

小土かぶり大断面めがねトンネルにおける数値解析による掘削工法の比較検討

大成建設(株)土木本部土木設計部 正会員 ○池田 哲也, 西谷 友幸, 岡嶋 和義, 小原 伸高

1. はじめに

近年、比較的断面規模が小さい2車線道路のめがねトンネルでは、無導坑の補助ベンチ付き全断面工法による早期閉合（以下、全断面工法という）が定着しつつある。今後計画される道路トンネルの分岐合流部においては小土かぶり下の大断面めがねトンネルの適用も予想されるため、その合理的な設計技術が望まれる。本研究は、小土かぶり大断面めがねトンネル（掘削断面積 190m²）を対象に、掘削工法の違いによるトンネルの安定性および周辺環境に及ぼす影響の違いを数値解析により分析し、各工法の適用性を評価するものである。

2. 数値解析による掘削工法の適用性評価

1) 解析条件

解析モデルを図-1に示す。掘削工法は、①中央導坑先進工法、②無導坑全断面工法（閉合距離 5m）、③無導坑ショートベンチ工法（閉合距離 20m）の3工法を選定し、閉合距離の影響を評価するため三次元掘削解析（解析コード：FLAC3D）を用いた。掘削断面は掘削幅 18.1m、掘削高 12.9m、離隔距離 1.0m の双設断面とした。また、土かぶりは既往のめがねトンネルの施工実績¹⁾を参考に 13m とした。

表-1、表-2に解析用物性値を示す。地山はソリッド要素としてモデル化し、Mohr-Coulomb の破壊基準に基づく完全弾塑性体とした。本研究では地山条件のパラメータとして地山強度比 G_n を 2.0、1.0、0.5 の3ケースについて解析を実施した。解析における掘進は、先進坑、後進坑ともに 1m 掘削につき支保工を設置するサイクルとした。また、後進坑の掘削は、先進坑掘削完了後に行った。

2) 解析結果

a) 地表面沈下量

図-2は、各ケースの地表面沈下量の最大値について、掘削工法①で $G_n=2.0$ のケースを 1.0 とした場合の相対比較を示したものである。この図より各ケースにおいて、①が最も小さい沈下量となる。また早期閉合の効果により②が③に比べて沈下量が小さい。また、地山強度比が 1.0 を下回ると急激に変位が増加することがわかる。①との比較でみると、②は 1.2~1.3 倍程度、③は 2.0~2.3 倍程度であり、地山強度比が小さくなるにつれ①との乖離が広がる傾向にある。これはピラー部周辺の地山の塑性化領域が拡大していることが要因だと考えられる。

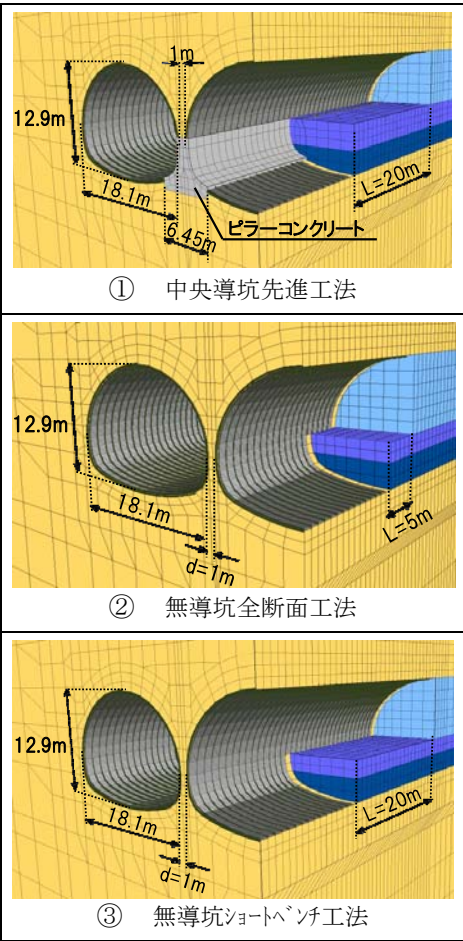


図-1 解析モデル

表-1 地山物性値

地山強度比 G_n	2.0	1.0	0.5
一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	520	260	130
せん断強度			
粘着力 c (kN/m ²)	150.1	75.1	37.5
内部摩擦角 ϕ (°)	30	30	30
変形係数 $E_r=100q_u$ (Mpa)	52	26	13
ポアソン比 ν	0.38		
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20		
側圧係数 K	0.5		
要素	ソリッド		
構成則	Mohr-Coulomb		

