

トンネル施工時の調査情報の再整理と その活用に向けた検討例

岡崎 健治¹・伊東 佳彦²

¹正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)
E-mail:90185@ceri.go.jp

²正会員 (独) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸一条三丁目1-34)
E-mail:yos-ito@ceri.go.jp

北海道で建設されたトンネルの施工計測データならびに地質調査資料を収集し、その特徴を整理した。本調査においては、地質に応じて最終上半内空変位量に違いを有すること、いずれの地質でも土被り厚さが100～150mにおいて、変位量が大きい傾向を確認した。また、トンネル施工時に支保部材に変状が生じた場合、最終上半内空変位量は5倍程度、上半内空初期変位速度は2.5倍程度の違いがあることを確認した。トンネル施工時の先進ボーリング調査におけるRQD(5)が概ね60%以上の場合では、全ての岩種において、孔内弾性波速度に変化が少ないことから、他の指標を含めて評価することが効果的であることがわかった。

Key Words : geological information, construction data, rock classification, RQD(5)

1. はじめに

トンネル建設において、支保パターンは、事前の地質調査結果などにもとづき設計されるが、その地質評価精度が低い場合、施工時に変更を生じ、工事費の増加や工期の延伸などの事態につながるが多い¹⁻³⁾。一方、供用トンネルでは、完成から数年～数十年経過した後に、盤膨れなどの変状が発生する事例も報告され⁴⁻¹⁵⁾、通行規制による地域経済や交通体系上の課題となっている。

これらの課題に対しては、設計、建設、あるいは対策時における地質情報を蓄積整理するとともに、供用後の維持管理でも活用を図ることが、その解決策といえる。

北海道の国道トンネルの建設では、施工時には、先進ボーリング調査¹⁶⁾が実施されるため、地質情報の密度が高い。しかし、この地山分類¹⁶⁾は、昭和40年代に確立して修正が加えられ現在に至るが、これらの修正では、地質情報が十分整理されているとはいえない。

本研究では、これまで北海道の国道トンネルの建設で蓄積された施工時の計測データを地質別に整理するとともに、地質評価の精度向上と課題改善を目的に検討した内容について報告する。

2. 調査概要

本調査では、北海道の国道トンネルにおける以下の情報を地質別に検討し、その関連性について考察した。

- 1) 支保パターンと土被り厚さ
- 2) 最終上半内空変位量と上半内空初期変位速度
- 3) 施工時に発生した支保部材の変状
- 4) RQD (計測寸法5cm; 以下, RQD(5)) と弾性波速度

上記1)～3)では、57の国道トンネル(総延長70.7km, 計測断面2,674)について、岩種(その区分は日本道路協会¹⁷⁾)、土被り厚さ(m)、最終上半内空変位量(mm; 以下, 変位量)、上半内空初期変位速度(mm/日: 計測開始～10日間での日最大変位量; 以下, 変位速度)、施工時の支保工および施工時に発生した支保部材の変状(ロックボルトの頭部・プレートの変形や破断、吹き付けコンクリートの脱落・クラックの発生)との関係を整理した。

また、上記4)では、27の道路トンネルで実施した先進ボーリング調査246孔(延長19.4km)について、地山分類の指標であるRQD(5)と先進ボーリング孔で実施した速度検層による切羽前方の地山の弾性波速度の関係を岩種別に整理した。

岩種は、ボーリング柱状図の記載をもとに、国土交通省北海道開発局のトンネル地山分類表¹⁶⁾における以下の4つの区分に対応させた。なお、RQD(5)と孔内弾性波速度は、1m毎の値として検討した。

