B-15

四辺単純支持された建築用板ガラスの耐風圧強度に関する基礎的研究
(その1)ガラスのアスペクト比と板厚が破壊荷重に及ぼす影響の把握と許容耐力の評価

Basic Study on Wind Pressure Resistance of Architectlal Glass with Simply Support All Edges

(Part1)Grasp of Effect of Aspect Ratio and Thickness of Glass on the Breaking Load and Evaluation of Allowable Stress

○冨澤彩菜[3]，　岡田章[1]，　宮里直也[1]，　廣石秀造[2]，　吉野誠一[4]，　平野義洸[3]
*Ayana Tomisawa[3], Akira Okada[1], Naoya Miyasato[1], Shuzo Hiroishi[2], Yoshino Seiichi[4], Yoshihiro Hirano[3]

Abstract : In recent years, glass has been used for a number of buildings. However, glass has a non-structural member and the allowable stress of glass has not been defined in the Building Standards Law. For this reason, the design method for verifying the safety of glass against such damage has not been yet established. Based on the above situation, the authors performed wind pressure tests. Parameters setup in tests were aspect ratio and thickness of glass panel for the purpose of understanding breaking load and breaking properties under wind load using annealed glass. In addition, the applicability of the probability distribution based on results obtained from tests is examined.

1.はじめに

建築用板ガラス（以下「板ガラス」と称す）は外装材として多くの建築物で使用される材料である．しかし，板ガラスは建築基準法上で非構造部材として扱われており，設計基準強度(F値)が設定されていないのが現状である．現在，板ガラスの設計は以下に示す四辺支持の告示式[1]のみが定められている以外，明確な設計手法は存在していない．

$$P = \frac{300 \cdot k_1 \cdot k_2}{A} \cdot \left(t + \frac{t^2}{4} \right) \qquad (1)$$

なお各記号は，P:許容耐力[N/m²]，A:ガラスの見付面積[m²]，t:ガラスの呼び厚さ[mm]，k_1(強度係数):ガラスの種類に応じて定められた数値，k_2(構成係数):ガラスの構成に応じて定められた数値，である．

上記告示式は，アスペクト比(縦と横の長さの比率)の考慮がされていない他，約50年前に報告された実験[2]を基本としていることから，以下の問題点が挙げられる．

i)告示式の元となった実験は，現在主流のフロート板ガラスではなく，普通板ガラスを使用している．

ii)四辺支持のみに対する検討であり，現在の多様なディテール(支持構法)を反映していない．

iii)告示式における安全率の設定が不明である．

以上を踏まえ，既報[3]では板ガラス(板厚:t=3mm)のアスペクト比を検討項目として，風荷重時の板ガラスの設計手法の確立を目的とし，耐風圧試験を行った．本論では板厚:t=4mmに対して同様の耐風圧試験を行い，破壊性状の把握を行う．

2.耐風圧試験概要

風荷重時の板ガラスの破壊荷重及び破壊性状の把握を目的として，板ガラスの耐風圧試験を行った．

試験概要をFig.1に示す．試験体は短辺を540mm(支持間隔500mm)で一定とし，長辺の長さをパラメータとして，540mm(支持間隔500mm，アスペクト比1:1)，790mm(支持間隔750mm，アスペクト比1:1.5)，1040mm(支持間隔1000mm，アスペクト比1:2)の3種類とし，それぞれ板厚4mmのフロート板ガラスを用いた．なお，試験における安全性を考慮し，飛散防止フィルムを上面(圧縮側)に貼付した．試験環境は室温，大気中とし，試験ごとに温度(平均22℃)・湿度(平均55%)の測定を行った．載荷は吸引機能を持つ送風機を用いて，治具内部の空気を吸引し負圧にすることで，板ガラスに面圧を加えた．板ガラスの鉛直変位の測定は高感度変位計，治具内部の圧力は圧力計を用いて測定した．境界条件は，サッシを模擬した四辺単純支持とした．

