瑞浪超深地層研究所における新しい定量的岩盤分類法の適用性評価

浅井 秀明[1*]・久慈 雅栄[2]・堀内 泰治[1]・松井 裕哉[1]

[1]独立行政法人日本原子力研究開発機構　地層処分研究開発部門 結晶質岩工学技術開発グループ
（〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64）
[2]前田建設工業株式会社　土木事業本部土木部設計グループ（〒179-8903 東京都練馬区高松5-8 J-CITY）
*E-mail: asai.hideaki@jaea.co.jp

高レベル放射性廃棄物の地層処分などの岩盤地下構造物建設においては，合理的･効果的な設計施工の観点より，地上からの調査や掘削中の壁面観察結果からサイト固有の岩盤力学的特徴を反映しつつ，設計等に必要な適切な岩盤分類を行う手法の構築が大きな課題と考えられる．このような観点から，筆者らは「岩盤の工学的分類方法 JGS 3811-2004」をベースとした新しい定量的岩盤分類法を考案し，日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所における立坑2本を含む研究坑道の堆積岩部および結晶質岩部へ適用するとともに，電研式岩盤分類法の岩盤等級と比較することによってその適用性を評価した．

Key Words : *rock mass classification, shaft, underground research laboratory, crystalline rock*

1. はじめに

岩盤分類は，ダムやトンネルなどの岩盤を対象とした構造物の設計や施工管理において広く用いられている．しかし適用される岩盤分類は，対象とする構造物や発注機関によってそれぞれ異なっているのが現状である．さらに，高レベル放射性廃棄物の地層処分などを対象とした莫大な建設費を必要とする大型岩盤地下構造物では，より合理的な設計ならびに施工を行うために，サイト固有の岩盤力学的な特徴を反映しつつ適切な物性評価を行える岩盤分類法の構築が大きな課題と考えられる．

このような観点から筆者らは，「岩盤の工学的分類方法 JGS 3811-2004」[1)]をベースとした新しい定量的岩盤分類法を考案するとともに，2本の立坑を対象として新分類法の適用性を検討した．

本報告では，新しい定量的岩盤分類法の概要とともに，瑞浪超深地層研究所の結晶質岩部においてその適用性を評価した結果について報告する．

2. 瑞浪超深地層研究所の概要

日本原子力研究開発機構は，高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する深地層の科学的研究（地層科学研究）の一環として，岐阜県瑞浪市において瑞浪超深地層研究所を建設している[2)]．研究所の研究坑道は主立坑（内径6.5m），換気立坑（内径4.5m），100m毎に両立坑をつなぐ予備ステージ（立坑中心間距離40m），詳細な調査研究を実施するための水平坑道群によって構成される．2010年9月末時点で，両立坑が深度約460mまで到達し，当該深度までの水平坑道の掘削が完了している（**図-1**）．

瑞浪超深地層研究所周辺の地質は，深度167m付近を

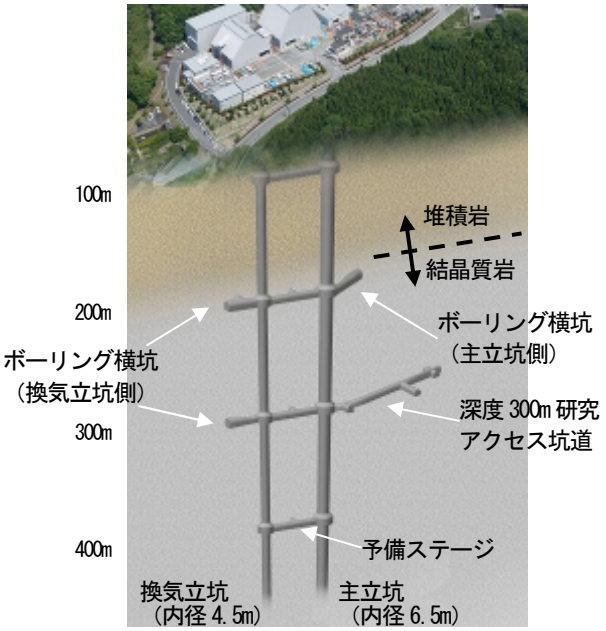

図-1　瑞浪超深地層研究所イメージ図

不整合面に，基盤として分布する結晶質岩（土岐花崗岩）の上位に新第三期中新世の堆積岩（瑞浪層群）が分布している．両立坑は同じ地層内にあるが，主立坑には掘削断面を縦断するようなほぼ垂直傾斜の断層が深度460mまで分布しており，主立坑およびその近傍は脆弱な岩盤状況となっている．

