

県道間田長浜線 観音坂トンネル工事の
小土被り部の施工について

真嶋 敏之¹・森田 康平²

¹(株)奥村組 西日本支社 新観音坂トンネルJV工事所 (〒526-0814滋賀県長浜市石田町525番地)

²滋賀県 長浜土木事務所 (〒526-0033滋賀県長浜市平方町1152-2)

観音坂トンネルは、県道間田長浜線の整備事業の一部としてNATM工法で施工している延長531mのトンネルである。本トンネルは、掘削を開始する終点側200m区間における土被りが1.5D以下の小土被りで、坑口より180m付近では最小土被り12.8mで沢を横断する地形条件であった。また、この区間は断層あるいは破砕質な部分が連続して存在していると想定され、掘削初期段階において得る地質情報や地山変形に関するデータを用いて、この区間を安全に施工することが求められた。そこで、先進長尺コアボーリング、FDEM探査等の各種調査を実施し、得られた情報を活用しながらトンネル掘削を進めた。本稿では、この破砕帯を有する小土被り区間に対する情報化施工の手法と施工結果について報告する。

キーワード 小土被り，断層，先進長尺コアボーリング，削孔検層，FDEM探査，情報化施工

1. はじめに

発破掘削方式によるNATM工法により施工を行った。現場位置図を図-1、事業全体図を図-2に示す。

県道間田長浜線は、滋賀県米原市東部地域から長浜市中心市街地部を東西に結ぶ幹線道路であり、多くの通学・通勤者が利用している。市境にある観音坂隧道（昭和8年築造）および長浜側の現道は、道幅が狭いことに加えて、老朽化が進んでおり、通行に支障を来していることから、早期の道路整備が求められている。そのため、滋賀県の道路整備計画「滋賀県道路整備アクションプログラム」により、現在、当地にてトンネルを含む約1,630m区間の道路整備事業が進められている。

本工事は、そのうち施工延長1,008.8mの道路改良工事であり、延長531mのトンネルを含んでいる。トンネルは、内空断面64.9m²の自歩道を有する2車線断面であり、



