

Ⅲ-34 岩盤内貯蔵における熱水の保温効果について

愛媛大学工学部 正会員 木下 尚樹
愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田 善紀
愛媛大学大学院 学生会員 ○小柳幸太郎
(株) 芙蓉調査設計 正会員 山田 公雄

1. はじめに

筆者らはこれまで、「岩盤内熱水貯蔵システム」¹⁾を提案し、種々の検討を行ってきた。このシステムは、ゴミ焼却時に発生する膨大な廃熱を利用し水を熱水に変え、それを多目的に利用しようというもので、その際、熱水の安定供給の観点から、地山岩盤内に空洞を設け一時貯蔵する方法である。本研究では、この方法の1つの利点である岩盤の断熱性に着目し、岩盤内空洞に貯蔵した熱水の保温効果について、対流を考慮した解析により温度分布を求め検討した。

2. 温度分布の解析方法

本研究で想定しているような岩盤内空洞へ熱水を貯蔵した場合の熱的現象として、以下のようなことが考えられる。①空洞内の熱水の対流現象、②熱水から空洞表面岩盤への熱伝達、③周辺岩盤の熱伝導現象、④岩盤内地下水の対流、流動現象。これらの現象を考慮し、温度分布を求めるために、質量、運動量およびエネルギー保存則から構成される支配方程式を用いて有限要素法による解析を行った。空洞内に貯蔵された熱水は、温度が変化することにより密度の変化が生じる。これは熱水に生じる重力（体積力）の差になり、それによって空洞内には対流運動が発生する。この現象を考慮するため、本解析においては体積力をブシネスク力で表すこととした。また、解析に用いた花崗岩と熱水の物性値は表1に示す。特に熱水の物性値は温度によって変化させ、初期の100℃においては、密度を958.4kg/m³、定圧比熱を4.216kJ/kgK、粘性係数を0.284×10⁻³Pas、熱伝導率を0.682W/mK、体膨張係数を0.78×10⁻³/Kとした。その後、温度変化に伴い、物性値を変化させた。

表1 解析に用いた物性値

	密度 (kg/m ³)	定圧比熱 (kJ/kgK)	粘性係数 (Pas)×10 ⁻³	熱伝導率 (W/mK)	体膨張係数 (1/K)×10 ⁻³
花崗岩	2650	0.997	—	3.25	—
水【100～95(℃)】	958.4	4.216	0.284	0.682	0.78
水【95～85(℃)】	965.3	4.208	0.316	0.678	0.72
水【85～75(℃)】	971.8	4.199	0.357	0.672	0.65
水【75～65(℃)】	977.8	4.191	0.407	0.664	0.59

解析モデルは図1に示す2種類（空洞断面積一定）を想定した。Type1では、花崗岩岩盤内の直径10mの円形空洞に熱水を貯蔵する場合を想定し、空洞表面から上下および横方向に100mの位置を境界とした。また、左右の対称性を考え、空洞中心を通る鉛直線を対称軸とし、片方を解析対象とした。初期温度は空洞内の熱水を100℃岩盤部を15℃とし、境界は15℃一定とした。Type2では、空洞の形状が極端な形の弾頭形（断面積はType1の円形空洞と等しい）を設けた。他の諸条件はType1と同様とした。

上記の2種類のモデルにおいて、初期温度から常に100℃の熱水が供給されている状態（空洞内の熱水は100℃で一定）で、周辺岩盤の温度分布が準定常状態になるまで保った後、熱水の供給を止め、貯蔵した場合について解析を行った。

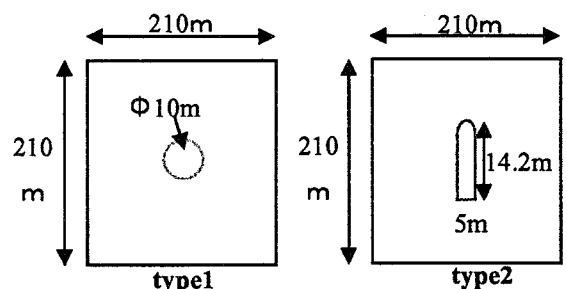


図.1 解析モデル（空洞断面積一定）

3. 解析結果および考察

得られた温度分布の経時変化を、図2～図4にそれぞれ鉛直上方向、鉛直下方向、水平軸方向について示す。まず、Type1については、鉛直上方向、鉛直下方向、水平軸方向とも温度分布の経時変化が、ほぼ同じになっていることがわかる。このことより、空洞内の温度分布が同心円状になっていると考えられる。さらに、このことから、空洞内では比較的スムーズな対流が生じていると推察される。また、熱水の温度低下については、貯蔵1日後～貯蔵1ヵ月後で約5℃であった。また、熱水の貯蔵による周辺岩盤への影響は、空洞周辺から約20mまで及んでいることがわかった。

