

海岸構造物의 費用最適化 設計 Algorithm 개발

姜 閔求* · 金 種旭** · 李 益孝*** · 柳 青魯*

1. 序論

捨石防波堤 등의 海岸構造物 設計에 規則波를 대상으로 한 다수의 設計式이 提案되어 왔다(예를 들면 Hudson, 1959; C.E.R.C., 1984 등). 또한 최근에는 不規則波를 대상으로 한 設計式이 提案되었고, 이에는 Ryu and Sawaragi(1986), Van der meer(1987) 등의 式이 있다. 이들 設計式은 모두 決定論的 安定性 評價에 主眼을 두고 있다. 海岸構造物의 設計時 經濟的 效率性의 評價 및 考慮는 安定性解析과 더불어 중요한 요소이고, 總費用을 最小化 하는 觀點에서 검토해야 한다. 建設費와 維持補修費의 總합으로 평가되는 總費用은 不確定的 性質을 갖는 設計外力에 따라 크게 左右된다.

從來, 이와같은 費用評價는 決定論的 手法에 의한 경우가 대부분이고, 外力의 不確定性, 許容破壞率, 構造物의 波浪制御機能을 고려한 費用最適化 設計 algorithm의 開發은 效率的인 海岸城의 開發에 있어서 중요한 研究課題라 할 수 있다. 이러한 認識 下에서 本 研究에서는 다양한 形式의 捨石式 構造物을 대상으로 從來의 手法과 最適化技法을 適用, 外力의 不確定性을 設計外力 條件으로 고려하고 構造物의 波浪制御機能 및 許容破壞率을 導入한 安定性이 同時에 滿足될 수 있는 費用最適化 設計 algorithm을 開發하고, 그의 適用性을 檢討한다.

2. 費用最適化 設計 Algorithm의 概要

許容破壞率과 越波, 反射波 등의 水理特性의 制御機能, 外力特性(極值外力)의 不確定性을 고려하는 費用最適化 設計 algorithm의 흐름은 Fig.1과 같다. Fig.1에서 먼저 發生頻度가 낮은 極值外力의 再現週期(RP_{max})와 構造物의 重要도에 따라 결정되어지는 許容破壞率의 上限值(AD_{max})를 결정하고, 평가할 許容破壞率(AD_j, j=1, 2, 3, ... N)과 再現週期(RP_i, i=1, 2, 3, ... NN)를 설정한다. 다음에 極值外力의 해석결과로부터 얻어지는 再現週期別 設計波高 週期에 대한 安定性, 波浪制御機能 등 設計制約條件을 滿足하면서 最小斷面을 갖는 設計諸元을 구하고, 初期建設費를 계산한다. 이 때 最小斷面 決定方法은 最適化技法을 이용하고, 從來의 方法에 의한 결과는 最適化技法의 初期值로 이용한다. 또한 임의의 외력에 대한 破壞率을 評價하고, 被害補修費 및 構造物 壽命期間 동안의 總費用을 계산한다. 이러한 계산과정을 반복하여 總費用이 最小가 되는 再現週期の 外力과 許容破壞率을 결정하고, 이에 대한 構造物의 設計諸元을 구해가는 設計 algorithm이다.

3. 構造斷面의 最適化 方法

3.1 設計變數

均一斜面(Uniform slope)을 갖는 防波堤의 設計變數를 Fig.2와 같이 설정하고, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$X=(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7)^T \quad (1)$$

여기서, X₅는 특성길이($= (W/\gamma_r)^{1/3}$)이다.

