

三次元掘削解析による併設トンネル掘削時の挙動分析

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 廣末 龍文
大成建設 正会員 石田 修

1. はじめに

都市部山岳トンネルにおけるトンネル掘削に伴う影響評価や補助工法の設計実務では、一般的に二次元掘削解析が用いられている。しかし、トンネルの切羽補強な

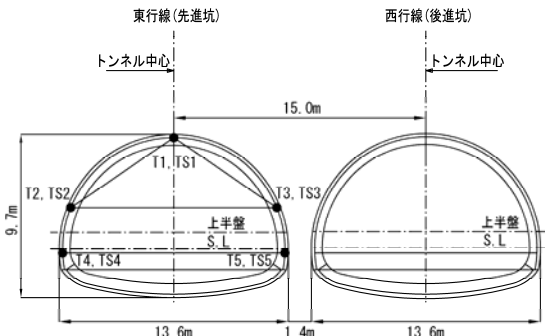


図-1 トンネル断面図と計測器配置

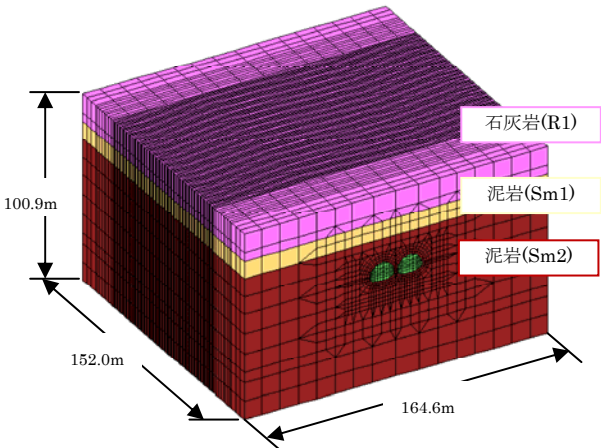


図-2 解析モデル図

どトンネル軸方向が支配的となる挙動は二次元解析による検討に限界がある。また、用地の制約等により極めて近接した併設トンネルを計画する場合は、後進坑の影響を考慮した一次支保・補助工法の設計が必要となる。そのため、トンネル軸方向の三次元挙動をモデル化できる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る。本研究では、併設トンネルにおける後進坑掘削時の先進坑への影響に着目して、その挙動を数値解析で再現しその発生原因を分析する。

2. 対象トンネル

対象トンネルは 2 車線道路トンネルで、離隔が約 1.4m の併設である (図-1)。地質構成は表層部に泥質砂状の未固結石灰岩、その下層に比較的均質・堅固な泥岩が分布しており、トンネルは泥岩部に位置している。検討断面位置の土被り 36.7m である。後進坑掘削時の先進坑支保部材に発生する軸力の経時変化に注目すると、後進坑切羽が計測断面に近づくと増加、真横は近くで減少、更に掘削するとまた増加する傾向が観測されている。

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。解析モデルは図-2 に、地盤物性値は表-1 に、支保部材の仕様は表-2 に示す通りで、地盤の構成則は Mohr-Coulomb の弾塑性モデルを用いる。掘削の手順は補助ベンチ付全

表-1 地盤物性値

地質名	記号	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$E(\text{kN/m}^2)$	ν	$c(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$
石灰岩	R1	17	20,000	0.42	20	30
泥岩	Sm1	20	170,000	0.38	150	10
	Sm2	20	400,000	0.30	500	10

γ : 単位体積重量, E : 変形係数, ν : ポアソン比, c : 粘着力, ϕ : 内部摩擦角

表-2 支保部材の仕様 (DI パターン)

