

トンネル切羽判定手法による支保の選定結果と 事前調査結果の対比

NEW ROCK MASS CLASSIFICATION AT CUTTING FACE AND ITS APPLICABILITY TO TUNNEL SUPPORT PATTERNS

笹野雅義¹⁾・力武哲郎²⁾・木村正樹³⁾・中垣秀隆³⁾

Masayosi SASANO, Teturo RIKITAKE, Masaki KIMURA, Hidetaka NAKAGAKI

Tunnel support patterns is decided by a geological condition which is estimated by geological survey and these support patterns are change based on the results of cutting face observation and tunnel monitoring at tunnel construction . The authors applied the new system of rock mass classifications which JH made to some tunnel and compared the rock mass classification proposed by this system with the results of electric prospecting , blasting powder volume , and so on . Consequently it is showned that this new system is also very useful in the stage of geological survey and reduces the differences between the designed and adopted support patterns .

Key Words: tunnel , geological survey , support patterns , new rock mass classifications , tunnel cutting face

1. まえがき

トンネルの計画・設計にあたっては、トンネル掘削を対象とする地山状態を十分に把握することが必要となるため、地表地質踏査、弾性波探査、ボーリングおよび坑内試験等の事前調査を実施し、これらの結果に基づいて支保の設計が行われている。しかし、現在、事前調査による支保設計パターンと実施工による支保パターンとが乖離するという問題が生じている。その理由の一つに弾性波探査では地山を良好なものとして評価しやすく、また、切羽の自立性に関わる亀裂の間隔や方向、充填物についての情報が直接得られないなどの問題が挙げられる。

JH(日本道路公団)では、これまでに行われていた岩盤判定表の書式を整理し、岩種ごとに判定の重み付けを替え、割れ目の方向とトンネル切羽の位置関係についても評価した新切羽判定手法を提案し、平成8年10月22日から試行が始まっている。本報告では、和歌山県内の新鹿ヶ瀬トンネルにおけるJH新切羽判定手法と事前電気探査結果の対比した事例について紹介する。

2. 地形・地質概要

今回調査の新鹿ヶ瀬トンネルは和歌山県の日高山脈北側にのびた枝尾根を東西に横切る延長 $L=336\text{m}$ の2車線の道路トンネルである(図-1、図-2)。調査地区の地質は中生代白亜紀日高層群の美山累層であり、地質は砂岩、

