

確率有限要素法による防波堤の支持力安全性の評価

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

1. まえがき

重力式防波堤の設計において、全体系の安定検討は滑動、転倒、支持力の 3 つの破壊モードを考慮するが、一般に転倒が支配的になるケースはほとんど無く、滑動か支持力のどちらかで断面が決定されるケースがほとんどである。このうち、支持力は偏心傾斜荷重時の支持力の安全性を簡易 Bishop 法を用いた円弧すべりにより検討する。本報告は、この支持力の安全性検討に信頼性設計法を導入するための基礎資料を得ることを目的とする。

2. 解析モデル及び条件

現行設計法（Bishop 法）と確率有限要素法（SFEM）の違いとしては、応力状態と自己相関の考え方の違いが上げられる。また、Bishop 法は通常、地盤強度の設定が特殊であり、これらによる違いも計算結果に影響するものと考えられる。そのため、SFEM に用いる荷重条件、材料条件（地盤強度）の妥当性を評価するため、まず有限要素法解析(FEM)を行い、Bishop 法と比較することとした。

本解析は、文献¹⁾に示されている既往実験結果との比較も併せて行うため、実験条件と整合するように、解析モデル及び土質条件を図-1 及び表-1 のように設定した。また、FEM 解析用メッシュ図を図-2 に示す。なお、既往実験で用いられた材料は標準砂で、土質条件は試験結果より $\gamma = 16.1 \text{ kN/m}^3$, $\text{Dr} = 97\%$, $\phi = 40 \sim 46^\circ$ （三軸試験結果）であった。

解析方法は、以下の手順で行った。

- 1)鉛直荷重を 0～1,960kN/m² の間で変化させる。
- 2)ある鉛直荷重に対して安全率が 1 になるような水平荷重をトライアル計算する。ただし、すべり面はマウンド内に限定する。
- 3)得られた結果を鉛直荷重～水平荷重関係図にプロットする。

3. 解析結果

図-4、5 に、同じ荷重条件で計算した Bishop 法と FEM それぞれの最小安全率 F_s 及びその円弧形状の比較を示す。また、図-6 に安全率 1 における鉛直荷重～水平荷重関係図を示す。

表-1 土質条件

対象	単位体積重量 $\gamma_t \text{ (kN/m}^3\text{)}$	内部摩擦角 $\phi (^\circ)$	粘着力 $c \text{ (kN/m}^2\text{)}$
マウンド	16.1	43	0.0

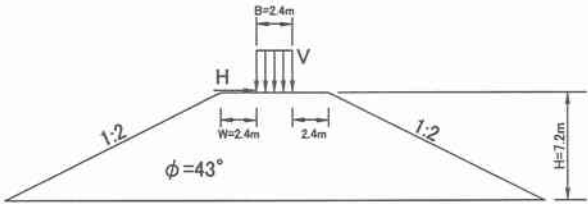


図-1 解析モデル

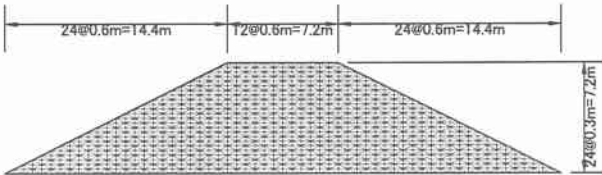


図-2 FEM 解析用メッシュ

図-4、5によると、Bishop 法と FEM の円弧すべり形状は比較的良好に一致しており、安全率の差も 0.05～0.08 程度である。

図-6 によると、破壊曲線形状で比較した場合、実験値と各解析値の比較においては Bishop 法の結果が実験値とよく一致している。また、各解析値を比較した場合、鉛直荷重が大きくなるにしたがって Bishop 法と FEM の差は大きくなる傾向にあるが、通常、鉛直荷重 V/A の範囲は 500kN/m^2 程度までであることから、この範囲であれば両者の対応は比較的良好と考える。