図-1 現場位置図



図-2 事業全体図

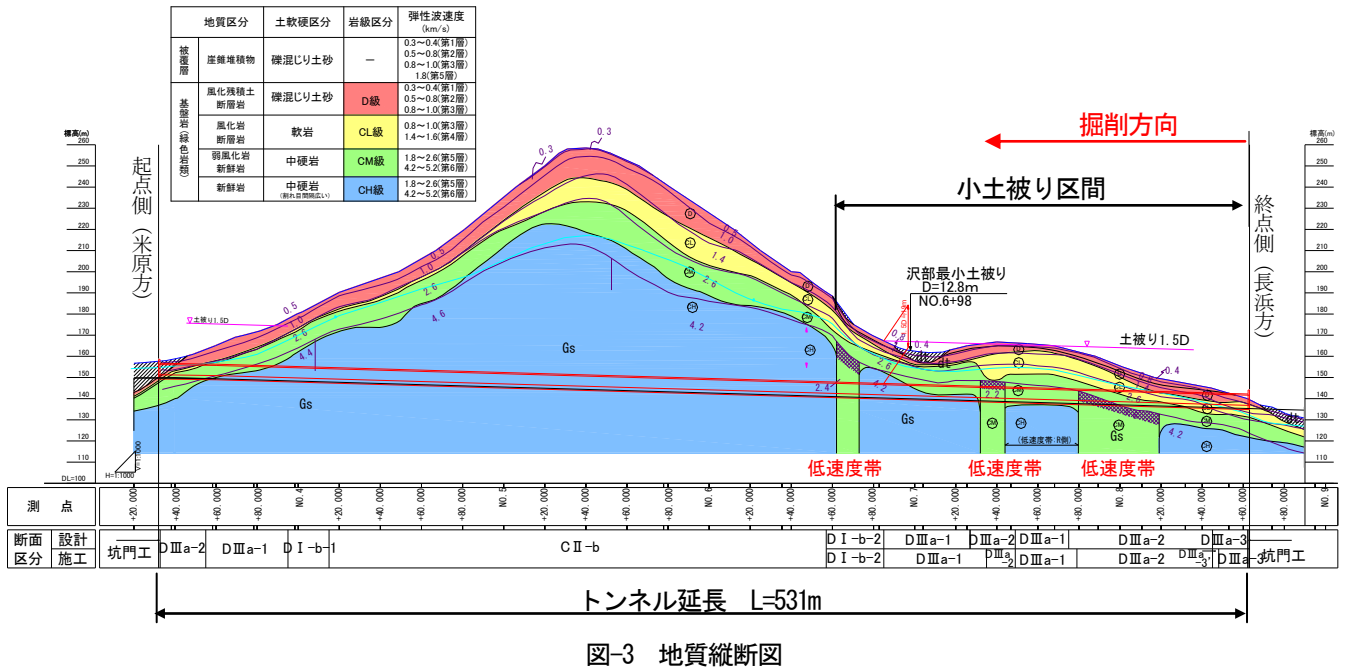


図-3 地質縦断面図

2. 地質概要

本トンネル施工区間の地質は、北鈴鹿層群の古生代二畳紀の地層で、主として塩基性火山岩類（緑色岩類）であり、両坑口には崖錐堆積物が分厚く分布している。また、トンネルルートに対して平行あるいは鋭角度に断層が存在する。掘削は、終点側より開始したが、坑口から約200m間は土被りが1.5D以下の小土被り部の風化層が連続しており、坑口から約180m付近においては最小土被り12.8mの沢部を横断する。事前調査にて、その区間に3本の断層が存在すると報告されていた。図-3に地質縦断面図を示す。

3. 地質的調査

前述のとおり本トンネルは、小土被り部が長く、断層や破碎質部内を掘進するため、天端および切羽の崩壊、

帯水層からの多量の湧水、過大な変位の発生などが懸念された。このような区間を掘削するにあたり、事前に地質的調査を実施することにより、地山状況の把握および掘削時における対策の立案に反映することとした。今回実施した調査を表-1に、調査概要を以下に示す。

(1) 先進長尺コアボーリング

調査時の削孔速度等の削孔時データ採取に加え、礫層や破碎質地盤においてもコアを効率的に採取できる全油圧式ロータリーパーカッションドリル「アロードリル」による急速コアボーリングの「ワイヤーライン工法」を採用した。

本調査は、No.8+52～No.6+52間において、トンネル掘削に先行してトンネル切羽前方の地質状況、コア採取による地山物性値の把握、および湧水が存在した場合の水抜き対策とし、1回の調査延長を約100mとし、2回実施した。調査位置は、地質構造により右側から地質が変化すると予想されたため、トンネル中心から右側約5m、SLライン付近の位置とした。ボーリング位置を図-4に示す。

表-1 調査項目一覧

	調査方法	取得する代表的データ	狙い
①	先進長尺コアボーリング	削孔速度 湧水量 試料(コア)	・前方約100m間における地質状況把握 ・地山の物性値 ・湧水の有無
②	削孔検層	削孔エネルギー 削孔速度	・前方約20m間における地山状況把握
③	FDEM探査	比抵抗値	・湧水の有無 ・前方約40m間における地山状況把握

