

窓の耐風設計について

石 崎 潑 雄

PROBLEMS IN THE DESIGN OF WINDOW AGAINST WIND PRESSURE

By *Hatsuo ISHIZAKI*

Synopsis

The wind resistant design of exterior cladding of the building is now a significant problem for structural engineers. Especially the design method of window glass has become very important from the economic standpoint but the method has not yet been generally established.

It is not so simple to assess the deflection of window glass under wind loading, because the deflection is caused by the bending and the membrane action of the glass. The experimental results of the strength of glass are scattered and the cause of the glass failure is complicated. On the other hand, the design wind pressure must be determined from some data of experiments in wind tunnels and on real buildings. In the paper, how the design wind load on the window glass can be estimated and how the deflection and the strength under given wind load can be obtained, are given.

1. ま え が き

近年、板ガラス製造技術が著しく発展し、建築物の窓面に大きなガラスが使用されるようになり、また建物の高層化に伴って窓ガラスの耐風設計の問題がきわめて重要になってきた。暴風時、飛散物によって窓ガラスが破損する問題はさておき、風圧力によってガラスが壊れないようにするには、ガラスの板厚を厚くすればよいことは当然である。しかし、不必要にガラスを厚くすることは、経済的な損失であり、特に最近における高層建物の場合には、わずかの板厚の相違でも、建設費に大きく影響する。このために高層建築物の窓ガラスについては耐風設計を行なうことが普通になってきている。しかし現在行なわれている設計方法は合理的とはいいがたい。これは、窓ガラスに加わる風圧の性質および板ガラスの強度等について、今日なお不明の点が多いからである。

この問題については、すでに Khan¹⁾, Koppes²⁾, Allen と Dalglish³⁾ 等の論文が発表されているけれども、一般に認められるような合理的な設計方法を示す結論には達していない。本論文では、具体的な設計方法を示すが、これは目下われわれのこの問題に関する知識において最も合理的と思われる一つの案で、従来示されているこの種の耐風設計方法にくらべれば、はるかに優っていると思われるが、今後の研究と知識の集積により、さらに改善されるべきものである。

窓の耐風設計においては、外力としての風圧力の性質と窓ガラスおよびこれを支持するサッシュ類の強度に関する性質が明らかでなければならない。風圧力は建物外壁の局部に加わる正圧、負圧および室内圧の組み合わせであり、これらの大きさおよび時間的変動の性質は複雑である。窓ガラスについては、その強度のみならず、風圧を受けたときのたわみ（撓み）や、振動も問題になる。サッシュ類の影響も微妙であるが、本論では窓ガラスの支持体が十分な強度と剛性をもつものとして、問題を取り扱う。

2. 窓ガラスの力学的性質

2.1 長方形板ガラスのたわみの略算法

板ガラスは材料力学的に見ると、荷重が加わったときその破壊に至るまで、ほとんど完全な弾性体である。従って、その変形あるいはたわみを理論的な計算で求めることができる。しかし、その計算は一般にさほど簡単ではないから、実用上はやや誤差を生じるような近似的なものでも、簡便な方法が必要である。よって以下には窓ガラスのたわみを求める略算法を示す。

建築物に用いられる大部分の板ガラスは長方形で、その 4 つの辺が支えられている。この板ガラスの面に垂直な荷重が加わればたわみを生じるが、通常の板ガラスの厚さはその寸法(辺の長さ)にくらべて、きわめて薄いから、相対的にたわみ量は大きい。この場合、板ガラスの周辺の支持状態は完全固定でも、自由支持の状態でもなく、板の面内力によってすべり(こり)も生じるのが普通である。荷重が比較的大きくて、たわみも大きくなると、板内に生じる力は曲げ応力とともに面内の膜応力が生じることになる。Fig. 1 は周辺を支持された板ガラスの面に、空気圧による等分布荷重を加えてガラスの中央点のたわみを求めた実験

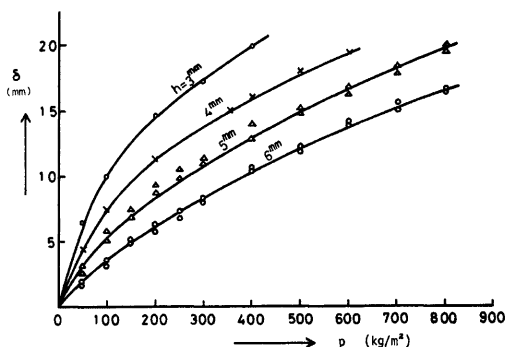


Fig. 1. Deflections δ at the center of the square glass 1 m $\times$ 1 m under the uniform load p . h : glass thickness.