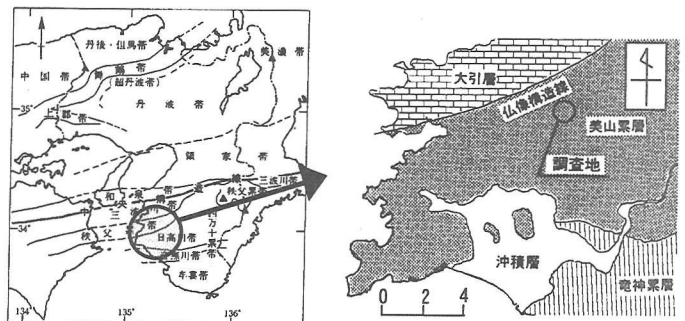


図-1 調査地案内図

- 1) 和歌山県日高振興局
- 2) 三井不動産建設(株)
- 3) 正会員 応用地質株式会社

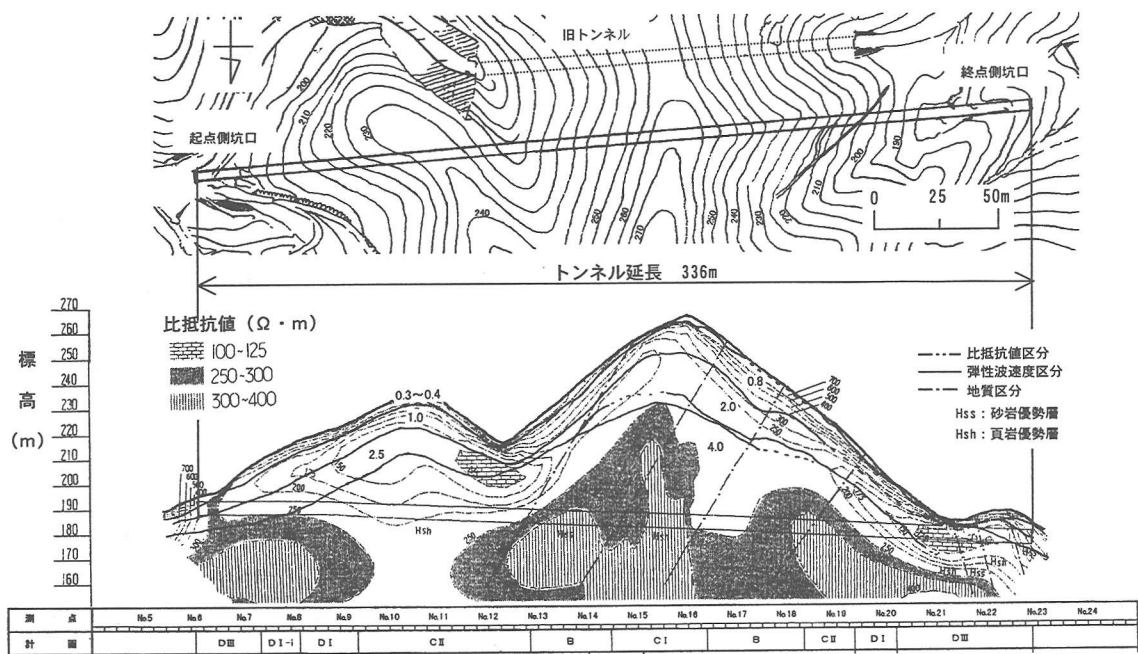


図-2 平面図と事前調査結果縦断面図

頁岩および砂岩・頁岩互層を主体とし、もともと海底に堆積した泥・砂が固結し、地殻変動に伴って隆起したものであり、小断層が発達している。砂岩は硬質であるが規則的な節理が発達しているのに対し、頁岩は軟質で層理面に沿って割れやすい。切羽においてもレンズ状に挟まれる砂岩との境界部の頁岩は劣化し、フィルム状の粘土や地下水の滲み出しを生じる箇所がある。

表-1 切羽観察表の観察項目と評価区分 (JH資料)

観察項目	評価区分					
	100 以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3 以下
A 圧縮 ポインロード 強度 ハンマーの打撃 による強度の目安	4 以上	4~2	2~1	1~0.4	0.4 以下	
	岩片を地面に置き ハンマーでたたき ても割れにくい	岩片を地面に置き ハンマーでたたき れば割れる	岩片を手で持って ハンマーでたたき 割ることができる	岩片どおしをたたき 合わせて割ること ができる	両手で岩片を部分 的にでも割ることが できる	力を込めれば、小 さな岩片を指先で 潰すことができる
	1	2	3	4	5	6
B 風化 実質	顕微鏡 実質は見えない	割れ目沿いの風化実質 実質により割れ目に粘土を挟 む	岩芯まで風化実質 実質により割るまで強度低 下	土砂状風化、赤褐色土砂 薄い実質により全体が土砂 状、粘土化		
	1	2	3	4		
C 割目 間隔	d ≥ 1m RQD 80 以上	1m > d ≥ 50cm 80~50	50cm > d ≥ 20cm 60~30	20cm > d ≥ 5cm 40~10	5cm > d 20 以下	
	1	2	3	4	5	
D 割目 状態	割目は密着している	割目の一部が開口して いる (幅 < 1mm)	割目の多くが開口して いる (幅 < 1mm)	割目が開口している (幅 1~5mm)	割目が開口し 5mm 以 上の幅がある	
	なし	なし	なし	薄い粘土を挟む (5mm 以下)	厚い粘土を挟む (5mm 以上)	
	1	2	3	4	5	
E 走向 傾斜	走向がトンネル軸と 1:差し目 傾斜 45~90°	2:差し目 傾斜 20~45°	3:差し目 傾斜 0~20°	4:差し目 傾斜 20~45°	5:差し目 傾斜 45~90°	
	1:傾斜 45~90°	2:傾斜 20~45°	3:傾斜 0~20°	4:傾斜 20~45°	5:傾斜 45~90°	
切羽 10m 区間での湧水量と水による劣化状態による評価 (劣化は現在および将来における可能性について判定する)						
F 湧水 量	状態 なし、湧水 1L/分以下	湧水程度 1~20L/分	湧水程度 20~100L/分	全部湧水 100L/分以上		
	1	2	3	4		
G 劣化	水による劣化 なし	劣化をみず	微細化	流出		
	1	2	3	4		

