

新しい切羽評価点法の適用に関する研究

STUDY OF A NEW ROCK MASS CLASSIFICATION SYSTEM

赤木 渉¹⁾・吉塚 守¹⁾・三谷浩二¹⁾・城間博通¹⁾

Wataru AKAGI, Mamoru YOSHIZUKA, Koji MITANI and Hiromichi SHIROMA

Standard tunnel support patterns have been modified at highway tunnel construction sites to be adapted for the real conditions of a rock mass. To apply the modified tunnel support patterns effectively, it is important to establish rock mass classification system and relationship between rock mass quality and tunnel support patterns. Since there has no standard method for observation and evaluation of rock mass at a tunnel face so far, we proposed a new rock mass classification system which was invented by analyzing a database of highway tunnels statistically. This paper presents its application to highway tunnels.

Key Words: tunnel, support, NATM, new rock mass quality, multiplicity of tunnel support patterns

1. はじめに

JH日本道路公団(以下、JHという。)では、トンネル建設の安全性を確保しながら、一層の合理化、経済化を進めるために、切羽における地山の適正な評価と地山に合った支保工の選定を目的として、切羽観察手法と標準支保パターンの見直しを実施した。¹⁾

従来もトンネル掘削時には切羽観察が行われ、変位が小さい場合には支保を選定する際の指標として利用されてきたが、切羽観察の結果から切羽の評価点を算出した事例はあっても、必ずしも統一的、客観的に行われてきたとは言えない。

本報告は、JHが導入した新しい切羽観察手法と新標準支保パターンの施工データを整理分析することにより、算出された切羽評価点に基づく支保選定の目安について検討を行ったものである。

2. 新しい切羽観察表

表-1に新しい切羽観察表を示す。この表は、地山評価の客観性、合理性を目指し、従来の切羽観察表を次のように改良したものである。

JH試験研究所には、過去に施工されたトンネルの計測結果や切羽観察に関するデータが保存されており、それらのデータの切羽観察項目相互間と支保パターンとの関連性を統計分析した。その結果、支保の選定に関して影響度が強く、かつ他の観察項目から独立している4つの観察項目が抽出された(圧縮強度、風化変質、割れ目の間隔、割れ目の状態)。これら4つの観察項目については、現行の評価区分は全て4区分であったが、地山評価がより明確に行えるように一部を細分化した。また、湧水量と劣化の観察項目は、これらの評価結果が岩盤の状況によっては支保の判別に直接影響する場合としない場合があると考えられるため、前述の4つの観察項目による岩盤強度に関する評価に補正を与える観察項目としての位置付けで採用した。

1) 正会員 日本道路公団 試験研究所 道路研究部 トンネル研究室

表－１ 新しい切羽観察表

観察項目		評価区分					
A. 圧縮強度 (N/mm ²)	一軸圧縮強度 ポイントロート	100 以上	100～50	50～25	25～10	10～3	3 以下
	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	
	評価区分	1	2	3	4	5	6
B. 風化変質	風化の目安	概ね新鮮		割れ目沿いの風化変質		岩芯まで風化変質	
	熱水変質 などの目安	変質は見られない		変質により割れ目に粘土を 挟む		変質により岩芯まで強度 低下	
	評価区分	1		2		3	
C. 割れ目 の間隔	割れ目の間隔	d≥1m	1m> d≥50cm	50cm> d≥20cm	20cm> d≥5cm	5cm> d	
	RQD	80 以上	80～50	60～30	40～10	20 以下	
	評価区分	1	2	3	4	5	
D. 割れ目 の状態	割れの開口度	割目は密着している		割目の一部が開口し ている（幅<1mm）		割目が開口している （幅1～5mm）	
	割目の挟み物	なし		なし		薄い粘土を挟む （5mm 以下）	
	割目の 粗度鏡肌	粗い		割目が平滑		よく磨かれた鏡肌	
	評価区分	1		2		3	
F. 湧水量	状態	なし、湧水 1ℓ/分以下		滴水程度 1～20ℓ/分		集中湧水 20～100ℓ/分	
	評価区分	1		2		3	
G. 劣化	水による劣化	なし		緩みを生ず		軟弱化	
	評価区分	1		2		3	

