

III-190

亀裂を考慮した岩盤の熱伝導解析

機関組 技術研究所 正会員○大橋敏行

同 上 正会員 草深守人

1. まえがき

高レベル放射性廃棄物地層処分場の建設においては、亀裂を含む岩盤の温度場を予測する数値解析手法の確立が重要である。応力・変形解析の場合と同様に、熱伝導解析においても、亀裂を考慮する方法としては、個々の亀裂を陽な形で扱う方法と、等価な連続体として扱う方法の2通りが考えられる。しかし、中小規模の多数の亀裂群を扱う場合には、岩盤を等価な異方性連続体としてモデル化する方法が効率性、経済性の面において、有利であると考えられる。本報告では、GARTLING¹⁾らが提案している連続体的方法を、簡単なモデルに適用して、その妥当性を検討している。

2. 等価な熱伝導マトリックスの算定手順

本節では、亀裂を含んだ岩盤と等価な連続体の熱伝導マトリックスの算定手順の概要を示す。

①解析対象領域を有限要素分割する。

②複数の亀裂を含む1つの有限要素(エレメント)を考え、各亀裂のパラメータとして、開口幅 a_j 、長さ l_j および角度 α_j を抽出する。

③各エレメントにおける亀裂密度 ϕ および各亀裂のエレメント内での影響面積 A_j を、それぞれ式(1)、(2)で計算する。

$$\phi = A_f / A_e = \sum_{j=1}^n l_j a_j / A_e \quad (1)$$

$$A_j = (l_j a_j / \sum_{j=1}^n l_j a_j) A_e = A_f / \phi \quad (2)$$

④各亀裂の影響面積(長方形と仮定)内で、亀裂に沿う方向と垂直な方向に局所座標系を設定し、それぞれの方向の局所熱伝導係数 K_j^p, K_j^n を式(3)で計算する。

$$K_j^n = K_m / \{1 - \lambda_j(1 - \gamma)\} \quad K_j^p = K_m - K_m \lambda_j(1 - \gamma^{-1}) \quad \lambda = a_j / W_j \quad \gamma = K_m / K_f \quad (3)$$

⑤局所熱伝導係数を全体座標系に変換する。

$$\begin{aligned} K_j^{11} &= K_j^p \cos^2 \alpha_j + K_j^n \sin^2 \alpha_j \\ K_j^{22} &= K_j^p \sin^2 \alpha_j + K_j^n \cos^2 \alpha_j \\ K_j^{12} &= K_j^{21} = (K_j^n - K_j^p) \sin \alpha_j \cos \alpha_j \end{aligned} \quad (4)$$

⑥各エレメントを基質と亀裂を含む複合材料と考え、等価な熱伝導マトリックスの上限値 K_u^{mn} および下限値 R^{mn} を式(5)で計算する。 $K_u^{mn} = 1 / A_e \sum_{j=1}^n K_j^{mn} A_j$, $m, n=1, 2$

$$R^{mn} = 1 / A_e \sum_{j=1}^n R_j^{mn} A_j, \quad m, n=1, 2, \quad K_1^{mn} = (R_{mn})^{-1} \quad (5)$$

⑦等価な熱伝導マトリックス K_{eff}^{mn} を⑥の上限値、下限値の平均であると仮定して、式(6)で算出する。

$$K_{eff}^{mn} = 1/2 (K_u^{mn} + K_1^{mn}) \quad (6)$$

⑧完全異方性の熱伝導マトリックスを用いて、熱伝導有限要素法コードにより、数値解析を実施する。

GARTLINGらは、手順①の前に、亀裂を統計的に発生させているが、熱伝導マトリックスの算定とは、独立なものであるで、ここでは省略した。また、解析に用いる有限要素法コードは、完全異方性の熱伝導マトリックスを扱うことが可能であれば、特に制約はない。

3. 数値解析例

Fig. 1に示す単一の亀裂を含むモデルを、2.の方法で解析して、亀裂を陽に考慮した結果と比較することにより、その妥当性を検討した。なお、数値解析には、汎用有限要素解析コードABAQUS²⁾を用いた。

