

小型模型砂地盤に構築された 2 次元泥水掘削溝壁の安定性

中央大学大学院 学生会員 ○石井 嘉一
中央大学 正会員 石井 武司
中央大学 正会員 斎藤 邦夫

1. はじめに

地中連続壁工法は、掘削時に溝壁の押し出しや崩壊を防ぐため、溝を安定液で満たしながら掘削する泥水掘削工法が利用される。この泥水掘削溝壁の安定性に関して、遠心模型実験¹⁾を用いて評価することの有用性が認められている。ここでは、一般的な砂材料よりも密度が約 2 倍程度大きなクロマイトサンドを用いた重力場の小型模型実験³⁾を試みた。その有用性を検討するためせん断強度低減 FEM(以下、SSR-FEM と称す)²⁾による数値解析結果と実験結果の対比を行なった。なお、実験対象とする溝壁は溝壁安定問題を議論する上で基本となる 2 次元状態とした。

2. 解析モデル

対象とした泥水掘削溝壁は、溝深さ $z=1200\text{mm}$ 、溝幅 $b=80\text{mm}$ である³⁾。解析モデルは、図-1 に示すように模型実験装置と同寸法の 2 次元状態にし、メッシュ分割は、 z 軸方向に 20 分割、 x 軸方向は溝壁に近い方から少しずつメッシュ間隔を広げた。

解析には、MC-DP モデル²⁾を採用した。入力した地盤定数は、以下の通りである。まず、弾性係数 E とダイレイタンシー角 ψ' は、模型地盤と同じ相対密度のクロマイトサンドの三軸 CD 試験を実施し、平均土被り圧に相当する拘束圧から算定した。ポアソン比 ν 、内部摩擦角 ϕ' については、拘束圧を $50\sim 300\text{kPa}$ に変化させて三軸 CD 試験から算定した。また、既往のデータによると、クロマイトサンドの内部摩擦角 ϕ' は、相対密度 D_r が 15% 変化するとおよそ 1° 変化している⁴⁾。今回作成した模型地盤の精度 $D_r=60\pm 5\%$ 程度を考慮して $D_r=60\%$ の内部摩擦角 $\phi'=35^\circ$ に $\pm 1^\circ$ した 34° 、 36° についても行なった。粘着力 c' は、砂地盤を仮定し、 $c'=0$ とした。表-1 に使用した物性値を取りまとめて示す。

3. 崩壊時の安定液水位

模型実験より、地表面沈下量と安定液と地盤内の水位差の関係は、図-2 に示すような結果となった³⁾。

SSR-FEM は極限平衡法のようにすべり土塊の安全率を算定する手法である。既往の研究から、遠心模型実験との対比により SSR-FEM の泥水掘削溝壁への適用性が証明されている²⁾。SSR-FEM の定義から安全率 $F_s=1.0$ の時点が、泥水掘削溝壁の崩壊点となる。そこで、図-2 中の模型実験の降伏点、崩壊点に対応する水位差に対する安全率を SSR-FEM で求めた。図-3 がその結果である。同図より降伏点および崩壊点の水位差に対する安全率は、 $F_s=1.0$ 以下となった。さらに、実験は平面ひずみ状態を仮定しているため、内部摩擦角 ϕ' は三軸状態よりも大きい²⁾ことから、内部摩擦角 $\phi'=40^\circ$ と仮定しても $F_s=1.0$ 未満であった。

