

LGA 法を用いた流体解析による亀裂開口幅分布の影響検討

核燃料サイクル開発機構 正会員 ○武部 篤治
核燃料サイクル開発機構 非会員 内田 雅大

核燃料サイクル開発機構 非会員 澤田 淳
日立エンジニアリング 非会員 山本 朝男
株式会社ペスコ 非会員 細田 淳司

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発に関する「第2次取りまとめ」¹⁾では、亀裂性岩盤を対象に平行平板モデルを基本とした核種移行モデルを用いた解析・評価を行った。第2次取りまとめ以降の研究課題としては、このような平行平板モデルを基本とした核種移行モデルの信頼性向上が挙げられている。著者らは、平行平板モデルの信頼性向上を目的に、格子ガスオートマトン法（以下 LGA 法）を適用した流体・物質移動解析コードを開発し²⁾、亀裂開口幅分布が亀裂の巨視的な水理・物質移行特性に与える影響について検討してきた³⁾。

本報では、研削による亀裂形状および開口幅測定⁴⁾により取得した人工割裂亀裂の開口幅データを用いて、より細かい間隔で測定した開口幅データ(0.2mm ピッチ)と粗い間隔で測定したデータ(1mm ピッチ)の2種類から解析モデルを作成して、亀裂開口幅分布が亀裂内流体流れに与える影響について検討した。本検討においては、100mm スケールの岩石サンプルから得た亀裂データのうち、亀裂開口幅が極端に狭いところ、亀裂が閉じているところを除いた 50mm 区間を対象とした解析を実施している（図1参照）。

2. 岩体の亀裂データを用いた流体解析による検討

解析モデル（図1の断面全体）は0.1mm×0.1mmのメッシュを基本単位とし、1mm ピッチと0.2mm ピッチのデータに対応した開口幅の分布を表現した。以降、1mm ピッチのデータで作成した解析モデルを「1mm モデル」、0.2mm ピッチのデータで作成した解析モデルを「0.2mm モデル」と表現する。なお、1mm モデルに関しては、データ間を0.2mm ピッチで線形補完している。図1からわかるように、1mm モデルは0.2mm モデルよりも亀裂面が線形補完により平滑化されている。これらの開口幅分布の違いが流速分布に与える影響の検討として、(a)開口幅が小さく亀裂が比較的なだらかな x=34mm 位置、(b)開口幅が小さく亀裂に勾配がついている x=52mm 位置、(c)開口幅が比較的大きい x=63mm 位置、における亀裂内の x 方向流速分布を

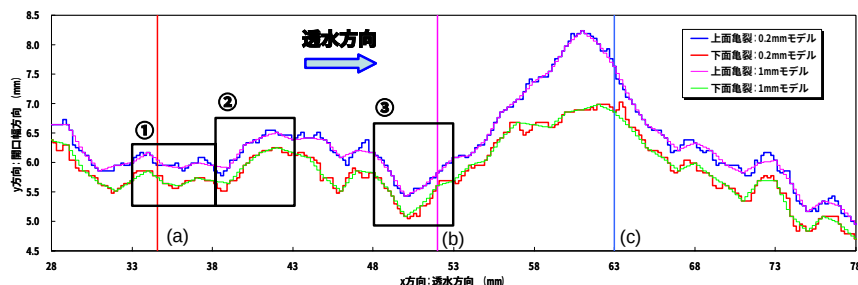


図1 各解析モデルの断面図 ((a)~(c)は図2の各位置、①~③は図3の各区間を示す)

