

III-472

縦型マルチフェイスシールドの切羽安定数値解析例

（株）熊谷組 石崎英夫・大田 弘・岸 研司

（株）熊谷組 榎島幸博・千葉 明・喜多信仁

1. まえがき

横型の多円形断面シールド（MFシールド）は経済性に優れたトンネル工法として注目され、JR東日本京葉線京橋トンネルに採用されている¹⁾²⁾。縦型MFシールドは横型に比べ、地上部占有面積が少なく済むことから特に用地制限の厳しい大都市において需要が発生してくるものと考えられる。

縦型MFシールドの技術的課題は横型と同様に種々考えられ、上下いずれの切羽を先行させるかということもその一つである。これを検討するためには模型実験などの方法も考えられるが、ここでは切羽安定性について概略の傾向を把握することを目的として三次元FEM解析を行ったので報告する。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

図-1に三次元FEM解析モデルを示す。面对称モデルとして取り扱い半分の領域で解析を実施した。解析地盤モデルは、①線形弾性、②非線形弾性（DUNCAN-CHANG）の二種類について行った。

2.2 解析手順

解析手順としては、第1ステップとして地盤のみの状態について初期応力解析を行い、第2ステップとしてシールド部分の要素を除去し（図-1参照）、掘削相当外力が作用するものとした。また、切羽の上下ずれの影響のみを解析するため、シールド周囲は固定とし、切羽面のみを解放した。

2.3 解析パラメータ

解析パラメータは、線形弾性解析では、シールド形状として①切羽の位置関係（2種類；上部切羽先行型、下部切羽先行型）、②切羽のずれ量（2種類；0.1D、

0.2D ここでDは単円のシールド径）を選んだ。なお、切羽のずれ量は実機構造の概略設計から決定した。

また、③地盤（2種類；軟地盤、硬地盤）もパラメータとし、①～③の組合せについて解析を実施した。

地盤は砂質土を念頭に置き、表-1に示す地盤定数とした。非線形弾性解析では、地盤を軟地盤、切羽のずれ量を0.2Dとし、上部切羽先行型、下部切羽先行型の2種類のシールド形状について解析を行った。なお、解析手法は荷重増分法（5段階増分）を用いた。表-2に、非線形弾性解析における主な地盤定数を示す。

3. 解析結果

3.1 線形弾性解析結果

切羽付近の地盤の動きは、いずれのシールド形状においても水平方向に卓越しており、また切羽面から離れるにしたがい減衰する。図-2に、シールドセンター縦断面における水平方向の等変位曲線を示すが、これより、切羽から進行方向に0.8H（H：シールド高さ）程度離れた位置で変位が約1/10に減衰していることがわかる。この傾向は他のシールド形状についても同様であった。また、図-2中の0.1mmのラインと切羽に囲まれた面積を各シールド形状について比較した結果、上部切羽先行型は下部切羽先

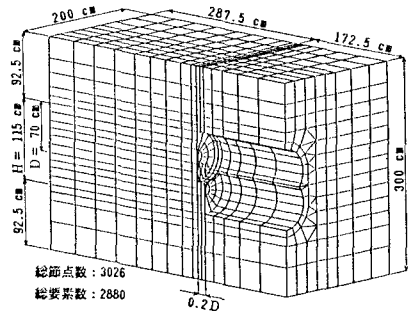


図-1 解析モデル（上部切羽先行型、切羽ずれ量0.2D）

表-1 線形弾性解析に用いた地盤定数

定数	地盤	軟地盤	硬地盤
単位体積重量 γ (kg)	1.7	1.9	
初期側圧係数 K_0	0.5	1.0	
変形係数 E (kg)	500	2000	
ポアソン比 ν	0.3	0.3	
粘着力 c (kg)	0	0	
内部摩擦角 ϕ (°)	25	40	

表-2 非線形弾性解析に用いた主な地盤定数

単位体積重量 γ (kg)	1.7
初期変形係数 E_i (kg)	500
初期ポアソン比 ν_i	0.3
接線係数の指数 K	138
双曲線の指数 n	0.5
破壊比 R_f	0.9
粘着力 c (kg)	0
内部摩擦角 ϕ (°)	25

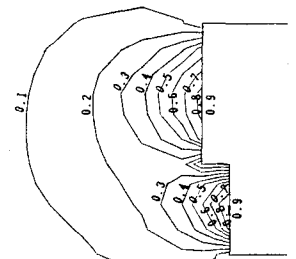


図-2 シールドセンター縦断面における水平方向等変位曲線（上部切羽先行型、切羽ずれ量0.2D）

行型に比べてやや小さいものの大差なかった。

図-3に、シールドセンター縦断面における破壊領域（局所安全率1.0以下の領域）を硬・軟地盤について比較する。硬地盤の破壊領域は切羽のすぐ近傍のみに限られ軟地盤と比して小さく、硬・軟地盤での面積比は、同図に示すとおり0.14である。また、破壊領域を同一の地盤で比較すると、シールド形状にかかわらずほぼ同じ面積となっている。