次に、文献^{2) 3)}より得られたマウンド強度の平均値($c=57.8\text{kN/m}^2$, $\phi=33^\circ$)を用いて Bishop 法、FEM 解析を行った(解析モデルは前述解析と同様)。結果を表-2 に示す。解析結果によると、前述解析結果と同様に Bishop 法と FEM の対応は、比較的良好と考える。また、SFEM 解析も併せて行い、安全性指標 β を表-2 に示した。これによると、 β は F_s が小さくなると、小さくなる傾向を示したが、 β の値の評価については、1 条件のみによる結果であることから今後の課題とする。

4. 今後の課題

今回の解析結果によると、通常設計に用いる鉛直荷重範囲に限れば Bishop 法と FEM の解析結果は比較的良好な対応を示した。しかし、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(現行設計法で用いられている値等)、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 の関係を明らかにするとともに、SFEM を併せて行い、その評価への基礎資料とする。

[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: 捨石マウンドの支持力の新しい計算法、港湾技術研究所報告、第 26 巻、第 2 号、1987.6
- 2) 荏司喜博: 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、No.699、1991

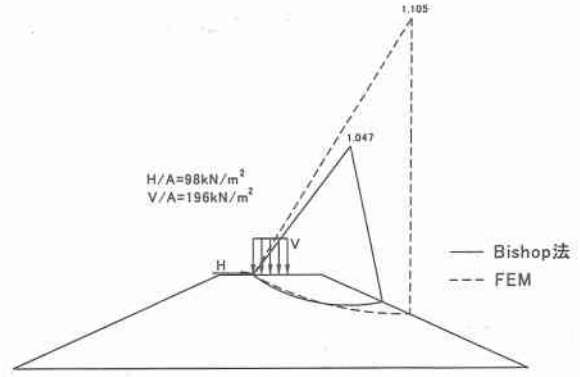


図-4 円弧形状と安全率

($H/A=98\text{kN/m}^2$, $V/A=196\text{kN/m}^2$)

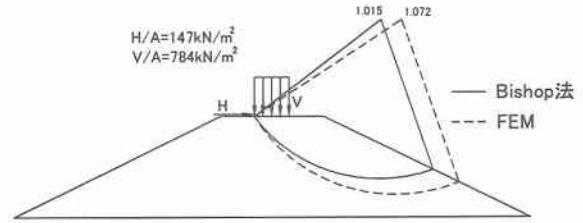


図-5 円弧形状と安全率

($H/A=147\text{kN/m}^2$, $V/A=784\text{kN/m}^2$)

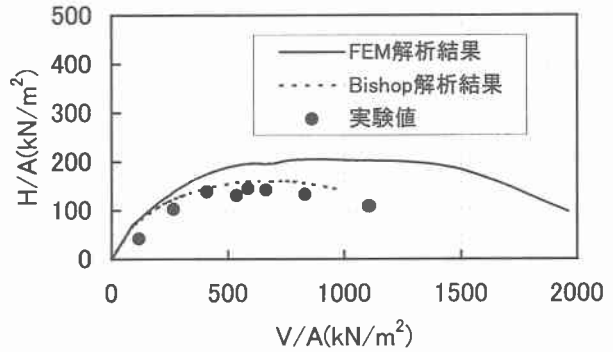


図-6 解析値と実験値の破壊曲線形状

表-2 計算手法別安全率および安全性指標結果

荷重条件	V/A(kN/m ²)	196.0	392.0	588.0	784.0
	H/A(kN/m ²)	122.9	135.5	113.5	68.2
地盤定数	H(kN)	295.0	325.4	272.4	163.7
	Bishop (F _s)	1.572	1.444	1.371	1.321
c=57.8kN/m ² φ=33°	FEM (F _s)	1.653	1.509	1.391	1.321
	SFEM (β)	6.122	4.640	3.696	2.917