

ボーリング孔壁画像を用いた岩盤強度推定法の トンネル切羽前方調査への適用

中西昭友・進士正人

An applicability of tunnel mechanical prediction by using Borehole Image Data

NAKANISHI Akitomo and SHINJI Masato

Abstract

It is quite effective to know the geological condition and the mechanical characteristics of rock mass before tunnel excavation. Therefore, a seismic explosion techniques and an investigation of the mechanical parameter during the excavation using the drilling machine was applied to identify the strength of the ground. The authors proposed how to evaluate the deformation character of the rock mass from the Rock Mass Classification by using Rock Mass Rating System proposed by Bieniawski. According to this method, the deformation characteristics of rock mass can be evaluated by means of the borehole image data of non-core horizontal rotary percussion boring. Therefore, a cheap and reliable geological prediction becomes possible.

The field examination was applied, and the applicability was confirmed about the application to the tunnel prediction due to this method.

要 旨

トンネル切羽前方の地質や岩盤の力学特性を施工前に知ることは、トンネル施工を合理的にかつ安全に実施するために極めて有効である。そのため、弾性波探査を応用して切羽前方の地質の違いを探査する方法や、トンネル施工で通常用いられる削岩機を用いて、地山の強度を調べる方法が開発され利用されてきた。著者らは、BieniawskiのRock Mass Ratingを用いて、岩盤分類から岩盤の変形特性を評価する方法を提案している。この方法を用いると、ノンコア掘削による水平ボーリングの孔壁画像から、岩盤分類を実施し、岩盤の変形特性を評価することができ、安価で確実なトンネル切羽前方調査が可能となる。

この方法のトンネル前方調査への適用性について、現場試験を実施し十分な実用性を確認した。

キーワード：孔壁画像，岩盤評価，変形特性，切羽前方調査

1 はじめに

山岳トンネル工法では、トンネル支保部材の適否や切羽の安定性は地質状況に大きく依存する。従って、地質を精度良く推定・評価することが合理的かつ安全な施工を進める上で極めて重要である。しかしながら、トンネルは、地下深部に建設される線状構造物であり事前調査を密に実施することは経済的に難しい。従ってそこで得られる情報は一般に限りがある。その結果を受けてトンネル設計が行なわれているため、施工中に支保修正するケースが多く見られる。また、従来弾性波探査等により大規模な破碎帯（低速度帯）が予想される場合には、トンネル施工中に先進ボーリングによってコアを採取し、地質状況を調査する方法が行われてきた。しかし、この方法では、多大な費用と時間を要し、またボーリング作業中は切羽作業の中止が余儀なくされることから、工事の進捗にも大きな影響を与えていた。

そこで切羽前方の地質予測を簡便・迅速かつ合理的に行える手法の確立が望まれている。

現在では、

- 1) トンネル坑内から反射法弾性波探査を利用した切羽前方探査
- 2) 穿孔エネルギーから切羽前方地山の硬軟を判断する穿孔エネルギー法
- 3) 画像処理を用いた切羽評価
- 4) 従来型の水平ボーリング

などが考えられているが、何れも実用的には問題の多いものと思われる。一方、岩盤に発達する不連続面の量から、岩盤の力学特性を簡便に推定しようとする試みは、岩盤分類として種々提案されている。また、トンネル施工において、切羽観察を行ない、観察結果を定量的に評価して、支保量との対応を検討する試みも実施されている。

トンネル坑内で簡便に岩盤強度を知る方法としては、点載荷試験などのきわめて簡易な試験しか実施できないこと、岩石と岩盤の力学特性が異なることなどから、現段階では、強度特性を直接的に知る方法は極めて少ない。

筆者らは、施工中の切羽前方調査をより有効に活用するため、ノンコア水平ボーリングの孔壁画像から切羽前方の地質情報を画像により入手し、その画像を用いて切羽前方地山の力学特性を推定し、岩盤強度を評価する方法を提案している¹⁾。

そこで、本研究においてはノンコア水平ボーリングと孔壁画像の地質情報処理に基づく孔壁岩盤の力学評価の方法を実際のトンネルに適用し、本手法が、十分に実用

性のある調査法であることを検証する。

2 切羽前方調査の現状技術

現状の切羽前方探査・調査手法の現状を以下に示す²⁾。ここでいう切羽前方探査・調査手法の意味は、トンネル切羽から実施できる探査・調査手法を示すものであり、事前調査段階で実施可能なものは除いている。

2・1 坑内反射法弾性波探査

トンネル坑内で起振をおこない、切羽前方の破碎帯や地層の変化など、岩盤強度の変化面で反射する弾性波を受振器で受振し、弾性波速度と反射波の伝播時間から反射面の位置・規模および性状などの地質構造を探査する方法である。

起振方法並びに起振点や受振点の数や配置方法などで以下に示すそれぞれの方法がある。

・TSP法【Tunnel Seismic Prediction】

TSP法は、Amberg社が開発し、製品化した方法である。受振点を固定し、起振点の位置をトンネル坑内でずらしながら弾性波を記録する。受振点、起振点はそれぞれ1点ずつであり、計測に相対的に時間が掛かるが測定器はコンパクトである。

・HSP法【Horizontal Seismic Profiling】

この技術は、土質調査において適用される探査技術VSP法（Vertical Seismic Profiling）をトンネルに応用したものであり、トンネル坑内に受振点を直線に沿って連続的に多数配置し、トンネル坑内で起振した弾性波を受振する。

