

電磁波探査を活用した湧水対策区間の施工

近藤 進・佐藤 美和子・清水 吾郎

国道253号八箇峠トンネル工事における湧水対策区間の施工にあたって、掘削前に切羽前方の滞水状況および滞水位置を面的に把握できる電磁波探査を実施した。さらに、その調査結果を活用して、切羽前方の地下水位を下げるために水抜きボーリングおよび底設導坑の施工を行った。本論文では、湧水対策区間の施工において、切羽の安定性を確保するために実施した一連の対策について報告する。

キーワード：トンネル、湧水対策、電磁波探査、底設導坑、水抜きボーリング

1. はじめに

国道253号八箇峠道路は、新潟県南西部の上越市を中心とする上越地域と十日町市・南魚沼市を中心とする魚沼地域を相互に連絡する地域高規格道路「上越魚

沼地域振興快速道路」(延長約60km)の一部を構成しており、魚沼地域の十日町市八箇～南魚沼市余川間を結ぶ延長約9.7kmの道路である。八箇峠トンネルは、八箇峠道路の中央部に位置しており、延長2,840mである(図-1, 2)。

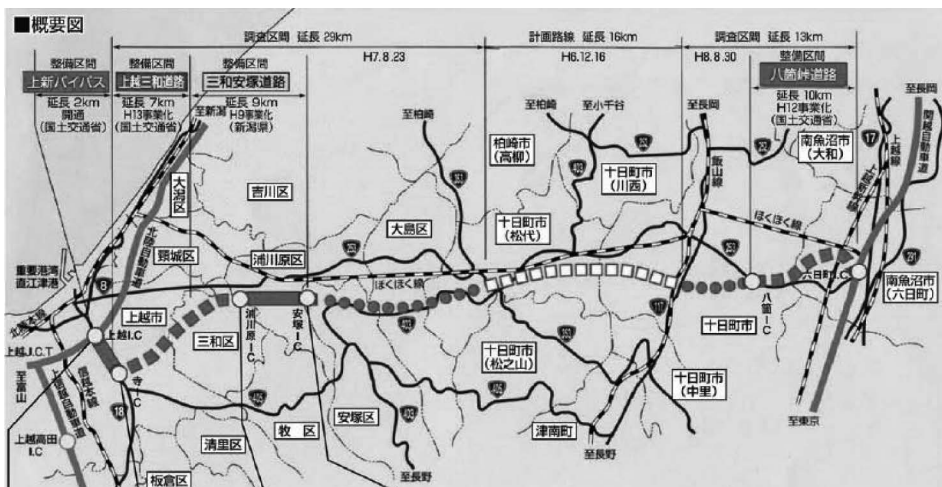


図-1 上越魚沼地域振興快速道路



図-2 八箇峠道路事業

八箇峠トンネル工事は平成19年度から着手し、平成24年度末までに南魚沼側からは1,434m、十日町側からは656mの掘削が完了している。平成25年度より、十日町側からのみ残り750mの掘削を再開しており、本年度中に全長2,840mの掘削が完了する予定である。

2. 湧水対策

(1) 地質状況

本トンネルの十日町側には、新第三紀鮮新世の砂礫層である「和南津層」が分布している。本トンネル工事で現れた和南津層は、未固結の砂質土層を主体としており、少量の湧水でも泥濘化・不安定化してしまう性状を有しているため、平成24年度末までの工事では、掘削中に切羽が安定せず、天端や鏡面が崩落する事象が発生した。そこで、切羽前方の地下水位を下げるためにトンネル断面外に向かって水抜き調査ボーリングを実施したが、約20～60L/分の被圧湧水が確認されたため、長尺先受け工および長尺鏡ボルト工を併用して、切羽の安定化を図った。このように、本トンネルで対象としている和南津層は、砂質土としては透水係数が低く、水抜きボーリングだけでは切羽の安定性を向上させることができない地山であると想定された。

(2) 湧水対策

平成25年度にトンネル工事を再開するにあたっては、地質調査および水抜き調査ボーリングの結果より、掘削再開起点から約180m間を湧水対策区間と設定し、これまでに行っていた左右土平からトンネル断面外へ向けた100m級の水抜き調査ボーリング（図

一7）に加え、下記①～④の対策を追加実施し、より確実に地下水位を効率的に低下させることとした。具体的な手順は、以下のとおりである。

- ①電磁波探査を切羽から前方50m実施（ラップ長14m）
- ②水抜きボーリングを切羽前方50m実施（ラップ長14m）
- ③底設導坑の掘削を切羽から36m掘削
- ④対策工完了後、本坑掘削を36m実施

