

(107) 岩盤壁面からの蒸発量測定における風速の影響の評価

埼玉大学工学部 渡辺邦夫 ○酢谷佳尚 藍沢稔幸
動燃事業団 柳沢孝一
日鉄鉱業 野口義文
東京計測 神田信之

Influence of air flow on the evaporation measurement in an underground drift.

Kunio WATANABE, Yoshinao SUTANI, Toshiyuki AIZAWA
; Saitama University
Koichi YANAGISAWA ; Chubu Office, PNC
Yoshifumi NOGUCHI ; Nittetsu Mining Co., Ltd.
Nobuyuki KANDA ; Tokyo keisoku Co., Ltd.

Abstract

Evaporation rate on a rock wall of underground drift can be well evaluated from the measured absolute humidity gradient in air just above the wall. The gradient becomes large above the high evaporation part such as a permeable fracture. However, the humidity gradient may be also influenced by the air flow above the wall. The influence of the air flow on the evaporation measurement was theoretically studied by calculating the humidity distribution above the wall under some different wind conditions. It was found that the evaporation rate was fairly well measured if the drift was under the normal ventilated condition.

はじめに

著者らは低透水岩盤からの湧水量を蒸発量計測によって測定する方法を提案している¹⁾。さらにその有用性を岐阜県東濃鉱山やスウェーデン、ストリバ鉱山坑内において検証した²⁾。この測定法は、坑壁直上の空気の絶対湿度勾配を測定し、それに水分拡散係数を乗じて空気中の壁面直交方向の水分移動量を求めるものである。蒸発量の大きい場所程、一般に絶対湿度勾配は大きくなる。しかしながら、絶対湿度分布は、壁面上の風の影響を受けることが考えられる。この場合、換気空気の風速が大きい坑道では蒸発した水分が風下側に流され、絶対湿度勾配から求めた値が実際の蒸発量と異なることも十分想定される³⁾。本研究は、風の測定蒸発量に与える影響を壁面直上の湿度分布を数値解析することにより検討したものである。

1. 測定法と取り上げる問題点

測定法の概略を図-1に示す。この方法は坑壁上に形成される薄い層流層内部の壁面からの高さの異なる2点(それぞれ約3mm、8mm)において絶対湿度を測定し、その勾配から壁面直交方向の空気中水分移動量を求めるものである。坑壁から一様な蒸発量がある場合は、等湿度線は坑壁とほぼ平行となりこの方法により

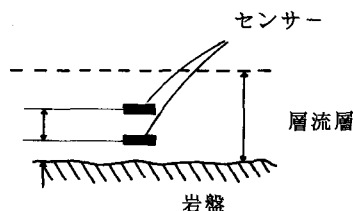


図-1 測定法 の 概念

測定が可能となる。しかし、図-2のように高透水性割れ目など局所的に蒸発量が大きい場所があった時、そこから供給される水分が風下側に流される。そのため、その場所上で壁面直交方向の水分移動量を測定しても必ずしも真の蒸発量が求められないことになる。従って、この場合は風による測定誤差を予め評価しておかなければならない。この評価を行うためには、まず、局所的に供給される水分が空気中をどの様に拡がっていくかを調べなければならない。そのため、壁面付近の湿度の分布状態を数値解析により検討した。

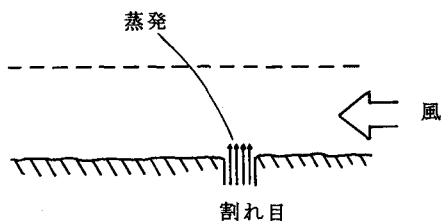


図-2 局所的蒸発量と風速の模式図

2. 解析手法と解析条件

空気中の水分移動は密度差を無視すれば、以下の式で表現できる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D \nabla^2 \theta - \vec{u} \nabla \theta + q \quad (1)$$

ここに、 θ は絶対湿度 (g/m^3)、 u は風速、 q は流入出量であり、ここでは蒸発量を表す。壁面付近の層流域を考え、風速は壁面に平行として、2次元的に(1)式を書き直せば(2)式となる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = Dm \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + Dm \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} - u \frac{\partial \theta}{\partial x} + q \quad (2)$$