研究坑道の設計ならびに施工管理では，岩盤分類として電研式岩盤分類法[3)]を主に用いている．電研式岩盤分類法は，我が国で広く用いられている定性的な手法であるが，その評価には観察者の経験が必要とされる．

3. 新しい定量的岩盤分類法（新分類法）

「新しい定量的岩盤分類法」（以下，新分類法と称す）は，「岩盤の工学的分類方法 JGS 3811-2004」をベースとして考案した定量的な岩盤分類法である．定性的な電研式岩盤分類法と異なり，観察者の経験や主観に影響されることなく岩盤分類を行えることを目的としている．

瑞浪超深地層研究所の研究坑道における地質状況を考えたとき，岩盤の力学的物性に影響を与える最も大きな要素は「岩石の強度（特に原位置）」であり，続いて「不連続面の間隔」が影響すると考えられる．また主立坑の結晶質岩部の地質状況については，断層に起因した「劣化」を考慮する必要がある．そこで新分類法は上記の地質状況を勘案し，「岩盤の工学的分類方法 JGS 3811-2004」における大分類／中分類の項目から硬岩系岩盤[H]／塊状岩盤[M]をベースとしつつ，小分類の要素である「岩石の強さ」と「不連続面の間隔」の組み合わせに，細分類要素の一つである「風化度」を加えた．続いて定量的な評価を行うため，これらの3要素を組み合わせ，式(1)に示す算定式により評価点を求めた．

「評価点」＝「岩石の強さ[MPa]」×
「不連続面の間隔[m]の平方根」×「風化度」　(1)

この新分類法の適用性を評価するため，電研式岩盤分類との比較を行った．具体的には，電研式岩盤分類法の各岩盤等級（B，CH，CM，CL，D級）を**表-1**に示す組み合わせで割り振り[4)5)6)]，さらに**表-1**を基に評価点を試算する，一種のキャリブレーションを行った．結果を**図-2**に示すが，電研式岩盤等級と評価点分布との対比が比較的良好にできたため，**図-2**に示した閾値にて，新分類法評価点と電研式岩盤分類との関係を設定した．