結果の一例である。ガラスはほぼ完全な弾性体であるにもかかわらず、たわみの大きさは荷重に比例しないことがわかる。この傾向は板厚の薄いガラスほど著しく現われており、板ガラスの面内に膜応力の生じていることを示している。これらを考慮して板内の応力、あるいはたわみを計算で求めることは相当に煩雑である。

このような場合の略算法として古くから用いられている方法の一つは、板が面内力を負担する膜としての作用と曲げだけを受ける平板板としての作用が独立であると仮定し、単位面積あたりの荷重 p が膜として負担する荷重 p_m と平板板として負担する荷重 p_b とに分けられるとする方法である。荷重 p_m と p_b の割合は、板の中央点における膜としてのたわみ δ_m と平板板としてのたわみ δ_b が等しくなるようにする。すなわち

$$p = p_m + p_b \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta_m = \delta_b = \delta \quad \dots\dots\dots (2)$$

ところで、ガラスの短辺の長さを a 、板厚を h 、ヤング係数を E とすれば、膜としての荷重 p_m とたわみ δ_m との関係は理論的に

$$\delta_m = C_1 a \left(\frac{p_m}{E h} \right)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = \frac{h}{a}$$

C_1 : 定数

である。平板としての荷重 p_b とたわみ δ_b との関係は

$$\delta_b = C_2 a \frac{(1-\nu^2)}{E\lambda^3} p_b \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに ν : ポアソン比

C_2 : 定数

である。

(1), (2), (3), (4)式から $p_m, p_b, \delta_m, \delta_b$ を消去すると

$$-\frac{p}{E} = -\frac{\lambda}{C_1^3} \left(\frac{\delta}{a}\right)^3 + \frac{\lambda^3}{C_2(1-\nu^2)} \left(\frac{\delta}{a}\right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここでガラスの場合にはポアソン比 $\nu=0.25$ くらいであるから(5)式において ν^2 を省略し

$$-\frac{p}{E} = -\frac{\lambda}{C_1^3} \left(\frac{\delta}{a}\right)^3 + \frac{\lambda^3}{C_2} \left(\frac{\delta}{a}\right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

とすればやや簡単になる。

弾性学によって求められている定数 C_1, C_2 の値は次表のとおりである。

Table 1.

辺 長 比 b/a	C_1	C_2
1.0	0.80	0.0487
1.5	0.95	0.0926
2.0	1.03	0.1216
2.5	1.05	0.1379
3.0	1.07	0.1468

b : ガラスの長辺の長さ

この表中の C_1, C_2 の値を(6)式に入れて、荷重 p の大きさから δ を求めても、実際の値とはあまりよく一致しない。よって、多くの板ガラスのたわみ試験を行ない、荷重 p とたわみ δ の実測値が一致するように C_1, C_2 をきめるのが一つの方法であると思われた。辺長 1m から 3m, 板厚 3mm から 15mm, 種々の辺長比の板ガラスについて実験を行なった結果、荷重 p と板ガラス中央点のたわみ δ との関係が(6)式で表わせるものとして C_1, C_2 を定めれると、 C_1, C_2 は辺長比に対しやや複雑に変化する。しかし辺長比が 1 から 2.5 の範囲内では、近似的に

$$C_1 = 0.5 \left(\frac{b}{a}\right) + 0.3 \quad C_2 = 0.08 \left(\frac{b}{a}\right) - 0.025 \quad \dots\dots\dots (7)$$

