

膨張性地山における計測システムと活用事例

戸田建設(株) 正会員 ○横道 立樹
戸田建設(株) 正会員 向井 隆彦

1. はじめに

立岩トンネルは建設中の北海道新幹線における、新八雲(仮称)駅から長万部駅間の八雲方に位置する全長 17km035m の山岳トンネルで、本工区は、函館方坑口より 5,015m 区間のトンネルを建設する。本稿では、切羽より最大 5,750l/min の大量湧水の発生と、スメクタイトを多量に含む地山で-130mm の内空変位が発生した区間において、新しい計測システムで地山を評価し、適切な掘削パターンや掘削補助工法の選定を行った事例を報告する。

表-1 工事概要

工事名	北海道新幹線、立岩トンネル(立岩)他
工事場所	北海道二世郡八雲町立岩地内
発注者	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
工期	平成26年3月20日～令和4年12月22日 105箇月
施工者	戸田・伊藤・新太平洋・北海道軌道施設共同企業体
掘削方式	機械掘削(TD:0~1178.4) 発破掘削(TD:1178.4~)
掘削工法	上半先進ベンチカット工法(ミニベンチ)

2. 工事概要

表-1 に本トンネルの工事概要、図-1 に平面図を示す。本トンネル施工工区での最大土被りは 300m である。初期の掘削計画では、図-2 に I N の断面図を示す。本トンネルの内空は SL で 9.5m であり、基準掘削面から天端までの高さが 7.86m である。

3. 地質概要

図-3 に地質縦断面図を示す。坑口付近は、緑色凝灰岩(LMt)を基盤岩とし、頁岩、砂岩および礫岩(LM)が分布している。TD400~1,400m では、玄武岩質火砕岩(LMb)が主体となり、TD1,400~3,000m では LM および LMt が交互に主体となると想定され、TD3,000~5,015m(工区境)では、LMb が主体である。

4. 異常変位と大量出水発生区間

TD2,800m 前後で 100mm を超える異常変位および突発的な大量湧水を観測した。異常変位の要因としては、地山強度比の低下と含有量 20%を超えるスメクタイトによる膨張性地山であると考えられた。また、一軸圧縮強度は 11~12N/mm² 程度、土被りが 180~200m 程度のため、地山強度比が 1.1~1.3 程度であった。内空変位は、支保パターン I N-2P の TD2,778m で 24hr で-75.9mm であり、-104.8mm に達したため縫い返しを行った。支保パターン特 S の TD2,868m では、24hr で-67.2mm、収束値は-131.6mm に達した。また、当該区間の切羽湧水は、最大で 3,700l/min 程度に達し、全体のトンネル全体の排水量は 8,000l/min であった。

図-4 に TD2,800m 付近における、内空変位と濁水処理量の推移を示す。この図より、変位と濁水処理量は反比例する傾向があることが分かる。また、図-5 に内空変位と地山強度比の関係を示す。変位箇所での地山強度比は 0.7~2 程度と非常に小さい値を示し、また、X線回折の結果より、スメクタイトの含有量は 39%および 55%で多量に含まれていることが判明した。このため、切羽の湧水区間、異常変位発生区間に着目すると、湧水が減少傾向となった際、異常変位が観測されており、また、異常変位区間が粘土質であったことを考慮すると、この粘土層で湧水が堰き止められており、切羽掘削の応力開放に伴い、急激に変位が増加したと考えられた。

5. 異常変位に対する考察

図-4 に TD2,800m 付近における、内空変位と濁水処理量の推移を示す。この図より、変位と濁水処理量は反比例する傾向があることが分かる。また、図-5 に内空変位と地山強度比の関係を示す。変位箇所での地山強度比は 0.7~2 程度と非常に小さい値を示し、また、X線回折の結果より、スメクタイトの含有量は 39%および 55%で多量に含まれていることが判明した。このため、切羽の湧水区間、異常変位発生区間に着目すると、湧水が減少傾向となった際、異常変位が観測されており、また、異常変位区間が粘土質であったことを考慮すると、この粘土層で湧水が堰き止められており、切羽掘削の応力開放に伴い、急激に変位が増加したと考えられた。

