

建物の相当隙間面積の指数則モデルと二次式モデルの比較検討

正会員 ○奥山 博康*1
正会員 吉浦 温雅*2相当隙間面積 指数則モデル 二次式モデル
隙間深さ係数 幾何的相当隙間面積 最小二乗法

1. はじめに

建物の気密性は隙間風に大きく影響し、冷暖房のエネルギー消費と健康と快適性にも影響する重要な性能である。従来から隙間風の予測計算では指数則モデルが用いられることが多いが、比較的に物理学的な意味が明確な二次式モデルも存在する。また従来の気密性能評価方法で表示されるのは、 C 値と略称される相当隙間面積であり、測定で同時に得られる指数 n は、隙間の幾何的状況との関係性が明確ではなく無視されている。しかし二次式モデルであれば、相当隙間面積の係数に加えて、隙間の深さを表す係数も評価に利用できる可能性がある。本研究では両者の違いを測定法と予測計算法の双方を考慮し比較検討をした。

2. 隙間の基礎式モデル

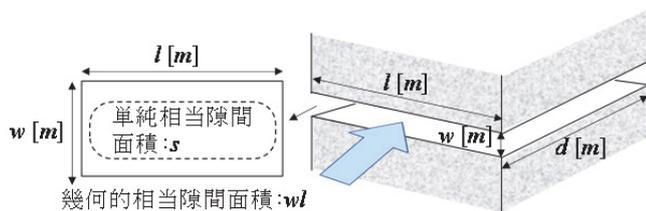
隙間の方程式モデルとしては、本間[1]等による次の圧力損失 Δp [Pa] を表す風量の二次式(1)がある。

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} \left(\frac{q}{wl} \right)^2 + 12\mu \frac{d}{w^2} \left(\frac{q}{wl} \right) \quad (1)$$

ここに q は風量 [m^3/s]、 w は隙間幅 [m]、 l は長さ [m]、 ρ は空気密度 [kg/m^3]、 μ は粘性係数 [$Pa \cdot s$]、 ζ は圧力損失係数である。また JIS 等の標準的な気密測定法[2]で用いられている圧力損失 Δp を表す次の指数則モデルの式(2)がある。

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(\frac{q}{s} \right)^n \quad (2)$$

ここに s は単純相当隙間面積 [m^2] と呼ぶことにしている。また隙間の奥行を d [m] で表す。これらの幾何的な意味を図1に示す。

図1 単純相当隙間面積 s と幾何的相当隙間面積 wl

(1)式の wl を幾何的相当隙間面積、また d/w^2 を隙間深さ係数と定義する。測定の場合は、(1)式の wl と d/w^2 が、(2)式では s と指数 n が未定係数となる。二次式モデル(1)では二次の項の圧力損失係数 ζ を 0.4 程度とする例も見られ

る。しかし一次の項が無い場合に指数則モデルと一致するために ζ は 1 とした場合を本検討では試してみた。故に幾何的相当隙間面積 wl の名称に相当を含ませた。指数則モデルは隙間形状との関係性も明確ではない上に、指数 n により物理単位も不合理である。一方、図2に示す様に、(1)式の二次の項は形状損失で一次の項は摩擦損失と考えれば合理的である。

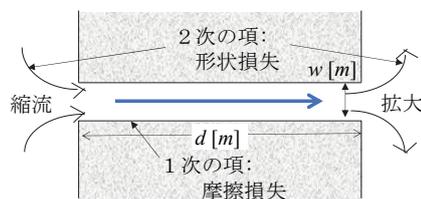


図2 二次式モデルで隙間の摩擦損失と形状損失

3. 計算機実験と表計算分析プログラム

隙間の形状 w 、 l と d を仮定して、(1)式により模擬測定値を生成した。なお実際の測定での Δp は、測定精度と防湿層破損を考慮し 10 から 90 [Pa] 程の範囲が、また風量 Q [m^3/h] も、風量の測定精度等から 36 から 400 [m^3/h] の範囲がとられる。さらに本間[1]は隙間幅 w に三種類の、0.001、0.00075、0.00035 [m] を試験している。これらを参考にし、前述の差圧と風量の範囲に収まる様に、隙間長さ l は 100 [m] とした。また隙間深さ d も隙間長さ、 l と同様にして深さを決めた。そして、最小二乗法で前述の基礎式の係数等と指数を推定して各種の不確かさ評価と信頼性評価も行う理論[3]に基づき開発された表計算シート[4]により、対応する指数則モデルも求めた。

