

敦煌莫高窟岩盤内の水分に関する研究

大阪大学大学院 学生員 ○山崎 誠之
大阪大学大学院 学生員 山根 仁
大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
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 世界文化遺産に指定されている中国の敦煌莫高窟は、4 世紀から 13 世紀頃までに制作された壁画や天井画、塑像を有し、それらの仏教芸術的な価値の高さから貴重な文化遺産として世界に広く知られている。敦煌市は、中国甘肅省の北西部、タクラマカン砂漠の東の端に位置している。そして、敦煌市街地の東南約 25km に礫岩からなる崖があり、その西側崖面に高さ約 40m、南北約 2km にわたって建造されたものが莫高窟である。莫高窟は大小 492 個の洞窟からなり、それらの窟は、崖面における高さで 3 層に分類されている。現在、莫高窟は長い年月を経て自然的及び人為的な劣化を受けており、その中でも特に塩の再結晶（塩類風化）に伴う壁画の剥離が深刻な問題となっている。そこで本研究は、莫高窟の保存を目的とし大阪大学大学院と敦煌研究院とが共同研究を実施した内容の速報である。塩類風化の主な原因である水分の分布状況を把握するため、地質調査、比抵抗探査、温湿度計測、原位置透水試験の 4 つの調査を行った。本報告では、特に窟内において岩盤内の水分と密接な関係にある岩盤内の相対湿度の計測結果について述べる。

2. 測定場所と測定方法

i) 測定場所 測定は、2000 年 7 月に莫高窟で南よりの最下層に位置する 108 窟で、同年 10 月に北よりの最下層に位置する 72 窟で行った。108 窟の大きさは幅 10.4m、奥行き 11.3m、高さ 8.2m であり、莫高窟の中では比較的大きな規模の洞窟である。一方、72 窟は、広さおよそ 6.5m 四方、高さ 6m、と中規模な洞窟である。それぞれの洞窟での測定器の配置図を図 1 に示す。108 窟においては図 1 (a) に示すとおり、床面の四隅（それぞれ隅より 20～30cm の範囲）において鉛直方向に計測を行った。一方、72 窟においては図 1 (b) に示すとおり、108 窟と同様に、床面の四隅において鉛直方向に計測を行った。

ii) 測定方法 床面または壁面において、それぞれ鉛直方向、水平方向に 0,10,20,30cm の 4 深度における相対湿度の計測を行った。使用したセンサーは、岩盤内においては THP-23,THP-24（神栄社製）、また、岩盤表面においては H8-003-02（米国オンセットコンピュータ社製）の 2 種類用いた。それぞれのセンサーの仕様を表 1 に記す。

表1 センサーの仕様

	名称	測定範囲	精度
埋設用	THP-23、THP-24（仕様は共通）	0～99%	0.1%
表面用	H08-003-02	25%～95%	0.1%

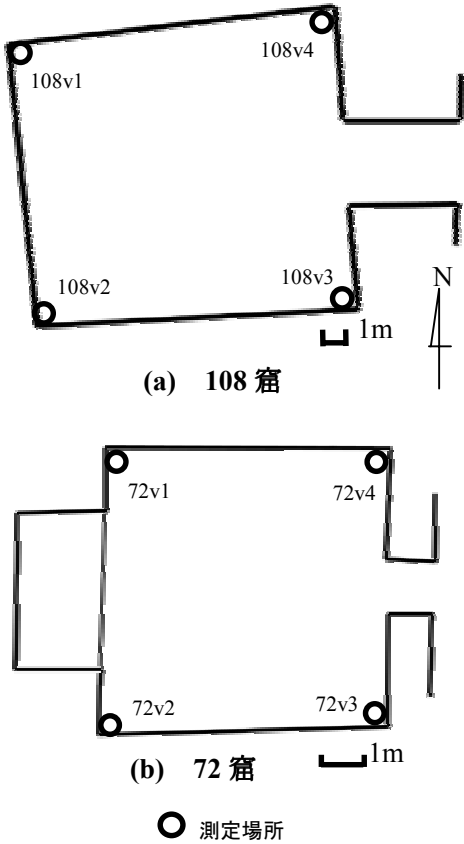


図1 測定器配置図（平面図）

Key Words：相対湿度、塩類風化、敦煌莫高窟

連絡先：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、Tel：06-6879-7558

3. 結果と考察 108 窟での鉛直方向及び水平方向、72 窟での鉛直方向、それぞれの相対湿度の深度分布を図 2、図 3 に示す。

図 2、図 3 から、108 窟、72 窟のどちらにおいても場所に関わりなく、深くなるにつれて相対湿度が高くなっていることがわかる。図 4 は 108 窟での鉛直方向の相対湿度パラメータをコンターにし、108 窟の概形と共に表したものである。この図からわかるように、岩盤内において東西方向で比較すると東の方で相対湿度が高くなっている ($108v4 > 108v1, 108v3 > 108v2$)。72 窟でも同様に $72v4 > 72v1, 72v3 > 72v2$ となっており、東側で相対湿度が高くなっている。これは、現在莫高窟において景観を良くするために、莫高窟の前面（東側）において緑地を設けているが、その緑地への撒水が 108 窟、72 窟など最下層に位置する窟の岩盤内の相対湿度に強い影響を及ぼしていると考えられる。

