集合住宅の第1種集中換気システムの風量低下要因に関する調査

STUDY ON INSUFFICIENT AIR VOLUME OF A CENTRAL VENTILATION SYSTEM INSTALLED APARTMENT

村田さやか —*1 高倉政寛 —*2
鈴木大隆 —*3 福島 明 —*4
片岡 尚 —*5 大西茂樹 —*5

Sayaka MURATA —*1 Masahiro TAKAKURA —*2
Hirotaka SUZUKI —*3 Akira FUKUSHIMA —*4
Takashi KATAOKA —*5 Shigeki ONISHI —*5

キーワード:

第1種熱交換換気システム, メンテナンス, 圧力損失, 風量低下, 換気経路, ファン

Keywords:

Heat-exchanging-type mechanical ventilation system, Maintenance, Pressure drop, Insufficient air volume, Airflow path, Fan

In this paper, the causes of insufficient air volume of a heat-exchanging-type mechanical ventilation system installed apartment were investigated. The results are as follows: 1) Pressure-drop coefficients of the grills were excessive. 2) The blades of the exhaust fan were covered with dust and the power of that fan was less than cleaned one. 3) Pressure-drop coefficients of the filters stuffed with dust without maintenance were also excessive.

1. はじめに

住宅の省エネルギー化を図るにあたり、換気にかかる暖房負荷を削減できる第1種熱交換換気は重要なツールのひとつである。一方で、入居後に換気風量の測定がされることは稀であるため、何らかの要因で換気性能が損なわれた場合、気密化住宅で恒常的に換気不足になるという危険も含んでいる。さらに、長期的な換気不足により結露等の湿気の問題や室内空気質の悪化も懸念されるため、機械換気の性能を長期的に保持することが重要である。

機械換気システムの風量が不足する要因としては、以下の点が考えられる。

- ①設計要因：経路の圧力損失計算をせずに部材やファンの選定、経路の設計が行われた。これについては、設計風量が実際と合わないという指摘もあり¹⁾、計算方法によっては圧力損失の大きい設計になっている可能性もある。
- ②施工要因：ダクトのつぶれ、曲がりなど施工不良や²⁾、設計段階で圧力損失計算していたとしてもそれよりも圧力損失の大きい部材が使用された³⁾。
- ③運用要因：フィルター清掃等メンテナンスが行われていないために、経路で目詰まりを起こした³⁾。ファンモーター等が経年劣化や故障を起こした。

本報では、換気風量が不足している集合住宅の経路の圧力損失計算や実大換気経路実験等により要因の調査と改善方法を検討する中で明らかとなった①設計要因、③運用要因について報告する。

2. 実建物の換気風量調査と経路の圧力損失計算による風量低下要因の検討

2.1 住宅の機械換気風量の実測調査

(1) 調査概要

調査対象は、顕熱型第1種熱交換換気システムの換気装置から外気までの排気ダクト内で冬季に結露し、排気フードや防火ダンパーで水柱を形成する障害が発生した集合住宅である⁴⁾。結露等の障害には換気量の不足が関与していると考えられるため、3戸の換気風量を調査した。集合住宅の概要を表1に、平面及び換気設計図を図1に示す。風量は、室内の給排気グリルで熱線式風量測定器(Swema Flow 125)により測定した。測定の際は、窓と玄関ドアを閉じ、住戸内の扉は開けた状態とした。調査日は、2003年1月22日である。

(2) 調査結果

表2に、各住宅の風量測定結果を示す。給気グリルは収納内にあるために、棚板や収納物で測定できない箇所があった。

表を見ると、排気の風量の合計で45 m³/h(換気回数0.3回/h)以下であることがわかる。給気は、一番経路の長いサンルームで8~15 m³/hである。測定できなかったグリルの風量が換気装置本体に近いためにそれより多いと考えても、合計は40~50 m³/h程度と推察される。この住宅の機械換気の計画風量は80 m³/hを想定していたが、それより4割以上不足している結果となった。

2.2 住宅の換気経路の圧力損失・風量計算

(1) 計算条件

圧力損失の高い部材の交換など簡便な改修により換気風量を改善する可能性を検討するため、経路の圧力損失計算を行った。計算は、

*1 北海道立北方建築総合研究所環境科学部居住環境科 研究職員
(〒078-8801 旭川市緑が丘東1-3-1-20)

*2 北海道立北方建築総合研究所環境科学部都市防災科
研究職員・博士(工学)

*3 北海道立北方建築総合研究所環境科学部居住環境科 科長・博士(工学)

*4 北海道建設部建築指導課 主幹・博士(工学)

*5 三菱電機(株)中津川製作所

*1 Researcher, Bld. Environment Sec., Hokkaido Northern Regional Building Research Institute

*2 Researcher, Urban Safety Sec., Hokkaido Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

*3 Chief, Bld. Environment Sec., Hokkaido Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

*4 Hokkaido Government, Dr. Eng.