表-1　新分類法の組み合わせ
（[ ]内は各指標の範囲もしくは係数を表す）

岩石の強さ (MPa)	不連続面の間隔(m)	風化度 W1 [1.0]	W2 [0.9]	W3 [0.7]	W4 [0.5]	W5 [0.3]	W6 [0.1]
A [>100]	Ⅰ[>2.0]	B	B	B	B	–	–
	Ⅱ[0.6～2.0]	B	B	B	CH	–	–
	Ⅲ[0.2～0.6]	CH	CH	CH	CM	–	–
	Ⅳ[0.06～0.2]	CH	CH	CM	CM	–	–
	Ⅴ[0.02～0.06]	–	–	–	–	–	–
	Ⅵ[<0.02]	–	–	–	–	–	–
B [50～100]	Ⅰ[>2.0]	B	CH	CH	CH	–	–
	Ⅱ[0.6～2.0]	CH	CH	CH	CM	–	–
	Ⅲ[0.2～0.6]	CH	CM	CM	CM	–	–
	Ⅳ[0.06～0.2]	CM	CM	CM	CM	–	–
	Ⅴ[0.02～0.06]	CM	CM	CL	CL	–	–
	Ⅵ[<0.02]	–	–	–	–	–	–
C [25～50]	Ⅰ[>2.0]	CH	CH	CH	CM	CM	–
	Ⅱ[0.6～2.0]	CH	CH	CM	CM	CM	–
	Ⅲ[0.2～0.6]	CM	CM	CM	CM	CL	–
	Ⅳ[0.06～0.2]	CM	CM	CL	CL	CL	–
	Ⅴ[0.02～0.06]	CL	CL	CL	CL	CL	–
	Ⅵ[<0.02]	–	–	–	–	–	–
D [10～25]	Ⅰ[>2.0]	–	–	–	–	–	–
	Ⅱ[0.6～2.0]	CM	CM	CM	CL	CL	CL
	Ⅲ[0.2～0.6]	CM	CL	CL	CL	CL	D
	Ⅳ[0.06～0.2]	CL	CL	CL	CL	CL	D
	Ⅴ[0.02～0.06]	CL	CL	CL	CL	D	D
	Ⅵ[<0.02]	CL	CL	CL	D	D	D
E [5～10]	Ⅰ[>2000]	–	–	–	–	–	–
	Ⅱ[600～2000]	–	CL	CL	CL	CL	D
	Ⅲ[200～600]	–	CL	CL	CL	CL	D
	Ⅳ[60～200]	–	CL	CL	CL	D	D
	Ⅴ[20～60]	–	CL	CL	D	D	D
	Ⅵ[<20]	–	CL	D	D	D	D
F [<5]	Ⅰ[>2000]	–	–	–	–	–	–
	Ⅱ[600～2000]	–	–	–	–	–	–
	Ⅲ[200～600]	–	–	CL	CL	D	D
	Ⅳ[60～200]	–	–	CL	D	D	D
	Ⅴ[20～60]	–	–	D	D	D	D
	Ⅵ[<20]	–	–	D	D	D	D

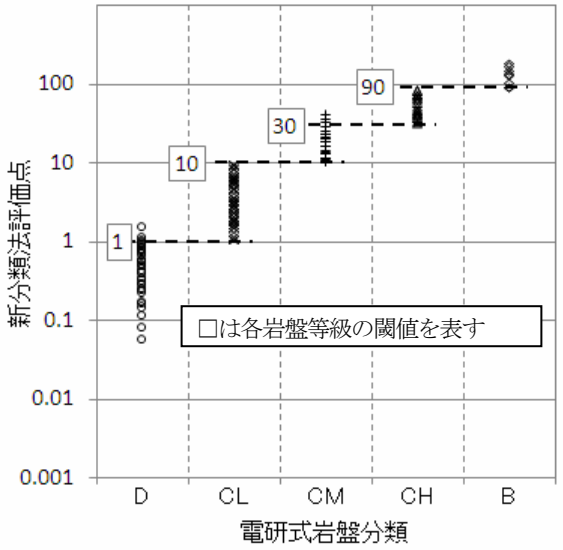

図-2　電研式岩盤分類と評価点分布

4. 新分類法の適用性評価

(1) 新分類法評価点の算出方法

研究坑道の掘削時，主立坑及び換気立坑では1ステップ（1.0～1.3m）ごとに坑壁の地質観察を行っている．研究坑道では電研式岩盤分類法の他に，RMR法[7]と新JH切羽評価点法[8]を，一定の4方向（NE，SE，SW，NW）にそれぞれ区分して実施している．

新分類法評価点を算出するにあたり，「岩石の強さ」については，坑壁観察時に実施している針貫入試験（堆積岩部及び結晶質岩の軟弱部）ならびにシュミットハンマー試験（結晶質岩部）の平均値より推定した一軸圧縮強さを用いた．「不連続面の間隔」及び「風化度」についてはRMR法で調査された結果に基づき設定した．

(2) 新分類法の適用性評価方法と堆積岩部への適用結果

前述の通り，新分類法の適用性評価は，電研式岩盤分類を対象として行った．具体的には**図-2**に示した閾値に従い，新分類法評価点が電研式岩盤分類の岩盤等級区分に対し，どの程度整合しているかを「適合率」として式(2)で算出し，評価した．

「適合率(%)」＝
「新分類法による評価点の個数」÷
「電研式岩盤分類法による評点の個数」　(2)