* 부산수산대학교 해양공학과(Dep. of Ocean Engineering, National Fisheries Univ. of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

** (주)현대중공업 선박해양연구소(Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., Ulsan, 682-060, Korea)

*** 여수수산대학 해양토목공학과(Dep. of Ocean Civil Engineering, Yosun National Fisheries College, Yosun, 550, Korea)

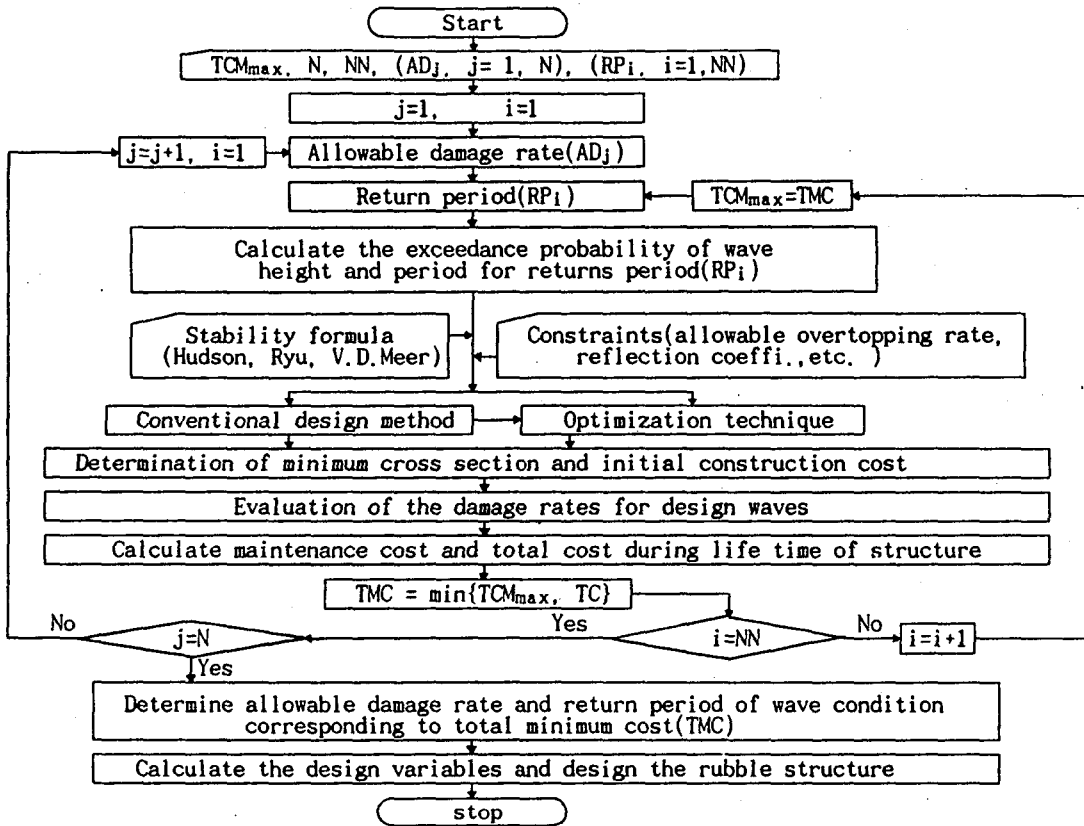


Fig.1. The procedure of cost-optimized design of rubble mound structures.

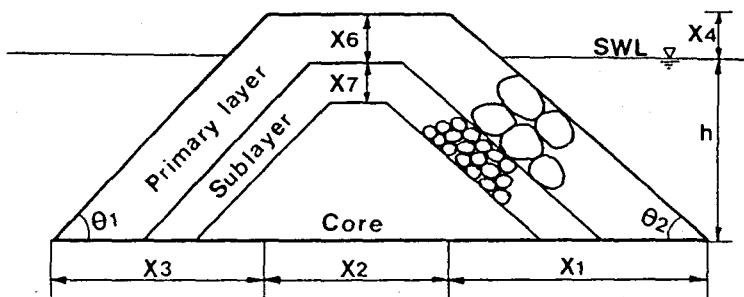


Fig.2. Design variables for the rubble mound breakwater with uniform slope.

3.2 設計方法 適用

設計斷面 치수를 決定하기 위하여 波浪制御條件 및 安定性 評價를 위한 捨石重量算定式 등의 制約條件으로부터 設計變數를 直接 決定하는 從來의 決定論的 設計方法과 最適設計法을 사용하며, 最適設計技法으로는 非線形 計劃問題에 대한 最適設計技法 중 SUMT(Sequential Unconstrained Minimization Techniques: Kuester, 1973)를 이용한다.