キーワード 膨張性地山、計測システム、3D スキャナー

連絡先 〒049-3123 北海道二世郡八雲町立岩 48-4 鉄道運輸機構八雲立岩トンネル作業所 TEL0137-62-2363



図-1 工事平面図

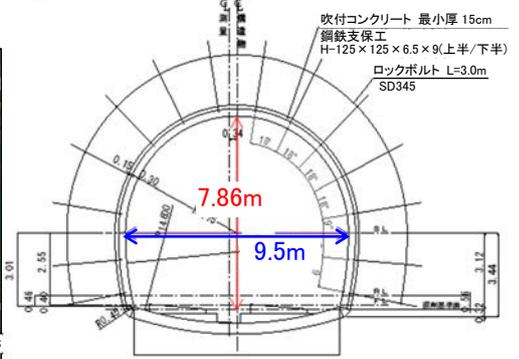
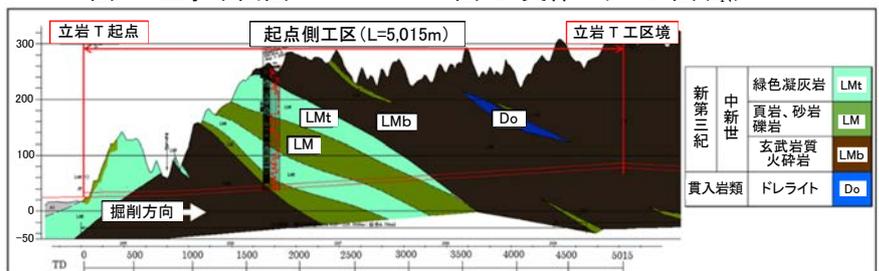
図-2 支保パターン図(I_N)

図-3 地質縦断面図

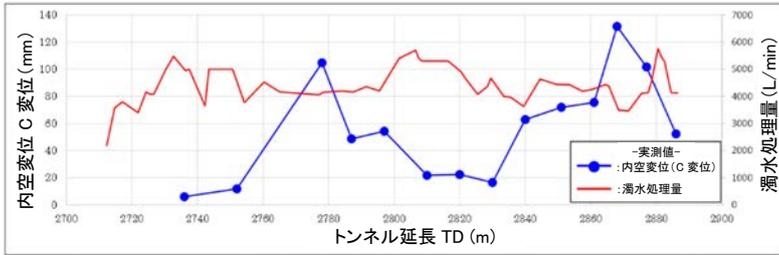


図-4 TD2,800m 付近における内空変位と湧水処理量の推移

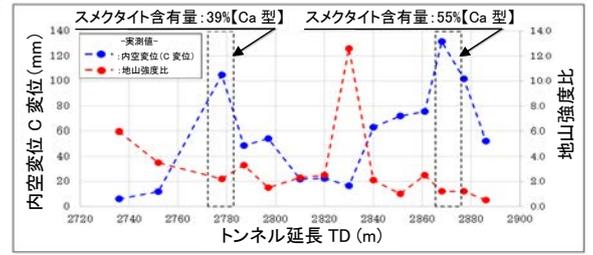


図-5 内空変位と地山強度比の関係

6. 計測システムの構築

図-6 に変位箇所のア計測ベクトル変位図を示す。変位図の状況から、局所的な変形であることが確認できる。したがって、従来のア計測では、面的な変位を把握できず、局所的な変位を見逃す恐れがあった。さらに、掘削から初期値の設定までに従来のア計測では時間的ロスが生じ、初期変位を正確に捉えることができず、変位を過小評価する恐れがあった。そのため、従来のア計測に3D スキャナーと支保工検測を統合的に組み合わせた計測システムを考案した。図-7 に計測システムの実施フロー図を示す。変位管理値①を超過しない場合は、通常のア計測を実施し、変位管理値①を超過した場合、3D スキャナーおよび支保工検測を実施し、その結果をトンネル掘削管理システムにより一元管理した。また、計測システムは、早期の最終変位予測と広範囲の変位を把握できる機能を付加した。3D スキャナーによる計測は100mm メッシュで吹付面の点群データを取得し、その結果を1m メッシュでの平均値として出力した。

