

住宅におけるダクトレス換気に関する研究

ー壁式鉄筋コンクリート構造の戸建て住宅における
居室天井裏空間の換気に関する実験的検討ー

梅田 和彦*¹・樋渡 潔*¹・森川 泰成*²・長友 良久*³・小名 秋人*³・橋口 裕文*³

Keywords : experiment, detached house, ventilation, box frame type reinforced concrete, ceiling plenum chamber, ductless
実験, 戸建て住宅, 換気, 壁式鉄筋コンクリート構造, 天井裏空間, ダクトレス

1. はじめに

住宅で採用されている第1種機械換気の場合、十数cm程度の天井内の有効高さがダクト敷設のために必要になる。住宅の天井裏空間でダクトを使わずに居室へ給気する換気方法（以下、天井内ダクトレス換気）が可能であればダクト敷設が不要になるので、居室の天井高さをさらに高くしたり、自由な平面計画が可能になる。

建物の天井裏空間を換気経路にする場合の気流性状については、例えば、羽山ら^{1) 2)}や深尾ら^{3) 4)}の研究報告がある。しかしながら、これらの研究で対象とする天井裏空間には、壁式鉄筋コンクリート構造の戸建て住宅のように、規則的に直交している野縁や野縁受がないので、天井内ダクトレス換気の検証が必要であった。

本報では、壁式鉄筋コンクリート構造の戸建て住宅の居室の天井裏空間を換気経路にした場合において、設計に必要な抵抗係数や、給気風速と天井内静圧分布の関係を、実大模型を使った実験で確認したので報告する。

2. 換気方法の概要

本研究で検討した天井内ダクトレス換気は、居室の天井裏空間全体と、廊下やホールの共用部の天井裏空間全体を使って、居室へ給気する換気方法である。2階建て住宅全体での空気の流れの概要を図-1に示す。又、図-2に天井裏空間と居室の空気の流れを示す。居室と共用部の天井裏空間を連続した換気経路にするため、間仕切り壁の天井裏部分に開口部を設けた。外気取入れ後の各階への給気については、共用部の天井裏空間まではダクトで給気する。共用部の天井裏空間へ給気された空気は、共用部と居室の間

仕切り壁の天井裏空間に設けた開口部を経由して居室の天井裏空間へ供給され、居室の天井に設けた吹出口から居室へ給気される系統と、居室どうしの間仕切り壁の開口部を経由して隣接する居室の天井裏空間へ供給される系統に分かれる。居室からの排気については、居室の扉下部隙間から共用部へ排気された空気の一部を、空気清浄フィルター経由で居室へ循環させる系統と、風呂、洗面室、トイレから屋外へ排気させる系統に分かれる。⁵⁾ なお、本システム

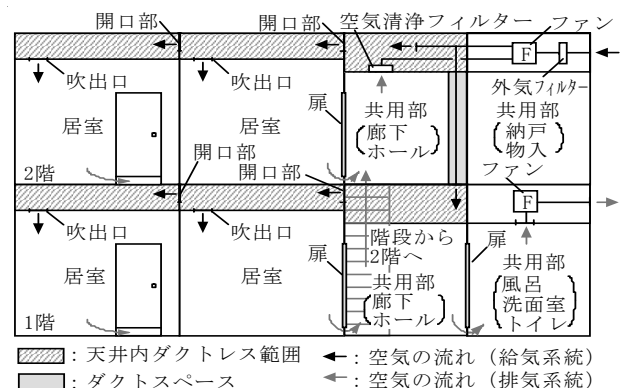
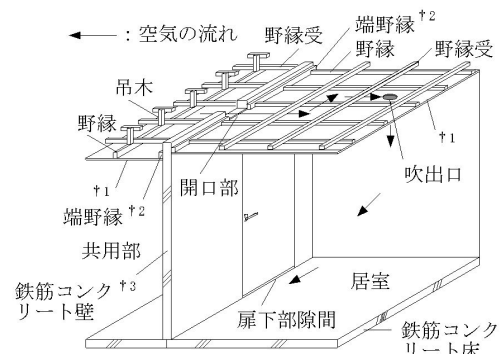


図-1 住宅全体での換気の概要
Ventilation of the Whole Residence



注 †1 構成：石膏ボード+ビニルクロス。石膏ボード突合せの隙間を下地調整材で埋め、石膏ボードに全面糊づけしてビニルクロスを貼る。
†2 端野縁とコンクリート壁の隙間を埋める。
†3 鉄筋コンクリート壁の厚さ：120mm