窓ガラスの形状が特に細長い場合でない限り、荷重 p が与えられたとき、この C_1, C_2 を用いれば(6)式から板ガラス中央点のたわみを求めることができる。ヤング係数 E の値は明確でない点もあるが、通常 $E=7.5 \times 10^8 \text{kg/m}^2$ 程度といわれている。また、ここに求められるたわみはガラス自体による変形にもとづくものであるから、これを支持する枠がある程度以上剛でなければならない^{4),5)}。

2.2 窓ガラスの固有振動周期

窓ガラスの動的性状を表わす一つの重要な因子は、固有振動数である。固有振動数が十分に高ければ、窓に加わる風圧変動により、窓ガラスに目立つような振動を生じることはないし、その耐風設計上、風圧変動による動的作用をほとんど考慮する必要がない。わが国に現存の高層ビルの窓ガラスを調査した結果によると、その固有振動数は約 10Hz 以上であり、いままでのところ動的な障害を生じていない。

種々の振幅に対する窓ガラスの固有振動数を求めることは、前節に述べたようなガラスの弾性的性質から、やや面倒であるが、微小振幅の場合についてこれを求めることは容易である。振幅が小さければ板ガラスに生じるのは曲げ応力が支配的であり、その振動は周辺支持の平面板の運動に近いものと見なせるからである。4 辺支持の長方形板の基本振動数 F を求める公式は

$$F = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D}{\gamma h} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ここに} \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

γ : ガラスの密度

である。この式によって求められる固有振動数が実際の建物の窓ガラスで測定された振動数にほぼ一致することが知られている。1 次固有振動数を求める略算法として F.R. Khan は次式を提案している¹⁾。

$$F = \frac{17.6}{\delta_s} \text{Hz} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに δ_s : 板ガラスの自重によるたわみ (mm)

前節で述べた方法により、板ガラスのたわみを計算すれば、(9)式により簡単に固有振動数を求めることができる。

2.3 板ガラスの強度

(1) 一定荷重が加わる場合

板ガラスはその破壊に至るまでほとんど完全な弾性体であるにもかかわらず、その強度には、ばらつきが多く、これを決定することがむずかしい。その理由は、ガラスの破損というものがガラス表面上の非常に小さな亀裂あるいはキズ (flaw) の部分に生じる応力集中にもとづくからであるといわれている。しかもこの flaw はその部分に加わる応力や水分によって腐蝕されるために、その形状や深さが変化し、载荷時間中にいわゆる静的疲労の現象を起こし、強度が低下する。また無载荷の状態では疲労が回復するようである。

このようなことから、窓ガラスの強度はその本来有している微小なキズや、工事中あるいは工事後に受けたキズの状態、あるいは湿度や温度等環境条件によっても影響を受け、これを理論的に求めることはほとんど不可能に近い。また、板ガラスの小さな試験片による実験結果から実物の窓ガラスの強度を推定することもむずかしい。実験的に求められた強度計算式としては、旭硝子株式会社の研究所が 1,000 枚以上の実物の板ガラスの破壊試験を行なった結果、次の公式を得た。

$$p = \frac{K}{A} \left(h + \frac{h^2}{4} \right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに p : 単位面積あたりの破壊荷重 (kg/m^2)

h : 板ガラスの板厚 (mm)

A : 板ガラスの表面積 (m^2)

K : 定数

この式は、通常の厚さの板ガラスについて、その支持体が普通の剛性を有している場合に適用されるもので、わが国において一般に用いられてきており、建設省告示 109 号にもこれが採用されているけれども、前述のような载荷による板ガラスの疲労の効果が考慮されていない。板ガラスに静的疲労現象が存在するとすれば、その強度は载荷時間の長短によって変化するはずである。次に、これについて若干考察を加えてみることにする。

ガラスの表面にある非常に小さな亀裂の先端が水分によって腐蝕される速度 φ は、その付近に引張応力 σ が存在するとき、次式で表わされる⁶⁾。

$$\varphi = \varphi_0 \exp \beta \sigma \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに φ_0 は応力が存在しないときに腐蝕される速度である。亀裂の付近には応力集中が起こるが、上式中の σ としてはこれを無視して、巨視的に見て、見かけ上その部分に存在すると考えられる応力を取ればよ

