

ケーソン式混成堤の期待滑動量と破壊確率

国土技術政策総合研究所 港湾研究部 研修生（電源開発）正会員 鷺尾 朝昭
 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 正会員 森屋 陽一
 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 耐波研究室 正会員 下迫健一郎

1. はじめに

設計基準の国際化や構造物に対する要求の高度化を受けて、港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾は、次世代設計法への転換が求められており、安全率と許容応力度を使用した現行設計法を見直し、性能規定型の設計法である信頼性設計法（少なくとも部分係数法）を採用する方向で検討が行われている。

現在、ケーソン式混成堤については、性能規定型の設計法における要求性能の一つに期待滑動量が挙げられている。しかし、レベル2およびレベル3の信頼性設計法（例えば、長尾ら(1995)²⁾）により照査を行う場合や部分係数を設定する際には、破壊確率（信頼性指標）が必要となる。

本報告は、次期基準改定に向けて、適切な要求性能や部分係数を設定するために、衝撃砕波を考慮した現行設計法で堤体幅を設計した混成防波堤に対して期待滑動量と破壊確率（信頼性指標）を算定し、両者の関係を求めることを目的としている。

2. 検討内容

2. 1 検討条件

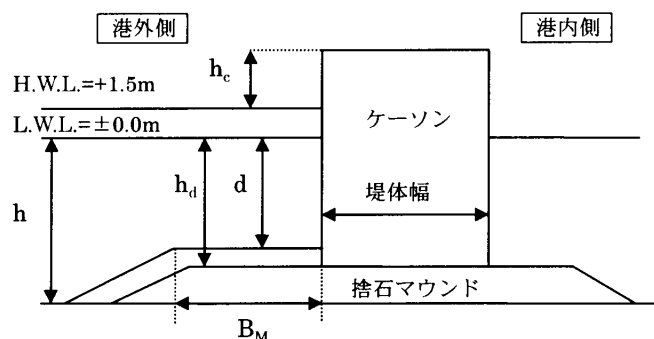


図-1 検討断面

海底勾配は 1/100、マウンド勾配は 1:2、堤体重量は堤体の単位体積重量を 21kN/m^3 として堤体の高さから計算した。表-1 に水深、天端高、基面水深、マウンド上水深、マウンド幅を示す。

現行設計においては、高橋らの提案した衝撃砕波力係数により、衝撃砕波を考慮して波圧を算定した。換算沖波波高は表-1 に示す通りであり、摩擦係数は 0.6、設計潮位は H.W.L.=+1.5m とした。また、滑動の安全率は 1.2 とした。

表-1 水深およびマウンド、波浪条件

Case	h	h_c (m)	h_d (m)	d (m)	B_m (m)	H_o' (m)	k	A	B
1	-10	4.5	8.5	7.1	13.0	10.0	1.0	1.20	3.31
2	-10	3.5	8.5	7.5	8.4	5.9	1.0	0.75	2.07
3	-10	2.5	8.5	7.7	8.0	3.6	1.0	0.45	1.24
4	-20	5.5	18.5	16.9	13.6	9.2	1.0	1.20	3.31
5	-20	3.5	18.5	17.5	8.4	6.1	1.0	0.75	2.07
6	-20	2.5	18.5	17.7	8.0	3.8	1.0	0.45	1.24
7	-10	4.5	7.0	5.4	13.0	11.7	1.0	1.20	3.31
8	-10	3.5	7.0	5.8	10.4	6.0	1.0	0.75	2.07
9	-10	2.5	7.0	6.2	8.0	3.7	1.0	0.45	1.24
10	-20	5.5	14.0	12.2	13.6	9.1	1.0	1.20	3.31
11	-20	3.5	14.0	12.8	10.4	6.1	1.0	0.75	2.07
12	-20	2.5	14.0	13.2	8.0	3.8	1.0	0.45	1.24

k, A, B はワイブル分布のパラメタである。

期待滑動量の算定は、下迫・高橋(1998)³⁾に従い、モンテカルロ法により行った。沖波の波浪はワイブル分布で与え、そのパラメタは表-1 に示す。変動を与える変数の種類、変動の分布形状および変動係数の値（すべて 0.1）も下迫・高橋(1998)に従った。

破壊確率および信頼性指標の算定は、First order reliability method (FORM) により行った。FORM の計算には、COMREL (RCP 社製の信頼性解析プログラム) を用いた。

2. 2 検討方法

検討は、以下の手順により行った。

- ① 現行設計により、滑動安全率 1.2 を満たすように堤体幅を 10cm 単位で決定する。同時に、現行設計による水平波力と④における水平波力の 50 年最大値の平均値が一致するように、現行設計の沖波波高を 10cm 単位で設定する。
- ② 下迫・高橋 (1998) に従い期待滑動量を算定。
- ③ 期待滑動量を算定した際に水平波力および鉛直波力の 50 年最大値を出力。乱数を変えて 5000 回の繰り返し計算を行う。

キーワード（性能設計、信頼性設計法、ケーソン式混成堤、期待滑動量、破壊確率、信頼性指標）

連絡先（住所 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 電話・FAX 0468(44)5029）