TSP法、HSP法など弾性波による探査は、弾性波が強度変化点で反射する性質を有する点を利用して、受振点に到達する時間から反射面の位置を同定する方法である。この方法では以下に示す仮定がなされており、これらの仮定による誤差が探査結果に影響を与える。

- (1) 探査区間において弾性波速度は一定である。
- (2) 各々の反射面は単一の平面である。
- (3) 反射面とトンネル軸のなす傾斜角は、一つの反射面毎に一定である。

特に、トンネル軸と低角度で交差する反射面の場合、その予測は大変難しいといわれている。

2・2 穿孔エネルギーによる予測

切羽前方に油圧式ロータリーパーカッションドリルで穿孔をおこなう際の計測データすなわち、

- (1) 穿孔エネルギー
- (2) ダンピング圧 (穿孔反力)
- (3) 穿孔速度 (のみ下がり)

を用いてトンネル前方の地山状況の変化を評価するシステムである。

穿孔エネルギーによる手法は、油圧ドリルが穿孔に要するエネルギー (口元における単位時間当たりの油圧ドリルの総仕事量) を計算する。ダンピング圧は、原理的には、穿孔ドリルの打撃エネルギーから岩盤の破壊に要したエネルギーの差分である。これらのデータを連続的に記録すると、図-1 に示すグラフのような地質性状に対応した記録が得られる。

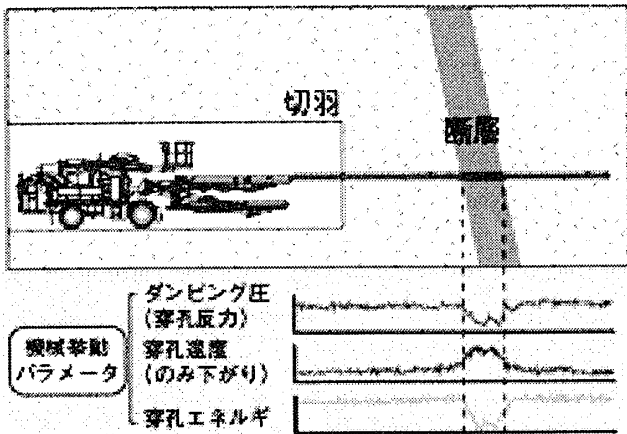


図-1 穿孔エネルギー法による調査概念図³⁾

Fig-1 Investigation conception diagram for tunnel prediction by Perforation Energy System.

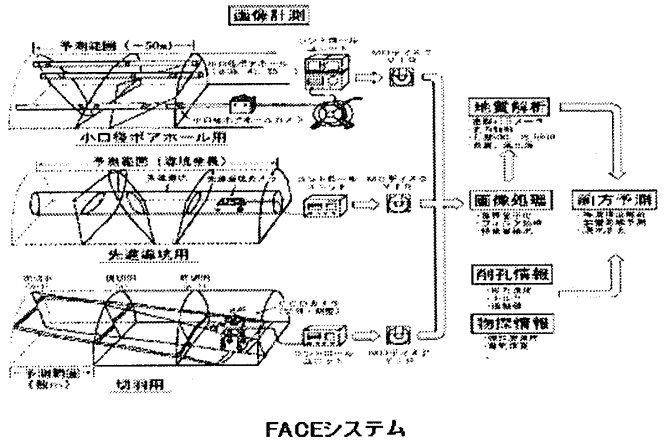
穿孔エネルギー法は、切羽前方の地山の硬軟の判定に有効であり、相対的なデータの活用で支保の設計変更に役立つ可能性がある。しかしながら、切羽前方の岩盤の力学特性を直接把握できるものではなく、あくまでも既施工区間との相対的比較しか行なわないため、切羽前方探査としてはやや問題が残る。したがって穿孔エネルギー法のみを単独で実施しても得られる情報は限定されると考えられる。

2・3 ボーリング孔画像による前方探査

ボーリング孔画像を用いた前方調査は、切羽面ならびに孔を画像処理することにより地質構造を予想する方法である。

ボーリング孔の画像処理法としてFACE⁴⁾がある。FACEはボアホールテレビを使った、孔壁画像からトンネル前方の亀裂解析や走向・傾斜の判定、RQD、岩質、風化程度、地質構造、岩盤等級および湧水等の予測を行うものである。

今後は切羽前方の力学特性の把握が課題となると思われる。また、大口径の場合、孔壁崩壊の危険性に対し、大きなリスクを伴い易い。図-2 にFACEシステム概要図を示す。



FACEシステム

図-2 FACEシステム概要図

Fig-2 Investigation conception diagram for tunnel prediction by FACE SYSTEM.

