

地下水位を考慮した場合の大谷採石地下空間の熱効率と有効利用に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○ 田中 純
 宇都宮大学大学院 学生会員 多田 海成
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文
 JR 東日本 井上 達也

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

宇都宮市大谷町において、大谷採石地下空間の危険性、またはその地下空間の有用性について地域住民に理解して頂けるように実験や調査を行っており、都市部の異常な過密化や地球温暖化の要因物質を低減していく上で、地下空間が有する特性を利用することで、大深度地下をはじめとする地下空間を貴重な資源と捉え、種々の用途に沿った有効利用を行う必要性がある。

本報文では、既存の研究¹⁾よりも現実の条件を反映させるため、地下水位の変動・地下水の移動などの外的要因が地下空間の熱効率に及ぼす影響に関して数値解析を行う。そして年中低温の地下水を、天然の冷却媒体とみなし、想定した地下施設を実際に稼働させた際に発生する熱量と、地下空間内の温度環境を解析で明らかにし、現実的な有効性について研究する。また、地下空間内施設の気温の上昇に着目した既往の研究と比較し、長期利用時に熱が大谷石に伝導する影響を踏まえた気温上昇を明示し、地下構造物の現実的な有用性について検討することを目的とする。

1.2 対象地下空間、単純化したモデル概要

本研究では、大谷地域に存在する長壁式の採石地下空間をモデルとして設定する。地下空間の幅を既往の研究以上に拡張して考えると、地下空間の安全性が低下してしまうため、従来の地下空間とは奥行きが異なる大規模なモデルを検討対象とし、都市施設（データセンター）のコンテナサーバー台数は、計算処理能力の向上を目的とした実用的な使用を想定し、既往の研究の2倍の台数である14機を設置することとする。

また、ケーススタディとして、地下水と大谷石、そして温度が相互に影響しあう状況を、単純化したモデルで再現するために、代表例として、解析概要と結果のみを示す。(1)として異なる地盤材料での熱の広がり方と熱損失量を求めた既往の研究²⁾に関して、解析ソフトFLAC3Dでの再現を試みた。

2. 単純化したモデルの熱伝導解析

2.1 解析手法

地盤内に地下水位が存在する場合の熱の広がりに関して、参考文献¹⁾では、地下水位の変動と地下水の移動などの外的要因が地下空間の熱効率に及ぼす影響を考察するために基礎的な数値解析を行っている。本研究

においては、地盤を地下水面上部と下部に分けて考え、それぞれでの熱の広がり方の様子を比較した。なお、飽和度の違いにより変化する土粒子の熱伝導率による効果は、無視することとする。地下水面上部は絶乾状態の地盤材料とし、地下水面下部を完全に飽和した状態の地盤材料として解析を行った。解析に用いたパラメータを表-1^{2, 3)}に示す。

表-1 各物性値

物性	値	物性	値
土粒子の熱伝導率	1.12×10^{-3} kcal/(m \cdot s \cdot °C)	土粒子の比熱	0.2 kcal/(kg \cdot °C)
水の熱伝導率	1.40×10^{-4} kcal/(m \cdot s \cdot °C)	水の比熱	1 kcal/(kg \cdot °C)
空気の熱伝導率	6.10×10^{-6} kcal/(m \cdot s \cdot °C)	空気の比熱	0.24 kcal/(kg \cdot °C)
水と土粒子の熱伝達係数	0.2 kcal/(m 2 \cdot s \cdot °C)	水の熱膨張係数	4.0×10^{-4} /°C
空気と土粒子の熱伝達係数	0.015 kcal/(m 2 \cdot s \cdot °C)	土粒子の比表面面積	39m 2 /kg
土粒子の密度	2650kg/m 3	地盤の温度	10°C
水の密度	1000kg/m 3	地表面の温度	10°C
空気の密度	1.2kg/m 3	地下空間の温度	20°C
地盤の透水係数	1.0×10^{-4} cm/s	地盤の間隙率	0.33
大谷石の熱伝導率	1.074W/m°C	大谷石の比熱	1508.3 J/kg°C
大谷石の密度	1730kg/m 3		

