

切羽観察表を用いた地山等級の判定手法 に関する一提案

Study on establishment for ground observation method in tunnel construction

真下英人¹・砂金伸治²・遠藤拓雄³・木谷努²

Hideto Mashimo, Nobuharu Isago, Takuo Endou and Tsutomu Kitani

¹正会員 工博 (独)土木研究所 基礎道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県 つくば市 南原 1-6)

²正会員 工修 (独)土木研究所 基礎道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県 つくば市 南原 1-6)

³正会員 (独)土木研究所 基礎道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県 つくば市 南原 1-6)

E-mail:endou@pwri.go.jp

The aim of this study is to propose the evaluation method of face observation results in order to judge the ground grade for selecting proper support in accordance with ground condition in constructing road tunnels with the normal tunnel support pattern. The relation between the data of face observation and ground grade was analyzed for each rock quality through collecting the data and creating the database. Quantitative evaluation method from results of face observation by weighted average method was considered and the rough criteria was shown by the evaluation of weighting every item of face observation in each rock quality on the basis of the result from multivariate analysis.

Key Word: tunnel, Support pattern, ground grade, face observation, multivariate analysis

1. はじめに

山岳トンネルの施工時の安全性向上や建設コスト縮減を図るためには、地山状態に応じた適切な支保構造の選定が重要である。このためトンネルの施工時においては一般的には切羽の観察や断面の変位を計測し、それに基づいて事前調査で得られた地山等級を見直し、支保パターンを選定している。現在、一般道の道路トンネルの施工現場においても切羽観察表の記録を行い、支保パターンを選定している。しかし切羽観察の結果の評価方法には統一されたものが無く、地山等級の判定そのものが過去の経験や実績に負うところが大きく、合理的な支保構造の選定を行うためには、掘削時の切羽観察や計測データをさらに活用した客観性の高い地山の評価法の確立が必要である。

本研究では、NATMでの施工実績が増えつつある実態を踏まえ、既往の道路トンネルの施工時に得られた切羽観察表のデータを収集し、データベースを構

築した。次に、観察項目に重み付けを行い切羽観察表の評価を行う評点法(加重平均法)を用いて、地山等級を評価する方法の適用を考え、評価の際に必要な各観察項目の重み係数を現地で収集したデータを用いて算出し、その重み係数を用いて切羽観察表の評価点を求め、その評価点と岩質毎の地山等級との関係を検討することによって、定量的な地山評価方法としての有効性を検討した。

2. 重み付き評価点の算出方法

本研究ではまずNATMにより施工された50本の道路トンネルにおいて、約5400断面の切羽観察表をデータベース化し、それらを岩質毎に分類した。岩質に関しては、道路トンネル技術基準(構造編)・同解説¹⁾の分類を参考に、硬質岩、中硬質岩・軟質岩(塊状)、中硬質岩(層状)、軟質岩(層状)の4種類で分類した。表-1にこれらのデータの内訳を示す。図-1に切羽観察表例を、表-2に切羽観察表に示された観察項目をそれぞれ示す²⁾。実際の施工では表-2に

示した観察項目に対して評価点としてそれぞれ 1～4 の 4 段階で評価されている。その評価点は 1 が地山の特性が相対的に良好な場合、4 が相対的に良好でない場合を意味する。

表-1 岩質毎のデータ内訳

	B	CI	CH	DI	DII	合計
硬質岩	8	141	815	446	0	1410
中硬質岩・軟岩(塊状)	0	126	533	930	448	2037
中硬質岩(層状)	0	11	242	251	668	1172
軟質岩(層状)	0	61	387	289	92	829

観測による地山の状態と性状(土壌スケッチの観察)

土 地 状 況	14m 総合判断	地山等級あるいはバースン区分の判定	DI
地 質	a, b, c, d, e	地 質 状 況 形成地質時代	7b
特 殊 状 況	断層・偏圧・流動性・土の崩壊・その他	崩壊・流動性・その他	その他
断面性状の地山の状態と性状			
① 切羽の状態	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
② 断面の性状	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
③ 圧 縮 性	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
④ 風 化 性	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑤ 割目の性状	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑥ 割目の性状	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑦ 割目の性状	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑧ 割目の性状	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑨ 湧 水	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて
⑩ 水による劣化	1. 安定 2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて	2. 傾斜がたつて 3. 傾斜がたつて 4. 傾斜がたつて 5. 傾斜がたつて

