

マルチレベルボクセルを利用した地盤のモデル化と地下水流動解析

ハザマ 正会員 ○山下 亮
ハザマ 正会員 塩崎 功

1. 背景と目的

地下水流動解析等のための数値モデルは地質図等をベースに作成されるが、3次元的に複雑な地層をモデル化には膨大な時間が必要となることがあり、調査により新たな情報が加わった場合や構造物のレイアウトを検討するためには、さらに多大の労力を使つてのモデルの修正作業が必要となる。モデル作成の自動化については、様々な研究が行われており、小さな立方体要素を用いて形状近似を行うボクセル解析法もその1つである。同じサイズの要素を用いる場合、要素数が膨大になるため、鈴木ら¹⁾は、マルチレベルボクセルを用いた有限被覆法を提案し、様々な問題に適用を試みている。また、理化学研究所の「ものづくり情報技術統合化研究」ではV-CADと呼ばれるマルチレベルボクセルをベースにしたシステムの検討が進められている²⁾。ここでは、こうしたマルチレベルボクセルを用いたモデル化と地下水流動解析への適用について検討を行った。

2. モデル化手法

マルチレベルボクセルでは、局所的に形状の近似精度を上げることが可能であり、全体モデルの節点数、要素数を抑制できることにある。例えば、浸透流解析の場合、地層中で透水性の大きな（あるいは小さな）地層や破碎帯が存在し、それらが主要な水みちあるいは不透水層となって、地下水流動系全体に大きな影響を与える可能性がある場合、地層・破碎帯の連続性については確実にモデルで表現されることが重要となるが、マルチレベルボクセルによるモデル化では、そのような地層や破碎帯の近傍の要素分割を必要なだけ細分化して、適切にモデル化することが可能である。マルチレベルボクセルでは、8分木分割と呼ばれる手法で基準となるボクセルを細分化してゆく手法が用いられ、隣接するボクセルの大きさが急激に変化しないように制御される（図-1 参照）。

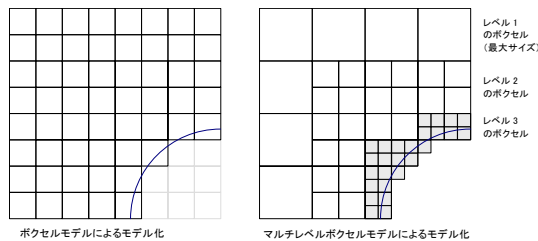


図-1 マルチレベルボクセルモデルの概念

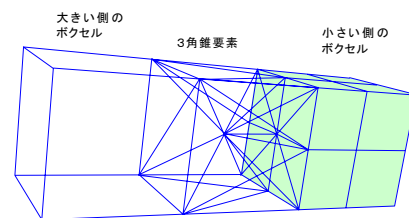


図-2 節点の連続性を保つための処理

また、要素サイズが変化する境界においては、要素間の連続性を確保するために、図-2に示すように大きい側のボクセルの重心に節点を1つ追加し、その節点を利用して3角錐要素に分割する手法を用いた。細分化するための情報として、解析対象である地質区分の境界面や地下空洞などの構造物の形状データが必要となる。形状はポリゴンの集合として定義し、ボリュームの定義はポリゴンに対しての上下関係等で行った。

3. モデル化と地下水流動解析事例

開発した手法の適用性を確認するために、例題解析を行った。精度検討のために、通常の方法で地層をモデル化した場合についても解析を実施した。検討に用いたモデルは、図-3に示すように、低透水層が存在する地層の下に地下空洞を掘削した場合の一部を切り出したモデルである。このモデルにあるような薄い低透水層が存在する場合、その影響によって、地下空洞の湧水量に大きな影響を与えられと考えられる。通常メッシュを図-4に示す。最大サイズのボクセルサイズは同じとして、細分化の粗さを変えた複数のモデル（図-5～6）により、比較検討を行った。ボクセルを利用した場合、節点数・要素数は通常の分割に比べてかなり多くなる傾向にある。また、最も小さいレベルの単一サイズのボクセルで分割する場合、マルチレベルボクセルを用いた場合の

10 倍程度の節点数・要素数となる。解析結果は、通常の解析メッシュであるモデル1による解析結果を正解として、ボクセルモデルによる解析結果を評価した。各モデルの $y=5m$ 断面での全水頭分布のコンターを図-7に、湧水量の解析結果一覧を表-1 に示す。

