

各種岩盤供試体の比抵抗特性とその原位置岩盤への適用 APPLICATION OF SEVERAL ELECTRIC RESISTIVITY OF INTACT ROCKS TO FIELD ROCK MASSES

中村 真^{*}・西方卯佐男^{**}・楠見晴重^{***}・畠中与一^{****}
Makoto NAKAMURA, Usao NISHIKATA, Harushige KUSUMI and Yoiti HATAKENAKA

Before the underground structures such as tunnels and large caverns will be constructed, seismic prospecting and electrical prospecting for geological surveys are often executed. However, it is few that the velocity of elastic wave and the electric resistivity obtained from these prospecting methods are directly used to the design.

In this paper, the relations among electric resistivity, porosity and degree of saturation of various rock specimens were investigated by laboratory tests were compared with the field measurement data obtained by electric prospecting. As a result, it is clarified that the characterization of electric resistivity of some rock cores can be applied on the estimation of in-situ rock mass.

1. まえがき

トンネル等の地下構造物建設のための地質調査では、弾性波探査や電気探査が実施されている例が多いが、得られた弾性波速度や比抵抗値を直接設計に結び付けられることは少ない。筆者らは、弾性波速度と比抵抗の測定結果を空隙率と飽和度に変換する手法を提案し、トンネル掘削地点で検証を行ってきた¹⁾。本手法では、岩盤の比抵抗と空隙率、飽和度の関係が地質構造を決定するうえで重要となるが、これに関する既往の研究成果は地下構造物の設計・施工を対象とした地質構造解析に適用する場合には十分とはいえない。

そこで本検討では、地質境界のある導水路トンネル内で採取した3岩種の岩石コアの室内試験結果から求めた実験式と、岩石採取地点の導水路トンネル切羽で実施した簡易比抵抗測定結果を比較し、岩石コアから求めた比抵抗～有効空隙率関係の原位置岩盤への適用性について検討した。

2. 岩石コアの比抵抗特性

2.1 比抵抗測定の概要

試験に用いた岩石供試体は、表-1に示す3種類の硬岩である。それぞれの有効空隙率は表に示すとおりである。各岩石は硬岩の部類に属するもので、各岩石の供試体は、直径50mm、高さ100mmの円柱に成形した。

* 正会員 工修 (株)ニュージェック 技術開発部 地盤室
** 正会員 関西電力(株) 総合技術研究所 構築研究室
*** 正会員 工博 関西大学工学部助教授 土木工学科
**** 学生員 関西大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

図-1は比抵抗の測定方法を示したものである。比抵抗を測定するときには、測定中供試体の飽和度が変化しないように図のようなサンプルホルダーに入れて行い、電極配置は4極法ウェンナー配置とした。電極は幅6mmの銅を供試体の4カ所に巻付けた。このとき接地抵抗の影響を除去するために、岩石供試体すべてを水中に入れて同時に96時間真空脱泡を行った後、室内に放置して、適当な時間間隔で電流、電圧を測定した。なお比抵抗は式(1)によって求めた。

$$\rho = V \cdot A / I \cdot L \dots\dots (1)$$

ただし、 ρ : 比抵抗、 A : 供試体の断面積、
 I : 電流、 V : 電圧、
 L : 電位電極間の長さ

2.2 不飽和状態にある岩石の比抵抗特性

図-2は、流紋岩の岩石供試体の比抵抗～飽和度関係の一例である。同図より、岩石供試体の比抵抗と飽和度の関係は、飽和度が減少するに従って比抵抗が増加し、この関係は次式に示す指数関数として表すことができる。

$$\rho = A \cdot S r^{-B} \dots\dots (2)$$

ただし、 $S r$: 飽和度、 A : 係数、 B : 指数

他の供試体においても、比抵抗と飽和度の関係は相関よく指数関数で表せることがわかった。さらに、中粒花崗岩と細粒花崗岩についても同様の結果が得られた。このことから、式(2)は測定した比抵抗から岩石供試体の飽和度を知るのに有効であると考えられる。