図-2 天井裏空間と居室の空気の流れの概要
Air Flow of Ventilation of Ceiling Plenum Chamber and Sitting Room

*1 技術センター建築技術研究所環境研究室
*2 技術センター建築技術開発部ニューフロンティア技術開発室
*3 住宅事業本部商品開発部環境開発室

では、外気導入量が換気回数で0.5回/hの場合、居室への給気風量は1.0回/hに設定している。なお、天井の内装は、図-2の注釈に示すように、端野縁と壁の隙間埋め以外は一般的な仕様である。

3. 実験の概要

3.1 実験モデルの概要

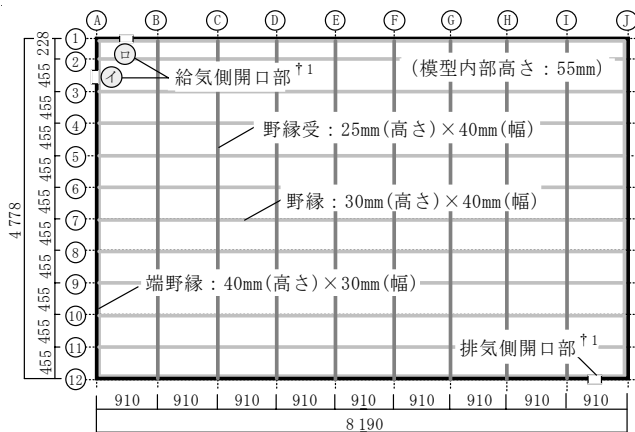
3.1.1 寸法の設定

筆者らが対象とする壁式鉄筋コンクリート構造で実際に施工可能で、天井内気流の流路抵抗が最大になる天井裏空間全体の圧力損失から抵抗係数を把握できれば、天井内ダクトレス換気の安全側の設計が可能になる。そこで、施工可能な上限で天井内気流の流路抵抗が最大になるように平面寸法^{注1)}と高さ寸法^{注2)}を設定した。なお、開口部については、鉄筋コンクリート板の施工上の寸法を採用し、実験モデル内部の天井面に開口部上端をあわせた。^{注3)}

図-3に実験モデルの寸法を示す。

3.1.2 開口部位置の設定

実験モデルの天井内気流の流路抵抗を最大にするには、最大風量が最大流路距離を通過すればよい。そこで、図-3に示すように、居室への吹出口は設置せず、さらに、給気側開口部と排気側開口部の位置は対角方向に設定した。なお、給気側の開口部と野縁や野縁受との距離が近ければ、開口部吹き出し付近の圧力損失が大きくなると考えられるため、図-3のイとロの位置で片方ずつ開口部を開けて天井裏空間の圧力性状を比較した。



注 †1 寸法: 高さ40mm × 幅270mm。A-B間、2-3間、I-J間の中央。

図-3 実験モデルの概要

Experiment Model

注1 天井裏空間の平面寸法の根拠: 鉄筋コンクリート板の構造上最大面積40m²以内で、製作最大辺長8190mmを一辺にもち、製作最小単位の228mm(910mmの4分の1)を条件とした最大面積の寸法。

注2 天井裏空間の高さ寸法の根拠: 野縁と野縁受の木口短辺の合計。

注3 開口部製作の簡易化の為。

3.2 給気量の設定

居室の換気経路は、数室直列に接続される。例えば、図-1の各階では居室2部屋の換気経路を直列に接続した状態である。この場合、給気先が1番目の居室と2番目の居室では、天井内部を通過する風量が異なる為、天井内部における圧力損失も異なる。本実験では、実験モデル3つが換気経路を直列にして接続された状態を想定し、実験モデルと同じ平面寸法で、天井高さが2.5mの居室に対して、1回/h、2回/h、3回/hの3種類の換気回数の給気量を設定した。