支保部材	部位	仕様	解析モデル	変形係数 E(kN/m ²)	断面積 A(m ²)	断面二次モーメント I _x (m ⁴) I _y (m ⁴)
吹付コンクリート (若材齢)	アーチ インバート	t=200	シェル要素	4.0x10 ⁶	0.20	- -
吹付コンクリート (強度発現後)	アーチ インバート	t=200	シェル要素	2.98x10 ⁷ (東行線) 2.20x10 ⁷ (西行線)	0.20	- -
鋼アーチ支保工	アーチ	H-150@1.0m	ビーム要素	2.1x10 ⁸	3.965x10 ⁻³	1.62x10 ⁻⁵ 5.63x10 ⁻⁶

吹付コンクリート設計基準強度: 36N/mm^2 (東行線), 18N/mm^2 (西行線)

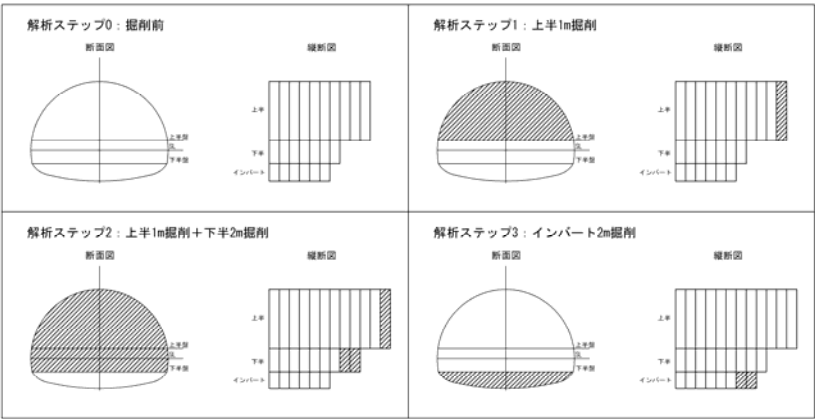


図-3 解析ステップ図

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(株)土木設計部 TEL 03-5381-5296

断面工法で、図-3 に示すようにステップ 1 からステップ 3 のサイクルを繰り返す掘削解析とした。

4. 解析結果

4.1. 先進坑挙動の再現

実挙動を再現するために、地盤の側圧係数と粘着力を変化させた解析ケースについて比較検討した(表-3)。先進坑掘削時のトンネル天端位置における鋼アーチ支保工の軸力経時変化図を図-4 に示す。CASE1 より CASE2 の方が実測に合うため、側圧係数は 1.00 を用いることとした。

4.2. 後進坑掘削時挙動の再現

後進坑掘削時の先進坑鋼アーチ支保工の軸力経時変化図を図-5 に示す。計測点は後進坑側の TS3 に着目する。この点の計測結果は、後進坑切羽位置が -3.0D~0.0D (真横) 付近までは圧縮軸力が 410kN から 520kN へ増加し、切羽が 0.0~0.5D 進行するまでの間は圧縮軸力が 520kN から 390kN と約 130kN 減少し、0.5D より先に進行すると再び圧縮軸力が 390kN から 570kN へ増加する挙動が観測された。

CASE2 の解析結果では、圧縮軸力が減少する際の後進坑切羽位置は実測値に適合しているが、減少量が約 10kN であり観測値より小さい。一方、地山のせん断強度を低下させた CASE3 では、圧縮軸力が減少する際の後進坑切羽位置は実測値と適合しており、減少量は約 110kN と実測値に近い結果となっている。CASE3 の吹付コンクリートのトンネル周方向の軸力分布図(側面図)を図-6 に示す。この図より、後進坑切羽位置近傍に圧縮軸力が集中していることが分かる。また、切羽位置より後方 0.5D 付近までの範囲で圧縮軸力が減少し、その後再び増加していることが分かる。

5. まとめ

離隔の小さい併設トンネルの施工で、後進坑切羽進行に伴い先進坑支保部材の軸力が減少し、再び増加する挙動が確認された。この挙動の

再現解析によれば、原設計より側圧係数を大きくし粘着力を小さくすることで挙動を再現することができた。この時の支保部材の軸力コンター図より、後進坑切羽位置近傍で軸力が集中するため、ピークを超えると一旦圧縮軸力が減少し再び圧縮軸力が増加することが確認された。また、せん断強度が小さい方がこの挙動が生じやすいことが判明した。