ここに、 x 、 z はそれぞれ壁面方向、壁面垂直方向の座標軸であり、 Dm は分子拡散係数 (約 $2.41 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$) である。定常状態では左辺は0となる。この式を解析することにより壁面上の湿度分布が求められる。今回は有限要素法を用いて計算した。

本計算では、図-3に示すように50cm間隔で蒸発量の大きい場所 (幅4cm、蒸発量 $10 \text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$) が並んでいる場を設定した。この場合、現象が繰り返して現れることになるので図に示す様な計算領域を設定すれば良いことになる。境界条件としては、領域高さを1.5cmとし、その範囲は層流と仮定した。上方境界は一定風速 U_B で絶対湿度一定の条件を与えた。これは、層流層外では水分が乱流拡散により運ばれ速かに混合することを仮定している。底面は蒸発量の大きい場所以外は蒸発はないものとした。側方境界は、現象の繰り返し性から同じ絶対湿度分布となるよう設定した。

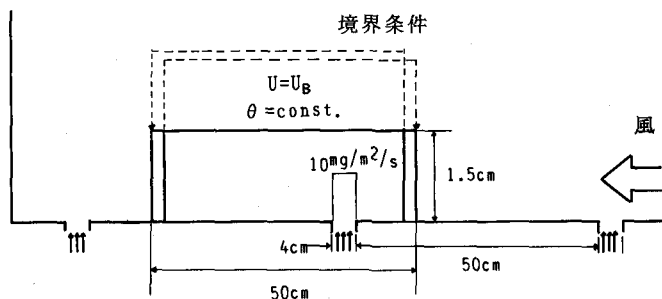


図-3 解析領域

次に、壁面直交方向の風速分布であるが、図-4に示す3つの場合 (それぞれP-A、P-B、P-C) を考えた。P-Aは滑面上のように線形の風速分布を持つ場合である。P-B、P-Cは凹凸面を考え、凹部のように壁面直上に風速が極めて小さい部分のある場合 (ここでは0)、及び凸部のように、

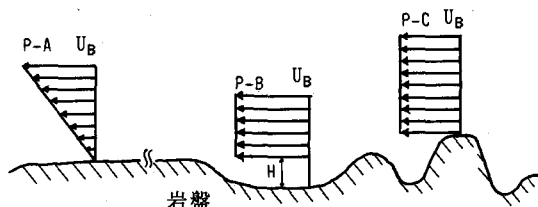


図-4 壁面直交方向の風速分布パターン

線形分布が発達せず一様風速分布で近似できる場合である。このように3つの風速分布を考え、今回、表-1に示される6ケースの計算を行った。表中の U_B 、 H は図-4中の記号に対応している。ケースAは比較のため行った風速のない場合である。なお、風速 U_B については、一般的な坑道の値を用いた。著者らの実測によれば、ベンチレーションテストの様に、特に換気を大きくした場合、釜石鉱山では平均風速0.02m/s、ストリバ鉱山の場合0.1~0.2m/sであった。そのため、壁面より1.5cm上風速 U_B としては表中の値を用いれば一般性はあると思われる。

表-1 解析ケース

ケース	分布形	U_B m/s	H
A	—	0	—
B	P-A	0.015	—
C	P-A	0.075	—
D	P-A	0.150	—
E	P-B	0.150	5mm
F	P-C	0.100	—

3. 解析結果と考察

計算に用いた要素分割図を図-5に示す。総節点数は308、総要素数は540である。図-6は計算した壁面上の定常状態の絶対湿度分布をケースA、D、E、Fについてみたものである。

風は各図において左から右に与えているが、ケースAに比べて他のケースでは風下側に水分がかなり流されていることがわかる。

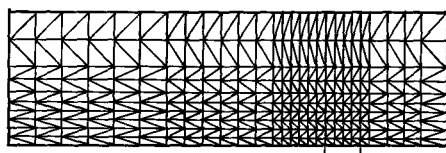
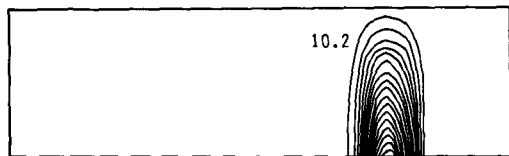
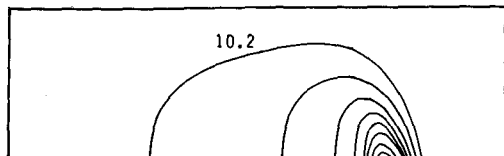