岩種1：面構造が発達した泥質または砂岩・泥岩互層の中～古生層および潜在亀裂が発達した付加体のような剥離性に富む岩種（全体の28%）

岩種2：面構造が乏しい砂岩・礫岩などの中～古生層、第三紀の火山岩類および硬質な溶結凝灰岩のような剥離性に富まない岩種（全体の34%）

岩種3：第三紀の堆積岩類、火砕岩類および一部軟質な泥質の中生層を含む堆積岩類（全体の33%）

岩種4：蛇紋岩などの特殊な岩石類（全体の5%）

3. 調査結果

(1) 支保パターンと地質の関係

図-1に、地質と施工時の支保パターンの関係を示す。

トンネルは、中硬質岩や塊状の軟質岩（安山岩などの火山岩類、砂岩などの新第三紀の堆積岩類）に多く建設

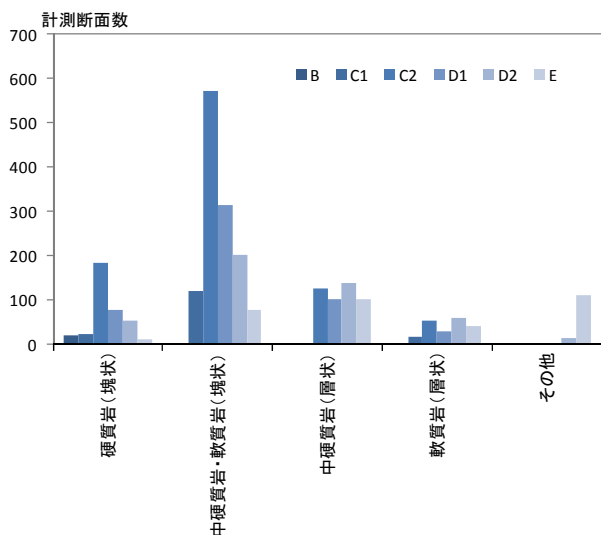


図-1 地質と施工時の支保パターン

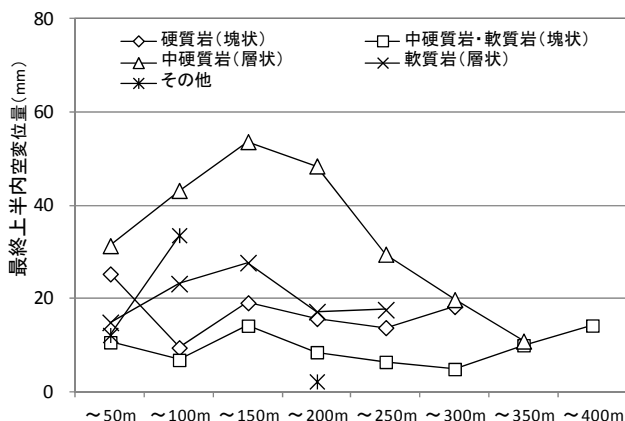


図-2 土被り厚さと変位量

されている。また、支保パターンは、C1やD1が採用される割合が多く、とくに硬質岩と中硬質岩・軟質岩（塊状）でC2の採用が多い傾向を確認した。

このようなトンネル施工時の地質地域や支保パターンの違いに着目することが、一般的な傾向と特異な傾向との差を分析することに有効といえる。

(2) 土被り厚さと変位量の関係

図-2に、地質別の土被り厚さと変位量の関係を示す。

変位量は、層状の中硬質岩>層状の軟質岩>塊状の硬質岩>塊状の中硬質岩と軟質岩の順に大きい傾向を示すことから、地質の違いによる評価は有効であることを確認した。また、土被り厚さ別には、いずれの地質でも100～150mで変位量が大きい傾向を確認した。

以上のことから、このような土被り厚さを有する区間の掘削では、変位量の増加に注意が必要といえる。

ここで、塊状岩と層状岩に着目すると、層状岩で変位量が大きく、本調査の結果において、層状岩では、岩盤性状を把握する精度が難しい場合があり、トンネルの施工時に、より慎重な評価が求められるといえる。

