

変動圧を用いた建物の気密性測定法に関する研究 パルス圧を用いた場合

建築環境工学分野 陳 強

1. 目的

1.1 背景

省エネルギーの観点から、住宅は今後ますます気密化される傾向にある。最近の建物の高气密化によって、気密性能に関する資料が十分でない適切な換気設計が行われない。ガス中毒や爆発事故が起こりやすくなり、菌やカビが発生しやすい環境になりやすくなる。そこで、建物の気密性能を正確に把握することが重要になってくる。また、建物の隙間を定量的に把握すること、つまり気密性能を知ること、以下のことが可能になる。

- (1).自然換気量や換気負荷を正しく評価する。
- (2).適正な換気システムを設計する。
- (3).断熱気密化を行うに当たり、気密化すべき部位を明らかにする。

1.2 研究目的

変動圧法の一つであるパルス圧法の開発を目的としている。今回はガスボンベを使って室内外の圧力差をつけるというパルス圧法の実験結果とファンを用いたステップ圧法と定圧法との比較を行う。気密性能を表すには、隙間からの空気の流入出を表す隙間の特性式 $Q=a\Delta P^n$ を用いる。この式は開口の形、大きさによって決まる特性値 n 、係数 a を使って表すが、この隙間の特性値 n 、係数 a は実験によって求めるしか知ることができない。そこで、実験を行い、実際に変化する圧力差、流量から n と a を求め、実験で得た隙間の特性値 n 、実験定数 a を用いた計算値とを比較する。また、室模型を用いて設定された隙間面積と実際に三つの測定法による測定結果を比較する。

2. 気密性能の測定法

気密性の測定は、圧力差を与えた場合の流量を求めて得られる。圧力差を与える方法としては、定圧法と変動圧法の二つがある。さらに、変動圧法にはパルス圧法とステップ圧法と交流圧法という三つの方法が含まれる。

2.1 定圧法

定圧法ではファン等によってある風量 Q を与えた時の室内外の圧力差 ΔP をいくつかの風量において測定し、

気密性を求める。定圧法は一度の実験で流量と圧力差のひとつの組み合わせしか測定できないので、測定回数を多くする必要がある。さらに、低い圧力差の場合は、外部風の影響を受けやすく、圧力差を一定にしにくい。

2.2 変動圧法

2.2.1 パルス圧法²⁾

パルス圧法では、圧縮空気ボンベを使い瞬間的に室内外に圧力差を発生させ、圧力変化の過程を測定し気密性を求める。そのため定圧法と違い1回の実験で気密性を求めることができ、流量を測定することもいらない。

2.2.2 ステップ圧法⁴⁾

ファンを使い一定の割合で空気を放出し、室内外に圧力差を発生させ、ファンを止めてからの圧力減衰の過程を測定し気密性を求める。

2.2.3 交流圧法¹⁾

周期的に動くピストンを利用し、ピストンの移動量(漏気量に相当)と室内外圧差との関係から気密性を求める。

従来は、定圧法が一般に行われていたが、様々な手間と欠点があるため、パルス圧法の開発のため、実験を行う。

3. 基礎式

加圧による室内外圧力差 ΔP の時間変動の解析式を以下に示す。

容積 V の容器で M の発生があり、隙間から Q の流入出がある場合、質量保存則より、

$$V \frac{d\rho}{dt} = M - \rho Q \quad (1)$$

空気の状態式より

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{P}{RT} \rightarrow \frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{RT} \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

