

園芸用ハウスの内圧低下装置の開発

丸住製紙株式会社 ○井原 伸大

(研究当時高知工科大学 学生会員)

高知工科大学 フェロー 藤澤 伸光

1.研究背景と目的 農家で使用されている園芸用のビニールハウスは、強風時の擦過によってフィルムが損傷し易いという弱点がある。機械的対策としては、防風網の設置や、フィルム自体を取付金具で緊張させるなどの方法がある。

換気扇を作動させることにより室内の空気が吸い出され、フィルムが骨組みに密着して安定になることを利用した空気力学的対策を取っている農家もある。そこで、自然の風の力を利用して室内の空気を吸い出し、動力を用いずに室内圧を低下させフィルムを安定化することも可能と考えられる。本研究では、そのような装置の実現可能性を検討した。

2.換気扇使用時の室内圧の測定 装置の開発に先立って、換気扇使用時のハウスの室内圧を計測し、フィルム安定化効果を実証するとともに、装置開発の目標とすべき値の目安を得ることとした。計測したハウスは5棟の連棟形式で、それぞれに換気扇と空気口が1個ずつ設置されている。窓などを全て閉めた状態で換気扇を2個回し、空気口は2個開けた状態で計測した。空気口を開けたのは、閉鎖状態で換気扇を使うと、内圧が過小となりフィルムなどに損傷を与える虞れがあるからである。

換気扇を作動させると、空気口を開けているにもかかわらず目視でもフィルムの安定化が認められ、農家の経験が実証された。換気扇作動時の室内圧測定には自作の傾斜マノメータを用いた。また、換気扇作動時の風速も計測し、風速の実測値から一時間当たりの流量を推定した。

測定された室内圧と外気圧の差は、 $2.45\text{mmH}_2\text{O}$ であった。また、換気扇作動時の風速は 1.89m/s であった。換気扇の直径は 1m で、流量は、 $1.89 \times \pi \times 0.5^2 = 1.484 \text{ m}^3/\text{s} = 5343.8 \text{ m}^3/\text{h}$ と推定された。換気扇は5棟に対して2個用いたので、1棟当りの流量は $2 \times 5343.8 / 5 = 2137 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。

以上から、圧力ベースで考える場合は $2.45\text{mmH}_2\text{O}$ の圧力差を、流量ベースで考える場合は $2137 \text{ m}^3/\text{h}$ を内圧低下装置開発に当たっての目標の目安とすることとした。

3.内圧低下装置の評価方法 室外からハウス内を通して圧力低下装置までの流線を考えれば、室内圧と外気圧の差は、室外から間隙や開口などを通して室内に流入する際の損失に他ならないことが分かる。間隙や開口の寸法や形状は様々であるから、結局、圧力ベースで圧力低下装置の評価を行うのは不可能と結論される。2章での計測時に空気口を開放していること、実測した圧力差も $2.45\text{mmH}_2\text{O}$ とさほど大きなものではなかったことから、室内圧は大気圧にほぼ等しいと考えることとする。この場合、フィルム安定化効果を直接には評価できないから、代わりに換気扇と同等な流量を流せれば、内圧が低下してフィルムが安定すると考えることとする。すなわち、内圧低下装置の圧力と大気圧、およびパイプの損失から定まる流量が目安とする流量に達すれば、本研究で目指すような装置の開発が可能であると判断することとした。

4.内圧低下装置の開発

4.1開発の手順 本研究では、低圧発生メカニズムを踏まえた上で、数値流体解析で内圧低下装置の概略を検討する。検討の結果、実用化の可能性が高いと判断された装置について、模型を作成し、風洞実験によってその効果を検証することとした。

