

熱一流体一力学連成数値モデルによる 地熱流体流動解析

前原 崇志^{1*}・緒方 奨¹・乾 徹¹・安原 英明²・岸田 潔³

¹大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²愛媛大学大学院 理工学研究科 生産環境工学専攻 (〒790-8577松山市文京町3番)

³京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540京都市西京区京都大学桂C1)

*E-mail: machara_t@civil.eng.osaka-u.ac.jp

地熱増産システム (EGS : Enhanced Geothermal System) の一種である貯留層造成EGSでは、地熱エネルギーの回収に必要な貯留層 (亀裂群) を高温岩盤中に人工造成する。エネルギー回収量予測には、水圧破碎による亀裂生成挙動と、その後の地熱流体流動を一貫して記述可能な数値解析モデルの構築が必須である。本研究では、高温岩盤中の水圧破碎による亀裂生成と、生成後の流体温度や水圧に依存した亀裂構造変化を考慮した地熱流体流動まで計算可能な熱一流体一力学連成数値モデルを新規構築し、それを用いてEGSを想定した数値実験を実施した。その結果、拘束圧による亀裂閉塞に起因する透過率の減少、熱応力による亀裂の開口現象が確認できた。また、圧力勾配の変化が抽出熱量へ影響を与える可能性が得られた。

Key Words : EGS, hydraulic fracturing, coupled THM process, fracture permeability

1. はじめに

低炭素・脱炭素社会が求められている近年、再生可能エネルギーである地熱発電が再び注目を集めつつある。特に、地熱資源開発の促進技術である地熱増産システム (EGS : Enhanced Geothermal System) が注目されている。これは地熱発電に用いられる地熱貯留層を人工的に造成・拡張することで貯留層の生産力を向上させる技術の総称である。本研究ではEGS技術の一種である貯留層造成EGSに着目した。貯留層造成EGS (以降、簡略してEGSと記す) では、地下3000 m付近に存在する低透水性の高温岩盤に対し、坑井 (注入井) を掘削し、そこから水を圧入することにより、亀裂群を人工造成する (水圧破碎)。この貯留層へ流体を注入し、循環させることで蒸気を生産する。この技術の実用化には蒸気生産量の予測評価手法の確立が不可欠である。そのためには、蒸気生産量に影響を及ぼす地熱貯留層 (亀裂) 造成過程と貯留層内の経時的な地熱流体流動を併せて記述可能な数値モデルが必須である。既往研究においては、水圧破碎による亀裂進展挙動及び地熱流体流動を予測するため、有限要素法を基とした種々の連成解析が行われてきた¹⁾³⁾。例えば、Lu et al.¹⁾は岩石内のマイクロクラックに着目した損傷モデルを用いた流体一力学連成解析モデルを提案し岩石内の亀裂進展と水理学特性の変化を計算している。

また、Sun et al.²⁾は、岩盤内に潜在的に分布する不連続な亀裂ネットワークを導入したDFN (Discrete Fracture Network) モデルを用いて、地熱貯留層内の長期的な地熱流体流動を計算している。しかしながら、こうした解析事例の殆どは水圧破碎解析、または仮想の亀裂ネットワークを考慮した地熱流体流動解析のいずれかであり、水圧破碎による亀裂進展及びその後の地熱流体流動までを一貫して計算した事例はほとんど報告されていない。

そこで本研究では、高温岩盤での水圧破碎時の亀裂進展と、流体温度・水圧に依存する経時的な亀裂構造変化を考慮した地熱流体流動までを一貫して計算可能な熱一流体一力学連成数値モデルを構築する。また、構築モデルを使用し、結晶質岩でのEGSを想定した数値実験を行い、抽出流体温度に影響する因子を精査する。

