

(5) 切羽観察記録分析に基づく施工時の地山評価について

山口大学工学部 正会員○ 結城則行
日本道路公団 日永田雅司
山口大学工学部 正会員 古川浩平
山口大学工学部 正会員 中川浩二

Rock mass classification under construction based on Notes of tunnel face observation

Noriyuki YUKI, Yamaguchi University
Masashi HIEDA, J.H.P.C.
Kohei FURUKAWA, Yamaguchi University
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Rock mass classification under construction was determined by observing condition of tunnel face rock, observation items were 9 sorts which were very important in rock mechanics, for example stability of face, weathering and alteration, condition of joints etc. They were quantitatively evaluated that were divided into 4 condition between bad and good.

In this study, the authors collected data of observation in regard to a black schist tunnel, and analysed the correlation of items each other. We defined an index of rock to describe typically condition of tunnel face, and showed each characteristic of rock classification, at last we pointed out that in some case the rock mass classification was decided in consideration of time series.

1. はじめに

一般に、山岳トンネルの最終的な支保パターンは施工時の切羽観察記録や土被り厚を基に決定されているが、切羽の状態は定性的なものであり、しかも岩質判定の基準は専門技術者の経験的主観に左右される。そのため、日本道路公団では切羽観察記録表を作成し、トンネル施工時の坑内観察を統一様式で実施し、切羽の安定性や風化変質、割れ目の状態等の岩盤工学上の重要項目9分類を良好な状態から不良な状態まで4段階に区分し定量的に評価出来るようにしている。

そこで、この切羽観察記録を利用して地山評価や支保パターン決定をする試みは、従来より種々なされており、主に統計分析の手法を用いて評価がなされている^{1)・2)・3)}。しかし、主観を伴う定性的なデータより判定を行うと言う点で、多くの不合理な問題点も指摘されており、この点、著者らはファジィ理論を用いた岩盤分類法を提案してその有効性を示した⁴⁾。

本研究では、それらの成果より得られた“あいまいさ”の要因を具体的に表示することを目的としており、黒色片岩トンネルを対象に切羽観察記録を収集し、まず各項目間の相関性を分析し、その分布傾向を把握すると共に各項目と施工時の地山区分との関係を明らかにした。次に、切羽観察項目から切羽面の性状を総合的に表現するための地山評価点を定義し、各地山毎に地山評価点の分布傾向を示した。最後に、地山区分、地山評価点を時系列で示し、地山区分決定方法の特徴を時系列の観点から考察した。

2. 切羽観察記録項目

表1に切羽観察記録表を示した。日本道路公団では、従来よりトンネル施工に伴う坑内観察を統一様式で実施しており、切羽観察記録表と土被り圧、支保工の変状、計測工のデータに基づいて岩質判定を実施している。その内、表1に示す切羽観察記録表は、切羽岩盤の良好度を圧縮強度や風化変質、割れ目の状態など9項目で表現しようと試みたもので、各項目とも良好から不良な状態までを1～4段階に区分し、評価しようとしている。

3. 観察項目間の相関関係

表2は施工時に決定された地山等級区分（B～D2）に2～6の数値を当てはめ、地山等級区分を目的変数

表2. 重回帰分析結果

項目	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	地山等級
(A)	1.000									
(B)	0.706	1.000								
(C)	0.643	0.692	1.000							
(D)	0.643	0.675	0.856	1.000						
(E)	0.585	0.572	0.752	0.753	1.000					
(F)	0.614	0.644	0.801	0.825	0.744	1.000				
(G)	0.451	0.487	0.648	0.653	0.671	0.637	1.000			
(H)	0.161	0.175	0.081	0.020	0.029	0.032	-0.121	1.000		
(I)	0.562	0.590	0.571	0.519	0.431	0.519	0.368	0.469	1.000	
地山等級	0.524	0.442	0.605	0.584	0.604	0.619	0.478	-0.082	0.209	1.000

(得られた回帰式)

$$Y = 1.741 + 0.247X_A + 0.273X_C + 0.251X_E + 0.397X_F - 0.298X_I$$

.....(1)

(C) 圧縮強度と (F) 割れ目の頻度であり、これらの項目の内、(F) 割れ目の頻度、(C) 圧縮強度が寄与率が高く、重回帰係数として採用されている。それに対して (H) 湧水は他のいずれの項目とも相関性は低く、しかも地山等級区分への寄与率も低いことから重回帰係数としては採用されていない。また、重回帰係数の

