

多孔媒体中の熱水移動に関する基礎実験

埼玉大学工学部 佐藤 邦明

〃 〃 〇東 憲生

はじめに

火山地帯の熱水や高レベル放射性廃棄物の深層処分に伴う崩壊熱による熱水作用のように、地下水が100℃以上の熱源に接すると、地層や岩盤における水は沸騰しつつ高圧蒸気を発生して移動する。このような現象は熱移動、圧力変化、相変化を伴う浸透流ということとなり、ほとんど判っていない。温度勾配をもつ不飽和浸透流の中でも温度レベルが低い場合には Philip & de Vries¹⁾の研究が知られ、この理論は広く応用されている。しかし、温度レベルが100℃をこえるような場合にはこの研究成果は応用範囲をこえてしまう。そこで、筆者らは多孔媒体中の高熱水と蒸気の移動、伝熱の基本法則を見出すために高熱源をもつ多孔体充てん槽内の浸透流に関する新しい実験を行ない、二、三の基本的な知見を得たのでここに報告する。

1. 実験装置と実験方法

実験装置は図-1に示すように、主要部分は、①多孔媒体カラム（直径 0.10m、長さ 0.46m）、②熱源ヒーター、③蒸気圧測定マノメーター、④温度センサー（タカラ KL-200）、⑤重量計（精度 1 g）、⑥温度制御ユニット（チノー SU-51D）、⑦レコーダー（タカサーミスター K-700）である。実験目的は、多孔媒体カラム中における地下水が熱源より熱を受けたとき、地下水上の不飽和帯の蒸気圧と温度が経時的にどう変化するかを知ることにより、温度レベルによる伝熱メカニズムがどういった現象を支配するかを調べることにある。従って、実験方法は、まずカラム内にガラス球（粒径 0.8mm）を充てんし、カラム内に一定水位（深さ 0.41m および 0.36m）まで水を注入した後、マノメーター、温度センサーをセットする。そこで、水の初期重量を測り、サーミスターとレコーダーを結線し、ヒーターを設定して実験を開始する。実験ケースは表-1に一括して示したように、Exp. 1～4であり、熱源温度が100℃、120℃と違えてある。実験開始後、経時的に各深さにおける温度、圧力および重量（蒸発量）を測定、記録する。

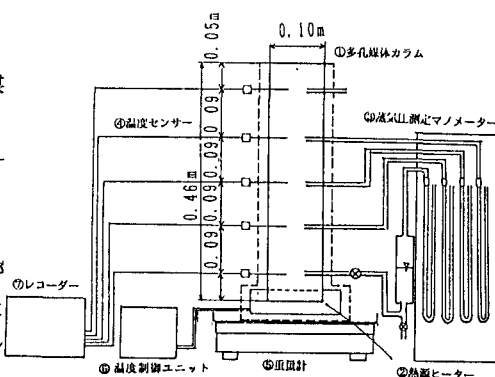


図-1 実験装置の概略とシステム

表-1 実験ケースと条件

実験ケース	試料	地下水水位	熱源温度
EXP. 1	ガラス球充填層 粒径 0.8mm	-0.41m	120℃
EXP. 2		-0.36m	
EXP. 3	透水係数 $k = 2.33 \times 10^{-4}$ m/s	-0.41m	100℃
EXP. 4		-0.36m	

2. 実験結果と検討

表-1に示した実験ケースについて得られた実験結果で代表的な2例を図-2, (a), (b), 及び図-3(a), (b)に示した。図-2には縦軸にカラム内各点の蒸気圧及び蒸発量を取り、横軸に時間をとったものである。(a)図には熱源ヒーター温度が100℃の場合であり、(b)図は120℃のそれである。両者はかなり違った結果を示しており、熱源温度が高い(b)図のほうが(a)図にくらべて蒸気圧の上昇がかなり高くなっていることが判る。また蒸発量は両者ともほぼ直線で、(b)図のほうが、(a)図よりかなり大きくなっている。

図-3は同様にカラム内温度経時変化を示している。図中の(a)

