

熱-水-応力-化学連成モデルの開発に関する国際共同研究「DECOVALEX-2011」(その2)

- Task B: 結晶質岩を対象とした Pillar stability test -

京都大学大学院工学研究科 正会員 ○小山 倫史

日本原子力研究開発機構(現 東北大学流体科学研究所) 正会員 清水 浩之

ハザマ 正会員 千々松 正和

日本原子力研究開発機構 正会員 中間 茂雄, 藤田 朝雄

1. はじめに

国際共同研究 DECOVALEX-2011 の Task B では, 結晶質岩における熱 - 水 - 応力 - 化学連成モデルの開発・検証を行っており, スウェーデン・エスボ地下研究実験施設 (Äspö Hard Rock Laboratory, Sweden) における実際の処分環境を模擬したピラー試験 (Pillar Stability Test) を対象とした連成解析を実施している。

2. 結晶質岩を対象とした Pillar stability test

Äspö Pillar Stability Test (APSE) は結晶質岩を対象として, 2002~2006 年にエスボ地下研究実験施設の深さ 450m 地点で実施された原位置試験¹⁾であり, 以下の点を明らかにすることを目的としている。1) 試験坑道および試験孔掘削に伴う応力再配分, 掘削影響領域 (EDZ: Excavation Damaged Zone) の形成過程, 2) 加熱に伴う Pillar の力学的挙動 (熱 - 応力連成挙動), 3) ベントナイトの膨潤圧を想定した拘束圧が Pillar の力学的挙動に及ぼす影響, 4) 拘束圧除荷および応力解放に伴う Pillar の力学的挙動。APSE 用の試験坑道(高さ 7.5m, 幅 5m)を発破により掘削し, 2 本の試験孔(直径 1.75m, 深さ 6.5m)は TBM により掘削している。ここで, Pillar とは 2 本の試験孔に挟まれた領域と定義する。試験中, 第 1 試験孔ではベントナイト膨潤圧を想定した拘束圧 (0.7 MPa)を加えるため, 試験孔掘削後にゴム製の加圧装置を設置し, 加圧しながら第 2 試験孔の掘削を行い, 第 2 試験孔掘削後にヒーターによる加熱を行う(図 1, 2 参照)。試験中, 第 2 試験孔の壁面の観察とともに, 計測孔において, 主応力・孔内変位・孔内温度などの変化をモニタリングしている。

3. 熱 - 応力連成解析

本研究プロジェクトでは, 原位置試験の結果を踏まえて, 連続体解析手法(3次元有限要素法, 3D-FEM, THAMES)²⁾および不連続体解析手法(2次元粒状体個別要素法, 2D-DEM)³⁾の2種類の解析手法を用いて熱 - 応力連成解析を実施し, 温度・応力やひずみ・亀裂進展過程について, 原位置試験における計測結果との比較を行い, 熱 - 応力連成解析モデルの検証を行った。2D-DEM は図 3 に示すような粒径分布を持つ粒子をラ

