

比抵抗測定による敦煌莫高窟の水分分布に関する考察

大阪大学工学部 学生員 ○足立 健
 大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
 大阪大学大学院 学生員 西澤 亮総
 ハイテック(株) 舩屋 直
 大阪大学大学院 正会員 川崎 了

1. はじめに

中国の敦煌莫高窟では、砂漠地域に特有の塩害による壁画の劣化が目立っている。砂漠地域の塩害は、雨水などの水分によって溶け出した塩類が壁面で析出するものである。つまり、塩類による劣化は水の移動と密接な関係にあり、洞窟内への水の浸入が壁画の劣化に大きく影響すると考えられる。敦煌の気候は砂漠気候に属し、年間平均降水量はわずか 30mm程度で砂漠地域の中でもとりわけ降水量が少ない。しかし、塩害を起こしている以上、水分の存在が考えられる。そこで本研究では、莫高窟上面および、現在散水が行われている莫高窟前面において比抵抗測定を行い、莫高窟における水分の分布状況の把握を試みた。

2. 莫高窟の地質概要

敦煌莫高窟を構成する礫岩は、すべてが第四紀のもので、地質学的に 5 つの層に分類される。莫高窟上面から、Q₃層、A 層、B 層、C 層、D 層となっており、A～D 層までをまとめて Q₂層と呼んでいる。莫高窟において、これらの層がはっきり見られるのは、写真 1 の九層楼南側の崖面だけである。その他の箇所では、崖面の修復のためのコンクリートでの被覆、および風により積もった砂の影響で、地層の境界を明確に区別することは困難である。Q₃層は、主に風によって運ばれた砂が堆積して層となったもので、風成砂層と呼ばれている。莫高窟のほとんどは、C 層、D 層に彫られている。また、現地での地質調査より、Q₂層は全体的に北側にいくにつれ薄くなっていることがわかり、特に A 層で顕著に見受けられた。Q₃層は、南北方向にほぼ均等に堆積していることから、なんらかの影響によって Q₂層が北側にいくにつれ薄れていき、その上に風によって砂が運ばれて Q₃層ができたものと考えられる。

3. 調査概要

本研究では、莫高窟上面および、散水が行われている莫高窟前面において二極法により比抵抗測定を行った。比抵抗を用いた理由としては、①非破壊で検査ができること、②水分・間隙などの地盤状況の変化を反映できること、③比較的容易に映像化できること、などが挙げられる。本研究では、図 1 に示すとおり、莫高窟上面に 3 測線、莫高窟崖面手前に 1 測線を配置した。LINE1～3 については、莫高窟の比高がおよそ 50mであるので、深度 50mまでのデータが十分取得できるよう、またスキャナーが制御できる最大電極数が 32 電極であることより、電極間隔 5m、測線延長 155mとした。また、LINE4 については、調査対象とする距離が莫高窟上面の約半分で、より細かい比抵抗の分布を知るため、電極間隔 2.5m、測線延長 77.5mとした。

