

1. はじめに

現行の防波堤設計において、堤体の断面は堤体に働く再現期間 50 年の波力を推定し、その波力に対して所定の安全率を満たすように決定される。しかし、堤体に働く再現期間 50 年の波力の推定を行う過程で不確定要因による誤差が生じることが考えられる。不確定要因としては、沖波の推定誤差、波浪変形計算の計算誤差、波力の算定誤差、摩擦係数のばらつきが主なものとして挙げられるが、現行の設計法では設計波力に対して安全率を 1.2 を確保することで、これらの誤差によって生じる可能性ある過大な波力に対処している。ただ、安全率 1.2 という値の設定は経験的に行われており、十分な根拠のあるものではない。そこで、本研究ではこれらの不確定要因が堤体の被災に及ぼす影響を、期待滑動量および被災遭遇確率の概念を用いて検討した。

2. 期待活動量及び被災遭遇確率の計算方法

期待滑動量および被災遭遇確率は、信頼性理論に基づいてモンテカルロシミュレーションを行うことによって計算した。計算のフローとしては、まず、海底地形、沖波の推定 50 年確率波、防波堤の設置条件等を設定し、それらをもとに現行の防波堤設計に基づいて防波堤断面を決定する。そして、年 1 回の異常波浪を沖波波高の出現確率分布を用いてランダムに発生させ、堤体の年滑動量を計算し、これを耐用期間分繰り返すことによって、堤体の耐用期間中の総滑動量を計算する。ここで、実際では沖波の推定、波浪変形計算、波力の算定、摩擦係数に誤差が生じることが考えられるが、各種推定値、算定値において生じると考えられる誤差については、図 1 のような誤差分布を考え、値の修正を施し、滑動量計算に用いることにした。以上のような計算方法で耐用期間中の総滑動量を求め、その平均を期待滑動量、50.0cm を超えた確率を被災遭遇確率とした。沖波の波浪条件としては北東から東南東へと変化する異常波浪を想定し、沖波の推定 50 年確率波の波高を来襲方向が北東の場合で 7.0m、東北東の場合で 9.5m、東の場合で 8.0m、東南東の場合で 6.5m と設定した。また、防波堤は図 2 のように設置した場合を考えた。期待滑動量、被災遭遇確率は設置水深 13.0m、19.0m、25.0m の堤体について計算を行った。

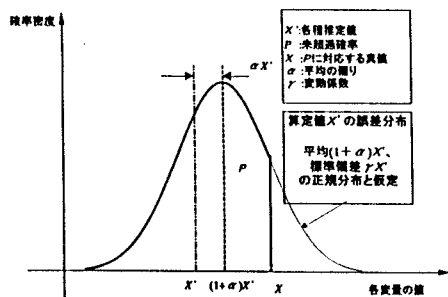


図1 誤差を考慮した各種推定値修正の概念図

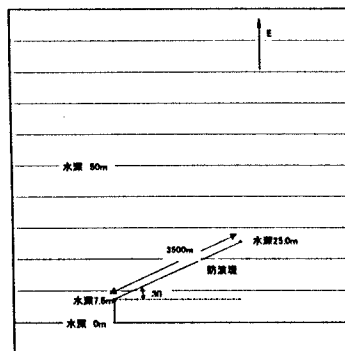


図2 防波堤の設置状況

3. 計算結果と考察

まず安全率 1.2 による設計を行い堤体の期待滑動量、被災遭遇確率を求めた。各種不確定要因の誤差について、平均の偏り、変動係数は表 1 のように設定した。これらの、平均の偏り、変動係数は高山ら(1991)が各種推定値、算定値と実験値等との比較を行い、得られた値である。計算結果としては、設置水深の浅い順に期待滑動量で 24.5cm、12.1cm、13.5cm、被災遭遇確率で 4.5%、2.6%、2.7% となり、安全率 1.2 を満たす設計は防波堤の安全性をある程度保証するものであることがわかった。安全率を変化させた場合の期待滑動量、被災遭遇確率の計算結果は図 3 のようになった。この計算結果から、安全率が大きくなれば期待滑動量、被災遭遇確率は指数関数的に減少してゆくことがわかった。また、各種不確定要因の誤差のばらつきを変化させた場合の期待滑動量、被災遭遇確率の変化を調べた。計算の結果、波力の算定精度、摩擦係数のばらつきは防波堤の滑

