

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 —地下ピット内の非定常熱伝達特性の検討—

2007541001 穂枝 李弥

白石研究室

CFD 解析, 熱回路網解析, 地下ピット, 非定常, 地下熱利用

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、実在する施設の地下ピットを対象とした非定常解析モデルを作成し、夏季冷房時および冬季暖房時を対象とした CFD 解析を行い、ピット内の熱伝達特性の動的変化を把握することを主たる目的としている。

2.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-1 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.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-1)。CFD 解析では年間の動的解析が困難なため、夏季・冬季のそれぞれの代表日として 8/11、2/11 の 2 日間を対象とした非定常解析を以下の手段で実施する。

まず、初期条件として地中の上下温度分布を把握するため、熱回路網解析ソフト (NETS) を用いて、鉛直方向の 1 次元熱移動モデルを作成し、解析を行った。



写真-1 建物外観

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

表-1 建物概要

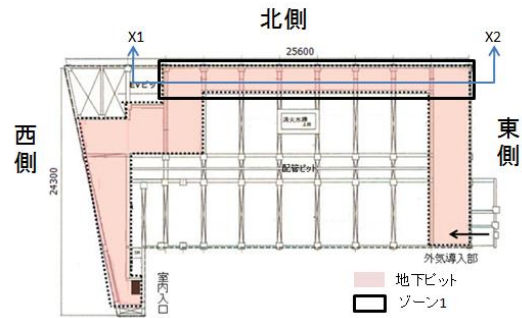


図-1 地下ピット平面図

表-2 熱回路網解析 (NETS) の解析条件

解析期間	1/1~12/31 (助走期間更に 1 年間)
気象データ	拡張アメダス気象データ (北九州市八幡)
モデル要素数	23 点
地表面側境界条件	気象データより外気温を与えた 総合熱伝達率: 23W/m ² , 日射吸収率: 0.7[-]
地中最下端の境界条件	15.7℃ (北九州市八幡の年間平均外気温度)

表-3 CFD の解析条件

解析期間	夏季 8/11, 冬季 2/11 の 0:00~24:00 (助走期間 1 日)
初期条件	熱回路網解析より算出した地中の上下温度分布
流入条件	T_{in} : 外気温度 [°C] (拡張アメダスより) $U_{in}=1.55$ [m/s] $k_{in}=3/2(U_{in} \times 0.05)^2$, $\epsilon_{in}=C_{\mu} k_{in}^{3/2} / l_{in}$
地下ピット上面	断熱条件
地盤表面	相当外気温度 (熱回路網解析結果に基づき算出)
地盤側面	断熱条件
地中最下端の境界条件	15.7℃ (北九州市八幡の年間平均外気温度)

U_{in} : 流入風速 [m/s], k_{in} : 流入風の乱流エネルギー [m²/s²], ϵ_{in} : k_{in} の散逸率 [m²/s³], C_{μ} : モデル定数 (=0.09), l_{in} : 地下ピット流入口の代表長さ [m]

Effective Use Method as Air-Conditioning Heat Source of Underground Pit by CFD Analysis

-Study on Unsteady Heat Transfer Characteristics in Underground Pit-

AKIEDA Riya

解析期間は1/1～12/31の1年間とし、助走期間は更に1年間設けた。気象データとして八幡の拡張アメダス気象データ（標準年）を用いた。熱回路網解析の結果を図-2に示す。地盤深さ10m以降は、北九州市八幡の平均気温である15.7℃に収束する。次にこの上下温度分布を初期値としてCFD解析を行う。なお、地下ピット躯体温度の初期値は、同解析を踏まえ夏季が24℃、冬季が15.8℃とする。また、同解析結果を用いて日射受熱を考慮した相当外気温度を算出し、地盤表面における境界条件として与えた。（図-3）

