

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

1. はじめに 世界遺産である中国の敦煌莫高窟では、地盤中の塩類が水分の蒸発に伴って壁面に晶出し、その圧力で壁画が剥落することが問題となっている。雨水と莫高窟背後の地下水が水分供給の要因となっている可能性があるため、莫高窟上の地面に到達した雨水の挙動と莫高窟背後の地盤の状況について、比抵抗測定の結果をもとに考察した。

2. 調査概要 今回の莫高窟周辺における調査期間は2001年9月11日から22日であり、主な調査項目は、①地盤に撒水をおこなった時の地下の比抵抗変化の計測、②降雨後の地盤内の比抵抗変化の計測、③莫高窟背後の地盤の比抵抗測定、の三つである。

3. 測定の概要と結果に対する考察

①主に窟を構成している礫岩層において撒水を行い、ウェンナー配置により地下1mの比抵抗値の変化を計測した結果を図1に示す。測定開始時には既に撒水しており、水の浸潤により比抵抗が低下している。測定終了時まで撒水続け、途中から地表には水溜まりが形成されていたことなども考慮すると、かなり高い水分飽和度を有する現地の地盤は80Ωm程度の比抵抗値であると考えられる。

②2001年9月15日の8mm程度の降雨中、莫高窟の上部崖斜面において1m間隔で16本の電極棒を打ち込み、南北15mにわたる測線下の比抵抗測定を二極法によりおこなった。地面に到達したこの雨水の挙動を時間を追って調べるため、2日後、6日後も同じ地点で同様の測定をおこなった。降雨直後の測定位置における地盤を掘ると、地表面から約15cmまでが雨水により湿っていて、それ以深では乾燥していた。2日後においては湿った部分がさらに深部にまで広がっていたことから、2日間で雨水は拡散しながらも地下に浸透したことがいえる。さらに比抵抗測定の結果(図2)、降雨直後から6日後までにかけて表層部の比抵抗値が低下していることから、徐々に雨水の浸透が進んだと考えられる。

③莫高窟は高さ40m以上の崖面にあり、その背後には風成砂層による砂漠平野が、西方約1kmに位置する鳴沙山麓まで続いている。この莫高窟背後の地盤状況を把握するため、崖面の沢部分から鳴沙山麓にかけて、

