

泥水掘削溝壁の安全率に及ぼす泥水位、溝形状および上載荷重の影響に関する数値実験

中央大学 学生会員 倉持 祐介
 中央大学 学生会員 齋藤 正幸
 中央大学 正会員 齋藤 邦夫
 中央大学 正会員 石井 武司

1. はじめに

泥水掘削溝壁の安定性評価は、極限平衡法による簡便式が適用されてきた。しかしながら、同手法は、すべり面を仮定してから安全率を算出するため、最小安全率が得られるとは限らない等の問題が指摘されている¹⁾。これらを解決する評価手法として、せん断強度低減有限要素法(SSRFEM)が提案されており、この手法を用いた新たな簡便式の構築ができれば、より合理的な安定性評価が可能となる。本研究では、SSRFEM に具体的な掘削条件と、既往の研究で考慮されていなかった上載荷重を与えて、それぞれの要因の安全率に及ぼす影響を定量的に検討した。

表-1 三次元泥水掘削溝壁の計算ケース

項目	設定値
溝長さ: L	6, 9, 12m
溝深さ: D	15, 20m
水位差: H	0.5, 1.0, 1.5, 2.0m
上載荷重: Q	9, 18, 27, 36, 45kN/m ²
内部摩擦角: δ	30, 40°

2. 実験概要

2.1 掘削条件と地盤の物性値

泥水掘削溝壁の安定性に関わる要因は、溝形状、泥水位と地下水位の差および上載荷重が代表的であると考えられる。それぞれの値の影響を調べるために、表-1のような計算ケースを設定した。また、地下水位は地表面と一致させ、泥水位を降下させることで水位差を変化させた。地盤ならびに安定液については表-2のような物性値を設定した。

表-2 地盤および安定液の基本物性値

材料	物性	設定値
地盤	飽和単位体積重量: γ_{sat}	18kN/m ³
	ヤング係数: E	67500
	ポアソン比: ν	0.333
	粘着力: c	0
安定液	単位体積重量: γ_m	10.3kN/m ³

2.2 泥水掘削溝壁のモデル化

図-1 は本研究で使用した泥水掘削溝壁の解析モデルであり、その対象性より 1/4 モデルとした。解析領域は、X 軸方向にすべり線に影響が出ない程度の値として掘削長さの 2 倍、Y 軸方向は掘削長さの 1/2 の値、Z 軸方向は掘削深さの値とした。メッシュ分割は、X 軸方向は溝壁近傍から少しずつ間隔を広げて 10 分割、Y 軸方向に 10 分割、Z 軸方向に 20 分割とした。

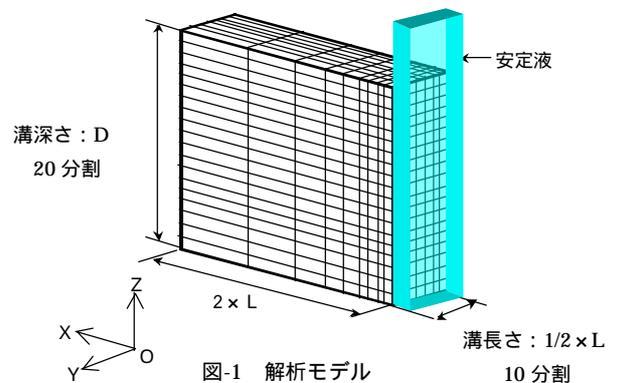


図-1 解析モデル

3. 実験結果

3.1 安全率関数

既往の研究の成果より、三次元泥水掘削溝壁の安全率は $\tan \delta$ に比例することが検証されており、

$$F_s = g(L, D, H, \gamma_{sat}, \gamma_m) \times \tan \delta \quad (1)$$

と表すことができる。ここに、L は掘削長さ、D は掘削深さ、H は水位差、 γ_{sat} 、 γ_m はそれぞれ砂、安定液の単位体積重量、 δ は内部摩擦角である。既往の研究では、上載荷重の影響が考慮されていなかったため、上載荷重を与えても安全率は $\tan \delta$ と比例関係になるのかを確認したのが図-2 である。上載荷重を与えたケースでも、安全率は $\tan \delta$ に比例することがわかる。これにより、式(1)は

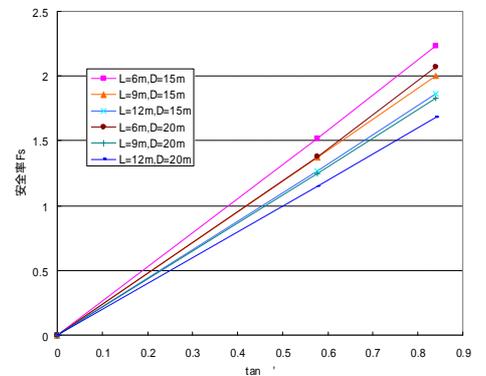


図-2 $\tan \delta$ と安全率 F_s の関係 ($Q=9kN/m^2$)