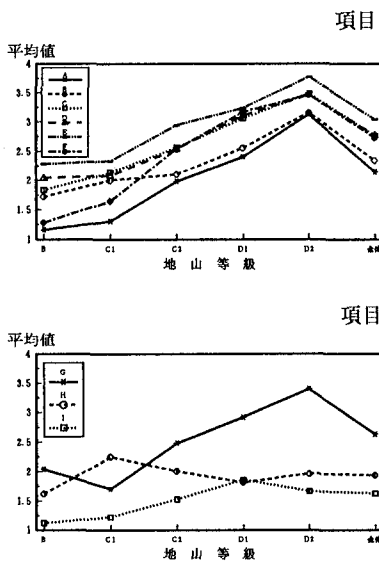
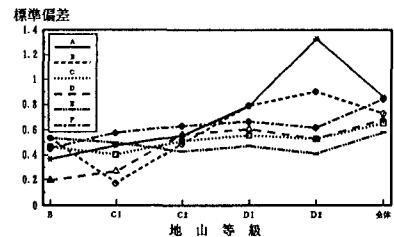


図1. 切羽観察項目各々の平均値

項目 (A～F)



項目 (G～I)

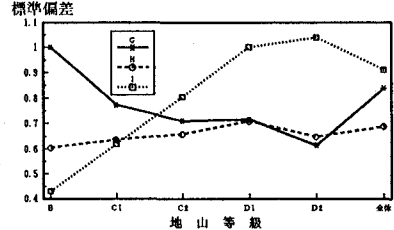


図2. 切羽観察項目各々の標準偏差

表1. 切羽観察記録表

③	切羽の状況	1. 安定	2. 緩面から岩塊が抜け落ちる	3. 緩面の押出しを生じる	4. 緩面は自立せず離れあるいは流出
④	集塊面の状況	1. 自 (普通不要)	2. 時間がたつと緩面が落ちる (普通不要)	3. 自立面が崩壊する (普通不要)	4. 危前に先行して山を穿てておく必要がある
⑤	圧縮強度	1. $\geq 1000 \text{ kgf/cm}^2$ (ハンマー打撃は必要)	2. $1000 > \geq 200$ (ハンマー打撃は必要)	3. $200 > \geq 50$ (軽い打撃でくだける)	4. $50 \text{ kgf/cm}^2 > \geq$ (ハンマー打撃は必要)
⑥	風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色・強度やや低下	3. 全体に変色・強度相対に低下	4. 土砂状・粘土状・砂状・当初より未固結
⑦	割れ目の頻度	1. 間隔 $\geq 1 \text{ m}$	2. $1 \text{ m} > \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > \geq$ 砂状・当初より未固結
⑧	割れ目の状況	1. 密	2. 部分的に開口	3. 開	4. 粘土をはきむ・当初より未固結
⑨	割れ目の形状	1. ランダム形状	2. 柱状	3. 層状・片状・板状	4. 土砂状・細片状・当初より未固結
⑩	湧水	1. なし・湧水程度	2. 湧水程度	3. 量中湧水	4. 全面湧水
⑪	水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊・流出

③ 割れ目の状況 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
④ 集塊面の状況 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑤ 圧縮強度 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑥ 風化変質 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑦ 割れ目の頻度 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑧ 割れ目の状況 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑨ 割れ目の形状 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑩ 湧水 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)
⑪ 水による劣化 1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$)

採用順は (F) → (E) → (I) → (A) → (C) であり、(I) は予測値の誤差を最小にする方向で (一) 側に作用している。(式(1)参照)

図1、図2は、地山等級別に切羽観察項目の平均値および標準偏差を示したものである。図より、切羽観察項目の平均値に関しては (H)、(I) 項目を除いて地山等級が不良になるに伴って増加する傾向を示しているのに対して (H) および (I) の水に関する項目については、地山等級区分に係わらず、ほぼ一定であり、重回帰分析の結果に示された独立性を反映したものとなっている。一方、切羽観察項目の標準偏差に関しては0.2～1.0程度の範囲に分布している項目が大勢を占め、平均値が増す程やや大きくなる傾向を示している。また、地山等級D2でA項目の標準偏差が突出しているが、これはD2の区分が切羽状態だけでなく土被り圧等の要因も加味して決定されている点に起因するもので、D2が特殊区間の地山区分であることによる。

4. 地山総合評価点の決定、およびその特性

前述した切羽観察項目間の相関性、地山等級区分毎の各項目の分布形態の分析結果に基づいて、次に示す様に地山総合評価点の算出方法を4ケース設定し、その値と地山等級区分との相関が最も高いものを地山総合評価点と定め、以下、その値を指標値として時系列の観点から考察するものとする。

算定方法

1)単純加算 …… $Q_1 = \sum_{i=A}^I X_i$ ……(2)

