

低土被り下での脆弱地山における大断面トンネル掘削方法の解析的検討

大成建設 正会員 ○一枝 俊豪

大成建設 正会員 石田 修

大成建設 正会員 小原 伸高

大成建設 正会員 廣末 龍文

1. はじめに

山岳トンネル工法を適用する際には、支保部材が十分な効果を発揮するまでの間、切羽の安定性を維持することが必要となる。特に地山強度の低い脆弱な地山においては、掘削の際に切羽安定を保持するため、補助工法として切羽前方の鏡補強工や垂直縫地工が用いられる。

本研究では、不良地山における切羽の安定性対策として採用した GFRP 管を用いた長尺鏡補強工や垂直縫地工の効果を三次元掘削解析により定量的に評価・分析し、その沈下抑制効果について報告するものである。

2. 対象トンネル

対象トンネルを図-1 に示す。地質は泥質岩で、掘削断面積は 180m²、土被りは 1D (約 21m)、一軸圧縮強度が 40kPa、地山強度比が 0.1 と小さな切羽安定性の非常に悪い地山である。

3. 解析手法

三次元掘削解析には有限差分コード FLAC 3D を使用した。解析モデルを図-2、地盤物性値を表-1、支保部材および補助工法の仕様を表-2 に示す。構成則は Mohr-Coulomb の完全弾塑性モデルを用いた。

まず、地盤のせん断強度に関する物性値は、計測された切羽押出変位量を再現できるようパラメトリックスタディにより決定した。長尺鏡補強工 (長さ 19.5m、1.3 本/m²) の付着強度は、図-3 に示す引抜き試験結果から算定した。また、垂直縫地工は、1.8m 間隔の千鳥配置でトンネル側方 4.5m の範囲に設置し、その付着強度は長尺鏡補強工を参考に設定した。

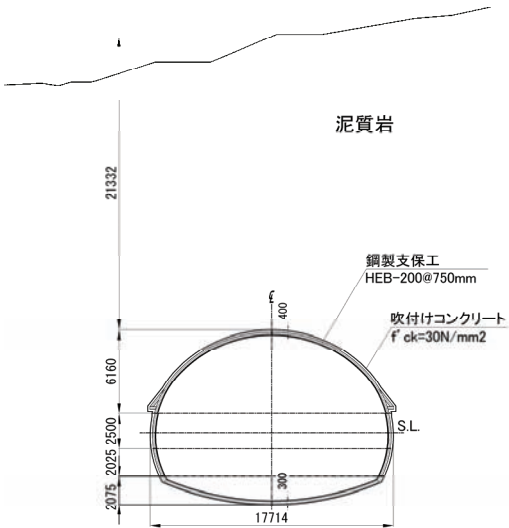


図-1 トンネル断面図

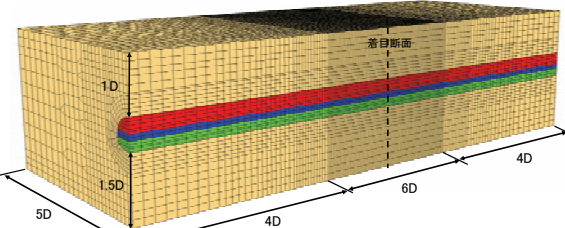


図-2 解析モデル図

表-1 地盤物性値

地質名	ポアソン比 ν	変形係数 E (MN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
泥質岩	0.3	25.9	20	15	12

※粘着力 C・内部摩擦角 ϕ : 切羽押出し変位より同定

表-2 支保部材の仕様 (750mm 当たり)

部材	変形係数 E (kN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	断面積 A (m ²)	断面二次モーメント		構造要素
				強軸 (m ⁴)	弱軸 (m ⁴)	
鋼製支保工 HEB-200@750	2.1×10^8	77.0	1.04×10^{-2}	2.6×10^{-5}	7.6×10^{-5}	ビーム要素
吹付けコンクリート $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ $t=40\text{cm}$	4.0×10^6 $\rightarrow 2.8 \times 10^7$	23.0	0.4	—	—	シェル要素

表-3 補助工法の仕様

	長尺鏡補強工	縫地ボルト	備考
要素	ケーブル	ケーブル	—
仕様	GFRP管 $\phi 76$	D32	—
弾性係数 (kN/m ²)	3.8×10^7	2.1×10^8	—
単位体積重量 (kN/m ³)	17.5	77	—
断面積 (m ²)	$1.71 \text{E-}03$	$7.94 \text{E-}05$	—
削孔径 (m)	0.09	0.101	—
削孔周長 (m)	0.283	0.317	グラウト部 (削孔径)
せん断剛性 (kN/m ²)	100	100	—
付着強度 (kN/m)	40	44.9	引抜き試験より
引張強度 (kN)	200	397.15	継手部強度

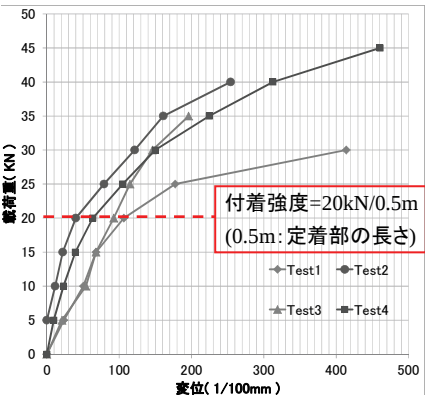


図-3 引抜き試験結果

キーワード 三次元掘削解析、低土被り、脆弱地山、補助工法

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

4. 解析結果

長尺鏡補強工のみを実施した場合の切羽押し変位量の計測結果を図-4 に示す。これは、ある切羽に到達した際の切羽前方27m の地点を不動点として、切羽軸方向の変位量を測定し、さらに切羽が進む毎に増加していく切羽軸方向変位の累積量を整理したものである。この計測結果より、地山のせん断強度を同定した結果、粘着力 $C=15\text{kPa}$ 、内部摩擦角 $\phi=12^\circ$ を得た (図-5)。

