

# CFD 解析による地下ピットの空調熱源としての有効利用法に関する研究 —一定常解析モデルによる夏季冷房時を対象とした基礎的検討—

2006541002 芦谷友美

白石研究室

CFD 解析, 地下ピット, 地中熱利用, 夏季, ケーススタディ

## 1.はじめに

近年、機械装置を用いず、建物側の工夫により、日射、自然風、地中熱等の自然エネルギーを利用又は排除することで冷暖房効果を得るパッシブシステムが注目されている。その手法の一つとして、地下ピットを外気導入経路とし、地中熱を利用して予冷・予熱した外気を直接室内又は外調機を経て導入する地下ピット方式が採用されている。九州地区では北九州市立大学国際環境工学部校舎、事業化支援センター、宮崎法務総合庁舎等に採用されているが、空調熱源としての効果や最適設計指針が定められていないのが現状である。

本研究では、地下ピットの空調熱源としての有効利用法に関する基礎的研究の一環として、簡易的な地下ピットの定常解析モデル（以下、基本モデル）を作成し、地下ピットの深さ・形状などに関する CFD 解析に基づくケーススタディを夏季冷房時を対象に行う。次に、実存する施設の地下ピットを対象とした定常解析モデル（以下、実モデル）を作成し、基本モデルで提示した有効利用法の妥当性を検証する。

## 2.基本モデルによる検討

**2.1 解析概要** 解析対象は、図 1 に示すように地下ピットと周囲の地盤を含めたモデルとする。

解析は以下の手順で行う。(1) 解析領域の地盤の寸法が、冷却効果を左右するという解析上の問題を解決するため、基本モデル A を利用し、冷却効果が最大となる地盤の水平寸法  $W$  と垂直寸法  $D$  を明らかにする。(2) 次に、(1) の結果を踏まえ、地下ピットの埋設深さと形状（基本モデル A~C）を変化させ解析を行う。地盤寸法の検討ケースを表 1 に、ピット埋設深さ検討ケースを表 2 に、基本モデル A~C を図 2 に示す。

今回の解析では乱流モデルに低  $Re$  数型  $k-\epsilon$  モデル<sup>1)</sup>を用いて、壁面近傍のメッシュ数を削減しつつ、予測精度の向上を試みた。解析条件を表 3 に示す。

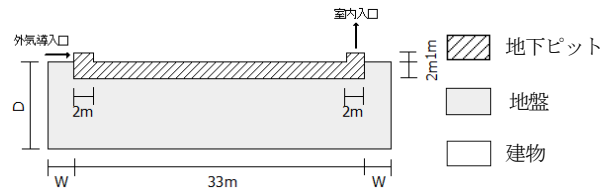


図 1 解析対象の断面図 (例: 基本モデル A)

表 1 地盤の大きさ検討ケース

		水平寸法 $W$ [m]	垂直寸法 $D$ [m]
水平方向寸法	A3-5	3	5
	A5-5	5	5
	A10-5	10	5
	A15-5	15	5
垂直方向寸法	A3-5	3	5
	A3-10	3	10
	A3-15	3	15
	A3-20	3	20
	A3-25	3	25

表 2 地下ピット埋設深さ  $L$  検討ケース

	A10-20-0	A10-20-2	A10-20-4
地下ピット埋設深さ $L$ [m]	0	2	4

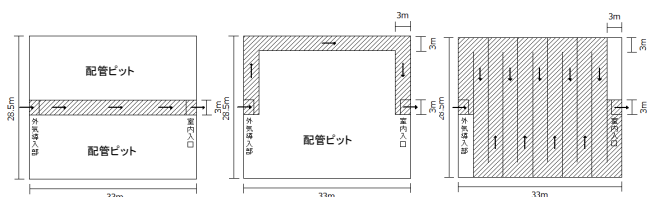


図 2 基本モデル A~C 平面図

表 3 解析条件

流入条件	流量固定 $k_m = 3/2(U_m \times 0.05)^2$ $\epsilon_m = C_u k_m^{3/2} / l_m$
流出条件	自然流出
地下ピット上面	断熱条件
地盤水平方向	上下温度分布を与える <sup>注1)</sup>
地盤深さ方向	21.33°C(5m) <sup>注1)</sup> 15.7°C(10m~)
地表面温度	26.97°C <sup>注1)</sup>

$U_m$ : 吹き出し風速[m/s],  $k_m$ : 吹き出し風の乱流エネルギー[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>],  
 $\epsilon_m$ :  $k_m$  の散逸率[m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>],  $C_u$ : モデル定数(=0.09),  $l_m$ : 吹き出し代長長さ)