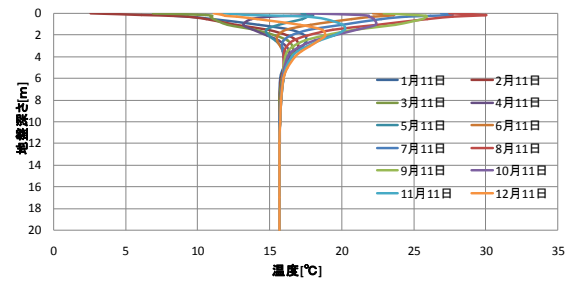


図-2 地中温度分布

CFD解析では更に助走期間1日（24時間）を設けて、各対象日の0時～24時までの計24時間（86400サイクル、 $\Delta t=10s$ ）の非定常解析を行った。熱回路網解析及びCFD解析の概要は表2及び表3にそれぞれまとめて示す。

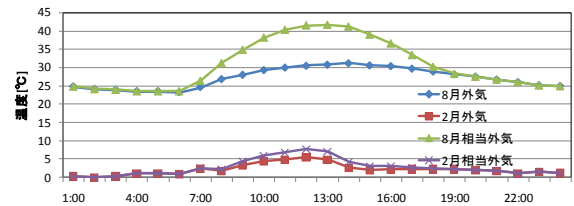


図-3 外気温度・相当外気温の時間変化

4.解析結果

既往の研究（昨年度の卒業研究）では同モデルを用いた定常解析による検討を行っており、夏季のピット内への導入空気は浮力の影響でピット内上部を流れる傾向にあるが、同建物では梁の影響で夏季でもピット内下部を流れるということを確認している。

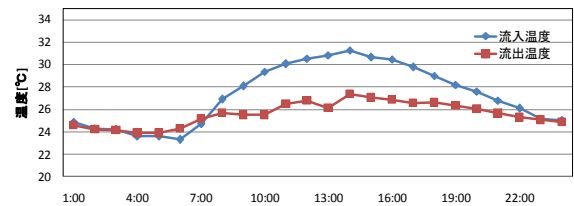


図-4 流入・流出温度（夏季）

4.1 夏季冷房時

(1)地下ピット内の温度（図-4、図-6、図-8）

夏季は日中の外気温度が最も高くなる13時頃に、ピット導入外気は最大で4.73℃冷却されていることが分かる（図4及び図6）。冷却熱量も同時刻にピークを迎える。一方、深夜から朝方にかけてピット内温度と外気温度がほぼ等しくなり（図4）、処理熱量もほぼゼロとなる（図6）。特に朝方の4時～6時の時間帯では逆に流入温度より流出温度のほうが若干ではあるが高くなっている。これは、ピット躯体の温度が24℃程度となっているのに対し、流入温度が24℃以下となりピット内で加熱されたためである。また図-8に示す通り、深夜から朝方にかけて地下ピットの温度分布は殆ど生じておらず（6:00及び24:00）、一方、日中は顕著な差が生じ、出口に近付くにつれて低下している（12:00及び18:00）。

