

# 調査坑の施工情報を活用し断層破碎帯を掘削

## 中央新幹線 中央アルプストンネル (山口工区)

周 藤 智 規・福 山 拓 郎・今 井 啓 文

中央新幹線、中央アルプストンネルは、品川・名古屋間のうち、木曾山脈（中央アルプス）を貫く延長約23.3 kmの山岳トンネルである。このうち、山口工区は長野県と岐阜県に跨る延長約4.7 kmの工区である。

地質は、中生代白亜紀の花崗斑岩を主体としており、山口工区内、約1.5 km区間が阿寺断層と交差する。断層破碎帯を掘削するため、長尺先進ボーリングおよび調査坑施工によって得られる前方の地質・地下水に関する施工情報を活用し、三次元かつ定量的に地山を評価することで、経済的・合理的な支保パターンの選定を行いながら本坑の掘削を進めた。

本稿では、断層破碎帯における施工計画、施工実績について報告する。

キーワード：山岳トンネル、調査坑、破壊エネルギー係数、推測、地山状況

### 1. はじめに

中央新幹線中央アルプストンネルは、品川～名古屋間のうち、木曾山脈（中央アルプス）を貫く、延長約23.3 kmのトンネルである。このうち、長野県飯田市～岐阜県中津川市に跨る最も終点方（名古屋方）の山口工区は、延長約4.7 kmの工区で、日本の主要な活断層である阿寺断層と交差する位置関係にある（図—1）。

過去の阿寺断層における道路トンネル工事<sup>1)</sup>では、大量高圧湧水や塑性地圧による変状などが報告されており、当工事においても同様な地質リスクが想定された。そこで、当工事では、本坑の掘削に先立ち、阿寺断層の地質・地下水状況を把握するために、長尺先進ボーリングおよび調査坑の施工を行った。

本坑の地質や地下水の状況を把握するにあたり、調

査坑における切羽観察記録や長尺先進ボーリングの結果などを基に定性的に評価するだけでなく、コンピュータジャンボによるロックボルト孔や発破孔などの削孔時に得られる削孔データからトンネル周辺の地山状況を三次元かつ定量的に評価することにより経済的・合理的な支保パターンを選定し、本坑の掘削を進めた<sup>3)~5)</sup>。

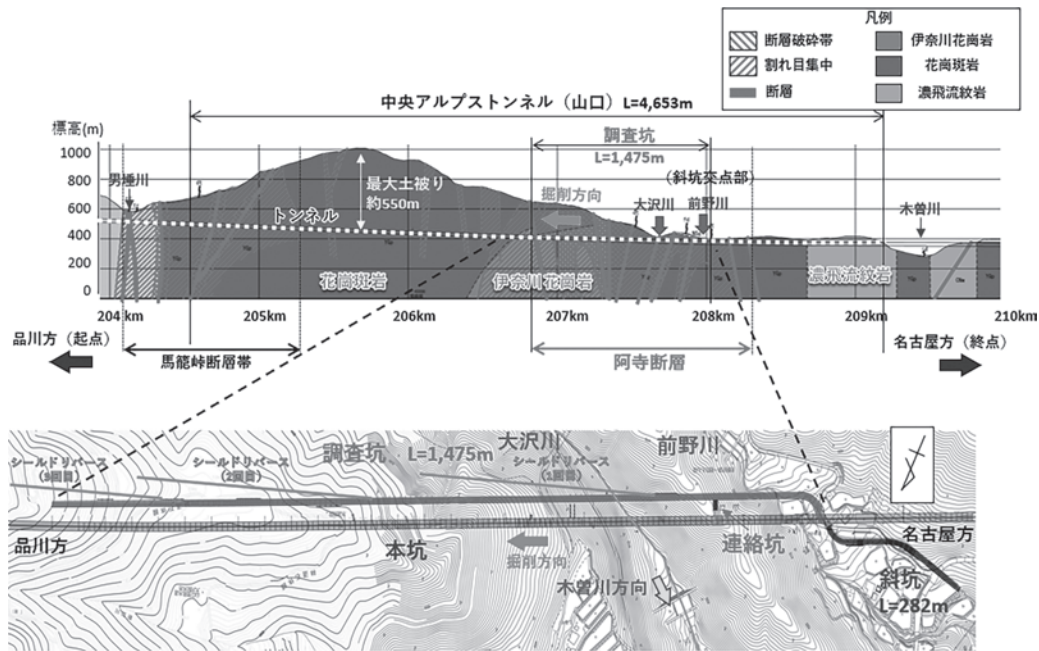
本稿では、山口工区において、阿寺断層の活動の影響で形成されたと推測される複数の断層破碎帯を掘削した際の調査及び施工結果を報告する。