## 2.2 解析結果

**2.2.1 水平寸法 W と垂直寸法 D の検討** 図 3 に示すように、水平寸法 W が 5m 以上になる 3 ケースにおいて、地下ピット流出入口の温度差が 1.29°C と一定になり、冷却熱量も 898W 前後で概ね一致した。また、図 4 より、垂直方向 D に関しても 15m 以上となる 2 ケースのときに、冷却熱量が 750W 前後、出入口温度差が 1.05°C とほぼ一定となっていた。よって、以下の解析では、地盤寸法は水平寸法 W を 10m、垂直寸法 D は 20m を用いている (図 5 参照)。

**2.2.2 ピット埋設深さ L の検討** 地下ピット埋設深さ L の変化による冷却効果の検討を行った (表 2 参照)。

図 6 より、埋設深さ L が大きくなるほど、冷却熱量と流出入口温度差ともに小さくなることわかる。また、図 7 の熱収支からも分かる通り、ピット内各面の対流による冷却熱量はピット埋設深さ L が大きくなるほど増加している。特に、ピットの南壁・北壁側の却効果が大きく、埋設深さ L を深くすると地中熱による冷却効果がより期待できると考えられる。

しかし、熱収支にも示した通り、図 8 に示すピット内の温度低下に対する各部位の寄与率 (対流寄与率<sup>注2)</sup>) によると、南面・北面・天井面と比較して、地盤に接している床面の寄与率が小さいことがわかる。その理由として、ピット内に導入された夏季の暖かい外気はピット内の上方に集中し、ピット内全体が冷却熱源として効果的に働いていないということが考えられる。床面からの地中熱を有効利用することで、更なる却効果が得られるものと推察される。

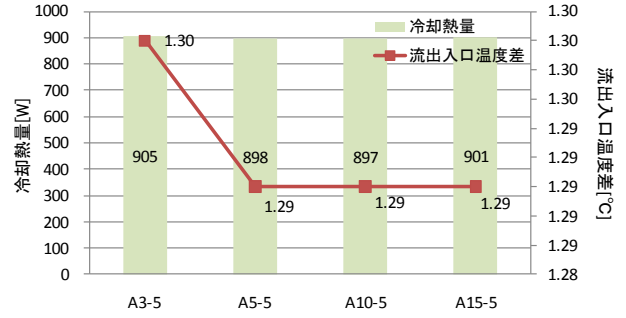
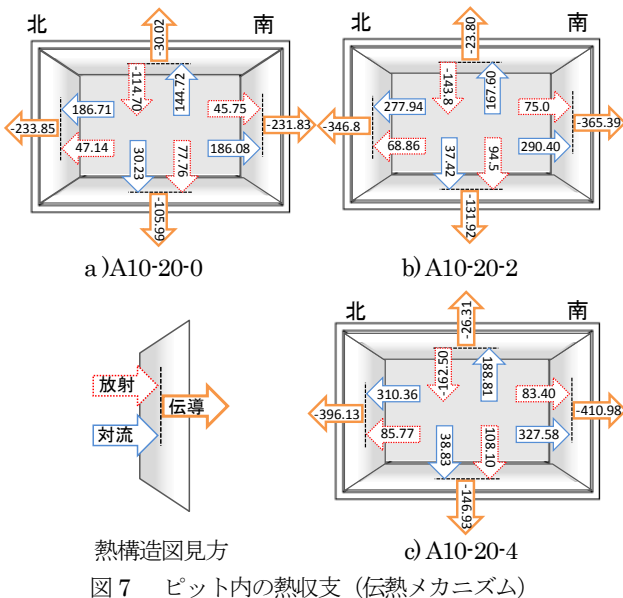