主立坑，換気立坑の堆積岩部において新分類法を適用した結果，主立坑で87%，換気立坑で86%と高い数字を示した[4)5)]．前述した通り，主立坑と換気立坑で岩盤状況は異なっているが，堆積岩部ではその差異にかかわらず，新分類法の適用性は良好であったと評価することができる[4)5)]．

(3) 主立坑結晶質岩部への適用結果

主立坑の結晶質岩部（深度166～400m）で新分類法を適用した結果を**図-3**に示す．**図-3**では，各深度の4方向別に新分類法評価点を算出したものをプロットし，かつ電研式岩盤分類の結果をハッチングすることで，双方の結果の対比を容易にしている．

式(2)によって求めた適合率を**表-2**に示す．適合率は，4方向（NE，SE，SW，NW）の新分類法評価点と，対応する方向での電研式岩盤分類との結果を比較し算出している．

主立坑は，掘削断面を縦断するように分布する断層のため，結晶質岩部においても地質は局所的に大きく変化し強度差も大きい．そのため，同一掘削断面でも電研式岩盤分類の評価が例えばCH～D級と異なってくる．**図-3**では一つの等級に収まるよう，低い等級結果を主にハッチングしているが，実際は2つ以上の等級にまたがる評価結果となっている箇所がほとんどである．

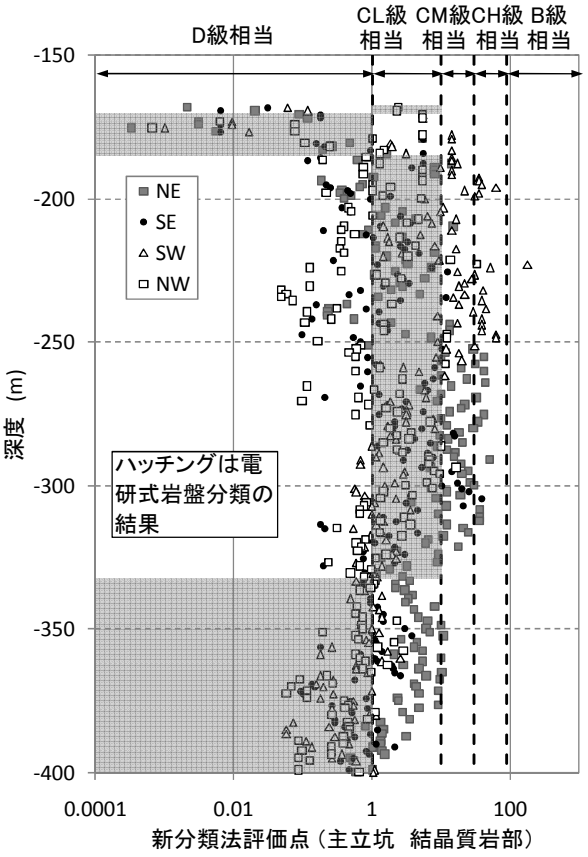

図-3　新分類法評価点の深度分布
（主立坑　結晶質岩部）

表-2　新分類法評価点の電研式岩盤分類との適合率
（主立坑　結晶質岩部）

新分類法評価点		電研式岩盤分類 D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
～ 1	（D級相当）	121	141	3	0	0	265
1 ～ 10	（CL級相当）	36	191	88	5	0	320
10 ～ 30	（CM級相当）	0	17	58	8	0	83
30 ～ 90	（CH級相当）	0	0	23	8	0	31
90 ～	（B級相当）	0	0	1	0	0	1
合　計		157	349	173	21	0	700
適合率		77%	55%	34%	38%	－	54%

図-3の結果から，評価点分布は岩盤状況の局所的な変化をより詳細に捉えているように思われた．しかし**表-2**の適合率は，堆積岩部よりも低い結果となっている．等級別に見てみると，D級では堆積岩部に近い高い適合率となっているが，等級が高くなるにつれ適合率が落ちる結果となっている．