表－2 波浪変形計算および波力算定結果

Case	現行設計法			モンテカルロ法					
	H_{max} (m)	PH (kN)	PU (kN)	μ_{Hmax} (m)	V_{Hmax} (m)	μ_{PH} (kN)	V_{PH} (kN)	μ_{PU} (kN)	V_{PU} (kN)
1	9.37	1,360.31	729.14	8.57	0.022	1,359.20	0.054	753.46	0.052
2	8.36	995.19	440.68	7.71	0.044	993.76	0.080	457.96	0.079
3	6.04	553.16	148.60	5.83	0.121	562.99	0.168	157.39	0.154
4	14.59	3,017.24	1,133.07	13.63	0.061	3,027.67	0.095	1,172.29	0.093
5	10.19	1,648.85	373.92	9.82	0.138	1,646.82	0.168	381.19	0.169
6	6.25	771.03	74.73	6.21	0.159	776.99	0.178	77.79	0.181
7	9.69	1,485.13	982.23	8.57	0.022	1,504.12	0.037	956.37	0.052
8	8.40	992.45	514.44	7.71	0.044	1,011.83	0.076	527.46	0.078
9	6.22	541.51	181.20	5.83	0.124	538.65	0.158	182.92	0.138
10	14.50	2,802.67	1,344.02	13.63	0.061	2,813.09	0.104	1,397.32	0.091
11	10.19	1,455.61	445.59	9.82	0.138	1,454.42	0.181	452.43	0.167
12	6.25	666.79	95.14	6.21	0.159	675.98	0.183	97.82	0.176

④ 水平波力および鉛直波力の50年最大値の平均値と変動係数を算定。（表－2）

⑤ 波力，潮位，摩擦係数を確率変数と考慮して，FORMにより破壊確率と信頼性指標を計算。

3. 検討結果

波力の変動係数は設計条件により異なり，水平波力，鉛直波力ともに0.05～0.18となる。（表－2）

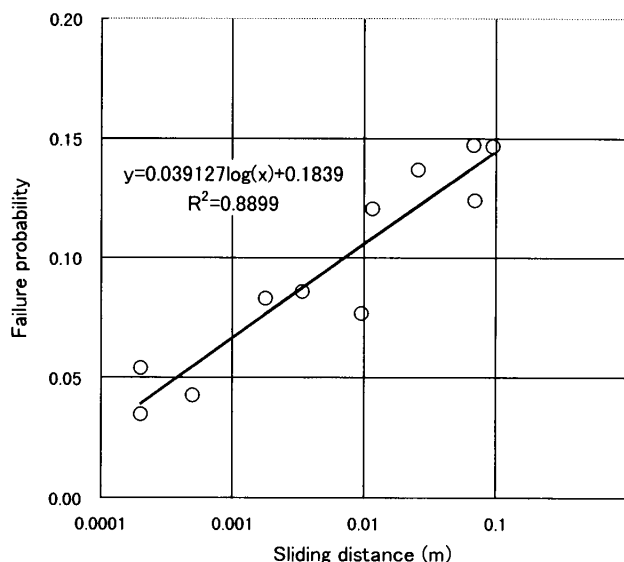
検討結果（FORM）を表－3および図－2に示す。

表－3 検討結果（FORM）

Case	堤体幅 (m)	期待滑動量 (m)	破壊確率 P_f	信頼性指標 β
1	17.5	0.0002	0.0346	1.818
2	13.8	0.0005	0.0427	1.720
3	8.1	0.0117	0.1206	1.172
4	22.2	0.0096	0.0767	1.428
5	13.1	0.0690	0.1241	1.155
6	6.2	0.0953	0.1466	1.051
7	21.8	0.0000	0.0240	1.977
8	15.5	0.0002	0.0539	1.608
9	9.0	0.0034	0.0856	1.369
10	25.2	0.0018	0.0828	1.386
11	14.3	0.0257	0.1368	1.095
12	6.7	0.0672	0.1474	1.048

今回検討した条件では，期待滑動量 0～0.10m，破壊確率 0.02～0.15，信頼性指標 1.05～1.98 となった。Case1～12の断面は，すべて滑動安全率 1.2ではあるが，設計条件によって期待滑動量や破壊確率，信頼性指標はかなりの幅を持つ。例えば，Case3とCase4を比較すると，ほぼ等しい滑動量に対して，破壊確率が1.6倍近く異なる。

全体の傾向としては，期待滑動量が大きければ破壊確率が大きいという関係にあり，期待滑動量を x ，破壊確率を y とおくと，対数近似による両者の関係は， $y=0.039127 \log(x)+0.1839$ となり，相関係数の2乗値は 0.8899 となる。



図－2 期待滑動量と破壊確率の関係

4. おわりに

本検討により，期待滑動量が大きければ破壊確率が大きいという関係にあることは確かめられた。

しかし，定量的に期待滑動量と破壊確率および信頼性指標を結びつけるためには，さらに詳細な検討を必要とすることが判明した。

今後，さらに詳細な検討を行い，期待滑動量を踏まえたレベル2およびレベル3の信頼性設計法を確立し，次期基準における部分係数の設定へと繋げていく必要がある。

参考文献

- 1) 日本港湾協会（1999）：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 2) 長尾毅・門脇陽治・寺内潔（1995）：信頼設計法による防波堤の全体系安全性（第1報）～滑動安全性に関する検討～，港湾技術研究所報告，第34巻，第1号。
- 3) 下迫健一郎・高橋重雄（1998）：期待滑動量を用いた混成防波堤直立部の信頼性設計法，港湾技術研究所報告，第37巻，第3号。