2.2 結果

地盤内に地下水位が存在する場合の熱の広がりに関する解析結果を、図-1に示す。固相部分においては熱が放射状に拡大していく分布を示す。当初は水位付近の温度は岩盤の温度よりも低かったが、日数が経過するとともに、水温が徐々に上昇し、定常状態に近づく傾向を示す。また、地下水位が低いほど岩盤内の温度が高くなり、その広がりも大きい。特に、不飽和帯の地下水位周辺地盤の上部において温度が高い領域の広がり大きいことが確認できた(図-1(d))。このことから、水がある程度の地下空間の冷却媒体としての役割を果たしている事がわかる。

3. 実在する地下空間における熱伝導解析

3.1 解析手法

本研究において、大谷採石地下空間内に建造する施

キーワード 環境負荷, 熱特性, 地下空間, 地下水, 有効利用

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学陽東キャンパス 10号館6階 岩盤工学研究室

E-mail : t102829@cc.utsunomiya-u.ac.jp TEL : 028-689-6218

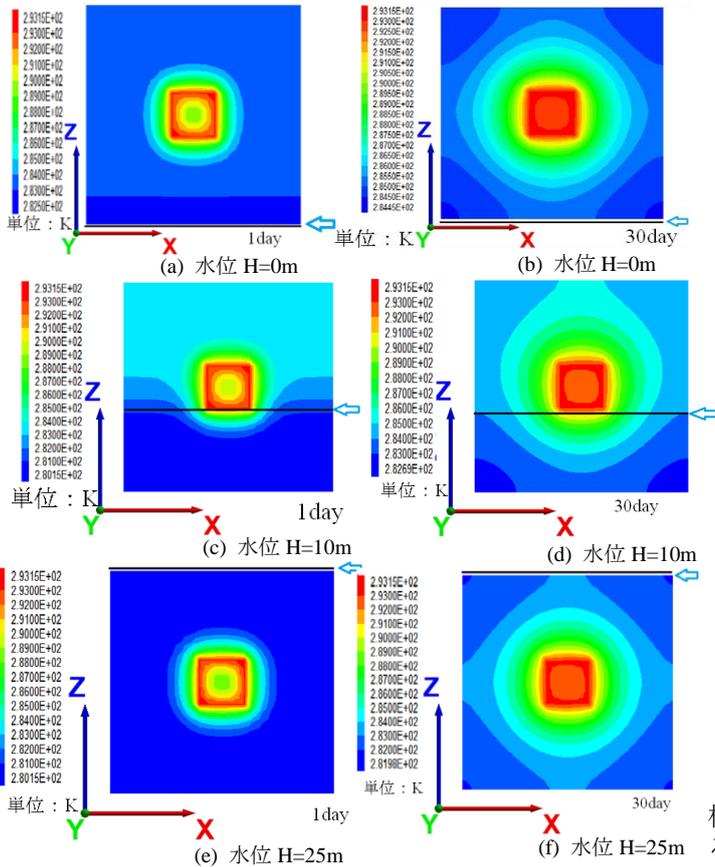


図-1 水位別解析結果

設として、都市施設（データセンター）を対象に地下空間の熱伝導を再現した。この解析では、コンテナ型データセンターが設置された地下空間の温度変化を求める解析なので、空気の流れを考慮する必要があるが、解析が不安定で長時間かかることから、本解析では、地下水位を考慮し、大谷石壁体温度推移の様子の解析を行った。コンテナサーバー内温度を 25℃に保つために、本解析でもデータセンター稼働した際に発する熱を再現するのに、サーバーの Y 軸正方向側壁面を 45℃とした。解析に必要な空気・大谷石の物性値は、既往の研究と同じ値を用いた。本解析では 1 年間施設を稼働させた場合における地下空間の熱伝導解析を行った。

