

### 3. ま と め

今回の地震による窓ガラスの被害状況についての調査結果を主にグレーディング形式の違いとの関連においてとりまとめたが、ガラスの状況についての特徴としては、建物の被害状況との関連は別として、ガラスの破損が著しい建物がある一方で、全面ガラス張りのカーテンウォールにおける被害がほとんど見られなかったことが挙げられる。

#### 3-1 窓ガラスの耐震設計

窓ガラスの耐震設計については、1978年10月に建設省告示109号の改正で、3階建て以上の建物の帳壁に設けられたはめこり窓は網入りガラス以外硬化性パテ止めによる施工が禁止された。また、この規定の実施のための指針として、建設省住宅局建築指導課の監修のもとに(財)日本建築センターが発行した「帳壁耐震構法マニュアル 1979年版」の中に、板硝子協会の協力による「ガラスの標準施工法」が示されている。告示109号では高さ31メートルを超える建物のカーテンウォールの耐変形性（脱落を生じない）の限度1/150と規定している。

ガラスの標準施工法においては、建物の層間変位による窓枠の変形によりガラスの破損が生じないように窓枠とガラスの間に所定のクリアランスを設けることとなっている。今回の地震により建物に加えられた力と建物の層間変位の関係については今後検証が進んでいくものと思われるが、ガラスの破損がみられなかった建物についてはガラスの標準施工法に定めた基準が有効に働いた成果であると考えられる。ガラスの耐震設計の基本的な考え方である、窓枠の変形によるガラスの破損条件については「地震に対する窓ガラスの安全設計」（昭和57年11月板硝子協会 編集・発行）に解説されているので以下に転載する。

#### —— 窓枠の変形によるガラスの破壊条件（耐震設計の基本的な考え方） ——

ガラス自身は破壊するまでの面内変形量は非常に小さく、事実上層間変位によって窓枠が変形したとき、窓枠とガラスとのクリアランスによる逃げによって変形を吸収することになる。このことはすでに述べたように周辺に逃げのないときの破壊変位が、きわめて小さいことから理解できる。

Bouwkampはこの現象を簡単な式で表わしている。この式は次に示すように窓枠内のガラスの可動範囲が層間変位によって平行四辺形になり、その平行四辺形の対角線の短い方の長さがガラスの対角線の長さに等しくなったときガラスと窓枠が接触し、ガラスが破壊するという考えにもとづいている。