表-2 支保工物性値

部位	先進坑・後進坑		中央導坑		ピラー・ベンチ
	吹付けコンクリート	鋼製支保工	吹付けコンクリート	鋼製支保工	
仕様	$\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ $t=35\text{cm}$	H-300 @1m	$\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ $t=15\text{cm}$	H-150 @1m	$\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$
弾性係数 E (MPa)	6,000	200,000	4,000	200,000	23,500
ポアソン比 ν	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
断面積 A (cm ² /m)	3,500	118.40	1,500	39.65	-
断面二次モーメント I (cm ⁴ /m)	-	20,200	-	1,620	-
要素	シェル	ビーム	シェル	ビーム	ソリッド(弾性)

キーワード めがねトンネル, 大断面, 早期閉合, 中央導坑先進工法, 数値解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5296 FAX 03-3344-4437

b) 周辺地山の安定性

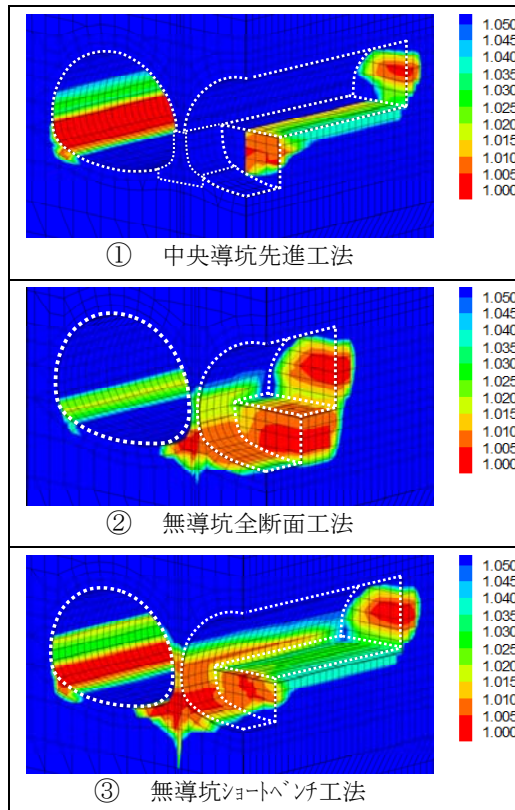
図-3 に $G_n=1.0$ の場合の後進坑掘削時におけるトンネル周辺地山の安全率分布を示す。まず、①についてはピラー側の地山の不安定化は認められず、ピラー下部の支持地盤も健全である。一方、②については下半ベンチ部の地山がほぼ塑性化しているため、早期閉合による上半・下半の平行作業は安全面において不利となるが、早期にリング効果を発揮するため下半掘削時の側壁の不安定化は抑えられている。また、③については閉合距離が長くなるため、上半アーチ脚部および下半掘削時の側壁の不安定化が顕著となり、その結果ピラー下部で支持力を失い沈下が大きくなっているものと思われる。

$G_n=0.5$ の結果は省略するが、傾向としては①に対して②、③はピラー部の地山全体に塑性領域が広がり、ピラー部の荷重伝達機能が低下することでさらに地表面沈下は増大する。

以上より、周辺地山の安定性という点では中央導坑先進工法が最も有利と考えられる。

c) 支保工の安定性

めがねトンネルでは、後進坑の掘削により先進坑の支保工に曲げが生じる。図

図-3 周辺地山の安全率分布図 ($G_n=1.0$)

