

トンネル掘削中に発生した切羽崩落に対する対策工について

西日本高速道路（株）	正会員	○藤木 昂
西日本高速道路（株）	非会員	森井 光治
鉄建建設（株）	非会員	倉橋 正

1. はじめに

米子自動車道谷川トンネル他 1 トンネル工事は、米子自動車道 4 車線化事業のうち江府 IC～溝口 IC 間の延長 616m のⅡ期線トンネル等を施工するものである。本稿は谷川トンネル TD.319m 付近を掘削中に発生した切羽崩落の概要、復旧に向けての調査・計画および対策工について報告するものである。

2. 地形、地質概要

谷川トンネル周辺の地形は標高が低いものの斜面が比較的急勾配となり、低山地間の谷が顕著なV字型をなしている。谷川トンネルの地質縦断図を図-1に示す。地質はジュラ紀～白亜紀に貫入・定置したとされる花崗閃緑岩を基盤としてその上位に段丘堆積物、大山火山噴火物、沖積堆積物、現河床堆積物などが分布する。天端崩落箇所付近の地質は、Ⅱ期線の想定地質図においても破碎帯が懸念される区間でもあった。

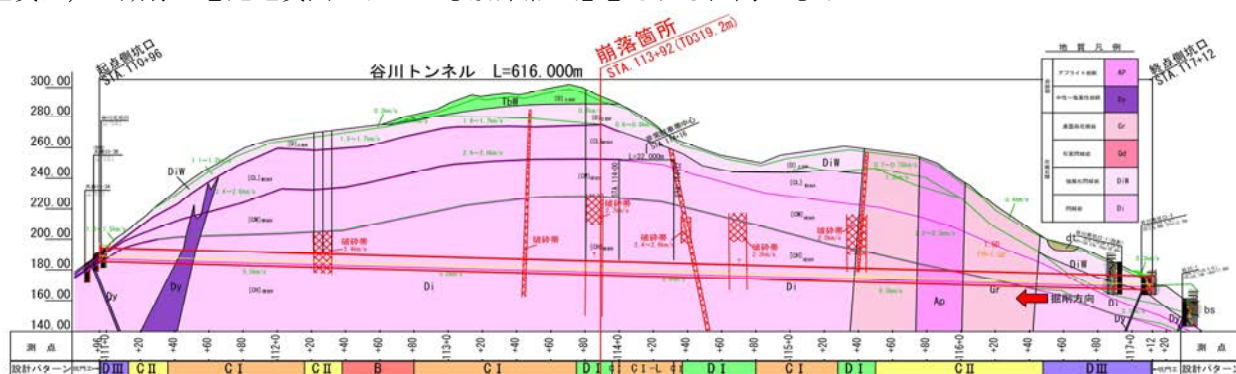


圖-1 地質縱斷圖

3. 切羽崩落の概要

切羽の崩落は、谷川トンネルの最大土被り付近である TD.319m 地点で発生した（図-1 および写真-1）。崩落直前の切羽までは中硬質な花崗閃緑岩を主体で直前の切羽パターンは CⅡ-L、CⅡ-b 相当であったが、地山状況が急変し、鏡面及び天端部より土砂化した地山が崩落した。崩落規模は推定 330m³ 程度であった。崩落土は、風化変質の著しい花崗閃緑岩が土砂状を呈しており、破碎された岩魂の一部には鏡肌を伴ったものも確認できた。また、崩落箇所付近の切羽湧水は、滴水～滲み水程度であった。崩落状況から推定すると、破碎状の亀裂沿いに帯状の範囲で風化変質が著しく進行したゾーンが緩みに伴い連続的に小崩落を繰り返したものと想定される。



写真-1 TD.319m の天端崩落



写真-1 TD.319m の天端崩落

4. 復旧対策

(1) 空洞調査

まず、復旧方法を検討するために天端の空洞規模等を把握するためのさぐり削孔を切羽後方より行い、空洞の範囲、高さ等を調査した。空洞は前方方向に約 5m、高さ方向に約 10m、幅員方向に約 7.2m であることが推定された。

(2) 復旧対策【二次災害防止：フロー①～②】

次に、空洞調査結果をもとに復旧対策工およびトンネル支保工等の計画を実施した。復旧対策工にあたっては、施工時の安全確保、崩落個所のトンネルの安定性等を考慮し、図-2 に示す対策フローを計画した。復旧対策工に先立ち、復旧対策施工時の更なる崩落による二次災害を防止するために、鏡吹付けコンクリートおよび長尺鏡ボルト

キーワード 山岳トンネル, 空洞充填, 崩落対策, 長尺鏡ボルト, 長尺鋼管先受工

連絡先 〒689-3515 鳥取県米子市赤井手 962-2 西日本高速道路(株)米子高速道路事務所 TEL0859-27-2181

による崩落土砂の改良および地山補強を計画した。長尺鏡ボルト（ $L=12.5\text{m}$, $\phi 76.3\text{mm}$, $n=25$ 本）はシリカレジンにて充填を行った。崩落土砂は非常にルーズな状態であったため、注入実績は計画注入量に対し 174%となった。

