

既設防波堤の滑動量に基づく信頼性評価

電源開発(株)エンジニアリング事業部 建設技術グループ 正会員 吉岡 健
 同上 正会員 篠崎 友利
 同上 正会員 杉山 弘泰

1. はじめに

ISO2394 や「土木・建築にかかる設計の基本」(国土交通省, 2002) を契機として, 技術基準の性能規定化に関する検討が各方面で進められる中, 既設構造物の保有性能評価は今後の重要な課題であると考えられる. 次期「港湾の施設の技術上の基準」(以下, 港湾基準) では, 性能の評価指標として許容破壊確率や変形量の許容値超過確率などが示される方針であり¹⁾, すなわち確率論に基づく信頼性設計法が本格的に導入される.

本稿では, 防波堤の高波浪来襲時の滑動実績に基づく信頼性解析により, その保有性能評価を行った結果について報告する.

2. 波浪の来襲可能性

対象とした防波堤は, スリット型の直立消波ケーソン堤であり(図-1), 現行の港湾基準に従い, 設計沖波(50年確率波高, 7.70m) に対する許容滑動安全率を 1.2 として設計されたものである. 竣工後, 沖波換算波高として 6.54m の高波浪が来襲し, 堤函の一部が 2cm 程度, 港内側に滑動した. まず, 過去の波高観測記録に基づく極値統計解析結果より, 今後, 当該波浪と同等もしくはそれ以上の波浪の来襲可能性について検証した. 極値統計解析結果から得られる最適母分布関数は極値型(形状母数 $k=3.33$, 尺度母数 $A=0.515$, 位置母数 $B=3.880$) であり, これより沖波波高と耐用期間 50 年間の遭遇確率を算出すると図-2 となる. 当該波浪時の沖波波高 6.54m の再現期間は約 23 年であり, 耐用期間 50 年間の遭遇確率は 89% となった. したがって, 確率統計的観点から, 今後, 当該波浪と同等以上の波浪が対象海域に来襲する可能性は極めて高いと考えられる.

3. 再現期間別の波浪の来襲に対する期待滑動量

防波堤ケーソンの滑動安定性に対する信頼性解析には, 下迫・高橋²⁾が提案する期待滑動量による評価法を用いた. これは, 滑動に関する運動方程式を数値積分して 1 波毎の滑動量を算定する, レーリー分布に基づ

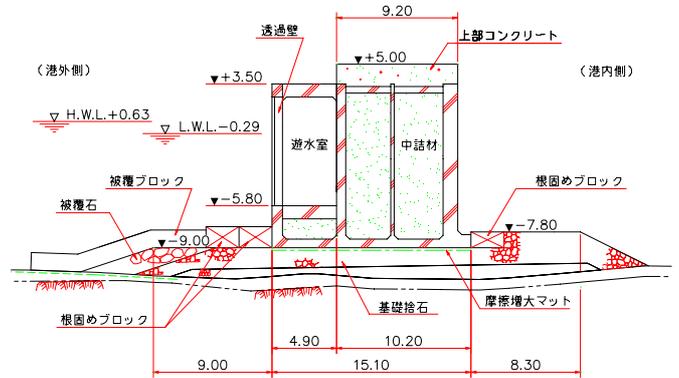


図-1 防波堤標準断面図

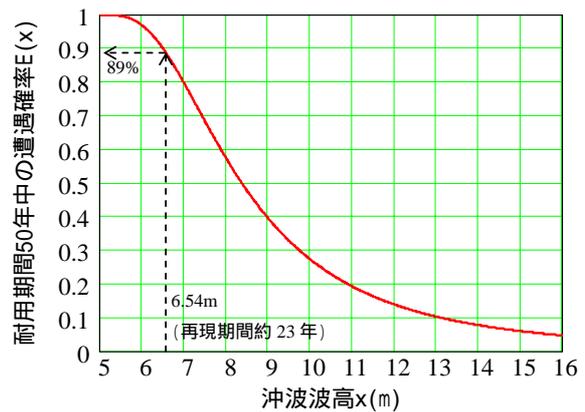


図-2 沖波波高と遭遇確率の関係

いて, 1 回の高波(来襲波群)による累積滑動量を計算する, これを耐用年数分繰返して耐用期間中の累積滑動量を計算する, モンテカルロシミュレーション(MCS)によって各設計因子(波高, 潮位, 摩擦係数, 自重等)のばらつきを考慮し, 試行回数分の期待滑動量もしくは限界滑動量(一般に 30cm)に対する超過確率を評価する方法である.

