

MBC モデルによる不連続性岩盤の三次元変形・浸透流解析

鹿島建設（株）正会員 田部井 和人 正会員 森川 誠司
 鹿島建設（株）正会員 立川 伸一郎 正会員 岩野 圭太
 鹿島建設（株）正会員 森 孝之 正会員 日比谷啓介
 東京大学 正会員 堀井 秀之
 香川大学 正会員 吉田 秀典

1. はじめに

近年、放射性廃棄物地層処分における天然バリアやエネルギー地下備蓄基地における水封システムなどのシーリングシステムの信頼性を高精度に評価することが求められている。この場合、岩盤の等価連続体モデルの一種である MBC(Micromechanics Based Continuum)モデル¹⁾は地下水の流路となる空洞周辺のゆるみ域の水理特性評価を可能にする解析モデルとして有用である。筆者らはこの MBC モデルを用いて不連続性岩盤の三次元的な変形と地下水挙動が予測できる解析システムを開発した。このシステムを用いることにより、不連続面のすべりに伴う開口現象による透水特性の変化を考慮して岩盤の三次元的な地下水挙動を評価することが可能になる。本報文では今回開発した解析システムの内容を紹介するとともに、放射性廃棄物処分空洞モデル²⁾への適用事例を示す。

2. 解析システムの概要

今回開発した解析システムは MBC モデルを用いた三次元岩盤掘削 FEM 解析プログラムとその解析によって得られた不連続面の開口量分布を掘削ステップ・時間ステップごとに自動的に引き継ぐ三次元非定常浸透流 FEM 解析プログラムから構成されている。浸透流解析プログラムでは不連続面の走向、傾斜並びに不連続面の開口量から平行平板モデルに基づき異方性の透水マトリックスを算出し、これを岩盤基質部の透水マトリックスと重ね合わせて不連続面の開口を考慮した岩盤の等価透水マトリックスを求め、地下水流動解析を行う。

3. 透水特性の評価方法

三次元浸透流解析で用いられる各要素の透水マトリックスは、MBC モデルによる三次元変形解析で求められた各要素の不連続面セットごとの開口量から式(1)に基づいて求める。

$$K = K_{matrix} + \sum_{i=1}^{njs} R_i^T K_i R_i \quad (1)$$

ここで、 K_{matrix} は、岩盤基質部の等方性透水マトリックスであり、 R_i は i 番目の不連続面セットの局所座標から全体座標への座標変換マトリックスである。また、 K_i は、 i 番目の不連続面セットに関する局所座標系での透水マトリックスであり、式(2)と式(3)で表される。

$$K_i = \begin{pmatrix} k_i & 0 & 0 \\ 0 & k_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2) \quad k_i = \frac{\gamma}{\mu} \frac{1}{12} \frac{b_i^3}{S_i} \quad (3)$$

ここで、 γ は水の単位体積重量、 μ は水の粘性係数、 S_i は i 番目の不連続面セットの平均間隔、 b_i は i 番目の不連続面セットの開口幅である。

4. 解析事例

本解析は、放射性廃棄物処分空洞における処分ピット間隔が閉鎖後の処分空洞周辺の地下水流動挙動へのキーワード 有限要素法、不連続性岩盤、MBC モデル、浸透流

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 KI ビル 鹿島建設（株）IT ソリューション部 田部井 和人 TEL03-6229-6795

ような影響を与えるかを検討するために行った。図-1 は仮定の放射性廃棄物処分空洞の三次元解析モデル(処分ピット間隔が狭いケース)であり、表-1 は解析に用いた岩盤の物性値一覧である。なお、不連続面の走向角は坑道軸方向を N 方向として定義し、浸透流解析の境界条件として処分坑道軸方向に動水勾配 I ($I=1$) が存在し、地下水は N 方向から S 方向へ向かって流れているものと仮定した。図-2 は、本解析によって求められた地下水流速とその方向をコンターとベクトルで示した図である。同図より、処分ピットの間隔を狭めると相互の掘削による影響が強まるため、特に水平方向の不連続面セットの開口量が増加し、ピット間隔が狭いケースの方がピット周辺の地下水流速の速い領域が全体的にやや広がることが分かる。