次に図-3は飽和状態にある流紋岩(Rh)、中粒花崗岩(mGr)、細粒花崗岩(fGr)の有効間隙率 ϕ と、式(2)中のA値との関係について示したものである。ただし、流紋岩については、他地点の岩石供試体による試験結果も加えてある。著者らが行ってきた室内試験結果の評価では、有効間隙率が小さくなるほどA値は大きくなり、特に有効間隙率が小さいところでは、A値の増加が著しいことから、次式に示す指数関数によって近似することを試みてきた²⁾。

$$A = m \cdot \phi^{-n} \dots\dots (3)$$

ただし、 m : 係数、 n : 指数

表-1 室内試験に用いた供試体

岩種	本数	有効間隙率
流紋岩	8	0.008~0.030
細粒花崗岩	4	0.009~0.012
中粒花崗岩	9	0.009~0.014

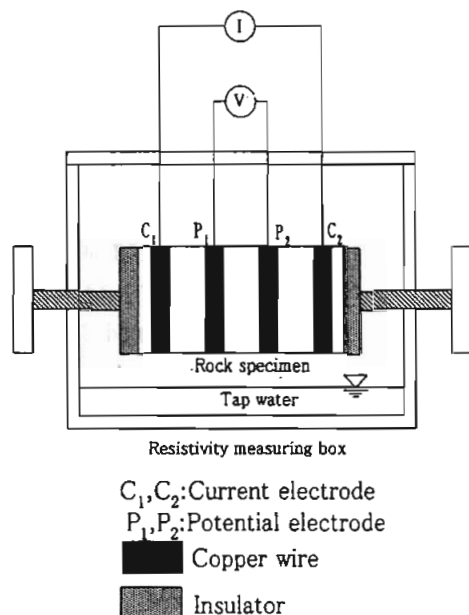


図-1 比抵抗測定装置

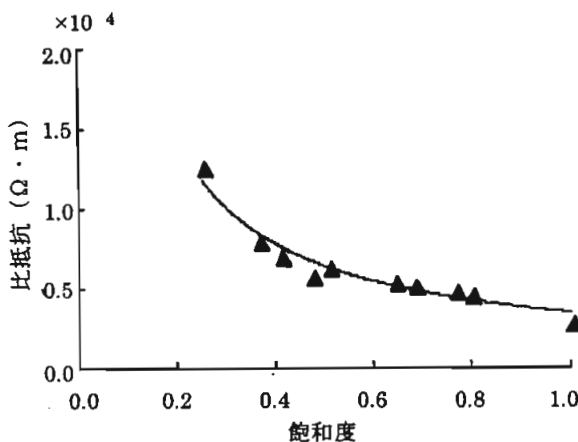


図-2 飽和度と比抵抗の関係(流紋岩の例)

