砂地盤に構築した泥水掘削溝隅角部の安定性に関する数値解析

泥水掘削溝壁 隅角部 数值解析

学生会員 ○安佐伊 弘貴 中央大学

中央大学 正会員 齋藤 邦夫

石井 武司 中央大学研究開発機構 正会員

1. はじめに

連続地中壁工法では, 構造物の本体および仮設として利用されることから, 必然的に溝壁が交差する箇所が 発生し、多くの形状が存在する.しかしながら、こうした隅角部の安定性に関する研究が現状では少ない.そ こで本研究では、多くの工事事例報告を収集・分析した結果¹⁾に対して、せん断強度低減有限要素法 (SSR-FEM)を適用し、数値解析の面から安定性を吟味する.

2. 計算手法の確認

溝壁崩壊の原因は、地下水位の上昇や泥膜の不良といったケースもあるが、安定液の逸水、供給不良等による 安定液の低下によるものが圧倒的に多い. 泥膜が良好に形成されていると仮定し, 溝壁の安定性を評価する方 法として、半円形すべりの方法、三次元円筒すべりの方法、プロトジャコノフの方法などがある.これらはす べて崩壊形状を規定していることに問題点がある、崩壊形状は、溝長さ、溝深さなど溝形状により変わってく るため、これらの計算方法では評価することが難しい. 上記の方法では三次元解析手法として必要な条件(鉛 直方向のつり合い、水平方向のつり合い、モーメントのつり合い)を完全には満たしていなく、すべての方法 ですべり面を仮定し、安全率を求めていた、しかもそれぞれで求められる安定率の解釈に統一性がなく、実務 上での取り扱いは参考値にとどまっており、実際には経験に基づいて施工されてきた. しかしながら安全率は 溝形状, 溝深さおよび泥水と地下水位によりすべり面の形状が変わってくる. また FEM 解析では各要素の応力 状態が求まるので、要素の局所安全率は得られるが、系全体の安全率はそれだけは求まらない、しかしながら 本研究で用いたせん断強度低減法を組み込んだ三次元弾塑性 FEMではすべり面を仮定せずに、かつ極限平衡 法に基づく安全率の概念と矛盾しない系全体の安全率を算定できるという点において優位である.

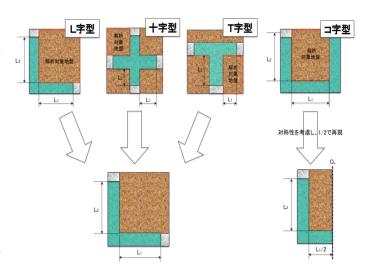
3. 溝形状に関する数値実験

3. 1 数值計算手法

数値計算に適応して、SSR-FEM はすべり面を仮定す ることなくすべり面と系全体の安全率を求めることが できる。実務2)でも使用例が多い.

3.2 解析モデルと計算条件

連壁隅角部は、L字型、十字型、T字型、およびコ 字型に分類される. T字型と十字型はその対称性から L字型に単純化できるため、隅角部では、図-1 に示す ようにL字型とコ字型の 2 つに集約される. 本研究で は検討対象をL字型とする. 計算に用いた地盤および 安定液の条件を表・2 に示す. また, 実務において地中 連続溝壁を施工する場合は、隅角部に隣接する直線部



L字型、十字型、T字型、コ字型モデル 図-1 隅角部形状の再現方法

を先に掘削してコンクリート壁で作られる。これを先行壁という。その後に隅角部を掘削する。このことを考慮し先行壁の物性値を表-3 のように設定した。図-2 にL字型解析モデルの寸法を表-1 に示す。有限要素分割は、20 節点六面体要素を適用することを踏まえて、図-3 のように溝壁付近を密にし、 \mathbf{Z} 方向には $\mathbf{1}$ m間隔とした。モデル寸法を表す各用語の定義は次のとおりである。 \mathbf{L} [m]:直線部、 $\mathbf{L}\mathbf{1}$ [m]:隅角部長辺掘削長、 $\mathbf{L}\mathbf{2}$ [m]:隅角部短辺掘削長、 $\mathbf{L}\mathbf{1}$ [m]:隅角部総延長、 $\mathbf{L}\mathbf{2}$ LL1:溝長さ比、 $\mathbf{L}\mathbf{1}$ H [m]:地下水と安定液の差とする。

