

VI-11

防波堤消波ブロック重量の信頼性設計

東北電力(株) 電力技術研究所 正員 氏家久芳

1. まえがき

一般的に土木構造物では、建設費を低減させると安全性も低下する。しかし、安全性を重視するからといってむやみに建設費を増大することはできない。信頼性設計法では、安全性を定量的に評価することが可能であるので、安全性と経済性とを結び付けた検討が行うことができる。ここでは、信頼性設計法を用いて、防波堤の消波ブロックに対する安全性の定量的な評価と最適代替設計案の設定を試みる。対象とした防波堤の断面を図-1に示す。また、防波堤延長の単位長さを100mとする。

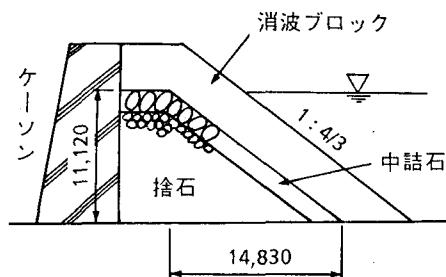


図-1 検討断面

2. 解析手法

防波堤の消波ブロック最小重量は、ハドソン式から次のように算定される¹⁾。

$$W' = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha} \quad (1)$$

ここに、 W' :消波ブロックの最小重量(t)、 H :設計波高(m)、 K_D :被覆材および被害率によって定まる定数、 γ_r :ブロックの空中単位体積重量(t/m^3)、 S_r :ブロックの海水に対する比重、 α :斜面が水平面となす角度($^\circ$)である。

H と K_D を確率変数とし、その他の設計変数を確定値($\gamma_r=2.3$, $S_r=2.23$, $\cot \alpha=1.33$)として扱うと、性能関数 $g(H, K_D)$ は次式となる。

$$g(H, K_D) = W - \frac{0.927 \cdot H^3}{K_D} \quad \begin{array}{l} > 0 ; \text{安全} \\ = 0 ; \text{限界状態} \\ \leq 0 ; \text{破壊 (損傷)} \end{array} \quad (2)$$

ここで、 W は消波ブロックの重量(t)である。ハドソン式は、設計変数の不確定性を考慮しても安全であると考えられるため、式自体に安全性の余裕を含んでいると考えられる。特に、 K_D の決め方が被害率という概念に基づいているため、通常の破壊確率とは質の異なるものである。そこで、 P_f を本研究では外力により損傷が生じる確率として、損傷確率と呼ぶ。

さて、安全性指標を求めるにあたって、波高 H は75年確率を考慮して平均値5.3で標準偏差0.3の極値分布(Gumbel分布)、 K_D を平均値6.6で標準偏差1.0の正規分布に従う確率変数と設定した。

現行設計法では安全率と初期建設費をもとに最適代替設計案を設定していたが、安全性と経済性のバランスを取ることは困難であった。しかし、信頼性設計法では安全性が定量的に評価できるため、構造物が破壊(損傷)したときの費用を想定すれば、安全性と経済性のバランスを取ることが可能である²⁾。ここでは期待総建設費を指標とし、これを最小にする設計案を最適代替設計案とする。期待総建設費 C_t は、初期建設費 C_i 、損傷時復旧費 C_f と損傷確率 P_f から、次式のように定義できる。

$$C_t = C_i + C_f P_f \quad (3)$$

今回、対象とした構造物の損傷時復旧費 C_f を求めることは難しい。ここでは、損傷時復旧費を初期建設費の30%と設定して求めた。また、消波ブロックの初期建設費は、重さをパラメータとして1万円/tonとして計算する。

3. 解析結果

図-2に消波ブロック重量 W と損傷確率 P_f との関係を示す。従来の確定的な設計法(平均値による計算)では、消波ブロック最小重量の算定値は20.9tとなったが、一般的な消波ブロックには規格があるため、実際には23.0t(25tタイプと呼ばれる)が採用される。そこで、算定値20.9tの損傷確率 $P_f=0.429$ に対して、採用値23.0tの損傷確率 $P_f=0.236$ となり安全性に余裕がでる。したがって、許容損傷確率を $P_{fa}=0.236$ として、以降の防波堤の消波ブロック重量を算定すれば、この防波堤と同一の安全性を有する設計が可能となる。他の土木構造物の破壊確率と比較して³⁾、消波ブロックの損傷確率が多少大きめになっているのは、限界状態の設定によるものと考えられる。図-3には、消波ブロック重量に対する設計代替案の期待総建設費を示す。この図からは、25tタイプが最適設計代替案となることがわかる。

4. まとめ

防波堤消波ブロック重量の設計において、設計変数を確率変数として取り扱うことにより、現行設計法の枠組みの中においても確率・統計論を取り入れた信頼性設計法ができることを示した。特に、信頼性設計法が土木構造物に関する安全性の平準化や最適設計案の選択などに適用できることも確認できた。しかし、検討の対象とした事例では明確な限界状態、破壊状態が定義されていないので、信頼度の計算には現行設計法の安全性照査式を用いなければならなかった。このため、同種の構造物間においては安全性の比較は行えるものの、他の異なる構造物との安全性の比較はできなかった。今後は、上述の計算をさらに改善するとともに、他の実構造物に対しても企画・計画、調査、設計、施工、維持・保全の各段階に信頼性設計法を取り入れるべく研究を進めたい。

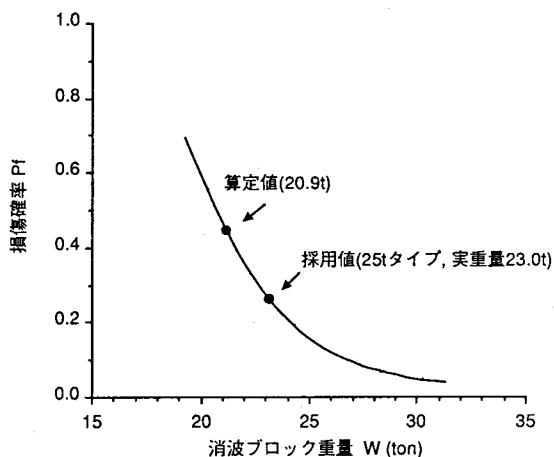


図-2 損傷確率と消波ブロック重量
(設計荷重として75年確率の設計波高を仮定)

参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，pp.2-118 ~2-121，1979.
- 2) 構造工学委員会：構造物のライフタイムリスク評価，土木学会，1988.
- 3) 星谷勝・石井清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.

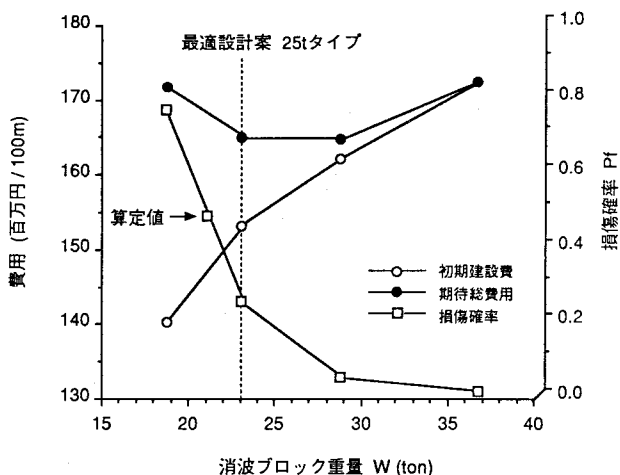


図-3 設計代替案の比較