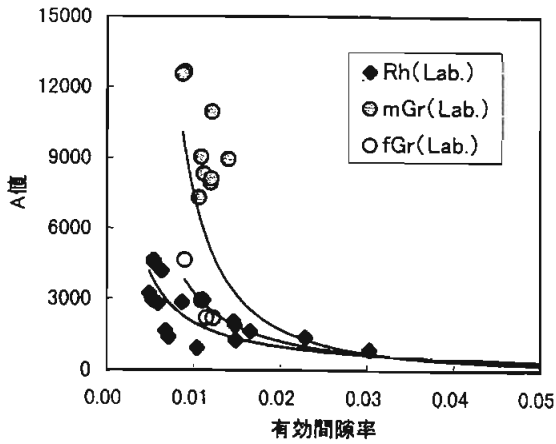


図-3 A値と有効間隙率の関係（飽和状態）

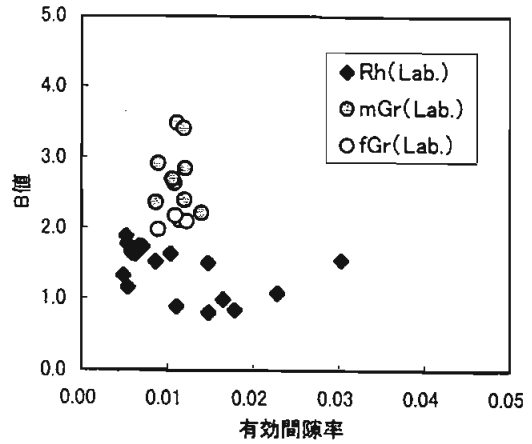


図-4 B値と有効間隙率の関係（飽和状態）

今回も同様に指数関数で近似したところ、流紋岩については相関よく近似できたが、中粒花崗岩および細粒花崗岩については、各岩石供試体間の有効間隙率の差が小さいため、あまり顕著な相関性が見られなかった。

さらに、図-4には3岩種における有効間隙率 ϕ と式(2)におけるB値との関係を示した。図から岩種によって異なるB値を持つ傾向は見受けられるが、有効間隙率の違いによるB値の増減については評価できるまでに至らなかった。有効間隙率とB値の関係については、今後さらに検討を要する。

3. 岩石コア、原位置岩盤の比抵抗～間隙率関係

原位置岩盤への適用性を検討するために、岩石採取地点の導水路トンネルにおいて、切羽から湧水が認められ飽和状態に近いと思われる測点での簡易比抵抗測定結果と岩級区分の関係を調べた。

トンネル掘削現場の比抵抗は、掘削切羽で簡易比抵抗測定器を用いて7測点で測定した。同時に、従来から多用されている電中研式岩級分類に加えて、Q値による評価法を改良した地山評価手法を用いて「岩盤良好度」を判定した。この中で湧水の評価点は、「滴水・にじみ出る程度；2」，「湧水程度；3」，「少量連続して流れ落ちる状態；4」，「特定の割れ目から集中的に湧水がある状態；5」と評価している。表-2にこれらの結果をまとめて示す。

表-2 岩盤評価と簡易比抵抗測定結果

岩種	T D (m)	岩級 区分	岩盤の 良好度	湧水 評価	ρ_{min} ($\Omega \cdot m$)
Rh	上口トンネル				
	44.4	C _L	35	2	288
	46.2	C _L	43	2	731
	48.9	C _L	37	2	748
	232.4	C _L	58	4	429
	253.5	C _L	60	4	356
	325.0	C _L	25	3	225
	347.0	D	18	2	58
372.5	C _L	20	2	20	
mGr	424.4	D	18	2	94
	452.0	C _L	27	2	194
	546.0	C _L	52	3	179
	569.9	C _L	36	3	67
	596.8	C _M	76	2	756
	624.0	C _M	67	3	720
	653.0	C _L	57	2	217
fGr	966.2	C _L	46	2	334
	987.8	C _L	49	2	96
	1030.0	C _M	67	5	1642
	1186.6	C _L	55	3	985
	1265.8	C _M	73	2	708
	1295.8	C _L	45	2	436
	下口トンネル				
	974.0	C _M	71	3	804
	921.0	C _L	41	2	307
	868.0	C _M	72	3	700
785.0	C _L	49	5	71	
mGr	656.1	C _L	61	2	53
	552.0	C _L	63	2	392
	511.7	C _M	64	5	56

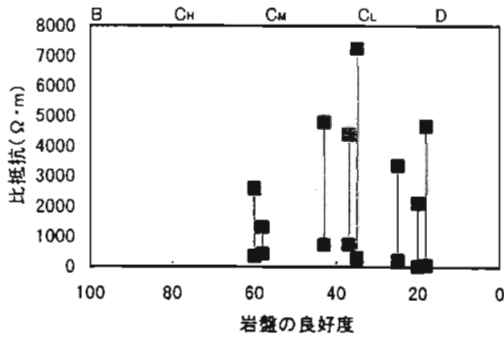


図-5 岩盤良好度と比抵抗の関係(流紋岩)

