

# 大規模地下空間が有する冷熱源の有効利用について ～大谷石採取場跡地を例にして～

宇都宮市 的場 征史, 半田 正道, 今崎 泰浩  
山口大学 正 近久 博志, 復建調査設計 正 ○來山 尚義

## 1. はじめに

旧帝国ホテルの壁材などとして利用され、全国的に有名となった大谷石は、栃木県宇都宮市の中心部から北西約 6km の位置にある大谷地区で産出されている。その採取跡には大規模な地下空間が広がっていて、一部では利用が行われているものの、地域の活性化を図るためにもますますの活発な利用が期待されている。ここでは、その利用法を探る一環として、空洞内の冷氣を利用した冷却効果について試算した。



写真-1 地下空間内部の状況

## 2. 大谷石採取場跡地の概要

大谷石採取場跡地が存在する宇都宮市は、東京から北に約 100km の位置にあり、東北自動車道、東北新幹線が南北に縦断するとともに、今年 3 月に北関東自動車道が全線開通し、茨城港や新潟港と直結するなど、交通利便性に大変優れた所にある。

大谷石は、宇都宮市大谷町付近に、東西に約 8km、南北に約 37km にわたって分布しており、層厚は厚いところで 200m～300m に達する。このうち、採掘区域は東西に約 3km、南北に約 6km に及んでいる。

この大谷石は、新第三紀頃(約 2000 万年前)に形成された代表的な溶結凝灰岩(軟岩)で、加工しやすい材料として古くから採掘が行われており、古墳時代(約 1500 年前)に利用が始められ、当初は手掘りによる露天掘り(地上に露出している採取しやすい部分を掘削)で採掘が行われていたが、現在は機械掘りによる坑内掘り(地中深くでの掘削)が主流となっていて、坑内掘りによる掘削跡には大規模な地下空間(写真-1 参照)が形成されている。

形成されている地下空間は、面積が数千 m<sup>2</sup> から 2 万 m<sup>2</sup> を超えるものまであり、平面形状も様々である。

また、地下空間内の気温は 0～10℃ 程度で推移している(表-1 参照)、外気温と比較して変動が小さいことが大きな特徴である。

## 3. 空洞内に設置した発熱体の冷却について

### 3.1 解析方法

土被り 60m の位置に、高さ 20m、幅 10m の空洞が 3 つ並んでいる中央の空洞に、高さ 2m、幅 6m の発熱体(発熱量約 2400kj/day)が連続して並べられていることを想定する。解析は、筆者らが開発した修正シンプレックス法を用いた逆解析システム<sup>2)</sup>を用いる。入力定数を表-2 に、解析モデルを図-1 に示す。

解析は、発熱体の冷却を外気で行う場合と空洞内の冷氣で行う場合について行い、設定した管理温度に保つ

表-1 地下空間内温湿度計測結果<sup>1)</sup>  
(単位℃)

	気温 (℃)						湿度 (%)					
	平成元年 8 月			平成 2 年 2 月			平成元年 8 月			平成 2 年 2 月		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低
外部	25.0	33.0	20.1	3.5	15.9	-6.1	83	98	59	75	98	37
空洞内	13.9	20.9	10.0	欠測	欠測	欠測	90	92	89	欠測	欠測	欠測
入口	8.8	12.1	7.5	3.8	5.6	1.6	94	94	94	90	95	72
南西部	8.0	9.1	7.8	2.0	4.4	-1.0	97	97	97	88	98	65
中央部	7.8	8.6	7.6	1.1	3.8	-1.0	97	97	95	91	99	70
北東部												

表-2 入力定数

項目	体積熱容量 (kJ/m <sup>3</sup> /℃)	熱伝導率 (kJ/m/day/℃)	初期温度 (℃)	備考
1 地盤	3040	90.72	12	
2 発熱体	3620	6511	12	
3 発熱体	-	-	-	発熱量: Q=2387 (kJ/day)
4 断熱材	0.99	1.81	12	
5 地上気温 (外気温)	-	-	12	最大: 34℃, 最低: -10℃の正弦曲線
6 空洞内気温 (空洞内気温)	-	-	12	最大: 10℃, 最低: 0℃の正弦曲線
7 地中の温度	-	-	12	

	熱伝達係数 (kJ/m <sup>2</sup> /day/℃)	初期温度 (℃)	備考
8 地表面と地上気温の熱伝達	63.0	-	外部温度 (外気温No.5)
9 空洞と空洞内空気との熱伝達	63.0	-	外部温度 (空洞内気温No.6)
10 空洞と発熱体の熱伝達	63.0	-	外部温度 (空洞内気温No.6)

クーリング期間(2010年4月22日～2010年4月22日)  
解析期間(2009年4月22日～2010年6月22日)

