

室外機の吸込み温度の抑制手法である排気用ダクトに関する検討

—多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇に関する研究 (続報)—

EXHAUST DUCT FOR SUPPRESSION OF SUCTION TEMPERATURE OF OUTDOOR CONDENSING UNIT

—Suction temperature characteristics of air-conditioner' outdoor condensing unit
in multi-level installations (continued report)—

木下 学*, 羽山広文**, 倉渕 隆***

Manabu KISHITA, Hirofumi HAYAMA and Takashi KURABUCHI

The purpose of this report is to develop a scheme for optimal placement of outdoor condensing unit. With this purpose, we examine the relationship between rise in suction temperature and the placement of outdoor condensing unit in multi-level installations. In particular influence of exhaust duct is examined. A model experiment is performed for outdoor condensing. In addition, an equation for predicting rise in suction temperature for outdoor unit having an outside-air inflow rate R_m (ratio of outside-air inflow volume to air volume of the outdoor unit) is used to clarify the relationship between the rise in suction temperature of outdoor unit and equipment setup conditions. Based on these results, factors that will determine setup conditions considering the rise in suction temperature of outdoor unit are found and a method for suppressing rise in suction temperature is evaluated.

keyword: Outdoor condensing unit, Short-circuit air flow, Similarity rule, Modeling experiment, Exhaust duct

室外機, ショートサーキット流れ, 相似則, 模型実験, 排気用ダクト

1. はじめに

近年、多様化するビルの空調設備として空冷パッケージ型空調機を採用する事例が増えている。これに伴い、屋上や各階のバルコニーなどの限られたスペースに設置された室外機の吸込み温度は上昇し、空調機の冷却能力の低下、冷媒圧力の上昇に伴う空調機の停止を引き起こす。このことから、空冷パッケージ型空調機を適正に運転させ、空調設備の信頼性を確保するため、室外機の吸込み温度を考慮した室外機の配置計画に関する研究が必要である^{1), 2), 3)}。

これまで、建物のバルコニーに設置された室外機の吸込み温度上昇については、古藤^{1), 5)} 戸^{6), 7)} らが実測および熱流体数値解析により、隣接ビルとの間隔やビル周囲の風向および風速等の室外機周辺状況と吸込み温度上昇の関係を検討している。また筆者ら^{1), 2)} は、室外機の間隔、階高、設置階数などの室外機の設置条件と吸込み温度上昇について検討を進めている。

既報(文献2)²⁾ では、バルコニー等に2層に重層設置される室外機の模型実験を実施し、室外機の吸込み温度と設置条件の関係を簡便な近似式で表現した。これにより室外機の設置条件の各パラメータが上下階室外機に与える基礎的な影響について把握を行った。また既報(文献3)³⁾ では、3層以上の多層階に設置される室外機の吸込み温度と設置条件の関係を明らかにするため、4層に重層

設置される室外機の模型実験を実施し、室外機の吸込み温度と設置条件の関係を外気流入率 R_m (室外機の風量に対する外気流入量の比) を用いた室外機吸込み温度上昇の予測式で表現した。これにより室外機の設置条件の各パラメータが上下階室外機に与える影響について把握した。また室外機の設置条件が吸込み温度上昇に影響を与える影響を定量的に評価し、吸込み温度上昇の抑制方法について検討した。しかし、多層階に設置される室外機の吸込み温度は、設置階数の増加に伴い上昇する傾向であり、より効果的な抑制手法について検討を進める必要がある。

本報告では、既報³⁾ の検討を発展させ、多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇の抑制手法の一つと考えられる排気用ダクト(排気用ダクトとは、室外機の排気口に取り付けるダクトを示す。)に着眼し、室外機の適正な配置方法の明確化を目的に、以下の検討を行う。1) 室外機設置上の問題点を明らかにするため、排気用ダクトを取り付けた室外機の現場実測を行う。2) バルコニーに重層設置される室外機に関して、排気用ダクトが室外機の吸込み温度上昇に与える影響を明らかにするため、相似則を考慮した模型実験を行う。3) 排気用ダクトの取り付けの有無および室外機の設置条件と吸込み温度上昇の関係を明らかにするため、外気流入率 R_m (室外機の風量に対する外気流入量の比) を用いた室外機吸込み温度上昇

* NTT フェシリティーズ研究開発部 修士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

*** 東京理科大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

Research and Development Dept., NTT Facilities, M. Eng.
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Science University of Tokyo, Dr. Eng.

