

トンネル工事岩判定について

矢羽田 寛治

近畿地方整備局 近畿技術事務所 建設監督官 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

近畿地方整備局では、平成18年9月に整備されたトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）により、トンネル工事の岩判定を行っている。管内トンネル工事の施工実態としては、マニュアルに則りトンネル切羽評価（岩判定）を実施し、現場において適正な支保パターンを確認しているところであるが、当初設計と実施工との間に乖離があり、結果、重い支保パターンとなり、工事費が増加する傾向にある。このため、近畿技術事務所は、画一的なトンネル岩判定の実施により切羽評価のバラつきを無くすこと、支保パターン判定基準の明確化、「現行マニュアル」の改訂にむけ、管内施工中のトンネルを対象に調査・検討を実施しており、現在途中段階ではあるがこれを報告する。

キーワード トンネル、切羽評価、岩判定、地山等級判定マニュアル

1. はじめに

山岳トンネルの設計は、地山の工学的諸性質を類型化して地山分類（＝地山等級区分）を行い、地山分類に応じて標準的な支保構造（＝支保パターン）を設定する。トンネル工事の施工にあたっては、切羽の観察・計測により地山等級を判定し、「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工ができるよう、必要に応じて支保パターンの変更を実施し、標準支保パターンによる支保工のみで対処できない場合は、適切な補助工法を選定しなければならない。

トンネル地山等級の判定は、切羽における岩の硬さや亀裂等を観察し、その結果を点数化して地山を評価するものであるが、その評価基準・様式等については統一されたものがなく、各現場において担当者がそれぞれ工夫してきたところである。このことから、近畿地方整備局ではトンネル地山等級の判定を客観的かつ統一的に運用するため、平成18年にトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）をとりまとめ、現在これを運用している。

近畿技術事務所は、画一的なトンネル岩判定の実施、支保パターン判定基準の明確化等、試行後9年が経過する「現行マニュアル」の改訂にむけ、近畿地方整備局管内で施工中のトンネル工事を対象に、次のとおりくみを実施した。本稿では、これらについて報告する。

- ① トンネル岩判定（施工中のトンネルを対象として岩判定の助言・指導を実施）
- ② 切羽観察データの分析（マニュアル改訂にむけた岩判定時の切羽観察データ分析）
- ③ 岩判定マニュアルアンケート調査（マニュアル改訂にむけた課題抽出を目的としたアンケート）

2. 切羽観察データの分析

(1) 分析対象トンネル

分析は、2012年度～2015年2月までの期間に近畿地方整備局管内で施工が行われた49トンネルとし、対象断面は、岩判定を実施した計724断面のうち、トンネル坑口部や土被りが薄い支保パターンDⅢaを除く612断面とした。対象トンネル断面からは以下の傾向が確認された。

- 岩石グループは中硬質岩・軟質岩（塊状）、中硬質岩（層状）で79%を占め、硬質岩が少ない。（図-1）

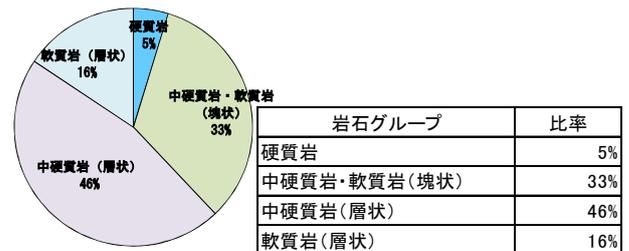


図-1 岩石グループの比率

- 施工支保パターンはCⅡ、DⅠで88%を占め、B、CⅠ、DⅡの割合が非常に少ない。（図-2）

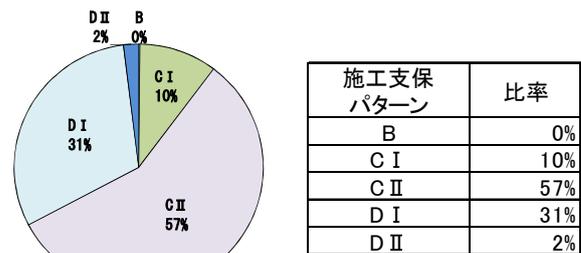
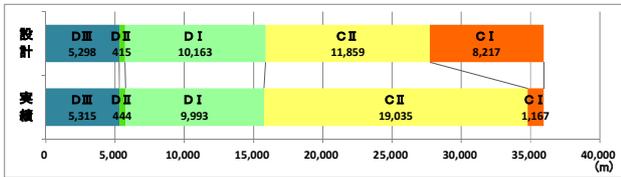


