日射の伝搬と CFD の連成解析によるオフィス空間の温熱・空気環境評価

白石研究室 日射,実測,CFD,非定常,オフィス

1. 背景と目的

近年,開放感や意匠性等の追求から外皮全面にガ ラスを使用したオフィスが数多く建設されるに至っ ている.ガラスは、屋外の光や日射を積極的に室内 へと導入することによって照明や暖房エネルギーの 削減に繋がる反面,夏季の遮蔽が不十分な状況下で は冷房エネルギーの増大やペリメータゾーンの温熱 環境の悪化等の問題も懸念される.現在,これらの 問題を改善する日射制御手法として, AFW(Air Flow Window), DS(Double Skin)や PPW(Push Pull Window)等の様々な外皮システムが提案され ており、これらの手法の日射制御性能に関する研究 も幾つか行われている.しかし,既往の研究では外 皮システムの日射侵入率の把握と同パラメータを用 いたマクロ的なシミュレーションに関するものが多 く、日射の反射・吸収・透過を考慮した伝搬現象を 直接的に解析した例は見あたらない. 外皮システム のマクロな熱的性能の評価のみでなく, 室内各部位 への日射の伝搬や室内温熱環境の不均一性も考慮に 入れて総合的な性能評価を行うには、日射伝搬の解 析を組み込んだ外皮性能の評価ツールが必要である と言える.本研究は、様々な建物外皮の日射制御性

2010541902 城戸 英彰

能を評価するための基礎的な研究として,日射伝搬 と CFD (Computational Fluid Dynamics:数値流 体力学)の非定常連成解析ツールを提案し,オフィス 空間を対象とした実測結果との比較により同ツール の有効性を示すことを目的とする.

2. 実測概要

2.1. 実測対象 福岡県北九州市に建設されたSビル を実測対象とし,一階の南面に位置する会議室一室 を用いて実測を行った.対象室の寸法及び測定点の 位置を図1に示す.対象となる会議室は,北面に廊 下,東西面に同様の会議室が隣接しており,南面は 一面ガラス張りになっている.

2.2. 実測条件 実測は,2011 年 9 月 4 日~26 日の 計 23 日間の測定を行った.空調設定温度は26℃と して 8 時から 18 時半まで冷房を行い,同時に機械 換気も行った.日射の予測精度の検証が目的である ため照明は OFF とした.

2.3. 測定項目 室内条件として, ①PZ 及び IZ の上 下温度分布, ②窓周辺の空気温度, ③室内側鉛直日 射量, ④室内表面温度, 屋外条件として, ⑤全天空 日射量及び天空日射量の測定を行った. その他, 外 気・空調関連・廊下の温度等の測定も行った.





2.4. 実測結果 代表日の9月7日における外気温, 水平面日射量(天空+直達),空調吹出温度及び廊下空 気温度の経時変化を図2及び図3にそれぞれ示す. 尚,これらの結果は,後述するCFD解析時の入力 条件となるものであり,室内温度分布等のその他の 結果については解析結果と合わせて示す.代表日は 晴天であり,夏期としては外気温度は低いが,日中 は28℃を超えていた.

3. 解析概要

日射の伝搬と CFD を連成して非定常解析を実施 している.また,躯体内の熱伝導及び室内の放射熱 伝達を連成して解析を行っている.

<u>3.1. 解析モデル</u>作成した解析モデルを図 4 に示 す.室の寸法は6.4m(X)×5.3m(Y)×2.8m(Z)であり, メッシュ数は115(X)×113(Y)×51(Z)=662,745 とし た.部材や吹出口等の寸法は竣工図を参考に作成し ている.

3.2. 解析条件 解析条件を表1に,各部材におけ る物性値を表2にそれぞれ示す.解析期間は2011 年9月7日の0時から18時半までとした.尚,空 調時間帯は8時から18時半までである.解析の際 は,助走期間を更に一日設けている.計算時間間隔 ムTは1秒とした.外気温度は30分毎に,廊下空 気温度は60分毎に,空調吹出温度は10分毎に,法 線面直達及び水平面天空日射量は60分毎にそれぞ れ実測値を用いて非定常的に与えている.空調吹出 口,外気取入口及び還気口の風量は一定とし,流入 温度は実測の数値を解析条件として与えた.

<u>3.3. 日射解析手法</u> 屋外側の日射条件は,実測にて 得られた地表面における法線面直達日射量と水平面 天空日射量を 60 分毎に与え,各面における日射受

表	2	各部材の物性値	f
1	_		ч.