3.3 実験モデルの圧力損失の評価方法

換気経路となる実験モデルの内部では、野縁や野縁受という気流障害物が規則的に直交しており、気流の進行方向や風速が一樣ではない。そこで、この換気経路の圧力損失の算出については、空間内部の気流抵抗で発生する静圧再取得を考慮して静圧基準で求める方法よりは、実験モデル全体を換気チャンバーとして、給気側開口部と排気側開口部の全圧の差で求める方法が簡便で正確な値を得やすいと考え、実験モデル全体の全圧損失を測定した。実験モデルの全圧損失を測定する為には、図-4に示す③や④という開口部の出入口断面での全圧を測定する必要がある。しかし、④の断面での全圧測定は、風向が一樣でないため困難で、全圧を測定可能な別の測定位置を検討する必要があった。そこで、実験モデル内部より風向や風速が安定している、図-4の①と⑥の各断面の中央で全圧を測定し、その圧力差 ΔP_{16} を算出した。なお、この ΔP_{16} は、次の(1)式で示すように、実際の施工における圧力差 ΔP_{25} より大きく安全側の測定になる。

$$\Delta P_{16} = \Delta P_{12} + \Delta P_{25} + \Delta P_{56} \quad (1)$$

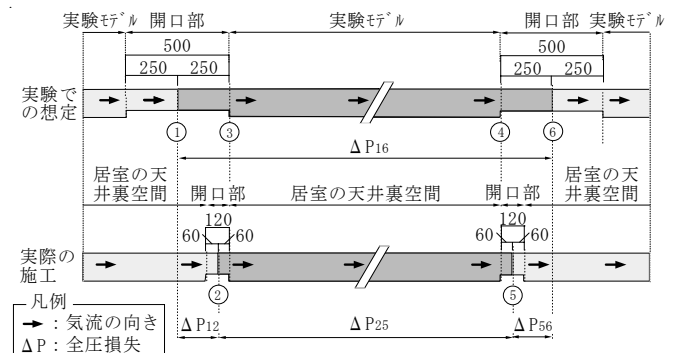


図-4 全圧の測定位置

Measurement Position of Total Pressure

3.4 実験モデルの静圧の測定位置

給気量と天井内静圧の関係がわかれば、天井仕上げ面に設置する吹出口の圧力と風量の特性から、吹き出し風量の予測が可能になる。さらに、天井内の静圧分布がわかれば、吹き出口の配置計画に役立つと考えられる。本実験では、実

験モデルの静圧の測定位置を、図-5に示すように実験モデル全域とし、野縁と野縁受又は、野縁と野縁受と壁で囲まれる平面中央の天井仕上げ面（以下、グリット）にした。なお、給気側の開口部と、野縁や野縁受との距離が近いと、開口部吹出し付近の静圧の変化が、その他の測定位置より大きくなると考えられるため、図-5に示すように、給気側の開口部吹出し付近のA-C間と1-4間の6つのグリットで静圧を測定した。

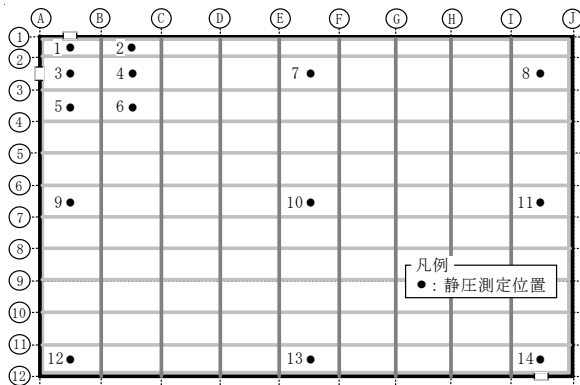


図-5 静圧の測定位置

Measurement Position of Static Pressure

3.5 測定機器

測定機器の主な諸元を表-1に示す。実験モデルの換気量については、ファンと風量測定用ノズルを組み込んだ表-1に示すファン風量測定装置を、給気側と排気側の開口部に各々接続し、図-6に示す排気側のファン風量測定装置のノズル吸込み側空気槽の静圧を大気圧に等しくなるように給気と排気の風量を調節して設定した。なお、圧力の測定値については、全て大気圧基準とし、0.5秒間隔で測定した60個のデータの平均値を用いた。

表-1 測定機器

Measurement Apparatus

機器名称	製造社名	機器諸元
ファン風量測定装置 (給気側)	ツカハリカセイ(株)	型番: F401-020-100 風量: 3.6m ³ /h~1 200m ³ /h 静圧: 1 000Pa, 出力: 1.5kW
ファン風量測定装置 (排気側)	ツカハリカセイ(株)	型番: F401-006-100 風量: 3.6m ³ /h~390m ³ /h 静圧: 1 000Pa, 出力: 0.75kW
圧力計	日本エム・ケー・エス(株)	型式: 698A, FS: 1.33×10 ⁵ Pa 分解能: 1×10 ⁻⁶ (フルスケール) 精度: 0.05% (読み値)
フォルトン型水銀気圧計	(株)東京鈴木製作所	型式: PM-2 レンジ: 650mmHg~820mmHg
ピト管 (開口部)	(株)岡野製作所	型式: LK-00, 全圧口径: 1.5φ 静圧孔数: 0.5φ×3
ピト管 (ダクト)	(株)岡野製作所	型式: LK-0, 全圧口径: 2.0φ 静圧孔数: 0.5φ×4

