

Ⅲ-20 熱水の温度変化の影響を受ける空洞周辺岩盤の温度分布

愛媛大学工学部 フェロー会員 稲田 善紀
愛媛大学工学部 正会員 木下 尚樹
愛媛製紙（株） 正会員 高倉 正樹
愛媛大学大学院 学生会員 ○小柳幸太郎

1. はじめに

筆者らは、ゴミ焼却時に発生する膨大な廃熱を利用して水を熱水に変え、それを多目的に利用する際、使用量の変動に影響を受けることなく安定供給を行うため、地山岩盤内に空洞を設け、熱水を一時貯蔵する方法を提案している¹⁾。この場合、空洞周辺岩盤は熱の影響を受けることとなるため空洞の安定性や周辺岩盤の熱的挙動を検討する必要がある。これまでの研究では、空洞内の熱源温度を 100℃に固定した状態での解析しか行われていない。そこで本研究では、熱源である熱水の温度が変化し、対流が発生する場合について、有限体積法による温度解析を行い、空洞周辺岩盤の温度分布を求め、考察した。

2. 温度分布の解析方法

本解析は、質量、運動量およびエネルギーの保存則から構成されているナビエ・ストークス方程式を支配方程式として、有限体積法を用いて、解析を行った。また、解析には花崗岩の地山岩盤内の直径 10m の円形空洞を想定した。花崗岩の物性値については、これまでの研究で得られている次の値を用いた。密度は 2650kg/m³、定圧比熱は 0.997kJ/kgK、熱伝導率は 3.25W/mK とした。また、熱水の物性値は、初期の 100℃においては、密度を 958.4 kg/m³、定圧比熱を 4.216KJ/kgK、粘性係数を 0.290×10⁻⁴kgfs/m²、熱伝導率を 0.682W/mK、体膨張係数を 0.78×10⁻³/K とし²⁾、温度変化に伴い、10℃毎に物性値を変化させた。解析で用いた水の物性値をとりまとめて表 1 に示す。

解析は以下に示す 2 通りについて行い比較した。

Case 1 は、地山の初期温度が 15℃の状態 で 100℃の熱水を貯蔵し、空洞内を熱水で満たす。このとき、貯蔵量の変動はないものとする。さらに、この状態で空洞内の熱水の温度が変化し、対流する場合。

Case 2 は、地山の初期温度が 15℃の状態 で 100℃の熱水を貯蔵し、空洞内を熱水で満たす。このとき、貯蔵量の変動はないものとする。さらに、この状態で空洞内の熱水の温度が変化し、対流する。ただし、熱水の温度を 100℃に近い状態に保つため、1 日毎に熱水を初期温度に戻し、これを繰り返す場合。

表 1 解析に用いた水の熱物性

Temperature (℃)	Density (kg/m ³)	Specific heat (kJ/kgK)	Dynamic density (kgfs/m ²)×10 ⁻⁴	Thermal conductivity (W/mK)	Expansion coefficient (1/K)×10 ⁻³
100～95	958.4	4.216	0.290	0.682	0.78
95～85	965.3	4.208	0.323	0.678	0.72
85～75	971.8	4.199	0.365	0.672	0.65
75～65	977.8	4.191	0.416	0.664	0.59
65～55	983.2	4.187	0.482	0.654	0.54
55～45	988.1	4.183	0.559	0.642	0.45
45～35	992.3	4.178	0.676	0.632	0.38
35～25	995.7	4.178	0.816	0.618	0.29

3. 空洞および空洞周辺の温度分布

得られた温度分布の経時変化を図 1～図 3 に、水平軸方向、鉛直上方向、鉛直下方向について示す。まず、Case 1 の温度分布では、空洞周辺岩盤の表面付近の温度は、5 日後から 10 日後の間に最大になっており、それに伴い周辺岩盤への影響も大きくなっている。しかしその後の 20 日後には、温度の影響を受ける範囲は広がっているものの、表面付近の温度は低下していることがわかる。30 日後になると、さらに表面付近の温度は低下するが、空洞表面から約 1.5m 以降は変化が小さいことがわかる。貯蔵 20 日後から 30 日後までの間に、熱の影響を受ける範囲は約 10cm しか広がらず、30 日後で空洞表面から約 4.5m であることがわか

った。また、3 方向の温度分布を比較すると、貯蔵 1 日後において、水平軸方向の温度が他の 2 方向に比べて、熱の影響を大きく受けていることがわかる（空洞表面から約 1m 付近で、約 2℃高くなっている）。これは、高い熱を持っている空洞中心から、水平軸方向に向かって対流が起こっており、そこから上部と下部に向かって対流することが要因であると考えられる。しかし、貯蔵日数が進むにつれて、方向による温度差は減少し、貯蔵 20 日後以降は同心円状の温度分布になることがわかった。空洞内の温度については、時間の経過とともに低下していく。しかし、温度に差が現れるのは、空洞表面から 2m 付近までであることがわかった。

