

地下空洞内の水分移動量を把握する方法について

高橋 学¹⁾・張 銘¹⁾・李 小春²⁾

1. はじめに

「地下空洞」というと一般の人はどのようなイメージを抱くのでしょうか。北京原人が住んでいた洞窟等のイメージを浮かべる人もいるでしょう。このような場合には、比較的乾燥した状態を想像することができます。一方、「地下空洞」といえばトンネル等の暗くて、いつも底に地下水が貯まっているような場所をイメージする人もいることでしょう。このような場合には、ジメジメした湿度の高い場所を想像することになります。日本の様に地下水位が高い場合には、地下に種々の目的で空洞を建設すると当然の事ながら空洞の中には地下水があふれ出てきます。空洞の周囲の岩盤に亀裂が多い場合には、しかも亀裂奥部からの水の供給が大きい場合には、地下水は地下空洞へとどんどん流れ込んできます。このような場合には、一定量の水がどのくらいの時間で貯まるかを調べるためには、その流量を測定してやればよいこととなります。ところが、極わずかながら水が浸透してくるような場合には、既述したような方法では測定できません。このように、地下空洞では液状水としてではなく、気体分子として空气中に拡散するような非常に小さな水分の移動が生じている場合も考えられます。例えば、冬期間の壁面における結露等はこの典型的な逆の場合の現象と言えるでしょう。その他、古墳などで、全く盗掘などもされていない、しかも直接浸水するような事のない地形的に安全な場所における古墳内の水たまりなども気体状水分子による過飽和現象がもたらしたものと推測されています。もちろん、私たちの日常生活のなかでは「地下

空洞」というようなものにはほとんど接する機会はないと思いますが、より身近なところでは、地下室や室(むろ)などの存在は「地下空洞」に相当すると思われます。このように、液状水としてではなく、気体状の水分子として空气中に拡散する水分子の量を定量化する新しい試みについて本文で紹介します。この技術は農学関連では植物からの蒸発散量の測定や化粧品メーカー等でお肌の「みずみずしさ」の指標として用いられております。工学的な分野、特に岩盤を対象にした測定への応用の場合の実験条件などについて紹介いたします。

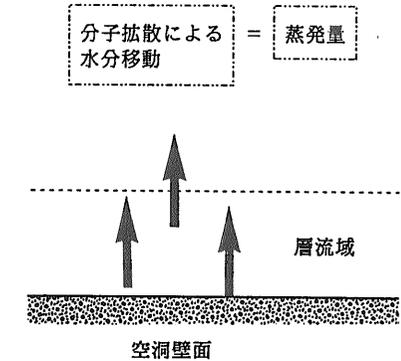
2. 岩盤壁面から空气中へ拡散する水分量(蒸発量)の定義

2.1 蒸発量の定義

岩盤内の地下水の流れやその経時変化を把握するために、岩盤の透水性(水の通り易さを指標とする)や流量が調べられますが、それらは水の移動量や圧力変化を測定する方法から求めることがほとんどです。地下構造物における空洞壁面からの水分の移動量は既述した通常の方法では測定できません。岩盤の壁面と空气中の湿度差に伴う水分のやりとりに関しては、空气中の水分の移動量、すなわち絶対湿度の場所的な変化の測定が必要となります。この物理現象に着目し、岩盤壁面からの蒸発量を測定することが最近試みられています。基本的には、岩盤壁面に対し、直交方向に層流状態が想定できるという理想的な場を仮定し、岩盤壁面上の離れた2点間の相対湿度差から絶対湿度差を求め、それを蒸発量と定義しています。

1) 地質調査所 環境地質部
2) ITIT特別研究員

キーワード: 地下空洞, 水分量, 相対湿度, 絶対湿度勾配, 蒸発量



第1図 空洞壁面からの水分拡散の概念。

一般に、地下空洞壁面近傍には、極薄い層流域が形成されていると仮定します(第1図)。この層流域の中では、壁面に直交する方向の空気中への水分輸送は分子拡散によってのみ行われるものとします。したがって、この水分量が地下空洞壁面からの蒸発量ということになります。既述したように、蒸発量は壁面近傍の水分輸送量を計測することによって求められます。壁面に沿った湿度変化が小さければ、水分輸送量 Q_n 、すなわち蒸発量 E_v は次式で与えられます。

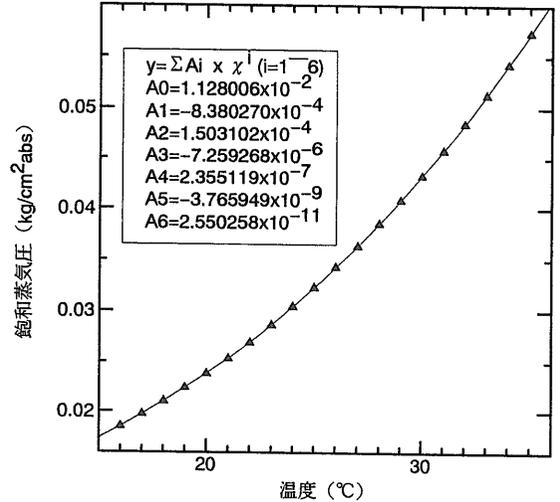
$$Q_n = E_v = -D_m (A_{h2} - A_{h1}) / (n_2 - n_1) = -D_m \cdot \Delta A_h / \Delta n \quad (1)$$