2. モデル概要

本研究で提案するモデルの解析フローを図-1に示す。本研究で構築したモデルは、岩盤内の流体流動、熱輸送・熱伝導、水圧と熱ひずみの影響を考慮した応力・変形及び亀裂進展等を考慮可能な熱一流体一力学連成モデルである。本モデルを用いた解析では、まず水圧破碎解析を行い、そこで得られた亀裂進展分布の結果を基に、

その後の長期間の地熱流体抽出過程における岩盤内の流体流動を計算する。ただし、水圧破碎解析においては、高い水圧による亀裂の開口が卓越することを考慮し、作用応力による亀裂の閉塞は考慮していない。一方、破碎後の流体流動解析では、作用応力による亀裂の閉塞を考慮し、水圧や熱ひずみに依存した経時的な応力変化が亀裂の透水性及び地熱流体流動に与える影響を計算する。

(1) 損傷理論

水圧破碎による亀裂進展の計算には、連続体損傷理論を用いた。本理論は亀裂を不連続な変形としてではなく、連続体の剛性低下としてモデル化するものであり、有限要素計算との相性が良く、既往研究においても岩盤の亀裂進展挙動の予測に用いられている^{4)~6)}。また、本研究における損傷モデルでは、引張破壊のみを考慮し、以下の破壊規準 F_I を用いた^{4)~6)}。なお、本研究においては引張応力を負、圧縮応力を正とする。

$$F_I = (\sigma_3 - \alpha_b p) + f_t = 0 \quad (1)$$

ここで、 σ_3 は最小主応力 [N/m^2]、 p は間隙水圧 [N/m^2]、 α_b は Biot-Willis 係数 [-]、 f_t は一軸引張強さ [N/m^2] を示す。式(1)の条件を満たした要素について剛性を低減させる。

$$\sigma = (1-D)C:(\varepsilon - \alpha_{th}(T - T_0)) + \alpha_b p \mathbf{I} \quad (2)$$

ここで、 σ は全応力テンソル [N/m^2]、 C は弾性係数テンソル [N/m^2]、 ε はひずみテンソル [-]、 $\mathbf{I}$ は方向ベクトル [-]、 α_{th} は線膨張係数 [$1/\text{K}$]、 T は温度 [K]、 T_0 は岩盤の

初期温度 [K]、 D は損傷変数 [-] を示す。式(2)においては、温度変化により生じる熱応力の影響を考慮している。また、損傷変数は、損傷の度合いを示すパラメータ ($0 \leq D \leq 1$) であり、0 で損傷の無い状態、1 で完全破壊が起きた状態を表している^{4)~6)}。 $D > 0$ の領域を亀裂とし、剛性を低下させる。また、損傷度合いが $D = 1$ に到達すると、剛性が 0 となり計算が破綻してしまうことから、数値計算の安定性を担保するため、 $D > 0.99$ を満たした領域はすべて $D = 0.99$ として扱うものとした。

(2) 流体流動方程式

流体流動の計算には多孔質弾性体を適用した連続式とダルシー則を考慮した以下の式を用いる。

$$\rho_f \chi \frac{\partial p}{\partial t} = \nabla(\rho_f \mathbf{v}) \quad (3)$$

$$\mathbf{v} = -\frac{\mathbf{k}}{\mu_f} \nabla p \quad (4)$$

ここで、 ρ は流体密度 [kg/m^3]、 μ は動粘性係数 [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]、 χ は貯留度 [$1/\text{Pa}$]、 $\mathbf{v}$ は流速ベクトル [m/s]、 $\mathbf{k}$ は透過率テンソル [m^2] である。また、添え字 f は流体を示す(以下同様)。岩盤内を流れる流体は損傷領域を卓越して流れる。ゆえに、損傷要素の透過率の最大主応力方向成分を指数関数的に増加させた^{5,7)}。

