

第 部門 敦煌礫岩試料を用いた比抵抗に関する実験

大阪大学大学院 学生員 ○小山 恵子

大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯

大阪大学大学院 正会員 小泉 圭吾

大阪大学大学院 学生員 石田 祐也

1. はじめに 世界遺産である中国の敦煌莫高窟では、塩害による壁画の剥落が問題となっている。塩害は、水分の蒸発によって引き起こされるため、地盤内での詳細な水分挙動を把握する必要がある。そこで、大阪大学は2000年から現地で比抵抗調査を行っている。さらに、比抵抗分布と水分分布の関係を明確にするために、室内実験から岩石試料の比抵抗と水分飽和度の関係を求めている。しかし、敦煌における地下水の比抵抗は確認されていない。また、自作のウェンナ法の測定装置を用いて試料の比抵抗を測定していたが、試料の表面に電極が密着しにくい、測定位置によって比抵抗が異なり測定値が安定しないことが懸念されていた。そこで、地下水の比抵抗を推定すること、また自作の測定装置と既往の研究¹⁾で用いられる測定方法による比抵抗測定結果を比較することを研究の目的とする。本研究では、塩分濃度の異なる6種類の溶液に岩石試料を浸し、既往の研究の測定方法によって試料の比抵抗を測定する。得られた試料の比抵抗と水分飽和度の関係から、敦煌の第四紀礫岩地盤の間隙水と比抵抗特性について考察を行う。さらに、自作の測定装置を用いたウェンナ法について評価を行う。

2. 既往の研究 試料は、2002年に莫高窟北側の崖下で採取した第四紀礫岩の岩塊の一部であり、以下岩A1, A2とする。岩石試料を、敦煌の水道水の比抵抗($8\Omega\text{m}$)と等しいNaCl溶液に浸潤させ、48時間以上真空ポンプで減圧することによって強制飽和させる。飽和後の溶液すなわち試料を満たす間隙水の比抵抗は、約 $0.93\Omega\text{m}$ である。そしてウェンナ法により比抵抗測定を行う。使用電極装置を図.1に示す。その後、試料を乾燥させながら、比抵抗測定を繰り返し行う。試料が乾燥して、比抵抗を測定することが不可能になった時点で終了する。図.2に実験結果を示す。

図.2から、飽和度100~40%程度までは、飽和度の減少とともに比抵抗がゆるやかな増加傾向にあることがわかる。一方、飽和度が40%未満になると、比抵抗は急激に増加する。

3. 室内実験の概要 既往の研究と同質の第四紀礫岩の岩塊から、6個の岩石試料を採取する。この6個の礫岩試料(以下岩B1~

B6)をそれぞれ異なる濃度のNaCl溶液に浸し、強制飽和させる。ここで飽和後の溶液濃度は、岩B1からB6まで順に 0.2mS/cm ($50\Omega\text{m}$)、 2.0mS/cm ($5.0\Omega\text{m}$)、 4.2mS/cm ($2.38\Omega\text{m}$)、 8.6mS/cm ($1.16\Omega\text{m}$)、 15.5mS/cm ($0.65\Omega\text{m}$)、 20mS/cm ($0.5\Omega\text{m}$)とする。試料の比抵抗測定は、図.3に示すように試料全体を使って比抵抗を測定する。電流・電位電極として100メッシュの銅網を用い、電極と供試体の間には飽和溶液を含ませたる紙を挟む。試料の比抵抗、飽和度の測定方法は既往の研究と同様である。

4. 室内実験の結果・考察 図.4に岩B1, B6の実験結果と累乗の回帰曲線も示す。相関係数は岩B1, B6ともに約0.80と高い相関を示した。

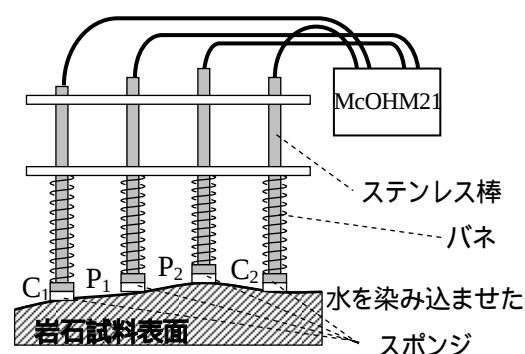


図.1 ウェンナ法配置の測定装置

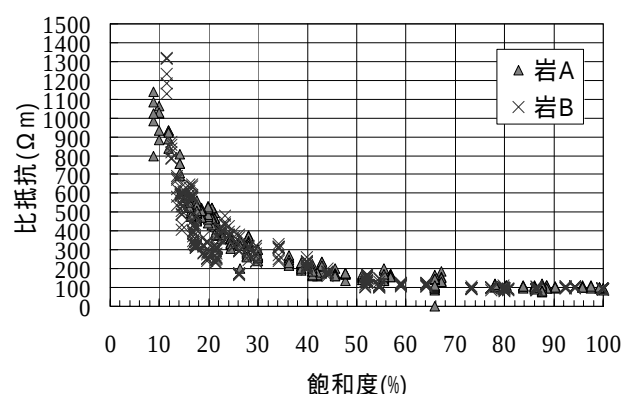


図.2 ウェンナ法を用いた実験結果

図.4 より、全体の傾向として、飽和度が 100 ~ 60%程度までは試料比抵抗はゆるやかに増加することがわかる。また、飽和度 40%未満になると、岩石試料の比抵抗は急激な増加を示す。これは、岩 A1, A2 に対する実験と同様の結果である。

