

都市域山岳N A T Mにおける軟弱地山の施工について ～都市基盤河川奈坪川改修工事(トンネル本体)～

宇都宮市建設部 吉本 治憲 宇都宮市建設部 大金 隆宏
清水建設株式会社 正会員 光増 朝久 清水建設株式会社 正会員 ○高橋 啓介

1. はじめに

奈坪川は宇都宮市を流れる都市型河川であり、溢水被害の解消を図る目的で都市基盤河川奈坪川改修工事が事業化されている。本工事は、その一環として地下水路トンネル約 850mを施工するものである。写真-1 に地上部の状況を示す。

図-1 に示すようにボーリングデータからは、トンネル上部約 6mまで透水性の低い凝灰質砂岩がほぼ一様に分布すると示され、山岳N A T Mによる安定した施工が見込まれていた。

しかし、トンネル坑口より 300m付近から凝灰質砂岩の固結度が小さくなり湧水が次第に増加し、切羽は自立しなくなり流砂現象も発生した。都市部において周辺環境に影響を及ぼすことなくトンネル工事を施工するにあたり、地山状況に応じた補助工法を行ったので、これについて報告する。

2. 切羽状況と掘削補助工法

坑口から 315m付近より湧水が増加し、砂層が出現して天端・切羽の不安定化が生じたため、水抜き孔を設置し天端と鏡に注入式フォアポーリングを施工した。330m付近からは未固結の帯水砂層(黄褐色細砂層)が出現し、切羽に空洞が発生したため、中尺先受け工($\phi 76.3\text{mm}$, $L=6.36\text{m}$, ctc600mm)と中尺鏡ボルト工($\phi 76.3\text{mm}$, $L=8.82\text{m}$, ctc1000mm)を施工した。370m付近では、切羽中央部から流砂が発生したため、中尺補強工と中央部のみ止水注入工を行った。395m付近では、切羽全体から出水し大規模な流砂を誘発したため、全断面で止水注入工の施工を行った。図-2 に切羽の変化状況を示す。



写真-1 トンネル地上部の状況

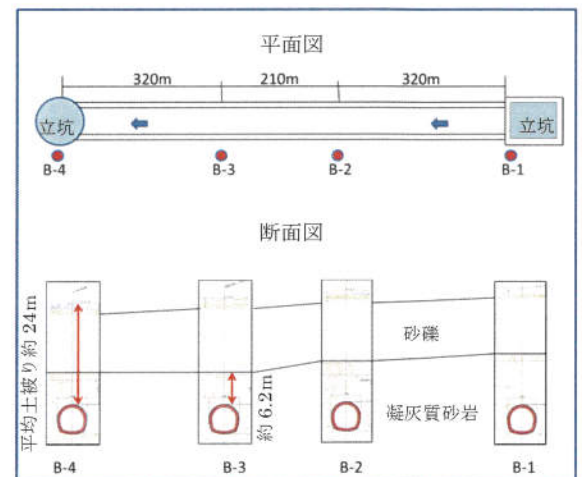


図-1 ボーリングデータ

T.D.315 付近

砂層出現⇒短尺補強工

T.D.330 付近

空洞発生⇒中尺補強工

T.D.370 付近

中央部出水(流砂による空洞)
⇒中尺補強工+止水注入工

T.D.395 付近

全体出水⇒止水注入工(全断面)



図-2 切羽の変化状況

キーワード：都市域山岳N A T M、軟弱地山、未固結帯水砂層、掘削補助工法

連絡先：栃木県宇都宮市元今泉 4-2-10、Tel. 028-610-1003、Fax. 028-610-1003

地山は、湧水量の増加と共に固結度も低くなっていったため、補助工法の仕様を表-1に示すように組み合わせ、段階的にステップアップさせていった。

表-1 補助工法ステップ一覧表

補助工法名	施工箇所	施工法	仕様	注入材 (注入形態)	現象	第1ステップ	第2ステップ	第3ステップ	第4ステップ	第5ステップ	第6ステップ	工程・コスト
注入工(止水注入)	全断面	@6.0m	周囲φ76.3, L=10.02m, ctc600 切羽φ76.3, L=10.02m, ctc1000	水ガラス系注入材 (浸透注入)	全面湧水・流砂						●	大
注入工(局所止水注入)	切羽局所	@6.0m	φ76.3, L=8.82m		局所湧水・流砂					●		
中尺先受け工	天端	@3.0m	φ76.3, L=6.36m, ctc600/450	シリカレジン (割製注入)	天端崩落・湧水・先行緩み				●	●		
中尺鏡ボルト工	切羽	@6.0m	φ76.3, L=8.82m, ctc1000		鏡崩落・先行緩み				●	●		
注入式フォアボーリング	天端	@1.0m	PUφ27, L=3.0m, ctc600/450		天端崩落		●	●				
GRP鏡ボルト工	切羽	@1.0m	GRPφ41, φ25, L=4.0m, ctc800		鏡崩落			●				
水抜き「リング」	掘削断面外	@3.0m	φ65, L=15m	—	切羽湧水	●	●	●	●	●	●	
鏡吹付	切羽	@1.0m	t=5cm(※注入断面10cm)	—	鏡の小崩落	●	●	●	●	●	●	小