次にType2については、温度分布の経時変化について鉛直上方向と鉛直下方向では、同じような傾向を示した。しかし、空洞内の熱水の温度は、鉛直上方向の方が鉛直下方向より、時間の経過に伴ない、わずかながら高くなっていった。このことより、空洞内では鉛直上方向に、より高温の熱水が輸送される対流が生じたものと推察される。また、空洞内の熱水の温度低下については、貯蔵1日後～貯蔵1ヵ月後で、鉛直上方向では約6℃の低下、鉛直下方向では約8℃の低下、水平軸方向においては、約7℃の低下が見られた。また、空洞周辺岩盤への影響は、鉛直上方向、鉛直下方向、水平軸方向とも、空洞表面から20m程度まで及んでいることがわかった。

形状の違いによる熱水の温度低下について検討すると、Type1とType2は、空洞断面積は同じだが、岩盤と接する面積は弾頭形の方が多い。これは、弾頭形の方が、より岩盤部に接しており、熱水-岩盤間の熱伝達に影響を及ぼしているものと考えられる。加えて、Type2の弾頭形の場合、鉛直方向に長い形状のため鉛直方向に対流が生じやすくなっていることも、円形より弾頭形の方が温度低下している要因であると考えられる。

4. おわりに

解析の結果、Type1の円形空洞に貯蔵した場合、熱水の温度分布はほぼ同心円状になることがわかった。

Type2の弾頭形空洞に貯蔵した場合、わずかではあるが、鉛直上方向と鉛直下方向で温度差を生じることがわかった。

形状の違いによる熱水の温度低下の要因として、岩盤と接する面積の相違と対流現象の相違が影響しているものと考えられる。

保温効果という点から見ると、円形空洞における貯蔵の方が、わずかではあるが、保温効果が期待出来ると考えられる。

参考文献 1) 稲田善紀：岩盤工学，175～178頁，森北出版，1997

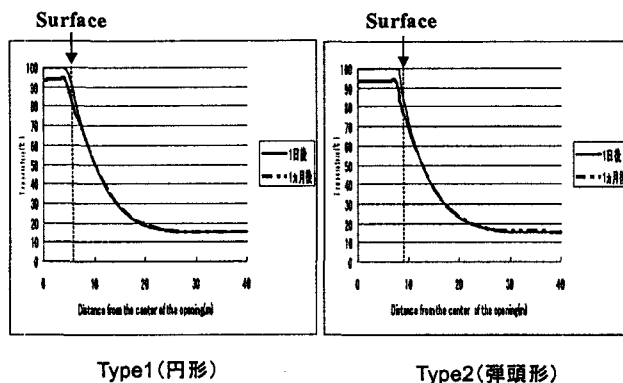


図2 温度分布(鉛直上方向)

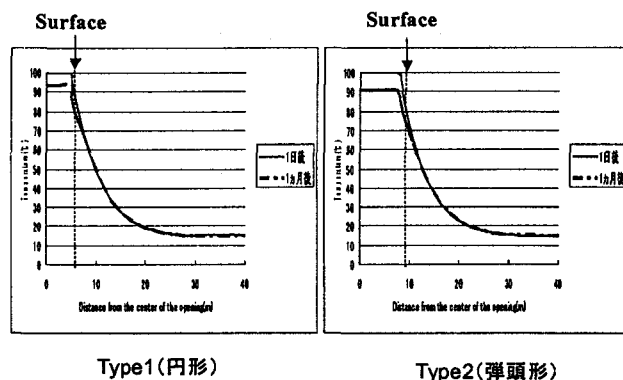


図3 温度分布(鉛直下方向)

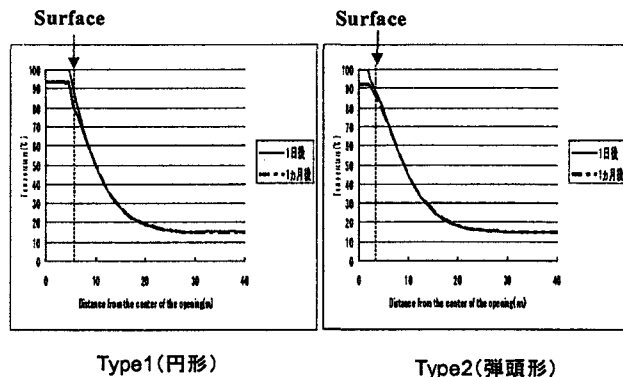


図4 温度分布(水平軸方向)