

外断熱建物と内断熱建物の空調負荷解析
～空調学会北海道支部が提案した熱負荷計算法による検証～

正会員 ○菊田 弘輝*1
同 絵内 正道*2
同 羽山 広文*3
同 森 太郎*4

外断熱 CV法 熱負荷計算法 設備容量 連続冷暖房

1. はじめに

日本では、外断熱の調査研究や実践活動が始まってから約30年が経ち、その間の研究結果や海外の事例によって、外断熱の有効性が徐々に明確化されてきた。21世紀は本格的な地球環境時代となり、環境問題への取り組みや省エネルギー化は重要な位置を占めるだろう。

本研究の目的は、外断熱建物と内断熱建物の空調負荷解析である。具体的には、空気調和・衛生工学会北海道支部が提案した「実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法」から冷暖房設備容量を決定し、数値解析により外断熱建物と内断熱建物の冷暖房供給熱量を検証する。

2. 数値解析の概要

数値解析はコントロール・ボリューム(CV)法¹⁾で行い、CV点Pでの温度 T_p を(2)式から求める。同様に各CVの温度を計算して、Wallの温度とSpaceの流体温度を把握する。点Nは格子点Pの隣接点である。CV点Pの概念図を図1に示す。

$$\left(\sum \frac{\lambda_v}{\delta_v} S + \frac{\rho c V}{\Delta t} + \alpha S\right) T_p = \sum \frac{\lambda_v}{\delta_v} S T_v^0 + \left(\frac{\rho c V}{\Delta t} - \sum \frac{\lambda_v}{\delta_v} S\right) T_p^0 + (\alpha T_f + q) S \quad (1)$$

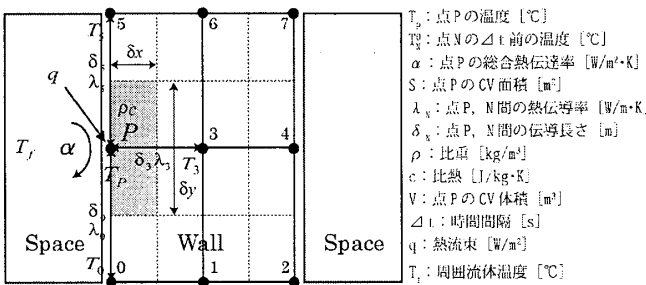


図1 コントロール・ボリューム点Pの概念図

$$\left[\left(\frac{\lambda_0}{\delta_0} \delta x + \frac{\lambda_2}{\delta_2} \delta y + \frac{\lambda_3}{\delta_3} \delta x\right) + \frac{\rho c \delta x \cdot \delta y}{\Delta t} + \alpha \delta y\right] T_p = \left(\frac{\lambda_0}{\delta_0} \delta x T_0^0 + \frac{\lambda_2}{\delta_2} \delta y T_2^0 + \frac{\lambda_3}{\delta_3} \delta x T_3^0\right) + \left[\frac{\rho c \delta x \cdot \delta y}{\Delta t} - \left(\frac{\lambda_0}{\delta_0} \delta x + \frac{\lambda_2}{\delta_2} \delta y + \frac{\lambda_3}{\delta_3} \delta x\right)\right] T_p^0 + (\alpha T_f + q) \delta y \quad (2)$$

3. 外断熱建物と内断熱建物の熱負荷計算

3.1 解析モデルの設定

オフィス空間を想定して建物の熱負荷を計算する。解析モデルを図2、計算条件を表1に示す。計算室は建物の最上階・中央部とその下の中間階・中央部で、幅を1[m]の単位長さで設定し、高さを3.5[m]、窓際から奥行き5[m]の範囲をペリメーター、その奥をインテリアとする。インテリアは0[m]、5[m]とする。