この①～④のサイクルを5回繰り返すことにより、湧水対策区間180mの施工を行った（図一3）。

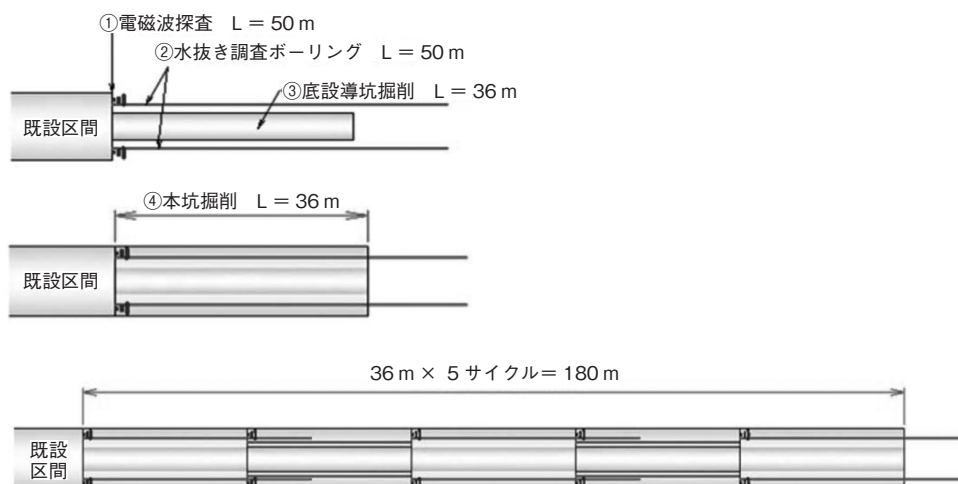
(3) 電磁波探査（FDEM探査）

電磁波探査は、切羽に測定機器を置いて、切羽前方に入射した電磁波の反応を測定することにより、切羽前方最大50m程度までの地山の比抵抗を測定できる物理探査手法である（写真一1）。比抵抗は、物質の「電気の流れにくさ」を示す値であり、地盤を構成している土粒子や岩石の電気的特性だけでなく、土の隙間や岩盤の亀裂に存在する地下水や空気等の有無を反映した物理量である。したがって、地盤の比抵抗分布を求めることにより、地下水や地山中の空洞の有無を把握することができる。

本工事では、切羽断面のスプリングライン付近と下半盤付近の2測線を設け、各測線において11カ所の



写真一1 電磁波探査の測定機器



図一3 湧水対策区間の施工サイクル

測定を行った（図-4、写真-2）。これらの測定結果をもとに切羽前方地山の比抵抗分布を求めた（図-5）。切羽から12m付近までの値は、鏡ボルトの鋼管の影響を受けて比抵抗は低くなっている。また、切羽

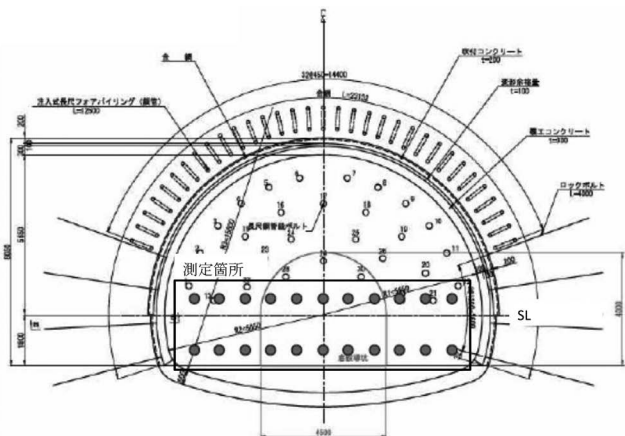


図-4 測定箇所（切羽断面）



写真-2 測定機器の設置状況

から14m付近、切羽から24m付近および切羽から28m以深は、周囲より比抵抗が低く、 $100\Omega\cdot\text{m}$ 以下の領域が存在する。対象地山は、比較的一様な砂質地山であることから、比抵抗が低い領域は地下水が多い滞水箇所であると想定した。

(4) 水抜き調査ボーリング

電磁波探査により推定された滞水箇所に向け、左右に1本ずつ水抜き調査ボーリング（ $\phi 116\text{ mm}$ 、 $L=50\text{ m}$ 、ノンコア）を実施した（図-6、7、写真-3）。ボーリング時には削孔4mごとに湧水量を測定し、滞水状況の確認および掘削時に湧水が増加すると想定される位置の特定を行った。なお、本ボーリングによって確認された湧水量は約10～30L/分であった。

