JAEA-Technology 2013-022



# 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

Evaluation of the Applicability of a New Quantitative Rock Mass Classification Method at the Mizunami Underground Research Laboratory

久慈 雅栄	浅井 秀明	橋詰 茂	堀内 泰治
佐藤 稔紀	松井 裕哉		

Masayoshi KUJI, Hideaki ASAI, Shigeru HASHIZUME, Yasuharu HORIUCHI Toshinori SATO and Hiroya MATSUI

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate

October 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency. 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

### 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

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

東濃地科学研究ユニット

久慈 雅栄\*1、浅井 秀明\*1、橋詰 茂\*2、堀内 泰治\*2、佐藤 稔紀、松井 裕哉+1

### (2013年4月22日受理)

高レベル放射性廃棄物の地層処分場や大規模地下備蓄基地等の大型の岩盤地下構造物の合理 的・効果的な設計施工や安全確保の観点からは、地上からの調査や掘削中の坑道壁面の地質観察 結果から設計等に必要な岩盤物性値の分布を正確に決定できる岩盤分類法の構築が望まれている。 一方、国内で広く用いられている岩盤分類法は定性的な評価項目が多く、それらの分類法の評価 結果に基づき設計・施工の合理化を行うことには限界がある。

本研究では、地盤工学会が発案した「岩盤の工学的分類方法」をベースとした定量的な岩盤分 類法(以下、新分類法)を提案するとともに、日本原子力研究開発機構 瑞浪超深地層研究所建設 工事においても適用されている電研式岩盤分類による岩盤等級区分や坑道壁面の地質観察結果等 と比較することにより、その適用性を検討した。

その結果、堆積岩では、換気立坑の岩盤で電研式岩盤分類 CL 級の評価範囲に低い評価点が分 布する傾向はあるものの、両分類法による評価は良好な相関性を示すことがわかった。一方、結 晶質岩では、既存の定量的分類法ならびに新分類法による評価点分布は割れ目が存在する不連続 性岩盤の工学的性質の変化を概ね捉えているものの、電研式岩盤分類との相関性は堆積岩よりも 劣る結果になった。これは、断層の出現による局所的な岩盤状況の変化や、新鮮な土岐花崗岩で のシュミットハンマー試験による一軸圧縮強さの推定方法に起因すると考えられる。

原位置における岩盤強度推定法の信頼性向上が今後の課題と考えられる。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64

※2 技術開発協力員

<sup>+1</sup> 研究開発統括ユニット

<sup>※1</sup> 技術開発協力員(現所属:前田建設工業株式会社)

JAEA-Technology 2013-022

### Evaluation of the Applicability of a New Quantitative Rock Mass Classification Method at the Mizunami Underground Research Laboratory

Masayoshi KUJI<sup>\*1</sup>, Hideaki ASAI<sup>\*1</sup>, Shigeru HASHIZUME<sup>\*2</sup>, Yasuharu HORIUCHI<sup>\*2</sup>, Toshinori SATO and Hiroya MATSUI<sup>+1</sup>

> Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate Japan Atomic Energy Agency Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

> > (Received April 22, 2013)

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. However, the classification methods commonly used in Japan are qualitative and difficult to estimate the mechanical properties of a rock mass quantitatively.

For this study, a new quantitative rock mass classification method based on the Japanese Geotechnical Society (JGS) standard was proposed and applied to the sedimentary formations and the granite at the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU). The results were compared with the rock mass classification system developed by the Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) and commonly used in Japan. Then the applicability of the new rock mass classification could be evaluated.

The main conclusions of the study are as follows;

- For sedimentary rock, the new rock mass classification is for the most part consistent with CRIEPI's classification except for the CL class in CRIEPI's rock mass classification.
- In granite, the new rock mass classification can evaluate the local variation of rock mass properties relatively well. However, the new rock mass classification of granite is not as consistent with CRIEPI's as it is for the classification of sedimentary rock. The reasons for the discrepancy in rock mass ratings are basically due to faulting of the rock and inaccurate estimating of in situ rock strength with Schmidt hammer tests.

From the above, the future focus is to develop a method for estimating in situ rock strength.

Keywords: Quantitative Rock Mass Classification, JGS Standard, MIU

<sup>+1</sup> Research and Development Integration Unit

<sup>※1</sup> Collaborating Engineer (Presently, Maeda Corporation)

<sup>※2</sup> Collaborating Engineer

1.	研究概要1
2. 2 2	<ul> <li>計測データの整理</li></ul>
2	2.2.1<
9	2.2.3.       推定一軸圧縮強さ
3.	新しい定量的岩盤分類法
3 3	.1.       地盤工学会基準「岩盤の工学的分類方法」の概要
	3.2.1.評価点算出の考え方
4. 4	新しい定量的岩盤分類法の適用性の検討
	4.1.1.       主立坑
4	4.1.3.       堆積岩における新岩盤分類法の適用結果
Т	4.2.1.       主立坑
	4.2.3.       水平坑道       44         4.2.4.       結晶質岩における新岩盤分類法の適用結果       45
5.	電中研式岩盤等級区分との対比に関する閾値の見直し47
6. 6 6	新しい定量的岩盤分類法の適用性の再検討52 .1. 堆積岩の再検討52 .2. 結晶質岩の再検討55
	6.2.1.主立坑
	6.2.3.水平坑道
7.	新しい定量的岩盤分類法による岩盤物性推定の可能性に関する検討66
8.	まとめと今後の課題
参考	写义厭

# CONTENTS

1. Overview ·····	·· 1
<ul> <li>2. Interpretation of measurement data</li> <li>2.1 Specification of geological survey</li> <li>2.2 Estimation of unconfined compressive strength</li> <li>2.2.1 In situ needle sounding test</li> <li>2.2.2 Schmidt hammer test</li> <li>2.2.3 Estimation of unconfined compressive strength</li> <li>2.3 Estimation of unconfined compressive strength</li> <li>2.3 Existing quantitative rock mass classification methods</li> </ul>	$\begin{array}{cccc} & & & 2 \\ & & & 2 \\ & & & 12 \\ & & & 12 \\ & & & 13 \\ & & & 15 \\ & & & & 17 \end{array}$
<ul> <li>3. A new quantitative rock mass classification method</li></ul>	··20 ··20
Underground Research Laboratory	$\begin{array}{c} \cdot \cdot 22 \\ \cdot \cdot 22 \\ \cdot \cdot 26 \end{array}$
<ul> <li>4. Examination of the applicability of the new classification method</li></ul>	$     \begin{array}{r}         & \cdot \cdot 31 \\         & \cdot \cdot 31 \\         & \cdot \cdot 36 \\         & \cdot \cdot 38 \\         & \cdot \cdot 40 \\         & \cdot \cdot 40 \\         & \cdot \cdot 42 \\         & \cdot \cdot 44 \\         & \cdot \cdot 45     \end{array} $
5. Re-examination of boundary of rock mass classification	$\cdot \cdot 47$
<ul> <li>6. Re-examination of the applicability of the new classification method</li></ul>	$52 \\ -52 \\ -55 \\ -55 \\ -59 \\ -64 \\ -65$
7. Estimation of rock properties by new quantitative rock mass classification method $\cdots$	66
8. Summary and future objectives	$\cdot \cdot 70$
References ·····	$\cdot \cdot 72$

# 表リスト

表 2.1-1	JACICの風化、変質区分表(上:風化区分表、下:変質区分表)	3
表 2.1-2	電研式岩盤分類の岩盤等級区分基準	3
表 2.1-3	瑞浪超深地層研究所で適用している電研式岩盤分類の評価区分表	4
表 2.1-4	岩石の強さ(一軸圧縮強さ)	4
表 2.1-5	不連続面の間隔	4
表 2.1-6	割れ目の性状	4
表 2.1-7	RMR 評点から求められる地山分類	5
表 2.1-8	RMRの評価区分表	5
表 2.1-9	新 川における岩石グループの区分	6
表 2.1-10	) 新 川 における岩石グループに応じた評点	6
表 2.1-11	採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ1の場合)	7
表 2.1-12	2 採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ 2 の場合)	8
表 2.1-13	採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ4の場合)	9
表 3. 2-1	岩の工学的分類法に基づく風化・劣化度の分類と瑞浪超深地層研究所における対比	.22
表 3. 2-2	風化度に関する係数	.23
表 3. 23	RMR における「風化/劣化度」の設定係数	.23
表 3. 2-4	新 JH における「風化/劣化度」の設定係数	.23
表 3. 25	RMR および新 JH における「不連続面間隔」の代表値	.23
表 3.2-6	岩盤等級区分の閾値	.27
表 3. 27	岩盤等級組み合わせ	.28
表 3. 2-8	新分類法評価点算出結果(try-2)	.29
表 4. 1-1	電研式岩盤等級の修正	.33
表 4.1-2	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(全データ)	.35
表 4.1-3	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(算術平均)	.35
表 4. 1-4	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(対数平均値)	.35
表 4.1-5	新分類法の電研式岩盤分類との適合率の比較(主立坑堆積岩)	.36
表 4.1-6	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑堆積岩:全データ)	.38
表 4. 1-7	新分類法の電研式岩盤分類との適合率の比較(換気立坑堆積岩)	.38
表 4.1-8	堆積岩における新分類法の適合率の比較	.38
表 4. 2-1	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑結晶質岩:方向別)	.41
表 4. 2-2	新分類法評価点適合率総括(主立坑結晶質岩)	.41
表 4. 23	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑結晶質岩:方向別)	.43
表 4. 2-4	新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩)	.43
表 4. 25	新分類法の電研式岩盤分類との適合率(結晶質岩横坑)	.44
表 4. 26	換気立坑深度 300~400mの岩盤等級別推定一軸圧縮強さ分析結果一覧	.46
表 4. 27	掘削ずりを用いた一軸圧縮強さ分析結果一覧(換気立坑深度 210~400m)	.46
表 5-1 官	<b>『研式岩盤分類の評価方法</b>	.47
表 5-2 岩	皆盤等級組み合わせ(再検討後)	.48
表 5-3 業	新分類法評価点(再検討後)	.50
表 5-4 岩	告盤等級区分の閾値(再検討後)	.51

表 6.1-1	再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑堆積岩)	.53
表 6.1-2	2 再検討した新分類法評価点適合率総括(主立坑堆積岩)	.53
表 6.1-3	3 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑堆積岩)	.54
表 6.1-4	4 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑堆積岩)	.54
表 6. 2-1	再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑結晶質岩)	.56
表 6. 2-2	2 再検討した新分類法評価点適合率総括(主立坑結晶質岩)	.56
表 6. 2-3	3 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑結晶質岩)	.60
表 6. 2-4	4 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩)	.60
表 6. 2-5	5 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑結晶質岩:発破影響除く)	.63
表 6.2-6	5 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩:発破影響除く)	.63
表 6. 2-7	7 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(結晶質岩横坑)	.64
表 7-1	菊地らによる岩盤等級と物理定数の範囲	.66
表 7-2	粘板岩と花崗岩の物性値の例	.67
表 73	瑞浪超深地層研究所の立坑修正設計の物性値	.68

### 図リスト

図 1-1 田	湍浪超深地層研究所坑道レイアウトイメージ図および掘削状況	1
図 2.1-1	坑道壁面観察で得られた割れ目のトレース図(左 : 換気立坑、右 : 主立坑)	11
図 2.2-1	針貫入試験推定一軸圧縮強さの比較	12
図 2. 2-2	針貫入試験と点載荷試験、一軸圧縮試験結果の比較	12
図 2.2-3	シュミットハンマー反発度と推定一軸圧縮強さの関係	13
図 2.2-4	平谷トンネルの推定岩盤強度分布	14
図 2.2-5	岩石の一軸圧縮強さとハンマー反発度との概略の関係	14
図 2.2-6	推定一軸圧縮強さの深度分布(主立坑)	15
図 2.2-7	推定一軸圧縮強さの深度分布(換気立坑)	16
図 2.3-1	既存の定性的岩盤分類法と定量的岩盤分類法の比較(主立坑)	17
図 2.3-2	既存の定性的岩盤分類法と定量的岩盤分類法の比較(換気立坑)	18
図 2.3-3	岩盤等級別 推定一軸圧縮強さの分布(主立坑)	19
図 2.3-4	岩盤等級別 推定一軸圧縮強さの分布(換気立坑)	19
図 3.1-1	岩盤の工学的分類体系	21
図 3. 2-1	新分類法評価点(主立坑)と既往の定量的岩盤分類結果との比較(左図)	24
図 3. 2-2	新分類法評価点(換気立坑)と既往の定量的岩盤分類結果との比較(左図)	25
図 3. 2-3	電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布(try-1)	26
図 3. 2-4	電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布(try-2)	26
図 4, 1-1	新分類法評価点 (RMR による算出)の深度分布 (主文坑堆積岩)	31
⊠ 4.1-2	新分類法評価点(新山による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)	32
図 4.1-3	新分類法評価点(RMRによる算出)の深度分布(主立坑堆積岩)(岩盤等級修正後)	34
 図 4.1-4	新分類法評価点(新出による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)(岩盤等級修正後)	34
図 4.1-5	新分類法評価点(RMRによる算出)の深度分布(換気立坑堆積岩)	37
図 4.1-6	新分類法評価点(新 JH による算出)の深度分布(換気立坑堆積岩)	37
図 4.1-7	主立坑および換気立坑の深度 19~20m 付近の地質状況	39
図 4. 2-1	新分類法評価点の深度分布(主立坑結晶質岩)	40
図 4. 2-2	新分類法評価点の深度分布(換気立坑結晶質岩)	42
図 4. 2-3	新分類法の岩盤等級別評価点分布(結晶質岩横坑)	44
図 4. 2-4	推定一軸圧縮強さの岩盤等級別分布(換気立坑深度 300~400m)	45
図 5-1 官	電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布(再検討後)	51
図 6. 1-1	再検討した新分類法評価点の深度分布(左:主立坑堆積岩、右:換気立坑堆積岩) …	52
図 6. 2-1	再検討した新分類法評価点の深度分布(主立坑結晶質岩)	55
図 6. 2-2	再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(主立坑結晶質岩 : 方向別)	57
図 6. 2-3	再検討した新分類法評価点の頻度分布(主立坑結晶質岩)	57
図 6. 2-4	再検討した新分類法評価点の電研式岩盤等級別頻度分布(主立坑結晶質岩)	58
図 6. 2-5	再検討した新分類法評価点の深度分布(換気立坑結晶質岩)	59
図 6. 2-6	再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(換気立坑結晶質岩:方向別)	61
図 6. 2-7	再検討した新分類法評価点の頻度分布(換気立坑結晶質岩)	61

図 6.2-8 再検討した新分類法評価点の電研式岩盤等級別頻度分布(換気立坑結晶質岩)	62
図 6.2-9 再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(結晶質岩横坑)	64
図 6.2-10 再検討した新分類法評価点の頻度分布(結晶質岩横坑)	64
図 6.2-11 電研式岩盤等級別の一軸圧縮強さの推定結果(主立坑結晶質岩)	65
図 7-1 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(1)	66
図 7-2 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(2)	67
図 7-3 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(3) 堆積岩	68
図 7-4 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(4)結晶質岩	
図 8-1 掘削ずりを用いた物性試験のうち一軸圧縮強さと弾性波速度の関係	71

### 1. 研究概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分場や大規模地下備蓄基地等の大型の岩盤地下構造物の合理 的・効果的な設計施工や安全確保の観点からは、地上からの調査や掘削中の坑道壁面の地質観察 結果から設計等に必要な岩盤物性値の分布を正確に決定できる岩盤分類法の構築が望まれている。 一方、国内で広く用いられている岩盤分類法は定性的な評価項目が多く、それらの分類法の評価 結果に基づき設計・施工の合理化を行うことには限界がある。また、国外で適用されている RMR<sup>1)</sup>、 Q-System<sup>2)</sup>等の定量的岩盤分類法は、岩盤物性値との関係が定量的に評価できるレベルに達して いるものの、国外の岩盤を対象とした施工事例に基づいて構築されており、変動帯に位置する日 本国内の岩盤が有する特徴を考慮した定量的な岩盤分類法は未だ確立されていない。

このような観点から、本研究では、日本の地盤工学会基準「岩盤の工学的分類方法」<sup>3)</sup>に準拠 した新しい定量的岩盤分類法(以下、新分類法)を提案し、図1-1に示す日本原子力研究開発機 構 瑞浪超深地層研究所の主立坑と換気立坑における堆積岩ならびに結晶質岩に適用した。さらに、 その結果を一般的に用いられている電中研式岩盤分類や坑道壁面の地質観察結果と対比すること で新分類法の適用性を検討した。



地質環境や施工条件などにより、決定していきます。

図 1-1 瑞浪超深地層研究所坑道レイアウトイメージ図および掘削状況

### 2. 計測データの整理

### 2.1. 地質観察項目

瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削時において、主立坑および換気立坑では2掘削ステップ(概 ね2.6m)毎に、結晶質岩横坑では支保1区間(1.0~1.5m)毎に坑道壁面の地質観察を行ってい る。地質観察では、瑞浪超深地層研究所建設工事において適用されている以下の3つの岩盤分類 が可能なように観察項目を設定している<sup>4)</sup>。

・岩盤分類

- ① 電研式岩盤分類 5)
- ② RMR (Rock Mass Rating) 法<sup>1)</sup> (以下、RMR) による現場観察評価
- ③ 新 JH 切羽評価点法 6 (以下、新 JH) による現場観察評価
- ・岩盤の特性
  - 風化・変質
  - 2 湧水
  - ③ 割れ目
  - ④ 岩盤強度

風化・変質については**表 2.1-1** に示す JACIC (一般財団法人日本建設情報総合センター)の風 化、変質区分表 <sup>7</sup>に基づいて区分を行っている。岩盤強度については、坑道壁面の地質観察時に ほぼ一定の 4 方向 (NE、SE、SW、NW)の地点において、堆積岩では針貫入試験を、結晶質岩 においてはシュミットハンマー試験を実施し、測定結果の平均値から一軸圧縮強さを推定してい る。

電研式岩盤分類は、表 2.1-2の基準に従い表 2.1-3~表 2.1-6 に示す区分を作成して実施して いる。また、RMR については、表 2.1-7~表 2.1-8 に示す地山分類、評価区分表により岩盤を評 価し、新 JH については、表 2.1-9~表 2.1-13 に示す評点区分表により岩盤を評価している。な お、表 2.1-9 に示す新 JH の岩石グループのうち、岩盤状況に応じて、主立坑ではグループ 2 お よびグループ4を、換気立坑ではグループ1およびグループ4の配点を用いて評価を行っている。

