

中央導坑先進工法の効果検証に関する一考察（その2）

大成建設株式会社 正会員 ○西谷 友幸, 市田 雄行, 中田 祐輔, 大塚 勇

1. 背景

中央導坑先進工法の効果について、「中央導坑先進工法の効果検証に関する一考察（その1）」では、切羽前方地山の補強効果に着目して論じた。本論文では、導坑による「切掘り時の変位および支保応力低減効果」に着目し、三次元 FEM 解析を用いた分析によりその効果を定量的に検証する。

2. 切掘り時の変位・支保応力低減効果

導坑には、導坑掘削時に地圧を先行解放することで、切掘り時に発生する変位および支保応力を低減する効果が期待される。この効果について、三次元 FEM 解析をもとに検討する。

3. 解析概要

解析概要は「中央導坑先進工法の効果検証に関する一考察（その1）」に倣う。解析ケースを表1に示す。

4. 解析結果

図1に、各ケースの本坑壁面位置における半径方向変位の履歴を示し、図2に、導坑掘削中の先行変位、本坑切羽到達前の先行変位および、本坑切羽通過後の計測対応変位の内訳を整理する。いずれのケースも全変位（先行変位+計測対応変位）は80mm程度で大きな差異はないものの、導坑を掘削したCASE1~4では導坑を掘削しないCASE5と比較して計測対応変位が15~20mm程度小さい。導坑を先進させて本坑掘削の前に先行変位を生じさせることで、切掘り中の変形が低減されたことが確認できる。導坑を掘削したCASE1~4の中で比較すると、補助工法を考慮しないCASE2~4では、支保剛性の小さい順(CASE4<CASE3<CASE2)に導坑掘削時の先行変位量は大きく、計測対応変位量は小さい。またCASE2では、補助工法を考慮したCASE1と比較して導坑掘削時の先行変位量は大きく、計測対応変位量は小さい。補助工法による地山補強をしない、かつ支保剛性が小さいケースほど、導坑掘削時に地山が変形し地圧が解放されたため、計測対応変位が低減されたものと推察される。

各ケースの本坑掘削完了時において、本坑の吹付けコンクリートに発生する応力の最大値を図3に示す。CASE1~4で吹付けコンクリートに発生する応力は、導坑を掘削しないCASE5と比較して小さく、計測対応変位と同様、導坑の効果によって支保に発生する応力が低減されていることが確認できる。CASE1~4で比較すると、導坑掘削時の先行変位量が大きいケースほど、吹付け

キーワード 中央導坑 三次元 FEM 壁面変位 支保発生応力

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 大成建設株式会社 土木設計部 TEL03-5381-5296

表1 解析ケース

	導坑		支保剛性 大 ↑ 小 ↓
	支保工	補助工法	
CASE1	二重	AGF・鏡ボルト	大 ↑ 小 ↓
CASE2	二重	なし	
CASE3	一重	なし	
CASE4	なし	なし	
CASE5	導坑なし		

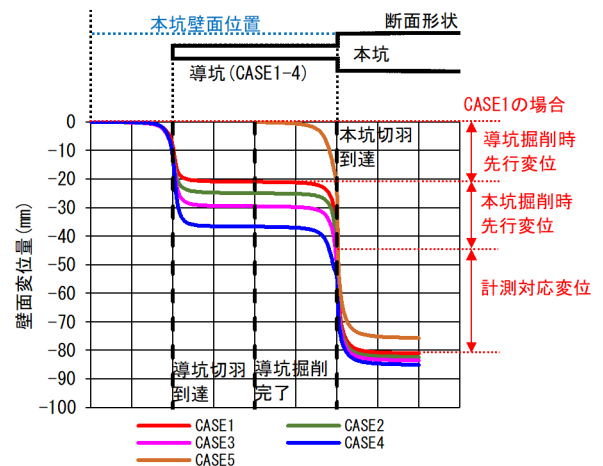


図1 本坑壁面半径方向変位量

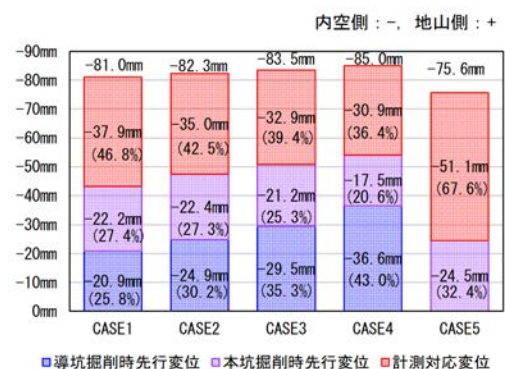


図2 掘削前後の本坑壁面変位量

コンクリートの応力が小さくなっていることが分かる。これは、先行変位による地圧の解放により、支保設置後に解放される地圧が減少しているためであると考えられる。以上の機構についてより詳細に、特性曲線を用いて考察を行う。