-4 に $G_n=1.0$ における先進坑の鋼製支保工の曲げモーメント、図-5 に曲げ-軸力関係図を示す。①は、ピラーコンクリートにより鋼製支保工の曲げのピークが抑えられるため H-300 で成立する。無導坑方式のケース②、③ではピラー側下部の曲げが顕著となり、H-300 の支保耐力を超えるためランクアップが必要となり、鋼製支保工の製作、施工面では中央導坑先進工法の①よりも不利になると考えられる。

3. 結論

大断面めがねトンネルにおける掘削工法の適用性については、施工性やコストも含めた総合的な判断が必要だが、地表面沈下量の抑制、周辺地山の安定性の確保、支保工の重厚化を避けるという点において中央導坑先進工法が有利であるといえる。今後は、さらなる大断面のめがねトンネルにおける検討やピラーコンクリートの応力状態の詳細な検証を行う予定である。

参考文献 1) 真下他: “無導坑の超近接トンネルの掘削時挙動に関する研究”, 土木学会論文集 F1, Vol. 70, No. 3 (特集号), I_29-I_42, 2014.

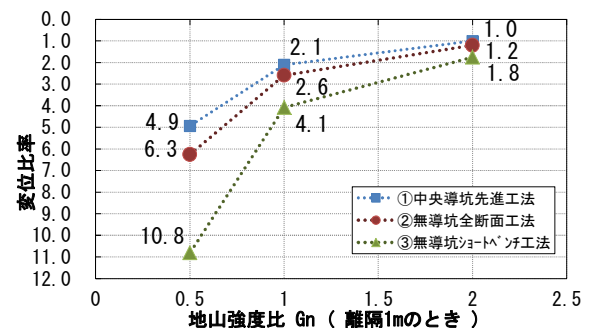
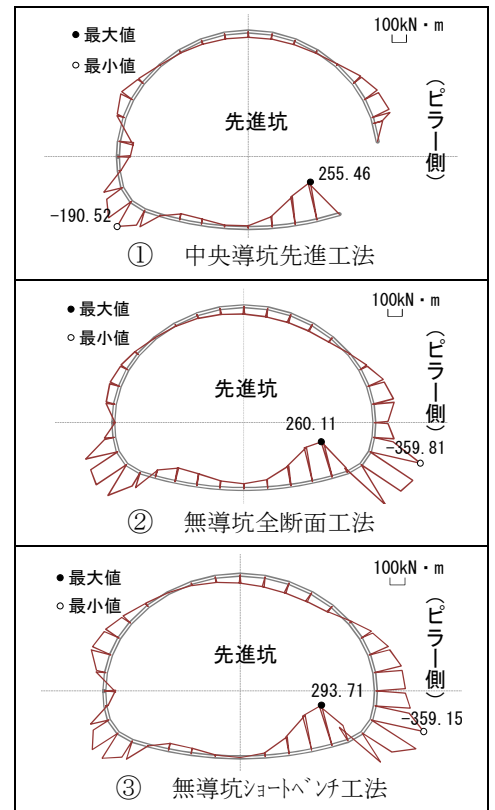
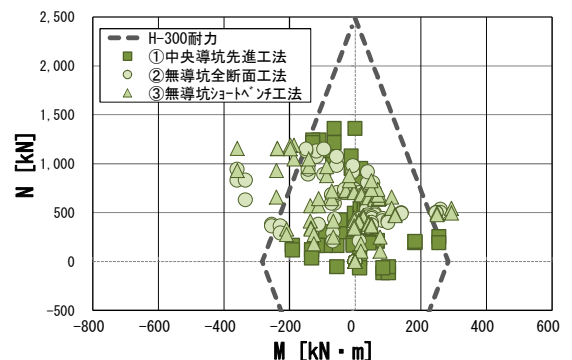


図-2 最大地表面沈下量の相対比較

図-4 曲げモーメント図 ($G_n=1.0$)図-5 曲げ-軸力関係図 ($G_n=1.0$)