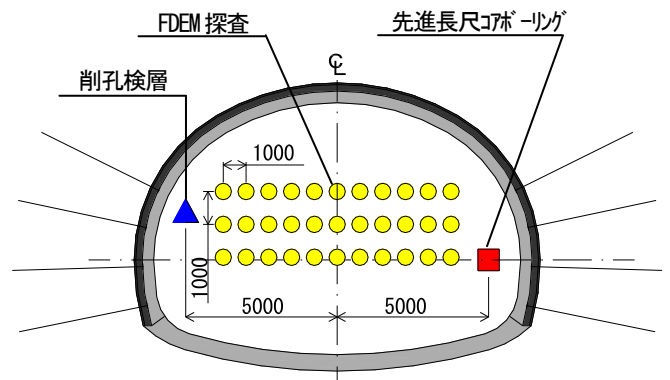


図-4 調査工位置図

(2) 削孔検層

先進長尺コアボーリングに比べ、切羽前方の比較的短い区間における地山状況を確認するために、トンネル掘削に使用する油圧ドリルジャンボを用いて削孔検層を行った。

本調査は、油圧削岩機がトンネル切羽の地山を削孔する際の削孔速度や削孔エネルギーなど削孔時のデータを測定・解析することで前方地山状況を把握する。調査区間は、先進長尺コアボーリングと同区間（No.8+52～No.6+52）の全長200mにおいて、1回当たり約L=20mで11回実施した。調査位置はトンネル中心から左に約5m、SLラインより約1.5m上方とした。調査位置を図-4、計測システム図を図-5に示す。

(3) FDEM探査

FDEM法（Frequency Domain Electromagnetic Method）とは、電磁探査法のひとつである。切羽面において送信コイルより電流を流し、磁場を発生させると、電磁誘導現象により地中においても磁場が生じる。誘導電流は地中の比抵抗分布に依存しているため、この地中に生じた磁場の強度を受信コイルにより測定することで地盤の比抵抗を知ることができる。比抵抗の高低により一般的に表-2のように様々な要因が推定できるが、今回は前方地山の状況、特に湧水の有無について着目した。

調査区間は先の調査とほぼ同一区間の200m間で、1回の調査延長をL=20～40mとして実施した。調査位置については、SLラインより上部において3測線、横断方向に1mピッチとした。調査位置を図-4に示す。

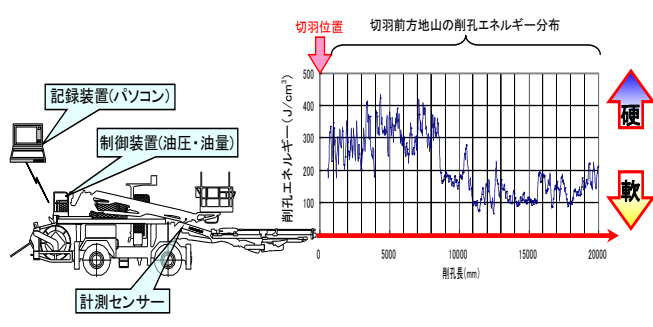


図-5 計測システム図

表-2 比抵抗の変化要因

要 因	地盤の比抵抗の高低		地盤の関連現象
	低い	高い	
飽和度	飽和状態	大きい ← → 小さい	風化・破碎帯
	乾燥状態	小さい ← → 大きい	
飽和度	大きい	← → 小さい	地下水位
体積含水率	大きい	← → 小さい	風化・破碎帯
粘土鉱物含有量	多い	← → 少ない	風化・変質
地下水の比抵抗	低い	← → 高い	塩水など
温度	高い	← → 低い	地熱・温水

4. 調査結果と考察

各調査における調査結果と考察を以下に述べる。

(1) 先進長尺コアボーリング

コア採取状況およびコアの確認により以下のことが推測できた。

- 全体的に事前調査に比べ岩自体は新鮮である。しかし、節理面に沿って割れ易く、節理面は鏡肌であることから、トンネル切羽面に出現した場合、天端・鏡の崩落や肌落ちが発生しやすい。
- 4区間（No.8+31～No.8+29、No.7+84～No.7+81、No.7+17～No.7+10、No.6+95～No.6+91）において、粘土混じりの細砂状および角礫状のコアが採取されたことより、粘土化を伴う断層破碎帯が存在する。
- 2区間（No.7+42～No.7+32、No.6+91～No.8+82）において、5cm以下の岩片状から粗粒砂状のコアが採取されたため、地山は亀裂が発達し脆弱な状態である。
- 調査区間における湧水量は区間累計で15L/minと少量であった。しかし、現場近隣状況（後背山＋水の無い沢）を考慮すると突発的な湧水の危険性が懸念される。

