

断層破碎帯における トンネル掘削の対策について

尾島 豊

大成建設㈱ 関西支店 土木部 田野井第二トンネル工事作業所

(〒649-2532 和歌山県西牟婁郡白浜町安居字見ヶ川谷南側1191-2)

田野井第二トンネルは、近畿自動車道紀勢線の整備事業の一部としてNATM工法により施工した延長1,654mのトンネル工事である。本トンネルの終点坑口から約350m付近において、地表踏査から断層が3本確認されていた。また、ボーリング調査からも砂～礫質土状のコアを挟み軟質化しており、切羽の自立性が乏しいと共に地下水位がトンネル上部に位置することが想定された。そこで当該区間(約65m)に対しては、湧水対策として水抜きボーリングを実施し、同時に前方地山の削孔検層を行った。その得られた情報を活用しながら有効な補助工法を選択し、トンネル掘削を進めた。本稿ではこのプロセスについて報告する。

キーワード 断層破碎帯、水抜きボーリング、削孔検層、AGF、長尺鏡ボルト

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、紀南地域における災害時の交通確保かつ地域間の連携強化を目的として、田辺からすさみまでの延長38.0kmの高規格幹線道路として計画されている。

本工事は、そのうち施工延長1,694mの道路工事であり、延長1,654mのトンネルを含んでいる。トンネル内空断面は約63㎡の2車線道路であり、発破掘削方式によるNATM工法で施工を行った。現場位置図を図-1に示す。

終点側からの掘削については、断層破碎帯が想定されており、切羽の安定対策、天端の安定対策、及び湧水対策が不可欠であった。

本トンネルにおいては、掘削にあたり水抜きボーリングを行うと同時に前方探査を行い、地山状況の把握及び掘削における対策計画に反映することとした。

地質縦断面図を図-2に示す。

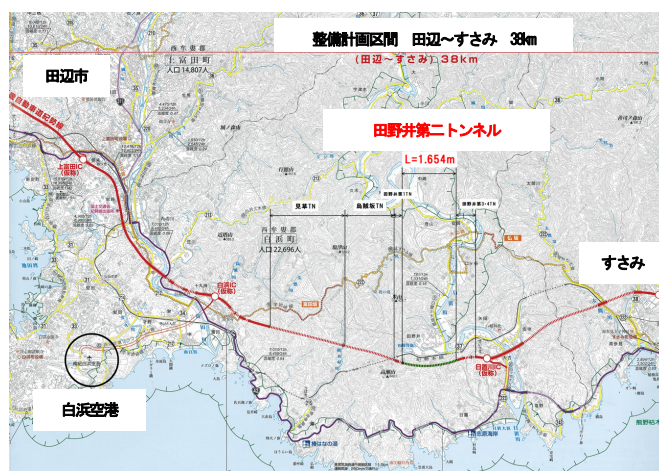


図-1 現場位置図

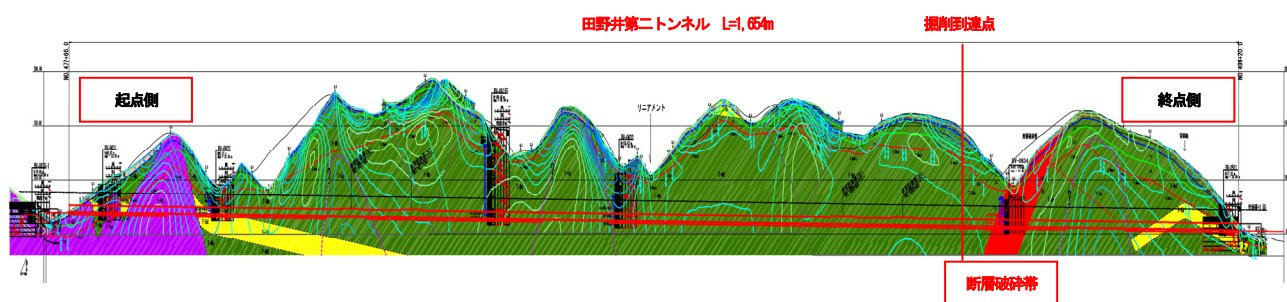


図-2 地質縦断面図

2. 地質概要

本トンネル施工区間の地質は、主に新第三紀中新世の田辺層群（泥岩、礫岩）が基盤岩を成しており、比較的安定して、湧水量も0.25m³/min程度と全体的には少ないと想定されていた。しかし、終点側から掘削する破砕帯想定区間に関しては、弾性波探査で幅15m程度の低速度帯が2箇所存在すると報告されていた。

