

狭隘な山間部に位置する河川との小土被りかつ破碎帯条件下でのトンネル施工

～中央新幹線、中央アルプストンネル(尾越)～

関東甲信工事局

中津川鉄道建設所 村田 洋介

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、長野県飯田市より岐阜県中津川市まで木曽山脈（中央アルプス）を貫く延長約23.3kmの山岳トンネルである（図-1）。



※駅名は仮称

図-1 中央新幹線位置平面図

このうち、尾越工区は長野県南木曽町内における品川起点197km998mから204km533mまでの間の延長6,535mのトンネル本坑及び斜坑の工事である。

本工区の地質は、主に中生代白亜紀に形成された領家帶の新期花崗岩類と濃飛流紋岩から構成されている。また、本工区内には活断層とされる馬籠峠断層などの複数の断層との交差が想定されているほか、中央アルプストンネルで最小土被り(8.4m)となる準用河川大沢川との交差部があるなど、慎重な掘削施工を要する箇所を抱えている（図-2）。

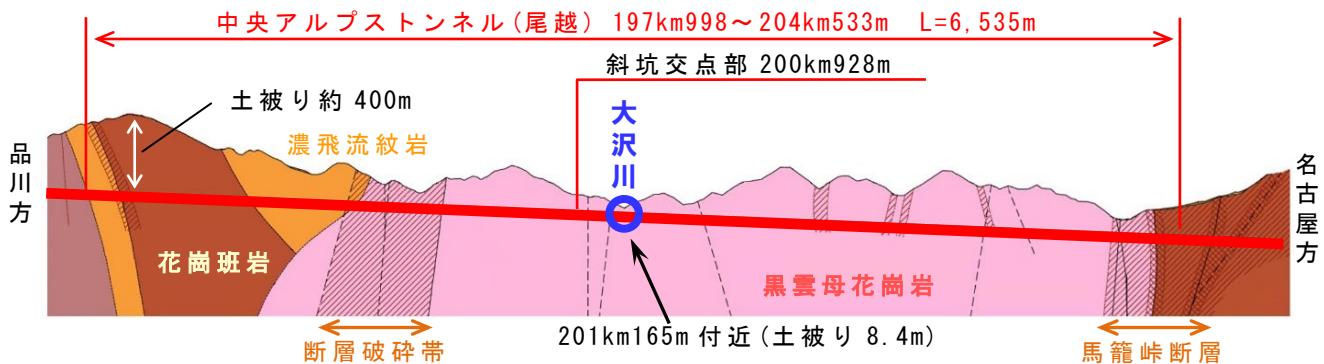


図-2 中央アルプストンネル（尾越）地質縦断図

本稿では、この大沢川との交差部において、河川直下を通過する、小土被り、破碎帯を含む地山といった留意すべき地形・地質条件が複合した区間におけるトンネル掘削の施工計画及び施工実績について報告する。

2. 河川交差部の概況・地質

2-1 河川交差部の概況

大沢川交差部は、前述のとおり小土被りであることに加え、地上部は急峻な谷地形であり、地上部で作業を行う場合は、進入路や施工ヤード等の造成などで大規模な土工事が必要となることが見込まれた。（写真-1）



写真-1 地上部の状況

なお、大沢川では関西電力㈱が水力発電用として取水しており、トンネル工事により河川水量を減水させた場合、水利権の補償が発生する事態になりかねないことも考慮する必要があった。

2-2 河川交差部の地形・地質

尾越工区では、前述のとおり複数の断層との交差が想定されているが、それら以外にも谷や崖、尾根といった地形の急変部が線上に連なるリニアメントとされる地形が周辺でみられ、(図-3) それらも断層・破碎帯である可能性も考えられた。大沢川周辺も急峻な傾斜地が続く谷地形であり、河川交差部が断層破碎帯である可能性も考慮する必要があった。

