

建築用板ガラスの破壊応力に関する基礎的研究
クリープ試験による静的疲労特性の把握及びクリープ後荷重試験

Basic Study on Breaking Stress of Architectural Glass
Static Fatigue Characteristics by Creep Test and Loading Test after Creep Test

○酒井和章³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Kazuaki Sakai³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract :A glass panel has been used for a number of buildings. Glass is a brittle material with almost no plastic deformation and has breaking rapidly due to tensile stress. Glass has a unique property called “Static fatigue” is caused by the chemical reaction between glass and moisture in the environment. It is inevitable in normal usage environment. For this reason, static fatigue is thought to more important than dynamic fatigue, namely when designing a glass panel, it is necessary to consider static fatigue. However, in the design of architectural glass in Japan, it is common to ignore the effects of static fatigue including setting the allowable stress. From the above, The authors conducted a creep test for the purpose of grasping static fatigue.

1. はじめに

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に広く利用されている(Fig. 1).

一般に、ガラスは脆性材料(Fig. 2)であり、塑性変形をほとんど生じず、引張応力により急激に破壊する特性を有する。また、ガラスには表面や内部に傷(グリフスフロー)が存在し、小さな応力下であっても、材料中の傷が大きくなり、破壊する現象がある。一般に疲労は、繰り返し荷重などによる動的疲労を指すことが多く、ガラスに存在する傷が繰り返し荷重により進行し、疲労破壊する可能性が考えられる。これまでに岡田ら^[1]は、動的疲労特性の把握を目的とした繰り返し荷重による試験を行っている。

一方、ガラスには「静的疲労」という特有の現象が存在する。静的疲労は環境中に存在する水分とガラスの化学反応によって起こり、通常の使用環境では避けられないため、ガラスにおける疲労は動的疲労に比べて、静的疲労が重要と考えられている。このことから、ガラスパネルの設計時には静的疲労特性を考慮する必要があると考えられるが、我が国の建築用ガラスの設計においては、許容応力度の設定も含めて、静的疲労の影響を無視することが、一般に行われている。

以上を踏まえ、既報^[2]では静的疲労特性の把握を目的として、クリープ試験を行った。本報では、既報から継続して行ったクリープ試験の結果を報告する。また、クリープ試験を経て未破壊であった試験体は、傷が少なく、破壊応力がより大きくなるのが推察される。このため、静的荷重試験を行い、既報の結果と比較を行った。

2. クリープ試験

2-1. 試験概要

試験概要をFig. 3に示す。試験はおもりを荷重した板ガラスを対象として、破壊までの時間を、ビデオカメラ

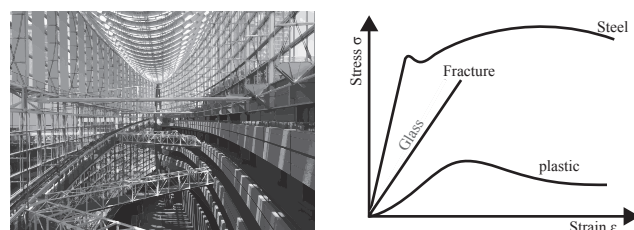
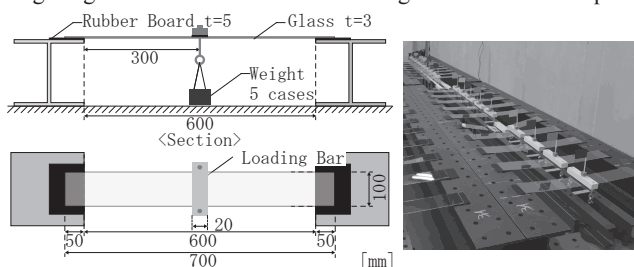


Fig.1 Eg. of Glass Architecture

Fig.2 Stress-Strain Graph



(a) Outline of Jig

(b) Photo of Test

Fig.3 Outline of Creep Test

にて計測することで行った。試験体は長辺700mm(支持間600mm)×短辺100mm×板厚3mmのフロート板ガラスを用いた。境界は、ガラスの短辺をゴム板を介して支持した単純支持とした。また、荷重はガラス中央部への一点集中荷重とし、試験体の最大応力が短期許容応力度となる24.5N(100%)を基準として、110%, 100%, 90%, 80%, 50%の5ケースとした。

2-2. 試験結果

試験体数及び破壊枚数をTable 1, クリープ試験より得られた破壊時間の度数分布をFig. 4にそれぞれ示す。なお、本報では破壊枚数が多かった110%, 100%, 90%の3ケースを対象として考察を行う。

24.5N(100%)の場合、100分以下で31.4%, 1,000分(約17時間)以下で74.3%, 10,000分(約7日)で80%の累積の破壊が生じている。同様に22.05N(90%)の場合は、5%, 20%, 60%の結果が得られている。これらは、ガラスを水平状態に

使用する際の積雪安全性を確保するための許容応力度設定のために有効な知見と考える。

破壊確率F(M) - 破壊に至る時間関係のワイブル分布をFig. 5に、推定直線より求めた形状パラメータm, 破壊に至るまでの時間をTable 2に示す. なお, 統計分布における実測値は, 少数の試験体に対して推定精度の高いメジアンランク法により処理した値をプロットした.

形状パラメータmは, 0.24~0.60と1以下の値となり, ばらつきが大きいことが確認された.

