

## 地質性状に起因する切羽崩落部における対策工の施工実績

戸田建設（株）土木技術部

正会員 ○辻川泰人 内藤将史 内藤雅人

戸田建設（株）大阪支店

正会員 細井匡之

非会員 日高 洋 尾坂 剛

### 1. はじめに

有田海南道路5号トンネル工事は、和歌山県有田市から海南市までの事業の一部である延長  $L=2,033\text{m}$  の道路トンネルのうち、有田市側  $L=1,206\text{m}$ （仮）を施工するものである。地質は三波川帯に属する中生代三畳紀～ジュラ紀の三波川変成岩で構成され、トンネル全線において緑色片岩、黒色片岩、蛇紋岩等を含む大小多数の断層破碎帯が確認されていた。

そのため、本工事では、切羽前方探査等により破碎帯の位置を確認しながら慎重に掘削を進めていた。しかし、想定より40m手前（TD162m）の掘削途中で大規模崩落が発生し、支保の変状が発生した（写真-1）。

本稿では、切羽の崩落が発生した原因と対策工の検討結果、および施工結果について報告する。



写真-1 切羽の崩落状況

### 2. 原因究明調査

切羽崩落原因究明のための地質構造確認を目的とした、弾性波トモグラフィ探査と電気探査（比抵抗二次元探査）及び追加調査ボーリングを実施した。計測結果を図-1、図-2に示す。なお、上記調査に先立ち、応急対策工として崩落により発生したと推測される空洞充填（エアミルク）を行った。

① 弾性波トモグラフィ探査及び電気探査結果より、崩落切羽周辺に、大規模な空洞の残存を示唆する異常な速度低下部や高比抵抗構造は認められなかった。また、崩落部周辺は、速度構造と比抵抗構造のパターンが一致しており、割れ目帯や破碎帯等の地質不連続面になっている可能性が高いことが確認できた。

② 追加調査ボーリングより、エアミルクのコアを確認したことから、改良効果による充填を確認することができた。また、崩落部周辺では、掘削時や先進ボーリングでは見られなかった蛇紋岩や緑色片岩の粘土状破碎部が介在していることが分かった。

これまでの調査結果より推定される崩落切羽（TD162m）における地質断面を図-3に示す。崩落の要因として、トンネル天端直上に偏在する蛇紋岩がといった地質区分や、脆弱化した緑色片岩がトンネル軸と略並行な走向（時計回りに約  $20^\circ$  で斜交）で谷川に緩～急傾斜するといった地質構造が考えられた。

以上のことから、崩落発生のプロセスを以下に示す。

① 当地特有の偏圧条件およびトンネル掘削に伴う応力解放により、山側の健岩部（CM級）と脆弱化した粘土状破碎帯（D級）の地層境界で流れ盤構造に伴うせん断破壊が発生

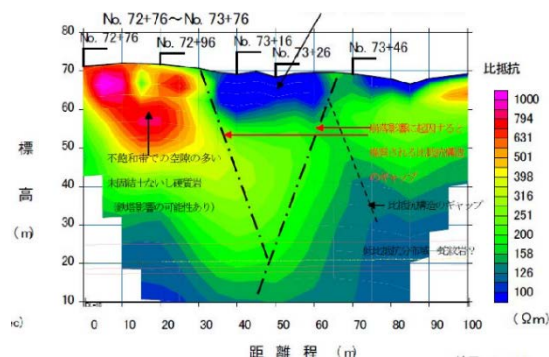


図-1 電気探査結果

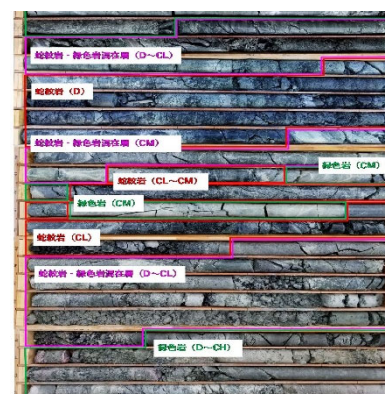


図-2 調査ボーリングコア写真

キーワード トンネル、崩落、蛇紋岩、弾性波トモグラフィ、FEM解析、補助工法

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5 戸田建設株式会社 土木技術部技術1課 TEL 080-2944-7806

- ② トンネル左肩部を主とする初期崩落（変状・支保破壊）が発生
- ③ 次いで、足元をすくわれ不安定化した急傾斜構造の破碎質な蛇紋岩部へ緩みが発生
- ④ トンネル天端付近を主とする二次崩落が発生

3. 対策工

切羽崩落による縫返し区間（L=34m）を、比較的軽微な変状が生じた対策区間Ⅰと重度の変状が生じた対策区間Ⅱに区分して検討を行い、対策工を決定した。対策工実施縦断面図を図-4に示す。

（対策区間Ⅰ）

調査結果から大きな緩み域が生じていないと想定されること、トンネル内空側から1～4m程度のCL～CM級岩盤が存在することから、改良幅3.0mの小口径AGFを採用した。

（対策区間Ⅱ）

追加調査結果から得られた地質構造および地山物性値に基づき解析モデルを作成し、FEM解析により施工を模擬したステップ解析を行った。評価項目として、周辺地山のひずみ状態および変位に着目してトンネルの安定性を照査するとともに、支保工応力に着目して、縫返し時の安定性確保のための対策工規模（トンネル周辺の改良幅・範囲）を決定した。表-1に検討を行った解析パターン毎の支保工応力度照査結果を示す。