なお、新しい切羽観察表では、切羽断面を天端と左右との3つに分割し、それぞれについて評価区分のデータを取ることにしている。

表－２ 分析対象データの内訳

3. 新切羽観察データの整理分析結果

(1) 整理分析の対象データ

新しい切羽観察手法と新標準支保パターンは平成8年11月からJHの全国の現場に試行的に導入（新標準支保パターンは平成9年10月要領化）されており、本報告では、導入から平成10年3月までの1年5か月間に施工されたトンネルデータを対象としている。当該期間内の新しい切羽観察手法によるデータ数は、6,561断面であるが、その中から低土被り区間の地形条件による地山挙動を取り除くため土被りを40m以上とし、かつ6種類（B-a, CⅠ-a, CⅡ-a, CⅡ-b, DⅠ-a, DⅠ-b）の新標準支保パターンⁱⁱに準ずる3,748断面に限定して分析を行った。

表－３ 分析対象データの内訳

	B-a	CⅠ-a	CⅡ-a	CⅡ-b	DⅠ-a	DⅠ-b	合計
硬質岩[塊状]	85	162	194	177	249	91	958
中硬質岩・軟質岩[塊状]	48	490	285	484	218	345	1,870
中硬質岩[層状]	0	20	145	300	62	139	666
軟質岩[層状]	0	22	65	102	2	63	254
合計	133	694	689	1,063	531	638	3,748

（湧水量、劣化の評価区分の値がともに「1」であるもの）

なお、後述する切羽評価点の配点案の算出については上記3,748断面のうち、湧水量と劣化の評価区分の値がともに「1」である、すなわち湧水がほとんどなく、水による劣化もないと評価された、1,318断面を用いた。これにより、湧水量と劣化に関する評価の補正を切り離して考えることができる。これらの対象断面の内訳について、表－2と表－3に支保パターンと岩種グループとのクロス集計で示す。

(2) 分析手法

各観察項目のどの評価区分に該当した場合に、どの種類の支保パターンが施工されているかを把握するために、切羽観察結果と支保パターンとの相関を岩種グループごとにまとめた。その中から図-1に硬質岩・塊状のものを例として示す。

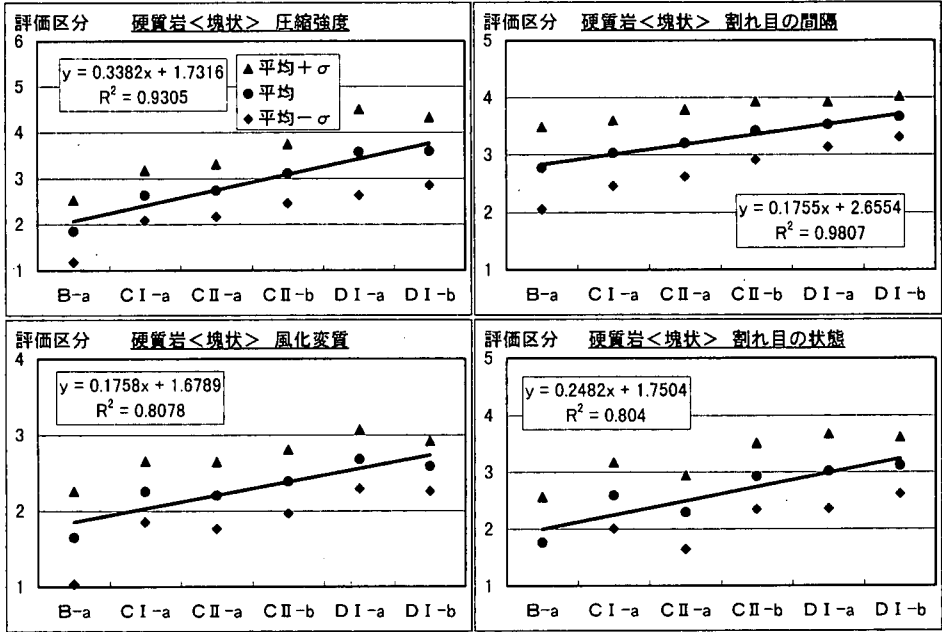


図-1 切羽観察結果と支保パターンとの相関(硬質岩・塊状)

