

## 移流分散解析を用いた原位置トレーサー試験の評価手法の一考察

現場試験 トレーサー試験 移流分散

千葉工業大学	学生会員	○齋藤	裕己
同	学生会員	大瀧	修平
同	学生会員	能美	大希
同	国際会員	鈴木	誠
ダイヤコンサルタント	正会員	菱谷	智幸

## 1. はじめに

近年では、福島第一原子力発電所内の汚染問題など、地下水による汚染物質の広がりを取り扱う必要が生じてきた<sup>1)</sup>。このような、汚染物質の広がりを検討する上で、汚染水が地中をどのように広がっていくのかを把握・予測することは、対策の計画や作業環境を確保する上で重要となる。その際、一般的な方法としてトレーサー試験実施されているが、試験のみでは、汚染水の広がりを把握・予測することは困難となる。その場合、数値解析を含めた評価をすることで、より詳細な地盤内の状況や試験結果の評価をすることが可能となると考えられる。

そこで、本研究では原位置トレーサー試験を対象とした移流分散解析を実施し、得られた結果について考察する。

## 2. 評価方法

試験井戸を用いた塩水トレーサー試験を実施し、試験から得られた経時変化と試験結果を再現するようにパラメータを変化させ、数値解析より得られた経時変化および得られたパラメータの値から、試験および解析結果について考察した。

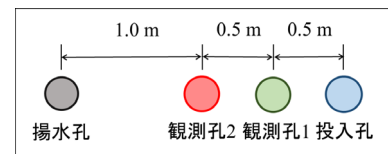


図-1 試験井戸平面図

## 2.1 原位置トレーサー試験

本解析において対象とした塩水トレーサー試験は、上位より盛土層、沖積粘性土層、洪積粘性土層、沖積礫質土層、洪積砂質土層がほぼ水平に堆積した地層に、図-1のような位置関係で作成した試験井戸のうち、南方向に位置する4本の試験井戸を用いてトレーサー試験を実施した結果とした。対象結果の試験方法は、揚水孔から一定流量(20L/min)で揚水し、各井戸の孔内水位がほぼ定常状態に達した後にトレーサー剤を投入する放射状収束試験<sup>2)</sup>を実施した。試験区間は、透水係数の値が $10^{-4}$ m/s程度で透水性が良好であった砂礫層とし、投入孔のGL-11~12mと観測孔および揚水孔のGL-11.5~12.5mに開孔率30%の有孔管を図-2のように設置して試験を実施した。測定は、各孔に設置した電気伝導率計により実施した。

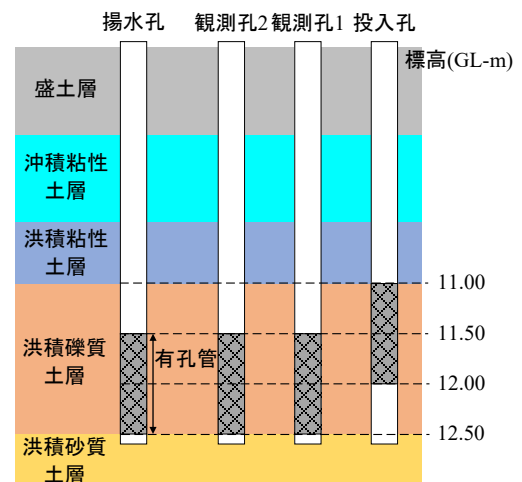


図-2 試験井戸断面図

## 2.2 移流分散解析

解析モデルは、平面2次元モデルを用いて、図-3のように揚水孔を中心に半径2.5m、中心角15度の扇形状のモデルとして作成した。メッシュは数値分散の影響を抑えるため、流動方向のペクレ数が2以下となるように、縦方向を0.3cm間隔、横方向を0.4cm間隔で分割した。透水係数の値は、4本の井戸を用いた揚水試験(定常状態)より算出した値 $3.39 \times 10^{-4}$  m/sを用い、有効間隙率の値は、井戸内を100%で固定し、地盤内は試験結果の経時変化の立ち上がりとピーク時間を再現するよう設定した。また、縦および横分散長の値も、地盤内の有効間隙率同様、試験結果の経時変化を再現するよう設定した値を用いた。境界条件は、モデル内周部(揚水孔壁)に揚水時の孔内水位、外周

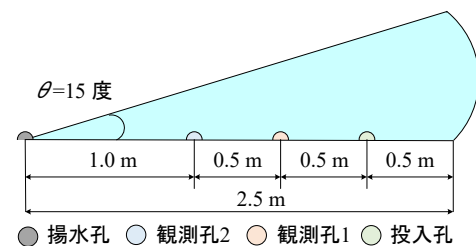


図-3 解析モデル概要図

部は定常井戸理論の式から投入孔と観測孔の水位が揚水時の水位となるよう算定した水位を水頭固定した。計算方法は、時間刻みをクーラン数が1以下となるように時間間隔を1.0秒と10秒で設定し、投入孔に試験時の電気伝導率の変化を、初期値を1.0として与え、各観測孔での変化が収束するまで計算し、計算された変化に試験結果の投入孔部分の最大電気伝導率を掛け、電気伝導率の変化で試験結果と比較した。また、解析での計算結果の濃度0.0の部分は、各深度において測定した試験開始前の電気伝導率を与え試験結果と比較した。