次に、莫高窟の屋外（莫高窟のある崖上）で計測した相対湿度の値と窟内での岩盤内の四つの深度での相対湿度の値とを比較する。その際、72 窟における 2000 年 7 月 17 日のデータ及び 108 窟における同年 10 月 16 日のデータを用いた。108 窟と 72 窟という計測対象となる洞窟の大きさの違い、及び二つの窟がおおよそ 200m 離れているという位置の違いがあるが、そのことによる窟内における岩盤内の相対湿度の違いは見られなかったため、それらを考慮に入れなかった。また、両日とも降水のない日が一週間以上続いた後であり、降水によって相対湿度が突出した値を示しているということではなく、それぞれ雨期、乾期を代表する日であると考えた。比較を行った結果は表 2 の通りである。尚、岩盤内での相対湿度は前述の 4 か所での計測値を平均化した値を用いた。

この表から次のことがわかった。屋外での相対湿度は、雨期で 28.2%、乾期で 11.6%であり、岩盤表面においても前者で 57.4%、後者で 31.5%と差異が見られるにも関わらず、岩盤内においては共に深度 10cm で 75%前後、20cm で 80%前後、30cm では 95%前後で、ほぼ安定している。

このことから、岩盤表面での相対湿度は外気の影響を受けるが、岩盤内の、特に深度 30cm の地点よりも深いところでは影響がないと推測される。

4. まとめ 本研究でわかったことは、以下の通りである。

- (1) 鉛直方向において、東西方向で相対湿度を比較すると、東側において高くなっている。このことから、莫高窟前面（東側）での灌漑用水が岩盤内の相対湿度に強い影響を及ぼしている可能性があると考えられる。
- (2) 雨期または乾期において、窟外と同様に窟内の岩盤表面の相対湿度に違いが現れるが、岩盤内、特に深度 30cm の地点では違いが見られない。

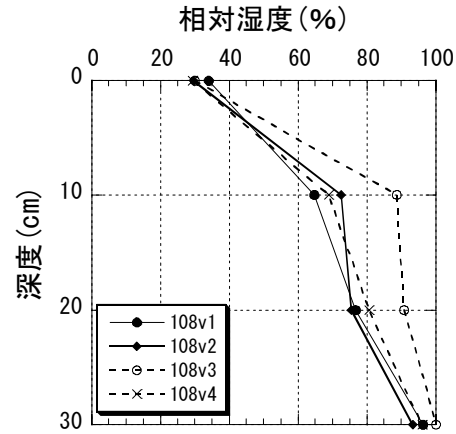


図2 108 窟の鉛直方向での相対湿度の深度分布

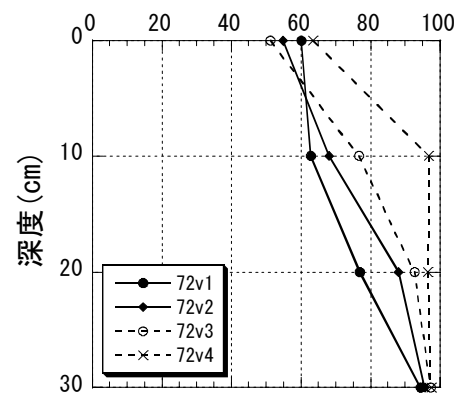


図3 72 窟の鉛直方向での相対湿度の深度分布

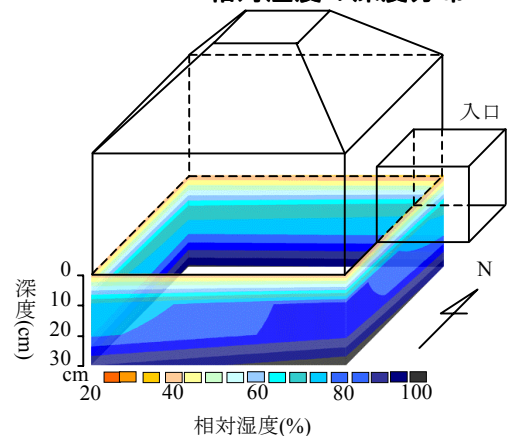


図4 108 窟での床面下での相対湿度コンター

表2 窟内外の相対湿度の比較

			7月	10月
窟外			28.2	11.6
窟内	岩盤内の深度	0cm	57.4	31.5
		10cm	76.1	71.4
		20cm	88.6	76.6
		30cm	96.2	94.4

単位：%