また**表-2**より，電研式岩盤分類でCL級と判定された箇所における新分類法評価点は，D級相当の範囲からCM級相当の範囲まで，またCM級と判定された箇所に

おける新分類法評価点はCL級相当からCH級相当の範囲まで広く分布していることがわかる．

⑷ 換気立坑結晶質岩部への適用結果

換気立坑の結晶質岩部（深度169～400m）において新分類法を適用した結果を**図-4**に示す．主立坑と同様，各深度の4方向ごとに算出した新分類法評価点を用いている．また電研式岩盤分類の結果をハッチングしている．

式(2)によって求めた適合率を**表-3**に示す．主立坑と同様，4方向の新分類法評価点と，それぞれの電研式岩盤分類における結果を示している．

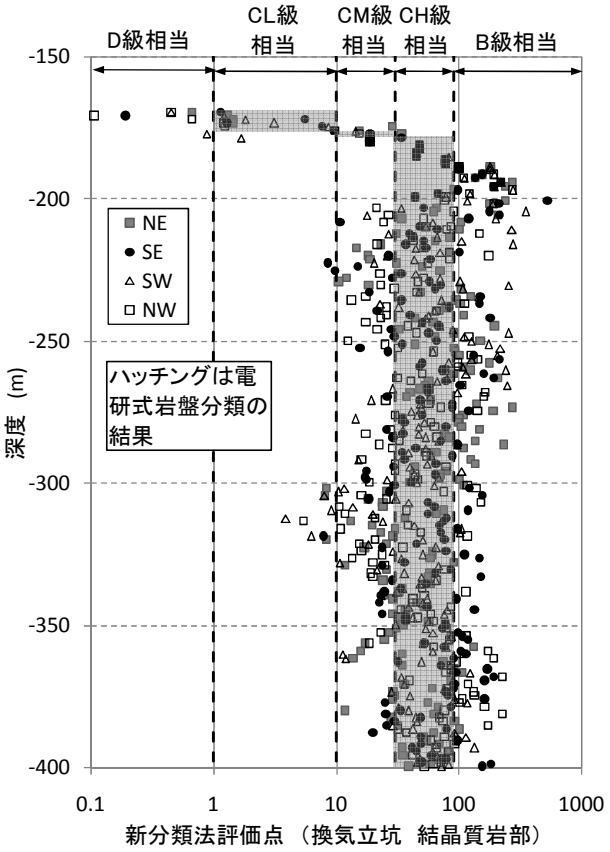

図-4 新分類法評価点の深度分布
（換気立坑　結晶質岩部）

表-3 新分類法評価点の電研式岩盤分類との適合率
（換気立坑　結晶質岩部）

新分類法評価点		電研式岩盤分類 D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
～ 1	（D級相当）	0	6	1	0	0	7
1 ～ 10	（CL級相当）	0	11	7	8	1	27
10 ～ 30	（CM級相当）	0	0	36	90	9	135
30 ～ 90	（CH級相当）	0	0	45	282	37	364
90 ～	（B級相当）	0	0	6	121	56	183
合 計		0	17	95	501	103	716
適合率			65%	38%	56%	54%	54%

換気立坑で見られる結晶質岩は未風化で，健全な土岐花崗岩である．壁面観察による電研式岩盤分類の結果は概ねCH級であり，不連続面の間隔や亀裂の数などによってB級もしくはCM級と判断される箇所が混じる結果となっている．

図-4の結果では，前出の主立坑における結果と同様，評価点分布が岩盤状況の局所的な変化を概ね捉えているように思われるが，**表-3**の結果では，適合率は主立坑と同じ54%であり，堆積岩部よりも低い．等級別に見ると，CM級で特に低い適合率となっている．また**表-3**より，電研式岩盤分類でCM級と判定された箇所における新分類法評価点は，CM級相当囲からCH級相当の範囲まで，同じくCH級と判定された箇所における新分類法評価点はCM級相当からB級相当まで，B級と判定された箇所における新分類法評価点はCH級相当からB級相当までと，いずれも広い分布を示していることがわかる．