5. 特性曲線を用いた考察

CASE5 および CASE1 の解析結果をもとに描いた、地山特性曲線と支保特性曲線を、それぞれ図4および図5に示す。地山特性曲線は、掘削により解放される地山応力（トンネル半径方向応力）と壁面変位（半径方向変位）の関係を表したものである。支保特性曲線は、支保に生じる応力と壁面変位の関係を表す。導坑を掘削しないCASE5では、図4の初期応力状態であるA点（17.6MPa）から掘削に伴って地山応力が解放され、24.5mm変位した時点で支保工が設置される。その後は、掘削に伴い解放される地山応力は地山自身と支保工にて相互に負担され、地山応力と支保工が負担する応力が釣り合ったB点で変位が収束する（全変位量75.6mm）。一方で、導坑を掘削したCASE1では、図5に示すとおり導坑掘削時に本坑壁面位置に生じる先行変位（20.9mm）に相当する地圧が先行解放されており、切掘り前の本坑壁面位置での応力は初期応力17.6MPa（A点）から14.6MPa（A'点）まで減少する。図6は上記現象を模式的に表現するために、導坑掘削前後のトンネル周辺地山の応力状態を表したものである。図5下段の特性曲線で見ると、導坑による地圧の先行解放に伴い切掘り開始時の応力状態はA点からA'点に移動するため、地山特性曲線と支保特性曲線の釣合い点B'も図4の釣合い点Bよりも右下方向に移行する。この結果、本坑掘削完了時の計測対応変位量は51.1mmから37.9mmに、また支保応力は4.6MPaから3.7MPaに、それぞれ低減されているものと解釈される。

6. まとめ

導坑による本坑掘削時の変位および支保応力低減効果に着目して実施した三次元FEM解析の結果、以下の知見を得た。

- 本坑切羽到達前の導坑掘削により地圧が先行して解放される。この応力解放により、本坑支保設置後の変形は小さくなり、また本坑支保の負担する応力も軽減される。
- 上記現象は導坑の支保剛性が小さく導坑掘削時の地山変形が大きいほど高い効果を得られる。しかし、この場合は地圧を大きく解放することで地山の緩みを助長し、地山の崩落や、塑性化に伴い本坑支保に生じる応力を増加させてしまう等の事象が懸念される。したがって、安全な施工のためには、導坑周辺の地山の安定性や導坑支保工の健全性についても考慮した、地山を過度に緩めることのない導坑の設計・計画を行うことが重要である。

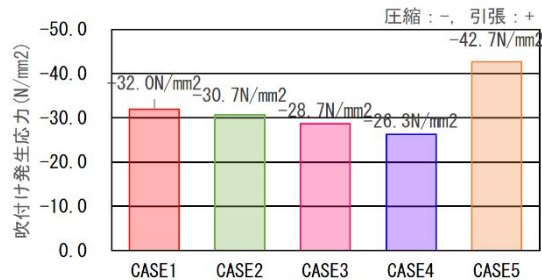


図3 吹付けコンクリート発生応力最大値

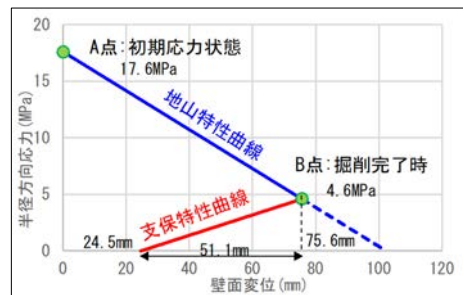


図4 地山と支保の特性曲線 (CASE5: 導坑なし)

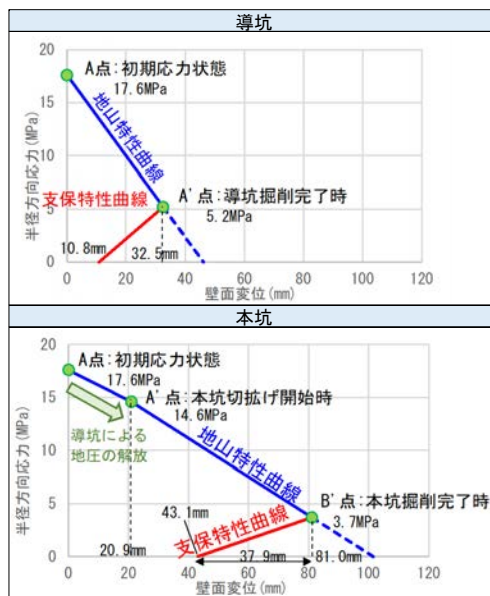


図5 地山と支保の特性曲線 (CASE1: 導坑あり)

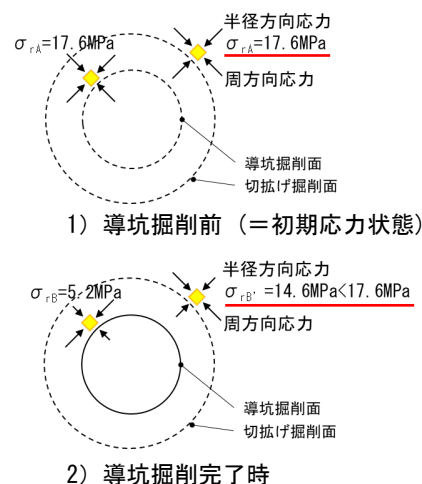


図6 導坑掘削前後の応力状態