図-5 要素分割図



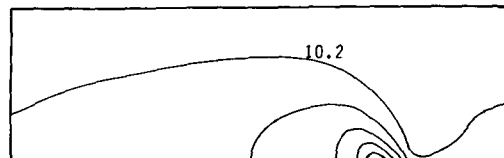
ケースA



ケースD



ケースE



ケースF

図-6 絶対湿度分布 (等湿度間隔: 0.3mg/m³)

蒸発量計測は、図-7に示すように、壁面から約3mm、8mmの高さの位置で行われている。水分が風によって流されるため、図中に示す破線位置に沿って測定した際、実際の分布とはかなり異なることになる。数値計算された絶対湿度分布を基に、測定される壁面直交方向蒸発量分布を求めたものが図-8である。図中、実際の蒸発量分布を破線で示す。この図から測定蒸発量

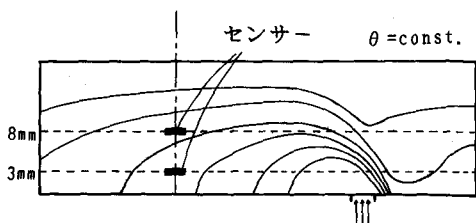


図-7 絶対湿度分布と蒸発量計測位置

はピーク値がやや小さくなり、分布も風下側にややずれている。特にケースFのように、壁面上に一樣な風速分布がある場合にこの傾向は大きくなっている。しかし、線形の風速分布を考えた場合、測定ピーク蒸発量は $U_B=0.15\text{m/s}$ でも実際の蒸発量の7～8割であることがわかる。 U_B がより小さい場合、ピーク蒸発量は実際の値よりやや小さく、水分移動量の大きい場所がやや風下側にずれてはいるものの、蒸発量分布はある程度表現されていることが解る。

以前の論文¹⁾で報告しているように、風速が大きい程層流層の厚さは薄くなり、今回のように厚さ1.5cmで一定というような単純なものではない。一般に、この厚さが薄い程、測定蒸発量分布は実際の分布に一致する傾向を持つ。これは、流れにより運ばれる移流分に対して壁面直交方向の拡散分の水分が相対的に大きくなることによるものである。また、実際の坑道の風速が、前述したように、かなり小さいものであることを考えると、局所的に蒸発量の大きい部分の周辺でも、2～3割程度の誤差を考え、風下側に蒸発量が大きく測定しうる傾向をつかんでおけば、蒸発量分布をある程度評価することが出来ると考える。また、1つの割れ目から供給された水分は風下側に流されるとはいえ、最終的には壁面直交方向に輸送されるわけであるから、密に蒸発量測定を行うことにより、総蒸発量は測定できる。風速分布がケースFのように一樣風速分布の場合、かなり大きな誤差が生じていることは確かに問題である。しかし、実際の結晶質岩壁面のように表面に小さな凹凸が一樣にある場合は、P-Cの様な風速分布の生じる可能性は小さく、壁面近傍の風速は一般に小さくなっていると考えることができる。このことを実際の測定結果と対比して考えてみると、ケースFのような広範囲に広がった蒸発量分布は坑内平均風速が 0.2m/s 以上であっても計測されていない。このことは壁面付近に風速の小さい領域が存在することを示していると思われる。