(2) 削孔検層

削孔検層の結果より以下のように推察した。

- 2区間（No.8+17～No.8+7、No.7+0～No.6+90）において、他の区間と比べ、削孔エネルギーが小さく、削孔速度が速くなっていることから、破碎帯あるいは比較的脆弱な地山が出現する（図-6 No.8+17～No.8+7の例）。
- 3区間（No.7+83～No.7+74、No.7+39～No.7+29、No.7+14～No.7+4）において、繰り返し大きく振幅する結果を示したことより、亀裂が発達した不均一な地山が出現する。

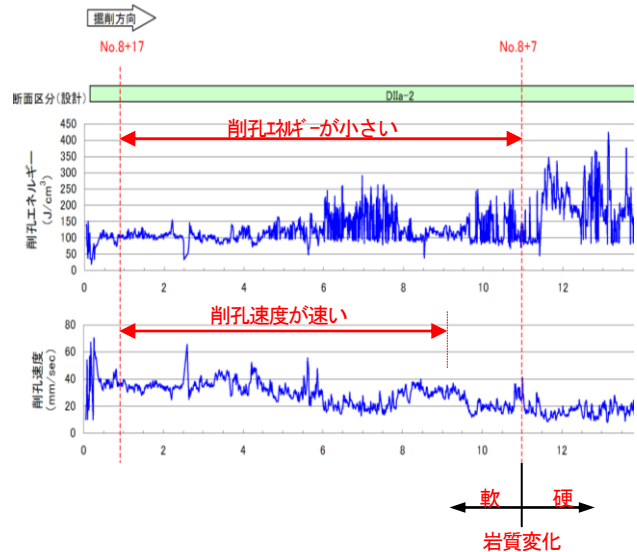


図-6 削孔検層データ
(No. 8+17～No. 8+7 付近)

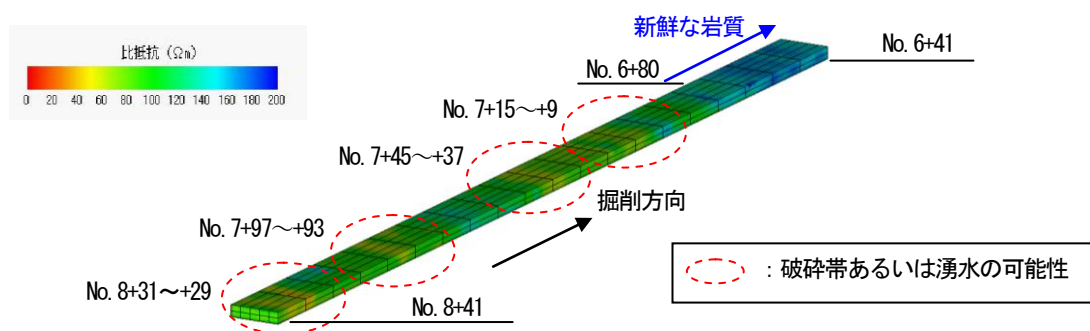


図-7 3次元比抵抗分布

(3) FDEM探査

FDEM探査結果より以下のように推定した。

- ・ 図-7に示すように、4区間（No.8+31～No.8+29、No.7+97～No.7+93、No.7+45～No.7+37、No.7+15～No.7+9）において75Ωm程度の低い抵抗値を示したことより、破碎帯のような脆弱な地山あるいは多量の湧水が存在する可能性がある。
- ・ 先の区間のように部分的に低い比抵抗値を示す部分はあるものの、事前資料の報告に比べ全体的に安定した地山である。特に、No.6+80以深については150Ωm以上の高い比抵抗値を示したため、新鮮な岩質であり安定した地山である。

今回行った調査結果をもとに、小土被り区間の事前の弾性波探査での低速度帯①～③における地山状況を下記のとおり想定した。図-8に今回行った調査結果を示す。

- ・ 低速度帯①～③において、破碎帯あるいは亀裂が発達している範囲は限定的であり、全体的に事前調査結果に比べ安定した地山と想定される。
- ・ 低速度帯①において、破碎質な地質と想定される区間は各調査結果でばらつきが見られた。これは、断面内の調査位置の違いにより生じたものと推定され、部分