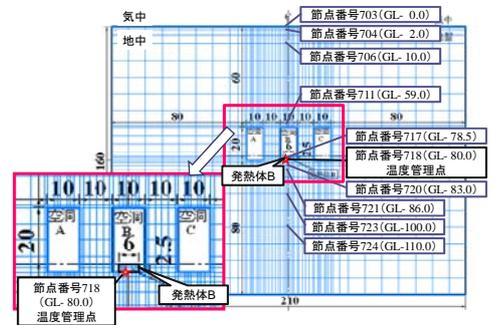


図-1 解析モデル

キーワード 地下空間, 利用促進, 冷却効果

連絡先 〒732-0052 広島市東区光町 2-1 0-1 1 復建調査設計株式会社 企画開発本部 TEL082-506-1821

ために必要な冷却率（管理温度を維持するために必要な冷却量と、外気または空洞内冷気以外に必要な冷却量の割合）を求めた。

3.2 解析結果

ここでは、空洞内の冷気を用いて冷却を行う場合の解析結果を示す。

- ①空洞内に設置した発熱体を冷却せず、断熱材で覆った場合の発熱体下の地盤内温度の経時変化を図-2 に示す。このときの温度管理点（発熱体と地盤の境界、節点番号 718）の夏場の温度は 682℃，冬場の温度は 677℃程度となる。
- ②発熱体を直接冷却せず、空洞内の冷気が循環する空洞に放置した場合の発熱体下の地盤内温度の経時変化を図-3 に示す。このときの温度管理点の夏場の温度は 102℃，冬場の温度は 92℃程度である。なお、外気を循環させた場合の温度管理点の夏場の温度は 126℃，冬場の温度は 83℃程度である。
- ③発熱体を空洞内の冷気を循環させながら、発熱体の温度が 30 度（温度管理点、解析ステージの最終時間）となるように冷却した場合の発熱体下の地盤内温度の経時変化を図-4 に示す。また、その場合の必要冷却率の経時変化を図-5 に示す。

3.3 必要冷却率の検討

上記の結果より、外気温あるいは空洞内の冷気を循環させながら、発熱体の管理温度（30℃，40℃，50℃）を維持するために必要な冷却率を求め、表-3 に示す。これより、管理温度を 30℃とした場合、外気を循環させる場合は、夏場には 97%程度の冷却率が必要となり、冬場においても 80%程度が必要となる。一方、空洞内の冷気を循環させる場合は、夏場は 77%程度、冬場は 73%程度となり、外気を循環させる場合と比較して冷気以外の冷却量が 9～21%程度少なくなる。管理温度が 40℃，50 度の場合も同様にそれぞれ 11～23%，15～28%となり、この冷却を電力によって行う場合、相当の節電効果が期待できる。

4. おわりに

本検討結果により、データセンターのような大きな発熱体を冷却する場合、大谷石採取場跡地のような空洞内の冷気を活用することにより、冷却効率が増すことが期待できることがわかった。また、空洞内では地下水も存在する。この地下水を有効に利用することによりさらなる冷却効率の向上が期待できる。

参考文献

1)的場征史 他:大谷石採取場跡地に形成されている大規模地下空間の有効利用策について (その 1 : 現状紹介), 土木学会第 65 回年次学術講演会, III-098, 2010.  
 2)H.Chikahisa etc.: Field measurement and evaluation of thermal characteristics of the ground and the boundary for the utilization of cold source within the ground, European Rock Mechanics Symposium, pp.849-852, 2010.

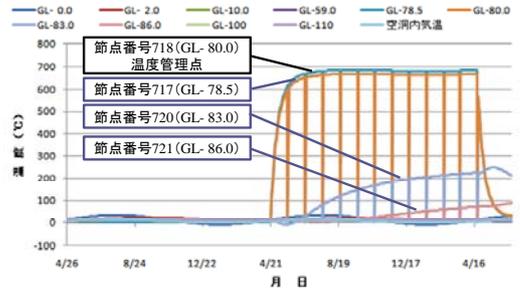


図-2 発熱体と地盤内部の温度変化 (発熱体を断熱材で覆った場合)

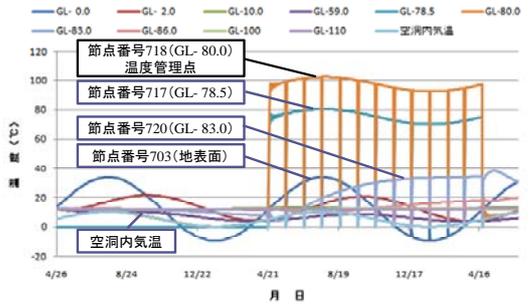


図-3 発熱体と地盤内部の温度変化 (空洞内冷気循環, 冷却なし)

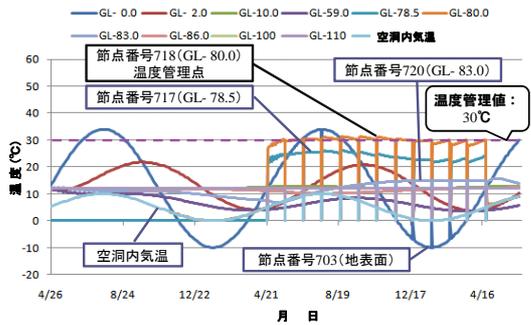


図-4 発熱体と地盤内部の温度変化 (空洞内冷気循環, 管理温度 30℃)

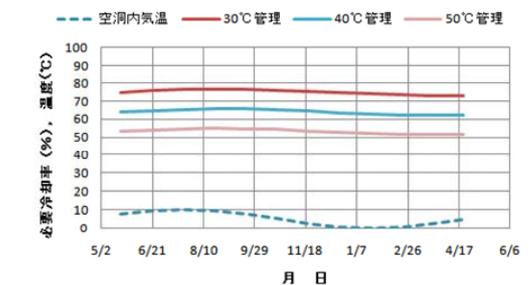


図-5 必要冷却率の経時変化 (空洞内冷気循環)

表-3 必要冷却率検討結果

管理温度		30℃	40℃	50℃
夏	外気導入	97%	86%	76%
	空洞内冷気循環	77%	66%	55%
	1-(外気/冷気)	0.21	0.23	0.28
冬	外気導入	80%	70%	60%
	空洞内冷気循環	73%	62%	51%
	1-(外気/冷気)	0.09	0.11	0.15