

古期堆積岩のボーリング調査における 評点方式による岩盤分類基準の検討

Score rating method for the rock classification for boring core logging of sedimentary rocks

平野 勇*・樺澤孝人**・古市雄一**・松岡俊文***・南 陽輔***

Isamu HIRANO, Takato KABASAWA, Yuichi HURUICHI, Toshifumi MATSUOKA and Yosuke MINAMI

Japanese standard of rock classification is developed and differentiated on the basis of the method in Tanaka (1964), Okamoto and Yasue (1967) in various fields of civil engineering such as dam, bridge, nuclear power plant, tunnel, underground space, slope cut. In today, the rock classification becomes an indispensable technique for carrying out design and construction of civil engineering structure by geotechnical investigation, evaluation and grasp of the three-dimensional structure of engineering property of rock mass.

The standard for core logging and making columnar section proposed by Kuwahara and Hirano (1986) is widely applied to rock mass boring in our country as what is called JACIC mode. Then, the relation between the rock classification on the basis of Tanaka (1964) and geologic element in the JACIC mode were analyzed by quantification II, and rock classification by the score rating method was developed in the dam foundation of sedimentary rocks.

Key Words: dam foundation, core logging, rock classification, quantification analysis, score rating method

1. はじめに

非均質、多様な岩盤について一定の基準を設け、同類のものをまとめて幾つかのランクに系統的に区分し、体系化したものが岩盤分類である。岩盤分類は、①岩盤の工学的取り扱いの単位と領域の設定、②岩盤評価の共通尺度、③地質調査および試験データのサイト全体への展開、④岩盤の工学的評価と設計・施工の体系化、などを目的として行われる。また、岩盤の調査および評価・解析を行い、岩盤物性の三次元分布を把握し、設計・施工を行う上での“要”となる実務の手法であり、岩盤工学分野における必要・不可欠な手法となっている。最近、岩盤分類について構造物の建設コスト縮減、地盤技術の基準化・国際化などを背景として土木学会、地盤工学会、日本応用地質学会において基準化や再評価に関する委員会活動が活発となっている¹⁾²⁾。

わが国の代表的な岩盤分類基準として、田中³⁾があり、この基準は岩盤の地質要素を文章の記述によって定性的に表現した「記述方式」による分類である。同じく、岡本・安江⁴⁾は、岩盤の工学的性質に影響をおよぼす地質要素を幾つか選定して、その地質要素の連続的な変化を半定量的に細区分し、各地質要素の細区分を組み合わせた「要素組合せ方式」による分類である。これらの基準は、岩盤掘削面、ボーリングコアの目視観察やハンマー打診などを基にして岩級区分を行うもので、岩盤性状についての技術者の経験的判断に基づいて行う「岩盤性状による分類」であり、最も基本的な岩盤分類手法である。わが国の岩盤分類の手法は、これらの基準を原点として長足の進歩を遂げてきた。「岩盤力学特性による分類」は、岩盤性状による分類に岩盤試験値

* 正会員 (独) 土木研究所

** 国土交通省北海道開発局

*** 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻

など力学定数を対応させたものであり、「岩盤総合評価による分類」は、構造物のタイプ、規模、設計・施工など、構造物側の条件に照らして総合的に評価した分類であり、設計定数や設計・施工法、管理値、さらには積算基準などとの対応付けがなされたものである³⁾。

さて、今日、わが国における岩盤ボーリングのコア判定および柱状図作成手法は、桑原・平野⁶⁾によって提案したものが、いわゆる JACIC 様式⁷⁾として定着してきた。そこで、白亜紀の堆積岩類からなるダムサイトを対象に、田中³⁾をベースとした岩盤分類と JACIC 様式における岩盤分類に関連する地質要素との関係について数量化Ⅱ類による解析を行い、ボーリング調査における評点方式による岩盤分類基準の作成について検討した。

2. 作成目標とする分類方式

要素組合せ方式による分類は、区分要素数やその細区分数が増えると組合せ数が増大し、事実上取り扱いが不可能となる（岡本・安江⁴⁾では 27 とおりの組合せであり、この程度が限界であろう）。一方、海外で広く用いられている RMR、Q システム⁸⁾⁹⁾など、複数の区分要素の評点に基づく評価法（評点方式）は、区分要素やその細区分が多くても処理可能と言う特色がある。

