

2層砂地盤における泥水掘削溝の安定性に関する数値実験

中央大学 学生会員 ○橋本拓樹
 中央大学大学院 学生会員 岡田亮平
 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

既往の研究において、一様な砂地盤における泥水掘削溝の溝形状や施工条件は安定性に大きな影響を与える¹⁾。一方、実地盤は一般に層構造を有しており、層厚比やそれぞれの層の地盤条件が泥水掘削溝の安定性に大きく影響する。そこで、本研究ではせん断強度低減有限要素法(SSR-FEM)を用いた数値実験で、せん断強度の異なる2層砂地盤の層厚と安全率の関係を調べ、さまざまな条件における泥水掘削溝の安定性を検討した。

2. 数値実験概要

2.1 SSR-FEM

SSR-FEMは、系全体の安全率を算定するために、せん断強度低減法を有限要素法に組み込んだ手法である。その有効性は既往の模型実験や数値実験との対応から確認されている²⁾。

2.2 計算条件

SSR-FEMを用いて2層砂地盤を対象とした数値実験を行う上で、溝形状、施工条件と地盤条件を表-1のように設定した。地下水位は地表面と一致させた。砂地盤を構成する各層の物性値を表-2に示す。今回の数値実験においては、上層と下層の内部摩擦角を入れ替えたケースも設定した。また、単位体積重量は上下層で同値とした。

2.3 泥水掘削溝壁のモデル化

解析モデルは図-1に示すように、泥水掘削溝壁の対称性から1/4モデルとした。

X軸方向の解析領域は、発生するすべり線に影響を与えない範囲として掘削長さの2倍、Y軸方向は掘削長さの1/2倍、Z軸方向は掘削深さとした。メッシュ分割は、溝壁からX軸方向に徐々に間隔を広げながら10分割、Y軸方向は10分割、Z軸方向は20分割とした。なお実地盤での掘削においては、地盤の崩壊を防ぐためにガイドウォール(コンクリート製の梁)が設置されている。それを考慮するために、上部隅角部に大きな粘着力を与えた。また、境界条件は図-1の解析モデルにおいて、下面はX軸とY軸とZ軸方向すべてにおいて固定し、左側面はX軸方向のみ固定し、右側面には圧力の差分を载荷した。正面はY軸方向のみ固定した。奥の面はX軸とY軸を固定した。

表-1 数値実験の設定条件

	項目	条件
溝形状	溝長さ L (m)	3, 6, 9, ∞
	溝深さ D (m)	10, 20, 30
施工条件	安定液の単位体積重量 γ_m (kN/m ³)	10.3
	安定液の水位差 ΔH (m)	2
地盤条件	層厚比 β	1/4, 1/2, 3/4, 1
	ポアソン比 ν	0.3
	粘着力 c (kN/m ²)	0
	内部摩擦角 ϕ' (°)	30, 35, 40
	地下水位	地表面に一致

表-2 砂層の物性値

内部摩擦角	N値	ヤング係数 E (kPa)	飽和単位体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)
$\phi' = 30^\circ$	15	37500	18
$\phi' = 35^\circ$	27	67500	18
$\phi' = 40^\circ$	42	104000	18

