

補助ダクト接続法による空気搬送部材の圧力損失特性の測定精度に関する実験検討 (その1): ダクト端末換気口のための簡易測定方法の精度検証

EXPERIMENTAL STUDY ON ACCURACY OF TEST METHODS WITH ATTACHED SHORT DUCT FOR PRESSURE LOSS CHARACTERISTICS OF DUCT FITTINGS, PART 1: VERIFICATION OF THE SIMPLIFIED TEST METHODS FOR DUCT AIR TERMINALS

菅 哲俊 — * 1 澤地孝男 — * 2
南雲祐輝 — * 3 黒鳥皓史 — * 4

Tetsutoshi KAN — * 1 Takao SAWACHI — * 2
Yuki NAGUMO — * 3 Koji KUROTORI — * 4

キーワード:
ダクト端末換気口, 風量 - 静圧特性, 測定精度

Keywords:
Duct air terminal, Pressure loss characteristic, Test accuracy

Airflow-pressure loss characteristics of duct fittings for air-conditioning and ventilation systems are required when HVAC designers determine total pressure loss and select fans of appropriate capacities. More accurate characteristics contribute to reducing costs for initial installation and operation as well as to higher energy efficiency of the HVAC systems. This report verifies the accuracy of simplified test methods using a short duct attached to the tested air terminals, and compares results by the simplified method with the results by the precise method, which has already established.

1. はじめに

空調換気のための空気搬送システムにおいては, 必要な風量を確保した上で送風機のエネルギー消費量を削減することが求められている。そのためには, 適切な能力の送風機を選定することだけではなく, 換気経路をより小さな圧力損失となるように設計することが求められている。空気搬送システムの設計では, 設計風量時に最大圧力損失が生じるダクト経路について, 合算した圧力損失に基づき送風機の能力を選定することが一般的であるが¹⁾, 実際には風量の確保が最優先され, 過大な能力の送風機が選定される場合が起こり得る。これは, 設備機器の導入コストを増加させるだけでなく, 運転時のエネルギー消費量を増加させることになる。こうした問題の原因として, 空気搬送経路を構成する部材の圧力損失特性, 即ち風量-静圧特性データとして, 一般的な特性²⁾³⁾は存在するものの, 部材の形状に応じた特性や製品毎の特性が設計資料として入手しやすい状況にはないことが指摘できる。試験室などで, 各部材の風量-静圧特性を高い精度で, かつ極力簡便に測定可能な方法が整備され, それを用いた試験結果が設計資料として提供されることは, 空気搬送経路の設計及び送風機の設定をより合理的に行って導入・運転コストを削減し, 省エネルギー化を図るために重要と考える。

空気搬送システムを構成する各部品や部材の風量-静圧特性の測定精度向上に関する最近の国内の研究発表としては, 空気槽を用いた静圧分布法及びダクト圧力補正法に関する研究⁴⁾⁵⁾がある。ダクト端末換気口, ダクト, 分岐合流部, 送風機を含む各種の住宅用換気

システム部材を対象にし, 既往の試験方法・規格の課題や問題点を分析した上で, 高い精度で測定できる試験方法である静圧分布法とダクト圧力補正法が開発提案された。提案された試験方法は住宅用換気システムの部材に限らず, 非住宅用も含めた空気搬送部材全般に適用可能である。しかし, 静圧分布法及びダクト圧力補正法は静圧測定点数が多く, 長い補助ダクトを必要とするため, 試験装置のために大きな試験エリアが必要になるなど, 簡単に採用することが難しい場合がある。

一方で, 日本国内で換気部材を対象にした試験規格としては(一財)ベタリービングの優良住宅部品認定基準換気ユニット(換気口部品)BLS VU-4の通気量試験がある(以下, BLS VU-4という)⁶⁾。機械換気用給排気口の通気性能を測定する場合には, JIS C 9603で規定された空気槽⁷⁾に, 管径の5倍の長さの補助ダクトを経由して測定する。BLS VU-4は, 本来は第2種換気方式や第3種換気方式の室内側給排気口の通気性能を確認して比較検証するための規格であり, 厳密にはダクト端末換気口を対象にした規格ではないが, その測定の簡易さなどからダクト端末換気口の風量-静圧特性の測定に応用されている。しかし, BLS VU-4によりダクト端末換気口の風量-静圧特性を求めた場合の測定誤差に関する検討例はなく, どの程度の測定誤差が生じるかについては不明である。

換気部品に関する海外の試験方法としては, ダクト端末換気口など換気部品の風量-静圧特性を, 補助ダクトを接続して測定する

*1 (一財)ベタリービングつくば建築試験研究センター 主席試験研究員・博士(工学)

*2 国立研究開発法人建築研究所 理事長・工博

*3 (一財)ベタリービングつくば建築試験研究センター 試験研究員・博士(工学)

*4 (一財)ベタリービングつくば建築試験研究センター 試験研究員

*1 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Dr.Eng.

