

建築用板ガラスの破壊応力に関する基礎的研究 ガラスの面積と板厚が破壊応力に及ぼす影響の把握と確率分布の適合性の検討

Basic Study on the Breaking Stress of Architectal Glass

Grasp of Effect of Glass Area and Thickness on the Breaking Stress and Fitness Evaluation of Probability Distribution

○秋庭崇人⁴, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 吉野誠一³
*Takato Akiba⁴, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Seiichi Yoshino³

Abstract : In recent years, a glass panel has been used for a number of buildings. However, glass is treated as non-structural member, the design strength 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 damage has not been established yet. In this paper, from the looks of these situations, The static loading tests on plate with two simply supported edges is performed to ascertain the strength of glass. Furthermore, based on consideration of the destructive properties obtained from loading test, the fitness evaluation of probability distribution and verification of scale effect was verified.

1. はじめに

近年、建築用板ガラス（以下「板ガラス」と称す）は最大の特徴である透明性を活かし、ガラスファサードや屋根などへの大規模な適用事例が多くみられる。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。

また、脆性材料として扱われるガラスは、表面や内部に傷（グリフスフロー）が存在し、ガラスの強度に相当なばらつきが生じる。そのため、サプライヤーが数多くのサンプルについて破壊試験を行い、統計処理を行うことにより板ガラスの短期許容応力の推奨値を設定している。しかし、板ガラスは無数の亀裂のうち最弱欠陥を起点として破壊に至る最弱リンクモデルで表されるため、ワイブル分布による評価の適用性が高いと考えられるが、現状では欠陥の平均で表される対数正規分布での評価が一般的である。

このような状況を踏まえ、既報^[1]では、ガラスの強度を把握するため、2辺単純支持の静的荷重試験を行い、破壊性状の確認及び、破壊応力に対し統計処理による強度分布の精度と適合性の検討を行った。本研究では、既報より示唆されたガラスの寸法効果の確認及び、確率分布の適合性の検討を目的とし、単純支持梁の中央集中荷重試験を行った。

2. 単純支持静的荷重試験

2-1. 試験概要

板ガラスの破壊荷重、破壊応力、破壊性状、静的強度に対する統計分布の推定精度並びに寸法効果の把握を目的として、静的荷重試験を行った。

試験概要を Fig. 1 に示す。試験体は既報^[1]に用いられた長さ 700mm(支点間 600mm)×梁幅 100mm×板厚 3mm のフロート板ガラスを基準とし、板厚は 4mm と 6mm、梁

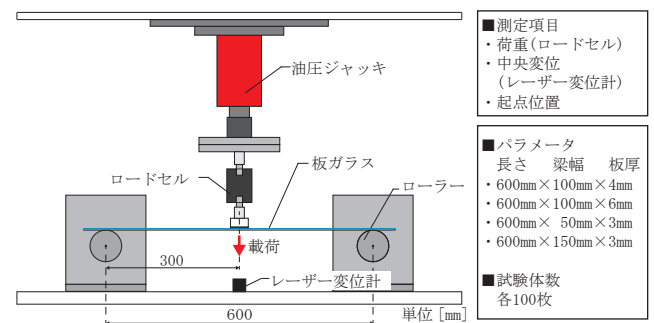


Fig.1 Outline of Experiment

幅は 50 mm と 150 mm とした。なお、試験における安全性を考慮し、飛散防止フィルム ($t=75\mu$) を試験体上面に貼付した。試験環境は室温、大気中 (温度平均 24℃、湿度平均 50%) とした。境界は 2 辺単純支持とした。また、荷重は中央 1 点の集中荷重とし、荷重速度が一定となるように油圧ジャッキを用いて行った。荷重はロードセル (1kN 級) を用いて測定した。試験は各 100 体、合計 400 体について行い、全ての試験体において破壊荷重、破壊起点距離を測定し、単純支持梁として数値計算により起点位置での発生応力を求めた。なお、2 つ以上起点が確認された試験体は、より安全に評価するために発生応力の小さい方の起点を用いて統計処理を行った。

2-2. 試験結果及び考察

本試験の試験結果及び既報^[1]の板厚 3mm の破壊応力毎の度数分布を Fig. 2 に示す。破壊応力の標準偏差を比較すると、板厚の変化では、3mm (標準偏差 11.0) > 4mm (同 9.0) > 6mm (同 7.6) という結果となり、板厚の増加に伴い破壊応力のばらつきは小さくなった。また、梁幅の変化では、50mm (同 12.2) > 100mm (同 11.0) > 150mm (同 7.2) となり、梁幅の増加に伴い破壊応力のばらつきは小さくなるのが把握された。

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

2-3. 確率分布の適合性の検討

板ガラスの設計に用いられる現行の許容応力度^[2]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のもとで設定した破壊確率(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、最弱リンクモデルで表されるガラスの破壊は、欠陥の平均で表される対数正規分布ではなく、ワイブル分布で評価されるべきであると考えられる。以上より、ワイブル分布及び対数正規分布の破壊確率 0.1% 時の破壊応力(短期許容応力)と平均破壊応力を比較し確率分布の適合性の検討を行う。

破壊確率 $F(\sigma)$ - 破壊応力 σ 関係のワイブル分布及び対数正規分布を Fig. 3 に、残差平方和(統計分布の適合性検定)及び、強度分布から求められる短期許容応力, 平均破壊応力を Table 1 にそれぞれ示す。なお、統計分布における実測値は平均ランク法により処理した値をプロットした。Table 1 の残差平方和より、パラメータによって強度分布の適合性は異なることが把握された。また、平均破壊応力は全パラメータにおいてワイブル分布と対数正規分布は近似した値を示した。しかし、破壊確率 0.1% 時の短期許容応力に着目すると、全てのパラメータにおいてワイブル分布は対数正規分布を下回っており、より安全側に評価しているワイブル分布がガラスの強度分布に適していると考えられる。