図-2 施工支保パターンの比率

●全体的な傾向として、当初設計で支保パターンC I、C IIと判断された区間について、実施工との間に大きな乖離がみられた。(表-1)

表-1 設計と実績の支保パターンの比較



(2)分析結果

①支保低減の可能性

当初設計と実施工との間に乖離があった断面を対象として、岩判定評価・計測データより支保パターン低減の可能性がなかったか考察を行った。(図-3~6)

※ 図-3の「箱髭グラフ」とは、各岩質における重み付き評価点の分布グラフのことであり、図-4の「分布表」とは、各岩質における重み付き評価点毎の割合を示す表のことであり、ともに既往の直轄道路トンネルの施工時に得られたデータを基にまとめられ、現行マニュアルに掲載される切羽評価点による支保パターンの判定表である。

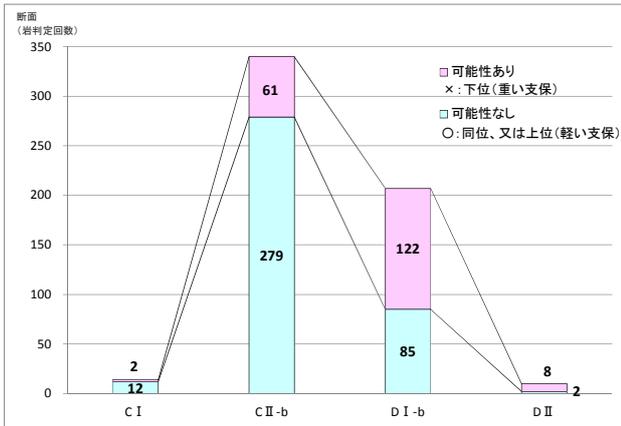


図-3 「箱髭グラフ」から見た支保低減の可能性

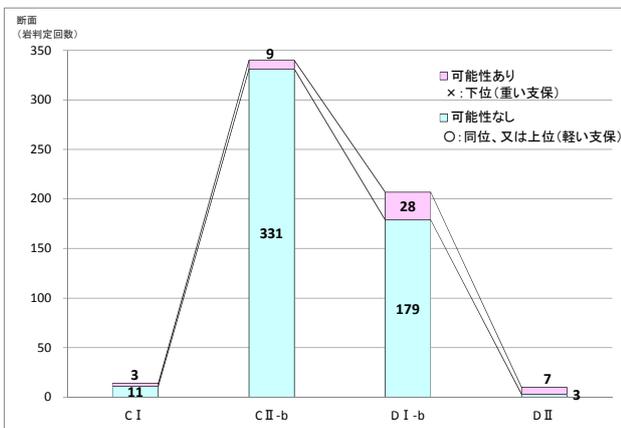


図-4 「分布表」から見た支保低減の可能性

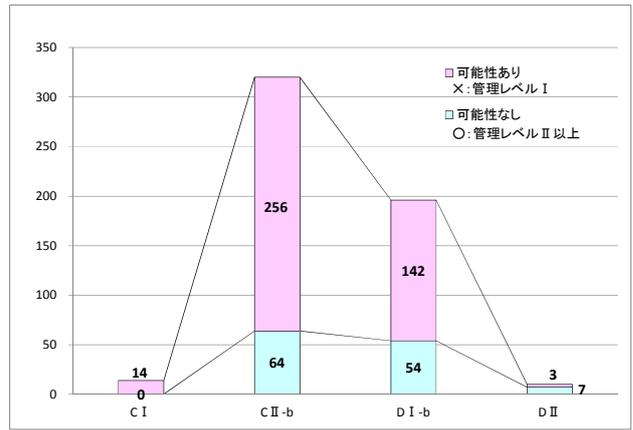


図-5 「計測管理レベル」から見た支保低減の可能性

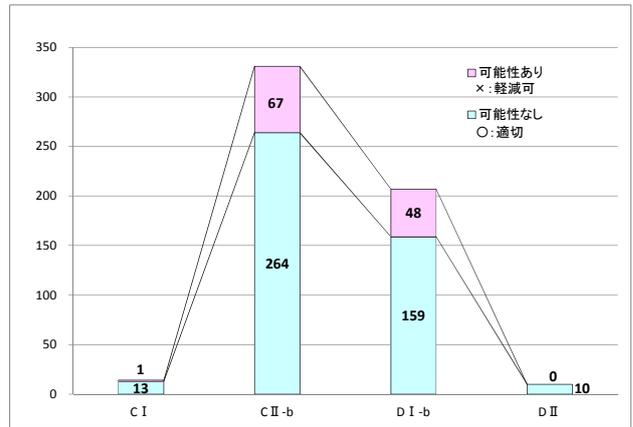


図-6 支保低減の可能性 (総合評価)

分析の結果は、以下のとおりである。

- ・図-5にあるように、計測管理レベルはI以下であることが多く、計測管理からは支保低減の余地がうかがえる。(計測管理レベルからはC II-b で約80%，D I-b で約72%の支保低減の可能性がある。)
- ※ 計測管理レベル：限界ひずみを管理基準値とし、管理レベルを3段階に分け、管理基準値の50%をレベルI，75%をレベルII，100%をレベルIIIとして設定。レベルI以下は十分弾性変形以内であり、安全は確保されるものと思われることから、マニュアルでは支保低減を検討することとされている。
- ・C II-b，D I-bにおいては、計測レベルに加えて、図-3にある箱髭グラフからも支保低減の可能性があるが、切羽評価では重い支保を選定する傾向にある。
- ・図-6にあるように、これら全てを踏まえた総合評価からは、C II-b で約20%，D I-b で約23%の支保低減の可能性がうかがえる。

②施工時判定資料に対する評価と考察

現行マニュアルと分析対象の施工実績(支保低減の可能性あるもの含む)について、箱髭グラフと分布表をもとにそれぞれ比較・検討を行い、岩判定評価点と実際に施工した支保パターンの関係について考察した。(図-7)

■中硬質岩・軟質岩(塊状)