### 2. 地質・地形概要

本工区の地質は、主に中世白亜紀の花崗斑岩を主体とする（図—2）。新鮮な花崗斑岩は、一軸圧縮強度



図—1 山口工区のトンネル位置図<sup>2)</sup> (地理院地図 (Vector) を加工して作成)



図一 2 地質縦断図 (上) 及び調査坑周辺の平面図 (下)

が  $100 \text{ N/mm}^2$  以上の硬質な岩盤であるが、断層の影響で破碎質、粘土質な区間もあり、地山の硬軟の変化が激しい。事前の地質調査結果では、14本の主断層が推定され、約1.5 km 区間 (208 km 300 m ~ 206 km 840 m) が阿寺断層と報告されている。阿寺断層は左横ずれ断層であり、本坑トンネルと直交する<sup>6)</sup>。

地形については、坑口 (斜坑) の標高が約 350 m であり、本坑は品川方へいくにつれ徐々に土被りが大きくなる。トンネルの最大土被りは、県境界近傍で約 550 m であり、周辺には標高 1,000 m 程度の山地が連なる。

近傍の中央自動車道恵那山トンネルの工事記録では、熱水変質を伴った断層破碎帯において、高圧多量湧水及び切羽崩壊を引き起こし、想定以上の工期を費やしたとの記述があり<sup>1)</sup>、本トンネルでも同様な地山状況が懸念された。

### 3. 断層破碎帯掘削の施工計画

#### (1) 断層破碎帯の施工計画の概要

阿寺断層による地質・地下水への影響を把握するために、本坑に先行して、長尺先進ボーリング (延長 450 m) および調査坑の施工を行った。

調査坑は、本坑の南側を離隔 35 m で併進し、硬質な地山が確認できるまで掘削を行った (総延長 1,475 m)。離隔については、トンネルを隣接して施工する場合、中心離隔を 3D 以上とするのが一般的であり<sup>7)</sup>、本坑 (内空幅約 13 m) と調査坑 (内空幅約

7 m) の平均径の 3D 程度を確保することとした。加えて、断面は、本坑が掘削不能になった際に、う回路として調査坑を本坑掘削機械が走行できるように、調査坑の断面積を  $35 \text{ m}^2$  確保した。

長尺先進ボーリングは、地山状況の把握等を目的に、調査坑に先行して3回実施した (図一 2)。長尺先進ボーリングは、できるだけ前方の地山状況を把握するために、二重管構造で、孔壁が不安定な地山不良部や大量湧水部にも適合し、コアが採取できる確実性が高く、500 m 程度の長尺ボーリングが可能であるシールドリバース工法を採用した。

#### (2) 本坑地山状況の推定

本坑の地山状況を推定するにあたり、ロックボルト孔などの削孔データにより三次元かつ定量的に評価を行うことにより、経済的・合理的な支保パターンの選定を試みた。

当工区では、ロックボルト孔や発破孔などの削孔による破壊エネルギー係数をクリギング処理 (地球統計学処理) (図一 3) をすることで、任意点の空間補間を行い、本坑周辺の破壊エネルギー係数の三次元分布を推定した。