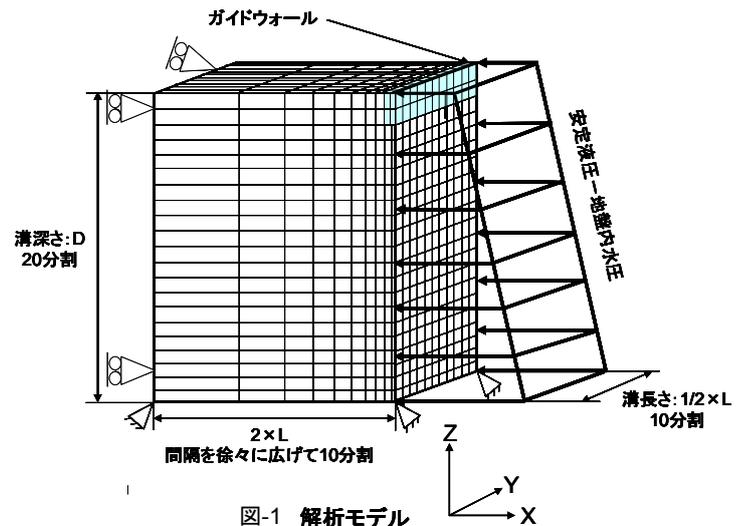


図-1 解析モデル

キーワード 泥水掘削溝 せん断強度低減有限要素法 (SSR-FEM) 安全率

連絡先 〒122-8551 東京都文京区春日 2-1-12 中央大学 理工学部 土木工学科 地盤環境研究室 TEL 03-3817-1812

3. 計算結果

3.1 溝形状と安全率の関係

本数値実験をまとめる上で、便宜上すべてのグラフは、図-2のように上層が疎で下層が密な2層地盤の層厚比は正の値をとり、上層が密で下層が疎な2層地盤の層厚比は負の値をとることとした。

図-2,3,4 から、2層地盤においても、溝長さの増加に伴って安全率が減少していることがわかる。溝深さと安全率の関係も同様に、溝深さの増加に伴って安全率が減少することがわかる。

3.2 層厚比と安全率の関係

図-2~4,図 6~9 から、密な地盤の層厚が増加するにつれて安全率も増加する傾向が捉えられる。

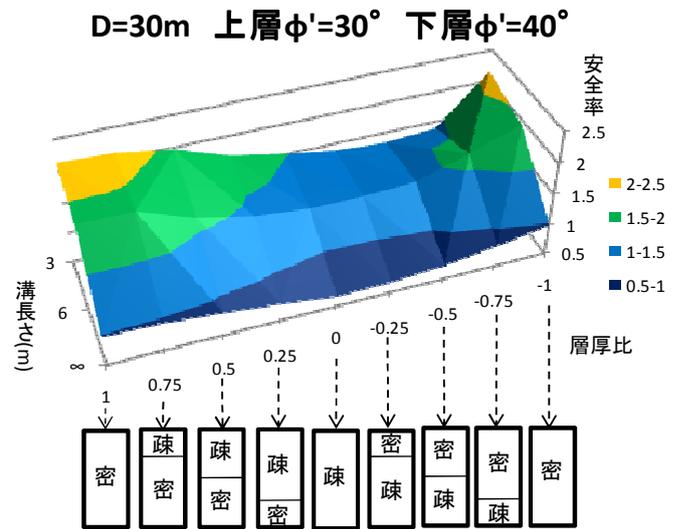


図-2 層厚比—溝長さ—安全率関係

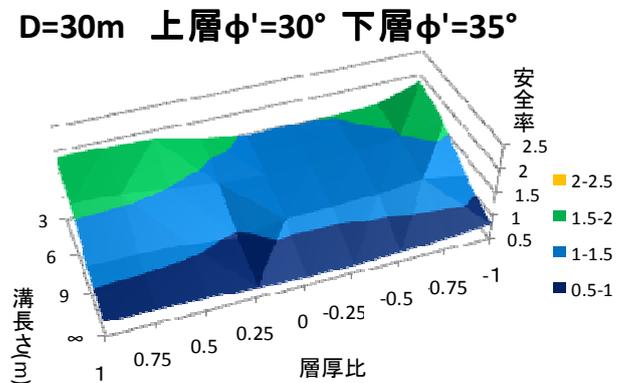
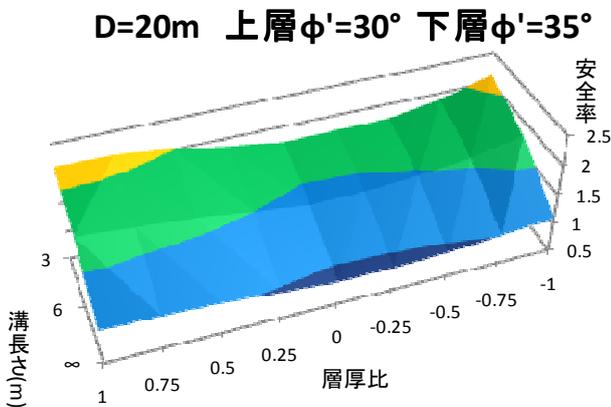