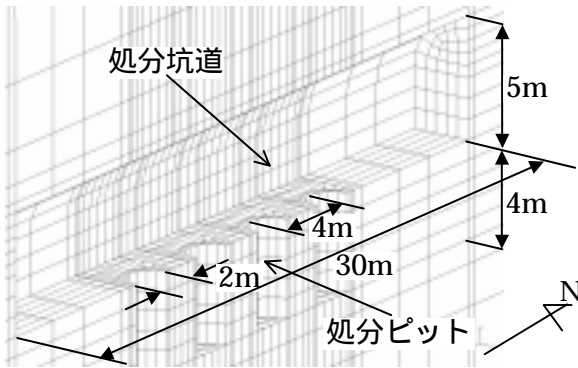
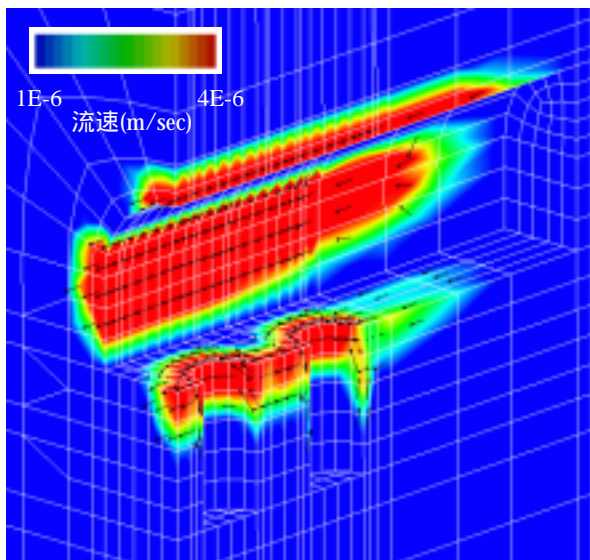


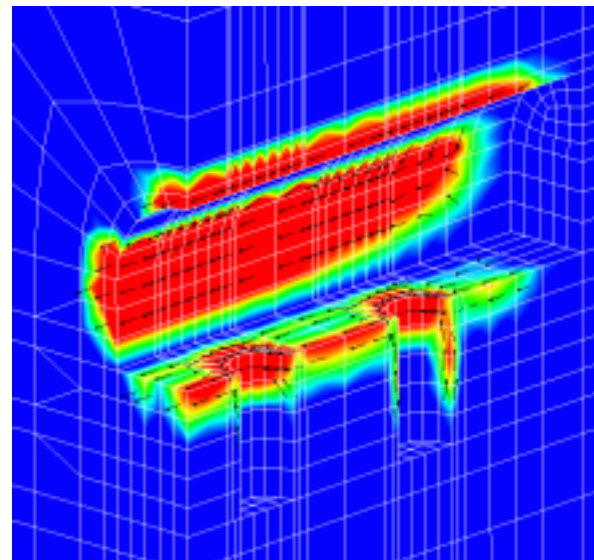
図-1 解析モデル
(ピット間隔が狭いケース)

表-1 岩盤の解析用物性値

岩盤 基質部	弾性係数 E(GPa)	6		
	ポアソン比	0.25		
	密度 (g/cm ³)	2.7		
	透水係数 k(m/s)	1×10^{-7}		
不連続面		セット1	セット2	セット3
	走向角(度)	0	0	90
	傾斜角 (度)	90	0	90
	有効寸法 S(m)	2	2	2
	間隔 L(m)	0.5	0.5	0.5
	摩擦角 (度)	40	40	40
	起伏角 (度)	10	10	10



(a)ピット間隔が狭いケース



(b)ピット間隔が広いケース

図-2 流速ベクトルの比較

5. おわりに

MBCモデルを用いた不連続性岩盤の三次元的な変形と地下水挙動を予測できる解析システムを開発した。これにより、掘削に伴って変動する空洞周辺におけるゆるみ域中の異方性透水特性の評価が可能となり、これまでの解析モデルでは困難であった水理的により合理性のある空洞レイアウトの設計に適用可能であることを確認した。

参考文献 : 1)Yoshida, H. and Horii, H. Micromechanics-Based Continuum Model for a Jointed Rock Mass and Excavation Analysis of a Large-Scale Cavern, Int. Jour. of Rock Mech. and Min. Science, Vol.41, Issue 1, pp.119-145, 2004. 2)田部井他「MBCモデルによる高レベル放射性廃棄物処分空洞の三次元変形解析」第58回土木学会年次学術講演会, CS7-058, pp.393-394, 2003