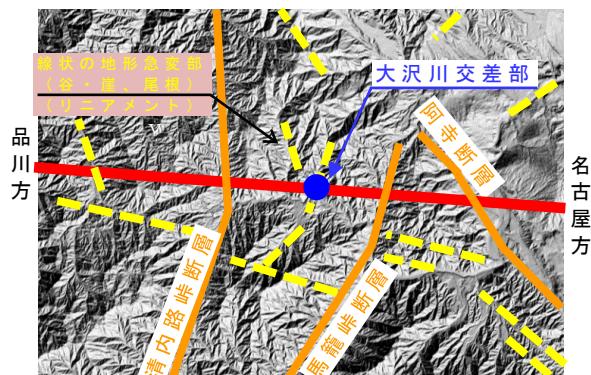
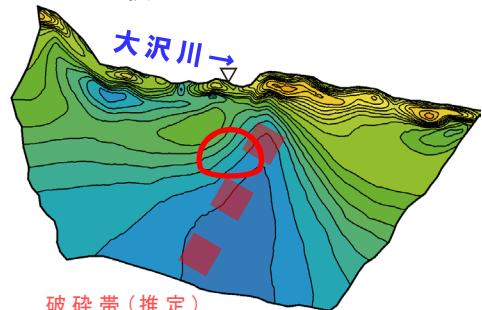


図-3 大沢川周辺の地形

このため、河川交差部付近では入念に地質調査を行うこととし、地表踏査のほか、ボーリング調査として鉛直方向のものをトンネル本坑と河川を挟むかたちで4箇所、それらに加え斜めボーリングも1箇所実施した。さらに、地層構造が複雑であることが想定されたため、電気探査をトンネル縦断方向および横断方向の2測線で実施した。

(トンネル横断方向)



(トンネル縦断方向)

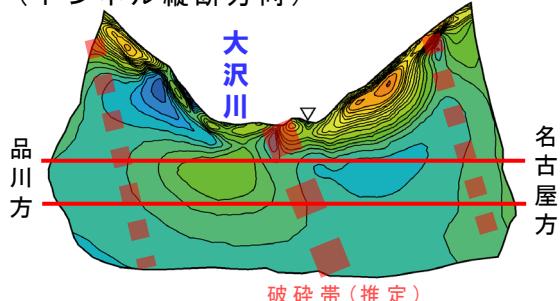


図-4 電気探査結果

その結果、小土被りの河川交差部付近において破碎帯と思われる地層が確認された。この破碎帯は傾斜角をもち、トンネルとの交差が推測されたほか、電気探査結果などから破碎帯が複数雁行している可能性にも留意する必要があった(図-4)。

2-3 河川交差部の施工上の課題

大沢川周辺の地形や地質調査結果などから、河川交差部付近のトンネル掘削施工における課題として、下記のものが考えられた。

- ①地上部の急峻な地形：小土被り部の掘削における切羽安定化への対応としては、河川の切り回しなど地上からの対策が考えられるものの、地形が急峻であることから、重機等の侵入には大規模な土工事を要することなど、困難を伴うことが想定される状況であった。
- ②小土被り部における破碎帯の存在：地質調査結果から河川と交差する小土被り部で破碎帯が出現し、トンネルと交差する可能性が想定されたため、切羽安定が難しくなることが懸念された。
- ③小土被りでの河川直下掘削：最小土被り約8mでの河川直下掘削であることから、河川水の流入を引き起こすこととなれば、大量湧水や天端崩落を引き起こすリスクがあった。加えて、河川の減済水を発生させれば、水利権の補償が懸念された。

このように、大沢川交差部付近のトンネル掘削においては、複合する課題への対応が必要な状況であった。

3. 河川交差部の施工計画

3-1 地上部からの対策の検討

前述の課題への対応として、小土被りであることから、地上からの地盤改良や河川切り回しなどの対策について検討を行ったが、当該地が急峻な谷地形であるため、大規模な土工事が必要になるなど、いずれも1年以上の施工期間を要することとなり、河川の済水期間内(11月から5月までの7箇月間)に作業を完了させることができない状況であった。このため、地上部からの対策は断念し、トンネル坑内からの対策にて掘削を進める方針とした。

3-2 トンネル掘削工法の検討

トンネル坑内からの対策を検討するうえで、前述の課題である小土被りかつ破碎帯による切羽不安定化への対応が必要であることから、通常の対策である支保の強化や補助工法の実施に加え、掘削断面を小さくすることで切羽の不安定化を防ぐ対応の検討を行った。