図-1 切羽観察表例

表-2 切羽観察表の観察項目

面としての情報	切羽の状態	素堀面の状態	
岩石の情報	風化変質	岩の強度	
割目の情報	割目の間隔	割目の状態	割目の形態
水の情報	湧水	水による劣化	

次に、評点法(加重平均法)により各切羽観察表を点数化し、地山等級を決定する場合に必要な各観察項目に対し与えるべき重み係数を算定した。重み係数の算定は、少数のデータによる予備分析の結果、質的な説明変数を用いて量的な目的変数を推定する手法である数量化Ⅱ類が適当であると判断した。具体的には図-2 に示したフローに従い、収集したデータをもとに各岩質毎、地山等級毎に整理を行い、各岩質で地山等級を目的変数とした数量化Ⅱ類

による判別分析を行った。この結果より得られた各観察項目内におけるカテゴリースコアの差を各観察項目のレンジと定義し、その各観察項目のレンジが観察表の中でどれくらいの割合を示すかを図-2 内のフロー③の式により算定し、これを重み係数とした。なお、重み係数の合計は各項目で 100 になるように基準化してある。最後にこの重み係数を観察項目の評価点に乘じ、得られた点数を断面毎で合計する。この合計点を 100 で除することで得られた断面毎の点数を「重み付き評価点」と定義し、この重み付き評価点について岩質毎に地山等級との関連性を検証した。なお、これにより各断面の重み付き評価点は 1.0～4.0 の範囲で求めることとなる。

①切羽観察表の岩質毎に評価点の結果を整理



②数量化Ⅱ類でレンジの値を得る



③次式により全ての観察項目の中でそのレンジが占める割合を算定し、重み係数と定義する。

$$B_n = Y_n / \sum Y_i \times 100$$

$$n: \text{切羽観察各項目}$$

$$B_n: \text{各レンジの割合(重み係数)}$$

$$Y_n: \text{その観察項目のレンジ}$$

$$Y_i: \text{各観察項目のレンジ}$$

図-2 重み係数算定フロー

3. 重み付き評価点を用いた地山評価

3.1 岩質毎の切羽観察表の重み係数

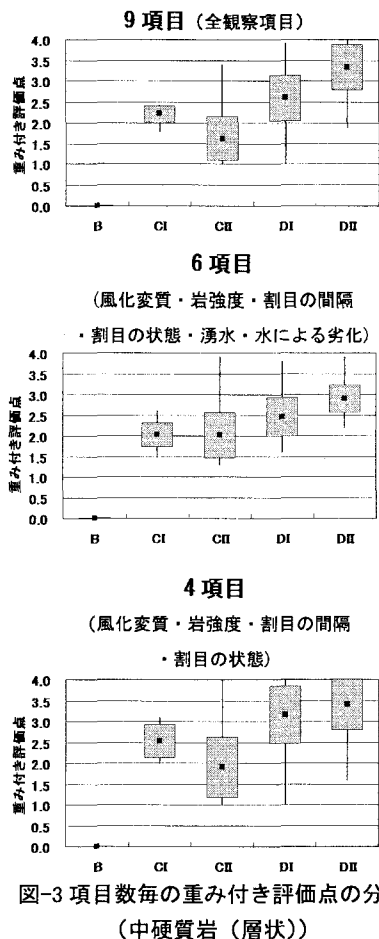
表-3 に岩質毎に観察項目の重み係数の算定結果を示す。全体の傾向としては湧水の影響が比較的小さいことが挙げられる。岩質毎に見た場合は、硬質岩では割目の間隔が、中硬質岩(層状)では素堀面の状態が、軟質岩(層状)では岩の強度がそれぞれ重みの大きい項目となったが、中硬質岩・軟質岩(塊状)では、どの観察項目も比較的均一で、特に重みが高い項目を抽出することはできなかった。

表-3 岩質毎の各切羽観察項目に対する重み係数

	切羽の状態	素堀面の状態	岩の強度	風化変質	割目の間隔	割目の状態	割目の形態	湧水	水による劣化
硬質岩	11	15	14	8	27	7	8	3	8
中硬質岩・軟質岩(塊状)	10	11	13	17	9	11	11	7	11
中硬質岩(層状)	9	36	9	5	7	10	14	5	5
軟質岩(層状)	16	8	26	13	6	3	6	9	13

次に、現行の切羽観察表において項目を減らすことによって全体的な傾向を明確にできる可能性につ

いて考え、表-2に示す観察項目の『面としての情報』である「切羽の状態」と「素堀面の状態」、『割目の情報』である「割目の形態」を除いた6項目での数量化Ⅱ類による重み係数の算定と、さらに『水の情報』である「湧水」と「水による劣化」を除いた4項目の数量化Ⅱ類による重み係数の算定を行い、重み付き評価点の分布を分析した。図-3に代表例として中硬質岩（層状）の観察項目数毎の重み付き評価点の分布を示す。図中の点は各地山等級における重み付き評価点の平均値であり、棒グラフは、重み付き評価点の標準偏差値を σ とした場合の平均点 $\pm\sigma$ の範囲を示す。また線グラフは重み付き評価点の最大値と最小値を結んだものである。