3.3 目的函數 및 設計制約條件

目的函數는 다음 식으로 한다.

$$f(x) = A + B + C \quad (2)$$

여기서, A, B, C는 각각 被覆層, filter層, core部の 斷面積이다.

外力條件은 波浪을 再現週期別 極值解析에 의한 다음 식으로 한다.

$$H_{1/3}' = H_{1/3} + \sigma H_{1/3} \quad (3)$$

$$T_{1/3}' = T_{1/3} + \sigma T_{1/3} \quad (4)$$

여기서, $H_{1/3}'$, $T_{1/3}'$ 은 각각 極值波浪의 不確定性을 고려한 波高, 週期이며, $\sigma H_{1/3}$, $\sigma T_{1/3}$ 은 外力의 不確定性을 나타내는 parameter, $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ 은 再現週期別 波高와 週期를 나타낸다.

被覆石의 安定性의 評價는 Hudson의 式과, 不規則波에 대한 Ryu 및 Van der meer의 捨石重量 算定式을 사용하며, 이들을 定式化하면 다음 식과 같다.

$$g_1 = X_5^3 \gamma_r - [\gamma_r / \cot \theta (K_D(\gamma_r/\gamma_w - 1)^3)] H_{1/3}^3 \geq 0 \quad (5)$$

$$g_1' = X_5^3 \gamma_r - \left(\frac{\gamma_w(6.15Q_p+20.0) \tan \theta}{\gamma_r^{1/3}(D_R+30.1) \tan \phi} \right)^{3/2} H_{1/3}^3 \geq 0 \quad (6)$$

$$g_1'' = X_5^3 \gamma_r - \frac{\xi_z^{3/2} H_{1/3}^3 \gamma_r}{(6.2P^{0.18}(D_V/\sqrt{N})^{0.2})^3 (\gamma_r/\gamma_w-1)^3} \geq 0 \quad (7)$$

$$= X_5^3 \gamma_r - \frac{1}{\{P^{0.13}(D_V/\sqrt{N})^{0.2}(\cot \theta)^{0.5} \xi_z P\}^3 (\gamma_r/\gamma_w-1)^3} H_{1/3}^3 \gamma_r \geq 0 \quad (8)$$

여기서, ϕ 는 被覆材의 安息角, Q_p 는 spectrum peakedness parameter, D_R 은 Ryu 등이 제안한 被害率, D_V 는 Van der meer가 제안한 被害率, P 는 構造物의 permeability PARAMETER이다.

構造物의 利用目的에 따른 越波, 反射波 등의 波浪制御條件을 定式化 하면 다음 식과 같다.

$$g_2 = AQ - Q \geq 0 \quad (9)$$

$$g_3 = AR - Kr \geq 0 \quad (10)$$

여기서, AQ 는 許容越波量, AR 는 許容反射率, Q , Kr 은 각각 越波量과 反射率 算定式으로부터 計算할 수 있는 값이다.

이들 이외에 天端幅, 斜面의 安定性 등에 관해 定式化하고 設計變數를 증가시킬 수 있다.

4. 費用評價 및 費用最適化

4.1 初期建設費(ICC) 및 被害補修費(FC) 算定

初期建設費 및 年間 總補修費(TMY)는 각각 다음 식과 같다.

$$ICC = a_a A + a_b B + a_c C \quad (11)$$

$$TMY = \int_{RPL}^{RPU} (FC \times dF) dRP \quad (12)$$

여기서, a_a , a_b , a_c 는 被覆層, filter層, core部に 대한 加重值, RPU , RPL 은 고려해야 할 再現週期의 上, 下限値, dRP 는 再現週期の 間隔, FC 는 임의의 外力에 대한 被害補修費, dF 는 波浪에 의한 年間 被害發生確率이다.