3. JH新切羽判定基準

NATMが山岳トンネルの標準工法として定着し、切羽観察の結果が支保を選定する際の定性的な指標として利用されてきた。切羽における岩判定の手法については各機関で設定した観察結果に基づく評価点を参考に実施されてきたが、評価点の算定法 (単純平均法、加重平均法など)、地質区分はま

ちまちであった。

JHでは、新支保パターンの選定に伴い膨大なNATMデータベースをもとに地質ごとの評価点算法を統一し、地山を比較する共通の物差しとして全国的に使用を開始している。(平成8年10月22日試行開始、平成11年4月1日修正追加) この対応区分は2車線断面の全トンネルに適用され、改築3車線断面のトンネルにも準用を目指している。

切羽評価点の算出方法は、表-1の切羽観察表に対応し、岩石グループに配点された表-3により、各評価項目(圧縮強度・風化変質・割れ目の間隔・割れ目状態)の評価区分値に該当する点数を加算する。ただし、今回調査は、修正追加前のH8試行開始時の切羽判定基準を用いて切羽評価点を計算し、支保パターンの選定に用いた。その場合の配点を表-2に示す。この切羽観察表では、切羽を天端中央と左右両肩部の3箇所においてそれぞれ観察を行う。今回調査では「層状」「中軟質岩」に該当する。次に、「湧水量」と「劣化」それぞれの評価区分値の組合せにより表-4から得られるマイナス調整点(湧水調整点)を付加する。ただし、湧水調整点は軟質岩系と層状岩盤系の岩石の場合に適合するものとする。そして、各項目の評価区分値の合計点数+湧水調整点(-)を切羽評価点とする。ここで、採用する切羽評価点は切羽の安定に影響の大きい天端部の重みを2倍にして加重平均したものである。

切羽全体の評価点=(左肩部+天端部×2+右肩部)÷4

支保パターンの選定は図-3を目安として行うが、あくまでも目安であるので個々の現場で選定する際には現場技術者の判断が重要であり、変位量をはじめ地山の特質、状況を考慮のうえ行うものとされている。

表-3 各評価項目の評価区分の配点

圧縮強度	岩質／評価区分		1	2	3	4	5	6
	塊状	硬質岩	36	29	22	14	7	0
		中軟質岩・軟質岩	32	26	19	13	6	0
	層状	中軟質岩	36	29	22	14	7	0
軟質岩		39	31	24	16	8	0	
風化変質	岩質／評価区分		1	2	3	4		
	塊状	硬質岩	19	12	6	0		
		中軟質岩・軟質岩	19	13	6	0		
	層状	中軟質岩	22	15	7	0		
軟質岩		20	13	7	0			
割目の間隔	岩質／評価区分		1	2	3	4	5	
	塊状	硬質岩	19	14	9	5	0	
		中軟質岩・軟質岩	24	18	12	6	0	
	層状	中軟質岩	9	7	4	2	0	
軟質岩		12	9	6	3	0		
割目の状態	岩質／評価区分		1	2	3	4	5	
	塊状	硬質岩	26	20	13	7	0	
		中軟質岩・軟質岩	25	19	12	6	0	
	層状	中軟質岩	33	25	16	8	0	
軟質岩		29	22	14	7	0		