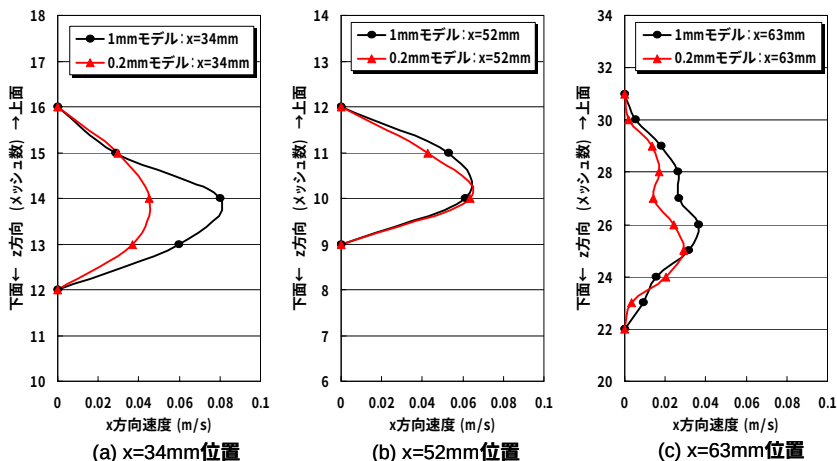


図2 亀裂内の x 方向流速分布の比較結果

解析モデルは1断面の亀裂データにより作成しているため、亀裂内流れは一次元方向の流れになる。そのため、亀裂開口幅の最小値がモデル全体の流速に大きく影響し、図2の差が生じたと考えられる。また、より正確に亀裂内流速を検討するためには、狭い亀裂開口部の解析メッシュ数を増やして影響を検討する必要があることが指摘されている⁵⁾。図2(b)のように開口幅方向の解析メッシュ数が少ない場合には問題となる可能性がある。次節では、開口幅分布の特徴的な部分を個別に検討するとともに、解析メッシュ単位を0.1mmメッシュから0.02mmメッシュに変更し、より精度の高い検討を行うこととする。

キーワード：地層処分、格子ガスオートマトン法、亀裂開口幅分布、亀裂面のラフネス

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 電話 029-287-1111 fax029-282-9295

3. 細部の亀裂データによる LGA 詳細解析および結果

本節では、解析対象区間を絞り込むとともに、解析メッシュ単位を 0.1mm メッシュから 0.02mm メッシュへと変更した。前項で解析対象区間とした $x=28\sim78\text{mm}$ 区間（図 1 参照）の解析モデルを、① $x=33\sim38\text{mm}$ 区間、② $x=38\sim43\text{mm}$ 区間、③ $x=48\sim53\text{mm}$ 区間、に細分化した。選択した区間は、①亀裂が比較的なだらかな部分（図 1①参照）、②亀裂に勾配がついている部分（図 1②参照）、③亀裂が折れ曲がっている部分（図 1③参照）、という特徴的な区間である。図 3①～③に、①～③区間の任意の位置における x 方向流速分布結果を記す。0.2mm モデル、1mm モデルともに、放物線の形状をした、ほぼ同様の流速分布結果が得られた。しかし、① $x=33\sim38\text{mm}$ 区間においてのみ、前項の解析結果と同じく、0.2mm モデルの解析値が 1mm モデルの解析値よりやや小さな値となった。この区間前後の流速の分布を図 4 に示す。この区間は、亀裂形状のうねりが比較的小さく、亀裂表面のより微細なラフネスがあるため、亀裂内の流れはこのより微細なラフネスの影響を強く受けていると考えられる。図 4 から、0.2mm モデルの亀裂表面形状が 1mm モデルのそれと比べて、流れ方向に沿った変化が大きいことがわかる。1mm モデルでは、線形補完による亀裂面の平滑化のため、このような微細なラフネスを詳細に表現できず、その影響をほとんど受けずに一様に流れるが、0.2mm モデルではより微細なラフネスの影響を受け、1mm モデルよりも流速が小さくなった。②・③区間は①区間に比べて勾配やうねりのような亀裂形状の影響を強く受けたため、亀裂面のラフネスがそれほど大きく影響しない結果となった、と考えられる。

4. おわりに

人工割裂亀裂の細かい間隔で測定した開口幅データ(0.2mm モデル)と粗い間隔で測定したデータ(1mm モデル)で作成した 2 種類の解析モデルを用い、亀裂開口幅分布が亀裂内流体流れに与える影響について検討した結果、亀裂形状のうねりが小さい場合には、亀裂表面の微細なラフネスが亀裂内流れに大きな影響を及ぼす可能性がある、ということがわかった。今後は、100mm スケールの亀裂データを用いて三次元的な亀裂開口幅分布をモデル化し、本解析コードを適用して、解析結果と透水試験結果などの比較を実施する予定である。

《参考文献》

- 1)核燃料サイクル開発機構(1999)：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性、一地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊 3 地層処分システムの安全評価”，JNC TN1400 99-023.
- 2)吉野ら(2003)：“セルオートマトン法による流体・物質移動解析手法の開発”，第 58 回土木学会年次学術講演会，CS7, pp.403～404.
- 3)武部ら(2004)：“亀裂の不均質性パラメータを用いた流体・物質移動解析評価”，第 59 回土木学会年次学術講演会，CS1-021, pp.41～42.
- 4)鐵ら(2004)：“研削による岩体亀裂開口部の測定”，第 59 回土木学会年次学術講演会，CS1-013, pp.25～26.
- 5)S.Uehara, et al. (2005)：“Investigation of Hydraulic and Transport Characteristics of a Rock Fracture Using Lattice Gas Automata, the 11th International Conference of IACMAG 2005, 投稿中.

