地下水流動解析の V&V のための一つの方法論について

清水建設(株)技術研究所　正会員　白石　知成

１．はじめに

近年，数値シミュレーションに対する品質保証の観点から，欧米で先行して検討されている V&V(Verification & Validation：検証と妥当性の確認)が重要視されており，国内では日本計算工学会が 2 冊のガイドライン[1),2)]を発行している．また，原子力施設に対しては，解析業務の品質向上ガイドライン[3)]も発行されており，これらは ISO9001 に準拠する形で「品質 V&V」としてとりまとめが実施されている．

一方，「用いている解析手法や手順が，解くべき問題に対して適切かどうかを評価する方法論」として「モデル V&V」が定義されるが，対象とする工学シミュレーションの分野によりその方法は変わると考えられる．

また，平成 26 年 6 月から土木学会の応用力学委員会において「土木分野の数値解析における V&V に関する小委員会」が活動を開始する．

このような状況を踏まえ，今後必要とされる地下水流動解析分野での V&V に着目し，現状の課題の中から従来は無視されていた地下水観測井を広域地下水流動解析モデルに簡易に考慮する方法について，V&V の方法論を議論するための 1 つとして紹介するとともに，今後の課題について示す．

２．現状の課題

広域地下水流動解析の対象となる地盤・岩盤は不均質性，不確実性を有しており，V&V に際して多くの課題が想定される．ここでは種々の課題の中から，水位・水圧データと解析結果の比較による妥当性の評価方法における現状の課題について着目する．

従来から地下水流動解析モデルの妥当性を評価する場合，地下水観測井から得られた水位，水圧，水質や，掘削に伴う湧水量（流量）などのデータと解析結果を比較する方法が用いられている．特に地下水位や水圧のデータは，比較的精度良く計測できる検証データとして認識されている．しかし，地下水観測井は地中に人為的に掘削された水みちとなる可能性がある．筆者の検討[4)]では，長尺のボーリング孔が周辺地下水流動に影響を及ぼすだけでなく，孔内の水位は掘削区間の平均的な水位となるため，観測水位が何を表すのか，明確にならなくなることを解析的に示した．すなわち，地下水位等の実測データに対しては，目的に合わせた適切な観測井システムの構築とデータ取得が課題と考えられる．

一方，地下水流動解析においては，境界条件となる揚水井や注入孔がモデル化されることはあっても，観測井がモデル化されることはほとんどない．広域地下水流動解析において，スケールの小さい観測井をモデル化するには，非常に細かいメッシュ分割が必要になるため，解析モデル規模の観点から現実的でないことが理由であろう．ただし，前述のように観測井であっても周辺地下水に対する水みちとして作用する可能性があり，測定区間の平均的な水位や水頭となるため，任意点の水頭値として得られる解析結果と実測データを比較する場合に，どのように比較することが適切か，については明確になっていないのが現状である．

現状の課題について以下に整理する．

① 実測データの信頼性：地下水位，水圧は何を表しているか？

② 解析条件として観測井の影響を無視して良いか？

③ 実測データと解析結果は直接比較できるのか？

３．一次元線要素を用いた観測井のモデル化方法

地下水調査はコストが掛かるため，安易に観測点の数量を増やすことは難しい．そのため，長尺ボーリング孔を利用した深部地下水の水圧計測では，測定区間長が数 10m になる場合も認められる．このような地下水観

キーワード　地下水流動解析，V&V，地下水観測井，モデル検証

連絡先　〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL(03)3820-8428

測の現状を踏まえ，解析モデルに観測井の影響を考慮することにより，実現象の再現とともに解析結果と実測データの比較が容易になると考えられる．そこで，筆者は三次元解析モデル内に観測井を一次元線要素でモデル化することにより，簡易に観測井影響を考慮できることを示した[5]．図１に示すような一次元線要素を，図２に示す三次元要素の境界辺上に配置することにより，観測井による水みち影響を考慮することができる．