4. 両モデルによる隙間風量の比較

低層住宅で多く起こる内外差圧は 0~20 [Pa] 程度の範囲である。各種長さ w 、 l と d がそれぞれ 0.001、100、0.013 [m] の場合を例にとると、 n は 1.5 となり、指数則と二次式の両モデルの P-Q 特性曲線は図3の様になった。微差圧状況で比較的に大きな違いを示す。

図4は、隙間形状が $w=0.001$ 、 $l=100$ 、 d は 0 から 0.1 [m] の場合で、差圧は 10 から 90 [Pa] の範囲での平均風量で、二次式モデルの風量に対する指数則モデルの風量の比率を縦軸に、 n を横軸にして示した。指数 n が 1.4 付近では 113%程に大きくなる。

5. 両モデルの相当隙間面積の比較

相当隙間面積は、指数則モデルでは単純相当隙間面積 s と呼び、二次式モデルでは幾何的相当隙間面積 wl と呼び意味が異なる。これらの大小関係を調べるため、 s の wl に対する比率を $rs=s/wl$ として定義した。

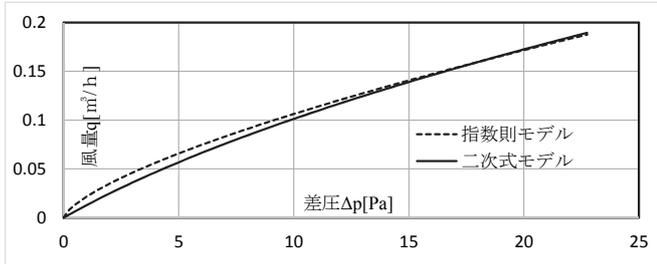


図3 指数則と二次式モデルの風量

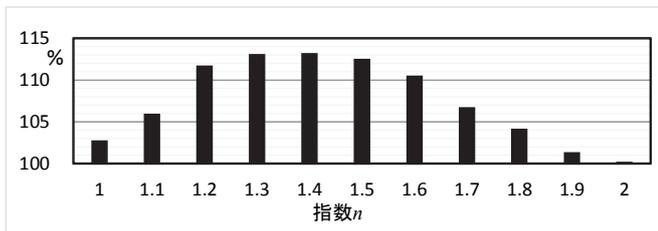


図4 指数則隙間風量の二次式風量に対する平均比率

三種の隙間幅について、隙間深さ係数 d/w^2 による rs の関係を計算した結果を図5に示す。横軸は例えば $12E+4$ は指数形であり12万を表す。隙間深さ係数 d/w^2 が大きくなる程に rs は小さくなる。また三種の隙間の幅 w に依存せず同じであることも分かる。これは隙間深さ係数が大きくなり摩擦損失が大きくなることを、式(1)の二次式モデルであれば第2項の増大で表現できるが、式(2)の指数則モデルでは、単純相当隙間面積 s が減少することによってしか表現できないからである。このことは指数則モデルの単純相当隙間面積 s による気密性評価法では、実際の際間の幾何的な開口面積よりも小さめの面積として誤解を与える危険性を示唆していると思われる。

