

## 空中電磁探査による地質構造と地下水賦存状況の推定

— 豊平川水道水源水質保全 導水路新設工事その2-① —

(株)鴻池組 正会員 ○富澤 直樹 (株)鴻池組 正会員 高馬 崇  
 (株)鴻池組 樋口 伸朗 (株)鴻池組 正会員 加藤 卓男  
 札幌市水道局 藤田 将輝

延長約 3.3km の導水トンネルにおいて、掘進途中から切羽圧と湧水量が想定以上に増加したため、掘進方法の変更を検討する必要があった。地質構造と地下水賦存状況を把握するために、空中電磁探査を適用した。

### 1. 工事概要

豊平川水道水源水質保全 導水路新設工事その2 は、札幌市の水道水源のバイパスシステムを構築する事業の内、仕上り径φ2200mm、延長3286mのシールドトンネルを1%の下り勾配で構築するものである。図1上段の地質縦断面図に示すように最大土被りは257mであり、主たる掘削地山は、施工過程に沿って、安山岩、凝灰角礫岩、中間部に貫入した石英斑岩、その後、砂岩・頁岩の互層、火山礫凝灰岩が想定されていた。設計では凝灰角礫岩分布域において湧水の可能性があるとして指摘されていたが、地下水位は明らかにはなっていなかった。

### 2. 施工経緯

掘進方法は泥土圧シールド工法であり、シールドの施工時耐水圧0.3MPaに対して、切羽圧管理値を、掘進時0.3MPa、停止時0.45MPa(水抜き併用)とした。図1中段の切羽圧・湧水量変化図に示すように、掘進長約700mを越えると切羽圧が増加し始め、切羽圧管理値を超過し、1000mを越えると湧水量も増加したため、停止中の切羽水抜き排水を実施した。しかし、トンネル内径が小さいこと及び仮設ヤードの制限のため、坑内の排水設備と濁水処理設備の増強には限界があった。そのため、切羽圧と濁水処理量(30m<sup>3</sup>/時)のバランスを取ることが求められ、33m/月程度での掘進となった。1226m地点で常時水抜き排水を実施しても切羽圧が0.5MPaを示し、大量の湧水と土砂が坑内に噴出したため、掘削の中断を余儀なくされた。

これに対して、①下り勾配施工における水没の危険性に対する切羽作業の安全確保、②高圧湧水発生が懸念される貫入岩(石英斑岩)と凝灰角礫岩の境界付近などにおける大量湧水下での掘進方法の検討、③ビット交換を行う位置の計画のために、施工予定区間の地質構造と地下水賦存状況を改めて把握する必要があった。

### 3. 追加地質調査—空中電磁探査—

地下水位調査として検討した方法は、ボーリング調査と地盤の比抵抗を測定する物理探査法である。前者は直接地下水位を確認できるが、国立公園内での作業に伴う許可取得や進入路の造成が必要であり時間的に間に合わないことと、地下水賦存状況の把握に必要な縦横断方向に広域な調査には不向きであることから、選定しなかった。これに対して、採用した後者は地盤の電気の流れやすさを示す比抵抗を測定することで、粘土鉱物の含有量の変化や、単位体積あたりの含水量(体積含水率)の変化を、面的あるいは三次元的に捉えることができる。これらにより、帯水ゾーンの境界、地下水位面、及び大量出水の要因となる粘土化した断層破碎帯の検出を期待できる。特に、今回は山岳部を広域にわたって調査する必要があるため、ヘリコプターで探査機器(EMバード)を曳航する空中電磁探査を選択した。

本手法は、6つの周波数の電磁波を発信・受信することで、深度200m程度まで探査できる技術である。一部の大土被り区間では得られるトンネル深度における地質情報の精度が低下するが、その前後の結果で補完することで、施工予定区間約2kmの地下水賦存状況を把握できると判断した。測線については、トンネルセンターに加え、これを中心に50m間隔で左右各2測線、さらに地形の上流側である左側に100m間隔で2測線、計7測線を設定した。全工区長約3kmを対象として測定し、既施工区間で得られた調査結果と施工実績の照合・検証を