記号	風化の程度
α	非常に新鮮である。造岩鉱物の変質はまったくない。
β	新鮮である。有色鉱物の周辺に赤褐色化がある。長石の変質はない。
γ	弱風化している。有色鉱物の酸化汚染がある。長石の部分的な変質(白色化)が ある。
δ	風化している。有色鉱物が黄金色あるいは周辺が褐色粘土化している。長石の大 部分が変質している。
٤	強風化している。石英および一部の長石を除き、ほとんど変質し原岩組織は失わ れている。

表 2.1-1 JACIC の風化、変質区分表(上:風化区分表、下:変質区分表)<sup>7)</sup>

記号	変質区分	変質状況
1	非変質	肉眼的に変質鉱物の存在が認められないもの。
2	弱変質	原岩石組織を完全に残し、変質程度(脱色)が低いもの。あるいは非 変質部の割合が高いもの。(肉眼で 50%以上)
3	中変質	肉眼で変質が進んでいると判定できるが、原岩石組織を明らかに残 し、原岩判定が容易なもの。または非変質部を残すものおよび網状変 質部。
4	強変質	構成鉱物、岩片等が変質鉱物で完全置換され、原岩組織をまったく~ 殆ど残さないもの。

# 表 2.1-2 電研式岩盤分類の岩盤等級区分基準 5

名称	特    徵
А	きわめて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。節理はよ く密着し、それらの面に沿って風化の跡はみられないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
В	岩質堅硬で開口した(たとえ1mmでも)亀裂あるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
СН	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱等に汚染され、節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土 質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。
СМ	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も 多少軟らかくなっている。節理あるいは亀裂の間の粘着力は多少減少しておりハン マーの普通程度の打撃によって、割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質 物質の層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
$\operatorname{CL}$	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。節理あるいは亀裂間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目 に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。節理あるいは亀裂の間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

評価項目	А	В	СН	CM	CL	D
山工設座	極めて新鮮	堅硬	比較的堅硬	多少軟らか い	軟らかい	著しく軟ら かい
石口畑度(岩質)	_		強打で割目 に沿って岩 塊剥脱	打撃で割目 に沿って岩 塊剥脱	軽打で割目 に沿って岩 塊剥脱	僅打で割目 に沿って岩 塊剥脱
ハンマー打革	澄んだ音を出す		少し濁っ†	こ音を出す	濁った音を 出す	著しく濁っ た音を出す
風化変質	風化変質無 し	多少風化変 質	風化あり	風化で多少 軟質化	風化で軟質 化	風化で著し く軟質化
	密着		—	—	_	_
割目の状態	-		粘土の薄層	粘土の層	粘	i±
	風化は無い	多少風化変 質	粘着力僅か に減少	粘着力多少 減少	粘着力減少	粘着力ほと んど無し

表 2.1-3 瑞浪超深地層研究所で適用している電研式岩盤分類の評価区分表 4)

表 2.1-4 岩石の強さ(一軸圧縮強さ)<sup>4)</sup>

ー軸圧縮強さ (MPa)	100以上	$100{\sim}50$	$50 \sim 25$	$25 \sim 10$	$10{\sim}5$	5以下
区分	А	В	С	D	Ε	F

# 表 2.1-5 不連続面の間隔 4)

不連続面の間隔 (cm)	200 以上	$200 \sim 60$	$60 \sim 20$	$20 \sim 6$	$6 \sim 2$	2以下	
区分	Ι	П	Ш	IV	V	VI	

表 2.1-6 割れ目の性状 4)

	密着	開口(高透水性)	不明瞭
割れ目 の性状	相対する亀裂面が、挟在 物の有無に関係なく密着 するもの	相対する亀裂面が、かみ 合わないもの	亀裂面の間に挟在物ある いは充填物があり、密着 と判定できないもの
区分	1	2	3

評点	100~81	$80{\sim}61$	$60 \sim 41$	$40 \sim 21$	20 以下			
地山分類等級	Ι	П	Ш	IV	V			
分類評価	特に良好	良好	普通	不良	特に不良			

表 2.1-7 RMR 評点から求められる地山分類 <sup>1)</sup>

# 表 2.1-8 RMR の評価区分表<sup>1)</sup>

A.;	A.分類パラメータとその評点									
	インク	ンタ トロ	ポイント ロード 強度指数	>10MPa	4~10MPa	$2{\sim}4\mathrm{MPa}$	1∼2MPa	ー軸圧 しい	縮強さ	が望ま
1	ック 強	クの 〕度	一軸圧縮 強さ	>250MPa	100~250MPa	50~100MPa	25~50MPa	$5\sim$ 25 MPa	1∼5 MPa	1MPa 以下
		1111 L	平点	15	12	7	4	2	1	0
0		R	QD	$90 \sim 100\%$	$75 \sim 90\%$	$50 \sim 75\%$	$25 \sim 50\%$		$<\!25\%$	ó
Z		管理	平点	20	17	13	8	3		
2	不	連続	面の問隔	> 2m	$0.6{\sim}2{ m m}$	$200{\sim}600$ mm	$60{\sim}200$ mm		<60m	m
5		1 Tim Tim	平点	20	15	10	8	5		
4	不	連続	面の状態	非常に粗い肌。 連続していな い。密着してい る。新鮮な。	少し粗い肌。間 隙幅<1mm。 少し風化した 肌面。	<ul> <li>&gt;し粗い肌。間 少し粗い肌。間 滑り面の肌。</li> <li>軟らかい 惊幅&lt;1mm。</li> <li>又は断層粘土</li> <li>断層粘土</li> <li>&gt;し風化した</li> <li>強風化肌面。</li> <li>又は間隙幅 1</li> <li>~5mm。</li> </ul>		い。 i土>5m  隙幅>	nm∖ õmm₀	
		11 T	平点	30	25	20	10	0		
	地	トン 当	<ul><li>ベネル 10m</li><li>り湧水量</li></ul>	なし	<10L/min	10~25 L/min	25~125 L/min	>125L/mi		nin
5	下 水	節理 主	∎水圧力/ 初期応力	0	0.0~0.1	0.1~0.2	$0.2{\sim}0.5$		> 0.5	
		_	一般状況	完全に乾燥	湿っぽい	濡れている	滴水		流水	
		Ť	平点	15	10	7	4		0	
B. <sup>2</sup>	不連續	続面の	の方向に対・	する修正						
Ĵ	節理	の走[	向・傾斜	特に望ましい	望ましい	中程度	望ましくない	特に	望まし	くない
			トンネル	0	-2	-5	-10		-12	
評	価点		基礎	0	-2	-7	-15		-25	
			のり面	0	-5	-25	-50		-60	
C.	合計	評価	点から求め	られる地山分類	1	1				
		評	点	100~81	$80 \sim 61$	$60 \sim 41$	$40 \sim 21$		20以7	~
	1	岩盤	等級	Ι	П	Ш	IV		V	
		記	事	特に良好	良好	普通	不良		特に不	良
D.	地山	分類	の意義	P	1	1				
	ļ	岩盤	等級	I	П	Ш	IV		V	
	平	均自	立時間	15m幅で10年	8m幅で6ヶ月	5m幅で1週間	2.5m 幅で 10 時間	1n	n 幅で 3	60分
	岩	盤の	粘着力	>400kPa	300~400kPa	$200{\sim}300\mathrm{kPa}$	$100{\sim}200 \mathrm{kPa}$		<100k]	Pa
÷	岩盤(	の内静	部摩擦角	$>\!45^{\circ}$	$35^\circ~{\sim}45^\circ$	$25^\circ~{\sim}35^\circ$	$15^\circ~{\sim}25^\circ$		${<}15^{\circ}$	

			強度区分				
		硬質岩	中硬質岩	軟質岩			
風化	塊状	グループ1:硬質岩・ 塊状 花崗岩、中古生層砂岩 石英斑岩、花崗閃緑岩	グループ2:中硬質結 凝灰岩、火山礫凝灰 岩、砂岩	皆軟質岩・塊状 岩、流紋岩、安山岩、玄武			
区分	層状	_	グループ3:中硬質 岩・層状 中古生層頁岩、粘板 岩	グループ4:軟質岩・層状 緑色片岩、黒色片岩、第三 紀層泥岩			

表 2.1-9 新 JH における岩石グループの区分<sup>6)</sup>

# 表 2.1-10 新 川 における岩石グループに応じた評点 6)

藍	缅区分	1	2	3	4	5	6
	圧縮強度	40	32	24	16	8	0
岩石	風化変質	18	12	6	0	—	—
グループ 1	割れ目の間隔	16	12	8	4	0	—
	割れ目の状態	26	19	13	6	0	—
	圧縮強度	31	25	19	13	6	0
岩石	風化変質	22	15	7	0	—	_
グループ 2	割れ目の間隔	20	15	10	5	0	_
	割れ目の状態	27	20	13	7	0	_
	圧縮強度	32	26	19	13	6	0
岩石	風化変質	26	17	9	0	—	_
グループ 3	割れ目の間隔	14	10	7	3	0	_
	割れ目の状態	28	21	14	7	0	_
	圧縮強度	37	30	22	15	7	0
岩石	風化変質	15	10	5	0	—	_
グループ 4	割れ目の間隔	21	15	10	5	0	—
	割れ目の状態	27	20	14	7	0	—

表 2.1-11 採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ1の場合)<sup>6)</sup>

観	察項目						評価	区分				
	ー軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	100 以上		100	~50	50 <i>4</i>	~25	25~10	)	0~3	3 以下	
	ポイントロード (N/mm <sup>2</sup> )	4 以上		4~	~2	21	~1	1~0.4	0	4 以下		
圧縮強度	ハンマーの打撃 による強度の 目安	岩片を地面に置 きハンマーで強 打しても割れに くい	岩ド きバ 打す	†を! ヽンマ	地面に置 マーで強 ば割れる	岩片を てハン たいて ができ	手に持っ マーでた 割ること る	岩片どうし たき合わせ ることがで	をた 両手 :て割 分的 きる ことだ	で岩片を にでも割 べできる	<ul> <li>カを込めれば、</li> <li>小さな岩片を指</li> <li>先で潰すことが</li> <li>できる</li> </ul>	
	評価区分	1		1	2		3	4		5	6	
	配点	40		3	2	2	24	16		8	0	
	風化の目安	概ね新鮮			割目沿い	の風化	変質	岩芯まで風	北変質	土砂状	風化,未固結土砂	
風化変質	熱水変質など の目安	変質は見られない	L)		変質によ を挟む	い割目	に粘土	変質により 度低下	岩芯まで強	<ul><li>著しい</li><li>土砂状</li></ul>	変質により全体が 、粘土化	
	評価区分	1	1			2			3		4	
	配点	18			12				6		0	
	割目の間隔	d≧1m			1m>d≧50cm		50cm>	d≧20cm	20cm>d	≧5cm	5cm>d	
割日間隔	RQD (%)	80 以上			80~50	)	60 <i>-</i>	<b>~</b> 30	40~	10	20 以下	
刮日间阀	評価区分	1			2			3	4		5	
	配点	16		12				8	4		0	
	割目の開口度	割目は密着してし	いる	割目 して (幅·	∃の一部⊅ ℃いる <1mm)	が開口	割目の多 ている (幅<1m	Sくが開口し m)	割目が開ロ (幅 1mm~	コしている 5mm)	割目が開口し 5mm 以上の幅が ある	
割目状態	割目の挟在物	なし		なし	•		なし		薄い粘土を (5mm 以下	·挟む )	厚い粘土を挟む (5mm 以上)	
	割目の粗度 鏡肌	粗い		割目	目が平滑		一部に鏡	〕印	良く磨かれ	た鏡肌		
	評価区分	1			2			3	4		5	
	配点	26			19			13	6		0	
湧水量	状態	なし、 滲水 12/分以	 יד	滴水		商水程度 ~200/分	}	集中 20~1	· 通水 000/分		全面湧水 1000/分	
	評価区分	1				2			3		4	
44	水による劣化	なし			緩	みを生す	ず	軟	弱化		流出	
516	評価区分	1				2			3	4		
										<b>涌水</b> 少	 化の調敕占	

		小为160	方化の詞堂息						
			湧水量の区分						
		1	2	3	4				
	1	0	0	-5	-10				
水による	2	0	-5	-7	-10				
劣化区分	3	-5	-7	-10	-15				

-10

-15

-20

4

-7

表 2.1-12 採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ 2 の場合)<sup>6)</sup>

街	察項目					評価	区分				
	ー軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	100 以上	1	00~50	50 <i>-</i>	~25	25~10	) 1	0~3	3 以下	
	ポイントロード (N/mm <sup>2</sup> )	4 以上		4~2	2~1		1~0.4	0.4	以下		
圧縮強度	ハンマーの打撃 による強度の 目安	岩片を地面に置 きハンマーで強 打しても割れに くい	岩片 きハ 打す	を地面に置 ンマーで強 れば割れる	岩片を てハン たいて ができ	手に持っ マーでた 割ること る	岩片どうし たき合わせ ることがで	をた 両手で こて割 分的( きる ことが	で岩片をき こでも割る できる	が 力を込めれば、 小さな岩片を指 先で潰すことが できる	
	評価区分	1		2		3	4		5	6	
	配点	31		25	1	9	13		6	0	
	風化の目安	概ね新鮮		割目沿い	の風化	変質	岩芯まで風	北変質	土砂状	風化,未固結土砂	
風化変質	熱水変質など の目安	変質は見られない	<u>،</u>	変質に。 を挟む	い割目	に粘土	変質により 度低下	岩芯まで強	著しい 土砂状	変質により全体が 、粘土化	
	評価区分	1			2			3		4	
	配点	22			15			7		0	
	割目の間隔	d≧1m		1m>d≧5	0cm	50cm>	d≧20cm	20cm>d	≧5cm	5cm>d	
割日間隔	RQD (%)	80 以上		80~50	)	60	~30	40~1	0	20 以下	
에비비미	評価区分	1		2			3	4		5	
	配点	20		15		10		5		0	
	割目の開口度	割目は密着してい	いる l (	割目の一部が開口 5している (幅<1mm)		割目の多 ている (幅<1m	Sくが開口し m)	割目が開口 (幅 1mm~5	している imm)	割目が開口し 5mm 以上の幅が ある	
割目状態	割目の挟在物	なし	7	なし		なし		薄い粘土を (5mm 以下)	挟む	厚い粘土を挟む (5mm 以上)	
	割目の粗度 鏡肌	粗い	5 ju	割目が平滑		一部に鏡	〕印	良く磨かれ	た鏡肌		
	評価区分	1		2			3	4		5	
	配点	27		20			13	7		0	
涌水量	状態	なし、 滲水 10/分以	下	涌 1·	商水程度 ~200/彡		集中 20~1	 ·湧水 000/分		全面湧水 1000/分	
	評価区分	1			2			3		4	
14	水による劣化	なし		緩	みを生す	ず	軟	弱化		流出	
3-1L	評価区分	1			2			3		4	

		湧水劣化の調整点							
			湧水量の区分						
		1	1 2 3						
	1	0	0	-5	-10				
水による	2	0	-5	-7	-10				
劣化区分	3	-5	-7	-10	-15				
	4	-7	-10	-15	-20				

表 2.1-13 採用した新 JH の評価区分表(岩石グループ4の場合)<sup>6)</sup>

観	察項目						評価	区分				
	ー軸圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	100 以上	1	100~5	0	50 <i>1</i>	~25	25~10	)	10-	~3	3 以下
	ポイントロード (N/mm <sup>2</sup> )	4 以上		4~2		21	~1	1~0.4		0.4 J	以下	
圧縮強度	ハンマーの打撃 による強度の 目安	岩片を地面に置 きハンマーで強 打しても割れに くい	岩片 きハ 打す	たもし マー れば書	副に置 ・で強 割れる	岩片を手に持っ てハンマーでた たいて割ること ができる		岩片どうし たき合わせ ることがで	をた 両 <sup>:</sup> :て割 分I きる こと	両手で岩片を部 引分的にでも割る ことができる		<ul> <li>カを込めれば、</li> <li>小さな岩片を指</li> <li>先で潰すことが</li> <li>できる</li> </ul>
	評価区分	1		2			3	4		5	5	6
	配点	37		30		2	22	15		7	1	0
	風化の目安	概ね新鮮		割	目沿い	の風化	変質	岩芯まで風	l化変質		土砂状	風化,未固結土砂
風化変質	熱水変質など の目安	変質は見られな	2	変り を招	質によ 夹む	い割目	に粘土	変質により 度低下	岩芯まで	強	著しいす 土砂状。	を質により全体が 、粘土化
	評価区分	1				2			3			4
	配点	15				10		5				0
	割目の間隔	d≧1m		1m>	1m>d≧50cm		50cm>	d≧20cm	20cm>	>d≧	5cm	5cm>d
割日間隔	RQD (%)	80 以上		8	<b>0∼</b> 50	)	60 <i>-</i>	~30	40	~10		20 以下
데비에	評価区分	1			2			3		4		5
	配点	21		15		1		10		5		0
	割目の開口度	割目は密着して	いる	割目の一部が開口 3している (幅<1mm)		が開口	割目の多 ている (幅<1m	Sくが開口し m)	割目が (幅 1mm	閉口し  ~5m	.ている 1m)	割目が開口し 5mm 以上の幅が ある
割目状態	割目の挟在物	なし	;	なし			なし		薄い粘土 (5mm 以T		!む	厚い粘土を挟む (5mm 以上)
	割目の粗度 鏡肌	粗い	5 S	割目が	平滑		一部に錺	〕印	良く磨か	れた	鏡肌	
	評価区分	1			2			3		4		5
	配点	27			20			14		7		0
渔水量	状態	なし、 滲水 10/分以	<u>.</u> ۲		1∽	高水程度 ~200/分	 }	集中 20~1	 ·湧水 00ℓ/分			全面湧水 1000/分
	評価区分	1				2			3			4
1211	水による劣化	なし			緩	みを生き	ず			;		流出
3-1L	評価区分	1				2			3			4

	通水劣化の調整点				
		湧水量の区分			
		1 2 3 4			
水による 劣化区分	1	0	0	-5	-10
	2	0	-5	-7	-10
	3	-5	-7	-10	-15
	4	-7	-10	-15	-20

図2.1-1 に、換気立坑および主立坑の結晶質岩(深度200~460m)の坑道壁面観察で得られた 割れ目のトレース図を示す。主立坑は、地表付近から深度460mの範囲まで、掘削断面が断層お よび変質領域に位置しており割れ目が多いことがわかっている。一方、換気立坑は、土岐花崗岩 の健全部を掘削しており、深度200mから300m間では掘削断面を横切る大きさの水平割れ目が、 深度270m付近から水平的な割れ目に加えある一定方向(NW付近に走向で比較的高傾斜)の割 れ目の頻度が高くなっている。深度400m以深では坑道を横切る規模の水平方向の割れ目の頻度 が相対的に減少している。



図 2.1-1 坑道壁面観察で得られた割れ目のトレース図(左:換気立坑、右:主立坑)