図-3 層厚比—溝長さ—安全率関係

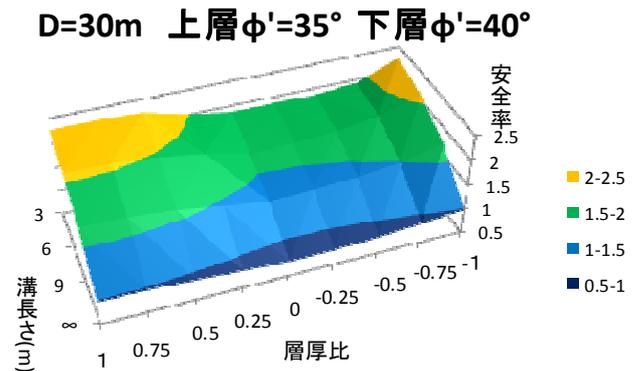
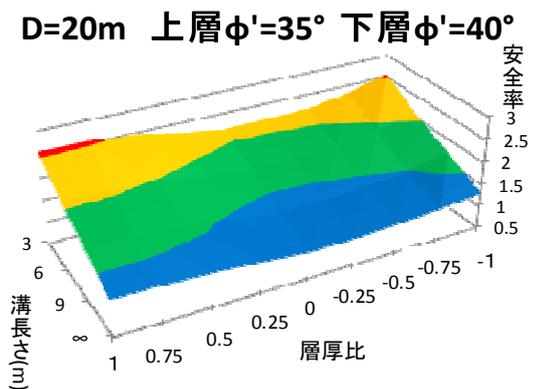


図-4 層厚比—溝長さ—安全率関係

また、上下層の内部摩擦角の差が同値でも、強度比は異なる。層厚比ならびに内部摩擦角差が同じ2層地盤でも、より密な地盤のほうが安全率は高くなることが図-6~9 から考察できる。また、強度比がより小さい2層地盤のほうが単層地盤に近いので、層厚比の変化による安全率の増減の幅が小さくなる。

