

(19) 軟岩の工学的分類の背景

電力中央研究所

林 正 夫

はしがき

最近の岩盤・地盤の地質調査、材料試験の整理は、単に調査・試験だけにとどまらず、設計と施工管理さらに事後の挙動解析をも洞察した情報が、総合的に理解し易い方式が求められているように思われる。とくに高度な情報化社会への脱皮のためにも、データバンク化を早くはかり、ゆとりのある岩盤力学、地盤工学の技術社会になるよう資したいものである。また、地質調査技術者、土質調査技術者、数値解析技術者、建築技術者、土木技術者などが、共通のインデックスで理解し易い地盤の工学的分類が望まれている。

筆者は、従来、重用されて来た硬岩分類、土質分類などの中間にあり、工学上は重要なのに扱いにくい軟岩、風化岩などの分類(表1)を提案し、その背景の一部を略説している。この分類は、筆者がアーチダム・ロックフィルダム・地下発電所・石油備蓄の地下タンク・原子力発電所の基礎の耐震性・斜面の耐震性・LNG地下タンクその他の地盤の課題に関与してきた経験に基づいている。しかし、分類の線引きについては、今後も補正を続ける必要がある。

1. 工学的な主分類 従来の硬岩では、ダムにつき田中¹⁾・建設省²⁾・増田³⁾・緒方⁴⁾・菊池⁵⁾その他の研究があり、われ目の密度・風化度・ V_p その他が採用されてきた。しかし、軟岩では、硬岩ではあまり重要ではなかったが岩盤そのものの一軸強度とくに、湿潤時の q_u に着目すると、軟岩の水への敏感さを先ず明確に分類に反映できるし、土質との整合もはかり易いので強さの指標とした。変形の指標としては、変形係数とか V_p も考えられるが、 V_s を採り上げた。その理由は、水に対し鋭敏なこと、 N 値との相関が今井らが示したように V_p よりも明確なこと(図3と図4)、建築技術者が耐震設計に重用していること、地震波動と相関がつよいこと、最近ではボーリング孔内で V_s を地層し易くなったことなどである。これら q_u と V_s を硬岩・軟岩・岩屑・土質を通じた「主指標」とした。

2. 軟岩に特有な性質の反映 軟岩の特性は、小島⁷⁾・吉中⁸⁾・糟谷⁹⁾・斉藤⁸⁾・岡本⁸⁾・仲野⁸⁾・石川⁸⁾・荒木⁸⁾・武内⁸⁾、その他優れた研究が個々に積重ねられており、1981年の東京でのISRMシンポジウムに結集された。筆者は、その特性の代表的な指標として、吸水率を重視したい。その理由は図1に示すように、軟岩で顕著になり、しかも岩種で特性がやすいこと、簡単に計測し易い量であること、NATM工法などで設計・施工にもっとも反映し易い指標となることなどを考え採用した。 q_u 、 V_s などでは分別しにくくても吸水率、スレーキング、O、C、Rなどを追求すれば、その軟岩の特異性(sと添字を付ける)は判断できるし、設計・施工のremarksとして役立てられよう。吸水率の特異とは、一応5%以上(図1)としておきたい。 q_u 、 W_s などは岩種により水への鋭敏度がかなり異なり、花崗岩では少なく、凝灰岩、泥岩で大きい。

3. 従来の分類との整合性を考慮 トンネルではわれ目、 q_u 、 V_p 、その他が用いられており、NATM工法に反映されている。ダムでは田中の分類A、B、C、Dが主流で、最近では q_u 、 V_p などがさらに加えられている。これらはほぼ硬岩から発達したので、水に対しての鋭敏性(V_s 、 W_s 、 r_d など)への配慮、すなわち軟岩への配慮まで及んでいない。それらのA、B、Cは「岩種ごとの新鮮度、風化度」を硬岩に対して地質的所見をベースに与えており、クラスDは風化の著しい場合として例外的な扱いの程度である。筆者は、ほぼこのクラスDを対象に、そこを D_H 、 D_M 、 D_L 、Eに4区分することを提案している。このようにして、硬岩の側はA、B、 C_H 、 C_M 、 C_L と「ほぼ」整合させ、土質の側とは「E」で連続させている。軟岩の中の「E」は耐震設計上、動力学的な弾性率、減衰定数などの歪依存性を土質試料における諸研究¹¹⁾とほぼ同じ概念で、実施の要否を検討する分類域として提案している。

