

大阪大学大学院
大阪大学工学部
農林水産省森林総合研究所
大阪大学大学院

学生会員○朴 美京
正会員 松井 保
正会員 朴 三奎
学生会員 藤原 寛

1. はじめに

近年、新しい地盤調査技術として地下情報可視化に適した比抵抗高密度探査が注目を集めており、トンネルや地すべりなどの土木調査分野にその適用範囲が急速に拡大している¹⁾。筆者らは、比抵抗に基づいて地盤性状をより正確に把握するため、地盤や岩盤物性が比抵抗に及ぼす影響やそのメカニズムについて研究を進めている²⁾。

本研究は、筆者らの一連の基礎的研究として、フィールドにおける均質な砂質土のブロックと岩石供試体を用いて比抵抗測定を行い、これらの結果より比抵抗の異方性について検討したものである。

2. 比抵抗の測定方法

図-1はフィールドにおける砂質土ブロックの立体図および比抵抗測線を示す。この図によると、均質な砂質土ブロックに二つの薄板状粘土層が存在している。比抵抗測線は、薄板状粘土層の走向方向および垂直方向にそれぞれ4cmの間隔で3測線を設けた。電極配置は、ウェンナー配置とダイポール・ダイポール配置を用い、電極間隔は3cmとした。ウェンナー配置とダイポール・ダイポール配置によって測定した電位差を用いて、式(1)と式(2)よりそれぞれの見掛け比抵抗を算出した。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$\rho_a = n(n+1)(n+2)\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

ここで、 ρ_a は見掛け比抵抗($\Omega \cdot m$)、 a は電極間隔(m)、 I は電流(A)、 ΔV は電位差(V)、 n は電流電極と電位電極の間の係数($n=1$)である。

一方、岩石供試体はボーリングから採取された堆積岩コアを用いてほぼ正六面体に整形した。整形する際に層理面をもつ供試体は、できるだけ層理面が整形面と水平になるようにカット・研磨した。

表-1に比抵抗測定に用いた岩石供試体の岩種、含水比、層理面の有無および寸法を示す。また、図-2は岩石供試体の層理面と比抵抗測定方向を示す。この図において、XとY方向は層理面と水平になり、Z方向は層理面と垂直になっている。

岩石供試体の比抵抗測定方法は、供試体全体を使って比抵抗を測定するGS社式サンプルホルダを用いている³⁾。電流電極、電位電極とも80メッシュの銅網を用い、電極や供試体の間に挟む濾紙に含ませる溶液には0.1Nの溶液を用いた。また、各供試体の間隙に80 $\Omega \cdot m$ の比抵抗を持つ水道水によって強制飽和させて比抵抗測定を行った。測定時間は3分間行い、その平均値を求めて供試体の比抵抗値とした。

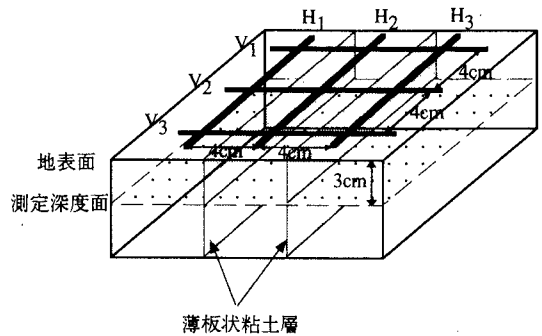


図-1 砂質土ブロックの立体図および比抵抗測線

表-1 比抵抗測定に用いた岩石供試体

供試体のNO.	岩石種類	含水比(%)	水平層理面	X方向(mm)	Y方向(mm)	Z方向(mm)
A	粗立質砂岩	1.91	無	34.29	33.27	31.69
B	粗立質砂岩	1.93	無	35.74	33.60	32.40
C	粗立質砂岩	9.07	有	35.12	34.90	34.23
D	粗立質砂岩	11.28	有	33.23	34.8	30.7
E	粗立質砂岩	0.66	有	31.45	32.21	19.56
F	頁岩質砂岩	2.12	有	32.11	31.80	15.42
G	細立質砂岩	0.64	有	31.08	32.77	17.21
H	細立質砂岩	0.48	有	32.82	32.86	18.17
I	細立質砂岩	0.59	有	30.18	29.33	18.16
J	細立質砂岩	0.65	有	33.66	31.66	16.40

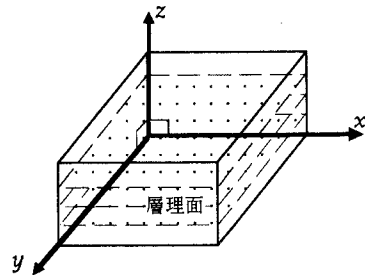


図-2 供試体の層理面と比抵抗測定方向

岩石供試体における比抵抗を求める際には、式(3)より比抵抗を算出した。

$$R_o = \frac{S}{\ell} \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

ここに、 R_o は岩石供試体の比抵抗($\Omega \cdot m$)、 S は円柱の断面積(m^2)、 ℓ は測定区間の長さ(m)、 I は軸方向に平行な電流(A)、 ΔV は軸方向の電位差(V)である。

