

境界要素法の地層処分における 地下水流動解析への適用性に関する一考察

清水建設 技術研究所 正会員 熊坂博夫

1. はじめに

地層処分の安全評価では放射性物質が地下水により処分場から人間環境に運ばれる可能性について検討がなされる。このため、処分場近傍を対象としたニアフィールドから、人間環境への広域な移行を対象とする検討など、その目的に応じて様々なスケールのモデル領域による地下水流動解析が行われる。これらの解析では、主に有限要素法(FEM)や差分法(FDM)などの領域を有限な要素に分割する領域分割型の解法が用いられている。

一方、解析対象の複雑な地質構造に伴う入力データの作成作業の増大を軽減できるメリットを有することや主にポテンシャル問題である定常解析に適用性が良いことから、境界分割型の境界要素法(BEM)の活用は有効であると、著者は考えている^{1),2),3)}。しかし、地層処分の検討において、本解法による事例はほとんど見られない。そこで、本報告では幾つかの解析事例を示し、この解法の適用性を検討するとともに、活用にあたっての課題とその対処策について考察したので報告する。

2. 境界要素法の特徴 BEMは領域分割型のFEMと比較すると、①地層・地下施設の表面(境界)のみを要素分割するので、データの作成が容易であり、モデルの品質も向上する、②領域内部の要素を必要とせず、任意の位置のポテンシャル、流速が得られる、③解析的な計算であるため解は高精度である、④無限領域の解析が比較的容易などの長所がある。一方、短所としては、⑤連立一次方程式が大規模な非対称密行列となり、記憶容量や計算時間の制約を受ける、⑥基本解による積分など数学的手続きの度合いが大きい、⑦実務への適用実績が少ないなどがあげられる。

3. BEMの適用性に関する検討と考察 サイト選定や安全評価における地下水流動解析では、わが

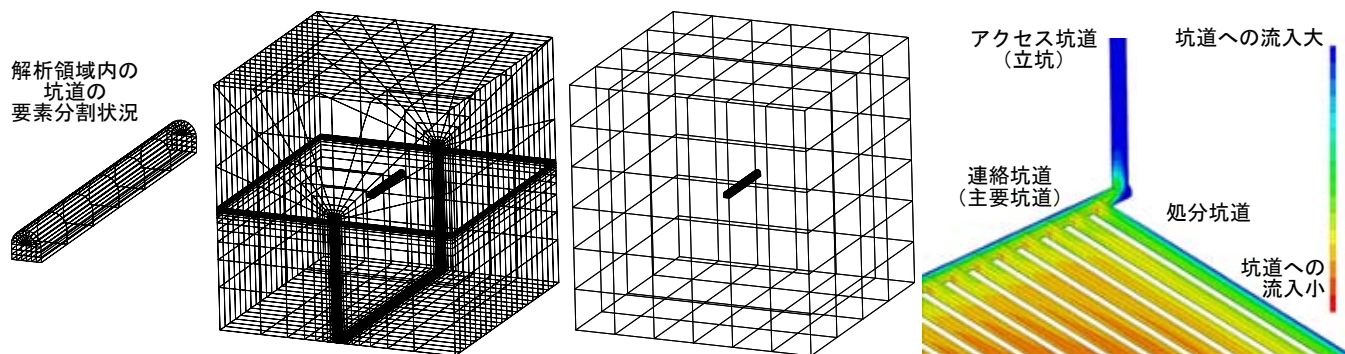
国の地層構成が複雑であることやその地層内に処分坑道などの坑道群を考慮した複雑で大規模なモデルによる解析が行われるようになってきている。この解析対象の詳細なモデル化のニーズに対し、前述の領域分割型解法では、質の高いモデルの作成作業は大きな負荷となっている。

FEMとBEMの外部境界の要素分割の比較例を図-1に、BEMによる処分坑道群を考慮した解析例を図-2に示す。図-1に示されるようにBEMでは外部の境界の要素分割は内部の坑道の要素分割の幾何学的な影響を受けないことや図-2に示すように坑道の要素分割は簡便となり、より詳細な地下水流動状況の把握が容易となることがわかる。