試験はパラメータ毎に25体，合計75体について行った．

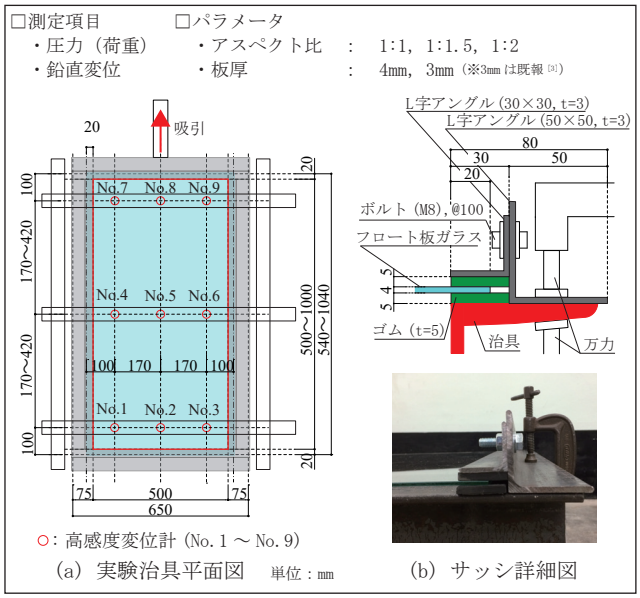


Fig.1 Outline of Experiment

1：日大理工・教員・建築　2：日大短大・教員・建築　3：日大理工・院（前）・建築　4：株式会社よしの

この内，各パラメータ1枚に3軸の歪ゲージを貼り，板ガラス上側表面のひずみを測定した．なお，1:1のみ試験機の性能上破壊に至らない試験体が2体あったため，23体の結果を示す．

３.耐風圧試験結果及び考察

3-1. 破壊荷重に関する考察

本試験の試験結果及び既報[3]の結果を用い，破壊荷重毎の破壊枚数の度数分布，パラメータ毎の平均破壊荷重をFig.2に示す．パラメータ毎に破壊荷重の標準偏差を比較すると，アスペクト比1:1.5(標準偏差4371)＞1:1(同3475)＞1:2(同3468)という結果となった．これは，アスペクト比が大きくなると，破壊荷重Wのばらつきが小さくなるというt＝3mmの既報の結果とは異なるものとなった．また，本実験ではアスペクト比1：1の1試験体が告示式から算出した許容耐力以下の荷重で破壊した．以上より，板ガラスにおいて，製作時にエッジ部分に形成される傷や，グリフィスフロー(板ガラス表面や内部にある微細な亀裂)は板厚に関わらず存在し，破壊荷重に影響を及ぼすことが示唆された．

3-2. ワイブル分布による破壊荷重の推定と検証

現状の板ガラスの設計は，通常メーカーが推奨する許容応力度に基いて実施されている．この許容値は，ガラスの破壊荷重の分布が対数正規分布で評価可能との仮定下で，設定破壊確率(例：短期許容応力度では1/1000)に相当する応力度から設定されたものである．しかし，既報[3]よりガラス特有の脆性破壊性状(無数に存在する欠陥の内の最弱のものが起点となり亀裂成長する破壊性状)には，ワイブル分布の方がより推定精度が高く，適用性が高いことが報告されている．以上より，前章の破壊試験結果についてワイブル分布で評価し，許容耐力(許容耐風圧)を求め，既往の許容値との比較を行う．