		窓	壁・柱	床	天井
密度	٤[kg/m ³]	2190	2688	300	300
比熱[J/(kg • K)]	740	905	1300	840
放射率		0.9	0.3	0.9	0.9
日射	吸収率	0.25	0.30	0.60	0.00
	透過率	0.35	0.00	0.00	0.00



メッシュ	$115(X) \times 113(Y) \times 51(Z) = 662,745$			
	空調	流量:27.0 m ³ /min,温度:実測値		
流入条件	換気	流量: 6.8 m ³ /min,温度:実測値		
	k _{in} =	$=(U_{in}/10)^2$, $\epsilon_{in}=C_{\mu}^{3/4}\cdot k_{in}^{3/2}/l_{in}$		
法出冬供	空調	流量:13.5 m ³ /min,その他:Free slip		
加山木什	換気	表面圧力規定, その他:Free slip		
乱流モデル		標準k-eモデル		
辟而皆思冬仳	温度	対流熱伝達率指定 5 W/m ² K		
坐面苑外木叶	速度	一般化対数則		
	東壁・西壁	紙一奉礼		
	床・天井	9173		
隣室及び屋外側条件	廊下側	廊下温度(総合熱伝達率: 9 W/m ² K)		
	屋外側	外気温度(総合熱伝達率:23 W/m ² K)		

U_{in}: 吹出風速[m / s] ε_{in}: k_{in}の散逸率[m² / s³] k_m: 吹出口の乱流エネルギー[m²/s²] C_u: モデル定数(= 0.09)[-]

*l*_{in}: 乱れ長さスケール[m](=0.05m)

熱量を計算し,各面での発熱量として与えた.日射 データの無い時間帯は,直近の日射データを用いて 線形補間した.太陽高度は1秒毎に再計算を行って おり,天気は晴天とし,雲天係数は0.1[-]とした.

直達日射は,受熱対象となりうる表面要素から法 線方向に他の対象物との遮蔽判定を行い,受熱の有 無を決定した.天空日射の受熱分布はモンテカルロ 法によって算出した昼光率を用いて決定している. 地表面における反射日射量(地表面反射率=0.3[-])は, 天空日射においてのみ考慮した.ガラスの透過率は, 入射角特性により毎時刻変化するため,入射角によ る影響が最も少ない正午の透過率τを与えた.吸収 率μ及び反射率ρは,文献値を参考に与えた.尚, 反射後は指向性をもたない完全拡散反射と仮定した. 反射後の受熱分布はモンテカルロ法を用いて算出し た各面要素への形態係数により算出している.反射 の上限回数は 100 回まで考慮した.

4. 解析結果

<u>4.1. 時系列データ</u> PZ 及び IZ における床から 1100mm の高さにおける空気温度の経時変化を図 5,6 にそれぞれ示す.また,解析値と実測値の各日 射量の相関図を図7に示す.実測値と解析値の挙動 は概ね一致した.日中の空調吹出温度が低い場合に おいて 2[°]C程度の誤差が生じているが,これは解析 時における日射量が実測値より若干小さいためと推 察される.

4.2. 上下温度分布,温度場及び流れ場 時刻別の PZ 及び IZ の上下温度分布を図 8,9 にそれぞれ示 す.実測値と解析値の挙動は,床表面温度以外の点 においては概ね一致していた.解析値における床表 面温度は,日中になるにつれ上昇し,15 時には 40℃ を超えた.実現象において,床に吸収された日射は, 室内以外に床下方向にも熱を伝搬するが,解析モデ ルでは床下を断熱としているため,床表面温度が高 くなったと推察される.IZ において空気温度は,全 ての時刻においても 25℃程度となっているのに対 し,PZ は,時間が経つにつれ,空気温度が高くなる



傾向が見られた.

各時刻を代表して,12時における鉛直面(X=2.4m) 及び水平面(Z=1.5m)の温度場及び流れ場を図 10 に それぞれ示す.空調吹出口付近は,低温となり,流 速は卓越している.しかし,外気取入口からの影響 により西側の温度が高くなり,還気口及び排気口付 近においては空調吹出から吹出された空気と混合さ れ,低くなっている.窓面ではライン状の空調吹出 口(図 4)が設けられているため,日射や外気からの熱 貫流の影響はあまり生じていない.

4.3. 窓近傍温度 窓近傍温度の実測値と解析値の 比較結果を図 11 に,窓近傍の断面図を図 12 にそれ ぞれ示す.尚,窓表面及び窓からの距離毎の RMSE 値も合わせて示す.窓表面において, RMSE=0.49℃ と高い精度を示し,窓からの距離が離れるにつれ, RMSE 値は大きくなった.差異については,室内透 過日射量が実際より低い等の影響が考えられる.

4.4. サーモ画像との比較 10時,12時,14時に おける窓近傍の室内表面温度の解析結果とサーモ画 像を図 13に示す.実測と解析の日射の挙動は概ね 一致している.しかし,直達日射によって室内に形 成される高温域は若干小さくなる.これは解析モデ ルの窓面上部を簡略化したためと推察される.時間 が経過するにつれて日射の当たる面積は変化し,ど の時間帯においても日射が当たる床表面温度は 38℃を超え,概ね実測結果と対応した.ただし,日 射は,床面以外に壁面にも照射されているが,反射 日射は完全拡散を仮定しているため,壁面温度は殆 ど上昇しなかった.

5. 総括

本研究では、日射の伝搬と CFD の非定常連成解 析により、オフィスの室内温熱・空気環境と空調熱 負荷の評価を行った.以下に得られた知見を示す.

 非定常実測を対象とした予測精度の検証により、日射を導入した場合の室内空気温度及び窓 近傍温度の動的挙動において、高い再現性を確 認した。



[参考文献]

1)郡公子,ペリメータレス空調のための窓システムの評価に関す る研究(第一報)窓側放射環境の評価法,日本建築学会計画系論文 集第 539 号 2001.1 2)日本太陽エネルギー学会:新太陽エネル ギー利用ハンドブック,2000