

ノンコア削孔調査による 山岳トンネル切羽前方探査精度の検討

桑原 徹¹, 畑 浩二², 赤澤正彦³

¹正会員 理博 大林組 技術研究所 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: kuwahara.toru@obayashi.co.jp

²正会員 工博 大林組 技術研究所 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: hata.koji.ro@obayashi.co.jp

³正会員 鉄道・運輸機構鉄道建設本部 (〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1横浜アイランドタワー)

E-mail: mas.akasawa@jr-tt.go.jp

山岳トンネルにおいて、切羽前方探査の作業時間を短縮して施工サイクルを乱さずに施工できる安価な探査技術として、ドリルジャンボを利用したノンコア削孔調査が用いられることがある。本報告は、ノンコア削孔切羽前方探査の予測精度の向上を目的として、鉄道トンネル工事での3件の適用事例を整理し、トンネルの地山等級区分の推定に関する考察を行った。適用事例の地質は、花崗閃緑岩、砂岩頁岩互層、細粒砂岩からなる。ノンコア削孔データの解析には削孔速度変換解析システムを用い、予測と掘削時の地山等級区分と対比することで予測精度の確認を行った。鉄道トンネルの岩種区分を考慮しながら、3事例の比較検討を行った結果、地山等級区分が概ね可能であることと、データの蓄積やトンネル断面形状と地山等級区分の関係など、今後の検討課題が明らかになった。

Key Words : *geological prediction ahead of the tunnel face, exploration drilling, ground classification, railway tunnel*

1. 研究の目的

山岳トンネルの工事では、設計時の地質調査結果と掘削時の地質状況に違いが出ることがしばしばある。したがって、トンネルの切羽前方を的確に予測することは、安全で合理的な施工を行う上で不可欠である。

トンネル掘削時には断層破碎帯や熱水変質帯などの脆弱区間や小土被りの区間を対象にして、物理探査をはじめとする各種の前方探査を行うことが多い。切羽前方探査技術としては過去に様々な手法が試みられてきたが、調査可能な深度や精度、現場計測やデータ解析に要する時間などに課題が生じることもあった。また、地山等級や支保パターンの判定の際には、先進ボーリングによりコア採取を行い切羽前方の地質を直接確認した上で決めることもある。しかし、先進ボーリングをトンネル全線で実施する場合、工費の増加や掘削進行の低下など問題も多い。このため作業時間を短縮し、施工サイクルを乱さずに施工できる安価な探査技術として、油圧ジャンボ搭載のドリフターを利用したノンコア削孔切羽前方

探査技術（削孔検層、穿孔検層、穿孔探査等とも呼ばれる）もしばしば利用されている。

筆者らは、ノンコア削孔調査により切羽前方の地質状況を推定し、施工時の地山等級区分と対比することで調査精度の確認ならびに向上を目的とした実証研究を継続している。本報告では、とくに、鉄道トンネルへの適用事例を整理し、地山等級区分の推定方法について考察を行った。

2. ノンコア削孔調査の概要

(1) ノンコア削孔調査

ノンコア削孔切羽前方探査は、ドリルジャンボに設置された専用の計測システムを利用して、削孔時の削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧（打撃ピストンのエネルギーを岩盤中に効率的に投入するために、ビットを適切に掘削面に押し付ける力）、削孔エネルギー（掘削体積比エネルギー）を取得し、削孔速度や削孔エネルギーから切羽前方の地質特性を数値的に評価するものである（写真-1）。ノンコア

削孔データの評価に際しての理論的背景は、資源分野で発展した削孔理論による。削孔速度や削孔エネルギーによる地質予測は、回転圧やフィード圧が一定の前提があるが、不均質帯、亀裂集中帯、断層破碎帯などではフィード圧が大きく変動してしまう場合が多く、このような場合、正確な地質予測が難しい状況にあった。

(2) 削孔速度変換解析システム

ノンコア削孔調査の精度を向上させるために、削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧が相互に及ぼす影響を大型花崗岩供試体を利用した削孔実験、切羽での原位置削孔試験、施工時のノンコア削孔データから検討し、削孔速度や削孔エネルギーによる地山評価の課題が検討された。その結果、ドリルジャンボによる50m程度のノンコア削孔では距離減衰や回転圧の影響は相対的に小さく、フィード圧の変動影響が脆弱区間などの地山評価に最も大きな影響を及ぼすと判断し、フィード圧の変動影響を排除した削孔速度変換解析システム（トンネルナビ）が提案されている。詳細は既往文献^{1)~6)}に譲るが、基本的な考え方は以下のとおりである。

ノンコア削孔調査ではフィード圧は常に変動しているが、仮にフィード圧を一定と想定できた場合、それに対応する等価な削孔速度により、フィード圧の変動影響を除去した条件で信頼性の高い地質予測が可能となるはずである（図-1）。すなわち、フィード圧が常に変動している状態では、削孔速度には地山特性に加えてフィード圧の変動影響が含まれている。通常の探査条件では、削孔エネルギーは削孔速度に反比例するので削孔エネルギーにもフィード圧の変動影響が含まれ、結果として地山評価の信頼性に問題を生じる場合があると考えられる。一方、基準値と定めた一定のフィード圧に対応する等価な削孔速度を求めることができれば、得られた換算削孔速度は、フィード圧の変動影響を排除して地山特性のみを反映することになり、前方探査の精度を大きく向上できる可能性がある。