この掘削断面を小さくする対策として、通常の掘削と同程度の進行が維持できる上半先進掘削工法と切羽の不安定化防止を最優先とした導坑先進掘削工法との比較検討を行った結果、大沢川交差部では土被りが8m程度しかない状況であることを鑑み、より掘削断面を小さくできる導坑先進掘削方式を採用することとした。さらに、導坑方式の中でも可能な限り土被りかが確保できるよう底設導坑方式により掘削を進めることとした。(表-1)

加えて、底設導坑掘削後の本坑断面への拡幅掘削時に河川水の流入を防ぐため、導坑掘削後に外周に向けてファイバーボルトによる止水注入を実施し、天端部の安定化を図ることとした(図-5)。

表-1 掘削工法の比較

上半先進掘削工法	導坑先進掘削工法
<ul style="list-style-type: none"> 掘削進行を維持しつつ掘削断面の縮小化が可能 <p>【掘削断面積 74.1 m²】 【最小土被り 8.4 m】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 掘削断面の更なる縮小化が可能 底設導坑の場合、土被りの確保が可能 <p>【掘削断面積 40.6 m²】 【最小土被り 11.5m】</p>

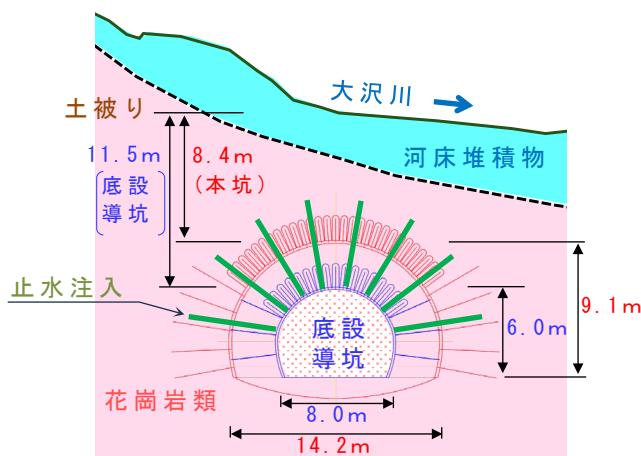


図-5 河川交差部断面図

1. 河川交差部の施工実績

大沢川交差部の掘削においては、計画どおり底設導坑により掘削を進め、また、破碎帯の出現が想定されたため、先受工や鏡ボルトなどの補助工法も行った。(写真-2)



写真-2 底設導坑施工状況

切羽状況については、当初は硬質な花崗岩が確認された箇所もあったが、風化部や粘土層が断続的に出現し、大沢川の直下部以降では脆弱部が切羽全体に拡大した。(写真-3)



写真-3 底設導坑切羽状況 (201 km 175 m)

底設導坑掘削後は、前述のとおり止水注入を実施した。注入においては、湧水箇所でも注入が可能で止水性に優れるウレタン系の材料を使用した。また、止水注入において削孔時に毎分20Lを超える湧水が確認された個所には、確実に止水・改良するためその周囲に追加で削孔・注入する計画としていたが、大沢川直下付近の1箇所において追加の注入を実施した。これにより河川水の引き込みなどによる大量湧水を防ぐとともに、本坑断面への拡幅掘削時においても、底設導坑の切羽で破碎帯が確認されていたため、その状況に応じて先受工や鏡ボルト打設した。(写真-4)

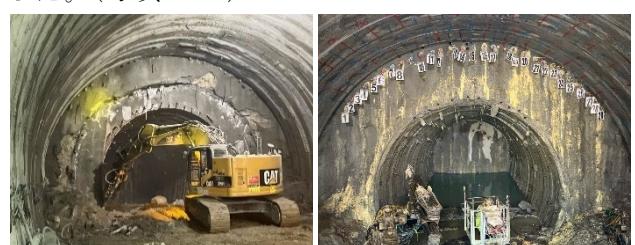


写真-4 本坑拡幅掘削施工状況

これらの対策を実施したことにより、懸念された切羽の不安定化、大量湧水や切羽崩壊などの懸念されていた事態を引き起こすことなく小土被り部の掘削を進めることができた。

また、小土被り部の掘削施工時には、トンネル坑内に加えて地上部においても沈下等の計測を実施した。トンネル坑内の計測については、内空変位及び天端沈下とともに概ね 10 mm以内に抑えることができた。(図-6)