$$k = k_0 \exp(\alpha_k D) \quad (5)$$

ここで、 k_0 は初期透過率 [m^2]、 α_k は定数 [-] である。

(3) 熱移動

流体の密度と動粘性係数はともに温度依存性を有しており、それらを考慮するために、流体の密度には Thiesen et al.⁸⁾ による式、動粘性係数には Molson et al.⁹⁾ と Holzbecher¹⁰⁾ の式をそれぞれ用いた。また、水圧破碎後の長期的な地熱流体流動を考慮する際には、岩盤を亀裂＋岩石実質部（以後実質部と記す）内固相と、実質部内空隙の二相に分割し、Dual porosity モデルを適用した¹¹⁾。

$$(\rho c)_{eff} \frac{\partial T_s}{\partial t} = \lambda_s \nabla^2 T_s - (\rho c)_{eff} \mathbf{v} \nabla T_s + H \quad (6)$$

$$(\rho c)_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = \lambda_f \nabla^2 T_f - H \quad (7)$$

$$(\rho c)_{eff} = (1 - \phi_f) \rho_s c_s + \phi_f \rho_f c_f \quad (8)$$

ここで、式(6)、(7)はそれぞれ、亀裂と実質部内の固相を併せた領域、実質部内の空隙領域に対する熱エネルギー方程式を表す。また、 λ は熱伝導率テンソル [W/m/K]、 c は比熱 [J/kg/K]、 ϕ は空隙率 [-]、 H は二相間の熱輸送項 [W/m^2] を示す。また、添え字 s は岩石固相を表す。式

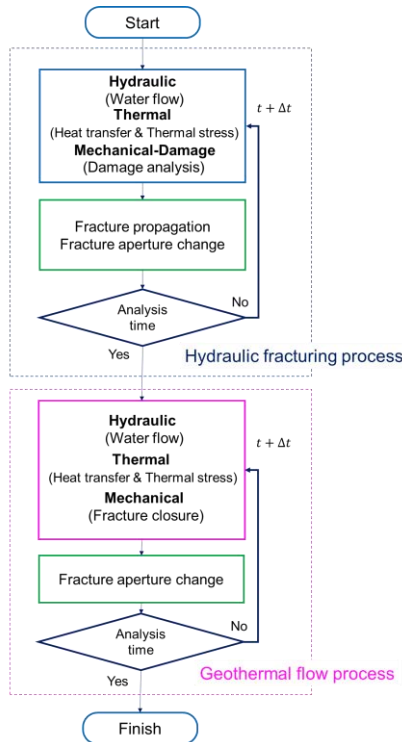


図-1 本研究における解析フロー

(6)において、流速 v は損傷領域のみに発生するものとしている。また、熱伝導率 λ についても、テンソル内の最大主応力方向に沿って指数関数的に増加させた⁹⁾。

$$\lambda = \lambda_0 \exp(\alpha_h D) \quad (9)$$

ここで、 λ_0 は初期熱伝導率 [W/m/K]、 α_h は定数 [-]である。なお、水圧破碎解析に際しては、地熱流体解析に比べて非常に短い時間を考慮しており、二相間での熱輸送はあまり発生しないと考え、Single porosity モデルで計算を行った。

(4) 力学的亀裂開口幅変化

水圧破碎により発生した亀裂は、拘束圧による圧縮力を受け、閉塞することが考えられる。本研究においては、Rutqvist et al.¹²⁾が提案している式を参考に、以下の式を用い、水圧破碎解析後の亀裂開口幅 b の変化を計算する。

$$b = b_r + (b_D - b_r) \exp(-\alpha_m < \sigma_3 - \alpha_b p >) \quad (10)$$

ここで、 b_r は初期透過率に基づき決定される残留開口幅 [m]、 b_D は水圧破碎直後の亀裂開口幅 [m]、 α_m は定数 [1/MPa]、 $< >$ はMaculey bracketsである。

3. 水圧破碎解析

(1) 設定条件

本研究では、地下3000mの低透水性の亀裂性結晶質岩盤に対して水圧破碎を行う場合を想定し、解析を実施した。具体的には、図-2に示すように、鉛直に掘削した坑井から水平方向に水を圧入した場合の地下3000m深度における岩盤水平面での二次元的な亀裂進展挙動を計算する。直径400mmの坑井を中心とした25m×25mの領域を