*2 President, Building Research Institute, Dr.Eng.

*3 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Dr.Eng.

*4 Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living

EN13141-2 がある⁸⁾。吸込み方向の場合にはダクト末端換気口から補助ダクトに沿って管径の 6 倍の距離の位置で静圧を測定し、吹出し方向の場合は管径の 1.5 倍距離の位置で静圧を測定することになっている。しかし、それらの距離の補助ダクト分の静圧損失が静圧差に含まれるため、測定誤差として試験結果に含まれる可能性がある。

本研究では、精密な測定方法である静圧分布法に対して、短い補助ダクトを用いて簡易に換気部材の風量-静圧特性を求める測定方法を検証した上で提案することを目的とする。本報告では、まず換気部材の一つであるダクト末端換気口を対象にした風量-静圧特性の簡易測定方法について検討した。接続口の直径の異なる 2 種類のダクト末端換気口を用いて比較試験により、測定誤差が小さい測定方法を明示するとともに、測定誤差が生じる要因などについて分析した結果を報告する。なお、本研究では EN13141-2 や BLS VU-4 のように補助ダクトを用いて簡易的に風量-静圧特性を求める測定方法を「補助ダクト接続法」と呼ぶこととする。

表 1 は風量及び静圧測定に使用した測定機器の仕様を示す。補助ダクト接続法と静圧分布法に共通してこれら機器を用いた。

2. 補助ダクト接続法の概要

既存の試験装置の応用や BLS VU-4 による通気性試験結果との整合性を考慮して、本報では図 1 に示すような空気槽と補助ダクトを用いる測定方法について検討を行う。測定は、空気槽に管径(D)の 5 倍長さの補助ダクトと換気部材の試験体を設置し、補助送風機により風量を段階的に変えながら、試験室内の大気圧を基準にした空気槽の静圧とオリフィスにより風量を測定することにより、試験体の風量-静圧特性を求める。図 2 に、ダクト末端換気口の設置方法の概要を示す。差圧測定は空気槽と試験室内との間の一点でよく、補助ダクトの長さも 5D に抑えられる。

吹出し方向の風量-静圧特性を求める場合は、まず、ダクト末端換気口を補助ダクトに接続した状態(図 2 の左)で風量-静圧特性の測定結果を行う。次に、ダクト末端換気口を取り外して補助ダクトのみ(図 2 の右図)を対象にした風量-静圧測定を行う。次に、ダクト末端換気口と補助ダクトを対象にした風量-静圧特性曲線と補助ダクトのみを対象にした風量-静圧特性曲線について多項式による近似式を求め、その差分からダクト末端換気口の風量-静圧特性を求める。差分を用いる理由は、主として空気槽と補助ダクト接続部分の静圧損失の影響を除くためである。

吸込み方向の風量-静圧特性を求める場合には、ダクト末端換気口と補助ダクトを対象にした測定を行い、求めた風量-静圧特性をダクト末端換気口の風量-静圧特性とする。仮に、吸込み方向の場合にも吹き出し方向と同じ方法で、補助ダクトの風量-静圧特性を差分すると吸込み口となる補助ダクト端部の形状抵抗による圧力損失を余分に差し引くことになり、ダクト末端換気口の静圧損失を過小に評価することになるため避けなければならない。

3. 静圧分布法の概要及び補助ダクト端部と直管部の圧力損失

静圧分布法に用いた補助ダクト (JIS K 6741 規格品の硬質ポリ塩化ビニル管 VP, 呼び径 150 mm, 長さ 4m, 静圧測定点 3 点) と空気槽の位置関係を図 3 に示す。