また、地表踏査では、10～30cmの3本の断層が確認され、ボーリング調査においても約27mの層厚の破砕部と共に地下水位もトンネル天端より上部に位置することが確認されていた。

以上の結果より当該区間約65mの地質においては、亀裂が発達し、一部粘土化した部分があり地下水位も高いと想定されていた。

3. 水抜きボーリングの施工

(1) 施工計画

本トンネルの施工は、起点側から掘削を開始し約700m程度進んだ段階で、終点側からの掘削を始めた。

起点側の掘削において、切羽面及びその周辺より当初想定されていた湧水量より多量の湧水が発生し、吹付コンクリートの付着不良、作業能率の低下が見られた。その為、湧水対策の補助工法として、約120mの水抜きボーリングを計4本実施した。

終点側の掘削に際して、同様に破砕帯想定部では多量の湧水の発生が考えられ、破砕帯区間46.4m手前にて切羽面に対し左右1本ずつ延長120mの水抜きボーリングを計画した。

また、ボーリングマシンにはボーリングデータ取得用装置を装着し各種データを連続して記録した。測定項目を以下に示す。

- 回転トルク………油圧ラインに圧力センサーを装着し算出
- 削孔深度………ドリフターの移動距離より計測し算出
- 給進力………油圧ラインに圧力センサーを装着し、前進圧、後進圧の差より算出
- 削孔速度………深度変化と経過時間から算出
- 送水量………送水ラインに流量センサーを装着し算出
- 送水圧力………送水ラインに圧力センサーを装着し算出
- 打撃圧力・回数………送水圧力に係数をかけ算出



写真-1 ボーリング状況

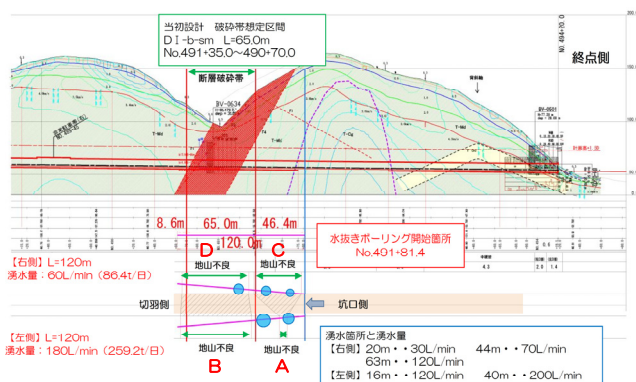


図-3 ボーリング施工箇所

(2) ボーリング結果

水抜きボーリングの結果は、左側の孔からの湧水量は180L/min(259.2t/日)で、右側の孔からの湧水量は、60L/min(86.4t/日)であった。(図-3、写真-1)

左側A区間(16m～24m)において、岩質が柔らかく、ボーリング孔の崩壊・閉塞が激しかった。湧水が120～200L/min見られ、割れ目が細かいことが想定された。B区間(60m～117m)においても、ボーリング孔の崩壊が激かった。

右側C区間(3m～48m)、D区間(63m～117m)においてもボーリング孔の崩壊・閉塞があり、湧水は20～120L/minであった。

ボーリング削孔時の打撃エネルギーについてはA、B、C、D区間に低下が見られた。(図-4)

打撃エネルギーが低い値を示すということは、地盤の強度が低く、軟弱な地山の存在が想定できる。ボーリング孔の閉塞状況、計測データの状況及び当初想定破砕帯区間との近接状況からこの箇所が破砕帯区間であると考えた。

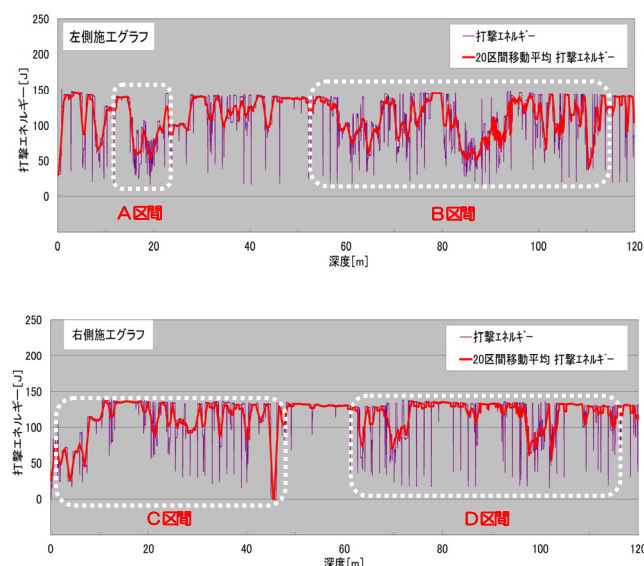


図-4 ボーリングデータグラフ(打撃エネルギー)

