

各種前方探査を活用した長大トンネルの掘削

(独)鉄道・運輸機構大阪支社敦賀鉄道建設所

吉森 佑介

(株)大林組 正会員 小山 武志, 浅野 文典, ○伊藤 哲, 三宅 由洋

1. 工事・地質概要

北陸新幹線，新北陸トンネル（奥野々工区）は，福井県南条郡南越前町に延長 4,880m のトンネルを掘削する工事である．地質は美濃帯の中・古生代砂岩，粘板岩やチャートを主体としている．図-1 に地質縦断面図を示す．最大土被りは 500m 超となり，複数の断層や褶曲構造により地質が複雑に変化し，亀裂が卓越する区間や多量の湧水を伴う区間があった．当初よりこのような地質リスクが想定されていたため，トンネル全線で中尺・短尺のノンコア削孔検層や坑内弾性波探査などを実施した．本稿では，これらの探査情報を利用して克服した岩相変化に富む長大トンネルの掘削について述べる．

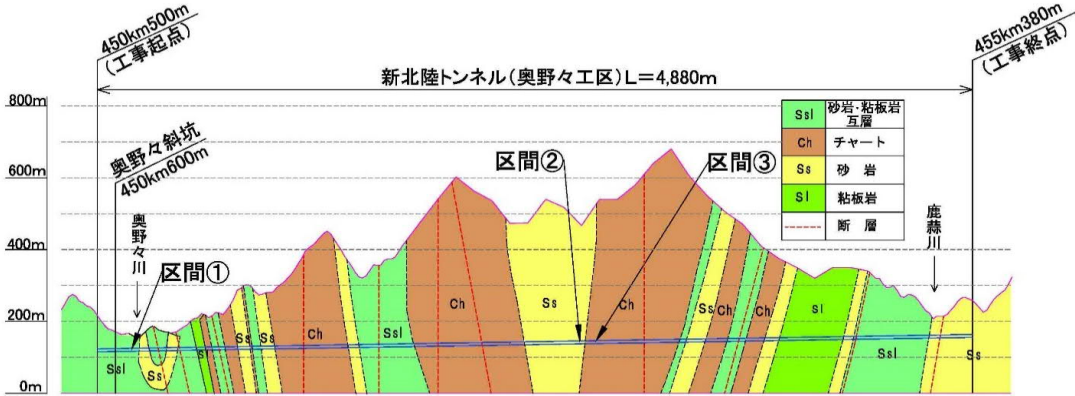


図-1 地質縦断面図

2. 前方探査手法

施工中に切羽前方の地質状況を把握することを目的として，各種前方探査を実施した．表-1 に採用した前方探手法の一覧を示す．以下に各手法の概要を述べる．

表-1 各種前方探査一覧

前方探査			備考
名 称	探査深度・数量	解析結果	
中尺ノンコア削孔検層	150～180m / 回 34回（全線）	エネルギー指標値 湧水予測	タ'ウザ'ホル式 水圧ハンマー削孔
短尺ノンコア削孔検層 （トンネルナビ）	30～50m / 回 120回（全線）	正規化削孔速度比 湧水予測	パ'ーカッション型削孔
坑内弾性波探査	150～180m / 回 33回（全線）	速度解析	TSP203
		反射面	
		V _P / V _S 比	
湧水圧測定	2回	湧水圧	水圧計

(1)中尺ノンコア削孔検層

水圧ハンマーを，専用ボーリングマシンに搭載した前方探査システムである．1 回あたりの探査長を約 150m とした．先端駆動であり，削孔長の延長に伴うエネルギーロスが小さく，長距離削孔に適する．本システムでは，水圧ハンマーの一回あたりの打撃エネルギーに相当するエネルギー指標値=送水圧 P×打撃数 f/削孔速度 V で前方の地山等級を予測した．加えて，探査中に湧水量および湧水圧を計測するシステムを採用した．

(2)短尺ノンコア削孔検層（トンネルナビ®）

汎用機である油圧削岩機（ドリルジャンボ）に搭載した計測システムにより前方地山を探査する手法である．1 回の探査長は 30～50m 程度，施工時間は 2～3 時間である．本システムでは，変動するフィード圧が一定となるように補正した独自の評価手法である正規化削孔速度比から，地山の硬軟を推定し，地山等級を予測する．

(3)坑内弾性波探査(TSP)

反射法弾性波探査を用いた前方探査手法である．1 回当たりの探査長は切羽から 150～180m である．ボーリングと違い，間接的手法により，反射面の位置や種類を推定する．主な取得データは P 波速度 V_P，S 波速度 V_S キーワード 前方探査，水圧ハンマ，削孔検層，TSP，断層

連絡先〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 大林組トンネル技術部 TEL03-5769-1319

である。P波速度とS波速度の比 V_p/V_s は地下水と相関があり、湧水ゾーンが存在する場合は V_p/V_s 比が低下する傾向がある。

3. 前方探査結果

前述の前方探査から得られる結果を総合的に評価することにより、トンネル全線において切羽から約150m前方の地山状況を予測した。その結果、複数の地山不良区間を検出した。特徴的な箇所として、以下の3区間が挙げられる。区間①：450km690～730m (L=40m)、区間②：453km185～215m (L=30m)、区間③：453km250～265m (L=15m)。ここでは、そのうち区間②における結果を述べる。

