

原位置トレーサ試験機器の開発(3)-投入フラックスへの影響因子の検討-

電力中央研究所 正会員 田中 靖治

1. はじめに

原位置トレーサ試験においては、回収孔でのトレーサ破過曲線だけでなく、岩盤に投入されたトレーサフラックスの経時変化を正確に把握することが重要である。そのため、著者らが開発を行っている試験装置^{1),2)}では、孔内空隙を極力減らすとともに、トレーサ吐出口の直前部分で濃度を計測しているが、それでもその計測されたフラックスと岩盤への実際の投入フラックスとは完全には一致しないと推察される。ここでは、装置や試験条件が投入フラックスに与える影響を把握することを目的として、数値シミュレーションを実施した。

2. トレーサ投入用孔内装置

トレーサ投入用の孔内装置の概観を図1に示す。装置は直径 79 mm、長さ 165 mm の円筒形をしており、両端にはパッカーが取り付けられている。トレーサの吐出口は、孔内装置下端より 48 mm 上の側面上に 2 個、180° 回転した位置に設置されている。また、装置には回収口が設けられており、Radially converging test を実施する場合には、吐出流量と同流量で孔内水を回収することで、投入孔での水圧の上昇を抑えられるようになっている。回収口は、装置上端より 63 mm 下に 2 個、180° 回転した位置に設置されている。ただし、孔内でトレーサが均一に混ざるように、吐出口とは 90° 回転した位置関係にある。

3. 解析条件

ボーリング孔の直径は 86 mm とした。また、ボーリング孔には吐出口と回収口の間位置において、開口幅 0.1 mm の割れ目が垂直に交差しているものとする。モデル化する割れ目領域は一辺の長さが 50 cm の正方形とする。

解析には有限体積法に基づく解析コード FLUENT を使用した。流体の計算は Navier-Stokes の方程式に基づいて行われる。解析メッシュの全体図を図2に、割れ目とボーリング孔との交差部付近の拡大図を図3にそれぞれ示す。セル数は 1,415,174、節点数

は 1,572,643 である。なお、x 軸の方向は、トレーサ回収口の配列と一致する。解析ケースの一覧を表1に示す。吐出口・回収口の数 が 4 個ずつの場合は側面上に 90° ピッチ、8 個ずつの場合は 45° ピッチで配置する。

トレーサ溶液の密度、粘性係数は、トレーサ濃度に依存せず一定で、それぞれ 0.998 g/cc、 1.003×10^{-3} Pa·s とした。また、割れ目内の縦分散長は 5 cm、横分散長は 0.5 cm とした。

吐出口および回収口において常に一定流量の溶液が孔内に流入出する定常状態が保たれているとし、吐出口から流出する溶液の濃度は、ある時刻から 10 分間だけ 1 に保たれ、それ以外の時刻ではゼロに設定される。

キーワード トレーサ試験, 数値解析, 原位置試験, 地下水, 溶質

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財) 電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

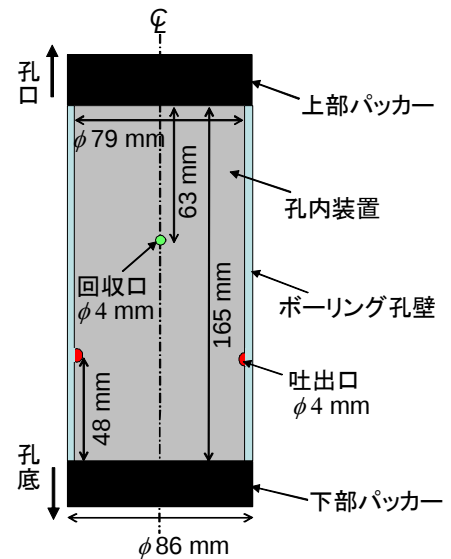


図1 トレーサ投入用孔内装置の概観

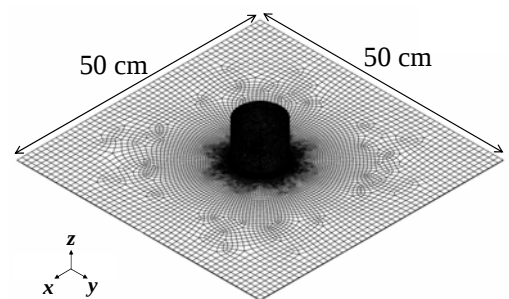


図2 解析メッシュ (全体図)

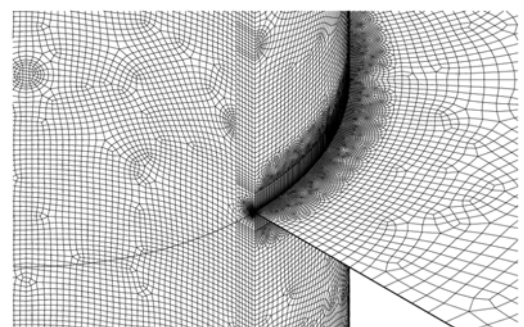


図3 解析メッシュ (割れ目とボーリング孔の交差部)