※  が新鹿ヶ瀬トンネルに対応

※平成11年4月1日試行

(データ解析により順次更新されている)

表-2 今回切羽判定に用いられた各項の評価区分配点

(岩質:層状、中軟質岩)

評価区分	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	38	29	19	10	5	0
風化変質	26	13	7	0	-	-
割れ目間隔	15	11	8	4	0	-
割れ目状態	21	16	11	5	0	-

(平成8年10月22日試行の配点表)

※現行の配点表は表-2に参照

表-4 湧水量、劣化の調整点

		湧水量の評価区分			
		1	2	3	4
劣化の 評価区分	1	0	0	-5	-10
	2	0	-5	-7	-10
	3	-5	-7	-10	-15
	4	-7	-10	-15	-20

軟質岩あるいは層状岩盤に属する岩石に適用する

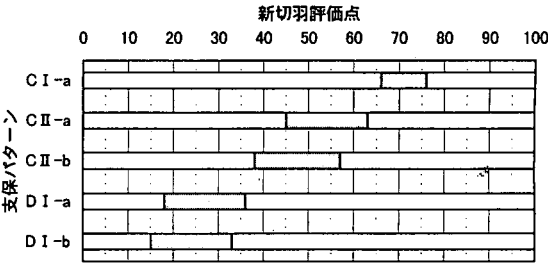


図-3 支保パターン選定の目安

(岩質:層状、中軟質岩)

