

三次元地質モデル逐次更新システムの地下水流動解析モデルへの適用性評価

清水建設（株）技術研究所 正会員 ○白石 知成, 高本 尚彦, 吉河 秀郎
清水建設（株）土木技術本部 地下空間統括部 正会員 福田 毅

1. はじめに

山岳トンネルは、他の工種と異なりトンネルを支持する主要な材料は、地山（岩盤）である。そのため、掘削を進めるにあたり、前方の地山の性状を迅速かつ的確に把握し、次施工にその情報を反映させることが極めて重要である。一般的にはこれを情報化施工と称し、山岳トンネル施工において実施されている。

著者らは、この情報化施工をより高度化し、かつ従来作業の省力化を目的として、「地山予報（地下水環境常時予測）システム¹⁾」を開発した。このシステムは、地山の前方探査情報をオンタイムに迅速かつ容易にBIM/CIMモデルに取り込める「三次元地質モデル逐次更新システム²⁾」を基本システムとしており、このシステム上で数値シミュレーション（浸透流解析）を都度実行している。一般にトンネル掘削時の力学的な影響はトンネル周辺3D（D：トンネル内径）程度であることが知られているが、湧水量予測に用いる水理解析モデルは、水理境界（分水界）、帯水層の連続性などの影響により広域に及ぶ可能性が高いため、力学解析モデルよりも領域が広がる。また、トンネル掘削時に得られる「地質調査・探査結果」から地質モデルの更新範囲を設定するにあたり、自動的あるいは半自動的に対応する場合には、得られた情報の外挿範囲を無限に設定することは難しい。この場合、総合的な判断に基づき水理地質構造モデルの再構築が必要となる。ここでは地下水流動評価の観点から、地質モデルの見直し範囲の違いが湧水量予測結果に及ぼす影響を把握するため、数値解析モデルによる感度解析を行った結果を報告する。

2. 数値実験モデル

図-1に山岳トンネル掘削時の坑内湧水量の予測解析モデルの1例を示すが、湧水量の変化が発生する地山条件（透水性）、モデル領域、トンネル掘削深度（土被り）などの複数条件を設定し、正解条件での坑内湧水量の算出結果との比較から地質モデルの更新範囲（再グリッド範囲）の違いによる影響の把握を試みた。

3. FEM解析モデル

図-2にFEM解析モデルの1例を示す。格子状のFEMメッシュを用いて地質構造、トンネル（10m矩形）をモデル化し、10m/1日、200m掘削（20日）の非定常地下水流動解析手法（Dtransu3D-EL³⁾）を用いて検討した。