地上部の計測においても、沈下量が最も大きかった小土被りのトンネル直上部において 2.5 cm程度で収まっており、地表面においても問題となる沈下を起こすことなく掘削を終えることができた。(図-7)

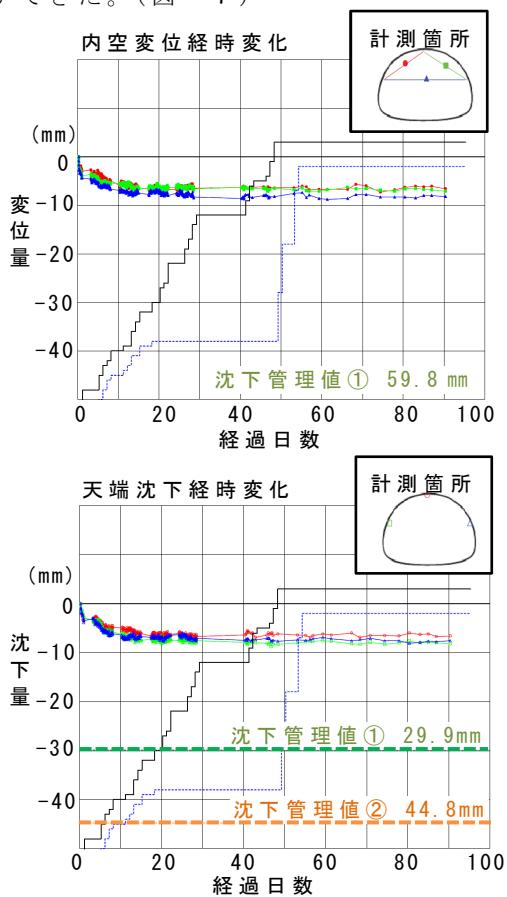


図-6 トンネル坑内計測結果



図-7 地表面沈下計測結果

また、地上の大沢川においては、トンネル交差部の上流側と下流側で河川の流量観測を行っていたが、交差部の掘削以降も上流側に対する下流側の流量に減少傾向はみられず、懸念されたトンネル坑内への河川水の流入や河川の原渴水等の影響などは確認されなかった。

(図-8)

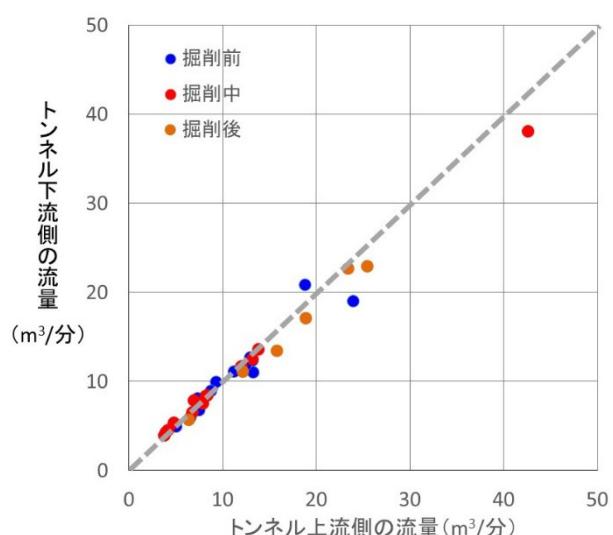


図-8 地表面沈下計測結果

2. おわりに

本工区では最小土被りが 8.4m となる河川交差部での掘削において、急峻な谷地形であったため、地上部での対策工が実施できず、小土被りかつ破碎帶での河川直下掘削となるなど、複合する課題に対し、切羽の安定に加えて河川に対する影響が可能な限り少なくなる対策により掘削施工を行う必要があった。こうしたなか、地質調査により破碎帶の位置や傾斜など、複雑な地質構造の把握に努めたうえで、切羽の安定化を重視して掘削工法の検討を行い、掘削断面を可能な限り小さくしつつ土被りが確保できる底設導坑を採用した。また、底設導坑掘削後の本坑断面への拡幅掘削にあたり、河川水引き込みのリスクに対して導坑外周に向けて止水注入を実施したことにより、懸念された大量湧水や天端崩落を防ぐとともに、河川への影響を及ぼすことなく河川交差部のトンネル掘削を完了させることができた。本工事が類似するトンネル掘削施工の参考となれば幸いである。