*5 Mitsubishi Electric Corp.

図1を基に一番長い経路の各部材の長さ、個数、径を読み取り、分岐管では風量が等分されるものとして、品確法の詳細法⁹⁾の計算式を用いた。写真1~3に実際に使用されている部材を示す。写真1の丸型グリルは、自然給気口用のレジスターである。表3に各部材の計算に使用した仕様を示す。表を見ると、その丸型グリルの圧力損失係数が大きいことがわかる。特に給気グリルは、風量調整用の開閉機構がついており、全開していてもスリットに傾斜と厚みがあるためである。したがって、それを表3に併記する圧力損失係数の小さい径100mm用の角型グリルに交換した場合も計算を行った。

(2) 計算結果

図2に、換気装置(A社)の風量と機外静圧の関係(P-Q特性曲線)と換気経路全体の圧力損失Pと風量Qの関係を示す。図から、丸形グリル使用時の計算風量は、給気で75m³/h、排気で77m³/hとなる。低圧損の角型グリルに交換した場合を見ると、給気、排気とも85m³/h程度になることがわかる。分岐管では風量の分岐比率により圧力損失係数が大きく変わるため実測値と計算値は異なるが、高圧損のグリルを交換すると、現状から10~15m³/h程度

表1 建物概要

建設地	北海道帯広市
建設年	1995年
住棟規模	54戸 (2LDK : 5戸、3LDK : 49戸)
構造 / 階数	鉄筋コンクリート造 / 9階建て
住戸専有面積	2LDK : 57.7m ² 3LDK : 67.4m ²

図1 住戸の平面及び換気設計図

表2 換気風量測定結果

住宅番号	給気 [m ³ /h]				排気 [m ³ /h]		
	和室1	和室2	洋室	サニールーム	便所	浴室	合計
1				7.5	16.1	18.3	34.4
2				15.4	18.3	24.0	42.3
3	12.2			8.5	19.0	18.2	37.2

写真1 グリル

写真2 フード

写真3 フレキシブルダクト

の風量改善が見込めることがわかる。

2.3 住宅の機械換気風量の改善の試行

(1) 改修概要

実住宅で風量を改善する試みとして、2つの住宅のグリルの交換を行い、交換前後に前節同様風量を測定した。空室で全グリルを交換できた住宅をⅠ、居住者の収納物があるためトイレと浴室の天井の排気グリルのみ交換した住宅をⅡとする。グリルは、表3に示した性能の角型グリルである。また、同時にフィルターの交換も行った。実施した日は、2004年12月14日である。

(2) 改修結果

交換後のグリルを写真4に、住宅Ⅰの交換前後のフィルターを写真5に示す。交換前のフィルターは埃で目詰まりした状態にあった。交換前後の結果を表4に示す。住宅Ⅰの給気量を見ると、交換前はすべてのグリルで風量測定器の検知域7m³/h以下であったが、交換

表3 換気経路部材の仕様*

使用部材	径 [mm]	圧力損失係数	摩擦係数	基準風量 [m ³ /h]	基準動圧 [Pa]
給気フード	100	2.6	-	120	10.9
排気フード	100	2.4	-	120	10.9
防火ダンパー	100	1.1	-	120	10.9
主ダクト	100	0.3	0.03	120	10.9
フレキシブルダクト	100	-	0.08	120	10.9
枝ダクト	75	0.3	0.03	60	8.6
給気分岐管T型	100	0.68	-	120	10.9
排気分岐管T型	100	0.66	-	120	10.9
主エルボ	100	0.3	-	120	10.9
枝エルボ	75	0.3	-	60	8.6
丸型給気グリル	75	18.0	-	60	8.6
丸型排気グリル	75	3.1	-	60	8.6
角型給気グリル	100	0.92	-	120	10.9
角型排気グリル	100	0.41	-	120	10.9

*丸形グリルは換気口部材の通気量試験⁹⁾による実測値、その他はメーカーのカタログ値である。

図2 換気装置の特性と経路のP-Q計算値

写真4 交換後のグリル

写真5 交換前後のフィルター

表4 グリル交換前後の換気風量測定結果

改修住宅	給気 [m ³ /h]				排気 [m ³ /h]		
	和室1	和室2	洋室	サニールーム	便所	浴室	合計
Ⅰ	前	<7	<7	<7	10	23	33
	後	15	10	12	<7	18	33
Ⅱ	前				13	16	29
	後				13	14	27