6. 指数 n と隙間深さ係数 d/w^2 の関係

従来から、指数 n は隙間幅が狭くなる程に1に近づくと言われていた。しかし隙間の幾何的形狀と定量的な関係は明らかではなかった。そこで新たに定義した隙間深さ係数 d/w^2 と指数 n の関係を計算により調べて図6を得た。これも隙間幅 w によらず同じ関係曲線になった。隙間深さ係数 d/w^2 が0とは、オフィスの様に薄い板状の開口で形状抵抗が支配的状況に近い。この場合は指数が2になる。しかし奥行き d が長く、隙間幅 w が狭くなるにつれて摩擦抵抗が増加し指数は1に近づく。

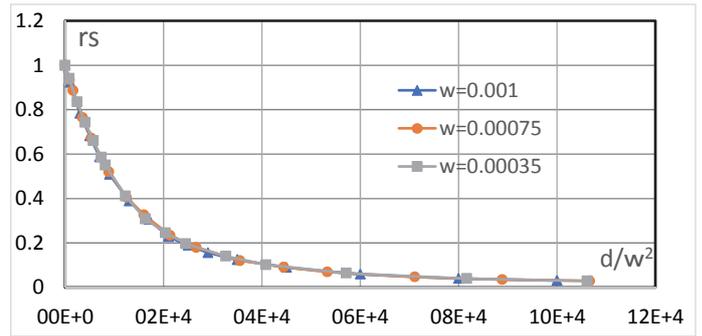


図5 二種の相当隙間面積の比率 $rs (s/wl)$ と d/w^2 の関係

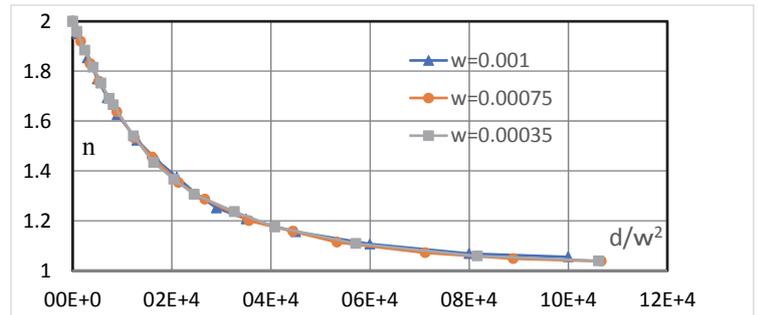


図6 指数 n と隙間深さ係数 d/w^2 の関係

7. まとめ

指数則モデルの単純相当隙間面積 s と指数 n に対し、二次式モデルでは幾何的相当隙間面積 wl と隙間深さ係数 d/w^2 を定義した。実建物で起こる屋内外の多くの微差圧では指数則モデルは大きめの隙間風を予測する傾向がある。また s は、 wl に比べ小さめになるので、隙間大きさを過小認識させる危険性がある。また隙間深さ係数 d/w^2 が大きくなる程に指数 n が1に近づく関係曲線も得た。なおここでは1より小さな実際の値を与える適切な方法を考えて、さらに同様な検討を行う必要があると思われる。

【謝辞】本比較検討は杉山賢冨（新菱冷熱工業株式会社）の神奈川大学の2017年度の卒業研究で行われました。

【参考文献】

- [1] 本間宏, 建築壁体すきまの通気量計算式中の指数項について, 日本建築学会論文報告集, 第335号, 1984年1月, pp67-78
- [2] JIS A 2201: 送風機による住宅等の気密性能試験方法 (2003年版)
- [3] Hiroyasu Okuyama, et al., Reconsideration of parameter estimation and reliability evaluation methods for building airtightness measurement using fan pressurization, Building and Environment, 47 (2012), pp373-38
- [4] 奥山博康, 吉浦温雅, 中島航, 住宅の伝熱と換気と気密性の現場測定法の理論と実験, 空気調和衛生工学会大会論文集, 2016年9月, E-9, pp113-116

*1 神奈川大学・教授・工博

*2 神奈川大学・特別助教・工博

*1 Professor, Dr. Eng., Kanagawa University

*2 Assistant Professor, Dr. Eng., Kanagawa University