

大阪大学工学部 学生員 ○山崎 誠之
大阪大学工学部 学生員 山根 仁
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
ハイテック(株) 舛屋 直

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。敦煌は、中国甘粛省の北西部、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に礫岩で構成される崖があり、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、それらの洞窟は、掘られている位置の高さ方向に関して三層に分けることができる。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である。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ものである。今回、塩類風化の主な原因である、水分の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、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。

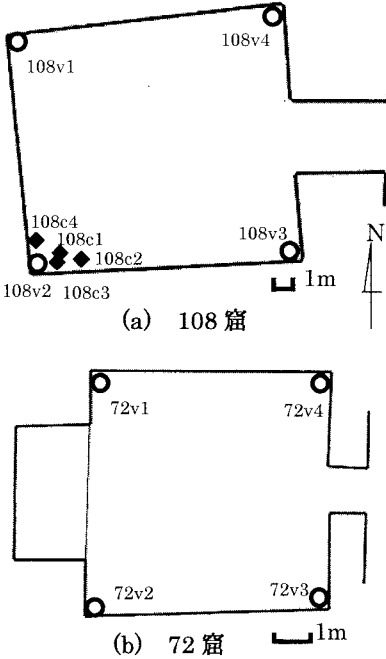
2. 測定場所と測定方法

i)測定場所 測定は、莫高窟で南よりの最下層に位置する108窟と、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4箇所、さらに壁画の裏面の礫岩が激しく剥離している窟の南西隅の底部で壁面において水平方向に4箇所の合計8箇所で計測を行った。72窟においては図1(b)に示すとおり、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)	～99%	0.1%
表面用	H08-003-02	25%～95%	0.1%



○ 床面において鉛直方向
◆ 壁面で高さ50cmの地点において水平方向
◆ 壁面で高さ140cmの地点において水平方向

図1 測定器配置図（平面図）

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 4 に示す。

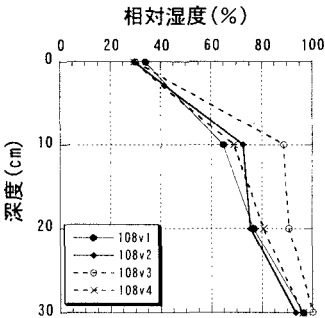


図2 108 窟鉛直方向での相対湿度の深度分布

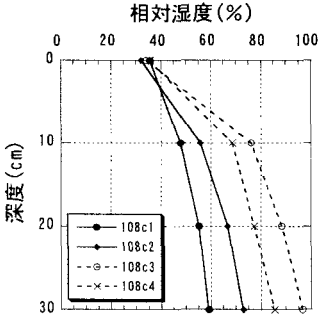


図3 108 窟水平方向での相対湿度の深度分布

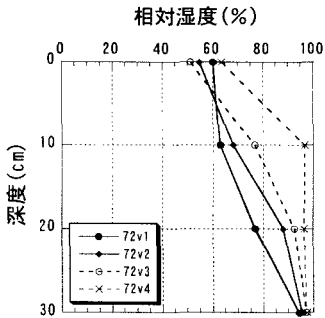


図4 72 窟鉛直方向での相対湿度の深度分布

図 2～図 4 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 5 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たものを 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（108v1>108v4,108v2>108v3）。72 窟でも同様に 72v1>72v4,72v2>72v3 となっており、東側で相対湿度が高くなっている。ところで現在、莫高窟において景観を良くするために、莫高窟の前面において緑地を設けている。その緑地への撒水が 108 窟、72 窟といった最下層に位置する石窟における岩盤内の相対湿度に強く影響を及ぼしているのではないかと考えられる。4 世紀以来、1600 年に渡って存在している莫高窟に対して、撒水はこの数十年間行われてきているに過ぎない。それにも関わらず強い影響を与えている。つまり、現在の莫高窟の劣化状況に長期間に渡って影響を与え続けてきた水分よりも、より強い影響力を持った要素がこの数十年間に人為的にもたらされているのである。今後、この影響について、より詳しく調査していく必要がある。

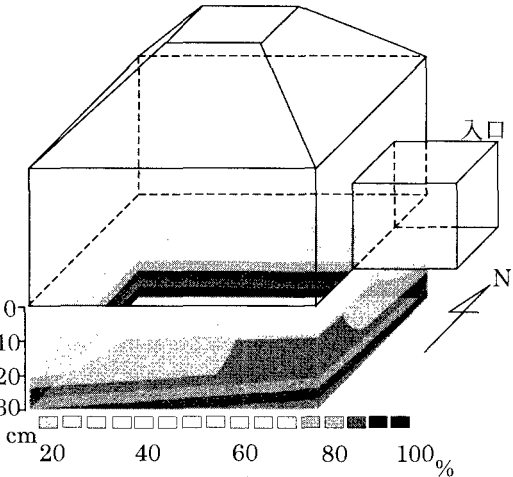


図 5 108 窟での床面下相対湿度コンター

一方、図 3 からは、108 窟南西隅（図 6 参照）においては岩盤表面ではほぼ同じ値であるにもかかわらず、岩盤内において同深度では一様に剥離の最も激しいところ（108c3）での相対湿度が最も高く、次に西側壁面（108c4）、そして 108c3 の東側（108c2）、同じく上部（108c1）、の順に高い値を呈していることがわかる。このことから、剥離が多く見られるところほど、その岩盤内の相対湿度が高いと言える。

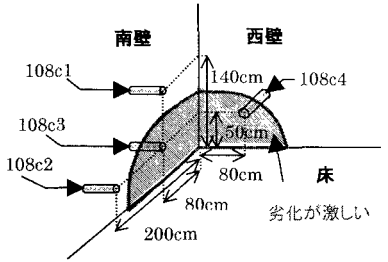


図6 108 窟南西隅の概要

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、東西方向を比較すると、東において高くなっている。このことから、莫高窟前面（東側）での灌溉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推測される。
- ②石窟内の南西隅の壁面において、壁面の劣化が激しい場所ほど岩盤内の相対湿度が高くなっている。このことから、岩盤内での相対湿度と壁画の剥離には相関関係があることがわかる。