このためには、削孔速度～フィード圧の関係を定式化することが必要である。そこで、以下の点が検討された。

- ① フィード圧が減少すると削孔速度も減少、逆にフィード圧が増加すると削孔速度も増加することを実験的に確認した（図-2）。
- ② 削孔速度～フィード圧の相関関係は、削孔速度の変化 ΔV ～フィード圧の変化 ΔF の相関として捉え、3次多項式の回帰式を得た（図-3）。

$$\Delta V(i) = a(\Delta F(i))^3 + b(\Delta F(i))^2 + c\Delta F(i) + d \quad (1)$$

ただし、

i : i 番目の削孔データ

$F(i)$: フィード圧 (MPa)

$V(i)$: 削孔速度 (cm/min)



写真-1 切羽での探査状況

$\Delta F(i)$, $\Delta V(i)$: ある区間（同じ地質、岩盤条件）におけるフィード圧、削孔速度の変化量
 a, b, c, d : 係数

- ③ この回帰式を利用して、測定された削孔速度から、基準フィード圧に対する等価な削孔速度（換算削孔速度と呼ぶ）を求め、換算削孔速度を正規化、無次元化した新しいパラメーター「正規化削孔速度比」を定義した。

- ④ 正規化削孔速度比 $NVR(i) = \frac{(V'(i) - V'_{min})}{(V'_{max} - V'_{min})} \quad (2)$
 $V'(i)$: 換算削孔速度,
 V'_{max} : 換算削孔速度の最大値,
 V'_{min} : 換算削孔速度の最小値
 $0 \leq NVR(i) \leq 1$

ただし、 V'_{max} と V'_{min} を、工学的な判断により、それぞれ定数 MAX , MIN に置き換えることにより、トンネル全線で共通な指標として、さらには異なるトンネルでも共通な地山指標として使えるようにしている。

フィード圧の変動影響の除去効果の一つとして、断層破碎帯などの脆弱区間の予測精度の向上があげられる。削孔速度や削孔エネルギーによる予測では断層破碎帯の位置がずれてしまったり、無関係な場所に断層が現れたりすることがあったが、新しい解析方法では非常に精度よく予測できることが検証されている（図-4）。この結果、従来は困難であった地山等級区分が予測可能となり、さらに地山物性との相関性を利用して地山強度比を連続的に推定する、反射係数の推定から坑内弾性波探査のクロスチェックが可能となるなどの付加価値が生み出されている（図-5）。一般的な現場の施工管理では専用の解析システムを利用して断層破碎帯の検出、地山の硬軟判定、地山分類の判定が行われている。