### 3. 結果

はじめに、実施した試験では、投入量に対して観測されたトレーサー量が少量であるため、平面2次元モデルを用いて、移流分散パラメータを変化させるのみでは、試験結果の再現が困難であった。そこで、試験結果の経時変化の立ち上がりとピーク時間を概ね再現するような移流分散パラメータを設定した後に、ピーク値を再現するように投入量を調整することで試験結果を再現するようなパラメータを推定した。また、調整した投入量は各観測孔における到達量と考えられるため、解析から各孔への物質の到達量を推測できると考えられる。

表-1に移流分散パラメータの値を示す。図-4は、電気伝導率計を観測孔1の有孔管下端から37cm、観測孔2の有孔管下端から26cmと46cmにて測定した際の試験結果と解析結果の経時変化を比較した図である。解析値は、投入量を100%とした時、投入量を観測孔1の37cmと観測孔2の46cmの場合15%、観測孔2の26cmの場合7%に調整した際の値を示している。

2つのグラフより、投入量を調整する手法を用いることで、試験結果を概ね再現することができた。また、観測孔1への到達量が15%であるのに対し、観測孔2の総到達量は22%となったことから、投入孔から観測孔1を通過せずに観測孔2へ到達する水みちが存在することが推測される。

解析より得られた各測定深度における有効間隙率の値は、砂礫層における一般値15~20%<sup>3)</sup>と比較すると、観測孔1の37cmと観測孔2の46cmで1.5~2.0倍、観測孔2の26cmで4.0~5.0倍程度一般値よりも大きな値となった。この結果より、対象層における水みちは直線的ではなく、土粒子間の屈曲や大きく回り込むようにして直線距離よりも数倍程度長い水みちが存在することが推測される。

解析より得られた分散長は、各観測孔において等しい値となった。したがって、地下水の経路が長くなっても、本検討対象においては影響が少なかった。

### 4. まとめ

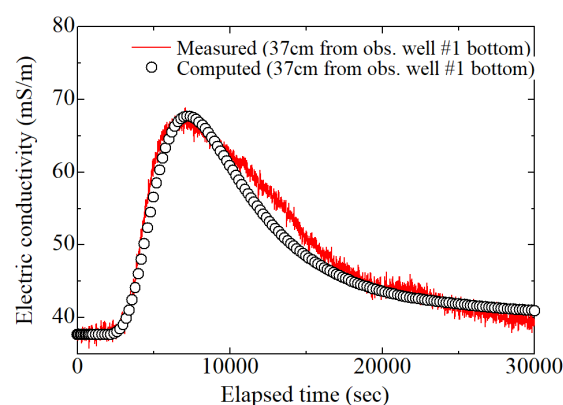
本研究において投入量を調整する評価手法を用いることで、各深度への物質の到達量を推測可能となった。また、各孔での到達量と推定された有効間隙率の値より、水みちの経路を定性的に評価することが可能であった。今後、地盤の不均質性を考慮した検討や定量的な水みちの検討を実施するためには、より高度な解析モデルを用いる必要があると考えられる。

### 5. 参考文献

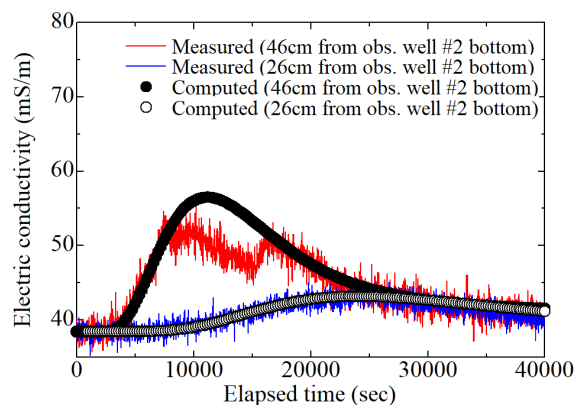
- 1) 日本地下水学会：地下水のトレーサー試験，第1章 原位置トレーサー試験概説，技報堂出版，pp.3-4，2009.
- 2) 日本地下水学会：地下水のトレーサー試験，第2章 原位置トレーサー試験計画，技報堂出版，pp.46-51，2009.
- 3) 日本地下水学会：地下水のシミュレーション，第3章 流れを支配するパラメータ，技報堂出版，p.87，2010.

表-1 解析に用いた水理定数

対象深度	観測孔 1 37cm	観測孔 2 26cm	観測孔 2 46cm
有効間隙率	30 %	80 %	30 %
縦分散長	$2.0 \times 10^{-2}$ m	$9.0 \times 10^{-2}$ m	$9.0 \times 10^{-2}$ m
横分散長	$4.0 \times 10^{-3}$ m	$9.0 \times 10^{-3}$ m	$9.0 \times 10^{-3}$ m



(a) 観測孔1の有効管下端から37cm



(b) 観測孔2の有効管下端から26cmと46cm

図-4 試験と解析の経時変化の比較