図-2に各種前方探査結果の比較を示す。この区間は、湯尾谷川上流の土被り約320mの谷部に位置し、地質は多亀裂性チャートのため突発湧水が懸念された。中尺・短尺ノンコア削孔検層の結果、地質はチャートで地山等級は $I_s \sim I_{N-1}$ 相当と推定された。検層時の湧水はこの区間で急激に1,000L/分に増加したため、湧水量の経時変化と湧水圧測定を実施した。削孔検層直後の湧水圧は0.75MPaで地下水位はトンネル上部約75mと想定された。また、削孔検層の事前に行った、坑内弾性波探査結果からも、同様に V_p の低下、反射面の集中および V_p/V_s 比の低下が確認された。これら探査結果を総合的に判断すると、亀裂が卓越したチャートで、切羽到達時に多量の湧水が発生する可能性が非常に高いと予測された。

実際の地山は、脆弱なチャート主体の地山であり、掘削時の鏡面の湧水量は最大40L/分であった。特に切羽素掘り面は土砂化した部分が多く、肌落ちが多く発生したが、水抜き効果により大きな崩落を回避できた。そのため、支保パターンをⅢ_NからⅠ_{N-2}に変更した。削孔検層孔での湧水は切羽の進行に伴い1,000L/分から500L/分まで減少し、中尺ノンコア削孔検層による前方地山の水抜きの効果により、掘削時の鏡面の湧水量を最小限に抑えることができた。表-2に区間①～③での探査結果を示す。

表-2 各種前方探査一覧

	キロ呈	中短尺ノンコア削孔検層	坑内弾性波探査	地山状況	
				予測	実際
区間①	450km690m～730m	・砂岩粘板互層地山 ・ $I_s \sim I_{N-1}$ 相当 ・湧水量: 450L/分	・ V_p は急激に低下 ・反射面の集中 ・ V_p/V_s 比は低下	・軟質な砂岩粘板岩互層 ・多亀裂で、剥離面などの不連続面が多い ・河川直下のため、突発湧水の可能性がある	・脆弱な砂岩粘板岩が混在する地山 ・天端部は不安定で抜け落ちが多く発生 ・切羽湧水は最大150L/分
区間②	453km185m～215m	・チャート主体の地山 ・ $I_s \sim I_{N-1}$ 相当 ・湧水量: 1,000L/分 ・湧水圧: 0.75MPa	・ V_p は低下傾向 ・反射面の集中 ・ V_p/V_s 比は低下	・チャート主体の地山 ・亀裂や剥離面などの不連続面が卓越 ・谷部のため、多量湧水の可能性がある	・脆弱なチャート主体の地山 ・切羽素掘り面は土砂化し肌落ちが多く発生 ・切羽湧水は最大40L/分
区間③	453km250m～265m	・チャートと互層が混在 ・ $I_s \sim I_{N-2}$ 相当 ・湧水量: 450L/分	・ V_p の変動多い ・反射面の密集 ・ V_p/V_s 比は微小変化	・チャートと砂岩粘板岩互層が混在 ・多亀裂で、剥離面などの不連続面が多い ・多量湧水の可能性は少ない	・多亀裂チャート主体の地山 ・切羽面の自立性が非常に悪い ・切羽湧水は最大20L/分

4. まとめ

本トンネルは、各種前方探査結果に湧水予測技術を組み合わせて、総合的に評価することにより、事前に不良地山の状況を高い精度で予測することができた。また、予測された地山状況に対して、事前に適切な支保パターン、補助工法および排水設備を検討することができ、工程の遅延なく安全に掘削を行うことができた。

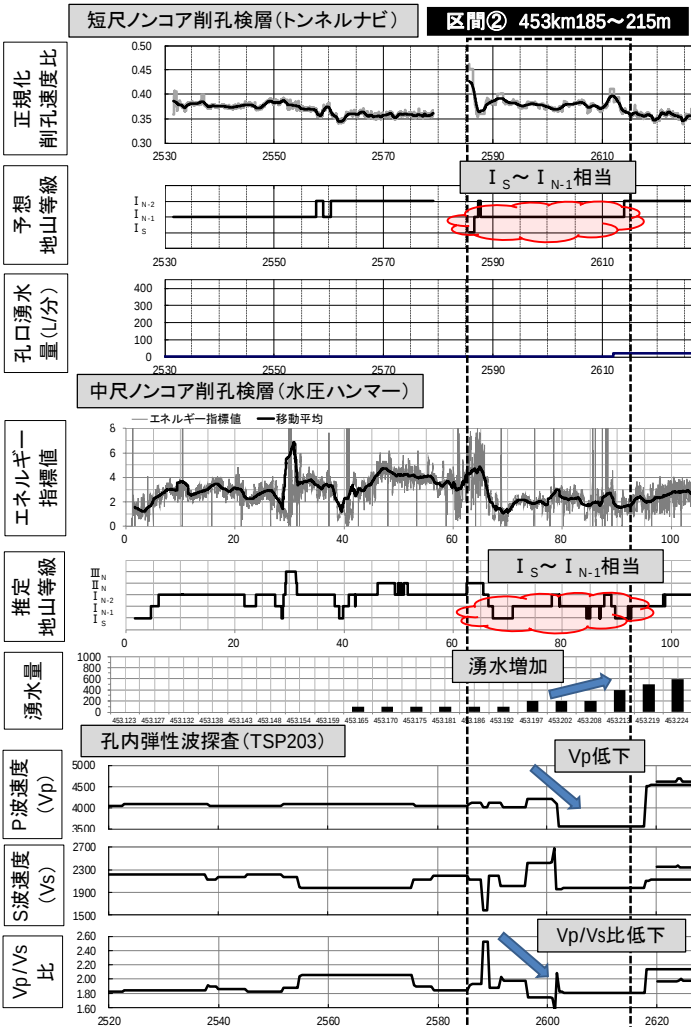


図-2 各種前方探査結果の比較 (区間②)