

I - A 152

防波堤の地盤支持力に対する確率有限要素法解析

運輸省港湾技術研究所 正員 長尾 毅

復建調査設計（株） 正員 吉浪康行 向井 雅司 ○相田 亨

1. まえがき

現在、防波堤のように波圧による水平荷重と自重による鉛直荷重が同時に作用するような、偏心傾斜荷重に対する地盤支持力の安全性評価には、ビショップ法^{1) 2)}による円弧すべり計算が用いられる。これに基づき設計時の支持力に対する安全率は $F_s=1.0$ で設計されているが、その破壊事例は滑動と比べて非常に少ない。

本研究では、防波堤の支持力破壊の問題に対して確率有限要素法³⁾解析を行い、ビショップ法の考え方に基いて得られる安全性指標との比較を行う。

2. 対象モデルと解析条件

今回検討の対象としたのは、我国で実際に設計・施工されているT港のケーソン式防波堤で、設計時の地盤支持力に対する（ビショップ法による）安全率は $F_s=1.01$ である。図-1にそのモデル図を示す。FEMモデルは支持地盤はマウンドと基礎地盤（-30mまで）の2層構造とし、そのメッシュ図を図-2に、図-3、表-1に材料タイプを示す。材料タイプIは設計時にビショップ法で用いられる標準的なものであり、タイプIIは現地のボーリングデータより得られた値である。また、これらの変数の変動係数は、過去の収集データをもとに地盤強度で0.1、単位体積重量で0.03とした。

荷重条件は、表-2に示すように、ケースAは外力としてケーソンに水平波力を直接作用させる場合であり、これは今回の3ケースのうち最も理想的なモデルである。ケースBは、ビショップ法で用いる標準的な荷重条件であり、ケーソン底面に作用する地盤反力を等分布荷重に換算した場合である。ケースCは、地盤反力を三角形分布としたもので3ケースのうちでは最も一般的なケースと思われる。

尚、波力等の共通諸条件は文献⁴⁾で用いたものとする。また、これらの確率変数はすべて正規分布とし、空間的なばらつきは鉛直方向のみを考慮している。以上の条件の下で、ビショップ法により安全率が最小となる円弧上の円弧すべり破壊に対する安全性指標 β を算定した。

〔キーワード〕 安全性指標、確率有限要素法（SFEM）、防波堤、支持力

*〒239 横須賀市長瀬3-1-1 TEL&FAX 0468-44-5037

**〒732 広島市東区光町2-10-11 TEL 082-506-1855 FAX 082-506-1897

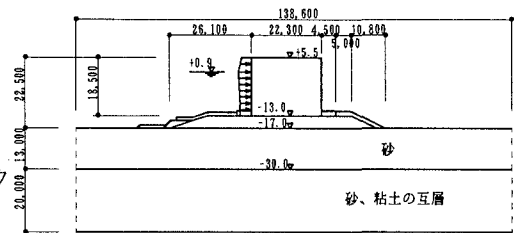


図-1 対象モデル ケーソン式防波堤

節点数：280
要素数：495

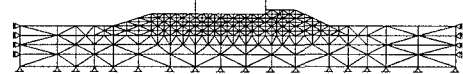


図-2 メッシュ図

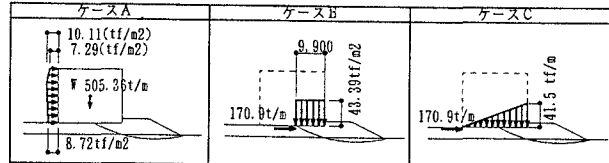


図-3 材料タイプ

表-1 材料定数

type	mat.	$E(\text{tf/m}^2)$	ν	$\gamma(\text{tf/m}^3)$	$c(\text{tf/m}^2)$	$\phi(\text{deg})$
I	1. sand	3500	0.3	1	-	45
	2. mound	2000	0.3	1	2	35
	3. caisson	2.35E+06	0.3	1.225	-	-
II	1. sand1	3500	0.3	1	-	40
	2. sand2	1600	0.3	1	-	30
	3. mound	1500	0.3	1	5.9	33
	4. caisson	2350000	0.3	1.225	-	-

表-2 荷重ケース



3. 解析結果

表-3に各ケースの安全性指標 β の結果を示す。この結果より以下のことが言える。

1)荷重ケースに注目すると：ケースBのビショップ法の荷重状態は、SFEMでは3ケース中最小の β を与える。即ち、設計時に与える荷重条件としては、安全側でかつ簡単であり、妥当な条件と言える。

2)材料タイプに注目すると：タイプIが設計計算時の値、タイプIIが調査結果より得られた値であるが、安全性指標 β にそれほど大きな差はない。

3)ビショップ法を用いて得られた安全性指標が $\beta=1.52$ であるのに対して、同じ条件下でのSFEM解（B-I）では $\beta=5.01$ となり両者の間にはかなりの隔りがある。

この原因について考察を行うため、スライスに分割した各要素の円弧上面での作用力、抵抗力を両手法で比較した結果を図-5、6に示す。すべり面上での応力状態に相違が認められ、これが両者の β の差に大きく影響したと思われる。

また、地盤の確率変数の鉛直方向の相関性の考え方の相違も影響していると思われる。即ちSFEMでは、自己相関関数で指数関数的に与えているのに対して、ビショップ法では、2~3mで均一層とみなし各層のばらつきを円弧が切る層数 n より $1/\sqrt{n} \times c.o.v.$ で与えている。

4. あとがき

本研究では、確率有限要素法を用いて防波堤の安全性指標を算出し、慣用法であるビショップ法に基づく方法との比較を行った。その結果、両手法より得られる安全性指標 β にはかなり大きな差があることが判明した。今回は実際に設計施工されたある防波堤の一断面のみを検討対象としたが、今後種々の条件下での防波堤断面についてのケーススタディを積み重ね支持力安全性照査方法の検証を行う必要がある。

[参考文献]

- 1) 小林正樹・寺師昌明・高橋邦夫・中島謙二郎・小谷拓：捨石マウンド支持力の新しい計算法、港湾技術研究所報告、Vol. 26, No. 2, 1987.
- 2) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1989.
- 3) 例えば、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.
- 4) 長尾 毅・門脇陽治・寺内 潔：2. 信頼性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、1995.

表-3 安全性指標 β

	材料	安全性指標 β		
		A	B	C
SFEM	I	8.14	5.01	6.14
	II	8.72	4.51	6.15
Bishop	I	—	1.52	—

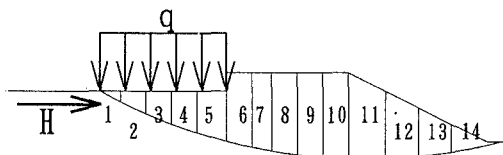


図-4 円弧の要素分割

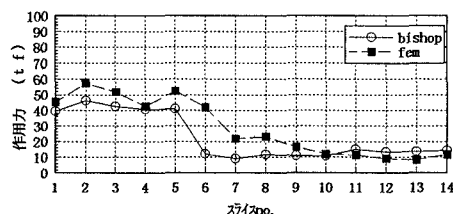


図-5 円弧上の作用力

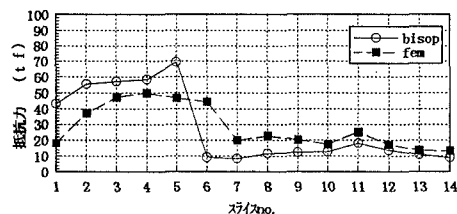


図-6 円弧上の抵抗力