

Ⅲ-378

上向きシールドにおける切羽の安定解析

大成建設 正会員 加納 宏一
 五洋建設 正会員 佐藤 慎
 大成建設 正会員 小坪 千野
 大成建設 正会員 高島 良
 大成建設 正会員 杉藤 哲也

1. はじめに

上向きシールドは、重力作用方向と反対方向に地盤を掘削するため、切羽前方の地盤の応力状態は通常の横方向掘削シールドと比べて異なることが予想される。そこで、有限要素法によって切羽前面の周辺地盤に対する極限安定解析を実施し、切羽面の作用荷重や掘削径などの掘削条件の違いによって切羽の安定性に与える影響について検討を行なった。

2. 解析内容

使用した有限要素法解析モデルの概要を図-1に示す。解析はシールドトンネルの中心軸を回転軸とする軸対称問題として扱った。地盤は8節点4変形要素で、セグメントは剛性無限大に仮定した軸対称シェル要素で、地盤とセグメント間の挙動は摩擦係数ゼロの軸対称ジョイント要素でそれぞれモデル化した。解析は、「地盤～構造系の汎用解析プログラムNAPG/2D」³⁾を使用し、Mohr-Coulomb降伏条件による完全弾塑性解析を行なった。

有限要素法による地盤の極限耐力解析は小林ら¹⁾²⁾によって既に行なわれ、斜面の安定係数や地盤の支持力係数とよく一致することが示されている。そこで、上向きシールドの切羽周辺地盤に対して有限要素法による弾塑性解析を用いた極限安定解析を実施した。すなわち、地盤の強度定数(C , $\tan \phi$)を一様に低減していった場合、切羽前面の周辺地盤の降伏領域が拡大し周辺地盤が構造系として成り立たなくなる限界の低減係数を、切羽前方地盤の安全率 SF として考える。このとき、低減された地盤の強度定数 C' と $\tan \phi'$ を解が収束する限界の値であるとすれば、安全率 SF は次のように定義される。

$$SF = C/C' = \tan \phi / \tan \phi'$$

3. 解析パラメータ

地盤の安全率算定で用いる掘削条件パラメータとして、掘削径、土被り厚および切羽面に作用する荷重を考える。切羽面に作用する荷重に関しては、掘削解放力の鉛直成分 P_v および P_v と値が同じで作用方向が反対すなわち鉛直上向きの荷重 F_v を考える。そして、掘削解放力 P_v と同時に切羽面に $\alpha \cdot F_v$ を作用させる(図-2参照)。

$\alpha \cdot F_v$ はシールドマシンの推進力等に対応して切羽面に作用する力と考えることができる。また、 α は切羽前方の土圧状態を表わす定数であり、 $\alpha =$

$0. \sim 1.$ の場合主働土圧側の状態を、

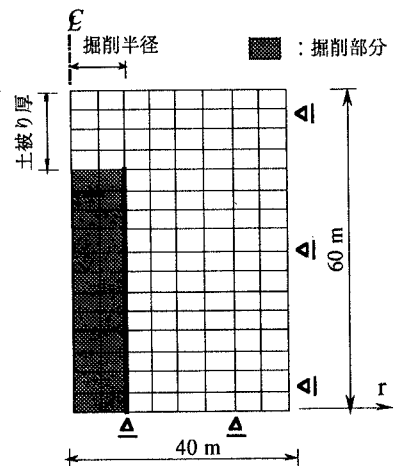


図-1 解析モデル概略

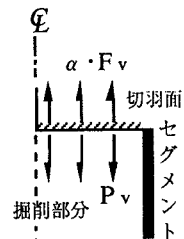


図-2 切羽面に作用する荷重

表-1 材料定数

種類	地 盤				
	変形形数 E (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 r (kgf/cm ³)	粘着力 c (kgf/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
粘性土	20.	0.4	1.8×10^{-3}	0.5	0

表-2 掘削条件パラメータの値

掘削径 (m)	土被り厚 (m)	切羽面に作用する荷重を表す係数 α	
		主働土圧側	受働土圧側
3, 4, 5	40, 30, 20, 10	0.6, 0.7, 0.8, 0.9	1.1, 1.2, 1.3, 1.4

$\alpha = 1$ 以上で受働土圧側の状態を表している。特に、 $\alpha = 0$ は素掘り状態を表す。地盤モデルとして、均一な粘性土地盤を想定した。地盤定数の値を表-1に、その他の掘削条件パラメータの値を表-2に示す。

