

建築用板ガラスの破壊応力に関する基礎的研究
 一許容応力度区分を設定したクリープ試験による静的疲労特性の把握一

Basic Study on Breaking Stress of Architectural Glass
 Static Fatigue Characteristics by Creep Test with Allowable Stress Classification

○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 : Recently glass panels are used for many buildings, but they are brittle materials and be destroyed by tensile stress. Glass has a unique property called “static fatigue”, which is more important than “dynamic fatigue” because its mechanism of destruction is caused by the chemical reaction between glass and moisture in the environment. However, in the design of architectural glass in Japan, it is common to ignore the effects of static fatigue including setting the allowable stress. On the other hand, in a wood structure, the allowable stress is set so that the coefficient is increased according to the load duration. In this paper, the allowable stress setting based on these was experimentally examined on glass.

1. はじめに

今日、建築用板ガラス(以下「板ガラス」と称す)はガラスファサードや屋根などに広く利用され(Fig. 1), 最大の特徴である透明性を生かした建築物が数多くみられる。

一方で、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(グリフィスフロー)が存在し、小さな応力下であっても、傷が大きくなり、破壊する「疲労」現象が生じる。材料力学では、一般に疲労は繰り返し载荷による動的疲労を指し、板ガラスで考えると存在する傷が繰り返し荷重により進行し、疲労破壊する現象であると考えられる。

しかし、ガラスには「静的疲労」という特有の現象も存在する。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。これまでに岡田ら^{[1],[2]}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や静的疲労特性の把握を目的としたクリープ試験を行い、動的疲労による影響は静的疲労に比べ小さいことを示唆している。このことから、板ガラス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、我が国の板ガラスの設計においては、許容応力度の設定も含めて、静的疲労の影響が考慮されていないのが現状である。

また、板ガラスと同じ脆性材料である木材では、想定



Fig.1 Eg. of Glass Architecture

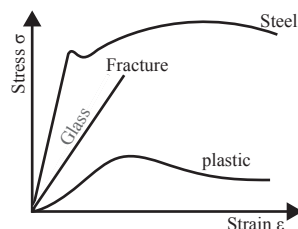


Fig.2 Stress-Strain Relation

される荷重継続時間に応じて係数を割り増すことで許容応力度を設定している。同様に板ガラスに対しても荷重継続時間に応じた許容応力度設定を行うことで静的疲労特性を考慮した設計を行えると推測される。

以上を踏まえ、本報では許容応力度区分を設定した静的疲労試験を行い、得られた結果を報告する。

2. 荷重継続時間に応じた許容応力度の算出

板ガラスにおける荷重継続時間に応じた許容応力度の算出を行うにあたり、既報^[2]のクリープ試験の平均破壊時間を対数グラフ上にプロットし、これらを結ぶ近似直線を作成した(Fig. 3)。近似直線より、木材で用いられる各荷重ケースの荷重継続時間(短期許容応力度:10分, 中短期許容応力度:3日, 中長期許容応力度:3ヶ月)ごとの応力度を次式を用いて算出した。

$$F = -2.067 \ln(t) + 39.295 \quad \dots (1)$$

式(1)より算出した計算値をTable 1に示す。本報では、これらの設定の妥当性を検証するため、算出された応力度をパラメータとしたクリープ試験を行った。

3. クリープ試験

3-1. 試験概要

試験概要をFig. 4に示す。試験は板ガラスを対象と

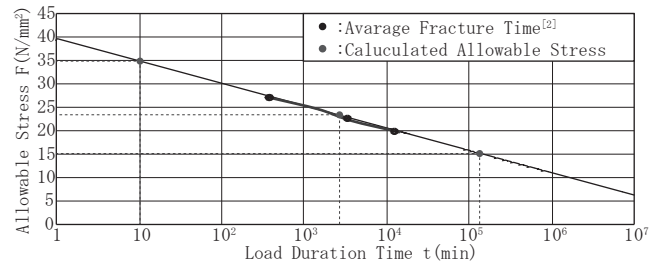


Fig.3 Calculate of Allowable Stress

Table 1 Allowable Stress

Load Type Name	Allowable Stress F
Short Term of Allowable Stress	34.5
Midium Short Term of Allowable Stress	22.0
Midium Long Term of Allowable Stress	15.0

して、錘を載荷した後に破壊までの時間をビデオカメラ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。支持条件は単純支持とし、境界部には緩衝材としてゴム板を挿入した。また、載荷は、前項の荷重経過時間相当の応力度(34.5N/mm², 22.0N/mm², 15.0N/mm²の3ケース)となるようにガラス中央部への一点集中載荷とし、各ケース20枚ずつ試験を行った。