JACIC 様式では、岩盤分類に関連する区分要素として①硬軟、②コア形状、③割れ目状態、④風化、⑤変質、⑥コア採取率、⑦最大コア長、⑧RQD、⑨岩種、⑩色調などを設定している。これらの要素は、要素組合せ方式の区分要素となり得るが、取捨選択するにしても要素数が多いと細区分の組合せ数は膨大となり、各細区分組合せの評価や物性値などとの対応付けは、事実上、不可能となる。そこで、RMR 法のような区分要素の重み付けと細区分の評点に基づく評点方式による分類基準を検討した。

3. 検討対象としたダムサイトの地質概要

検討対象としたダムサイトは、北海道石狩炭田地域の中央部西端に位置し、白亜系と古第三系との不整合周辺に当たる。ダム基礎岩盤を構成する白亜系函淵層群は、岩相によって 20 の部層（Ss1～Ss6.20）に区分され、大局的には中～粗粒砂岩を主体に頁岩、凝灰質岩などからなっている。ダムサイトの河道は地層の走向と直交して横谷をなし、地層は褶曲によって逆転し、概ね 30～50° で上流側へ傾斜するが、一部（特に河床部）で 70～80° の急傾斜をなしているところがある。基礎岩盤の風化や緩みはあまり見られない。

4. 検討方法と結果

ボーリング柱状図を基にコア観察を行い岩盤分類に関連する地質要素についてのデータを取得してデータファイルを作成し、岩級区分を目的変数、地質（区分）要素を説明変数として数量化Ⅱ類による多変量解析を実施した。さらに、得られた結果を基に現場における実用性を考慮して評点方式による岩盤分類基準を作成した。

(1) ボーリングコア観察およびデータ取得

ボーリング柱状図を基にコア観察を行い、1m 区間の記載内容ができるだけ一様な箇所を選択し、表－1 のデータを取得した。その中から、砂岩は各岩級 50 個、頁岩は B 級 26 個、CH 級 50 個、CM 級 50 個、CL 級 50 個、D 級 39 個を無作為に抽出し数量化解析を行った。他のデータは、作成した評点方式的の中率判定に用いた。

表－1 岩種・岩級別データ取得数

岩 級	B	CH	CM	CL	D	計
砂 岩	209	94	80	77	54	514
頁 岩	26	63	73	60	39	261
計	235	157	153	137	93	775

(2) 数量化Ⅱ類による解析

JACIC 様式の岩盤分類に関連する区分要素（アイテム）うち、⑤変質、⑥コア採取率、⑦最大コア長を除外した。その理由として、⑤変質については対象とする岩盤ではほとんど見られない、⑥コア採取率については近年のコア採取技術の進歩によって著しく向上しており岩級とは無関係と見られる、⑦最大コア長については⑧RQDと同様の事柄を示すとみなし重複を避けるためである。表－2に説明変数に用いた主な区分要素とその細区分（カテゴリー）を示す。

各区分要素のカテゴリーについて、的中率を向上させるためにカテゴリースコア、サンプルスコアグラフを基にカテゴリー区分の見直しを繰り返した。風化のカテゴリーのうち、 (γ) と (δ, ε) はカテゴリースコアにほとんど差がないので $(\gamma \sim \varepsilon)$ に括るなどして最終的に決定したアイテムとカテゴリーを表－3に示す。これによるカテゴリースコアは図－1となり、各アイテムにおいて増減の傾向が一定となっている。図－2にサンプルスコアによる判別グラフであり、砂岩、頁岩ともによく分類できていると判断される。また、各アイテムの目的変数（岩級）に対する影響度合いを示すレンジ、偏相関係数の各アイテムにおける値を表－4に示している。各アイテムのレンジ、偏相関係数の順位はほぼ同様な順位となっている。岩級に対して、砂岩ではコア形状の影響が最も大きく、風化は小さい。頁岩では割れ目状態の影響が最も大きく、風化は小さい。また、砂岩、頁岩ともRQD、硬軟の影響が大きいことが分かる。