それから外断熱の蓄熱性を考慮して、予熱運転を早めることを踏まえた連続冷暖房について検証するため、外断熱のみ12,14時間運転も加えて数値解析を計画した。

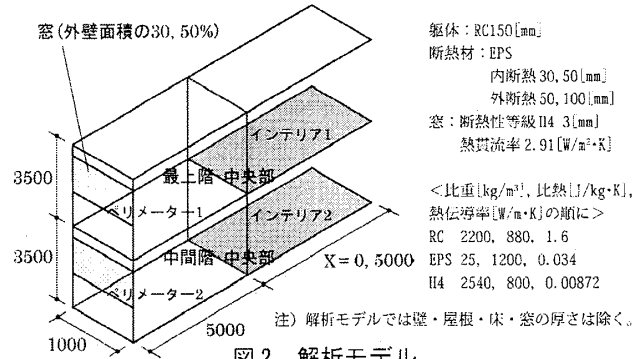


図2 解析モデル

表1 計算条件

外気条件	札幌のHASP標準気象データ(日射は南側データ)を使用する。
初期設定温度	各部の設定温度を20℃一定とした定常状態からはじめる。
冷暖房設定温度	暖房20℃, 冷房25℃とする。
冷暖房運転時間	7時～17時(予熱2時間+8時間)10時間運転, 土日熱供給停止 外断熱のみ 5時～17時(予熱4時間+8時間)12時間運転 5時～19時(予熱6時間+8時間)14時間運転 冷暖房運転は比例制御(10段階)で行う。
冷暖房設備容量	暖冷房負荷計算 ～実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法～ タギ建築環境研究所の計算ソフトを使用する。
熱供給設定	外皮負荷のみ部屋に供給する。 奥行き5m(5m ² , 17.5m ²)のとき, ペリメーター1 壁・窓・屋根(5m) ペリメーター2 壁・窓 奥行き10m(10m ² , 35m ²)のとき, ペリメーター1 壁・窓・屋根(5m) インテリア1 屋根(5m) ペリメーター2 壁・窓 インテリア2
室内取得熱	透過日射はすべて床(ペリメーター側)に入射する。 人、機器、照明による発熱時間を9時～17時(8時間)とする。 5m ² あたり、1人(50W)、機器1台(200W)、照明1台(50W) 発熱の50%を放射成分として床に照射する。
居室室内空気流動	ペリメーターとインテリア間の交換換気は温度差換気で行う。
総合熱伝達率	室内側は9[W/m ² ・K], 室外側は23[W/m ² ・K]

表2 シミュレーション期間

日	月	火	水	木	金	土
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	

冷暖房共に3週間計算を行い、解析結果は最後の1週間(土～金)を使用する。

3.2 熱負荷計算法²⁾

RC造外断熱建物は外界の熱変動が室内側に伝わりにくく、室内側に伝わる時間が大きく遅れるという特性がある。その特性から冷暖房時の時間最大負荷は、日中の最低気温を元に最大負荷を求めていた従来計算法に対し、1日の平均気温を元に1日に要する負荷量の合計を運転時間で除した平均の負荷量を算出することで求められる。この計算法は、従来の計算法で安全側として無視していた内部取得熱(透過日射・人体・機器等)も冷暖房に寄与する熱として無視できなくなるので考慮する。

Dynamic Analysis of Air-Conditioning Load for External Insulation Building and for Internal One

～Verification using The Calculation Method of Heat Load proposed by Hokkaido Branch of SHASE～

KIKUTA Koki, ENAI Masamichi, HAYAMA Hirofumi, MORI Taro

3.3 解析結果

表3を見ると、*a暖房時に室内容積が大きくなると供給熱量は少なくなっている。この理由は、相対的に容積当たりの人・機器・照明による室内取得熱が増加したからである。逆に、*b冷房時は供給熱量が多くなり、窓を外壁面積の50%にした場合には、室内への透過日射が増加し、その影響でさらに冷房負荷は増大した。断熱厚さ以上に窓面積の影響が大きく、冷房負荷の削減には、透過日射を考慮した開口部の設計が重要であると考えられる。

同じ断熱厚さの内断熱・外断熱50[mm]の週積算供給熱量を比較すると、*c暖房時は中間階では外断熱の方が供給熱量は少なく、最上階では内断熱の方が日平均室内温度が低いために熱損失が小さくなり、供給熱量は少なくなった。ただしシミュレーションは1次元熱伝導で計算しているもので、内断熱に多い熱橋による断熱性能の低下を考慮していない。また外断熱は50[mm]以上の75, 100[mm]が可能であり、外界の影響を抑え、室内温度変動や冷暖房負荷を小さくすることができる。同じ断熱厚さでの推論は意味がないので避けることにする。

*d冷房時は中間階では外断熱の方がやや供給熱量が少なく、最上階はその逆であった。この理由は、最上階は中間階よりも外界の影響が大きくなるので、夜間の冷却が容易な内断熱は、翌朝には設定温度に早く到達したことによる。

