

ポイント希釈試験による割れ目内地下水流量の測定精度の検討

電力中央研究所 正会員 ○田中 靖治

1. はじめに

著者らは岩盤の特に割れ目を介した物質移行特性を調査する原位置トレーサー試験技術の開発を進めてきた。ここでは、著者らが開発した装置により単孔式トレーサー試験の一種であるポイント希釈試験を実施した場合の岩盤割れ目内の地下水流量の測定精度について、数値解析による検討結果を報告する。

2. ポイント希釈試験と試験装置

ポイント希釈試験は、ボーリング孔の一部をパッカーで遮断することにより試験区間を構築した後、試験区間にトレーサーを注入し、試験区間を通過する地下水流によりトレーサーが希釈される速度を測定し、その希釈速度から解析解を用いて試験区間を通過する地下水の流量を推定する手法である(図1)。試験区間を通過する地下水の流量 Q_{bh} は、次式により算出される。

$$Q_{bh} = -V \cdot \frac{d \ln c}{dt}$$

ここで V は試験区間の容積(検討した装置では送水チューブの容積も含む)、 c は時刻 t の試験区間のトレーサー濃度である。

著者らが開発したトレーサー試験装置²⁾の孔内部の概観を図2に示す。試験区間は、ボーリング孔内でダブルパッカーにより上下を遮水することで構築され、区間長は160 mmとなる。試験初期に試験区間に注入されたトレーサーは、孔内装置に2個ずつ備えられた注水ポートと揚水ポート(坑道内のポンプに送水チューブで接続している)を用いて孔内水を循環することで、試験区間内

の水圧を周囲の岩盤内の平衡水圧に等しく保ったままで、試験区間内のトレーサー濃度を均一に保つことが可能である。循環による孔内水の攪拌がより良く行えるように、注水ポートは孔内装置の円周上の0°と180°の位置に、揚水ポートは90°と270°の位置に配置している。孔内装置は蛍光濃度センサーを内蔵しており、トレーサーとして非収着性の蛍光染料であるウラニンを使用した場合、試験区間の水を坑道内に戻した後に計測する方法に比べて、試験区間のトレーサー濃度を時間遅れ無しに直接計測することが可能となっている。

3. ポイント希釈試験の数値シミュレーション

解析モデルは、トレーサー試験装置の孔内部、ボーリング孔壁と試験対象割れ目を考慮した3次元モデルで

キーワード 岩盤、割れ目、地下水、トレーサー試験、数値解析

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (一財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

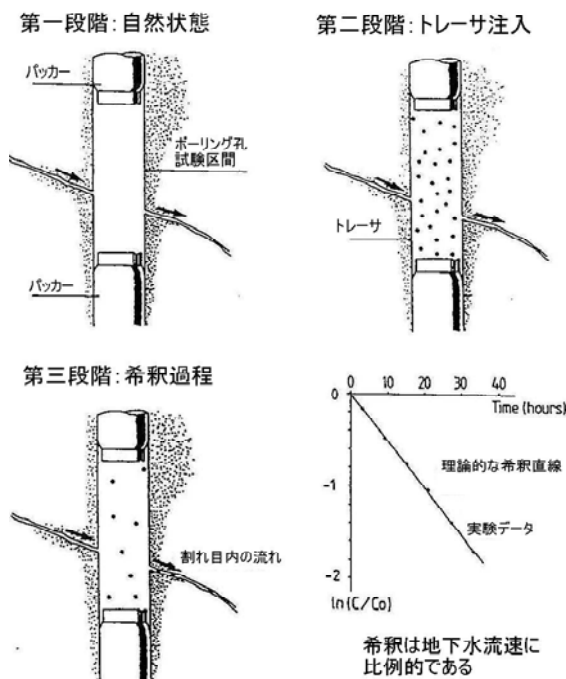


図1 ポイント希釈試験の測定原理¹⁾

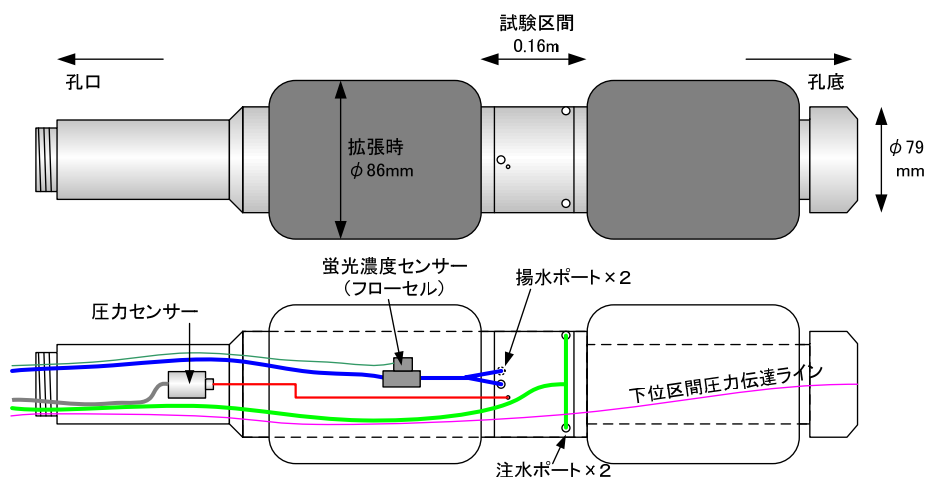


図2 トレーサー試験装置の孔内部

ある。ボーリング孔は直径 86 mm の円筒形、試験対象割れ目は縦 2 m、横 2 m の正方形で開口幅は 0.1 mm とした。解析メッシュの一部を図 3 に示す。解析には汎用の熱流体解析コード FLUENT を使用した。