2・4 水平ボーリングによる切羽前方の地質調査

水平ボーリングは、直接切羽前方の地質をコアとして把握できるため、切羽前方の地質を知る上ではもっとも良い手法である。しかしながら、経済性および施工性の面から現状は敬遠されがちである。また、ノンコアの水平ボーリングを実施することもあるが、直接コアを観察できないため、地質評価の精度としてはコア採取の場合に比較するとかなり落ちるものである。以下に代表的な穿孔方法を示す。

- (1) ワイヤライン工法
- (2) シールドリバース工法
- (3) ロータリーパーカッション工法
- (4) 通常の工法
- (5) 方向性工法

これまで述べた切羽前方探査・調査のうち、現在日本国内において切羽前方探査手法として実績があるのは、TSP法である。これは、比較的容易に実施できるところに最大の長所がある。しかし、TSP法やHSP法は反射法弾性波探査を用いた手法であり、どちらも事前の地質調査の精度に大きく左右されるのが現状である。

切羽前方探査手法の開発は、種々実施されているが、現状の技術レベルでは単独手法だけでは、施工に必要なデータを得ることは難しいと思われる。

以上の結果をまとめると、切羽前方探査における現状

の技術では以下の問題点が考えられる。

- (1) 反射法弾性波探査を用いたTSP, HSP等の切羽前方探査は, 事前調査が重要であり, 単独でこれらの手法を用いるだけでは, 施工時に要求される精度の地質データを明確にすることが容易でない。
- (2) 穿孔エネルギーを利用した切羽前方探査では, 前方地山の硬軟を相対的に概略把握できる。しかし, 穿孔距離が長くなるにつれて探査精度が急激に低下すること, ならびに施工時に要求される力学特性および地質情報を明確に把握することが難しい。
- (3) 孔を利用した画像処理技術では, 施工に対し地質の有効なデータが採取できるが, 力学特性が得られない。
- (4) 水平ボーリングを用いた切羽前方探査では, コア採取および室内試験を実施すれば施工面で要求される力学データは得られるが, 費用および時間がかかる。

3 切羽前方地山の調査法に関する提案

これまで述べたトンネル切羽前方探査の現状を踏まえ, ノンコアの高速方向性ボーリングを実施し, 小口径ボアホールカメラを用いてボーリング孔壁を観察し, 割れ目状態を評価する。また, 点載荷試験を実施し, 岩の強度を評価する。そして, 評価結果から岩盤評価法により岩盤状態を整理し, トンネル切羽前方の岩盤強度情報を推定する調査法を提案する。

その基本的な調査フローを図-3に示す。

この調査法を具体化するため以下の開発を実施した。

3・1 水平孔用ボアホールカメラプローブ

既存のボアホールカメラシステムをベースにプローブの軽量化(従来8kg→800g)と小型化($\phi 50\text{mm} \times 1150\text{mm} \rightarrow \phi 38 \times 500\text{mm}$)をはかった。[写真-1参照] 主な仕様は, 表-1に示す通りである。このプローブの特徴としては, 先端部カメラを交換して前方視観察(ボアホールスコープのカラー化)が可能であり, 前方視観察の場合はビデオ収録だけ(テレビとビデオ)でも可能である。

3・2 孔挿入ツール(水平ウィンチ)

小口径($\phi 50\text{mm} \sim \phi 100\text{mm}$)ボーリング孔用の挿入ツール(水平ウィンチ)をボアホールカメラプローブに装着し, 水平ウィンチ(写真-2参照)により押し込む。従来のボアホールカメラでは, 水平孔に挿入することをあまり想定していないため, ボーリングロッドなどを用いて挿入していた。そのため,

表-1 新型ボアホールカメラの主な仕様
Table-1 Specification of mew model of borehole camera.

仕様	内容
外形寸法	$\phi 38 \times 500\text{mm}$
重量	800g
主な材質	アルミニウム
適用孔径	$\phi 50 \sim \phi 120\text{mm}$
測定深度	100m
光源	面実装型白色LED
使用収録機	ジオロガー-3
電源電圧	72V~90V
耐水圧	50Kpa
許容回転角	$\pm 160^\circ$

<ノンコアのロータリーパーカッションによる水平ボーリング>

2週間~1ヶ月に1回程度の頻度で切羽作業休止期間に実施する。



<ボーリング孔の孔壁展開画像撮影>

ボアホールカメラにより, 孔壁展開画像を撮影し, 切羽前方の地質状況および力学特性を的確に評価する。

・ボアホールカメラ挿入ウィンチの導入

迅速に画像を撮影するために, 水平孔にボアホールカメラをすばやく挿入するための挿入ウィンチを導入する。このウィンチを使って別の検層装置を押し込むことも可能である。



<切羽前方の力学特性分布の表示>

孔壁画像から, 不連続面を抽出し, その結果からRMR(Rock Mass Rating)を評価する。RMRと岩盤変形係数との相関式を用いて, 切羽前方の力学特性の分布として表示する。

図-3 切羽前方調査フロー

Fig-3 Flowchart of tunnel prediction that we suggest.