図 3 水平寸法 W の冷却熱量と流出入口温度差

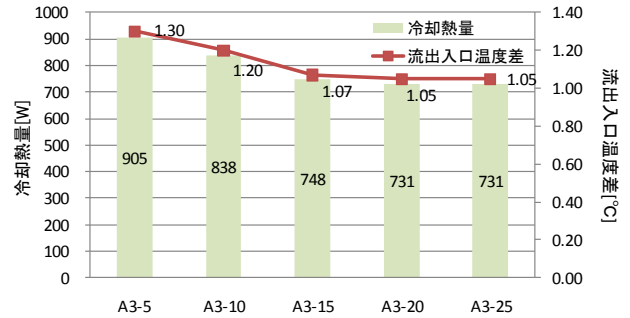


図 4 垂直寸法 D の冷却熱量と流出入口温度差

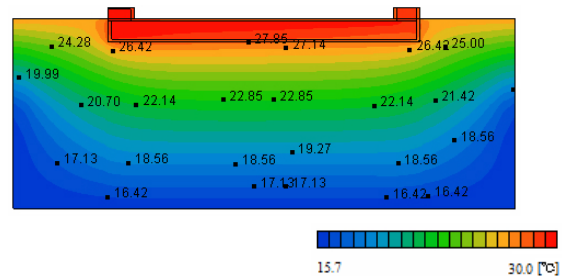


図 5 A10-20 の鉛直面温度分布

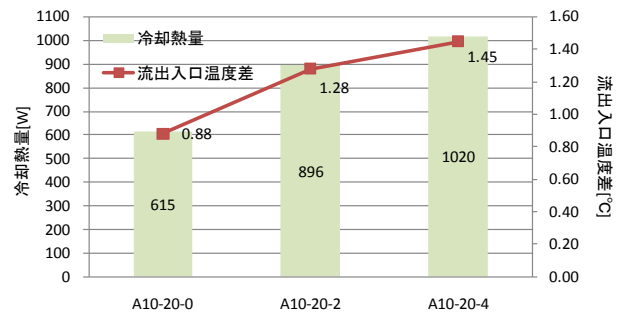


図 6 地下ピット埋設深さ L の冷却熱量と流出入口温度差

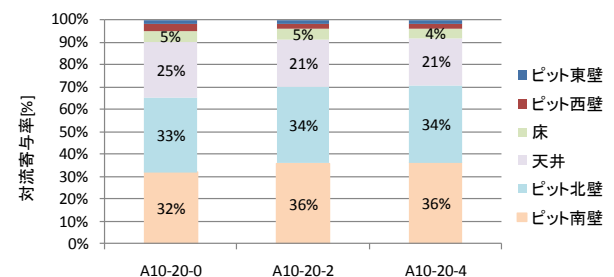


図 8 埋設深さ L のピット内対流寄与率

**2.2.3 基本モデル A~C の検討** ピット内の形状を A,B,C と変化させ、冷却効果の検討を行った (図 2 参照)。図 9 より、冷却熱量と流出入口温度差は  $C>B>A$  の順番で大きくなるが、単位面積当たりの冷却熱量は減少しており、表面積が増加するに従い、冷却量は増加するが冷却効率が低下する。次に、基本モデル A~C の水平面温度分布 (図 10 参照) に示すように、全ケースにおいて、ピット内の流入口からの移動距離が長くなるほど、温度低下が顕著になることがわかる。

### 3.実モデル解析による検討

#### 3.1 解析概要

**3.1.1 建物概要** 解析対象建物は、北九州市若松区の北九州学研都市にある、事業化支援センターである。写真 1 に建物外観、表 4 に建物概要を示す。建物は南・西面の窓面積が大きく日射負荷が多いため、様々な省エネルギー手法が採用されており、その一つとして地下ピットの空調熱源としての利用が挙げられる。

**3.1.2 解析概要** 解析対象は、事業化支援センターの地下ピットと周囲の地盤を含むモデルとする (図 11)。

解析は以下の手順で行う。(1) 実モデルにおいて、現在の設計仕様に対応した風量設定を行った解析に加え、風量を変化させた場合の検討を行う。風量検討ケースを表 5 に示す。(2) 2.2.2 で行った埋設深さ L に関する検討で最も高い冷却効果が得られた埋設深さ 4m のケースで解析を行い、基本モデルで提示した有効利用法の妥当性を検証する。解析条件は、表 3 に示す通り、基本モデルと同様とし、実モデルの解析においても、乱流モデルに低 Re 数型 k-ε モデルを用いた。

#### 3.2 解析結果

**3.2.1 現在の設計仕様と風量の検討** 現在の設計仕様に対応した風量の解析と、風量の検討を行った (表 5 参照)。図 12 の水平面温度分布より、風量が少ないほどピット出口の温度が低下していることがわかる。また、図 14 より、風量を大きくすることによって、冷却熱量は若干であるが増加することが読み取れる。しかし、風量が 0.5 倍のときは流出入口温度差が 0.65°C、設計仕様ときは 0.33°C、1.5 倍のときは 0.23°C と、流量が増加するにつれて、小さくなっている (図省略)。すなわち、導入外気を 1°C 冷却するのに必要な熱量が増加し、冷却効率が低下していることがわかった。また、基本モデルとは異なり、梁の影響で導入外気がピ