表－2 説明変数とした主な区分要素（アイテム）とその細区分（カテゴリー）

区分要素 (アイテム)	細 区 分 (カテゴリー)
硬 軟	A 極硬、ハンマーで容易に割れない B 硬、ハンマーで金属音 C 中硬、ハンマーで容易に割れる D 軟、ハンマーでぼろぼろに碎ける E 極軟、マサ状、粘土状
コア形状	I 長さが50cm以上の棒状コア II 長さが50～15cmの棒状コア III 長さが15～5cm以上の棒状コア IV 長さが5cm以下の棒状～片状コアでかつコアの外周の一部が認められる V 主として角礫状のもの VI 主として砂状のもの VII 主として粘土状のもの VIII コアの採取が出来ないもの。スライム含む
割れ目状態	a 密着している、分離しているが割れ目治いの風化・変質は認められない b 割れ目治いの風化・変質は認められるが、岩片はほとんど風化・変質していない c 割れ目治いの岩片に風化・変質が認められ軟質となっている d 割れ目として認識できない角礫状、砂状、粘土状コア
風 化	α 非常に新鮮、造岩鉱物の変質は全くない β 新鮮で、長石の変色はないが、有色鉱物の周辺に赤褐色化がある γ 弱風化で、有色鉱物の周辺が濁っており、やや黄色を帯びている。長石は一部白濁し、鉱物の一部が溶脱している δ 風化している、長石は変質し白色となっている、有色鉱物が褐色粘土化している、黄褐色化が著しい ε 強風化しており、原岩組織が失われている

表－3 アイテムとカテゴリー

アイテム	カテゴリー				
硬軟	(1) A	(2) B	(3) C	(4) D	
コア形状	(1) I	(2) II	(3) III	(4) IV	(5) V～VII
割れ目の状態	(1) a	(2) b	(3) c	(4) d	
風化	(1) α, β	(2) $\gamma \sim \varepsilon$			
R Q D	(1) 100～90	(2) 90～76	(3) 75～51	(4) 50～26	(5) 25～0

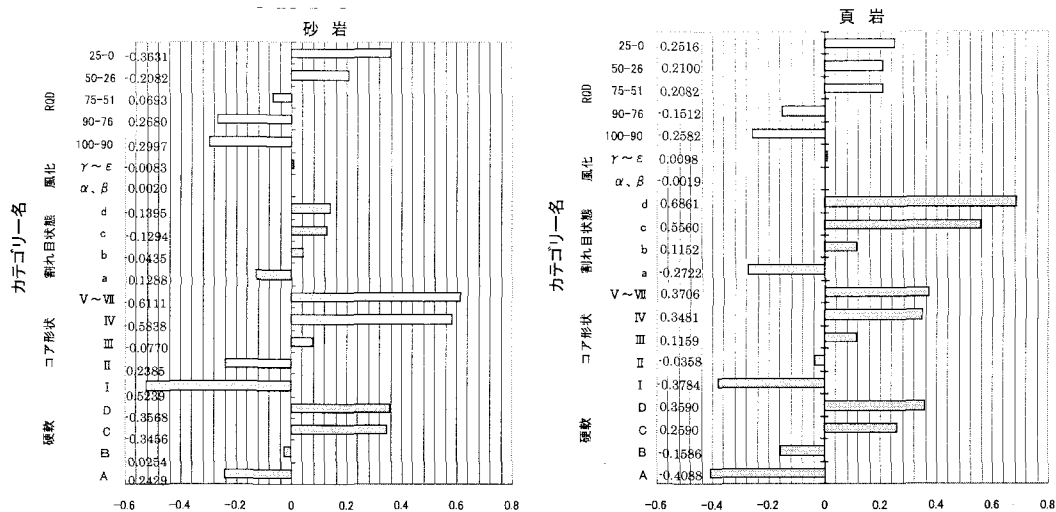


図-1 カテゴリースコアグラフ

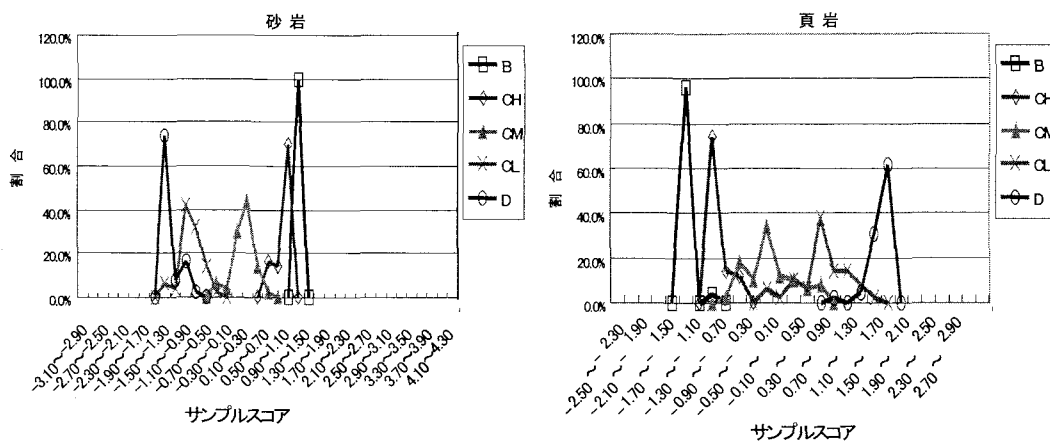


図-2 判別グラフ

表-4 目的変数（岩級）に対するアイテム（区分要素）の影響

砂 岩

アイテム	レンジ	順位	偏相関係数	順位	偏相関検定
硬 軟	0.5997	3 位	0.6745	2 位	[**]
コア形状	1.1350	1 位	0.7455	1 位	[**]
割れ目状態	0.2684	4 位	0.4051	4 位	[**]
風 化	0.0104	5 位	0.0179	5 位	[]
RQD	0.6627	2 位	0.5713	3 位	[**]