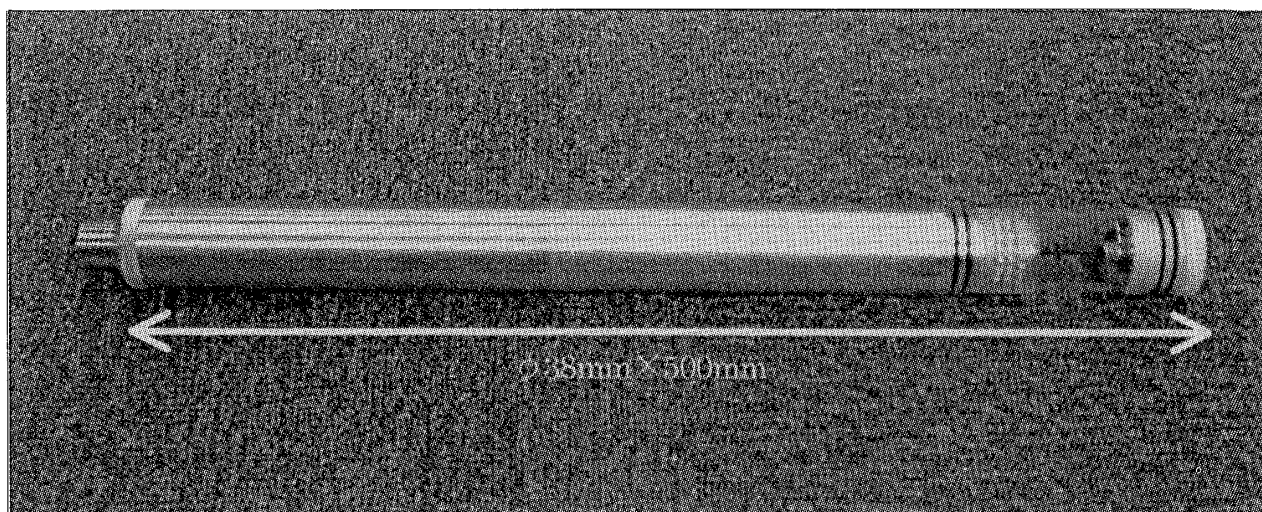


写真-1 新型ボアホールカメラ
Photo-1 New model of borehole camera

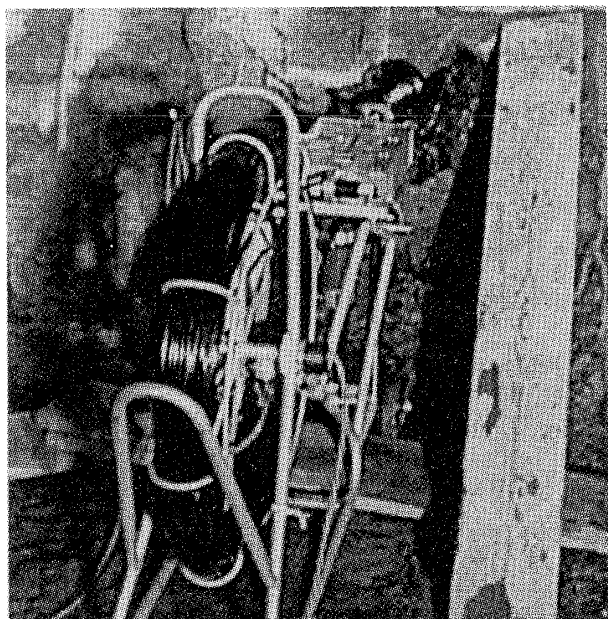


写真-2 水平ウインチ挿入状況
Photo-2 The insertion situation of borehole camera by a horizontal winch.

- 1) 狭い作業スペースでの作業が難しい。
- 2) ボアホールカメラ挿入のための作業時間がかかる。などの問題があった。この水平ウインチは、高剛性をもつロッドを強制的に巻いて製作したもので、100mまでボアホールカメラを自動的に押し込むことができる。これにより、従来のロッドによる押し込み方式と比較して、高速化、自動化および省力化を図ることができた。

3. 3 画像処理システム

画像処理は、ボアホールカメラに付属しているGMI社製孔壁画像処理ソフトに改良を加え、画像処理結果から直接岩盤強度を評価できるようにした。壁画像処理ソフトは、写真-3に示すように、コアの3次元状況表示や、不連続面の走向・傾斜を測定するための不連続面の同定を簡便に実施できる。

3. 4 RMRによる岩盤評価

地質調査では、岩盤の露頭観察や室内岩石試験、あるいは横坑内および孔での地質観察などから、岩盤分類を実施している。また岩盤分類に対応した位置で平板載荷試験や孔内載荷試験といった原位置試験を実施し、各分類の代表的な変形係数として取り扱うことが一般的に行われている。この岩盤分類は、ある幅を持った分類手法であり、定量的に力学物性値を求めることはできない。

一方、岩盤の定量的評価法として、Bieniawskiは、1973年にRock Mass Rating (RMR) 法を開発し、その後Bieniawski自身が修正を加え、表-2に示すような形式(1989)⁵⁾になった。日本では、日本道路公団が従来から実施していた切羽観察を支保パターンとの関係において統計的に処理することで、『新切羽評価点法』(1996)⁶⁾を開発し、トンネル切羽の岩盤を定量的に評価する手法として適用を開始している。