4.2内圧低下装置の試行 幾つかの可能性のありそうな装置を考え、流体解析ソフトCFD2000を使って、周辺流れと表面圧力の解析を行なった。

最初に、航空機の翼の原理を参考にし、同じ形のものを対面に配置することによって、間隙に流れが収束してさらに低い圧力が発生することを期待した。これを、以下MODEL-1と呼ぶ。MODEL-1の解析結果を図1に示す。左の図の矢印は速度ベクトルである。右図ではモデル表面の圧力を色で示している。期待したように2枚の翼形モデルの間に流れが収束しているようにも見えるが、低圧は間隙中央ではなく、下流側に発生している。従って、このモデルに発生する低圧は後流によるものが主体であって、期待したような流れの収束によるものではないと思われる。おそらく抵抗の大きい間隙に流れ込むよりも抵抗の小さい周辺に気流が回り込むような現象が発生しているものと推測される。

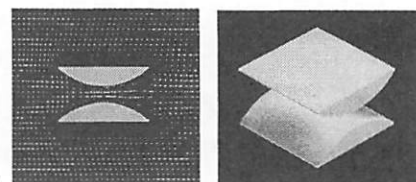


図1 MODEL-1

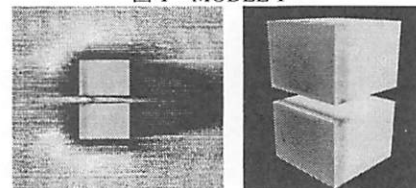


図2 MODEL-2

次に高層ビルの間で圧力が下がる現象に着目して、2個の立方体からなるMODEL-2を考えた。解析結果を図2に示す。図から、間隙の上流端にかなり低い圧力が発生していることが分かる。このことは、MODEL-1に比べて遥かに抵抗が大きいように見える狭い間隙に高速流が流れ込んでいることを意味する。左図から、2個の立方体が1個の大きな後流を発生させていることが明らかである。したがって、間隙中の流れは上流側から押し込まれて発生しているのではなく、モデルの右側の低圧の後流が流れを引き込んだために発生したものと考

えられる。

対面する曲面間に流れを収束させるというMODEL-1のアイデアと、後流の低圧を利用して間隙に流れを引き込むというMODEL-2の原理を組み合わせさせてMODEL-3を構築した。結果を図3に示す。意図した通り、間隙中央に低圧が発生しており、内圧低下装置開発の目処が得られた。解析から得られた圧力係数を表1に示す。

立方体をベースにしたモデルでは風向の影響があるので、実用化にあたっては、円柱をベースとして球面を組み合わせるのが適当と考えられる。このように曲面が多い物体の解析モデル作成には多大な時間を要すること、解析から得られる圧力と実験値が定量的には一致しないことも少なくないことから、円柱をベースにしたモデルについては解析を行わず、模型を作成して実験によって効果を調べることにした。

4.3内圧低下装置の風洞試験 前節で述べたMODEL-3、およびこれを円柱ベースに改良したMODEL-4について、風洞試験用の模型を作成した。作成した模型を写真1、2に示す。MODEL-4の直径は46mm、MODEL-3の1辺は約50mmである。MODEL-4は市販のキッチンウェアを利用して作成したので、頂部は半球となっている。2個の同じ形の模型を正対させ、片側の模型の頂点には圧力を導くためのチューブを設けている。また、間隙を調整できるように、2個の模型はボルトで結合した。

風洞内に模型を設置し、模型の圧力を計測するための導圧チューブを差圧計に接続した。基準圧は模型直上に設置したピトー管の静圧とした。模型の圧力測定にピトー管を用いたため、圧力の基準となる速度圧を計測できないので、風洞送風機の回転数を目安とし、別途測定されている回転数と速度圧の関係を用いて、最終的に内圧低下装置の圧力係数を算定した。

4.4試験結果 先ず、上下の模型の間隔の影響を調べた。間隔を1mmから10mmまで1mm毎に変化させて圧力を計測した結果、間隔が圧力に及ぼす影響は小さいことが分かったが、試験した範囲では間隔3mmの時の圧力が最も低かったため、この間隔で評価することとした。