図-1は、縦軸に各観察項目の評価区分値を、横軸に各支保パターンを、それぞれ地山の評価が悪くなる方向にとっており、支保パターン別の平均的な評価区分の値を観察項目ごとに示している。

図中に平均値を結ぶ線形の一次式と相関係数を示す。これより硬質岩・塊状では、評価区分の平均値と支保パターンとの相関性がいずれの観察項目でも高いことがわかる。

(3) 切羽評価点の配点の検討

図-1の各グラフにおいて、平均値を結ぶ直線の傾きが急であるほど、評価区分の違い、すなわち切羽状況の良し悪しが敏感に支保パターンの選定に影響しているものと考えた。そこでその傾きを支保の選定に関する各観察項目の感度として捉え、4つの観察項目間での比率を算出し、全体を100点満点とした場合の最高点として整理した。硬質岩・塊状でのこれらの結果を表-4に示す。

ここで図-1のグラフの横軸は、各支保パターン間を等間隔としており、支保の格差に重みをつけていないものとなっている。それぞれの支保パターンは、構成している部材やその量が異なっているので、本来ならばグラフの横軸はその差を考慮した配置として検討されるのが望ましい。特に鋼アーチ支保工の有無の境界であるCII-aパターンとCII-bパターンとの間には、他の支保パターン間と比べて大きい隔たりが設定されて当然である。本研究では、支保の耐力差による重みをつけた検討も行ったが、下記に示す理由により、支保の格差に重みをつけない場合について分析を進めることとした。

- ① 支保パターンの格差を考慮しない場合と考慮する場合とを比較すると、前者の方が各評価項目の評価区分と支保パターンとの相関性がよい。
 - ② ①の両者とも分析を行った結果、後述する配点案にわずかな差しかないものとなった。
- なお、①については、支保選定の際に地山状況

表-4 観察項目間の配点の検討(硬質岩・塊状)

硬質岩・塊状	図-1の線形の傾き	比率(%)	最高点
圧縮強度	0.3382	36.07	36
風化変質	0.1758	18.75	19
割れ目の間隔	0.1755	18.72	19
割れ目の状態	0.2482	26.47	26
合計		100.00	100

の変化にできる限り対応した本来の支保のマルチ化¹が十分に反映されずに、設計要領に示されている新標準支保パターン¹¹が画一的に採用されてしまったことが考えられる。また、②については、層状岩盤の割れ目の状態においては、支保パターンの格差を考慮する場合の方が配点が高い結果となり、切羽観察時に重点の置かれる内容が示された結果であると考えられることから、今後引き続き検討する必要がある。

4) 切羽評価点の配点案

全項(3)の検討を各岩種グループにおいて実施し、算出した配点案について、岩種グループごとに表示したものを図-2に、新しい切羽観察表に対応したものを表-5に示す。

図-2より、下記に示す事柄がわかる。

- ・各岩種とも圧縮強度の占める比率が一番大きい。
- ・風化変質は、どの岩種においても20%程度の比率を占める。
- ・割れ目の間隔、割れ目の状態は、塊状と層状での違いが明確である。

特に、層状岩盤では割れ目の間隔の大小よりも割れ目の状態がどのようになっているかということに重点がおかれている。これは、割れ目の状態そのものが切羽の肌落ち等の可能性を左右し、その結果、鋼アーチ支保工の採否等、支保の選定に影響した結果と思われる。