表-1 モデル寸法

/	
A [m]	15
<i>B</i> [m]	15
<i>Zp</i> [m]	22
Z [m]	20
<i>b</i> [m]	1.5

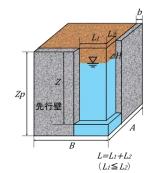


図-2 L字型解析モデル

| 13m | 20分割 | 14m | 11分割 | 20分割 | 14m | 11分割 | 20分割 | 14m | 11分割 | 11分

図-3 解析に用いたメッシュ

表-2 地盤および安定液の条件

材料	物性	設定値	
砂地盤	単位体積重量: γs	18.0 <i>kN/m</i> ³	
	ヤング係数: E 50	67,5000 <i>kN/m</i> ²	
	ポアソン比: v'	0.3	
	せん断抵抗角:Φ	35°	
安定液	単位体積重量 : γ _m	10.30kN/m³	
	水位差:⊿H	1.5m	

表-3 先行壁の物性値

材料	物性	設定値	
先行壁	単位体積重量: γs	24.0kN/ <i>m</i> ³	
	ヤング係数: E 50	2,000,000kN/m ²	
	ポアソン比: ν'	0.333	
	せん断抵抗角:Φ	35°	
	粘着力:c	10,000 <i>kN/m</i> ³	

3. 3 計算ケース

数値実験の計算ケースで設定すべき ものは、物性値、水位差、および隅角部 の寸法である. 物性値は既往の研究3)4) との整合性を図ることから、それらと同 じ数値を用いた.表-2に地盤と安定液の 物性値を,表-3に先行壁の物性値をそれ ぞれ示す. 水位差⊿H は 1.5mとした. 既 往の研究4)によれば、隅角部寸法と安全 率 Fs との関係曲線の形状は水位差で大 きく変わることがない. よって, 水位差 にはその代表値として安全率が 1.0 以上 となる 1.5mを採用した. 隅角部の寸法 を原尾らの事例分析結果1)より図-3の 直線部掘削長 L と隅角部総掘削長 L12, 表-4 の隅角部総掘削長 L12 と溝長さ比 L2/L1 の関係ならびに表-5 の直線部掘削 長 L と隅角部長辺掘削長 L1 に基づいて 設定した. また、安定性(安全率)に与 える地盤と安定液の物性値や水位なら びに溝長さの影響を溝壁直線部で評価 し, 隅角部の安定性に及ぼす形状効果を, [隅角部の安全率] / [直線部の安全率] で検討した.

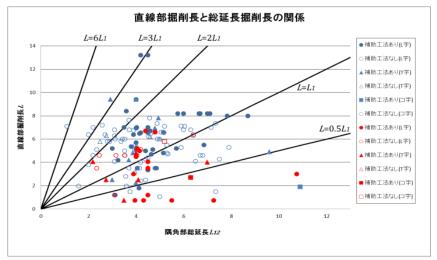
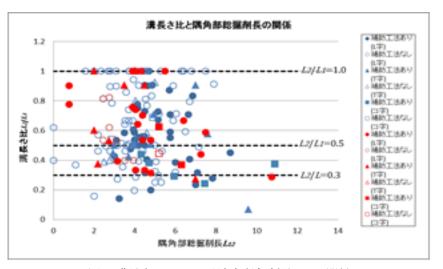


図-4 直線部掘削長 L と隅角部総延長 L 1 2 の関係



数値実験を大きく2つのシリーズに分

図-5 溝長さ比 L2/L1 と隅角部総掘削長 L12の関係

けて設定した. シリーズ1は、図-4の L12 に着目している. この図によると、事例の多くは3~8mの区間に

分布する. また、溝長さ比 L2/L1 では、多くの事例が $0.3\sim1.0$ の範囲にあり、特に 0.5 の付近に集中する.

そこで、L12 を 3m, 4m, 5m, 6m, ならびに 8mに選定した。その溝長さ比 L2|L1 は 0.3, 0.5 および 1.0 とした.それらのケースを表-4 に示す.シリーズ 2 では,長辺掘削長 L1 に着目し,短辺掘削長 L2 を 1~5mの範囲で 1m単位ごとに溝形状を表-5のように設定した.