Case 2 では、当然のことながら、空洞表面付近の温度は、徐々に増加しており、貯蔵 1 日後から 30 日後の間で、約 10℃上昇している。それに伴い、周辺岩盤への熱の影響も大きくなっている。また、温度勾配も時間の経過とともに、緩やかになっている。加えて、熱が及ぶ範囲は、30 日後において、空洞表面から約 6 m までであることがわかった。さらに、3 方向の温度分布を比較すると、水平軸方向と鉛直下方向の温度分布の経時変化は、ほぼ同じであるが、鉛直下方向において、温度も低く、熱の及ぶ範囲も狭い。これに対し、鉛直上方向は、先の 2 方向より全体的に温度が高く、空洞表面付近では約 1℃、空洞表面から 2m の地点においては、約 2℃高くなっている。これは、長時間 100℃に近い熱水を貯蔵すると熱水の対流の影響により、空洞上部に、より高温の熱水が集まることに起因していると考えられる。しかし、貯蔵 30 日後で、方向による温度差は僅かながらあるものの、ほぼ同心円状の温度分布となる。さらに長時間 100℃に近い熱水を貯蔵した場合では、鉛直上方向において、熱の及ぶ範囲は他の 2 方向に比べて、より広がっていくものと推察され、同心円状の温度分布にはならない可能性があると考えられる。

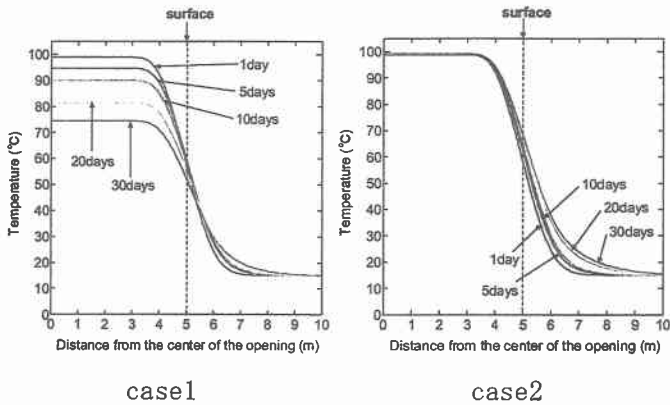


図 1 水平軸方向の温度分布

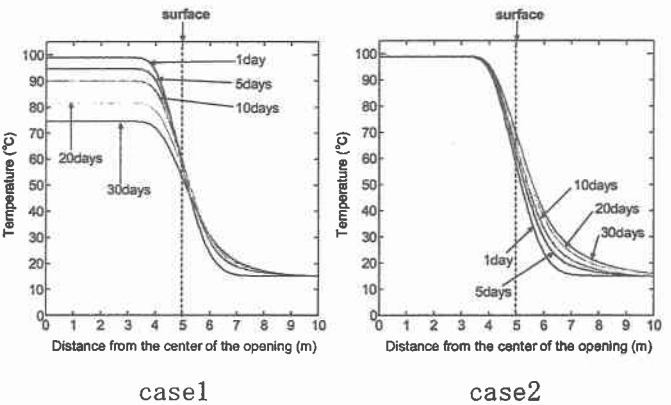


図 2 鉛直上方向の温度分布

4. おわりに

温度解析の結果、Case 1 では、周辺岩盤の空洞表面付近の温度は、5 日後から 10 日後の間に最大になり、それに伴い周辺岩盤への影響も大きくなることがわかった。その後、温度の影響を受ける範囲は広がっていくものの、空洞内の温度の低下に伴い、20 日後から 30 日後の間に熱の影響は約 10cm しか広がらず、貯蔵 20 日後以降は同心円状の温度分布になることがわかった。Case 2 では、貯蔵 30 日後において、3 方向での温度差は、若干あるものの、ほぼ同心円状の温度分布とみなせることがわかった。

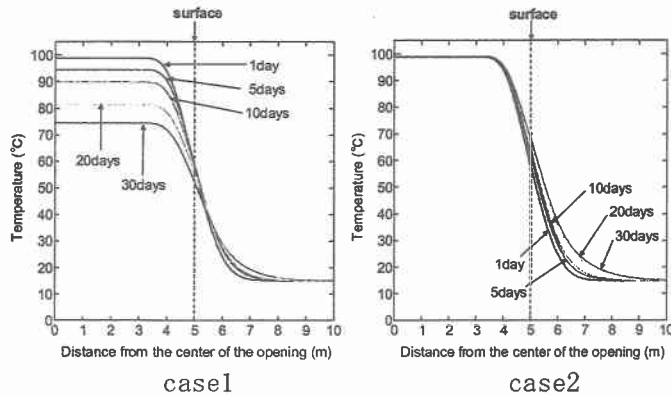


図 3 鉛直下方向の温度分布

参考文献

1) 稲田善紀：岩盤工学，pp.175～177，森北出版，1997。