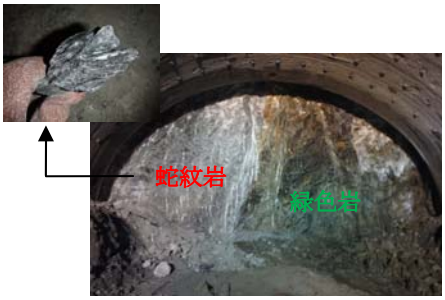
ロックボルト削孔検層による蛇紋岩を含む不均質地山の評価

国土交通省東北地方整備局　赤石広秋
鹿島建設(株)　正会員　西川幸一　福田博之　小泉　悠
鹿島建設(株)　正会員　○金本　凌　宮嶋保幸　白鷺　卓

１．はじめに

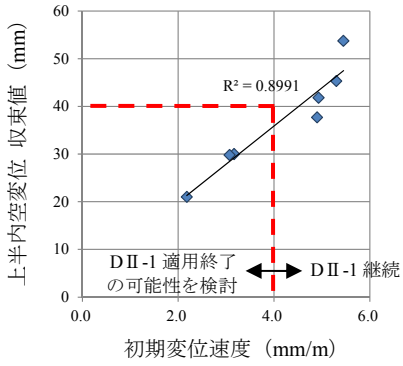
新区界トンネルは，宮古盛岡横断道路の最大の難所である区界峠を貫く全長約 5km の長大トンネルである．現在，宮古側・盛岡側から，避難坑（掘削断面積 約 18.2m^2）と本坑（掘削断面積 約 110m^2）あわせて計 4 つの切羽で掘削を進めている．このうち宮古側の本坑では，滑石を含む軟質な葉片状蛇紋岩の出現に伴い，変状対策として，鋼アーチ支保工 H-200 と吹付けコンクリート（厚さ 25cm）により断面を早期閉合する支保パターン（以下 DⅡ-1）を適用した．本報では，この早期閉合工法の終了時期を適切に定めるべく，切羽観察に加え，変位計測の結果を分析し，ロックボルト削孔時の削孔エネルギー値の分布を取得活用した結果について報告する．



写真－1　蛇紋岩および緑色岩からなる切羽状況
（計測 B 実施断面）

２．初期変位速度による収束変位の予測

DⅡ-1 適用後，計測 B として各種支保部材の応力計測を行った．その結果，上半内空変位の収束値が 40mm 程度以上生じる場合，発生応力の観点から，DⅡ-1 よりも軽い支保構造は不適合で，DⅡ-1 適用が妥当であることが示された [1)]．ただし，当区間の変位は，切羽が少なくとも 2D 程度（D：掘削径，約 15m）先進するまで収束しないため，DⅡ-1 終了時期を定めるための閾値として迅速性に欠ける．そこで，DⅡ-1 適用後の約 50m 区間を対象に，収束変位と初期変位速度の関係を整理した（**図－1**）．その結果，両者の間には良好な相関関係があり，初期変位速度から収束変位量が精度よく予測できることが分かった．これより**図－1** に示すように，初期変位速度 4.0mm/m を閾値として DⅡ-1 の終了時期を早期に検討開始できる．なお，当区間では，上半ベンチ長が 11.0m となるまで上半掘削を行い，上半ベンチ長が 5.0m となるまで下半掘削を行う上下半交互掘削により施工した．上半掘削の開始前に変位の初期値を測定し，上半が 5.0m 先進するまでに生じた変位を先進距離で除すことで初期変位速度を得た．計測開始から収束変位を得るのに 2～3 週間要する（ここでは，切羽先進距離 2D（約 30m）で収束と仮定）のに対し，初期変位速度は約 2 日で得られるため，当基準は支保パターン変更の検討を早期に開始するのに有効であった．



図－1　収束変位と初期変位速度の関係

３．ロックボルト削孔検層による切羽面外の地山評価

（1）ロックボルト削孔検層の概要

当切羽では，削孔にコンピュータジャンボ（古河ロックドリル製）を用いた．コンピュータジャンボを用いる最大の利点は，削孔角度と削孔長を制御して孔尻を揃え，発破効率を向上させることにある．それに加え，削孔位置の情報が測定記録されることから，削孔時に計測される油圧データを用い，切羽近傍の削孔エネルギーの分布が得られる．削孔エネルギーは，従来技術である削孔検層における破壊エネルギー係数 E_V（J/cm^3）

キーワード　蛇紋岩，初期変位速度，ロックボルト，削孔検層
連絡先　〒028-2631 岩手県宮古市区界第 2 地割 466-2 新区界トンネル工事事務所　TEL 0193-77-3697

