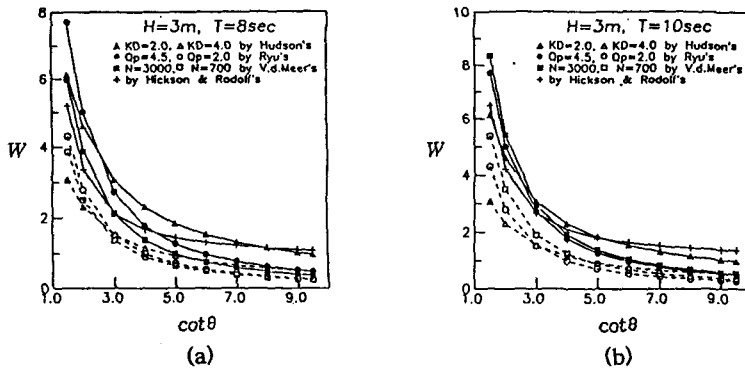


Fig.1. Stability of rubble mound in relation to slope angle by various formulae.

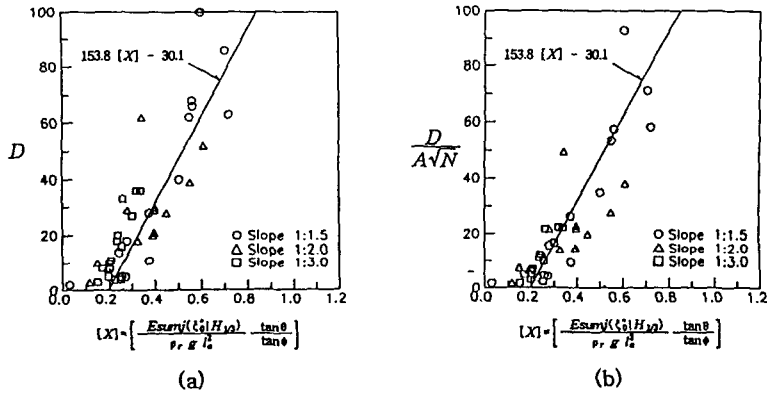


Fig.2. The relations of relative E_{sum} and damage rate by previous study(a) and this(b).

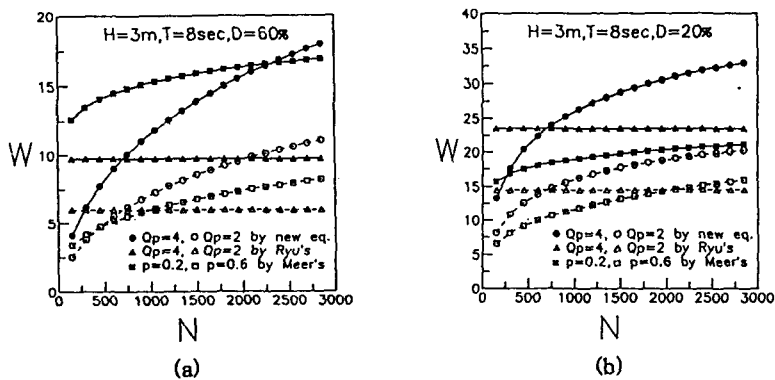


Fig.3. Examples of stability of rubble mound in relation to storm duration.