(3) 復旧対策【空洞箇所充填：フロー③～⑥】

トンネル掘進するためにはアーチアクションを形成しなければならないため、崩落して空洞になった箇所の充填を計画した。充填材は、ほとんど湧水がなかったため、エアモルタルによる充填を基本とした。しかし、エアモルタルは 8 箇所から充填を実施したが、想定した充填量よりも少ない打設量（ 30m^3 程度）に留まった。未充填の空洞を再調査するため、追加で探り削孔を実施し、未充填空洞に対しては補足注入として、シリカレジンによる充填を実施した。さらに、最上部の空洞に対して確実な充填を行うため、自穿孔ボルト（ $\phi 31\text{mm}$ ）を打設し、シリカレジンで充填した。空洞充填管理は、圧力管理（初期圧 $+2.5\text{MPa}$ ）とし、圧力上昇を確認した時点で注入を完了した。また、合わせて空洞周辺の緩んだ地山に対しても補強を行うこととした。空洞充填後の崩落土砂部および崩落箇所の掘削前には天端部の補強として、鋼管先受工（ $L=6.5\text{m}$, $\phi 76.3\text{mm}$, @450mm）を実施した。崩落箇所の支保パターンは、十分な支保工構造を構築することを目的に DIIIa(H)パターンを採用することとした。

(4) 復旧対策【計測】

インバート施工及び覆工コンクリート打設まではトンネル構造としては仮設的な状態であるため、掘削時の安全監視および計測工 B として、支保工応力の監視を目的に各種応力計（吹付けコンクリート応力計、鋼アーチ支保工応力計）を設置することとした。下半切羽通過後も吹付けコンクリート応力および鋼アーチ支保工応力ともに管理レベル I 以内で推移していることを確認した。目視観察においても支保工には変状は生じておらず、トンネルの安定性は保持できているものと考えられる。

5. 崩落箇所以降の掘進

崩落箇所以降のトンネル掘削にあたっては、掘削前に削孔検層を実施した。前方地山は穿孔エネルギーが崩落箇所の値と比較して大きく変わらなかった（図-3）ため、地山の状態も崩落箇所と大きく変わらないと考え、掘削補助工法として、長尺鋼管先受工（ $L=12.5\text{m}$, $\phi 114.3\text{mm}$, $n=25$ 本、シリカレジン）および小口径長尺鏡ボルト（ $L=12.5\text{m}$, $\phi 76.3\text{mm}$, $n=13$ 本、シリカレジン）を採用し崩落箇所以降のトンネル掘削を再開した。

6. まとめ

崩落箇所の空洞充填によるアーチアクションの形成や先受工による補強を行うことで不良地山部の掘削が完了した。今後も不良地山が予想される箇所もあるため削孔検層を行いながら地山状況を慎重に判断し、地山状況に合わせ最適な支保工、補助工法を選択して掘削を進めていく。

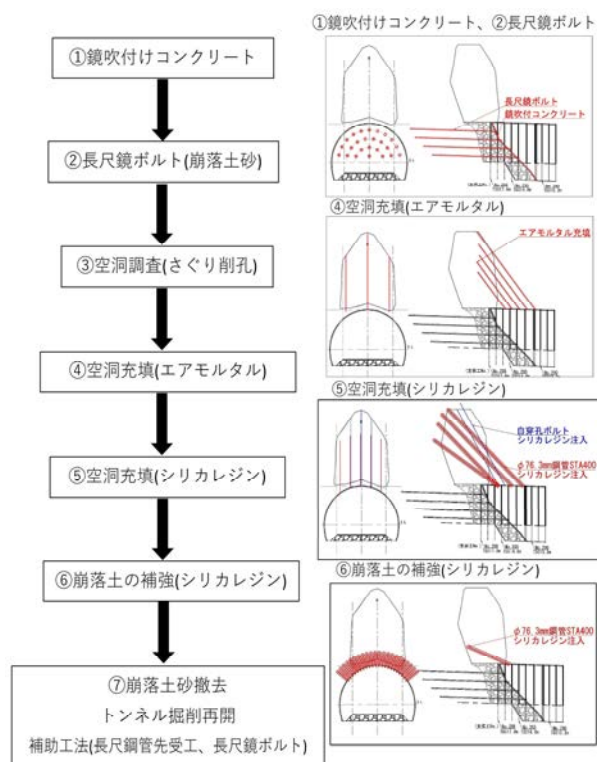


図-2 復旧対策エフローと対策概要

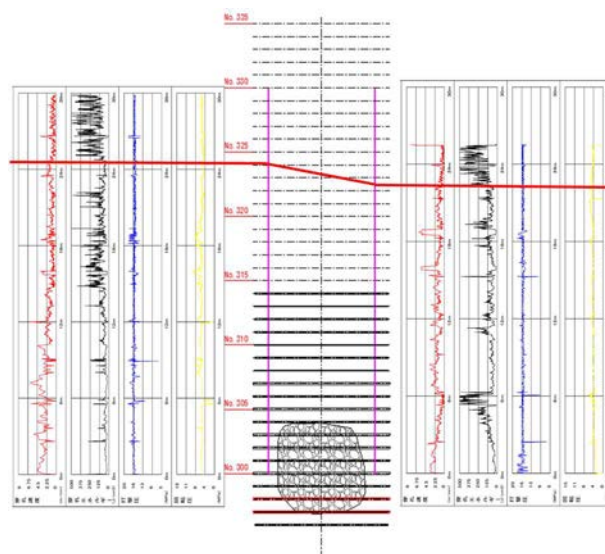


図-3 崩落箇所以降の削孔検層データ