4.2 費用最適化

構造物の壽命期間 동안 발생할 總費用(TC)은 Fig. 3에 나타낸 것과 같으며, 被害補修費를 現在 價値換算係數(Pwf)를 이용, 現在價値(CCF)로 換算하여 나타내면 다음 식과 같다.

$$TC = ICC + CCF \quad (13)$$

$$CCF = TMy \times Pwf \quad (14)$$

5. Algorithm의 適用例

5.1 設計外力 및 基本條件

外力條件은 P港에서 觀測한 波浪 data를 사용하여, 極値解析에 의해 얻은 再現週期別 外力은 다음과 같다.

$$H_{1/3} = 1.01 Rv + 1.93$$

$$T_{1/3} = 2.50 Rv + 6.66$$

(15)

여기서, Rv는 變換한 非超過確率에 대한 變數이다. 한편, 費用計算을 위한 식(11)의 加重值 a_a , a_b , a_c 는 각각 9.4, 3.4, 1로 한다.

5.2 設計斷面 및 總費用의 變化特性

Fig. 4는 不規則波를 대상으로 한 Ryu and Sawaragi(1986)의 設計式을 이용하여 spectrum peakedness parameter Q_p 의 變化에 의한 被覆石의 重量의 變化(a) 및 設計斷面의 變化(b)와 許容破壞率 D_R 의 變化에 의한 被覆石 重量(c)과 斷面積(d)의 變化特性을 나타낸 것이다.

Fig. 5는 고려한 각 parameter의 變化에 의한 總費用의 變化特性을 나타낸 예이다. 이 結果에서 알 수 있듯이 最小費用을 갖는 再現週期の 外力이 存在하고, 그 傾向은 設計條件에 따라서 큰 差는 없지만 總費用은 그 差가 顯著하게 나타나는 設計 algorithm으로 그 適用域과 有用性을 알 수 있다.

6. 結論

以上の 論議와 같이 極値外力의 分布特性, 安定性과 波浪制御機能을 고려하여, 從來의 方法과 最適化技法을 이용한 捨石式 海岸構造物의 費用最適化 設計 algorithm을 開發하여, 그의 特性을 예를 들어 설명함으로써 그 適用性과 有用性을 檢討하였다. 本 研究에서 開發한 設計 algorithm은 從來의 設計方法 및 最適化技法을 동시에 고려하고, 設計波의 決定方法을 改善하여 極値分布를 導入하기 때문에 設計波 決定에 의한 問題點을 低減시킬 수 있는 長點을 가진 algorithm이라 할 수 있다.

參考文獻

- C. E. R. C. (1984): Shore Protection Manual, Vol. II, U.S. Army, Corps of Engineers, 7-202-243.
 Hudson, R. Y. (1959): Laboratory investigation of rubble mound breakwaters, J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, Vol. 85, 93-121.
 Kuester, J. L. (1973): Optimization Techniques with Fortran, McGraw-Hill Book Company, 347-425.
 Ryu, C. R. and T. Sawaragi (1986): A new design method of rubble mound structures, Proc. of 20th Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, 2188-2202.
 Van der Meer, J. W. and K. W. Pilarczyk (1987): Stability of breakwater armor layer-design formulae, Coastal Eng., Vol. 11, 219-239.

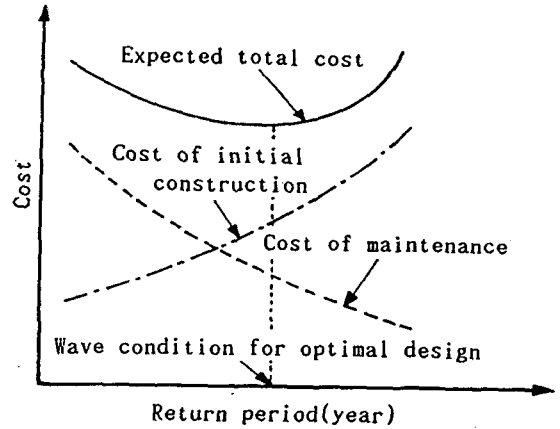


Fig. 3. Construction, maintenance, and total costs as functions of wave conditions.