ここで、 D_m は空気分子の拡散係数を、 n_1, n_2 は壁面からのそれぞれの測定点までの距離(高さ)を、 A_{h1}, A_{h2} はそれぞれの測定点での絶対湿度を示しています。絶対湿度とは単位体積中に含まれている水蒸気の質量のことですから、 $[g/m^3]$ の単位を持っています。絶対湿度は気温で定まる飽和水蒸気量に、相対湿度を乗じることで求められ、温度 $t [^\circ C]$ 、標準大気圧 P_0 (1013.25 hpa)における、水蒸気圧 e とするとこれらの諸量は次式で関係づけられます。

$$A_h = 804 e / (1 + 0.00366 t) P_0 \quad (2)$$

絶対湿度を相対湿度 H で表すと以下ようになります。

$$A_h = 8.04 H \cdot e_s / (1 + 0.00366 t) P_0 \quad (3)$$



第2図 飽和蒸気圧の温度依存性。

ここで、 e_s は飽和水蒸気圧を示し、標準大気圧 P_0 と絶対0°Cに対する当該気温の比の関係で与えられます。なお、飽和蒸気圧は第2図に示されるように15°Cから35°Cの間で大きな温度依存性を示すことがわかっています。ここでは、測定上現実的な値として10°Cから40°Cまでの温度範囲について回帰式を求め、各測定時間毎の温度からその都度飽和水蒸気圧を求めることにしました。これにより、測定精度はかなり向上しました。

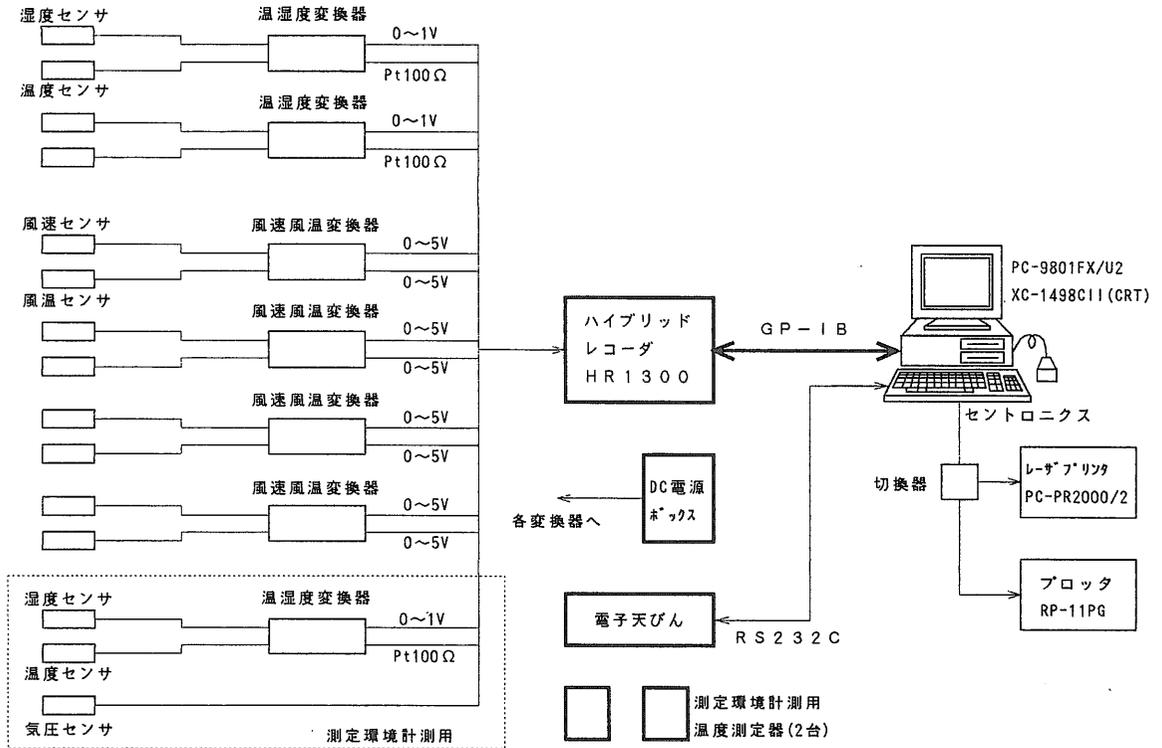
一方、分子拡散係数 $D_m [m^2/s]$ は温度の関数であり、以下のように表されます。

$$D_m = 2.41 \times 10^{-5} + 1.5 \times 10^{-7} \times \Delta T \quad (4)$$

ここで、 ΔT は基準温度15°Cからの温度差を示しています。この分子拡散係数の式に関しては渡辺ほか(1989)により詳細に検討されています。以上より、蒸発量の計測は岩盤壁面からの高さの異なる2つの点の温度と湿度を計測し、2点間の絶対湿度勾配を求めることによって得られることになります。

2.2 測定装置の構成

第3図は蒸発量測定装置のシステム構成図です。基本的には、温湿度センサー、風速センサー、気圧センサー、ハイブリッドレコーダー、コンピュータから構成されています。原位置で蒸発量計測を行うためには、これら全てを持ち込むわけにはいかな



第3図 蒸発量測定装置システム概念図。

いので、原位置計測専用データロガーセットを開発しました。各センサーについて簡単なスペックを以下に示します。

1) 湿度センサー

蒸発量計測の心臓部ですので、精度が高く、安定性に優れ、キャリブレーションが可能なものを中心に選択しました。その中でも、ドイツ、テストターム社製およびスウェーデン、ヴァイセラ社製の静電容量式乾湿素子の2社の製品を採用しました。両者とも絶対精度は相対湿度で±1%以内と従来の湿度計の精度を大きく上回っています。特に、テストターム社製の製品は飽和塩による12%と76%の校正ポットを用いて、簡単にしかも短時間で校正を行うことができます。室内でも、原位置の測定においても、計測開始前にキャリブレーションを実施しながら計測を行いました。但し、この製品は湿度、温度センサーとも保護カバーが無いので、特に原位置で使用する際には、多少不便な点もありました(写真1)。それに比べ、ヴァイセラ社の製品は保護カバーがあり、取り扱いの点において優れていま

