

TOUGH2 を用いた安比地区地熱貯留層の温度・圧力状態のシミュレーション

馬場 浩太*・久保 大樹*・小池 克明*

Temperature and Pressure Simulation of Geothermal Reservoir in the Appi Site Using TOUGH2

Kouta Baba*, Taiki Kubo* and Katsuaki Koike*

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of urban Management,
Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan.
E-mail: baba.kouta.67w@st.kyoto-u.ac.jp (Baba)

キーワード : 安比地区, 貯留層モデリング, 数値シミュレーション, 温度, 圧力
Key words : Appi site, Reservoir modeling, Numerical simulation, Temperature, Pressure

1. はじめに

地熱エネルギーは、火山大国であるわが国において豊富に存在する資源である。また、温室効果ガスの排出が極めて少ないうえに、太陽光や風力等の他の再生可能エネルギーと比較し、設備利用率が高く、供給安定性の点で優位である。よって、地熱技術開発の推進は、国内外を問わず重要であるといえる。

わが国における開発可能な地熱資源量は約 33,000MW と見積もられているが(環境省, 2011), このうち 2015 年における地熱資源の設備容量は約 540MW に過ぎない(GEA, 2015)。開発が遅れている原因としては、地熱資源は金属資源や化石燃料と比較して規模が小さく、偏在するために、不確実性が高く開発リスクが高いこと、および地熱貯留層の現状を把握することが困難であり、持続可能な運用計画を策定し難いということなどがあげられる。これらの問題を解決するために、一般的に貯留層モデル作成による数値解析が行われているが、適切な生産予測シミュレーションを行うためには、貯留層モデルの精緻化が不可欠であり、そのためには種々の地質情報をモデルに組み込む必要がある。そこで、本研究では加藤ほか(2006)により貯留層シミュレーションが適用されている岩手県安比地区をモデルケースに選び、既存の貯留層モデルの精緻化を図り、貯留層の温度・圧力状態の推定精度向上を試みた。

2. 解析手法

本研究では、多孔質媒体中の気液二相流と熱の 3 次元流れが解析できるソフトである TOUGH2 を用いた。TOUGH2 では、下記の式(1)で表される質量・エネルギー保存則を解く。

$$\frac{d}{dt} \int_{V_n} M^k dV = \int_{\Gamma_n} F^k \cdot n d\Gamma + \int_{V_n} q^k dV \quad (1)$$

ここで、 M は体積あたりの質量またはエネルギー、 V_n は要素 n の体積、 κ は成分、 Γ_n は要素 n の領域、 F はフラックス、 q は要素内における流出入である。式(1)を積分有限差分法により離散化し、残差が収束判定値以下となるまでニュートン法により繰り返し計算を行う。

3. 貯留層モデルの構築

本研究では、加藤ほか(2006)などにより作成された安比地区における地熱系概念モデルと地質モデルを参考にし、地質分布と物性値分布を 3 次元領域内に与えた。

3.1 解析領域とグリッド分割

解析領域の大きさは南北に 6500m, 東西に 5000m, 鉛直方向に 2500m と設定した。グリッド間隔は南北と東西方向が 250m であり、鉛直方向に関しては設定した各層の厚さに比例するように適宜分割した。ブロック数は南北方向が 26, 東西方向が 20, 鉛直方向が 27 である。

3.2 岩石の物性値

概念モデルより作成した地質モデルを第 1 図に、各層の岩石物性値を第 1 表に示す。新規火山岩類、鮮新世~更新世火砕流堆積物、上部阿仁合層、中部阿仁合層の 4 つの層を上から配置し、各物性値を設定した。また、高温流体の北部への流れを再現するために、変質帯を想定した難透水域を深部に設けた。データが不足している新規火山岩類を除き、密度、孔隙率、熱伝導率、熱容量はボーリングコアを用いた岩石物性試験の結果に基づいて決定したが、絶対浸透率については自然状態シミュレーションの過程で適宜調整した。

3.3 初期条件と境界条件

計算の初期条件は、全グリッドに対して圧力を 5.0MPa, 温度を 150°C と一定においた。境界条件は断熱不透水を基本とし、流出は表層からに限定した。また、計算値と温度・圧力データのマッチングを向上させるために、表層付近に大気圧と 70~100°C の固定パラメータをもつブロック(以下、固定ブロック)を適宜配置した。底面には熱流束と質量流束を設定した。熱流束は $x=0 \sim 4000\text{m}$ の範囲に対して計 5.12MW, 質量流束は $x=y=3000 \sim 3500\text{m}$ の範囲に計 0.552MW を与えた。

シミュレーションは 30 万年間を計算対象とし、準定常状態の再現を目的とした。

4. 解析結果と考察

自然状態シミュレーションによって推定された安比地区の貯留層モデル、およびモデルと温度検層によって得られ

第 1 表 安比地区の地質区分と各区分に与えた岩石物性値

地質区分	浸透率($\times 10^{-15}m^2$)	密度(kg/m^3)	孔隙率	比熱(J/kgK)	熱伝導率(W/mK)
新規火山岩類	1.00	2600	0.10	1000	0.83
鮮新世~更新世 火砕流堆積物	0.250	2270	0.18	1000	0.83
上部阿仁合層	2.50×10^{-2}	2460	0.11	1000	1.35
中部阿仁合層	0.250	2460	0.06	1000	2.33
中部阿仁合層(変質)	2.50×10^{-3}	2460	0.06	1000	2.33

たデータの比較をそれぞれ第 2 図, 第 3 図に示す. すべてのボーリングにおいて温度は整合しているものの, 圧力はモデルの方が概して高い. これは, 計算における地下水面が実際よりも高いことを意味し, 地層や表層付近に配置した固定ブロックの配置の改善が必要である. また, ボーリング AP2 と AP4 において, 伝導型から対流型への温度分布の遷移が精度良く再現できているが, AP5 においては対流型に遷移する深さが実測値よりも浅い. これは, 高温流体の東部への過剰な流れが原因であると考えられる. よって, 変質帯を仮定した難透水域のより適切な配置が重要であり, 深部地質情報の追加が必要である.