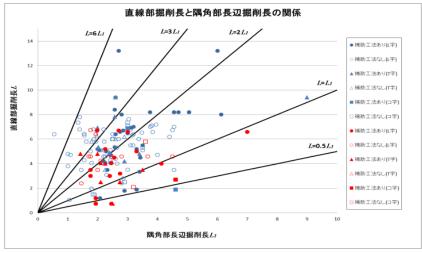


図-6 直線部掘削長 Lと隅角部長辺掘削長 L1の関係

<u>4. 解析結果</u>

シリーズ 1 の解析結果はこのようになった. それらの結果を図-7 に示す. 既往の研究 314 より隅角部の安定性は,直線部と同様に掘削する長さが長くなるごとに低下することが分かる. また,掘削する長さに拘らず,溝形状の中で長辺掘削長 L1 と短辺掘削長 L2 の比に着目すると L1: L2 が 1:3 の時最も高い安全率を示すことが分かった. 直線部と比較してみると, $1:2.5 \sim 1:4$ の間については,直線部よりも高い安全率を示していることが分かった. これは,既往の研究では隅角部よりも直線部の方が安全率が高いとされてきた

秋-4 シケ ハ 1					
ø =35° Z=15m	<i>L12</i> [m]	$L_1[m]$	$L_2[m]$		
case1		1.5	1.5		
case2	3	2.0	1.0		
case3		1.5	0.5		
case4		2.0	2.0		
case5	4	2.7	1.3		
case6		3.0	1.0		
case7		2.5	2.5		
case8	5	3.3	1.7		
case9		3.8	1.2		
case10		3.0	3.0		
case11	6	4.0	2.0		
case12		4.5	1.5		
case13		4.0	4.0		
case14	8	5.4	2.6		
case15		6.0	2.0		

表-4 シリーズ1

表-5 シリーズ 2					
	/	長辺掘削長[m] <i>L1</i>			
		2	3	4	5
2	1	0	0	0	0
短辺掘削長[m] <i>L2</i>	2	0	0	0	0
	3	ı	0	0	0
	4	_	_	0	0
	5	-	-	-	0

が、この間については直線部の方よりも高い安全率を示すことが確認できた。シリーズ2の解析結果はこのようになった。それらの結果を図-8に示す。シリーズ1と同様、掘削の長さが長くなるごとに安全率は低下していくことが分かる。また、長辺掘削長 L1 を固定し、短辺掘削長 L2 を伸ばしていくと、長辺掘削長 L1 と短辺掘削長 L2 が 1:1 になるにつれて安全率が 1.0 へと近づいていく傾向が見られた。

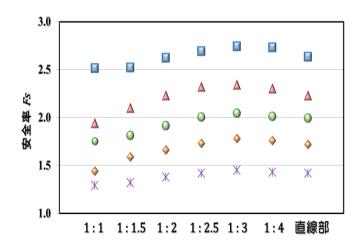
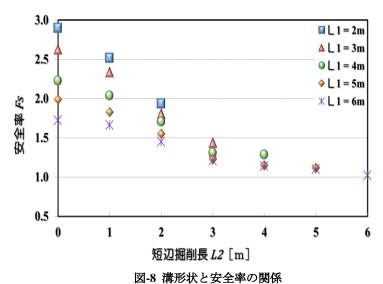


図-7 溝形状と安全率の関係



5. まとめ

本研究では、数値実験を実施することで施工実績や経験などに基づいて施工されてきた隅角部の安定性に対して明確な根拠を与えることを目的としてきた.砂地盤中に構築された溝壁の安定性を評価するための手法として SSR-FEM を使い検討した.以下に主要な結論をまとめる.

- (1) 隅角部では、形状の違いにより安定性に影響を及ぼすことが確認できた.
- (2) 掘削する長さが長くなるにつれて、安全率は低下していくことが分かった.

これ以降の研究の成果については、発表当日に報告するとする.

【参考文献】

- 1) 原尾智博:施工事例から見た泥水掘削溝壁の隅角部の形状,第11回地盤工学会関東支部発表会,2014
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社:地下連壁の溝壁安定の設計施工の手引き (2003)
- 3) 本田敦久: 泥水掘削隅角部の安定性に関する研究, 地盤工学会 第 50 回地盤シンポジウム, pp.377~384, 2005.
- 4) 田沼憲一: 泥水掘削溝壁の隅角部安定性に関する検討, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会, 2012
- 5) 樋口,他(1994):砂地盤に築造される泥水掘削溝の新しい計算法,土と基礎, Vo142

Numerical experiments on the stability of mud drilling groove corners

ASAI, Hirotaka Chuo University SAITO, Kunio Chuo University ISHII, Takeshi Chuo University