

トンネル地山等級判定マニュアル の改訂について

矢羽田 寛治¹・福本 雅宏²

¹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)

²近畿地方整備局 近畿技術事務所 事業対策官 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

近畿地方整備局が発注、監督するトンネル工事では、これまで、2006年（平成18年9月）に整備したトンネル地山等級判定マニュアル（試行案）により、岩判定（地山等級判定）を試行的に実施してきたところであるが、切羽評価点から目安となる支保パターンが複数選定されるケースが多いこともあり、支保パターンの決定にあたって判定員ごとでばらつきが生じやすい、マニュアル全体に定性的な表現が多く経験豊富なトンネル技術者でなければ活用しづらいといった、現場から指摘や、改善の要望が多く寄せられた。

今般、近畿地方整備局管内の過去のトンネル工事から切羽評価点を整理、分析し、目安となる代表的支保パターンを選定しやすいように判定方法を改良した。また、正確な切羽評価、判定に寄与するよう具体的な判定事例や解説等を加えるとともに、これまで明確な定めのない判定のタイミングについても目安を示し、画一的なトンネル工事岩判定の実施にむけマニュアル改訂を行ったので、これを報告する。

キーワード トンネル地山等級判定マニュアル、切羽評価、岩判定、支保パターン

1. はじめに

近畿地方整備局は、現在、直轄国道23路線、約1,900kmにおいて道路の維持管理を行っており、その中には196本のトンネルがある。近畿管内のトンネルは、大阪万博前の高度経済成長期に数多く建設されているが、1970年代以降、現在に至るまで、各地でトンネルは建設され、供用され続けている。（図-1）近年では和歌山県内で数多く建設され供用されている。（図-2）

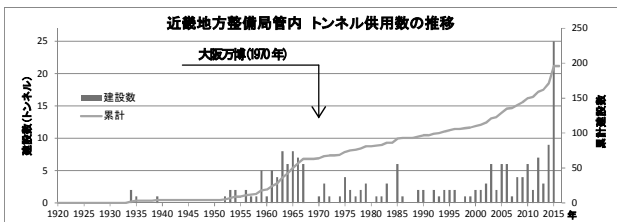
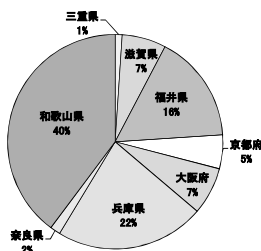


図-1 近畿地方整備局管内 トンネル供用数推移



府県	延長 (km)	トンネル数
三重県	0.7	2
滋賀県	6.3	13
福井県	20.4	32
京都府	2.8	10
大阪府	6.3	14
兵庫県	27.5	44
奈良県	0.8	3
和歌山県	40.0	78
合計	104.8	196

図-2 近畿地方整備局管内 府県別トンネル供用数

現在も近畿地方整備局管内の各地で建設されている山岳トンネルであるが、その設計にあたっては、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）を設定している。また、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ている。

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、2006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、これを試行的に運用してきたところである。

今般、近畿技術事務所は、更なる画一的なトンネル地山等級判定の実施、支保パターン判定基準の明確化を目的に、試行後10年が経過するトンネル地山等級判定マニュアルの改訂作業に取り組み、改訂版のとりまとめに至った。

2. マニュアル改訂の背景

2006年9月以降、近畿地方整備局においては地山等級判定マニュアル(試行案)に基づきトンネル工事の地山等級判定を試行的に実施してきたが、トンネル工事の現場から、以下のような指摘、改善の要望が出されていた。

①. 切羽評価点をもとに支保パターンを目安を確認するが、目安となる支保が複数選定されるケースが多いことから、支保の決定にあたって判定員による判定のばらつきが生じやすい。

