

概要調査の段階におけるボーリング調査の実証（その 3）
ー 詳細な水理試験解析による水理パラメータの不確実性低減事例 ー

(株)ダイヤコンサルタント 正会員 ○岩竹 要 森川佳太 細谷真一
鹿島建設(株) フェロー会員 瀬尾昭治 正会員 石橋正祐紀 三好貴子
(一財)電力中央研究所 正会員 長谷川琢磨 岡本駿一
原子力発電環境整備機構 國丸貴紀 西尾 光

1. はじめに

水理試験の解析は、均質媒体を前提とした理論式を用いるだけでなく、スキンや亀裂などを考慮したフローモデルを考慮することにより、取得した水理パラメータ（透水係数、比貯留係数など）の不確実性を含めた評価を行うことができる。本稿では、深度 720m まで掘削したボーリング孔（別稿(その 1)参照）で実施した単孔式水理試験を対象に、水理パラメータの不確実性評価に取り組んだ事例を報告する。

2. 水理試験の解析手順

本稿に示す水理試験では、水理試験（別稿(その 2)参照）と同時に現場で行った「理論式に基づく解析」に加えて、水理試験終了後に「簡易解析」、「標準解析」、「詳細解析」を段階的に実施した。表－1 に本調査での各解析における実施対象と実施目的などを示す。また、以下に解析の実施概要について示す。

- (1) **理論式に基づく解析**：理論式に基づく解析は、試験区間ごとの水理パラメータ（透水係数、比貯留係数）の概略値を推定することを目的としており、放射状水平流を仮定とした理論式を用いて透水係数などの水理パラメータを算出した。
- (2) **簡易解析**：簡易解析は、TNP（Transmissivity Normalized Plot）¹⁾と呼ばれる手法を用いて、理論式（放射状水平流）の妥当性を検証するとともに、標準解析に用いるフローモデルを選定した。
- (3) **標準解析**：標準解析では、選定したフローモデルを用いて、数値解析を実施した。具体的には、実測値（試験時の水圧）と理論値とのフィッティングにより水理パラメータの最適推定値を求め、各フィッティングパラメータを少しずつ変化させて再推定する摂動解析を 100 通り実施し、フィッティングパラメータの範囲から不確実性範囲を判定した。
- (4) **詳細解析**：詳細解析は、より詳細な解析を必要とする試験区間を対象に、亀裂を考慮したフローモデルを含めて 1000 通りの摂動解析を実施し、その結果に加えてフィッティング残差の統計解析結果から最適なフローモデルを選定し、水理パラメータの最適推定値と不確実性範囲を評価した。

3. 解析結果

簡易解析によりフローモデルを選定したのち、水理試験を実施した全区間に対して標準解析を実施した。

表－1 本調査での各解析における実施概要

解析段階	理論式に基づく解析	簡易解析	標準解析	詳細解析
実施対象	水理試験実施全区間			標準解析によりさらに詳細な解析が必要と判断した区間
実施目的	水理パラメータ概略値の推定	フローモデルの検討	水理特性の評価 ・最適推定値の判定 ・不確実性範囲の判定	水理特性の評価 ・フローモデルの再検討 ・不確実性範囲の低減
内容	理論式に基づく解析	TNPによる判定	・データ前処理 ・数値解析(フィッティング、摂動解析など)	・データ前処理 ・数値解析(フィッティング、摂動解析、統計解析など)

キーワード 実証研究，水理試験解析，透水係数，深度分布，不確実性

連絡先 〒331-0811 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 (株)ダイヤコンサルタント GE 事業本部 TEL048-654-3132

フローモデルは、ボーリング孔掘削や泥水等による影響を受ける内側領域「スキン」と外側の岩盤領域に分けた「スキンを考慮した放射状水平流フローモデル」(図-1)を用いた。詳細解析では、さらに割れ目を考慮したフローモデルを加えて数値解析を実施し、水理パラメータの最適推定値と不確実性範囲を評価した。これらの結果を整理し、理論式に基づく解析結果から作成した透水係数の深度分布(別稿(その2)参照)を図-2に示すように更新した。

4. 水理試験解析における不確実性範囲の定量化

ここで、不確実性範囲の定量化について詳しく記載する。標準解析では、データの前処理や実測値と理論値とのフィッティングにより水理パラメータの最適推定値を求めたのち、摂動解析により不確実性範囲を推定する。具体的には、各フィッティングパラメータを少しずつ変化させた際の実測値と理論値との残差二乗和を計算し、横軸に水理パラメータを、縦軸に残差二乗和をその最小値で除した正規化残差二乗和を取り、両者の関係をプロットする(図-3)。そして、正規化残差二乗和には経験則に基づいた一定の閾値(Cut-off value)を設け、正規化残差二乗和がこの閾値未満にプロットされる水理パラメータの範囲が最適推定値の不確実性範囲として定量化される。