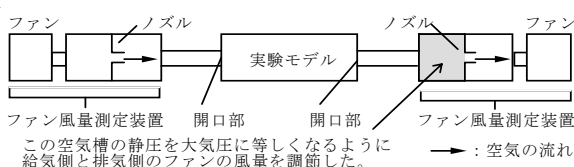


図-6 実験モデルの給気量の調節の概要

Regulation of Supply Air in Experiment Model

4. 実験の結果

4.1 実験モデルの気密性能

4.1.1 総相当隙間面積

総相当隙間面積を住宅の気密性能試験方法⁶⁾に準拠して測定した結果、単位床面積あたりの総相当隙間面積が0.02cm²/m²で小さいことを確認した。

4.1.2 漏気率

表-2に示す3種類の換気量を実験モデルへ供給した結果、漏気率は最大で4.5%で小さいことを確認した。

表-2 給気量と全圧損失

Supply Air Volume and Total Pressure Difference

換気回数 [回/h]	設定風量 [m ³ /h]	開口部位置: イ				開口部位置: ロ			
		給気量 [m ³ /h]	排気量 [m ³ /h]	漏気率 ^{†1} [%]	全圧損失 [Pa]	給気量 [m ³ /h]	排気量 [m ³ /h]	漏気率 ^{†1} [%]	全圧損失 [Pa]
3	281.9	282.0	269.3	4.5	45.4	282.5	269.7	4.5	49.8
2	187.9	188.4	182.0	3.4	20.6	188.9	181.4	4.0	22.9
1	94.0	94.3	92.3	2.1	5.4	94.1	92.2	2.0	6.6

注 ^{†1} 漏気率 = ((給気量 - 排気量) / 給気量) × 100 [%]

4.2 実験モデルの圧力性状

4.2.1 抵抗係数の算出

表-2に実験モデルへの給気量と全圧損失の関係を示す。設定したどの換気回数においても、開口部の位置がロの場合が、イの場合より全圧損失が大きい結果を得た。これは、開口部吹き出し気流が野縁や野縁受という障害物に衝突することによる圧力損失が、開口部位置ロの場合が、イの場合より大きいことを示している。

実験モデルの抵抗係数を次の(2)式で計算した。

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho}{2} V^2 \quad (2)$$

ここに、

ΔP : 実験モデルの全圧損失 [Pa]

ζ : 実験モデルの抵抗係数 [-]

ρ : 空気密度 [kg/m³]

V : 風量を開口部断面積で除した平均風速 [m/s]

排気量に基づいて計算した抵抗係数を表-3に示す。排気量は表-2で示したとおり、実験モデルからの漏気によって

表-3 排気量に基づく抵抗係数

The Resistance Coefficient calculated based on Exhaust Air Volume

排気量 [m ³ /h]	平均風速 ^{†1} [m/s]	全圧損失 [Pa]	抵抗係数 [-]
269.7	6.9	49.8	1.7
181.4	4.7	22.9	1.8
92.2	2.4	6.6	1.9

注 ^{†1} 排気量を開口部(40mm × 270mm)の断面積で除した風速。

給気量より少なくなるので、排気量に基づいた平均風速を用いて(2)式で計算した抵抗係数は、給気量に基づいた平均風速を用いる場合より大きくなる。従って、ダクト設計の定圧法による換気経路の圧力損失計算では、表-3に示す抵抗係数を用いると、安全側に圧力損失を大きく算出できることになる。

4.2.2 静圧分布の測定結果

図-7に示す実験モデルの静圧分布は、給気側開口部に近い測定位置1では、設定したどの換気回数においても、開口部位置ロの場合が、イの場合より静圧が大きい結果を得た。これは、開口部吹き出し気流の野縁や野縁受という障害物への衝突による圧力損失が、開口部位置ロの場合が、イの場合より大きいことを示している。一方、測定位置1以外の場所では、開口部位置の違いによる静圧分布の差はほとんどなく、また、その分布は測定位置14を除いてほぼ均一になる傾向がある。この結果、野縁や野縁受が、開口部付近の天井内風速を低下させ、天井内部の静圧分布を均一にしていると考えられる。