ここではまず, 再現期間別(10~1000年)の波浪の来襲を想定し, 各高波 1 回の波群による期待滑動量 ESD_1 を検討した. 設計当時には堤前波高に対する水平波圧および揚圧力を水理模型実験により評価していたが, 本解析では様々な波高に対する波圧を算定する必要

キーワード 防波堤, 滑動量, 信頼性, モンテカルロシミュレーション

連絡先 〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 TEL 03-3546-3222 FAX 03-3546-9423

表 - 1 設計因子の従う確率分布

設計因子	平均値の偏り	変動係数
沖波波高	1.0	10%
浅水変形	1.0	4%
碎波変形	1.0	10%
波力算定	1.0	16%
潮位	1.0	40%
摩擦係数	1.0	15%
堤体重量	1.0	3%

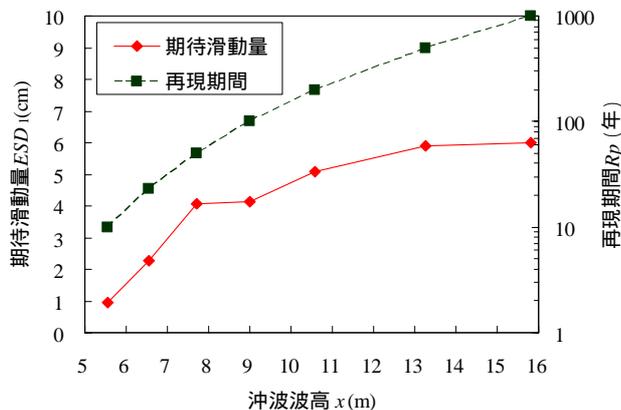


図 - 3 沖波波高と期待滑動量 ESD_1 の関係

があるため、合田式を準用し、実験結果に等しくなるように波力補正係数 を決定した。高波の継続時間は、当該波浪時の期待滑動量が実績結果の 2cm 程度となるように設定し、試算の結果、これを 2 時間とした。また、各設計因子の従う確率分布は全て正規分布を仮定し、長尾³⁾にならない表 - 1 に示す変動係数を与えた。ここで、平均値の偏り(平均値/特性値)は、滑動実績とのフィッティングを行ったことから、全て 1.0 とした。MCS の試行回数は収束判定により 10,000 回とした。

計算結果を図 - 3 に示す。図より、沖波波高 7.7m (50 年確率波) までは、期待滑動量の顕著な増加が見られるのに対し、その後は、期待滑動量の増加傾向が緩やかになっていることがわかる。図 - 4 は、再現期間 10 年、1000 年の沖波波高に対する堤前波高群のヒストグラムである。波浪が碎波影響を受けなければ、堤前波高のヒストグラムは理論的にレーリー分布(図中実線)に従うが、図に示すように、最大波高部分が碎波によって頭打ちとなるために、高波高が生成されていない。つまり、図 - 3 に示した期待滑動量 ESD_1 の頭打ちは碎波影響によるものであり、当該海域において 10m を上回る程の堤前波高が発生する可能性は低いものと考えられる。

4. 耐用期間中の期待滑動量

続いて、耐用期間 L を 50 年とし、耐用期間中の累積

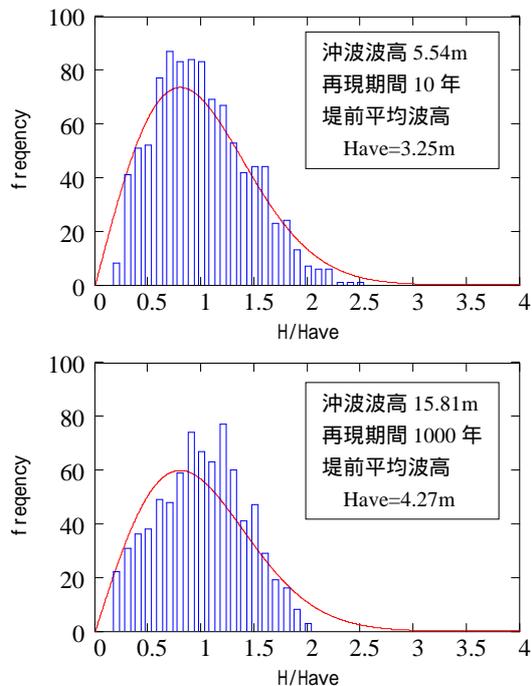


図 - 4 堤前波高群のヒストグラム

表 - 2 期待滑動量 ESD_1 、30cm 超過確率 P_{f30} と既往文献⁴⁾との比較(耐用年数 50 年)

	ESD_1	P_{f30}
対象防波堤	15.3cm	6.9%
ケーソン式混成堤 最小~最大	0.7~42.5cm	0.5~11.7%
平均	8.7cm	2.6%

滑動量に基づく期待滑動量 ESD_L および 30cm 超過確率 P_{f30} を評価した(表 - 2)。併記したのは、吉岡ら⁴⁾が実施した全国のケーソン式混成堤に対する同様の評価結果である。これより、全国的に大きな変動があるものの、その平均値と比較すれば、対象防波堤は期待滑動量も 30cm 超過確率も若干高い値を示していることがわかる。

以上の検討により、今回対象とした防波堤の保有性能は全国平均から比べて若干低いものと判断されたため、今後も定期点検を継続することとしている。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 HP : <http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu1.html>
- 2) 下迫健一郎・高橋重雄：期待滑動量を用いた混成防波堤直立部の信頼性設計法，港研報告，Vol.37，No.3，1998。
- 3) 長尾 毅：ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計法の適用，土木学会論文集，No.689，-57，pp.173-182，2001。
- 4) 吉岡 健・長尾 毅・森屋陽一：ケーソン式混成堤における部分係数の滑動量を考慮した設定方法に関する研究，海岸工学論文集，Vol.52，pp. 811-815，2005。