

【30】

セメント注入に伴うトンネル湧水量、地山間隙水圧のモニタリング事例

応用地質株式会社 〇白元 直仁  
大山 洋一

1. はじめに

トンネル掘削に伴い環境基準を大きく超過する濃度の砒素を含む湧水が多量に発生した。この砒素含有湧水を無処理で河川に放流すると周辺の環境汚染を引き起こすため、対策として湧水発生区間の地山にセメントを注入し湧水量をできるだけ減少させ、低減できない分の湧水についてはトンネル坑外において砒素除去処理を施した後、河川放流する計画とした。

セメント注入工を実施するに当たっては、トンネル貫通後から観測を行っている坑内区間別湧水量や地山間隙水圧の測定データを用いて事前に地下水解析(3次元浸透流解析)を実施し、セメント注入工施工前と施工後の湧水量・地山間隙水圧の変化の予測を行い、対策工の効果を検証した。

セメント注入工の施工によって砒素含有湧水発生源の湧水量は減少し、施工区間周辺の地山間隙水圧が上昇したことが確認され、地下水解析による予測とほぼ同様の結果が得られた。

本稿は、対策工の進捗に伴う区間湧水量・地山間隙水圧の変動をまとめ、解析による予測結果との対比を検討したものである。

2. 調査内容

対象トンネルは、長さ約4.9km、最大土被り約350mの山岳トンネルで、起点側には中新世の花崗岩、終点側には白亜紀の四万十層群の砂岩頁岩互層が分布し、トンネル中央部終点寄りで両者は接している(図-1)。貫入接触部付近の花崗岩体は開口性の割れ目が発達し、割れ目沿いは褐色に変色した部分が多くみられ、接触部付近の花崗岩体からの湧水は砒素濃度が高く、四万十層群からの湧水は砒素濃度が低い特徴がある。

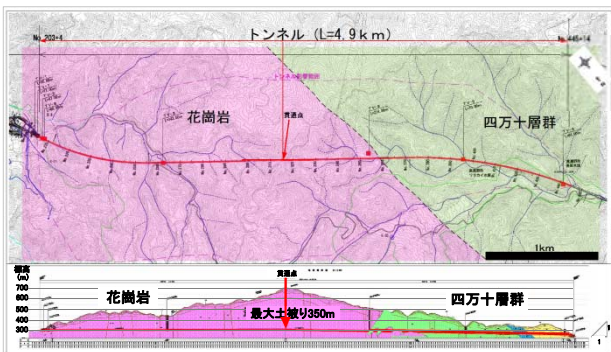


図-1 トンネルの地質状況

(1) 湧水状況

セメント注入工施工前のトンネル湧水状況を図-2に示

す。トンネル単位長あたりの区間湧水量は花崗岩と四万十層群の境界付近の TD1800m~1900m が最も多く約135t/h、区間砒素濃度は花崗岩と四万十層群の境界を含む前後区間が最も高く0.15~0.20mg/Lを示し、四万十層群区間は区間湧水量が少なく、区間砒素濃度が低い傾向にある。

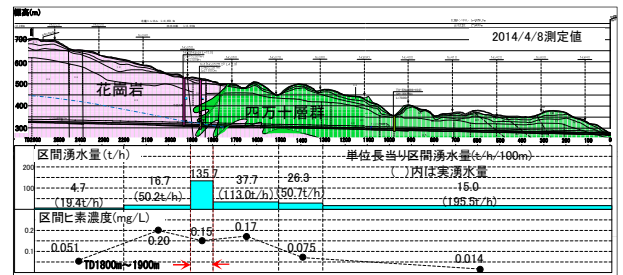


図-2 トンネル湧水状況

(2) 間隙水圧測定

図-3に示すように、地山間隙水圧は区間湧水量が多いTD1800m~1900mを中心にその前後区間で測定し、測定深度はトンネル側壁背面10~20mとした。セメント注入前の地山水頭は天端から約5~10m上方に存在していた。

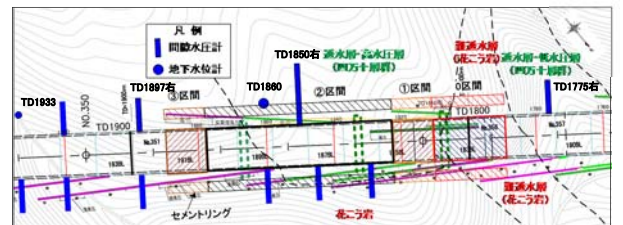


図-3 間隙水圧測定位置

(3) セメント注入工の概要

セメント注入工はトンネル単位長あたりの区間湧水量が最も多く、砒素濃度が高いTD1800m~1900mを対象に実施した。図-4に示すように、注入範囲はTD1789m~1890m区間のトンネル側壁から深度3.6~6.6mの岩盤の亀裂を対象とし、トンネル外側に幅3mのセメントリングを形成しトンネル内への地下水の流入を減少させる工法で、セメントリングの形成により上昇した水圧が直接トンネル覆工に作用しないような構造とされている。注入は③区間、①区間、0区間、②区間の順で施工され、リング両端部を難透水層に接するように施工することにより、施工区間の前後区間への地下水の回り込みを防止している。