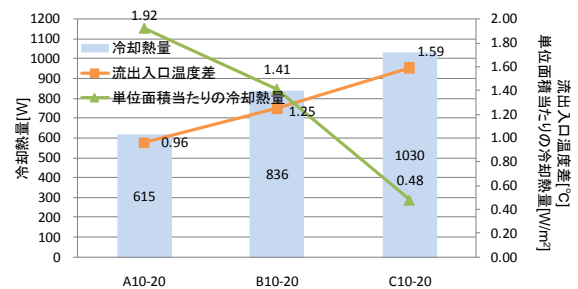


図 9 基本モデル A~C の冷却熱量と流出入口温度差

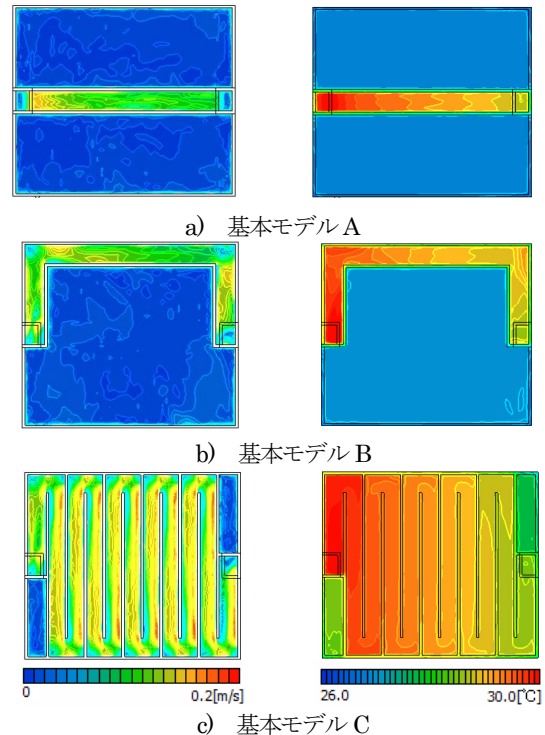


図 10 右:水平面流速分布 左:水平面温度分布 (H=1m)



写真 1 建物外観

敷地面積	2280.35m <sup>2</sup>
延床面積	3240m <sup>2</sup>
建築面積	675m <sup>2</sup>
竣工年	2005年4月
階数	地上5階

表 4 建物概要

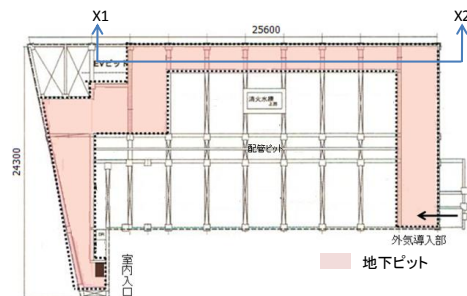


図 11 地下ピット平面図

表 5 風量検討ケース

	設計仕様	0.5倍	1.5倍
風量Q[m <sup>3</sup> /h]	10350	5175	15525

ット内下部を通過しているため (図 13 参照)、図 15 の対流寄与率のグラフからもわかるように、床面の対流熱伝達が促進され、地中熱を効果的に利用できることが分かる。

**3.2.2 実モデルにおける埋設深さ L の検討** 図 12 の水平面温度分布に示すように、設計仕様より埋設深さ L が 4m の方がピット出口温度が低下している。また、図 16 より、設計仕様の冷却熱量と流出入口温度差の値の方が、埋設深さ L が 4m のときより小さく、基本モデル解析で行った埋設深さ L の検討結果が妥当であることが実モデルにおいても確認できた。更に、埋設深さ L を 4m、流量を 0.5 倍を組み合わせたケースが最も流出入口の温度差が大きいという結果になった。

**4.まとめ**

- 1) 地盤寸法が冷却効果に与える影響を検討し、水平方向 W を 10m、垂直方向 D は 20m を用いた。
- 2) 埋設深さ L の検討結果より、埋設深さを深くすると地中熱による冷却効果が期待できることがわかった (但し、今回の研究では 0~4m の範囲)。また、対流寄与率より、床面の寄与率が小さいため、床面からの地中熱を有効利用することで、更なる冷却効果が得られるものと推察できた。
- 3) ピット形状の検討結果より、表面積が増加するほど冷却熱量は増加するが、冷却効率は低下することが確認できた。
- 4) 実モデルの検討により、風量が増加すると冷却熱量は若干増えるが、導入外気を 1℃冷却するのに必要な熱量が増加し、冷却効率が低下していることがわかった。
- 5) 実モデルは基本モデルとは異なり、梁の影響で導入外気がピット内下部を通り、床面の対流熱伝達が促進され、地中熱を効果的に利用できることが分かった。
- 6) 基本モデル解析で行った埋設深さ L の検討結果が妥当であることが実モデルにおいても確認でき、設深さ L を 4m、流量を 0.5 倍と組み合わせたケースが最も流出入口温度差が大きいという結果になった。

