長尺鋼管を用いたウレタン系減水材の施工

野村　和達[1]・高橋　秀武[2]・角丸　吉浩[3]・中込　正貴[4]

[1]正会員　中日本高速道路株式会社 東京支社 沼津工事事務所（〒410-0011 静岡県沼津市岡宮焼土手1300-1）
E-mail: k.nomura.af@c-nexco.co.jp

[2]中日本高速道路株式会社 東京支社 厚木工事事務所（〒243-0032 神奈川県厚木市恩名1-14-13）
E-mail: h.takahashi.ad@c-nexco.co.jp

[3]正会員　三井住友建設株式会社（〒104-1312 東京都中央区佃二丁目1番6号）
E-mail: kakumaru@smcon.co.jp

[4]正会員　三井住友建設株式会社（〒104-1312 東京都中央区佃二丁目1番6号）
E-mail: MasakiNakagomi@smcon.co.jp

新東名高速道路谷ヶ山トンネル西工事は，第四紀更新世の脆弱な地山が掘削対象であり，さらに2条の河川直下を小土被りで掘削していくという特徴を持つことから，多量湧水に起因する天端部の崩落が懸念された．そのため，この地山を安全に掘削するためには，河川直下区間の施工時の湧水対策が課題となった．谷ヶ山トンネル西工事では，その減水対策として新材料（ウレタン系減水材）を使用した．本稿は，谷ヶ山トンネル西工事で実施した，多量湧水の発生が想定される脆弱な土砂地山においてこの新材料がどのような効果を発揮するか，また施工上生じた問題と，その解決案として実施した，長尺鋼管を用いたウレタン系減水材の施工について報告するものである．

Key Words : *tunnel,urethane based water reducing material, long steel pipe*

1.　はじめに

新東名高速道路は，東名高速道路の経年劣化や，渋滞が頻繁に発生している現状から，現東名の抜本的サービス改善，現東名とのダブルネットワークによる信頼性の向上，及び大都市圏間の連携強化を目的として建設されている．現在，愛知県豊田市～静岡県御殿場市までの区間が開通しており，残りの静岡県御殿場市～神奈川県海老名市の区間を建設している．谷ヶ山トンネルは，その建設中の新東名高速道路の一部で，静岡県と神奈川県の県境を跨ぐ延長約2.7kmのトンネルであり，谷ヶ山トンネル西工事は，静岡県側の約1.6km区間で上下線合わせて2本のトンネルを構築する工事である．新東名高速道路の路線図を**図-1**に示す．この谷ヶ山トンネル西工事の対象地山は非常に脆弱であり，またトンネルが2条の河川直下を小土被りで掘削していくことから，多量湧水に起因した天端部の崩落が懸念された．そのため，河川直下を施工する際に，いかに掘削中の湧水を減水するかが課題となった．

今回，谷ヶ山トンネル西工事では，多量湧水の発生が懸念される区間において，新しい注入材（ウレタン系減水材）を用いた注入を行い減水対策を実施した．本稿では，その減水対策の実施状況と効果について報告する．

2.　谷ヶ山トンネル西工事の特徴

工事概要を**表-1**に，掘削対象地山の地質縦断図を**図-2**に示す．谷ヶ山トンネル西工事の掘削対象地山は，第四紀更新世の湯船層である．この層は，未固結なシルト質

