

割れ目を円盤とパイプで近似した岩盤中地下水流動・溶質移行解析手法の開発

(財)電力中央研究所 正会員 田中靖治

1. はじめに

結晶質岩盤中の地下水流動・溶質移行状況を解析するために、従来、数多くの手法が開発されてきている。円盤あるいは多角形で近似した割れ目のネットワークを考慮した解析手法¹⁾は、一般に最も解析精度が高いと考えられている。しかし、多大な計算量を必要とし、割れ目数が多い場合の溶質移行計算には適さないと考えられる。本研究では、比較的少ない計算量で、割れ目ネットワークによる解析手法と同等の精度での計算を可能とする地下水流動・溶質移行解析手法を開発した。

2. 解析方法

今回開発した解析手法のフローを図-1に示す。本解析手法では、地下水流動に大きな影響を与えと考えられる割れ目のみ円盤状のままモデル化し、それ以外の割れ目はパイプ状にモデル化を行う。具体的には、割れ目半径あるいは透水量係数の閾値を設定して、閾値を超える割れ目についてのみ、円盤でモデル化する。

円盤状にモデル化する割れ目は、図-2に示すように、二次元要素により有限要素分割を行う。一方、割れ目をパイプ状にモデル化する場合、Cacas *et al.*²⁾と同様に、パイプは割れ目中心と割れ目交線の中点を結ぶ線分とし、断面積を有する線要素で近似する。

割れ目による水みちをパイプで近似する場合、図-3に示すように、割れ目 i 上のパイプの長さ L_i は、割れ目 i の中心と割れ目交線の中点との距離となる。パイプの横幅については、Cacas *et al.*²⁾は割れ目交線の長さに設定している。本研究では、割れ目の中心付近での流路の拡大を考慮して、流路を図-3の台形のように考え、その台形の面積とパイプの面積とが等しくなるように、パイプの横幅 w_i を次式のように設定することとした。

$$w_i = \frac{Tr_{ij} \cdot \sin \theta_i + 2r_i}{2}$$

ここで、 Tr_{ij} は割れ目 i と j との交線の長さ、 θ_i は割れ目交線の中点と割れ目 i の中心とを結ぶ線分と割れ目交線とのなす角、 r_i は割れ目 i の半径である。パイプの開口幅 b_i と透水係数 k_i は、元々の割れ目の開口幅と透水係数と同じ値とする。以上のパイプの長さ、横幅、開口幅、透水係数の値を、割れ目 i の中心と割れ目交線の中点を結ぶ線要素に与える。

3. 検証計算

本解析手法の有効性を確認するため、割れ目を含む仮想の岩盤

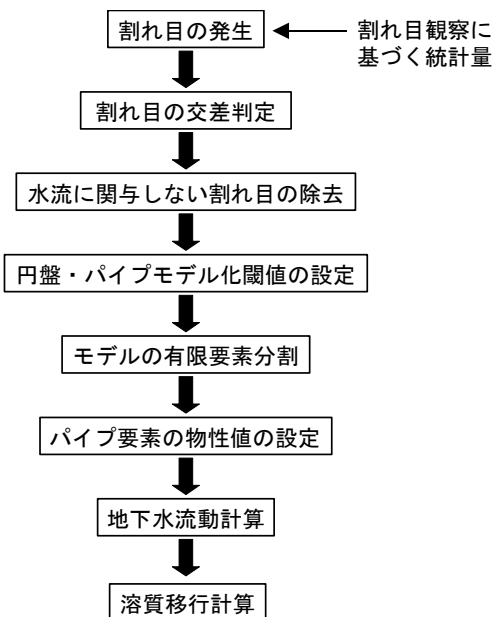


図-1 解析手法のフロー

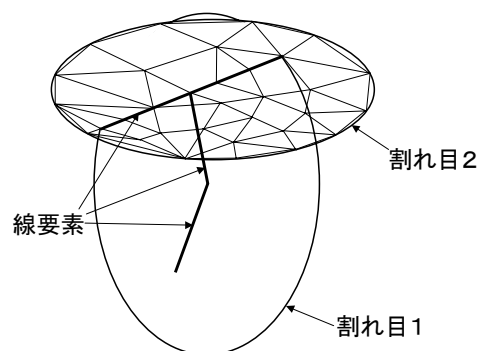


図-2 有限要素分割の例

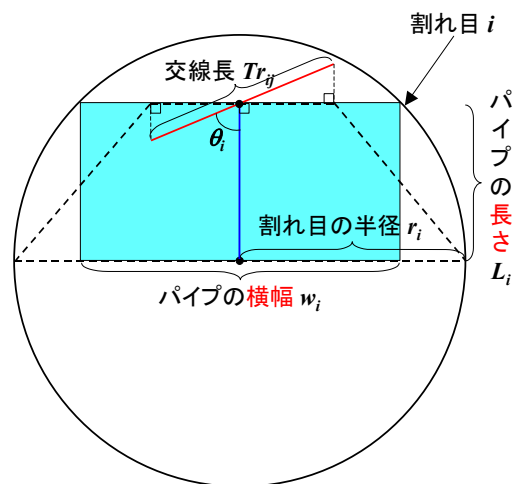


図-3 パイプの横幅の設定

キーワード：割れ目、数値解析、地下水流動、溶質移行、岩盤

連絡先：〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:04-7182-1181 FAX:04-7182-2243