4. 調査結果

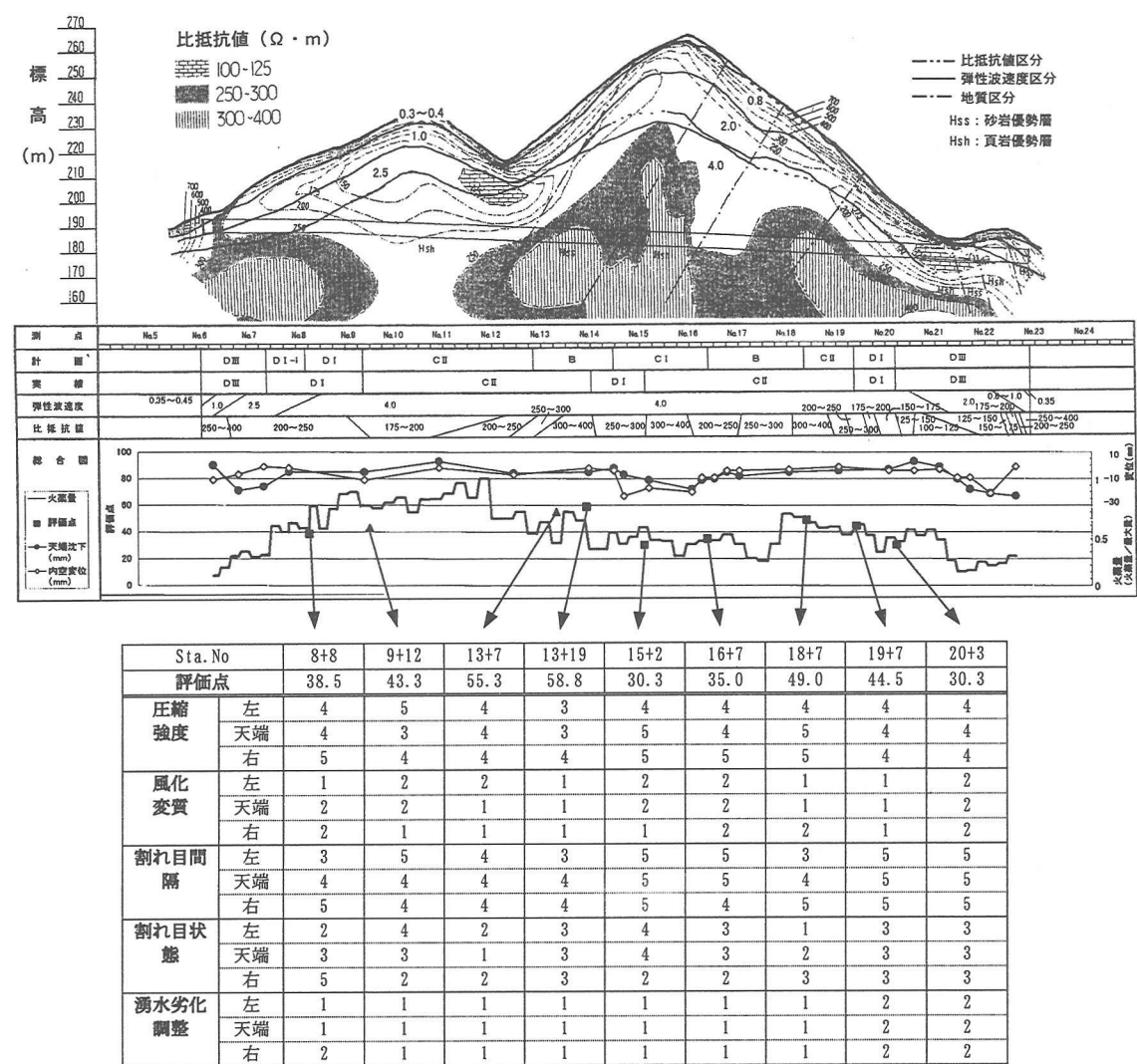


図-4 調査結果総合図と切羽判定の評価点

設計・実績支保パターン、事前調査結果（弾性波速度、比抵抗値）、切羽判定結果、A計測（天端沈下、内空変位計測）、火薬使用量の結果をとりまとめたものと切羽判定の各評価項目の評価区分値を図-4に示す。

天端沈下、内空変位ともに坑口部を除き、概ね 10mm 以下であるが、No. 16 付近で割れ目沿いに粘土が附着し、左側側壁吹付コンクリートに亀裂が発生した区間では 20mm 程度の変位が発生した。このときの岩判定の総合評価点は 20~40 と低くなっている。

掘削に使用した火薬使用量と切羽判定総合評価との関係を図-5にまとめた。一般的には火薬使用量が大きくなるほど切羽の状態が良いと考えられ、火薬使用量が小さくなると評価点が小さくなる傾向が見られる。なお、火薬量は昼方、夜方のオペレーターの個人差を平均化するために4発破（ほぼ1日の掘進に相当）の火薬使用量を平均化し、全区間の1m³あたりの最大使用量を1とした場合の割合で評価した。

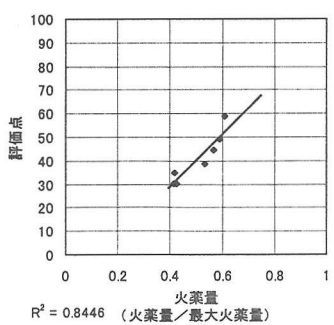


図-5 火薬使用量と切羽判定との関係

事前調査のトンネル天端付近の比抵抗値と切羽観察の評価点との関係について図-6 にまとめた。比抵抗値が高くなるほど評価点が高くなる傾向が見られる。また、比抵抗値と各評価項目の評価区分との関係について図-7 にまとめた。評価区分の値が大きくなるほど、地山状態が悪くなることを示している。「風化変質」「割れ目間隔」「湧水劣化調整」は比抵抗値が大きくなると評価区分値が小さくなる傾向が見られるが、他の評価項目はばらつきが大きい。