破壊エネルギー係数は、単位体積の地山を削孔するために削孔機が要したエネルギーと定義され、一般に値が大きいほど硬い地山と評価できる。

また、切羽前方の地山状況を把握するために削孔検層を行うが、それとは別に、切羽の崩落が懸念される本坑天端付近の地質を調べるために調査坑の側壁から

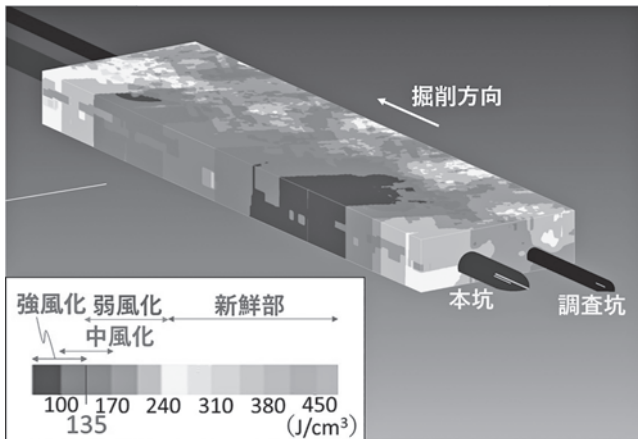


図-3 クリギングによる地球統計学処理の例

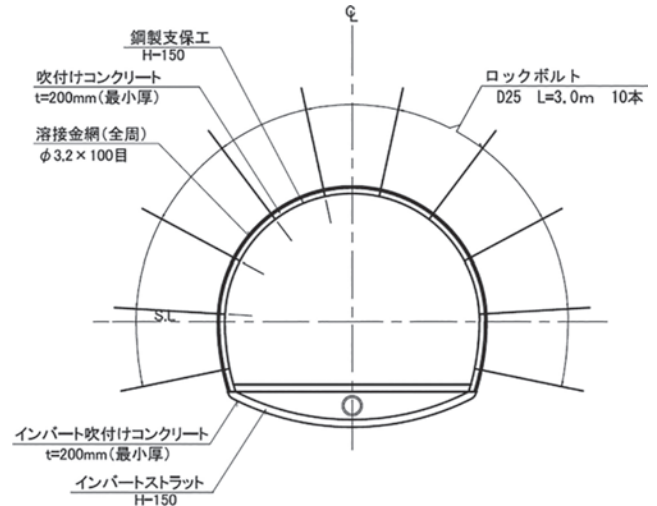


図-5 調査坑支保パターン I s

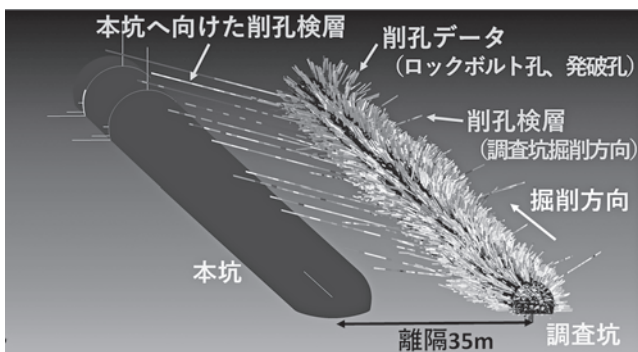


図-4 調査坑施工時の削孔データと本坑へ向けた削孔検層

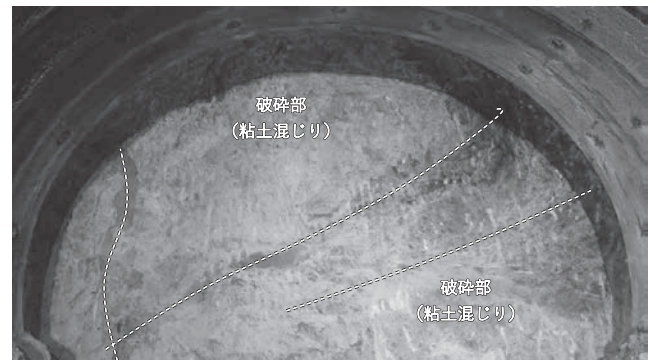


図-6 調査坑の切羽写真 (206 km 809.8 m)

本坑へ向け上向き約 20° の削孔検層を追加で実施した (図-4)。実施頻度は掘削のサイクルへの負担を減らすために切羽前方に行う削孔検層と同時の実施とし、25 m ごととした。

前述した調査坑掘削時の削孔データ (ロックボルト孔、発破孔) と調査坑からの削孔検層 (調査坑掘削方向、本坑方向) で収集した破壊エネルギー係数を用いて、本坑の地山状況を推測した。