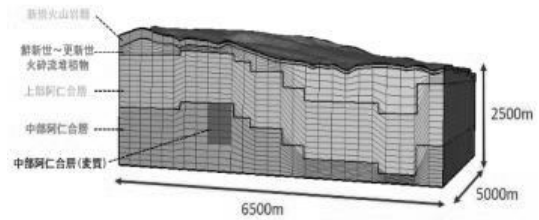
本シミュレーションでは, 質量流束によるエネルギーの合計を $0.552MW$ とし, 熱流束は合計 $5.12MW$ と設定した. 当地区に分布する 3 つの温泉による総放熱量は $1.50MW$ と観測されている. 石戸(1998)によると地表での熱流束は深部の熱流束の下限値を与えると考えられるので, 本モデルから導かれる総熱流量 $5.67MW$ は観測値と矛盾しない. ただし, 検層による鉛直方向の温度勾配から, 本地区の熱流束はおおよそ $0.389 \sim 0.598W/m^2$ であり, 熱量の総量は $6.32 \sim 9.71MW$ と見積もられる. 熱流束の設定値はこの推定値よりも小さいが, これは TOUGH2 は水の超臨界状態には対応できないために, 設定できる熱流束に限界があったことによる. したがって, より精度の高い貯留層モデルを構築するためには, 超臨界状態に対応できるアルゴリズムの開発が不可欠である.

5. まとめ

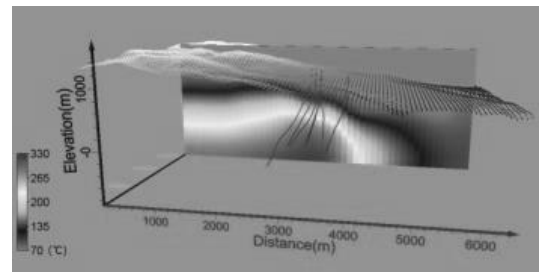
TOUGH2 を用いて岩手県安比地区における貯留層モデリングを行ったところ, 温度に関しては実測値と概ねマッチングさせることはできたが, 伝導型から対流型温度分布への遷移を AP5 では適切に再現することができなかった. これを改善するためには, 深部の難透水域の配置を見直すとともに, 地質構造をより詳細に把握することが必要である. また, 圧力に関しては, 地下水面の位置が正しく表現できていないため, 全体的にモデルの方が高い. よって, 表層付近に設けた固定ブロックの配置も圧力の計算精度に強く影響を及ぼすことが分かった.

文 献

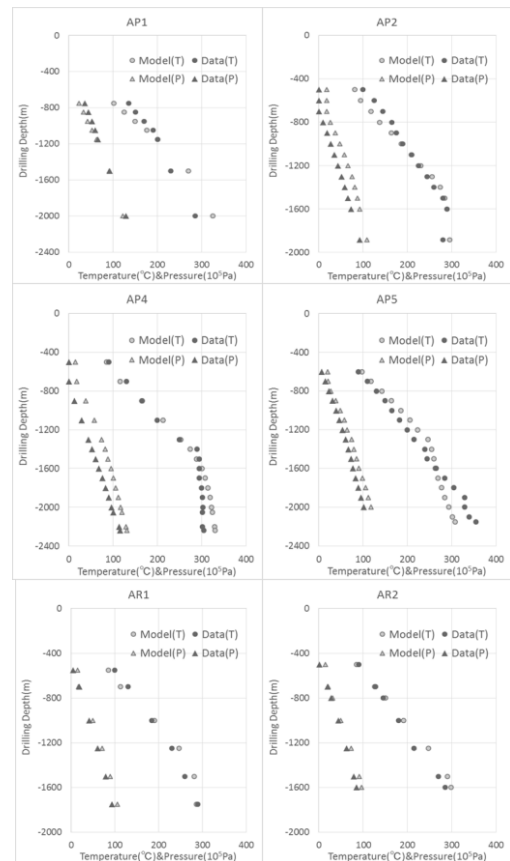
環境省 (2011) 平成 22 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書.
 Geothermal Energy Association (2015) *Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report*.
 加藤久遠・有木和春・工藤悟志・阿部泰行 (2006) 地熱開発促進調査安比地域の貯留層モデリング, 日本地熱学会誌, vol. 28, No. 1, pp.19-36.
 石戸経士 (1998) 地熱貯留層工学第 5 回貯留層シミュレーション(1)自然状態モデリング, 地熱, vol. 35, No. 1, pp.76-97.



第 1 図 作成した安比地区の地質モデル



第 2 図 シミュレーションによる準定常状態での推定温度分布



第 3 図 各ボーリングにおける温度(T)・圧力(P)の検層データと計算値との比較