表-5は、図-2の最高点をそれぞれの観察項目内で評価区分数に応じて配点したものであり、最低点を0点としておおよそ等間隔に割り振っている。

4. 支保選定の目安の検討

(1) 支保パターンと新切羽評価点との関連

表-5に示した新切羽評価点の配点案を用いて、表-3の断面について新たに切羽の評価点を算出した。その結果の支保パターン別の累積頻度グラフを図-3に累積百分率グラフを図-4に示す。図中の横軸である新切羽評価点の加重平均値とは、切羽断面を3分割して評価した時の(天端×2+左+右)÷4で切羽評価点を算出したものである。

図-4からわかることを下記に示す。

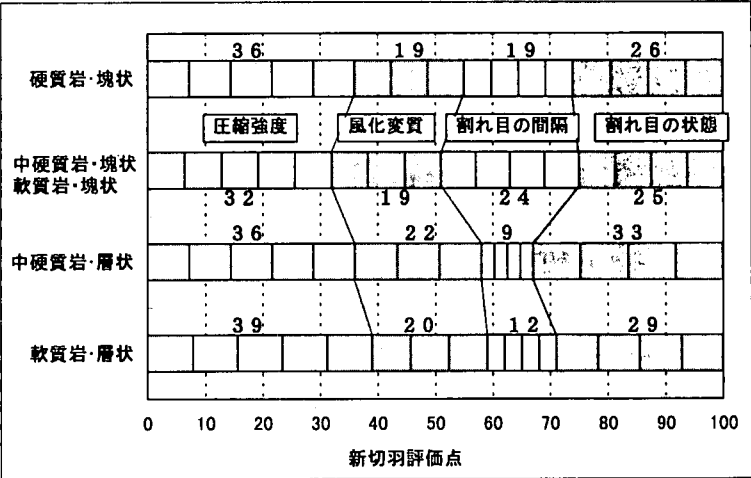


図-2 岩種グループごとの各観察項目の最高点

表-5 新切羽評価点の配点案

圧縮強度	評価区分		1	2	3	4	5	6
	塊状	硬質岩	36	29	22	14	7	0
		中硬質岩・軟質岩	32	26	19	13	6	0
	層状	中硬質岩	36	29	22	14	7	0
軟質岩		39	31	24	16	8	0	
風化変質	評価区分		1	2	3	4		
	塊状	硬質岩	19	12	6	0		
		中硬質岩・軟質岩	19	13	6	0		
	層状	中硬質岩	22	15	7	0		
		軟質岩	20	13	7	0		
割れ目間隔	評価区分		1	2	3	4	5	
	塊状	硬質岩	19	14	9	5	0	
		中硬質岩・軟質岩	24	18	12	6	0	
	層状	中硬質岩	9	7	4	2	0	
		軟質岩	12	9	6	3	0	
割れ目状態	評価区分		1	2	3	4	5	
	塊状	硬質岩	26	20	13	7	0	
		中硬質岩・軟質岩	25	19	12	6	0	
	層状	中硬質岩	33	25	16	8	0	
		軟質岩	29	22	14	7	0	

- ① 各支保パターンとも、頻度百分率の累積傾向がよく似ている。
- ② 各支保パターンの取り得る切羽評価点の幅(最低点と最高点との範囲)が広く、同じ切羽評価点数であっても複数の支保パターンが採用されている。
- ③ C I-a と C II-a、D I-a と D I-b のグラフがそれぞれ重なっており、切羽評価点による支保の判別が付きにくい状況を示している。しかし、これを含めて大まかに4つのグラフのグループができ、支保選定の目安に利用できると考えられる。

前述の②について、一支保パターンの切羽評価点の幅が広いことは、各グラフの上下端が急に曲線を描いていることから分かるように、極端に良悪な切羽評価点を示す数少ない断面が入っているからである。こ

れらの断面が同一の支保パターンで施工されたことの原因として、急な地質変化に対して、既施工区間の支保パターンを継続してしまうことや、当初設計の支保パターンを尊重して支保パターンの修正を行わないこと等、切羽観察結果に基づかない支保の選定がなされた結果からであると考えられる。