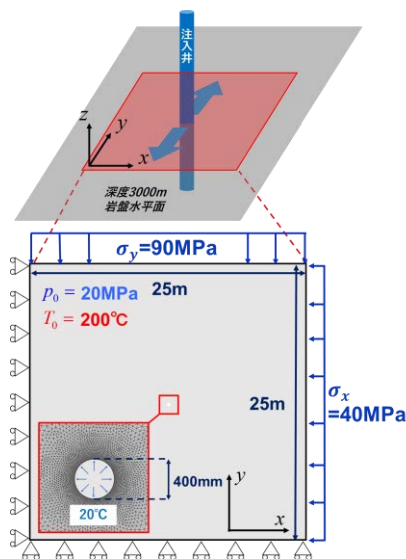


図-2 水圧破碎解析の諸条件

二次元モデルとして取り出し、検討を行う。解析手法には有限要素法を用いて、総要素数27992（三角形要素）のメッシュを設定した。また、計算負荷を低減させるため、亀裂進展が予想される領域のみ要素を細かく分割した。表-1に、亀裂進展計算に使用したパラメータを示す。一部は、結晶質岩を想定した既往研究より引用、もしくは参考にして決定したものである^{13)~18)}。初期拘束圧条件として、解析領域の上端境界に90MPa、右端境界に40MPaを与え¹⁴⁾、坑井からの注入圧を増加させていくものとした。解析領域内の初期間隙水圧は一律20MPa、初期温度は一律 200 °Cとした。注入水の温度は 20 °Cとし、Akibayashi et al.³⁾の式を参考に、熱流束条件として与えた。また、佐藤によると¹⁹⁾、200°Cにおける飽和水蒸気圧は本解析で扱う水圧レベルよりも低く、沸騰しないと考えられる。したがって、本研究においては、注入水は損傷領域内では液体の状態を保っているものとした。

(2) 解析結果

図-3に水圧破碎解析より得られた損傷変数 D （亀裂）の分布及び水圧破碎解析完了時の透過率分布（対数表示）を示す。図中左側のグレースケールは損傷変数 D の値を表す。損傷の発生開始は、注入井の圧力が約45.4MPaに到達した時であった。熱の影響が含まれているものの、これはHaimson and Fairhurst²⁰⁾とHubbert and Willis²¹⁾により提案された理論式から算出される、損傷発生開始時の注入圧の値（約37.2 ~ 50.2 MPa）に整合している。最初の損傷が確認された後、損傷は最小水平応力 σ_x とほぼ直交する方向に進展していき、注入圧が約142.2MPaに到達した時点で、注入井から約6.5mほどの損傷の進展が確認された。この時、損傷領域の透過率は、損傷の無い領域とくらべると、約3~4オーダー高くなっていることが確認できた。

表-1 使用するパラメータ

初期弾性係数 E_0 [GPa]	58.7 ¹³⁾
ポアソン比 ν [-]	0.25 ¹³⁾
一軸引張強さ f_t [MPa]	15 ¹⁴⁾
空隙率 ϕ [-]	0.01
貯留度 χ [1/Pa]	2.0×10^{-11} ¹⁵⁾
Biot-Willis係数 α_b [-]	0.37 ¹⁶⁾
初期透過率 k_0 [m ²]	5.0×10^{-17} ¹³⁾
初期熱伝導率 λ_0 [W/m/K]	1.6736 ¹⁷⁾
岩石比熱 c_s [J/kg/K]	1004.2 ¹⁷⁾
線膨張係数 α_{th} [1/K]	1.5×10^{-5} ¹⁷⁾
定数 α_k [-]	10
定数 α_h [-]	10
定数 α_m [1/MPa]	0.1 ¹⁸⁾

