

近畿地方整備局におけるトンネル工事での岩判定の運用

山田勝輝

1. はじめに

近畿地方整備局が施工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、判定員ごとで評価のばらつきが生じやすい等、現場から改善の要望が寄せられていた。

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、均一性の高い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報告する。

2. マニュアル改訂の背景

2.1 マニュアル改訂の経緯

山岳トンネル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（平成18年9月）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。

今般、更なる均一性の高い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んだ。

2.2 マニュアルに望まれる機能

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の目安を確認するが、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

3.1 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年度に管内で施工された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。

3.2 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-1)。

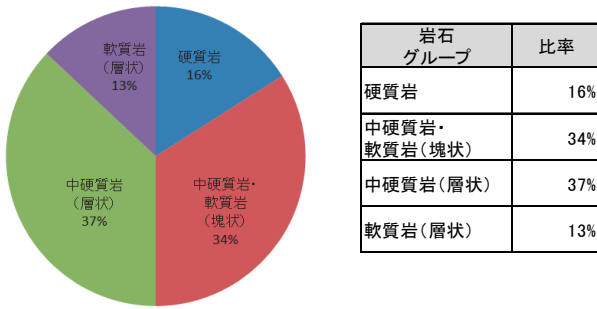


図-1 岩石グループの比率

●施工支保パターンはC II、D Iで89%を占めC I、D IIの割合が少なく、Bはごく少数(図-2)。

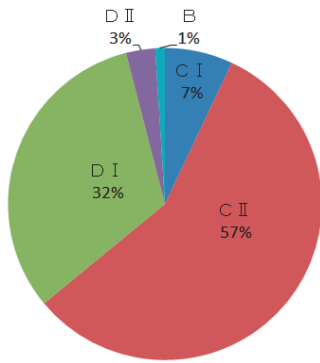


図-2 施工支保パターンの比率

●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強固な支保工へ変更(C I→C II)される傾向を示している。

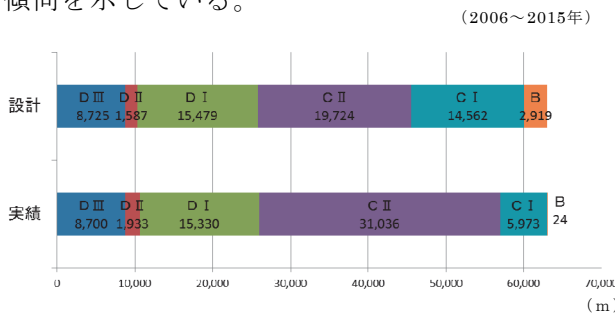


表-1 設計と実績の支保パターンの比較

4. 【改訂版】切羽評価点の判定方法

4.1 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-3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。岩石によっては地域特性があり、広域でデータを集計する事による影響の可能性があるためと考えられる。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。このため、改訂マニュアルでは管内で蓄積してきたトンネル工事の地山等級判定データを統計分析し、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-3)。

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。

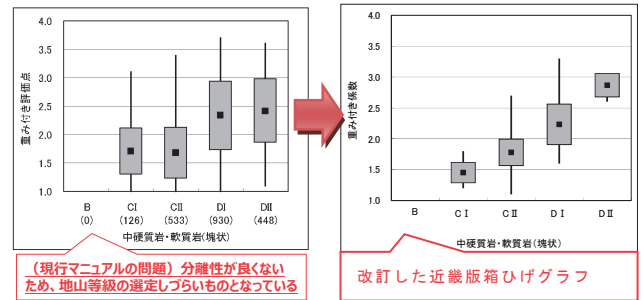


図-3 箱ひげグラフの改訂
(中硬質岩、軟質岩(塊状)の場合)

※ 図-3の「箱ひげグラフ」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。

4.2 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た。

この結果を図-4に示す。図中の評価点1から5は表-2に示す各要因のカテゴリーを示している。このカテゴリースコアが小さい(1側)ほどC IIへ、大きい(5側)ほどD I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C IIとD I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、他にもカテゴリー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。

要因No.	要因	カテゴリー
(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、あるいは露出 5.その他
(B)	素掘り面の状態	1.自立(普通不要) 2.時間がたつと緩み肌をもちする(後普通請) 3.自立困難(先書請)に支保する(先書請) 4.掘削に先行して山を突けておく必要がある 5.その他
(C)	圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100\text{MPa}$ ハンマー打撃はね返る 2. $100\text{MPa} > \sigma_c \geq 20\text{MPa}$ ハンマー打撃で跳ね返る 3. $20\text{MPa} > \sigma_c \geq 5\text{MPa}$ 軽い打撃で砕ける 4. $5\text{MPa} \geq \sigma_c$ ハンマー刃先食いこむ 5.その他
(D)	風化変質	1. なし・健全 2. 断面に沿って変色、強度や変質低下 3. 全体に変色、強度相対に低下 4. 土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結 5. その他
(E)	割れ目の頻度	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. $5\text{cm} \geq d$ 露出当初より未固結 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. 粘土を被む、当初より未固結 5. その他
(G)	割れ目の形態	1. ランダム形状 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