の予測式を作成する。4) 室外機吸込み温度上昇の予測式の予測精度を検証するため、模型実験の結果、実測調査の結果を用いた検証を行う。

2. 室外機吸込み温度の実測調査

2.1 実測調査の概要

重層設置されている室外機の吸込み温度上昇の実態を把握するため、既存の2建物で実測調査を行った。実測調査では、室外機に吸い込まれる空気の温度を測定した。図1に対象となる空冷パッケージ型室外機の測定位置を示す。室外機の吸込み温度は4ヶ所の平均値、吹出し温度は2ヶ所の平均値である。以降で実施した模型実験でも同位置で温度を測定した。表1に実測調査を行った建物の概要を示す。2建物とも6階建てで、室外機が設置されているバルコニー側には、隣接して二層程度の低層の商店、住宅が立ち並んでおり、100m以内の範囲に高層建物はなかった。また室外機には、排気用ダクトが取り付けられているものと取り付けられていないものが混在していた。Aビルのバルコニーには中間階があり、10層にわたり室外機が設置されていた。そのため、Aビルのバルコニーの階高はBに比べ低く、2300[mm]であった。Bビルの室外機は、1～6階のバルコニーに設置されていた。実測時の室外機の稼働率は、2建物ともばらつきがあった。外気温度および外部風速は、室外機の影響のない地上1.5[m]の位置で測定した。

2.2 実測調査の結果

図2にAビルの室外機吸込み温度上昇の実測結果を、図3にBビルの実測結果を示す。設置階数が上階になるに従い、吸込み温度上昇も増加する傾向が見られた。吸込み温度上昇の最大値は、Aビルが15[℃]、Bビルが10[℃]であった。Bビルに比べAビルの吸込み温度上昇の実測値が高い主な要因として、Aビルの設置階数が多いこと、開口高が低いことが考えられる。また、排気用ダクトが取り付けられている室外機と取り付けられていない室外機が混在している場合でも、排気用ダクトを設置した室外機は吸込み温度上昇を抑制する傾向であった。

3. 室外機模型の概要

3.1 室外機模型の作成

排気用ダクトの取り付けの有無および室外機の設置条件など、様々な設置形態における室外機の吸込み温度上昇を再現するため模型を作成した。対象の室外機は、装置側面に外気取り入れ用の開口を設け、装置上部の排気用ファン2機により排気を行う構造である。実験に用いた室外機の模型を図4に示す。模型の縮尺寸法は、実機の1/6の寸法とし、幾何学的相似とした。

3.2 相似則によるパラメーターの設定

本検討では、室外機の周辺条件として最も厳しいと考えられる無風条件^{(4),(5)}を想定した。また、模型実験のパラメータは、模型寸法、風量、排気速度および温度とした。系の力学的相似は、室外機の形状を実機と幾何学的に相似とした上で、平均排気速度を代表風速、模型周辺温度と排気温度の差温を代表温度差とした場合のアルキメデス数 A_r の一致によって達成されるものと考えた。また、室外機表面からの伝達熱は無視し、内部発熱と換気熱損失から得られる熱的相似を考慮した。ここで ν 、 ∞UL とし、乱流レイノルズ数 Re_i の自

記号表

- C_p : 空気の比熱 [J/(kg·℃)]
- ρ : 空気の比重量 [kg/m³]
- β : 体積膨張率 [1/℃]
- g : 重力加速度 [m/s²]
- γ_i : 渦動粘性係数 [m²/s]
- U : 代表速度 [m/s]
- L : 代表長さ [m]
- $\Delta\theta$: 代表温度差 [℃]
- q : 発熱量 [W]
- A_r : アルキメデス数 [-]
- Re_i : 乱流レイノルズ数 [-]
- n_x : x に関する縮率 [-] (x は $U, L, \Delta\theta, q$ であり、模型の実物に対する比を表す)
- H_o : 室外機の発熱量 [W]
- V_o : 室外機の風量 [m³/h]
- T_e : 室外機の排気温度 [℃]
- T_i : 室外機の吸込み温度 [℃]
- T_o : 外気温度 [℃]
- ΔT_i : 室外機の吸込み温度上昇 [℃] ($T_i - T_o$)
- R_o : 外気流入率 [-]
- k : 室外機の設置階数 [階]
- H : 開口高さ [m]
- W : 開口幅 [m] (W_i : 室外機間隔 [m])
- D : 奥行 [m] (D_i : 通路幅 [m])