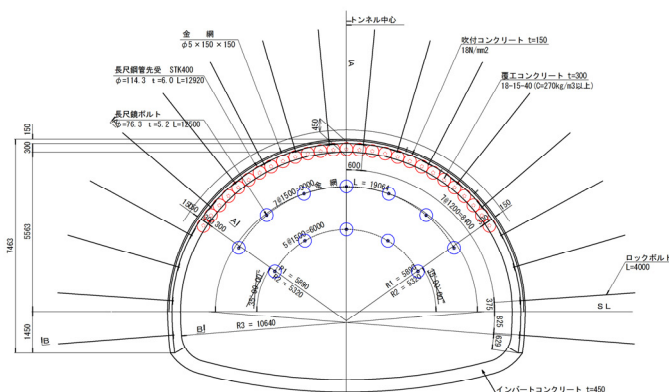


図-5 トンネル断面図

注入式長尺先受工法 φ114.3 L=12.920 鏡ボルト φ76.3 L=12.800

27本/面

12本/面

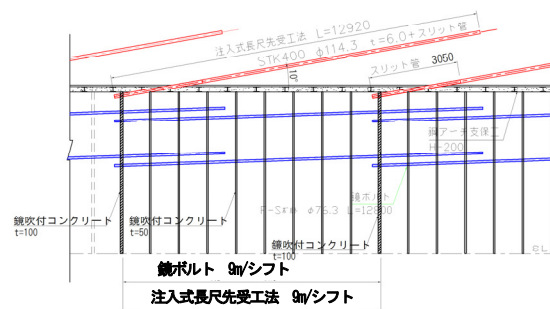


図-6 トンネル縦断面図

4. 補助工法

(1) 補助工法の選定

a) 天端の安定対策

前方探査結果より当該箇所は破碎層が断続的に続いていることが把握できた。その為、掘削に伴う地山の緩みや小規模な崩落が地表面まで達し、大規模な崩落に繋がる事が懸念された。掘削にあたっては地山の緩みを先行して抑制し、迅速な掘削が可能な天端安定対策が必要不可欠であった。先行緩み幅の大きい悪条件の掘削に対し、本設計である中尺鋼管先受工法 (MS工法) は先受長 (6m) が短く、先行緩みに対しての効果が乏しい。地山を安定させる縫地効果については理論上、長いスパンで地山を一体化させることでその効果を発揮する。そこで、中尺工法よりも高い効果を有する長尺鋼管先受工法 (AGF工法) $L=12.5m$ 、有孔長 $L=9.0m$ を採用した。

b) 切羽の安定対策

前述のように本区間は著しく破碎した地山が断続的に続き、かつ水位も高く突発湧水が懸念される地山である。天端安定対策ではAGFを選定したが、トンネル掘削において核残しや鏡吹付コンクリートだけでは切羽が安定しないことが想定されることから、切羽前方の緩み及び崩落を防止する効果のある長尺鏡ボルトを採用した。

c) 注入材の変更

当初設計であるMS先受工法 (注入材: ジェルフォー) はセメント系注入材料で、一般的に湧水等の水のある地山には注入材の劣化や流出等の可能性があり、不適材料とされている。したがって、使用する薬液は、湧水下でも固結性が問題なく、逸走しにくい特徴を有する必要がある。

昨今のトンネルの実情、及び紀勢線沿線の地質不良部の補助工法の注入材として標準となっているシリカレジンを採用した。

(2) 施工結果

No.491+35.0~No.490+70.0の65m区間を支保パターンは、D I-b補助工法とし、AGF工法と長尺鏡ボルトを併用して掘削した。(図-5、図-6)

a) 注入結果

注入式長尺先受鋼管 (有孔長 $L=9.0m$) 27本/面、及び長尺鏡ボルト (有孔長 $L=9.0m$) 12本/面を8シフト施工した。(写真-2)