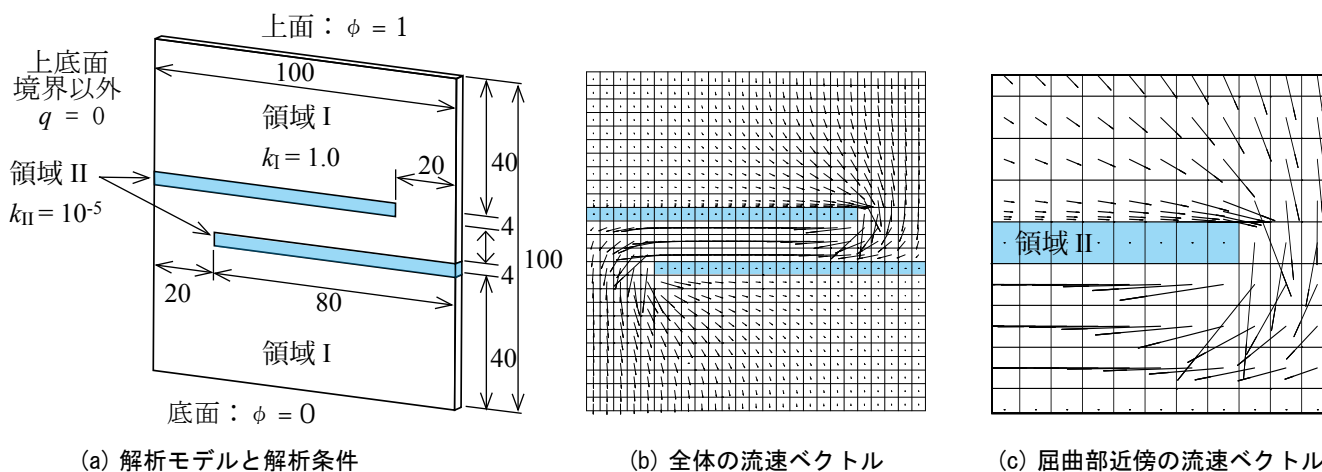
安全評価では地下水流動にともなう核種の移行の高精度な予測解析が求められることから、最近、FEMでは連続な流速分布を精度良く求めることが話題となり、色々な取り組みがなされているようである。BEMによる屈曲した流れ場をもつ地下水流動解析例を図-3に示す。BEMでは内部要素を必要とせず、領域内の任意の位置で、流速ベクトルの大きさや方向を求めることができ、FEMのような要素間の流速の不連続性は生じない。

これまで、BEMが実務で利用される機会が少なかった理由の一つに、大規模な解析に対してハードの制約が大きいと考えられてきた。この点に関しては、立方体のモデルによる解析規模(自由度数)と解析時間および解析精度の検討例を図-4に示す。図に示すように従来型の定式化による解析手法であっても、FEMの数百万自由度に相当する解析が高精度で計算可能であることがわかる。また、より大規模な解析には高速多重極展開法の活用による解析時間の短縮が期待できる。

4. まとめ 地層処分などの安全評価を行う上



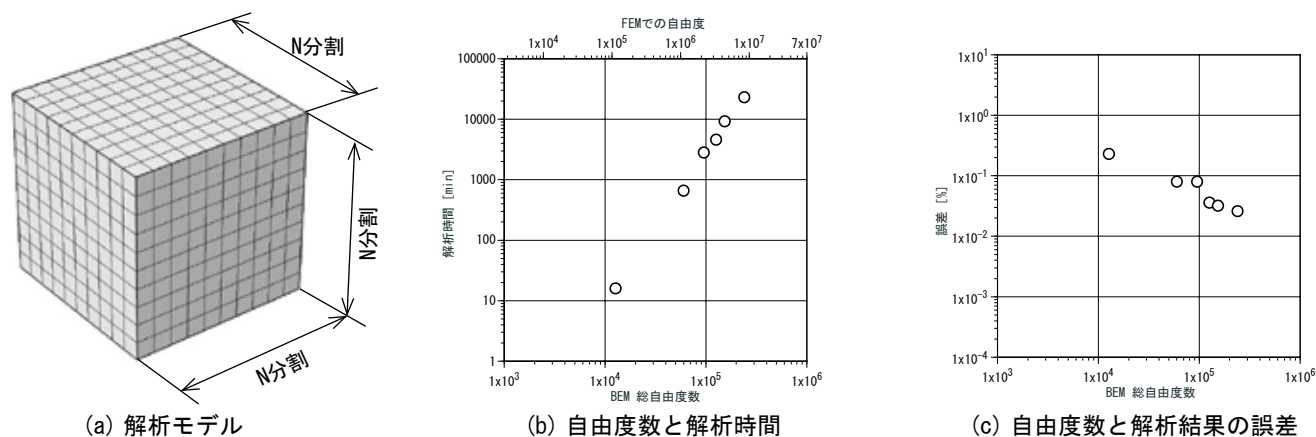
(a) 内部要素分割 (b) FEM の外部要素分割状況 (c) BEM の要素分割状況

図-1 FEM と BEM の外部境界の要素分割の比較例³⁾図-2 処分坑道群を考慮した解析結果の例
解析結果の例

(a) 解析モデルと解析条件

(b) 全体の流速ベクトル

(c) 屈曲部近傍の流速ベクトル

図-3 BEM による屈曲した流れ場をもつ地下水流動場の解析例³⁾

(a) 解析モデル

(b) 自由度数と解析時間

(c) 自由度数と解析結果の誤差

図-4 立方体モデルによる解析規模(自由度数)と解析時間および解析精度の検討例

で、地下水流動状況の把握は重要である。また、解析手法の違いは、定式化の違いによる影響とともに、解析モデルの離散化(要素分割)方法の違いによる影響によって、自ずと各々の解析手法の特徴(クセ)をもつ結果が得られる。そのため、各々の解析手法で解の精度の向上を図っても、得られる解の特徴(クセ)は残っている可能性がある。このため、多様な解析手法による多面的な検討を

行ない、解析結果の評価の信頼性の向上を図る上で、FEMとは異なる特徴をもつBEMを活用することも有効であるといえる。

参考文献 (1) 熊坂：第37回岩盤力学に関する国内シンポジウム，pp.233-238，2008。(2) 熊坂：第12回岩の力学国内シンポジウム，pp.245-251，2008。(3) 熊坂：第41回岩盤力学に関する国内シンポジウム，pp.270-275，2012.1。