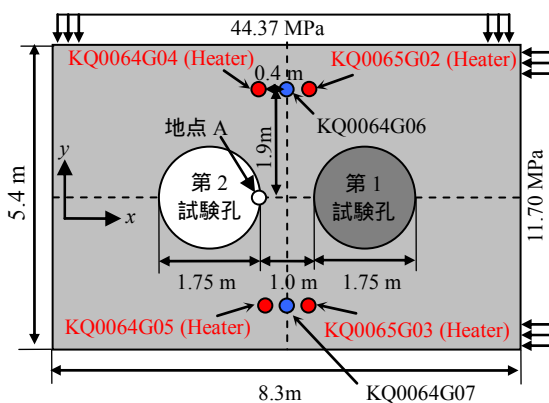


図 1. 試験孔, 計測孔およびヒーターの配置

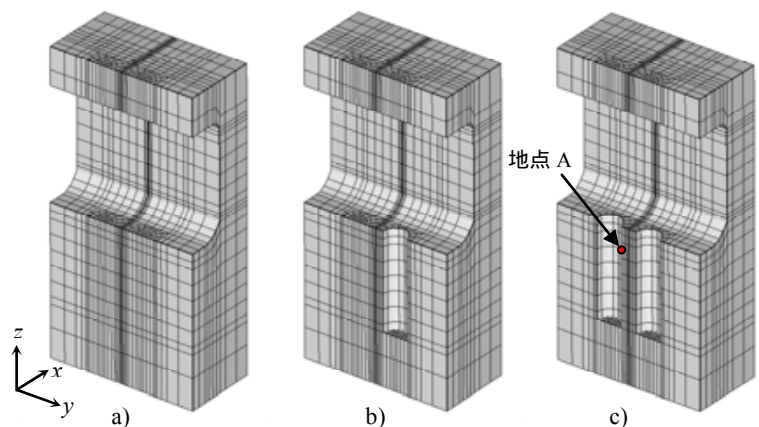


図 2. 試験坑道および試験孔の掘削プロセス (FEM による 3 次元解析メッシュ) a) 試験坑道, b) 第 1 試験孔, c) 第 2 試験孔の掘削

キーワード DECOVALEX-2011, 結晶質岩, 熱 - 応力連成挙動, 原位置試験, 有限要素法, 個別要素法

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 4 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 TEL 075-383-3306

ンダムに分布させてモデル化を行った．なお，解析に用いた岩盤の物性および境界条件については文献¹⁾を参照した．図4，5に掘削過程における主応力変化の比較，図6に加熱過程における温度変化の比較，図7に試験孔掘削中および加熱中のクラックの進展をそれぞれ示す．

4. おわりに

本研究では，スウェーデンのエスポ地下研究所で実施された原位置試験を対象とし，3D-FEMと2D-DEMによる熱・応力連成解析を適用し結果の比較を行った．試験中の主応力・温度などの変化は原位置試験における観測結果と解析結果で定性的に良好な一致がみられ，特に3D-FEMの解析結果は定量的にも比較的良好な結果となった．一方，2D-DEMでは，掘削・加熱過程において試験孔壁面付近に微小亀裂が発生しており，原位置試験で観察された試験孔壁面での岩盤の破碎，V字型に破壊し欠落する現象について考察することができる．