計測結果は、吹付面でのおよその変位箇所および変位量を示し、変位の表記は、FILM の巻厚 70mm を基準に吹付面が FILM の巻厚を侵す場合(アタリ時)には、プラスで赤色、FILM の巻厚以上の余掘りがある場合(余掘り時)には、マイナスの値で 0 ~ -30mm で黄色、-30 ~ -50mm で緑色、-50mm 以上で青色とした。支保工検測は、

A 計測と同様のトータルステーションおよびトンネル掘削管理システムを用いて、鋼製支保工 SL 部分の余掘り量およびアタリ量の計測を行った。既存のシステムでは、設計値との差のみが表示され、変位の挙動を把握することができなかつたため、支保工変位の経時変化をグラフ化し、同測点の計測を繰り返すことで、各鋼製支保工の変位を視覚化した。

7. 計測システムの活用

上述した計測システムにより、3D スキャナーでは広範囲の変位箇所を取得し、支保工検測で、A 計測では得られない、全断面のより正確な変位を迅速に取得できるようになった。図-8 に今までの A 計測で得られた初期変位速度と最終変位量の関係を示す。軽い支保パターンほど、最終変位量に占める初期変位の割合が大きく、急激に変位する可能性があることが分かった。また重い支保パターンであると、変位速度は遅いが、最終的な変位量は大きくなる可能性がある。また、この実測値から得られた回帰直線により、初期変位が得られた段階で最終変位を予測することが可能となった。

これにより、早期に支保パターンの選定および掘削補助工法の実施判断を可能にした。

8. まとめ

今回、スメクタイトを多量に含む膨張性地山において、初期変位の大きい異常変位を観測した場合、通常のア計測に加え 3D スキャナーの導入と支保工の計測を追加したことで、早期に支保パターン変更の提案および掘削補助工法の必要性の有無を判断し、経済的かつ安全に施工することができた。

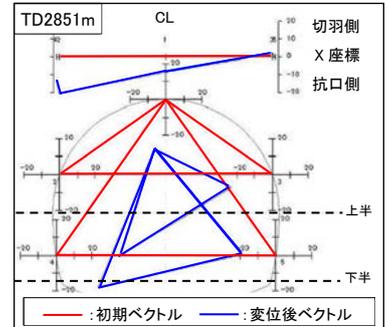


図-6 ベクトル変位図

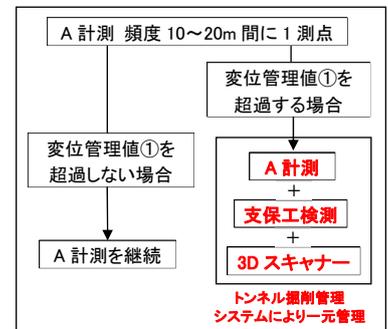


図-7 計画システムフロー図

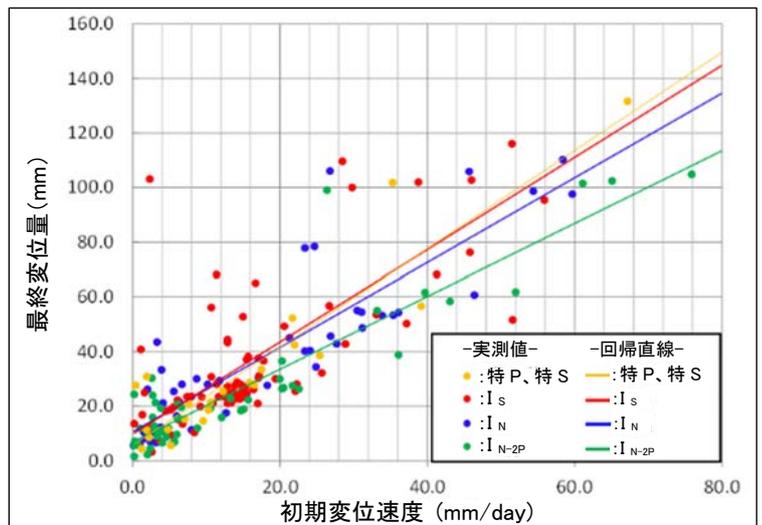


図-8 初期変位速度と最終変位の関係