後は1カ所のグリルが7~15m³/h、合計で40m³/h程度となり、風量に改善が見られた。しかし、I、IIの住宅とも、排気の風量の合計は改善しなかった。この結果から、高圧損グリルやフィルターの汚れ以外にも要因があることがわかる。フレキシブルダクトは写真3に示す換気装置周辺の一部のみの使用で曲がり等はなく、その他の部分は硬質であるため、つぶれのような施工不良は起こりにくい。したがって、天井に隠れた部分で設計図と異なる圧力損失の高い部材を使用しているなどの施工要因か、メンテナンス不足等の運用要因によると思われる。

3. 換気経路の実大モデルによる風量低下要因の実験

さらに風量不足の要因を特定するため、換気システム全体を実大で再現して実験を行った。

3.1 実大経路モデル条件

図3に経路の実大モデルを示す。図1の住宅とほとんど経路は同じであるが、実験室の広さの関係で若干ダクトが短く、排気経路が一部反転している。給排気グリルは、前述の交換で回収した丸型グリルを使用し、フードは同じ仕様のものを使用した。また、圧力損失の高い丸型グリルの影響を確認するため、グリルを取り外した場合も測定した。これら換気システムは全て同一室内に設置した。

換気装置は、前節の住宅から回収してきた装置A(A社)、電源が50Hzでダクト長さ30m相当の圧力損失40Pa時に100m³/hの装置B(B社)、同じく圧力損失58.8Pa時に120m³/hの装置C(B社)を使用する。回収してきた装置は、フィルター交換を行った後のものである。

3.2 実験概要

図3に示す点で差圧計(SAYAMA MANOACE B10-500P-DG)により圧力を測定した。静圧を安定して測定するために、測定点のダクトの円周方向の四方に穴をあけ、銅管(径4mm)をダクトの厚さで挿入してダクトの内側が平滑になるようにし、銅管からビニールチューブで1本に統合して差圧計と接続した。実際の住宅とは異なり室間の差圧がないため、グリルからフードまでの換気システム構成部材のみの圧力損失の合計が測定できる。

3.3 実験結果

図4に、換気装置のP-Q特性曲線と経路の圧力損失Pと風量Qの実測値を示す。これを見ると、換気装置Bは換気装置の特性値と実測値が一致し、換気装置Cは実測値の方が大きいのにに対し、換気装置Aは、実測値が特性値よりも低い値を示していることがわかる。換気装置BとCは、丸型グリルがあるときに比べてグリルがないときの風量は10m³/h以上改善した。しかし、換気装置Aは、グリルの有無では大きく風量が変わらなかった。

以上から、回収してきた換気装置Aの性能が低下していることがわかった。写真7、8に、換気装置Aのファンの様子を示す。これを見ると、特に排気ファンの羽根と軸に埃が付着していることがわかる。羽根のカーブの内側部分が埃で埋まり、平らになった状況である。約9年間経過しているためモーターの性能が低下していることもあるが、このような換気装置本体内の埃により性能が低下していることも考えられる。

4. 換気装置内の送風ユニットの性能低下要因の測定

図3 換気経路の実大モデル

写真6 換気経路設置状況

図4 換気装置の特性と実大モデルでのP-Q実測値

写真7 給気ファン

写真8 排気ファン

4.1 送風ユニットのP-Q測定の概要

ファンの埃の付着による換気性能への影響を調べるため、換気風量が不足している住宅から回収してきた換気装置を分解し、ファン及びモーターの送風ユニットのP-Q特性を測定し、さらに、ファン

を清掃後にも測定した。

測定は、換気扇の風量測定方法 (JIS C 9603) に従い、オリフィスチャンバーを使用し、チャンバーに対して押込み方向で行った。

4.2 送風ユニットの P-Q 測定の結果

図 5 に、送風ユニットのファン清掃前後の特性曲線を示す。給気ファンを見ると、排気ファンほど埃の付着が少なかったため、清掃前後で大きな差はなかった。一方、排気ファンは、清掃後には圧力 0Pa 時に 225m³/h 程度であるが、清掃前は 170m³/h 程度で、清掃前後で 3 割程度の性能差があることがわかる。排気ファンの埃が給気ファンより多かった理由は、排気ファンがフィルターより風路の手前にあるためである。また、浴室から排気しているために湿気を含みやすいこと、ファンの材質が塗装された板金製であることなど、汚れの付きやすい条件であったことも関係している。