表-3 各評価手法による地山の区分の対比

岩級区分	岩盤の良好度	間隙率
D	0~20	0.14 以上
C _L	20~40	0.07~0.14
C _M	40~60	0.035~0.07
C _H	60~80	0.035 以下
B以上	80~100	

表-3は、各評価手法による地山区分を対比した花崗岩の例³⁾で、現場で判定した岩級区分と岩種の良好度から間隙率を推定するために引用した。

図-5は、流紋岩領域の湧水を確認した切羽における比抵抗の最大・最小値を岩盤の良好度に対して示したものである。比抵抗値はかなりばらついているが、これは切羽全面にわたって均等に湧水が生じていないため、不飽和状態の測点も計測していることが原因と考えられる。しかし、各切羽の簡易比抵抗測定結果では、比抵抗の最低値を示す測点が湧水の影響を一番大きく受けて飽和に近い状態にあると仮定し、表-3の岩盤の良好度から推定した間隙率に対して室内試験で求めた近似曲線(飽和状態)との整合性を調べた。

図-6は流紋岩における室内試験結果 Rh(Lab.)と簡易比抵抗測定結果 Rh(In-situ.)を併記したものである。図から室内試験結果に多少のばらつきはあるものの、簡易比抵抗測定結果ともに同じ指数関数で近似できることがわかる。なお、簡易比抵抗測定結果の比抵抗が若干大きめの測点は、湧水評価においては「2」と判定されているものの、切羽での湧水量がほぼ0であることから、飽和状態にまで至っていないものと考えられる。

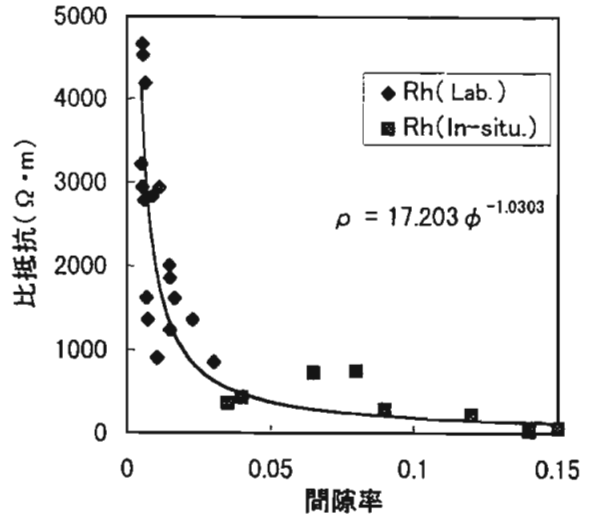


図-6 測定結果との比較(流紋岩)

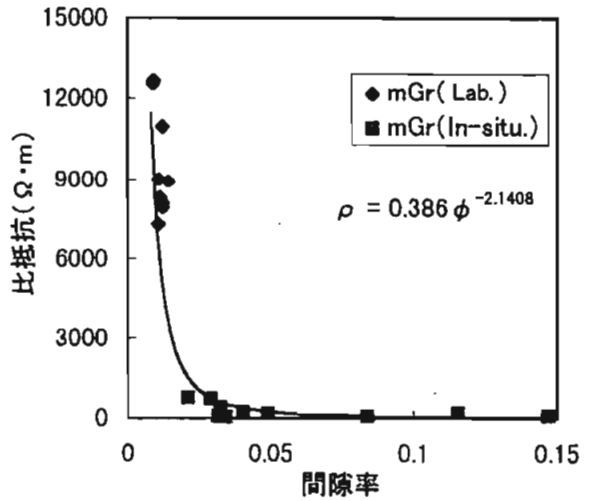


図-7 測定結果との比較(中粒花崗岩)