動に大きく影響し、これらの精度があがれば安全率 1.2 以下の値で防波堤の設計を行っても現行の安全率 1.2 による設計と同等の安全性を確保できることがわかった。それに対し、沖波の推定のばらつき、波浪変形計算のばらつきは、波力の算定や摩擦係数のばらつきほど防波堤の期待滑動量、被災遭遇確率に影響を与えていない。図 4 と図 5 は沖波の推定のばらつき、波力算定のばらつきが変化するときの期待滑動量の変化を示したものであるが、波力算定のばらつきの方が期待滑動量に大きく影響していることが見て取れる。また、被災遭遇確率についても同様の傾向をもった結果が得られ、波力の算定精度、摩擦係数のばらつきは堤体の被災にも大きく影響することがわかった。最後に、波向により 50 年確率波が変化する場合とそうでない場合の期待滑動量、被災遭遇確率の違いを調べた。各波向の 50 年確率波は表 2 のように設定した。また、防波堤の設計については 50 年確率波がピークになる来襲方向の波浪について堤体が安全率 1.2 を満たすような設計を行った。図 6 は期待滑動量についての計算結果である。この結果を見ると、異常波浪時に、波浪の継続時間中一定の沖波波高が来襲する場合は、そうでない場合に比べて期待滑動量の値が大きくなる。また、50 年確率波のピークが東南東の場合より東の場合のほうが期待滑動量が大きくなっているが、これは設計時に考慮した異常波浪において、その到達波が堤体の法線に対して斜めに入射するため、波力を弱めに見積もっているのが原因と考えられる。被災遭遇確率についても計算を行ったが、同様の傾向が見られた。よって、そのような条件下での設計は被災する確率が高くなるため、設計を行う際はより安全な設計を行う必要がある。

4. おわりに

本研究では、堤体の滑動のみを検討したが、実際には転倒や基礎地盤の崩壊などでも堤体は被災する。今後の課題としてはこれらのものも含めた堤体の被災について検討を行う必要があると思われる。

参考文献 高田(1990)：現況防波堤の耐波性能、海工学会誌 第38巻 pp611-615 高田(1991)：防波堤信頼性設計について、KOSSE 91 論文集 A-38 高田(1991)：信頼性設計による防波堤の耐波性能に関する理論検討、港湾技術報告 第30巻 第4号

表1 各不確定要因のばらつきの標準値

不確定要因	平均の偏り	変動係数
沖波	$\sigma_{\alpha} = 0.06$	$\tau_{\alpha} = 0.11$
波浪変形	$\sigma_{\alpha} = -0.03$	$\tau_{\alpha} = 0.04$
波力	$\sigma_{\beta} = -0.12$	$\tau_{\beta} = 0.22$
摩擦係数	$\sigma_f = 0.06$	$\tau_f = 0.18$

表2

(a) 波浪の来襲方向がEの時沖波波高がピークとなる場合

各来襲方向における50年確率の沖波波高(m)	NE	E	ESE	S	SSW
case 1	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
case 2	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55
case 3	7.60	8.55	8.50	8.50	8.55
case 4	8.55	8.08	8.50	8.50	8.58
case 5	8.70	7.80	8.50	8.50	8.55

単位 (m)

(b) 波浪の来襲方向がENEの時沖波波高がピークとなる場合

各来襲方向における50年確率の沖波波高(m)	NE	ENE	E	ESE	S
case 1	8.50	8.50	8.50	8.50	8.55
case 2	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55
case 3	8.55	8.50	8.50	8.55	7.60
case 4	8.08	8.50	8.50	8.08	8.55
case 5	7.80	8.50	7.80	8.50	8.70

単位 (m)