3.2 結果と考察

大谷壁面が大谷石の湿潤状態として考慮した場合の解析結果を図-2 に、地下水を個別に考慮した解析結果を図-3 に示す。

図-2 および図-3 の比較を行った結果、坑内温度において比較的溫度が高い領域は、地表面からの空気の流入を考慮して解析を行った既往の研究の方が大きいことがわかる。この結果から、特に地表面から暖かい空気が流入する夏季において、環境負荷が大きくなることが想定される。また、地下水を個別に考慮した場合は Z 軸下方において、地下水を個別に考慮しない場合より熱の広がりが小さくなる。以上から、地下空間に冷房設備を有する施設としての利用が有効的である。

4. まとめ

今回の解析では、地表面からの空気の流入を考えた解

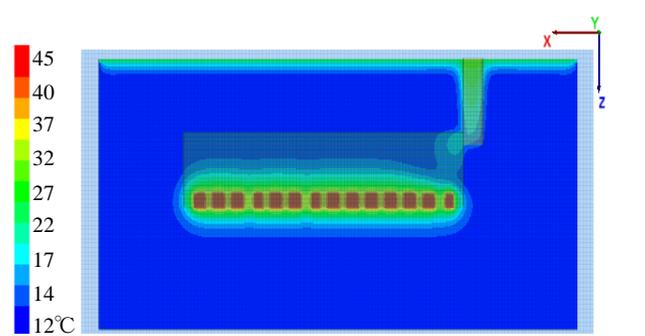


図-2 地下水位を考慮しない場合の解析結果

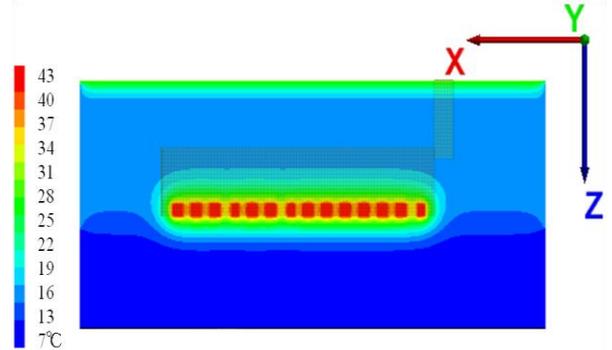


図-3 地下水位を考慮した解析結果

析で、比較的坑内温度が高い領域が大きいことがわかる。土粒子と岩盤で、地下水が存在する場合の地下の熱の広がり方を解析により明らかにした。また、地下水を考慮して行った解析では、コンテナサーバー周辺の地下水が暖められ、コンテナサーバー周辺の大谷石が極端に暖められる現象は見られない。以上から、地下水位が存在する場所の地下空間を都市施設として利用した方が、冷房負荷等の環境負荷の低減につながる可能性がある。

5. 今後の課題

(a) 単純化したモデルの熱伝導解析

解析で温度のデータを抽出し、地下空間内の熱を効率的に地中に廃棄するためにも、地下空間からの熱損失量を求める必要がある。また、地下水の影響により、飽和部分と不飽和部分との温度差も大きくなることから、物性値・境界条件を変更し、最も効率的に熱損失量を大きくする条件を解明することである。

(b) 実在する地下空間を対象とした熱伝導解析

地下空間の有効利用に関して、地上施設と地下施設における、電力消費量や熱負荷を計算する必要がある。また、境界条件を数パターン用意し、各々の解析結果を比較し、地下空間の有効利用をしていく際に、最も環境負荷が大きくなる条件を求める。

参考文献

- 1) 早坂晃, 井上達也, 清木隆文:地盤の熱特性に基づいた大谷採石地下空間の有用性評価に関する検討, 第 8 回地盤工学会関東支部発表会発表講演集, pp.377-379, 2011.
- 2) 朴燦燦, 風間基樹, 柳澤栄司: 地下水位及び地下水流が地下空間の熱効率に及ぼす影響, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 3 巻 pp.93-102, 2005.
- 3) 国立天文台編: 理科年表机上版第 80 冊, 丸善株式会社, 2007