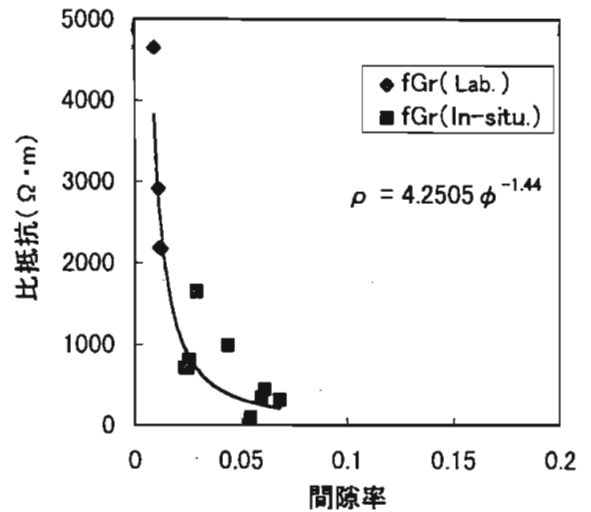


図-8 測定結果との比較(細粒花崗岩)

また、図-7は、中粒花崗岩での測定結果である。図から室内試験結果と簡易比抵抗測定結果は、かなり相関性の高い指数関数で近似できることがわかる。

さらに図-8に示す細粒花崗岩においても、簡易比抵抗測定結果には、岩盤が飽和に至っていないと思われる測点も見受けられるが、ほぼ一つの指数関数上に分布することがわかる。

ここまで、3岩種を分けて検討してきたが、鉱物組成の類似した火成岩として一括表示すると図-9のようになる。図から、岩種が異なるにもかかわらず比抵抗と間隙率の相関性がよく、一つの指数関数で示せることがわかる。今後は、他地点の花崗岩や流紋岩についてもデータの蓄積を行い、また斑レイ岩や安山岩などの他の火成岩や堆積岩についても同様の検討を行う予定である。

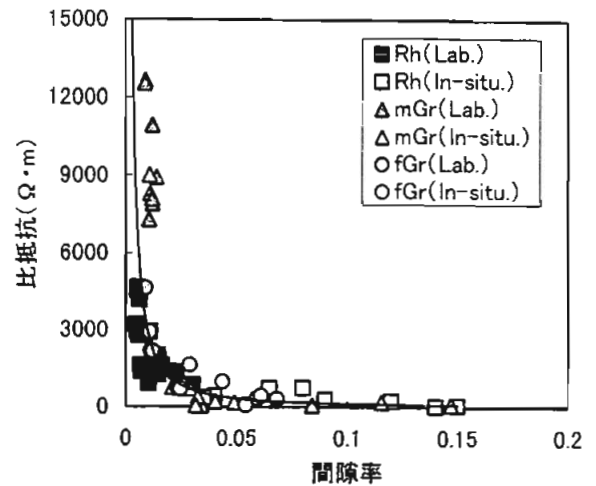


図-9 測定結果との比較 (3岩種)

4. まとめ

本検討では、同一トンネル内で採取した3岩種の岩石コアの室内試験結果とトンネル切羽で実施した簡易比抵抗測定結果を、各岩種ごとに一つの比抵抗～間隙率関係で示すことができた。

さらに、流紋岩、中粒花崗岩、細粒花崗岩の3岩種を、類似鉱物組成の火成岩として一つの関係式で評価できる可能性も示したが、今後さらに多くの異なる岩種について、検討を行っていく予定である。

謝辞

本検討において、簡易比抵抗測定結果を提供いただきました関西電力株式会社荒谷水力発電所建設所および関係諸氏に対して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西方卯佐男・打田靖夫・大友讓：複数の物理探査結果を用いた地質構造の定量評価法の試み，電力土木，No. 275，pp. 75～80，1998.
- 2) 楠見晴重・西田一彦・畠中与一・西方卯佐男・中村真：種々な岩石の比抵抗値に及ぼす飽和度の影響，土木学会第53回年次学術講演概要集，Ⅲ-A361，pp. 718～719，1998.
- 3) 土質工学会編：土質工学ライブラリー16，花崗岩による事例.