4. 解析結果

まず、ボーリング孔を通過する地下水の流量を計算したところ、23.16 cc/min であった。一方、割れ目内の平均地下水流速と孔径、割れ目開口幅との積は 12.59 cc/min であり、孔内装置を含むボーリング孔の存在により、1.84 倍の集水効果があることがわかった。

続いて、ボーリング孔から割れ目へ流出するトレーサのフラックスを計算した。その結果を図 4 に示す。なお、流出フラックス Q は次式により算出した。

$$Q = \int_A u Y dA$$

ここで、 A は割れ目と孔との交差面積、 u は流速ベクトルの交差面に垂直な成分で外向きを正とし、 Y は吐出濃度により正規化されたトレーサ濃度である。

Case 1 では、トレーサの吐出開始後 2 分程度でフラックスは 10 分後のフラックスの 90%、3 分後には 95% に達する。10 分後のフラックスは 23.16 cc/min であり、上記の地下水通過流量に等しい。これは、ボーリング孔から出て行く全溶液のトレーサ濃度が 1 になっていることを意味する。

Case 2 は割れ目内の地下水の流向が吐出口の配列に平行なケースであるが、立ち上がりやテールの部分の減衰が Case 1 より若干早くなっている。

Case 1, Case 3, Case 4 の比較から、流出フラックスは割れ目内の地下水流速に比例することがわかる。

Case 1, Case 5, Case 6 を比較すると、吐出・回収口を増やすことにより、立ち上がりやテールの部分の減衰は早くなるが、10 分後でも流出フラックスが定常に達していない。

Case 7 では、吐出量が地下水通過流量より少ないため、流出フラックスは吐出量に依存している。また、Case 1 に比べて、立ち上がりやテールの部分の減衰が遅い。

5. おわりに

数値シミュレーションにより、トレーサ投入装置や試験条件が岩盤への投入フラックスに与える影響を明らかにした。今後、原位置試験条件の設定や、吐出口の直前部分で計測した濃度から岩盤への投入フラックスを推定する際に、今回の成果を利用したい。

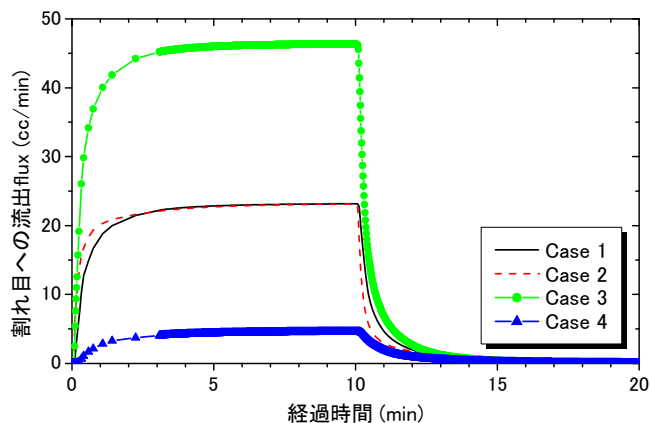
なお、本稿の内容は、経済産業省資源エネルギー庁より(財)電力中央研究所が受託し実施した「岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査」の成果の一部である。また、計算の実施にあたっては、(株)計算力学研究センターの佐藤勝氏に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

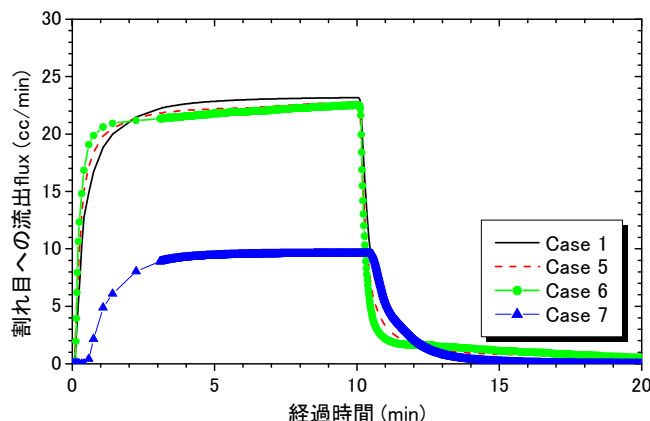
- 1) 中川他:原位置トレーサ試験機器の開発—孔内装置の検討—, 土木学会第61回年次学術講演会, pp.659-660, 2006., 2) 中川他:原位置トレーサ試験機器の開発 (2), 土木学会第62回年次学術講演会, pp.589-590, 2007.

表 1 解析ケース一覧

ケース名	地下水流向	地下水流速 (m/s)	吐出・回収口数	吐出・回収流量 (cc/min)
Case 1	x 方向	2.44E-2	各 2	100
Case 2	y 方向	2.44E-2	各 2	100
Case 3	x 方向	4.88E-2	各 2	100
Case 4	x 方向	4.88E-3	各 2	100
Case 5	x 方向	2.44E-2	各 4	100
Case 6	x 方向	2.44E-2	各 8	100
Case 7	x 方向	2.44E-2	各 2	10



(a) Case 1~4



(b) Case 1, Case5~7

図 4 割れ目への流出フラックス