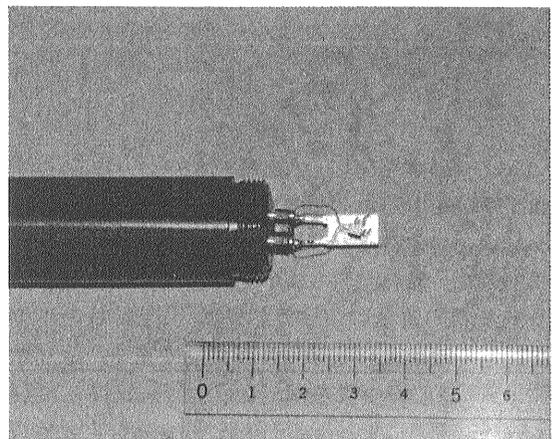


写真1 テスタターム社(ドイツ)の温湿度センサー。

た。湿度計の分解能は蒸発量の分解能を決定するので、できるだけ精度の良いものを選定しました。

2) 風速センサー

風速センサーは通常、熱線式が用いられますが、形状が大きく乱流を引き起こすことが指摘されています。本システムでは直径1~2 mmのボー

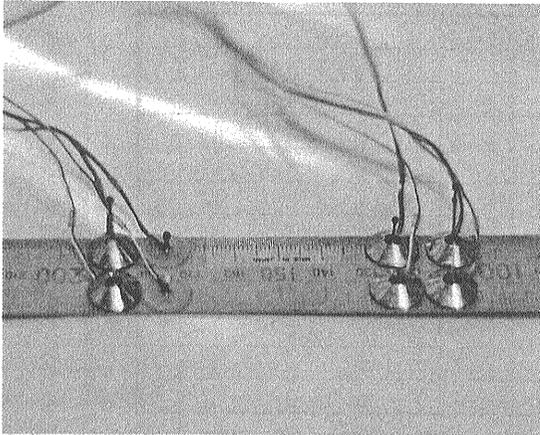


写真2 高さの異なる(5, 10, 15, 20mm)風速センサー。

ルセンサー(本田工業製)を採用しました。世界で初めてゲルマニウム半導体を採用した小型、軽量、強度に優れた無指向性センサーです。蒸発量が風速の影響をどの程度受けるかは基礎的ながら、重要な問題ですので、センサーの高さが5, 10, 15, 20 mmの4種類のを準備し(写真2)、影響量を把握しました。

3) 気圧センサー

フィンランド、ヴァイセラ社製で、シリコン静電容量方式です。精度は±0.5hpaです。気圧の変化は通常の試験では無視できる程小さなものですが、長時間にわたる試験も今後予想されますので、モニターすることにしました。そのほか、実験中の装置周辺の温湿度をモニターするためのセンサーや、さらに、実験室全体の温度変化をモニターするデータロガー等も設置し、基礎データを取得しました。これら15個のセンサー類は任意の測定時間間隔でハードディスクに書き込まれると同時に、画面にも出力表示されます。画面には各時間毎の各センサーの測定値、絶対湿度、蒸発量等が演算され、表示されます(写真3)。

3. 蒸発量の測定に及ぼす各種の影響について

3.1 湿度計の分解能について

湿度計としては現在以下の測定原理を持つタイプのものが存在します。

1. 水蒸気の直接測定によるもの

*** 水蒸気量測定結果 ***

試験名: TEST 測定日時: 92-03-27 12:03:43

時間	湿度1	湿度2	湿度3	湿度4	湿度1	湿度2	湿度3	湿度4	重量(g)	気圧(hpa)	蒸発量
12:02:10	35.4	35.3	6.7	6.5	21.6	21.2	0.000	1.009.4	0.9		
12:02:15	35.4	35.0	6.7	6.5	21.6	21.2	0.000	1.009.4	0.9		
12:02:20	35.4	34.7	6.7	6.4	21.6	21.2	0.000	1.009.4	1.2		
12:02:25	35.0	34.6	6.6	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.5	0.9		
12:02:30	35.4	34.8	6.7	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.5	1.1		
12:02:35	35.3	35.2	6.7	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.4	0.7		
12:02:40	35.3	35.1	6.7	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.5	0.8		
12:02:45	35.6	34.8	6.7	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.4	1.2		
12:02:50	35.7	34.9	6.7	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.4	1.3		
12:02:55	35.6	34.8	6.7	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.4	0.9		
12:03:00	35.2	35.0	6.6	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.5	0.7		
12:03:05	35.1	35.0	6.6	6.5	21.5	21.2	0.000	1.009.4	1.0		
12:03:10	35.2	34.7	6.6	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.4	1.4		
12:03:15	35.3	34.4	6.7	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.4	1.2		
12:03:20	34.8	34.2	6.6	6.3	21.5	21.2	0.000	1.009.4	0.8		
12:03:25	34.9	34.3	6.5	6.4	21.5	21.2	0.000	1.009.5	0.7		
12:03:30	34.4	34.3	6.5	6.3	21.5	21.2	0.000	1.009.4	0.8		