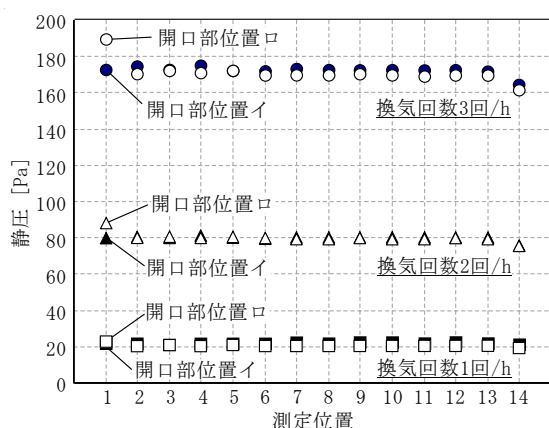


図-7 静圧分布
Distribution of Static Pressure

4.2.3 給気風速と静圧の関係

実験モデルの給気量を開口部の断面積で除した平均風速と、モデルの代表点の静圧の関係を図-8に示す。ここで、実験モデルの静圧分布は、図-7で示したとおり、測定位置1と測定位置14以外はほぼ均一なので、給気側開口部近傍の測定位置1、モデル中央の測定位置10、排気側開口部近傍の測定位置14を代表点として比較した。その結果、給気側開口部の平均風速と天井内部の静圧の関係について、図-8に示す近似式で高い相関を得た。従って、天井仕上面に設置する吹出口の圧力と風量の特性が既知であれば、天井裏空間への給気の平均風速で吹出口風量を予測できる可能性があることがわかった。

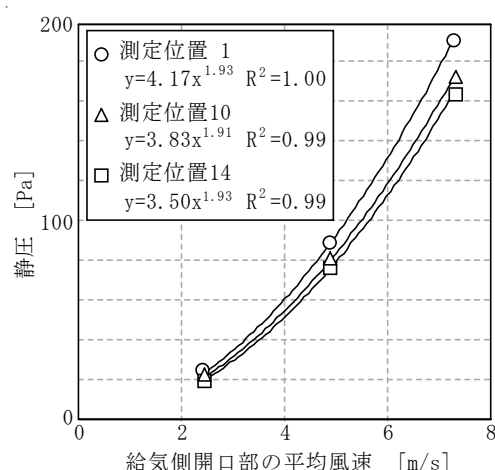


図-8 給気風速と静圧
Speed of Supply Air and Static Pressure

5. 結論

壁式鉄筋コンクリート構造の戸建て住宅の居室天井裏空間を換気経路に想定した場合の気流性状について実大模型実験で検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 天井裏空間の空気流路の全圧損失を模型実験で測定し、抵抗係数を算出する方法を示した。
- 2) 野縁や野縁受が、給気側開口部の吹き出し気流の風速を低下させるので、給気側と排気側の開口部近傍を除く範囲において、静圧分布がほぼ均一になることを確認した。
- 3) 給気側開口部の平均風速と天井裏空間の静圧分布の近似で相関が良いことを確認した。

謝辞

実験モデルの圧力損失の測定方法について、東京理科大学倉淵隆助教授、東京工芸大学大場正昭教授、千葉工業大学小峯裕己教授から貴重なご意見を頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 羽山広文，中尾正喜，中北英孝：チャンバーを用いた空調気流の検討(その4 チャンバーの設計パラメータについて)，日本建築学会大会学術講演梗概集，(1989-10)，pp. 717～718
- 2) 羽山広文，三瓶実：チャンバーを用いた空調気流の検討(その5 オフィス用気流設計方法について)，日本建築学会大会学術講演梗概集，(1990-10)，pp. 1203～1204
- 3) 深尾仁，井上嘉雄：天井裏空間における形状抵抗損失に関する研究 第1報-はりが一段の場合のはり越し空気流，空気調和・衛生工学会論文集，NO. 71，(1998-10)，pp. 63～70
- 4) 深尾仁，井上嘉雄：天井裏空間における形状抵抗損失に関する研究 第2報-はり(梁)が二段の場合のはり越し空気流，空気調和・衛生工学会論文集，NO. 73，(1999-4)，pp. 19～25
- 5) 長友良久：循環型換気システム「TARCAS」，建築設備と配管工事 487. Vol. 37 No. 4，(1999-4)，pp. 36-43
- 6) (財)住宅・建築 省エネルギー機構 気密測定法普及検討委員会編：住宅の気密性能試験マニュアル，(1998-6)，PP. 21