### 2.2. 一軸圧縮強さの推定

坑道壁面の地質観察時には、4方向(NE、SE、SW、NW)および必要に応じて個別に設定し た測点において針貫入試験やシュミットハンマー試験を実施し、その試験結果より一軸圧縮強さ を推定している(以下、推定一軸圧縮強さと称す)。ここでは、それぞれの試験の推定式について の概要を述べるとともに、主立坑および換気立坑における推定一軸圧縮強さの結果を示す。

### 2.2.1. 針貫入試験

針貫入試験は、両立坑の堆積岩および結晶質岩の変質の多い岩盤において実施している。推定 式は、試験器に表記してある標準式のほか、一般に下記の式が挙げられる。

標準式	$\log(qu) = 0.978\log(NP) + 1.599$	式(1)
鉄道建設公団・鍋立山 <sup>8)</sup>	$\log(qu) = 1.602\log(NP) + 2.017$	式(2)
東京湾周辺泥岩 9)	log(qu) = 0.8025log(NP)+1.3864	式(3)
ここで、qu:推定-	軸圧縮強さ(kgf/cm <sup>2</sup> )、グラフは MPa に換算	「して表示
NP:針貫/	、勾配(kgf/mm、ただし鉄道建設公団式は kg	f/cm)

これら3種類の推定式による推定一軸圧縮強さについて、式(1)をベースに比較を行った結果 を図2.2-1に示す。これより、式(1)に比べて式(3)は2/3程度、式(2)は1/10程度と結果の差が 大きいことがわかる。そこで、換気立坑の針貫入試験結果をもとに式(1)を用いた推定一軸圧縮強 さと、掘削ズリ供試体による点載荷試験から推定される圧縮強度およびコア供試体による一軸圧 縮試験結果を、試験が行われた掘削ステップ毎に比較した結果を図2.2-2に示す。ばらつきはあ るものの、針貫入試験による推定一軸圧縮強さは、ほぼコアによる一軸圧縮強さと同等の値であ ることが示された。したがって、これ以降は式(1)により推定された一軸圧縮強さを用いて検討を 進めることとする。



### 2.2.2. シュミットハンマー試験

シュミットハンマー試験による一軸圧縮強さの推定に使用しているのは、いわゆる富士物産の 実験式<sup>10)</sup>と呼ばれるものである。また、このほかにシュミットハンマー反発度と一軸圧縮強さの 関係式として、西俣トンネル式と舞子トンネル式の2つの式<sup>10)</sup>が知られている。

富士物産の実験式	$\log(qu)=3.07\times10^{-2}\times S+0.39$ (MPa)	式 (4)
西俣トンネル式	$\log(qu)=1.65 \times 10^{-2} \times S+1.13$ (MPa)	式(5)
舞子トンネル式	$\log(qu)=2.22\times10^{-2}\times S+0.705 \text{ (MPa)}$	式(6)
ここで、S : シュミ	ットハンマー反発度	

図 2.2-3 に、これらの関係を示す。これより、式(4)と式(6)は反発度 40 程度までは同程度だが、それを超えると式(4)の方が高強度側へ乖離していく。式(5)は、反発度 50 程度まではほかの式より高強度側にずれているが、反発度 60 を超えると式(6)と同程度になる。

上記の3式のうち、式(4)の適合性については平谷トンネルの事例 <sup>11)</sup>にて示されている。同ト ンネルは、瑞浪超深地層研究所より東南東約35km に位置する花崗岩中に掘削したトンネルであ る。図2.2-4 に適用結果を示すが、200MPa 程度までのシュミットハンマー反発度より推定され る一軸圧縮強さとTBM (Tunnel Boring Machine)の掘削抵抗により推定される岩盤強度とがほ ぼ一致することが報告されている。このため、瑞浪超深地層研究所で取得したデータの整理は、 式(4)を用いて行っている。

ただし、これらの換算式の性質から、反発度が高くなると急激に推定一軸圧縮強さが大きくなる傾向がある。図2.2-5 に、シュミットハンマー反発度と岩石強度との関係 <sup>10</sup>を示す。図に示すように、本来岩石強度はある程度のばらつきを生じ、幅を持って分布し、かつ反発度との関係では岩石強度が大きくなるほど反発度の感度が高くなる。したがって、特に高強度側については、原位置岩盤でのキャリブレーションの実施が望まれる。



図 2.2-3 シュミットハンマー反発度と推定一軸圧縮強さの関係



図 2.2-4 平谷トンネルの推定岩盤強度分布<sup>11)</sup>



図 2.2-5 岩石の一軸圧縮強さとハンマー反発度との概略の関係<sup>10)</sup>

### 2.2.3. 推定一軸圧縮強さ

主立坑および換気立坑における、針貫入試験結果とシュミットハンマー試験結果から推定される方向別の推定一軸圧縮強さの深度分布を、図 2.2-6~図 2.2-7 に示す。針貫入試験は式(1)を、シュミットハンマー試験は式(4)を用いて推定一軸圧縮強さを算出している。

図に示すように、全体的にばらつきが見られるが、特に主立坑の結晶質岩でのばらつきが大き い。これは、換気立坑は風化や変質が少なく健全で比較的均質な結晶質岩を掘削しているのに対 し、主立坑は掘削断面を縦断するように分布する強い変質を伴う断層を掘削しており、局所的な 岩盤の強度変化が大きいためであると考えられる。



図 2.2-6 推定一軸圧縮強さの深度分布(主立坑)



図 2.2-7 推定一軸圧縮強さの深度分布(換気立坑)

### 2.3. 既往の岩盤分類法の適用結果

ここでは、主立坑および換気立坑における岩盤を、2.1 で述べた方法に従って分類・評価した 結果を示す。ここでは、瑞浪超深地層研究所の設計段階における岩盤モデルに適用した電中研式 岩盤分類を基準とし、そのほかの分類法の結果を比較した。

図 2.3-1 に主立坑の RMR 評点と新 JH 評点の分布を示す。主立坑の RMR 評点は、深度約 50 ~60m 間で 60 点台の区間がみられるものの、全体的には 20~40 点の間に分布しており、不良 な岩盤に分類される。この結果は、電研式岩盤分類と整合が取れている。新 JH 評点は、深度約 70~160m の区間で RMR 評点との乖離がみられるが、結晶質岩ではほぼ同程度の評点となって いる。

図 2.3-2 は換気立坑の RMR 評点と新 JH 評点の分布を示したものである。全区間を通して 60 ~80 点程度であり、良好~特に良好な岩盤に分類される。新 JH 評点は、深度約 150m 付近で 40 点程度の区間がみられるものの、全体的には 60~90 点の間に分布しており、特に 190~195m 区間の評点が高く、100 点となっている区間が存在する。全体的に RMR 評点と新 JH 評点とで 10~20 点程度の乖離がみられるが、これは新 JH 岩盤評価の岩石の圧縮強さの配点が最も高いた めに、堆積岩では低く、結晶質岩では高い評点となったこと等が考えられる。

0 -50 -100 0 -150 割れ目 个堆積岩 トレース図 ↓結晶質岩 Ξ (主立坑) 8 -200 渓展 -250 8 -300 -350 ◆ RMR評点 ●新川評点 -400 CL CM CH 0 D В 20 40 60 80 100 電研式岩盤等級 各種岩盤評点

なお、RMR、新JH といった定量的岩盤分類法は、両立坑壁面に現れている割れ目頻度の違い や各々の立坑の領域での深度方向の割れ目の多少により評価点の増減が認められることがわかる。

図 2.3-1 既存の定性的岩盤分類法と定量的岩盤分類法の比較(主立坑)



図 2.3-2 既存の定性的岩盤分類法と定量的岩盤分類法の比較(換気立坑)

次に、掘削進捗各ステップでの総合評価とは別に、坑道壁面展開図の結果(針貫入試験および シュミットハンマー試験実施箇所の岩盤等級)を用いて推定一軸圧縮強さと電中研式岩盤等級区 分との関係を整理したものを、図 2.3-3~図 2.3-4 に示す。電中研式岩盤等級が良くなると推定 一軸圧縮強さも概ね上昇する傾向が得られ、岩盤等級と岩石強度はある程度の相関性があること がわかる。







図 2.3-4 岩盤等級別 推定一軸圧縮強さの分布(換気立坑)

### 3. 新しい定量的岩盤分類法

本報告書中の「新しい定量的岩盤分類法」とは、地盤工学会基準「岩盤の工学的分類方法」<sup>3)</sup> をベースとした新しい岩盤分類法である。

既往の定量的岩盤分類法には、国際的に知られている RMR<sup>1)</sup>や Q-System (Rock Tunneling Quality)<sup>2)</sup>、国内で提案された新 JH<sup>5)</sup>等があるが、これらの分類法は複数の評価項目により評点 や係数を与え、その合計得点や係数の組み合わせで求めた値により岩盤を分類するもので、その 方法は複雑である。また、RMR や Q-System のような海外の分類法は、本質的には硬質岩盤を 対象としたものであり、国内の亀裂が多く不均質な岩盤に対しては過大評価される傾向がある。

一方、「新しい定量的岩盤分類法」は、国内の岩盤を考慮した基準をベースとして、基本的な3 項目で算出した評価点により岩盤を評価しようとするものであり、国内の岩盤を対象に観察者の 経験や主観とは関係なく客観的に評価することが可能である。

本章では、本分類法のベースとなる「岩盤の工学的分類方法」の概要および提案した「新しい定量的岩盤分類法」の概要について述べる。

### 3.1. 地盤工学会基準「岩盤の工学的分類方法」の概要

地盤工学会基準は岩盤分類を国際規格化しようとする ISO(国際標準化機構)や CEN(欧州 標準化委員会)の動きに対し、日本の国情と地盤条件にかなった岩盤分類の基準化を目的とする とともに、日本で用いられている岩盤分類は目的、対象構造物、地質、期間等によって方法が多 岐にわたっている事情を鑑み、岩盤の工学的な分類概念と基本的分類法の標準化を目指して 2004 年に策定された。

地盤工学会基準「岩盤の工学的分類方法」は岩盤を工学的に分類することを目的としており、 調査・試験結果等に基づき大分類、中分類、小分類、細分類の順に分類している。大分類は岩石 の一軸圧縮強さに基づいて 25MN/m<sup>2</sup>を境界値として、これ以上を硬岩系岩盤[H]、これ以下を軟 岩系岩盤[S]と分類している。中分類は、岩の構造/組織に基づき区分し、小分類はそれぞれの中 分類毎に、岩盤の工学的性質を主に支配する 2 つの分類要素の組み合わせによって区分している。 細分類はそれぞれの中分類毎、さらに考慮すべき項目とその水準を例示し、岩盤分類の目的やそ の状況に応じて適宜組み合わせて採用することができる。

地盤工学会基準の工学的分類体系を図 3.1-1 に示す。



図 3.1-1 岩盤の工学的分類体系<sup>3)</sup>

### 3.2. 瑞浪超深地層研究所を対象とした新しい定量的岩盤分類法の適用

### 3.2.1. 評価点算出の考え方

図3.1-1 に示される「岩の工学的分類法」の適用にあたっては、評価点を算定するための算定 式の作成とともに、これまで瑞浪超深地層研究所で取得されてきたデータから分類項目に該当す る点数づけを行う必要がある。算定方法については、RMR のように分類項目毎に評点づけがな されているものを加算する方法のほか、Q-System のように評点を掛け合わせて評価する方法も ある。

一般に、岩盤を対象とした力学的な設計・施工の観点から、最も影響が大きい力学物性値は、 「岩盤の強度(特に原位置)」であり、それらは「不連続面の間隔」に影響を受けると考えられる。 また、結晶質岩は内在する不連続面の挙動が岩盤全体の変形挙動を支配することから、不連続面 の力学特性の「劣化」も考慮すべき要素である。瑞浪超深地層研究所は、主に花崗岩を対象とし た小規模断面の空洞であることから、岩盤分類は硬岩系岩盤[H]/塊状岩盤[M]の小分類をベース にするのが適当と判断した。さらに、設計・施工で利用可能な岩盤分類法とするため、ボーリン グ調査や地質観察結果から容易に得ることが可能な「不連続面の間隔」および「岩石強度」と不 連続面の力学特性の劣化を「風化度」であらわすこととし、これら3つのパラメータにより評点 の算定式を考えた。すなわち、

岩盤の評価点=「岩石強度」×「不連続面間隔」×「風化度」

で算定することとした。掛け合わせとして評価点を算出するのは、各パラメータの変動の効果が 単純加算よりも大きく、岩盤の局所的な地質状況変化を感度よく表現できる可能性があると考え たためである。

瑞浪超深地層研究所への適用にあたっては現状取得されているデータから上式の3つのパラメ ータの評点を決定する必要がある。まず、「風化度」について、岩の工学的分類法に示される6つ の区分けと瑞浪超深地層研究所建設工事当初(その1~その2工事まで)実施していた坑道壁面 観察時の判断基準を定性的に対比したものを表3.2-1に示す。

「岩の工学的分類方法」準拠		瑞浪超深地層研究所での適用試案			
区分	用語	風化/変質の状態	断層の影響	打撃の音	反発
W1	新鮮な	岩石には変色等の風化/変質の兆候 は見られない。主な不連続面にはわ ずかな変色が認められる。	全く受けていない。	チンチン	強烈(その まま跳ね 返る)
W2	わずかに風化 /変質	岩石や不連続面に変色が認められ る。	全く受けていない。	カンカン	強い
W3	かなり風化 /変質	岩石の変色、褪色範囲が岩盤の半分 以下。新鮮あるいは変色、褪色した 岩石は不連続な骨格構造としてまた は核状にみられる。	岩石に破砕/圧砕が認められ るが、範囲は限定的である。	コンコン	弱い
W4	<ul><li>強く風化</li><li>/変質</li></ul>	岩石の変色、褪色範囲が岩盤の半分 以上。新鮮あるいは変色、褪色した 岩石は不連続な骨格構造としてまた は核状にみられる。	岩石に破砕/圧砕が認められ、 断層に沿って帯状に拡がる。ハ ンマーの強打で崩すことがで きる。	ボコボコ/ ボンボン	わずか/ ほとんど ない
W5	完全に風化 /変質	岩石はすべて変色、または褪色して 土/変質鉱物となっている。岩盤の 原岩構造はほとんど変化していな い。	岩石に著しい破砕/圧砕が認 められ、断層に沿って帯状に拡 がる。原岩組織にはほとんど変 化はないが、ハンマーの軽打で 容易に崩れる。	_	ほとんど ない/ 崩れる
W6	残積土/ 変質土	岩石はすべて土/変質鉱物に変化。 岩盤の構造と岩石の組織は崩れて認 められない。容積に大きな変化があ るが、風化の場合には土の移動は顕 著ではない。	岩石は破砕/圧砕により細粒 化して土砂状を呈する。断層粘 土に代表される挟在物が認め られる。明らかに断層変位を伴 う。	_	めり込む

表 3.2-1 岩の工学的分類法に基づく風化・劣化度の分類と瑞浪超深地層研究所における対比

ただし、これは定性的な評価であるので、既存の情報から各々のパラメータの評点区分を作成 した。まず「風化度」に関しては、「岩の工学的分類法」の6つの区分(W1~W6)に対し、表 3.2-2に示すような重みを経験的に設定した。

風化度	W1	W2	W3	W4	W5	W6
係数	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

表 3.2-2 風化度に関する係数

瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削工事における地質観察では、W1~W6の区分で観察を実施 していないため、適用している既存の定量的岩盤分類評価結果(RMR、新JH)との対比により 項目毎の重み係数を設定しなおした。その結果を表3.2-3、表3.2-4に示す。

滑り面の肌。 非常に粗い肌。 少し粗い肌。間 軟らかい。断層 少し粗い肌。間 又は断層粘土 隙幅<1mm。少 粘土>5mm、又 連続していな 不連続面の状態 隙幅<1mm。強 < 5mm, い。密着してい し風化した肌 は間隙幅> 風化肌面。 又は間隙幅1~ る。新鮮な。 面。  $5 \text{mm}_{\odot}$  $5 \mathrm{mm}_{\circ}$ 

表 3.2-3 RMR における「風化/劣化度」の設定係数

0.6

0.4

0.2

0.8

係数

1.0

風化の目安	概ね新鮮	割目沿いの 風化変質	岩芯まで風化変質	土砂状風化、 未固結土砂
熱水変質等の 目安	変質は見られない	変質により 割目に粘土を挟む	変質により 岩芯まで強度低下	著しい変質により 全体が土砂状、 粘土化
係数	1.0	0.8	0.4	0.2

「不連続面間隔」と「岩石強度」は、図3.1-1 中の小分類で区分に対応した閾値が示されてい る。しかし、これらについても前述と同じ理由により、既往の観察結果との対比を行うため、新 たに評価しなおす必要がある。不連続面間隔に関して、同様に RMR および新 JH の分類結果か ら算定しなおしたものを表 3.2-5 に示す。「岩石強度」については、原位置における岩石の推定一 軸圧縮強さを前出の通り針貫入試験およびシュミットハンマー試験から算定している。なお、針 貫入試験は式(1)を、シュミットハンマー試験は式(4)を用いて推定一軸圧縮強さを算出した。

RMR		新 JH		
範囲(m)	代表値	範囲(m)	代表値	
>2.0	2.0	>1.0	1.0	
$2.0 \sim 0.6$	1.3	$1.0 \sim 0.5$	0.75	
$0.6 \sim 0.2$	0.4	$0.5 \sim 0.2$	0.35	
$0.2 \sim 0.06$	0.13	$0.2 \sim 0.05$	0.13	
< 0.06	0.06	< 0.05	0.05	

表 3.2-5 RMR および新 JH における「不連続面間隔」の代表値

最終的な評価点は、前述の風化度の重み係数および岩石強度と不連続面間隔の値を用いて、以 下に示す2種類の方法により評価点を算定することとした。

 try-1:「新分類法評価点」=「岩石強度(MPa)」×「不連続面間隔(m)」×「風化度」
 式(7)

 try-2:「新分類法評価点」=「岩石強度(MPa)」×「不連続面間隔(m)の平方根」×「風化度」
 式(8)

上記の方法により、RMR および新 JH 評価結果から算出した、主立坑および換気立坑における岩盤の新分類法評価点を、図 3.2-1~図 3.2-2 に示す。



図 3.2-1 新分類法評価点(主立坑)と既往の定量的岩盤分類結果との比較(左図)



図 3.2-2 新分類法評価点(換気立坑)と既往の定量的岩盤分類結果との比較(左図)

図 3.2-1、図 3.2-2 から既往の定量的岩盤分類法と新岩盤分類法による評価において深度方向 の分布傾向に大きな違いは見られず、前述したように新岩盤分類法でも主立坑と換気立坑の割れ 目の分布特性の差や両立坑掘削領域での深度方向の割れ目頻度の差等は良く表現されている。ま た、RMR と新 JH の結果では評価点に差が生じているのに対し、新岩盤分類法では、風化変質 項目の重み付けの違いに関わらず、RMR および新 JH 分類で得られた結果に基づく評価点分布 はほぼ同じとなっている。このことから、新岩盤分類法では客観的評価という意味での優位性が 認められる。

