

III-696

上向きシールド実証実験の数値解析

大成建設 正会員 加納宏一
 大成建設 八木下修満
 大成建設 正会員 石田 修
 五洋建設 田中 潔

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、通常の横方向掘削シールドと比べて、切羽面の掘削による緩み領域の拡大が問題となる。特に、切羽が地表面近くに到達した場合、周辺地盤の緩みによる地表面に与える影響が懸念される。解析に先だって実施した「上向きシールド土槽実証実験」¹²⁾では、掘削に伴う地表面沈下や切羽面の土圧などが計測されており、掘削に伴う周辺地盤への影響をとらえることができた。

そこで、実証実験に対する有限要素法掘削解析を実施し、切羽面の土圧と変位に注目した検討および地表面沈下に対する計測結果との比較検討を行った。

2. 解析モデル

「上向きシールド土槽実証実験」に対する有限要素法解析モデルを図-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辺形軸対称要素で、セグメントは3節点軸対称シェル要素でそれぞれモデル化した。土槽の地盤条件は均一な砂質地盤であり、地盤の物性値とセグメントの材料定数を表-1に示す。

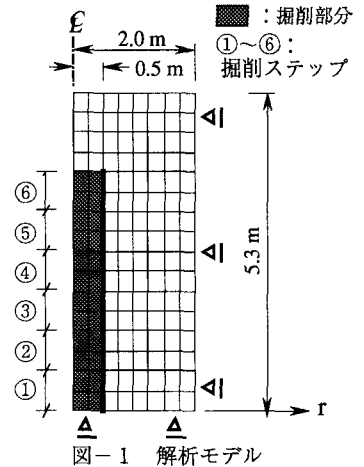


表-1 材料定数

地 盤					セグメント		
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)	変形形数 E (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	板厚 t (cm)
1.5	0.3	2.0×10^{-3}	0.04	30	2.1×10^6	0.3	0.9

3. 解析内容と結果

通常、シールドトンネル掘削時の切羽面には、地山の土圧およびそれと反対方向に作用するシールドマシンの推進力による圧力が働いており、推進力による圧力は地山の変形に影響を与える。特に、上向きシールドの場合には、地盤の沈下に与える影響が顕著であると考えられる。解析は、地盤の自重解析により初期応力状態を設定後、実験における掘進回数である6回をそれぞれの掘削ステップとして、次の2種類の解析を実施した。なお、解析は「地盤～構造系の汎用解析プログラムNAPG/2D」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。

(1) 推進力により切羽面に作用する圧力をパラメータとした解析³⁾

トンネル部を掘削する場合、掘削された地盤の応力に等価な掘削解放力 p が掘削面に作用する。掘削解放力 P の内、上向きシールド切羽面に働く掘削解放力の鉛直成分を P_v とする。 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、掘削解放力 P と同時に切羽面に $\alpha \cdot F_v$ を作用させる（図-2参照）。 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、 $\alpha = 1$ 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。実験の各掘進回数におけるトンネル掘削状態を、それぞれ瞬時掘削のモデルを用いて α を0.から2.まで変化させた解析を実施した。各掘進回数において α を変化させた場合の切羽の鉛直方向変位と切羽前面地盤の鉛直方向土圧を図-3に示す。

(2) 切羽の計測土圧を考慮した解析

実験で求められた切羽前面の連続的な計測土圧の値を各掘進回数において平均化した値 $\bar{\sigma}$ は、表-2のようになる。この計測土圧 $\bar{\sigma}$ を各掘削ステップの切羽面に再現するために、図-4に示す土圧制御要素を新たに開発した。この要素は、基本的に通常のジョイント要素と同様であるが、切羽面の掘削解放力 P_v とは逆向きに、要素の下面に適当な土圧制御力 F_c を自動的に作用させ要素の垂直応力として $\bar{\sigma}$ を発生させることができる。この場合、土圧制御力 F_c 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。解析は、各掘進回数において掘削部分の要素を削除し掘削解放力を作用させると同時に切羽面に $\bar{\sigma}$ を生じさせる土圧制御要素を取り付けた。このような方法により掘進回数1～6回目に対する逐次掘削解析で求められた中心軸上地表面の沈下量を、計測結果とともに図-5に示す。