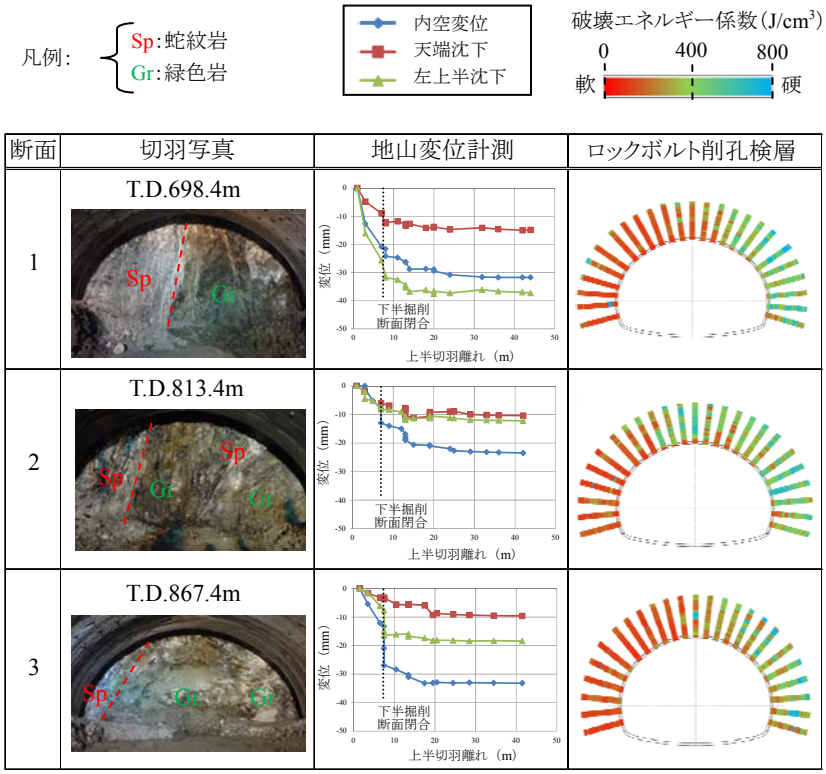
と同様に，次式により求められる．なお，当区間のロックボルト長は 6m であるが，得られた削孔エネルギーは削孔深度 0～4m のものである．

$$E_V = \frac{E_s \times N_s}{V_d \times A_r} \quad \cdots (1)$$

ここで，E_S：打撃エネルギー（J），N_S：打撃数（1/s）
V_d：削孔速度（cm/s），A_r：削孔断面積（cm^2）

(2) ロックボルト削孔検層の結果と切羽面外の地山評価

代表断面での切羽写真，変位計測およびロックボルト削孔検層の結果を図－2 に示す．切羽写真を比較すると，トンネル距離程が進むにつれて（断面 1→2→3），蛇紋岩帯が切羽左側へ移動し，その面積が減少傾向にあることが分かる．また，変位計測結果によると，断面 2 および 3 では，断面 1 以上の変位は生じていない．一方，ロックボルト削孔検層の結果に着目すると，断面 2 および 3 においても，左側壁の背面には，少なくとも 4m 以上，破壊エネルギー係数が 200J/cm^3 以下の弱層が広がっており，これは蛇紋岩と推定される．なお，天端から右側壁にかけての破壊エネルギー係数が 400J/cm^3 以上の部位は，硬質な緑色岩である．このように，蛇紋岩と緑色岩との間で硬軟に明瞭なコントラストがあったことから，蛇紋岩の分布を精度よく定量的に把握できた．切羽面内の蛇紋岩の面積が減少しても，脚部に一定の厚みを持って存在すれば，地山が不安定化し，支保に大きな応力が発生することが，別途実施した数値解析により示された．つまり，施工の安全性および支保の健全性の観点から，切羽観察と変位計測の結果のみで DⅡ-1 の終了時期を定めるのは危険側となり，断面 2 や 3 においても DⅡ-1 を継続することは妥当と判断された．ロックボルト削孔検層は，施工に付随して自動でリアルタイムにデータ取得され，DⅡ-1 の終了時期を安全かつ合理的に判断するのに有効であった．



図－2 代表断面における切羽写真，変位計測およびロックボルト削孔検層の結果

4． まとめ

早期閉合を伴う重い支保構造の終了時期を適切に定めるため，切羽観察と変位計測に加え，ロックボルト削孔検層を活用した．本報で報告した初期変位速度に基づく収束変位の予測は，DⅡ-1 終了の検討を迅速に開始する上で有効であった．また，ロックボルト削孔検層は，切羽面外も含めた地山評価によって DⅡ-1 の終了時期を安全かつ合理的に定める上で有効であった．これらの情報化施工により蛇紋岩帯を抜けたことを確認後，約 260m 適用した DⅡ-1 を終了した．NATM によるトンネル工事では，切羽観察により地山情報の大部分が取得され，支保パターンの選定に活用される．一方，側壁の崩落や脚部の沈下など，切羽面外の地山状況の把握が重要となる状況も多くあり，当事例が今後のトンネル工事の一助となれば幸いである．

参考文献

1） 池田ら：軟質な蛇紋岩を含む混在岩地山における調査・設計・計測事例，第 72 回土木学会年次学術講演会 講演概要集，2017.