(3) 最終上半内空変位量・上半内空初期変位速度と施工時に発生した支保部材の変状の関係

図-3に、トンネル施工時に生じた支保部材の変状と変位量・変位速度の関係を示す。

支保部材は、ロックボルト（77例）と吹き付けコンクリート（19例）に着目し、変状の有無と変位速度との対応を整理した。

これらの変状は、初期段階に生じる変状で、より大きな変状へ移行する前の予兆として捉えることができる。

ここで、変位速度は、掘削にともなう内空断面の変化を計測初期に捉えることができ、地山の再評価、支保構

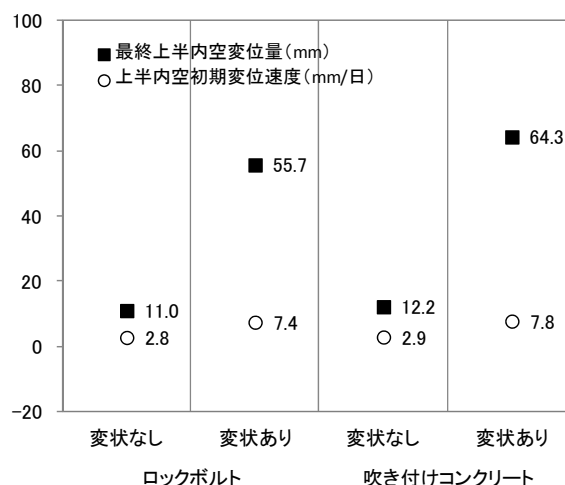


図-3 施工時に生じた支保部材の変状と掘削変位量

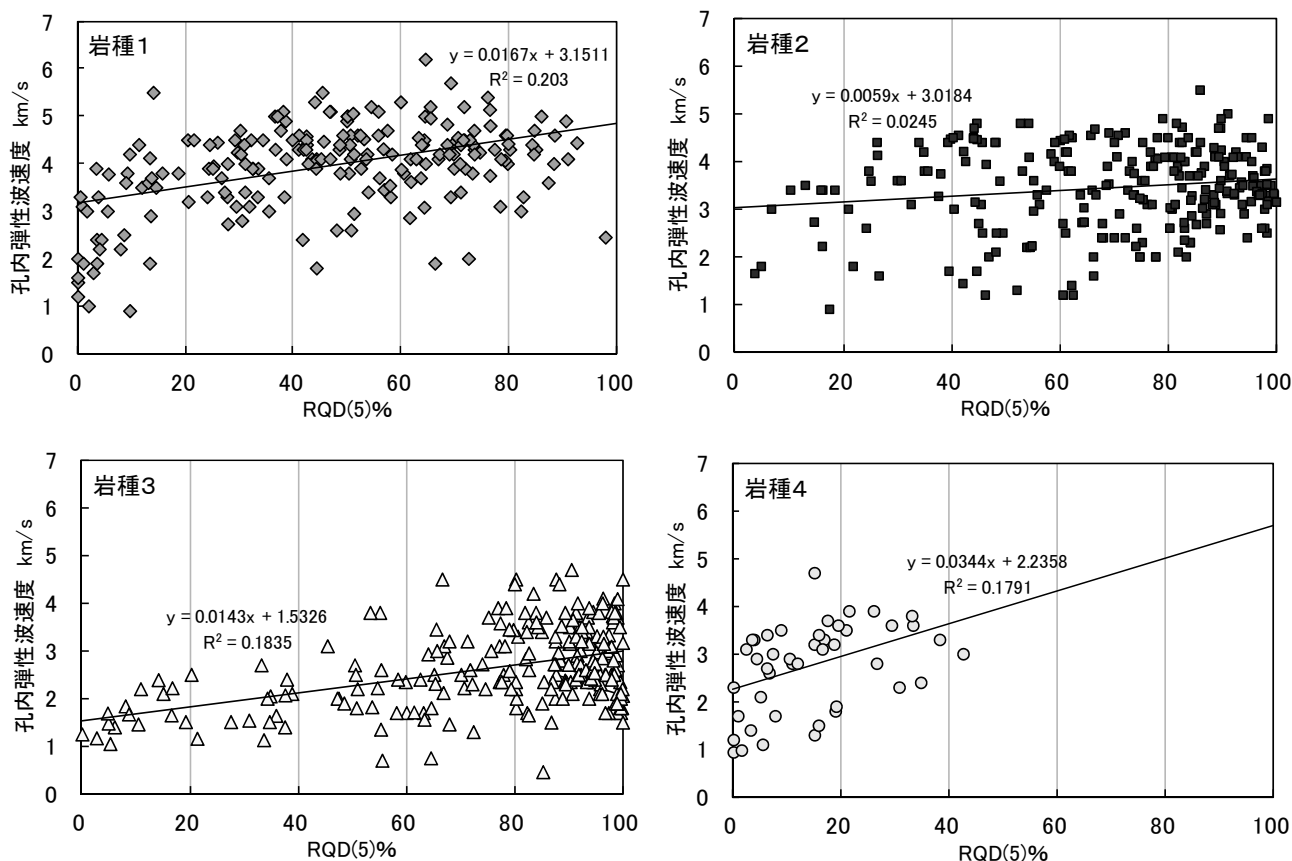


図-4 RQD(5)と孔内弾性波速度

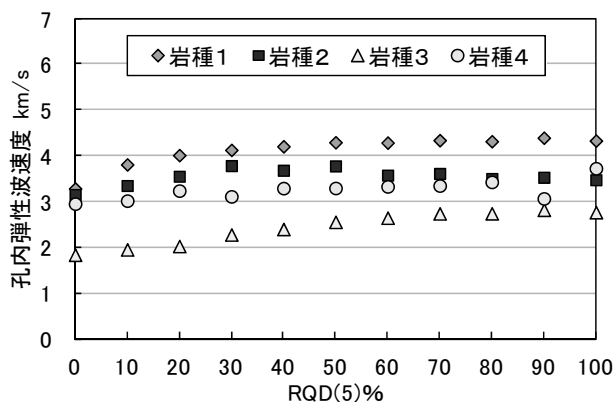


図-5 RQD(5)の10%毎の孔内弾性波速度

造を再検討する指標のひとつと考えられる。

「変状なし」と「変状あり」の変位量には、5倍程度（11.0～12.2に対して55.7～64.3）の違いが確認でき、変状をとまなう場合、変位量が大きくなることを示している。また、変位速度は、2.5倍程度（2.8～2.9に対して7.4～7.8）の違いが確認でき、計測値の初期の傾向と変状形態との対応を整理することで、最終的に変位量が大きくなることや施工時に発生するトラブルの予察的な検討が可能といえる。

(4) RQD(5)と弾性波速度の関係

図-4に、RQD(5)と孔内弾性波速度の関係を示す。ここで、RQD(5)は、孔内弾性波速度が連続した一定範囲の平均値である。