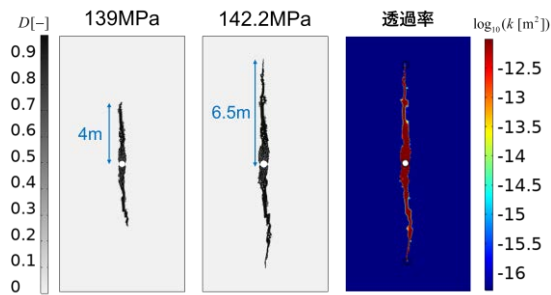


図-3 損傷変数 D 及び透過率分布
(透過率は水圧破碎解析直後の値を示す)

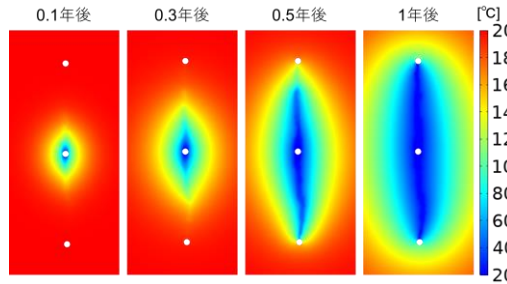


図-4 温度分布(注入井近傍を拡大)

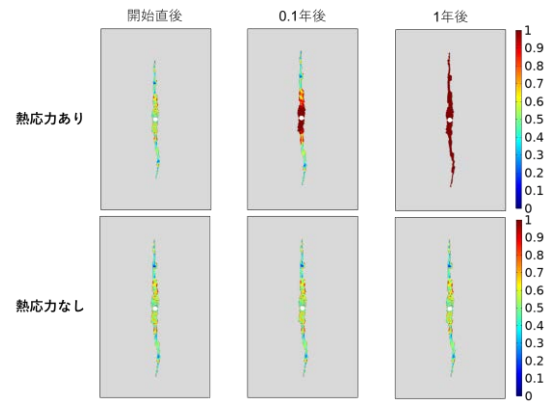


図-5 k_{new} / k_D 分布
(損傷領域のみを抽出)

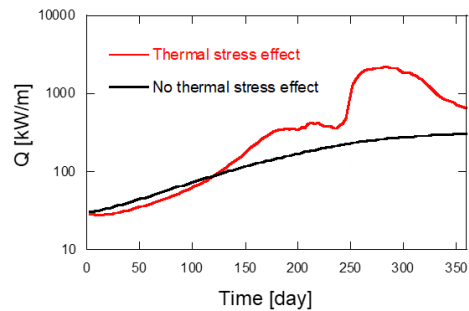


図-6 熱量・質量流束の経時変化グラフ

4. 地熱流体流動解析

(1) 設定条件

図-3の亀裂分布の結果をもとに、水圧破碎後の経時的な地熱流体挙動を計算した。注入井から y 方向に約6m離れた位置に、抽出井を模擬した円孔を新たに2個設けた。初期水圧は一律20MPa、注入井における水の注入圧を25MPa、抽出井における水の抽出圧を15MPaと設定し、注水の温度は20°Cとした。解析期間は1年とした。

(2) 結果

図-4に、0.1年から1年経過時までの温度分布を示す。注入水(冷水)が流れ、亀裂内に沿い温度低下が生じていることが確認できる。温度低下が急速であるのは、亀裂形状が直線状で単純なため水が流れやすいこと、亀裂長が短いため抽出井まで流れる間に亀裂内の流体に岩石固相から十分な熱が伝播しないことが理由として考えられる。また、図-5に水圧破碎終了時の透過率 k_D (図-3)と、流体流動解析により更新された透過率 k_{new} の比を示す。透過率変化への熱応力の影響を評価するため、熱応力を考慮した場合としない場合の解析結果をそれぞれ示している。図より、解析開始直後は、流体流動や温度による応力変化はほとんど生じず、初期地圧に起因した圧縮応力により直ちに亀裂の透過率が低下していることが確認できる。また、熱応力を考慮した場合、時間経過により透過率が水圧破碎直後の値まで回復する傾向が見られた。これについては、冷水により温度低下した領

