

トンネルにおける岩盤分類と問題点

土木学会岩盤力学委員会トンネル・地下空洞小委員会

谷本 親伯

Rock Classification in Tunnelling

JSCE Committee on Rock Mechanics

Division of Tunnels & Underground Openings

Chikaosa TANIMOTO

ABSTRACT

Rock classification in tunnelling aims at providing practical approach for rational design and construction management. Ranking in respective rock classifications is based on major parameters related with certain characteristics of jointed rock masses as shown in the attached table, in which 33 representative classifications for domestic and foreign tunnels were summarized by our committee in 1979. Analyzing the principal parameters and concepts employed in those classifications, it is found that following parameters have been picked up as common ones: (1) joint spacing or frequency, (2) filling materials in joints, (3) state of joint (degree of weathering, alteration, etc.), (4) core recovery and RQD, (5) underground water, water inflow, (6) primary stress state, rock mass strength, and (7) wave velocity in situ and in a specimen. The last item on the seismic method (mainly, based on refraction) has been extensively developed in Japan and has become conventional in both investigations at the planning stage and field measurement/monitoring at the construction stage.

On the other hand, though the propagation velocity of a seismic wave is an overall index of the dynamic behaviour of a rock mass, its relationship to the mechanical properties of rock including discontinuities has not yet been clarified. In order to utilize it more efficiently it is necessary to discuss concrete relationship between wave propagation and mechanical properties of a rock mass. It would be recommended to compare it with quantitative classifications such as Barton's Q or Bieniawski's RMR.

Comparing the rock classifications employed in tunnelling with the ones in dam construction, tunnelling is carried out on a long line, and it must be subject to wide variation of rock condition. Consequently, a detail and expensive observation or investigation does not make a great sense and daily monitoring at mining face is essential. In tunnelling it is required the rock classification which provides a practical guide in respect of rock deformation, and selection and size of support/lining elements.

トンネル工事における地山分類は、トンネルの設計・施工に影響を与える地盤の性質を等級に分類し、そのおのおのの地盤に対応した合理的な設計・施工を行なうことを目的としている。したがって、Terzaghi (1946)以来今日のNATMに至るまで、トンネルにおける岩盤等級は、岩盤のゆるみの程度や支保・覆工の種類や規模と対応づけて設定されている。この分野での岩盤分類の考え方と取扱っている因子については、当委員会（当時、第二分科会）が1979年国内外33種類の分類を分析してまとめたものが参考となる。これらの岩盤分類で取扱われている主要な因子を列挙すると次のようである。

国内では、

- (1) き裂の間隔および充てん物
- (2) き裂の風化度および変質状態
- (3) コアの採取率
- (4) 地山およびコアの弾性波伝播速度

国外では、

- (1) き裂間隔
- (2) き裂の状態（充てん物および風化・変質の程度）
- (3) RQD
- (4) 地下水、湧水の状態
- (5) 初期応力状態と岩盤強度（地山強度比を含む）

結局、岩盤の不連続性を評価する因子が中心となっている。特に、我国で多く採用されている弾性波伝播速度による分類は、伝播速度が、岩盤のき裂状態、構成岩盤の力学的性質等、岩盤の自然状態における種々の性質を包含した因子として便利に使用されている。国外のトンネルでは、ほとんど採用されていないが、筆者の知る限りでは、この分類は非常に実用的で優れたものである。しかしながら、現状では、弾性波伝播速度がインデックス的な存在にとどまり、力学的諸性質との関係がまだ具体的に解明されず、定量的な分類として確立されるにはいまだ一歩足りない感じが否めない。上記国外での因子で取り上げたものの中で、(1)、(2)、(4)および(5)と弾性波伝播速度との相関性の解明が進めば、我国での経験やバックデータの豊富さを考慮すると、より優れたトンネル岩盤分類として注目されるであろう。

さて、ダム・基礎とトンネルを比較すると、前者ではあるまとまった地域の岩盤を対象として、岩盤表面でのスラストやせん断に対する岩盤挙動が問題にされるのに比し、トンネルはかなり長距離にわたる線上での岩盤挙動が問題となり、地質の変化も著しい。したがって、一地点で綿密な調査・試験を実施することはあまり大きな意味を持たず、掘進中の切羽周辺での観察・モニタリングが实际的である。また、トンネル周辺の岩盤の釣り合いは、主に岩盤内に生成されるアーチ作用によるものであり、変形量と支保・覆工の規模とを関係づけた岩盤分類が必要となる。さらに、湧水の程度と施工とを定量的に関係づける分類も必要性は十分に認識されながら、いまだ実用的なものは認められず、今後の課題として残されている。

< 参考 > 主要なトンネル岩盤分類 (土木学会岩盤力学委員会第二分科会、1979)