図-1　路線図

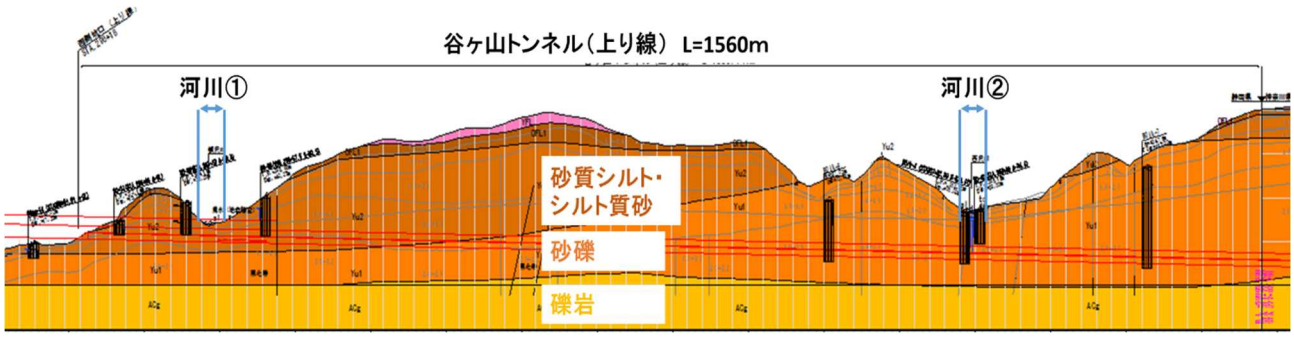


図-2　地質縦断図

表-1　工事概要

項　目	内　　容
工事名称	新東名高速道路　谷ヶ山トンネル西工事
発注者	中日本高速道路株式会社　東京支社
施工場所	静岡県駿東郡小山町生土～中島
工期	平成26年5月　～　平成32年6月
主要工種	トンネル工、橋梁下部工
数量	・トンネル延長　上り線　1,560m 下り線　1,626m ・橋梁下部工　橋台　2基

表-2　掘削対象地山の性質

河川名	土被り	透水係数
河川① 頓沢川	約15m	10^{-6} m/sオーダー
河川② 西沢川	約30m	10^{-5} m/sオーダー

砂と砂質シルトの互層に砂礫を介在する脆弱な地質条件である．そのため施工時には，ブレーカーのノミ先があたる程度で天端・切羽が大きく肌落ちする状況がしばしばみられた（**図-3**）．

また，このトンネルは2条の河川直下を通過する計画となっていた．**表-2**に示す通り，先に通過する頓沢川では15m程度の小土被りでの施工となり，後に通過する西沢川では透水係数の高い地質条件での施工となる．このため，このトンネル工事においては，河川直下を施工する際に，多量湧水に起因する天端部の崩落が懸念されることから，いかに掘削中の湧水量を減らし，天端部の崩落を防ぐかが大きな課題となる．

3.　新材料による減水対策工の概要

谷ヶ山トンネル西工事では，先に述べた掘削中の湧水量を減らし，天端部の崩落を防ぐための方法として，ウレタン系止水減水材を用いた減水対策工を実施した．この材料は，一般的に使われているシリカレジンに代わるものとして，ここ数年で開発された湧水に強い注

図-3　天端部の肌落ち状況

入材であり，新名神高速道路の箕面トンネル工事等で施工実績がある．本章では，この新しいウレタン系減水材について，特徴と施工を行った結果について説明する．

(1)　新材料の特徴と減水メカニズム

今回使用した注入材は，長期的な減水・止水を目的として開発された1.5ショット方式のウレタン系注入材であり，水と接触しない場合には無発泡の高強度な固結体となり，水と接触して反応した場合には発泡する性質を持つ．化学的性質を**表-3**に示す．この反応性の違いを利用し，以下に示す減水メカニズムにより，滞水した地山内に遮水ゾーンを形成し，さらに地山改良効果も付与することが可能となる．減水メカニズムのイメージを**図-4**に示す．

【減水メカニズム】

①ボルト先端から吐出した注入材は帯水層に接触して発泡する．

②発泡した注入材は地山からトンネルへの湧水の流れを遮断する遮水ゾーンを形成すると同時に，後から注入された注入材が所定の範囲外へ逸走するのを防ぐシールドとなる．

③次に注入された注入材は徐々に発泡倍率が小さくなり，高密度の固結体を形成する．

表-3　新材料の化学的性質

	KOD-M	
	A液	B液
組成	ポリオール 触媒	ポリイソシアネート
性状		
外観	淡褐色液体	褐色液体
粘度(mPas/25℃)	300±100	200±50
比重(20℃)	1.03±0.03	1.23±0.03
配合(体積比)	A:B=1:1±0.1	
反応時間(秒/20℃)	45±15(水接触なし) 65±20(1%水添加)	
発泡倍率(倍)	1(水接触なし) 7±2(1%水添加)	
圧縮強度(MPa)	80±10	
荷姿	17kg	20kg
消防法上分類	第4種第4石油類	第4種第4石油類