**【注釈】**

1) 外気温は 8 月の平均値 27.0℃、地中深さ 10m 以下の温度は 15.7℃とし、土壌側面の温度分布は勾配一定を仮定し与えている。ただし、地表面の総合熱伝達率は 23.0 W/m<sup>2</sup>・K、土壌の熱伝導率は 0.612W/m・K とした。2)対流寄与率とは、ある部位の対流熱伝達率/全部位の対流熱伝達率の和 3) 1℃冷却するのに必要な熱量のことであり、冷却熱量/流出入口温度差から算出

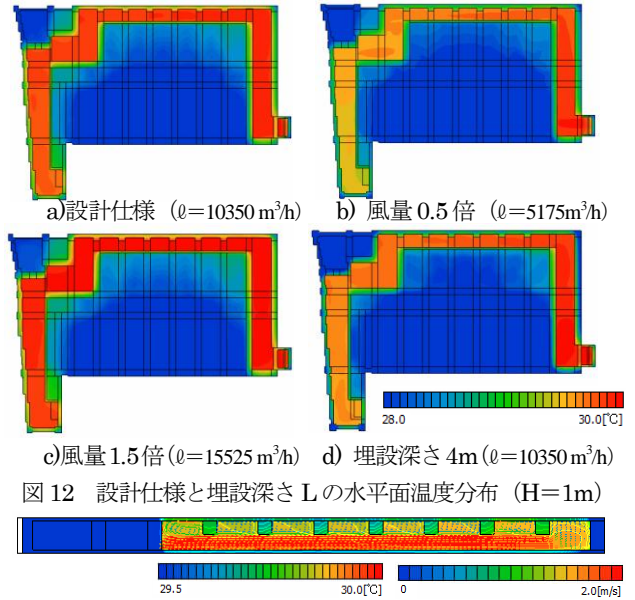


図 12 設計仕様と埋設深さ L の水平面温度分布 (H=1m)

図 13 X1-X2 の鉛直温度分布と流量分布

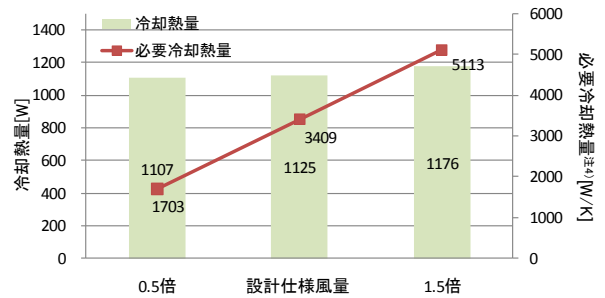


図 14 風量検討による冷却熱量と必要冷却熱量

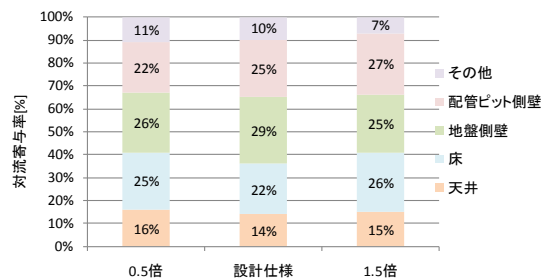


図 15 風量検討の対流寄与率

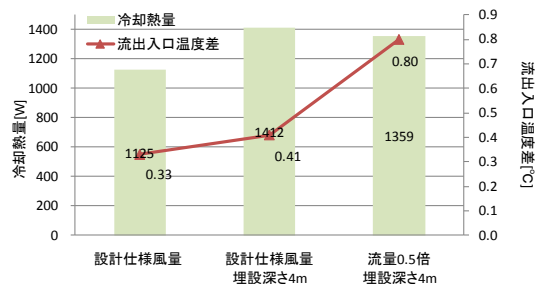


図 16 設計仕様と埋設深さ L の冷却熱量と流出入口温度差

**【参考文献】**

1)須賀ら：汎用的な壁関数モデル(第 1 報：滑面～粗面乱流に対応した流れ場のモデル), 日本機械学会論文集, B 編, 71(711), 2725-2733(2005)  
 2)須賀ら：汎用的な壁関数モデル(第 2 報：滑面～粗面乱流に対応した強制対流温度場のモデル), 日本機械学会論文集, B 編, 71(711), 2734-2740(2005)