この結果よりデータ数の少ないCⅠを除けば、観察項目を減らすほど地山等級毎の重み付き評価点の分布に重なる部分が増え、明確な差を読みとることが難しくなり、観察項目を減らすと判断が困難とな

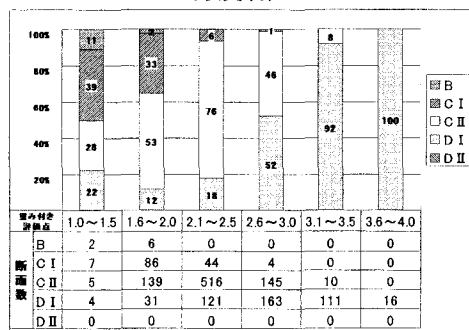
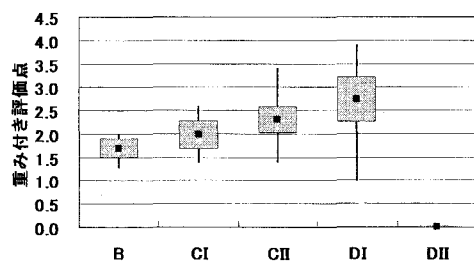
ることがわかった。また他の岩質についても同様に項目を減らすことによって、重み評価点の重なる部分が増える傾向が見られた。

3.2 重み付き評価点による地山等級の割合

3.1の結果より観察項目を9項目とした場合が地山等級選定に比較的有效であると推察された、9項目の観察項目を用いて、重み付き評価点を求め地山等級との関係を整理した。図-4～7の(a)に重み付き評価点を用いた場合の地山等級における重み付き評価点の分布を示す。また図-4～7の(b)は岩質毎の地山等級の割合を示すものであり、グラフ内の数値は重み付き評価点内の各地山等級の割合、グラフ下部の表は各地山等級の断面数を示す。

① 硬質岩（図-4(a)および(b)）

硬質岩においてはDⅡが採用された断面は無く、またBが採用された断面は8断面と少数であった。図-4(a)の重み付き評価点の分布を見ると地山等級の相関関係は良好で、重み付き評価点が大きくなるにつれて地山等級が悪くなる傾向が見られる。図-4(b)の地山等級の割合を見ると、重み付き評価点が3.1以上になると90%以上の割合で地山等級はDⅠとなる傾向が見られる。



② 中硬質岩・軟質岩（塊状）

（図-5(a)および(b)）

図-5(a)の重み付き評価点の分布より重み付き評価点が大きくなるにつれて、概ね地山等級は悪くなる傾向が見られるが、CIとCII、DIとDIIの重み付き評価点の明確な分布差は見られなかった。しかし重み付き評価点が2.0程度で地山等級のCとDをわけける敷居値になりうる可能性が高い事がわかる。図-5(b)の地山等級の割合を見るとDIIは、重み付き評価点が大きくなるにつれて割合が上がるが、重み付き評価点が3.1以上になるとDIIの割合は下がる傾向が見られた。また、重み付き評価点が3.1以上になると70%以上の割合で地山等級はDIとなる傾向が見られた。

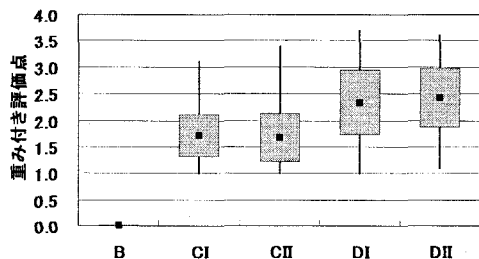


図-5(a) 重み付き評価点の分布
（中硬質岩・軟質岩（塊状））

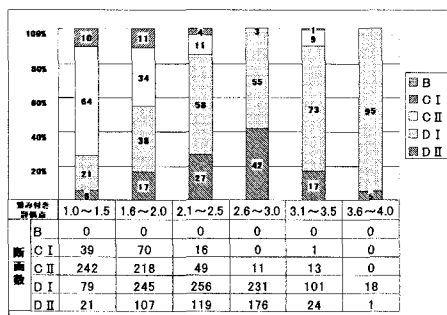


図-5(b) 重み付き評価点による地山等級の割合（中硬質岩・軟質岩（塊状））

③ 中硬質岩（層状）（図-6(a)および(b)）

図-6(a)の重み付き評価点の分布を見ると、CIについては他の地山等級に対して断面数が非常に少ないため、突出した傾向を示しているが、それ以外は地山等級との相関関係は良好で、重み付き評価点が大きくなるにつれて地山等級は悪くなる傾向が見られる。図-5(b)の地山等級の割合を見ると、重み付き