的に脆弱な箇所が出現し、切羽が不安定になる恐れがある。

- ・ 低速度帯②は、亀裂が発達した地山と想定され、天端・切羽からの抜け落ちが発生しやすい地山である。
- ・ 低速度帯③より手前の沢部に近い箇所脆弱な地山が確認されたことにより、推定される低速度帯③よりも手前で湧水が発生する恐れがある。

5. 支保の適正と補助工法の有効性の検証

調査結果により前方地山状況を推定し、掘削時の支保選定における資料として調査データを活用した。また、選定した支保の妥当性あるいは補助工法の効果について、掘削時あるいは完了時に計測・調査を実施し、検証・確認するとともに次施工にフィードバックさせることで、掘削における安全性を確保するとともに適正な支保選定について確実性を向上させ、合理的な掘削を行った。今回、検証するにあたり実施した計測および調査について以下に記す。

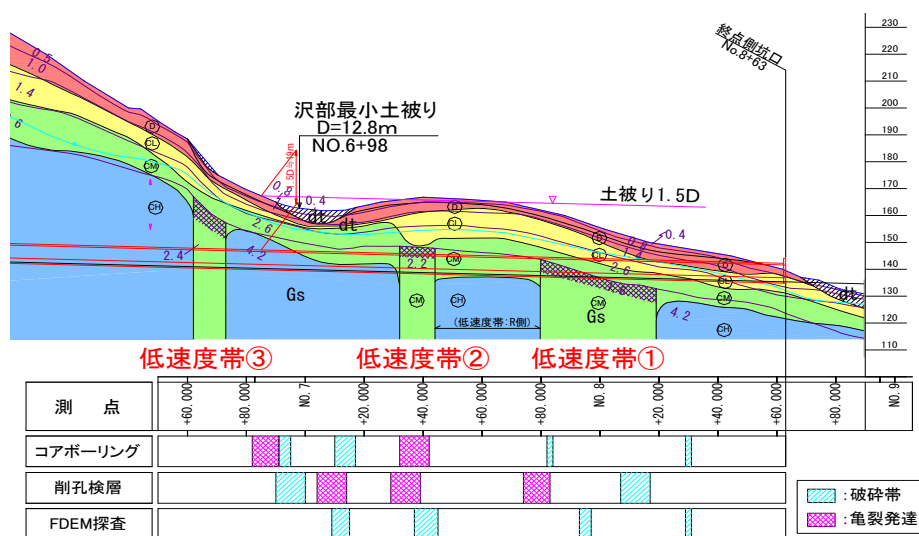


図-8 推定破碎帯分布図(調査結果)

(1) トンネル変位のリアルタイム計測と3次元FEM解析

資料や調査結果より脆弱な地質の存在が想定されることから、掘削による地山の緩みに伴う過大な変位の発生が懸念された。したがって、周辺地山の挙動を早期に把握することを目的にトンネル内空変位のリアルタイム計測を行い、事前解析を行った3次元FEM解析結果と計測結果の両者を比較検討し、検証を行った。事前解析で用いた解析モデルおよび物性値を図-9、表-3に示す。

今回実施したリアルタイム計測とは、終点側DIIIa-3、DIIIa-2、DIIIa-1区間においてトンネル軸方向5mピッチに計測断面を設け、60分間隔で自動計測した。