3. 5 RMRによる岩盤の定量的評価

岩盤評価法の一つであるRMR法から、岩盤の変形係数を推定する方法はこれまでいくつか提案されている。

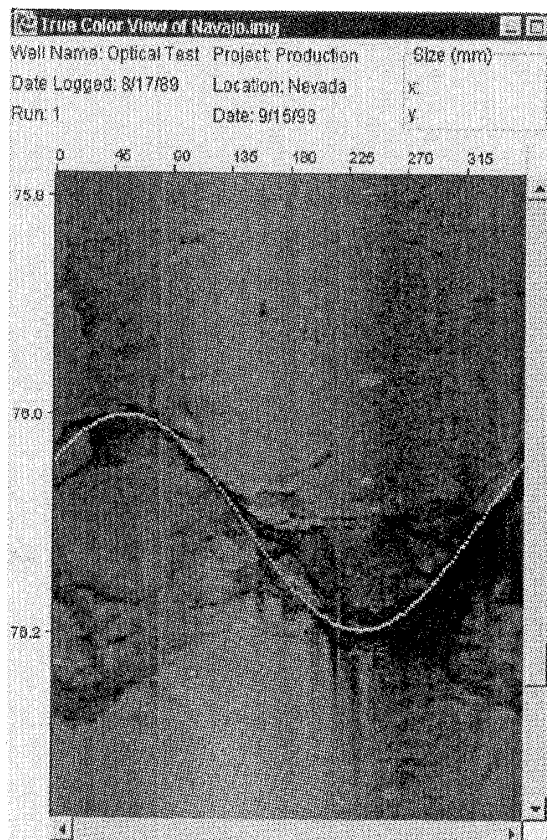
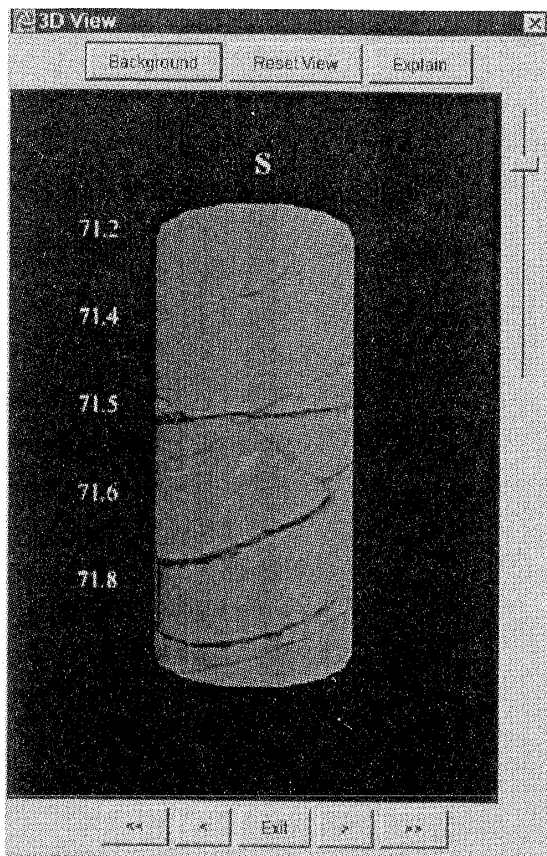


写真-3 孔壁画像処理ソフト (GMI Imager)

Photo-3 Handling soft of borehole wall Image. (GMI Imager)

$$E_m = 2 \times RMR - 100; RMR \geq 50 \quad (1)$$

$$E_m = 10 \cdot 10^{\frac{RMR-10}{40}} \quad (2)$$

$$E_m = \sqrt{\frac{qu}{100}} \cdot 10^{\frac{RMR-15}{40}} \quad (3)$$

ここで、 E_m (GPa) は、岩盤の変形係数であり、 qu (MPa) は岩石の一軸圧縮強度である。

最初に提案されたのは、式(1)であり、主に良質な岩盤 ($RMR > 61$) に適用されるが、一般的には、算出された推定値は平板載荷試験より得られた結果より大きい。またRMRの低い岩盤や、著しく破碎された岩盤、礫混じりの軟岩などのように、RMRの値そのものが評価できない不良岩盤を含めてHoekは岩盤の状態に応じた新たな分類方法(GSI法)を提案し、岩盤の強度特性を評価する定数をGSIの値で表現できる式を提案している。SonmezらはGSIのあいまいな部分を修正し修正GSI法(1999)⁷⁾として再提案を行っている。

ここでは、岡部ら(1999)⁸⁾が提案しているRMRを用いた変形係数の推定式を用いる。すなわち、櫻井による岩盤の限界ひずみと岩石の限界ひずみがほぼ等しいという仮定を用いて、Hoek-Brownの破壊基準を元に、RMRから岩盤の変形係数を推定する方法を導く。

以下にその手順を示す。

Hoek-Brownの破壊基準

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \cdot qu \cdot \sigma_3 + s \cdot qu^2} \quad (4)$$

より、岩盤の一軸圧縮強度 σ_{cm} (式(4)に $\sigma_3=0$ を代入して得られる)は、岩石の一軸圧縮強度 qu と以下の関係がある。

$$\frac{\sigma_{cm}}{qu} = \sqrt{s} \quad (5)$$

ここで、 m 、 s は岩盤の強度定数である。また、 σ_1 と σ_3 はそれぞれの最大、最小主応力である。

一方、 $\sigma_{cm} = E_m \cdot \epsilon_{mf}$ 、 $qu = E_0 \epsilon_{of}$ の関係式が成り立つため、 $\epsilon_{of} = \alpha \epsilon_{mf}$ を仮定すれば、式(5)より、

$$E_m = \alpha E_0 \sqrt{s} \quad (6)$$

が得られる。

ここで E_m 、 ϵ_{mf} は岩盤の変形係数と限界ひずみであり、 E_0 、 ϵ_{of} は岩石の変形係数と限界ひずみである。また、 α は岩石の限界ひずみと岩盤の限界ひずみとの比率であり、先の櫻井の考え方によれば、 $\alpha = 1$ となる。

そこで、Hoek-Brownが提案した s とRMRの関係式

$$s = \exp\left[\frac{RMR-100}{9}\right] \quad (7)$$

表-2 RMR評価法 (1989)
Table-2 Rock Mass Rating Method(1989)