ノンコア削孔調査に際しては、ドリルジャンボに専用の計測システムを搭載しておく必要がある。前

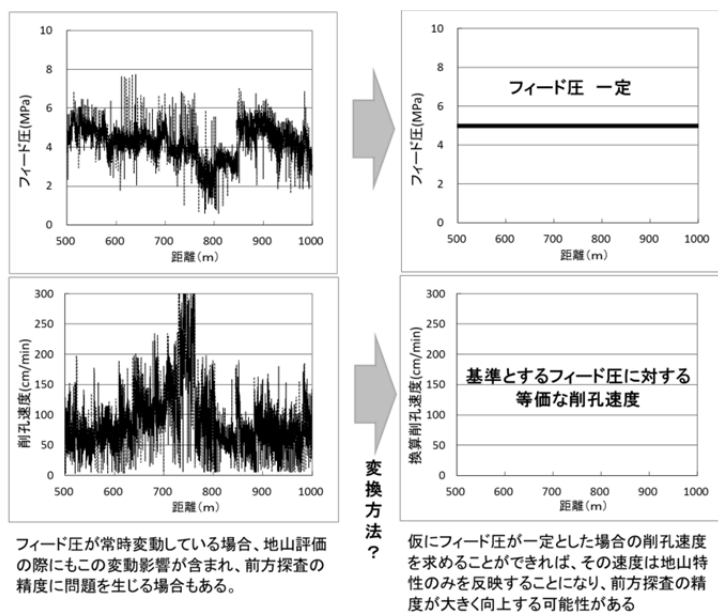


図-1 削孔速度変換解析の概念図

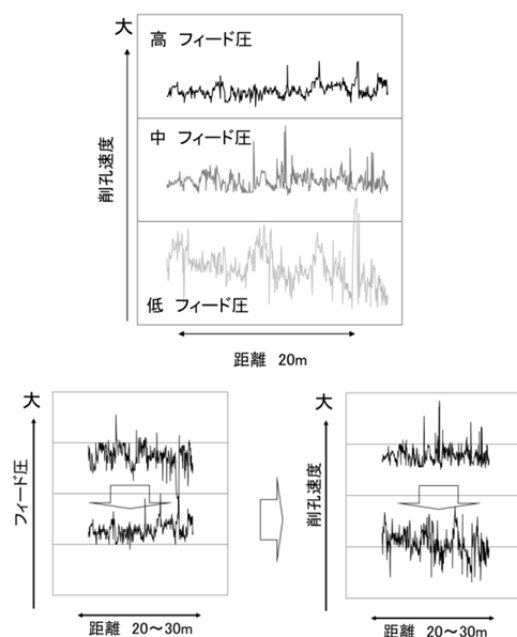


図-2 フィード圧～削孔速度に関する概念図

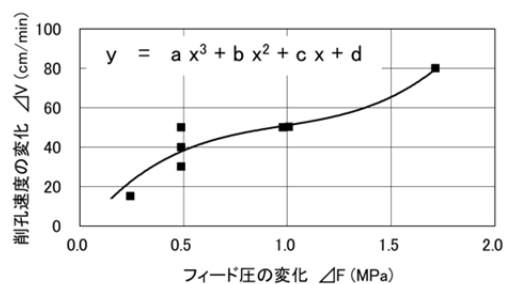


図-3 削孔速度 V の変化～フィード圧 F の変化 ($\Delta V \sim \Delta F$) の相関

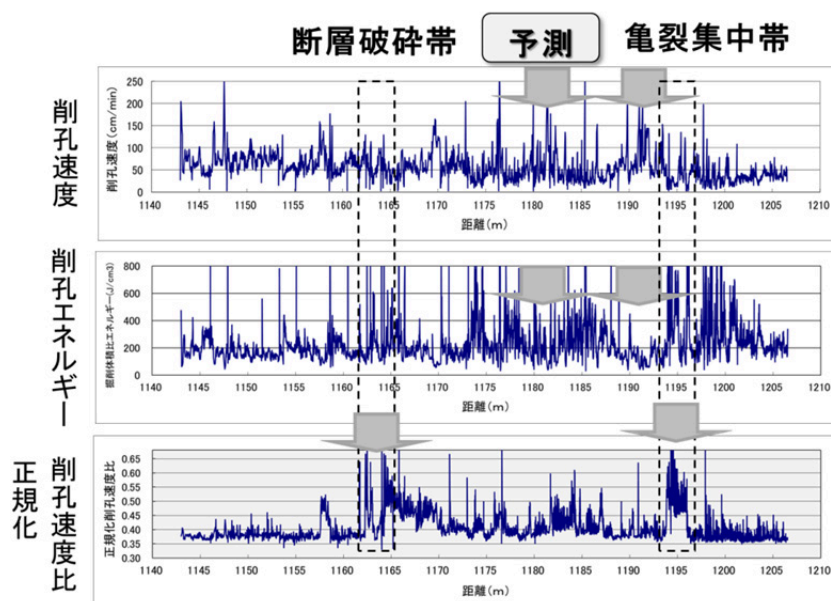


図-4 フィード圧の変動影響の排除効果

方探査の距離は30～50m/回程度、測定時間は地山の状態によるが平均2時間程度、10～14日毎に実施することが多い。適用可能な地山は軟岩～中硬岩、硬岩から構成されるトンネル地山であるが、事前調査で実施される屈折法弾性波探査による弾性波速度が1.0～1.8kmを示すような、凝灰岩層の未固結～半固結地山でも有効であることが確認されている。

(3) 地山の判定方法

ノンコア削孔データの削孔速度変換解析システムに基づく、地山の基本的な判定方法を以下に示す(図-6)。

- ① 解析結果の値(正規化削孔速度比)が大きいほど地山は軟質、脆弱に、値が小さいほど地山は硬質、健岩部になると判断できる。したがって、風化変質帯や断層破碎帯などでは解析結果が大きな値を示す。
- ② 解析結果が概ね0.05程度の範囲内ではばらつきも少なく収まることもある(図-6, A,B,D,E)。このような区間では、地山は相対的に一様、均質であると判断している。解析結果の大小関係から、A, BおよびD,Eの順で地山の軟質、脆弱化が顕著になり、Eは風化変質や断層などにより脆弱化が進んだ地山と判断できる。
- ③ 図-6中Cのように解析結果が上に凸の変動パターンを示すことがある。このような変化は断層に対応していることが多い。
- ④ 図-6中Fのように解析結果が大きな値を示すとともに、非常に多くのばらつきを含む場合がある。このようなばらつきは、断層破碎帯や付加体などでの岩質の顕著な不均質性などに起因する地山の著しい不均質性や力学的異方性を反映している。このような場合は、標準的な地山等級区分の判定に対して、1段階のランクダウンを行っている。

- ⑤ ノンコア削孔データによる地山等級区分は、地山の硬軟の評価に基づいている。大量湧水による切羽の安定性が損なわれる恐れがある場合は、解析結果による地山等級区分に対して1段階のランクダウンを行う場合もある。

3. 切羽前方探査結果と地山等級区分

(1) 目的

鉄道トンネルにおけるノンコア削孔切羽前方探査の解析結果(正規化削孔速度比)～地山等級区分(掘削実績)の関係を、既往の3件の事例について考察し、前方探査の精度について検討を行う。