岩種1は1～6km/s、岩種2は1～5km/s、岩種3は0.5～4.5km/s、岩種4は1～4km/sと岩種に応じて孔内弾性波速度に差のあることが確認できる。ここで、岩種2は、RQD(5)の変化に応じた孔内弾性波速度の変化（回帰式曲線の勾配）が少ない。つまり、RQD(5)が変化しても、孔内弾性波速度には、明瞭な差は生じない。

このことは、孔内弾性波速度は、RQD(5)よりも他の要因（例えば、岩石自体の弾性波速度）の影響をより強く受けやすいことを示していると考えられる。

図-5に、RQD(5)の10%毎における孔内弾性波速度の平均値を示す。孔内弾性波速度は、岩種1で3～4.5km/s＞岩種2と4は3～3.5km/s＞岩種3は2～2.5km/sと岩種に応じた値を示すことが確認できる。

岩種2と4は、岩種1と3の中間的な値を示すとともに、RQD(5)の変化に応じた孔内弾性波速度の変化は少ない。また、全岩種においても、RQD(5)が概ね60%を境界として、それより低い場合では、孔内弾性波速度に変化が認められることから、評価のための情報の取得は可能であ

るが、高い場合では難しいため（地山自体は良好という評価になるが）、他の指標を含めて評価することが効果的といえる。

今後は、地山分類の結果とトンネルの掘削変位量の対応を検証することで、実態に即した評価に向けた情報の整理が必要である。

図-6に、RQD(5)と孔内弾性波速度の頻度分布を示す。

岩種1のRQD(5)は、その頻度にバラツキが大きく範囲に偏りが少ない。そのため、岩盤には、不規則に亀裂が発生するなど、その影響を受けやすいと考えられる。

岩種2と3のRQD(5)は、ほぼ100%に近いことから、割れ目が少なく、岩盤は、岩石自体の強度の影響を受けやすいと考えられる。これらの岩種では、RQD(5)による区分は有効でない場合があるといえる。