キーワード 泥水掘削溝壁 弾塑性 FEM 極限平衡法

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-4812

$$F_s = g(L, D, H, \theta, m, Q) \times \tan \phi \quad (2)$$

と書き換えることが可能となる。なお、式(2)中、 Q は上載荷重である。

3.2 上載荷重と水位差 H が安全率に及ぼす影響

図-3は $L=6m$ 、 $D=15m$ 、 $\theta=30^\circ$ とし、上載荷重 Q と安全率 F_s の関係を、 H をパラメータにして示したグラフである。上載荷重 Q が増えるにつれて、安全率は一様に低下する傾向が認められる。水位差の違いによる安全率の低下割合は、ほぼ一定となっている。

3.3 上載荷重と溝形状が安全率に及ぼす影響

$H=2.0m$ 、 $\theta=30^\circ$ の下で、上載荷重 Q と安全率の関係を、溝形状ごとに示したグラフが図-4である。参考のため、 $L=$ とした2次元FEMの結果も示す。溝長さが大きくなるにつれ、安全率が低減する傾向が認められる。安全率は L の大きさに依存しながら次第に低下し、2次元のケースに収束していく傾向が伺われる。同じ溝長さで比べると、溝深さが大きな方が安全率は低くなっている。

3.4 崩壊形状の分岐

数値実験結果より、崩壊形状を比較すると、いくつかのケースにおいて、すべり線が分岐するのが見出された。

図-5 a)、b)は溝形状($L=9m$ $D=15m$)と水位差($H=1.0$)が同じで、上載荷重を $Q=9kN/m^2$ 、 $Q=45kN/m^2$ とした場合の崩壊形状である。b)のように、上載荷重を大きくすると、すべり面が底面からだけではなく、地盤上部にも出現する。また、上載荷重の変化だけではなく、同じ条件で水位差のみを低下させた場合にも崩壊形状の分岐が見られた。水位差の変化による崩壊形状の分岐はすでに既往の研究でも指摘されている²⁾が、数値計算においてせん断強度低減係数を $1/10$ 程度にすることで、上部のすべり面から崩壊が起きていることを確認することが可能となる。

本実験では、水位差 $H=0.5m$ から $2.0m$ まで変化させておこなったが、 $H=2.0m$ の条件では分岐は起こらなかった。 $H=1.5m$ の場合、溝形状および θ によらず、 $Q=45kN/m^2$ で分岐がみられた。 $H=1.0m$ の場合は $Q=36kN/m^2$ から、 $H=0.5m$ では $Q=18kN/m^2$ からほとんどの溝形状で分岐が起きていた。以上より、分岐が起きているのは、おおむね図-3に示した点線の下範囲であると考えられる。また、上載荷重を与えない既往の研究では、分岐が起こったのは $H=0.5m$ の場合のみであった。つまり、上載荷重が大きいほど、また、水位差が小さいほど崩壊形状の分岐が起こりやすいと言える。

4 まとめ

今回までの計算ケースではSSRFEMによる簡便式の構築はできていないが、以下の結論を得た。

- ・ 溝長さ、溝深さ、上載荷重の増加、水位差の低下により安全率は低下する。
- ・ 水位差の低下および上載荷重の増加により、崩壊形状の分岐が起こる。

今後はすでにグラフ化できている水位差、溝長さ、安全率の関係を数式化し、安全率関数の変数を減らしていく。また、計算条件を増やすとともに、崩壊形状の分岐が起きる条件についても細かに検証する。

参考文献

1)石井武司 三次元弾塑性FEMによる三次元泥水掘削溝壁の安定性評価に関する研究, pp.21-41, 2004
 2)勝亦徹 泥水掘削溝壁の安全率に及ぼす泥水位ならびに溝形状の影響に関する数値実験, 2006

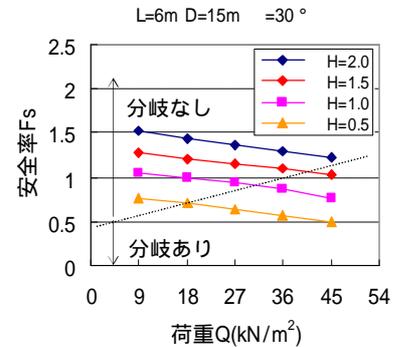


図-3 荷重および水位差と安全率の関係

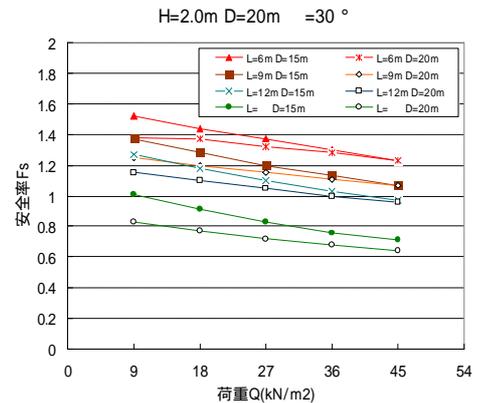


図-4 荷重および溝形状と安全率の関係

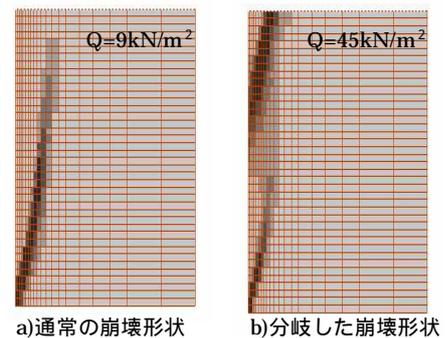


図-5 崩壊形状の分岐