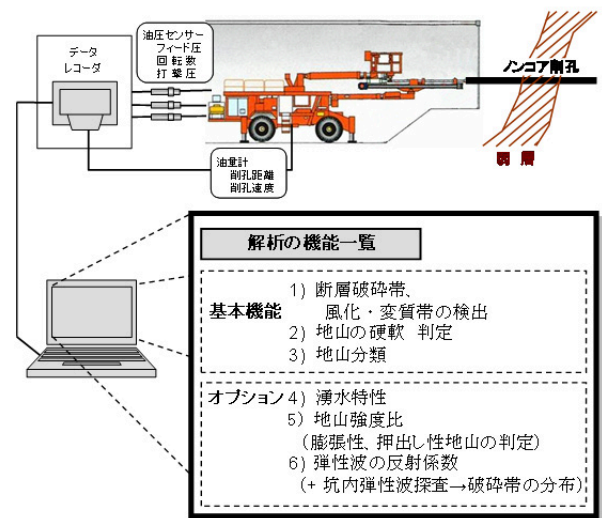


図-5 システム構成

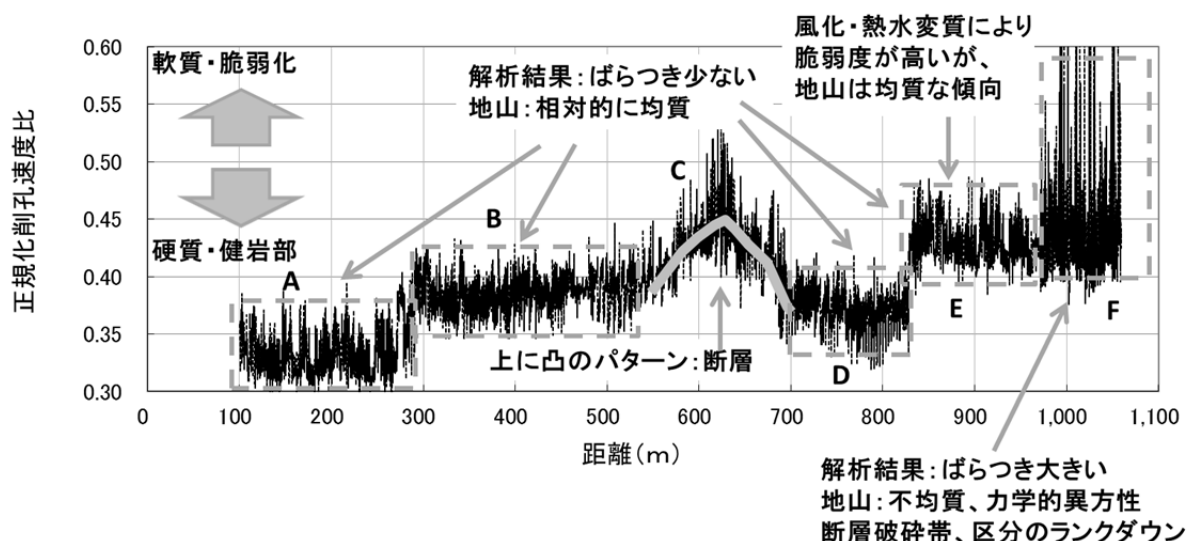


図-6 ノンコア削孔調査による地山の判定方法

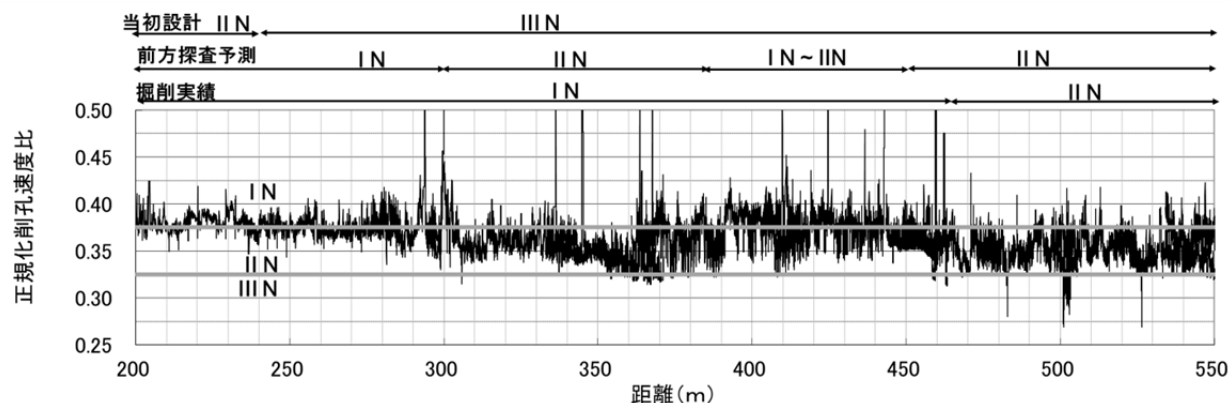


図-7 事例1における前方探査結果⁷⁾

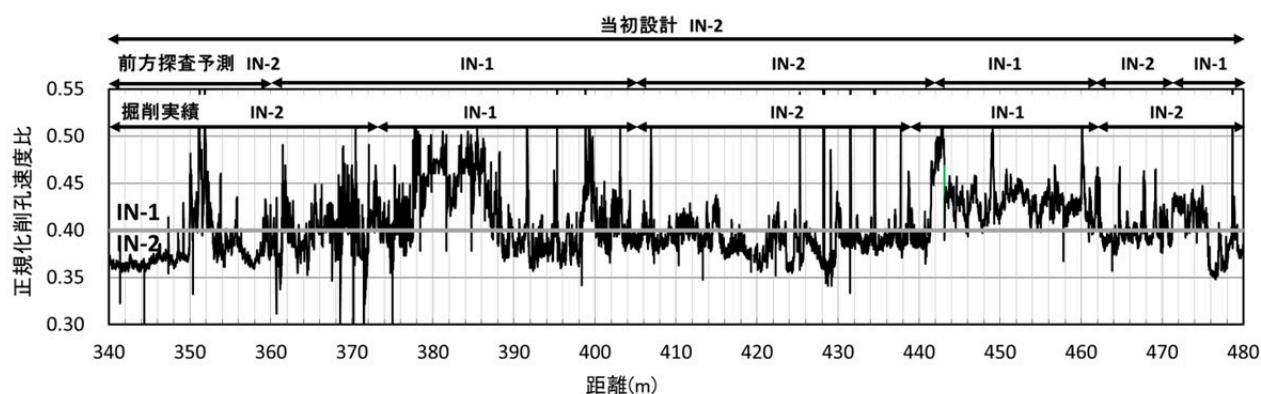


図-8 事例2における前方探査結果¹⁰⁾

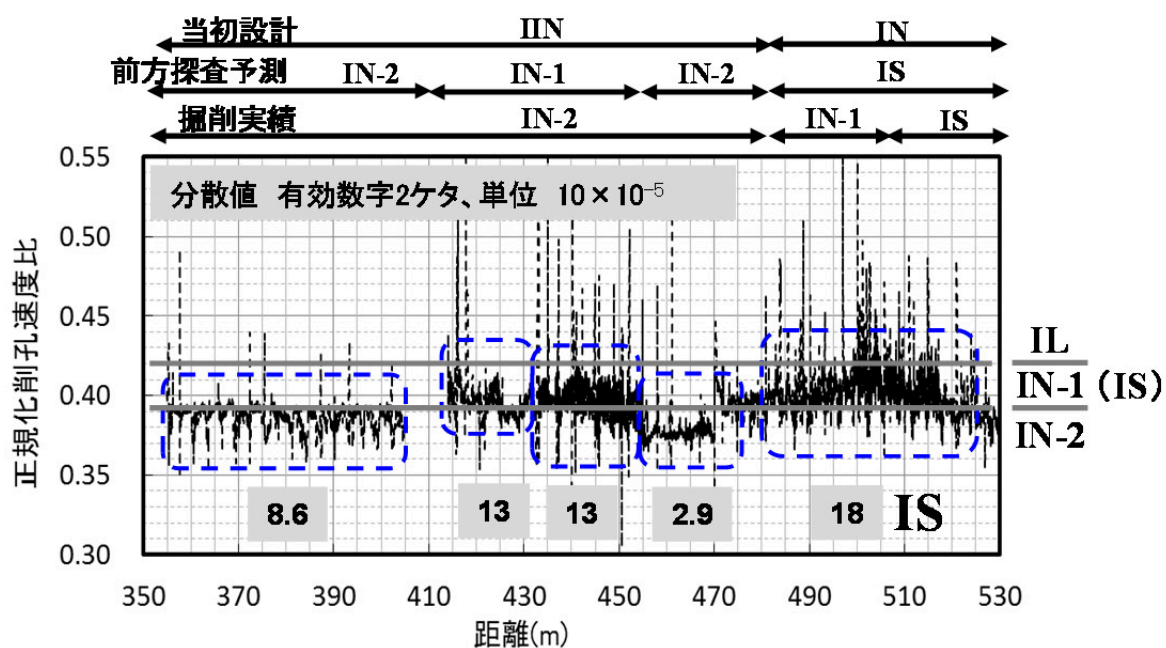


図-9 事例3における前方探査結果¹³⁾

(2) 地質概要

各事例の地質条件を以下に示す。

- ① 事例 1^{7),8)}：強風化～弱風化の花崗閃緑岩からなり、一部区間ではリニアメントとして認識されるような断層（亀裂集中帯）が確認された。
- ② 事例 2^{9),10)}：古第三紀の砂岩、砂岩頁岩互層、第四紀層の凝灰角礫岩からなる。
- ③ 事例 3^{11),12)}：新第三紀層の細粒砂岩、凝灰質泥岩からなり、大規模な地すべり土塊を形成する。
鉄道トンネルにおける地山の種類としては、事例 1～3 はそれぞれ A 岩種（花崗岩などの塊状の硬岩）、D 岩種（古第三紀の堆積岩類など）、E 岩種（新第三紀の泥岩、シルト岩など）～F 岩種（新第三紀の低固結層など）^{13),14)}となる。

(3) 前方探査結果の概要

各事例における前方探査結果の概要を以下に示す。ここではノンコア削孔解析結果（正規化削孔速度比 NVR）のうち本報告に関連する部分のみを示しており、解析結果全体およびその地山評価に関しては引用文献を参照されたい。

a) 事例 1（花崗閃緑岩）^{7),8)}