表 1 測定機器の仕様

測定項目	測定機器
風量	200A JIS5K オリフィスプレート 絞り孔径 d=92.68mm 精度: ±0.07mm JIS Z 8762-2:2007 規格品
静圧	微差圧計: MKS Baratron 220DD 精度: 0.15% 台数: 6台(静圧分布法の測定時に最大6台使用)

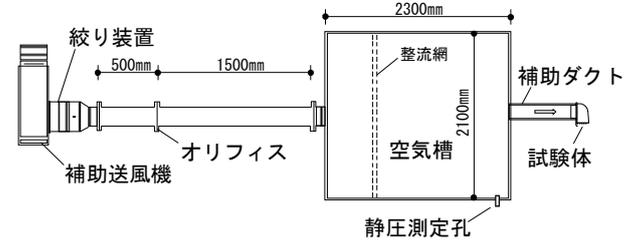


図 1 BLS VU-4 のための風量-静圧特性測定装置の概要

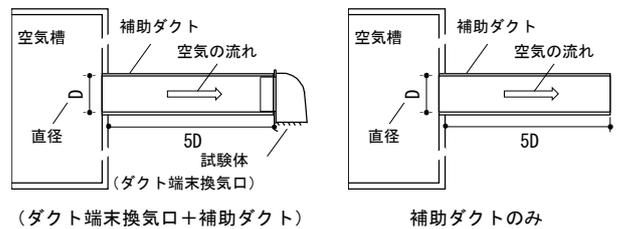


図 2 BLS VU-4 のための試験体設置方法の概要 (吹出し方向の例)

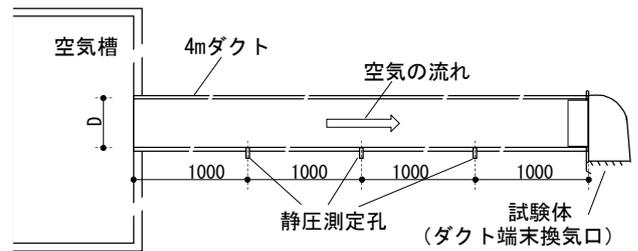


図 3 静圧分布法の試験体設置方法の概要 (吹出し方向の例)

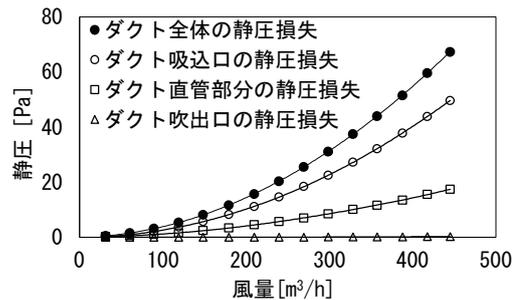


図 4 補助ダクト (呼び径 150mm, 長さ 4m の塩ビ管 VP) 各部分の風量-静圧特性曲線 (吹出し方向 静圧分布法測定)

表 2 補助ダクト (呼び径 150mm, 長さ 4m の塩ビ管 VP) 各部分の風量-静圧特性測定結果 (吹出し方向 静圧分布法測定)

風量	静圧損失			
	全体	吸込口	ダクト直管部分	吹出口
m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa
150	8.0	5.8	2.1	0.0
250	21.8	15.8	5.9	0.1
300	31.1	22.7	8.3	0.1
350	41.9	30.8	11.0	0.1

静圧分布法用の補助ダクトに設けた静圧測定点及び試験室内と空気槽との間の静圧差を測定することで、(1) 空気槽と補助ダクト接続部分の圧力損失、(2) ダクト直管部の圧力損失、(3) 試験体（ダクト末端部材）の圧力損失を求めることができる。ダクト両端の静圧は3点の静圧を直線外挿することにより求める。

空気槽と補助ダクトと接合部、及び補助ダクトがそのまま開放されている端部における圧力損失の確認のため、図3で試験体を設置しない条件において、静圧測定を行った（図4及び表2に空気槽→ダクト→試験室[吹出し方向]の場合、図5及び表3に逆方向[吸込み方向]の流れの場合についての結果を示す）。

吹出し方向の場合、ダクトの「吹出口」での圧力損失はほぼ0Paであり、「吸込口」即ち空気槽からダクトへの入口部分における圧力損失が大きいことがわかる。ダクト直管部での圧力損失は、風量350m³/hでは11.0Pa、1m当たり約2.8Paとなっている。