また、これまでの施工実績<sup>4)</sup> から 135 J/cm<sup>3</sup> 以下の区間は、強風化部・断層部と判断し、支保パターン変更や補助工法採用などの検討を行った。

(3) 調査坑の施工結果

調査坑では、主断層区間と想定される地山不良部 (206 km 780 m ~ 206 km 950 m) において、支保パターン I s で掘削を行った (図-5)。当区間では、天端沈下が約 60 mm 程度、内空変位は 80 mm 未満であった。切羽全面が粘土化しており (図-6)、手で割れる程度に脆いことが確認された。調査坑のこの区間の大半において破壊エネルギー係数の平均値は 135 J/cm<sup>3</sup> 以下であった。小規模な肌落ちは発生したものの、長尺先進ボーリングによる水抜き効果により切羽にほとん

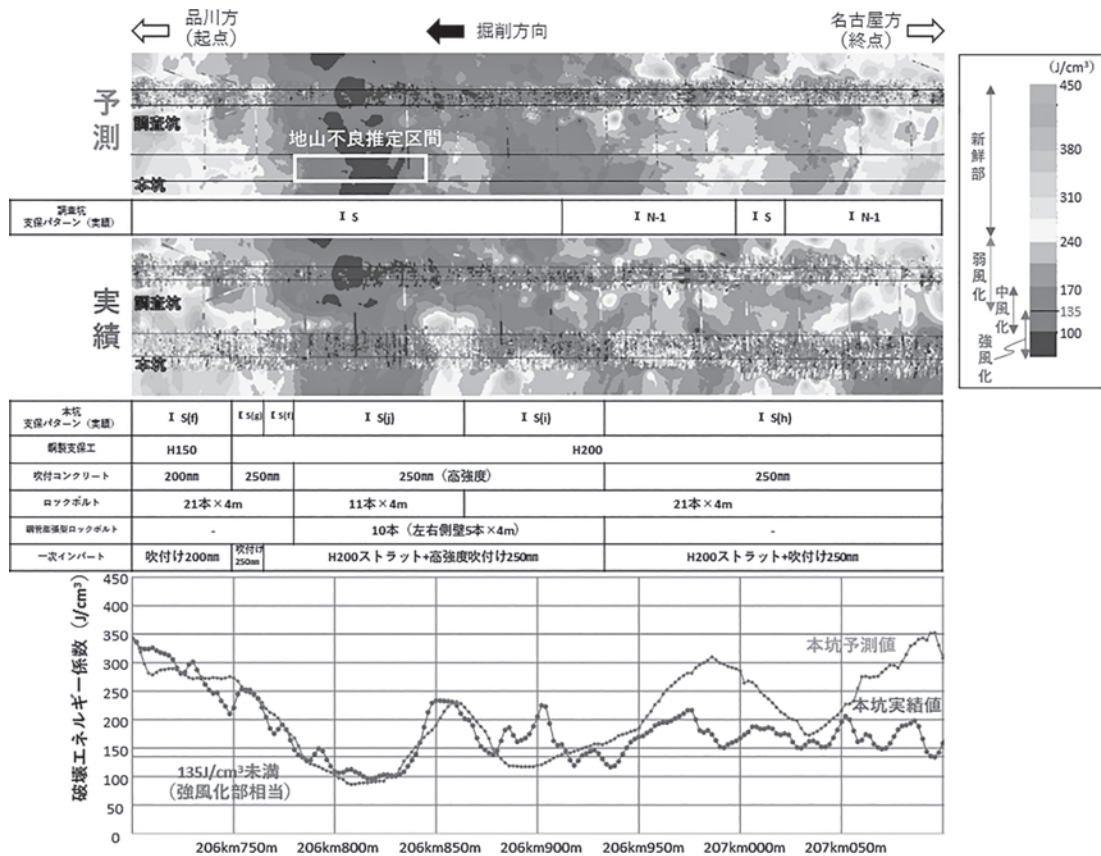
ど湧水がなく、切羽自体は自立していた。

(4) 本坑の施工計画

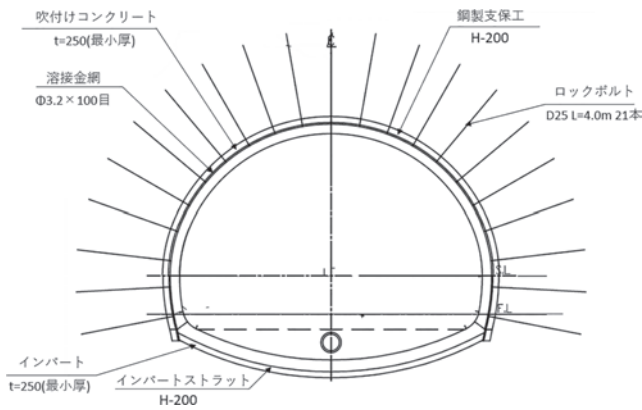
前述のとおり調査坑の主断層区間 (206 km 780 m ~ 206 km 950 m) では、切羽全面が風化しており、粘土化もしくは破碎が進んでおり、手で割れる程度に脆弱であった。