図-7 に事例 1 の代表的な区間を示す。坑口から掘削が進行するにつれて地山の風化度が徐々に低下し、前方探査の予測も掘削実績も I_N から II_N へと変化していく過程での解析結果である。これ以降はリニアメント（断層破碎帯）と交差する区間を除くと、概ね II_N である。ノンコア削孔の解析結果、地山性状、地山等級区分の関係は、以下のように判断された。

I_N : $NVR > 0.375$, 強風化～中風化帯, 断層破碎帯
 II_N : $0.375 \geq NVR \geq 0.325$, 弱風化帯～新鮮部, 亀裂多数

III_N : $0.325 > NVR$, 新鮮部, 亀裂少数

b) 事例 2（古第三紀の砂岩頁岩互層）^{9),10)}

事例 2 は古第三紀層の地山であるが、風化や湧水により脆弱化が進んでいる区間が多い。図-8 は、ノンコア削孔調査により脆弱な地山が周期的に繰り返し現れることを予測し、掘削実績も概ね予測に対応していることを示している。このような砂岩頁岩互層、頁岩層、および凝灰角礫岩を対象にして、ノンコア削孔の解析結果と地山等級区分の関係は、以下のように判断された。

I_{N-1} : $NVR > 0.400$, 風化変色や地下水劣化による相対的に軟質な砂岩頁岩互層, 頁岩層

I_{N-2} : $0.400 \geq NVR$, 相対的に硬質な砂岩頁岩互層, 凝灰角礫岩

c) 事例 3（新第三紀の地すべり土塊と基盤層）^{11),12)}

事例 3 は、新第三紀の細粒砂岩層が数次にわたる地すべりを受けて様々な脆弱化を受けた地山である。地すべり土塊を含むために、元の地質状態を残した比較的均質な部分と、緩傾斜の地すべり面やその周辺部などの粘土化、亀裂集中による不均質部分がある。そこで、今回は判定基準を作成する際に解析結果のばらつきの大きさを定量的に考慮し、正規化削孔

