

葛根田地熱地域の地熱構造と地震分布

Geothermal structure and earthquake distribution in Kakkonda geothermal field

土井 宣夫 [1], 池内 研 [2], 加藤 修 [3], 笠井 加一郎 [3], 茂原 諭 [4], 大湊 隆雄 [5], 赤工 浩平 [5], 大久保 泰邦 [5]

Nobuo Doi [1], Ken Ikeuchi [1], Osamu Kato [2], Kaichiro Kasai [3], Satoshi Shigehara [3], Takao Ohminato [4], Kohei Akaku [4], Yasukuni Okubo [4]

[1] 日重化, [2] 日本重化学工業, [3] 地熱エンジニアリング株式会社, [4] 地熱エンジニアリング(株), [5] N E D O

[1] JMC, [2] Geothermal Engineering Corporation, [3] Geo-E, [4] NEDO

葛根田地域で掘削した深度3,729mのWD - 1井で得られた資料にもとづき, 500℃を越える温度構造と水理構造, 地震・断裂分布, 応力場および天水の浸透深度の関係を議論した。

1. はじめに

岩手県葛根田地熱地域は, 浅所貫入型の第四紀葛根田花崗岩を熱源岩としてその上方に活発な熱水対流系が発達している。新エネルギー・産業技術総合開発機構では深部地熱資源の賦存状況と利用可能性を明らかにするため, 平成4年度から10年度まで, 4,000m級の深部調査井WD - 1の掘削を含む調査・研究を実施している。WD - 1は熱水対流系や地震発生下限深度を貫いて深度3,729mまで掘削された。これは世界初の500℃以上の温度領域の掘削であった。ここでは, WD - 1の掘削で明らかになった熱構造と水理構造および天水の浸透深度の関係, 熱構造と地震・断裂分布および応力場の関係について報告する。

2. 熱構造と水理構造および天水の浸透深度の関係

葛根田地域の深度方向の透水性(k_z)は地表~深さ約1.5kmがE-14m2オーダー, 深度約1.5~3.1kmがE-16m2オーダー, 深さ3.1km以深は不透水域である。透水性が急変する境界付近の地質は, 深度約1.5kmが新第三系の火山砕屑岩, 深度3.1kmが葛根田花崗岩である。地下温度は透水性の変化に対応して, 地表~深度約1.5kmまでが260℃以下, 約1.5km以深で急上昇して300℃を越えたあと深度3.1kmで約380℃に達し, 3.1km以深は30℃/100m以上の地温勾配をもつ500℃以上の熱伝導域へと変化する。

温度分布から推定される熱水対流域から熱伝導域への遷移深度は深度3.1kmである。周辺の地熱井では深度3km弱の花崗岩から, 酸素・水素同位体組成から天水起源と考えられる流体が噴出している。さらにWD - 1の花崗岩中の流体包有物の塩濃度分布から, 天水の浸透は深度3.25kmの熱伝導域内に達していると推定される。一方, WD - 1は深度3.3kmを掘削中に高濃度のCO₂とH₂Sガスが掘削泥水とともに回帰した。流体包有物中のCO₂とH₂Sガス濃度も深度3.2km以深で高くなる。また, 深度3.7km付近の坑内水は, NaCl等の39.5wt%に達する塩類を含むことが明らかになり, 花崗岩の熱伝導域にはガスや超高塩濃度流体がトラップされていると推定される。

3. 熱構造と地震・断裂分布および応力場の関係

葛根田地域では最近1年間にM-1以上の地震が6~7,000個観測されている。地震は大局的には葛根田川にそう北西-南東方向の地帯に分布するが, その中に, 北北東方向の地震の集中域が雁行状に配列する。地震の大局的な分布は, 水平的および深度的に, 逸泥が多く透水性が高い領域に一致し, 深度約1.5kmまでに多い。北北東方向の地震の集中域は, WD - 1の掘削によると, 逸泥が多い。

地震の深度方向の分布には下限が存在する。葛根田地域では分布下限は1.5km以深にあるが, 高透水域の分布下限とは対応せず, 震源精度を考慮すると, 300~350℃の温度に対応する。

FMI検層(Fomation micro imager)で求めた深度方向の断裂密度は, 深度2,000~2,500m付近で最も高く, 以深は出現する地質の順に新第三系(平均52枚/10m), 先第三系(平均28枚/10m; いずれも熱変成岩), 葛根田花崗岩(10枚/10m以下)へと次第に低くなる。掘削により透水性が高いことが判明している花崗岩縁辺部は, 花崗岩内部と比較して断裂密度は若干高い(24枚/10m)ものの, 全体として断裂密度は低い。地震の分布下限はWD - 1付近では深度2,000m付近と推定されるが, 断裂密度の高さとは対応しない。

葛根田地域では東西方向に最大圧縮応力軸があると推定されるが, 地震の発震機構は逆断層型と一部横ずれ断層型で, 圧縮軸はほぼ東西方向を示し広域応力場と調和する。深度方向の応力場は掘削時に坑井内に生じるき裂(DTF)から推定することができるが, DTFの解析によると, 圧縮軸の方向は東西方向に一致する。また, 中間および最少圧縮応力値に近いことから, 場所により両者が入れ替わり, 逆断層と横ずれ断層が共存することが予想されるが, これは地震の発震機構と調和する。しかし, 地震分布の下限を決定する応力値の変化は明らかでない。