表-2 切羽全面の計測土圧の平均値 $\bar{\sigma}$ (kgf/cm²)

掘進回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
$\bar{\sigma}$	0.5	0.6	0.6	0.45	0.3	0.24

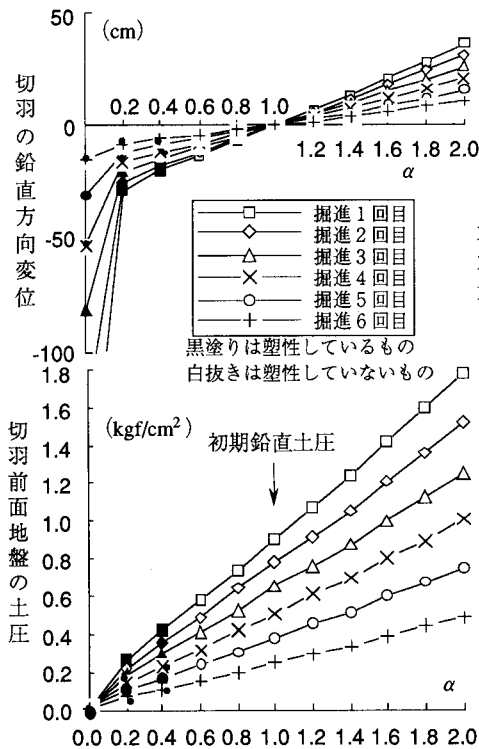


図-3 α の変化による切羽への影響

4. まとめ

(1) 今回の実証実験の場合、切羽面近傍において切羽の安定が保たれる限界の主働破壊土圧は、切羽面の変位と塑性状態から判断して、各掘進回数とも初期鉛直土圧の約0.2～0.4倍 ($\alpha = 0.2 \sim 0.4$)程度と考えられる。(2) 計測された切羽の土圧を考慮した逐次掘削解析を実施することにより、地表面沈下量に対する解析結果は、計測結果の沈下傾向を概ねとらえることができた。今後、地盤条件や掘削径等の違いを考慮した、上向きシールドに対する切羽安定の解析的検討を進める所存である。

(参考文献)

- 金子研一ほか，“上向きシールド工法の開発”，土木学会第49回年次学術講演会，第6部門（1994）。
- 田中潔ほか，“上向きシールドによる立坑掘削実験について”，土木学会第49回年次学術講演会，第6部門（1994）。
- 建設省土木研究所道路部トンネル研究室，“大口径シールドトンネルの周辺地山の安定に関する調査研究報告書”，土木研究所資料，第2101号（1984）。

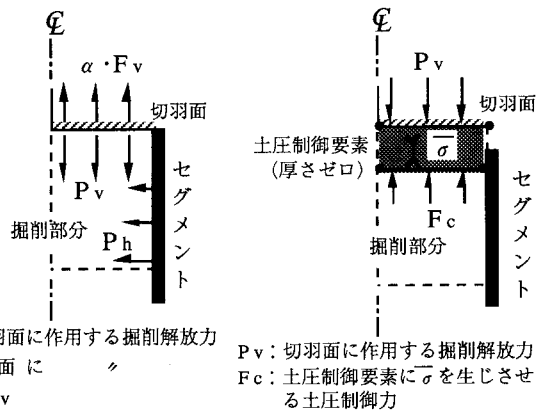


図-2 荷重載荷方法

図-4 土圧制御要素

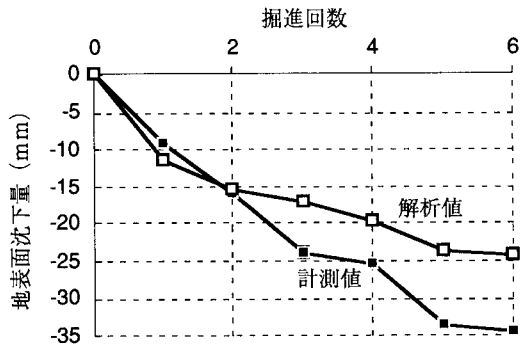


図-5 地表面の沈下量