3. 測定結果及び考察

表-2は、フィールドにおける砂質土ブロックの比抵抗測定結果を示す。これによると、ウェンナー配置の場合は、薄板状粘土層の走向方向より垂直方向の見掛け比抵抗の平均値が大きく、ダイポール・ダイポール配置の場合は、走向方向より垂直方向の見掛け比抵抗の平均値が小さい。両電極配置の走向方向に対して垂直方向の見掛け比抵抗値が相対的に現れているのは、電極配置の特徴である⁴⁾。すなわち、低比抵抗を示している薄板状の粘土層が分布する場合、ウェンナー配置においては高比抵抗が、ダイポール・ダイポール配置においては低比抵抗が現れる。これを考慮すると、両電極配置とも薄板状粘土層の走向方向と垂直方向の見掛け比抵抗値の平均値が異なり、砂質土ブロックの比抵抗異方向性が確認された。

図-3は岩石供試体のX、YおよびZ方向における比抵抗測定結果と含水比を示している。この図によると、含水比によって供試体の比抵抗値は大きく左右されている。また、層理面が存在しない供試体AとBは、いずれの方向から測定した比抵抗値も変わらないが、層理面が存在する供試体は、XとY方向から測定した比抵抗値に比べてZ方向から測定した比抵抗値が相対的に高い。これは、層理面に粘土質が充填されているので、それと平行な方向が垂直方向より電流が流れやすいため比抵抗が低くなると考えられる。

Wyllieら⁵⁾によると層理面に対して水平方向と垂直方向による比抵抗の異方向性の関係を異方向性係数 λ と呼び、式(4)より算出できる。

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} \quad (4)$$

ここで、 ρ_t は水平方向の比抵抗(XとY方向から測定した比抵抗の平均値)であり、 ρ_n は垂直方向の比抵抗(Z方向から測定した比抵抗)である。

図-4は水平方向の比抵抗(ρ_t)、垂直方向の比抵抗(ρ_n)およびこれらを用いて式(4)より求めた異方向性係数を示している。この図によると、層理面が存在している供試体は ρ_t より ρ_n が大きく、比抵抗の異方向性係数が1.2~1.8の範囲で分布している。これに対して、層理面がない供試体は ρ_t と ρ_n がほぼ同じの値で比抵抗の異方向性係数も1に近い。これらの結果より、層理面が存在する岩石の比抵抗の異方向性が確認された。

4. まとめ

地盤比抵抗の異方向性を調べるために、フィールドにおける均質な砂質土のブロックと堆積岩の供試体を用いて比抵抗測定を行い、これらの測定結果より比抵抗の異方向性について検討した。その結果、電流が流れやすい薄板状の粘土層や層理面が存在する場合、これと同じ方向から測定した比抵抗値が垂直方向から測定した比抵抗値より低く、地盤や岩石の比抵抗の異方向性が確認された。

これらの結果を踏まえれば、堆積層や堆積岩の互層などが分布している地域に比抵抗高密度探査を行う場合、地盤比抵抗の異方向性を十分考慮して探査測線を設定する必要があると考えられる。

表-2 砂質土ブロックの比抵抗測定結果 ($\Omega \cdot m$)

電極配置	ウェンナー			ダイポール・ダイポール	
	測線 No.	測定値	平均値	測定値	平均値
走行方向	H ₁	16.21	15.65	14.24	16.19
	H ₂	14.91		15.06	
	H ₃	15.84		19.27	
垂直方向	V ₁	19.83	18.30	11.47	12.10
	V ₂	18.41		12.23	
	V ₃	16.67		12.61	

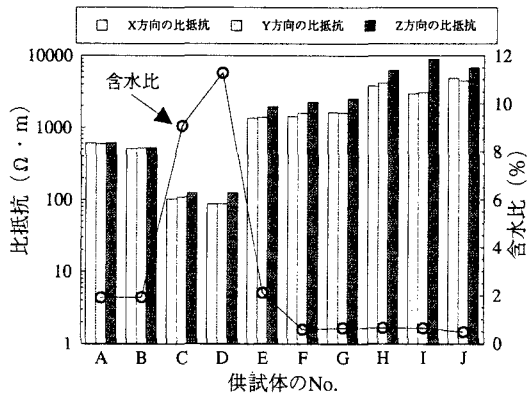


図-3 岩石供試体の含水比と各方向の比抵抗

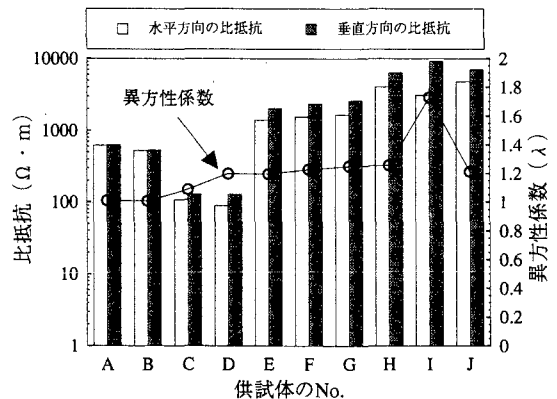


図-4 岩石供試体の比抵抗と異方向性係数との関係

参考文献:

- 1) 松井 保(1995):比抵抗高密度探査の地盤工学的ニーズと応用、物理探査、48、530~538。
- 2) 松井保、朴三奎(1996):比抵抗と弾性波速度による山岳トンネル地山の定量的評価とその適用性、土木学会論文集、547、36、117-125。
- 3) 千葉昭彦、熊田政弘(1994):花崗岩及び凝灰岩供試体の比抵抗測定、物理探査、47、3、162-172。
- 4) 松井保、植野修昌、朴三奎、朴美京(1997):地下構造物を有する盛土における比抵抗高密度探査の適用性、物理探査学会第97回学術講演会論文集、287-291。
- 5) M.R.Willie and A.R.Gregory (1953): Formation factor of unconsolidated porous media: influence of particle shape and effect of cementation. Trans. IME, Vol. 189, p. 103