表3. 冷暖房10時間運転の週積算供給熱量

容積	壁と窓の割合	断熱厚さ [mm]	積算供給熱量 [MJ/week]			
			暖房		冷房	
			最上階	中間階	最上階	中間階
1*5*3.5 17.5m ³	壁70% 窓30%	内断熱30	27.32	8.72	48.23	65.00
		内断熱50 *a	9.64	0.52	48.98	66.13
		外断熱50	15.30	0.37	53.23	64.89
		外断熱100	0.43	0	54.40	65.35
	壁50% 窓50%	内断熱30 *c	20.56	5.87	57.48	79.93
		内断熱50	7.98	1.45	58.50	81.19
		外断熱50	11.52	1.01	64.14	79.53
		外断熱100	0.81	0	65.59	80.12
1*10*3.5 35.0m ³	壁70% 窓30%	内断熱30	28.28	4.07	82.83	107.43
		内断熱50 *a	5.83	0	84.04	108.87
		外断熱50	5.97	0	89.83	106.03
		外断熱100	0	0	91.61	106.49
	壁50% 窓50%	内断熱30	22.50	3.03	92.73	123.08
		内断熱50	5.36	0	94.20	124.71
		外断熱50	5.38	0	101.45	121.16
		外断熱100	0	0	103.52	121.74

表4を見ると、*e暖房時に最上階では運転時間が長くなると、やや供給熱量が多くなっているが、室内容積が増えたとその差は小さくなった。中間階は熱損失が少ないので、最上階と比べて暖房負荷は大幅に減少した。運転時間を長くしても供給熱量はほぼ等しく、*f14時間運転が最も少なくなるCaseもあった。*g外断熱100[mm]では窓面積が増えると、供給熱量が増えていた。窓からの透過日射量が増加

して暖房負荷の軽減につながると思ったが、これは透過日射の取得熱量の増加よりも窓からの流出熱量の増加が大きく、結果的に熱損失が増えたからである。

*h冷房時は最上階・中間階共に設定温度よりもやや高く、常に時間最大負荷で稼働している状況で、運転時間を長くしても供給熱量はほぼ等しくなった。

結果、外断熱の熱特性を利用し、設備容量の小さいものを選択して連続冷暖房をする方が効果的で、間欠冷暖房のような大きい設備システムが不必要になると考えられる。外断熱は内断熱よりも一般的にコストが割高であるため、これからは設備システムでのコスト削減を目指す必要がある。また経済性だけでなく、地球環境時代を背景とした省エネルギー化にも役立つ。

今後は自然エネルギーも積極的に取り入れて、冬期での日射利用、夏期での夜間の外気冷房により、RC造外断熱建物における新たな設備システムの構築が課題と言える。

表4 冷暖房10, 12, 14時間運転の週積算供給熱量

容積	壁と窓の割合	断熱厚さ [mm]	冷暖房 運転時間	積算供給熱量 [MJ/week]			
				暖房		冷房	
				最上階	中間階	最上階	中間階
1*5*3.5 17.5m ³	壁70% 窓30%	外断熱50	10	15.30	0.37	53.23	64.89
			12	18.36	0.57	53.38	66.07
			14	19.92	0.43	53.69	67.24
		外断熱100	10	*g 0.43	0	54.40	65.35
			12	0.63	0	54.48	66.40
			14	0.64	0	54.58	67.41
	壁50% 窓50%	外断熱50	10	*e 11.52	*f 1.01	*h 64.14	79.53
			12	15.70	1.20	64.49	81.30
			14	16.73	0.90	65.00	83.04
		外断熱100	10	*g 0.81	0	65.59	80.12
			12	1.20	0	65.87	81.74
			14	1.18	0	66.14	83.34
1*10*3.5 35.0m ³	壁70% 窓30%	外断熱50	10	5.97	0	89.83	106.03
			12	8.58	0	90.02	107.44
			14	8.40	0	90.60	108.54
		外断熱100	10	0	0	91.61	106.49
			12	0	0	91.69	107.69
			14	0	0	92.45	107.98
	壁50% 窓50%	外断熱50	10	*e 5.38	0	101.45	121.16
			12	8.03	0	101.73	123.12
			14	7.68	0	102.09	125.10
		外断熱100	10	0	0	103.52	121.74
			12	0	0	103.61	123.58
			14	0	0	103.56	125.48

4. おわりに

解析結果から、外断熱建物は内断熱建物よりも空調負荷が少なく、また冷暖房運転時間を増やして時間当たりの供給熱量を減らしても室内温度が保たれていた。従って、外断熱による設備システムの縮小が可能であり、外断熱は蓄熱性を効果的に活用するために、間欠よりも連続冷暖房が有効である。

【参考文献】

- 1) S・V・バタンカー原著、水谷幸夫・香月正司共訳：コンピュータによる熱移動と流れの数値解析、森北出版、pp.24-60、1988
- 2) 空気調和・衛生工学会北海道支部・設備技術研究会「実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法の策定」小委員会：実用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法、1999

*1 北海道大学大学院工学研究科修士課程
 *2 同 教授・博士(工学)
 *3 同 助教授・博士(工学)
 *4 同 助手・博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
 Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Instructor, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.