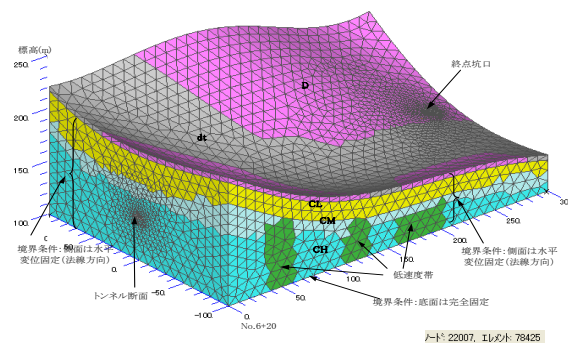


図-9 解析モデル

表-3 解析に用いた物性値

地質名	記号	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変位係数 E (kN/m ³)	ポアソン比
崖錐堆積物	dt	18	5.0×10^3	0.40
基盤岩 緑色岩	dt	20	2.0×10^4	0.35
	CL	25	2.0×10^5	0.35
	CM	25	5.0×10^5	0.30
	CH	25	2.0×10^6	0.30
低速度帯	Gs	25	2.0×10^5	0.35

(2) 注入効果確認コアボーリング

掘削補助工法として行った注入式フォアボーリングの地山改良状況を確認するためボーリングによりコア採取を実施した。コア採取箇所として、No.8+19とNo.7+40の2断面を選定し、1断面あたり天端、左右肩部の3箇所において深度4.0mとしてコアを採取した。ボーリング位置を図-10、ボーリング調査状況を写真-1に示す。

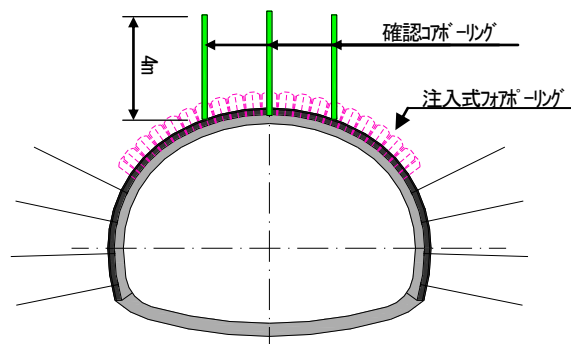


図-10 ボーリング位置図

5. 検証結果

(1) トンネル変位

図-11に天端における最大沈下量、図-12にトンネル側壁の内空変位量の計測結果とともに事前解析の解析結果を示す。

- ・天端沈下および内空変位（左右壁間の間隔）の事前解析による推定値について、全体の数値が小さいため一概に評価することは難しいが、測定値と大きな差異がないことより、一定の評価ができる。
- ・天端沈下および内空変位（左右壁間の間隔）は、どちらも概ね10mm以内と変位量は小さく、当初懸念されていた施工において支障をきたすような大きな変位の発生はなかった。