一方、吸込み方向の場合、ダクトの「吹出口」、即ち空気槽への接続部での圧力損失はほぼ0Paであり、「吸込口」即ち試験室からダクトへの入口部分における圧力損失が大きい。

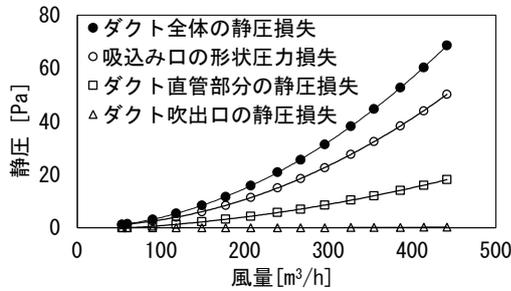


図5 補助ダクト（呼び径 150mm、長さ 4m の塩ビ管 VP）各部分の風量-静圧特性曲線（吸込み方向 静圧分布法測定）

表3 補助ダクト（呼び径 150mm、長さ 4m の塩ビ管 VP）各部分の風量-静圧特性測定結果（吸込み方向 静圧分布法測定）

風量	静圧損失			
	全体	吸込口	ダクト直管部分	吹出口
m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa
150	8.4	6.2	2.2	0.0
250	22.5	16.3	6.1	0.1
300	31.9	23.3	8.5	0.1
350	43.0	31.6	11.3	0.1

4. 補助ダクト接続法と静圧分布法の比較による測定精度検討

4.1 検討方法

補助ダクト接続法（図2）による風量-静圧特性の測定精度を確認するために、静圧分布法による測定結果との比較を行った。静圧分布法によりダクト末端換気口の風量-静圧特性を測定する場合の試験体設置状況は図3の通りである。比較試験に用いたダクト末端換気口を写真1に示す。接続口の直径150mmと100mmの2種類を用い、補助ダクト接続法による測定結果の最大誤差を確認するために、市販されているダクト末端換気口の中でも構造が単純で、静圧損失が最も小さいと思われる製品を選定した。選定したダクト末端換気口は、静圧損失の原因となる防塵防音フィルターはなく、金属網のみが附属された製品である。検討対象のダクト末端換気口の通気性能を示すために、測定結果から求めた有効開口面積を表4に示す。



写真1 試験体（ダクト末端換気口、正面と側面）

表4 試験体（ダクト末端換気口）の有効開口面積

	有効開口面積 (cm ²)	
	試験体A	試験体B
吹出し方向	76.9	37.5
吸込み方向	57.9	25.4

表5 吹出し方向の検討ケース（試験体A）

ケース名	概要
Case150b①	静圧分布法による測定
Case150b②	補助ダクトにダクト末端換気口を接続して測定
Case150b③	Case150b②の測定結果と補助ダクトのみを対象にした測定結果との差分

表6 吸込み方向の検討ケース（試験体A）

ケース名	概要
Case150i①	静圧分布法による測定
Case150i②	補助ダクトにダクト末端換気口を接続して測定
Case150i③	Case150i②の測定結果と補助ダクトのみを対象にした測定結果との差分

す。

表5に、試験体Aの吹出し方向の検討ケースを示す。Case150b①は、静圧分布法により風量-静圧特性を測定するケースであり、基準となる。Case150b②は、空気槽に管径5倍長さの補助ダクトを接続してその先にダクト末端換気口を接続した状態で風量-静圧特性を測定するケースである。Case150b③は、Case150b②の測定結果と

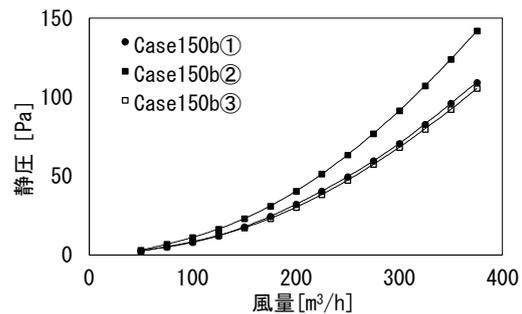


図6 風量-静圧特性曲線の比較（試験体A 吹出し方向）

表7 風量-静圧特性値の比較（試験体A 吹出し方向）

風量	静圧損失			静圧分布法との比較			
	Case150b①	Case150b②	Case150b③	Case150b②		Case150b③	
m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	%	Pa	%
150	17.7	23.0	17.2	5.3	29.9	-0.5	-2.9
250	49.5	63.4	47.3	13.9	28.1	-2.2	-4.4
300	70.6	91.5	68.2	20.9	29.6	-2.4	-3.4
350	96.0	123.9	92.2	27.9	29.1	-3.8	-4.0