域が収縮し、引張の熱応力が生じ拘束圧が低下したことにより亀裂が開口したためと考えられる。図-6に示すように、熱応力による透水性回復により、抽出できる熱量が増加することも確認できる。

(3) パラメトリックスタディ

抽出される熱量に影響を及ぼすと考えられる、注入圧と抽出圧の値を変化させた時抽出熱量の違いを検討した。検討ケースを表-2に示す。値は初期水圧の20MPaを中心とし、そこからの差が等しくなるよう設定した。また、熱応力が抽出熱量に与える影響は大きく、全ケースで熱応力を考慮する。抽出熱量は、以下の式より算出した。

$$Q = c_f q_f T_{ex} \quad (11)$$

ここで、 Q は単位厚さあたりの熱量[W/m]、 q は質量流束[kg/m²/s]、 T_{ex} は抽出流体の温度[°C]である。図-7に、各ケースにおける抽出熱量、抽出井壁面での質量流束の経時変化を示す。質量流束については、円孔境界全体で積分した値を円孔の周長で除した値を求めている。抽出熱量と質量流束の推移形状はほぼ等しく、抽出熱量は質量流束に影響していることが確認できる。また、初期水圧との差が比較的大きい2ケースにおいては、得られる熱量にピークが現れる結果となった。ここで図-8に、case2における注入井から抽出井にかけての水圧分布の推移を示す。抽出井の極近傍($L=5.55\sim 5.6$ m)では約

表-2 ケース別注入圧・抽出圧

case	case1	case2	case3
注入圧 P_i [MPa]	28	25	22
抽出圧 P_e [MPa]	12	15	18

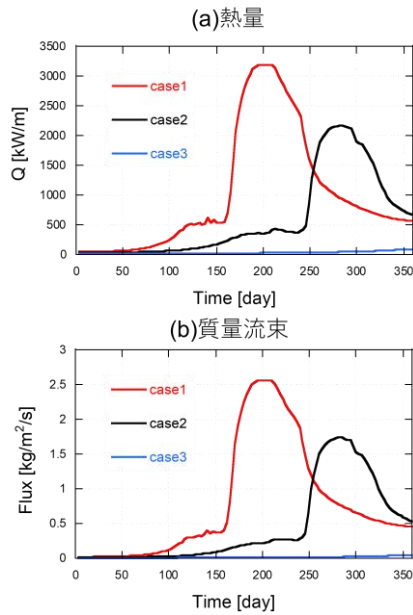


図-7 熱量・質量流束の経時変化グラフ

240日から280日にかけて圧力勾配が増加し、その後300日以降から低下していく様子が確認できる。この圧力勾配の増減は流速の増減に影響し、質量流束及び抽出熱量の増減もこれと一致すると考えられる。図-7に示す質量流束及び抽出熱量の推移を見ると、たしかに圧力勾配の増加傾向が見られる240～280日にかけて増加し、300日以降は圧力勾配の低下と共に減少している。ここで図-9に、case2における注入井から抽出井にかけての、式(10)で求まる亀裂開口幅 b と水圧破碎直後の亀裂開口幅 b_0 との比の推移を示す。図より、抽出井付近では、240日時点まで熱応力による亀裂開口幅の回復が進展しており、開口幅が水圧破碎直後の値まで回復済みの領域と未回復領域との境界が形成され、そこで水流が停滞したと考えられる。一方、240日以降は亀裂全域で開口幅が水圧破碎直後の値まで回復し抽出井付近で停滞していた水が流れ出したことにより、抽出井極近傍での圧力勾配が急増したと考えられる。しかし、このような抽出井付近の一時的な流れ場の変動も時間経過に伴い沈静化し、抽出井極近傍の圧力勾配も低下していったと考えられる。以上の現象に起因し、抽出井極近傍では圧力勾配が時間経過に伴い増減したと考えられる。また、初期水圧との差を小さくしたcase3ではもとより圧力勾配が低く、十分な流速が確保できず、抽出熱量が得られなかったと考えられる。