4. 土木工事への適用 第三紀・第四紀地盤、ロックフィルダムの基礎、原子力発電所の地盤、NATM^{12), 13)}を用いるトンネル(図2)なども、今後適用性を検討していくことにしたいが、表1には、各種の土木工事との関連の概略を示しておいた。全体として、論じるに到らないことは、硬岩盤を不連続体として考えることをさらに発達させて硬岩の山体を密実な粒状体として指標化の可能性を論じたいこと、および岩屑としての砂礫層などが粗粒材として未だ分類上孤立しており、将来、軟岩の中のバラツキの多い部分との整合性を論じたいことなどが残っている。

表1 地盤材料の工学的な分類の概念（軟岩に着目して）

岩盤・地盤区分	記号	地盤工学上の全体的な指標			地質			硬岩の指標			粒状体の指標			軟岩の指標		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
		従来の分類との関係	コア軸1強度の平均 q_u	孔内S波速度 V_s	岩の種別	岩の年代	R	Q	D	不連続面の特性	シニフィカントハンマ	平均粒径 D_{50}	平均形状係数 U_c	平均形状係数 U_{cl}	平均形状係数 U_{cl}	平均形状係数 U_{cl}
地盤	H ₁ A-B	粗粒岩類	$q_u \geq 1000$	m/s	安山岩	古第三紀系 (2300万年)	例 100	例 100	例 100	垂直方向に割れ目がある	例 45~	例 50~	例 0.2	例 0.2	例 0.2	例 10
	H ₂ C ₁	中粒岩類	$q_u \approx 800$	約1800~2200	花崗岩	(中新統)	例 100	例 100	例 100	垂直方向に割れ目がある	例 40~	例 40~50	例 0.3	例 0.3	例 0.3	例 6
	H ₃ C ₁	細粒岩類	400~500	約1200~1800	凝灰岩	(中新統)	例 50~90	例 50~90	例 50~90	垂直方向に割れ目がある	例 35~	例 30~40	例 0.4	例 0.4	例 0.4	例 2
	H ₄ C ₁	超細粒岩類	300~400	約700~1500	砂岩など	(中新統)	例 20~80	例 20~80	例 20~80	垂直方向に割れ目がある	例 25~	例 25~35	例 0.5	例 0.5	例 0.5	例 2
	S ₁ D ₁	粗粒岩類	$q_u \approx 100$	約500~1300	頁岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある	例 15~					
	S ₂ D ₁	中粒岩類	50~100	約400~900	泥岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	S ₃ D ₁	細粒岩類	20~30	約300~700	凝灰岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	S ₄ E	超細粒岩類	5~10	約200	砂岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	Boulder	粗粒岩類		約400	花崗岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	Cobble	中粒岩類		約300	凝灰岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
地盤	Gravel	粗粒岩類		約200~300	砂岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	砂岩	粗粒岩類	5~10	200~300	砂岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	シルト	中粒岩類	2~5	150~200	泥岩	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						
	粘土	超細粒岩類	1~2	約100~150	粘土	(中新統)				垂直方向に割れ目がある						