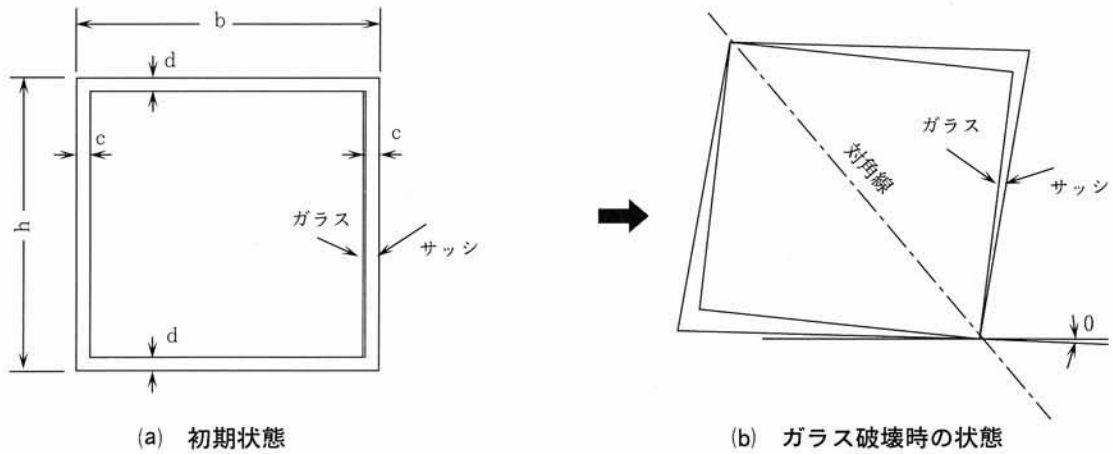


図 3-1-1 サッシ内のガラス破壊のメカニズム

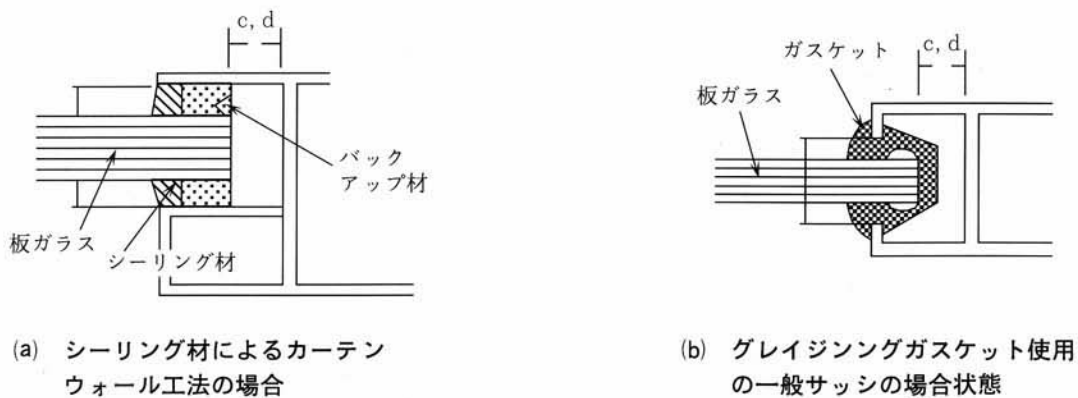


図 3-1-2 窓枠とガラスのクリアランス

$$\frac{\Delta}{h} = F \cdot \frac{2c}{h} \left( 1 + \frac{h}{b} \cdot \frac{d}{c} \right) + \theta \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta$  : 窓枠の許容水平変位

$\theta$  : 窓枠の水平軸回りの回転角

b, h : 窓枠内のガラス可動範囲の幅と高さ

c, d : ガラスと窓枠とのクリアランス

F : ガラスはめ込み工法による係数 (クリアランス効率)

層間変位1/150にもなるような強い変形を受けるとき、建物が塑性域に入ると、 $\theta$ は無視しうる程度となるが、弾性域であっても安全サイドをとって $\theta = 0$ と考えることが無難である。Fの値はクリアランスの有効度を示すものである。よくガラス破損を起す硬化性パテ止めるときクリアランスが実際上ないと等しいから $F = 0$ ということになる。クリアランスが最も有効に働く $F = 1$ の場合についてさらに話を単純にして $\theta = 0$ 、クリアランスは4周とも等しい ( $c = d$ ) とすれば、(1)式はつぎのように簡単な

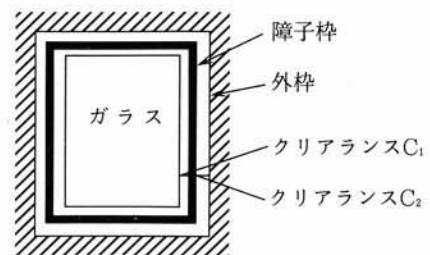


図 3-1-3 可動窓のクリアランス

式で表される。

$$\Delta = 2c \left(1 + \frac{h}{b}\right) \dots\dots\dots (2)$$

この式の第1項はガラスの水平移動に対応し、第2項は面内回転に対応する部分である。可動窓では図19に示すとおり外枠と障子枠との間に逃げ(C<sub>2</sub>)があり、簡単にいえばその逃げの分だけクリアランスが増えたと考えればよい(C = C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub>)

引違い窓等の場合、たとえばクレセントで固定していないときはC<sub>2</sub>は十分大きいことと同じであり、ガラスと障子枠の間にクリアランスがなくても障子枠と外枠との間で逃げがあって層間変位によって破損することは殆どないと考えられるが、クレセントで固定されている場合、外枠が変形して障子に力が作用するが、これは集中的にクレセントに剪断力として働く。ガラスの破壊時の剪断力は通常数百kgであるから、このような力が発生する以前にクレセント部分が変形乃至は破壊してしまい、クレセントで固定されていても実際には十分逃げがあると考えてよいようである。この点については実験によっても確かめられており、まだ現実にはほとんど被害のないことを考え合えると妥当な考えといえる。

なお、近年の実験例によれば、特に厚さの厚い大寸法のガラスの場合に、ガラスの面内回転は実際上おこり難く、(2)式において、ガラスの水平移動2Cが完了した時にガラスが割れ、ガラスの面内回転2c × h/bがガラスの割れを防止することは少ない。

### 3-2 窓ガラスの破損原因と対応策

地震による窓ガラスの被害状況を主にグレーディング形式の違いとの関連においてとりまとめたが、地震による窓ガラスの破損を破損原因から考えてみると次の2つに分類することができる。

- ① 建物の変形がガラスに伝わることにより破損した場合
- ② ガラス面に加えられた衝撃により破損した場合

①の場合は建物の構造体と支持枠の関係やガラスと支持枠の関係などが大きな影響を与えているが、適切な施工をされた窓ガラスについてみれば被害程度は軽微であるといえる。実際に、建物の一部が圧壊した建物においても窓ガラスがほとんど被害を受けていない例も多数見られた。しかし、比較的震度が低い地域においても、窓ガラスの施工が不適切である場合には大きな被害を受けている場合が多い。ことに建物の被害がほとんどない地域においては窓ガラスが大量に破損した建物は際立った存在である。先に述べたように、窓ガラスのパテ止めによる施工は原則的には禁止されているが、いわゆる「既存不適格」として放置された状態の窓が多数残存している。今回の地震が早朝に発生したということから窓ガラスの破損、落下による人的な被害がほとんど問題になっていないが、パテ止め施工による窓ガラスの改修に対する早急な対応が要求される。

②は建物内部に原因物がある場合、すなわち室内の家具や備品が転倒したり、水平移動して窓ガ