Fig. 2は、亀裂要素を用いた解析結果、またFig. 3(a), (b)は、本手法を用いて要素分割を変えた結果である。これらの比較により、本手法は、亀裂近傍での鋭敏な温度変化は表現できないものの、ほぼ妥当な温度場を与えることがわかる。また、メッシュの細分化により、亀裂近傍での温度勾配はより明瞭になることがわかる。次に、Fig. 4に示す45°傾いた亀裂群を含む岩盤モデルを解析した。Fig. 5は、亀裂がない場合の結果、Fig. 6は、亀裂群がある場合の結果である。亀裂群の存在により、温度場が等方性の場合に比べてかなり乱されている。また、熱源近傍での温度も亀裂群の影響で高くなっていることがわかる。

4. あとがき

本報告で用いた数値解析手法は、比較的容易に亀裂の影響を表現でき、多数の亀裂を含む岩盤の数値解析に有効であることがわかった。今後は、本手法を熱応力・変形解析にも適用してゆく所存である。

参考文献 1)Gartling, D.K.et al.(1983).Proc. 3rd

Int. Conf. Num. Meth. Therm. Prob.,pp.901-910.

2)H.K.S. Inc.(1984). ABAQUS User's Manual.

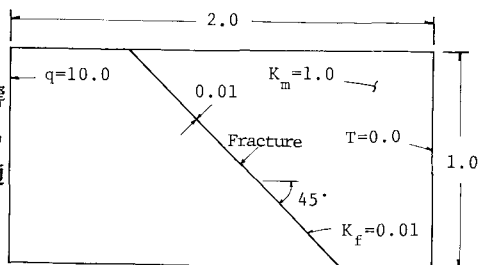


Fig. 1 Single Fracture Model

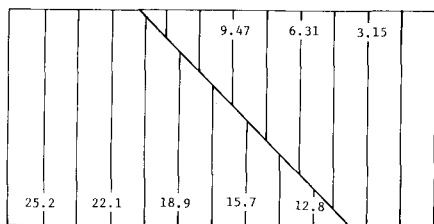


Fig. 2 Isotherms Using Discrete Element

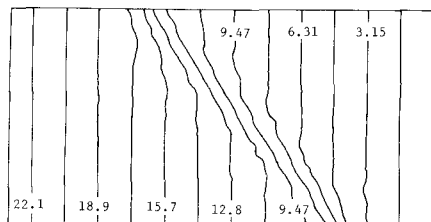


Fig. 3(a) Isotherms Using Effective Conductivity (Coarse Mesh)

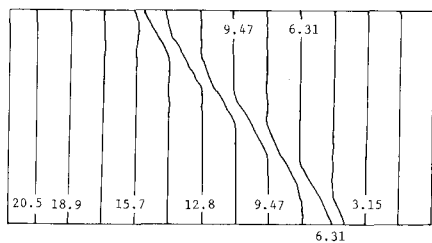


Fig. 3(b) Isotherms Using Effective Conductivity (Refined Mesh)

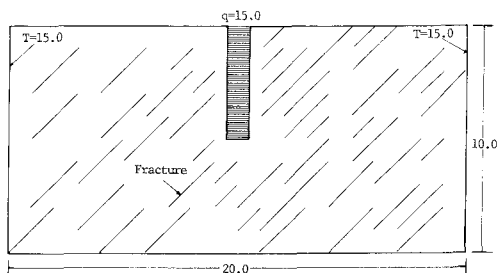


Fig. 4 Rock Mass Model with 45° Inclined Fracture System

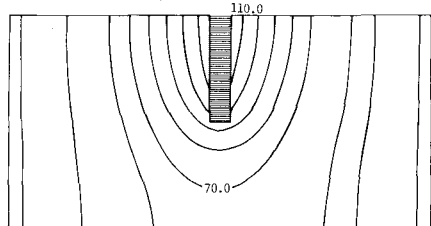


Fig. 5 Isotherms for Intact Rock Mass

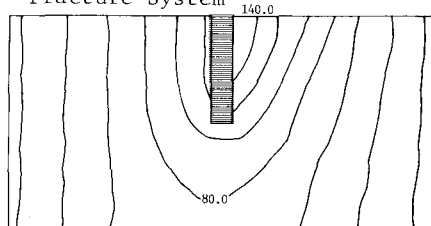


Fig. 6 Isotherms for Fractured Rock Mass