3. 寸法効果の検討

一般に、板ガラスは単位体積あたりの傷の存在確率が同等である時、試験体の体積が大きくなる程、強度は低下し、この現象は「寸法効果」と呼ばれる。そこで、寸法効果の検証を行う。Fig. 3, Table 1より、短期許容応力は、板厚変化の比較では $3\text{mm} > 4\text{mm} > 6\text{mm}$ となり、寸法効果を確認した。梁幅変化の比較では $100\text{mm} > 150\text{mm} > 50\text{mm}$ となり、150mm と 100mm では梁幅の増加による寸法効果を確認したが、梁幅 50mm のみ寸法効果を確認できなかった。梁幅 50mm では、破壊応力が低い試験体において、ひび本数が 1 本となる試験体が複数体存在した(Fig. 4)。他パラメータの低応力では見られなかった破壊性状のため異なる評価方法が必要であると考えられる。

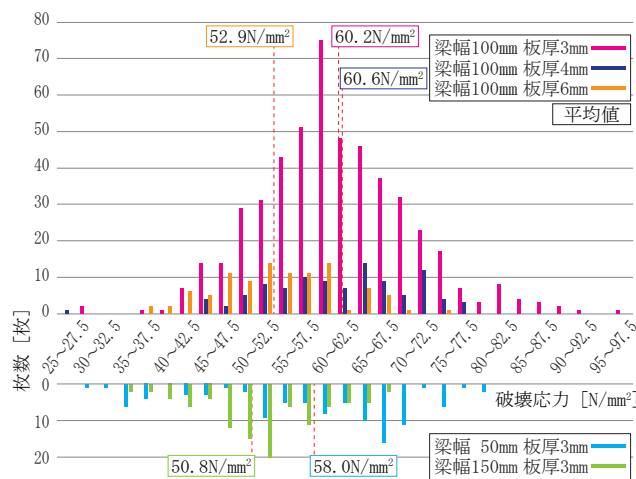
4. まとめ

本論では、既報を元に板厚, 梁幅を変更した板ガラスの静的荷重試験を行い、確率分布の適合性の検討及び、寸法効果の把握を行った。

今後の検討として、試験体及びパラメータの増加, 破壊性状の異なる試験体の評価方法の検討が挙げられる。

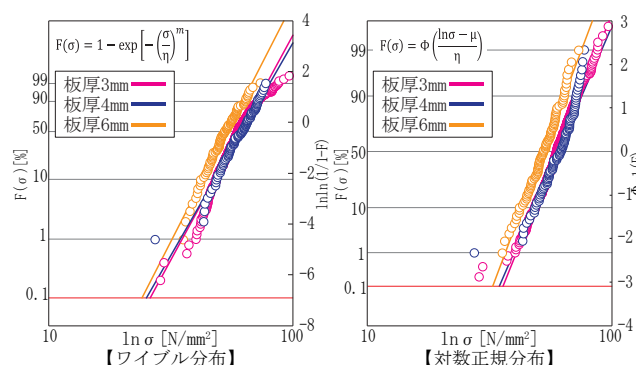
5. 参考文献

- [1] 富澤彩菜他: 「建築用板ガラスの破壊応力と破壊性状に関する基礎的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 751-756, 2017. 8
- [2] 旭硝子株式会社: ガラス建材総合カタログ技術資料編, p. 4-2-1, 2003. 12

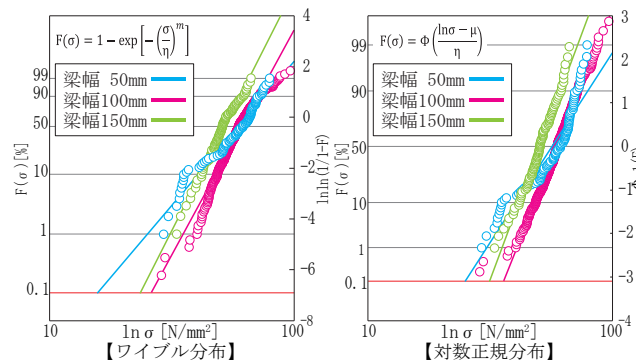


※梁幅100mm, 板厚3mmは既報^[1]の結果を示す

Fig.2 Distribution of Breaking Stress



(a) 板厚変化による比較(梁幅100mm)



(b) 梁幅変化による比較(板厚3mm)

Fig.3 Breaking Probability- Breaking Stress Relations

Table 1 The Residual sum of Sqares and Breaking Stress of 0.1% and Mean Breaking Stress

		残差平方和	短期許容応力 [N/mm²]	平均破壊応力 [N/mm²]
梁幅100mm 板厚 3mm	ワイブル分布	2182.2	26.1	61.0
	対数正規分布	431.0	35.8	59.4
梁幅100mm 板厚 4mm	ワイブル分布	153.7	25.1	61.5
	対数正規分布	843.8	34.6	59.8
梁幅100mm 板厚 6mm	ワイブル分布	118.4	24.0	53.6
	対数正規分布	73.8	32.6	52.3
梁幅50mm 板厚 3mm	ワイブル分布	678.4	15.7	58.8
	対数正規分布	3446.6	25.0	56.5
梁幅150mm 板厚 3mm	ワイブル分布	99.6	23.4	51.5
	対数正規分布	116.0	31.4	50.3



Fig.4 Glass Cracking