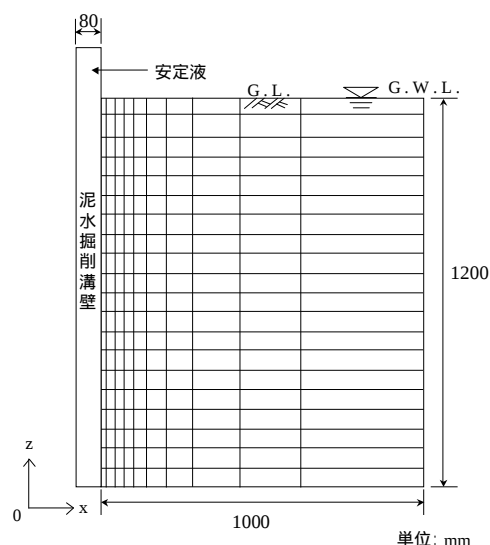


図-1 泥水掘削溝壁の解析モデル

表-1 解析に使用した地盤と安定液の物性値

材料	物性	設定値
模型地盤	飽和単位体積重量: γ_{sat}	30.9 kN/m^3
	弾性係数: E	$2,000 \text{ kN/m}^2$
	ポアソン比: ν	0.299
	粘着力: c'	0 kN/m^2
	内部摩擦角: ϕ'	$34, 35, 36^\circ$
安定液	ダイレイタンシー角: ψ'	14°
	単位体積重量: γ_m	10.5 kN/m^3

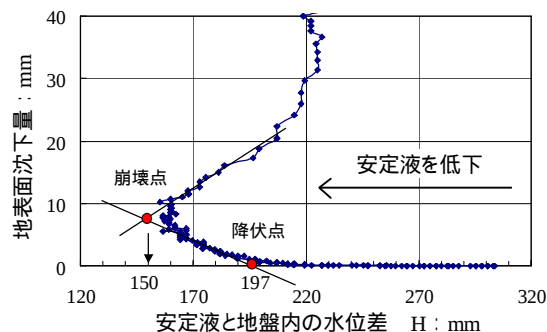


図-2 地表面沈下量と水位差との関係

キーワード 2次元泥水掘削溝壁 小型模型実験 安定性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 地盤環境研究室 TEL 03-3817-1812

溝壁の安定性を高める要因として抵抗が考えられ、壁面の摩擦の影響を考えた。実験からも、地表面におけるすべり面はガラス面で動きが拘束されているのを、実験終了後の地表面観察できた³⁾。この現象を解析モデル化するために、図-4 に示すように内部摩擦角が小さい $\phi' = 20^\circ$ の薄い膜状のソリッド要素を入れることによって再現した。その結果を、図-3 に重ねた。壁面の摩擦を考慮すると、全ての水位差に対して安全率が大きくなる。ガラス面の摩擦を考慮することによって、まだ若干差はあるものの SSR-FEM と模型実験結果の安全率は、前述した場合より良い対応関係になる。模型実験で、作成した地盤の内部摩擦角の変化(相対密度のパラツキ)より、壁面の摩擦は、実験結果に大きな影響を与えたことがわかった。

4. 崩壊形状

模型実験の崩壊形状は、変位マーカの動きから図-5 のように推定した。ただし、いくつかのマーカが、実験中ガラス面との摩擦のため動いていないというのを確認した。そのため変位ベクトルからのすべり線は、明確に定義することはできないが、崩壊後による地表のすべり線の位置(溝壁から 200mm)³⁾からおおよそのすべり線とみなした。

一方 SSR-FEM の解析で得られた八面体せん断ひずみ増分を図-5 に示す。これは降伏点の水位差 $H=150\text{mm}$ の地点で、壁面の摩擦を考慮したケースである。(b)は、溝長さ $y=0\text{mm}$ の位置で、(c)は $y=260\text{mm}$ の位置に関して、壁面の摩擦の影響がすべり線に与える影響を比較した。SSR-FEM の濃淡は青、緑そして赤に近づくにつれてひずみ増分が大きくなる。これよりすべり線の位置を推定した。

模型実験で得られた地盤内の変位ベクトルと SSR-FEM で得られたすべり線は、ほぼ同じ位置にある。さらに、すべり線の形状がおおむね類似している。しかし既往の研究ではすべり線は、溝壁底部から生じるとされている¹⁾。このようなすべり線は図-5 (c) $y=260\text{mm}$ の位置のものが相当する。これより壁面の摩擦の影響によってすべり線が溝壁底部から上昇することが分かる。