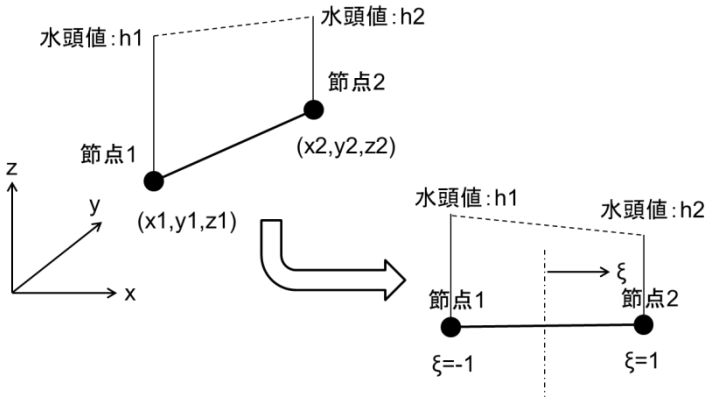

図１　三次元アイソパラメトリック線要素の座標系設定

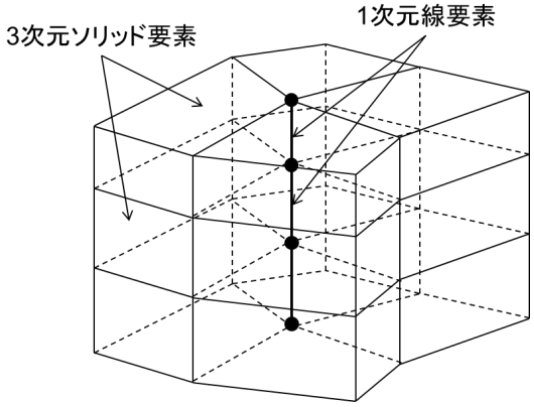

図２　三次元 FEM モデルにおける一次元線要素の考慮方法

上記の手法を用いることは，地下水流動解析モデルの V&V を適切に実施するための方法論を構築する上での解析からのアプローチ方法の１つとして考えることができる．今後はさらに手法を発展させ，三次元モデル上の任意点において観測井を考慮できる手法の開発に取り組む予定である．

４．今後の課題

地下水流動解析の V&V 方法論の構築にあたっての今後の課題について以下にいくつか紹介する．

① 流動場の概念モデル構築、物性設定方法と最適化検討（解析精度の向上）
　不均質性や不確実性の取り扱いの考え方，対応方法など

② 入力データと検証データの精度向上のための調査方法の見直しや最適化検討（調査精度の向上）
　地下水調査に係る全般的な課題であり，経時変化するデータの取り扱い方法など

③ 評価対象の分類と要求性能に合わせた V&V 方法論の構築（ガイドライン作成）
　求められる性能により V&V の手順が変わる可能性があるため，分野ごとの検討が必要

５．まとめ

本報告では，地下水流動解析分野の V&V 方法論を議論するにあたって，観測井の影響を解析的に考慮する方法について紹介するとともに，今後の課題を提示した．工学シミュレーションの V&V の動向を踏まえつつ地下水解析分野での V&V 研究を進めることが必要であろう．

参考文献

1) 日本計算工学会 : 日本計算工学会基準, 工学シミュレーションの品質マネジメント, JSCES-S-HQC001, 34p, 2011.
2) 日本計算工学会 : 日本計算工学会基準, 工学シミュレーションの標準手順, JSCES-S-HQC002, 20p, 2011.
3) 日本原子力技術協会：原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン, JANTI-GQA-01－第 1 版，12p，平成 22 年 12 月.
4) 白石知成，田中智典，西垣誠：ボーリング孔を考慮した 3 次元地下水流動解析結果の考察，日本地下水学会，2009 年秋季講演会講演要旨，p.8-13，2009 年 10 月.
5) 白石知成，櫻井英行，西垣誠：１次元要素による観測井モデルの適用性，日本地下水学会，2012 年春季講演会講演要旨，p.52-57，2012 年 5 月.