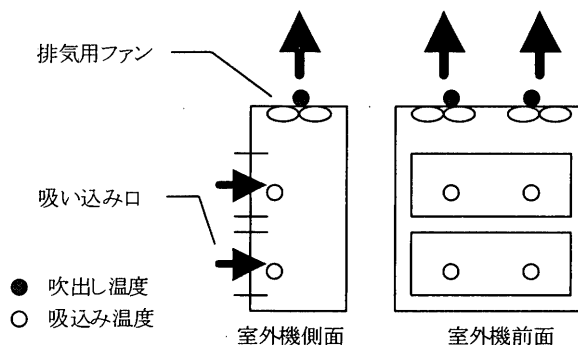


図1 室外機の吸込み温度の測定位置

表1 実測調査建物の概要

建物名	Aビル	Bビル
バルコニーの階数	6階(中間階有)	6階
開口高[mm]	2300	3800
バルコニー奥行き[mm]	1800	2300
測定中の外気温度[℃]	30.2~34.1	32.2~36.3
風速[m/s]	0.1~4.7	0.1~4.0
室外機の稼働率	1F:80% 1MF:0% 2MF:100% 3F:75% 3MF:50% 4F:25% 4MF:67% 5F:100% 5MF:75% 6F:50%	1F:43% 2F:59% 3F:78% 4F:45% 5F:79% 6F:100%

動的一致を仮定した。従って、例えば寸法に関する模型の実物に対する比を n_L 等と表すと、力学的相似条件は(1)式、熱的相似条件は、対流輸送と内部発熱の関係から(2)式となる³⁾。実験に用いた模型は、縮率 n_g を1、縮率 n_L を1/6とし、(1)、(2)式から縮率 n_U 、 n_q を決定した。なお、実機の発熱量は20[kW/台]、冷却温度差は10[℃]とした。さらに、室外機頂部付近の熱拡散には排気の乱れ性状の影響が無視し得ないと考えられるが、実機と同様ファンによる排気であることから、特に考慮しなかった。

$$n_U n_L = n_U^2 \quad (1)$$

$$n_q = n_U n_U n_L^2 \quad (2)$$

4. 模型実験の概要

4.1 実験方法

図5に示す4層のバルコニー模型を作成し、1層あたり3台の室外機模型を設置した。室外機模型の縮尺は実機の1/6である。また室外機がバルコニーに連続して設置されていることを想定し、対称面に断熱材の壁を設けた。これは、連続して室外機の列が並ぶ状態を想定した上で、外気が静穏な最も厳しい状況をモデル化したものである。