岩種4のRQD(5)は、0または20%未満となることが多く、極めて亀裂質であり、潜在的な亀裂も多いと考えられることから、これらの岩種についてもRQD(5)による評価は容易でないといえる。

岩種1の孔内弾性波速度は、4～5km/s（最大6.2 km/s）、岩種2と4の孔内弾性波速度は、3～4km/sに頻度が多い（岩種4では1～3km/sでも多い）が、これらは亀裂の発達区間に対応すると考えられる。

岩種3の孔内弾性波速度は、2～3km/sが多く、亀裂は少ないが、本来の地山や岩石自体の弾性波速度が低い特徴が現れているといえる。

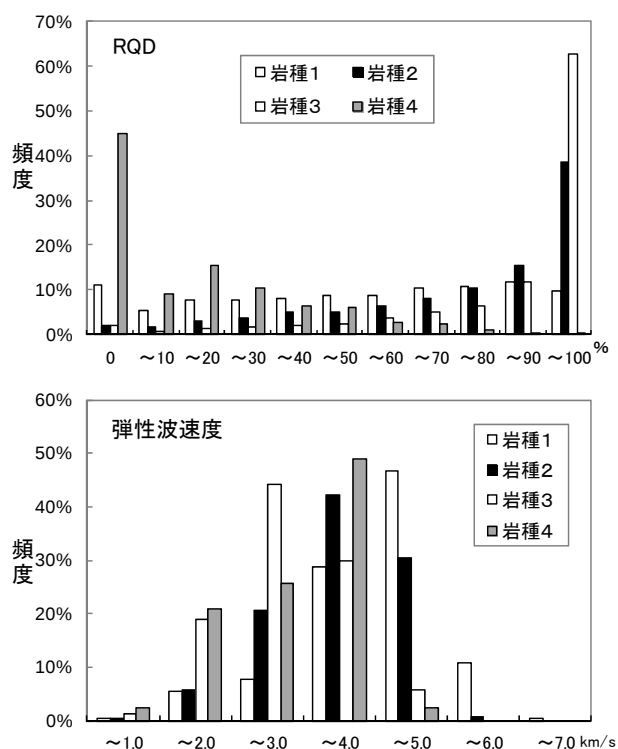


図-6 RQD(5)と孔内弾性波速度の頻度分布

4. まとめ

本調査によって得られた知見は次のとおりである。

- 1) 地質別に土被り厚さと最終上半内空変位量の関係を分析した結果、地質に応じて変位量に違いを有すること、いずれの地質でも土被り厚さが100～150mにおいて、変位量が大きい傾向を確認した。
- 2) トンネル施工時に生じた支保部材の変状と最終上半内空変位量・上半内空初期変位速度の関係を分析した結果、「変状なし」と「変状あり」の最終上半内空変位量は5倍程度、上半内空初期変位速度は2.5倍程度の違いを確認した。
- 3) トンネル施工時の先進ボーリング調査におけるRQD(5)と孔内弾性波速度の関係を分析した結果、概ねRQD(5)が60%を境界として、孔内弾性波速度に変化が認められ、他の指標を含めて評価することが効果的であることがわかった。

5. おわりに

トンネルの事前設計は、標準支保パターンの適用、類似既往設計の参照および解析的手法により行われる。このうち前2者は、それまでに蓄積された情報から構築され、実データの追加と修正が前提となることから、各種データを十分に蓄積、吟味して良質な情報を得ることが必要である。また、トンネル施工時の先進ボーリング調査においては、現在の地山分類表の適用範囲が、地山評価の精度向上に向けて検討の余地があることを確認した。

今後は、トンネル事業における複数の情報について、施工時の活用に向けた再整理を行うとともに、地山評価の精度向上に関する検討をさらに進めたい。あわせて、トンネル施工時の先進ボーリング調査結果に対する独自の地山分類の構築などについても検討を進めていきたい。