平均風速= 0.05

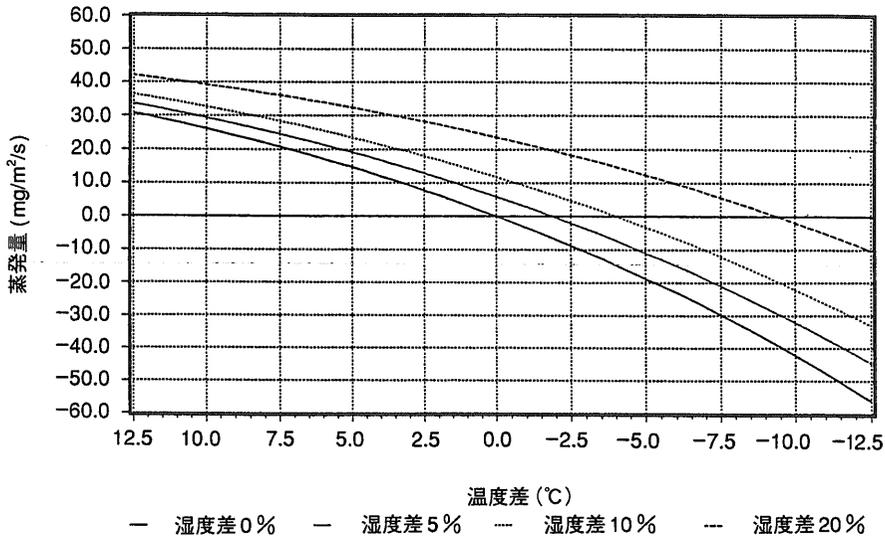
写真3 モニター時における計測項目の表示画面。

2. 水の蒸発を利用するもの
3. 露点を測定するもの
4. 物質の伸縮を利用するもの
5. 電気特性を測定するもの
6. その他

湿度標準は現在でも検討段階であり、他の物理量のように簡単に検定することができません。更に、湿度の分解能は長さや重さ等の他の物理量と比較して分解能が数桁落ちるのが現状です。測定原理によって、湿度計の分解能は±10数%から±1%程度まで幅広く分布しています。本実験で用いた湿度センサーはテストタム社製、ヴァイセラ社製どちらも±1%の分解能を持つことが報告されています。両社製品とも、現状では最も高い測定分解能を有していると言えるでしょう。

3.2 センサーの配置について

空気中の2点間の絶対湿度勾配を求めるためには、理想的には2つのセンサーは鉛直線上で一致するように設置されなければなりません。渡辺ほか(1989)は一方のセンサーの測定値に対するもう一方のセンサーや保護カバーの影響を少しでも軽減するために、2つのセンサーは平面上で、2cm程度離して設置しています。彼らは、センサーの大きさに比べ、十分な大きさの蒸発量の測定発生源があれば、このような平面上での位置の違いは問題ないとしています。これは蒸発量発生源の大きさとも密接に関連しますが、本実験では岩盤亀裂幅の規模がmmオーダーと小さいことから、両センサーは平面上で隣接するように設置しました。



第4図 温度差及び相対湿度差による蒸発量の変化。

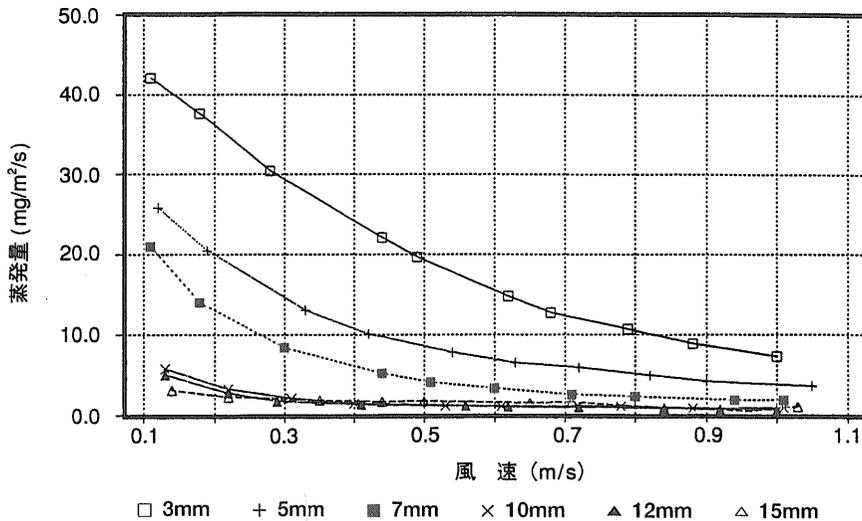
3.3 温度および湿度差の影響について

蒸発量は温度の影響を強くうけることが(2)式からも良くわかります。この影響を調べるために基準の温度を25℃、基準の湿度を50%に選び、温度差および相対湿度差による蒸発量の変化をシミュレーションしました。その結果を第4図に示します。温度差が±12.5℃、湿度差が0, 5, 10, 20%の場合について計算してみました。現実的には、温度差はプラスの範囲、蒸発量もプラスの範囲が対象となります。例えば、センサー間に湿度差がない場合にお