2)平均値の分布 ……地山等級毎の各項目平均値分布を見ると、H、I が地山等級に関係なく、ほぼ一定値であるため、この2項目を除いた平均値を指標値とする。

$Q_2 = \sum_{i=A}^G X_i$ ……(3)

3)標準偏差の分布 ……標準偏差についてはA項目のD2、B項目の分布、およびG項目の分布が他の項目と異なる傾向を示すので、その項目を除く。

$Q_3 = \sum_{i=C-F, H, I} X_i$ ……(4)

4)依存度を考慮 ……加算点を各項目の重みを考慮して求める方法。

$Q_4 = \sum_{i=A}^I X_i \times (\bar{X}_i / \sum \bar{X}_i \times 10)$ (重みの合計を10とする) ……(5)

以上、4種の方法で比較した結果を表3に示す。表よりQ₂が最も妥当な指標値と見なされるので、以後、この値を地山総合評価点(以下 Q値とする)とし、地山等級毎のQ値の分布形態を示す。

表4は地山等級別のQ値の特性を図3は、Q値の頻度分布を示している。地山等級毎のデータ個数に大幅な差があるが、平均値ではB級とC1級でそれほど差はなく、他の分布形態を見ても全体的に地山区分間での判別が非常に難しいことを示唆している。

図4は地山区分毎にQ値の大小順に並べたものであり、前述したように各地山区分の境界は明瞭に区分できず、例えばB級切羽のQ値20程度の特異点は”D1級への漸移点で明らかに前切羽より不良である。”と明記されており、C2級切羽のQ値の高い部分では”D1級への漸移点でほとんどD1級と同様の状況””踏前に異種岩(石英

表3. 指標値の対比表

	R 2乗	R
Q ₁	0.344	0.587
Q ₂	0.430	0.656
Q ₃	0.303	0.550
Q ₄	0.377	0.614

表4. 地山等級別Q値の特性

階級	B	C1	C2	D1	D2
データ数	25	67	299	284	58
最小値	8	10	10.5	12.5	14
最大値	19	18.5	28	28	29
平均値	12.360	13.201	17.129	20.428	23.862
標準偏差	2.243	2.320	2.930	3.744	3.717

斑岩) が出現” ” D1級への漸移点” などの記述があり、地質境界、

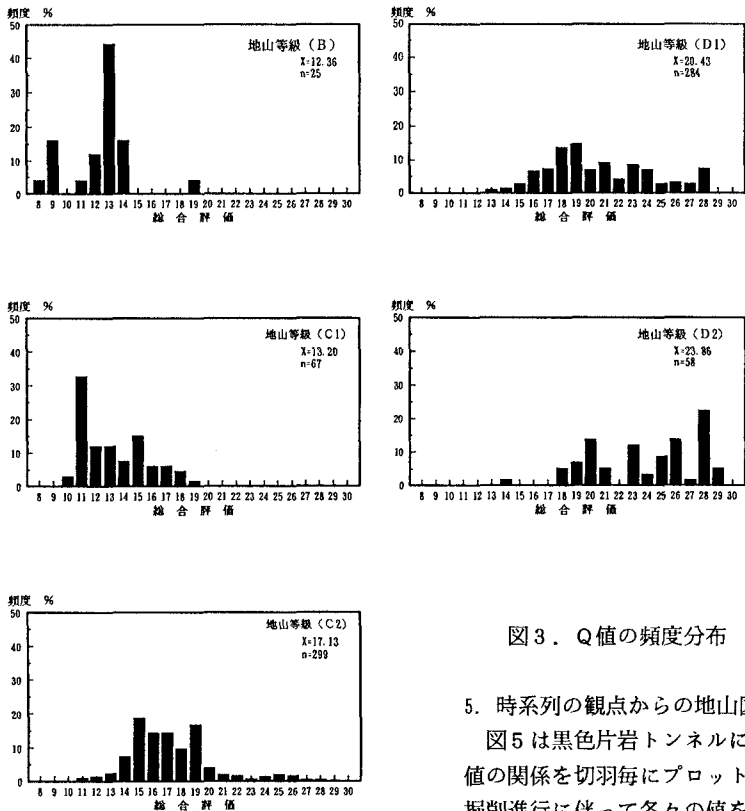


図3. Q 値の頻度分布

5. 時系列の観点からの地山区分分析

図5 は黒色片岩トンネルにおける施工時の地山区分とQ 値の関係を切羽毎にプロットしたもので、左(坑口)より掘削進行に伴って各々の値をプロットしたものである。

図より以下のことが言える。まず、坑口側は特殊区間であり、Q 値が低下しても土被り圧2 D まではD2級に区分されている。また、途中の過程で幾多の変遷を経て、全般にQ 値が大きく、不良側に評価された場合は即座に地山区分も1 ランク安全側に変更されているのに対して、Q 値が小さく、切羽面が良好になっても安全側を考慮して、ある程度Q 値が落ち着くまで地山区分を変更していないと言う傾向が分かる。これは、施工上の短期的安全性を配慮しての処置であり、この辺が地