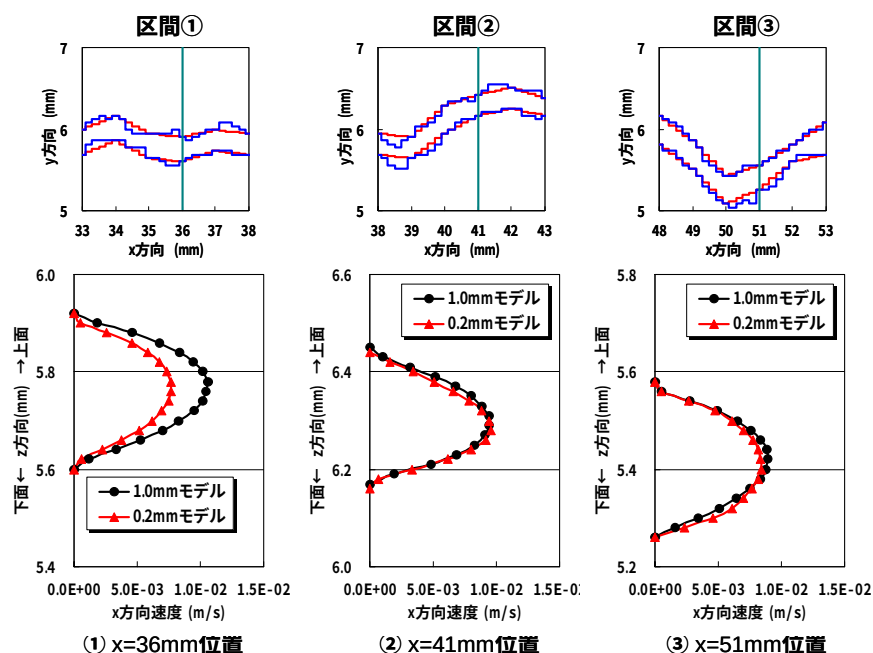


図 3 それぞれの解析区間における x 方向流速分布結果の一例

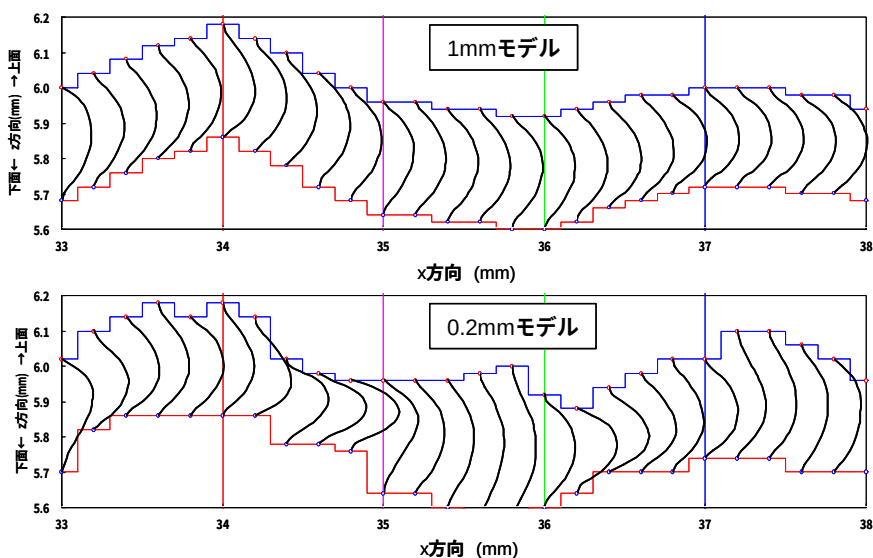


図 4 $x=33\sim38\text{mm}$ 区間における x 方向流速分布の詳細結果