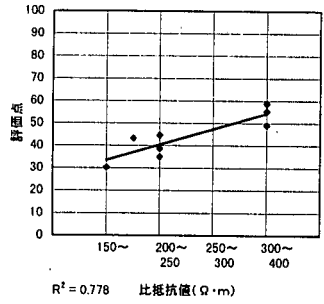


図-6 比抵抗値と切羽判定評価点との関係

また、測点 5m 毎の支保パターンと事前調査結果のトンネル天端付近の弾性波速度及び比抵抗値の関係をそれぞれ整理し図-8 にまとめた。弾性波速度では 4.0km/s で CⅡ で施工したが、DⅠ も殆ど同じ速度層で施工されている。比抵抗値で整理すると 175~200Ω·m 以下で DⅢ の支保パターン (DⅠ、DⅢ) による施工が多く、175~200Ω·m 以上では DⅠ~CⅡ (JH のパターンでは CⅡ-b: 上半鋼アーチ支保工) での施工が多くなっている。

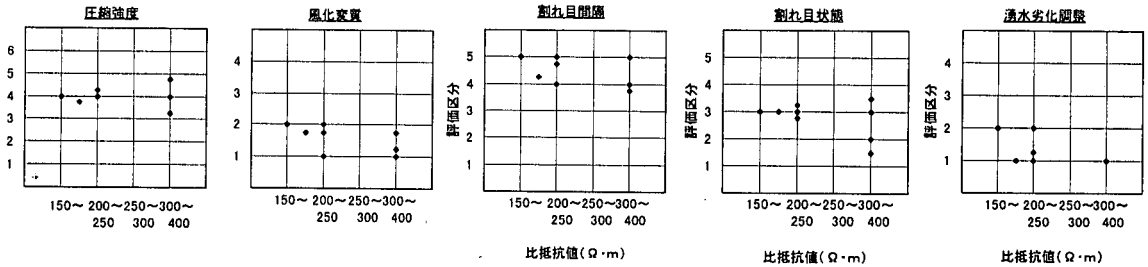


図-7 比抵抗値と切羽判定項目の評価区分との関係

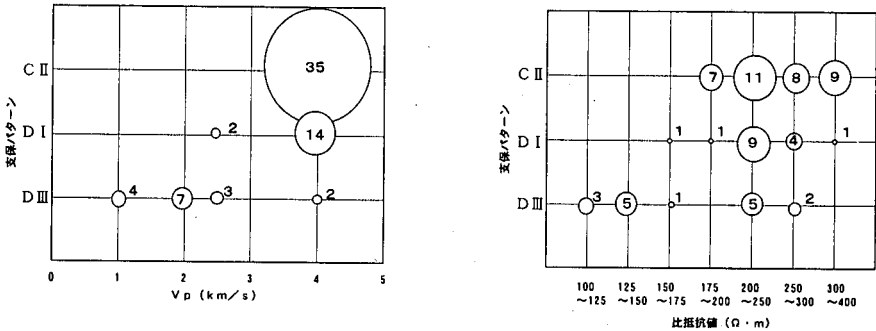


図-8 事前調査 (弾性波速度、比抵抗値) と支保パターン (実績) との関係

5. 考察

(1) A計測とJH切羽岩判定との関係

坑口付近を除き変形が 15mm 以上の区間での切羽判定では各評価項目別に見ると「圧縮強度」「割れ目の間隔」「割れ目の状態」を低く評価した地点であり、特に「割れ目の状態」は他の測点と比べても最も低く評価されており、この評価が地山の変形と関係あることが見受けられる。だが、データが少ないため今後この点に着目したい。

(2) 火薬使用量とJH切羽判定との関係

火薬使用量と切羽判定の評価点には深い関係があることが分かった。今回の新切羽判定基準による切羽判定は設計支保パターンの変更点や地質等の急変点など判定頻度は少ないため、火薬使用量を切羽評価の参考資料として用いれば判定切羽が「たまたま」良いのかここ数日の平均的なものなのか、判断の目安として用いることができる。