図-7 (予測) に、調査坑施工時の掘削データを基に推定した本坑の地質予測結果を示す。とくに破壊エネルギー係数の予測値においてこれまでの最小値 (100 J/cm<sup>3</sup>) を示した 206 km 820 m 付近が著しく劣化した地山不良区間だと推定された。

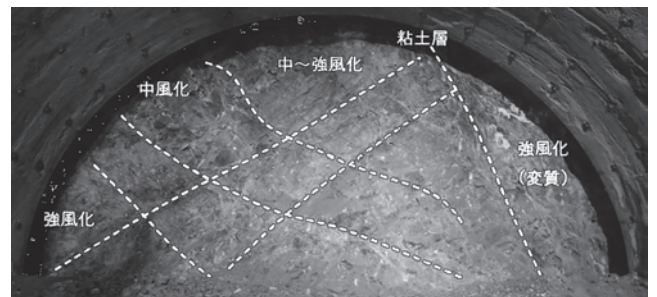
地山不良区間では、標準の支保パターン I s だと、限界ひずみ法により設定した管理基準値 III (天端沈下 150 mm) を超過することが予想されたため、見直しを検討した。調査坑断面 (35 m<sup>2</sup>) に対して、本坑断面 (100 m<sup>2</sup>) は大断面であり、掘削による緩み範囲も大きくなるため、調査坑施工時の支保パターン I s を基本とし、鋼製支保工を H-200、吹付け厚を 250 mm とした支保パターン I s (h) を採用する計画とした (図-8)。



図一七 本坑地山状況の予測結果と実績の比較



図一八 本坑支保パターン I s (h)



図一九 本坑の切羽写真 (207 km 069.4 m)

