

確率有限要素法による防波堤の支持力安全性の評価

復建調査設計（株） 正会員 ○清水 豊
 運輸省港湾技術研究所 正会員 長尾 毅
 復建調査設計（株） 正会員 吉浪康行
 復建調査設計（株） 正会員 向井雅司

1. まえがき

信頼性設計法及び限界状態設計法は、設計に用いるパラメータを確定的に扱う従来型の設計法よりも合理的であるため、早期導入が期待されている。本報告は、港湾構造物への信頼性設計法の適用性を評価するための基礎的資料を得る観点から、防波堤について偏心傾斜荷重時の支持力検討を Bishop 法及び確率有限要素法(SFEM)等で行い、安全率及び安全性指標を対比することで、防波堤の支持力安全性についての評価を行ったものである。

2. 解析モデル及び土質条件

本解析の解析モデル及び強度定数を図－1 及び表－1 に示す。また、FEM(SFEM)解析用メッシュ図を図－2 に示す。

解析に用いたマウンドの強度定数としては、定数の違いによる解析結果の違いを見るため、Bishop 法計算時に通常用いられる現行設計値¹⁾と文献^{2) 3)}の土質調査結果で得られた平均値の2種類とした。

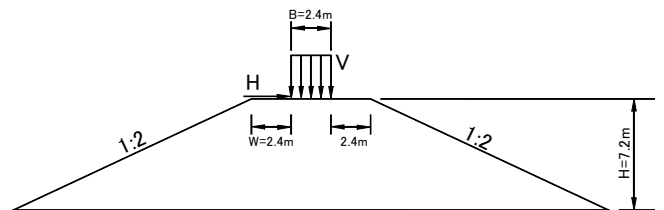
3. 解析ケース及び解析手法

解析ケースを表－2 に示す。解析手法は Bishop 法、有限要素法(FEM)、荷重及びマウンド土質強度定数のバラツキを考慮した Bishop 法(S-Bishop 法)、SFEM の4手法とした。なお、解析は、以下の解析条件により行った。

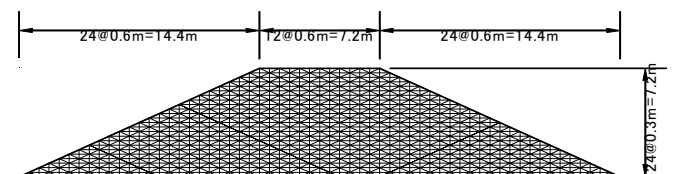
- ①荷重条件のうち、水平荷重については、Bishop 法では集中荷重で防波堤底面に作用させているのに対し、FEM(SFEM)では水平荷重を防波堤底面の節点に分散させている。
- ②確率変数としては、荷重、地盤定数等を考え、すべて正規確率分布に従うものとしている。
- ③すべり面はマウンド内に限定し解析を行った。
(本解析モデルはマウンドのみの単一層モデル)
- ④SFEM 解析における安全性指標 β は文献⁴⁾ に示されている手法に従い算出した。

表－1 土質条件

対象	呼称	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)
マウンド	現行設計法	35	19.6
	土質試験平均値	33	57.8



図－1 解析モデル



図－2 FEM 解析用メッシュ

表－2 解析ケース

強度定数	解析ケース	荷重	
		V(kN/m ²)	H(kN)
現行設計法	Case 1	196.0	295.0
	Case 2	392.0	325.4
	Case 3	588.0	272.4
	Case 4	784.0	163.7
土質試験 平均値	Case 5	196.0	295.0
	Case 6	392.0	325.4
	Case 7	588.0	272.4
	Case 8	784.0	163.7

4. 解析結果

図－3 及び 4 に、Case1 及び Case4 における各解析手法の円弧形状の比較を示す。これらによると、各解析手法の円弧すべり形状は比較的良好に一致している。

また、表－3 に解析手法別の安全率及び安全性指標結果一覧表を示す。解析結果を以下にまとめる。

- ① Bishop 法と FEM の安全率を比較すると、土質条件に関係なく比較的良好な対応を示した。
- ② 鉛直荷重 V が小さいケースほど両者の安全率の差が大きく、 V が大きくなるに従い差は小さくなる傾向を示した。
- ③ 同じ荷重条件の基では、現行設計値の安全率の方が土質試験平均値の安全率より小さい。
- ④ 安全性指標 β は、安全率の傾向と同様に現行設計値の方が土質試験平均値より小さい。
- ⑤ β を S-Bishop 法と SFEM で比較すると、現行設計値の方では、両者とも V が大きくなるに従い、小さくなる傾向にある。一方、土質試験平均値の方では SFEM が現行設計値の場合と同様な傾向にあるのに対して、S-Bishop 法の方はやや増加する傾向にある。

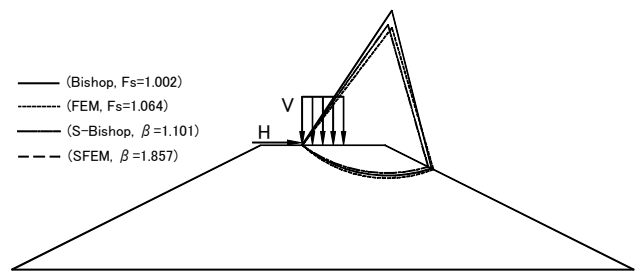
以上より、Bishop 法と FEM では安全率上大きな差はないものの、安全性指標 β については土質強度定数が異なると各解析手法間で異なる傾向が得られた。この要因としては、a) 解析手法の違い、b) 水平荷重の取り扱いの相違等が考えられるがこれらを定量的に評価するまでには至っていない。

5. 今後の課題

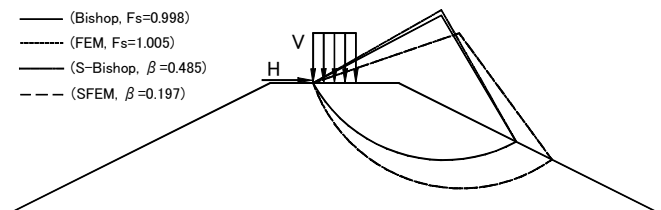
今回の解析結果により、安全率と安全性指標の対応については、解析手法毎で、また土質強度によっても傾向が異なることがわかった。また、本解析は 1 解析モデルによる結果であることから、今後は、土質定数、解析モデル、荷重条件等をパラメータとしたケーススタディを行い、Bishop 法と FEM(SFEM)の相違点を明らかにしていく。

[参考文献]

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説：社団法人 日本港湾協会
- 2) 荘司喜博：大型三軸圧縮試験による捨石材のせん断特性に関する考察、港湾技術研究所報告、第 22 巻、第 3 号、1983.
- 3) 水上純一、小林正樹：マウンド用捨石材の大型三軸試験による強度特性、港湾技術研究所資料、No699、1991.
- 4) 鈴木誠、石井清：確率有限要素法による斜面安定解析、土木学会論文集、第 364 号、1985.



図－3 各解析手法の円弧形状（Case 1）



図－4 各解析手法の円弧形状（Case 4）

表－3 解析手法別安全率および安全性指標結果

解析手法 解析ケース	Bishop (Fs)	FEM (Fs)	S-Bishop (β)	SFEM (β)
Case 1	1.002	1.064	1.101	1.857
Case 2	0.999	1.051	1.156	1.084
Case 3	1.000	1.023	0.957	0.612
Case 4	0.998	1.005	0.485	0.197
Case 5	1.572	1.653	4.426	6.122
Case 6	1.444	1.509	4.659	4.640
Case 7	1.371	1.391	5.990	3.696
Case 8	1.321	1.321	5.510	2.917