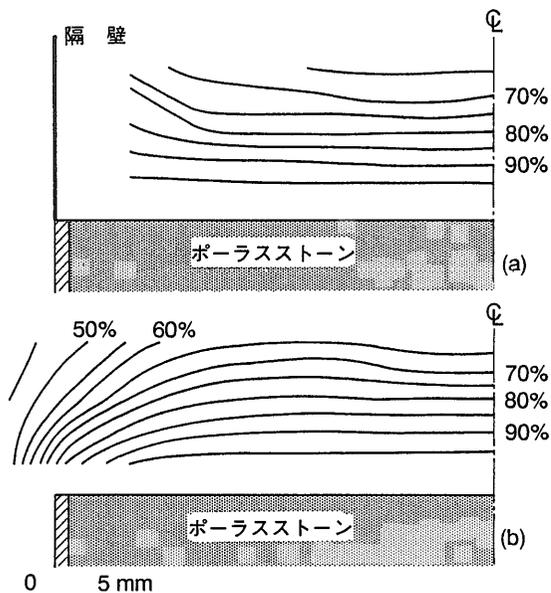
いても、温度差が5℃あると蒸発量は15mg/m²/secとなります。

3.4 風速の影響について

室外や原位置の地下空洞内では、常に風があるので、蒸発量に及ぼす風速の影響を調べておく必要があります。第5図は蒸発源として水を満たしたシャーレ上にセンサーを3, 5, 7, 10, 12, 15mmの高さにセットしたときの蒸発量に及ぼす風速の影響を示したものです。蒸発量は風速の増加とともに



第5図 各センサー高さにおける蒸発量に及ぼす風速の影響。

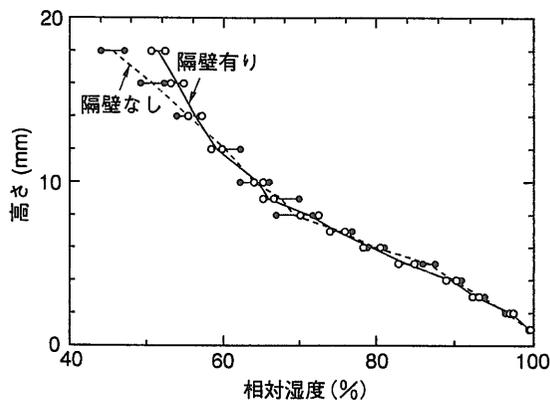


第6図 隔壁がある場合(a)と無い場合(b)の相対湿度分布。

減少し、風速が大きくなるほどその傾向は小さくなっています。蒸発量は蒸発源から7mm以内の距離では風速に対する減少の割合がほぼ同じであり、この距離以内では層流状態となっていることが推定できます。実験室内では蒸発源から2mm程度の距離で測定可能ですが、原位置となるとそのような訳にはいきません。岩盤の表面が平らでないのも、また測定機器類の据え付けの問題もあり、蒸発源(岩盤壁面)から5mm程度の距離をおいて測定しなければなりません。

3.5 隔壁を設けた場合の影響について

風速の影響を取り除くためには隔壁を設置して蒸発量を測定しなければなりません。逆に隔壁が存在することにより測定領域全体における空気の流れの場を変えてしまう危険性も考えられます。そこで、隔壁が存在するときの蒸発量への影響を調べるために、ポーラスストーンを用い供試体底面から水を供給し、供試体上端での相対湿度を測定しました。第6図は隔壁がある場合(a)とない場合(b)との湿度分布を示したものです。本実験では、環境温度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に制御されており、ポーラスストーン上面からの高さの違いによる温度の差異は認められておりません。従って、温度を一定とすれ



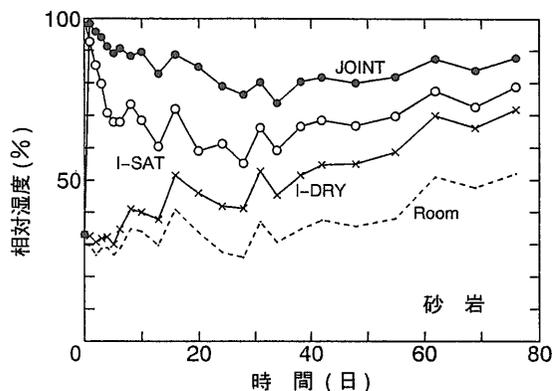
第7図 ポーラスストーン中心部におけるセンサー高さとの相対湿度との関係。

ば、相対湿度のコンターはそのまま絶対湿度のコンターに対応します。隔壁がない場合、供試体面から一定の高さで湿度分布を調べると供試体側面近傍では中心部に向けて湿度が大きくなっています。これは、水分移動が上方のみならず、供試体外側へも生じていることを示しています。一方、隔壁がある場合、供試体側面で湿度が大きくなる傾向を示しています。また、時間の経過とともに位置的な湿度分布の変動が小さくなることも確認できました。すなわち、測定開始直後は隔壁の影響が大きく、かつ蒸発の位置的な不均一性が示されたこととなります。当然のことではありますが、蒸発量を計測する場合には境界近傍の点を避けて、測定媒体の均質な所で測定を実施することが必要と思われます。

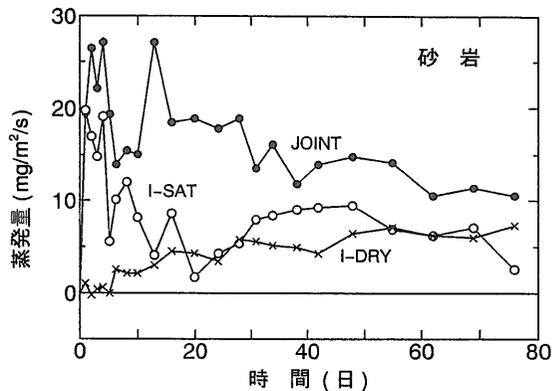
4. 測定事例—室内—

4.1 相対湿度の分布

第7図はポーラスストーンの中心部において測定した鉛直方向の相対湿度を、標準偏差とともに示しています。中心部では隔壁の影響が小さく、特に、高さが2~8mmまでの相対湿度は隔壁があっても、なくてもほぼ同じ値を示し、蒸発量は $20\text{mg}/\text{m}^2/\text{sec}$ と算出されます。しかし、電子天秤による重量測定結果では、隔壁がある場合と無い場合でそれぞれ24, $35\text{mg}/\text{m}^2/\text{sec}$ の値を示しました。両者はおよそ1.5倍もの違いを示しました。これは隔壁の無い場合には中心部よりも周辺部でコ