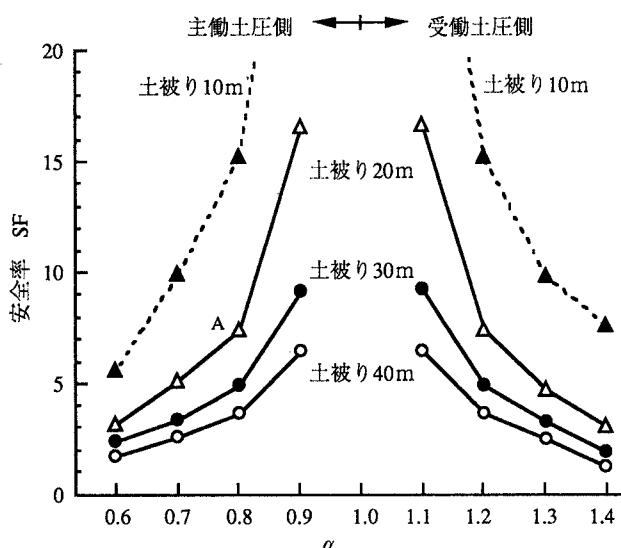


図-3 α の変化による安全率への影響（掘削径3m）

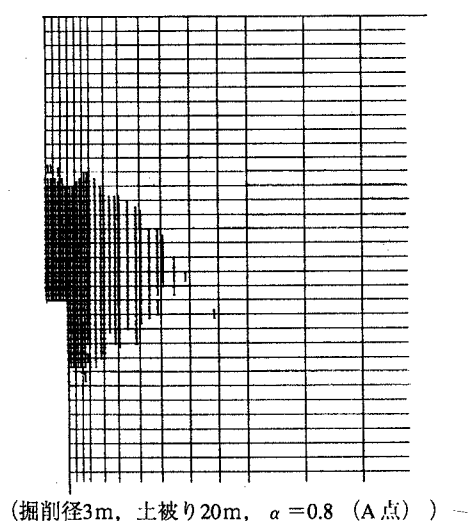


図-4 降伏点分布図

4. 解析結果

掘削径3mの異なる土被り厚において、切羽面に作用する荷重をパラメータとした切羽前方地盤の安全率の変化のグラフを図-3に示す。各土被り厚において主働土圧側および受働土圧側とも、 α が1.0から離れるにしたがって急激な安全率の低下傾向が見られる。また、図-3の安全率算定時における切羽周辺地盤の降伏点分布を、土被り20mの $\alpha = 0.8$ の場合（図中A点に対応）について図-4に示す。主働土圧側である $\alpha = 0.8$ では降伏点が卵型に分布しているのがわかる。また、 $\alpha = 0.8$ での各土被り厚において掘削径による安全率の変化のグラフを図-5に示す。掘削径が大きくなるほど安全率の低下が顕著に現れている。

5. まとめ

地盤の強度を同じ割合で徐々に低減しながら弾塑性問題の解が収束する最大の低減率の値を切羽周辺地盤の安全率とすることにより、均一な粘性土地盤における切羽の安定性に関して定性的な傾向を求めることができた。その結果上向きシールドでは、(1)切羽面に作用する荷重状態の変化および掘削径の違いにより安全率は大きく影響を受けることがわかった。したがって、(2)特に大口径掘削の場合には切羽面の土圧のコントロールが重要になると思われる。今後は、不均一性を有する地盤への適用や補助工法を実施した場合の影響評価等についてさらに検討を行なう予定である。

（参考文献）

- 1) 小林正樹，“有限要素法による地盤の安定解析”，港湾技術報告書，第23巻第1号 pp. 83-101 (1984.3)
- 2) 関口宏二ほか，“地盤～矢板系の安定解析に関する一考察”，JCOSAR'91論文集 pp. 261-268 (1991.)
- 3) 関口宏二ほか，“地盤～構造物系の汎用解析プログラムNAPG/2D”，NKK技報 No.144 pp. 109-116 (1993.)

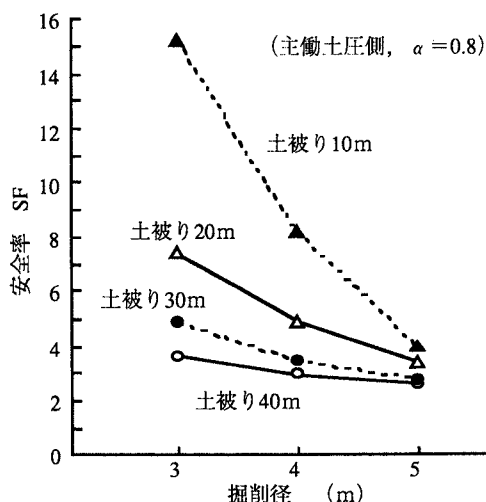


図-5 掘削径による安全率への影響