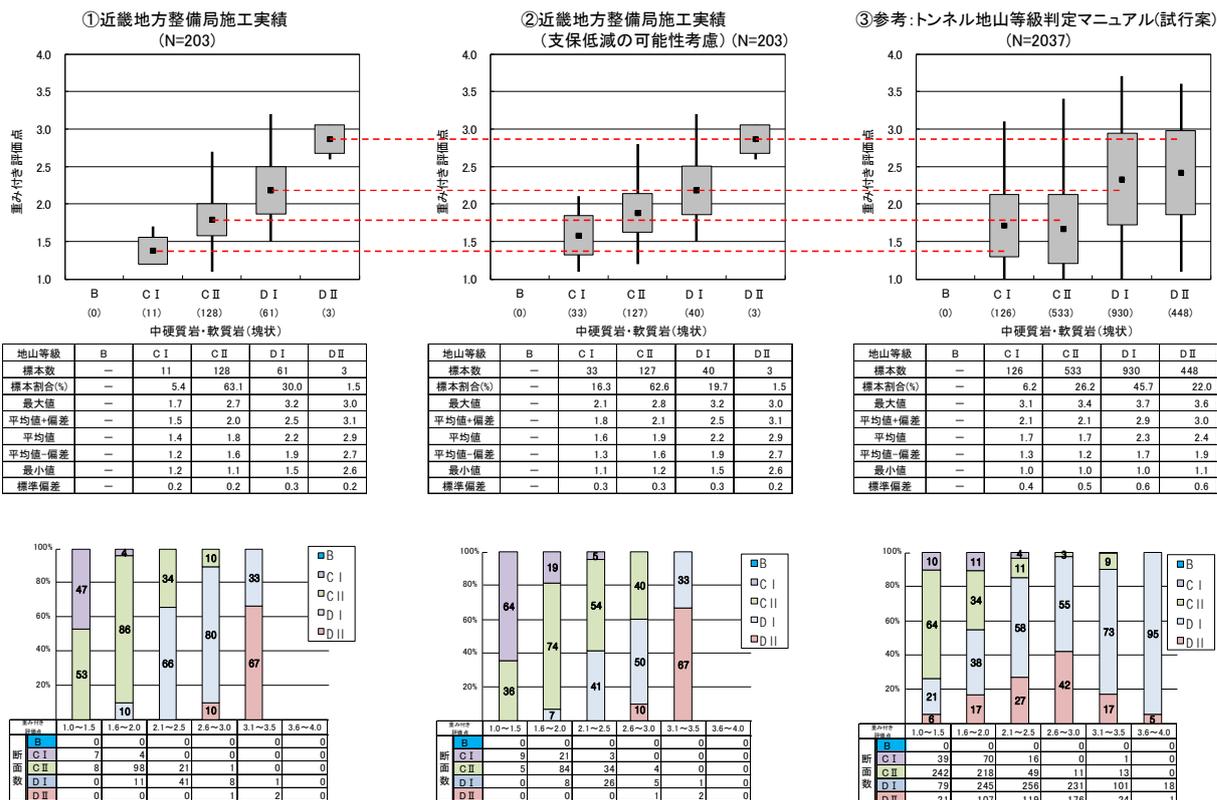


図-7 岩判定評価点と施工した支保パターンとの関係 (中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の検討資料を代表として示す)

- 支保パターンC I～D Iは、総じて現行マニュアルにおける箱髭グラフの各支保パターンの分布域よりも低評価点域に実績が分布する傾向にある (重い支保の採用割合が高い)。
- D IIについては、総じてマニュアルにおける箱髭グラフの各支保パターンの分布域よりも高評価点域に実績が分布する傾向にある (軽い支保の採用割合が高い)。
- これらの傾向については、近畿管内の地域 (地山) 特性、評価手法、いずれに起因するものなのか検証する必要がある。

③弾性波速度(設計時判定資料)に対する評価と考察

近畿管内での施工実績を対象として、地山分類表(設計時判定資料)に基づいた各支保パターンでの弾性波速度の分布と、実際に施工した支保パターンおよびその区間の弾性波速度値(最大値・最小値)との関係について、箱髭グラフと分布表をもとに比較・検討を行い、その関係性について考察した。(図-8)