第8図 各供試体における相対湿度の時間変化。



第9図 各供試体における蒸発量の時間変化。

ンターが密なことからもわかるように、周辺部での大きな蒸発を反映したものと考えられます。標準偏差は隔壁の無い場合が全体に大きく、隔壁の存在により風の影響を小さくできることがわかりました。供試体の上面から2mm離れた位置の相対湿度の測定結果を第8図に示します。全体的な変動は認められますが、実験開始40日後に増加傾向が認められます。これは環境湿度の変化に追従したものです。砂岩のI-SATの供試体は完全飽和状態から時間の経過とともに相対湿度は低下し、10日以降ではほぼ定常状態となっています。JOINT供試体では実験開始後1日でほぼ完全飽和状態(100%)に達し、その後は徐々に低下し一定値に達しています。これに対し、I-DRYの供試体は緩やかに増加し、I-SATに漸近するようになります。

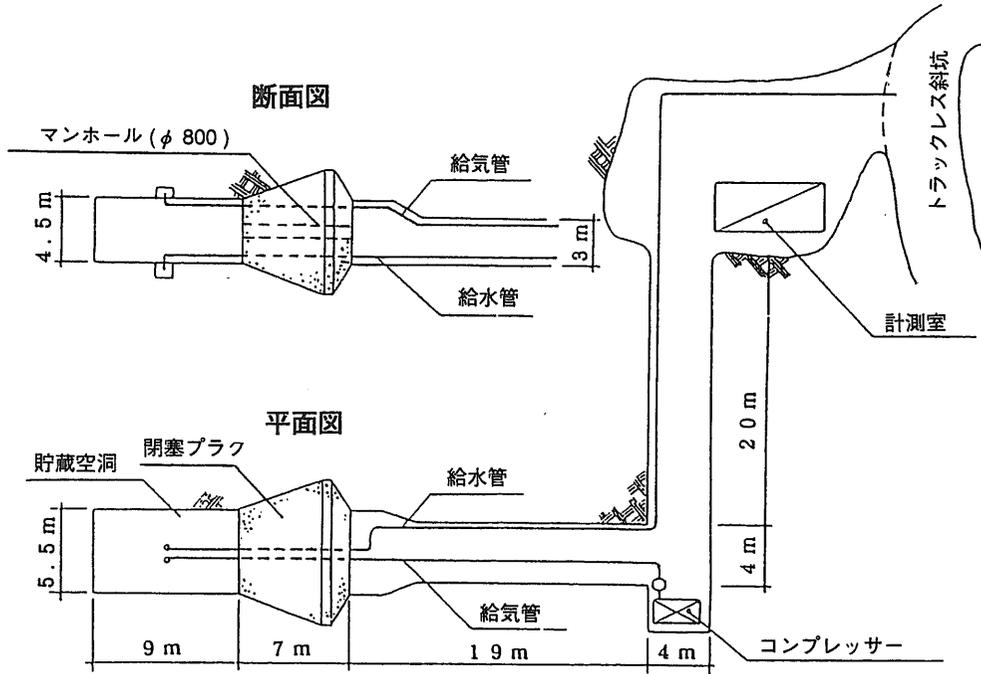
4.2 蒸発量の経時変化

ここでは、岩石の蒸発量の時間依存性を把握するために白浜砂岩を供試体として以下のような状態で測定を行いました。亀裂がある場合とない場合、ない場合には飽和状態から測定開始するものと乾燥状態から測定開始するものとの、それぞれの蒸発量の時間依存性を比較してみました。供試体(直径50mm高さ100mm)の亀裂は圧裂引張り試験によって長軸方向に発生させたものです。全ての供試体は側面をシリコンゴムで被覆し、水分移動が供試体の長軸方向に1次元的になるようにしました。亀裂のない供試体は脱気水に1ヵ月浸水させて飽和したものをI-SATと呼び、実験室内にて1ヵ月放置したものをI-DRYと称することにし

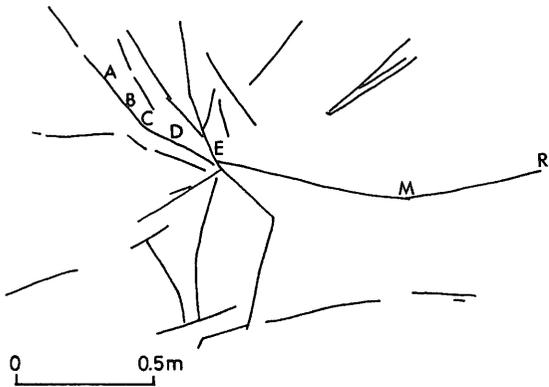
す。いずれの供試体においても下端部を1cmほどシャーレ内に浸水させて実験を開始しました。第9図は供試体上端面から2mmと4mm離れた位置での相対湿度差から求めた蒸発量の時間変化を示しています。飽和状態時の蒸発量は $20\text{mg/m}^2/\text{sec}$ でしたが、30日以降 $5\sim 10\text{mg/m}^2/\text{sec}$ と一定値に近づいてきました。亀裂がある場合には、実験開始直後 $25\text{mg/m}^2/\text{sec}$ まで一気に増加しますが、その後は徐々に減少し、40日以後 $10\sim 15\text{mg/m}^2/\text{sec}$ となりました。乾燥状態では、実験開始後5日目以降から蒸発量が確認され、最終的には $5\text{mg/m}^2/\text{sec}$ 程度に収束しています。いずれの場合も若干の変動は認められますが、亀裂の有る場合の方が蒸発量が大きいことがわかります。もちろん、この場合、センサーは亀裂直上に設置されています。なお、本実験における蒸発量の測定精度は湿度センサーの分解能が1%とすると、センサー間の温度差が無い場合、蒸発量にして $2.1\text{mg/m}^2/\text{sec}$ となります。従って、乾燥状態における開始5日間の値は測定の精度を示していることになり、基本的には供試体下端から上端まで毛管現象による水分移動は5日間かかったこととなります。