⑸ 横坑結晶質岩部への適用結果

最後に横坑の結晶質岩部（深度167～400m）において新分類法を適用した結果を**図-5**に示す．また式(2)によって求めた適合率を**表-4**に示す．

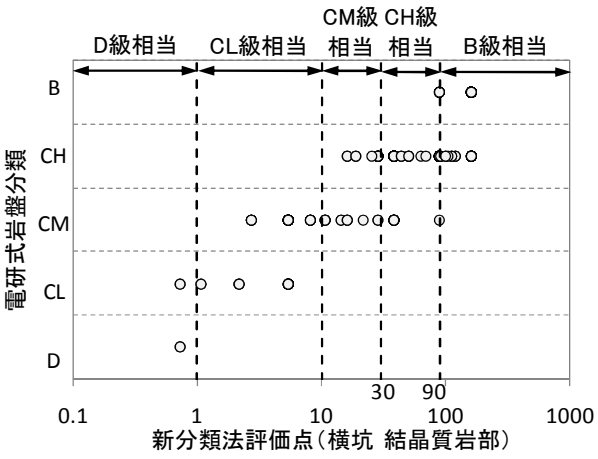

図-5 新分類法評価点の岩盤等級別分布
（横坑　結晶質岩部）

表-4 新分類法評価点の電研式岩盤分類との適合率
（横坑　結晶質岩部）

新分類法評価点		電研式岩盤分類 D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
～ 1	（D級相当）	2	2	0	0	0	4
1 ～ 10	（CL級相当）	0	16	41	0	0	57
10 ～ 30	（CM級相当）	0	0	12	16	0	28
30 ～ 90	（CH級相当）	0	0	10	145	6	161
90 ～	（B級相当）	0	0	0	32	86	118
合 計		2	18	63	193	92	368
適合率		100%	89%	19%	75%	93%	71%

ここで横坑とは，深度200～400mにおける予備ステージ，ボーリング横坑，深度300m研究アクセス坑道をまとめたものを総称している．立坑のような深度毎の分布の評価はできないため，**図-5**には電研式岩盤分類と新分類法評価点の相関のみ示している．

なお，横坑部では，切羽を上半と下半にそれぞれ分けて地質観察を行っているが，観察者が切羽天端からの崩落事故等に巻き込まれる危険を防止するため，切羽から離れた位置で地質観察を行っており，シュミットハンマー試験は実施できていない．そこで「岩石の強さ」については，「不連続面の間隔」及び「風化度」と同様，RMR法で調査された結果に基づいて算出した．その結果，同じ評価点の箇所が多数存在しており，岩盤分類自体の信頼度も立坑部に比べ劣る．

図-5の結果では，CM級，CH級でややばらつきがあるものの，新分類法評価点は概ね電研式岩盤等級と一致しているように見えるが，これは前述の通り同じ評価点が多数存在しているためである．適合率は**表-4**に示す結果であり，立坑部と比べ各級で高い適合率を示し，全体でも71%という結果となった．ただし，CM級のみ19%と格段に低い結果となっている．

5. 新分類法の適用結果に対する検討

4章で示したように，新分類法は結晶質岩部においては堆積岩部ほどの高い適合率を得られなかった．この結果の原因を探るべく，検討を行った．

新分類法評価点は式(1)に示すとおり，原位置における岩盤の強さと不連続面の間隔をベースとしている．そこで，岩盤の強さに着目し，換気立坑の深度300～400mの坑壁観察結果におけるシュミットハンマー試験からの推定一軸圧縮強さと，当該位置における電研式岩盤等級との関係を精査した．深度300～400mのデータを着目した理由は，この範囲において10m毎に掘削ずりから供試体を成形して一軸圧縮試験を行っており，十分な量の検証データが得られているためである．

図-6にCM級，CH級，B級における推定一軸圧縮強さの頻度分布を，平均値及び標準偏差（図中の十字部分）とともに示す．いずれの岩盤等級においても推定一軸圧縮強さのばらつきは大きい．またその平均値は，B級よりCH級の方が高い結果となっている．

定性的な評価を行う電研式岩盤分類と異なり，新分類法は局所的な岩盤状況変化を鋭敏に捉えていると考えられることから，**図-6**に示した推定一軸圧縮強さのばらつきが，評価点のばらつきを生んでいる原因の一つと考えられる．