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)

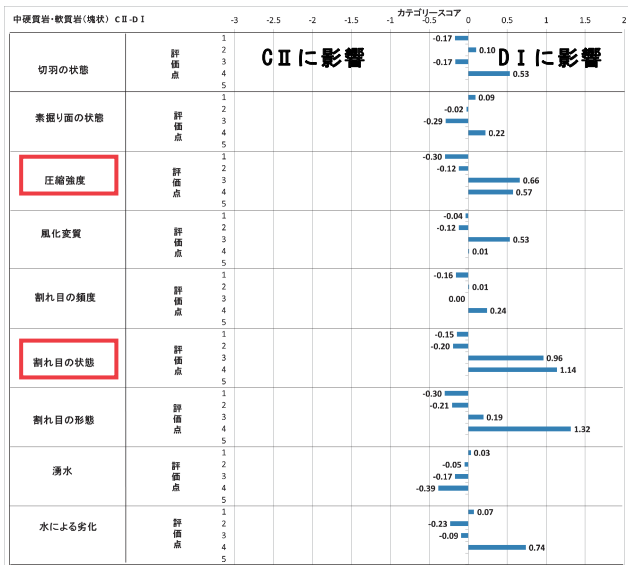


図-4 数量化II類によるカテゴリースコア(中硬質岩・軟質岩C IIとD Iの事例)

前述した分析結果を用いて、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。

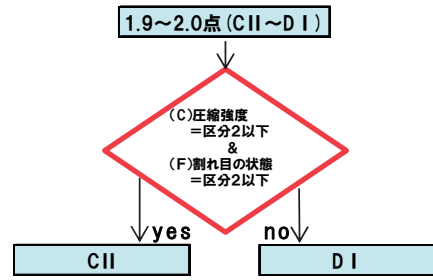


図-5 切羽評価点により重複して地山等級が選ばれる場合の地山等級選定フローチャート(中硬質岩・軟質岩(塊状)C IIとD Iの事例)

4.3 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、フローチャートにより、地山等級の目安は選定しやすいものとなったものの、これらは、過去の事例に基づいた統計解析の結果であり、複雑な地質や特殊な性状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-3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、およびその他の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。

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固める必要があるか <input type="checkbox"/> 前方探査結果と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"/> 前方探査結果と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"/> 先行して山を支え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"/> 盛ぶくれの恐れがあるか(将来的なことも考慮) <input type="checkbox"/> 前方探査結果と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"/> 前方探査結果と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

表-3 工学的指標によるチェック項目

4.4 マニュアルの検証結果

作成したマニュアル改訂版について検証を実施した。検証では、岩判定時の情報を収集・分析し、

支保パターンの適性を確認した。

マニュアルの改訂ポイントである判定I（近畿版箱ひげグラフ）および判定II（フローチャート）の妥当性を検証するため、改訂マニュアルの「判定IおよびII」により判定した結果と、岩判定員が経験に基づき判定した結果の整合性を的中率として整理した（図-6）。

整理の結果、「判定I、II」で地山等級が決定した割合が全体の約92%（判定I：59%、判定II：33%）となっており、本マニュアルが従来の経験的な判定を補う指標になり得ることが確認できた。

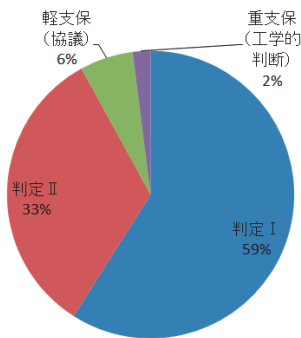


図-6 各判定指標での決定割合

しかしながら、工学的判断等により決定した場合が8%（協議により軽支保：6%、工学的判断により重支保：2%）存在し、件数としては少ないが、判定I・IIで十分な判定ができない場合を見据え「工学的チェック表」の更なる充実が求められるため、今後は判定I、判定IIで決定しなかった事例収集を実施していくこととした。

5. おわりに

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』を踏まえて【改訂版】「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」のとりまとめを行った。

今般の改訂マニュアルは、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、あくまで目安である。

しかしながら、【改訂版】「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）」は、「安全性」及び「経済性」を確保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ことから、今後とも、引き続きサンプルデータの収集を行い、本マニュアルの精度・質の向上に努めていきたいと考えている。

謝 辞

本マニュアルの改訂にあたり、京都大学名誉教授の大西有三様、神戸大学の芥川真一様、関西大学の小山倫史様ならびに土木研究所トンネルチームの皆様による貴重なご助言を頂きました。この場をお借りして感謝を申し上げます。

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）、2006
- 2) 矢羽田寛治、福本雅宏：トンネル地山等級判定マニュアルの改訂について、平成28年度近畿地方整備局研究発表会、施工・安全対策管理部門No.19、2016.6

山田勝輝



国土交通省近畿地方整備局
近畿技術事務所維持管理
技術課 専門官
Masaaki YAMADA