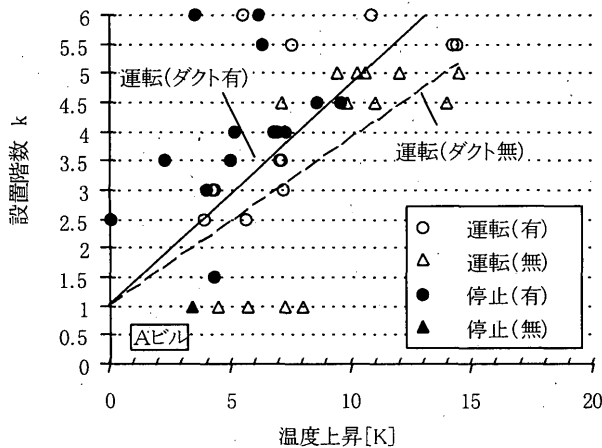


図2 Aビルの実測結果

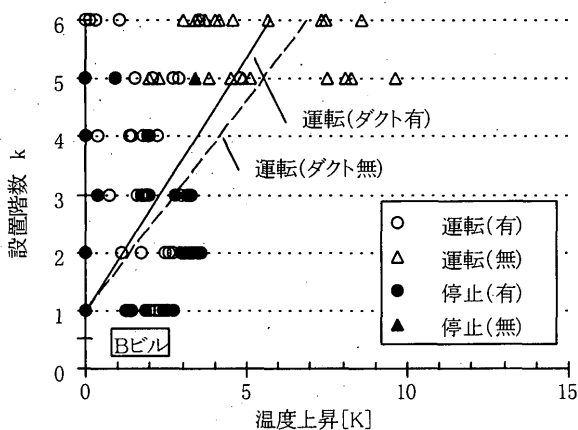


図3 Bビルの実測結果

4.2 実験ケースと測定ポイント

表2に示す開口高さH、開口幅W(室外機間隔W1)、設置位置および排気用ダクトの有無を実験変数とする計54ケースの実験を行った。図6に各実験ケースにおけるバルコニー内の設置パターンを示す。開口高さHは、実際の建物階高を考慮し、3~5[m]の範囲で設定した。また設置位置Dはバルコニー先端からの距離を表し、0~1.2[m]の範囲とした。模型実験では、T型熱電対を用い、室外機吸排気温度、バルコニー前面空間温度、外気基準温度等、計240点を測定した。

5. 模型実験の結果

5.1 排気用ダクトを取り付けない場合

図7に室外機の吸込み温度上昇と開口高、設置位置、開口幅の各設置条件との関係を示す。開口高、開口幅の増加または設置位置の減少により、吸込み温度上昇が抑制できることがわかる。また開口高の増減が吸込み温度上昇に与える影響は、開口幅または設置位置

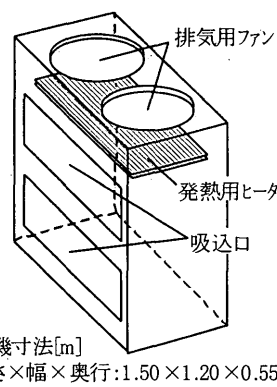


図4 室外機模型

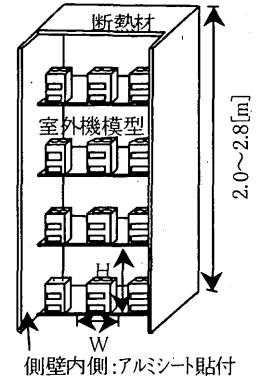


図5 装置配置

表2 実験パターン

	開口高さH	開口幅W(W1)	設置位置D	ダクトの有無
実機寸法 [m]	3.0	1.2(0)	0	有
	4.0	1.8(0.6)	0.6	無
	5.0	2.4(1.2)	1.2	無

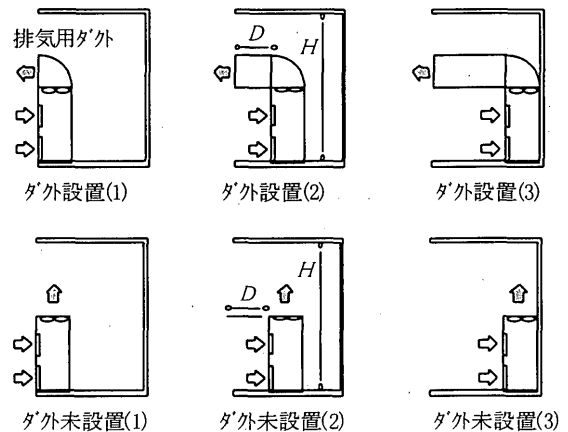


図6 バルコニー設置パターン

のそれと比べ小さいことがわかる。開口高、設置位置および開口幅の設置条件の変更により吸込み温度上昇の抑制できるが、設置階数の増加による吸込み温度上昇の増大を抑制するまでには至らない。