番 号	分類 (出典)	発 表 年 代 (西暦)	主 要 分 類 因 子	等 級	岩 石 の 強 度	岩 石 の 変 形 性	分 類 因 子 と 関 連 す る 状 態	項 目	計 画 ・ 設 計 ・ 施 工 と 関 連 す る 因 子	特 徴
1	国鉄(広田)	1942	岩盤の状態	土砂Ⅰ-Ⅲ 岩Ⅰ-Ⅵ	○	○	○	○	○	(切取り、掘削、トンネルに準用)
2	国鉄(伊崎)	1960	弾性波速度	岩Ⅰ-Ⅵ	○	○	○	○	○	分類No.1に弾性波速度を対応させた。
3	工藤慎一	1960	亀裂係数	A-E	○	○	○	○	○	(ダム基礎)
4	電力中研(田中治雄)	1964	岩盤の状態	A-D6区分	○	○	○	○	○	(ダム基礎) 野外における観察による風化程度による区分
5	国鉄(池田)	1969	岩性、弾性波速度	1-7	○	○	○	○	○	トンネル
6	国鉄開発	1968	岩性、弾性波速度	1-5	○	○	○	○	○	(水溝トンネル、地下発電所、ダム基礎)
7	電力中研(斎藤・菊地)	1975	岩石の強度、岩盤の状態	A-D6区分	○	○	○	○	○	(ダム基礎が主体) 注: サイズモグラフ、シェミットハンマ
8	建設省(日本道路協会)	1974	岩盤の状態	A-E	○	○	○	○	○	(道路トンネル)
9	日本道路協会	1966	地質(岩盤)状態	A-E	○	○	○	○	○	トンネル
10	愛知用水会	1960	岩盤とコアの状態	A-E	○	○	○	○	○	期、水資源開発公団の基準となった。
11	水資源開発公団	1971	岩盤の状態	A-D	○	○	○	○	○	(水溝トンネル・ダム基礎)
12	国鉄・鉄道省	1975	岩盤の状態、弾性波速度	I-N	○	○	○	○	○	(トンネル)
13	国鉄・鉄道省(斉藤)	1975	岩盤と弾性波速度	I-N	○	○	○	○	○	{トンネル}
14	日本道路技術協会	1958	亀裂、弾性波速度	1-5	○	○	○	○	○	{岩盤と弾性波を主体とするが、等級については、他の因子も考慮し判断する。 (トンネル)一般の分類に対し湧水の多少による自立性を対応
15	経済企画庁	1954	岩石の強度、岩盤の弾性波速度	1-6	○	○	○	○	○	(土地分類) 岩片、岩塊の硬さ区分を基盤地質の分布に利用
16	土質工学会(岩の力学委員会)	1969	岩石の強度、掘削目間隔	1-9	○	○	○	○	○	(一般) 因子を定量的表現とし、組合せにより多区分とする。
17	Terzaghi(アメリカ合衆国)	1946	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	トンネル支保にかかわる土荷重を分類した。
18	Strain(オーストリア)	1950	地山の硬さ	A-G	○	○	○	○	○	導坑掘削における地山強度と支保形式の関係
19	Rabcewicz(オーストリア)	1957	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	自立性に関する初期の分類
20	Lauffer(オーストリア)	1958	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	自立性に関する初期の分類
21	Protoklonov(ソ連)	1963	硬さ指数	I-X15区分	○	○	○	○	○	一軸圧縮強度を重視する
22	Müller(オーストリア)	1963	掘削目間隔、岩盤の低下度	A-D, I-V	○	○	○	○	○	岩石等級と掘削目間隔の組合せ
23	D.U. Deere他(アメリカ)	1966	RQD	1-6	○	○	○	○	○	RQDによる岩区分と支保形式とを対応させる。
24	O'Neil	1966	掘削目の状態	1-6	○	○	○	○	○	岩盤の強度とロックボルト支保工の一般的適用性
25	Fookes & Horswill	1969	岩盤の状態	I-Ⅶ	○	○	○	○	○	掘削と掘削しない岩盤の野外分類法
26	Owen(アメリカ合衆国)	1970	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	Laufferの分類に基づき、支保形式の関係を付加
27	Richard & Linder	19	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	Laufferの分類に基づき、支保形式の関係を付加
28	Pacher(オーストリア)	1974	岩盤の状態	I-V	○	○	○	○	○	岩盤の性状と支保・分割掘削法を結びつける。
29	Z. T. Bieniawski(南アフリカ)	1973	強度・RQD・掘削目	I-V	○	○	○	○	○	数値表現法を用いた地質工学的岩区分
30	N. Bartonほか	1974	Q値	9区分30段階	○	○	○	○	○	詳細であるが細かすぎるのが難点
31	G. E. Wickham	1974	RSR値	数値表現法	○	○	○	○	○	岩盤を定量的に評価し支保工の設計に使用
32	A. F. T. E. S. (フランス)	1976	硬さ指数	I-X	○	○	○	○	○	支保工の建設に関する推奨基準
33	E. B. Pender	1974	電 気	7区分	○	○	○	○	○	定性的な記述が多い。

(注) 1. ○印は記述の表現、○印は記述の表現、△印は因子がつけあがっている場合を示す。