試験体を取り除き補助ダクトのみを対象にした測定結果との差分から風量-静圧特性を求めるケースである。

同様の考え方で、吸込み方向の検討ケースを表 6 に示す。敢えて差分を求める Case150i③を加えている。

表 5 と表 6 は、接続口の直径 150 mm のダクト末端換気口である試験体 A を対象にした検討ケースであるが、直径 100mm のダクト末端換気口である試験体 B についても同様のケースで検討を行った (Case100b①~③, Case100i①~③)。

風量範囲は、空気調和衛生工学便覧⁹⁾に記載された住宅及び公共建物の低圧ダクトに関する推奨及び最大風速を参考として、2.5m/s~6.5m/s を目安とし、試験体 A の検討風量範囲は 150~350m³/h、試験体 B の検討風量範囲は 70~180m³/h とした。

風量-静圧特性曲線は、検討風量範囲内でほぼ等間隔に測定した各風量における静圧から、風量を変数にした累乗近似式で求めた。各試験ケースにおいては 3 回の測定を行い、3 回分の風量-静圧特性曲線の近似式から求めた各風量における静圧の平均値から、各試験ケースの風量-静圧特性曲線を求めた。各測定点の風量と静圧は、2 秒間隔で 5 分間測定して平均値を求めた。

4.2 吹出し方向の検討結果及び考察

図 6 に、試験体 A の吹出し方向の風量-静圧特性曲線の比較結果を、表 7 に代表風量における静圧損失の比較を示す。補助ダクトとダクト末端換気口を測定対象にした Case150b②の測定結果は、Case150b①と比較して著しく大きい。これは、Case150b②の測定結果には空気槽からダクトへの入口の静圧損失とダクト直管部分の静圧損失が含まれることが原因である。吸込み口とダクト直管部分の静圧損失を差し引いた Case150b③の測定結果は、静圧分布法の測定結果 (Case150b①) に対して-2.9%~4.0%の範囲にある。図 7 に、試験体 B の吹出し方向の風量-静圧特性曲線の比較結果を、表 8 に代表風量における静圧損失の比較を示す。Case100b③の測定結果は、静圧分布法の測定結果 (Case100b①) に対して+2.8%~-2.8%の範囲にある。補助ダクト接続法による簡易測定 (Case150b③) 及び Case100b③) の結果は、静圧分布法と比較して概して 3~4% 静圧損

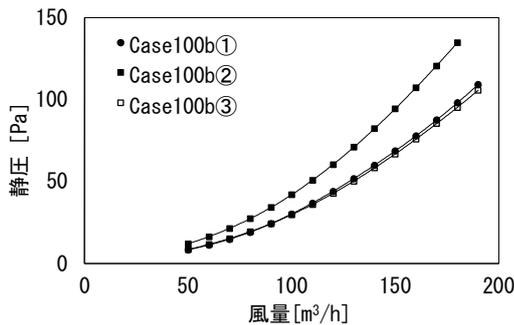


図 7 風量-静圧特性曲線の比較 (試験体 B 吹出し方向)

表 8 風量-静圧特性値の比較 (試験体 B 吹出し方向)

風量	静圧損失			静圧分布法との比較			
	Case100b①	Case100b②	Case100b③	Case100b②		Case100b③	
m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	%	Pa	%
70	14.9	21.5	15.3	6.6	44.5	0.4	2.8
100	30.3	42.0	29.9	11.7	38.8	-0.4	-1.5
140	60.0	82.3	58.3	22.3	37.1	-1.7	-2.8
180	98.0	134.9	95.3	36.8	37.6	-2.7	-2.8

失が小さく評価される傾向が見られた。

なお、補助ダクト接続法の短いダクト (150mm 径の場合 750mm 長) では、空気槽からダクトへの入口部分において縮流に伴うダクト内表面からの気流の剥離が生じていると考えられるが、試験体 (ダクト末端換気口) を設置した場合のほうが、ダクトのみの場合に比して剥離域が長く、相対的にダクト内での静圧損失が小さいことが、補助ダクト接続法による静圧損失の評価値のほうが静圧分布法による評価値よりも小さくなる理由のひとつと考えられる。