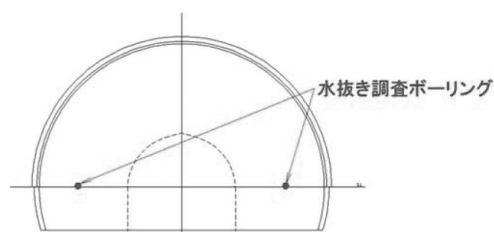


図-6 水抜き調査ボーリング箇所（切羽断面）

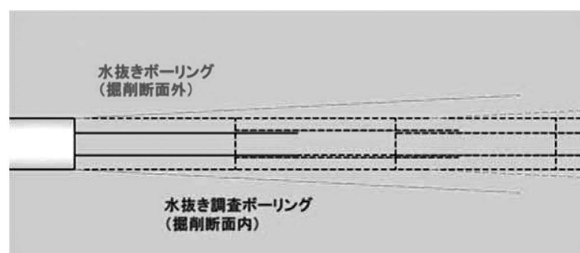


図-7 水抜き調査ボーリング（平面図）

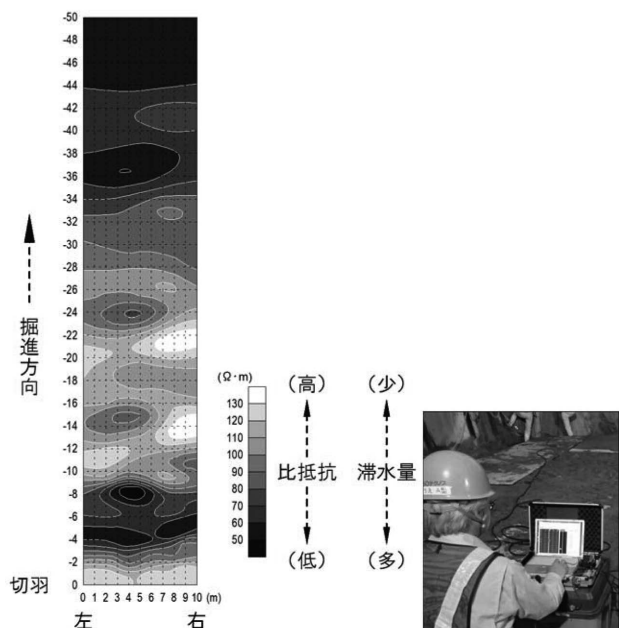


図-5 比抵抗値の分布例



写真-3 水抜きボーリング施工状況

また、水抜き調査ボーリングでは、湧水量の測定に加えて、湧水の水温、pHおよび電気伝導度を測定し、坑内湧水と地表水との連続性も調査した。トンネル坑内の湧水とトンネル直上の地表水の水質を測定し比較した結果、pHについては、坑内湧水がアルカリ性、

表一 1 トンネル坑内の水質調査結果

深度 (m)	湧水測定				
	累計湧 水量 (m)	区間湧 水量 (m)	水温 (°C)	pH	電気伝導度 (μ S)
0	0	—	—	—	—
4	1	1	14.6	9.64	294
8	1	0	15.0	9.56	308
12	2	1	14.9	9.24	282
16	4	2	13.9	8.83	223
20	8	4	13.7	8.95	227
24	15	7	13.4	8.84	207
28	15	0	13.1	8.82	199

表一 2 トンネル直上の水質調査結果

取水箇所	水温 (°C)	pH	電気伝導度 (μ S)
トンネル直上沢水(TD656付近)	13.8	7.99	35
トンネル直上沢水(TD656付近)	14.9	7.84	32
川治川	14.8	7.86	162
坑口横地山湧水	15.7	7.96	77

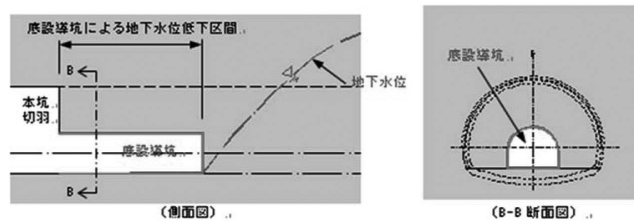
地表水については中性よりの数値を示し、電気伝導度については、坑内湧水が 200μ S 台、地表水は 100μ S 以下となった(表一1, 表一2)。したがって、地表水と坑内湧水は水質が異なると判断できるため、地表水が直接坑内に排出されているのではなく、あくまで坑内湧水は地下水であることが確認できた。

(5) 底設導坑

本坑掘削に先立って、底設導坑(幅4.5m, 高さ4.0m)を36m先進掘削することによって、地下水を積極的に排出しトンネル周辺の地下水位を低下させて、本坑掘削時における切羽の安定性を向上させた(図一8, 写真一4)。

3. おわりに

一連の湧水対策として、電磁波探査および水抜き調査ボーリングを行うことにより、精度よく切羽前方の滞水領域を把握するとともに、掘削時の湧水状況を事



図一 8 底設導坑による地下水位の低下



写真一 4 底設導坑の施工状況

前に想定できた。さらに、底設導坑を先進させることにより、地下水位を確実に低下させて、本坑掘削時における切羽の安定性を向上させることができた。また、これらの湧水対策の効果を踏まえて、掘削補助工法の見直しを行い、当初設計に対して長尺先受け工および長尺鏡ボルト工の打設本数を減らした上で、湧水対策区間180mにおいて切羽の崩壊を回避し、無事に掘削を完了することができた。

JCMMA

[筆者紹介]

近藤 進 (こんどう すずむ)
長岡国道事務所 六日町国道出張所
所長

佐藤 美和子 (さとう みわこ)
長岡国道事務所 六日町国道出張所
係長

清水 吾郎 (しみず ごろう)
大成建設(株)北信越支店
八箇峠トンネル工事作業所
工事主任