

1.はじめに： 地熱発電において、発電に供する蒸気を分離したのち排出される大量の熱水を地下に還元する際に、熱水中のシリカが地表のパイプラインのみならず地熱貯留層にまで付着し地層の透水性を低下させ、その結果還元井の還元能力を経時的に低下させている。このようにシリカの付着は発電所の維持、運営にあたって重要な問題となっている。本報は地熱貯留層内におけるシリカの付着機構の解明を目的として、模擬地層を作製しこれに地熱発電所から排出される熱水を通水して実験を行ない物理的、化学的検討を加えたものである。

2.シリカスケールの生成機構について： 充てん層内で生成したシリカスケールは水を除くと殆ど SiO_2 であるが、2-3%のAlを含み、種々の微量元素も含まれているが、特にAlが熱水中の濃度に比べて濃縮されているのが特徴である。表-1に通水実験に用いた大岳集合熱水の化学分析の結果を示す。含まれるケイ酸がほとんどモノマーであり、また充てん層内でケイ酸の重合が起こらないので、本実験では大きなケイ酸ポリマーはスケール生成に関与していない。また通水後のダイマー濃度が通水前とほとんど変化しないことからスケール生成反応は大部分モノマーのみが関与する反応であると結論できる。一方通水後Al濃度が減少することから現在のところスケール生成機構としては、熱水中に微量含まれるAlの化学種が優先的に吸着され、それにケイ酸モノマーが吸着、重合してシリカが生成すると考えることが可能であるが、なお今後熱水中のAlの溶存状態及び吸着化学種の解明が望まれる。

3.実験装置及び実験方法： 図-1は実験装置の概略図である。

充てん材には平均粒径2mmのアルミナビーズを用いた。充てん層は実験装置から取はずして解体できるようになっている。表-2はビーズ上面からのマノメータの位置でありマノメータは充てん層上部に密に合計11個設けてある。表-3は実験条件であり実験はマノメータNO.1とNO.11の水頭差(ΔH)を種々変えて6回行った。実験手順は、次の通りである。①水で飽和した充てん層を実験装置に取り付け、上部バルブを開き熱水を流入させ、次に下部バルブを徐々に開いてゆく。②マノメータの読みが落ちついた時点で水頭(ϕ)、流量(Q)の測定を開始する。③通水停止後、充てん層を取はずし解体して所定の位置のビーズを採取しビーズに付着しているシリカスケールの量を測定する。

4.解析： レイノルズ数(Re)と抵抗係数(C_D)の関係を両対数グラフにプロットしこれに最小二乗近似を施すと $C_D = 3939 \times Re^{-0.578}$ の直線が得られた。これより Re 数と C_D とは反比例の関係ではなく、したがって本実験はダルシ

の法則が成立しない範囲で行なわれたことがわかる。また運動方程式は $v = ki^{0.991}$ で表わされ、これより透水係数(k)が求められる。図-2は水頭分布(実測値)の経時変化を表わしているが各マノメータの読みにばらつきがみられるため、最小二乗法を用いてポテンシャル分布の平滑化を行なった。その曲線を表わす関数型として、高次多項式、チェビシェフ級数、スプライン関数などを用いたが、ここでは近似度のよかったスプライン関数により平滑化を行ない、透水係数は平滑化した水頭分布から求めた。

表-1 化学分析の結果

pH	8
Temp (°C)	90
Element	ppm
SiO ₂ (total)	522
SiO ₂ (monomer)	496
SiO ₂ (dimer)	26
Li	5.6
Na	1150
K	125
Mg	0.22
Ca	44.8
Cl	1670
SO ₄	188
Al	0.55

表-2 マノメータの位置

NO	X (cm)
1	0.00
2	0.60
3	1.10
4	1.60
5	2.60
6	3.60
7	4.60
8	6.60
9	8.60
10	10.60
11	48.90

表-3 実験条件

RUN	ΔH (cm)
1	51.5
2	24.8
3	15.5
4	31.9
5	23.7
6	19.3

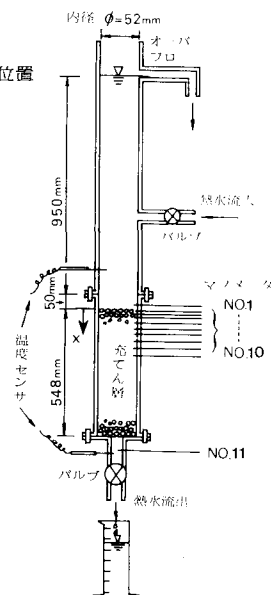


図-1 実験装置

5. 実験結果及び考察:図-2よりポテンシャル分布が時間の経過にしたがい変化してゆく様子がうかがえる。

図-3は流量の経時変化であるが図-2と対比してみると、流量が減少してゆくにつれて上部マノメタの水頭差が大きくなっていることがわかる。これは、熱水中に含まれるシリカがビーズ上面に吸着し始め徐々にシリカスケールが生成されてゆくために通水能力が低下してゆくものであり、しかも充てん層上部に集中的に起こることがわかる。また、図-4の透水係数の分布の経時変化

