# 併設トンネルの三次元掘削解析

大成建設	正会員	○西谷	友幸
大成建設	正会員	小原	伸高
大成建設	正会員	石田	修

## 1. はじめに

都市部 NATM におけるトンネル掘削に伴う影響評価や支保工・補助工法の設計の実務では、二次元掘削解析を用い るのが主流である。しかし、切羽進行に伴う三次元的挙動を二次元掘削解析で評価するには応力解放率など解析上 の仮定が必要であり、三次元掘削解析と比べてトンネル掘削に伴う変形や、トンネル周辺地山の不安定領域を過大 評価する可能性がある。そのため、掘削影響評価に三次元掘削解析を適用することによる設計の合理化が期待され ている。本研究では、実挙動を再現する目的で三次元掘削解析を行い、計測データと比較することにより、三次元 解析の適用性を検討した。対象として都市部における低土被りの併設トンネルに着目することとした。

#### 2. 対象トンネル

対象トンネルは図-1 に示すような 2 車線道路トンネルで,離隔 が約 1.4m と近接した併設トンネルである。地盤構成は,表層部 に第四期更新性の石灰岩,その下層に新第三紀鮮新世の泥岩が分 布する。泥岩層の上部は風化帯が形成されており,下部は比較的 均質・堅固な泥岩となっている。トンネルは,新鮮泥岩に位置し ており,最大土被りは 37m である。検討断面として,A計測,B 計測,地表面沈下の計測が行われている断面を選定した。検討断 面の土被りは14.8m であり,支保パターンはD2パターンである。

#### 3. 解析手法

三次元掘削解析は有限差分コード FLAC 3D を使用した。図-2 に 解析モデルを示す。地盤物性値は表-1 のとおりである。構成則は Mohr-Coulomb の弾塑性モデルを用いる。支保部材は、吹付コンク リートをシェル要素、鋼製支保工、ロックボルトおよび長尺先受 工をビーム要素でモデル化した(表-2)。トンネル掘削方法は補助 ベンチ付全断面掘削工法より、解析ステップは、トンネル 1m を 全断面掘削して支保部材を設置するサイクルを先進坑(東行線) ですべて行った後、同様の解析ステップを後進坑(西行線)にも適 用した。

## 4. 解析結果

検討断面における計測点の位置を図-1 に示す。C1~C5 は吹 付コンクリートの応力, S1~S5 は鋼製支保工の応力計測であ る。図-3~図-6 は後進坑の切羽進行による先進坑検討断面の 各支保部材の軸力経時変化図を示す。これらの軸力は後進坑掘 削時の先進坑への影響に注目するため,後進坑掘削開始時から の増加軸力を示している。

後進坑側の計測点(S2, S4, C2, C4)における各支保部材の奥行

キーワード 三次元掘削解析,併設トンネル,支保工

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㈱土木設計部 TEL03-5381-5296

 先進坑(東行線)
 後進坑(西行線)

 トンホル中心
 トンホル中心

 15.1m
 トンホル中心

 0
 15.1m

 0
 15.1m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m

 13.7m
 1.4m



表-1 地盤物性値

地盤		$\gamma [kN/m^3]$	E[MPa]	ν	$c[kN/m^2]$	φ [°]
石灰岩	R1	17	20	0.42	20	30
風化泥岩	WSm	18	75	0.4	100	15
新鮮泥岩 Sm Sm	Sm1	20	300	0.49	150	10
	Sm2	20	300	0.3	333	10
ッ・単位休積重量 F·変形係数 ッ・ポアソン比 c・粘着力 a・内部摩擦角						

表-2 支保部材の仕様

支保部材	モデル	仕様
吹付コンクリート	シェル要素	厚さt=20cm
鋼製支保工	ビーム要素	H-200×200×8×12
ロックボルト	ビーム要素	SD345, D25, 長さL=4.0m
注入式長尺先受工	ビーム要素	φ76, 長さL=12.5m

1m 当りの軸力経時変化図を図-3, 図-4 に示す。計測値では計測 点 S4 以外について鋼製支保工, 吹付コンクリートともに, 西行 線切羽が検討断面に近づくにつれて軸力が一旦減少し,再び増 加する挙動が観測されている。解析では、計測点 S2 および C4 では軸力が一旦減少し、再び増加する傾向が見られるが、軸力 が減少し始める切羽の位置と軸力の減少する大きさは再現でき ていない。これらの計測点は、隣接トンネルの掘削による解放 力の影響により、軸力が一旦減少する挙動が計測値では良く現 れているが、解析値ではその影響が小さい。解析値では、隣接 トンネル掘削に伴って生じる解放力の影響が小さいため、この 影響を模擬するためには、併設トンネル間の地盤物性の設定を 見直す必要があると考えられる。

後進坑と反対側の計測点(S3, S5, C3, C5)における各支保部材 の奥行 1m 当りの軸力経時変化図を図-5,図-6 に示す。後進坑 掘削に伴う応力解放の影響で,計測値は,鋼製支保工,吹付コ ンクリートともに軸力の増加が観測されており、その挙動は解 析でも再現できている。

計測点の位置による各支保部材の増加軸力は,計測値,解析 値ともに後進坑側の計測点の方が掘削による応力解放の影響 が大きいため、大きくなる。

後進坑と反対側の軸力分担(図-5,図-6)に注目すると、計測 値では, 吹付コンクリートが分担する増加軸力が鋼製支保工の 約5.6 倍であるのに対して,解析結果では約0.8 倍となってい る。すなわち,計測値の方が吹付コンクリートの軸力分担の割 合が大きい。これは,実挙動は地山と鋼製支保工が密着してい ないことを解析に反映できていないためと考えられる。

# 5. まとめ

 後進坑掘削に伴い、先進坑の支保部材の軸力が増加する挙 動が計測値で観測されており,解析値でも解放力の影響により, その挙動が再現された。特に、隣接トンネル掘削による解放力 の影響により、計測値、解析値ともに後進坑側の計測点の増加 軸力が大きくなる。

 後進坑切羽進行とともに軸力が減少する挙動を解析で模 擬するためには、併設トンネル間の地盤物性の設定に工夫が必 要であると考えられる。



今後は併設トンネル間の物性値や鋼製支保工の剛性設定法などについて検討を深め、三次元掘削解析の適用性を整 理する予定である。



鋼製支保工軸力経時変化図(S2,S4)

図-3

0 \*\*\*\*\* -200 增加軸力[kN] -400 -600 -800 -1000 -1.0D -0.5D 0.0D 0.5D 1.0D 後進坑切羽位置 





図-5 鋼製支保工軸力経時変化図(S3,S5)



図-6 吹付コンクリート軸力経時変化図(C3,C5)