

○ 東京大学 学生員 澤田 昌孝
東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

高温岩体発電は地熱発電の一種である。まず坑井を1本掘削し、そこから高温の地下深部に高压の水を注入して、岩盤内に亀裂を進展させ(水圧破碎という)、別の場所にも坑井を掘削する。その後注入井から水を入れ、生産井と呼ばれる別の坑井から温められた水(水蒸気)を回収し、発電に利用するのである。

この方法の特徴としては、 CO_2 などの放出がほとんどなく環境にやさしいこと、熱水が存在しない地点でも発電が可能であること、資源量が膨大にあることがある。しかし、これまで実用例のない技術であり、水圧破碎による貯留層形成の予測、水の循環の予測、発電所の供用年数の予測等の技術的課題を解決しなければならない。

本研究では、上述した課題のうち貯留層形成の予測を可能とするため、水圧破碎による亀裂進展の解析手法を確立し、その妥当性を示すことを目的とする。

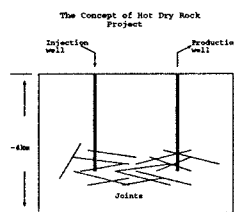


図1 高温岩体発電概念図

2. 水圧破碎のモデル化

多くの報告によれば、高温岩体発電プロジェクトの実験場に選ばれた地点の地下深部の岩盤は、ジョイントのネットワークを有している。本研究では、水圧破碎による貯留層の形成は高压の水によって新規の亀裂が形成されるのではなく、岩盤が有するジョイントが次々と開口し、透水性の高い領域が広がっていくものと考えられる¹⁾。

また、不連続性岩盤をマイクロメカニクスに基づく等価連続体理論(以下、MBC理論)を用いてモデル化する。この理論はジョイントのせん断すべり・開口を岩盤挙動の支配的メカニズムと捉え、その影響を考慮に入れた連続体モデルである。定式化にあたっては、個々のジョイントの挙動をモデル化し、その挙動に基づき平均化操作を行うことにより等価な連続体の挙動、すなわちジョイントを含む岩盤の構成式が導かれている²⁾。

このモデル化を行うことにより、卓越するジョイントセットの走向・傾斜やジョイントの平均間隔等の情報を直接入力データとして解析に反映することができ、ジョイントの開口や透水係数、水圧の空間分布が得られる。

3. 3次元有限要素解析

1992年に山形県の肘折実験場で水圧破碎試験が行われた。その解析を初期地圧、岩盤の物性、ジョイントの情報等を入力データとして3次元有限要素解析で行なった。注入点にあたる要素に時間ごとの流量を入力し、ここでは各地点でのジョイントの開口を得た。ジョイントの開口が起こっている領域を貯留層と考える。入力に用いた流量、注入点における水圧の計算および測定結果、各時間での開口要素数を図4、各種入力データの値は表1に示す。図2は解析結果による貯留層の形状である(左上:上から見た図、右上:東から見た図、左下:南から見た図、右下:北東上から見た図)。また、図3は肘折における水圧破碎時のAEソースの分布を表している(図の配置は解析結果と対応している)。プロットされている部分で水圧破碎がおこったことを示している。

初期地圧	$\sigma_H = 64.8 MPa (N95^\circ E)$
	$\sigma_h = 39.4 MPa$
	$\sigma_z = 52.7 MPa$
岩盤の物性	$E = 40 GPa$
	$\nu = 0.2$
	内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$
ジョイント情報 (2セット)	走向 $N70^\circ E$
	傾斜 $65^\circ N$
	走向 $N100^\circ E$
	傾斜 $45^\circ N$
	size = 10m
	distance = 1m

表1 解析パラメータの値

キーワード：岩盤、高温岩体発電、透水性、水圧破碎

〒113 東京都文京区本郷3-7-1 TEL:03-5804-8708 FAX:03-3812-4977

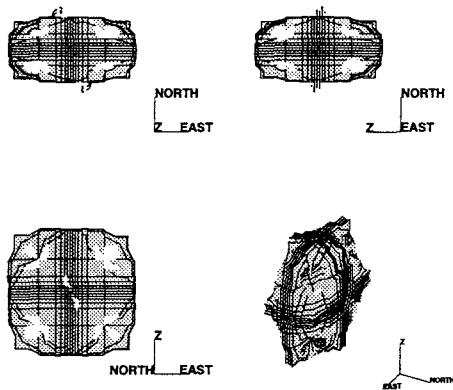


図 2 解析結果, 貯留層の形状: 肘折

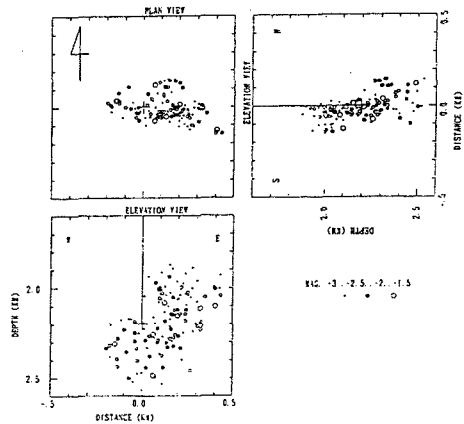


図 3 AE ソースの分布: 肘折

4. まとめ

AE ソースの分布を見てみると, 南北方向よりも東西方向に広がっている様子や深さ方向に延びている様子が確認できる。岩盤調査によって卓越ジョイントとして選ばれた 2 組のジョイントセットの走向・傾斜と AE ソースの分布が非常に関連を持っていることが分かる。それらのジョイント情報を入力データとして用いた解析の結果も当然ながら上述した特徴を示している。

従って, 卓越するジョイントが存在する不連続性岩盤においては, 地下深部のジョイント・初期地圧などを調査して, その結果をうまく入力データに置き換えれば, 水圧破碎による貯留層形成の予測が十分可能であることが分かる。

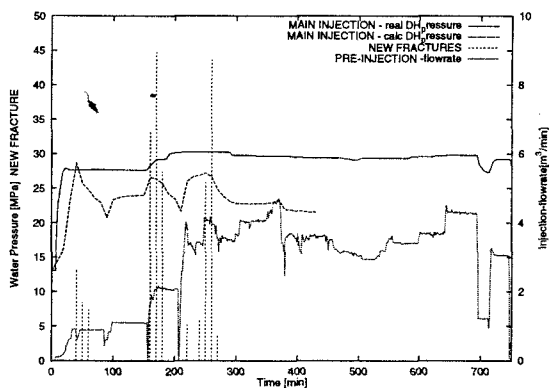


図 4 注入点における流量および水圧の時系列データ

参考文献

- 1) J.Vychytil and H.Horii : Micromechanics-based continuum model for hydraulic fracturing of jointed rock masses during HDR stimulation, Mechanics of Materials; in print
- 2) 吉田, 堀井: マイクロメカニクスに基づく等価連続体理論と大規模空洞掘削の解析, 土木学会論文集, No.535/III-34, pp.23-41, 1996.