

酸化還元反応に起因する自然電位の変化

石戸 経士 [1]
[1] 産総研

Changes in self-potential caused by redox reaction

Tsuneo Ishido[1]
[1] GSJ/AIST

In the vicinity of a well an SP anomaly of negative polarity has often been observed. This type of anomaly is thought to be caused by electrochemical processes in the Earth crust similar to a galvanic cell: the electrically-conductive casing connects regions of different redox potential. The data from SP monitoring at the Sumikawa geothermal power station are interpreted based upon a simple layered model.

坑井の口元付近にはしばしば負の電位異常が存在する。これは坑井の鋼管ケーシングが地表付近の酸化環境と深部の還元環境を貫いているため、電極反応により電子伝導体である鋼管ケーシング中を深部の低酸化還元電位 (Eh) 部分から地表近くの高 Eh 部分へ電子が流れ、周囲の地層 (電解質溶液) 中を電流 (深部で外向き、地表近くで内向き) が流れるために発生する。

この現象を定量的に検討するため、層構造モデルを用いて簡単な計算を行った。各層の Eh は酸素と水素イオンによる酸化反応と第一鉄イオンによる還元反応の兼合いから与えるが、深度とともに酸素分圧が低下するので Eh も低下する。層 i で電極反応によって外向きに流れる電流: $I(i) = 2 \times 3.14 H(i) G(i) [E_m - E_c(i) - E_h(i)]$ は、地層中を外向きに流れる電流: $I(i) = 2 \times 3.14 H(i) C(i) [E_c(i) - E_o] / L(i)$ と等しい。ここで H(i): 層厚、E_m: 鋼管の電位で一様を仮定、E_c(i): 鋼管表面地層側の電位、 $G(i) = \{C(i) R T\} / \{R_c F I_x(i)\}$ は無次元量で C(i): 伝導度、R: 気体定数、T: 温度 (K)、R_c: 鋼管半径、F: ファラデー定数、I_x(i): 交換電流密度に相当し反応速度から計算、 $L(i) = \ln(R_o/R_c)$ である (R_o: 電位が一定値 E_o になる距離)。これらの式と鋼管ケーシングを通して出入りするトータルの電流がゼロの条件を使って、E_c(i) あるいは距離 R の電位: E(i,R) を求めることができる。

以上のモデルを澄川地熱発電所で行っている自然電位モニタリングの結果に適用し、以下のことが明らかとなった。
1) 地面に接触しているパイプライン沿いにラインソース解にしたがう R=5m で -100mV ほどの負異常が存在し、夏季にさらに 100mV 低下する季節変動を繰り返している。パイプラインが地下 2000m 程度まで掘削された複数の生産井と連結していることから定量的な説明が可能である。夏季の 100mV の低下は地表の接触部の抵抗が小さくなるためと考えられる。2) 還元井近くの観測井の深度 75m で、還元温度の変化に伴う電位変化が観測されている。これは温度上昇による Eh の低下では説明できず、還元井近傍の抵抗値の温度変化に起因していると考えられる。3) 鋼管ケーシングが 30m の坑井で空気圧入を行ったときに坑口近くで電位の上昇が観測されている (例えば、當舎他、2004 年 CA 論文集)。30m 付近で Eh がかなり低い地質条件であれば空気がケーシング外側に侵入することで 50mV 程度の電位上昇も考えられる。