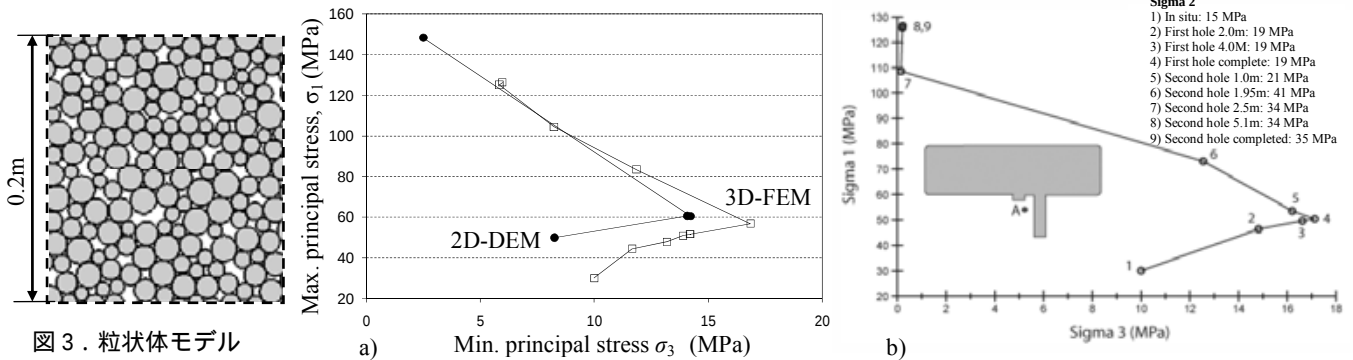


図4. 地点Aにおける主応力の変化の比較，a) 3D-FEM，2D-DEMによる解析，b) 原位置試験¹⁾

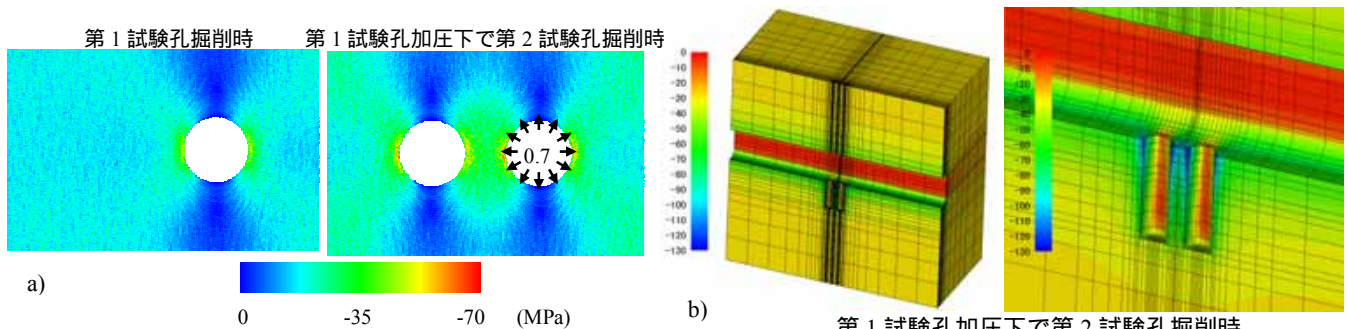


図5. 試験孔掘削中の最大主応力分布の変化の比較，a) 2D-DEMによる解析（深度3.5m），b) 3D-FEMによる解析

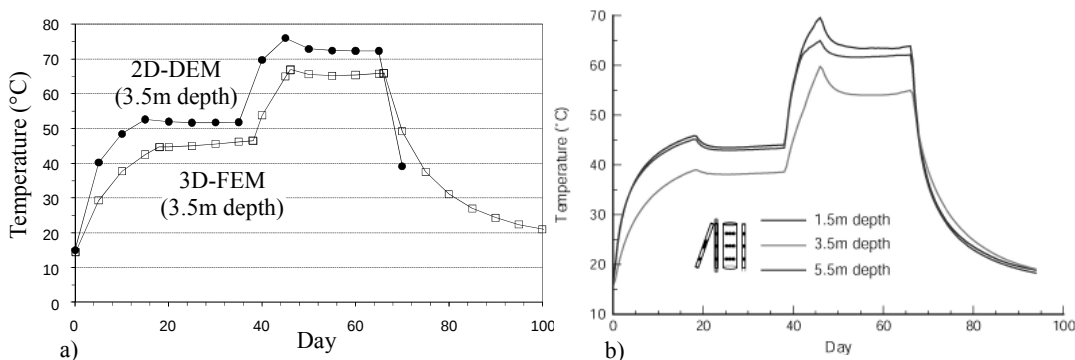


図6. 計測孔 KQ0064G06 での温度変化の比較，a) 3D-FEM，2D-DEMによる解析，b) 原位置試験¹⁾

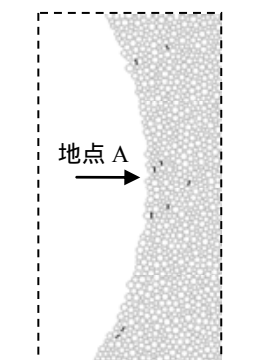


図7. クラックの進展

参考文献

- 1) Andersson, J. C.: Äspö pillar stability experiment final report: rock mass response to coupled mechanical thermal loading. TR-07-01, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB), 2007.
- 2) Ohnishi, Y. and Kobayashi, A.: THAMES, Coupled thermo-hydro-mechanical processes of fractured media. Mathematical and Experimental Studies, Elsevier, Development in Geotechnical Engineering, 79, pp.545-553, 1996.
- 3) 清水浩之，小山 倫史，千々松 正和，藤田 朝雄，中間 茂雄．連続体・不連続体解析手法を用いた処分孔周辺岩盤の熱・応力連成挙動の評価．第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.248-253，2011.