い。 β は温度その他によって多少変化する量であるが、一応ここでは定数と見なしておく。

亀裂の深さを δ で表わすと

$$\varphi = \frac{d\delta}{dt} \dots\dots\dots (12)$$

であるから、一定応力 σ が時間 t だけ加わったときの亀裂の深さ δ は(11)式から、

$$\delta = \varphi_0 t \exp \beta \sigma + \delta_0 \dots\dots\dots (13)$$

ただし、 δ_0 は載荷前の最初の亀裂の深さである。ガラスの破壊はこの亀裂が一定の深さ δ_B に達したときに生じると仮定すれば、一定の引張応力 σ が加わったとき、ガラスが破壊するまでの載荷時間 T は(13)式から

$$T = \frac{\delta_B - \delta_0}{\varphi_0 \exp \beta \sigma} \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{ここで } \delta_B - \delta_0 = k \dots\dots\dots (15)$$

とおくと

$$T = \frac{k}{\varphi_0 \exp \beta \sigma} \dots\dots\dots (16)$$

あるいは、時間 T だけ一定荷重が作用したときにガラスの破壊する応力の大きさ σ は

$$\sigma = \frac{1}{\beta} \ln \frac{k}{\varphi_0 T} \dots\dots\dots (17)$$

この式からわかるように板ガラスの強度は載荷時間の対数に比例して低下する。

この事実を考慮し、実験結果にもとづいて(10)式を修正し、板ガラスの強度計算式を求めると次のようになる。

$$p(T) = S \frac{h}{a} \left(1 + K \frac{h}{b} \log \frac{10^n}{T} \right) \dots\dots\dots (18)$$

$p(T)$: 単位面積あたりの破壊荷重

T : 載荷時間

a : 板ガラスの短辺の長さ

b : 板ガラスの長辺の長さ

h : ガラスの板厚

S, K, n : 定数

一般に窓に用いられる実寸の板ガラスの実験結果に適合するように、定数 S, k, n をきめると 次のような値になる。

$$S = 3.5 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 \dots\dots\dots (19)$$

$$K = 70, \quad n = 7 \quad (T \text{ の単位は秒})$$

S の値はガラスの種類によって変化する。これらの値を用い、(18)式で求められるガラスの強度は平均強度である。しかし前述のようにガラスの強度はばらつきが大きいから、実際の窓ガラスの設計上はこの計算式に若干の安全を見込まねばならない。よって荷重 $p(T)$ が与えられたとき(18)式の右辺に定数 f を乗じてガラスの板厚 h を決定する。この定数を仮りに強度係数と呼んでおく。この値は問題とするガラスの破損確率によって変化する。安全率と呼ばれる係数の逆数になる。ただしここでいう安全率とは、他の材料力学の分野で用いられている安全率とは意味が異なる。平均強度の場合、すなわち破損確率 0.5 の場合が安全率 1 に相当する係数である。多くのガラスの破壊実験を行なうと、その強度の分布はほぼ正規分布に近い形となりわが国における種々のガラスの破損確率と強度係数、安全率の関係は次表のとおりである。

以上の強度係数を導入し、 k, n の値をきめて、板ガラスの強度計算に用いられる式を求めると

$$p(T) = f S \frac{h}{a} \left(1 + 70 \frac{h}{b} \log_{10} \frac{10^7}{T} \right) \dots\dots\dots (20)$$

(T の単位は秒)

Table 2.

強度係数 f	安 全 率	破損確率
1.00	1.0	0.5
0.67	1.5	0.09
0.50	2.0	0.01
0.40	2.5	0.001
0.33	3.0	0.0001

が得られる。

(2) 疲労の蓄積効果

強風時、窓面に加わる風圧力は一定ではなく、時間的に変動し何時間か継続する。台風時を考えるならば、相当に強い風圧の作用が少なくとも数時間は働らく。従って窓ガラスが風圧によって破損する場合には、破損時刻より以前に作用した風圧によってガラスの疲労が進んでいたと考えられる。もちろん、台風時の風圧力は台風が来襲して以後、時間とともに一様に増大するわけではなく、増大したり減少したりする変動を繰り返し、ガラスの強度を次第に弱めているわけである。従って耐風圧強度によって窓ガラスの板厚を決定する場合に、予想される最大風圧力の大きさとその継続時間から(20)式を用いたのでは不十分である。すなわち、最大風圧作用時以前に加わった風圧による疲労にもとづく板ガラスの強度低下を考慮しなければならない。この強度低下が実際、どの程度の量であるかを実際に求めることはむずかしい。そこで、建物の窓面に加わる台風時の風圧記録を用い、Shand の理論による疲労蓄積⁷⁾、すなわちガラスの強度低下を計算によって求めたところ、約10%程度ということになった。この計算例は一つしかないから、あまり正確な値とはいえないが、ガラスの破壊前の疲労による強度低下は、さほど大きくないので、場合によっては、これを無視できるであろう。