図は100℃、(b)図は120℃のそれであり、(b)図のほうが各点における温度経時変化が、(a)図のそれより急激であることが判かる。

つぎに、カラム内の各点における温度経時変化が伝導によるより蒸気水の移動によることを量的に算定する。いま、カラム内の伝導方程式、²⁾

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここに、T：温度、 κ ：温度拡散係数、t：時間、z：座標（深さ）とする。式(1)を条件、 $z=0$ において、 $T=T_0$ (20℃)、 $z=L$ (0.46m)において、 $T=T_L$ (100℃および120℃)、 $t=0$ において、 $T=T_0$ で解いて得る式、

$$T = T_0 + (T_L - T_0) \frac{z}{L} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{T_L \cos \frac{n\pi}{L} - T_0}{n} \cdot \sin \frac{n\pi}{L} z \cdot \exp(-\kappa \frac{n^2 \pi^2}{L^2} t) + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi}{L} z \cdot \exp(-\kappa \frac{n^2 \pi^2}{L^2} t) \frac{L}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \quad (2)$$

によって検討を加える。

式(2)において、粒径0.8mmのガラス球充てん層の温度拡散係数、 $\kappa = 8.75 \times 10^{-4}$ (m²/h)³⁾によって計算したものが、図-3の(a)、(b)にそれぞれ実線で示してある。この計算により明らかなように、熱源の温度レベルが高い場合の熱輸送が伝導に比べて蒸気の移動によるものであることが判る。つまり、温度勾配をもつ不飽和浸透流が液状水の移動と伝導に支配されているのに比べ、温度勾配が大きく、かつ沸騰条件下では蒸気水による伝熱に強く影響されることが実験的に明らかとなったものといえる。従って、今回の実験で得られたような場合には良く知られている Philip & de Vries の基礎式における水分移動則を考え直す必要があるといえよう。

参考文献

- 1) Philip, J. R. and D. A. De Vries : Moisture movement in porous materials under temperature gradients, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 38, No. 2, 1957, PP 222 ~ 232
- 2) 川下研介：熱伝導論，生産技術センター，1975, PP 120 ~ 130
- 3) 佐藤邦明：飽和多孔体および温水浸透流における温度伝導率の実験的研究，土木学会論文集 320号，1982, PP 57~65

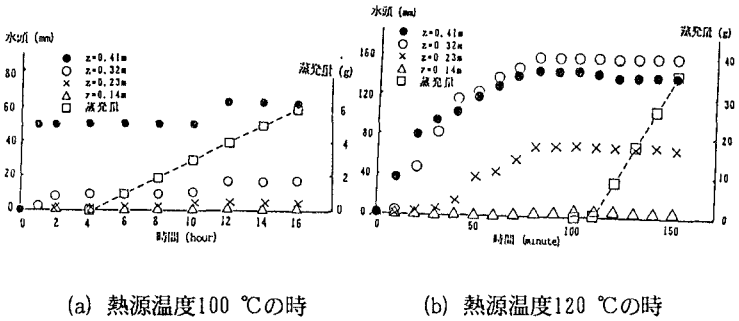


図-2 カラム内の蒸気圧及び蒸発量の経時変化

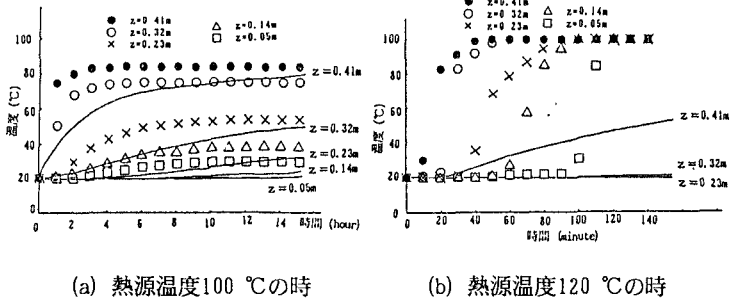


図-3 カラム内の温度の経時変化