### 3.2.2. 電中研式岩盤分類との比較

ここでは、設計および施工管理に適用している電中研式岩盤分類との比較を通じ、新しい定量的岩盤分類法の適用性に関する検討を実施する。

まず、前出の2つの式(try-1とtry-2)で算出した評価点分布と、電中研式岩盤分類の結果を 対比した結果を図3.2-3、図3.2-4に示す。

図 3.2-3 および図 3.2-4 をみると、不連続面間隔をそのまま用いる式(7)(try-1)よりも、不 連続面間隔の変化範囲を緩和するために平方根処理した式(8)(try-2)の方が評価点の分布の重 なり、特に CM 級の下側と CL 級の上側の評価点の重複が改善されていることがわかる。分類さ れる岩盤等級区分が重複することは、情報化施工等で求められるような現場データに基づく支保 工の変更等に不具合を生じる可能性があることから好ましくない。



図 3.2-3 電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布(try-1)



図 3.2-4 電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布 (try-2)
そこで、新分類法の評価点算出は、式(8)を採用することとした。この結果に基づき、表3.2-6 に示す閾値区分を設定し、新しい定量的岩盤分類法と電中研式岩盤分類との関係を整理したもの を表3.2-7 および表3.2-8 に示す。表3.2-7 は、電中研式岩盤分類で示される岩盤等級区分と新 しい定量的岩盤分類法の各パラメータとの関係を示したものであり、表3.2-8 は算出した評価点 の区分値である。

岩盤等級	閾値
В	120
СН	120
СМ	60
CL	20
D	0.5

表 3.2-6 岩盤等級区分の閾値

山子海南	アンナルナプロルロ		風化度						
岩右强度 (MPa)	个連続面間隔 (mm)	W1	W2	W3	W4	W5	W6		
(MIT a)	(11111)	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1		
	I [>2000]	В	В			—	_		
	II [600~2000]	В	В	CH		_	_		
А	III [200~600]	СН	СН	CM	_	_	_		
[>100]	IV[60~200]	CM	CM	CM		_	_		
	V[20~60]	—	—			—	_		
	VI[<20]	—	_	-	_	—	_		
	I [>2000]	СН	CH	[	1	_	_		
	II [600~2000]	СН	СН	CM		—	_		
В	III [200~600]	CM	CM	CM	CL	—	—		
$[50 \sim 100]$	$IV[60 \sim 200]$	CM	CL	CL	CL	—	_		
	V[20~60]	—	—			—	_		
	VI[<20]	—	—			_	_		
	I [>2000]	CM	CM			—	_		
	II [600~2000]	CM	CM	CM	CL	—	_		
C [25~50]	III [200~600]	СМ	CM	CL	CL	—	_		
	IV[60~200]	—	CL	CL	CL	CL	_		
	V[20~60]	—	—	CL	CL	CL	_		
	VI[<20]	—	—	_	_	_	_		
	I [>2000]	—	—	-	-	—	_		
	II [600~2000]	—	CL	CL	CL	—	_		
D	III [200~600]	—	CL	CL	CL	CL	_		
$[10 \sim 25]$	$IV[60 \sim 200]$	_	CL	CL	CL	CL	_		
	V[20~60]	—	—	CL	CL	CL	_		
	VI[<20]	—	—	—	—	—	—		
	I [>2000]	—	—	—	—	—	—		
	II [600~2000]	_	CL	CL	CL	—	_		
Е	III [200~600]	_	CL	CL	CL	CL	_		
$[5 \sim 10]$	$IV[60 \sim 200]$	—	—	CL	CL	CL	_		
	$V[20 \sim 60]$	—	_	CL	CL	D	D		
	VI[<20]	—	—	_	_	D	D		
	I [>2000]	—	_	_	—	—	_		
	II [600~2000]	_	_	_	—	—	—		
F	III [200~600]	—	—	—	—	—	_		
[<5]	$IV[60 \sim 200]$	—	—	$\mathbf{CL}$	$\mathbf{CL}$	D	D		
	$V[20 \sim 60]$	—	—	_	D	D	D		
	VI[<20]	_	_	_	_	D	D		

表 3.2-7 岩盤等級組み合わせ

山子花床	不連続面間隔	間隔 風化度								
宕右强度 (MPa)	の平方根	W1	W2	W3	W4	W5	W6			
(mr a)	(m)	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1			
	1.41	181.019	162.917	_	_	_	_			
	1.14	145.942	131.348	102.160	_	_	_			
100	0.63	80.954	72.859	56.668	_	_	_			
128	0.36	46.151	41.536	32.306	_	_	_			
	0.20	—	—	_	_	_	—			
	0.14	_	_	_	_	_	_			
	1.41	90.510	81.459	_	_	_	_			
	1.14	72.971	65.674	51.080	_	_	—			
0.4	0.63	40.477	36.429	28.334	20.239	_	_			
64	0.36	23.076	20.768	16.153	11.538	_	_			
	0.20	_	_	_	_	_	_			
	0.14	_	_	_	_	_	_			
	1.41	45.255	40.729	_	_	_	_			
	1.14	36.486	32.837	25.540	18.243	_	_			
9.9	0.63	20.239	18.215	14.167	10.119	_	_			
32	0.36	_	10.384	8.076	5.769	3.461	_			
	0.20	_		4.480	3.200	1.920	_			
	0.14	_	_	_	_	_	_			
	1.41	_	_	_	_	_	_			
	1.14	_	16.419	12.770	9.121	_	_			
10	0.63	_	9.107	7.084	5.060	3.036	_			
16	0.36	_	5.192	4.038	2.884	1.731	_			
	0.20	_	_	2.240	1.600	0.960	_			
	0.14	_	_	_	_	_	_			
	1.41	—	—	—	—	—	—			
	1.14	_	8.209	6.385	4.561	_	_			
8	0.63	_	4.554	3.542	2.530	1.518	_			
0	0.36			2.019	1.442	0.865				
	0.20	_	_	1.120	0.800	0.480	0.160			
	0.14					0.339	0.113			
	1.41		_	_	_					
	1.14									
Δ	0.63	_	—	—	_	—	—			
Ŧ	0.36			1.010	0.721	0.433	0.144			
	0.20	_			0.400	0.240	0.080			
	0.14	—	—	—	—	0.170	0.057			
			: B 級		: CH 級		: CM 級			
			: CL 級		: D 級					

表 3.2-8 新分類法評価点算出結果(try-2)

以上の検討より、電中研式岩盤分類で示される岩盤等級区分と新しい定量的岩盤分類法の結果 を定量的に比較することが可能となったため、表 3.2-6の閾値に従い、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」として次式で定義し、比 較検討した。

### 「閾値区分範囲内の新分類法評価点の個数」

次章以降、その結果を示す。

# 4. 新しい定量的岩盤分類法の適用性の検討

## 4.1. 堆積岩における検討

## 4.1.1. 主立坑

主立坑の堆積岩(深度 9.0~167.4m)における坑道壁面の地質観察データを取りまとめ、RMR および新 JH 分類結果を利用して新分類法評価点を算出した。結果を図 4.1-1 および図 4.1-2 に 示す。図中の電研式岩盤等級の閾値は表 3.2-6 に従っている。なお、深度 9.0m までは坑口上部 工として山留め工法により掘削を行っているため、地質観察は行っておらず、データは得られて いない。また、深度 51.6m までの坑口下部工では新 JH による評価を行っておらず、データは得 られていない。



図 4.1-1 新分類法評価点(RMR による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)



図 4.1-2 新分類法評価点(新 JH による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)

これらの図より、以下のことがわかる。

- ・ 新分類法評価点は、対応する電研式岩盤分類結果の範囲に概ね収まっているが、深度 70m 付近から 100m 付近までは新分類法評価点と電研式岩盤分類結果との間に差が認められる。
- ・ 深度 10m から 40m 付近までの新分類法の評価点は、D 級と CL 級の境界付近より CL 級 側に漸増する傾向があるが、電研式岩盤分類結果では一律 CL 級となっており差がある。

これらの原因について、坑道壁面の地質観察時の岩盤スケッチや電研式岩盤分類の調査シートを精査した。その結果、

・ 深度 65m 付近から 75m 付近までは本郷累層に属する中~大礫岩で構成されている。これ らの岩石強度を測定するための針貫入試験は、礫岩のマトリックス部で実施されているが、 マトリックスはその締り具合(固結程度)にはばらつきが大きく、掘削等の影響を受けや すく、さらに湧水等があれば簡単に緩む。このため、針貫入試験でも貫入勾配 5~70(N/mm) まで測定値が広がっている。したがって、礫岩主体層については、D級相当として扱うべ きと考える。

- 深度 70m 付近から 100m 付近までは、土岐夾炭累層に属する凝灰質泥質砂岩、炭質泥岩、 砂質泥岩、粗粒砂岩等が分布し、この範囲では断層の影響もほとんど無いため、CL 級相当 として扱うべきと考える。
- 深度 9.0m 付近から 40m 付近については、比較的時代の新しい明世累層戸狩層に属する砂 岩類で構成されている。さらに、断層の影響が顕著であり、部分的にはスリッケンサイド (鏡肌、擦痕)が発達した状態にあり、D級相当としてもおかしくない。
- ・ 深度 70m 付近から 100m 付近までについては、「硬さ」の評価項目が深度 69.8~77.1m までは D 級判定なのに対し、深度 77.1m 以深は CL 級判定となっている。それ以外の「打撃」と「音」の項目は D 判定、「風化」「割れ目」「面」の項目はほぼ A 級もしくは B 級判定となっている。これは、地下深部で風化の影響がほとんど及んでいないため、電研式岩盤分類は強度関係の項目で判定されていることを意味している。したがって、この深度で最も岩盤状況が悪いのは深度 69.8~77.1m の範囲であり、前述の地質評価の結果とほぼ整合する。
- ・ 深度 51.6m 以浅については、各判定項目の評価に複数判定を含めてばらつきが大きく、D 級判定項目が皆無である。しかしながら、深度 70~100m 付近の地質スケッチの状況と比較すると、D 級判定項目がない点については違和感がある。

といった電中研式岩盤分類上の不整合があることが確認された。これらを考慮し、坑道壁面の 地質観察で評価した電研式岩盤等級を表 4.1-1 のように修正して再度比較した結果を、図 4.1-3 ~図 4.1-4 に示す。修正後は、新分類法評価点は電研式岩盤分類の範囲にほとんど収まったもの と考えられる。

<b>涩</b>	電研式者	昌盤等級			
休度(III)	当初	見直し	週用		
$0.0 \sim 51.6$	CI	DevCI	地質スケッチより、部分的に D 級岩盤を		
9.0 - 51.0	CL	DOCL	含むため、CL→D~CL 級と評価		
$51.6 \sim 69.8$	CL	CL	既存評価通り		
$69.8 \sim 74.7$	D	D	既存評価通り		
$74.7 {\sim} 102.6$	D	CL	地質スケッチより、D→CL 級と評価		
$102.6 \sim 136.2$	CL	CL	既存評価通り		
$136.2 \sim 167.4$	D	D	既存評価通り		

表 4.1-1 電研式岩盤等級の修正



図 4.1-3 新分類法評価点(RMR による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)(岩盤等級修正後)



図 4.1-4 新分類法評価点(新 JH による算出)の深度分布(主立坑堆積岩)(岩盤等級修正後)

次に、主立坑の堆積岩における全ての評価点について、3.2.2 で述べた方法に従い各岩盤等級の 適合率を求めた結果を、表4.1-2 に示す。

新公海注河価占		RMRに	よる算出		新JHによる算出			
利力與広計Ш点	D級	D~CL級	CL級	合計	D級	CL級	合計	
~ 0.5 (D級相当)	88	61	13	162	81	9	90	
$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	24	107	238	369	31	242	273	
20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	1	1	0	1	1	
60 ~ 120(CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0	
120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0	
合計	112	168	252	532	112	252	364	
適合率	78.6%	100.0%	94.4%	92.9%	72.3%	96.0%	88.7%	

表 4.1-2 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(全データ)

これらの結果より、CL級では適合率が95%程度、D級とCL級が混在するためD~CL級とした範囲では100%の適合率が得られた。一方、D級の適合率はRMRおよび新JHどちらのデータから算出した結果を用いても70%台と低く評価された。これは、D級と評価された坑道壁面の岩盤状況は坑道壁面内の不均質性が大きいのに対し、電研式岩盤分類は各掘削ステップで平均的にひとつの判定としていることから、その影響が反映されていない可能性が考えられる。

そこで、同一深度の坑道壁面における新分類法評価点の算術平均を用い、再度適合率の検討を 行った。結果を表 4.1-3 に示すが、かえって適合率が低下する結果となった。

		RMRに	よる算出		新JHによる算出					
利力與広計Ш点	D級	D~CL級	CL級	合計	D級	CL級	合計			
~ 0.5 (D級相当)	19	15	0	34	19	0	19			
$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	9	27	63	99	9	63	72			
20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	0	0	0	0	0			
60 ~ 120(CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0			
120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0			
合 計	28	42	63	133	28	63	91			
適合率	67.9%	100.0%	100.0%	93.2%	67.9%	100.0%	90.1%			

表 4.1-3 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(算術平均)

本評価点は、針貫入試験やシュミットハンマー試験結果より推定した岩石強度をそのまま用いているため、平均値を算出する上で、データの中にひとつでも極端に大きな値があると、算術平均はその値に引きずられてしまうため、平均値の算定に当たっては対数平均を用いることを試みた。適合率を表 4.1-4 に示す。また、全データ、算術平均および対数平均により算出した適合率の比較を、表 4.1-5 に示す。これより、適合率は RMR の D 級岩盤の場合で 67.9→82.1%、新 JH の場合で 67.9→75.0%と高くなり、これに伴って全体の適合率も向上した。

表 4.1-4 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(対数平均値)

<b>车</b> 公海沈 <b>河</b> (年上		RMRに	よる算出		新JHによる算出			
利力與広計個点	D級	D~CL級	CL級	合計	D級	CL級	合計	
~ 0.5 (D級相当)	23	15	0	38	21	0	21	
0.5 ~ 20 (CL級相当)	5	27	63	95	7	63	70	
20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	0	0	0	0	0	
60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0	
120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0	
合計	28	42	63	133	28	63	91	
適合率	82.1%	100.0%	100.0%	96.2%	75.0%	100.0%	92.3%	

	RMRによる算出					新。	JHによる算	Ш
		D級	D~CL級	CL級	合計	D級	CL級	合計
適合率 (%)	全データ	78.6	100.0	94.4	92.9	72.3	96.0	88.7
	算術平均	67.9	100.0	100.0	93.2	67.9	100.0	90.1
	対数平均	82.1	100.0	100.0	96.2	75.0	100.0	92.3

表 4.1-5 新分類法の電研式岩盤分類との適合率の比較(主立坑堆積岩)

以上の検討結果をまとめると以下のようになる。

- 主立坑の堆積岩において新分類法を用いることにより、その評価点より想定される電研式
   岩盤分類はほぼ妥当な結果を示すことが確認された。
- ・ しかしながら、D 級岩盤については新分類法の適合率が 80%程度と、CL 級の 95%程度と 比べてやや低い結果となった。
- この理由として、坑道壁面における地質観察や針貫入試験は、観察・測定位置の局部的な 状況が反映されていると考えられる。一方で今回の電研式岩盤分類は、1 掘削ステップ(概 ね 1.3m)を1単位とした「平均的」な判定をしている。このため、局部的な地質の影響が 反映されにくい状態にあったものと考えられる。
- ・ さらに、電研式岩盤分類は、掘削ステップ毎の支保パターンを決定することも含めて実施 されている。このため、どちらかといえば安全側に低めの判定が行われる傾向がある。
- これらの原因より、D 級岩盤において新分類法評価点が高めに外れる傾向が強いことは、 坑道掘削の施工データでは本質的に内包する傾向とはいえ、止むを得ないものと考えられ る。このような影響を排除するためには、坑道壁面での地質観察時に地質状況に応じた領 域区分を行うとともに、それぞれの地質区分毎に電研式岩盤分類の判定と新分類法での評 価を実施することが理想である。
- また、今回は RMR で取得したデータと新 JH で取得されたデータを用い、それぞれから新 分類法評価点を算出して評価を行った。その結果は概ね同等であり、今後はどちらかのデ ータで評価すれば良いものと考えられる。

## 4.1.2. 換気立坑

換気立坑の堆積岩(深度 9.6~168.9m)における新分類法の検討は、すでに報告しているが <sup>12),13),14)</sup>、前述の主立坑と同様改めて検討結果を取りまとめ、それらのデータにより適合率を算出 する。

RMR および新 JH 評価結果により算出した新分類法評価点と電研式岩盤分類結果とを比較する。 その結果を、図 4.1-5~図 4.1-6 に示す。なお、ここでは評価点のより詳細な深度分布を把握す るため、方向別の算出結果をプロットしている。これらの図をみると、両方のグラフともに、CL 級の一部の区間で低い評価点が分布するものの、新分類法評価点は電研式岩盤分類結果の範囲に ほとんど収まっていると評価できる。



図 4.1-5 新分類法評価点(RMR による算出)の深度分布(換気立坑堆積岩)



図 4.1-6 新分類法評価点(新 JH による算出)の深度分布(換気立坑堆積岩)

次に、換気立坑の堆積岩における全ての評価点について、各岩盤等級の適合率を求め、表 4.1-6 に示す。また、全データ、算術平均および対数平均により算出した適合率の比較を、表 4.1-7 に 示す。

东八海池河伍占	RN	IRによる算	卸出	新JHによる算出			
利力與広計恤息	D級	CL級	合計	D級	CL級	合計	
~ 0.5 (D級相当)	75	26	101	87	33	120	
$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	17	406	423	5	399	404	
20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	0	0	0	0	
60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	
120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	
合 計	92	432	524	92	432	524	
適合率	81.5%	94.0%	91.8%	94.6%	92.4%	92.7%	

表4.1-6 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑堆積岩:全データ)

表 4.1-7 新分類法の電研式岩盤分類との適合率の比較(換気立坑堆積岩)

		RM	IRによる算	世	新JHによる算出			
		D級	CL級	合計	D級	CL級	合計	
適合率 (%)	全データ	81.5	94.0	91.8	94.6	92.4	92.7	
	算術平均	75.0	99.1	94.7	95.8	96.3	96.2	
	対数平均	75.0	97.2	93.2	95.8	93.5	93.9	