5.2 排気用ダクトを取り付けた場合

図8に室外機の排気口にダクトを取り付けた場合の室外機の吸込み温度上昇と開口高、設置位置、開口幅の各設置条件との関係を示す。ダクトの無い場合と比較し、開口高、開口幅の増加または設置位置の変動による吸込み温度上昇への影響が小さいことがわかる。また設置階数の増加による吸込み温度上昇の増大も緩和されている。室外機の排気用ダクトは、設置条件および設置階数が吸込み温度上昇に与える影響を小さくできることがわかる。

6. 外気流入率 R_m を用いた吸込み温度の予測

6.1 モデル

既報³⁾で提案した集中定数モデル(図9)を用い、室外機の吸込み温度上昇を決定する要因を評価する。2層目以上に設置された室外機は、下階に設置された室外機からの排気(温度: T_e)の一部と外気(温度: T_o)を混合して吸込むものとする。各階に設置された室外機の風量が V_m の場合、室外機の吸込み風量に対する外気流入量の比を外気流入率 R_m とすると、室外機の風量 V_m は(3)式で表される。k層における外気流入率を $R_{m,k}$ とすると、室外機の吸気口および排気口の熱収支は(4)、(5)式となる。なお、室外機表面からの熱伝達はないものとする。また、空調機室外機は冷媒冷却のために強制的に外気の取入れと排熱の放出を行っているが、本論文では、仮想的に室外機からの排熱がないとした場合の取入れ空気温度を便宜的に外気温度と表すことにする。日射を受ける壁面等に設

置された室外機では、日射熱により壁面近くに生じる熱上昇気流が取入れ外気温度に影響を与えられられる。本論文での外気温度とはこれらの影響による温度上昇を加味した空気温度を指すものであり、装置吸込み温度を正確に捉えるためには、空調機室外機による吸込み温度上昇に外気温度上昇分を加算する必要がある。しかし、後者については天候、時刻、周辺の建物状況、建物の熱的性能等が複雑に関連することから、別途検討を要する課題とし、本論文では前者の室外機による吸込み温度上昇への寄与のみを取り扱うことにする。

$$V_m = R_m(k)V_m + \{1 - R_m(k)\}V_m \quad (3)$$

$$C_p \rho V_m T_i(k) = C_p \rho R_m(k)V_m T_o + C_p \rho \{1 - R_m(k)\}V_m T_e(k-1) \quad (4)$$

$$C_p \rho V_m T_e(k-1) = C_p \rho V_m T_i(k-1) + H_m(k-1) \quad (5)$$

(4)、(5)式より、k層における外気流入率 R_m および室外機の吸込み温度 T_i は、(6)、(7)式と表すことができる。従って、外気流入率 R_m を決定することができれば、各設置階室外機の吸込み温度 T_i は(7)式を用い容易に求めることができる。ここで、模型実験では最下階の室外機でも吸込み温度が上昇する可能性があるが、室外機の吸込み温度を上昇させる高温排気のほとんどは下階室外機であると仮定し、最下階の室外機(k=1)の外気流入率 R_m を1とした。

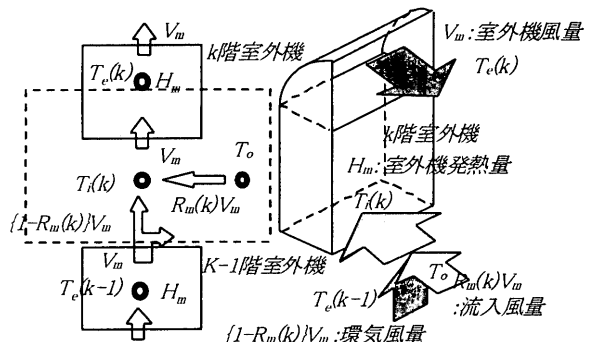


図9 室外機周りの温度・風量の定義

表3 室外機設置条件と外気流入率 R_m

	排気用ダクト無し		排気用ダクト有り	
	t 値	係数	t 値	係数
設置階数:k	6.63	-0.050	11.1	-0.093
開口高さ:H	1.21	0.015	3.86	0.054
開口幅:W	5.58	0.071	6.02	0.085
設置位置:D	7.20	-0.091	1.61	0.023
切片	-	0.477	-	0.532

表4 相関行列

	k	H	W	D
設置階数:k	1	-	-	-
開口高さ:H	0.00	1	-	-
開口幅:W	0.00	-1.71E-17	1	-
設置位置:D	0.00	6.28E-17	-5.71E-18	1