(1),(2)より

$$\frac{V}{RT} \frac{dP}{dt} = M - \frac{P}{RT} Q \quad (3)$$

容器内外の圧力差は、大気圧 P_a に比べ非常に小さいから、

$$P = P_a + \Delta p, \quad P_a \gg \Delta p \therefore P \cong P_a$$

これを用いて式(3)を書き換えると、

$$V \frac{dP}{dt} = RTM - P_a Q \quad (4)$$

隙間からの流入出 Q は、累乗則を用いて、

$$Q = a\Delta P^n \quad (5)$$

式(5)を式(4)に代入して以下の式を得る。

$$V \frac{d\Delta P}{dt} = RTM - P_a a\Delta P^n \quad (6)$$

ここで $A = \frac{P_a a}{V}$, $B = \frac{RTM}{V}$ とおいて

$$\frac{d\Delta P}{dt} = B - A\Delta P^n \quad (6')$$

圧力差 ΔP の微小時間変化は差分で近似して

$$\frac{d\Delta P}{dt} \cong \frac{\Delta P(t + \Delta t) - \Delta P(t)}{\Delta t} \quad (7)$$

式(6),(7)より

$$\Delta P_{(t+\Delta t)} = \Delta P_{(t)} + B\Delta t - A\Delta P_{(t)}^n \Delta t \quad (8)$$

もし、圧力変化が一定の場合、つまり(6)式の左辺が0の時、(6)式で発生量 M は流入出量 Q となり式(5)と同等で定圧法の式となる。発生量 M がパルス状の場合、式(6)は室の圧力減衰を示す。発生量 M が0の時、圧力 P_0 という初期条件下で式(6)の解は P_0 から0までの圧力減衰を示し、解析的に解くことができる。即ち、

$$\Delta P = P_0 \left[1 - \frac{aP_a(1-n)t}{VP_0^{1-n}} \right]^{\frac{1}{1-n}} \quad (9)$$

実験では、短時間に空気量 M の発生を行い、室内外の圧力差があるレベルに達したら発生を止め、圧力減衰を記録する。しかし、式(9)は非線形で、実験結果から隙間の特性値 n と実験定数 a を最小2乗法で求めることはできない。 $M=0$ のとき、式(5), (6)より以下となる。

$$Q = -\frac{Vd\Delta P}{P_a dt} \quad (10)$$

式(7)と式(10)から以下の式が得られる。

$$Q(t) = -\frac{V}{P_a} \frac{\Delta P(t + \Delta t) - \Delta P(t)}{\Delta t} \quad (11)$$

室内外圧差 $\Delta P(t)$ より漏気量 $Q(t)$ を式(11)より求める。

$(\Delta P(t_1), Q(t_1)), (\Delta P(t_2), Q(t_2)), \dots, (\Delta P(t_n), Q(t_n))$ を式(11)より算出し、式(5)から最小2乗法により開口の特性値 n と実験定数 a を求める。

記号

ΔP : 室内外圧差 (P_a)

P : 実験模型内圧 (P_a)

Q : 漏気量 (m^3/s)

ρ : 空気の密度 ($1.294 \text{ kg}/\text{m}^3$)

V : 実験模型の容積 (m^3)

R : 気体定数 ($287.3 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)

T : 絶対温度 (K)

M : 実験模型内空気発生量 (m^3/s)

t : 時間 (sec)

n : 隙間の特性値 ($n=0.5\sim 1$)

a : 実験定数

P_a : 大気圧 ($10130 \times 9.8 \text{ Pa}$)

4. 実験装置と実験方法

4.1 実験装置



図1 定圧法とステップ圧法の実験装置図

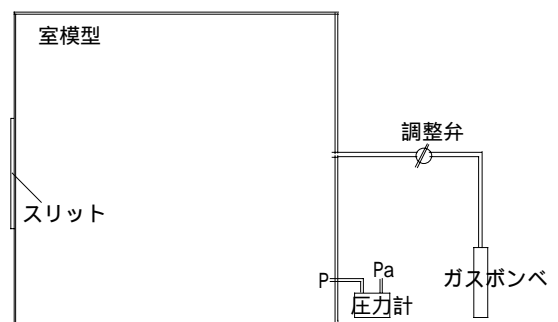


図2 パルス圧法の実験装置図

図1と図2のように、測定装置は室模型(内法寸法が $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 、壁厚 12mm)、縮流筒からなる流量装置、ファン、ポンペ、室内外の圧力の測定器からなる。