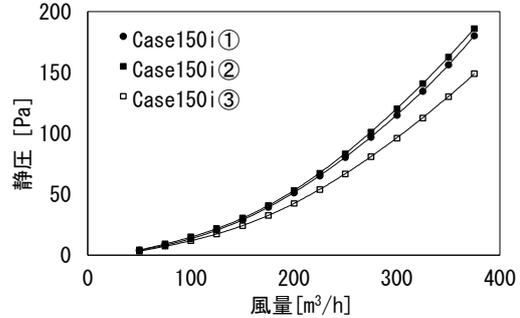


図 8 風量-静圧特性曲線の比較 (試験体 A 吸込み方向)

表 9 風量-静圧特性値の比較 (試験体 A 吸込み方向)

風量	静圧損失			静圧分布法との比較			
	Case150i①	Case150i②	Case150i③	Case150i②		Case150i③	
m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	%	Pa	%
150	29.0	30.4	24.3	1.4	4.7	-4.7	-16.3
250	80.4	83.5	66.8	3.1	3.8	-13.6	-16.9
300	115.1	120.3	96.3	5.2	4.5	-18.8	-16.4
350	156.3	162.8	130.3	6.5	4.2	-26.0	-16.6

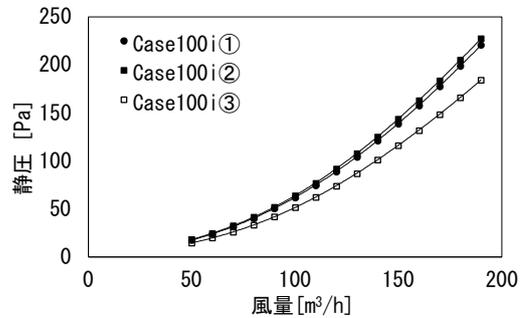


図 9 風量-静圧特性曲線の比較 (試験体 B 吸込み方向)

表 10 風量-静圧特性値の比較 (試験体 B 吸込み方向)

風量	静圧損失			静圧分布法との比較			
	Case100i①	Case100i②	Case100i③	Case100i②		Case100i③	
m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	%	Pa	%
70	31.4	32.2	25.8	0.9	2.8	-5.5	-17.6
100	61.7	63.6	51.2	1.8	3.0	-10.5	-17.1
140	120.9	125.0	101.0	4.1	3.4	-19.9	-16.4
180	198.6	204.9	165.8	6.3	3.2	-32.8	-16.5

4.3 吸込み方向の検討結果及び考察

図 8 に、試験体 A の吸込み方向の風量-静圧特性曲線の比較結果を、表 9 に代表風量における静圧損失の比較を示す。Case150i②は Case150i①よりも、3.8%~4.7% 静圧損失が大きいですが、その原因は補

助ダクト（750mm）における静圧損失が含まれているためである。

ダクト吸込み口とダクト直管部の静圧損失を差し引いた場合（Case150i③）、Case150i④よりも著しく小さくなる（-16.3%～-16.9%）。これは、ダクト吸込み口の静圧損失を差し引いてしまったことが原因であり、吸込み方向の場合に、誤って試験体の設置されていない場合を差し引くことは誤った試験結果を導くことを如実に示している。試験体Bにおける検討結果を図9、表10に示す。試験体Aとほぼ同じ傾向であり、補助ダクト接続法によると2.3%～3.4%静圧損失が大きく評価されること、吸込み方向の場合に、誤って試験体の設置されていない場合を差し引くことは大きな過誤となることを示している。

補助ダクト接続法（例えばBLS VU-4）を用いて吸込み方向のダクト末端換気口の風量-静圧特性曲線を得ようとする場合には、現状では補助ダクト部分の静圧損失を含めた評価とならざるを得ず、静圧分布法と比較して概して2～5%静圧損失が大きく評価される傾向が見られる。