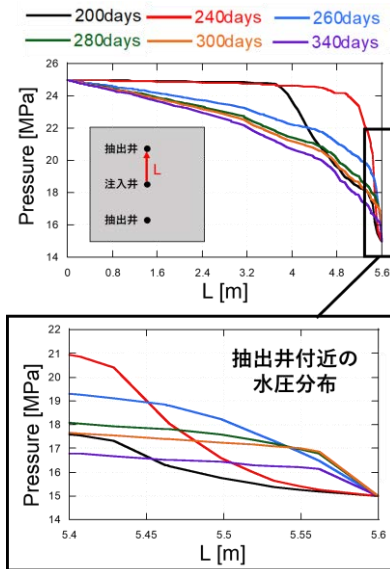


図-8 注入井—抽出井間の水圧分布 (case2)

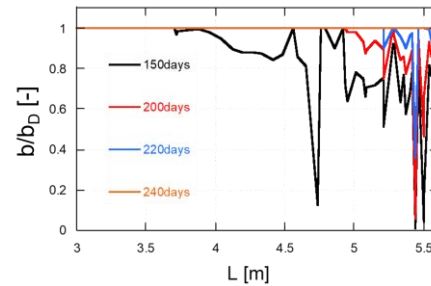


図-9 抽出井付近の b/b_0 変化 (case2)

5. 結論

本研究では、水圧破碎による亀裂進展解析及び、その後の地熱流体流動解析を一貫して行う、熱—流体—力学連成数値モデルを提案した。また、モデルを用いて貯留層造成EGSを模擬した解析を実施した結果、水圧破碎後において、地圧により一旦亀裂開口幅が減少した後、冷水注入による温度低下領域の熱収縮に伴い開口幅が経時的に増加していく挙動が確認できた。また、開口幅の回復現象により抽出井近傍で圧力勾配が変化し、抽出される熱量に影響を及ぼすことが示唆された。

参考文献

- 1) Lu, Y. L., Elsworth, D. and Wang, L. G. : Microcrack-based coupled damage and flow modeling of fracturing evolution in permeable brittle rocks, *Computers and Geotechnics*, Vol. 49, pp. 226-244, 2013.
- 2) Sun, Z-x., Zhang, X., Xu, Y., Yao, J., Wang, H-x., Lv, S., Sun, Z-l., Huang, Y., Cai, M-y. and Huang, X. : Numerical simulation of the heat extraction in EGS with thermal-hydraulic-mechanical coupling method based on discrete fractures model, *Energy*, Vol. 120, pp. 20-33 2017.
- 3) Akibayashi, S., Sugimoto, F. and Jeyadevan, B. :