速度比の大小関係に加えて、それらの値の分散の大きさも加味して検討を行った。

予測の対象は、 I_L , I_S , I_{N-1} , I_{N-2} の 4 ランクとし、NVR と I_L , I_{N-1} , I_{N-2} の関係をまず求めた。次に、解析結果のばらつきの大小に応じて分割した区間毎に NVR の分散を求めた。ボーリングコア試料や切羽観察の結果などと併せて、分散の閾値を 15×10^{-5} とし、とくに I_{N-1} において分散がこれよりも大きい場合は地すべり面に関連する脆弱部分と判断して I_S とした。すなわち、 I_S は I_{N-1} のランクダウンという考え方で以下の判定基準を作成した。

I_L : $NVR > 0.420$, 風化を伴う地すべり土塊

I_S : $0.420 \geq NVR \geq 0.390$, NVR の分散値 $\geq 15 \times 10^{-5}$ (ばらつき大), 地すべり面直上の脆弱部, 亀裂や不均質性のために NVR のばらつきが大きい。

I_{N-1} : $0.420 \geq NVR \geq 0.390$, NVR の分散値 $< 15 \times 10^{-5}$ (ばらつき小), 地すべり土塊

I_{N-2} : $0.390 > NVR$, 地すべりの基盤層となる硬質な泥岩層

図-9 は地すべり土塊の区間 (I_{N-2} , I_{N-1}) から地すべり面 (I_S) を通過し、基盤層に入る区間を示す。図から、分散値は I_S , I_{N-1} , I_{N-2} の順に小さくなるので、地山の不均質性が小さくなることも示している。

(4) 考察

以上の 3 件の事例について、ノンコア削孔の解析結果～地山等級区分の関係をまとめて図-10 に示す。図中で、太実線は各事例で判断された解析結果～地山等級区分の境界値を示す。波線は 3 件の事例をまとめた場合に推定される解析結果～地山等級区分の境界値を示す。解析結果（正規化削孔速度比）の大小は地山の硬軟に対応しているため、地山の岩種は A, D, E～F 岩種とそれぞれ異なるが、解析結果～地山等級区分の全体的な境界値は、波線で示したように調和的であるように見える。

鉄道トンネルにおける弾性波速度～地山等級区分の関係を「計画段階における地山分類基準」¹⁴⁾を基に図-11 に示す。これから以下の特徴がある。

- ① A, C, D 岩種（塊状岩盤）では同じ弾性波速度でも A, C, D 岩種の順に地山等級が上がる（支保剛性が小さくなる）。
- ② 堆積軟岩である E 岩種（および一部の D 岩種）では弾性波速度に上限があるために弾性波速度では分類が難しく、地山強度比を優先して地山等級区分が決められている。
- ③ なお、F 岩種では弾性波速度の規定はなく、地山強度比のみで区分されているために図中には示していない。

これらの関係を 3 件の事例に取り込んで考察を行った結果を図-12 に示す。上記①に関連しては、A 岩種と D 岩種で解析結果～地山等級区分の境界値に差を設けた。②に関しても同様に D 岩種と E 岩種で境界値に差を設けた。今回、 $II_N \sim I_N$, $I_N \sim I_L$ については既往データを参照しながらこれらの境界値を設定した。 $II_N \sim III_N$, $III_N \sim IV_N$ の境界値については

