

地下連続壁の溝壁安定解析の安全率に関する研究

東日本旅客鉄道株 正会員 渡邉明之
 正会員 加藤清亮
 渡辺泰孝
 群馬大学 工学部 正会員 鶴岡恵三
 (株)日建建設シビル 正会員 石井武司

はじめに

地下連続壁は、深い掘削や軌道に近い箇所での掘削施工を行う場合に、仮設もしくは本設の土留め壁として用いられる。近年、都市部の狭小箇所での土地の高度利用計画などが進むにつれて、地下連続壁を利用した掘削は増えてきた。しかし、地下連続壁は剛性が高く、壁体として信頼性が高いが、壁を構築する過程で索掘りとなることから、施工時の溝壁安定および溝壁の変形による既設構造物への影響に関する検討が重要になる。特に、近接工事では地盤の変形量にも気を配る必要がある。ところが、極限平衡法に基づく従来の手法は変形量を評価することができない。そこで、これらの問題点を解決するため、新しい手法として“せん断強度低減法を適用した弾塑性FEM（以下、SSR-FEMと呼ぶ）”を採用した。

従来、溝壁安定の確認に、“半円筒すべり法”、“三次元円筒すべり法”、“プロトジャコフ法”などの極限平衡法に基づく手法が用いられてきた。これらはそれぞれ独自の崩壊形状を想定し、力の釣合いで安全率を求めている。これらの方は、すべり面形状の仮定や三次元効果の評価などに課題があり、精緻な解析となっていない。本研究では、SSR-FEMと従来の極限平衡法による解析結果を4種類のモデル地盤で比較した結果を報告する。

1. 安全率の設定

(1) SSR-FEMによる解析の場合

SSR-FEMとは、仮定した変数Fで割った土のせん断強度をFEM解析で用いる。このFが小さい場合は、地盤全体がほぼ弾性応力状態となる。段階的にFを増加させると、ある段階で変位が収束せずに反復計算が発散する。そのときのFを崩壊に至ったときの全体安全率(=Fa)と定義する。なお、地盤は完全弾塑性体と仮定しており、破壊規準はMohr-Coulomb式(式-1)、塑性ポテンシャルはDrucker-Prager式を用いている。鉄道基準¹⁾では、SSR-FEMによる連壁の溝壁安定検討に用いる安全率の目標値を以下としている。

$$f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (\text{式-1})$$

f : 土のせん断強度
 c' : 土の粘着力
 φ' : 土の内部摩擦角(せん断抵抗角)

・地下水位より泥水位の方が2m以上高い水位の場合は、Fa=1.350(低減係数の増分値 F=0.001とする。)

・地下水位より泥水位の方が0.5~2.0m高い水位の場合は、エレメント長を1ガット程度(=3m程度)とすることを前提として、安全率の目標値を漸増している。

(2) 極限平衡法による解析の場合

極限平衡法による解析の場合は、解析手法ごとに安全率の目標値が異なる。鉄道基準²⁾では、一般的に用いる値として以下を示している。ここでは、プロトジャコフの方法と三次元円筒すべりの方法について比較した。この2つの方法における崩壊形態を図-1に示す。

- ・プロトジャコフの方法 粘性土 Fa=1.2, 砂質土 Fa=1.2(一般的な近接工事の場合)
- ・三次元円筒すべりの方法 粘性土 Fa=1.5, Fa=1.5(一般的な近接工事の場合)

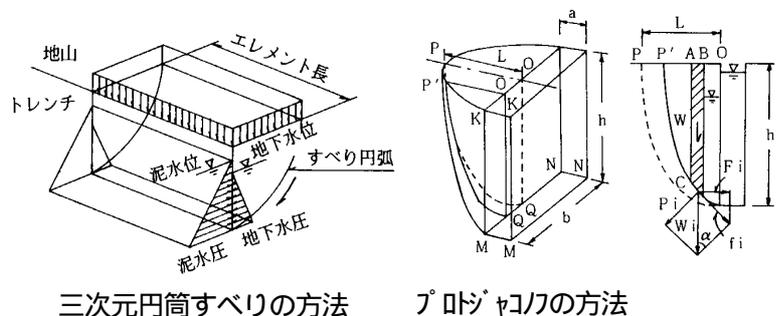


図-1 極限平衡法における崩壊形態

キーワード：地下連続壁 泥水 地盤の変形 数値解析 掘削 土留め

連絡先：〒151-8578 東京都渋谷区代々木2丁目2番2号 Tel03-5334-1288 FAX03-5334-1289

2. 解析結果の検証

(1) 解析モデル

解析ケースは、解析対象、ガイドウォール形状と物性値、ならびに上載荷重を一定の値として、泥水位と地下水位の水位差及び地盤条件をパラメータとして表1 に示す4つ(case1~4)を設定した。