5. 実験結果及び補助ダクト接続法の限界に関する考察

補助ダクト接続法でダクト末端換気口の風量-静圧特性を求める場合、吹出し方向と吸込み方向では測定方法が異なる。原因は、値が大きい補助ダクト吸込み口の静圧損失の取り扱いである。試験体にとって吹き出し方向の場合は、ダクト末端換気口と補助ダクトを対象にした測定結果から補助ダクトのみを対象にした測定結果を差し引いて求めることにより静圧分布法と比べた誤差を4%程度に抑えることができる。同じく吸込み方向の場合には、ダクト末端換気口と補助ダクトを対象にして求めた結果をダクト末端換気口の風量-静圧特性とすることで、静圧分布法と比べた誤差を5%程度に抑えることができる。なお、本報における実験では最大測定誤差を把握するためにダクト末端換気口を選定するときに、市販されている製品の中で静圧損失が最も小さいと思われる製品にしている。測定誤差は主に補助ダクトのダクト直管部分の静圧損失によるものであり、静圧損失が大きいダクト末端換気口の場合には、全体の静圧損失で占める補助ダクトのダクト直管部分の静圧損失の割合は小さくなり、測定誤差の割合も小さくなると考える。

上記の検討から、本報で検討した補助ダクト接続法は、静圧分布法と比較して一定の誤差があるものの開発段階の製品などについて、簡易的に風量-静圧特性を測定して性能を確認することには大きな問題はないと考える。

一方で、精密な測定方法である静圧分布法との比較から、補助ダクト接続法には一定の測定誤差が生じることを確認した。測定誤差の原因は、補助ダクトのダクト直管部分の静圧損失によるものであり、これは補助ダクトを用いる測定方法の避けられない課題と言える。今後、補助ダクト接続法の測定精度を向上させるためには、補助ダクトのダクト直管部分の静圧損失をどのように補正するかが課題であり、事前に測定したダクト直管部分の静圧損失を補正するなど測定精度を向上させる可能性が十分にあると考える。

6. まとめ及び今後の予定

本研究では、静圧分布法と圧力補正法に対して、短い補助ダクトを用いて簡易に換気部材の風量-静圧特性を求める補助ダクト接続

法の確立を目指して検討を行っている。本報では、まずダクト末端換気口を対象に、空気槽に管径5倍長さの補助ダクトを設置して風量-静圧特性を求める補助ダクト接続法について検討を行った。接続口の管径が異なる2種類のダクト末端換気口を対象に吹出し方向と吸込み方向における測定を行い、静圧分布法の結果との比較から補助ダクト接続法の測定精度を確認した。また、補助ダクト接続法の測定誤差が生じる問題点を整理し、測定精度向上の可能性も確認した。今後は、補助ダクトのダクト直管部分の静圧損失の補正により測定精度を向上させる方法について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局他編集：改正建築基準法に対応した建築物のシックハウス対策マニュアル、-建築基準法・住宅性能表示制度の解説及び設計施工マニュアル、工学図書㈱、2003.5
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課（監修）：建築設備設計基準平成30年版、第4編第5章第3節ダクト系の抵抗計算、2019.8
- 3) 空気調和・衛生工学便覧第14版、3. 空気調和設備編、第4章送風系の設計、空気調和・衛生工学会、pp181-189、2010.2
- 4) 澤地、田島、清水、長谷川：住宅用換気システム設計法の信頼性向上に関する研究 第1報 換気システム部材の風量-静圧特性試験方法の検討、空気調和・衛生工学会論文集 No. 144、pp23～32、2009.3
- 5) 澤地、田島、清水、長谷川：住宅用換気システム設計法の信頼性向上に関する研究 第2報 各種換気システム部材への風量-静圧特性試験方法の適用及び静圧損失計算に基づく換気システム設計法の検証、空気調和・衛生工学会論文集 No. 159、pp27～34、2010.6
- 6) 優良住宅部品性能試験方法書 換気ユニット（換気口部品）BLS VU-4:2020、一般財団法人 ベターリビング、2020.4
- 7) JIS C 9603 「換気扇」、一般財団法人 日本規格協会、2006.3
- 8) Ventilation for buildings - Performance testing of components/products for residential ventilation Part 2: Exhaust and supply air terminal devices BS EN13141-2:2010,2010.7
- 9) 空気調和・衛生工学便覧第14版、3. 空気調和設備編、第4章送風系の設計、空気調和・衛生工学会、p191、2010.2

[2021年10月4日原稿受理 2021年11月29日採用決定]