以上は一回の台風時のみを考えたわけであるが、もし建物が古ければ大きな風圧力を受けた経験も多いはずである。従ってこのような、たとえば数年以前に作用した風圧によるガラスの疲労も考慮しなければならないわけであるが、ガラスというものは一度大きな荷重を受けて疲労を生じても、長時間の間には強度を回復するようであり、このような疲労およびその回復については今日なおよくわかっていない。目下のところ、古い窓ガラスの強度が下がっていると実証された例もないようであり、ここでは、この問題を除外することとした。

3. 窓ガラスに作用する風圧

建物に加わる風圧変動と、これによって生じる窓ガラスの変位応答はほとんど同じような性状を有する。これは通常の窓ガラスの固有振動周期が相当に高く、こまかい風圧変動に対しても窓ガラスの変位が追隨して生じるためである⁹⁾。ときには窓ガラスの自由振動と思われるものが観測されることもあるが、その振幅はガラスの全体的なたわみ量、すなわち静的な変位にくらべてはるかに小さい。従って窓ガラスの耐風設計上、これに加わると考えるべき風圧力としては、その動的作用を無視してその最大値だけを問題とすればよいであろう。ただし、最大風圧力といっても板ガラスの強度の性質上、その作用時間は問題となる。この作用時間は最大風圧力の大きさを定めるための評価時間(平均化時間)である。通常、窓面に作用する風圧力の大きさは、その評価時間の長さをどのくらいにとるべきかということはきわめて重要である。他方、風の乱れの性質から見て、ある瞬間に窓面全体に加わる風圧の大きさの分布は一様ではないはずであるが、通常の窓の窓の大きさはせいぜい一辺の長さが2~3m程度であるから、この範囲内では風の乱れによる風圧分布の不均一は無視できると考えられている。

窓面に加わる風圧力は建物全体から見れば、その外壁面の一部に加わる局所的な風力である。これの大き

さを表わすのに用いられている方法は、風圧係数に速度圧を乗じることであるから、評価時間に対する風圧力の変化を表わす場合、風圧係数、速度圧の両方が評価時間に対して変化するとした方がわかりやすい。最近における多くの風洞実験によれば、建物の上部の平均風速にもとづく速度圧を用いて風圧係数を求めるのが普通であり、自然風の性質上瞬間的な速度圧というもののがきみにくい量であるとともに、建物の壁面に作用する負圧の大きさと自然風中の乱れとの関係も把握しにくいという事実から、風圧係数が評価時間に対して変化するとした方が単純であり、容易である。

Fig. 2 はある建物の窓に取りつけられた風圧計の記録から、建物上部に加わる10分間の平均速度圧を用いて、窓に加わる風圧力を風力係数に換算し、評価時間に対する変化を求めた一例である⁹⁾。この窓面は、

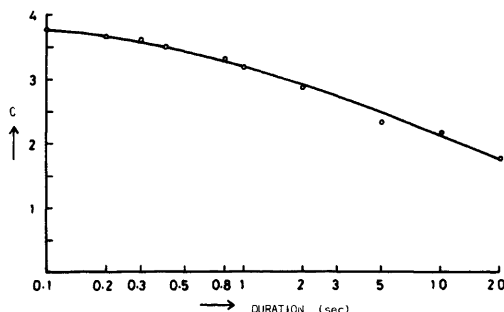


Fig. 2. Wind pressure variation with duration; pressure on the windward wall.