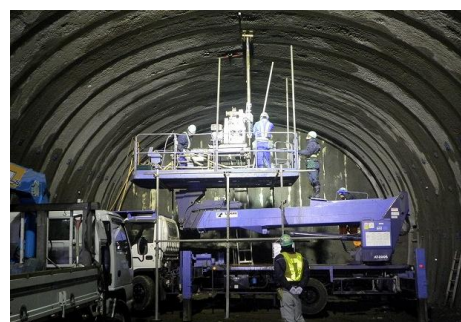


写真-1 ボーリング調査状況

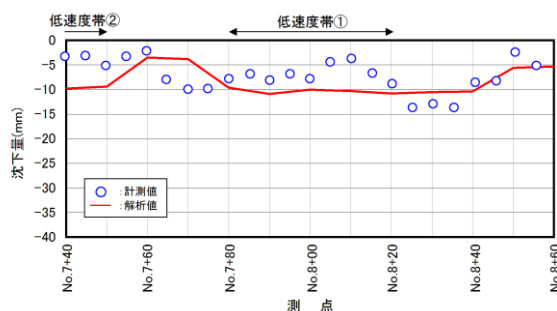


図-11 トンネル天端の沈下量

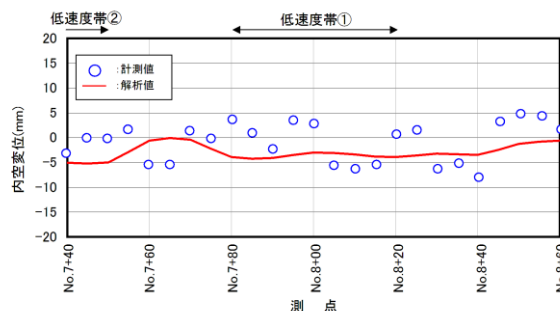


図-12 トンネル側壁の内空変位量

(2) 注入効果確認コアボーリング

注入確認ボーリングの結果を写真-2、写真-3に示す。

- ・No.8+19では、φ5～80mm程度の岩片が混入する崖錐堆積物の中に、No.7+40では、主としてDL～CL級の緑色岩で、一部角礫状を呈する部分においてそれぞれ硬質の改良材が点在していることが確認できた。このことより、天端部の脆弱部分は掘削補助工である注入式フォアボーリングにより適切に改良されていると推定できる。

6. 施工へのフィードバック

坑口より約100m地点において、長尺ボーリング等の調査により把握した地山状況や計測結果をもとに事前解析結果および支保の妥当性の検証を行うとともに、それ以降の沢部や低速度帯の施工へ向けて再解析を行い、次施工へフィードバックした。

変位計測の結果より当該区間の変位量は小さく、解析結果と大きな差異がないことから、選定した支保は妥当であると判断し、これまでと同様に、調査結果や再解析結果を前方地山の判断材料として支保選定を行った。

今回施工した小土被り区間における支保パターン結果を表-4に示す。実施施工において、切羽の安全・安定を確保しながら当初設計よりも補助工法区間を短くできたことから、今回の調査、解析結果をフィードバックした支保選定は妥当なものであると考える。

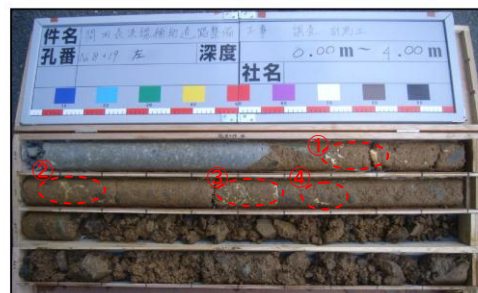
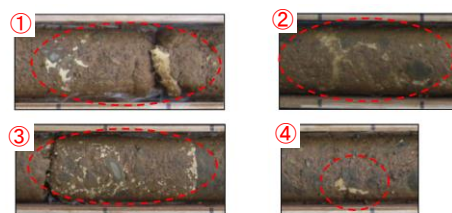


写真-2 コア写真 (No. 8+19)

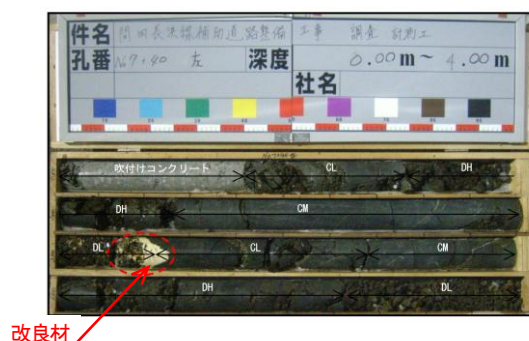


写真-3 コア写真 (No. 7+40)

表-4 実施施工の支保パターン

支保区分	補助工法	当初設計	実施施工
D I -b-1		0m (0.0%)	28m (13.6%)
D I -b-2	注入式FP	28m (13.6%)	0m (0.0%)
D III a-1		68m (33.0%)	80m (38.8%)
D III a-2	注入式FP	92m (44.7%)	80m (38.8%)
D III a-3		18m (8.7%)	15m (7.3%)
D III a-3'	注入式FP	0m (0.0%)	3m (1.5%)
合計		206m (100.0%)	206m (100.0%)

7. まとめ

今回、事前解析および掘削期間中に行った調査や計測結果を検証し、次施工区間の支保選定や施工にフィードバックすることで、小土被りかつ破碎帯区間を大きな崩落もなく地山の安定を確保し、安全に掘削を行うことができた。

また、各種の調査結果を活用し適切な支保選定を行った結果、補助工法区間を短縮することができた。

謝辞：最後に、本トンネルの施工にあたり、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する。