以上より、換気立坑の堆積岩における新分類法の適用結果は以下のようにまとめられる。

- 換気立坑の堆積岩において新分類法を用いることにより、その評価点より想定される電研 式岩盤分類は、主立坑と同様にほぼ妥当な結果を示すことが確認された。
- ・ しかしながら、D級岩盤についてはRMRにより算出した新分類法の適合率が80%程度と、 相対的に低い結果となった。

#### 4.1.3. 堆積岩における新岩盤分類法の適用結果

主立坑および換気立坑の堆積岩での新分類法の適合率の比較を表 4.1-8 に示す。

				RMRに	よる算出		新JHによる算出			
			D級	D~CL級	CL級	合計	D級	CL級	合計	
		全データ	78.6	100.0	94.4	92.9	72.3	96.0	88.7	
適	主立坑	算術平均	67.9	100.0	100.0	93.2	67.9	100.0	90.1	
合		対数平均	82.1	100.0	100.0	96.2	75.0	100.0	92.3	
率		全データ	81.5	—	94.0	91.8	94.6	92.4	92.7	
(%)	換気立坑	算術平均	75.0	-	99.1	94.7	95.8	96.3	96.2	
		対数平均	75.0	—	97.2	93.2	95.8	93.5	93.9	

表 4.1-8 堆積岩における新分類法の適合率の比較

堆積岩の電研式岩盤分類との適合率は、両立坑とも、全点データを用いた算出結果において、 CL 級岩盤では両立坑ともに 90%以上と高い適合率を示す。一方、D 級岩盤は換気立坑で 80%以 上を示すのに対し、主立坑では 80%を下回るような低い適合率となった。

これらの違いは、両立坑の地質状況に大きな要因があると考えられる。換気立坑は比較的亀裂 の少ない均質な岩盤状況であるのに対し、主立坑では立坑断面を縦断するように断層が分布し、 このために岩盤状況の局所的なばらつきが大きい。したがって、掘削段階毎の平均的な岩盤状況 を電研式岩盤分類で評価した場合、その中には平均からずれるものが分布することになるが、換 気立坑ではそのずれる割合が小さく、またずれ幅も小さいのに対し、主立坑ではその割合も幅も 大きいことになる。例えば、図4.1-7に示す主立坑と換気立坑で同じ明世累層戸狩層に属する砂 岩層の深度 19~20m 付近の地質状況を見ると、換気立坑ではほぼ均質な岩盤状況が続くのに対 し、主立坑では断層の影響を受けたスリッケンサイドの記述が多く、地質の不均質性が大きいこ とが推測される。

このような地質状況の違いを加味すると、比較的均質な堆積岩の場合には、新分類法は電中研 式岩盤分類に対し90数%程度の適合率を示すと考えられ、電中研式岩盤分類とほぼ同等以上の精 度で岩盤分類を行うことが可能と考えられる。



換気立坑

図 4.1-7 主立坑および換気立坑の深度 19~20m 付近の地質状況

#### 4.2. 結晶質岩における適用

結晶質岩については、堆積岩と異なり内在する割れ目の幾何学的特徴が岩盤全体の変形挙動を 支配することから、データ評価を行っている4方向(NE,SE,NW,SW)毎の算出結果も示した上 で考察する。

## 4.2.1. 主立坑

主立坑の結晶質岩(深度 167.4~400.2m)における岩盤について、新分類法の適用性を検討する。なお、深度 300m までの新分類法の適用性の検討結果は参考文献<sup>15</sup>に示されており、ここでは深度 400.2m までに得られたデータと合わせた取りまとめを行う。

主立坑では、断面内に分布する断層の影響で観察位置(方向)毎の岩盤状況の差異が特に著し い。そこで、図4.2-1には、主立坑の結晶質岩における RMR 結果に基づき算出した新分類法の 評価点を各観察深度の方向別(左図)と平均値(右図)に分けてプロットした。これらより、深 度 330m 付近までは、D 級及び CL 級に区分される電中研式分類と概ね適合しているものの、深 度 330m 程度より深い所では、電研式岩盤等級 D 級に対して、評価点は概ね CL 級相当と乖離が 認められる。方向別で見ると、NE 方向がほかの方向よりも相対的に大きな評価点を示している ことがわかる。



図 4.2-1 新分類法評価点の深度分布 (主立坑結晶質岩)

電研式岩盤分類との適合率を算出した結果を表4.2-1に、適合率の総括結果を表4.2-2に示す。

	<b>新八海</b> 注詞傳音	電研式岩盤分類結果						
	利分類公評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	百百	
	~ 0.5 (D級相当)	10	11	0	0	0	21	
Ē	0.5 ~ 20 (CL級相当)	6	75	49	5	0	135	
书	20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	20	2	0	22	
NE	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	
	120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	
	合 計	16	86	69	7	0	178	
	適合率	62.5%	87.2%	29.0%	0.0%	—	59.0%	
			重研	式岩盤分類	i結果		0.71	
	新分類法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計	
	~ 0.5 (D級相当)	18	24	0	0	0	42	
Ē	$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	24	72	30	3	0	129	
力	$20 \sim 60$ (CM級相当)	0	1	1	1	0	3	
SE	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	
	120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	
	습 <b>計</b>	42	97	31	4	0	174	
	適合率	42.9%	74.2%	3.2%	0.0%		52.3%	
			雪莊	才毕般公箱	( 全里			
	新分類法評価点	D級	电测	合計				
	$\sim 0.5$ (D級相当)	20					97	
JF	$0.5 \sim 20$ (CL 級相当)	20	68	25	2	0	194	
力口	$20 \sim 60$ (CM級相当)	0	0	14	6	0	20	
N.	20 00 (CM級相当) 60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	2	1	0	3	
0,1	120 ~ (B級相当)	0	0	1	0	0	1	
	<u>合</u> 計	48	75	42	10	0	175	
	適合率	41.7%	90.7%	33.3%	10.0%	_	58.9%	
		11170	· 合計					
	新分類法評価点	电研入石盛分组結朱 D级 01 级 01 级 01 级 D级						
	~ 05 (D 纽坦平)	 					57	
10	<u>05 ~ 20</u> (CL级相当)	19 19	67	20	0	0	115	
力	0.5 - 20 (CL版相当) 20 ~ 60 (CM級相当)	10	0	1	0	0	115	
NN	$\frac{20}{60} \sim 120$ (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	
	120 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	
	<u>合</u> 計	51	91	31	0	0	173	
		64 7%	73.6%	3.2%			58.4%	
		01.170	10.070				00,170	
	新分類法評価点	D //II	電研	式石盤分類	[結果] (11)初	D///	合計	
		D 赦	CL級	CM 赦	CH 赦	B級	1 / 5	
⊒<br 315	~ U.5 (D級相当)	81	66	10.4	11	0	147	
の絵	<u>U.Ə ~ 2U (CL級相当)</u>	76	282	134	11	0	503	
卣(	<u>20~60 (UM級相当)</u> <u>20-100 (UM級相当)</u>	0		- 36 - 0	9	0	46	
七	<u> 60 ~ 120 (CH</u> 被相当)	0	0	2	1	0	 1	
4	120 ~ (B級相当)	157	U 940	179	0	0	1	
		157	349	173	Z1 4.00/	0	700	
1		01.0%	ðU.ð%	20.8%	4.8%		07.1%	

表 4.2-1 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑結晶質岩:方向別)

表 4. 2-2 新分類法評価点適合率総括(主立坑結晶質岩)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	+	NE	62.5	87.2	29.0	0.0		59.0
適	万	SE	42.9	74.2	3.2	0.0		52.3
合	[1] 日	SW	41.7	90.7	33.3	10.0	_	58.9
率	U1	NW	64.7	73.6	3.2	_	-	58.4
(%)	4方	向の総合	51.6	80.8	20.8	4.8	_	57.1

# 4.2.2. 換気立坑

換気立坑の結晶質岩(深度 168.9~400.2m)における岩盤について、新分類法の適用性を検討 する。なお、深度 300m までの新分類法の適用性の検討結果は参考文献<sup>15)</sup>に示されており、ここ では深度 400.2m までに得られたデータと合わせた取りまとめを行う。

RMR 評点(4 方向の総合評価)と電研式岩盤分類結果との比較を、図4.2-2に示す。図をみる と、数は少ないものの CL 級区分の箇所は、主立坑と同様に両者が整合する結果が得られている。 ただし、電研式岩盤等級区分の CM 級と CH 級に関しては、評価点分布が整合しない傾向が認め られる。方向別分布では、主立坑とは異なり、一定の方向の評価点が高くなるような傾向は見ら れていない。



図 4.2-2 新分類法評価点の深度分布(換気立坑結晶質岩)

主立坑と同様、電研式岩盤分類との適合率を算出した結果を表 4.2-3 に、適合率の総括結果を 表 4.2-4 に示す。

	<b>新</b> 公新注款		電研	式岩盤分類	結果		스카	
	利力與広叶Ш点	D級	CL級	CM級	CH級	B級		
	~ 0.5 (D級相当)	0	0	0	0	0	0	
Ē	0.5 ~ 20 (CL級相当)	0	4	7	13	1	25	
力	20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	11	52	7	70	
NE	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	9	37	14	60	
	120 ~ (B級相当)	0	0	0	13	12	25	
	合 計	0	4	27	115	34	180	
	適合率	—	100.0%	40.7%	32.2%	35.3%	35.6%	
	Last all stand but when the to		雷研	式岩般分類	結果		A 71	
	新分類法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計	
	~ 0.5 (D級相当)	0	1	0	0	0	1	
↓⊡	$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	0	3	6	9	0	18	
力	$20 \sim 60$ (CM級相当)	0	0	15	61	1	77	
SE	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	4	47	3	54	
	120 ~ (B級相当)	0	0	1	22	7	30	
		0	4	26	139	11	180	
	適合率	_	75.0%	57.7%	33.8%	63.6%	40.0%	
			重印	士坦般公辉	(1) 年			
	新分類法評価点	D級	CL級	CM級	·哈不 CH級	B級	合計	
	~ 0.5 (D級相当)		1	0	0	0	1	
伍	$0.5 \sim 20$ (CL級相当)	0	3	8	9	3	23	
力	$20 \sim 60$ (CM級相当)	0	0	5	56	12	73	
ΝS	$60 \sim 120$ (CH級相当)	0	0	2	42	13	57	
	120 ~ (B級相当)	0	0	0	14	10	24	
	·····································	0	4	15	121	38	178	
	適合率		75.0%	33.3%	34.7%	26.3%	33.7%	
		雷研式 岩般 分						
	新分類法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計	
	~ 0.5 (D級相当)	0	2	0	0	0	2	
Ē	0.5 ~ 20 (CL級相当)	0	3	5	15	1	24	
儿	20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	18	52	3	73	
NN	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	3	42	9	54	
	120 ~ (B級相当)	0	0	1	17	7	25	
	合 計	0	5	27	126	20	178	
	適合率	_	60.0%	66.7%	33.3%	35.0%	39.3%	
	Last all simplify and the simplify the set of the		雷研	式岩盤分類	結果		A 71	
	新分類法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計	
ЦП	~ 0.5 (D級相当)	0	4	0	0	0	4	
総	0.5 ~ 20 (CL級相当)	0	13	26	46	5	90	
6	20 ~ 60 (CM級相当)	0	0	49	221	23	293	
上 日 日	60 ~ 120 (CH級相当)	0	0	18	168	39	225	
47	120 ~ (B級相当)	0	0	2	66	36	104	
	合 計	0	17	95	501	103	716	
	適合率		76.5%	51.6%	33.5%	35.0%	37.2%	

表 4.2-3 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑結晶質岩:方向別)

表 4.2-4 新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	+	NE		100.0	40.7	32.2	35.3	35.6
適	万	SE	—	75.0	57.7	33.8	63.6	40.0
合	[円] 모(	SW	-	75.0	33.3	34.7	26.3	33.7
率	Li U	NW	_	60.0	66.7	33.3	35.0	39.3
(%)	4方	句の総合	_	76.5	51.6	33.5	35.0	37.2

#### 4.2.3. 水平坑道

瑞浪超深地層研究所では、短い掘削長ながら、結晶質岩中に水平坑道が各深度に展開されてい るため、水平坑道についても新分類法の適用を試みた。ここでいう横坑とは、予備ステージ、ボ ーリング横坑、研究アクセス坑道の総称である。横坑では切羽の上半と下半別に地質観察を行っ ている。

結晶質岩に相当する深度 200m~400m に位置する横坑について、新分類法評価点と電研式岩 盤分類との比較を行い、適合率を算出した結果を表 4.2-5 に、新分類法評価点の岩盤等級別分布 を図 4.2-3 に示す。適合率の値は、主立坑と換気立坑の中間程度となった。また、水平坑道につ いては、立坑で電中研式岩盤分類と新分類法評価点が整合的であった CL 級に加え B 級区分の岩 盤についても整合性が良い結果が得られた。

電研式岩盤分類結果 新分類法評価点 合計 D級 **CL**級 B級 CM級 CH級 ~ 0.5 (D級相当) 0 0 0 0 0 0  $0.5~\sim~20$ 18 50 0 74(CL級相当)  $\mathbf{2}$ 4  $20 \sim 60$ (CM級相当) 0 0 12 104 0 116 60 ~ 120 (CH級相当) 0 61 68 0 1 6 (B級相当) 24 $120 \sim$ 0 0 0 86 110 合 計  $\mathbf{2}$ 1863 19392368適合率 0.0% 100.0% 19.0% 31.6%93.5% 48.1%

表 4.2-5 新分類法の電研式岩盤分類との適合率(結晶質岩横坑)



図 4.2-3 新分類法の岩盤等級別評価点分布(結晶質岩横坑)

新分類法評価点

#### 4.2.4. 結晶質岩における新岩盤分類法の適用結果

結晶質岩の両立坑および水平坑道で実施した坑道壁面観察結果に基づき、新分類法による評価 点分布を算出するとともに、その結果を電中研式岩盤分類結果と比較した。その結果を以下にま とめる。

- CL 級の適合率は、サンプル数の多い主立坑では 70~90%程度、サンプル数の少ない換気 立坑でも 60~100%、同じくサンプル数の少ない横坑でも 100%を示し、比較的良好といえ る。
- D級の適合率は、サンプル数の多い主立坑でも42~65%程度と低い結果となった。D級の 評価点は、高い方に偏っている傾向がある。
- ・ 上記は、堆積岩での適合率(D級、CL級ともに 80%程度かそれ以上)と比べると、相対 的に低い。
- CM 級以上の適合率は、サンプル数の多い換気立坑で CM 級 52%、CH 級 34%、B 級 35% 程度、サンプル数の少ない主立坑ではさらに CM 級 21%、CH 級 5%程度(B 級はデータな し)であり、著しく低い。
- ・ 横坑においては CM 級 19%、CH 級 32%と低い結果となっている。ただし、B 級において は 94%程度と適合率は高い結果となっている。
- ・ 評価点分布を検討すると、最もデータの多い CH 級では CL 級相当から B 級相当の評価点 まで広く分布していることがわかる。これは、ほかの岩盤等級についても同様である。

結晶質岩の適合率の値は、CL 級区分以外は、表 4.1-8 に示した堆積岩のそれと比べかなり低い。これは、新分類法の評価点のばらつきによる所が大きいと考えられることから、新分類法のパラメータの一つである原位置岩盤の強度に着目した検討を加えた。換気立坑の深度 300~400mの坑道壁面の地質観察結果に基づく電中研式岩盤等級別の推定一軸圧縮強さの頻度分布を図4.2-4に、集計表を表 4.2-6 に示す。



図 4.2-4 推定一軸圧縮強さの岩盤等級別分布(換気立坑深度 300~400m) (口内の数値は左から平均値-標準偏差、平均値、平均値+標準偏差)

	平均值 (MPa)	標準偏差 (MPa)	変動係数	最大値 (MPa)	最小値 (MPa)	標本数 (個)	
CM 級	63.4	36.2	0.570	160	11.7	31	
CH 級	131.9	77.7	0.589	462	10.9	334	
B 級	113.1	74.1	0.655	401	20.6	43	

表 4.2-6 換気立坑深度 300~400mの岩盤等級別推定一軸圧縮強さ分析結果一覧

実施設計時に設定した原位置岩盤の一軸圧縮強さは、B級が116.36MPa、CH級が89.74MPa、 CM級が63.12MPaであった<sup>16)</sup>。これらの設定値は、ボーリング調査時の原位置速度検層結果に 基づきコア試験で得られた一軸圧縮強さよりも低く設定されているため、割れ目の影響も考慮し た形となっている。B級、CM級については坑道壁面観察データからの推定一軸圧縮強さの平均 値は非常に良く一致しているが、CH級については設計時の値にくらべ40MPa程度大きい。ま た、各岩盤等級におけるシュミットハンマー試験による推定一軸圧縮強さのばらつきの範囲は非 常に大きいことが分かる。これには、大きく2つの要因が考えられる。

著しく低強度を示す要因は、特に結晶質岩のような亀裂の発達した硬岩において、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 になることである。今回は、坑道壁面の一定方向を定点観察することにしたため、その場所の岩 盤面が浮いた状態である場合、シュミットハンマー反発度は浮いていない岩盤状態の強度よりも 著しく低くなる可能性がある。例えば、深度 318.2~320.8m の観察結果をみると、SW 方向に広 く B 級岩盤が広がっているが、そこでのシュミットハンマー試験結果は下側で反発度 55 程度(推 定一軸圧縮強さ 120MPa 程度) と B 級岩盤としては平均的な値を示すのに対し、上側で反発度 30 程度(推定一軸圧縮強さ 20MPa 程度)と著しく低い値を示している。上側については、恐ら く岩盤が浮いている状態と考えられるが、このような測定データが随所に存在し、データの特に 低強度側へのばらつきを生じる要因となっている。

一方、高強度を示す要因は、シュミットハンマー試験による一軸圧縮強さの推定方法である。 図 2.2-3 に示したグラフより、反発度が 60 以上を示すと推定一軸圧縮強さが著しく増加する形 になる。図 4.2-4 において、上で述べた B 級岩盤の右側には CH 級岩盤が広がっているが、B 級 岩盤のすぐ右隣でのシュミットハンマー試験結果は反発度 72 程度であり、推定一軸圧縮強さ 400MPa 程度と著しく高い値が見積もられるが、当地における土岐花崗岩の一軸圧縮強さは、 MIZ-1 号孔の室内試験値 <sup>16)</sup>で 140~180MPa、表 4.2-7 に示す換気立坑の掘削ずりを用いた一軸 圧縮試験結果によると、一軸圧縮強さの最大値はせいぜい 200MPa 程度である。コア試験は割れ 目を含まないインタクトな岩石を用いた試験結果であり、割れ目を含む原位置岩盤の力学物性値 がこれ以上になることは非現実的であることから、シュミットハンマー試験からの推定一軸圧縮 強さの算定にも課題があると考えられる。