- Numerical simulation of water-rock interaction through an artificial water circulation in a hot dry rock, *Journal of Groundwater Hydrology*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-11, 1999.
- 4) Li, X., Wang, J. and Elsworth, D. : Stress redistribution and fracture propagation during restimulation of gas shale reservoirs, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 154, pp. 150-160, 2017.
 - 5) Wei, C., Zhu, W., Chen, S. and Ranjith, P. G. : A coupled thermal-hydrological-mechanical damage model and its numerical simulations of damage evolution in APSE, *Materials*, Vol. 9, No. 11, 2016.
 - 6) Xu, T., Zhou, G. L., Heap, M. J., Zhu, W. C., Chen, C. F. and Baud, P. : The influence of temperature on time-dependent deformation and failure in granite : a mesoscale modeling approach, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 50, pp. 2345-2364, 2017.
 - 7) Zhu, W. C. and Wei, C. H. : Numerical simulation on mining-induced water inrushes related to geologic structures using a damage-based hydromechanical model, *Environmental Earth Sciences*, Vol. 62, pp. 43-54, 2011.
 - 8) Thiesen, M., Scheel, K. and Diesselhorst, H. : Investigation of the thermal expansion of solid and liquid materials – Determination of the expansion of water between 0°C and 40°C, *Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt*, Vol. 3, pp. 1-70, 1900.
 - 9) Molson, J. W. H., Frind, E. O. and Palmer, C. : Thermal energy storage in an unconfined aquifer 2. Model development, validation and application, *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 10, pp. 2857-2867, 1992.
 - 10) Holzbecher, E. O. : Modeling density-driven flow in porous media: principles, numerics, software, *Springer Verlag*, p. 286, 1998.
 - 11) Balenblatt, G. I., Zheltov, I. P. and Kochina, I. N.: Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks, *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 24, No. 5, pp. 852-864, 1960
 - 12) Rutqvist, J., Wu, Y. S., Tsang, C. F. and Bodvarsson, G. : A modeling approach for analysis of coupled multiphase fluid flow, heat transfer, and deformation in fractured porous rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 39, pp. 429-442, 2002.
 - 13) 緒方奨, 安原英明, 岸田潔 : 損傷理論を導入した多孔質岩盤における熱・水・応力・化学連成解析, *土木学会論文集 C (地圏工学)*, Vol. 75, No. 1, pp. 131-145, 2019.
 - 14) Pine, R. J., Ledingham, P. and Merrifield, C. M. : In-situ stress measurement in the Carnmenellis granite—II. Hydrofracture tests at Rosemanowes quarry to depths of 2000 m, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 20, pp. 63-72, 1983.
 - 15) 金子勝比古, 村田健司, 柴拓海, 大見美智人 : 花崗岩の弾性率とその評価 —岩盤の変形性の評価法に関する基礎的研究 (第 2 報) —, *日本鉱業会誌*, Vol. 103, No. 1187, pp. 9-15, 1987.
 - 16) Jaeger, J.C., Cook, N.G.W., and Zimmerman, R.W. : *Fundamentals of Rock Mechanics* 4th edition, *Wiley Blackwell*, p.488, 2007.
 - 17) 北野晃一, 新孝一, 木下直人, 奥野哲夫 : 高温化岩石の力学特性, 熱特性および透水特性に関する文献調査, *応用地質*, Vol. 29, No. 3, pp. 242-253, 1988.
 - 18) Min, K. B., Rutqvist, J. and Elsworth, D. : Chemically- and mechanically- mediated influences on the transport and mechanical characteristics of rock fractures, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 46, pp. 80-89, 2009.
 - 19) 佐藤和男 : 飽和水および飽和蒸気の状態量の簡易表示式, *日本海水学会誌*, Vol. 28, No. 3, pp. 182-190, 1974.
 - 20) Haimson, B. and Fairhurst, C. : Initiation and extension of hydraulic fractures in rocks, *Society of Petroleum Engineers Journal*, Vol. 7, pp. 310-318, 1967.
 - 21) Hubbert, M. K. and Willis, D. G. W. : Mechanics of hydraulic fracturing, *Petroleum Transactions, AIME*, Vol. 210, pp. 153-168, 1957.

GEOTHERMAL FLUID ANALYSIS BY USING THERMO-HYDRO-MECHANICAL COUPLED MODEL

Takashi MAEHARA, Sho OGATA, Toru INUI,
Hideaki YASUHARA and Kiyoshi KISHIDA

Enhanced Geothermal System (EGS) is the one kind of the technology to promote geothermal power generation. To predict the amount of extracted energy by performing EGS, a numerical model to examine the behavior of hydraulic fracturing and geothermal fluid flow is essential. In this study, we have developed a coupled THM model that can consider the fracture propagation and change of fracture aperture which depends on temperature and pressure condition. Using the model, numerical experiment assuming EGS was conducted. The predicted results show that temporarily compacted fracture due to in-situ stress was reopened by thermal stress and this fracture reopening altered the amount of heat extraction.