その結果、以下のとおりである。

- 実際に施工した支保パターンは、弾性波速度の最大値、最小値で傾向が異なる岩石グループも見られるが、総じて地山分類表(設計時)の弾性波速度の分布に近い傾向を示す。
- 分布表に基づくと、弾性波速度が高い区間ほど、軽

い支保を選択している割合が高く、箱髭グラフと合わせて確認することで有効な判定指標となる可能性がある。

■中硬質岩・軟質岩(塊状)

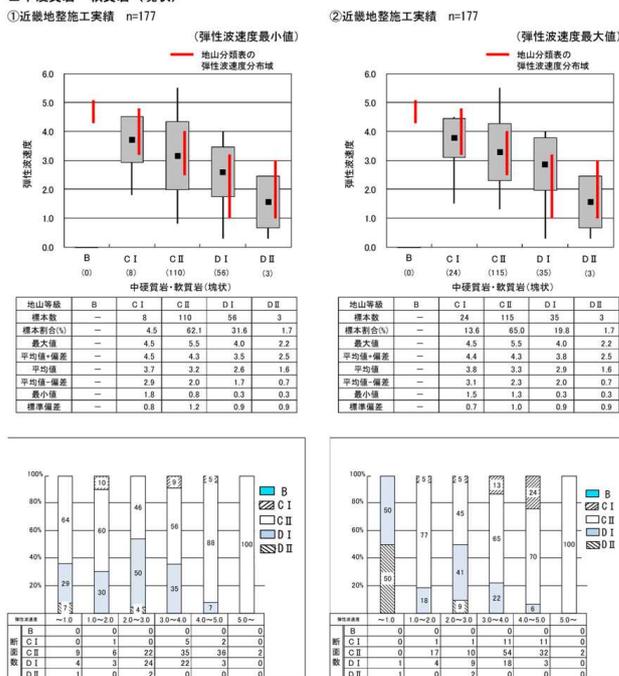


図-8 弾性波速度分布と支保パターンとの関係 (中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の検討資料を代表として示す)

3. 岩判定マニュアルアンケート調査

(1) アンケート対象

現行マニュアルの課題抽出を目的として行ったアンケート調査は、近畿地方整備局管内施工中のトンネル岩判定に関係する出張所長、建設監督官等を対象とし、計36名から回答を得た。