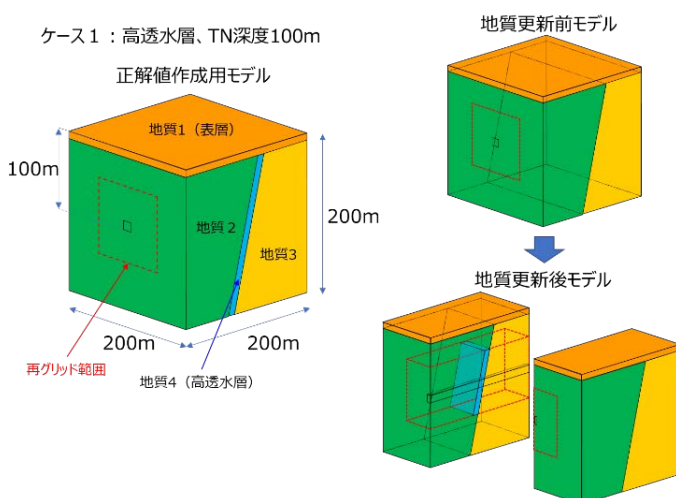


図-1 数値実験モデルの1例

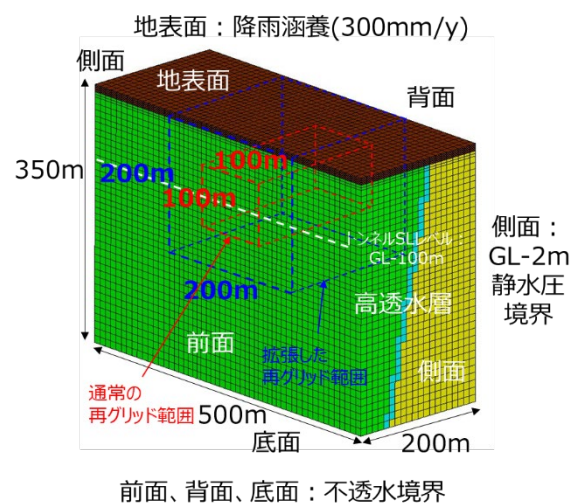


図-2 FEM解析モデルの1例

キーワード トンネル掘削 地下水流動解析 地質モデル逐次更新 情報化施工

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 090-2673-7228

4. 数値実験条件と解析結果

表-1 に数値実験条件と解析結果の一覧を示す。なお、湧水量は坑道全体からの湧水量の算出結果である。

表-1 数値実験条件と解析結果

ケース名	解析モデル サイズ	トンネル 深度	再グリッド 範囲	高透水層 の角度	検討対象	透水係数(m/s)					解析結果(20日目) の湧水量(m ³ /day)
						地質(表層)	地質2	地質3	地質4(高透水)	遮水層	
ケース1	case1	200m ×	(正解条件)	高角	高透水層とそ の角度の影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-05	(—)	2,224.1
	case1-m1	200m ×	(高透水なし)								206.7
	case1-m2	200m	100m × 100m								498.3
ケース2	case2	200m ×	(正解条件)	高角	高透水層とそ の角度の影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-05	(—)	1,048.5
	case2-m1	200m ×	(高透水なし)								114.4
	case2-m2	200m	100m × 100m								421.9
ケース3	case3	200m ×	(正解条件)	低角	高透水層とそ の角度の影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-05	(—)	2,736.0
	case3-m1	200m ×	(高透水なし)								191.7
	case3-m2	200m	100m × 100m								564.4
ケース4	case4	200m ×	(正解条件)	低角	高透水層とそ の角度の影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-05	(—)	1,291.1
	case4-m1	200m ×	(高透水なし)								107.6
	case4-m2	200m	100m × 100m								484.1
ケース5	case5	200m ×	(正解条件)	(なし)	地質境界影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	(—)	(—)	206.7
	case5-m1	200m ×	(地層2のみ)								52.5
	case5-m2	200m	100m × 100m								148.4
ケース6	case6	200m ×	(正解条件)	(なし)	地質境界影 響, 土被り	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	(—)	(—)	114.4
	case6-m1	200m ×	(地層2のみ)								27.2
	case6-m2	200m	100m × 100m								99.1
ケース1w	case1-w	500m ×	(正解条件)	高角	高透水層, 土 被り, モデル 領域拡張, 再 グリッド 範囲拡 張	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-05	(—)	1,767.6
	case1-w-m1	350m ×	(高透水なし)								205.1
	case1-w-m2	200m	100m × 100m								486.7
	case1-w-m3	200m	200m × 200m	1,137.3							
	case1-w-100m	500m ×	(正解条件)	高角	高透水層, 土 被り, モデル 領域拡張, 再 グリッド 範囲拡 張	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-06	(—)	730.8
	case1-w-100m-m1	350m ×	(高透水なし)								404.0
	case1-w-100m-m2	200m	100m × 100m								549.4
	case1-w-100m-m3	200m	200m × 200m	664.2							
	case1-w-100mLP	500m ×	(正解条件)	高角	高透水層, 遮 水層, 再グリッ ド 範囲拡張	1.00E-06	1.00E-08	1.00E-07	1.00E-06	1.00E-10	730.6
	case1-w-100mLP-m1	350m ×	(高透水なし)								403.9
	case1-w-100mLP-m2	200m	100m × 100m								549.3
case1-w-100mLP-m3	200m	200m × 200m	663.5								

主要な結果を以下に記す。

- ① 高透水層の傾斜角度の影響は小さく、地表付近まで再グリッド範囲が近づくほど湧水量は正解値に近づく。(case2-m2, case4-m2: 共に正解値の約40%の湧水量であるが、正解値の約半分を予測することができれば、現場対応のための予測精度としては十分と考えられ、再グリッドが有効であると言える。)
- ② 高透水層がない場合、土被り厚さに関わらず100mの再グリッド範囲を更新することによって、正解値の70%以上の湧水量を再現できる。(case5-m2, case6-m2の結果より、再グリッドが有効であると言える。)
- ③ 高透水層がある場合、再グリッド範囲を拡張した場合(100m→200m)の方が正解値に近づく。①と同様に地表付近まで再グリッド範囲が近づく効果(降雨の影響を含む)と、水平方向への拡張効果が考えられる。(正解値の湧水量に対して、case1-w-m2: 28%, case1-w-m3: 64%であり、再グリッド範囲が広い場合に精度が良くなる。高透水層の連続性をモデル更新でどの程度反映できるか、が湧水量への影響となる。)

5. おわりに

本検討から、湧水量予測の観点からもトンネル近傍の有限領域に対する三次元地質モデルの見直しが有効であることがわかった。この知見をもとに、三次元地質モデルの逐次更新範囲を見定め、実際の現場での適用性を繰り返し評価しながら、湧水量予測の精度向上に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 福田毅, 吉河秀郎, 細野賢一, 岩永昇二, 佐ノ木哲: デジタルツインを基本とした地山予報(地下水環境常時予測)システムの開発, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, VI-198, 2021.09.
- 2) 吉河秀郎, 福田毅, 松尾勝司: 三次元地質モデルの逐次更新方法の提案, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, VI-199, 2021.09.
- 3) 菱谷智幸, 西垣誠, 橋本学: 物質移動を伴う密度依存地下水流の3次元数値解析手法に関する研究, 土木学会論文集, 638(III-49), 59-69, 1999.