4.2 実験方法

4.2.1 パルス圧法(加圧法)

図2のように、パルス圧法はガスボンベから模型内に圧縮空気を瞬間的に噴入して、室内外の圧力差をつけ(加圧法)、その変化を記録し最小2乗法により開口特性 n と実験定数 a を求める。

4.2.2 ステップ圧法(減圧法)

図1のように、ステップ圧法はファンで模型内の空気を吸引し模型内を負圧にし(減衰法)ファンを止め圧力差の変化を記録し最小2乗法により開口特性 n と実験定数 a を求める。

4.2.3 定圧法

定圧法は今回、変動圧法との比較のために行う。

測定装置は図1のように、絞り部分からファンで室模型内の空気を吸い出し、ある風量 Q を与えた時の室内外の圧力差 ΔP をいくつかの風量において測定し、ベルヌーイの定理より各開口での絞りの流量を算出し、隙間の特性値 n と実験定数 a を最小2乗法で算出する。

5. 結果と考察

<表1 スリットの大きさ(mm) >

	1	2	3	4	5	6	7	8
深さ			5.3					
高さ	0	2	5	10	20	30	40	50
幅			3					

今回は表1の8パターンのスリットで実験をおこなった。その結果は以下のものである。

<表2 開口特性値 n と実験定数 a の比較>

スリット	全開	33	35	310	320	330	340	350	
パルス法	a	2.00E-06	6.62E-06	1.40E-05	3.32E-05	7.40E-05	0.00013	0.00017	0.00021
	n	0.84803	0.70253	0.62781	0.55205	0.51759	0.48224	0.47384	0.46892
ステップ法	a	1.87E-06	1.18E-05	3.17E-05	4.66E-05	6.08E-05	8.11E-05	0.00010	0.00012
	n	0.75851	0.78928	0.78024	0.75564	0.73943	0.73362	0.69583	0.69071
定圧法	a	2.02E-06	2.23E-06	2.46E-06	3.28E-06	4.00E-06	5.41E-06	3.02E-06	5.11E-06
	n	0.74041	0.69232	0.71929	0.70751	0.69845	0.62661	0.60253	0.65221

5.1 パルス圧法とステップ圧法の比較

表2から明らかなように、パルス圧法とステップ圧法では開口部のスリットサイズの大きさにかかわらず、開口の特性値 n はほぼ一定の値になっている。実験定数 a はスリットサイズ 3×40 、 3×50 の場合を除き開口が大きくなるほど大きくなる。スリットサイズ 3×40 、 3×50 の場合は予想通り実験定数 a の結果が出ていないが、流量 Q を計算すると開口の大きい順番に流量 Q が大きくなる当然の結果がでていいる。図3に示すように実験で求めた開口の特性値 n と実験定数 a を用いて式(8)、式(9)で計算した内外圧差 ΔP の変化の全過程は実験結果とほぼ一

致している。同様のことは、図4、5、6、7の各図からも明らかで、この二つの方法で隙間の特性式、いわゆる、

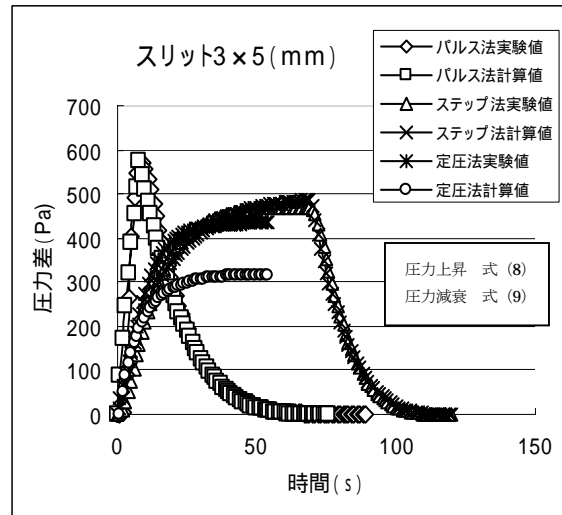


図3 実験値と計算値の比較 (三つの測定法)