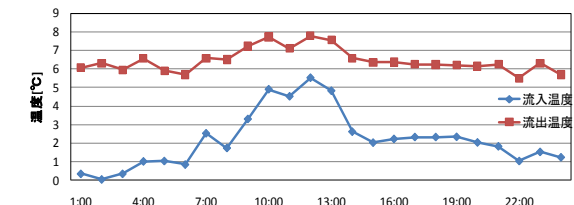


図-5 流入・流出温度（冬季）

(2)寄与率（図-10）

夏季の流出口の温度変化に対するピット内各部位の寄与率を図-10に示す。外気温が高くなる9～15時までは床面の寄与率が40～50%と最も高くなっている。

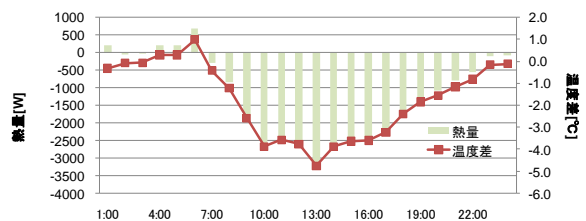


図-6 夏季の処理熱量と流出入口の温度差

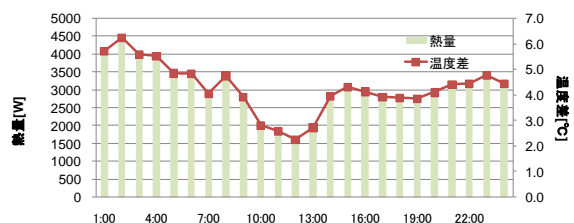


図-7 冬季の処理熱量と流出入口の温度差

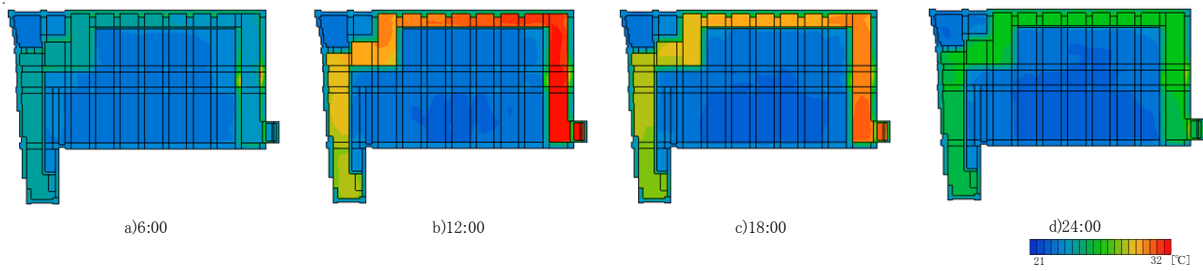


図-8 夏季水平温度分布 (Z=1)

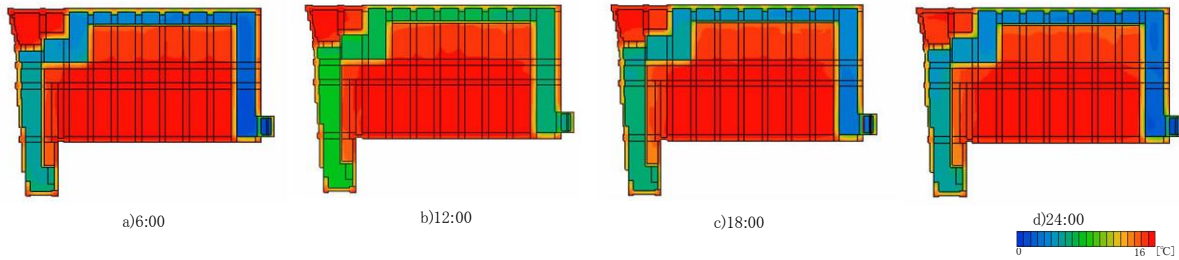


図-9 冬季水平温度分布 (Z=1)

これは、既往の解析結果（定常解析）と同様に、ピット内の梁の影響により、ピット内上部を通過していた空気が梁に衝突し、ピット内下部に沿って流れることによる影響が大きいものと推察される。9～15時では床面の次に天井面の寄与率が20%～30%と大きくなっており、次に北側壁面の寄与率が約15%、次に西側壁面が約10%、東側壁面が5%～10%となる。壁面の中で北側の寄与率が最も大きくなっているのは、北側は他の部位に比べ梁が7か所と最も多く存在するためと考えられる。その他の部位では梁は東側に2か所、西側に4か所存在する。一方、流入温度が下がる4時～6時では、熱量としては小さいが流入した空気が加熱されていることが確認できる。以上の結果より、夏季は流入温度が高い日中は地下ピットを有効利用できているが、気温が下がる朝方は床面以外を冷却面として利用できていない可能性が示唆された。夏季の夜間も地下ピットを有効利用するために、地下ピットの埋設深さを深くする等の設計段階における対策が有効であると考えられる。