深度140~420mまでの透水係数の不確実性範囲は、他深度の透水係数の不確実性範囲に比べて大きいことが分かる(図-2)。この要因として、パルス試験のみの実施で、得られる情報が少なかったことなど、試験手法に一部課題があることが、解析後の振り返りから考えられた。深度550m以深では試験手法の改善が図られ、解析結果の不確実性も低減させることができた。

5. おわりに

水理試験解析では、理論式に基づく解析だけでなく、簡易解析や標準解析、詳細解析を実施することにより、最適なフローモデルが選定できるとともに、水理パラメータの最適推定値およびその不確実性範囲を示すことが可能である。さらに解析結果から試験手法の改善を図ることができたため、水理試験の品質向上にもつながり、一連の解析は非常に有用であると考えられる。今回の調査は低透水性岩盤が中心であったため、今後は中~高透水性岩盤を対象とした本手法の適用性の検証を進める予定である。

参考文献

1) Enachescu, C., Freig, B. and Wozniwicz, J., Proc. NGWA Conference, Portland Maine, pp.173-184, 2004.

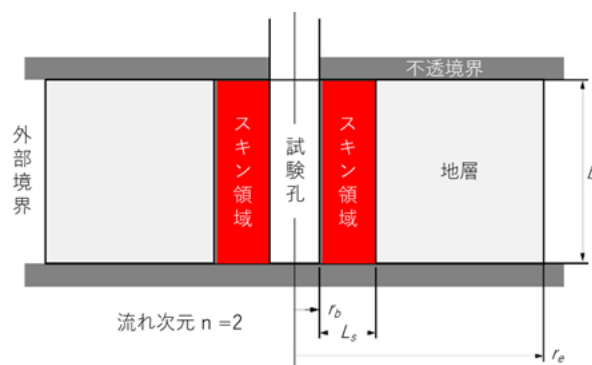


図-1 スキンを考慮した放射状水平流フローモデル

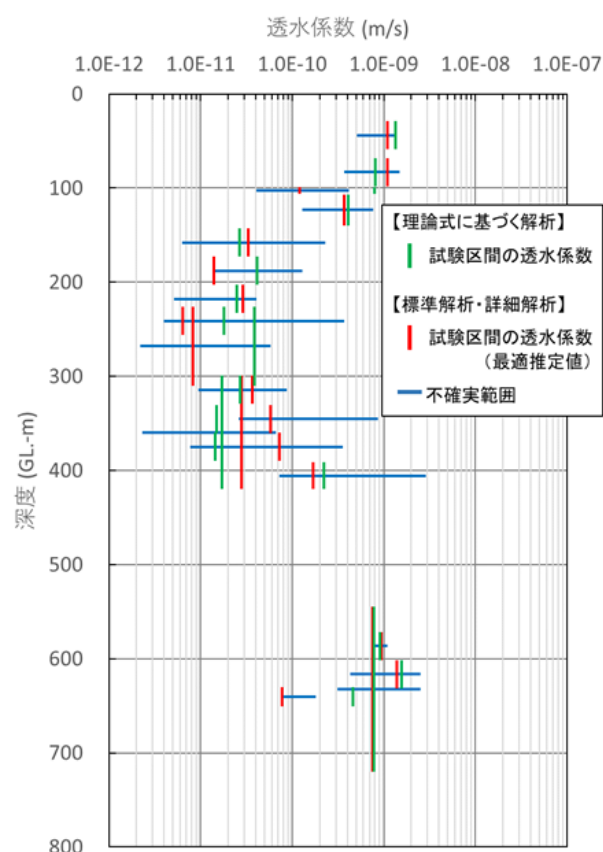


図-2 標準解析と詳細解析から決定した透水係数の深度分布

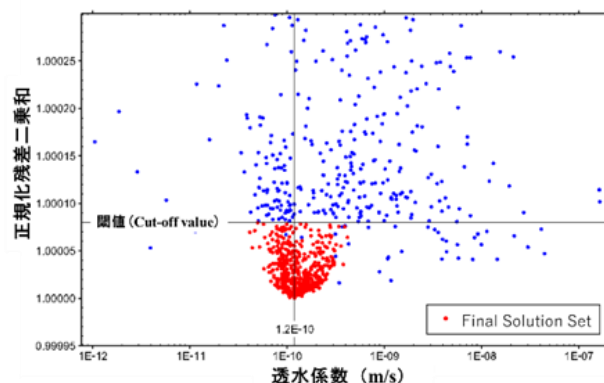


図-3 摂動解析による不確実性範囲の定量化