

泥水掘削溝壁の安定性評価における低減係数の増分値と安全率

(株)日建設シビル (正) 石井 武司  
 (株)日建設 中瀬土質研究所 (正) 片桐 雅明  
 中央大学 理工学部 (正) 斎藤 邦夫  
 群馬大学 工学部 (正) 鶴飼 恵三  
 東日本旅客鉄道(株) (正) 増田 達, 桑原 清, 渡邊 明之

1. はじめに

泥水掘削溝壁の新たな安定性評価手法として、相似則を考慮した遠心模型実験結果を根拠に、せん断強度低減法を組み込んだ三次元弾塑性 FEM を既に提案してきた<sup>1)</sup>。この手法は、極限平衡法に基づく従来の評価手法で常に問題となっていた、すべり面の形状および三次元の形状効果の評価が合理的に行える。しかし、数値解析手法であるため、せん断強度低減係数(以下、低減係数と略す)の増分やメッシュサイズおよび非線形計算の収束判定が、計算結果に、特に安全率に影響する。このうち、メッシュサイズや非線形計算の収束判定については既に検討してきたので<sup>2),3)</sup>、ここでは、低減係数の増分値と安全率の関係を調べた。

2. 計算手法の概要

せん断強度低減法は強度安全率の考え方にに基づき、地盤のせん断強度パラメーターの  $c'$  と  $\phi'$  を、仮想的にそれぞれ次のように低減係数  $Fr$  で  $c_r'$  と  $\phi_r'$  に低減する。弾塑性計算は修正 Newton-Raphson 法で行なう。

$$c_r' = c' / Fr, \quad \phi_r' = \arctan(\tan \phi' / Fr)$$

低減係数  $Fr$  の初期値は、仮想的なせん断強度を非常に大きくするために小さな値を与える。これにより地盤内の応力状態はほぼ弾性体となる。低減係数  $Fr$  を徐々に大きくすると、仮想的なせん断強度が低下して降伏する領域が広がる。そして、降伏領域が溝壁面から地表面まで連続的に連なって、すべり面を形成すると、弾塑性計算は発散する。発散した時点破壊と定義し、その直前の低減係数  $Fr$  を系全体の安全率とする。弾塑性計算における収束の判定基準は、(変位増分のノルム) / (全変位のノルム) を指標として、これが  $1.0 \times 10^{-5}$  以下であれば収束とした<sup>2)</sup>。また、反復計算の回数が 500 回を越えても収束しなければ、この時点破壊と定義した<sup>2)</sup>。

3. 解析モデル

解析の対象はこれまでに実施した砂地盤に対する遠心模型実験の溝壁とした。溝壁形状は、長さ  $L:6m$ 、幅  $B:1m$ 、深さ  $H:15m$  である。地盤内の水位は地表面より  $0.02m$  下の位置に設定した。安定液の水位は、低減係数の増分値を  $0.01$  として計算した安全率が  $1.00$  となるように、地盤面より  $0.34m$  上の位置に設定した。その模型溝壁の形状を図-1 に示す。モデルは対称性から  $1/4$  とした。メッシュの詳細

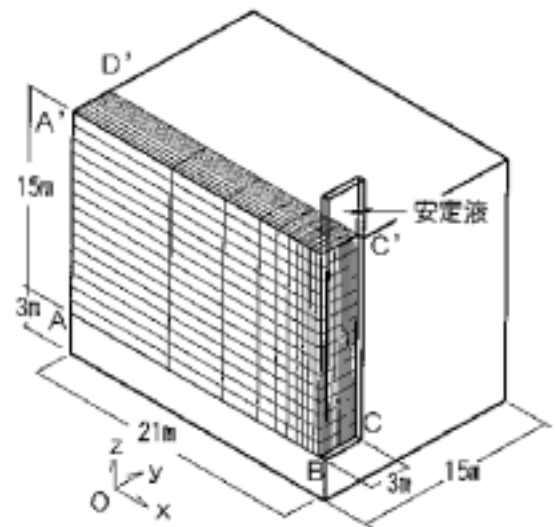


図-1 計算に用いたモデル

表-1 地盤と安定液の物性値

材 料	物 性	設定値
地盤	単位体積重量:	18.4 kN/ m <sup>3</sup>
	ヤング係数 : $E'$	23,544 kN/ m <sup>2</sup>
	ポアソン比 : $\nu'$	0.333
	粘着力 : $c'$	0 kN/ m <sup>2</sup>
	せん断抵抗角: $\phi'$	39 °
	ダイルトン角: $\delta'$	39 °
安定液	単位体積重量:	10.30 kN/ m <sup>3</sup>

キーワード: 泥水掘削, 安定性, 数値解析, 弾塑性 FEM

〒112-8565 東京都文京区後楽 2-2-23 .03-3817-0514 Fax.03-3817-0517

文献3)に譲る。地盤は弾完全塑性体とし、破壊基準に Mohr-Coulomb 式、塑性ポテンシャルに Drucker - Prager 式を適用した。要素は 20 節点六面体要素である。図-1 の節点数は 7271，要素数は 1500 である。使用した地盤と安定液の物性値を表- 1 に示す。