表-3 検討ケース

検討ケース	側圧係数 K_0	Sm2層の粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$
CASE1	0.62	500
CASE2	1.00	500
CASE3	1.00	170

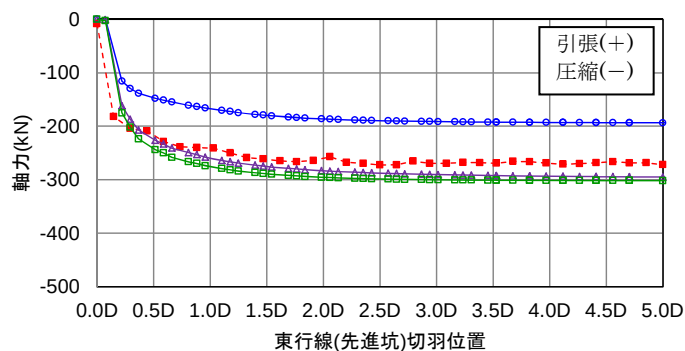


図-4 鋼アーチ支保工の軸力経時変化図 (TS1)

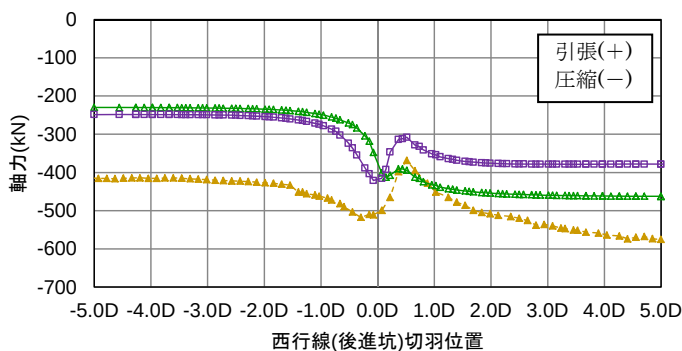


図-5 鋼アーチ支保工の軸力経時変化図 (TS3)

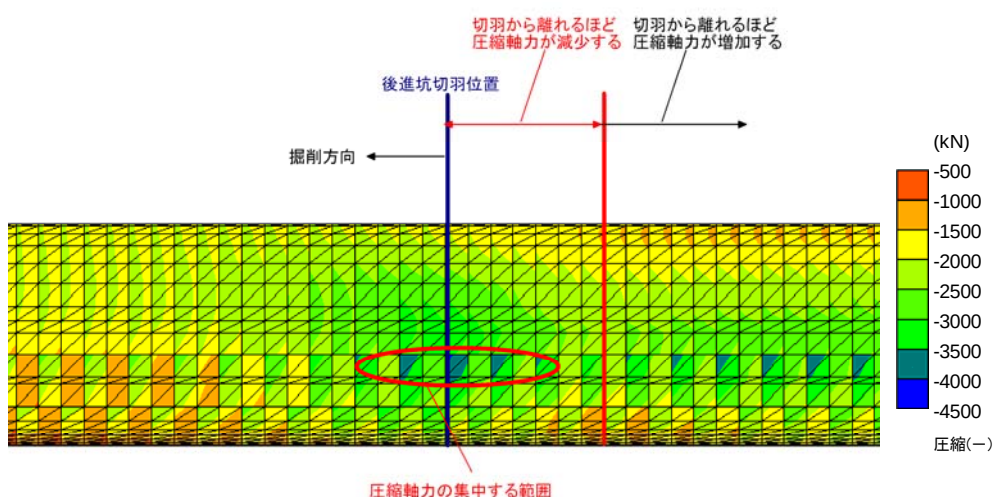


図-6 吹付コンクリートのトンネル周方向軸力分布図(側面図)