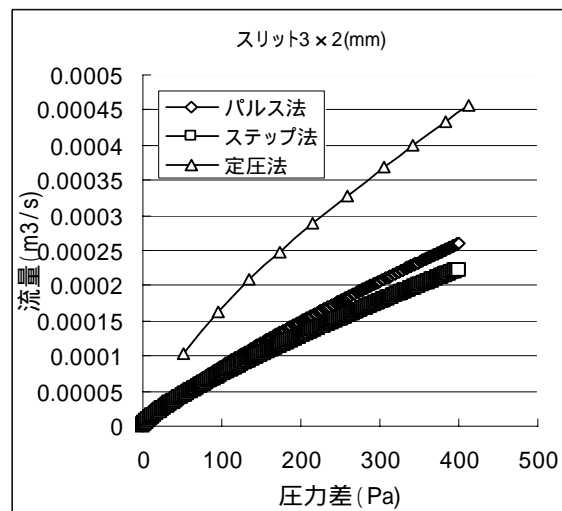


図4 特性式 ($Q = a\Delta P^n$) の比較 (三つの測定法)

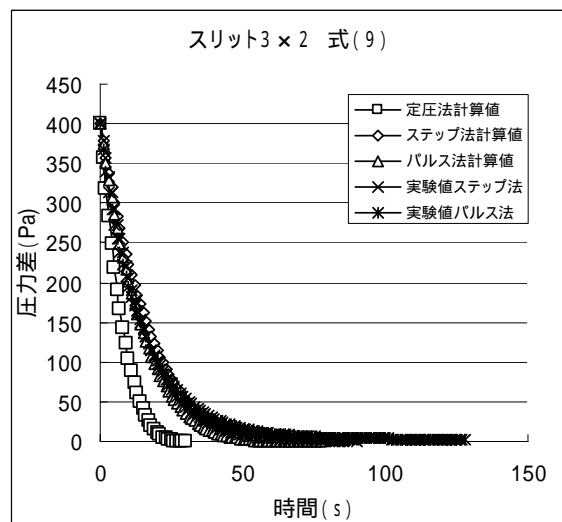


図5 同じ圧力差で圧力減衰過程の実験値と計算値の比較

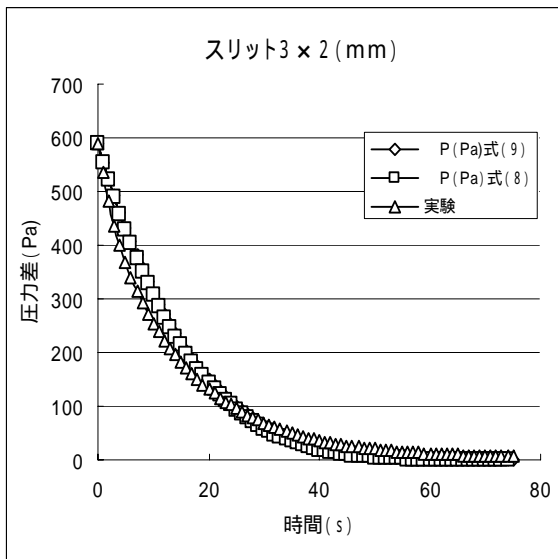


図6 パルス法の実験値と計算値の減衰過程の比較

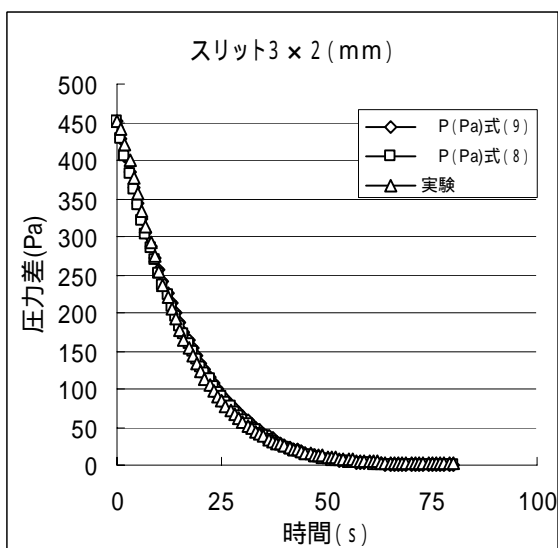


図7 ステップ法の実験値と計算値の減衰過程の比較

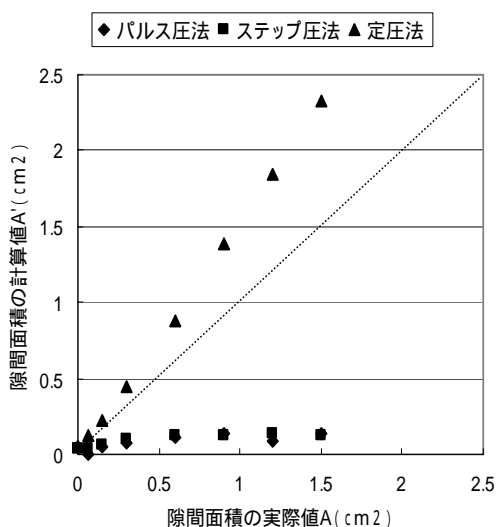


図8 隙間面積の実際値と計算値の比較

流量と圧力差を比較すると誤差範囲内でほぼ一致している。しかし、図8のように隙間の実測値と相当隙間面積の計算値を比較すると、パルス圧法とステップ圧法では

気密性は実際より高くでていることになる。

5.2 パルス圧法とステップ圧法と定圧法の比較

表2から明らかなように、定圧法では、予想通りに開口が大きくなるほど実験定数 a は大きくなっている。そして、流量 Q を計算すると開口が大きくなるほど流量 Q が大きくなる。開口特性値 n は一定にならず、開口が大きくなるほど小さくなって 0.5 より小さくなっている。図3より明らかなように、開口特性値 a, n を用い、式(8)で計算した圧力上昇を実験と比較すると、実験値と計算値の差が大きい。図4より明らかなように、 $Q - \Delta P$ の特性グラフは、パルス圧法とステップ圧法とはよく一致しているが、定圧法と比較すると非常に大きな差がでており、その差が数倍になった開口もある。傾向的には開口が小さくなれば結果は近づくがそれでもまだ差は大きく誤差と呼ぶには問題がある。図5のように、同じ圧力差でパルス圧法とステップ圧法と比較するとわかるように、定圧法の場合は室内外の圧力差 ΔP が早めに0にきってしまい、図8を見るとわかるように今回の実験で定圧法では気密性は変動圧法よりも実際よりも低くでていることになる。

6. まとめ

前述した様に今回の実験ではパルス圧法(加圧法)とステップ圧法(減衰法)とはよく一致している。 a と n にも差がほとんど見られなかった。しかし、定圧法と比べるとちょっと大きい差がみられた。この原因として考えられるのは定圧法では縮流筒の径の違う位置で測定した流量に差がみられ、正確に測定できていない可能性がある。また、パルス圧法、ステップ圧法に関しては、測定系の気密性が非常に重要であり、気密性が充分でない可能性がある。そのため、流量の正確な測定と測定系の気密性をもっと高めることが今後の課題である。

参考文献

- 1) Sherman他: The low pressure leakage function of a building, Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-9612, Uni, Calif. 1979
- 2) Nishioka.T: A new technique for measuring airtightness of building envelope using pulse pressurization, Progress in modern ventilation I, Proc. intern. Symp. Helsinki, 2000, p80-83
- 3) 一橋他: 実験動物施設に関する研究一飼育室の気密性実験、建築学会大会学術講演梗概集 1985
- 4) 藤原他: 変動圧法を用いた建物の気密性測定法に関する研究、建築学会大会学術講演梗概集、(環境工学、D-2) 2003、P713