頁 岩

アイテム	レンジ	順位	偏相関係数	順位	偏相関検定
硬 軟	0.7678	2 位	0.5967	2 位	[**]
コア形状	0.7490	3 位	0.4566	3 位	[**]
割れ目状態	0.9584	1 位	0.6309	1 位	[**]
風 化	0.0117	5 位	0.0119	5 位	[]
RQD	0.5099	4 位	0.3756	4 位	[**]

(3) 評点方式による分類基準の検討

現場における実用性を考慮して、下の式のようなレンジ、偏相関係数の 2 とおりの評点変換式を使って、サンプルスコアの取りうる最大値が 100 になるように調節して各カテゴリーの評点を整数化した。各アイテムにおけるカテゴリーの評点を表-5、判別グラフを図-3 に示している。また、判別グラフの判別境界値については、①互いに隣り合う群の平均サンプルスコアの中点、②サンプルスコアグラフにおける互いに隣り合う群の交点、の 2 とおりで求めた。それらの結果を表-6 に示す。したがって、2 とおりの変換式と判別境界値の設定方法となるが、各ケースにおける的中率と相関比を表-7 に示している。これによると砂岩、頁岩とも変換式はレンジ、境界値はサンプルスコアグラフの交点を用いれば的中率が高いことが分かる。

各岩級の評点は、砂岩では B 級が 100~97, CH 級が 96~78, CM 級は 77~44, CL 級は 43~12, D 級は 11~0 となり、この評点による精度は相関比 $\eta^2=0.971$, 的中率=94.8%となった。頁岩では、B 級は 100~96, CH は級 95~79, CM 級は 78~48, CL 級は 47~17, D 級は 16~0 となり、精度は相関比 $\eta^2=0.927$, 的中率=86.0%となった。さらに、表-1 の全データを使って岩級ごとの的中率を求めたものが表-8 である。

以上のようにして評点方式による岩盤分類基準を求めたところ本ダムサイトの堆積岩類に有効であることが確認できたが、今後、他の岩種や劣化要因からなる様々な岩盤について検討する必要がある。

$$Y_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a'_{ij} x_{ij}$$

$$a'_{ij} = a_{ij} \times b - c_i$$

$$b_i = 100 \times z_i / \sum_{i=1}^k z_i$$

Y_1 : サンプルスコア
 a_{ij} : カテゴリースコア
 (アイテム i の中のカテゴリー j)
 a'_{ij} : 変換されたカテゴリースコア
 b_i : 定数
 c_i : アイテム i の中で最小のカテゴリースコア
 z_i : レンジ
 X_{ij} : ダミー変数アイテム i のカテゴリー j において
 該当するとき・・・1
 該当しないとき・・・0

$$Y_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d'_{ij} x_{ij}$$

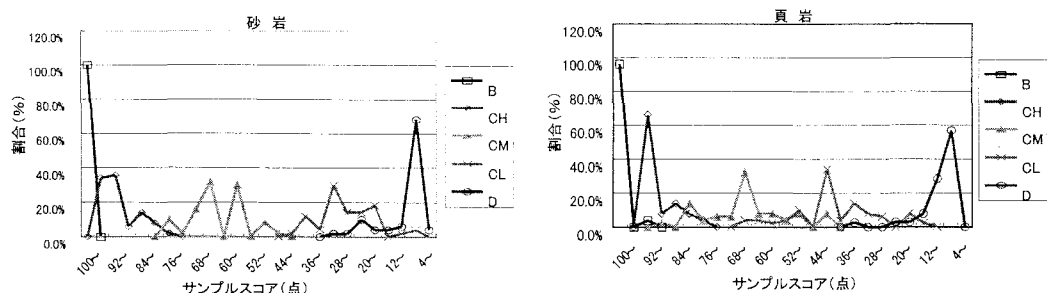
$$d'_{ij} = d_{ij} \times e_i - f_i$$

$$e_i = 100 \times g_i / \sum_{i=1}^k g_i$$

Y_2 : サンプルスコア
 d_{ij} : カテゴリースコア
 (アイテム i の中のカテゴリー j)
 d'_{ij} : 変換されたカテゴリースコア
 e_i : 定数
 f_i : アイテム i の中で最小のカテゴリースコア
 g_i : 偏相関係数
 X_{ij} : ダミー変数アイテム i のカテゴリー j において
 該当するとき・・・1
 該当しないとき・・・0