水位差は、0.5~3.1m、一般的な砂質土、粘性土を想定した。いずれのケースも、極限平衡法およびSSR-FEMで算定される安全率が目標とする安全率を満足するようにした。なお、その他の条件については、解析対象を深さ20m、ガイドウォール形状を幅0.5m、深さ1m、その剛性を鉄筋コンクリートと同程度の24N/mm²、上載荷重を溝壁面から3mの位置まで30kN/m²の等分布荷重とした。解析モデルを図-2に示す。

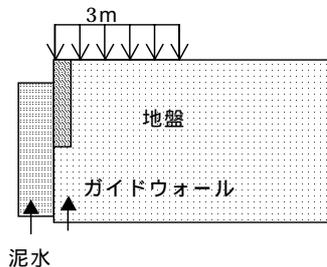


図-2 解析モデル

ケース名	水位差 (m)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	変形係数 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
case1	2.0	50	0	10500	16	0.495
case2	2.0	65	0	10500	16	0.495
case3	0.5	65	0	10500	16	0.495
case4	3.1	0	35	50000	18	0.33

(2) 解析結果の比較

極限平衡法による解析で求まる安全率 Fa と SSR-FEMによる解析によって求まる安全率 Ff を比較した。プロトジャコノフの方法と3次元円筒すべりの方法及びSSR-FEMによる方法は目標とする安全率が異なるため、式-2によりSSR-FEMの目標とする安全率に正規化した。図-3に正規化した安全率 Fn の比較結果を示す。

$$Fn = Ft \times \frac{Fa}{Fs} \quad (\text{式-2})$$

$$Fn = Ff$$

Fa: 既往解析による安全率

Fs: 既往解析で目標とする安全率

Ff: SSR-FEM で目標とする安全率で正規化した既往解析結果の安全率

R: SSR-FEM で目標とする安全率

図-3の直線は、鉄道基準でのSSR-FEMで解析した場合の目標とする安全率である。図-3より、極限平衡法による解析結果は、水位差や地盤条件によらず、SSR-FEMの解析結果に比べて小さな安全率を算出する。

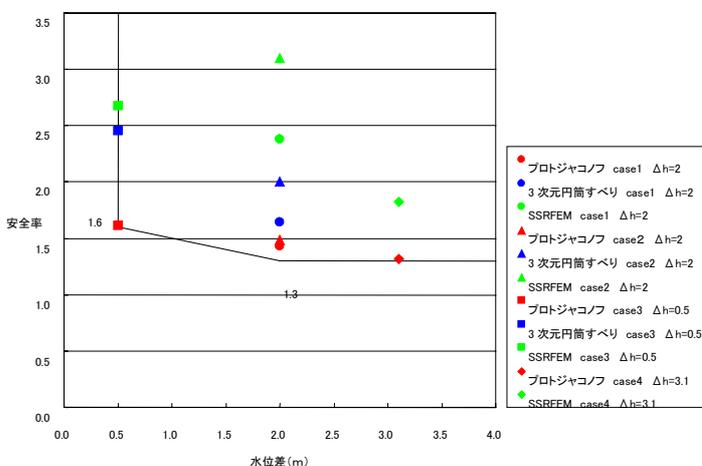


図-3 既往の解析手法とSSR-FEMでの解析結果の比較

4. まとめ

SSR-FEMによる安定解析は、破壊の形状を仮定せずに、地盤条件や溝壁の形状などの条件を与えた三次元弾塑性FEMでその形状と安全率を算定することから、より精緻な解析であるといえる。この解析手法から見ると、極限平衡法による解析は安全率を過大に評価していると思われる。よって、SSR-FEMによる地下連続壁の溝壁安定解析を適用すれば、溝壁および地盤改良等の防護工を合理的に計画・設計できると期待される。

おわりに

本研究では、既設構造物に近接して地下連続壁の溝壁安定を設計する上で、SSR-FEMの特性を明らかにすることができた。今後、大規模な地下開発において地下連続壁が適用機会も多くなり、規模も大きくなることを考えると、実務者が設計する上で安全かつ経済的な地下連続壁の溝壁安定解析手法が求められる。研究により解析手法を確立することは非常に有意義なことであると考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会 地下連続壁の溝壁安定の設計施工の手引 2003.4
- 2) ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 近接工事設計施工標準 平成11年9月
- 3) 渡邊明之他 地下連続壁の安定解析に関する研究 第38回地盤工学研究発表会 2003.7