『切羽評価点から支保パターンを選定できるマニュアル』を望む。

②. マニュアル全体に定性的な表現が多く、経験豊富なトンネル技術者でなければ活用しづらい部分がある。

『トンネル専門家でない技術者でも活用可能な分かりやすいマニュアル』を望む。

このことから、改訂にあたっては、理解しやすい、使いやすいマニュアルにすることを念頭に改訂作業を行った。

3. 切羽観察データの分析

(1) 分析対象トンネル

マニュアル改訂にむけた切羽観察データの分析は、2006年度～2015年度の期間に近畿地方整備局管内で施工が行われた80トンネルを対象に、岩判定を実施した計1,027断面のうち、切羽評価点によらず支保を決定する坑口付近や薄土被り区間のDIIIa等を除いた980断面で分析を行った。

(2) 近畿地方整備局のトンネルの傾向

分析対象のトンネル断面から以下の傾向が確認された。

●岩石グループは中硬質岩(塊状)、中硬質岩(層状)で71%を占め、硬質岩、軟質岩が少ない。(図-3)

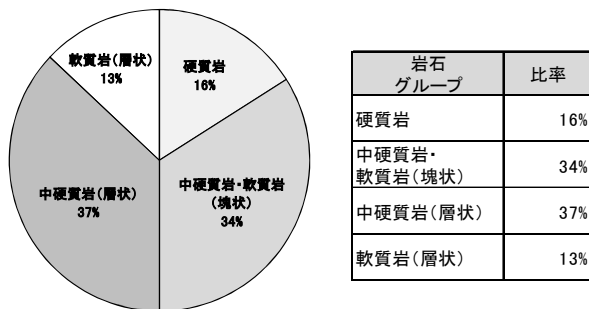


図-3 岩石グループの比率

●施工支保パターンはC II, D Iで89%を占めC I, D IIの割合が非常に少なく、Bは皆無に近い。(図-4)

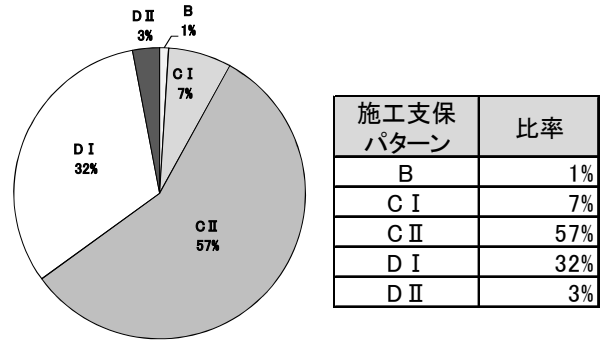
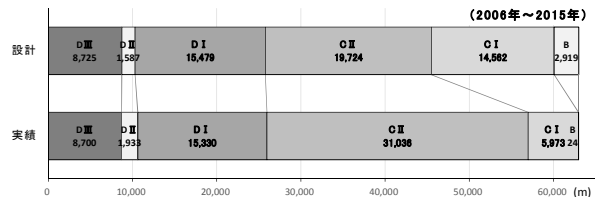


図-4 施工支保パターンの比率

●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、実施工の支保パターンとの間に大きな乖離がみられた。(表-1)

この乖離は、鋼製支保工を必要としない支保パターンC Iで当初設計され工事発注されていたものが、実施工において鋼製支保工を必要とする支保パターンC IIに変更されており、支保パターンC I, C II区間では工事費の増加につながる重い支保へ変更される傾向を示している。

表-1 設計と実績の支保パターンの比較

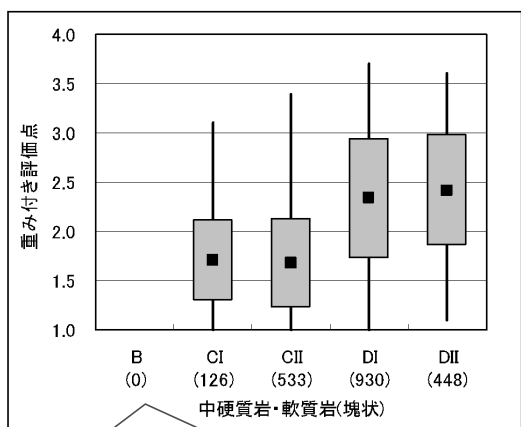


4. 【改訂版】切羽評価点の判定方法

(1) 近畿の実績に基づく箱ひげグラフの改訂(近畿版箱ひげグラフの作成)