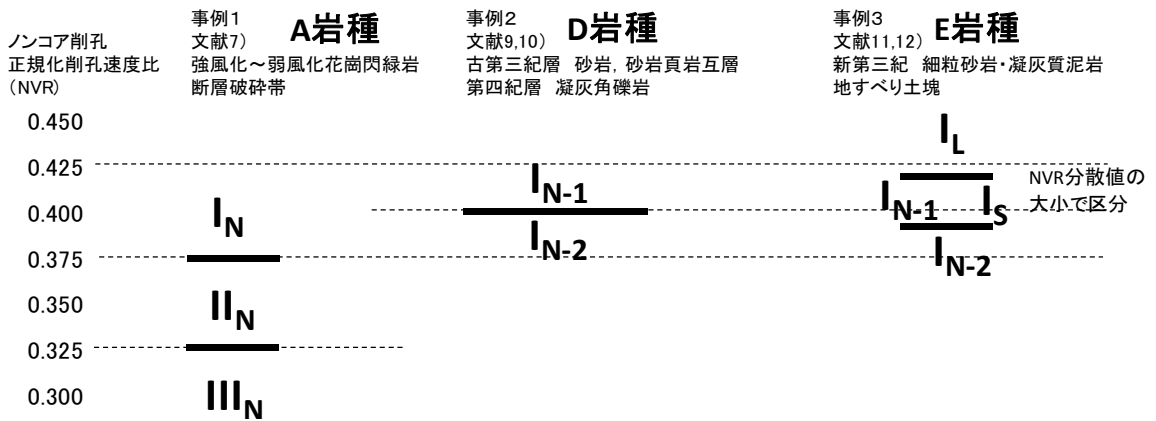


図-10 正規化削孔速度比と地山等級区分の関係

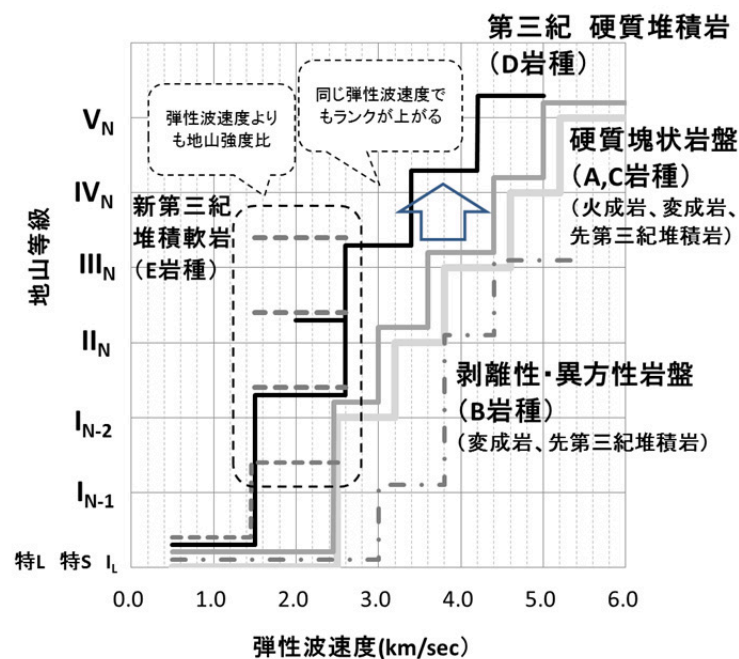


図-11 鉄道トンネルにおける弾性波速度～地山等級区分の関係¹⁴⁾

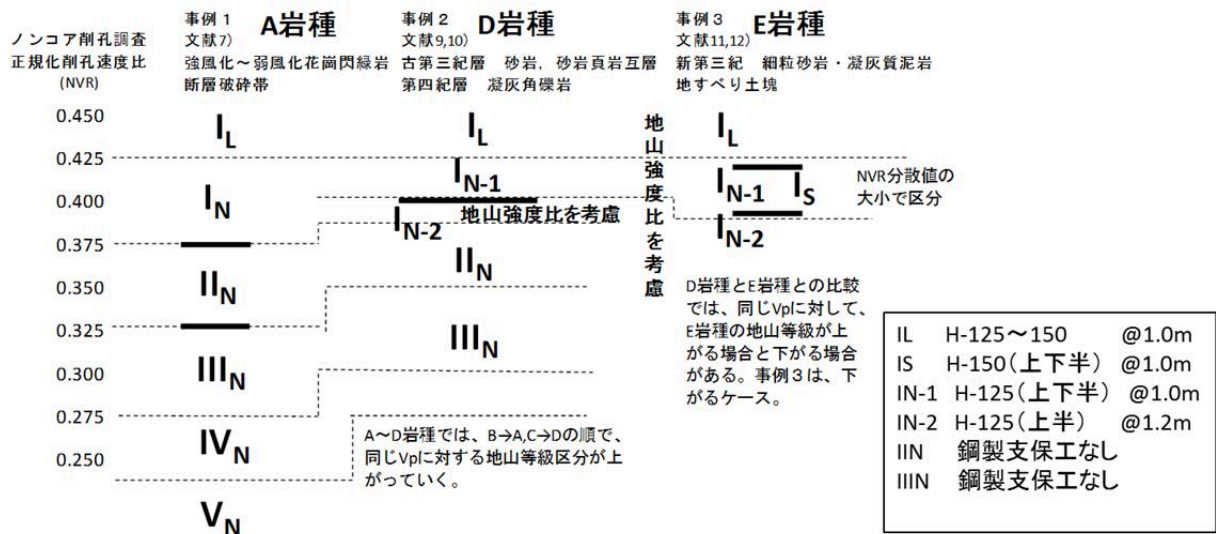


図-12 正規化削孔速度比による鉄道トンネルの岩種と地山等級区分の関係

データが無いので試案として地山等級区分に対して半ランク程の差を設けた。

これらの結果から、以下のような特徴と課題がある。

- ① 正規化削孔速度比から見ると、IN-1、IN-2に相当する範囲はほかの地山等級と比べて狭い。
- ② 事例2および3では地山強度比が大きいので、地山強度比にもとづく地山等級区分のランクダウンは考慮せず、弾性波速度を基準とした地山等級区分に従っている。
- ③ 鉄道トンネルでは地山等級区分は岩種やトンネル断面積の違いにより少しずつ異なる^{13),14)}。今回の報告では事例1が他の事例2、3と比べて断面形状がやや異なるが、このような断面形状の違いに対する検討は今回行っていない。
- ④ 地山の岩種の違いに伴い地山等級の境界値が若干変動するが、3事例の平均的な境界線（境界値）を設定することは可能であると考えられる。
- ⑤ すなわち、ノンコア削孔の解析結果にもとづいた地山等級区分は、表-1に示すとおりである。

表-1 ノンコア削孔調査による鉄道トンネルの地山等級と正規化削孔速度比との対比

地山等級	解析結果 (正規化削孔速度比)	備考	
IL	0.425～		
IN	0.380～0.425	IN-1	0.400～0.425
		IN-2	0.380～0.400
IIN	0.340～0.380		
IIIN	0.290～0.340		
IV	～0.290		