(2) アンケート結果

アンケート回答結果は、以下のとおりである。

経験不足を補えるマニュアル改訂の必要性

- トンネル岩判定経験数は、10回以内が56%となっている。
- 岩判定に先立ち、事前に施工業者の判定結果の説明を受けて岩判定を実施している人が、全体の83%となっている。
- 切羽判定表（岩判定シート）の評価項目で、いずれかの項目で点数付けが難しいと思われる人が、全体の97%となっている。
- 水による岩石の劣化については、経験豊かな施工業者の技術者判断を参考にしている人が63%となっている。

分かりやすい表現に改訂する必要性

- 切羽の状態で、理解に悩む人が33%。
- 素堀面の状態で、理解に悩む人が22%。
- 風化変質で、理解に悩む人が25%。
- 割れ目の状態で、理解に悩む人が31%。
- 切羽の状態では、「鏡面から岩塊が抜け落ちる」と「鏡面の押し出しを生じる」の判断を迷う場合が67%となっている。

- 素堀面の状態では、「時間が経つと緩み肌落ちする（後普請）」と「自立困難掘削後早期に支保する（先普請）」の判断を迷う場合が72%となっている。
- 風化変質では、「岩目に沿って変色、強度やや低下」と「全体的に変色、強度相当に低下」の判断に迷う場合が78%となっている。
- 割れ目の状態では「部分的に開口」と「開口」の判断に迷う場合が91%となっている。
- 割れ目の形態では「柱状」と「層状、片状、板状」の判断に迷う場合が56%となっている。

今後検討が必要な意見

- 定性的な表現でなく、出来れば定量的な判断基準が望ましい。
- 圧縮強度測定は岩検ハンマーで確認するが、切羽面に近づけない。掘削ズリで判断するが何処の部位のものかよく分からない。
- 補助工法の必要性判断は、施工業者と意見が合わない場合がある。
- 補助工法の必要性と選定については、構造の成立性と作業時の安全性の両立を勘案することになるが、両者を混同して議論されることが多く、適用の選別に苦慮している。

4. マニュアル改訂に向けての課題・検討方針

近畿技術事務所が実施したトンネル岩判定、切羽観察データの分析結果、および岩判定マニュアルアンケート調査から得られた、今後のマニュアル改訂に向けた課題・検討方針を整理した。（表-2）

表-2 マニュアル改訂に向けての課題、検討方針

課題項目	現状	課題	検討方針
岩判定の開催時期・頻度について	●当初設計における支保パターンの変化点で実施	●当初設計では支保パターンの変化点を弾性波探査により設定しているが、施工時の支保パターンの変化点は異なることが多い。 ●当初設計時の支保パターン変化点を岩判定実施の目安とすることは適切と言いきれない傾向にある。	●下記に示すような改善策を軸に、適正な運用を検討する。 案①：切羽評価を毎日実施し、箱髭グラフ[判定I]において切羽評価点が重い支保パターンの領域に入り、分布表[判定II]から重い支保パターンの採用割合が高くなった時点で実施する。 案②：計測レベルIが40m以上続く場合に実施する。 案③：50mに1箇所等の一定距離を定めて実施する。
切羽判定表（岩判定シート）の選択について	●当初設計時に想定された岩石グループに対応した切羽判定表を選択	●施工時に出現する岩石グループと異なる切羽観察表を用いた場合、誤った判定につながる。	●マニュアルに「切羽判定にあたっては、切羽に出現する岩石を判定のうえ、同岩石が属する岩石グループの切羽観察表を選択する」旨を明記。 ●代表的な岩石グループの切羽写真と岩石判定上の指標を付与。
切羽評価時における切羽状態に応じた支保パターン選定と記録	●現行マニュアルに「切羽状況に支保パターン選定の目安」が示されているが、岩判定における総合評価コメントの記述には目安の観点からの記述が無いものが多い。	●支保パターン選定の目安に基づく判定がおこなわれていないか、表記が不十分な状況にある。	●支保パターン選定の目安が現在のトンネル技術に即したものが検証、近畿の地山に即したものを検証し、必要に応じて改定を行う。 ●同目安をチェックポイントに現場における支保パターン選定を実施するよう周知。 ●同目安をチェックポイントに切羽評価表の記述がなされるよう周知。
岩判定時における設計情報の活用	●施工時の岩判定においては、判定断面前後の切羽情報、前方探査により今後施工を行う前方地山状況を評価している。	●判定断面前後の切羽情報、前方探査による前方予測については把握できる範囲（前方距離）に限界がある。	●既施工部の切羽状況と事前調査の弾性波探査を対比することで、前方の弾性探査値あるいは分布より前方地山の状況を把握できる可能性があるため、弾性波探査の岩判定時における活用を検討する。

