

トンネル先進導坑の効果に関する数値解析による一考察

大成建設(株)土木本部土木設計部 正会員 ○市田 雄行・小原 伸高

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、強大な地圧が作用する条件下では、高剛性・高強度の支保工では対処しきれず掘削が困難となる場合がある。このような場合には、古くから先進導坑を用いたいなし工法¹⁾が採用されてきた。この“いなし”とは、本坑に対して比較的小断面の導坑を単独で先進させ、予め初期地圧の一部を変位として解放し、本坑切抜げ時の変位や支保工に発生する応力を低減するものである²⁾。本稿は、上記の導坑によるいなし効果を数値解析上にて再現し、解析結果に対する考察を報告するものである。

2. 導坑をモデル化した3次元掘削解析

1) 解析条件

解析コードFLAC3Dによる3次元掘削解析を実施する。解析モデルを図-1、解析条件を表-1に示す。図-1のとおり本坑および導坑断面は円形とし、支保工として吹付けコンクリートをモデル化する。解析は、全断面掘削にて、導坑を100m先進させた後に、続いて本坑を60m掘削させる手順とした。解析ケースは、導坑の有無、導坑掘削半径、および導坑支保工の力学モデルの組合せにより、表-2に示す4ケースを考える。

2) 解析結果

①導坑の有無による比較

本坑壁面位置における変位量と切羽からの距離の関係を図-2に示す。本坑切羽通過前の変位は、導坑なしのcase1で約30mm、導坑ありのcase2~4で70~80mm程度である。また、切羽通過後の変位は、case1で約70mm、case2~4で40~50mm程度である。よって、導坑を先進させることで、先行変位は増大するものの、逆に後行変位は低減されることが確認できた。

次に、本坑の支保工応力度を図-3に示す。case2~4では後行変位が低減されたことで、case1と比べて支保工応力度は 10N/mm^2 以上低減される結果が得られた。

以上より、導坑のいなし効果による、本坑切抜げ時の変位および支保工応力度の低減を、本解析手法にて再現できたとと言える。

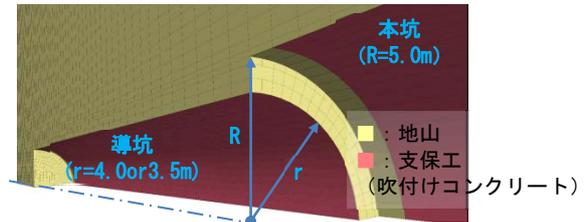


図-1 解析モデル図

表-1 解析条件

トンネル半径		本坑: 5.0m、導坑: 4.0または3.5m	
解析モデル	地山	ソリッド要素/弾塑性モデル (モール・クーロンの降伏基準に従う)	
	支保工	吹付けコンクリートをモデル化 (シェル要素/力学モデルは表-2を参照)	
初期応力条件		土被り300m相当の土圧を等方圧に作用	
解析ステップ		導坑を100mを掘削した後に本坑を60m掘削 (掘進長を1m、支保工は切羽1m後方に設置)	
物性値	地山	単位体積重量 γ	MN/m^3 0.026
		変形係数 D	MN/m^2 500
		ポアソン比 ν	- 0.3
	支保工	粘着力 c	MN/m^2 1.0
		内部摩擦角 ϕ	$^\circ$ 30
		弾性係数 E_c	MN/m^2 3,400
		ポアソン比 ν	- 0.2
		厚さ t	m 0.2
曲げ剛性は考慮しない。弾塑性モデルでは、降伏強度を 36N/mm^2 (設計基準強度)とする			

表-2 解析ケース

case	導坑の有無	導坑掘削半径	導坑支保工力学モデル	本坑支保工力学モデル
case1	×	—	—	—
case2	○	4.0m	弾性	弾性
case3	○	4.0m	弾塑性	弾性
case4	○	3.5m	弾塑性	弾性

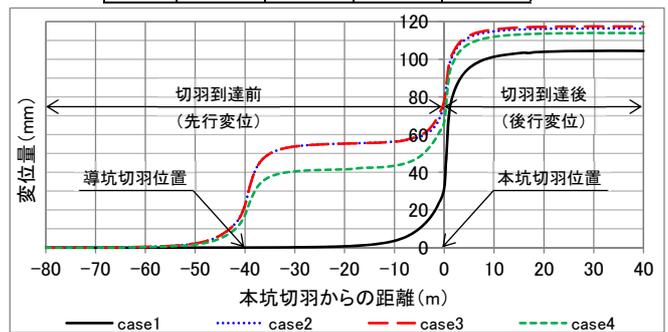


図-2 本坑壁面位置における変位量

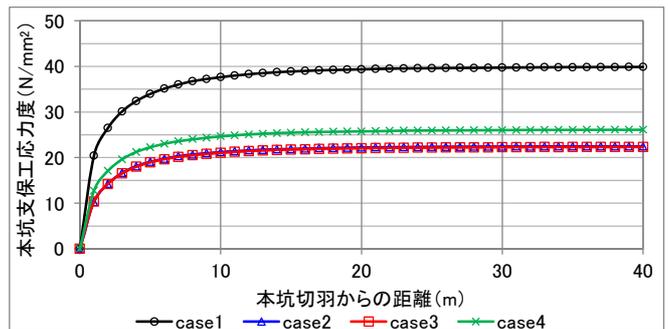


図-3 本坑支保工の応力度

キーワード 数値解析 先進導坑 いなし

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5296

②導坑支保工の力学モデルによる比較

導坑支保工の応力度と導坑切羽からの距離の関係を、図-4に示す。図は横軸の40m位置に本坑切羽が到達した状態を表しており、全ケースにおいて、本坑切羽が近づくほど、導坑支保工の応力は増加傾向を示す。また、支保工を弾塑性体としたcase3および4では、本坑切羽近傍にて支保工は降伏していることが分かる。