分類パラメータ		評 価 区 分							
1	インタクトロックの強度	ポイントロード強度指数	>10MPa	4-10MPa	2-4MPa	1-2MPa	この範囲は一軸圧縮試験が望ましい		
		一軸圧縮強度	>250MPa	100-250MPa	50-100MPa	25-50MPa	5-25MPa	1-5MPa	<1MPa
	評価点	15	12	7	4	2	1	0	
2	コアの性状 (RQD)	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	評価点	20	17	13	8	3			
3	不連続面の間隔	>2m	0.6-2m	200-600mm	60-200mm	<60mm			
	評価点	20	15	10	8	5			
4	不連続面の状態	非常に粗い肌連続している密着している新鮮な	少し粗い肌間隙幅<1mm少し風化した肌面	少し粗い肌間隙幅<1mm強風化肌面	滑り面の肌または断層粘土<5mm, または間隙幅1~5mm	軟らかい断層粘土>5mmまたは間隙幅<5mm			
		評価点	30	25	20	10	0		
5	地下水	トンネル10m当たりの湧水量	無し	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		比 (節理水応力/主初期応力)	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		一般状況	完全乾燥	湿っぽい	濡れている	滴水	流水		
	評価点	15	10	7	4	0			

表-3 主な検証試験の調査項目

Table-3 Investigation item in inspection examination.

調査項目	主 目 的
コアボーリング	コア採取, 孔内試験等実施孔
コア観察	コアRMRの評価
孔壁観察	孔壁RMRの評価
孔内载荷試験	原位置試験(変形係数)
PS検層	トンネルゆるみ範囲推定
一軸圧縮試験	変形係数の推定に利用
ポイントロードテスト	一軸圧縮強度との関係確認
超音波伝播速度測定	事前弾性波探査速度およびPS検層等との関連確認

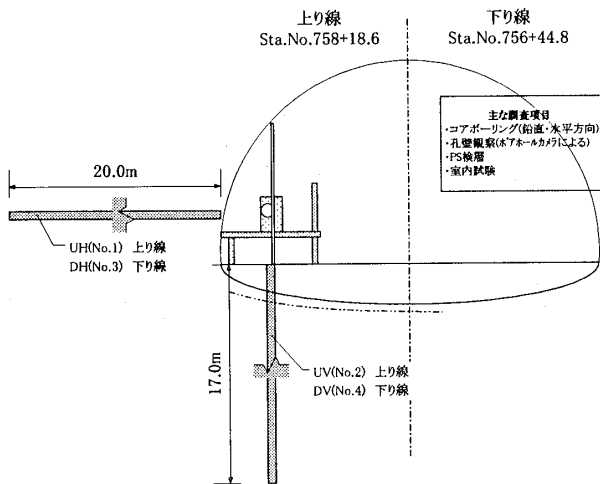


図-4 調査位置概要図

Fig-4 Investigation point in inspection examination.

を式(6)に代入すれば,

$$E_m \approx E_0 \sqrt{\exp\left[\frac{RMR-100}{9}\right]} \quad (8)$$

の推定式が導かれる。この式は、岩盤の変形係数が、岩石の変形係数と孔壁のRMRから推定できることを示している。

4 検証実験

検証実験¹⁾を実施したトンネルは、日本道路公団が現在施工中である第二東名高速道路の静岡第二トンネルである。静岡第二トンネルの地質は、古第三紀漸新世~中新世前期の瀬戸川層群であり、試験位置の地質は、固結度の高い泥岩が主体であった。検証実験は図-4に示すように、上り線、下り線2本のトンネルに鉛直、水平

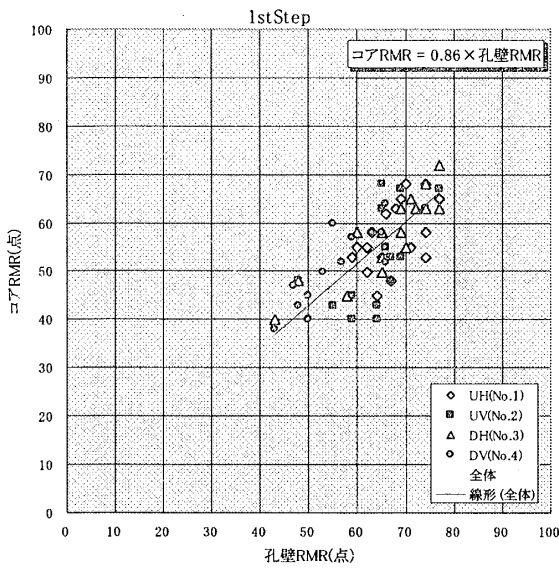


図-5 孔壁RMRとコアRMRの相関

Fig-5 Correlation of borehole wall RMR and Core RMR

のコアボーリングを実施し、コア観察と孔壁観察の両者を1m毎に実施しそれぞれのRMRから推定変形係数を算出する。一方、孔において、孔内载荷試験を1mごとに実施する。それらを比較することにより、ここで提案する調査法の適用性を調べた。具体的な試験項目を表-3に示す。