地山等級判定について、従前マニュアルでは全国版の実態調査の結果をもとに、2006年に土木研究所が作成した箱ひげグラフが用いられており、図-5に示すように切羽評価点によっては複数の地山等級が目安として選定されるものであった。このことが支保パターンの決定にあたって判定員ごとでばらつきが生じる原因となっていた。改訂マニュアルでは近畿地方整備局管内で掘削が行われたトンネル工事の地山等級判定の資料を収集し、近畿の施工実績に基づく、近畿版箱ひげグラフに改訂した。この結果、目安となる支保パターンの重複がまったく無くなったわけではないものの地山等級の分布グラフの重複は少なく、分離性の良いグラフとなった。(図-5)

なお、切羽観察および評価項目は、従前マニュアルと同様に、「道路トンネル観察・計測指針(社)日本道路協会」に示される9項目4段階評価法を用いている。



(現行マニュアルの問題) 分離性が良くないため、地山等級の選定しづらいものとなっている

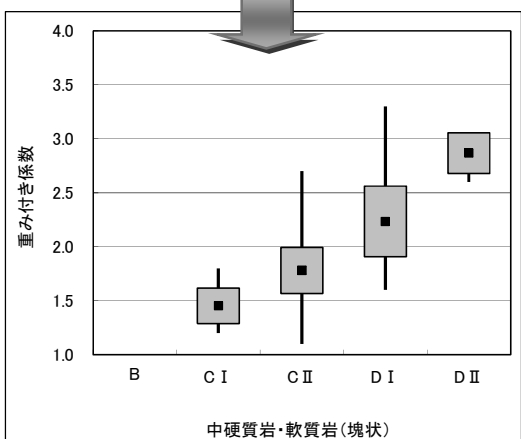


図-5 箱ひげグラフの改訂
(中硬質岩, 軟質岩 (塊状) の場合)

※ 図-5の「箱髭グラフ」とは、各岩質における重み付き評価点による地山等級の分布グラフのことであり、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、縦軸に評価点、横軸に地山等級、長方形の箱部分がデータの±1σ (σ:標準偏差)の領域を示しており、評価点による判定の目安を示すものである。

(2) 地山等級の目安が重複した場合の判定

近畿の実態に即した箱ひげグラフにおいても、評価点によっては複数の地山等級が選定されることから、統計解析で用いられる数量化 II 類により、地山等級の判定に大きく影響している切羽評価項目を抽出し、地山等級の目安を絞り込むことができるフローチャートを作成した。

この結果を図-6に示す。図中の評価点1から5は表-2に示す各要因の 카테고리を示している。このカテゴリスコアがプラス側に大きいものほどDI評価に影響し、マイナス側に大きいものほどCII評価に影響していることを示している。着目する事項としてはカテゴリが小さい(1側)ほどCIIへ、大きい(5側)ほどDIに影響している要因であることに注目した。

中硬質岩・軟質岩(塊状)のCIIとDIの評価に関し

ては、「圧縮強度」と「割れ目の状態」が地山等級判定に大きく影響している要因となった。なお、他にもカテゴリスコアの値が大きく地山等級判定に影響の大きい要因はあるが、第1要因とよく似ている要因や、明確に区分することができない要因を除いて、影響の大きい2要因を選定した。

表-2 現行マニュアルの切羽評価表
(中硬質岩・軟質岩(塊状)の事例)

要因No.	要因	カテゴリ
(A)	切羽の状態	1. 安定 2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる 3. 鏡面の押し出しを生じる 4. 鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出 5. その他
(B)	素掘面の状態	1. 自立(普請不要) 2. 時間がたつと緩み肌落ち 3. 自立困難掘削後早期に支保する(普請) 4. 掘削に先行して山を突 5. その他
(C)	圧縮強度	1. $f_c \geq 100 \text{MPa}$ 2. $100 \text{MPa} > f_c \geq 20 \text{MPa}$ 3. $20 \text{MPa} > f_c \geq 5 \text{MPa}$ 4. $5 \text{MPa} > f_c$ 5. その他
(D)	風化変質	1. なし・健全 2. 岩面に沿って変色、強度や低下 3. 全体に変色、強度相当 4. 土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結 5. その他
(E)	割れ目の性状	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$ 2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$ 3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$ 4. $5\text{cm} > d$ 5. その他
(F)	割れ目の状態	1. 密着 2. 部分的に開口 3. 開口 4. 粘土を挟む、当初より未固結 5. その他
(G)	割れ目の形態	1. ランダム方形 2. 柱状 3. 層状、片状、板状 4. 土砂状、細片状、当初より未固結 5. その他
(H)	湧水	1. なし・湧水程度 2. 湧水程度 3. 集中湧水 4. 全面湧水 5. その他
(I)	水による劣化	1. なし 2. 緩みを生ず 3. 軟弱化 4. 崩壊、流出 5. その他

