

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、そのおのこ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・モニタリングが実際的である。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	分類法 (出典)	発表年代 (西暦)	主要分類因子	等級	岩盤の性質・状態と関連する因子		項目		特徴	
					岩石の強度	岩石の變形性	自立性	自立性		自立性
1	国鉄(広田)	1942	岩盤の状態	III (岩1-N)	○	○	○	○	○	(切取り、掘削、トンネルに適用)
2	国鉄(伊崎)	1960	弾性流速	岩1-6	○	○	○	○	○	分類No.1に弾性流速を対応させた。
3	工藤一	1960	電裂係数	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、弾性流速	1-7	○	○	○	○	○	トンネル (水洞トンネル、地下発電所、ダム基礎)
6	電源開発	1968	岩石の強度、岩盤の状態	1-5	○	○	○	○	○	(トンネル) 支保工、掘削による区分と掘削の区分を合わせた。
7	電力中研(高橋・菊地)	1975	岩石の強度、岩盤の状態	A-D6区分	○	○	○	○	○	(トンネル) 支保工、掘削による区分と掘削の区分を合わせた。
8	建設省(日本道路協会)	1974	岩盤状態、弾性流速	A-E	○	○	○	○	○	類、水資源開発公団の基準となった。
9	日本道路協会	1966	地質(岩盤)状態	A-E	○	○	○	○	○	(トンネル) 支保工、掘削による区分と掘削の区分を合わせた。
10	愛知用水公団	1960	岩盤とコアの状態	A-E	○	○	○	○	○	類、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、弾性流速	A-D	○	○	○	○	○	(トンネル) (トンネル)
12	農林水産省	1975	岩盤の状態、弾性流速	I-N	○	○	○	○	○	{岩性+弾性流速を主体とするが、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
13	国鉄、鉄道公社(斉藤)	1954	岩盤と弾性流速	1-5	○	○	○	○	○	(土地区画) 岩片、岩塊の硬さ区分を基礎地質の分布に利用
14	日本鉄道技術協会	1958	電裂、弾性流速	1-6	○	○	○	○	○	(一般) 因子を定量的表現とし、組合せにより多区分とする。
15	経済企画庁(岩崎)	1969	岩石の硬さ、岩盤の状態、掘削目間隔	1-6	○	○	○	○	○	トンネル支保にかかるとし、掘削目間隔と支保形式の関係
16	土質工学会(岩崎)	1969	岩石の硬さ、岩盤の状態、掘削目間隔	1-6	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
17	Terzaghi(アメリカ)	1946	岩盤の状態	1-9	○	○	○	○	○	自立性に関する初期の分類
18	Strain(オーストリア)	1950	地山の硬さ	A-G	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
19	Rabcewicz(オーストリア)	1957	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
20	Lauffer(オーストリア)	1958	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
21	Protobakonov(ソ連)	1963	硬さ指数	I-X15区分	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
22	Müller(オーストリア)	1963	掘削目間隔、岩盤の低下度	A-D, I-V	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
23	D. U. Deere(アメリカ)	1966	RQD	1-6	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
24	O'Neil	1966	掘削目状態	1-6	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
25	Footes & Horwill	1969	岩盤の状態	I-VI	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
26	Owen(アメリカ合衆国)	1970	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
27	Richard & Linder	19	岩盤の状態	A-G	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
28	Pacher(オーストリア)	1974	岩盤の状態	I-V	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
29	Z. T. Bieniawski(前77カ)	1973	強度、RQD、掘削目	I-V	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
30	N. Bartonほか	1974	RSR値	9区分30段階	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
31	G. E. Wickham	1974	RSR値	数値表現法	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
32	A. F. E. S. (フランス)	1976	硬さ指数	I-X	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係
33	E. B. Pender	1974	電裂係数	7区分	○	○	○	○	○	掘削目間隔と支保形式の関係

(注) 1. ○印は電裂表現、○印は電裂表現、△印は掘削目間隔と支保形式を考慮したものである。