5. 計測事例一原位置一

原位置測定では、用いたセンサーの都合上センサー間の距離は5mmとし、壁面から5mm離して測定を行いました。各測点における計測は2分間以上行い、その平均を求め気温、湿度、蒸発量を評価しました。



第10図 圧縮空気貯蔵実験施設の概要。



第11図 神岡鉱山計測箇所での亀裂のスケッチ。



写真4 神岡鉱山計測箇所での岩盤亀裂の様子。

5.1 神岡鉱山

岐阜県神岡町の神岡鉱山茂住鉱の-530mレベルでは圧縮空気貯蔵のための基礎実験が行われています。地質は片麻岩類から構成されています。蒸発量の計測は、試験貯蔵空洞手前の角部の壁面に高さ1m程度に位置するほぼ水平な亀裂を対象に実施しました。圧縮空気貯蔵空洞の施設の概要を第10図に、亀裂のスケッチと測点の位置を第11図、写真4に示します。第1表は各測点のセンサー湿度と蒸発量の値を示しています。亀裂が交差しているE、F点の蒸発量の値が他の測点よりも高いことが認められます。

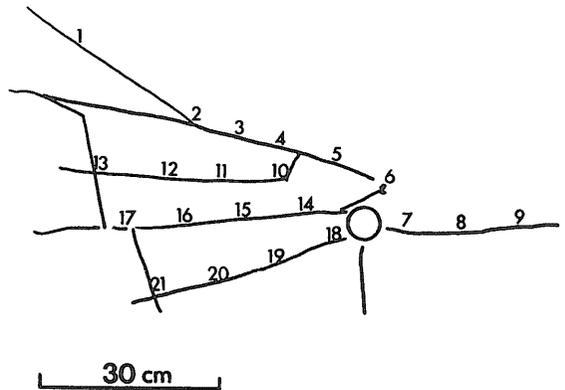
第1表 神岡鉱山における蒸発量他の値。

測点	湿度 1 (%)	湿度 2 (%)	蒸発量 (mg/a ² /s)
A	97.7	84.2	10.8
B	97.3	83.4	11.6
C	93.5	78.9	9.3
D	90.8	75.1	15.6
E	87.8	71.7	19.4
F	89.4	76.9	18.5
G	83.1	71.7	12.0
H	82.2	68.9	18.1
I	77.8	66.5	5.6
J	78.7	65.0	12.3
K	82.1	70.6	12.7
L	77.9	68.0	16.6
M	77.2	67.0	15.0
N	81.1	68.8	9.7
O	81.9	69.9	11.7
P	83.9	71.2	8.3
Q	85.3	73.4	10.4
R	81.9	70.9	6.6

この空洞内の平常時（人の出入りや空気の入
れ換えなどが無い）には、環境湿度は90%近くと高
い値を示していました。一番最初に測定したのは
12月のはじめだったので、外気温度と空洞内との
温度差は20℃近くありました。測定装置、特にデー
タロガー類は急激な温度低下による結露のため作
動しなくなりました。初めての原位置実験はドライ
ヤーでロガーを乾燥させ、暖める作業からスタート
しました。これ以外にも原位置の測定では、室内で
は予想もできない様なトラブルが頻繁に発生しまし
た。時には、測定装置類の不調でデータを取れず
に帰って来ることがありました。何ともやるせない気
分になり、疲れも増してくるものです。入念な下準
備をし、荷物を発送し、現地での再度のチェック、
入坑という準備をしてもアクシデントは起きるもの
です。実験室ならリカバリーも何とかできますが、
山奥の人氣も機械もない所では最早や手も足も出
ません。意気消沈で帰途に着くことになるのです。

5.2 上砂川炭鉱

北海道旧砂川炭鉱では無重力実験施設や圧縮
空気貯蔵実験施設が稼働・施工されています。蒸
発量の測定実験は-360m レベル登川大立入の南
北大坑道分岐点から第1立鉱側へ624m 行った点
のボーリング孔を中心にした亀裂群を対象に実施
しました。第12図は亀裂群のスケッチです。ボアホ
ール近傍の測点7, 14, 18は壁面が水分で濡れて
おり、ライトの光を反射していました。坑内の風速
は壁面で0.04m/sec, 坑道中心で0.2m/secであ
り、蒸発量の測定条件は満たされています。第2表
は各測点の平均の湿度と平均の蒸発量を示してい
ます。ほとんどの測点でマイナスの蒸発量を示し
ていますが、これは必ずしも水分が壁面に吸着し
ていることを示しているわけではありません。すなわ
ち、平均の湿度の値を見ると、壁面に近い側のセ
ンサーの方が湿度の平均値が大きいことから、わ
ずかではあるが、壁面から水分移動が生じてい
ることがわかります。蒸発量の計算の中で、温度の値
が重要な影響をもたらすことが示されていますが、
センサー間の温度差に起因した結果と言えるでし
ょう。この点に関しては今後システムを改良し、湿
度の値のみから絶対湿度の差で湧水量を評価する
方法を開発することが必要と思われる。いずれ