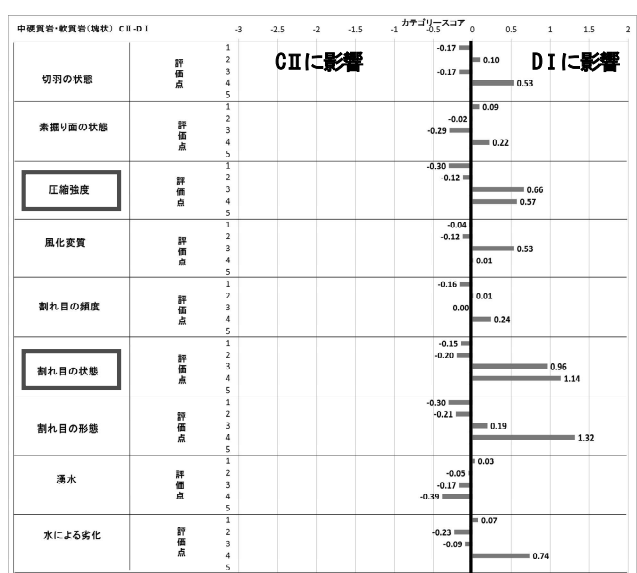


図-6 数量化 II 類によるカテゴリスコア
(中硬質岩・軟質岩CIIとDIの事例)

この数量化 II 類による分析結果を用いて、各岩石グループ毎に地山等級の目安を絞り込むフローチャートを作成した。

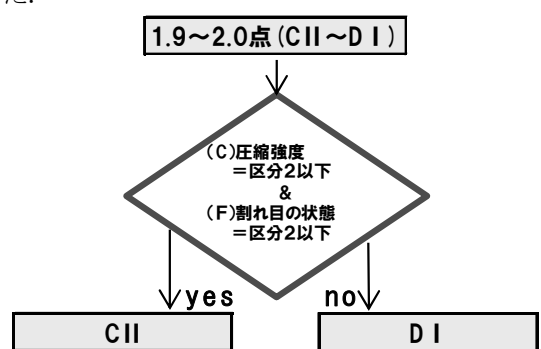


図-7 切羽評価点により重複して地山等級が選ばれる場合の地山等級選定フロー
(中硬質岩・軟質岩(塊状)CIIとDIの事例)

(3) 近畿版箱ひげグラフの調整

(1) で作成した箱ひげグラフについて、さらに、以下の分析により、箱ひげグラフの調整を行った。

(2) の数量化II類により得られた各要因のカテゴリースコアを用いて、収集した切羽評価のサンプルスコアを求めた。サンプルスコアとは表-3に示すように各切羽評価結果に示されるカテゴリーに対応するカテゴリースコアの合計点を示している。この合計点を地山等級別に値の大小順に並べ図-8に示す。

表-3 サンプルスコアの算定事例

切羽事例	採用支保	要因	切羽の状態	素掘り面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による変化	計
切羽A	D I	切羽評価	3	3	3	2	2	2	3	1	1	0.18
		サンプルスコア	-0.17	-0.29	0.66	-0.12	0.01	-0.2	0.19	0.03	0.07	
切羽B	C II	切羽評価	1	1	1	1	1	1	2	1	1	-0.84
		サンプルスコア	-0.17	0.09	-0.3	-0.04	-0.16	-0.15	-0.21	0.03	0.07	