1) コア観察とポアホールカメラ孔壁観察のそれぞれから推定されるRMRの比較

2) RMRから推定した弾性係数と孔内载荷試験の結果との相関

4・1 検証実験結果

図-5に、各孔毎のコア観察から得られたRMR〔以下 コアRMRと示す〕と孔壁観察から得られたRMR〔以下 孔壁RMRを示す〕の相関図を示す。4孔いずれの相関も近似しており、4孔全体の線形近似により求められた近似直線は、式(9)のようになる。

$$\text{コアRMR} = 0.86 \times \text{孔壁RMR} \quad (9)$$

この図から明らかなように、RMRの評価点には不連続面が強く影響するので、コア観察の方が不連続面の影響をより強く受け、より低い値を示すことがわかる。しかし、コアRMRと孔壁RMRには強い相関性があることがわかる。従って、ノンコアによって孔壁画像しか得られていない場合においても、上記関係式を別途定めることで、コアRMRを推定できる可能性があることがわかる。

次に、深度毎のRMRの各配点、孔壁観察のRMRから求めた変形係数〔以下 E_{RMR} と示す〕と孔内载荷試験結果から求めた変形係数〔以下 E_{ELT} と示す〕との比較の一例を図-6および図-7に示す。

これらの図から、 E_{RMR} はRMR値の大小を強く反映している。また、孔内载荷試験の結果とRMRの推定値は、ほぼ一致し、孔壁観察から孔内载荷試験による変形係数が推定できる可能性を示している。

これらの調査結果および孔内载荷試験から得られた変形係数の相関を各孔の平均値で整理したものを図-8に

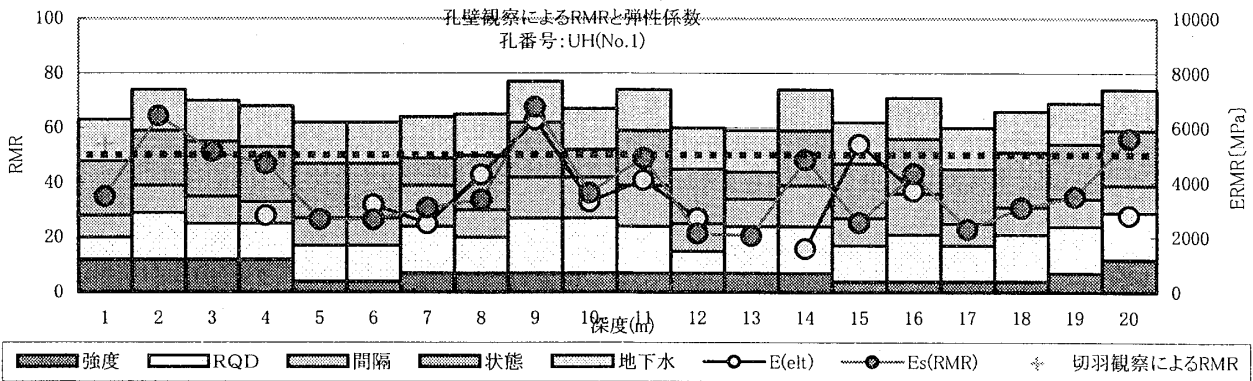


図-6 上り線水平孔での結果

Fig-6 As a result of RMR etc. in UP Line inspection examination.

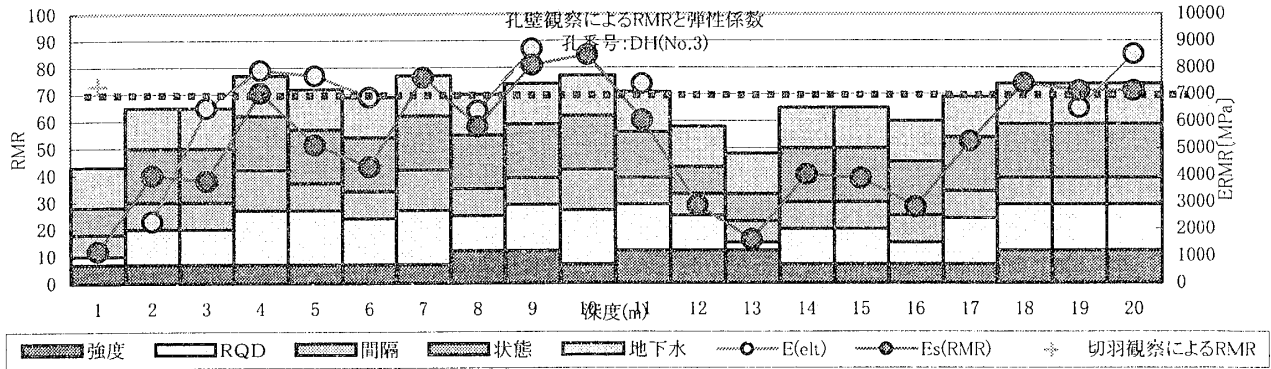


図-7 下り線水平孔での結果

Fig-7 As a result of RMR etc. in Down Line inspection examination.