ほぼ風上面で正圧の作用する場合であり、風圧力としては建物内外の圧力差を測っているから、これがそのまま窓ガラスに加わる風力の大きさとなる。この図からわかるように、窓に加わる正圧は評価時間を短かくすれば次第に大きくなるけれども、ある評価時間以下ではあまり増大しない傾向を示す。すなわち評価時間に対する風力係数の曲線は左方よりゆるやかな勾配となる。この曲線の形状は、建物の大きさや形状、あるいは窓の位置によって多少変化するが、正圧の場合にはすべて似たような傾向を示す。

建物の外壁面に作用する負圧の大きさ、またその変動のし方は複雑である。特に建物風上隅角部付近にはいちじるしく大きな負圧の作用する場合があり、またわずかな風向の変化によりその大きさが急激に変化する。一般に建物側面、いしかえると風向に平行に近い外壁面に作用する風圧はその壁面上の分布も時間的な変動も複雑であり、設計上、その大きさを決めるににくい。これに対し風下側壁面、すなわち背面に作用する負圧は、その変動幅も比較的小さく、その大きさの分布もほぼ一様に近いようである。

以上のような理由から、建物外壁面に作用する負圧に関しては今日なお不明の点が多い。Fig. 3 は英国において Newberry 等が実物の高層建物の実験から得た負圧の大きさを多少書き直して風圧係数 C の評価時間に対する関係として表わしたものである⁹⁾。風圧の大きさはある幅をもって表わされているが、これは評価時間に対し風圧力を単一の値では示しにくいからであろう。

窓ガラスに作用する設計用風圧力を決定するには、建物外面に働らく外圧のほか、室内圧も求めておかななくてはならない。通常、風洞内の模型実験では外圧に対する係数しか求められないからである。しかし実物建物について室内圧を測定することは困難なために、設計用の室内圧をきめるためにも今日資料が不足である。諸外国あるいはわが国における耐風設計の規定では室内圧係数を ± 0.2 とすることになっているものが多いけれども、室内圧も評価時間に対し変動するし、最近の建物は密閉度が高くなっているから、短かい評価時間に対する室内圧係数は、場合によって小さすぎるかも知れない。いずれにせよ、室内圧に関しては今後さらに研究する必要があると思われる。

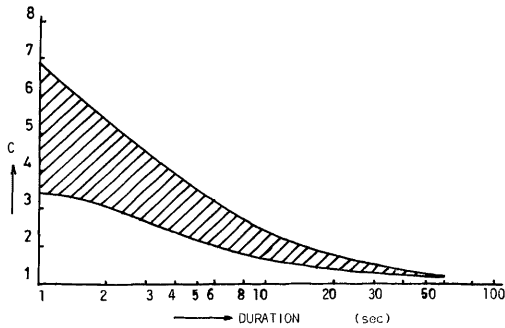


Fig. 3. Wind pressure variation with duration; negative pressure or suction on the wall. Modified result obtained by Newberry et al.

4. 耐風設計による窓ガラスの板厚の決定

以上述べたように、窓ガラスの板厚を決定するに際しては、これに働く風圧力についても不明な点が多い。しかし目下われわれの知識の範囲内において最も合理的な板厚決定について考えてみる。

Fig. 4 は横軸に対数目盛で時間を取り、縦軸に圧力の大きさをとって風圧と板ガラスの強度との関係を示したものである。A は風圧を表わす曲線で、評価時間に対する変化を表わしている。B の直線は板ガラス

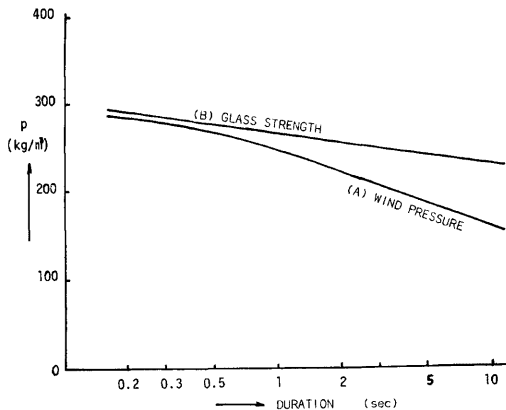


Fig. 4. Wind pressure and glass strength.