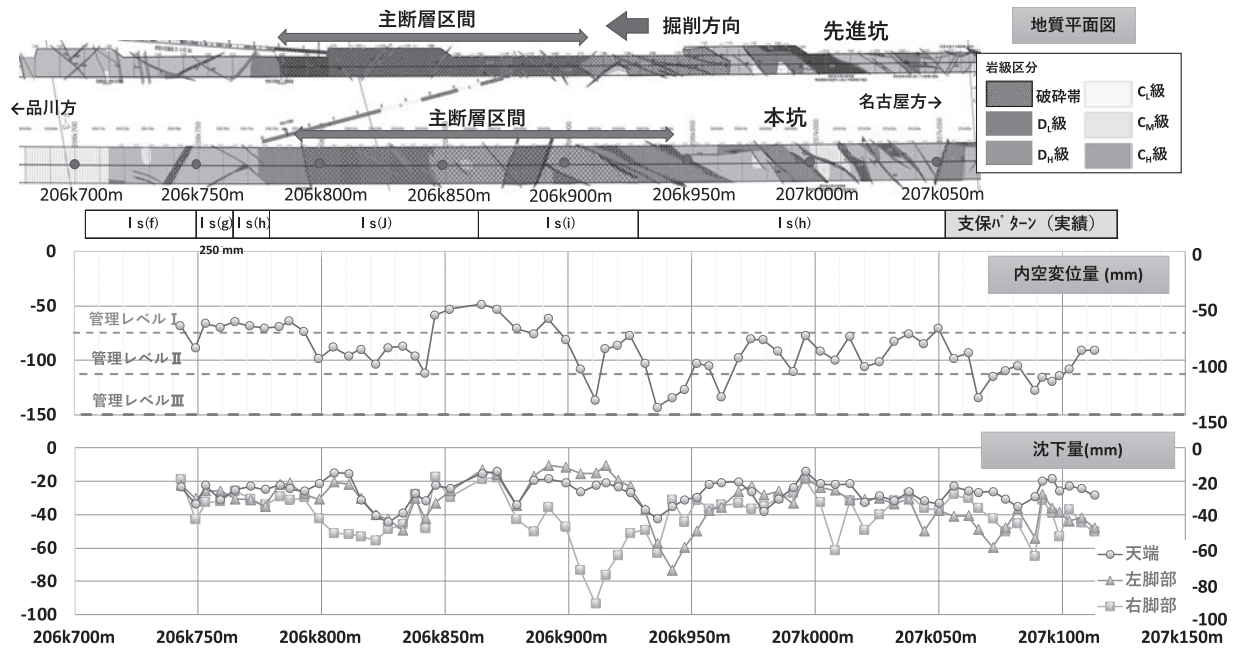
## 4. 施工結果

### (1) 施工結果

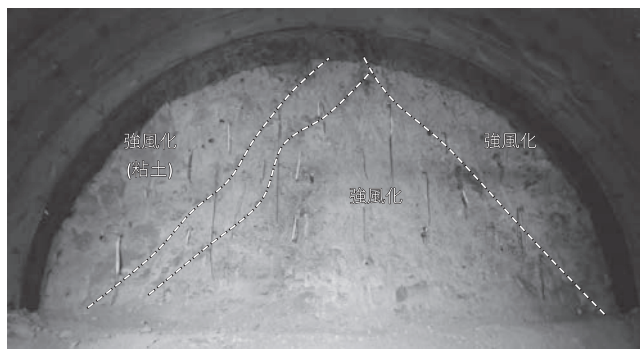
本坑 206 km 950 m ~ 207 km 070 m では、計画していた I s (h) の支保パターンで掘削を行った (図一八)。図一九に切羽状況を示す。中～強風化主体の地山で、岩片が残るが割れ目沿いが風化し、粘土層が存在するため脆弱になっている。

調査坑の実績から、強風化が予測された 206 km 950 m 付近から品川方の区間については、徐々に切羽面に粘土混じりの強風化した部分が増え、初期変位速度が大

きく、内空変位量、天端及び脚部の沈下量の増加が予測されていた (図一十)。実際の観察では切羽全体が灰色を呈しており (図一十一)、手で碎けるような強風化地山であった。また、破壊エネルギー係数も 135 J/cm³ 以下が多く占めるようになった。このため、切羽の自立性も悪く鏡面の肌落ちの発生が懸念されていたことから、鏡ボルト (φ76, L=12.65 m, 有効長 9 m) を採用し、肌落ち対策を行った。また、地山不良区間については、想定より地山状況が悪く、初期変位速度が大きかったため、初期変位抑制対策として、鋼管膨張ロックボルト (180 kN, L=4.0 m) を採用し、初期変位の抑制も図っている<sup>5), 8)</sup>。



図一 10 本坑の主断層区間の施工実績



図一 11 本坑の切羽写真 (206 km 838.9 m)

性があることから、本坑掘削時の切羽面の大半を占める地質との部分的な差異が生じたものと推察される。

調査坑と並行する本坑掘削においては、調査坑同様、粘土化や破碎された箇所が多く確認されたものの、長尺先進ボーリングおよび調査坑の施工により、先行して地山の湧水処理を行ったため、概ね乾いた状態で施工ができた。当該地質は粘土が卓越しており、切羽からの大量湧水が生じた場合にはすぐに劣化し、切羽が自立しない恐れがあったことを考慮すると長尺先進ボーリング及び調査坑による効果は大きかったと推察する。

