

III-177 亀裂帯を有する岩盤地山における熱源周辺の自然対流の発生と成長について

（株）熊谷組原子力開発室 正員 ○伊藤 洋
 埼玉大学 工学部 正員 佐藤 邦明
 （株）熊谷組原子力開発室 正員 清水 昭男

1. はじめに

岩盤内における自然対流現象の解明は、高レベル放射性廃棄物深層処分場周辺の伝熱・核種移行問題を考える上で大切な課題となりつつある。著者らは、既に等方均質岩盤地山におけるこういった問題に対し、地下水流-伝熱連成解析による数値実験を行い、その発生条件・成長過程などの基本的性質を吟味している。本論では、地山内に亀裂帯が存在するときの自然対流・サーマルブリュームの形成過程に焦点をあて、いくつかの数値実験を行ってその基本特性を検討する。

2. 解析モデルと解析方法、条件

解析モデルは、図-1に示したような有限熱源上に亀裂帯が存在するような岩盤二次元モデルを考える。地表面は自由水面と同一レベルとし、初期状態では静水圧分布であるとする。一方、熱的には地表面は熱伝達境界であるが、それ以外は断熱・不透水境界とする。こういったモデルにより亀裂帯での自然対流・サーマルブリュームの成長過程を調べることとする。

基礎式は、Bussinesq 近似を採用して、連続の式、ダルシー則、伝熱方程式より次のように書ける。 $\text{div } V=0$ (1)、 $V=-K/\mu(\text{grad } p + \rho g)$ (2)、 $(\rho c)^* \partial T / \partial t = \kappa^* \cdot \text{div}(\text{grad } T) - (\rho c)_l \nabla \text{grad } T$ (3)、 $\rho = \rho_l[1 - \beta(T - T_i)]$ (4) ここに、 V :平均流速、 K :固有浸透係数、 μ :粘性係数、 p :圧力、 ρ :流体の密度、 g :重力加速度、 $(\rho c)^*$:等価熱容量、 T :温度、 κ^* :等価熱伝導率、 $(\rho c)_l$:流体の熱容量、 β :流体の体積膨張率、で添字 i は初期状態での値であることを示している。解析条件は表-1に示したとおりであるが、岩盤地山の Ra 数は $Rar=4.0 \times 10^{-2}$ 、亀裂帯では $Raf=6.9 \times 10^{-1} \sim 6.9 \times 10^2$ ($Raf/Rar=17.25 \sim 1.725 \times 10^5$) とする。解析は変形FLIC法、有限要素法による。

3. 結果とその考察

解析は式(1)～(4)を連立して表-1に示した条件に従って行うが、ここでは代表的な結果を提示して自然対流・ブリュームの発生・成長過程について検討する。

まず、図-2はRun-1($k_f/k_r=10$)における対流速ベクトル分布を示したものである。1年後では岩盤地山と亀裂帯にそれぞれ別の中心をもつ小対流が発生している。5年後になるとそれぞれの領域で自然対流はそのまま成長するが、10年後になると2つの対流系は1つにまとまり、岩盤地山内に中心をもつ大対流になる。また、このとき亀裂帯内の岩盤地山との境界付近で上昇流が大きくなっていることが判読できる。つぎに、亀裂帯の透水性が大きく $k_f/k_r=10^4$ となるRun-4におけるそれを示した図-3に注目すると、この場合は初期より亀裂帯での対流が卓越したものとなっている。岩盤地山での対流は当然弱いものとなるが、1年

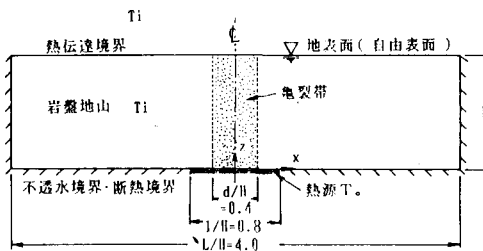


図-1 亀裂帯を有する岩盤地山モデル

表-1 解析条件

ケース	岩盤地山		亀裂帯		諸物性値
	透水係数 k_f (m/s)	Ra 数 Rar	透水係数 k_f/k_r	Ra 数 Raf	
Run-1	1.0×10^{-8}	4.0×10^{-2}	10	6.9×10^{-1}	岩盤地山 $\kappa_r^* = 2.2 \text{ W/mK}$, $n_r = 10\%$ $(\rho c)_r^* = 2.2 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ 亀裂帯 $\kappa_f^* = 1.7 \text{ W/mK}$, $(\rho c)_f^* = 3.0 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ $n_f = 30\%$, $(\rho c)_f = 4.2 \text{ MJ/m}^3\text{K}$ $\beta = 5.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$, $H = 100 \text{ m}$ $\nu = 5.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\alpha = 12 \text{ W/m}^2\text{K}$
Run-2			100	6.9	
Run-3			1000	6.9×10^1	
Run-4			10000	6.9×10^2	