MODEL-3、4の圧力計測結果を表2に示す。表の最下段はMODEL-3の圧力に対するMODEL-4の圧力の比である。表から明らかなように、MODEL-3の圧力の方が低く、内圧低下装置としての性能が良いことが分かる。MODEL-3は方向性を有するので、特定の風向に対してMODEL-4より高性能となることは当然とも言える。両モデルの圧力の比は風速の増加とともに1に近づいている。この理由は定かでないが、レイノルズ数の影響が現れた可能性が高いのではないと思われる。いずれにせよ、両モデルの差は極めて大きいというほどではない。MODEL-4は風向の影響を受けないという大きなメリットを有することを考えれば、内圧低下装置としてMODEL-4を用いるのが適当と判断される。

圧力計測時には、チューブ内の空気は静止状態にあり、内圧低下装置として空気を送るという動作はしていない。そこで、最後に、MODEL-4を用いて空気を吸出し、その流速から目標流量を達成できるか否かの検証を試みたが、風洞内外の静圧差が大きく、流速測定用ベンチュリー管が正常に作動せず、流速測定は断念した。

5. 流量の試算 事前の計測によれば、1000rpm時の風速は9.5m/sであった。よって速度圧は $(1/2)\rho U^2 = (1/2) \times 0.125 \times 9.5^2 = 5.640 \text{ mmHg}$ 。従って、圧力係数は $C_p = 3.217 / 5.640 = 0.570$ となる。静圧より低い圧力であるから負値 $C_p = -0.570$ となり、解析値-4.8の1/8という結果となった。模型精度の問題や、解析における乱流モデルの問題などが理由と思われる。

以上の結果を用いて実物サイズでの流量を試算した。条件は圧力係数 $C_p = -0.570$ 、風速 $U = 10 \text{ m/s}$ 、パイプ直径 $d = 0.25 \text{ m}$ 、長さ $L = 5 \text{ m}$ とした。パイプの摩擦損失係数は収束計算の結果、 $f = 0.01424$ となった。以上の数値を用いて流量を求めた結果、一時間当たり流量は $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ となり、目標値 $2137 \text{ m}^3/\text{h}$ をクリアすることが分かった。

6. 結論 農家が経験している換気扇によるフィルムの安定化効果は、実測によって検証された。

流線収束だけに頼る低圧発生には限界がある。後流の低圧部による流れの引き込み効果を組み合わせた装置とすれば、風向の影響を受けずに安定に低圧を発生させる装置の開発が可能である。

今回提案したモデルによれば、フィルム安定化に必要な流量を実現できる可能性がある。

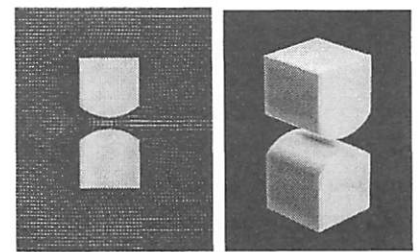


図3 MODEL-3

表1 MODEL-3の圧力係数

場所 (座標)	圧力係数 C_p
前面(1.2,1.2,1.45)	1.0
間隙中心(1.45,1.5,1.4)	-4.8
背面(1.7,1.2,1.45)	-0.6

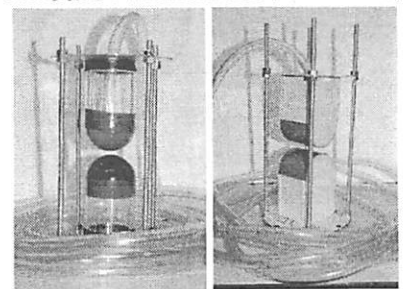


写真1 MODEL-4 写真2 MODEL-3

表2 圧力測定結果

回転数	600rpm	800rpm	1000rpm
MODEL-4	1.075	1.984	3.217
MODEL-3	1.722	2.677	3.868
M-4/M-3	0.62	0.74	0.83

単位は mmHg