5. まとめ

SSR-FEM に壁面の摩擦を考慮することによって、模型実験結果を十分説明することが可能となった。壁面の摩擦を低減し本来の変位ベクトルを得ることが可能になれば、クロマイトサンドを用いた重力場の小型模型実験は、泥水掘削溝壁の安定性を解明する実験手法として有効である。

【参考文献】

- 1) 片桐ら(2000): 砂地盤中の泥水掘削溝壁の破壊メカニズムとその解釈, 土木学会論文集, No.666, pp.127-143
- 2) 石井ら(2001): 砂地盤に構築された泥水掘削溝壁の三次元断塑性 FEM による安定性評価, 土木学会論文集, No.673, pp.1-14
- 3) 榎木ら(2007): 砂地盤内の 2 次元泥水掘削溝壁の崩壊挙動, 第 34 回 土木学会関東支部技術研究発表会(投稿中)
- 4) 木村ら(2006): 小型模型実験に使用するクロマイトサンドの物理・せん断特性, 第 33 回 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集

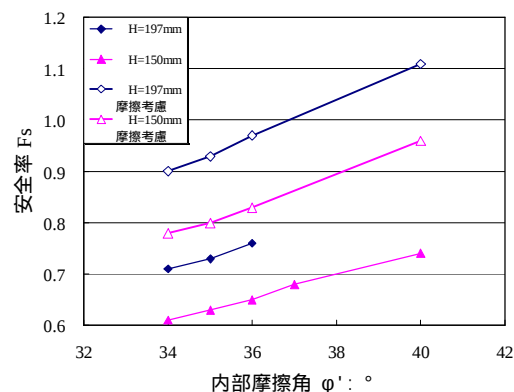


図-3 水位差 H に対する安全率と内部摩擦角の関係

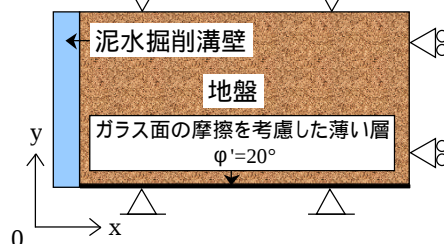


図-4 壁面の摩擦を考慮した解析モデル

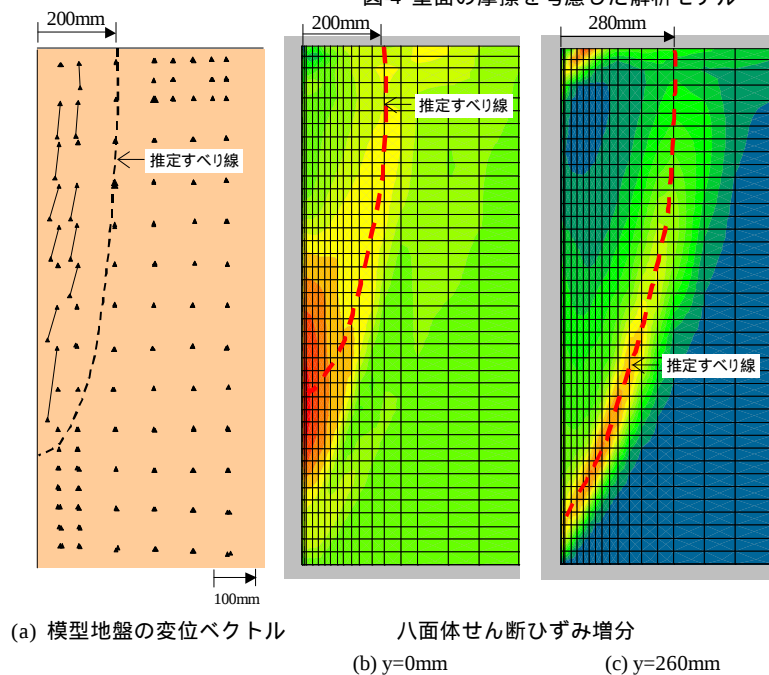


図-5 崩壊形状の比較