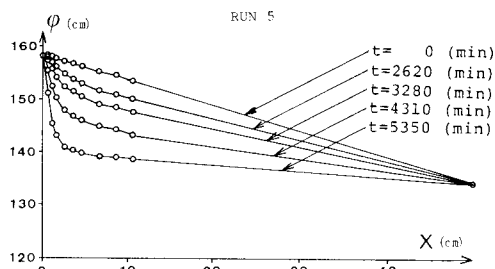


図-2 水頭分布の経時変化

であるが、時間の経過に伴い充てん層上部の透水係数は極端に小さくなってきているが、下部の変化の割合は小さい。図-5は実験終了時における抑留量(Q_s)の場所的変化を表わしたものであるが、充てん層上部に集中的に抑留されていることがわかり上述のことは明らかである。図-6は抑留量と透水係数の関係を片対数グラフにプロットしたものである。図中の直線は最小二乗法により求めた Q_s と K/K_0 の関係式である。この図から抑留量が増えるにしたがって透水係数はexponential的に減少していくといえるであろう。

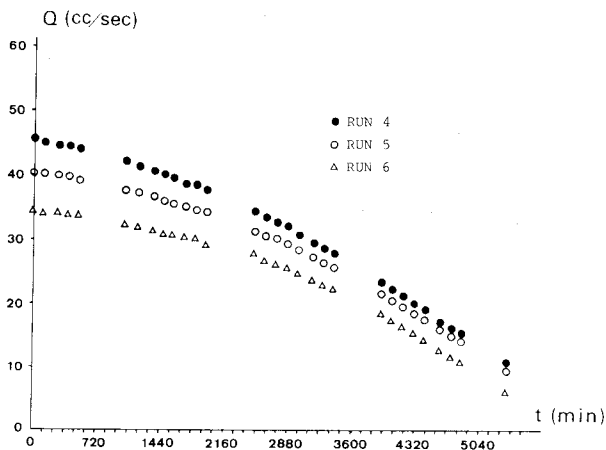


図-3 流量の経時変化

6. むすび: 以上の実験及び解析によりシリカスケールによる抑留は充てん層上部に集中しシリカスケールがビーズ間の空隙を狭くしてゆくため損失が大きくなり透水係数の低下を促進するものと考えられる。また同一度の目づまりに対して透水係数低下の進行時間はマノメタN0.1とN0.11の差(ΔH)が小さいほど長いことがわかる。これらのことから目づまり現象の定性的傾向が把握できたと思う。今後、目づまりの機構を表わす式体系を確立してシミュレーションを目指したい。

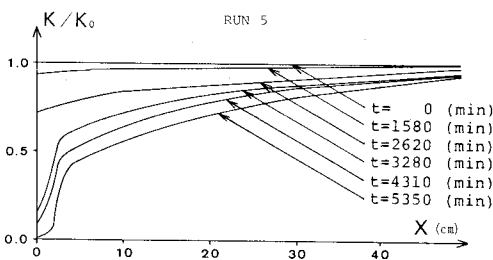


図-4 K/K_0 の経時変化

謝辞: 本研究を行なうにあたり、九州大学工学部 上田年比古教授、生産科学研究所 福田道博助教授、九州電力火力研究室の方々、並びに新エネルギー開発機構(NEDO)の方々に有益な御助言、御助力いただきました。ここに記して感謝いたします。

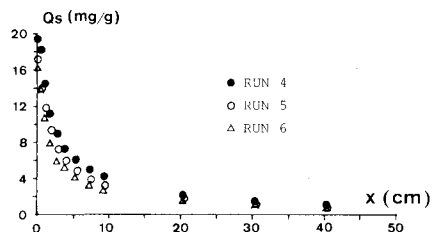


図-5 抑留量の場所的变化

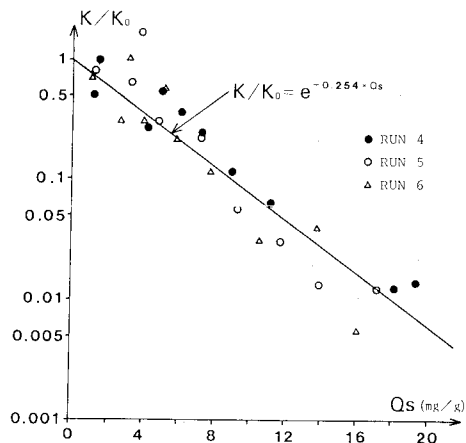


図-6 Q_s と K/K_0 の関係