破壊試験で得られた破壊確率F(W)-破壊荷重W関係に対するワイブル分布をFig3に示す．なお，統計分布における実測値は，少数試験片について信頼性が期待されるメジアンランク法によって処理した破壊強度値をプロットした．ワイブル分布より求めた推定直線から破壊確率0.1%時の破壊荷重(以下，「ワイブル耐力」と称す)を算出し，告示式より算出した許容耐力と比較を行った（Table 1）．Table 1より，t=4mmにおいてもt=3mmと同様に全てのアスペクト比においてワイブル耐力が告示式による許容耐力以下となり，告示式の約60%～70%の大きさであることが確認された．また，告示式より求められる許容耐力ではt=3mmから4mmに厚さが増すと，面積に関わらず一様に1.5倍となるが，ワイブル耐力はアスペクト比1：1では1.0倍，1：1.5では1.5倍，1：2では1.2倍となり，アスペクト比により異なる傾向を示した．以上より，板ガラスの板厚の増加による強度の増加と比較して，ガラス内部に存在するグリフィスフローが破壊強度に及ぼす影響が無視できないオーダーであると推定できる．

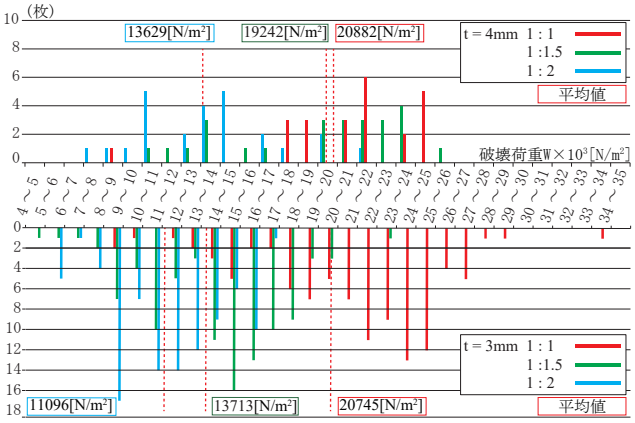
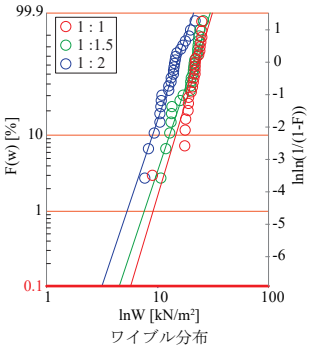


Fig.2 Distribution of the Breaking Load



ワイブル分布　推定直線式

$$F(w) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{w}{\eta}\right)^m\right]$$

ワイブル分布　推定母数値

アスペクト比	形状母数 m	尺度母数 η
1:1	4.97	22889
1:1.5	4.47	21136
1:2	4.42	14936

Fig.3 Breaking Probability- Breaking Load Relations

Table 1 Breaking Load of 0.1% of Breaking Probability [N/m²]

アスペクト比	t (mm)	告示式による許容耐力		ワイブル耐力	
1 : 1	3	6300	×1.5	5616	×1.0
	4	9600		5697	
1 : 1.5	3	4200	×1.5	2979	×1.5
	4	6400		4500	
1 : 2	3	3150	×1.5	2804	×1.2
	4	4800		3133	

※ワイブル耐力…ワイブル分布より求めた破壊確率0.1%の時の値

４.まとめ

本論では，既報を元にt=4mmの板ガラスの耐風圧試験を行い，以下の知見を得た．

1. 現状の告示式より求められる許容耐力がt=4mmにおいても危険側である可能性がある．
2. 板ガラスに存在する傷によるワイブル耐力は，板厚増加に伴う強度増加よりも影響が大きい可能性がある．

なお，本試験は試験体数が既往のt=3mmより少ないため，今後試験体数を増やして，より精度の高い分布から破壊荷重を求め，評価する必要があると考えられる．

５.参考文献

[1]平成12年5月31日建設省告示第1458号
[2]三好俊二:「ガラス板の耐風圧試験」，日本建築学会論文報告集 第100号，PP.13-18，1964.7
[3]村田雅也他：「四辺単純支持された建築用板ガラスの耐風圧強度に関する基礎的研究(その1)」日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅰ，pp.1033-1034，2016.8