3. 静的載荷試験

3-1. 試験概要

非破壊試験体を対象とした静的載荷試験概要をFig. 6に示す. 試験体はクリープ試験において22.05N(90%), 19.6N(80%)を載荷し, 500,000分(約1年間)経過後も未破壊であったガラス各7枚を対象とした. 試験は中央部一点の集中載荷とし, 油圧ジャッキを用いて載荷速度が一定になるように配慮した. 支点間距離は600mmとし, 境界はローラーを用いて単純支持を模擬した. 全試験体に対して, 破壊起点位置を測定し, 単純梁と仮定の下, 破壊時における起点位置での発生応力を求めた. なお, 2つ以上の起点が確認された試験体は, より安全に評価するため, 発生応力の小さい方の起点を用いて統計処理を行った.

3-2. 試験結果

本試験及び未クリープの既報^[2]の結果をTable 3に併せて示す. 統計処理は, ワイブル分布に基づき算出した. 平均破壊応力は, 既報の結果の方が大きく得られている. 要因として, クリープ試験によりグリフィスフローが進展した可能性などが考えられる. また, 推定直線を算出し, その切片から破壊確率0.1%に相当する応力として求めた短期許容応力度に関しては, 既報および80%の結果に比べ, 90%の結果が一番大きく得られている. これは, 残差平方和の値が小さいことから, ばらつきが少なく, 平均破壊応力の58.9N/mm²付近での破壊が集中したことが原因と考える.

4. まとめ

本報では, 建築用板ガラスのクリープ試験結果及び静的載荷試験により, 以下の知見を得た.

- ・クリープ試験より, 経過時間が短期許容応力度に相当する応力を与えた10,000分(約1週間)以下で約70%の破壊が生じることが把握された. 今後, この性状を考慮して, 積雪時等の許容応力度の適切な設定が必要と考える.
- ・クリープ試験後の未破壊の試験体を用いた静的載荷試験より, 破壊確率0.1%に基づき求めた短期許容応力度は残差平方和が小さい90%の場合, その値が大きくなることが把握された.

今後, クリープ経過時間をパラメータとした比較や, 試験体数を増やし精度を上げた検討等を行う予定である.

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

Table 1 Number of Specimens and Fractured

Load Weight	26.95N (110%)	24.5N (100%)	22.05N (90%)	19.6N (80%)
Number of Specimens	10	35	20	10
Number of Fractures	9	30	13	3

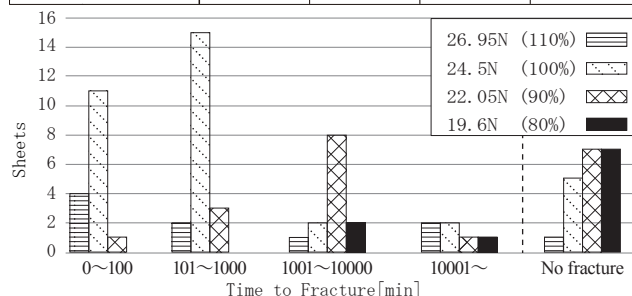


Fig. 4 Number Distribution of Fracture Time

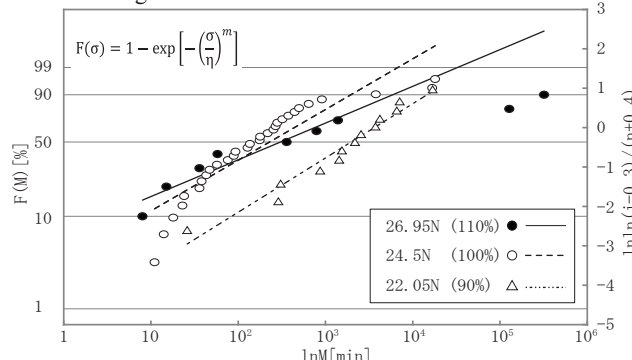


Fig. 5 Fracture Probability F(M) - Fracture Time Graph

Table 2 Geometry Parameter, Estimated Fracture time

Load Weight	26.95N (110%)	24.5N (100%)	22.05N (90%)
Geometry Parameter m	0.24	0.56	0.60
Fracture Time [min]	10% Failure Probability	6	84
	50% Failure Probability	16321	228
	90% Failure Probability	2500207	1953

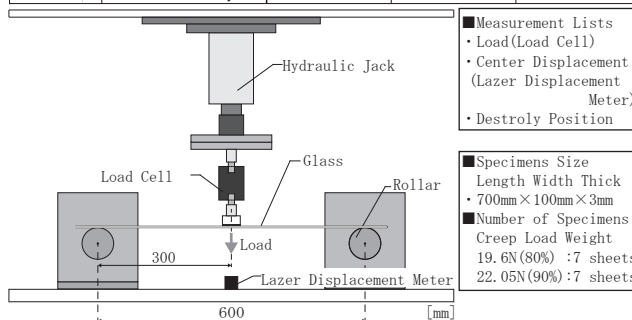


Fig. 6 Outline of Static Loading Test

Table 3 The Residual Summation of Squares, Breaking Stress of Short Term and Average Fracture Stress

Parameters	Previous Studies	80%	90%
Number of Specimens	500	7	7
Residual Sum of Squares	2182.2	121.7	6.9
Breaking Stress of Short Term [N/mm ²]	26.1	11.6	36.1
Average Fracture Stress [N/mm ²]	61.0	56.3	58.9

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, 2017.7

[2] 秋庭崇人他: 「建築用板ガラスの寸法効果と疲労特性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.1027-1030, 2018.7