このように、ファンの埃の付着により換気装置の性能が低下していたため、グリル等の圧力損失が改善されたとしても、風量が改善しなかったと考えられる。

5. フィルターの圧力損失要因の測定

5.1 フィルターの圧力損失測定の概要

ファンの埃の付着がない状態でも、フィルターの埃の付着が経路の圧力損失要因となると考えられる。そこで、前述の 2.3 で交換して回収したフィルター (不織布) の圧力損失を測定した。

換気口部材の通気量試験⁹⁾に従い、オリフィスチャンバーに直径 150mm の開口を設けてフィルターを取り付けて、風量と静圧の関係を測定した。

測定したのは、住宅Ⅰのフィルター a、住宅Ⅱのフィルター b、未使用の同じフィルター c で、それぞれ給気側と排気側である。さらに、1 組 b については、水洗いを行って乾燥させた後にも測定を行った (b')。なお、フィルター a (写真 5) は約 9 年間一度も清掃された形跡がなく、b は、前述 2.1 の調査の際にフィルターの埃を掃除機で掃除しており、その後風量 40m³/h 程度で 11 ヶ月運転されたものである。

5.2 フィルターの圧力損失測定の結果

図 6 に、フィルターの圧力損失特性を示す。図の (1) 給気を見ると、未使用のフィルター c は風量 100m³/h 時に 10Pa 程度であるのに対し、フィルター a は 50Pa、b は 25Pa で 2～5 倍となっている。実際は回収の際に落下した埃もあったため圧力損失特性は異なるが、清掃せずに埃が蓄積していたことにより風量低下を招いていたことは明らかである。また、フィルターの水洗いを行っても、未使用のものまでは回復しなかった。この理由としては、フィルターが洗浄により圧縮されたことなどが考えられる。このように、フィルターは、清掃や洗浄などにより、空気の透過性が損なわれることから、交換を含めてメンテナンスを考える必要がある。

6. おわりに

本報では、換気風量が不足していた集合住宅の経路の圧力損失の計算、実大経路の模擬実験、ファンの性能試験、フィルターの圧力損失測定を行った結果、風量低下の要因として以下の結果を得た。

- 1) 圧力損失係数の高いグリルが使用されていた。
- 2) 換気装置本体の排気ファンがフィルターより風路の手前にある

図 5 送風ユニットの特性

図 6 フィルターの圧力損失特性

ためにファンに埃が付着し、性能が 3 割程度低下していた。

- 3) 清掃が行われていないためにフィルターに埃が付着しており、フィルターの圧力損失も大きくなっていた。

高圧損部材の使用など風量低下の設計要因については、設計時に安全率を見込んだ経路の風量計算が行われるようになり、解消される方向にある。しかし、設計の圧力損失に加えて、運用段階でのフィルターやファンの埃の付着など複合的な要因で 4 割程度の風量低下は起こり得るため、今後は、そのような運用要因の解消が求められる。これについては、ファンの手前の排気グリルにフィルターを設けファンに埃が付着しないようにする、埃の付きにくいファンを使用する、換気装置内の各部品が分解して清掃や交換ができるようにする等の工夫が必要となる。また、既存の換気装置の風量を確認して、不足している場合は風量を改善するための換気のコミッショニングツール開発も重要といえる。

参考文献

- 1) 井前貴正・澤地孝男・津田学志・田島昌樹・瀬戸裕直：ダクト式全換気システムの設計に関する研究 第 3 種換気システムの設計風量と実測風量の比較および圧力損失計算に関する評価、D-2, pp.795-796, 2003.
- 2) 大西茂樹・田島昌樹・片岡尚・澤地孝男・瀬戸裕直・峰野悟：ダクト式全換気システムの風量検証に関する研究 全熱交換型第 1 種換気システムにおける評価、D-2, pp.763-764, 2004.
- 3) 太田勇・福島明・村田さやか・月館司：機械セントラル換気システムの性能検証と改修事例、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1393-1396, 2003.
- 4) 片岡尚・高倉政寛・村田さやか・鈴木大隆・高橋博行・市岡博喜：積雪寒冷地域の集合住宅で発生する冬季換気障害の原因について、日本建築学会学術講演梗概集、D-2, pp.1147-1150, 2004.
- 5) 国土交通省住宅局住宅生産課・国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説 2001, 工学図書株式会社, 2001.
- 6) 財団法人ベターリビング：優良住宅部品性能試験方法書 換気ユニット BLT VU:2000⑤, 2001.

[2005 年 4 月 18 日原稿受理 2005 年 7 月 22 日採用決定]