の強度を(18)式に則して表わしており、この場合の横軸は荷重の作用時間である。B の直線が A の曲線より上にあれば、板ガラスは A で示される風圧力に耐えることとなり、窓ガラスは安全である。そのように板ガラスの板厚をきめればよい。このための最小板厚は、B の直線が A の曲線に接する点で決まる。すなわち評価時間 0.5~1sec に相当する最大風圧力をきめ、他方、この時間を載荷時間とする板ガラスの耐力が最大風圧力の値を越えていればよい。この考え方にもとづく簡単な計算例を次に示す。

窓の大きさ	1.5m×2.0m
建物頂部の10分間最大風速	30m/sec
設計風圧の評価時間	1sec
風力係数	C=4
空気密度	1/9kg sec ² /m ⁴

を仮定すると、速度圧 q は

$$q=50 \text{ kg/m}^2$$

窓に加わる風圧力 p_1 は

$$p_1=4 \times 50=200 \text{ kg/m}^2$$

(20)式に $f=0.33$, $S=3.75 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$, $h=0.8\text{cm}$, $T=1\text{sec}$, $a=150\text{cm}$, $b=200\text{cm}$ を入れて求められる板ガラスの耐力 p_2 を求めると

$$p_2=220 \text{ kg/m}^2$$

となる。従って

$$p_2 > p_1$$

となり、この場合ガラス厚を 8mm とすれば安全であることになる。次に(7)式に辺長 a, b の値を入れると

$$C_1=0.97, \quad C_2=0.082$$

風圧力 $p_2=200 \text{ kg/m}^2$ の加わったときの、ガラス中央のたわみ δ は(6)式から

$$\frac{\delta}{a}=8.5 \times 10^{-3}, \text{ あるいは } \delta=13\text{mm}$$

ただし $E=7.5 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ と仮定する。

ガラスの密度を $\gamma=2.55 \times 10^{-6} \text{ kg-sec}^2/\text{cm}^4$ 、ポアソン比を $\nu=0.25$ と仮定すると(8)式から

$$F=14\text{Hz}$$

となる。

5. む す び

本文に示した窓ガラスの耐風設計法は目下のところ、最も合理的に近い形のものであると信じる。その計算方法もさほど面倒なものではない。しかし、冒頭でもふれたように、建物の外壁局部に加わる風圧についても、板ガラスの強度についても、いまだ不明な点が多い。今後の研究が必要である。なお本文に引用した板ガラスのたわみに関してはセントラル硝子株式会社において、板ガラスの強度に関しては旭硝子株式会社において、その実験と結果の検討が行なわれたものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) Khan, Fazler R.: A Rational Method for the Design of Curtain Walls, Proc. of the Design Symposium held at Northwestern University, Evanston, Illinois on March 23, 1970, pp. 145-174.
- 2) Koppes, Wayne F.: Design Wind Loads for Building Wall Elements, Building Science Series 30, National Bureau of Standards (US), November 1970, pp. 9-18.
- 3) Allen, D. E. and W. A. Dalglish: Dynamic Wind Loads and Cladding Design, The preliminary Publication of the International Association for Bridge and Structural Engineering Symposium held in Lisbon. 1973, pp. 279-285.
- 4) 石崎澄雄・堀江洋一：板ガラスの変形と応力について，日本建築学会論文報告集，第172号，昭和45年6月，pp. 19-25.
- 5) 石崎澄雄・堀江洋一：長方形板ガラスの変形と応力について，日本建築学会論文報告集，第185号，昭和46年7月，pp. 8-14.
- 6) Doremus, Robert H.: Glass Science, John Willey & Sons, 1973, p. 300.

- 7) Shand, Errol B.: Experimental Study of Fracture of Glass II, Experimental Data, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 37, No. 12, Dec. 1954, pp. 559-572.
- 8) 石崎澄雄・室田達郎・吉川祐三：自然風を受けたガラスの挙動について，構造物の耐風性に関する第 2 回シンポジウム，1972年12月，pp.67-71.
- 9) Newberry, C. W., K. J. Eaton and J. R. Mayne: The Nature of Gust Loading on Tall Buildings, Current Papers, Building Research Station, England, Aug. 1968.