

スゴ谷トンネルにおける湧水処理の事例

富山森林管理署

常願寺川治山事業所 主任 吉田 一

1. はじめに

常願寺川地区民有林直轄治山事業地は、富山県の南東に位置し、流域では常願寺川の上流、真川の支流に位置しています。

当事業地は、安政の大地震を起こした跡津川断層の影響を受け基岩は顕著な破碎帯であり大規模な山腹崩壊地や溪岸浸食があり集中豪雨等に弱い地形、地質を有しています。

特に明治24年及び昭和44年の集中豪雨の際には、大きな土石流となって下流域に被害を及ぼしました。

昭和42年から平成8年まで、富山県によって荒廃溪流の安定と山腹崩壊の復旧に鋭意努力が図られてきましたが「事業規模が著しく大きいこと、かつ高度の技術を必要とすること」から富山県等の強い要請を受け平成9年度から国の直轄治山事業として着手し国土の保全と民生の安定を図っております。

当事業の全体計画は130億円の規模をもって山腹崩壊の復元緑化をはじめ、溪流の不安定土砂の固定及び流出防止等を積極的に実施するために、資材運搬路の開設が急がれるところであり上部スゴ谷流域の復旧のため、当事業地発足当初からトンネル掘削を進めています。

今回の発表は、昨年7月21日トンネル掘削中に発生した湧水処理について報告します。

2. スゴ谷トンネル工の概要

トンネル工の構造

設計速度	20.0 km/h
車道幅員	4.0 m
路肩幅員	0.5 m
総幅員	5.0 m

保安林管理道の規格である。

トンネル延長 985.0 m

内空断面積 27.8 m²

トンネル施工方法はNATM工法で、掘削工法は全断面掘削により実行しています。

3. 湧水処理について

トンネル掘削は現在のところ起点から720mまで完了していますが、湧水の発生箇所は710mの箇所が発生しました。

(1) 発生時の状況

湧水の発生した箇所の基岩は花崗閃緑岩であり、切羽の土被りは110mに位置しています。

図-1、の網目部分の岩質は破碎によって非常にクラッキーな状態で、岩の大きさは5～70cmであり、水により風化が進んでいました。また、横線の部分は土砂化して水がにじみ出ており斜線部分は粘土化していました。

当初は、粘土層の部分からは0.2ℓ/minの湧水量でしたが、突然粘土層が崩壊をはじめ、続いて天端全体が崩壊しました。(図-2)

約170m³の崩壊土砂と共に、6,000ℓ/minの湧水が発生し、トンネル掘削の進行に大きな影響を与えました。

(2) 掘削再開までの対策

基本的には、空洞部に充填材を注入できれば掘削は再開できますが、切羽に湧水があるために、充填材を注入しても湧水により流されてしまうために、切羽の湧水量をいかに軽減できるかが復旧のポイントとなります。

復旧に当たり、請負者と崩壊部処理フロー図(図-3)を作成し検討した結果、フローに基づき復旧することになりました。また、今回の湧水がいかなる性質のものであるか推定するため、表層及び図面から地形を把握し、湧水の供給源の推定と湧水量の日々の測定、並びに崩壊部の地山の挙動を調査するため、内空変位の測定を実行することになりました。

フローについては基本的に3つのパターンに分かれており水抜ボーリングの結果により採用するものです。

①、切羽からの湧水量が、500ℓ/min以下に軽減できた場合は、空洞部へエアームタルを注入し空洞に充填します。その後、復旧が完了後残りの空洞部分に再度エアームタルを注入し空洞を完全に充填します。

②、切羽からの湧水量が、500ℓ/minを越え700ℓ/min以下の場合は、エアームタル中の気泡が潰されてしまうため、空洞部へモルタルを注入し空洞に充填します。その後、復旧が完了後残りの空洞部分に再度エアームタルを注入し空洞を完全に充填します。

③、切羽からの湧水量が、700ℓ/minを越え1,000ℓ/min以下の場合はモルタルでは流されるため、空洞部へシリカレジンを自穿孔ボルトにより注入し、空洞に充填します。その後、復旧が完了後残りの空洞部分に再度ウレタンを注入し空洞を完全に充填します。