第12図 上砂川炭坑における計測箇所亀裂のスケッチ。

第2表 各測点の平均湿度と平均蒸発量（上砂川炭鉱
-360m レベル）。

測点	湿度 1 (%)	湿度 2 (%)	蒸発量 (mg/m ² /s)
1	91.5	90.2	-1.7
2	85.6	84.5	-3.1
3	84.7	82.4	-4.2
4	82.5	78.0	-3.0
5	82.6	78.3	1.1
6	85.4	82.1	-0.5
7	88.4	83.9	-1.2
8	91.1	87.0	0.0
9	92.3	88.6	1.1
10	92.7	88.1	4.0
11	87.8	84.0	2.3
12	84.7	79.4	1.2
13	84.6	80.9	0.3
14	84.4	77.9	-0.7
15	85.4	78.1	-2.6
16	86.2	78.4	0.6
17	85.9	80.5	-3.2
18	82.8	73.9	3.8
19	84.2	78.7	0.6
20	84.9	78.1	1.0
21	84.6	76.0	-0.9

にしても測定された蒸発量の値は極めて小さいも
のです。測点8, 9, 10, 11は湿度が90%近くあり、
他と比較すると高めでしたが、これ以外の測点に
関しては80~87%代の値を示しており、坑道中心
で測定した環境湿度の80~85%とほぼ一致しま
す。以上のように、この坑道については壁面からの
水分の蒸発はなく、湿度はほぼ平衡状態であった
ことがわかります。

6. おわりに

岩盤壁面や亀裂からの水分の移動量である蒸発
量を測定するために、装置を開発し、基礎的な実
験を実施しました。また、原位置における計測を実
施し、計測上の問題点を洗い出しました。実験室
内における結果では、測定する際の理想的な環境

場を再現することが可能であり、蒸発量の詳細を把握することが出来ました。湿度センサーの配置、温度差、相対湿度差、風速や隔壁の影響などが判明しました。一方、原位置における測定では、通常の空洞では、環境湿度がほぼ100%の飽和状態に近く、測定の困難さが明かとなりました。

岩石やコンクリートなどの一見して水を通すとは思われないような材料も極わずかながら水、もしくは気体の水分子を拡散・吸着することが明らかとなりました。本文では、コンクリートについては言及していませんが、岩石と同じように水を通すことがわかっております。岩石やコンクリートには微視的(ミクロンオーダー)な亀裂や弱面が存在することがわかっており、これらを通して水分の移動が行われるのです。cmオーダーの岩盤亀裂やコ

ンクリート構造物などは工学的には何ら問題なく、あたかもこれら亀裂や弱面が無いかのように処理をすることは可能です。したがって、「地下空洞」へゲザーと水が流れ込むのを100%防止することは可能となっていますが、長時間にわたって「地下空洞」へ拡散してくるような水分の存在は無視できない存在であることも明らかとなりました。

参 考 文 献

渡辺邦夫・藍沢稔幸・小野 真・柳沢孝一・佐久間秀樹・山本 肇・神田信之(1989):蒸発量計測によるトンネル壁面からの湧水量の測定(その1)。応用地質, 30巻4号, 11-18.

TAKAHASHI Manabu, ZHANG Ming and Li Xiaochun (1997): A New Method for Water Flux Measurement around Underground Cavern.

<受付:1997年5月30日>

書籍紹介

「火山の事典」

下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明編
朝倉書店, 1995年7月1日発行
590ページ, 定価18,900円(本体18,000円)

世論は熱しやすく冷めやすい。阪神大震災の後は地震に関心が集中して火山災害の方は忘れられている感があるが、あいにく火山の方は決して冷めやしくない。雲仙の噴火活動は表面上は終わったように見えるが、なお日本各地の地下で不気味な状況が続いている。火山噴火は広い範囲に壊滅的な被害を与える危険があるだけでなく、気候にまで影響する。海外であるが、アイスランドの氷河の下で噴火活動が起こり、大洪水が発生し、またごく最近に西インド諸島で雲仙とよく似た火砕流の発生により、死者が出たと報道されている。

本書は、火山に関する初めての総合的な事典であり、研究者や学生だけでなく、防災関係者にも必携の書であろう。同じ出版社による「地震の事典」及び「災害の事典」の姉妹編で、現在の火山学の到達点を示す書である。

事典といっても、項目の羅列ではなく、1. 火山の概観、に始まり、2. マグマ、3. 火山活動と火山

帯、4. 火山の噴火現象、5. 噴出物とその堆積物、6. 火山体の構造と発達史、7. 火山岩、8. 他の惑星の火山、9. 地熱と温泉、10. 噴火と気候、11. 火山観測、12. 火山災害、13. 火山噴火予知、に至るまで、順を追って読みながら必要な事項を知ることができるようになっている。多岐多様な火山現象を要領よくまとめてあり、火山について過不足なく学ぶことができる。全体を読み通すのは至難の業であろうが、それぞれの章がかなり読みごたえのある読み物になっている。

巻末付録として、世界と日本の火山のリスト、噴火活動の記録、噴火災害資料がまとめられている。特に、日本の火山の地学的諸量の表がユニークな労作である。噴火記録もそれぞれが興味ある読み物になっている。

専門分化の進んだ現在の地球科学において、30名近くも執筆者による共著であるにもかかわらず、よくまとめられている。欲を言えば、索引をもっと充実して、英語とも対照できるようになっていれば、事典としての利用価値がもっと上がると思われる。改訂の際には是非考慮していただきたい。

(環境地質部 小出 仁)