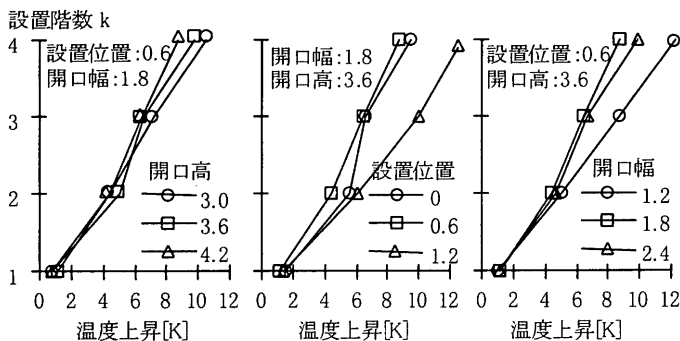


図7 室外機吸込み温度上昇と設置条件(ダクト無し)

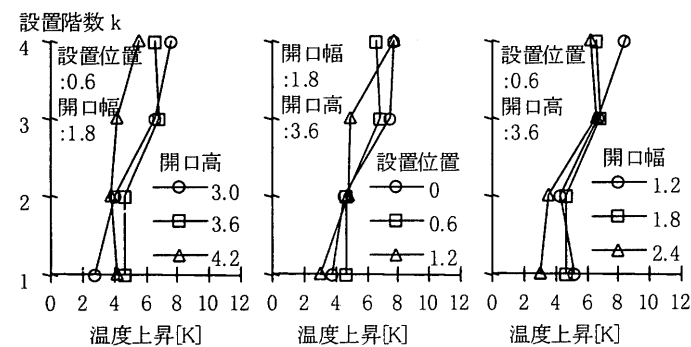


図8 室外機吸込み温度上昇と設置条件(ダクト有り)

$$R_m(k) = \frac{C_p \rho V_m \{T_i(k-1) - T_i(k)\} + H_m(k-1)}{C_p \rho V_m \{T_i(k-1) - T_o\} + H_m(k-1)} \quad (6)$$

$$T_i(k) = R_m(k)T_o + \{1 - R_m(k)\} \left\{ T_i(k-1) + \frac{H_m(k-1)}{C_p \rho V_m} \right\} \quad (7)$$

6.2 設置条件と外気流入率 R_m

室外機の吸込み温度に影響を与える要因を明確にし、外気流入率 R_m の近似式を得るため、外気流入率 R_m と表3の各要因との重回帰分析を行った。その結果、室外機の排気用ダクトが無い場合、設置位置D、設置階数k、続いて開口幅Wが外気流入率 R_m に大きな影響を与えることがわかる。室外機の排気用ダクトが有る場合は、設置階数k、続いて開口幅Wの順となる。また、表4に各要因間の寄与率 (R^2) を示す。各要因間の寄与率 (R^2) は小さいことから、ここで用いた4要因を変数とした外気流入率 R_m の近似式(8)、(9)式を仮定することができる。室外機の排気用ダクトが無い場合が(8)式、有る場合が(9)式である。実験結果から求めた外気流入率 R_m に対する(8)、(9)式を用いた計算値の寄与率 (R^2) は0.79、0.84となり、

各要因と(8)、(9)式から外気流入率 R_m の近似が可能と言える。

$$R_m = -0.050k + 0.015H + 0.071W - 0.091D + 0.477 \quad (8)$$

$$R_m = -0.093k + 0.050H + 0.085W + 0.023D + 0.532 \quad (9)$$

6.3 室外機吸込み温度上昇の予測精度

(7)、(8)、(9)式を用いた室外機の吸込み温度上昇の計算値と実験値との比較結果を図10に示す。寄与率 (R^2) は0.89となり良好な結果を得た。以上により室外機周辺が無風であり、周辺建物からの気流等の影響が無視できる理想的な条件では、多層階に室外機を設置する場合の吸込み温度上昇の予測が可能となる。