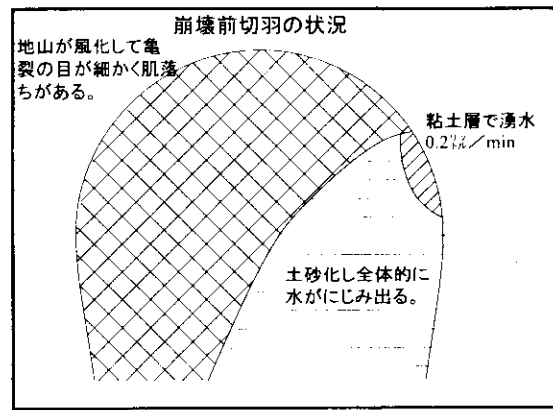


図-1

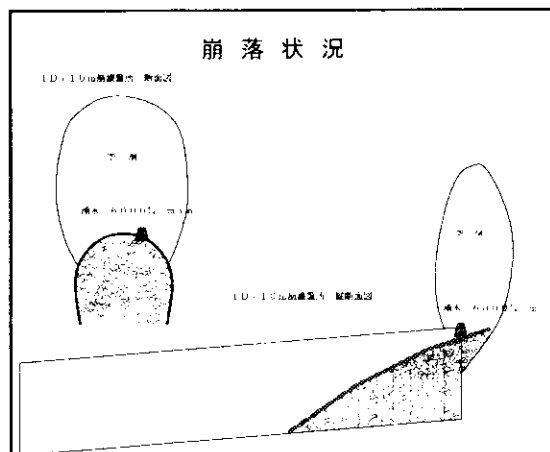


図-2

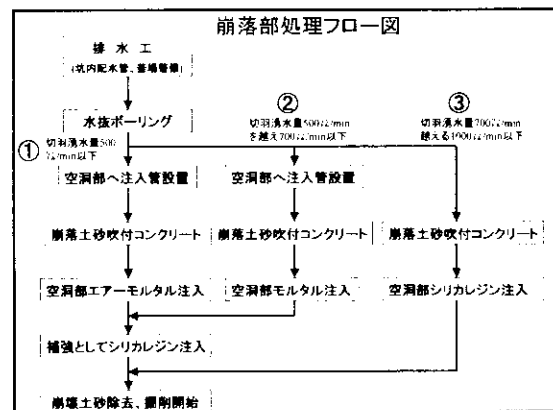


図-3

力学的に考えた場合は、トンネル天端にはあまり過重をかけない方が理想であり、軽いものから順に並べると③、①、②となり③が望ましくなります。

単層的に①から③を直接工事費で比較した場合に復旧費は、①は3,200千円②は3,100千円③は55,900千円であり安価な順に並べると②、①、③となり②、①が安価で望ましく③になると格段に高価になります。

総合的に判断して、集水効果が大きければ①が理想ですが、当施工地においては切羽の湧水量が $700\text{ L}/\text{min}$ 以下までで完全に集水ができなかったため②のモルタル注入を行いました。

(3) 実際に掘削作業再開までの流れ

まず始めに排水管を坑外まで設置しました。そして、湧水を集める釜場を設置して湧水を排水管へ誘導し坑外へ排水しました。

水抜ボーリング施工時には、切羽からの湧水量は $1,260\text{ L}/\text{min}$ が流出していました。

水抜ボーリングを開始するに当たりまず始めに集水効果が大きい切羽両側面NO. 1・4 (図-4)と天端部NO. 3並びに崩壊発生箇所NO. 2の4箇所に向け調査的に径 118 mm 長さ 20 m の水抜ボーリングを開始して多く集水できる箇所を探りました。

その結果No. 3孔が一番集水量が多いが空洞部を貫通しているために湧水が空洞部へ一部流れ込むため集水には適さないので、次に集水量の多いNo. 2孔周辺を集中的に水抜ボーリングを実行することになりました。

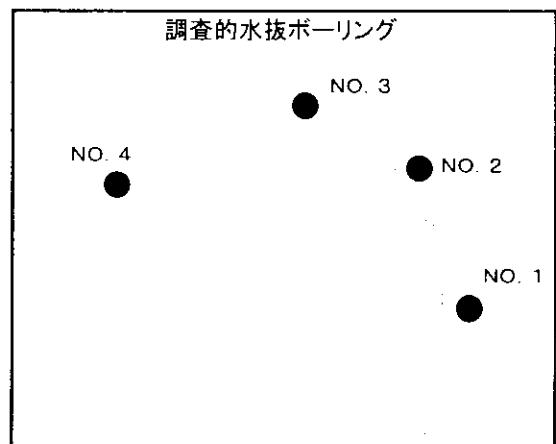


図-4

そしてNo. 2孔周辺を集中的に4箇所 (図-5) にボーリングを実行した結果、8孔あわせて約 $580\text{ L}/\text{min}$ を切羽から軽減することができ切羽の湧水量は約 $680\text{ L}/\text{min}$ となり $700\text{ L}/\text{min}$ 以下にすることができました。