(3)地下ピット内の対流熱伝達特性 (図-12)

地下ピット内の平均Nu数を算出し、ピット内の対流熱伝達特性に関する検討を行った。ピット内の各部位の平均Nu数を図-12に示す。前述の寄与率及び温度場を反映し、ピット内の中で床面の平均Nu数が大きく、対流熱伝達が促進されていることが分かった(冬季も同様)。その他、東側壁面も相対的に大きい。

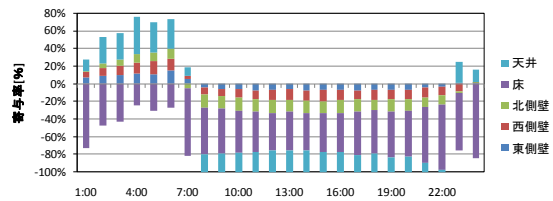


図-10 温度変化に対する各部位の寄与率 (夏季)

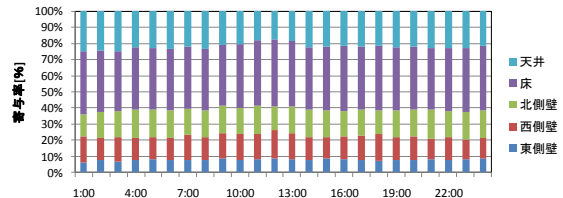


図-11 温度変化に対する各部位の寄与率 (冬季)

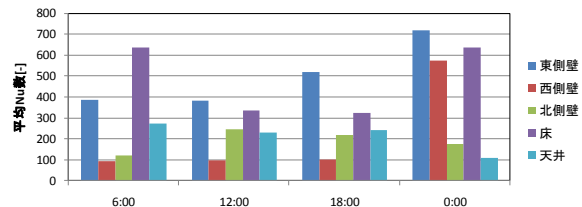


図-12 各部位平均Nu数 (夏季)

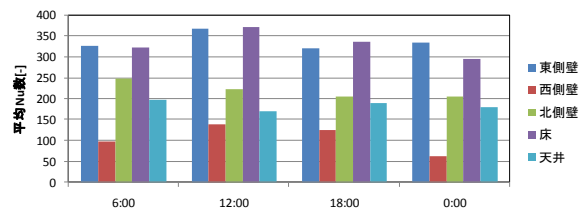


図-13 各部位平均Nu数 (冬季)

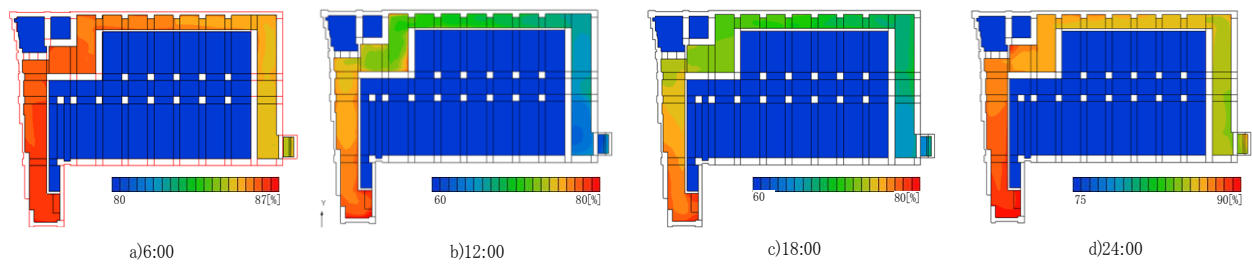


図-14 ピット内の水平面相対湿度分布 (Z=1m)

(4)ピット内の相対湿度の時間変化 (図-14, 図-15)