地山区分境界に位置するデータが含まれていることを示している。一方、Q 値が低いにも係わらずD2級に属しているデータでは” 踏前付近にアプライト出現” の記述があり、当切羽の状況は比較的良好なのに地山区分を安全側に評価している点で、Q 値だけでは地山区分がされていないことを示している。

そこで、これらの記述内容を明確に表現するために、次に地山区分およびQ 値の分布を時系列で表現し、分布傾向を分析した。

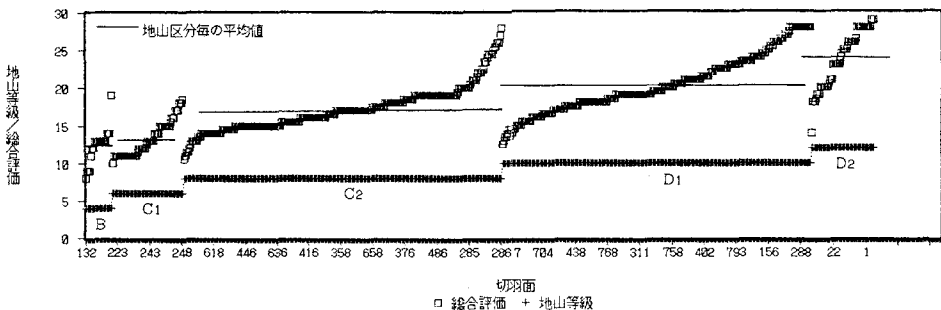


図4. 地山区分毎のQ 値の分布状況

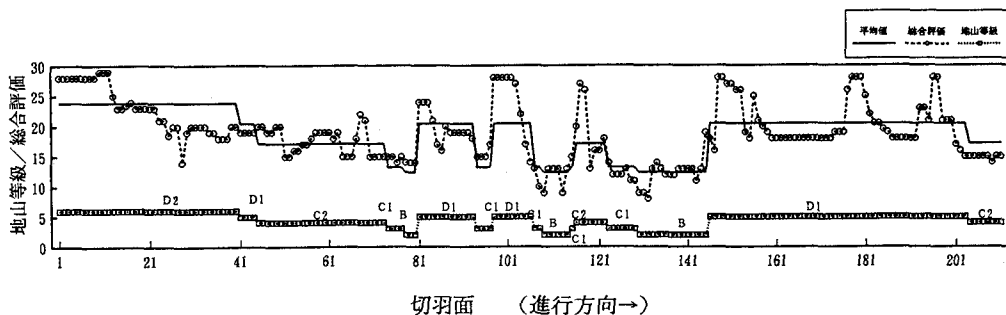


図5. 施工時の地山区分とQ値の関係(時系列)

山総合評価点Q値と地山区分が単純には対応しない一因でもありと考えられる。

6. ま と め

本研究では、トンネル施工時の地山区分を切羽観察記録から同定する上で問題となる誤差要因を分析する為に、まず切羽観察記録上の9項目より地山状態を表現するための指標値Q値を設定した。そして、その特性を示すとともに、時系列の観点から施工時の地山区分決定方法を分析した。その結果、切羽観察記録の内では水に関する項目(H、I)が他の項目や地山区分とはほぼ独立の関係にあること、本研究で設定したQ値と地山区分は比較的良好な対応を示すが、その誤差要因は時系列の観点から分析すると施工の安全性を配慮している点にあることなどが示された。

今後、これらの点を黒色片岩トンネル以外の地質に適用した際の問題点、時系列以外の誤差要因の抽出および地山評価への適用法などを検討することが課題となる。

参 考 文 献

- 1) 三角衡一郎・相川明・櫻木武：施工実績に基づくNATM設計の標準化について，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-375，pp.792～793，1988.10
- 2) 井田隆久：切羽観察による地山評価への判別分析の適用，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-129，pp.332～333，1989.10
- 3) 石垣和明：NATM切羽判定システムの開発とその適用，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，Ⅵ-71，pp.166～167，1990.9.
- 4) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案，土木学会論文集，第418号／Ⅲ-13，pp.181～190，1990.6