_	平均值 (MPa)	標準偏差 (MPa)	変動係数	最大値 (MPa)	最小値 (MPa)	標本数 (個)
試験結果	170.1	20.3	0.12	206	126	60

表 4.2-7 掘削ずりを用いた一軸圧縮強さ分析結果一覧(換気立坑深度 210~400m)

# 5. 電中研式岩盤等級区分との対比に関する閾値の見直し

4 章で示したように、結晶質岩では CL 級区分以外の岩盤等級に対する新分類法の適合率が低いことから、両者の比較のための閾値区分を再度見直した。

新分類法を再検討する上で参考としたのは、電研式岩盤分類の総合評価を行う上で、主にピックハンマー打撃による岩石強度(シュミットハンマー試験結果も参考にしている)と、割れ目の間隔と状態を重視し、主に換気立坑その3工事(平成19年12月14日~平成22年3月15日、深度200.2~459.8m)途中より坑道壁面の地質観察結果の評価に適用されている表5-1である。

強度 間隔	A >100 (MPa)	B 100~50 (MPa)	C 50~25 (MPa)	D 25~10 (MPa)	E 10~5 (MPa)	F <5 (MPa)
I > 200 (cm)	А	В	СН	$\mathbf{C}\mathbf{M}$	_	
II 200~60 (cm)	В	СН	СН	$\mathcal{C}\mathcal{M}$	$\operatorname{CL}$	
$ \begin{array}{c}     III \\     60 \sim 20 \\     (cm) \end{array} $	СН	СН	$\mathbf{C}\mathbf{M}$	$\mathcal{C}\mathcal{M}$	$\operatorname{CL}$	D
IV 20~6 (cm)	СН	$\mathbf{C}\mathbf{M}$	$\mathcal{C}\mathcal{M}$	$\operatorname{CL}$	$\operatorname{CL}$	D
V $6\sim 2$ (cm)		$\mathbf{C}\mathbf{M}$	$\operatorname{CL}$	$\operatorname{CL}$	D	D
VI <2 (cm)			$\operatorname{CL}$	D	D	D

表 5-1 電研式岩盤分類の評価方法<sup>17)</sup>

表 5-1 の評価方法の妥当性はまだ十分に検証していないが、結晶質岩の CM、CH 級岩盤の新 分類法評価点と電中研式岩盤分類が整合しない結果を示したことから、表 5-1 の評価方法を風化 度 W1 に割り振り、そこから風化度に応じて電研式の評価を下げることとした。その結果を表 5-2 に示す。これまでに評価に用いていた表 3.2-7 岩盤等級組み合わせ(再検討前、再掲)と比較す ると、電中研式岩盤分類と新分類法との対応がとれる範囲が拡大していることがわかる。

			風化度							
岩石強度 (MPa)	个連続面間隔 (mm)	W1	W2	W3	W4	W5	W6			
(MFa)	(mm)	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1			
	I [>2000]	В	В	В	В	_	_			
	II [600~2000]	В	В	В	СН	-	_			
А	III [200~600]	CH	CH	CH	CM	_	_			
[>100]	$IV[60 \sim 200]$	CH	CH	CM	CM	_	_			
	$V[20 \sim 60]$	—	—	_	_	_	_			
	VI[<20]	—	_	_	_	_	_			
	I [>2000]	В	CH	CH	CH	_	_			
	II [600~2000]	CH	СН	СН	CM	_	_			
В	III [200~600]	CH	CM	CM	CM	_	_			
$[50 \sim 100]$	$IV[60 \sim 200]$	CM	CM	CM	CM	_	_			
	$V[20 \sim 60]$	CM	CM	CL	CL	_	_			
	VI[<20]	—	—	_	_	_	_			
	I [>2000]	CH	CH	CH	CM	CM	_			
С	II [600~2000]	CH	СН	CM	CM	CM	_			
	Ⅲ[200~600]	CM	CM	CM	CM	CL	_			
$[25 \sim 50]$	$IV[60 \sim 200]$	CM	CM	CL	CL	CL	_			
	$V[20 \sim 60]$	CL	CL	CL	CL	CL	-			
	VI[<20]	—	—	_	_	_	_			
	I [>2000]	—	—	_	_	—	-			
	∏[600~2000]	CM	CM	СМ	CL	CL	CL			
D	Ⅲ[200~600]	CM	CL	CL	CL	CL	D			
$[10 \sim 25]$	$IV[60 \sim 200]$	CL	CL	CL	CL	CL	D			
	$V[20 \sim 60]$	CL	CL	CL	CL	D	D			
	VI[<20]	CL	CL	CL	D	D	D			
	I [>2000]	—	—							
	$II [600 \sim 2000]$	—	CL	CL	CL	CL	D			
$\mathbf{E}$	Ⅲ[200~600]	—	CL	CL	CL	CL	D			
$[5 \sim 10]$	$IV[60 \sim 200]$	—	CL	CL	CL	D	D			
	$V[20 \sim 60]$	—	CL	CL	D	D	D			
	VI[<20]	—	CL	D	D	D	D			
	I [>2000]			_		_				
	$\Pi [600 \sim 2000]$		_	_	_	_	_			
$\mathbf{F}$	Ⅲ[200~600]			CL	CL	D	D			
[<5]	$W[60 \sim 200]$			CL	D	D	D			
	$V[20 \sim 60]$			D	D	D	D			
	VI[<20]	_	_	D	D	D	D			

表 5-2 岩盤等級組み合わせ(再検討後)

				風亻	匕度		
岩右强度 (MPa)	个連続面間隔 (mm)	W1	W2	W3	W4	W5	W6
(MFa)	(11111)	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
	I [>2000]	В	В	—	_	_	_
	II [600~2000]	В	В	СН	_	-	_
А	III[200~600]	CH	CH	СМ	_	_	_
[>100]	$IV[60 \sim 200]$	CM	СМ	СМ	_	_	_
	V[20~60]	_	—	_	_	_	_
	VI[<20]	_	—	_	_	_	_
	I [>2000]	CH	CH	_	_	_	_
	II [600~2000]	CH	CH	СМ	_	_	_
B [50~100]	III [200~600]	CM	СМ	СМ	CL	_	—
	$IV[60 \sim 200]$	CM	CL	CL	CL	_	_
	$V[20 \sim 60]$	_	—	_	_	_	_
	VI[<20]	_	_	_	_	_	_
	I [>2000]	CM	CM	—	_	_	_
С	II [600~2000]	CM	СМ	CM	CL	_	_
	III [200~600]	CM	CM	CL	CL	_	_
$[25 \sim 50]$	$IV[60 \sim 200]$	—	CL	CL	CL	CL	_
	V[20~60]	_	—	CL	CL	CL	_
	VI[<20]	_	—	—	_	_	_
	I [>2000]	—	—	_	_	_	_
	II [600~2000]	_	CL	CL	CL	_	_
D	Ⅲ[200~600]	_	CL	CL	CL	CL	_
$[10 \sim 25]$	$IV[60 \sim 200]$	_	CL	CL	CL	CL	_
	$V[20 \sim 60]$	_	—	CL	CL	CL	—
	VI[<20]	_	—	_	_	_	—
	I [>2000]	_	—	_	_	_	—
	II [600~2000]	_	CL	CL	CL	_	_
Е	III [200~600]	_	CL	CL	CL	CL	_
$[5 \sim 10]$	$IV[60 \sim 200]$	_	—	CL	CL	CL	_
	V[20~60]	—	—	CL	CL	D	D
	VI[<20]	_	—	_	_	D	D
	I [>2000]	—	—	—	—	—	—
	II [600~2000]	-	—	—	_	_	_
F	III [200~600]	_	—	—	—	—	—
[<5]	$IV[60 \sim 200]$	-	—	CL	CL	D	D
	V[20~60]	-	—	_	D	D	D
	VI[<20]	-	—	—	_	D	D

表 3.2-7 岩盤等級組み合わせ(再検討前、再掲)

次に、表 3.2-8 と同様、表 5-2 の組み合わせにより式(8)を用いて新分類法評価点を算出した結果を表 5-3 に示す。算出した新分類法評価点は変わらないが、電研式岩盤分類の評価が異なる。 図 5-1 には、電研式岩盤等級別の評価点分布を示す。再検討前の図 3.2-4 と比較すると、各岩 盤等級の幅のばらつきが緩和されていることがわかる。表 5-4 に再検討後の閾値区分を示す。

	不連続面間隔	売面間隔 風化度						
岩石強度 (MDa)	の平方根	W1	W2	W3	W4	W5	W6	
(Mra)	(m)	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	
	1.41	181.019	162.917	126.714	90.510	—	_	
	1.14	145.942	131.348	102.160	72.971	_	_	
100	0.63	80.954	72.859	56.668	40.477	-	_	
128	0.36	46.151	41.536	32.306	23.076	—	_	
	0.20	—	—			—		
	0.14	—	—			—		
	1.41	90.510	81.459	63.357	45.255	—	—	
	1.14	72.971	65.674	51.080	36.486	—	_	
64	0.63	40.477	36.429	28.334	20.239	_	_	
	0.36	23.076	20.768	16.153	11.538	—	_	
	0.20	12.800	11.520	8.960	6.400	_	_	
	0.14	_	_	_	_	_	_	
	1.41	45.255	40.729	31.678	22.627	13.576	_	
	1.14	36.486	32.837	25.540	18.243	10.946	_	
20	0.63	20.239	18.215	14.167	10.119	6.072	_	
52	0.36	11.538	10.384	8.076	5.769	3.461	_	
	0.20	6.400	5.760	4.480	3.200	1.920	_	
	0.14	—	—	—	—	—	—	
	1.41	—	—	_	_	—	_	
	1.14	18.243	16.419	12.770	9.121	5.473	1.824	
16	0.63	10.119	9.107	7.084	5.060	3.036	1.012	
10	0.36	5.769	5.192	4.038	2.884	1.731	0.577	
	0.20	3.200	2.880	2.240	1.600	0.960	0.320	
	0.14	2.263	2.036	1.584	1.131	0.679	0.226	
	1.41	—	—	—	—	—	—	
	1.14	—	8.209	6.385	4.561	2.736	0.912	
8	0.63	—	4.554	3.542	2.530	1.518	0.506	
0	0.36	—	2.596	2.019	1.442	0.865	0.288	
	0.20	_	1.440	1.120	0.800	0.480	0.160	
	0.14	_	1.018	0.792	0.566	0.339	0.113	
	1.41	_	—	_	_	—	_	
	1.14	—	—	—	—	—	—	
Λ	0.63	_		1.771	1.265	0.759	0.253	
- <u>+</u>	0.36		—	1.010	0.721	0.433	0.144	
	0.20			0.560	0.400	0.240	0.080	
	0.14	—	—	0.396	0.283	0.170	0.057	
			: B 級		: CH 級		: CM 級	
			: CL 級		: D 級			

表 5-3 新分類法評価点 (再検討後)



図 5-1 電研式岩盤分類結果別の新分類法評価点分布(再検討後)

岩盤等級	閾値
В	
СН	90
CM	30
	10
	1
D	

表 5-4 岩盤等級区分の閾値(再検討後)

# 6. 新しい定量的岩盤分類法の適用性の再検討

# 6.1. 堆積岩の再検討

主立坑および換気立坑の堆積岩について、前述の再検討結果に基づき算出しなおした新分類法 評価点の深度分布を、図 6.1-1 に示す。また、主立坑の適合率算出結果を表 6.1-1 に、換気立坑 の適合率算出結果を表 6.1-3 に示す。また、適合率の総括結果を表 6.1-2 および表 6.1-4 に示す。

その結果、主立坑の CL 級で適合率がやや劣るものの、表 5-4 の閾値を適用した場合でも、堆 積岩における新分類法評価点と電研式岩盤分類との適合率は十分に高いことを確認した。



図 6.1-1 再検討した新分類法評価点の深度分布(左:主立坑堆積岩、右:換気立坑堆積岩)

	<b>新</b> 公粄注 訂 伍 占			電研式岩燈	盤分類結果			스카
	利力與広計Ш点	D級	D~CL級	CL級	CM級	CH級	B級	
	~ 1 (D級相当)	25	27	18	0	0	0	70
Ē	1 ~ 10 (CL級相当)	3	15	43	0	0	0	61
力	10 ~ 30 (CM級相当)	0	0	2	0	0	0	2
NE	30 ~ 90 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	90 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	合 計	28	42	63	0	0	0	133
	適合率	89.3%	100.0%	68.3%	_	_	_	82.7%
				雷研式岩橋	股分類結果			
	新分類法評価点	D級	D~CL級	CL級		CH級	B級	合計
	~ 1 (D級相当)	27	33	16	0	0	0	76
伍	$1 \sim 10$ (CL級相当)	1	9	47	0	0	0	57
五	$10 \sim 30$ (CM級相当)	0	0	0	0	0	0	0
SE	30 ~ 90 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	90 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0
		28	42	63	0	0	0	133
	適合率	96.4%	100.0%	74.6%	_	_	_	87.2%
				雪研式岩橋	股分粘结里			
	新分類法評価点	D級	D~CI級	CL级	<sup>盈</sup> 刀類相不 CM級	СН級	B級	合計
	~ 1 (D級相当)	- D/llX 	18	Q Q		011/02	0	50
伍	$1 \sim 10$ (CL級相当)	5	24	52	0	0	0	81
五	$10 \sim 30$ (CM級相当)	0	0	1	0	0	0	1
N	$30 \sim 90$ (CH級相当)	0	0	1	0	0	0	1
	<u>90</u> ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0
		28	42	63	0	0	0	133
	適合率	82.1%	100.0%	82.5%	_	_	_	88.0%
		雷研式岩般分類結果						
	新分類法評価点	D級	D~CL級	<del>电研<i>×</i>和</del>	ED CM級	CH級	B級	合計
	~ 1 (D級相当)	28	29	11	0	0	0	68
Ϋ́Ξ	$1 \sim 10$ (CL級相当)	0	13	52	0	0	0	65
占	10 ~ 30 (CM級相当)	0	0	0	0	0	0	0
NN	30 ~ 90 (CH級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	90 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	合 計	28	42	63	0	0	0	133
	適合率	100.0%	100.0%	82.5%	_	_	_	91.7%
				雷研式岩橋	路分類結果			A =1
	新分類法評価点	D級	D~CL級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
ŚП	~ 1 (D級相当)	103	107	54	0	0	0	264
総1	1 ~ 10 (CL級相当)	9	61	194	0	0	0	264
6	10 ~ 30 (CM級相当)	0	0	3	0	0	0	3
1 L	30 ~ 90 (CH級相当)	0	0	1	0	0	0	1
47	90 ~ (B級相当)	0	0	0	0	0	0	0
	合 計	112	168	252	0	0	0	532
	適合率	92.0%	100.0%	77.0%	_	_	_	87.4%

表 6. 1-1 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑堆積岩)

表 6.1-2 再検討した新分類法評価点適合率総括(主立坑堆積岩)

			D級	D~CL級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	t	NE	89.3	100.0	68.3				82.7
谪	力	SE	96.4	100.0	74.6				87.2
合	민	SW	82.1	100.0	82.5				88.0
率	1.1	NW	100.0	100.0	82.5				91.7
(%)	4方	向の総合	92.0	100.0	77.0	—	_	_	87.4

	立门、光石	そうして 下		電研	式岩盤分類	i結果		ム計		
	利万羖	<b>広</b> 計 Ш 点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	行行		
	$\sim 1$	(D級相当)	23	13	0	0	0	36		
Ē	$1 \sim 10$	(CL級相当)	1	92	0	0	0	93		
£	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	3	0	0	0	3		
NE	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	0	0	0		
	$90 \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	· 計	24	108	0	0	0	132		
	適	合率	95.8%	85.2%	_	_	-	87.1%		
	مرمار رام مرمار			雷研式岩般分類結果						
	新分類	法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計		
	$\sim 1$	(D級相当)	20	8	0	0	0	28		
恒	$1 \sim 10$	(CL級相当)	4	97	0	0	0	101		
五	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	3	0	0	0	3		
SE	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	0	0	0		
	90 ~	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	· 計	24	108	0	0	0	132		
	適	合率	83.3%	89.8%	_	_	_	88.6%		
	新分類	法評価点	口級	电···· CI 级	八石盈万短 CM級	CH级	B級	合計		
	$\sim 1$	(D級相当)	<u>り</u> 秋 91	11		0	0	39		
伍	$1 \sim 10$	(CL級相当)	3	91	0	0	0	94		
Ŧ	$10 \sim 30$	(CM級相当) (CM級相当)	0	6	0	0	0	6		
NS N	$\frac{10}{30} \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	0	0	0		
	$\frac{30}{90} \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
			24	108	0	0	0	132		
	適	合率	87.5%	84.3%	_	_	_	84.8%		
				0.71						
	新分類法評価点		D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計		
	$\sim 1$	(D級相当)	21	19	0	0	0	40		
Ē	$1 \sim 10$	(CL級相当)	3	87	0	0	0	90		
Ł	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	2	0	0	0	2		
X	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	0	0	0		
	$90 \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	·計	24	108	0	0	0	132		
	適	合率	87.5%	80.6%	—	—	_	81.8%		
	新分類	法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計		
ζiπ	$\sim 1$	(D級相当)	85	51	0	0	0	136		
総合	$1 \sim 10$	(CL級相当)	7	367	0	0	0	374		
6	$\frac{10}{10} \sim 30$	(CM級相当)	0	14	0	0	0	14		
百	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	0	0	0		
4 <del>,</del>	90 ~	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	· 計	92	432	0	0	0	524		
	適	合率	92.4%	85.0%	_	_	—	86.3%		

表 6.1-3 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(換気立坑堆積岩)

表 6.1-4 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑堆積岩)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
		NE	95.8	85.2	—	_		87.1
適	力	SE	83.3	89.8	—	_		88.6
合 率	민미	SW	87.5	84.3	_	_		84.8
	Li U	NW	87.5	80.6	—	_		81.8
(%)	4方	向の総合	92.4	85.0	—	—	_	86.3

# 6.2. 結晶質岩の再検討

# 6.2.1. 主立坑

主立坑の結晶質岩について算出した新分類法評価点の深度分布を、再検討した岩盤等級の閾値 に基づいて区分した電研式岩盤分類結果とともに図 6.2-1 に示す。また、方向別および 4 方向総 合の適合率を算出した結果を表 6.2-1 に、総括結果を表 6.2-2 に示す。表 6.2-2 に示すとおり、 主立坑の結晶質岩の適合率は 47~62%という結果となり、再検討前の適合率とほぼ同等の結果と なった。



図 6.2-1 再検討した新分類法評価点の深度分布(主立坑結晶質岩)