また、③に述べたグラフが重なる原因として、該当する支保パターンの支保構造がよく似ていることが挙げられる。

まず、C I-a と C II-a の違いは、一掘進長がそれぞれ1.5mと1.2mであることと、C I-a には下半のロックボルトが無いことであり、ともに鋼アーチ支保工の無い支保パターンである。従来の支保パターンにおいては、一掘進長が1.2mのものはC IIパターンであり鋼アーチ支保工が上半に採用されていたが、鋼アーチ支保工を設置しないC II-a パターンが妥当な地山の中でも幾分良好な地山の場合には、進行長を稼ぐことのでき

るC I-a パターンを採用している施工実態が数多く報告されている。よって現段階では、両パターンの差が切羽評価点では明確に出なかったものと考えられる。

次に、D I-a と D I-b の違いは、ロックボルトの長さがそれぞれ3mと4mであることのみであり、支保を選定あるいは修正する際には、変位量の大小を想定して行われている。ゆえに、切羽観察表の観察項目

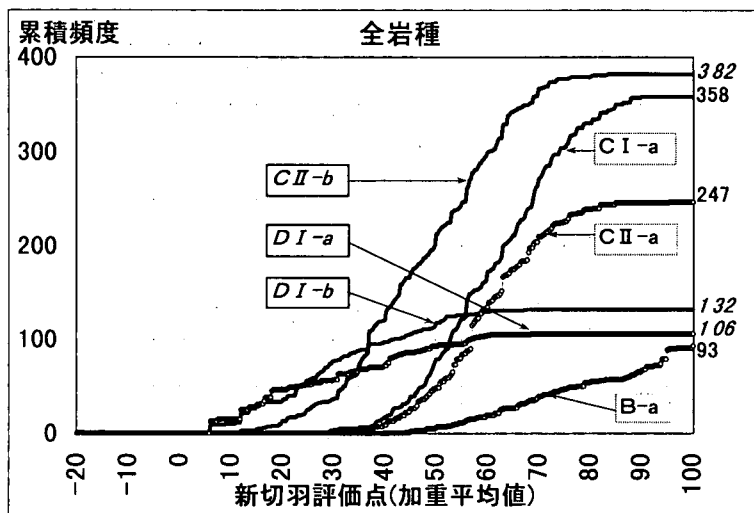


図-3 累積頻度グラフ

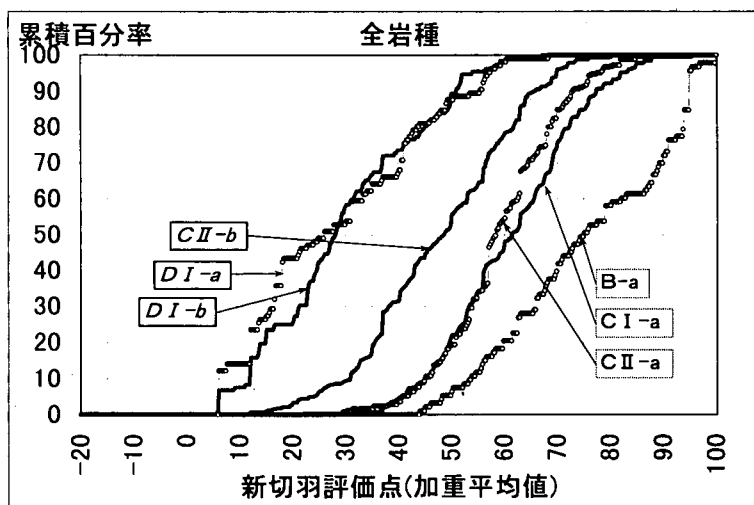


図-4 累積百分率グラフ

の評価には両パターンの差は表れなかったものと考えられる。D I 地山のように比較的変位が大きい地山では、その大小が切羽観察と同じように重要な支保選定要素となっている。