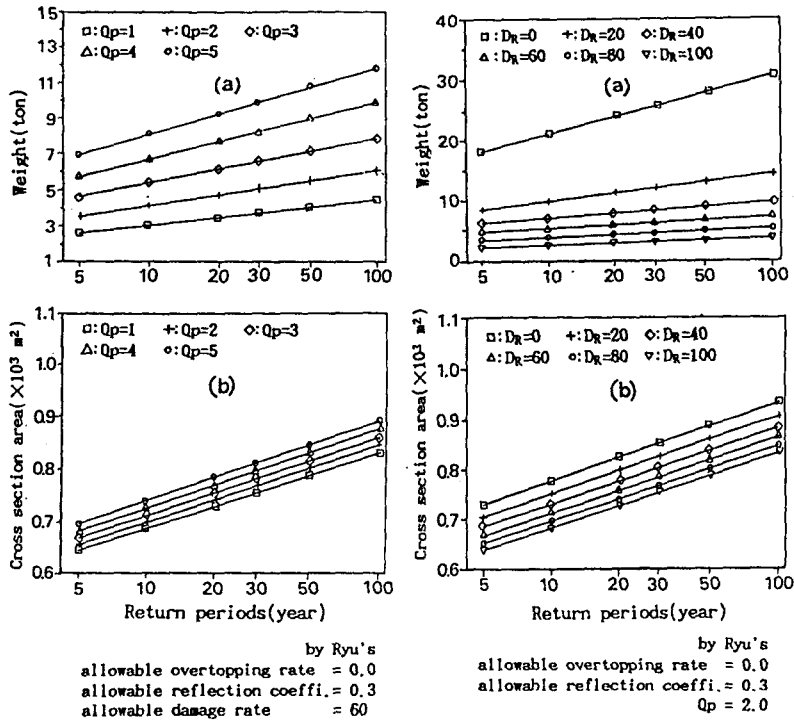


Fig.4. The variations of design variables according to the spectrum peakedness parameter(Q_p) and the allowable damage rates(D_R).

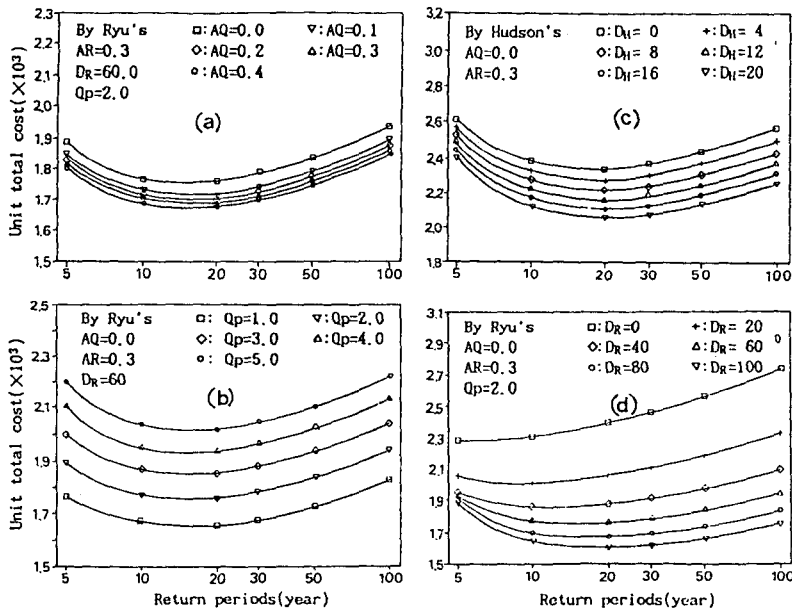


Fig.5. The variations of total costs according to the allowable overtopping rates, spectrum peakedness parameter(Q_p) and allowable damage rates(D_R, D_H).