注入量の設定はAGFが1本あたり149kg、鏡ボルトについては146kgとした。^{1), 2), 3)}

AGFの注入量については1シフトから3シフト及び5シフトは設計の100%以下であったが、4シフトと6, 7, 8シフトは設計の100%を超えた。鏡ボルトについては、6シフト、8シフト目が100%を超えた。AGFと鏡ボルトの平均注入量は91.7%であった。(図-7)

8シフト目以降は、地山も比較的安定しており、支保パターンは当初設計通りのCII-b-iで掘削した。

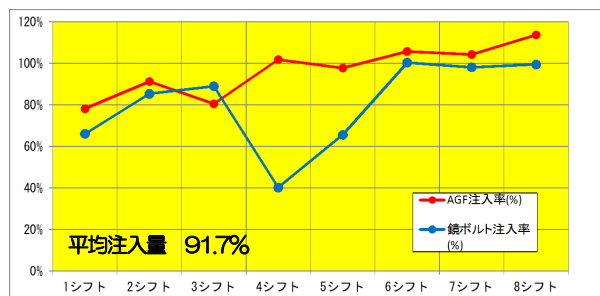


図-7 注入実績



写真-2 地山状況: 割れ目も細かく軟弱な天端

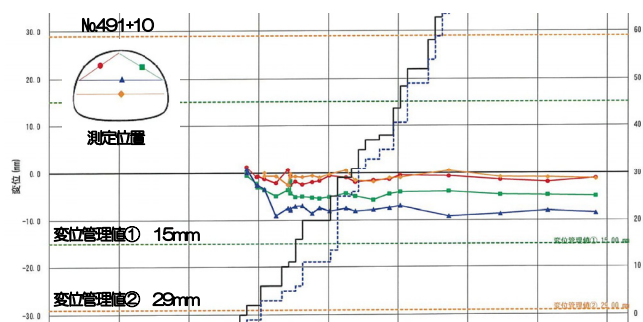


図-8 内空変位量

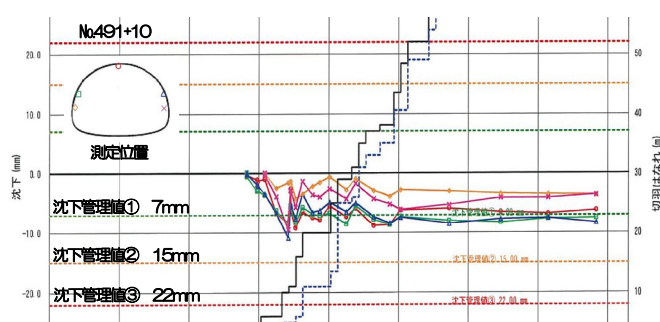


図-9 沈下変位量

b) 掘削時内空変位及び湧水状況

掘削に伴う周辺地山と支保部材の変位を把握し、工事の安全性、経済性を確保する為に内空変位、天端沈下測定を行った。

破碎帯部から約25m掘削した箇所の内空変位については、掘削初期に若干変位したものの-10mm程度に収まり大きな変位はなかった。(図-8)

沈下についても、右肩部が掘削初期時に若干沈下し、一次管理値(7.0mm)を超えたが、-10mm程度で推移した。(図-9)

湧水は、水抜きボーリングの施工以降、鏡面からは見られなかった。確実に水位低下の効果が確認できた。

7. おわりに

ボーリングマシンからの機械挙動測定データから断層破碎帯の脆弱性の顕著な地質性状が確認できた。また、目視によるボーリング削孔時のくり粉の状況、湧水量、ボーリング孔の閉塞状況から地山不良区間が想定することができた。

実際の掘削において、当該区間のトンネル切羽下半については比較的地山は安定していたが、トンネル切羽上

半の特に右肩付近にて、軟弱で細かい層が目立ち、割れ目も細かく、密着性の乏しい岩質が見られた。

事前の前方探査による地山性状の把握による適切な補助工法の選定及び水抜きボーリングによる湧水対策を行い、大きな崩落もなく破碎帯区間を掘削することができ、2014年11月25日に無事貫通を迎えることができた。

事前に切羽前方の地山性状を把握することが、安全にトンネルを掘削するためには重要であり、本稿が同種工事の参考になれば幸いである。

謝辞：最後に、本トンネルの施工ならびに論文作成にあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ジェオフロンテ研究会：AGF 技術資料五訂版, 2006. 12
- 2) 山岳トンネル技術会：補助工法の効率的な設計施工法に関する調査検討報告書, 2000. 10
- 3) 土木学会：山岳トンネルの補助工法, 2009 版