3.2 非線形弾性解析結果

図-4に、応力解放段階に伴うシールドセンター縦断面での破壊領域の進行状況を示す。応力解放率100%の破壊領域の大きさは、両シールド形状でほぼ

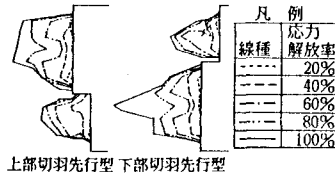


図-4 シールドセンター縦断面における破壊領域の進行状況

同程度であり、これは線形弾性解析と同様の結果である。また線形弾性解析の破壊領域と比較すると、非線形弾性解析結果は同様の広がり方を呈しているが、面積は約1.1倍と大きくなっている。

図-5にシールドセンター縦断面における等沈下曲線、図-6に地表面における等沈下曲線を示す。また、図-8に応力解放段階に伴う地表面最大沈下量の増加状況を示す。

地盤沈下は、下部切羽先行型に比べ上部切羽先行型の方が小さい結果となっている。図-5より、下部切羽先行型の沈下は切羽底部から前方へ斜め上に向かって広がっているのがわかるが、上部切羽先行型は、ずれ部が屋根のような役割を果たし切羽底部からの沈下の広がりを抑制し、この結果、沈下が全体的に小さくなっていると考えられる。

図-6より、地表面沈下は最大沈下位置を中心に広がっており、中心より前方がややゆるやかな傾斜となっている。地表面沈下の最大位置は、シールドの形状によらず先行の切羽から約0.8H（H：シールド高さ）離れておりほぼ同位置となっている。

また、応力解放率100%における地表面最大沈下量を両シールド形状で比較すると、図-7より、上部切羽先行型は下部切羽先行型の約85%となっている。

4. まとめ

縦型MFシールドの切羽安定性について三次元FEM解析を行った結果、上部切羽先行型と下部切羽先行型において地盤の破壊領域の大きさはほぼ同じであり、また地盤沈下についても、上部切羽先行型がやや有利であるが大差はないという結果が得られた。

しかし、実際の施工における切羽の安定はカットと地盤との相互作用によるところが大きいため、今後、模型実験を実施し、本数値解析結果と合わせて検討していく予定である。

参考文献：1) 松本嘉司：リチフェイスシールド工法，SUBWAY，日本地下鉄協会報第45号，1987年5月

2) 原恒男・飯田廣臣・土井博巳：複円形特殊断面シールド，土木学会第41回年次学術講演会，1986年

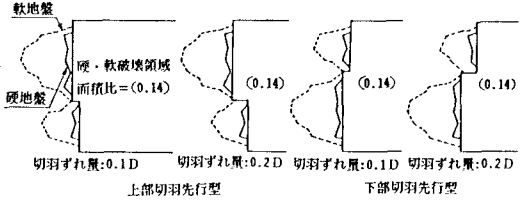


図-3 シールドセンター縦断面における破壊領域

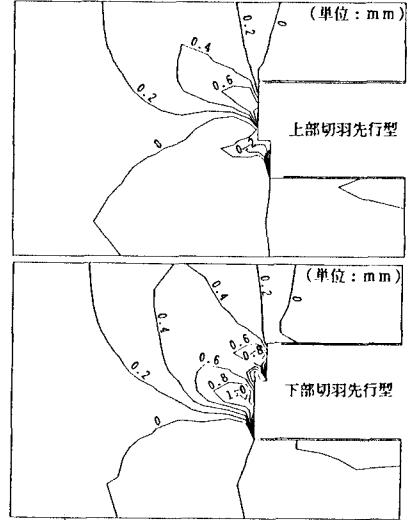


図-5 シールドセンター縦断面における等沈下曲線

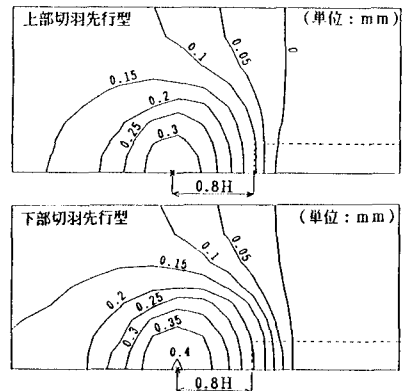


図-6 地表面における等沈下曲線

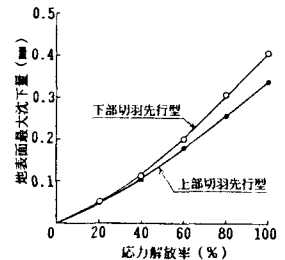


図-7 応力解放段階に伴う地表面最大沈下量