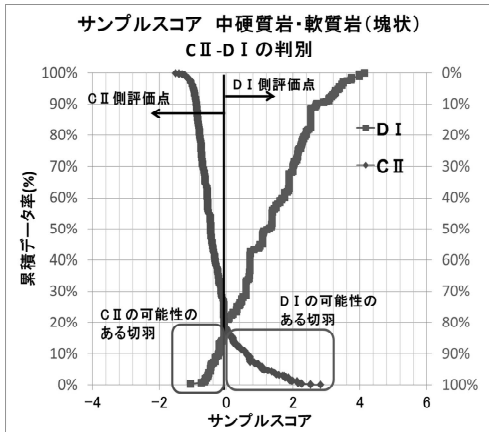
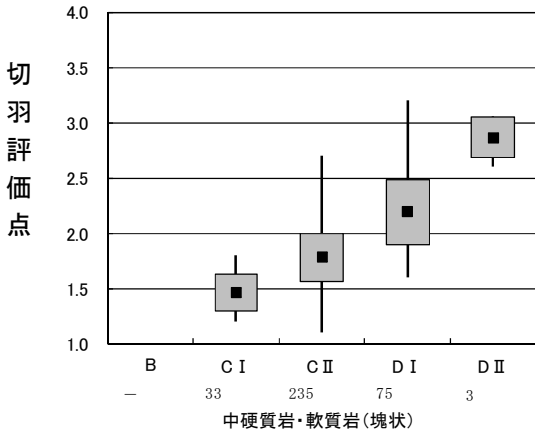


図-8 サンプルスコアの分布
(中硬質岩・軟質岩(塊状) C IIとD Iの事例)



地山等級	B	C I	C II	D I	D II
標本数	—	33	235	75	3
標本割合(%)	—	9.5	67.9	21.7	0.9
最大値	—	1.8	2.7	3.2	3.0
平均値+偏差	—	1.6	2.0	2.5	3.1
平均値	—	1.5	1.8	2.2	2.9
平均値-偏差	—	1.3	1.6	1.9	2.7
最少値	—	1.2	1.1	1.6	2.6
標準偏差	—	0.2	0.2	0.3	0.2

図-9 近畿の実績を考慮した切羽評価点と地山等級の関係

(中硬質岩・軟質岩(塊状)の場合)

図-8で示すD IとC IIのグラフの交点よりプラス側はD I、マイナス側はC IIの評価となるが、D I側の評価点にありながら実際の切羽評価はC IIであったものや、C II側にありながらD I評価であったものは、サンプルスコアから地山等級が変更できる可能性があるサンプルとなる。このようなサンプルのうち、図-6で求めた地山等級に大きく影響する要因、カテゴリーに該当するサンプルについては、地山等級をより妥当と考えられる地山等級に変更した上で、近畿の施工実績に基づく箱ひげグラフに反映し調整した。この結果は図-9に示すとおりであり、従前マニュアルよりも地山等級の分布グラフの重複は少なく、分離性の良いグラフとなり、使いやすいグラフを得ることができた。

(4) 工学的判断の明確化

今回作成した近畿版箱ひげグラフと、重複した場合に絞り込むフローチャートにより、地山等級の目安は非常に選定しやすいものとなった。

しかしこれらは、過去の事例に基づいた統計解析の結果であり、複雑な地質や特殊性を持つ地山の場合には、必ずしも適用できない場合も想定される。

このため、過去の切羽評価に記載のあるコメントや、山岳トンネル掘削時に用いられる管理基準や、前方探査結果等から得られる工学的判断指標を明確化し、表-4のとおり整理した。近畿版箱ひげグラフとフローチャートにより目安となる地山等級を選定することを基本として考えるが、特殊な地山状態や、前後の区間で地山に問題があるような場合には、このチェック項目、およびその他条件を考慮し確認することで、工学的な判断による地山等級の判定を可能とした。