湧水量 少 多

また、図-3に示す通り切羽断面に未固結凝灰質砂岩と未固結帯水砂層が同時に出現する切羽断面もあった。流砂を引き起こす可能性が高い未固結帯水砂層(均等係数 $U_c=4$ 程度、細粒分含有率 10%程度)には止水注入を行い、未固結凝灰質砂岩は中尺補強工(中尺先受け工+中尺鏡ボルト工)を掘削補助工法とし、地山状況に応じた効率的な補助工法を採用した。

3. 周辺環境への影響

掘削補助工法を都度迅速に対応したため、トンネル内の変位、地表面の変位ともほとんど認められなかった。切羽湧水による地下水位の低下も懸念されたが、観測井の結果より坑内湧水に起因する地下水位の低下は見られなかった。図-4に水位観測位置図、図-5に坑内全体湧水量と地下水位の変化、降雨量との関係を示す。地下水位は、当該地区の降雨量に連動して推移し、坑内湧水量と関連していないことが分かる。

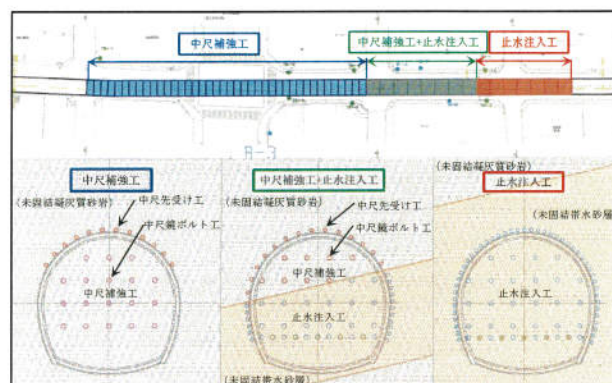


図-3 補助工法選定図



図-4 水位観測位置図

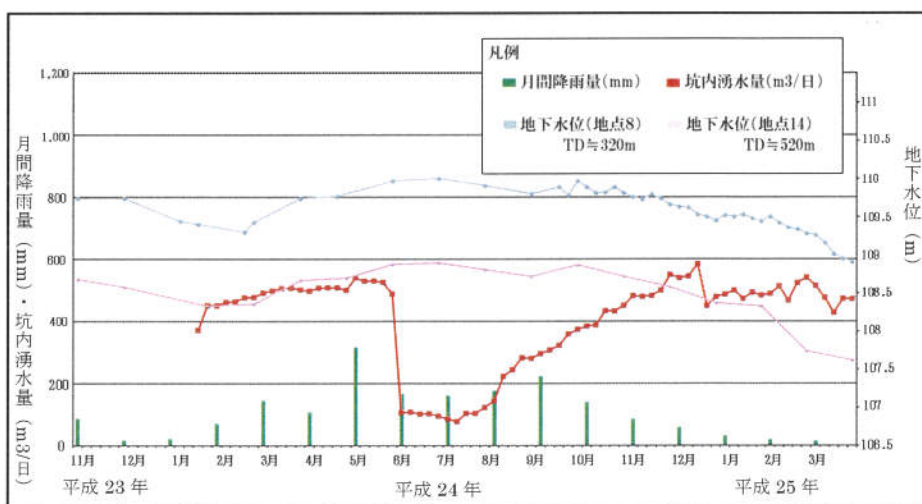


図-5 坑内湧水量・地下水位・降雨量相関図

4. 現況報告

奈坪川改修工事におけるトンネル工事は、都市域の山岳NATMで施工しているが、坑内・地上部を常に計測・監視しながら補助工法を適切に導入し、ほとんど変状なく軟弱地山部の掘削を完了しようとしている。平成26年5月末には掘削完了予定であり、その後1年程度かけてウォータータイトの覆工を施工する予定である。

本報告が、都市域の山岳NATMの設計・施工の参考となれば幸いである。また、工事の実施に理解をいただき、ご協力いただいている周辺住民の方々に心からの感謝の意を表します。