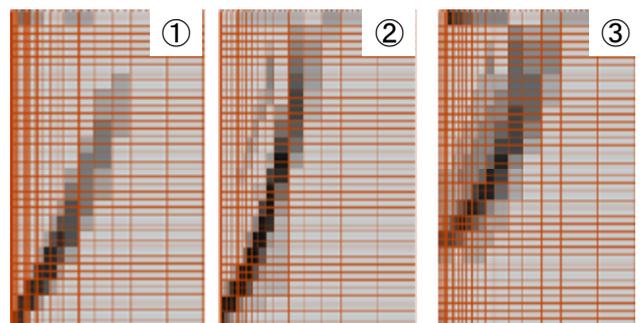


図-5 すべり線形状のパターン

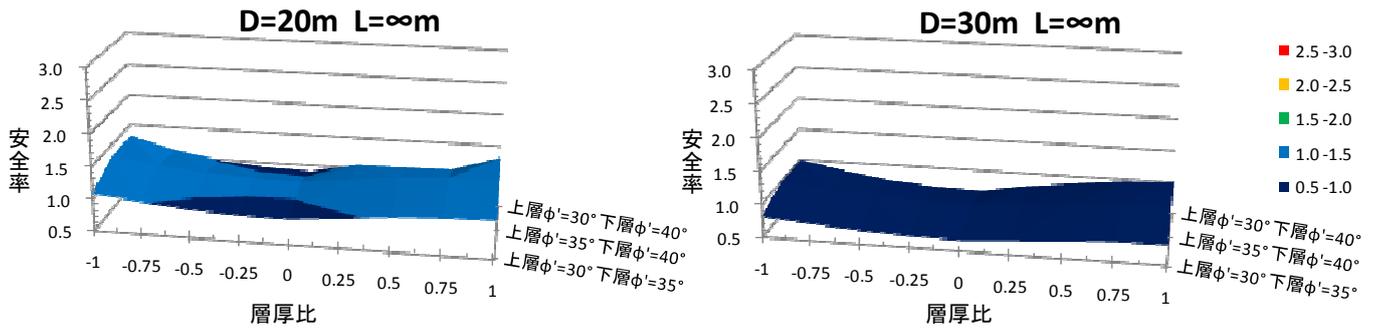


図-6 層厚比—強度比—安全率関係

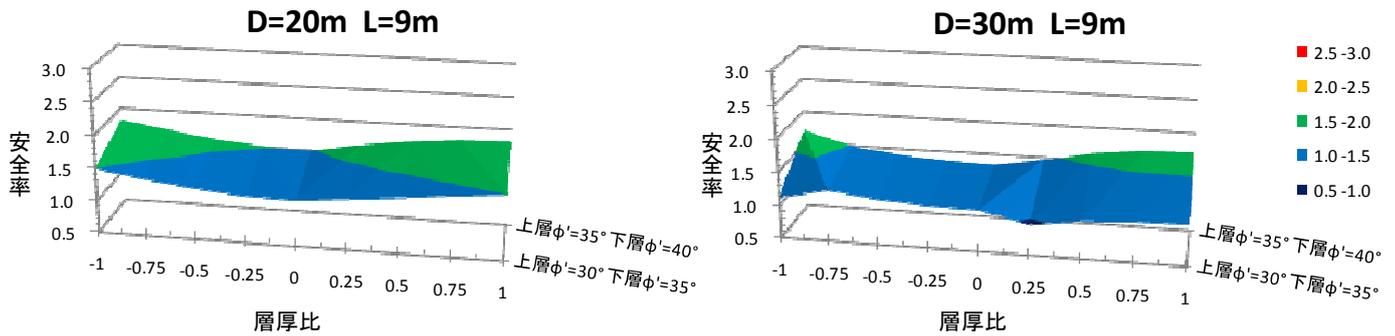


図-7 層厚比—強度比—安全率関係

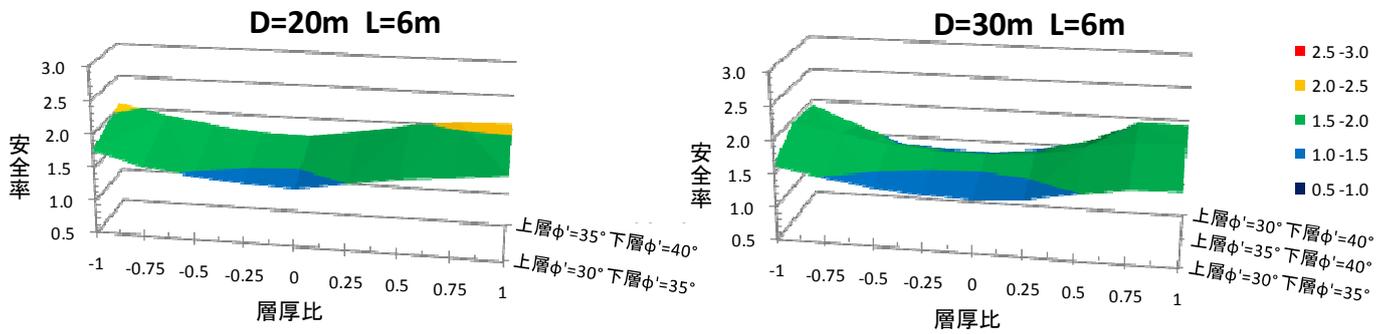


図-8 層厚比—強度比—安全率関係

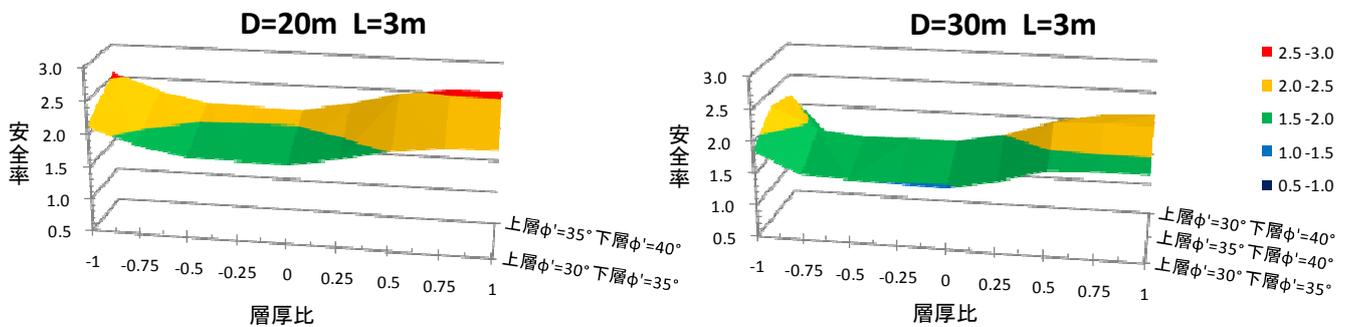


図-9 層厚比—強度比—安全率関係

3.3 層厚比—溝長さ—安全率の関係

図-2,3,4において、層厚比および溝長さと安全率の関係は、おおよそ同様の傾向を示している。すべり線形状はおおまかに、図-5のように3パターンに分けることができる。①は下端からすべり線が発生している。②は下端からすべり線が発生しているが、層境界からもすべり線が発生する。③は層境界からすべり線が発生している。

すべり線形状と計算結果を比較すると、溝長さが6m,9mと長い領域においては、すべり線が図-5③のように層境界から発生しているケースが多くみられた。また、溝長さが短い領域においては、すべり線が太めに現れる傾向が捉えられた。同様に、 $D=30(m)$ の計算ケースにおいても、すべり線が太く出る傾向が捉えられた。

次に、強度比と溝深さに着目する。図-2のように、強度比が大きいケースでは、安全率に対して層厚比の影響が大きくでる。しかし、図-3,4のように強度比が小さいケースに関しては、層厚比の影響は相対的に小さく、溝長さが安全率に及ぼす影響が、より大きくなる。

3.4 層厚比—強度比—安全率の関係

層厚比と強度比および安全率の関係を示した図-6～9より、溝長さが長くなるに従って、安全率に対する強度比の影響が徐々に小さくなっていく傾向が捉えられる。しかし、溝深さの違いによる層厚比、強度比の安全率への影響は、本数値実験ではみられなかった。また、強度比の影響が大きくなる傾向をとらえるため、今後は強度比を変化させた計算ケースで数値実験を行っていき、強度比が安全率に及ぼす影響について、より詳細に考察する必要がある。