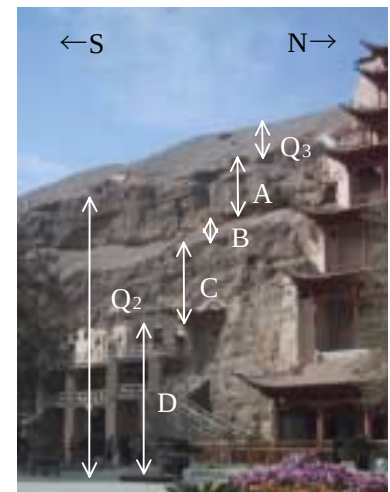


写真 1 九層楼南側の崖面

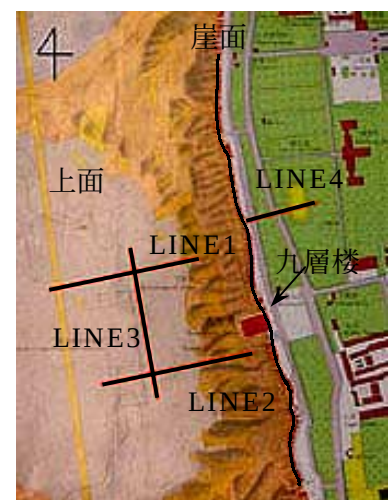


図 1 測線配置概要

Key Words：比抵抗、敦煌莫高窟、水分分布

連絡先：〒 565-0871 大阪府 吹田市 山田丘 2-1 大阪大学 大学院 工学研究科 地球総合工学専攻

4. 原位置での測定結果

現地での比抵抗測定により得られたデータを映像化したものを図1に示す。同図より、平行に配置した測線 LINE1,2 では、ほぼ同様の比抵抗分布となっていることがわかる。LINE3 については、層状な比抵抗分布であることがわかる。このことより、南北方向では、比抵抗の値に若干の高低差があるが、これは Q_2 層が北側にいくにつれ薄くなっているという地質調査の結果とも一致している。東西方向については、崖面上部で低い比抵抗分布となっている。これは、崖面に向かって力が働き地盤が傾斜し、それによって生じた間隙による影響と考えられる。さらに、間隙部分に水分の供給が行われている可能性もある。これは崖面に点在する植生からもうかがえる。また、LINE4 については、地表面付近(図中の西側表層付近および測線中間部分)で比較的低い比抵抗を示しており、これは現在行われている散水の位置と一致している。

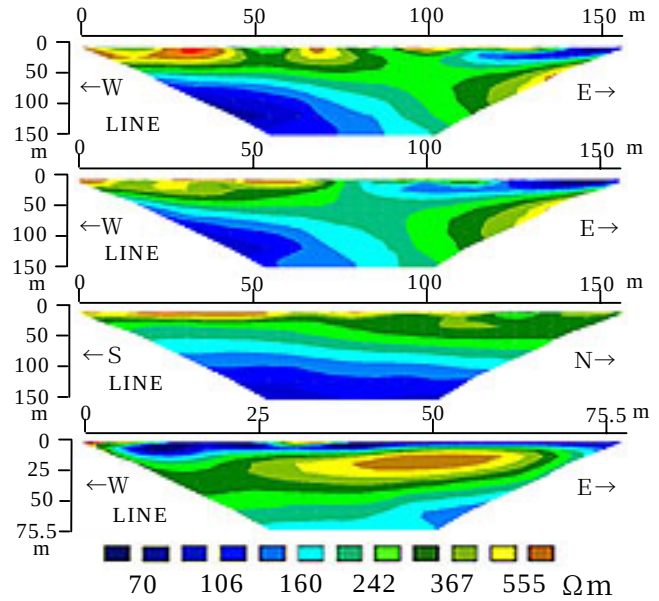


図2 測定結果

5. 室内試験による比抵抗と飽和度の関係

一般の礫岩の比抵抗と飽和度の関係については、今まで多くの研究がなされており、その相関関係は明らかになっている。しかし、今回は砂漠地域という特殊な地盤を対象としたので、敦煌の礫岩においても比抵抗と飽和度の相関関係が成り立つのかどうかを検討する必要があると考え、原位置の礫岩を日本に持ち帰り室内試験を行った。得られた結果と図2を比較することで現地の地盤内の含水状態を概ね把握することができると考えた。室内試験により得られた図3の結果より、比抵抗が $100\Omega m$ 程度で飽和していると考えられる。また、一般に礫岩の比抵抗は $1\Omega m \sim 10^6\Omega m$ の値をとる¹⁾ことが知られており、敦煌礫岩は比較的低い比抵抗を示すことがわかった。

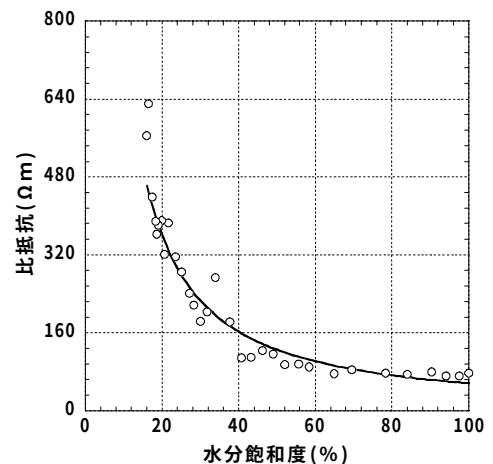


図3 比抵抗と飽和度の関係

6. 考察とまとめ

室内試験より、比抵抗が $100\Omega m$ 程度の箇所は飽和状態に近いと考えられる。室内試験と現地での測定結果を比較することにより、敦煌莫高窟の水分の分布状態が概ね把握できた。散水箇所にあたる LINE4 の測定結果から、散水された水が地中深さ約 $10 \sim 20m$ 程度まで浸透していることがわかる。この水が地盤内を浸透して、壁面へ達し塩害を起こしている可能性が考えられる。また、莫高窟上面から地中深さ約 $100m$ 程度に地下水位があると推測される。

なお、本研究を遂行するに際して、敦煌研究院の王旭東副所長、汪万福副所長にご協力頂いた。末節ながら、ここに記して感謝の意を表するしだいである。

参考文献

- 1) 島裕雅・梶間和彦・神谷英樹：建築・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗映像法, 古今書院, p.5, 1995.