(2) 本坑の予測結果と施工実績

本坑掘削後の破壊エネルギー係数の分布を図一 7 (実測)に示す。これは、調査坑の削孔データに加えて、本坑削孔時の削孔データ (ロックボルト孔や発破孔) と本坑からの削孔検層 (本坑掘削方向) を追加して再度クリギング処理したものである。

クリギング処理にて 206 km 820 m 付近に予測された  $100 \text{ J/cm}^3$  を下回る箇所が、予測ほど広範囲に出なかったが、概ね予想どおりの分布となっている。また、本坑における破壊エネルギー係数の予測値と実績値を各断面の平均で比較した結果を図一 7 の下段に示す。こちらも、破壊エネルギー係数の変化の傾向が予測と実績でほぼ一致する結果となった。いずれの結果においても、大局的に地山状況の予測評価ができています。本坑と調査坑が同じキロ程であっても、図一 10 の施工実績に示すように、本坑へ向けた削孔検層からも局所的に硬い、または軟い地山が混在し、地質の不均質

5. おわりに

日本有数の活断層である阿寺断層の掘削において、高圧湧水や塑性地圧による変状など脆弱な地山の出現が想定されていた。そこで、本坑掘削に先立ち、切羽前方の地質・地下水の分布を把握するため、長尺先進ボーリングや調査坑を実施した。また、調査坑から得られた地質・地下水のデータに対し定性的な評価だけでなく、掘削データを活用することにより破壊エネルギー係数の三次元かつ定量的に評価を行うことで、経済的・合理的な支保パターンを選定しつつ、安全な工事に努め、懸念された地山不良区間の掘削を終えることができた。

現在は、県境を越えて長野県側の掘削を進めている。地山状況としては、馬籠峠断層の影響を受け、全体的に破碎され、一部粘土化するような地山が継続し

ており、長尺先進ボーリングにより前方の地質・地下水の分布を把握したうえで、適切な支保パターンを選定しながら掘削を進めている。

今後も引き続き掘削完了に向けて、安全に工事を進めていく。

最後に本工事の施工にあたり、ご指導・ご協力を頂いた関係各位に感謝の意を表します。



#### 《参考文献》

- 1) 長友成樹・玉川清・政谷二三男・原田史也：山鳴りと大湧水に挑む，恵那山トンネル中津川方，トンネルと地下，Vol.2，No.12，pp.43-57，1971.12.
- 2) 地理院地図，国土地理院  
<https://www.gsi.go.jp/top.html>（閲覧日：2024年12月2日）
- 3) 白鷺卓，宮嶋保幸，山本拓治，西川幸一，福田博之：トンネルの施工穿孔データを利用したオンタイム切羽評価と前方予測，トンネル工学報告集，Vol.27，I-19，2017.
- 4) 三条肇，吉野弘明，松下智昭，河本貴史，横井克典，白鷺卓：先進する調査坑の掘削データを活用した本坑掘削の合理化，トンネル工学報告集，Vol.31，I-5，2021.
- 5) 今井啓文，福山拓郎，河本貴史，松下智昭，調査坑の施工情報を活用し阿寺断層を掘削，トンネルと地下，Vol.54，No.11，pp.7-13，2023.11.
- 6) 地震調査研究推進本部，阿寺断層帯，[https://www.jishin.go.jp/regional\\_seismicity/rs\\_katsudanso/f052\\_atera/](https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_katsudanso/f052_atera/)（閲覧日：2024年12月2日）

- 7) 土木学会トンネル工学委員会，トンネル標準示方書，P12，2016.
- 8) 福山拓郎，今井啓文，小関敏史，松下智昭，河本貴史，横井克典，白鷺卓，断層部のトンネル施工実績と鋼管膨張型ロックボルトによる変位量抑制効果，土木学会年次学術講演会，2023.

#### 【筆者紹介】

周藤 智規（すとう ともき）  
独鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
関東甲信工事局 中津川鉄道建設所  
所員



福山 拓郎（ふくやま たくろう）  
独鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
関東甲信工事局 中津川鉄道建設所  
所長



今井 啓文（いまい たかふみ）  
独鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
関東甲信工事局 中津川鉄道建設所  
担当副所長