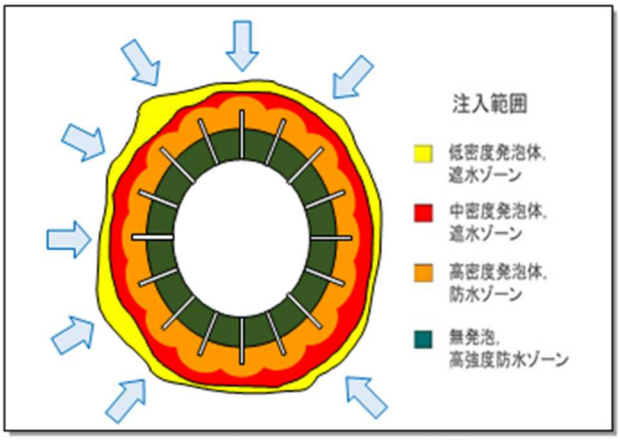


図-4　減水メカニズムのイメージ

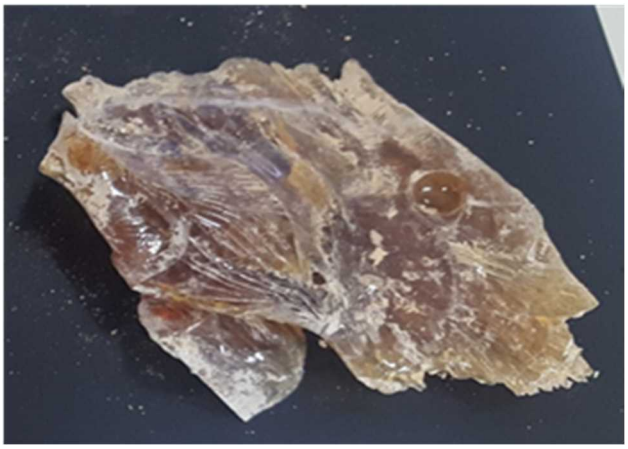
形成された発泡体・固結体の写真を図-5 に示す.

また，この注入材は水と反応して発泡体を形成するため，湧水環境下でも流出する可能性が少なく，周辺環境へ配慮した材料である．さらに，通常のトンネル掘削と同様の機械編成で注入が可能であることから，従来多量湧水環境下での止水減水対策で用いられる薬液注入工法と比較し，専用機が必要ないため大幅な工程短縮効果が期待される.

(2)　自穿孔ボルトを用いた新材料による減水対策工

前述の新しい注入材を用いて，掘削に先立ちトンネル外周に遮水ゾーンを形成し，トンネル断面内への湧水の流入を抑制する工法を実施した．支保パターン図を図-6に示す．具体的には，2.0m掘削する毎にトンネル前方地山へ自穿孔型注入ボルト（L=70m）を60cm間隔で打設し，注入材を圧入してトンネル外周部に幅4.0mの遮水ゾーンを形成する．なお，今回の減水対策工の設計注入量は，遮水ゾーンがロックボルトの地山改良効果範囲と同等となるように設定している．さらに，本注入工で用いる自穿孔型注入ボルトによる支保内圧が，通常のロックボルトの支保内圧と同等であることから，当該区間では通常のロックボルトの打設は行っていない.

(a)　発泡体の形成状況



(b)　固結体の形成状況

図-5　形成された発泡体・固結体の状況

(3)　実施結果と課題

新しい注入材を用いた減水対策工を河川直下の区間で実施した結果，切羽での湧水量は明らかに減少した．この結果から，今回用いた新材料が一定の減水効果を発揮したと考えられる.

一方で，天端部については小崩落がしばしば見られた．この天端部の小崩落の原因として，自穿孔ボルトによる注入では天端部に対する挿入角度が大きく，改良ゾーンとの開きが大きいことが考えられる．そのため，天端部と改良ゾーンの開きを小さくする方法を検討した.