また，深度300ー400m間で実施した掘削ずりによる一

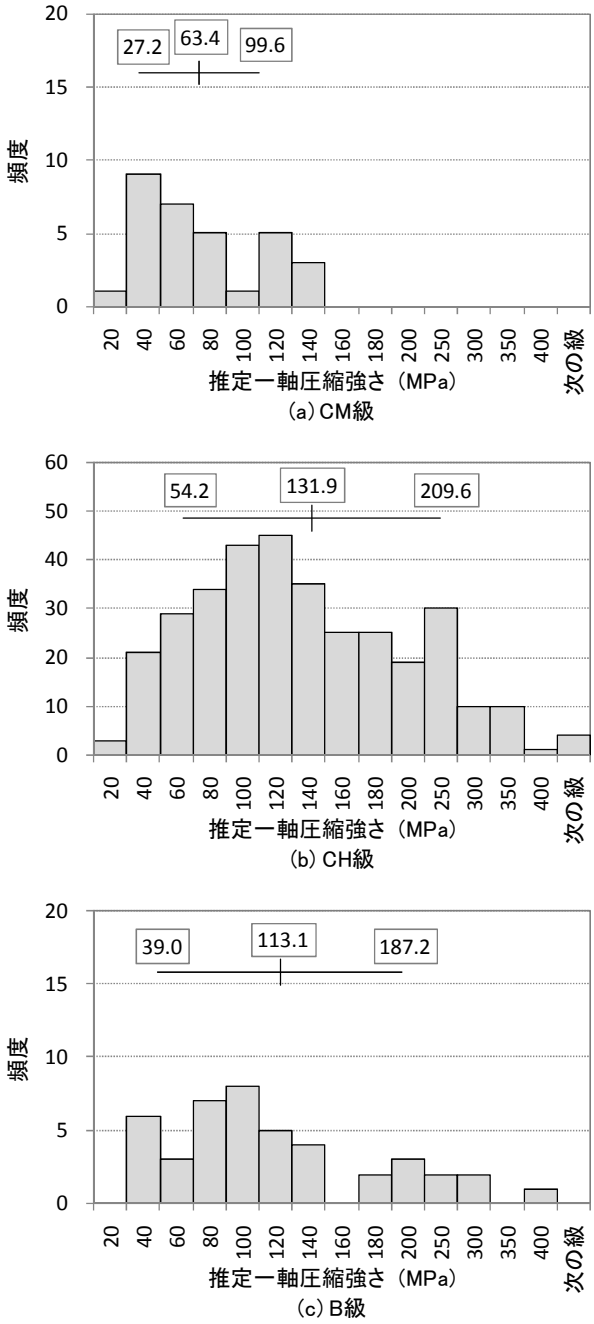

図-6 推定一軸圧縮強さの岩盤等級別分布
（換気立坑　深度 300～400m）

軸圧縮強さは126～194MPa，平均166MPaとなっており，**図-6**の結果と大きく異なっている．推定一軸圧縮強さが低い原因は，特に結晶質岩のような亀裂の発達した硬岩では，壁面近傍で掘削に伴う応力解放や発破影響を受けて潜在亀裂の開口や岩塊の分離等が生じ，いわゆる岩盤が浮いた状態になっているためと思われる．今回の観察方法では，特に立坑壁面の一定方向を定点観察することにしており，浮いた状態の岩盤面をシュミットハンマー試験位置としてしまった可能性がある．逆に高い値が出ている原因については，シュミットハンマー試験における一軸圧縮強さの推定式の問題[9]，特に100MPa以上では推定精度が悪くなるという指摘[10]について検討する必要

がある．

以上の検討から，シュミットハンマー試験による一軸圧縮強さの推定精度が低いことが，結晶質岩部における適合率の低下に繋がっている原因の一つと考えられる．

ただし，これはシュミットハンマー試験を実施していない横坑部のCM級で適合率が低い理由にはならないため，他の要因（不連続面の間隔や風化度）についても今後検討する必要があると思われる．