評価点が2.0以下だと約70%の割合で地山等級はCII，重み付き評価点が3.1以上になると70%以上の割合で地山等級がDIIとなる傾向が見られた。

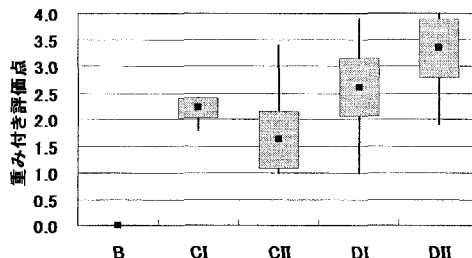


図-6(a) 重み付き評価点の分布
（中硬質岩（層状））

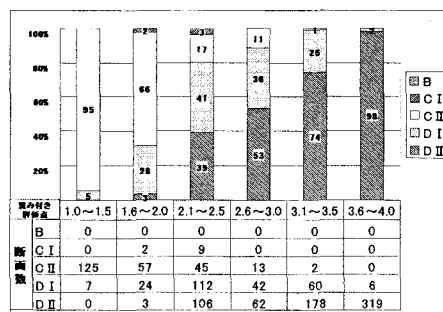


図-6(b) 重み付き評価点による地山等級の割合（中硬質岩（層状））

④ 軟質岩（層状）（図-7(a)および(b)）

図-7(a)の重み付き評価点の分布を見ると、地山等級との相関関係は比較的良好で、重み付き評価点が大きくなるにつれて地山等級は悪くなる傾向が見られた。しかし図-7(b)から地山等級の割合で見ると、CIIは重み付き評価点1.0~3.5の範囲に分布しているが、1.6~2.0において大きい割合で現れ、2.6~3.0では割合が下がり、3.1~3.5ではまた割合が上がる傾向を示したり、DIは重み付き評価点の全ての範囲に分布し、1.6~3.0までの間は、重み付き評価点が大きくなればDIIの割合が上がるが、3.1~3.5では割合が下がり、3.6以上になると割合が上がる傾向があるなど、他の岩質に比較してデータにばらつきが多く、必ずしも重み付き評価点が大きくなると悪い地山等級の割合が増えるとは言えなかった。しかし、CIは重み付き評価点が概ね2.0以下の場合に、DIIは重み付き評価点が概ね2.6以上の場合に採用される傾向が見られた。

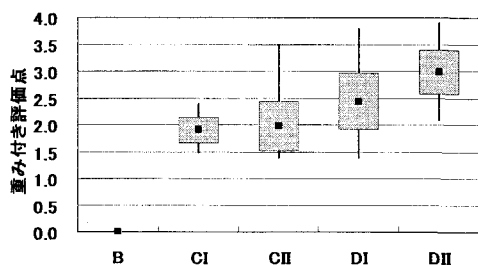


図-7(a) 重み付き評価点の分布
(軟質岩(層状))

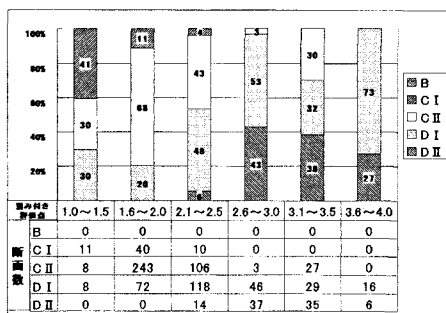


図-7(b) 重み付き評価点による地山等級
の関係(軟質岩(層状))

4. 結論と今後の課題

今回の検討により、以下の知見が得られた。

- ①本研究で収集したデータでは、既存の切羽観察項目を9項目より減らすほど、重み付き評価点の分布に重なりが増え、明確な地山等級選定が行いにくくなることから、観察項目は9項目が有効であると推察される。
- ②切羽観察表の重み付き評価点について分析を行った結果、軟質岩を除く岩質では重み付き評価点が大きくなるほど地山等級は悪くなり、比較的高い精度で地山等級の判別が可能となることが判った。
- ③軟質岩は重み付き評価点が大きくなっても悪い地山等級の割合が増えるとは必ずしも言えず、観察項目の評価点の細分化などを含めたさらに詳細な検討が今後も必要である。

今後は実施工の現場においても本研究の結果である重み係数を用いた地山等級の判定を行う試験施工を行い、重み付き評価点の有用性および改良点を検討していく。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「道路トンネル技術基準(構造編)・解説」, pp.78~79, 平成15年11月
- 2) 日本道路協会：「道路トンネル観察・計測指針」, p.23, 平成5年11月