表-5 区分要素(アイテム)の細区分(カテゴリー)の評点

		砂 岩		頁 岩	
区分要素と細区分		使用した評点変換式			
アイテム	カテゴリー	レンジ	偏相関係数	レンジ	偏相関係数
硬軟	A	22	28	25	29
	B	14	18	17	20
	C	1	1	3	4
	D	0	0	0	0
コア形状	I	42	31	25	22
	II	31	23	14	12
	III	20	15	9	7
	IV	1	1	1	1
	V～VII	0	0	0	0
割れ目の状態	a	10	17	32	30
	b	4	6	19	18
	c	1	1	4	4
	d	0	0	0	0
風化	α, β	1	1	1	1
	$\gamma \sim \varepsilon$	0	0	0	0
RQD	100-90	25	23	17	18
	90-76	24	22	13	14
	75-51	16	15	2	2
	50-26	6	5	1	1
	25-0	0	0	0	0



図ー3 評点による判別グラフ（評点変換式はレンジ）

表ー6 評点変換式と岩級の境界値

	砂 岩				頁 岩			
	使用した評点変換式と境界値				使用した評点変換式と境界値			
	レンジ		偏相関係数		レンジ		偏相関係数	
岩級	平均	交点	平均	交点	平均	交点	平均	交点
CL～D	14.4	12	21.1	19	21	16.5	16.3	14
CM～CL	41.7	44	48.4	49	48.9	48	43.5	46.5
CH～CM	75	78	74	80	74.9	78.5	73.6	76
B～CH	94.7	97	93.6	96	94	96	93.2	96

平均・・・2岩級間のサンプルスコア平均

交点・・・2岩級間のサンプルスコアグラフの交点

表ー7 評点変換式、境界値による的中率と相関比

岩 種	解析方法	数量化Ⅱ類	砂 岩			
			使用した評点変換式と境界値			
			レンジ		偏相関係数	
正解数/サンプル数 的中率 相関比	222/250 88.8% 0.971		平均	交点	平均	交点
			235/250 94.0%	237/250 94.8%	235/250 94.0%	230/250 92.0%
			0.971		0.965	

岩 種	解析方法	数量化Ⅱ類	頁 岩			
			使用した評点変換式と境界値			
			レンジ		偏相関係数	
正解数/サンプル数 的中率 相関比	177/215 82.3% 0.927		平均	交点	平均	交点
			184/215 85.6%	185/215 86.0%	180/215 83.7%	184/215 85.6%
			0.927		0.926	

表ー8 採用した評点方式（評点変換式：レンジ，境界値：交点）による各岩級の的中率

岩 種	的中率	B	CH	CM	CL	D	計
砂 岩	的中数/個数	206/209	91/94	80/80	70/77	43/54	490/514
	的中率	98.6%	96.8%	100.0%	90.9%	79.6%	95.3%
頁 岩	的中数/個数	25/26	56/63	62/73	43/60	37/39	223/261
	的中率	96.2%	88.9%	84.9%	71.7%	94.9%	88.4%

文 献

- 1)平野勇(2002)：岩盤分類に関する諸課題と応用地質学会岩盤分類再評価研究小委員会における取り組み，平成14年度日本応用地質学会特別講演およびシンポジウム予稿集，pp.52-63.
- 2)地盤工学会(2004)：新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類方法（JGS 3811-2004），70p.
- 3)田中治雄(1964)：土木技術者のための地質学入門，山海堂.
- 4)岡本隆一・安江朝光(1966)：ダムサイトにおける岩級区分の試み，土木技術資料，Vol.1.8，No.9，pp.423-432.
- 5)平野勇(1996)：ダムの岩盤分類における実態と提言，ダム技術，pp.33-48.
- 6)桑原啓三・平野勇(1986)：ボーリング柱状図作成要領（案），土木研究所資料，No.2389，22p.
- 7)(財)日本建設情報総合センター(1986)：ボーリング柱状図作成要領（案）解説書，55p.
- 8)Bieniawski,Z.T.(1989)：Engineering Rock Mass Classifications, Wiley & Sons, Inc.
- 9)Singh,B & Goel,R.K. (1999)：Rock Mass Classification, Elsevier.