堆積岩部で良好な適合率を示したのは，針貫入試験を用いたことによって，シュミットハンマー試験よりも一軸圧縮強さのばらつきが少なく推定精度が良好であったためと考えられる．

6. おわりに

地盤工学会基準「岩盤の工学的岩盤分類法」をベースとして，瑞浪超深地層研究所の研究坑道の岩盤の特徴を考慮して新しい定量的岩盤分類法（新分類法）を考案し，その適用性について検討を行った．その結果，堆積岩部においては十分に高い適合率を示したが，結晶質岩部においては，評価点分布が岩盤状況の変化のトレンドを概ね捉えているものの，適合率は堆積岩部よりも劣っていることが明らかになった．その原因として，シュミットハンマー試験による一軸圧縮強さの推定に大きな差異がある可能性を指摘した．

新分類法は3要素で算定することができ，かつ定量的な分類法であることから，定性的な分類法と異なり，観察者の経験や主観とは関係なく岩盤を評価することが可能である．しかし「岩盤の強さ」は針貫入試験およびシュミットハンマー試験による岩盤の点での計測によるため，必ずしもその岩盤面全体の特徴を評価していない可能性がある．ひとつの壁面において複数の岩盤等級が出現している場合は，調査単位を狭くすることにより，新分類法の適用性が向上するものと期待される．

今後は，原位置における岩盤強度推定法の信頼性向上を検討するとともに，地表からの調査段階における設計にも新分類法が用いることが可能かどうか，ボーリングデータから新分類法の適用性評価を行っていく予定である．

参考文献

1) 地盤工学会基準部：新規制定地盤工学会基準・同解説　岩盤の工学的分類法(JGS 3811-2004)，地盤工学会，2004.
2) 東濃地科学研究ユニット：超深地層研究所　地層科学研究基本計画，JAEA-Review 2010-016，2010.
3) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門，山海堂，p.34-36，1964.
4) 久慈雅栄，佐藤稔紀，見掛信一郎，黒田英高：立坑における新しい定量的岩盤分類法の提案とその評価，第42回地盤工学研究発表会，No.53，pp.105-106，2007.
5) 久慈雅栄，浅井秀明，松井裕哉：新しい定量的岩盤分類法の大深度立坑での適用性評価(その 1ー堆積岩)，土木学会第64回年次学術講演会，CS5-056，p.245-246，2009.
6) 浅井秀明，久慈雅栄，松井裕哉：結晶質岩部を対象とした新しい定量的岩盤分類法の適用性に関する再評価，土木学会第65回年次学術講演会，CS7-069，p.137-138，2010.
7) Bieniawski, Z. T. : Geomechanics classification of rock masses and application in tunneling, Proc. 3rd Int. Cong, Rock Mech., Vol.2, Part A, pp.27-32, 1974.
8) 赤木渉，佐野理，進士正人，西琢郎，中川浩二：山岳トンネル施工支援のための切羽評価法の適用性に関する研究，土木学会論文集，No.686/VI-52，p.121-134，2001.
9) 久慈雅栄，浅井秀明，松井裕哉：原位置測定結果に基づくシュミットハンマ物性値推定の妥当性に関する検討，土木学会第65回年次学術講演会，CS7-070，p.139-140，2010.
10) 地盤工学会：岩の調査と試験，第33章シュミットハンマー試験，地盤工学会，pp.299-305，1989.

EVALUATION OF APPLICABILITY OF A NEW QUANTITATIVE ROCK MASS CLASSFICATION METHOD AT THE MIZUNAMI UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY

Hideaki ASAI, Masayoshi KUJI, Yasuharu HORIUCHI and Hiroya MATSUI

Considering the design, construction and safe operation of large underground facilities such as for the geological disposal of high-level radioactive waste, an important requirement is to utilize a rock mass classification method that can estimate site specific rock mechanical properties based on surface-based investigations and geological observations during excavation. For this study, a new quantitative rock mass classification method based on the Japanese Geotechnical Society standard was proposed and applied to the sedimentary formations and the granite at the Mizunami Underground Research Laboratory. Then the applicability of the new rock mass classification method could be evaluated.