

## 土被りの小さい河川直下を合理的な補助工法で施工

清水建設(株) 九州支店土木部 正会員 郡司恭志 安達健一 小岩一博  
 清水建設(株) 地下空間統括部 正会員 ○星 州人 上岡真也 福田 毅

## 1. はじめに

本工事は一般国道 212 号三光本耶馬溪道路事業の一環として、跡田トンネル (L=2,355m) のうち西側工区 (L=1,262m) を施工するものである。トンネルの掘削断面積は  $107\text{m}^2$  であり大断面道路トンネルに分類される。TD872~978m は土被りが 1.5D (D=15.3m) 以下で最小土被りは 11.7m で河川直下となる。図-1 に示すように当該区間近隣には民家 (60m) や墓地 (40m) が点在し、トンネル直上には市道が土被り 20m で交差しており、トンネル掘削の影響を最小限に抑制する必要がある。

本論文では、小土被り区間の施工前に実施した三次元解析の結果と施工時の坑内変位、および地表面沈下の計測結果について報告する。

## 2. 施工概要

小土被り区間では、地表面沈下の影響を最小限に抑制するとともに、坑内へのトンネル直上にある河川の水の引き込みを防止する必要がある。そこで河川は事前に切廻しを行った。また、当該区間の支保パターンは、図-2 に示すように土被りの程度に応じて2パターンを計画した。土被りが 1.0~1.5D の場合には、DIVパターンとして充填式フォアポーリング (以下 FP)，1.0D 以下の場合には、DIV-1パターンとして長尺鋼管フォアパイリング (以下 AGF) を施工することとした。AGF の注入材はシリカレジンを使用することを標準とし、湧水対策としてシリカレジンで止水できない場合は、注入材を減水・止水効果のあるカバード・エム (KOD-M) に変更する計画とした。ロックボルトは表面水や浅層地下水を坑内に引き込む可能性が高いと想定し、天端部  $120^\circ$  範囲を除いた範囲に打設することとした。

## 3. 三次元 FDM 解析による管理値の設定

小土被り区間の施工に先立ち三次元逐次掘削解析を実施し、トンネルの変形量および地表面沈下量の予測解析を実施した。図-3 に今回使用した解析モデ



図-1 小土被り区間平面図

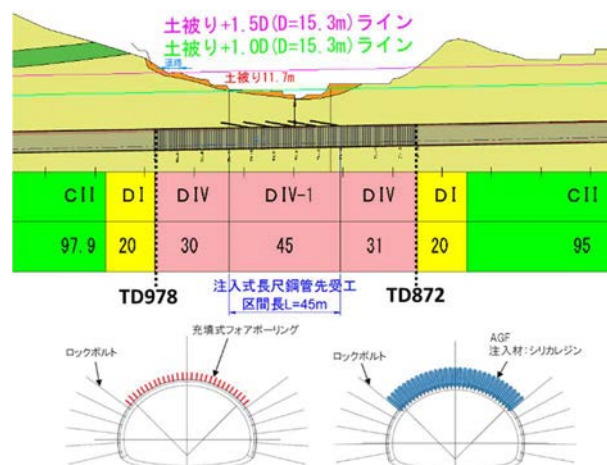


図-2 小土被り区間の支保パターン

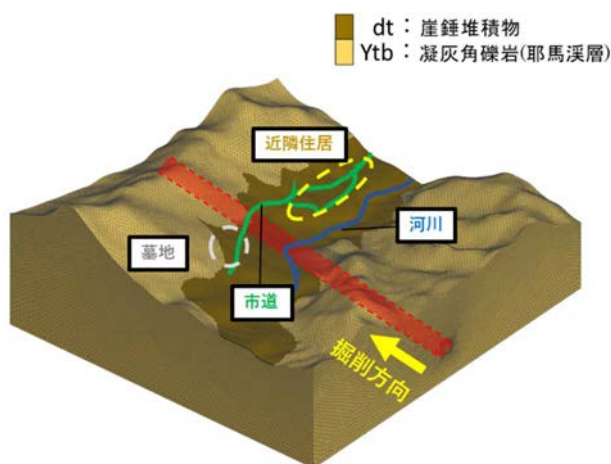


図-3 三次元解析モデル

キーワード：河川直下，小土被り，補助工法，三次元解析，管理基準値

連絡先：〒104-0031 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設(株) 地下空間統括部 TEL 03-3561-8672

ルを示す。解析モデルは実際の地山形状、施工条件を考慮している。解析に用いる地山物性値は「H27 大分 212 号三光本耶馬溪道路トンネル設計業務」の設定値に準拠して設定した。表-1 に解析に用いた地山物性値を示す。

トンネルと市道が交差する箇所での地表面沈下量の解析結果は 23.2mm となり、これは市道の沈下許容値である 50mm を下回った。また吹付けコンクリート、鋼製支保工共に発生する応力は許容応力以下となった。これらより、小土被り区間は補助工として FP または AGF のみの施工で掘削可能と判断した。

地表面沈下量の管理値は農道の沈下許容値の 50mm を基に、沈下量及び内空変位の管理値は各計測点での解析値を基に設定した。表-2 に最も土被りが小さくなる TD922 における天端沈下、内空変位、地表面沈下の管理値を示す。

4. 施工（計測）結果

図-5、図-6 に TD922 における上半掘削時の内空変位及び沈下量を示す。内空変位の実測値は上半水平測線が最大となり、その値は解析値の-3.0mm に対して-2.1mm で収束しており、解析値と同等であった。一方、沈下量の実測値は上半左側壁部が最大となり、解析値の-13.0mm に対して-2.5mm で収束しており、解析値を大幅に下回った。