を設定し、ケーススタディ計算を実施した。図-4に示すように、解析領域は一辺の長さが200mの立方体とし、半径5m以上の割れ目を確率的に2,000条発生させた。その際、発生させる割れ目の半径は、べき乗数3.5のべき分布にしたがうものとし、割れ目の方向はランダムとした。

設定した仮想岩盤に対して、まず、割れ目の交差判定を行った。その結果、 x 、 y 、 z のいずれの方向についても、2,000条中の902条の割れ目が、解析領域を横断する水流に関与することがわかった。

続いて、 x 、 y 、 z の三方向それぞれについて、割れ目半径の閾値を変えて、解析領域を横断する地下水流量を計算した。 x 方向の地下水流を計算する際には、 x 軸に直交する二つの断面の全水頭を、両者の水頭差が1.96MPa(20 mH₂O)になるように固定し、他の四つの境界面は不透水境界とした。

なお、すべての割れ目について、透水係数は 1×10^{-3} m/sec、開口幅は1 mmに設定した。割れ目半径の閾値を30mに設定した場合、 x 、 y 、 z いずれの方向についても、すべての割れ目を円盤でモデル化したケースと比較して、約12%の計算時間で、ほぼ同じ流量が得られた。なお、半径30mを超える割れ目は28条あり、地下水流に関与する割れ目902条の3%に相当する。

さらに、 y 方向の地下水流がある場合に、 $y=0$ の境界面のほぼ中央に一定量の溶質フラックスを10,000時間与え、解析領域内の溶質移行状況を計算した。その際、二次元要素での分散長を縦2m、横0.2mとし、線要素では分散長を2mに設定した。また、マトリクス部への拡散は考慮していない。計算により得られた $y=$

200mの境界面全体での溶質破過量の時系列変化を図-5に示す。なお、図では溶質の流出フラックス量を投入フラックス量で正規化して表示している。割れ目半径の閾値を30mに設定した場合、すべての割れ目を円盤でモデル化したケースと比較して、約6%の計算時間で、図に示すようにほぼ同様の破過曲線が得られた。

以上示したように、本解析手法によれば、比較的少ない計算量で、割れ目をすべて円盤で近似する手法と同程度の精度で、結晶質岩中の地下水流動と溶質移行の計算が可能となる。

4. まとめ

結晶質岩中の割れ目による水みちを円盤とパイプで近似する新しい地下水流動・溶質移行解析手法を開発し、その有効性を示した。今後は、マトリクス部への拡散・吸着現象を考慮できるように手法を改良するとともに、計算効率・精度の一層の向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 例えば Dershowitz, W. S., *et al.*: Discrete fracture modeling for the Stripa site characterization and validation drift inflow predictions, SKB Stripa Project TR 91-16, 1991.
- 2) Cacas, M. C., *et al.*: Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network: Calibration and validation, 1. The flow model, Water Resour. Res., Vol.26, No.3, pp.479-489, 1990.

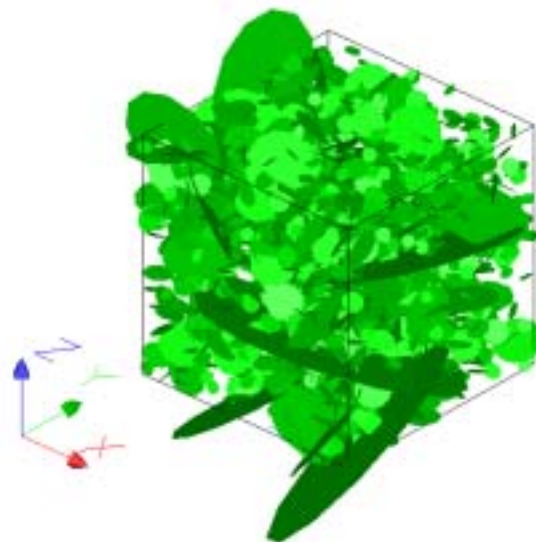


図-4 検証計算に使用した仮想岩盤

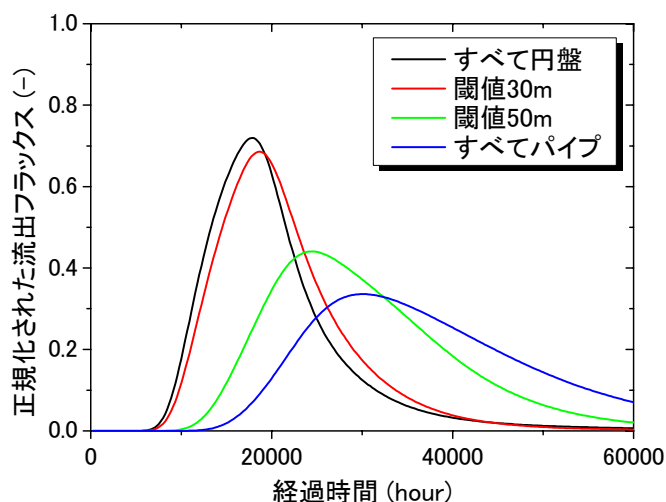


図-5 下流端面での溶質フラックス（投入されたフラックス量で正規化して表示している）