図-14 にピット内の水平面相対湿度分布を時間別に示す。各時間とも出口に近づくにつれ相対湿度が高くなる。これは、ピット内に流入した空気が冷却され、露点温度に近付いたためと考えられる。また、図-15 にピット内の相対湿度の時間変化を示す。深夜から朝方にかけては、外気温度は低く相対湿度が高い。ピット躯体温度もほとんど流入外気と同程度であるため、相対湿度も殆ど変化しない。(6:00 及び 24:00) 外気温度が高くなる日中は朝方や夜間に比べ相対湿度は低くなり、流出入口での相対湿度の差は7~15%と大きくなる。(12:00 及び 18:00)

今回の解析条件では、結露の発生はなかったが、外気の絶対湿度がより高い条件時に地下ピットの埋設深さがより深い場合では結露の可能性が懸念される。

4.2 冬季暖房時

(1)地下ピット内の温度 (図-5, 図-7, 図-9)

冬季は、外気温が最も低くなる深夜2時頃に、ピット内導入外気は最大で6.25℃加熱される。(図5及び図7)。夏季同様、加熱量も同時にピークを迎える。また、図-9に示す通り各時間とも流出口に近づくにつれて温度が高くなる。外気温が高くなる10時~13時の時間帯でもピット内導入外気は2.26℃~2.82℃加熱されており、冬季は一日中地下ピットを熱源として活用できている。

(2)寄与率 (図-11)

図-11 に冬季の温度変化に対する各部位の寄与率を示す。冬季は各部位が加熱面としてピット内の温度上昇に寄与している。また、冬季は一日通して各部位の寄与率に大きな変化は見られないが、床面の寄与率が、約40%と最も高く、次に床面が20~25%、北側壁面が15~20%、西側壁面が約15%、東側壁面が約10%

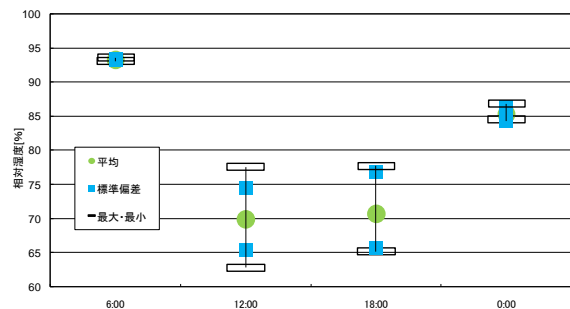


図-15 ピット内相対湿度の時間変化

となっている。

(3)地下ピット内の対流熱伝達特性 (図-13)

図-13 にピット内の各部位の平均Nu数を示す。夏季と同様に床面と東側壁面の平均Nu数が大きい。

5.まとめ

- 1) 夏季は流入温度が高い日中は地下ピットを有効利用できているが、気温が下がる朝方は床面以外を冷却面として利用できていない可能性が唆された。一方冬季は一日通じて地下ピットを熱源として活用することができている。
- 2) 地下ピット内に梁が多く存在する部位は温度変化に対する寄与率が大きくなる。
- 3) 各部位の平均Nu数は夏季・冬季ともに床面と東側壁面が相対的に大きくなる。
- 4) 夏季のピット内の相対湿度は深夜から朝方にかけては全体的に高くなり今回の解析条件では流出入口の相対湿度にほとんど差が見られない。日中は深夜や朝方に比べ低くなり、流出入口で7~15%の差がみられた。

【参考文献】

- 1) 石原ら：地盤熱容量を考慮した自然エネルギーの有効利用法に関する研究(第2報 地中温度分布とクールチューブに関する計測と数値解析), 日本建築学会中国・九州支部研究報告第10号(1996)
- 2) 安友ら：床下空間を空調還気経路とした大空間の暖房特性-躯体熱容量と空調制御を組み込んだ非定常CFDによる検討, 日本建築学会環境系論文集第596号, 75-82(2005)