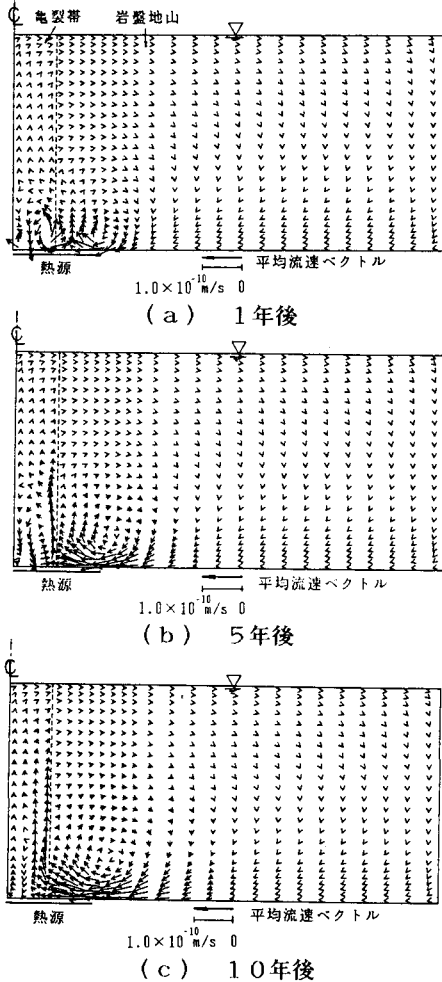


図-2 Run-1 における対流速ベクトル分布

後には亀裂帯内対流とは別の中心をもつものの、10年後には完全に統合されて亀裂帯内に中心をもつ1つの対流系に支配されることになる。亀裂帯の透水性の違いによって、最終的な大対流の中心位置が大きく異なったものとなることは注目される。

一方、図-4はサーマルプリュームの発生・成長を見るため、無次元温度 θ の分布を示したものである。図中の破線はRun-1～3、実線はRun-4のそれである。Run-1～3では θ 分布は一致しており、完全に伝導支配となっている。Run-4では1年後より亀裂帯で明確にプリュームの発生が認められ、10年後にはそれが地表面にまで達している。ただ、亀裂帯境界付近の高温伝熱帯($\theta > 0.3$)が下に凸となって周辺のそれより低くなっているといった特徴が認められる。

参考文献 1) 伊藤 洋ほか：岩盤地山における有限熱源周辺の自然対流発生・成長に関する数値実験、岩盤シンボ、1987.2

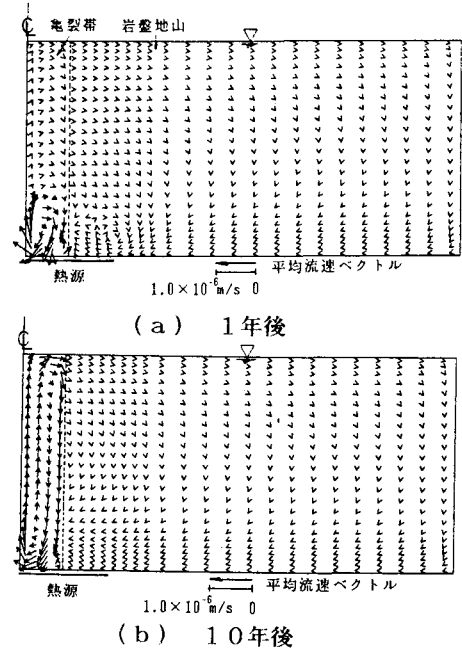


図-3 Run-4 における対流速ベクトル分布

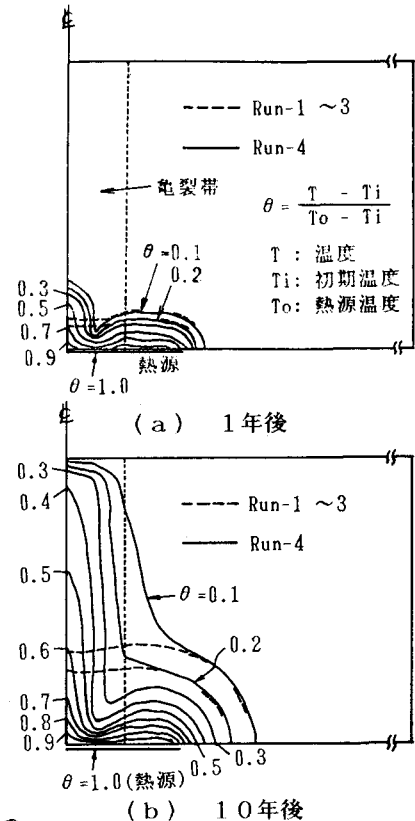


図-4 図-2、3 に対応する無次元温度 θ の分布