解析結果より、改良範囲120°では改良幅による大きな効果は見られなかった。また、改良範囲180°では全体的に改良効果が確認できたが、改良幅3mおよび4mにおいて許容値を満足しない結果となった。

以上より、アーチ180°で改良幅5mを行うことでトンネル左側の脆弱な緑色片岩および天端の蛇紋岩破碎部の緩み影響を遮断され、トンネルの安定性が確保され则认为る。

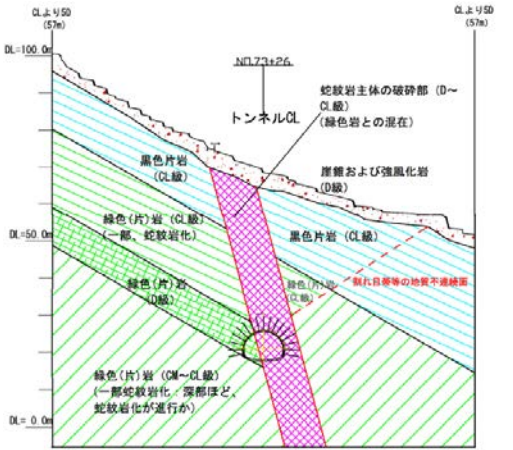


図-3 崩落切羽における推定地質断面

表-1 支保工応力度照査結果一覧

| 検討No<br>/(改良幅) | 照査箇所   | 発生応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 判定 |
|----------------|--------|-------------------------------|-------------------------------|----|
| ①<br>(3m)      | Mmax位置 | 580                           | 210.0                         | NG |
|                | Nmax位置 | 580                           | 210.0                         | NG |
| ②<br>(4m)      | Mmax位置 | 579                           | 210.0                         | NG |
|                | Nmax位置 | 579                           | 210.0                         | NG |
| ③<br>(5m)      | Mmax位置 | 515                           | 210.0                         | NG |
|                | Nmax位置 | 565                           | 210.0                         | NG |
| ④<br>(3m)      | Mmax位置 | 260                           | 210                           | NG |
|                | Nmax位置 | 236                           | 210                           | NG |
| ⑤<br>(4m)      | Mmax位置 | 174                           | 210                           | OK |
|                | Nmax位置 | 224                           | 210                           | OK |
| ⑥<br>(5m)      | Mmax位置 | 99                            | 210                           | OK |
|                | Nmax位置 | 143                           | 210                           | OK |

※1) 検討No①～③:改良範囲120°  
検討No④～⑥:改良範囲180°

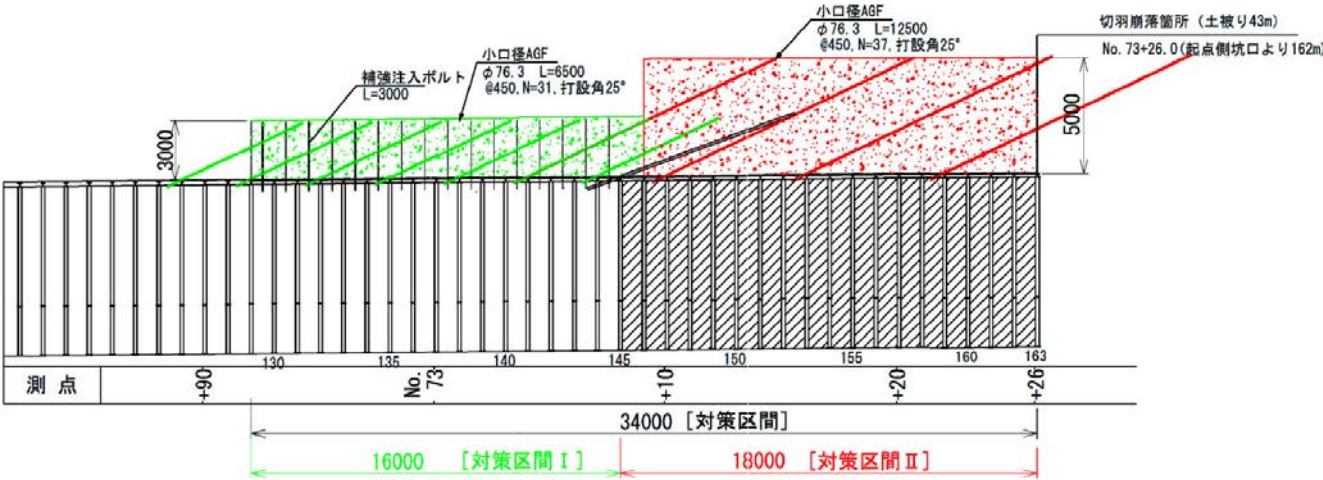


図-4 対策工実施縦断面図

4. まとめ

当トンネル工事で発生した切羽崩落および支保変状において、追加調査を実施し、そのデータによるFEM解析を用いた対策工検討を行うことで、縫返し時の安全性を確保することができた。今回の施工実績が蛇紋岩等の事前対策を必要とする特殊地山におけるトンネル掘削工事の参考になれば幸いである。