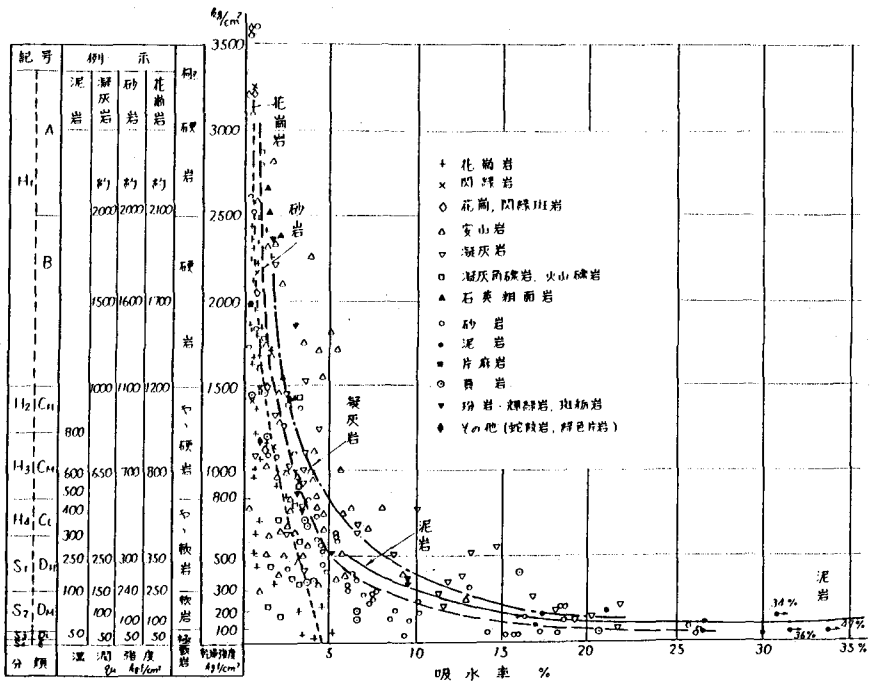


図1 硬岩・軟岩の湿潤強度、乾燥強度、吸水率などの関係（精谷憲司の実験に拠る）と今回提案の分類記号の関係

④ 乾燥 密度 ρ_d	土質地盤の指標			デ				山 岳 地 帯				臨 海 地 帯			
	④ N 値	⑤ 塑性 指数	⑥ 液状化の 特性 数	ア ー チ ダ ム	重 力 ダ ム	ロ ッ ク フ ィ ル タ ム	ア ー ス ダ ム	地下 発 電 所	石 油 地 タ ン ク の	自 費 空 洞	ト ン ネル	地 下 力 発 電 所 の	地 下 鉄 道	LNG 地 下 タ ン ク	石 油 タ ン ク
2.6~3.0			10^{-10}	基礎				地山	地山		吹付け				
2.8~3.0			10^{-10}		基礎	基礎	基礎					基礎	地下式		
2.0~2.7			10^{-8}												
1.9~2.4			10^{-5}								TBM工法				
1.5~2.3			10^{-4}								TBM工法 イン ド 水抜き		半地下式		
0.9~2.1			10^{-4}								NATM工法			半地下式	地上式
0.8~1.9			10^{-4}												
0.7~1.3			10^{-3}												
	≥ 100		10^{-1}			堰体					圧入工法		圧入工法	連続地中壁	半地下式
	≥ 50		10^{-2}												
	≥ 30		10^{-3}												
	≥ 20		10^{-2}												
			10^{-3}			フィルター コア									
	20 15 10 8 5 1	例 1 例 5 10~20	10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-10}				堰体				水抜き シールド工法		シールド工法		

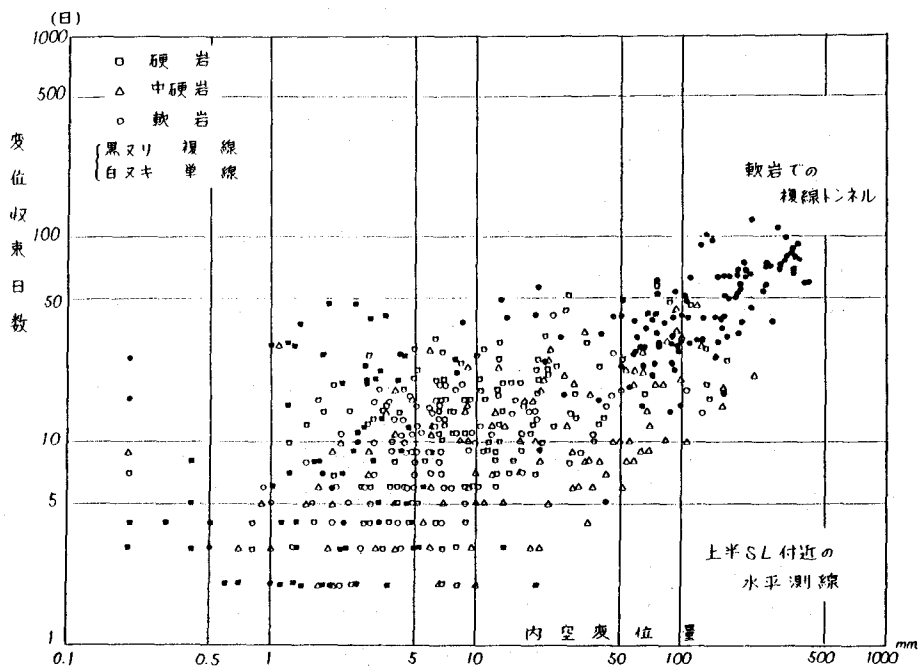


図2 NATM工法による内空変位量と変位収束日数の関係 (国鉄)⁽¹³⁾

— 軟岩での複線の場合は、内空変位量がほぼ2mm~400mmに分布している —

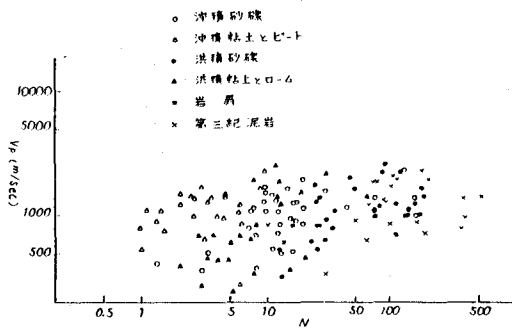


図3 軟岩、岩屑、土質材料などの V_p と N 値の関係 (今井, 吉村)