4. まとめ

本研究から以下の知見を得た。

- ・ 2層地盤においても、溝形状の値の増加に伴い安全率は減少する。
- ・ 層厚比ならびに強度比が同じ2層地盤でも、より密な地盤のほうが安全率は高くなる。また、強度比がより小さい2層地盤のほうが単層地盤に近い場合、層厚比の変化による安全率の増減の幅が小さくなる。
- ・ 下層地盤の層厚が増加するにつれて、安全率は収束していく。よって $\beta(=0.75)$ 以上が大きい場合には、下層地盤のみで安全率を評価できる可能性がある。
- ・ $\beta=1/4$ の条件で、図-2右図のように層境界からすべり線が発生したケースが多くみられた。このケースに関しては、安定性は上層部のみで評価できる可能性がある。

本数値実験において、2層地盤における特性は以下ようになった。

- ① 強度比が大きいケースでは、安全率に対して層厚比の影響が大きくでる。強度比が小さいケースに関しては、層厚比の影響は相対的に小さく、溝長さが安全率に及ぼす影響が、より大きくなる。
- ② 溝長さが長くなるに従って、安全率に対する強度比の影響が徐々に小さくなっていく。安全率に影響を与える最も大きな要因とその条件を知る必要がある。
- ③ 2次元解析と比較して、3次元解析では層厚比による安全率への影響が大きくなる。このことから、数値実験ならびに泥水掘削溝壁の模型実験を3次元で行うことの意義が確認できた。

今後は、溝形状、層厚比および強度比とすべり線形状の関係を今以上に把握し、安定性を左右する最も大きな要因を追及する。また、破壊モードが変化する点を定義していき、2層地盤に適用できる安全率関数の構築を行う。

【参考文献】

- 1) 倉持祐介：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
第43回地盤工学研究発表会（2008）
- 2) 岡田亮平：SSR-FEMを用いた泥水掘削溝の安定性基準について
第7回地盤工学会関東支部発表会（2010）