

確率有限要素法による防波堤の信頼性解析

運輸省港湾技術研究所 正員 長尾 毅
復建調査設計（株） 正員 ○相田 亨
正員 向井雅司
正員 吉浪康行

1. まえがき

現在、防波堤の支持力安全性の評価は、円弧滑り計算法の一つであるビショップ法により行われている。しかしながら、この支持力不足による破壊の事例は滑動に比べて非常に少なく、またその破壊形態についても不明確な部分が多い。本研究では、実際に設計・施工された2ケースの防波堤に着目し、従来からある Bishop 法と有限要素法および確率有限要素法による解析結果との比較を試みた。

2. 解析モデル

表-1に現行設計法で設計・施工された2ケースA、B港の設計諸元を示す。

A港の特徴は、マウンドは浅く支持地盤は砂である。B港はマウンドはやや厚く支持層が砂と粘性土の互層となっている。

表-2に、Bishop 法と FEM の解析条件の比較を示す。

荷重条件に着目すると、現行設計（ビショップ法）では鉛直荷重を矩形分布、波力を集中荷重でケーソン底面に作用させている。これに対して、FEM（SFEM）解析では鉛直荷重をケーソン幅を底辺とする三角形分布荷重とし、水平力は底面の節点に分散させている。

確率変数としては、水平波力、鉛直荷重、地盤強度等を考え、すべて正規確率分布に従うものとしている。その詳細については文献¹⁾に示されているとおりである。

また地盤に関しては、マウンドと支持地盤の層の相関及び、鉛直方向の自己相関を考慮しており、相関関数は指数関数で与え相関距離は標準的な 1.0 とした。

尚、FEM（SFEM）解析における安全率及び、安全性指標は文献²⁾に示されている手法に従い計算している。

表-1 設計諸元

	A港	B港
マウンド厚(m)	4.0	10.0
水深(m)	17.0	26.5
波 高(m)	Hmax 13.05	Hmax 13.30
支持地盤	砂	砂、粘性土
断面図		

表-2 解析条件の比較

	Bishop	FEM
荷重条件		
(特徴)	水平力は集中荷重として、扱い、地盤内応力とは独立として扱う。	鉛直、水平荷重とも地盤内応力に影響を及ぼす。
土質条件	マウンド: $c=2\text{tf/m}^2$, $\phi=40^\circ$ 支持地盤: $\phi=40^\circ$ ($N\leq 10$), 45° ($N\geq 10$)	ボーリング調査より設定。
円 弧	A点を始点とし、 F_s 最小となる円弧	A点を始点とし、 F_s 最小となる円弧
自己相関	深さ方向のみ考慮。	マウンドと支持地盤の層間、深さ方向の自己相関を考慮。

3. 解析結果

図-1、2に Bishop 法と FEM それぞれの最小安全率 F_s およびその円弧形状の比較を、また表-3に両手法による安全率 F_s 、安全性指標 β の比較を示す。

A港では、円弧形状及びその安全率ともほぼ同じ値となる。 β の比較では SFEMの方が倍程度大きい値となっている。B港の場合は円弧形状そのものが大きく異なり、Bishop 法の場合は非常に浅くマウンド表面に近い円弧となる。 F_s の比較では Bishop 法に比べ FEM が大きめな値となり、 β ではかなり大きな差が生じている。しかしながら両ケースとも FEM (SFEM)の方が Bishop 法に比べ F_s 、 β とも大きいという傾向は一致している。

尚、表-3中の β^* は β の最小値を直接円弧探索したものである。 F_s の最小値を与える円弧の β と β^* には円弧形状も含めてそれほど大きな差は認められなかった。

以上述べたように現行設計法 (Bishop 法) と FEM (SFEM) では特に B 港での比較において大きな差が生じた。その要因としては、①土質定数の設定の相違、②荷重条件の与え方の相違③すべり面上での応力状態の相違、④水平荷重の取り扱い方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。

表-3 SFEMとBishop法の比較

	A港		B港	
	SFEM	Bishop法 ¹⁾	SFEM	Bishop法 ¹⁾
F_s	1.02	1.01	1.89	1.30
β	2.93	1.47	10.80	3.15
β^*	2.82	—	9.27	—

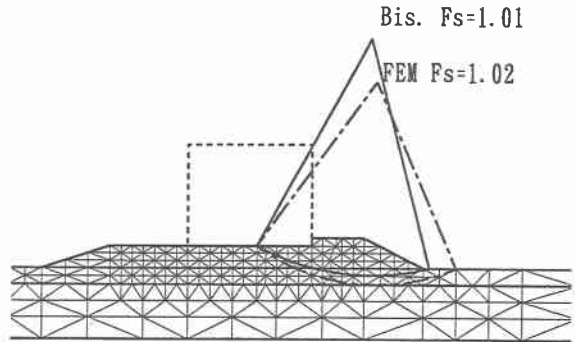


図-1 A港の円弧形状と安全率

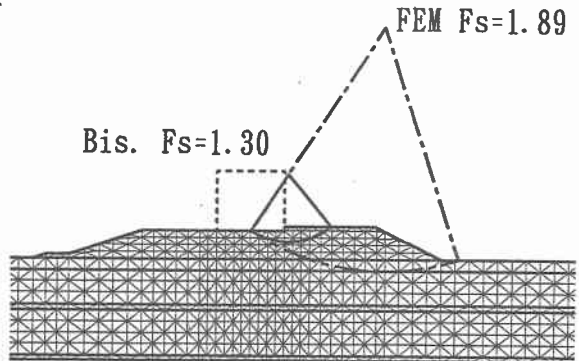


図-2 B港の円弧形状と安全率

4. 今後の課題

今回解析した2ケースの検討結果のみからでは、Bishop 法と FEM (SFEM) の解析結果の相違点を十分に説明することができなかった。今後マウンドの厚さ、支持地盤の条件、鉛直・水平荷重の比率、大きさ等をパラメータとしたケーススタディを積み重ね Bishop 法と FEM (SFEM) との相違点等を明らかにして行きたい。

[参考文献]

- 1) NAGAO.T, YOSHINAMI.Y.: Safety indices of breakwaters against sliding and foundation failure, 7th international conference on structural safety and reliability, 1997
- 2) 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.