

先進ボーリング調査時ならびに施工時における トンネルの地山評価と切羽変状の関係

岡崎 健治^{1*}・倉橋 稔幸¹・亀村 勝美²・村山 秀幸³・丹羽 廣海³

¹ 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34）

² 公益財団法人深田地質研究所（〒113-0021 東京都文京区本駒込 2 丁目 13 番 12 号）

³ 株式会社フジタ技術センター土木研究部（〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1）

*E-mail: 90185@ceri.go.jp

Key Words: トンネル, 地山分類, 先進ボーリング, 切羽変状

1. はじめに

トンネルの施工時においては、切羽の状態、湧水、地圧等の施工の難易に関わる状況や、掘削に伴う変位量、多くの施工実績により経験的に設定された判定基準に基づき地山等級が決定される¹⁾。また、施工時には切羽の安定性を確保することが重要であるとともに、切羽崩落による災害を未然に防止するため「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」も平成 30 年 1 月に改正されている²⁾。このようなトンネルの施工に大きく影響する切羽の状態に対し、リアルタイムでの監視技術が開発されているが、より早い段階で肌落ちを生じやすい岩石岩盤の特徴や条件等を把握できれば安全な施工に資することができる。ここで、先進ボーリング調査³⁾は、トンネルの掘削直前に切羽前方における地質性状を把握できること、掘削したボーリング孔を通じて湧水を事前に排除できること、また、掘削ズリから溶出する重金属類の種別や濃度を試験できることなどから、そのメリットは大きい。これまで筆者らは、先進ボーリングの調査結果の収集分析、地山評価における先進ボーリングの効果、地質に応じた先進ボーリングの適用性に関して研究を進めてきた^{4~5)}。

本稿では、施工時に切羽変状が発生したケースにおいて、先進ボーリング調査時と施工時の地山等級が一致または乖離した状況を調べ、先進ボーリングの効果について考察した。

2. 調査概要

本稿では、これまで北海道で建設された火山岩および火山砕屑岩を地山とする国道 20 トンネルについて、その先進ボーリング調査時と施工時の各種情報（表-1）から決定された切羽観察記録と同じ断面における地山等級（C1～E パターン）の 521 断面を検討に用いた。これらの切羽断面は、「安定」、「岩塊の抜け落ち」、「押出し」、「自立せず崩落」のいずれかの情報に対応している。この切羽の情報は施工時に判明しており、その後、最終的に施工時の地山等級が決定されている。すなわち、施工時の地山等級は、表-1 の施工（切羽）の情報が全て加味されている。それに対し、先進ボーリングによる地山等級の判定のための情報は異なっている。

本稿では、この違いを前提として、両者の地山等級が一致または乖離する状況を調べることで、トンネル掘削前に実施する先進ボーリング調査の有効性について検討した。なお、トンネル地山の岩種は、安山岩、石英安山岩、凝灰角礫岩である。

表-1 先進ボーリング調査時と施工時の地山評価に
用いられる情報

測定項目	先進(コア)	施工(切羽)
地質・岩種	○	○
切羽の自立性	—	○
岩石強度	○	○
風化変質	○	○
割れ目(幅・亀裂面・間隔)	○	○
断層破砕帯	△	○
湧水・水による劣化	○	○
割れ目の方向性	△	○
弾性波速度	○	—
地山強度比	○	△
変形係数	○	—
変位量計測	—	○

表-2 先進ボーリング調査時と施工時の地山等級が一致または乖離したケースにおける切羽の変状

一致		変更 ランク差	断面数	切羽の変状			
先進	施工			I	II	III	IV
C1	C1	0	58	53	5	0	0
C2	C2	0	189	101	88	0	0
D1	D1	0	70	26	44	0	0
D2	D2	0	90	29	39	19	3
E	E	0	0	0	0	0	0
計			407	209	176	19	3

切羽の変状 I：安定 II：岩塊の抜け落ち III：押出し IV：自立せず崩落

乖離（構造上位）		変更 ランク差	断面数	切羽の変状			
先進	施工			I	II	III	IV
C1	D2	3	8	6	2	0	0
C1	D1	2	9	9	0	0	0
C2	D2	2	8	6	1	1	0
C1	C2	1	55	46	9	0	0
C2	D1	1	28	26	2	0	0
D1	D2	1	4	3	1	0	0
D2	E	1	2	2	0	0	0
計			114	98	15	1	0

3. 調査結果

表-2 に、先進ボーリング調査時と施工時の地山等級が一致または乖離したケースにおける切羽の変状の関係を示す。先進ボーリング調査時と施工時の両者が一致したケースは 407/521 断面（78%）、乖離したケース（構造上位への変更）は 114/521 断面（22%）であり、全体の約 8 割が先進ボーリングの情報によって地山等級が事前に評価できていることになる。

このうち、一致したケースでは、切羽の変状は、209/407 断面（51%）が区分 I、残り 49%が II～IV と約半数で切羽の変状が発生している。また、地山が悪くなるに従い切羽の状態も悪くなる傾向が確認できる（例えば、C2 では区分 II が 88 断面と半数近く、D1 では区分 II が I を逆転、D2 では III や IV が発生している）。

次に、乖離したケースでは、切羽の変状は、98/114 断面（86%）が区分 I、残り 14%が II～III である。乖離したケースは、先進ボーリング調査に基づいて評価した地山等級が施工時の施工状況や切羽情報も含めて評価した結果と対応していないものである。地山等級が構造上位への変更が 1 ランクだけで済んでいる割合（区分 I～II）が 89/114 断面（78%）であるが、2 ランク以上に変更されている例もあること、切羽の変状発生との関連性がないことなど更なる分析を必要とする。また、切羽の変状を生じさせる原因と先進ボーリングの調査結果との関連を明らかにするためには、先進ボーリング調査時に取得できない施工時の切羽における「切羽の自立性」や「変位量計測」の情報と先進ボーリング調査時の各種情報（表-1）との関係について分析を進める必要がある。

4. おわりに

本稿では、先進ボーリング調査時と施工時の地山等級が一致または乖離する状況だけを議論したが、今後は、例えば、両者が一致または乖離するなかで、切羽の変状が生じたケースと生じていないケースにおいて、両者の情報相互の関連性について分析を進めていきたい。

最後に、本分析にあたり、トンネルの工事記録を提供していただいた国土交通省北海道開発局の関係各位に、ここに記して、厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，2009。
- 2) 厚生労働省労働基準局：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインの改正について，2018。
- 3) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領第 4 集トンネル，2018。
- 4) 亀村勝美・倉橋稔幸・岡崎健治・山崎秀策・村山秀幸・丹羽廣海：先進ボーリングによる地山評価とその効果，トンネル工学報告集，第 28 巻，2018。（投稿中）
- 5) 丹羽廣海・倉橋稔幸・岡崎健治・亀村勝美：トンネル先進ボーリングデータの分析による合理的地山評価に向けた検討，第 46 回岩盤力学に関するシンポジウム，2018。（投稿中）