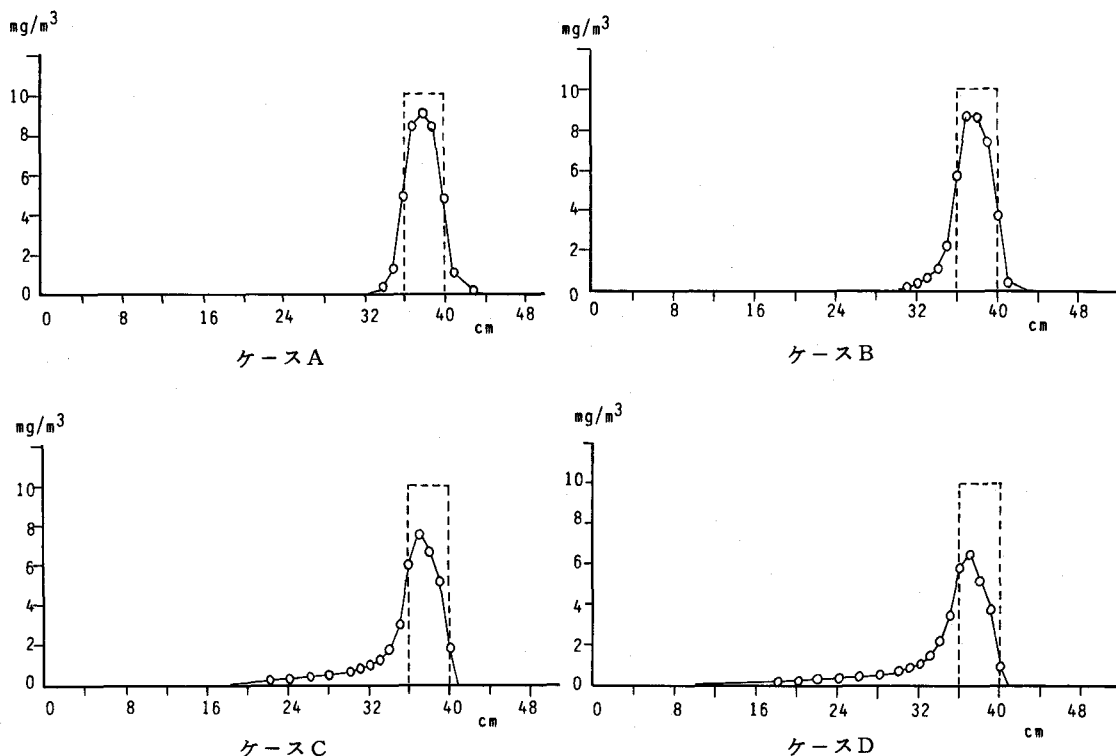


図-8 蒸発量分布図

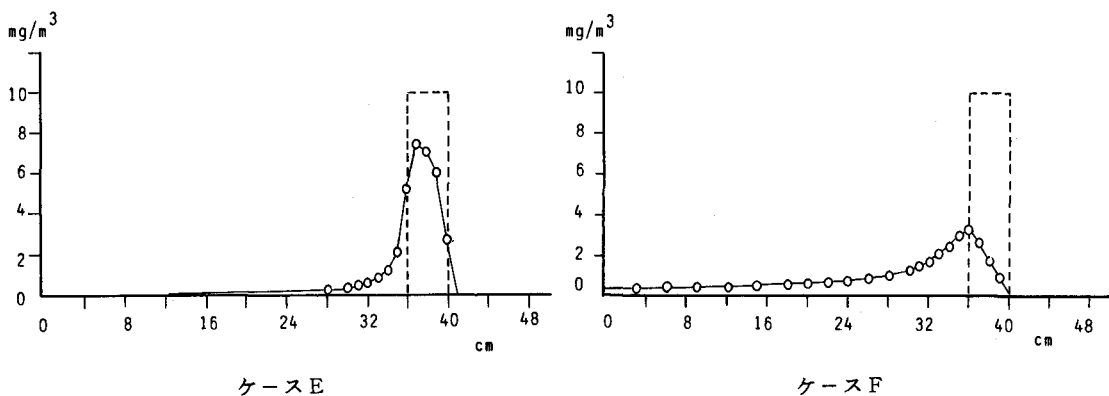


図-8 蒸発量分布図

まとめ

今回、数値解析により蒸発量計測に与える風の影響を調べた。その結果、蒸発量の大きい場所付近では、風速による影響が認められた。しかし、実際の坑道のような換気条件下では、風速も小さく多少の誤差を考えれば、ある程度蒸発量分布を計測することが可能であると思われる。今後、局所的に蒸発量の大きい部分の周辺の絶対湿度分布などを測定し、理論と比較することにより計測誤差をさらに精度良く評価してゆきたい。

参考文献

- 1) 渡辺邦夫、藍沢稔幸、小野誠、柳沢孝一、佐久間秀樹、山本肇、神田信之：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，vol.30,no.4,1989.
- 2) 渡辺邦夫、藍沢稔幸、柳沢孝一、Roland Pusch、佐久間秀樹、山本肇、神田信之：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2），応用地質，vol.31,no.1,1990.（受理印刷中）