図-7 に TD922 の地表面沈下量を示す。解析値は-18.7mm であるが、実測値は-4.0mm で収束しており、こちらも解析値を大幅に下回る結果となった。

各種計測結果は他の計測点でも同様の傾向がみられた。また DIV-1 区間の坑内湧水に関してはシリカレジンで止水できる程度の量であったため、注入材は減水・止水効果のあるものには変更していない。

5. おわりに

本工事は最小土被り 11.7m で大断面道路トンネルを掘削する工事であるが、事前に三次元逐次掘削解析を実施することで周囲への掘削影響や支保構造を検討することができた。トンネルは 2022 年 3 月末現在、上半 1,090m の掘削を完了しており、小土被り区間を抜けて掘削を継続している。

今回、地表面沈下や天端沈下は想定よりも小さい値であった。これは掘削による河川の水位低下がなく、また坑内湧水が少なかったことにより、沈下量も小さくなったと考えられる。

表-1 解析に用いた地山物性値

地質 <sup>1)</sup>	単位体積重量 <sup>2)</sup> kN/m <sup>3</sup>	変形係数 <sup>3)</sup> kN/m <sup>2</sup>	ポアソン比 <sup>4)</sup>	粘着力 <sup>5)</sup> kN/m <sup>2</sup>	内部摩擦角 <sup>6)</sup> deg
dt <sup>2)</sup>	15.0 <sup>2)</sup>	6,000 <sup>2)</sup>	0.40 <sup>2)</sup>	10.0 <sup>2)</sup>	35.0 <sup>2)</sup>
Ytb <sup>3)</sup>	19.0 <sup>3)</sup>	136,000 <sup>3)</sup>	0.35 <sup>3)</sup>	500.0 <sup>3)</sup>	22.0 <sup>3)</sup>

表-2 天端沈下及び内空変位の管理値(TD922)

計測管理体制		通常体制	注意体制	要注意体制	嚴重注意体制	緊急体制
対応		通常計測 坑内観察	点検・計測 頻度強化	点検・計測強化 対策の立案	坑内作業中止 対策の実施	工事中止按本的 対策の検討
管理基準値	沈下	本坑(DIV) 10mm未満 (解析値の80%)	10mm以上 (解析値の80%)	13mm以上 (解析値の100%)	再解析実施	再解析実施
	内空変位	本坑(DIV) 2mm未満 (解析値の80%)	2mm以上 (解析値の80%)	3mm以上 (解析値の100%)	再解析実施	再解析実施
	地表面沈下	累計沈下量 25mm未満 (沈下許容値の50%)	25mm以上 (沈下許容値の50%)	37mm以上 (沈下許容値の75%)	50mm以上 (沈下許容値の100%)	道路面に 変状発生

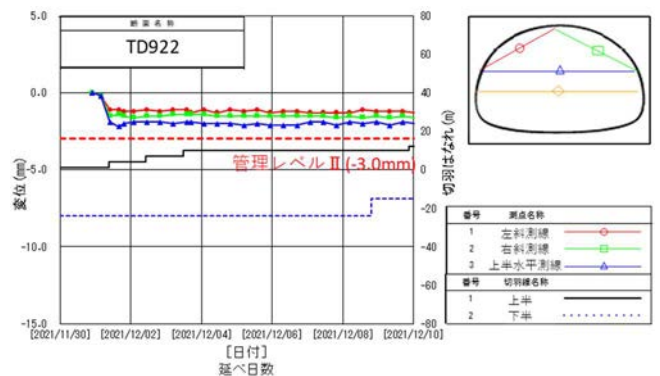


図-5 内空変位

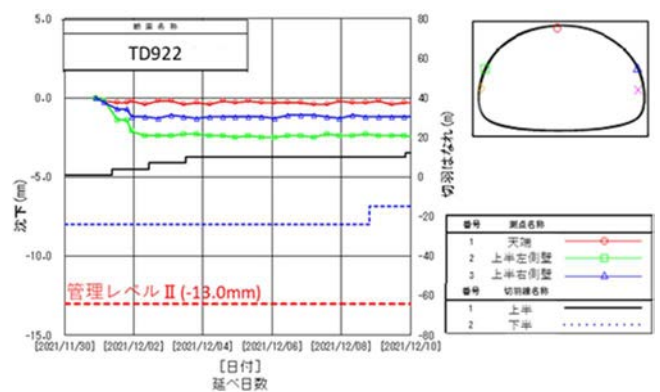


図-6 沈下

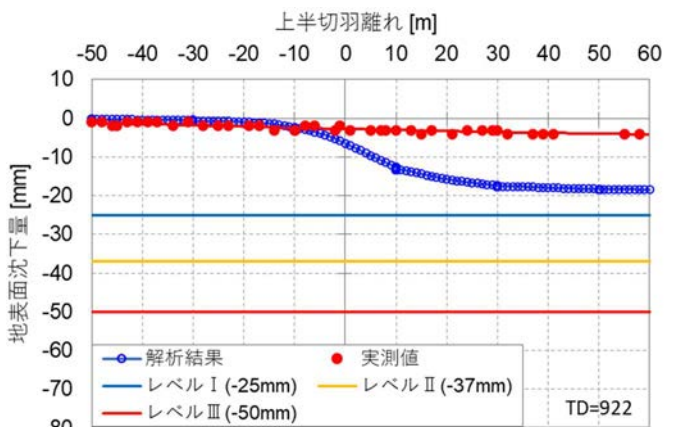


図-7 地表面沈下量