7 室外機吸込み温度上昇の実測と予測

7.1 外気流入率 R_m

(8)、(9)式を用い、実測調査を行った室外機の外気流入率 R_m を算出し、その結果を図11に示す。各階の設置寸法は各階毎の平均寸法を用いた。Aビルの外気流入率 R_m は、Bビルの値に比べ変動が大きく、特に5階の中間階では外気流入率 R_m が直近の下層階より増加している。これは下層階の室外機の1台当たりのスペースが、他の階と比べ狭いことを表している。

7.2 吸込み温度上昇の予測精度

室外機の吸込み温度上昇の計算値と実測値との比較結果を図12

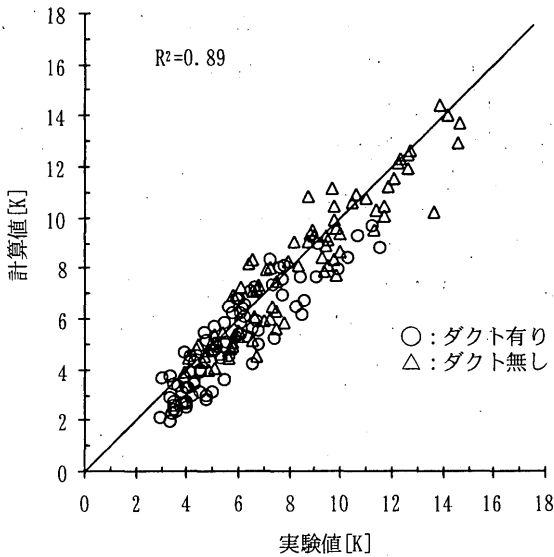


図10 室外機吸込み温度上昇の実験値と計算値

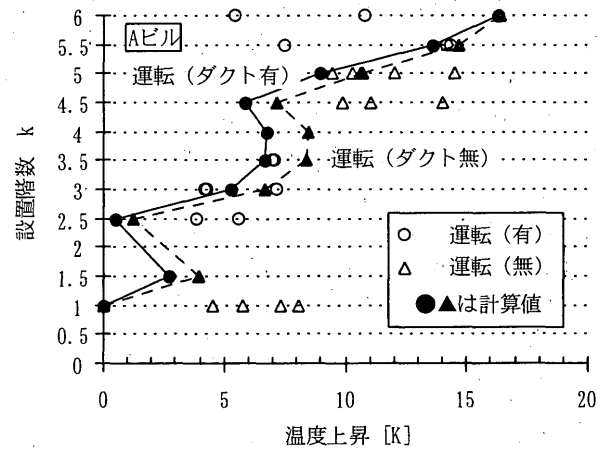


図12 Aビルの実測値と計算値

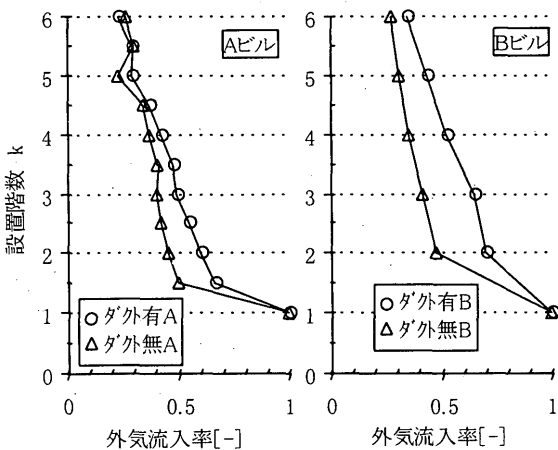


図11 外気流入率 R_m と温度上昇

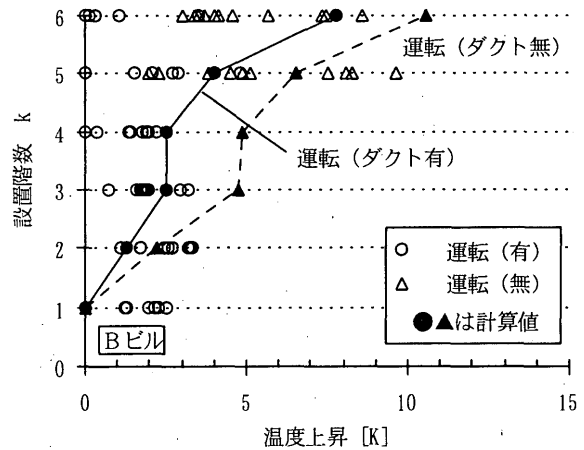


図13 Bビルの実測値と計算値

(Aビル)、図13(Bビル)に示す。室外機の放熱量は、定格の放熱量と各階毎の稼働率から推測した。この結果、温度上昇の計算値は各階の実測値と同様の変動傾向を示し、良好な結果を得た。各階の最高温度に対する計算値の寄与率(R^2)はAビルが0.82、Bビルが0.71であった。

8. まとめ

バルコニーに重層設置される室外機を対象に、現場実測調査および相似則を考慮した模型実験により、室外機の排気用ダクトの有無および設置条件と室外機吸込み温度の関係について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) バルコニーなどの多層階に設置される室外機について、室外機の吸込み温度上昇の実態調査を行った結果、排気用ダクトが取り付けられた室外機と取り付けられていない室外機が混在している場合でも、排気用ダクトが取り付けられた室外機は吸込み温度上昇を抑制する傾向であった。このことは、模型実験からも同様の結果を得た。
- 2) バルコニーなどの多層階に設置される室外機の吸込み温度の予測式を作成し、模型実験結果および実測結果を用いその予測精度を検証した。その結果、今回の検討範囲に限れば、外気流入率 R_a を用いた予測式により同形状のパッケージ型空調機室外機の吸込み温度の予測が可能である。
