# 新設トンネルの掘削工法選定に関する三次元弾性解析

ドーピー建設工業(株)	正会員	〇石井	めぐみ
室蘭工業大学大学院	正会員	小室	雅人

### 1. はじめに

本論文では、坑口が斜面に対して斜角を有して計画さ れ、土被りが浅く偏圧を受けやすいトンネルの施工計画 例において、施工時の安全性確保を目的に、地形・地質 および各施工段階を詳細に模擬した有限要素法による三 次元弾性解析を実施し、支保パターンおよび補助工法の 選定に関する検討を行った.

## 2. トンネル概要

図-1には、トンネルの計画平面図を示している.対象 トンネルは、直径D = 12.0 m、全長L = 378.0 m であり、 トンネル地山は軟質な地質(泥岩主体)で形成されている. 設計当初は地山等級に基づく支保パターン(D 等級)によ る施工が計画されていた.しかしながら、近傍で実施さ れた地質調査結果より、泥岩中に地下水流動が認められ、 融雪期の地下水上昇に伴う地山の不安定化が懸念された ため、掘削時の安全性を確保するための補助工法につい て数値解析的に検討を行うこととした.

## 3. 数值解析概要

図-2には、本解析モデルの要素分割状況を示している。解析対象範囲は道路中心から山側に60m、海側に54mとし、延長方向には坑口から104mとした。境界条件は底面を完全固定とし、側面を面外方向に拘束することとした。使用した要素は周辺地山には8節点ソリッド要素、覆工および注入式長尺先受け工法(以降:AGFと称す)には4節点シェル要素である。

地層に関しては、地質調査結果より4種類に区分して いる.また、一次覆工(以降:覆工と称す)に使用した普 通および高強度コンクリートの設計基準強度はそれぞれ



凶一! 司回十回のよい所们対象範囲

釧路工業高等専門学校フェロー岸徳光(株) 構研エンジニアリング佐光正和

18 MPa, 36 MPa である. なお, 覆工の弾性係数は, 吹付 コンクリートの若材齢時の剛性とH型鋼の剛性を換算し た値としている. **表-1**には, 使用物性値を一覧にして 示している.

本研究では、予備解析を踏まえ 表-2 に示すような3 ケースについて数値解析を行った.なお、覆エコンクリー トに関しては、AGFを導入しない場合には普通コンクリー トを、AGFを導入する場合には高強度コンクリートを用 いた.図-3 には AGF の導入角度を示している.

数値解析は、応力状態を適切に表現するために実施工 を忠実に模擬して行った。掘削工法は上半の掘削面と下 半の掘削面との距離(以降:ベンチ長と称す)を 30 m とし て施工するショートベンチカット工法(ケース 1, 2)と,

使用材料	弾性係数 (MPa)	密度 p (g/cm <sup>3</sup> )	ポアソン比 v
崖錘堆積物(dt)	15	1.9	0.35
強風化 (Ms(W))	70	2.0	0.35
風化~弱風化(Ms)	150	2.2	0.30
火砕岩(Ltf)	2,000	2.2	0.26
覆工(普通)	11,200	2.51	0.20
覆工(高強度)	16,000	2.51	0.20
AGF	9,000	0.46	0.20

表-1 物性值一覧

表-2 解析ケース一覧

ケース名	AGF	覆 支保工	工 覆工厚	工法 *	コンクリート 強度
ケース1	なし	H200	250 mm	ショート	普通
ケース2	120°	H250	350 mm	ショート	高強度
ケース3	180°+側壁	H250	350 mm	マイクロ	高強度





キーワード:トンネル, AGF, 有限要素法, 三次元弾性解析

連絡先:〒050-8585 室蘭工業大学大学院 工学研究科 くらし環境系領域 TEL/FAX 0143-46-5228

土木学会第67回年次学術講演会(平成24年9月)





ベンチ長を2mとしたマイクロベンチカット工法(ケース 3)について検討を行った.

## 4. 数値解析結果及び考察

# 4.1 周方向ひずみ分布

図-4には、104m 掘削終了時における覆工外側および 内側の周方向ひずみ分布を示している.変形倍率は100 倍である。各ケースにおける許容圧縮ひずみは、コンク リート標準示方書に準拠して若材齢時(1日)の弾性係数と 許容圧縮応力度より決定した.すなわち、ケース1では -318 μ、ケース2 およびケース3では -400 μ である.

(a) 図のケース1に着目すると,覆工外側の天端近傍お よび覆工内側の側面に広く -500 µ を超える圧縮ひずみ が発生しており,許容圧縮ひずみを超過している.

(b) 図より,ケース2における圧縮ひずみは,覆工の 外側で最大  $-410 \mu$ ,内側で最大  $-411 \mu$  であり,AGFを  $120^{\circ}$ 導入し,覆工に高強度コンクリートを用いることで 40%程度ひずみを低減できることが分かる.なお,発生 ひずみは許容ひずみを若干超えている.

また, (c) 図より,ケース3における最大圧縮ひずみ は,覆工の外側および内側において,それぞれ-376 μ, -386 μ となっており, AGF を 180° と山側の側面に導入 し,覆工に高強度コンクリートを用いることで, AGF を 導入しない場合より圧縮ひずみを 45 % 程度低減可能であ ることが分かる.また,発生ひずみは許容圧縮ひずみ以 下となっている.

以上のことから,最大ひずみが許容圧縮ひずみ以下と なるのは,ケース3のみであることが明らかとなった.

# 4.2 覆工天端の鉛直方向変位

図-5には、各ケースにおける覆工天端部の鉛直方向変 位および土被りを併せて示している.なお、土被りはト ンネル中心およびトンネル中心から左右に 1.0 D の位置 における値である.

図より, 土被り 2D 程度以下の範囲では, トンネルの 土被りが増加するにつれて天端の鉛直方向変位が増加し ていることが分かる.また, AGFを導入することにより, 覆工天端部の鉛直方向変位が小さくなること,および天 端変位の推移状況が緩やかになっていることが確認でき る.このことは, AGFを導入することで覆工近傍地山部 のアーチアクションが向上し,覆工への作用荷重を低減 することが可能であることを示唆している.なお,最大 鉛直方向変位は,ケース1~3 でそれぞれ約 30 mm, 26 mm, 20 mm である.

管理基準となる覆工天端の鉛直変位量  $\delta_c$  は、トンネル 半径 a と周辺地山の限界ひずみ  $\varepsilon$  の積より算出される. 本研究では、道路トンネル観察・計測指針に規定されて いる限界ひずみと一軸圧縮応力との関係に基づき、地山 の一軸圧縮強度が 1 MPa であることから限界ひずみ  $\varepsilon$  を 安全側の 0.4 % と設定し、 $\delta_c = 24$  mm と決定した.

これより,覆工天端の鉛直方向変位量が管理基準値を 下回るのは,ケース3のみであることが分かる.

- 5. **まとめ**
- AGFを導入することで、覆工近傍地山部のアーチア クションの向上により、トンネル覆工への作用荷重 が低減し、天端の鉛直変位を効率的に抑制できる。
- 2) 許容圧縮ひずみおよび覆工天端の鉛直方向変位が設計基準内となるのは、覆工に高強度コンクリートを用い、AGFを180°および山側の側面に導入した場合のみであった。

-52-