謝辞：本調査の実施にあたり、国土交通省北海道開発局の関係各位には、資料提供ならびに現地調査などにご協力いただいた。また、北海道土木技術会トンネル研究委員会NATM分科会には、収集したデータや資料を使用させていただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルライブラリー第18号、より良い山岳トンネルの事前調査・事前設計に向けて、2007.5。
- 2) 中川浩二・保岡哲治・北村春夫・三木 茂・藤本陸・木村恒雄：トンネル事前設計における地質調査の問題点とその評価に関する研究，土木学会論文集，No.568，VI-48，pp33-43，2000.9。

- 3) 亀村勝美・岡崎健治・伊東佳彦：変状トンネルへの対策工の選定法に関する研究－対策工としての先進ボーリングの効果について－，第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp307-312，2013.1.
- 4) 土木学会岩盤力学委員会：トンネルの変状メカニズム（変状事例集），pp214-269，2003.9.
- 5) 片寄紀雄・興石逸樹・松本武海：緩やかな膨圧現象と付き合って 30 年・JR 信越本線塚山トンネル，トンネルと地下，vol.28，3，pp7-15，1997.3.
- 6) 佐久間 智・菅原徳夫・多田 誠：供用トンネルに発生したインバート隆起（最大 95cm）とその復旧対策について－山形自動車道盃山トンネル上り線－，第 44 回地盤工学会講演集，pp1271-1272，2009.8.
- 7) 下川多米男・喜多孝次・岩尾哲也：うれしの・俵坂トンネルの盤ぶくれ対策工事，ハイウェイ技術，No.9，pp149-155，1997.12.
- 8) 鈴木哲也・岩渕 武・林 満・森田英俊：変質した地山中のトンネルにおける変状調査と対策，開発土木研究所月報，No.449，pp2-9，1990.10.
- 9) 中田正夫・伊藤 洋：供用中トンネルにおける変状と対策・上信越自動車道路浅間山トンネル，トンネルと地下，vol.31，4，pp7-14，2000.4.
- 10) 二瓶益臣・中曽根茂樹・生杉嘉良：トンネル覆工と路面変状の保全対策検討事例（一般国道 46 号仙岩トンネル），土木学会土木技術者実践論文集，Vol.1，pp23-31，2010.3.
- 11) 林 幸一・御堂島章一・山中博之：変状トンネルの改築 (1)・国道 25 号線関トンネル，トンネルと地下，vol.8，3，pp22-27，1977.3.
- 12) 松尾茂生・滝沢俊次・大谷政敬：ロックボルトを利用した盤ぶくれ対策・国道7号朝日トンネル，トンネルと地下，vol.11，11，pp19-29，1980.11.
- 13) 渡邊康夫・監郷一博・鈴木 尊：供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策，トンネルと地下，vol.38，9，pp7-16，2007.9.
- 14) 北海道開発局石狩川開発建設部豊平川ダム統合管理事務所：定山溪ダム工事記録，pp862-865，1992.3.
- 15) 岡崎健治，伊東佳彦：トンネルの供用開始後に生じる変状と経時変化に関する考察，トンネル工学報告集，No.21，pp183-188，2011.11.
- 16) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領第4集トンネル，2013.4.
- 17) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.11.

(2013. 9. 2受付)

EXAMINATION FOR THE UTILIZATION AND READJUSTMENT OF THE INFORMATION AT THE TUNNEL CONSTRUCTION STAGE

Kenji OKAZAKI and Yoshihiko ITO

The authors collected the construction measurement data and the geological features investigation material of the tunnel that had been constructed up to now, and its characteristic were arranged Hokkaido, Japan. As the result of this study, the overburden thickness confirmed the tendency with large upper half final convergence displacement to each geological feature in 100-150m having the difference in upper half final convergence displacement according to geological features. Moreover, when a tunnel deformation at the tunnel support was caused, upper half initial convergence velocity confirmed 2.5 times differed by 5 times to upper half final convergence displacement.