	<b>卒に11、米石</b> 、	壮証年上		電研	式岩盤分類	結果		ム計		
	利刀類	云計៕点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	·口:百1		
	$\sim 1$	(D級相当)	12	20	0	0	0	32		
Ē	$1 \sim 10$	(CL級相当)	4	59	29	2	0	94		
迁	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	7	30	3	0	40		
NE	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	10	2	0	12		
	$90 \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	計	16	86	69	7	0	178		
	適	合率	75.0%	68.6%	43.5%	28.6%	_	57.9%		
	المراد الم المراد				0.71					
	新分類	法評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計		
	$\sim 1$	(D級相当)	31	47	0	0	0	78		
句	$1 \sim 10$	(CL級相当)	11	45	26	2	0	84		
力	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	5	5	1	0	11		
SE	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	0	1	0	1		
	$90 \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	計	42	97	31	4	0	174		
	適	合率	73.8%	46.4%	16.1%	25.0%	_	47.1%		
	新分類法評価点		D級	CL級	CM級	小山木 CH級	B級	合計		
	$\sim 1$	(D級相当)	36	<u>り日</u> 秋 99	0	011/02	0	58		
ΥĒ	$1 \sim 10$	(CL級相当)	12	49	11	1	0	73		
为	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	4	18	4	0	26		
SW	$\frac{10}{30} \sim 90$	(CH級相当)	0	0	12	5	0	17		
	$\frac{30}{90} \sim$	(B級相当)	0	0	1	0	0	1		
	合		48	75	42	10	0	175		
	適	合率	75.0%	65.3%	42.9%	50.0%	_	61.7%		
	新分類法評価点		D級	CL級	CM級	小山木 CH級	B級	合計		
	$\sim 1$	(D級相当)	42	52	3	0	0	97		
- <u></u> Ξ	$1 \sim 10$	(CL級相当)	9	38	22	0	0	69 69		
子	$10 \sim 30$	(CM級相当)	0	1	5	0	0	6		
MN	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	1	0	0	1		
	$90 \sim$	(B級相当)	0	0	0	0	0	0		
	合	<u></u> 計	51	91	31	0	0	173		
	適	合率	82.4%	41.8%	16.1%	_	-	49.1%		
	新分類	法評価点	D郯	电训 CI 级	八石盈刀短 CM级		D纮L	合計		
4-	$\sim 1$	(D級相当)	191	しし秋久 141	3	01170X	D版 0	265		
で	$1 \sim 10$	(CL級相当)	36	191	88	5	0	320		
0	$10 \sim 30$		0	17	58	8	0	83		
Ē	$30 \sim 90$	(CH級相当)	0	0	23	8	0	31		
4方	$\frac{30}{90} \sim$	(B級相当)	0	0	1	0	0	1		
	合	<u></u> 計	157	349	173	21	0	700		
		合率	77.1%	54.7%	33.5%	38.1%	_	54.0%		

表 6.2-1 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(主立坑結晶質岩)

表 6.2-2 再検討した新分類法評価点適合率総括(主立坑結晶質岩)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	+	NE	75.0	68.6	43.5	28.6		57.9
適	万	SE	73.8	46.4	16.1	25.0		47.1
合	민	SW	75.0	65.3	42.9	50.0	_	61.7
率	U1	NW	82.4	41.8	16.1	_	_	49.1
(%)	4方	向の総合	77.1	54.7	33.5	38.1	_	54.0



また、各方向の新分類法評価点の岩盤等級別分布を図 6.2-2 に、新分類法評価点の頻度分布を 図 6.2-3 に示す。図 6.2-4 には、電研式岩盤等級別の新分類法評価点の頻度分布を示す。

図 6.2-2 再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(主立坑結晶質岩:方向別)



図 6.2-3 再検討した新分類法評価点の頻度分布(主立坑結晶質岩)



図 6.2-4 再検討した新分類法評価点の電研式岩盤等級別頻度分布(主立坑結晶質岩)

## 6.2.2. 換気立坑

換気立坑の結晶質岩について再検討した新分類法評価点の深度分布を、再検討した岩盤等級の 閾値に基づいて区分した電研式岩盤分類結果とともに図 6.2-5 に示す。

これらの適合率を算出し、方向別の結果を表 6.2-3 に、総括結果を表 6.2-4 に示す。また、各方向の新分類法評価点の岩盤等級別分布を図 6.2-6 に、新分類法評価点の頻度分布を図 6.2-7 に示す。図 6.2-8 には電研式岩盤等級別の新分類法評価点の頻度分布を示す。

**表 6.2-4**に示すとおり、換気立坑の結晶質岩の適合率は約 51~58%という結果となり、再検討前(30~40%程度)に比べ高くなったものの、主立坑と同様に堆積岩に比べ適合率は低い。



図 6.2-5 再検討した新分類法評価点の深度分布(換気立坑結晶質岩)

	<b>卒口、</b> 將注	<b>莎</b> (王 占		電研	式岩盤分類	結果		合計		
	利力現伍	11111月	D級	CL級	CM級	CH級	B級			
	$\sim 1$ (	(D級相当)	0	1	0	0	0	1		
Ţ	$1 \sim 10$ (	(CL級相当)	0	3	0	3	0	6		
Ĥ	$10 \sim 30$ (	(CM級相当)	0	0	10	25	1	36		
NE	$30 \sim 90$ (	(CH級相当)	0	0	15	59	13	87		
	$90 \sim$ (	(B級相当)	0	0	2	28	20	50		
	合言	0	4	27	115	34	180			
	適合	率	—	75.0%	37.0%	51.3%	58.8%	51.1%		
				雷研式岩盤分類結果						
	新分類法	評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計		
1	$\sim 1$ (	(D級相当)	0	1	0	0	0	1		
- <u></u> Ξ	$1 \sim 10$ (	(CL級相当)	0	3	4	1	0	8		
上	$10 \sim 30$ (	(CM級相当)	0	0	8	23	0	31		
SE	$30 \sim 90$ (	(CH級相当)	0	0	12	77	2	91		
	$90 \sim$ (	(B級相当)	0	0	2	38	9	49		
	合言		0	4	26	139	11	180		
	適合	—	75.0%	30.8%	55.4%	81.8%	53.9%			
	新分類法評価点		雷研式岩盤分類結果							
Ē			D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計		
	$\sim 1$ (	(D級相当)	0	1	1	0	0	2		
	$1 \sim 10$ (	(CL級相当)	0	3	2	3	1	9		
儿	$10 \sim 30$ (	(CM級相当)	0	0	6	15	5	26		
SW	$30 \sim 90$ (	(CH級相当)	0	0	5	78	16	99		
	$90 \sim$ (	(B級相当)	0	0	1	25	16	42		
	合言		0	4	15	121	38	178		
	適合	—	75.0%	40.0%	64.5%	42.1%	57.9%			
	<b>が八将注款</b> (正上		電研式岩盤分類結果					스크니		
	新分類法評価点		D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計		
	$\sim 1$ (	(D級相当)	0	3	0	0	0	3		
Ē	$1 \sim 10$ (	(CL級相当)	0	2	1	1	0	4		
ЧŢЛ	$10 \sim 30$ (	(CM級相当)	0	0	12	27	3	42		
N	$30 \sim 90$ (	(CH級相当)	0	0	13	68	6	87		
	$90 \sim$ (	(B級相当)	0	0	1	30	11	42		
	合言	計	0	5	27	126	20	178		
	適合	率	_	40.0%	44.4%	54.0%	55.0%	52.2%		
	立[] 八 米二 )	試行上		電研	式岩盤分類	結果		스크니		
	新分類法	評価点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計		
⊲⊡	$\sim 1$ (	(D級相当)	0	6	1	0	0	7		
貔	$1 \sim 10$ (	(CL級相当)	0	11	7	8	1	27		
30	$10 \sim 30$ (	(CM級相当)	0	0	36	90	9	135		
七市	$30 \sim 90$ (	(CH級相当)	0	0	45	282	37	364		
4-	$90 \sim 0$	(B級相当)	0	0	6	121	56	183		
	合言		0	17	95	501	103	716		
	適合	率	—	64.7%	37.9%	56.3%	54.4%	53.8%		

表 6.2-3	再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率	(換気立坑結晶質岩)

表 6.2-4 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	+	NE	_	75.0	37.0	51.3	58.8	51.1
適	万向	SE	_	75.0	30.8	55.4	81.8	53.9
合	[刊 모[[	SW	_	75.0	40.0	64.5	42.1	57.9
率	Litt	NW	_	40.0	44.4	54.0	55.0	52.2
(%)	4方[	句の総合	—	64.7	37.9	56.3	54.4	53.8



図 6.2-6 再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(換気立坑結晶質岩:方向別)



図 6.2-7 再検討した新分類法評価点の頻度分布(換気立坑結晶質岩)



図 6.2-8 再検討した新分類法評価点の電研式岩盤等級別頻度分布(換気立坑結晶質岩)

さらに、前述した推定一軸圧縮強さが著しく低強度側を示すものを発破影響と考え、それらを除いた場合の適合率を表 6.2-5~表 6.2-6に示す。いずれの方向も数%程度は適合率が高くなっていることがわかる。
	<b>车八粘油</b>	占 上		電研	式岩盤分類	結果		ద≇⊾
	利刀狽広計៕	ž	D級	CL級	CM級	CH級	B級	
	~ 1 (D級)	相当)	0	1	0	0	0	1
Ē	$1 \sim 10$ (CLÅ	及相当)	0	3	0	1	0	4
王方	$10 \sim 30$ (CM)	汲相当)	0	0	8	14	1	23
NE	$30 \sim 90$ (CH*	吸相当)	0	0	15	54	5	74
	90 ~ (B級)	相当)	0	0	2	28	19	49
	合 <b>計</b>		0	4	25	97	25	151
	適合率		—	75.0%	32.0%	55.7%	76.0%	55.6%
		L		雷研	式岩盤分類	結果		
	新分類法評価.	京	D級	CL級	CM級	CH級	B級	台計
	$\sim 1$ (D級)	相当)	0	1	0	0	0	1
Ē	$1 \sim 10$ (CL <sup>®</sup>	返相当)	0	3	3	0	0	6
力I	$10 \sim 30$ (CM)	汲相当)	0	0	5	13	0	18
SE	$30 \sim 90$ (CH)	及相当)	0	0	12	72	2	86
	90 ~ (B級)	相当)	0	0	2	38	9	49
	合 <b>計</b>		0	4	22	123	11	160
	適合率		_	75.0%	22.7%	58.5%	81.8%	55.6%
				雪研	式岩般分類	結里		
	新分類法評価。	点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
	~ 1 (D級)	相出)	0	1	1	0	0	2
년	$1 \sim 10$ (CL)	6月3)	0	3	2	2	0	7
为I	$10 \sim 30$ (CM)	<u>返相当</u> )	0	0	5	5	2	12
SW	$30 \sim 90$ (CH*	<u>返相当)</u>	0	0	5	75	16	96
	90 ~ (B級)	相当)	0	0	1	25	16	42
	合計		0	4	14	107	34	159
	適合率		_	75.0%	35.7%	70.1%	47.1%	62.3%
		-		雪研	式岩般分類	結果		
	新分類法評価。	点	D級	CL級	CM級	CH級	B級	合計
	~ 1 (D級)	相当)	0	3	0	0	0	3
Ē	$1 \sim 10$ (CL)	<u>6</u> 4 四相当)	0	2	1	0	0	3
力	$10 \sim 30$ (CM)	汲相当)	0	0	9	17	0	26
NΝ	$30 \sim 90$ (CH*	吸相当)	0	0	13	66	6	85
	90 ~ (B級)	相当)	0	0	1	30	11	42
	合 計		0	5	24	113	17	159
	適合率		_	40.0%	37.5%	58.4%	64.7%	55.3%
				雪研	式毕般分箱	法里	-	
	新分類法評価.	氘	口級	电测	八石盈刀短 CM级		DxtL	合計
総合	~ 1 (D級)	(日平)		6	1			7
	$1 \sim 10$ (CT x	14ヨ/	0	11	6	3	0	20
0,≸	$10 \sim 30$ (CM)	※1日ヨノ () () () () () () () () () () () () ()	0	0	27	49	3	79
Ē	$30 \sim 90$ (CH <sup>*</sup>	及相当) 历相当)	0	0	45	267	29	341
4方	$90 \sim (R_{\text{AB}})$	相当) 相当)	0	0	-10 6	121	55	182
	合計	н — /	0	17	85	440	87	629
				64.7%	31.8%	60.7%	63.2%	57.9%

表 6.2-6 再検討した新分類法評価点適合率総括(換気立坑結晶質岩:発破影響除く)

			D級	CL級	CM級	CH級	B級	全体
	+	NE		75.0	32.0	55.7	76.0	55.6
適	万向	SE		75.0	22.7	58.5	81.8	55.6
合	[H] 모[[	SW		75.0	35.7	70.1	47.1	62.3
率	U.1	NW	_	40.0	37.5	58.4	64.7	55.3
(%)	4方[	句の総合	_	64.7	31.8	60.7	63.2	57.2

## 6.2.3. 水平坑道

結晶質岩横坑における岩盤について、再検討した新分類法の適用性を検討する。適合率の算出 結果を表 6.2-7 に、新分類法評価点の岩盤等級別分布を図 6.2-9 に示す。また、新分類法評価点 の頻度分布を図 6.2-10 に示す。

**表 6.2-7** に示すように、再検討前(**表 4.2-5**)と同様、CM 級では適合率が低いがそのほかの 等級の適合率は堆積岩とほぼ同程度まで高くなっている。

電研式岩盤分類結果 新分類法評価点 合計 D級 **CL級** CM級 CH級 B級 (D級相当)  $\sim 1$ 2 9 0 0 0 4  $\sim 10$ (CL級相当) 16 41 0 571 0 0 (CM級相当)  $10 \sim 30$ 0 0 12 16 0 28 $30 \sim 90$ (CH級相当) 0 0 10 1456 161  $90 \sim$ (B級相当) 0 0 0 3286 118合 計 2 63 368 181939270.9% 適合率 100.0% 88.9% 19.0% 75.1%93.5%

表 6.2-7 再検討した新分類法の電研式岩盤分類との適合率(結晶質岩横坑)



図 6.2-9 再検討した新分類法の岩盤等級別評価点分布(結晶質岩横坑)



図 6.2-10 再検討した新分類法評価点の頻度分布(結晶質岩横坑)

図 6.2-11 に、電研式岩盤等級別の一軸圧縮強さの推定結果を示す。堆積岩に比べ結晶質岩横坑 の適合率が劣る原因としては、立坑と同様に推定一軸圧縮強さのばらつきが考えられる。



図 6.2-11 電研式岩盤等級別の一軸圧縮強さの推定結果(主立坑結晶質岩)

## 6.2.4. 再検討結果のまとめ

これまで示した再検討後の評価結果をまとめると以下のようになる。

- ・堆積岩では、再検討後の適合率も再検討前と同程度の高い値を示した。
- ・結晶質岩では、主立坑においては再検討後も適合率は再検討前とほぼ同等の値、換気立坑においては若干適合率が高くなったが、いずれも堆積岩の適合率より低い。また、発破の影響によると思われる著しく低強度の推定一軸圧縮強さを示したデータを除くと、数%程度適合率は高くなった。
- ・結晶質岩横坑においては、CM 級以外の適合率が高くなり、堆積岩と同等の値となった。

以上の結果から、電中研式岩盤分類の見直しおよび原位置岩盤の強度を反映していないと考え られるデータを除くことにより適合率は高くなったものの、結晶質岩での適合率は堆積岩に比べ 相対的に低い。これは、新分類法評価点の算出には、依然として 4.2.4 に示した原位置岩盤の一 軸圧縮強さの推定方法が重要であることを示している。特に、シュミットハンマーの適用範囲は 1~100MPa 程度といわれており、100MPa を超えるような岩石強度の岩盤においては、得られ る岩石コアを用いたキャリブレーションを実施し推定曲線を作る必要があると考えられる。

# 7. 新しい定量的岩盤分類法による岩盤物性推定の可能性に関する検討

新分類法は、基本的な3つのパラメータで定量的に不連続性岩盤の状況を反映した電研式岩盤 分類に準拠した岩盤評価ができることのみならず、同一の岩盤等級内での岩盤状況の変化傾向(ト レンド)をも捉えることができることは前章までに示した。これを発展させると、岩盤物性を新 分類法評価点で推定(あるいは決定)できる可能性があることから、以下に示す検討を実施した。

まず、表 7-1 で示された一般的な電中研式岩盤分類に基づく物性値範囲 <sup>18)</sup>と新分類法評価点との関係を検討した。具体的には、岩盤等級毎の各物性値の下限値と上限値を、相当する新分類法評価点に割り振り、かつ上限値で正規化した。この物性値の比率を縦軸、新分類法評価点を横軸に取り両者の関係を図化しものを図 7-1 に示す。なお、内部摩擦角 $\phi$ については、実際の設計において正接(tan $\phi$ )として用いられる値であるため、正接値で整理している。

表 7-1 菊地らによる岩盤等級と物理定数の範囲<sup>18)</sup>

岩盤 等級	岩盤の 変形係数 G	岩盤の 静弾性 係数 E	岩盤の 粘着力 C	岩盤の 内部 摩擦角 <i>φ</i>	岩盤の 弾性波 速度 Vp	ロック テスト ハンマー 反発度	孔内載荷 変形係数 G-bt	試験による 接線 弾性係数 E-bt	引抜試験 によるせ ん断強度 T
	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	(deg)	(km/sec)	(-)	$(N/mm^2)$	(N/mm <sup>2</sup> )	$(N/mm^2)$
А∼В	5000~	8000~	4~	55 <b>~</b> 65	3.7~	36~	5000~	10000~	
СН	2000~ 5000	4000~ 8000	2~4	40~55	3.0~3.7	27~36	1500~ 6000	6000~ 15000	20~
СМ	500~ 2000	1500~ 4000	1~2	30~45	1.5~3.0	15~27	300~ 2000	1000~ 6000	10~20
CL		. 1500	1	15 20	. 15	. 15		. 1500	5~10
D ~500	~500	~500 ~1500 ~1	15~38	~1.5	~15	~600	~1500	~5	



図 7-1 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(1)

**表 7-1**に示される物性値の範囲では、物性種類によって多少の差はあるものの新分類法評価点 と各物性との間に線形的な関係が認められる。これは、定量的な評価点が得られれば岩盤物性値 を一意的に決定できることを意味しており、地表からの調査段階で得られる情報に基づき合理 的・客観的な設計物性値を設定する上で重要である。

表 7-1 では CL 級以下の物性値の下限値が示されておらず、脆弱な岩盤についての検討ができ ないため、次に、表 7-2 に示す東・中・西日本高速道路株式会社による設計要領・第二集・橋梁 設計編に示されている粘板岩と花崗岩のせん断定数(粘着力と内部摩擦角)および変形係数の例 <sup>19)</sup>を同様に分析した。なお、正規化は、B 級の上限値が示されているものについてはその値で、 上限値が示されていないものについては CH 級の上限値で行った。また、花崗岩の内部摩擦角については、各岩盤等級の代表値を当該岩盤の評価点範囲の対数平均値でプロットした。