4 . 計算結果

計算ケースとして設定した低減係数の増分値は，0.05，0.02，0.01，0.005，0.002，0.001，0.0005，0.0001 の 8 ケースである。その結果を図- 2 に低減係数の増分と安全率の関係で示す。

安全率は低減係数の増分値を小さくするにつれて増加する。ここで，低減係数の増分値 0.01 を基準に考える。増分値 0.001 で安全率は 1.04 と 4 % 増加する。さらに増分を 0.0001 にすれば，安全率は 6 % 増の 1.06 近くに及ぶ。一方，増分値を大きくすると，0.02 では安全率が 0.98 と 2 % 低下する。安全率は低減係数の増分値が小さくなるにつれて増加するが，安全率の増加率は低減係数の増分値が小さくなるにつれて徐々に低下する。このモデルの場合には安全率が概ね 1.06 付近に収束すると見込まれる。

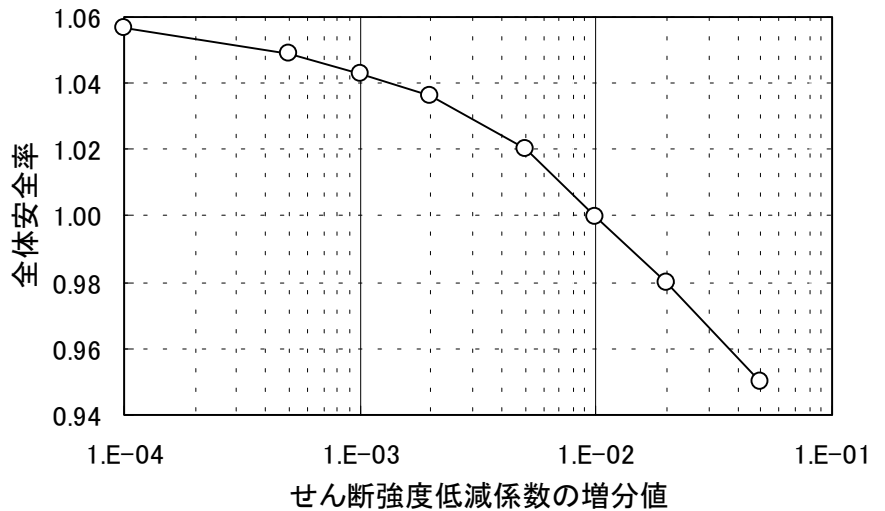


図- 2 せん断強度低減係数の増分と全体安全率の関係

このように低減係数の増分値を小さくすれば，安全率の精度が向上するものの，計算時間は飛躍的に増加する。計算時間の大半を占める弾塑性計算の繰り返し計算回数は，増分値 0.001 が増分値 0.01 の約 4 倍，増分値 0.0001 が増分値 0.01 の約 10 倍である。もちろん，現状の計算機(パソコン)では，増分値 0.01 も三次元弾塑性解析であるため計算時間がかかるので，繰り返し計算回数の著しい増加は避けたい。一方，安全率の精度は，増分値を 0.01 から 0.001 に変えたことによる向上の度合いに比べて，増分値を 0.001 から 0.0001 にすることによる向上の度合いが小さい。よって，計算時間を考慮すると，高い精度の安全率を要求された場合には増分値を 0.001 程度にすれば良いと思われる。

5 . まとめ

せん断強度低減法を組み込んだ三次元弾塑性 F E M で泥水掘削溝壁の安定性評価において，計算に入力する低減係数の増分値と安全率の関係を調べた。その結果，次のことがわかった。

- ・ 低減係数の増分値を小さくすると，安全率は増加する。
- ・ 安全率の増加は，低減係数の増分値が小さくなるにつれて低下する。
- ・ 対象としたモデルにおいては，計算時間を考慮すると，高い精度を要求される場合は増分値を 0.001 程度にすれば良いと考えられる。

しかし，ここで得られた低減係数の増分値と安全率の関係曲線はある 1 つのモデルに対するもので，安定液水位や地盤内水位あるいは地盤の物性や上載荷重などの条件が異なれば，その曲線の形状が変わることも予想される。今後は様々な条件で曲線の形状がどのようになるかを調べたいと考えている。

【参考文献】

1)片桐,他：砂地盤中の泥水掘削溝壁の破壊メカニズムとその解釈，土木学会論文報告集,No.666/ -53,pp.127-143,2000.12  
 2)鶴飼：弾塑性 F E M による斜面の全体安全率の計算方法，土質工学会論文報告集，Vol.29，No.1，1989  
 3)石井,他：砂地盤に構築された泥水掘削溝壁の三次元弾塑性 FEM による安定性の評価，土木学会論文集,No.673/ -54,2001.3