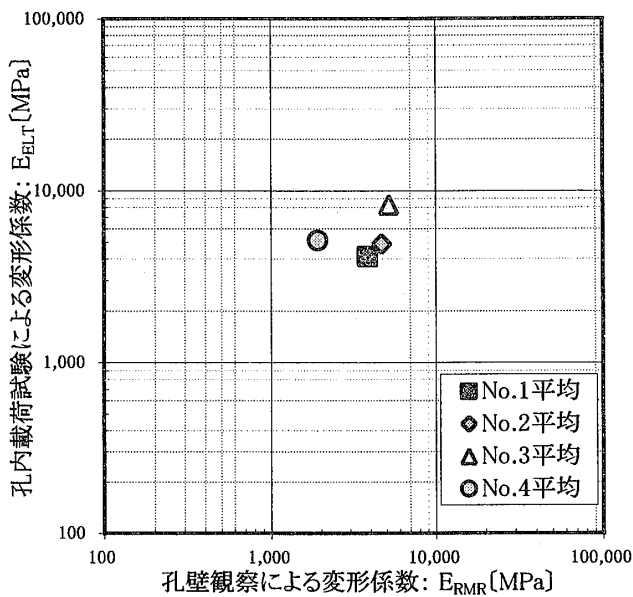


図-8 RMRから推定した変形係数と孔内载荷試験との関係
Fig-8 Correlation of deformation coefficients by in situ measurement and by evaluated

示す。この図の横軸は、孔壁観察結果より算出した変形係数であり、縦軸は孔内载荷試験結果より得られた変形係数である。また、プロットされている4点は各ボーリング孔での平均値を採用した。

この図から、孔壁観察結果から算出した変形係数 E_{RMR} と原位位置試験として採用した孔内载荷試験結果の変形係数 E_{ELT} とは、工学的にほぼ一致していることがわかる。従って、孔壁観察結果としてRMR法による評価を実施し、式(8)を用いて推定した変形係数は、孔内载荷試験結果とほぼ同等に扱えることがわかる。

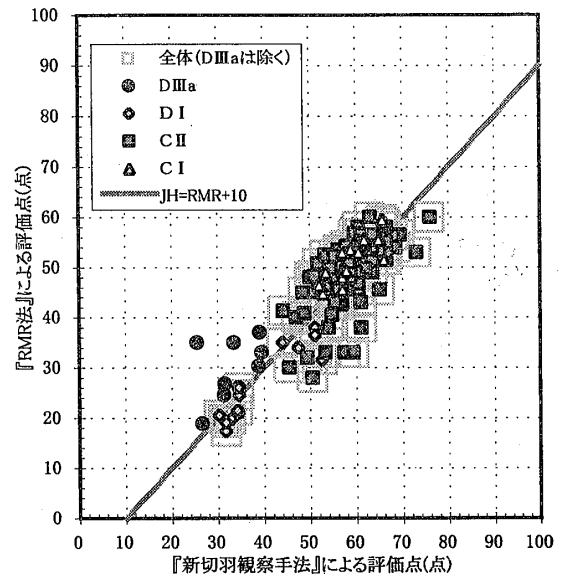


図-9 新切羽評価法とRMR法による評価の関係
Fig-9 Correlation of evaluating Rock Mass by JH Method RMR Method.

ただし、RMR法は、著しく破碎された岩盤、礫混じりの軟岩、RMRの値そのものが評価できないような不良岩盤では評価が難しい。今回実施したボーリングコアを用いて、RMR法とは別に、日本道路公団が日本の地質に対応する地山評価法として開発した新切羽観察点法を用いての評価も実施した。その結果を図-9に示す。この図は、横軸に新切羽評価点法による評価点、縦軸にRMR法による評価点を示したものである。この図から、RMR法では、 $RMR < 40$ において、地山が良好に評価される傾向が見られる。従って、低いRMRのケースにおいては、JH評価点を併用することも考えられる。

5 今後の課題

最後に、ここで提案しているノンコアおよび孔壁観察を切羽前方調査手法のより有効な調査法として確立するためには、以下に示す課題を解決する必要がある。

1) 提案式(8)の適用範囲の明確化

現在のところ岩盤の評価手法としてRMRを用いる方法を採用している。RMRは硬岩～中硬岩の評価手法として活用されている。従って日本のような脆弱な地質が分布するところにおける適用範囲が限られると思われる。実際、図-9にも示すように40点以下の評価になると新切羽評価点との相関にバラツキが発生している。したがって、40点を境界に新切羽評価法やGSIという岩盤評価法の適用を今後検討する必要がある。

2) 同じ孔を用いた物理検層装置の開発

ボアホールカメラでは評価しにくい潜在クラック（マイクロクラック）があるような地質における評価も現実問題として評価する必要がある。そこで、ボアホールカメラ実施孔において、評価を細分することを主目的とした物理検層の導入を行い、複数のデータによる総合的な検討が必要と思われる。

参 考 文 献

- 1) 中西昭友, 進士正人, 伊藤哲男, 赤木渉: 岩盤評価点を用いた弾性係数の推定に関する実証試験, 土木学会第55回年次学術講演会, III-B61, 2000
- 2) ジオフロンテ研究会 『トンネル切羽前方探査技術技術資料』1997年11月
- 3) 西松建設株式会社ホームページより <http://www.nishimatsu.co.jp/frame.htm>
- 4) トンネル切羽前方の地質予知システム (FACE) 奥村組ホームページより <http://www.okumura-gumi.co.jp/>
- 5) Bieniawski, Z.T. : Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, New York, 1989
- 6) 八木弘, 三谷浩二, 赤木渉: 新しい切羽評価手法の提案について, 第23回日本道路会議 一般論文集(B) 4057, (株)日本道路協会, pp.200-201, 1999
- 7) Sonmez, H., Ulusay, R. : Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes, International Journal of Rock Mechanics

and Mining Sciences, 36, pp.743-760, 1999

- 8) 岡部幸彦, 進士正人, 呉 旭, 川本 ? 万: RMRによる岩盤の変形係数の推定, 土木学会論文集, No.652, III-51, pp.283-286, 2000