- 3) 外気流入率 R_a を用い、排気用ダクトの取り付けの有無と設置条件が室外機の吸込み温度に与える設置条件の影響を定量的に評価した。その結果、上層階における室外機の吸込み温度上昇を抑制するには、排気用ダクトが無い場合は設置位置 D の減少、排気用ダクトが有る場合は室外機の設置階数 k を除けば開口幅 W の拡大が最も有効なことを示した。

ここでは室外機の設置条件を考慮した吸込み温度の予測式を提案し、室外機の吸込み温度を考慮した配置寸法を得ることが可能となった。これにより本予測式を用いた室外機の配置計画は、空調機の効率および信頼性の向上に有効と考えられる。

謝辞

本研究では、東京理科大学倉渕研究室の修論生の協力を得て実験を行った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 羽山広文・木下学・山崎大輔・倉渕隆：集中設置される空調機室外機の吸込み温度性状の研究，日本建築学会技術報告集第4号，pp. 65～71, 1997.4
- 2) 木下学・羽山広文・星野康・阿部正弘・倉渕隆：重層設置される空調機室外機の吸込み温度上昇に関する研究，日本建築学会技術報告集第5号，pp. 172～177, 1997.12
- 3) 木下学・羽山広文・倉渕隆：多層階に設置される室外機の吸込み温度上昇に関する研究，日本建築学会計画系論文集第522号，pp. 67～73, 1999.8
- 4) 古藤悟・山中晤郎・片山忠久：高層ビル用空調機室外ユニット周りの気流解析，日本機械学会論文集(B編)，pp. 341～348, 1991.11
- 5) 古藤悟・池内正毅・山中晤郎・知久道明：高層ビルに設置された空調機(室外機)まわりの気流解析，第23回空気調和冷凍連合講演会講演論文集，pp. 129～132, 1989.4
- 6) 斤昌之・福島清司・佐藤綱平・関矢遼一・中村隆広：大空間におけるビル用空調室外ユニット周りの気流解析，日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集，p. 443～445, 1993.7
- 7) 中村隆広・福島清司・佐藤綱平・斤昌之・関矢遼一：ビル用各階設置空調室外機周りの気流解析，日本機械学会 第6回熱工学シンポジウム講演論文集，pp. 53～54, 1993.7
- 8) (社) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学会便覧(第12版)，相似則と無次元化・基礎編，pp. 233～235, 1995.3
- 9) 木下学・羽山広文・倉渕隆：「重層設置される空調機室外機の吸込み温度性状の研究その4」日本建築学会学術講演会(広島) 1999.9

(2000年6月10日原稿受理，2000年11月18日採用決定)