支保パターンは現場の特性を考慮した仕様が採用されることがあるので、ノンコア削孔の解析結果から支保パターンの推定を行う際には現場特性を十分に考慮する必要がある。このため、ノンコア削孔調査を行う場合、探査開始当初に地山等級の判定基準の確認を行っている。解析結果や地山判定の分解能などに関するデータベースにもとづき、該当工事に最適な判定基準を設定するために、境界値の微調整を行っている。表-1の適用に際しては、とりあえずこのような運用上の対応により予測精度の確保が可能であると考えている。

4. まとめ

本報告では、ドリルジャンボによるノンコア削孔データを利用した鉄道トンネルの地山等級区分の予測方法と精度について考察を行った。

今回の検討対象は3事例（探査区間総延長約5km）であるが、硬岩の花崗岩類、古第三紀層の堆積岩類、新第三紀層の地すべり土塊を構成する堆積軟岩などからなり、各種の地質条件を含んでいる。前方予測はノンコア削孔データの削孔速度変換解析システムにより行ったが、3事例の検討結果は概ね調和的であった。

今回の検討結果から地山等級区分がある程度予測可能であることと、今後の検討課題が明確になった。現状での課題としては以下の2点があげられる。

- ① 各地山等級の境界値を最終的に確定するためには、今後さまざまな地質条件下で継続的に多くのデータを蓄積し、より精度を向上させることが不可欠である。
- ② 今回は断面形状が異なるデータを対比していることから、今後は断面形状も考慮した検討も進める必要がある。

今後もよりの確な支保パターン選定のため、ノンコア削孔調査による地山評価の精度と信頼性を高めていきたい。

参考文献

- 1) 稲川雄宣，畑 浩二，桑原 徹，中岡健一：ノンコア削孔による切羽前方予測技術の基礎的研究ー大型花崗岩供試体を利用した削孔実験ー，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学報告集第16巻，pp.107-112，2006。
- 2) 桑原 徹，畑 浩二，稲川雄宣，平川泰之：変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学論文集第18巻，pp.1-10，2008。
- 3) 桑原 徹，畑 浩二，玉井昭雄，田湯正孝：ノンコア削孔トンネル切羽前方探査による地山強度比の推定，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学報告集第19巻，pp.145-156，2009。
- 4) 桑原 徹，畑 浩二，玉井昭雄：ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査，土木学会第65回年次学術講演会，第VI部門 039，pp.41-42，2010。
- 5) 桑原 徹，中西隆司，関山健一，三橋賢久：ノンコア削孔トンネル切羽前方探査システム「トンネルナビ」による軟弱地山の前方探査，土木学会建設技術研究委員会，土木建設技術発表会2010概要集，pp.221-228，2010。
- 6) 桑原 徹：ノンコア削孔切羽前方探査技術「トンネルナビ®」，国土交通省北海道開発局 平成23年度北海道開発技術研究発表会「特別セッション」実施報告，2012。
- 7) 村上 明，島 哲也，桑原 徹，田湯正孝：ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査，トンネルと地下，Vol.43，no.6，pp.495-504，2012。
- 8) 渡辺 隆，古谷佳久，山本武史，村上 明：完成をむ

かえた山梨リニア実験線（延伸区間）のトンネル群，
トンネルと地下， Vol.44, no.4, pp.251-258, 2013.

- 9) 田中康司, 高田民夫, 桑原 徹, 畑 浩二, 野頭 浩明,
藤川 博樹：九州新幹線(西九州), 鈴田トンネルにお
けるノンコア削孔切羽前方探査, 土木学会第67回年次
学術講演会講演概要集, III-092, pp.183-184, 2012.
- 10) Toru Kuwahara, Koji Hata, Koji Tanaka, Hiroaki
Nogashira, and Hiroki Fujikawa : New Ground Evaluation
and Construction Management Using Geological
Prediction Ahead of the Tunnel Face in Mountain
Tunnelling , First Arabian Tunnelling Conference 2013,
2013.
- 11) 山崎貴之, 浦川博臣, 後藤隆之, 黒川尚義, 桑原 徹：
ノンコア解析による地滑り土塊のトンネル切羽前方

探査, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, III
-093, pp.185-186, 2012.

- 12) 山崎貴之, 加藤建二, 後藤隆之, 黒川尚義, 桑原 徹：
地すべり土塊を対象とした短尺・中尺ノンコア解析に
よるトンネル切羽前方探査, 土木学会トンネル工学委
員会, トンネル工学報告集第22巻, pp.133-142, 2012.
- 13) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針, 1996.
- 14) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計
施工標準・同解説, 2008.

(2013.9.2 受付)

Examination of the precision about geological prediction ahead of the tunnel face using exploration drilling in the mountains tunnels

Toru Kuwahara, Koji Hata, Masahiko Akasawa

Non-core drilling exploration using a drifter mounted on a hydraulic wheel jumbo, which can be always available without stopping face advance, is often carried out for the geological prediction ahead of the tunnel face in the mountain tunneling. The authors discussed on the method to estimate ground classification for the improvement of the predictive precision, based on three case studies of exploration drilling in this paper. Granodiorite, alternations of sandstone and shale, fine grained sandstone are respectively distributed in the ground of the case studies. Conversion Analysis of Non-core Drilling Velocity is used for data analysis of non-core drilling, and we confirmed predictive precision of the tunnel ground classification from a comparison between prediction and excavating result. We also discussed on the results of prediction, including the rock class which is defined by geologic time, rock species, and uniaxial compressive strength. As a result, non-core drilling exploration is applicable to a judgment of ground classification. An accumulation of exploration data and relationship between sectional shape and ground classification were left as further problems.