(2) 支保選定の目安

図-3の新切羽評価点を岩種グループごとに分類し、各支保パターンでの平均点と1σの幅を図-5に示す。図中には、各支保パターンと新切羽評価点との概略的な関係について帯を用いて図示している。これは、上下の支保の関係を考慮しながら、各支保の平均点を含みつつ5点刻みで示したものであり、各支保パターンの点数幅を10～15点として、上下の支保と重複せざるを得ない区間も考慮して帯の端部を三角形にして示した。

図-5は、新切羽評価点法に基づく支保選定の一般的な傾向を示すものであるが、あくまでも目安であると解釈し、個々の現場で支保を選定する際には現場技術者の判断が重要である。

5. まとめと今後の課題

本報告では、新しく導入された切羽観察手法により得られた施工データを分析し、各観察項目の評価区分と支保パターンとの関連性から、新しい切羽観察表に対応する評価点の配点を行った。さらに、その配点を用いて各切羽を採点し、切羽評価点の頻度分布を岩種グループごと、支保パターンごとに整理し、概略的に支保選定の目安を示した。この結果は、切羽評価点と支保との関連について一般的な傾向を示したものであり、個々の現場においては、地山状況や計測工の結果等から地山の特質を考慮して用いる必要がある。

今後の課題として、より支保の選定と結びついた切羽観察手法を確立する必要がある、同時にそれを多くのトンネルで統一的、客観的に実施することが求められる。また、湧水量と劣化の評価に基づく新切羽評価点への補正点数、変位量と新切羽評価点との関係から選定された支保パターンの妥当性についての検討が必要である。

i 吉塚守・三谷浩二・中田雅博：トンネル支保のマルチ化に関する研究、トンネル工学研究論文・報告集 第7巻、pp.147-152、1997

ii 日本道路公団 設計要領 第3集 トンネル (1)トンネル本体工、pp.75、1997.10

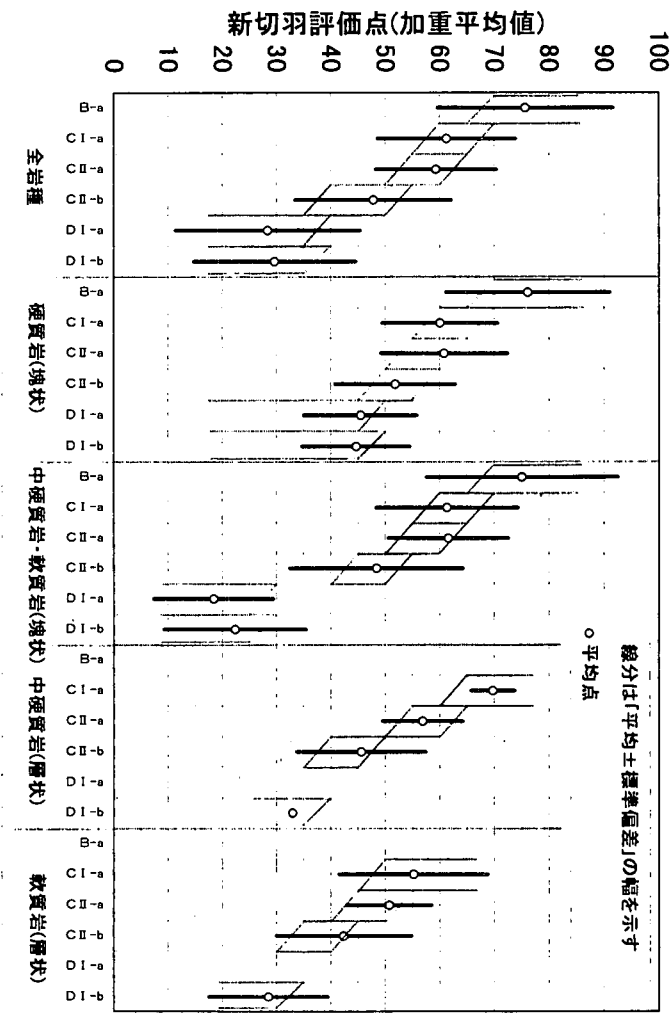


図-5 新切羽評価点による支保パターンの目安