また、岩 A1, A2 と岩 B6 の実験結果を比較すると、飽和度が 100 ~ 40%まで比抵抗の増加が非常にゆるやかであり、40%未満になると急増加するといった共通の傾向がみられる。ただし、岩 A1, A2 の方が岩 B6 より高い比抵抗を示している。これは、測定方法の違いによって生じたと考えられる。一般に、ウェナ法によって求められる比抵抗は、試料の表面から電極間隔と等しい深度の比抵抗である。岩石試料を乾燥させる過程では、当然表面付近の水分から蒸発し始める。つまり、岩 A1, A2 の比抵抗は試料表面に近い部分を反映した値であり、算出された水分飽和度よりも飽和度が低い状態にあると考えられる。よって、飽和度と比抵抗の関係にずれが生じる。本研究で用いた測定方法は、岩石試料そのものの比抵抗を測定する場合に妥当であるといえる。

次に飽和比抵抗に着目する。試料の中には飽和比抵抗のみが極端に高いものがあるため、本研究では回帰曲線から飽和時の比抵抗を算出する。岩 B1 ~ B6 の飽和比抵抗は、B1: 221.1 Ωm , B2: 205.2 Ωm , B3: 103.2 Ωm , B4: 87.9 Ωm , B5: 73.4 Ωm , B6: 31.3 Ωm となる。この結果から、間隙水比抵抗が高い試料ほど飽和比抵抗が高いことがわかる。

現地調査の結果から、敦煌における飽和地盤の比抵抗が 50 Ωm 以下であることがわかっている。ここで、飽和比抵抗が飽和地盤の比抵抗に近い値を示すは岩 B6 であり、敦煌の地下水比抵抗は 0.5 Ωm 程度であると考えられる。また、岩 B5, B6 は飽和度が 20%まで低下すると比抵抗が急激な増加を示す一方、岩 B1 ~ B4 は飽和度 40%程度からこの傾向がみられる。したがって、間隙水が 0.5 Ωm 程度の敦煌地盤において、飽和度 100 ~ 20%で比抵抗はそれほど変化せず 200 Ωm 以下であり、飽和度が 20%未満になると、比抵抗が 200 ~ 400 Ωm の範囲で変化すると考えられる。

4. まとめ 本研究で得られた知見を以下に述べる。

1. 間隙水の比抵抗に関わらず、敦煌における第四紀礫岩の比抵抗は、飽和度 60%まではほとんど変化しないが、10 ~ 40%以下になると急激に増加する傾向がある。
2. ウェナ法による岩石試料の比抵抗測定では、試料表面に近い部分を反映するため、飽和度と比抵抗の関係にずれが生じる。
3. 敦煌の地下水は 0.5 Ωm 程度の低比抵抗であると考えられる。
4. 敦煌における第四紀礫岩地盤が 100 Ωm 以下の低比抵抗を示しても、水分飽和度は 20 ~ 100%の広い幅がある。

【参考文献】1) 千葉昭彦, 熊田政弘: 花崗岩及び凝灰岩試料の比抵抗測定—間隙水の比抵抗が岩石比抵抗に及ぼす影響について—: 物理探査, Vol.47, No.3, pp.161-172, 1994

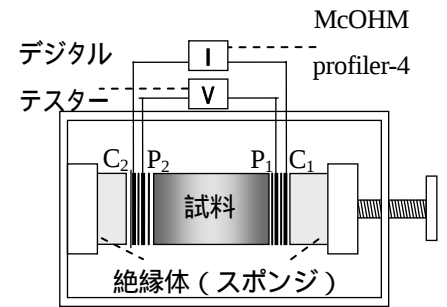
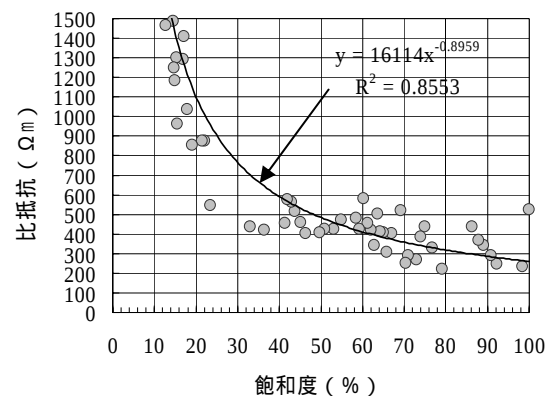
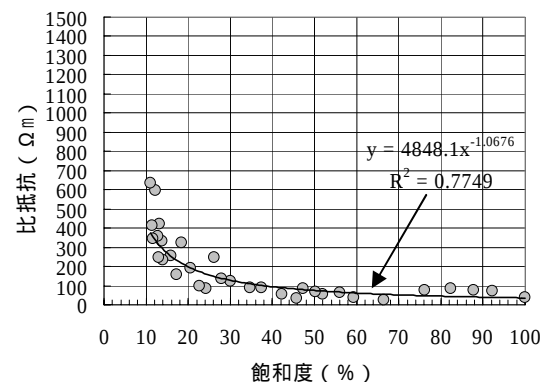


図.3 既往の研究¹⁾の測定装置



岩 B1 (50.0 Ωm 水)



岩 B6 (0.5 Ωm 水)

図.4 実験結果