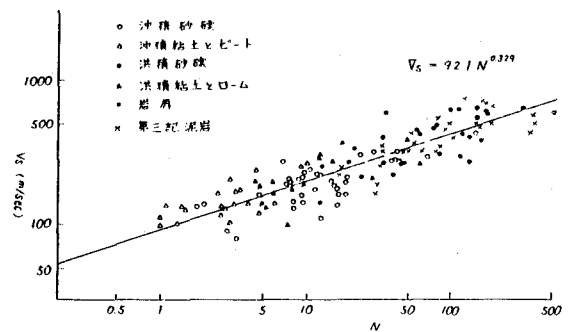


図4 軟岩、岩屑、土質材料などの V_s と N 値の関係 (今井, 吉村)

5. 謝辞 この小論をまとめるに当って、槽谷憲司氏、今井常雄氏、横田高良氏などより貴重な教示をいただき、緒方正虔氏その他、電研・電力の方々から貴重な示唆を得たことにも感謝します。この小論をご批判いただき、土木学会などで、さらにより工学的分類が定着するよう期待します。

参 考 文 献

- 1) 田中治雄:「ダム基礎岩盤の岩盤分類」, 土木技術者のための地質学入門, 山海堂, 1964.
- 2) 岡本・安江:「ダムサイトにおける岩盤区分の試み」, 土木技術資料, 8-9, 1966.
- 3) 増田秀夫:「わが国におけるコンクリートダム基礎岩盤の弾性波速度に関する地球物理学的研究」, 電研報告 No. 61001, 1961.
- 4) 緒方正虔:「硬質岩盤における節理分布の数量化モデルおよびその適用に関する考察」, 応用地質, 19-1, 1978.
- 5) 菊池・斉藤・楠:「ダム基礎岩盤の安定性に関する地質工学的総合評価」, 大ダム, 1982-12, 1983-3.
- 6) 今井・吉村:「軟弱地盤における弾性波速度と力学特性」, 土と基礎, 18-1, 1970.
- 7) 小島圭二:「堆積物の固結過程とその工学的性質」, 施工技術, 5-4, 1972.
- 8) Akai K., Hayashi M. and Nishimatsu Y. (Editors):「Weak, Soft, Fractured and Weathered Rock」 I. S. R. M. Symposium on Weak Rock, 1981, Tokyo.
- 9) 槽谷憲司:「岩盤の物理量の相互関係および物理量による岩石の工学的分類に関する一提案, およびその資料」, 応用地質, 19-4, 1978.
- 10) 幾志新吉:「震害予測のための土質柱状図データベースの利用手法」, 土質工学会論文集, 22-3, 1982-2.
- 11) 国生剛治, 吉田安雄, 江刺靖行:「広いひずみ域での粘土の動力学的性質 (英文)」, 土質工学論文集, 22-4, 1982.
- 12) 横田高良, 垣内幸雄:「NATM計測指針 (案) の改訂にあたって」, 応用地質, 24-3, 1983-9.
- 13) 日本トンネル技術協会:「NATMの計測指針に関する調査研究報告書」, 昭和58-3.
- 14) 池田和彦:「トンネルの岩盤強度分類」, 鉄研報告, No. 695, 1969.

(19) Background of Geotechnical Classification of
Soft and Weak Rocks

Masao HAYASHI

Central Research Institute of
Electric Power Industry

Summary :

It has been growing the geotechnical needs to be classified the mechanical properties of soft and weak rocks, in order to synthesize the geological survey, rock and soil tests, numerical analysis, design and monitoring of rock structures, as well as data banking.

This paper presents a classification based on the uniaxial compressive strength and shear wave velocity as well as water absorption ratio and so on. Usual index was longitudinal wave velocity for hard rock. This paper emphasizes the feasibility of shear wave velocity and water absorption ratio for weak rocks. This classification is consistent from hard rock to soil material.

Soft rocks are classified to four classes from D_H , D_M , D_L , and E. More detailed, these classes are divided into two features : one is normal soft and other is abnormal soft or weak which are divided based on the water absorption ratio. The boundary between normal and abnormal in each class is set at the 5 percents water absorption ratio.

This classification should be verified the feasibility of engineering judgement of tunnel construction, earthquake resistant design of nuclear power stations' foundation and slope stability and dam foundation.

The author appreciates for their presentations of test data of rock properties of soft rocks from Mr. K. KASUYA, Mr. T. IMAI and Mr. T. YOKOTA, and also for the valuable suggestion from Mr. M. OGATA and our colleges in CRIEPI.