解析条件と解析結果の一覧を表 1 に示す。解析はケース 1 を基本ケースと考え、割れ目内の地下水流れの流量や方向、循環流量、交差割れ目の位置、送水チューブの長さをパラメーターとして実施した。循環流量が小さいと推定流量は過大評価となり、大きいとやや過小評価となる。割れ目内流れの方向が装置孔内部に対し 45° や 90° の方向であっても、推定精度に影響はない。割れ目位置が注水ポートと揚水ポートの中央から 35 mm 程度ずれても推定精度に影響はほとんどないが、58.5 mm まで大きくず

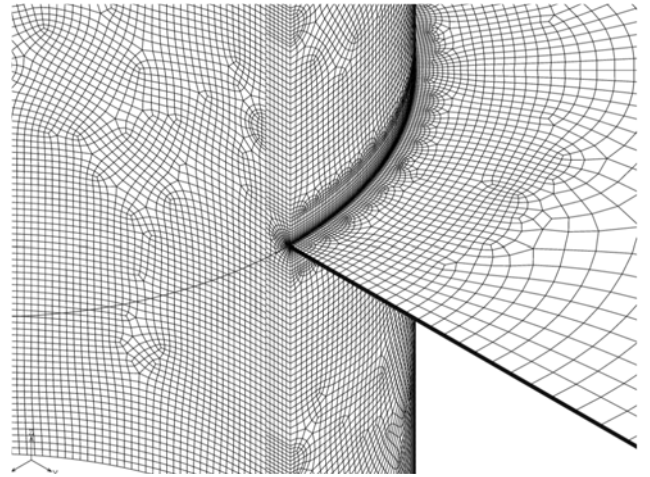


図 3 解析メッシュ（装置孔内部、ボーリング孔と割れ目との交差部のみを拡大して表示）

れると 26 % の過小評価となる。送水チューブ長が半分の 50 m になっても推定精度への影響はない。地下水流量が 1/2 の場合、循環流量も 1/2 であれば推定精度は変わらない。一方、地下水流量が 5 倍の場合、循環流量が 50 mL/min のままでは 11 % の過大評価となり、循環流量も 5 倍であると 10 % 程度の過小評価となる。

4. まとめ

数値シミュレーションの結果、地下水流の方向や送水チューブ長は地下水流量の推定精度に影響を与えないが、循環流量は推定精度に影響を与え、割れ目の交差位置も場合によっては大きく影響することがわかった。割れ目交差位置の問題は、事前にコア観察や BTV 孔壁観察により割れ目深度を特定すれば、孔内装置はロッドを用いて設置するので回避可能である。一方、地下水流量は事前にはわからないので、実際の現場では循環流量を変えた複数回の試験を実施することが望ましいと考える。なお、本稿の内容は、経済産業省資源エネルギー庁より（一財）電力中央研究所が受託し実施した「岩盤中地下水移行評価確証技術開発」の成果の一部である。

表 1 解析条件および解析結果一覧

ケース No.	地下水流量 q_s mL/(min・m)	循環流量 mL/min	地下水流向 —	割れ目位置 mm	チューブ長 m	推定流量 q_e mL/(min・m)	推定精度 q_e/q_s
1	5.00	50	0°	中央	100	5.03	1.01
2	5.00	20	0°	中央	100	5.87	1.17
3	5.00	30	0°	中央	100	5.37	1.07
4	5.00	40	0°	中央	100	5.13	1.03
5	5.00	100	0°	中央	100	4.68	0.94
6	5.00	50	45°	中央	100	5.00	1.00
7	5.00	50	90°	中央	100	5.06	1.01
8	5.00	50	0°	中央+20mm	100	5.00	1.00
9	5.00	50	0°	中央+35mm	100	4.88	0.98
10	5.00	50	0°	中央+58.5mm	100	3.71	0.74
11	5.00	50	0°	中央	50	4.95	0.99
12	2.50	25	0°	中央	100	2.52	1.01
13	25.00	50	0°	中央	100	27.85	1.11
14	25.00	250	0°	中央	100	22.50	0.90

参考文献

- 1) E.Gustafsson, et al. (2006): Groundwater flow measurements and SWIW test in borehole KFM08A, SKB P-06-90.
- 2) 中川加明一郎他 (2006) : 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、659～660.