(3) 事前調査結果と支保パターン実績

当初、弾性波探査から B、CⅠ、CⅡの支保パターンと設計されていたが、ほとんどがCⅡパターンと判定され、その後、支保の変状などの問題は生じなかった。しかし、弾性波速度と坑口部の数少ないボーリング結果による地質判定では、設計と実績の乖離が生じてしまった。

(4) 事前調査結果の地山比抵抗値と JH 切羽岩判定との関係

今回調査では、切羽判定評価点と比抵抗値には関係があることが分かった。切羽判定の項目別に見ると比抵抗値と関係を持つものとそうでないものがあるが、データが少ないため今後この点に着目したい。

(5) 比抵抗値と支保パターン実績との関係

図-9 に電気探査を実施した今回調査の新鹿ヶ瀬トンネルを含めた 5 トンネルについて支保パターン実績と比抵抗値の範囲との関係を示す。地質が頁岩、泥岩である新鹿ヶ瀬トンネル、石英閃緑岩である A トンネルでは、支保パターンが重くなるほど比抵抗値の範囲が低くなる傾向が見られるが、流紋岩を主体とする B トンネルと C トンネルでは同一の比抵抗値でも異なった支保パターンの評価が行われている。比抵抗値は地下水の水質や金属鉱床の存在によっても異なるため、支保を検討する際には岩種以外の情報を考慮する必要がある。このように、どのような条件下の時にどのような切羽判定の項目と密接な関係を示すか、また、どの程度の比抵抗値を示すかなどの詳細な検討が必要と考えられる。

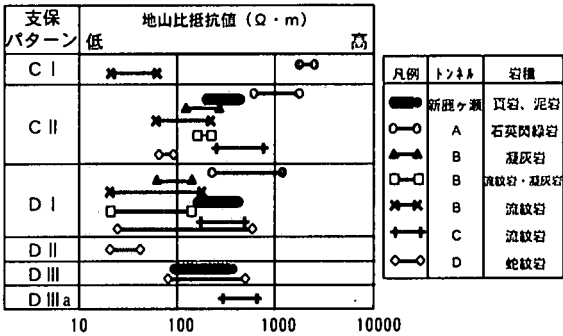


図-9 各トンネルにおける比抵抗値と支保パターン（実績）との関係（文献1）に加筆

6. まとめ

今回調査では、JHの切羽判定と火薬使用量には深い関係があり、切羽評価の目安として火薬使用量を用いることができるかどうか、他のトンネルでも検討したい。また、新鹿ヶ瀬トンネルでは支保パターン選定は弾性波速度よりも比抵抗値との関係が深いことが分かったが、岩種ごとに異なる傾向を示すため、支保パターンを決定する際には比抵抗値以外の他の情報も考慮する必要がある。切羽判定の項目は表-5 に示すように事前ボーリングコアや孔内試験で判定できる項目であり、調査の段階で切羽判定と同じ尺度の評価点で支保設計を行っていくことが調査と実績の乖離を縮小する第一歩と考える。

なお、切羽評価はすべて実績に基づくものであるため、実際の評価においては絶対的ではないことを考慮する必要がある。同じ「頁岩」「泥岩」と呼ばれる地質で油目が発達していても変形が 10mm 以下のトンネルがあったり、判定でCⅡで施工したのに 10cm を越える変形を生じるトンネルもあり、今後、より多くの地山条件について実績との関係を確認していきたい。

参考文献

1) 真下英人・石村利明・宮川順一：トンネルの地山状態と比抵抗値との関係に関する研究、トンネル工学研究論文・報告書第7巻、1997
2) JH切羽判定会資料（JH試験所） 1999.7.28

表-5 切羽判定観察項目と事前調査

切羽判定評価		事前調査
圧縮強度		点載荷試験
風化変質		一軸圧縮試験
割目の間隔		コア観察
割目の状態		ボアホールカメラ
割目の方向		湧水圧測定
湧水量		室内試験
水による劣化		