4.　長尺鋼管を用いた新材料の施工

前章の検討から，今回用いた注入材の施工上の課題として，天端部と改良ゾーンの開きが課題となった．本工事では，その解決方法として，長尺鋼管を用いて注入を実施した．本章では，その方法と，施工結果について説明する.

(1) 長尺鋼管を用いた新材料による減水対策工

注入材による改良ゾーンと天端部の開きを小さくする方法を検討した結果，自穿孔ボルトによる注入ではなく，通常のAGFの施工に用いる長尺鋼管による施工を計画した．長尺鋼管であれば，天端部に対する角度を小さくでき，かつ注入回数が減少することで安価になることが期待される．長尺鋼管を用いて施工した区間における支保パターンを図-7に示す．

(2) 長尺鋼管を用いた場合の課題

今回使用した注入材を長尺鋼管で注入する場合には，粘性が高いことから，通常のポンプでは注入ができないことが懸念された．そこで，谷ヶ山トンネル西工事ではポンプを改良し，100MPaまでの高圧注入が可能なポンプを使用して注入を実施した．

(3) 長尺鋼管を用いた減水対策工の結果

長尺鋼管を用いて注入を実施した結果，自穿孔型ボルトを使用した場合と同様に切羽での湧水量が減少した．

一方で，自穿孔型ボルトによる注入時にはしばしばみられた天端部の肌落ちは激減した．これは，想定したとおり改良ゾーンが天端部からの開きが小さいところに形成されたためと考えられる．

(4) 湧水量からみた結果考察

通常の AGF で施工した場合，自穿孔ボルトにより新材料を注入した場合，および長尺鋼管を用いて注入した場合の 3 パターンについて結果を述べる．

AGF 使用時（新材料使用前）が最大 100L/min の湧水量であったのに対し，自穿孔ボルトを用いて注入した場合には 20L/min まで減少しており，使用前後で明らかに湧水量は減少がみられた．その後，風化帯へ近づくにつれ，また湧水量が増加し，50L/min 程度の湧水量となった．そこで長尺鋼管を用いて注入を実施したところ，湧水量は 40L/min 程度で安定した．