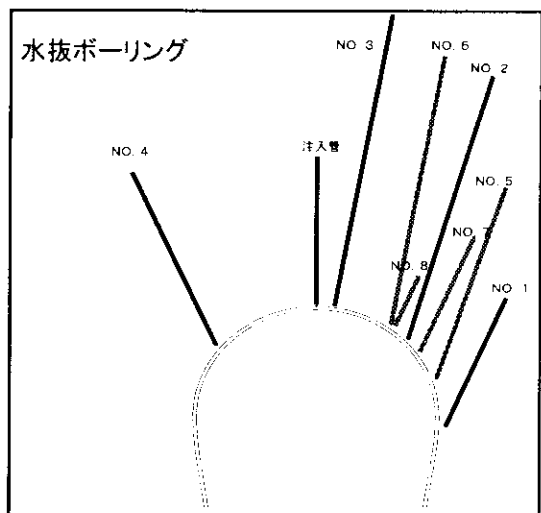


図-5

このまま水抜ボーリングを続けてもあまり施工効果が望めないこと。また、施工期間が崩壊発生から2週間以上を経過していることから、このまま続けることは困難でありモルタル注入を実行することになりました。

注入前に注入管を設置し、充填材のモルタルが流れないようにバルクヘッド的に崩壊土砂に吹付コンクリートを実行した後、モルタル注入を約 50 m^3 実行しました。その後、モルタル注入部の天端へ補強のためシリカレジンを注入式フォアパイリングにより注入しました。その後崩壊土砂を徐々に取り除き復旧は完了しました。

この復旧に要した期間は約1ヶ月間を必要としました。

4. 推察と結果

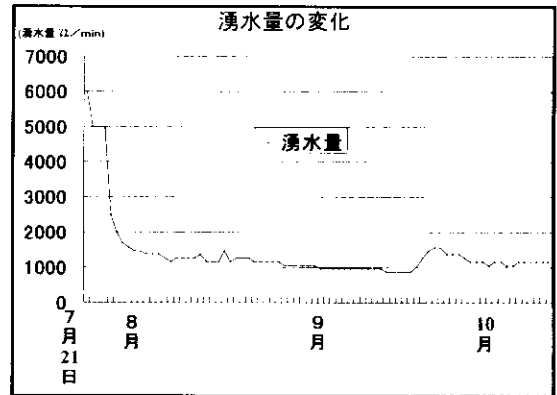
今回の湧水処理から推察できること及び結果については4点有ります。

①点目は、湧水の供給源は切羽前方55mの谷ではないか。

湧水の発生地点から考えると、切羽から55m前方に表層部を常に流水が流れる谷が以前から確認されており、この流水が断層破碎帯等の介在により地下へ浸透して湧水の供給源になっているのではないかと推定されました。

②点目は、湧水量の変動からある程度の帯水層が存在したのではないか。

このグラフ（グラフー1）は、湧水発生時から当年度のトンネル掘削終了までの湧水変化量をあらわしたのですが、グラフからわかるように湧水発生後3日間で6,000 $\frac{m^3}{min}$ と最も湧水量が多く、その後は一気に減少していることから湧水発生時から約1,000 $\frac{m^3}{min}$ まで落ち着くだけの3日間分、約18,000 m^3 の帯水層が存在したのではないかと推定されました。

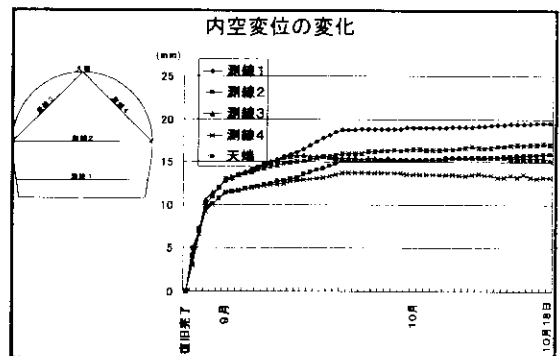


グラフー1

そして、湧水が約1,000 $\frac{m^3}{min}$ に落ち着いたことから、谷からの供給量は約1,000 $\frac{m^3}{min}$ と推定されました。

③点目は、内空変位の調査から見て変位は収束した。

このグラフ（グラフー2）は、復旧完了から当年度のトンネル掘削終了までの内空の変位をあらわしたのですが、このグラフを見てわかるように変位は約13mmから19mmで横ばいとなり内空変位は収束しているのがわかります。



グラフー2

④点目は、トンネル内へ流入した湧水源は点であり集水が困難であった。

湧水地点の修復後、崩壊を発生させた水脈を確認したところ地山の亀裂が長さ20cm幅5cm、開口している箇所から湧水が流出しているのが確認できました。

発生源がこのように点であり水抜ボーリングの集水が困難を要したことが判明しました。

5. 最後に

トンネル工事においては湧水の吐出は特に珍しいことではありませんが、スゴ谷トンネルは掘削延長が残り265mになりました。残箇所の地質状況の調査をチェックボーリング31mとTSP切羽前方探査にて確認した結果、切羽前方に2箇所の破碎帯が存在することが確認されています。

今回の湧水処理を経験に今後のトンネル掘削に生かしたいと思います。また、今後トンネル工事を実行される際の参考としていただければ幸いです。