		粘板岩(ダムサイトの例)						花崗岩(本四連絡橋基礎の例)				)
岩盤等級		岩盤の 粘着力		岩虹	<sup>選</sup> の ႃ 摩擦角	岩虹 変形	<sup>盤</sup> の 係数	岩盘 粘养	盤の 昏力	岩盤の 内部 摩擦角	岩盤 変形	<sup>盛</sup> の 係数
		C(kN	l/m²)	$\phi$ (deg) G(MN/m <sup>2</sup> )		C(kN	l/m²)	$\phi(deg)$	G(MN	l∕m²)		
		範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	代表値	代表値	範囲	代表値
		2250~	0500	40 - 50	45	3000	2000	1500~	1500	45	1200~	0000
	В	2750	2500	40~50	40	以上	3000	2500	1500	40	3000	2000
硬		1750~	0000	35~45	25~45 40	1000~	0000	1000~	1000	40	600~	200
岩	СН	2250	2000		40	3000	2000	2000	1000	40	1200	800
		750 <b>~</b>	1050	05 45	40	500~	750	500~	500		300~	450
	СМ	1750	1250	35~45	40	1000	/50	1000	500	40	600	450
	0	250~	500	00 40	05	100~	000	100~	100	07	150~	000
軟	UL	750	500	30~40	35	500	300	1000	100	37	300	200
岩		100	0	00 - 100	0.E	100		0	0	20 25	5	10
	D	비고	U U	20~30	25	비고	-	0~500	U	$30 \sim 35$	~150	~100

表 7-2 粘板岩と花崗岩の物性値の例<sup>19)</sup>



図 7-2 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(2)

図 7-2 に示すように、弱い岩盤の値まで示されているものの、岩盤等級毎の重複もある程度許 容されているために図 7-1 ほどの線形的な関係はない。しかし、粘着力 C や変形係数 G について は、新分類法を整数軸で示した場合にほぼ直線に近い関係が認められそうである。内部摩擦角 *φ* は、表 7-1 と同様、岩盤等級毎の変化の幅が小さく、ほかの物性とやや異なる傾向を示している。

最後に、瑞浪超深地層研究所の立坑修正設計で用いられている物性値<sup>20</sup>について、同様の検討 を行った。瑞浪超深地層研究所では、上位の堆積岩と下位の結晶質岩に分け、それぞれボーリン グコアを用いた室内試験結果をベースに、孔内物理検層の結果を用いて補正した上で、解析に用 いる物性値として設定している。物性値の一覧を表 7-3 に、新分類法評価点との関係を堆積岩に ついては図 7-3 に、結晶質岩については図 7-4 に示す。

						·	
岩盤	岩盤	見かけ 比重	ー軸圧縮 強さ	50%接線 ヤング率	ポアソン比	粘着力	内部 摩擦角
種類	等級	$\gamma_{t}$	σ。	E <sub>50</sub>	ν	с	φ
		(kN/m³)	(MPa)	(GPa)	(-)	(MPa)	(deg)
	Α	26.3	143.0	50.6	0.29	39.7	51.1
	В	26.2	151.1	50.3	0.27	39.2	52.5
結晶質岩	СН	26.3	181.3	49.3	0.27	34.3	54.4
	СМ	25.9	174.7	50.5	0.18	37.6	49.3
	CL	23.4	71.8	20.9	0.24	25.2	30.1
	СМ	19.1	12.3	3.9	0.29	2.87	24.3
堆積岩	CL	19.5	6.7	1.65	0.30	1.90	18.8
	D	19.5	4.4	0.75	0.30	1.02	18.8

表 7-3 瑞浪超深地層研究所の立坑修正設計の物性値<sup>20)</sup>





図 7-4 岩盤等級と物理定数範囲の新分類法評価点との関係(4)結晶質岩

瑞浪超深地層研究所の修正設計で用いられている物性値は、特に結晶質岩においては前述の図 7-1 や図 7-2 と異なり線形的な関係を見いだすことはできず、かつ岩盤等級との関係が一部で逆 転している。これは、対象岩盤が新鮮で堅硬な結晶質岩のため、結果として CM 級以上では試験 結果に大差がなく評価されていることと、断層及び変質領域が主立坑断面内に出現することが想 定されていなったことが要因と推定される。

以上の検討結果から、新しい定量的岩盤分類法は、地上からの調査段階において合理的・客観 的に設計用物性値を評価できる指標となりえることが示唆される。一方、繰り返しになるが、原 位置岩盤強度の推定をどのように実施するかが課題であり、岩石コア等を用いた針貫入試験やシ ュミットハンマー試験による原位置岩盤強度推定に関するキャリブレーションの実施が一つの解 決策と考えられる。

## 8. まとめと今後の課題

地下岩盤構造物の建設プロジェクトを計画する場合、地表地質踏査や地質調査ボーリングで得 られたデータから如何に地下をモデル化し、設計に用いる物性値を設定していくかが重要である。 さらに、施工段階においては、設計どおりの岩盤が出現しているかどうかの確認と、実際の岩盤 状況に応じた支保選定が求められ、これらは現場(切羽)において迅速に行う必要がある。加え て、高レベル放射性廃棄物の地層処分場では、例えばある場所の岩盤が処分孔の設置場所として 適切か否かの判断を行うことも必要になる可能性がある。

このような調査~設計~施工の流れにおいて、岩盤の工学的性質の評価方法が大きなポイント となることは当然であるが、従来、これは事業者毎に選択した岩盤分類法を用いてきており、か つ定性的な岩盤分類法も多いことから、各々の設計・施工事例を岩盤の工学的性質の観点から比 較・検討することが難しいのが現状である。

一方、本報告にて検討を進めてきた新分類法は、3つのパラメータ(風化度、不連続面間隔お よび岩盤強度)により、結晶質岩のような不連続性岩盤のみならず堆積岩の工学的物性の客観的 な評価が可能であることと、新分類法評価点と各種岩盤物性を関連付けられる可能性が示唆され た。このことは、事前の設計や情報化施工における客観的・合理的な物性値の設定、岩盤評価や 支保選定が可能であることを意味する。

今後の課題としては、瑞浪超深地層研究所における主立坑と換気立坑について、「ボーリングデ ータ〜岩盤評価〜設計〜施工」の流れを、新分類法を用いて検証することが重要と思われる。具 体的には下記のような内容が想定できる。

- ①「ボーリングデータを用いた新分類法評価点算出方法の検討」
- ②「算出された新分類法評価点と電研式岩盤分類による岩盤等級との比較」
- ③「設計に用いる物性値の設定と既存設計図書との比較」
- ①「立坑掘削時の岩盤調査結果と事前想定地質構造、物性値との比較」

①「ボーリングデータを用いた新分類法評価点算出方法の検討」および②「算出された新分類 法評価点と電研式岩盤分類による岩盤等級との比較」において使用するボーリングデータは、「瑞 浪超深地層研究所における試錐調査(MIZ-1号孔)<sup>21)</sup>」である。MIZ-1号孔は瑞浪超深地層研究 所の地表付近から深部地質の状況を把握するために、途中からコントロールボーリングにより傾 斜掘削された、掘進長約1300mabh (meter along borehole)のボーリング孔である。通常のコ ア採取とその観察のほか、比較的多くの孔内物理検層等が実施されている。

新分類法をボーリングデータにおいて適用するためには、「強度」・「不連続面間隔」・「風化・劣 化度」の各指標が必要となる。このうち、「強度」については次のようなデータが利用可能である。

- ・ 室内試験: コアを用いた直接的な一軸圧縮試験やポイントロード試験のデータを利用する ものである。
- コアを用いた簡易試験:コアを用い非破壊で強度データを連続的に推定する方法である。
   シュミットハンマー試験や針貫入試験のほか、エコーチップ試験等が挙げられる。
- ・ 孔内検層: 孔内検層にはいくつかの種類があるが、直接的に岩盤強度が得られる方法は今のところない。代わりに、その推定方法として弾性波速度分布に基づく岩石強度から岩盤強度への変換が一般的に行われる。例えば、図 8-1 に示す瑞浪超深地層研究所・換気立坑の掘削ずりを用いた試験結果をみると、弾性波速度と一軸圧縮強さの相関性は、相関係数

は 0.7 程度と十分高いとは言えないが、正の相関があることが読み取れる。また、前述の 通り、この方法で設定した実施設計時の岩盤強度の値は、坑道壁面観察時の調査結果から の推定一軸圧縮強さと良く一致している。



図 8-1 掘削ずりを用いた物性試験のうちー軸圧縮強さと弾性波速度の関係

ただし、いずれの方法も直接的に原位置岩盤強度を求められるわけでないため、これらのデー タに基づく強度推定方法が重要である。次に、「不連続面間隔」については、次のようなデータが 利用可能である。

- ・ RQD:単位長さ当たりの 10cm 以上のコアが占める割合を意味し、岩盤ボーリング調査で は必須データである。通常はコア長 1m 毎に示されている。直接的に不連続面間隔を示し ているわけではないが、例えば新 JH の指標(表 2.1-11~表 2.1-13 参照)では RQD と不 連続面間隔が概ねリンクして評価されているので、それに準じるのがひとつの方法である。
- ・不連続面本数:ボーリング調査では標準的な調査項目ではないものの、時に調査が行われる指標であり、MIZ-1号孔でも取得されている。直接的に不連続面間隔を算出できる項目であり、データがあれば活用できる。

最後に、「風化・劣化度」については、次のようなデータが利用可能である。

・ 風化・劣化度: 岩盤ボーリングでは必須の観察項目であり、例えば表 2.1-1 に示される評価基準でデータが得られている。したがって、これに基づいて数値を割り振れば良い。

以上の検討から、ボーリングデータを用いた新分類法の評価は、「強度」データ以外は既存の結果を用いることが出来そうであり、「強度」データの評価精度が定量的に改善されれば、地表からの調査段階における新分類法と岩盤物性評価を一連のものとして体系化することもできると考えられる。

なお、本報告の中で示した原位置岩盤強度の取得・推定方法には、

①サンプリング地点(地質・岩級構造を考慮した代表地点の選定)

②シュミットハンマー反発度から一軸圧縮強さを推定する換算式

といった問題があることから、例えば深度 300m 研究アクセス坑道にて露岩している区間において、原位置岩盤強度を測定する試験を実施し、シュミットハンマー試験による推定一軸圧縮強 さとの関連性を検討することが重要である。

# 参考文献

- 1) Bieniawski, Z. T. : Engineering Rock Mass Classifications, New York, Wiley (1989) .
- 2) Barton,N.,Lien,R.and Lunde,J. : Engineering classification of rock mass for the design of tunnel support, Rock Mechanics, Vol.6, No.4, pp.183-236 (1974).
- 3) 地盤工学会:新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類方法、JGS3811-2004 (2004).
- 納多勝・須山泰宏・延藤遵・井尻祐二・見掛信一郎・松井裕哉:瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する検討(平成19年)(委託研究)、JAEA-Technology 2009-009、pp.21-22 (2009).
- 5) 例えば、土質工学会:岩の工学的性質と設計・施工への応用、pp-335-352(1974).
- 6) 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、pp.121-134(2001).
- 7) 財団法人日本建築情報センター:ボーリング柱状図作成要領(案)解説書(改訂版)、pp.13-15 (1999).
- 8) 鉄道建設公団東北支社:鍋立山坑内地質調査総合報告書(1979).
- 9) 小島圭二:軟岩の調査法と問題点、土と基礎 Vol.22 No.6、pp.53-58(1974).
- 10) 地盤工学会編:岩の調査と試験、第33章シュミットハンマー試験、pp.299-305(1989).
- 11) 福井勝則、大久保誠介、松本一騎、名和芳久、酒井照夫、西澤泉: TBM の掘削抵抗を利用した岩盤分類-花崗岩の事例-、資源と素材、Vol.116、No.10、pp.831-838(2000).
- 12) 久慈雅栄、佐藤稔紀、見掛信一郎、玉井猛:立坑掘削時の岩盤分類法の評価、第40回地盤 工学研究発表会、pp.185-186(2005).
- 13) 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).
- 14) 久慈雅栄、佐藤稔紀、見掛信一郎、玉井猛、黒田英高:瑞浪超深地層研究所建設の現状と立 坑掘削における岩盤分類法について、日本応用地質学会平成17年度研究発表会、P27(ポス ターセッション)(2005).
- 15) 浅井秀明、久慈雅栄、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2-結晶質岩)、土木学会第64回年次学術講演会、CS5-057、pp.247-248(2009).
- 16) 例えば、三枝博光ほか: 超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階) 研究成果報告書、JAEA-Research 2007-043、p.217(2007).
- 17) 納多勝・須山泰宏・延藤遵・井尻祐二・見掛信一郎・松井裕哉:瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する検討(平成19年)(委託研究)、JAEA-Technology 2009-009、p.81(2009).
- 18) 菊地宏吉、藤枝誠、岡信彦、小林隆志:ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合評価、 岩盤分類 応用地質特別号、pp.103-118(1984).
- 19) 東日本·中日本·西日本高速道路株式会社:設計要領第二集橋梁建設編、pp.4-8~4-14(2007).
- 20) 渋谷旬、鈴木隆、黒田英高:瑞浪超深地層研究所研究坑道予備解析-平成 16 年度-、 JAEA-Research 2008-027、pp.28-33 (2008).
- 21) 魚住直己、村上真也、大石保政、河村秀紀:超深地層研究所計画における試錐調査(MIZ-1 号 孔)(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)、JNC-TJ7440 2005-091 (2005).

表 1. SI 基本単位						
甘大昌	SI 基本ì	単位				
盔半里	名称	記号				
長さ	メートル	m				
質 量	キログラム	kg				
時 間	秒	s				
電 流	アンペア	А				
熱力学温度	ケルビン	Κ				
物質量	モル	mol				
光度	カンデラ	cd				

表2. 基本単位を	:用いて表されるSI組立里(	立の例			
知力量	SI 基本単位				
和立里	名称	記号			
面積	平方メートル	$m^2$			
体 積	立法メートル	$m^3$			
速 さ , 速 度	メートル毎秒	m/s			
加 速 度	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$			
波 数	毎メートル	m <sup>-1</sup>			
密度,質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>			
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>			
比 体 積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg			
電流密度	アンペア毎平方メートル	$A/m^2$			
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m			
量濃度 <sup>(a)</sup> ,濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>			
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m <sup>3</sup>			
輝 度	カンデラ毎平方メートル	$cd/m^2$			
屈折率()	(数字の) 1	1			
比透磁率(b)	(数字の) 1	1			
(a) 量濃度 (amount conce	entration) は臨床化学の分野では	物質濃度			
(substance concentration) とも トげれる					

(substance concentration)ともよばれる。
 (b)これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

### 表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 租立单位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
亚 面 角	ラジアン(b)	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
· 協 乃 立 休 角	フテラジア、(b)	cm <sup>(c)</sup>	1 (b)	$m^{2/m^2}$
		51 H7	1	
月 10 <u>数</u>		N		s ha a <sup>-2</sup>
		D	221 2	11 Kg S
	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	Ра	N/m <sup>2</sup>	mikgs
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	Nm	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕 事 率 , 工 率 , 放 射 束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電 気 抵 抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^{2} kg s^{2} A^{1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup><math>\cdot</math>2</sup> A <sup><math>\cdot</math>1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		К
光東	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
照度	ルクス	lx	$lm/m^2$	m <sup>-2</sup> cd
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Βα		s <sup>-1</sup>
吸収線量 比エネルギー分与				~
カーマ	クレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量,周辺線量当量,方向	2 ( P) ( P)	e.,	Ultra	2 -2
性線量当量,個人線量当量		SV	J/Kg	m s
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

酸素活性(カタール) kat [s<sup>1</sup> mol]
 (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや ュヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周崩現象についてのみ、ペシレルは抜焼性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度度を表すために使用される。
 (d)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (d)かけ性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

#### 表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	[ 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	『パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
表 面 張 九	コニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角 速 度	ミラジアン毎秒	rad/s	$m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
角 加 速 度	ミラジアン毎秒毎秒	$rad/s^2$	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	E ワット毎平方メートル	$W/m^2$	kg s <sup>-3</sup>
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^2 K^1$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	- ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱 伝 導 率	『ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	- ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電 荷 密 度	「クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> sA
表 面 電 荷	うクーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> sA
誘 電 卒	『ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ミヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	- ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> sA
吸収線量率	ゴグレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	「ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放 射 輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	$m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}$
酵素活性濃度	「カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語									
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号				
$10^{24}$	<b>э</b> 9	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d				
$10^{21}$	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	с				
$10^{18}$	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m				
$10^{15}$	ペタ	Р	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ				
$10^{12}$	テラ	Т	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n				
$10^{9}$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	р				
$10^{6}$	メガ	М	$10^{-15}$	フェムト	f				
$10^{3}$	+ 1	k	10 <sup>-18</sup>	アト	а				
$10^{2}$	ヘクト	h	$10^{-21}$	ゼプト	z				
$10^{1}$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	v				

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位							
名称	記号	SI 単位による値					
分	min	1 min=60s					
時	h	1h =60 min=3600 s					
日	d	1 d=24 h=86 400 s					
度	٥	1°=(п/180) rad					
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad					
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad					
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>					
リットル	L, 1	1L=11=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>					
トン	t	$1t=10^{3}$ kg					

# 表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

衣される奴値が夫缺的に待られるもの							
名称				記号	SI 単位で表される数値		
電	子ズ	ドル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J		
ダ	N	ŀ	$\sim$	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg		
統-	一原子	質量単	〔位	u	1u=1 Da		
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m		

### 表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

	名称		記号	SI 単位で表される数値
バ	バール		bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オン	グストロ・	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海		里	М	1 M=1852m
バ	-	ン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm)2=10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネ	-	パ	Np	の形はないの教徒的な眼球は
ベ		N	В	31単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
デ	ジベ	N	dB -	

#### 表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値		
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J		
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N		
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s		
ストークス	$\operatorname{St}$	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$		
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd } \text{ cm}^{\cdot 2} = 10^4 \text{ cd } \text{ m}^{\cdot 2}$		
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx		
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>		
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$		
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$		
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≙ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>·1</sup>		
(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」				

は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例							
	名	称		記号	SI 単位で表される数値		
キ	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq		
$\scriptstyle  u$	$\sim$	トゲ	$\sim$	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$		
ラ			K	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy		
$\scriptstyle  u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv		
ガ	3	~	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T		
フ	T.	N	"		1フェルミ=1 fm=10-15m		
メー	ートルヌ	系カラゞ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg		
ŀ			N	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa		
標	進	大気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa		
力	П	IJ	ļ	cal	lcal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)		
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6}$ m		

この印刷物は再生紙を使用しています