

混成防波堤の波力に対する信頼性評価に関する基礎的研究

岩国市役所 ○石本 真郭
広島工業大学工学部 中山 隆弘

1. はじめに

構造物の設計コードの世界にまで国際化の波が押し寄せている¹⁾。そこでは、構造物の信頼性に対する概念が、許容応力度設計法に比べればもちろん、限界状態設計法に比べても、より強く前面に出されている。したがって、これまであまり多くの信頼性解析の事例研究が実施されていない構造物については、今後の継続的な研究が必要である。

本研究で対象とした波力に対する混成防波堤の構造信頼性解析に対する研究は、これまでも本研究とほぼ同様の手法を用いて精力的になされてはいる²⁾。しかし、同文献では、かなり複雑になる筈の解析の流れが詳細には紹介されていないことに加えて、シミュレーションによる結果との比較もなされていないため、示された結果に対する信頼性を判断することができない。

本研究では独自に、換算沖波波高の確率分布を正規分布と仮定して行った基礎的研究³⁾に基づいて、さらにその改良を行うことを目的とした。すなわち、同分布として、観測データにより近いワイブル分布を採用し、構造信頼性解析手法のひとつである1次ガウス近似法をベースにした信頼性評価手法の開発を試みた。ただし、今回は、防波堤の破壊モードとしては、滑動破壊に限定している。

2. 解析モデルと解析条件

表1 確定変数

確定変数	混成防波堤の設計変数	パラメータ	単位
B	防波堤の幅	15.0	[m]
h'	防波堤の底面から静水面までの高さ	6.5	[m]
h _s	防波堤の静水面上の天端高	4.0	[m]
d	マウンドから静水面までの高さ	5.0	[m]
h	防波堤の設置水深	9.5	[m]
W. L.	潮位	0.6	[m]
$\tan \theta$	海底の勾配	0.01	[m/m]
β	波の入射方向	15.0	[度]
γ	防波堤の単位体積重量	2.177	[t f/m]
w_0	海水の単位体積重量	1.03	[t f/m]

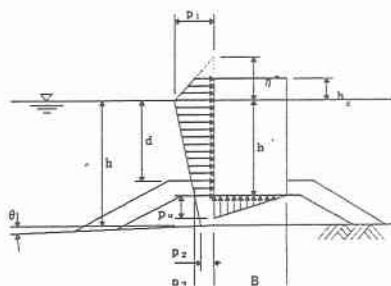


図1 解析モデル

解析モデルと確定的に与えた設計パラメータの値をそれぞれ図1と表1に示す。また、確率変数として扱う換算沖波波高と堤体とマウンドの間の摩擦係数については、文献²⁾に従い、表2に示す値を用いた。

表2 確率変数

	単位	分布型	パラメータ
H'_0	換算沖波波高	[m]	ワイブル $\alpha=1.0, \beta=3.0, k=1.25$
μ_f	堤体とマウンド間の摩擦係数	[-]	正規 $\mu=0.6, \sigma=0.06$

3. 破壊モードおよび破壊基準関数

今回は破壊モードとして波力による滑動破壊を考えているので、破壊基準関数Zは、波圧の合力P⁴⁾、堤体の水中重量W、揚圧力の合力U⁴⁾によって、次式のように与えられる。

$$Z = \mu_f \cdot (W - U) - P \quad (1)$$

ここで、 μ_f は堤体とマウンド間の静止摩擦係数である。紙面の関係でここでは省略せざるを得ないが、換算沖波波高によって与えられる波圧式の複雑性が本解析をかなり困難なものにしている。

4. 構造信頼性解析

4. 1 信頼性解析法

シミュレーション手法ではなく解析によって防波堤の耐波信頼度を求めることは、波高の大きさによって波力の算定式が異なるためにかかなりの困難を伴う。すなわち、簡単に1次ガウス近似法を適用することがで

きない。したがって、本研究では波高の大きさと波圧式の関係をあらかじめシミュレーションによって求めておき、次式で滑動破壊確率を求めることを試みた。

$$\begin{aligned}
 P_f &= \text{Prob}[(E \cap W_1) \cup (E \cap W_2) \cup (E \cap W_3)] \\
 &= \text{Prob}[E_1 / W_1] \cdot \text{Prob}[W_1] + \text{Prob}[E_2 / W_2] \cdot \text{Prob}[W_2] + \text{Prob}[E_3 / W_3] \cdot \text{Prob}[W_3]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ここで、式(2)中のEは防波堤の滑動が生じる事象、 W_1 は波高が領域Aに属する事象、 W_2 は波高が領域Bに属する事象、 W_3 は波高が領域Cに属する事象、 $\text{Prob}[E_i / W_i]$ 、 $\text{Prob}[E_2 / W_2]$ 、および $\text{Prob}[E_3 / W_3]$ はそれぞれ条件付破壊確率である。

本研究の特徴は、式中の $\text{Prob}[E_i / W_i]$ の値を、確率分布の影響を考慮した 1 次ガウス近似法によって求めるところにある。前述のように、換算沖波波高の確率分布については今回はワイブル分布(図2)を用いた。ただし、計算上、その分布の上限は 11m に設定した。また図には、シミュレーションによって求めた、異なる波圧式の適用限界を併せて記入している。

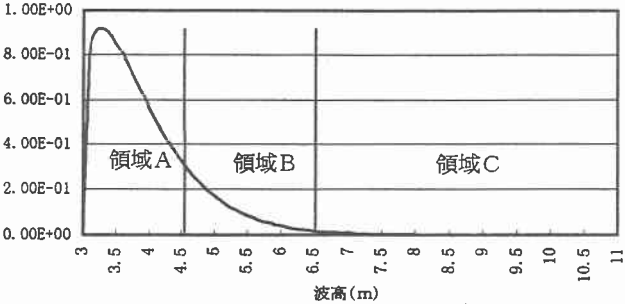


図2 換算沖波波高の確率密度関数のグラフ

4. 2 解析結果

式(2)に含まれる各 $\text{Prob}[E_i / W_i]$ を、安全性指標とともに、表3に示す。また、式(2)によって求めた防波堤

の破壊確率をモンテカルロシミュレーションによって算定した結果と併せて表4に示す。

表4より両結果には、約一桁の差があることが分かる。

現段階ではこの原因を明らかにするには至っていないが、波高ではなく、波圧の確率分布をシミュレーションによって求めてみる方法によって、その原因を解明できるのではないかと考えている。

5. おわりに

今回の研究では、換算沖波波高の確率分布をワイブル分布とみなして、参考文献³⁾よりも、より実態に近い形で、防波堤の波力に対する滑動破壊に対する信頼性を評価する解析プログラムを開発した。しかし、解析によって得られた破壊確率の算定値が、シミュレーション値と約一桁違う原因を明らかにするまでには至らなかった。今後、波圧の確率分布の特性を十分に検討して、今回の解析プログラムをさらに改良する必要がある。

(参考文献)

- 1) 例えば、General principles on reliability for structures, ISO/FDIS2394(FINAL DRAFT), 1998.
- 2) 鈴木 慎也：信頼性理論の防波堤滑動安定性への適用、運輸省港湾技術研究所、No. 582、1987. 6.
- 3) 中山 隆弘、亀田 晃一：防波堤の耐波信頼性解析法に関する一考察、第 49 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集、1997. 5、pp. 117~118.
- 4) 合田 良實：港湾構造物の耐波設計、鹿島出版会、1990. 8.
- 5) 星谷 勝、石井 清：構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986. 5.