

III-491

単一割れ目における蒸発量分布の特性
—情報エントロピーを用いて—

応用地質(株) 大野 博之
 埼玉大学工学部 渡辺 邦夫
 応用地質(株) 大塚 康範

1. はじめに

割れ目を含む岩盤における地下水流れは、その岩盤の水分特性曲線（飽和度—サクション圧—透水係数の関係）の解明や割れ目内部を流れる地下水のチャンネリング現象の把握など未解決点が多く、現実にあったモデル化ができていないのが現状である。こうした水分特性曲線やチャンネリングの問題を解明するために、地下水の流出部における蒸発量の計測とその分布特性の把握が重要である。

チャンネリングに関しては、割れ目系内の地下水の流れ経路を三次元管路網と捉えたモデル化¹⁾が試みられているが、チャンネルの位置や大きさの設定が問題となっている。こうしたチャンネルを管路網モデルで表す上で、単一割れ目における蒸発量の空間的な分布特性を数量的に表すことが課題となっている。

本研究では、単一割れ目における蒸発量を計測し、その分布特性を検討した。蒸発の生じている位置について、容量次元²⁾と呼ばれる量によって特徴付けることを試み、次に、蒸発量を情報エントロピーを用いて、情報次元²⁾と呼ばれる量によって特徴付けることを試みた。

2. 蒸発量分布を検討するためのフラクタル次元

検討対象は、蒸発の生じている位置の空間分布と蒸発量の偏りである。

蒸発の生じている位置の分布は、直線上のボックスカウンティング法³⁾で検討した。これは、蒸発が生じているかいないかを検討するものであり、計測した位置に制約されるが、ここではこの点については考えないこととする。直線を $1/n$ ($=\gamma$) に分割したとき、蒸発が生じている線分の数 $M(\gamma)$ として、

$$M(\gamma) \propto \gamma^{-D_0}$$

の関係にあるとき、この D_0 を容量次元（一般に広く用いられているフラクタル次元）と呼ぶ。別の表現をすれば、次式で表される。

$$D_0 = \lim_{\gamma \rightarrow 0} \frac{\log M(\gamma)}{\log (1/\gamma)}$$

これは蒸発量の多少は検討しておらず、蒸発が生じているかいないかしか検討していない。つまり、蒸発発生位置の直線上における空間分布に相当する。

一方、蒸発量の偏りは、ボックスカウンティング法によって被覆された部分の情報エントロピーを用いて検討した。ここに、情報エントロピー $H(\gamma)$ とは、

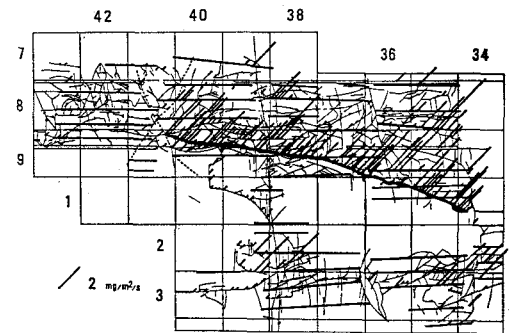


図-1 横坑壁面の蒸発量分布
太線部の割れ目を検討対象とした。

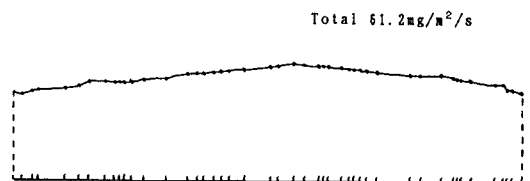


図-2 割れ目の直線近似と蒸発位置

$$H(\gamma) = -\sum_i p_i(\gamma) \cdot \log p_i(\gamma)$$

で表される。ここで、 $p_i(\gamma)$ は、 i 番目のボックスに含まれる蒸発量の確率である。一つの割れ目で計測された蒸発量の総量を T として、 i 番目のボックスに入る蒸発量を C_i とすると、 $p_i = C_i / T$ で確率が評価できる。この時、情報次元 D_1 を次のように定義する。

$$D_1 = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{H(\gamma)}{\log(1/\gamma)}$$

蒸発量が発生位置で一様であるならば、つまり、蒸発量がどこでも同じならば、 $D_1 = D_0$ となる。一般には、 $D_1 \leq D_0$ である。

3. 実測結果とフラクタル次元

横坑壁面における蒸発量の実測例を図-1に示す⁴⁾。この内、トレース長さの最も長い割れ目の蒸発量分布の特性を検討した。検討するに当たっては、図-2に示すように、割れ目をモデル化するとき直線の方が考え易いので、この割れ目を一本の直線と見なした。

前章に示した方法を用いて、各次元について検討した。この割れ目の総蒸発量 T は $61.2 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ であり、これより蒸発量の確率 p_i が求められる。この結果、容量次元 D_0 は 0.883 となり、情報次元 D_1 は 0.775 となる（図-3及び4）。

容量次元は、単一割れ目の割れ目全体から蒸発が生じているのであれば、1 となるはずである。ところが、本計測結果は 0.883 となりやや偏った部分から蒸発が生じていることになる。

さらに、情報次元が容量次元より小さいので、蒸発の生じている位置からの蒸発量にも偏りがある。つまり、蒸発量が極端に大きいところがあることを示している。

4. まとめ

以上の結果、単一割れ目の蒸発量分布の不均一性を容量次元及び情報次元で特徴付けられることが示された。こうしたことは、単一割れ目内部のチャンネリングをモデル化する際、これらの次元を用いることにより現実に近い管路網を設定できる可能性を示唆している。

参考文献

- 1) 渡辺邦夫・田中達也・内田雅大・中村直昭・岡田敏治(1993), 土木学会第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集。
- 2) 高安秀樹編著(1987): フラクタル科学, 朝倉書店。
- 3) 大野博之・小島圭二(1992), 応用地質, Vol.33, No.3。
- 4) Watanabe, K. (1991), Stripa project, 91-36

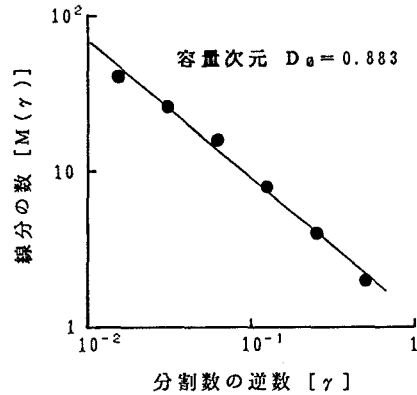


図-3 蒸発の発生位置と容量次元

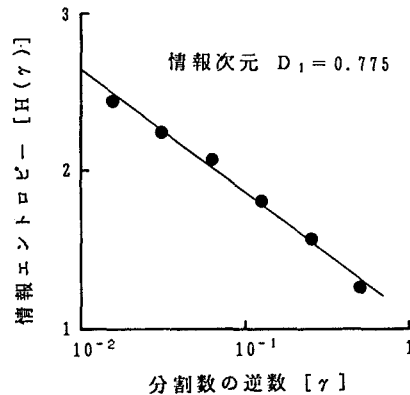


図-4 蒸発量の情報エントロピーと情報次元