天端部については，自穿孔ボルトを用いた注入工法と比較し，長尺鋼管を用いた注入工法の方が肌落ちの発生が少なくなった．

以上より，長尺鋼管を用いた新しい注入材の注入工法の採用により，天端部の肌落ちを抑えつつ高い減水効果を得られることが判明した．

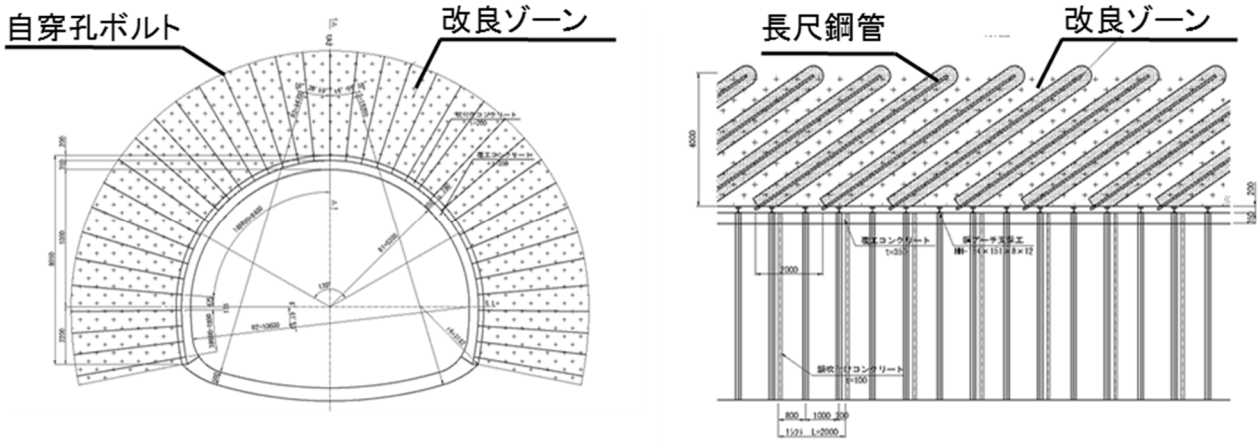


図-6　自穿孔型ボルトを用いた注入時の支保パターン

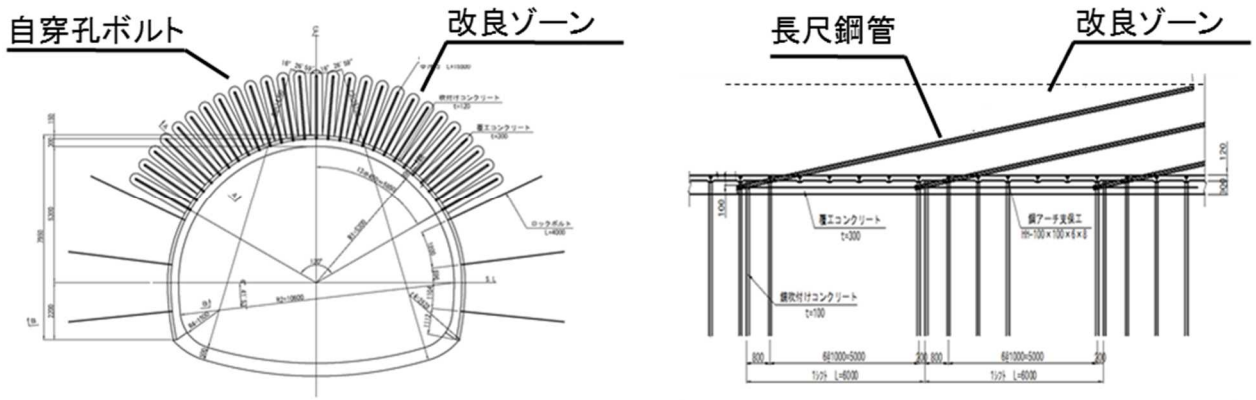


図-7　長尺鋼管を用いた注入時の支保パターン

5. まとめ

本稿では，谷ヶ山トンネル西工事で実施した，新しい注入材（ウレタン系減水材）による減水対策工の施工事例及び実施結果について報告した．得られた知見について以下にまとめる．

1）今回使用した注入材は，水と反応し発泡する性質を持つため，多量湧水下でも安定した効果を発揮することができる．

2）今回使用した注入材の施工に際して，長尺鋼管を用いて改良範囲と天端部との開きが小さくなるよう施工したところ，天端部の肌落ちを抑えつつ高い減水効果を得られることが判明した．

3）今回使用した注入材は非常に粘性が高く，長尺鋼管による注入にあたっては高圧注入を実施することが必須である．

今後，もう1条の河川直下の施工時にも減水対策は必須となると考えられる．今回使用した注入材は，高い減水効果及び天端の安定による安全な施工が可能であり，かつ薬液注入工法と比較して工期を短縮できるといったメリットも持つ．そのため，更なる検討を進めていきたいと考える．

(2017. 8. 11 受付)

CONSTRUCTION OF URETHAN-BASED WATER REDUCING MATERIAL USING THE LONG STEEL PIPE

Kazuyoshi NOMURA, Hidetake TAKAHASHI,Yoshihiro KAKUMARU and Masaki NAKAGOMI

The Construction of Yagayama Tunnel is characterized by the fact that the weak natural ground of Quaternary Pleistocene is the subject of excavation and further excavation is carried out with the low soil covering directly under two rivers. There is concern about the collapse of the top end portion caused by a large amount of spring water. Therefore, in order to excavate this ground safely, countermeasures against spring water at the time of construction in the section directly under the river became an issue. In the Construction of Yagayama Tunnel, a new material (urethane based water reducing material) was used as a countermeasure against the water reduction. This paper describes the effect of this new mateial on sedimentary natural ground where large amount of spring water is expected to occur, carried out at the Construction of Yagayama Tunnel, as well as problems caused by construction and the solutions the implementation of urethane based water reducing material using long steel pipe as a solution to these problems.