施工・安全管理対策部門:No.01

課題項目	現状	課題	検討方針
計測管理に基づく支保パターンの軽減検証	●現行マニュアルでは、計測管理レベルがI以下の場合、支保軽減を検討することとしているが、レベルI以下が続く場合でも軽い支保の採用を検討するケースは少ない。	●支保の軽減が可能なケースが潜在していた可能性がある。 ●計測管理レベルからはCⅡ-bの80%、DⅠ-bの72%で支保軽減の可能性。	●計測管理レベルI（：支保の軽減を検討）以下の計測値が続く場合で、安全性を損なわないと判断される場合には、上位（軽い）支保を試験採用し妥当性を検証する旨を明記する。
近畿地方整備局の施工記録を基にした岩判定参考指標の精度向上について	●近畿地方整備局管内における「切羽評価点」と「支保パターン毎の採用断面数」を基に箱髭グラフ、分布表を作成。箱髭グラフは、支保パターンの重複が比較的小さく採用支保パターンを判定しやすいものとなったが、一方で、一部に重い支保パターンが採用される傾向となった。	●切羽評価・計測管理結果の総合評価からは、CⅡ-bの20%、DⅠ-bの23%で支保軽減の可能性がうかがえた。 ●採用された支保パターンが妥当性に欠ける場合、作成した箱髭グラフ、分布表の判定資料としての信頼性にかける。	●切羽評価・計測から総合的に評価した結果、支保軽減が適切と評価したデータについてワンランク上位（軽い）支保パターンに繰り上げし、試行分析を実施。 ●下記に示すような改善策を軸に、判定指標としての信頼性向上を検討する。 案①：計測レベルI以下（計測値単独で見た場合、過支保と判断される断面）を削除した集計 案②：支保軽減が可能と判断される断面の選定精度向上と同断面を削除した集計
岩判定マニュアルアンケート結果(1)	●トンネル岩判定職員の経験が不足している。		●経験不足を補えるマニュアル改訂が必要。
岩判定マニュアルアンケート結果(2)	●マニュアル内の内容・用語が理解しづらい。		●わかりやすい表現に改訂が必要。
岩判定マニュアルアンケート結果(3)	●その他意見 ・定性的な表現でなく、出来れば定量的な判断基準が望ましい。 ・圧縮強度測定は岩検ハンマーで確認するが切羽面に近づけない。掘削ズリで判断するが何処の部位がよく分からない。 ・補助工法の必要性判断は、施工業者と意見が合わない場合がある。 ・補助工法の必要性と選定については、構造の成立性と作業時の安全性の両方を勘案することになるが、両者を混同して議論されることが多く適用の選別に苦慮している。		●今後検討が必要。

5. まとめ

トンネル工事において「安全性」及び「経済性」を確保した合理的な施工をするためには、地山状態に応じた適切な支保構造の選定が重要であり、それを実現するための地山等級判定の目安は重要である。

近畿技術事務所が実施したトンネル岩判定、切羽観察データの分析結果、および岩判定マニュアルアンケート調査から、今後のマニュアル改訂に向けた概ねの課題等は見えてきたところではあるが、経験の不足を補い、分かりやすく使いやすい、安全性と経済性との整合のとれたマニュアルとするためには、検討を深める必要がある。

また、今回、近畿地方整備局管内で施工されたトンネル工事を対象として収集した岩種別評価点デー

タをもとに近畿独自の重み付き評価点の目安の検討を行ったが、今回の対象において硬質岩のデータは28件と少ない状況であり、また支保パターンではBが無く、CⅠ、DⅡが非常に少ない状況であり、近畿のデータとしては偏ったものとなっていることも事実である。データ数の少ない岩種や、支保パターンについては、今後どのように扱っていくのかも含めて、さらに検討を重ね、とりまとめしていく考えである。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）平成18年9月