キーワード 比抵抗 空中電磁探査 泥土圧シールド 流体輸送 地下水

連絡先 〒1103-0023 東京都中央区日本橋本町1-9-1 (株)鴻池組 技術本部 土木技術部

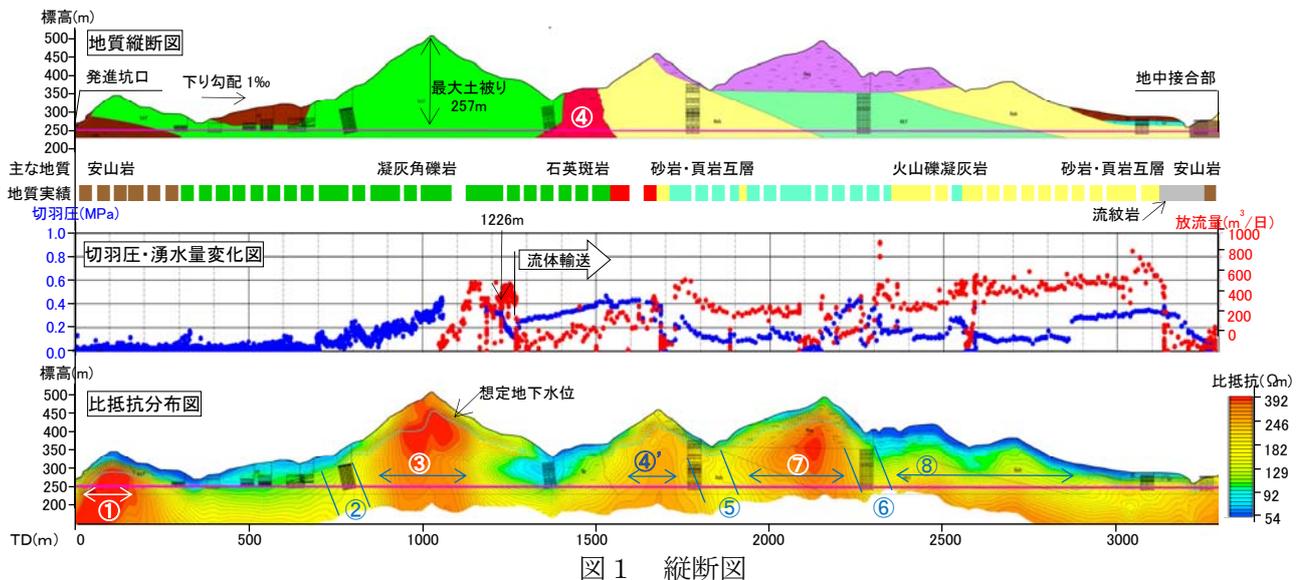


図1 縦断面図

行い、それらの検証結果を参考にして、施工予定区間の評価を行い、排土方式を流体輸送に変更した。

## 4. 調査及び施工結果

### 4.1 既施工区間における調査結果と施工実績の検証結果

図1下段に比抵抗分布図を示す。坑口部の区間①は全体的に比抵抗が高く、湧水の可能性は低いと考えられた。実測水圧(切羽圧)も低く、湧水は少なかった。比抵抗が落ち込む区間②は断層破碎帯と想定され、実測水圧も上昇している。土被りの大きい区間③は鉛直構造が卓越し、かつ地下水位が高い。そのため、亀裂が連続すると高压・大量湧水が発生することが想定され、実際に2. 施工経緯で示したような事象が発生した。図中で、管理値を超過した後の切羽圧は、シールドの耐水圧を上限として水抜き排水管理を行った結果を示している。以上のように、比抵抗分布から想定される地質構造および地下水賦存状況は、概ね施工実績と符合した。

### 4.2 施工予定区間における地質構造と地下水賦存状況の予測結果と施工実績

(1)地質 本トンネルの設計ルートは、詳細な地質調査が実施された当初の計画ルートから変更されていた。そのため、地質縦断面図は、地形等を考慮して、当初の計画ルート上の地質を設計ルート上へ投影して設定されている。これに対して、本調査の結果では、石英斑岩は地質縦断面図に示された位置④には確認できず、それよりも到達側の区間④'に位置すると予想された。一方、地質縦断面図の下部に示した地質実績は、約50m毎に確認した掘削ずりの主たる岩種である。このように実績でも、石英斑岩は当初予定よりも到達側で確認された。その後の区間では、区間⑤と⑥に断層破碎帯が予想され、地質縦断面図で斜めに重なる砂岩・頁岩互層と火山礫凝灰岩は、断層⑥を境に分布すると想定された。概略の実績として、火山礫凝灰岩⑦と砂岩・頁岩互層⑧が断層⑥を挟んで分布した。当初、石英斑岩出現後には大きく三層が分布すると想定されていたが、実績では概ね二層であった。本調査ではその二層の岩種を特定できなかったが、両者の比抵抗には差があるため、ボーリングコアで比抵抗を測定し、それらに明確な差があれば、特定できた可能性がある。

(2)地下水賦存状況 全体的に鉛直方向の地質構造が卓越し、その上端が想定地下水位面に達しているため、水圧が高くかつ湧水が多いと想定された。特に、地質境界となっている断層破碎帯の前後では大量出水が懸念された。実績では、想定した断層⑤⑥の前後では湧水量が増大する傾向があった。なお、掘進時に湧水量が増大した1700m付近での、切羽が数百m以上進んだ後の水圧は1.29MPaであった。掘削ずり搬出方法をずり鋼車から流体輸送に変更した後は、切羽圧を管理値以下にするために常時水抜き排水を実施したため、湧水(取込み)量が増えた。100m³/時に増強した濁水処理で対応し、断層⑥では処理放流量(≒湧水量)は最大920m³/日に達した。

## 5. まとめ

空中電磁探査により地質構造と地下水賦存状況を把握し、それに適合した施工方法を採用した結果、安全に施工を完了することができた。本報告が、今後の類似工事において参考になれば幸いである。