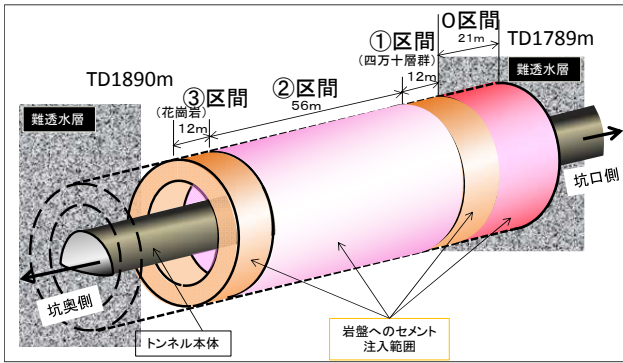


図-4 セメント注入工の概要

2016年5月末現在、減少量は前年同月比で約84t/hであった(図-5)。

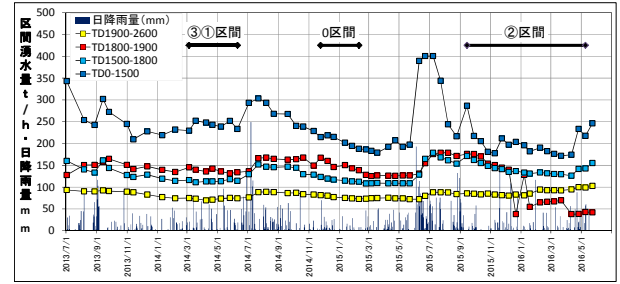


図-5 区間湧水量の変化

(4) 湧水量・地山間隙水圧の予測

トンネル掘削時に確認されている地山状況や、水文観測、坑内モニタリング等の観測データを用いて地下水解析(3次元浸透流解析)を実施し、セメント注入工施工後におけるトンネル坑内湧水量、トンネル周辺の水圧分布を予測した。その結果、トンネル湧水はトンネル全体で約100t/h 減少し、セメント注入工施工区間では88%程度の減少が予測された(表-1)。また、セメント注入工施工区間周辺での水圧を水頭換算すると約88m 水位が上昇する予測結果となった(表-2)。

表-1 湧水量予測結果

湧水量(t/h)	セメント注入		増減
	前	後	
TD1900-2600	70.1	77.8	111%
TD1800-1900	165.0	19.8	12%
TD1500-1800	152.5	183.0	120%
TD0-1500	307.2	308.1	100%
総湧水量	694.8	588.7	85%

表-2 水圧予測結果

水圧 水頭換算、標高表示(m)	セメント注入		増減
	前	後	
TD1900-2600	-	-	増加
TD1800-1900	325	413	88m
TD1500-1800	-	-	変化なし
TD0-1500	-	-	変化なし

3. モニタリング結果

対策工のセメント注入は、③区間→①区間→②区間→②区間の順で行われた。坑内区間別湧水量、地山間隙水圧のモニタリングは、セメント注入工施工前から終了まで実施した。以下にセメント注入工の進捗とトンネル湧水量、地山間隙水圧の変化を示し、事前予測との比較を行う。

(1) 湧水状況

セメント注入工施工区間の湧水量は、施工前から0区間施工終了時までには顕著な変化は見られなかった。その後②区間の施工進捗に伴い区間湧水量が急激に減少し、

(2) 水圧状況

セメント注入区間の中央付近の地山間隙水圧は、施工前から0区間施工終了時まで顕著な変化は見られなかった(TD1860、TD1850右)。②区間の施工進捗に伴い水圧が上昇し、2016年5月末には標高表示で約441m となった。

水位は、②区間の施工に伴い施工前の約327m から114m 上昇したことになる(図-6)。

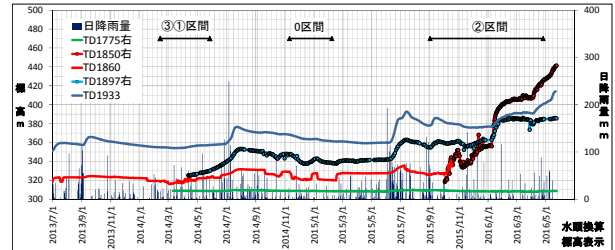


図-6 地山水圧の変化

(3) 予測と現況の比較

セメント注入工施工前後の対策区間の湧水量・水圧は、表-3に示す通りであった。現況は予測に対し湧水量の減少率はやや低く、水圧の上昇は予測を上回る結果となっている。これはセメント注入によってセメントリングが形成され坑内への地下水の流入を減少させていること、セメントリング坑口部の難透水層の連続性が良いため水圧が上昇しているものと考えられる。

表-3 予測と現況の比較

TD1800-1900	セメント注入		増減
	前	後	
湧水量(t/h)	126.6	42.0	33%
水圧: 水頭換算、標高表示(m)	327.4	441.4	114

※セメント注入前:2015/5/22、セメント注入後2016/5/23

4. おわりに

セメント注入工は、坑内への地下水の流入を減少させること、増加した水圧が覆工に直接作用しないことから採用された工法である。施工後、地下水の流入は減少し、地山水圧は上昇したことを確認した。今後は、トンネル覆工変形・応力を測定し地山水圧の変化に伴う構造安定性を確認する予定である。