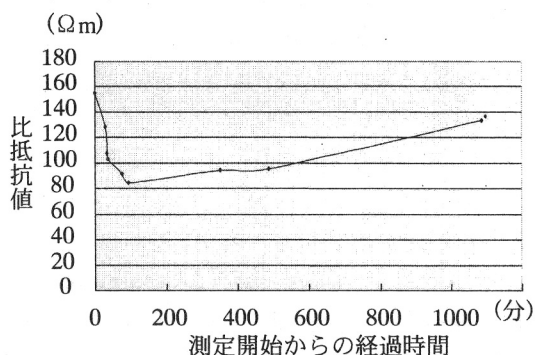


図1 撒水下1mの比抵抗の変化

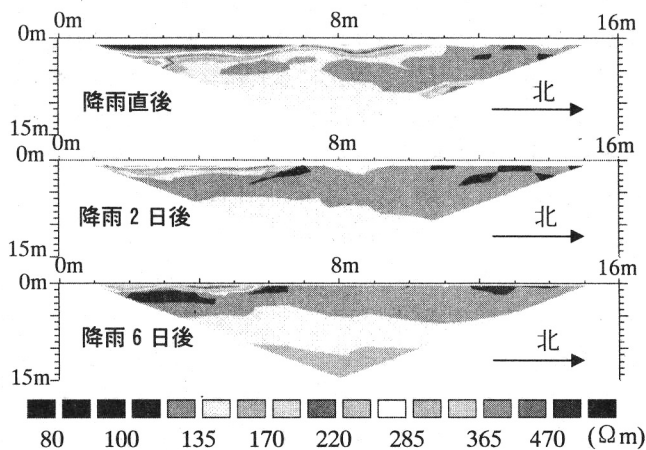


図2 降雨後の斜面における比抵抗の変化

二極法配置による地下の比抵抗測定をおこなった。崖面から南西方向に、一直線上に間隔をあけて 155m の測線を 3 本とった。これを順に lineA, lineB, lineC とする。最も東に位置する lineA は、窟の真上にあたる崖斜面部から崖上平坦部にかけての地下を可視化するもので、莫高窟の背後や上部の様子がわかる。特に lineA の斜面は崖面方向に下る沢になっている。lineA の南西方向の延長上、砂漠平野のほぼ中央にあたる位置の lineB は、地表上約 1.5m の防砂フェンスと測線中心で直交している。この防砂フェンスには約 1m の高さまで砂が堆積している。lineB から南西方向のさらに延長上、鳴沙山麓近くの lineC は、鳴沙山麓に沿って南北方向に設置されている、点滴灌漑による防砂林と直交している。この防砂林は約 10m の間隔で 2 列が並行していて、砂が溜まってこぶ状になっている。以上の測定結果を逆解析して、地盤内の真の比抵抗分布を映像化したものを図 3 に示す。ここで、崖面から南西方向の距離を横軸に記した。

まず、lineA で、崖上の沢部分の地下、莫高窟の真上や背後においては低比抵抗部が分布し、地表面も湿っていたことから、その辺りに水分が多く含まれていることが考えられる。次に、lineB で比抵抗分布が中央で盛り上がった形をしているが、フェンスを挟んで分布が対象であることや、逆解析前の測定データが防砂フェンス付近を除いて水平な分布であることから、実際の地下は水平な層状構造であると考えられる。また、lineC では全体に低比抵抗の分布が広がっている。特に防砂林直下の浅部における低比抵抗部は、灌漑に由来する水分が多く含まれていることを表している可能性がある。

4. まとめ 蒸発量の多い敦煌においても、8mm 程度の雨水は地下に浸透することがいえる。崖沢部などにおいては地形上、水分が集まりやすいと考えられ、さらに、窟の天井部までの距離が小さくなっている。このことから、数年に一度の大雨でなくとも、上層の

窟の壁面における塩類の晶出に影響が及ぶ恐れがある。また、莫高窟背後の砂漠平野地下は、南西方向にほぼ均質で水平な層状構造が続いているものと考えられる。これより、地下水位はまだ確認されていないが、地層に沿った莫高窟背後からの水分供給の可能性は考えられる。

今後、現地で測定されたデータが実際どのような状態であるかを表すため、莫高窟周辺の地盤の様々な状態における比抵抗値を測定する必要がある。具体的には、現地の岩石試料を用いた間隙率・水分飽和度・塩分濃度の比抵抗値への影響評価であり、同時に、現地の地盤内における水分・塩分の挙動について調査する予定である。

なお、本研究を遂行するに際して、敦煌研究院の方々には大変お世話になった。末節ながら、ここに記して感謝の意を表する次第である。

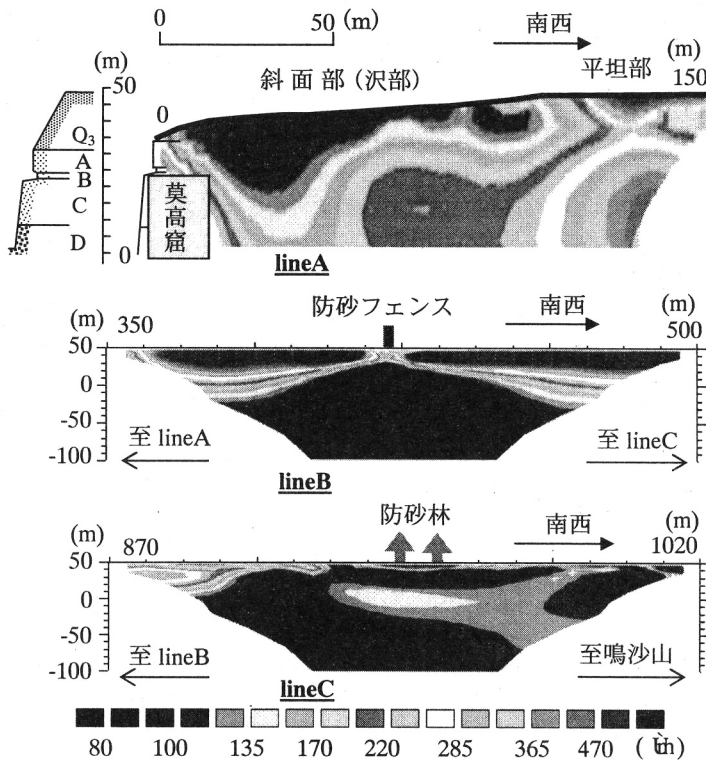


図 3 窟背後地下の比抵抗分布