次に、垂直縫地工の補強効果を示す。垂直縫地工を用いたトンネル掘削の場合、既往の研究では垂直縫地ボルトには切羽前方で圧縮力、トンネル通過後の天端部には吊り下げによる引張力、そして側壁部では、天端部からの荷重が伝達され、圧縮力が作用するとされている¹⁾。実施した解析ケースを表-4、天端沈下解析結果を図-6 に示す。Case1 および Case2 の比較により、トンネル前方の垂直縫地工は、天端沈下量の抑制に効果的であることが分かる。これは、Case1 においては、切羽前方に設置される垂直縫地ボルトに作用する圧縮力が確実に垂直縫地ボルトによって分担されるのに対し、Case2 ではその力を分担することができないためと考えられる。

図-7 に各ケースの周辺地山の主応力コンターを示す。これより、垂直縫地工を実施していない Case3 は天端部分の主応力が減少しているのに対し、垂直縫地工を実施した Case1 および Case2 では、初期地圧程度 (300kN/m^2) の主応力を維持していることが分かる。

以上より、垂直縫地工はトンネル周辺地山のアーチゾーン形成に寄与するといえる。また、垂直縫地工を適用する際には、垂直縫地ボルトをトンネルインバート下端にまで根入れを行い、確実に荷重を伝達するモデルとすることが望ましいといえる。

5. まとめ

本研究では、低土被りかつ脆弱地山における補助工法の効果を三次元掘削解析にて検証した。

今後は、検討に長時間を要する三次元掘削解析による設計手法ではなく、より簡便で迅速に補助工法の効果を評価できる設計手法を検討したい。

1)城間 博通、益田 光雄、進士 正人：現場計測に基づく垂直縫地ボルトのトンネル周辺地山補強に関する一考察、土木学会論文集 F、Vol.62 No.1、pp117-127、2006.3。

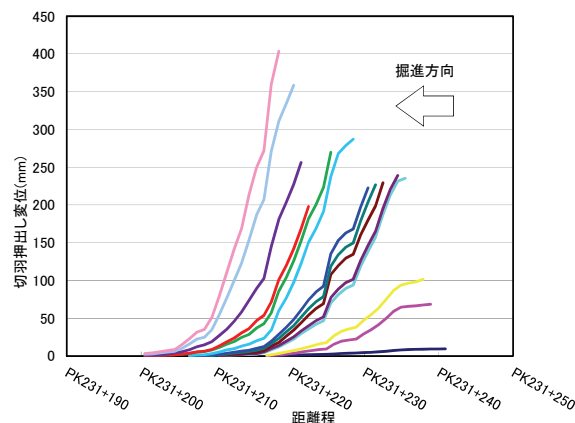


図-4 切羽押し変位計測値

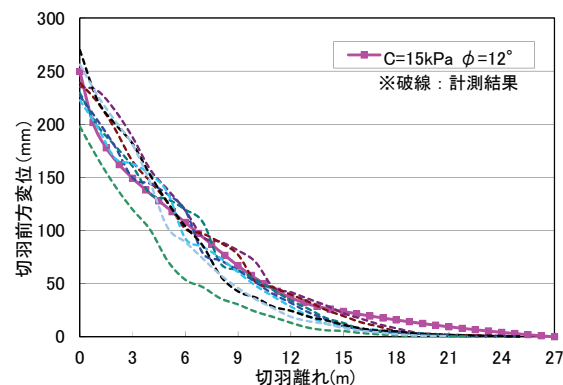


図-5 切羽押し変位

表-4 解析ケース

	垂直縫地工範囲
Case1	インバート 下端まで設置
Case2	トンネル断面内 には設置しない
Case3	設置しない

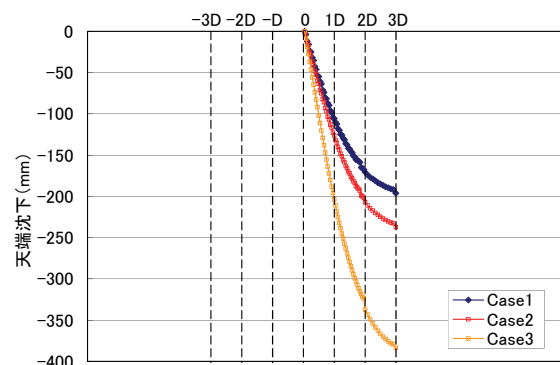


図-6 天端沈下量の比較

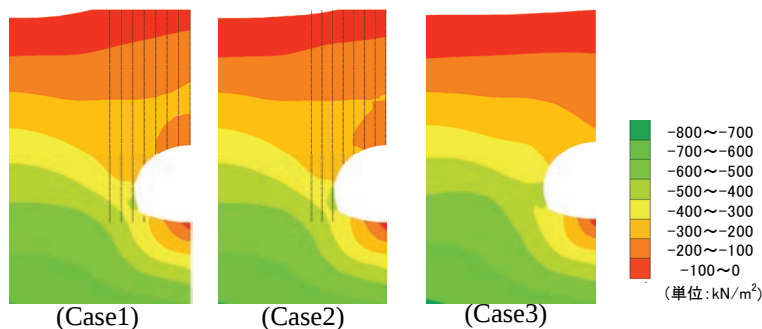


図-7 主応力コンター図