表-4 工学的指標によるチェック項目

判定I~IIの支保パターン	チェック項目
Bパターン	<input type="checkbox"/> 岩塊の局所的な抜け落ち対策を図る必要があるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
C Iパターン	<input type="checkbox"/> 素掘りの天端から吹付けだけでは固定できないほどの肌落ちがみられるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
C IIパターン	<input type="checkbox"/> 切羽からの押し出し、あるいは切羽が自立せずに崩れることがあるか <input type="checkbox"/> 集中湧水以上の湧水があり、湧水によるゆるみ~軟弱化があるか <input type="checkbox"/> 押し出し、あるいは、切羽が自立せずに崩れることがあるか <input type="checkbox"/> 先行して山を受けるなどの掘削のための補助工法が必要か <input type="checkbox"/> 切羽、素掘り面は土砂状、粘土状、未固結か <input type="checkbox"/> 盤ぶくれの恐れがあるか(将来的なことも考慮) <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか
D Iパターン	<input type="checkbox"/> 切羽からの押し出しが顕著か <input type="checkbox"/> 変形余裕量を見込む必要があるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果や設計で前方に課題があるか <input type="checkbox"/> 計測結果に課題があるか <input type="checkbox"/> 施工後の支保に課題があるか <input type="checkbox"/> その他条件に問題があるか

5. 改訂版マニュアル(試行案)のとりまとめ

前述した【改訂版】切羽評価点の判定方法の検討結果を、改訂版マニュアル(試行案)に反映するとともに、『理解しやすい、使いやすいマニュアル』を踏まえ、次

の点に配慮して最終とりまとめを行った。

- ① 切羽評価点の判定方法の修正
- ② 切羽評価区分に関するQ&Aと地山等級判定事例の追加
- ③ 地山等級判定の基礎事項の解説
- ④ 地山等級判定のタイミングの設定

このうち、地山等級判定を行うタイミングについては、従前マニュアルでは定められていなかったが、過大な支保構造や、過小な支保構造を継続して設置し続けるという問題の是正や、地山に応じた適切な支保構造を設置するためには不可欠な項目であると考え、今回、新たに設定しマニュアルに掲載した。(表-5)

表-5 地山等級判定を行うタイミング

タイミング	実施地点
A. 設計変化点	設計上の支保パターン変更点
B. 切羽評価点	判定Ⅰ・Ⅱにより判定される地山等級と、実施中の支保パターンが合致しなくなった地点。
C. 延長	同じ支保パターンが50m以上続いた地点
D. その他	発注者、施工者のいずれかが岩判定を必要と判断した地点

6. 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る。

今般の改訂地山等級判定マニュアルは、2014年、2015年の2年間で、過去のトンネル工事のデータ収集、分析を行い、とりまとめたものであるが、地盤は元来不均質であり岩盤の中には断層や層理などの不連続面が内在しており、地下水の状態も場所により異なるものであることから同一のトンネル地山は存在しないことを念頭に置

かなければならない。従って、本マニュアルで導き出される判定結果は目安であり、あくまで試行的な位置づけであることを申し述べておく。

しかしながら、近畿における過去の地山判定結果等のデータを反映させ、とりまとめた【改訂版】「トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)」は、従来のマニュアルに比べ近畿の地山状態を反映した適切な支保構造を選定するための重要な目安となるものであると考えている。今般、改訂したマニュアルが、近畿管内のトンネル工事現場で有効に活用され、現場の地山に応じた適切な支保パターンの選定に寄与できれば幸いである。

近畿技術事務所は、今回、改訂したマニュアルの検証を行うとともに、さらに使いやすく、現場を支援できるものを目指し、マニュアルを補完する検討を引き続き重ねていく考えである。

また、近畿技術事務所では、トンネル技術支援として、① 第三者を含めた体制でのトンネル岩判定の実施、② トンネル工事中の問題発生時・不測の事態に学識経験者等から指導助言を受けるトンネルアドバイザー制度の確立、③ トンネル工事岩判定員の正しい技術の習得等を目的とした研修会の実施等を行っており、近畿地方整備局の技術を下支えする取り組みに出精しているところであり、現場において何か問題等があれば、気軽に近畿技術事務所に相談いただきたい。

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
- 2) 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ(トン研)：
切羽観察表を用いた地山等級判定に関する試験施工について 平成18年1月
- 3) (社)日本道路協会：
道路トンネル観察・計測指針 平成21年2月