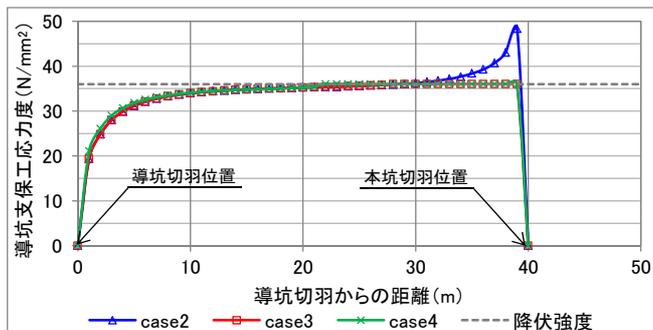


図-4 導坑支保工の応力度

図-3のcase2と3を比較すると、本坑支保工の応力度は微小ながらcase3の方が小さいことから、導坑支保工が本坑切羽直近にて降伏する場合は、地圧を多く解放することで、より大きないなし効果が得られるものと考察される。

③導坑の掘削断面積による比較

掘削完了時における本坑の壁面変位量および支保工応力度を、表-3に示す。これによれば、case4と比べてcase3の方が後行変位および支保工応力度は小さい。よって、導坑サイズが大きいほど、いなし効果も大きいものと考えられる。

表-3 本坑壁面位置における変位量・支保工応力度

	全変位		先行変位		後行変位		支保工応力	
	変位量 (mm)	増減率 (%)	変位量 (mm)	増減率 (%)	変位量 (mm)	増減率 (%)	応力度 (N/mm²)	増減率 (%)
case1	104.4	0.0	31.4	0.0	73.1	0.0	39.9	0.0
case2	116.4	11.5	77.1	145.8	39.3	-46.2	22.5	-43.6
case3	117.3	12.3	78.0	148.5	39.4	-46.1	22.3	-44.0
case4	113.9	9.0	66.8	112.9	47.0	-35.6	26.1	-34.5

また、本坑に対する導坑の断面積比は、case3およびcase4にて約1.3:1の関係にある。case1の本坑単独掘削時を基準とすると、case3およびcase4では、後行変位および支保工応力度の低減率は、それぞれ45%、35%程度であり、断面積比と同様に両者の関係は1.3:1程度である。したがって、低減効果は、本坑と導坑の断面積比と相関があるものと考察でき、導坑サイズを選定するにあたり、断面積比を求めることで低減効果を簡易的に推定できるものと考えられる。

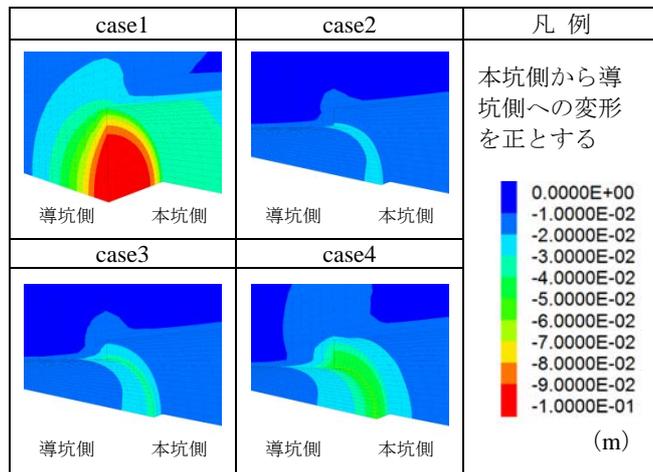


図-5 トンネル軸方向変位コンター図

④本坑切羽の押し出し変位量による比較

本坑掘削時の切羽押し出し変位量を比較するにあたり、トンネル軸方向変位のコンター図を図-5に示す。導坑なしのcase1では、押し出し変位量は最大で10cm程度であるのに対して、導坑ありのcaseでは、最大で2cm程度であり、約1/5まで低減されている。よって、導坑を先進させることで、切羽の安定性も向上することが分かる。

3. まとめ

本解析により、導坑を先進させることで、本坑切上げ時の変位および支保工に発生する応力が低減されること、また切羽の押し出し変位も抑制されることを確認した。さらに、本坑と導坑の断面積比を求めることで、上記の低減割合を推定できることが分かった。

一方で、本解析では導坑支保工を弾塑性モデルとし、本坑切羽の進行に応じて降伏する場合を考えた。今後は、導坑掘削を行った施工実績などを参考にして、本坑切上げ時の導坑支保工の挙動を詳細に分析するとともに、より現実的なモデル化手法について検討していきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルライブラリー第20号 山岳トンネルの補助工法 - 2009年版 -、pp.278-285、2009.
- 2) 高橋浩、進士正人、中川浩二：事例に基づく押し出し性地山におけるトンネルの設計・施工法の提案、土木学会論文集 No. 777/VI-65, pp.83-96、2004.