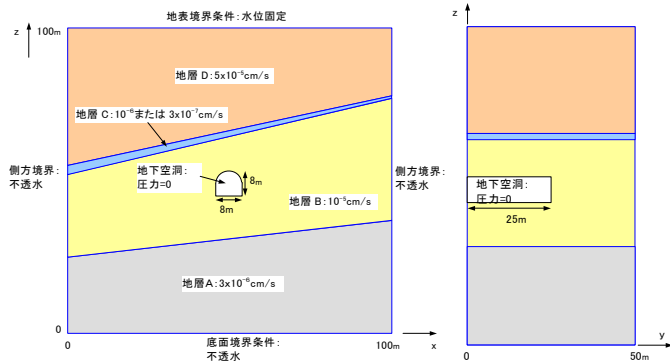


図-3 比較検証のための例題（正面図と側面図）

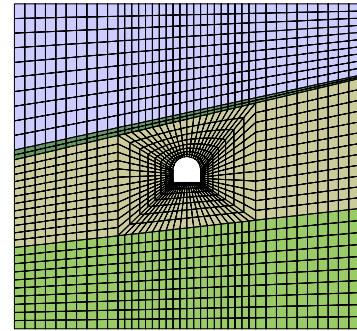


図-4 モデル1

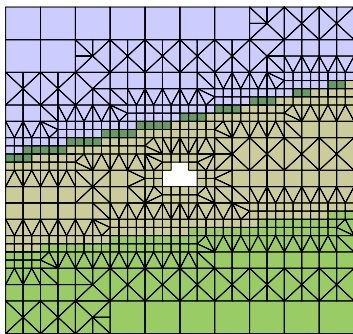


図-5 モデル2（粗）

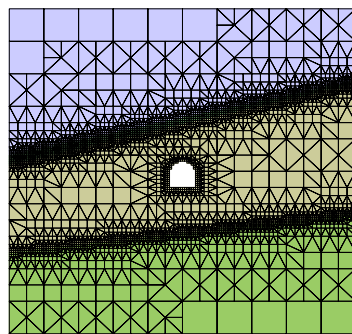


図-6 モデル4（細）

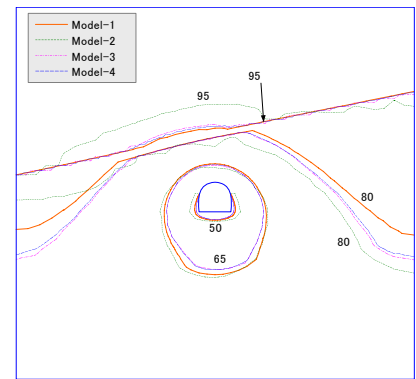


図-7 全水頭分布（ケース1）

表-1 湧水量の比較

	ケース1		ケース2	
	湧水量 (m^3/min)	誤差 (%)	湧水量 (m^3/min)	誤差 (%)
モデル-1	1.75×10^{-2}	—	1.16×10^{-2}	—
モデル-2	2.15×10^{-2}	23.1	2.06×10^{-2}	77.0
モデル-3	1.76×10^{-2}	0.6	1.27×10^{-2}	9.3
モデル-4	1.74×10^{-2}	-0.6	1.21×10^{-2}	3.9

地下空洞への湧水量の比較では、ケース1においてモデル-2 以外はモデル-1 とほぼ同じ湧水量が得られている。モデル-2 では低透水層が連続した形でモデル化できておらず、湧水量はモデル-1 に比べてかなり多くなっている。また、ケース2では、モデル-2～モデル-4 のいずれもモデル-1 との差が大きくなっており、ボクセルサイズの細分化レベルが大きいほど、その差は小さくなる傾向にある。また、モデル-1 との差は、モデル-3 で約9%、モデル-4 で約4%であり、十分に良好な精度であると言える。

これらの結果から、本手法によりモデル化を行う場合、低透水層などの影響の大きい領域の連続性が保たれるようにボクセルの細分化を制御することが必要であり、特に低透水層が周囲に比べて著しく小さな透水性である場合には特に重要であることがわかった。また、ケース2のように透水性のコントラストが大きい場合、誤差が大きくなる傾向があり、より細分化のレベルを大きくしたモデルとすることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

複雑な地質構造を効率的にモデル化・解析するための手法としてマルチレベルボクセルを用いたプログラムを開発した。地下空洞への湧水問題に適用した結果、透水係数などの物性値が大きく異なる領域を十分細かいレベルまで細分化すれば、このモデル化手法によって十分に良好な精度の解析結果（全水頭分布、湧水量）が得られることを確認した。

参考文献

- 1)鈴木克幸 他：マルチレベル有限被覆法によるアダプティブ浸透流解析、応用力学論文集、Vol.5、263-269、2002.8.
- 2)理研シンポジウム ものづくり情報技術統合化研究（第5回）、2005.6.