3-2. 試験結果

各試験の1680時間までの荷重継続時間-鉛直変位関係をFig.5~7にそれぞれ示す。Fig.5より、短期許容応力度載荷時の破壊ケースは次の3ケースに分類される。急激な変位の進行後(①), 第二勾配への移行時(②), 第三勾配後(③, ④)である。これは短期許容応力度のみにみられる現象で、脆性的な破壊が顕著に現れたものと考えられる。一方で1680時間時点で未破壊であるFig.6,7の中短期許容応力度及び中長期許容応力度相当の載荷では、試験体によらず変位の進展傾向が概ね一致しており、変位が進行する際には急速に増加する傾向が見られた。これは、グリフィスフローを起点とした亀裂の進展が原因と推測される。

短期許容応力度相当における破壊確率F(t)-破壊時間t関係のワイブル分布及び対数正規分布をFig.8に、破壊型の推定に用いる形状パラメータm, 強度分布から求められる1%破壊時間, 平均破壊時間をTable 2にそれぞれ示す。Table 2より、形状パラメータmはどちらの分布においても1を下回り、初期破壊型であることを把握した。また、平均破壊時間は対数正規分布よりワイブル分布の方が大きい値を示したが、1%破壊時間では逆に対数正規分布よりワイブル分布の方が小さい値を示した。これは、対数正規分布の強度分布の近似線と実測点とのばらつきが大きい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により、以下の知見を得た。

- 短期許容応力度相当の載荷において、3種類の破壊ケースが存在し、脆性破壊が生じていると考えられる。
- 中短期許容応力度及び中長期許容応力度相当では、変位の進展傾向は概ね一致しており、変位の進行の際は急速に増加する傾向が見られた。

今後、境界条件が異なる試験体にてクリープ試験を行う予定である。

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

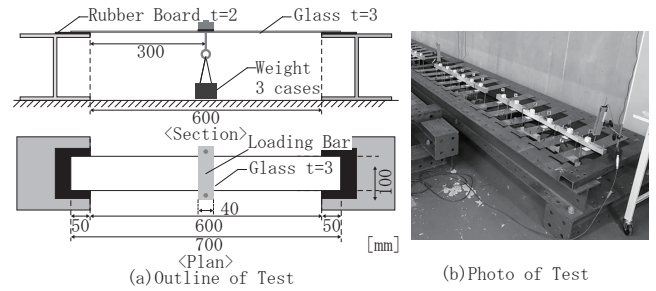


Fig.4 Outline of Creep Test

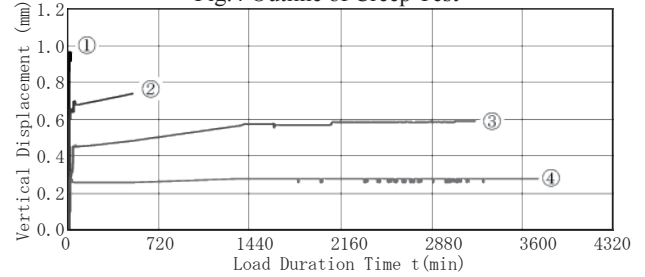


Fig.5 The Relation Between Load Duration Time and Vertical Displacement under Short Term Allowable Stress

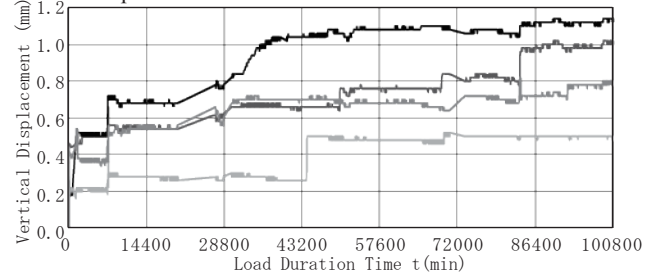


Fig.6 The Relation Between Load Duration Time and Vertical Displacement under Midium Short Term Allowable Stress

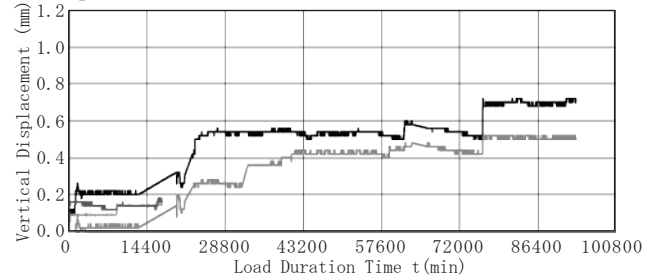


Fig.7 The Relation Between Load Duration Time and Vertical Displacement under Midium Long Term Allowable Stress

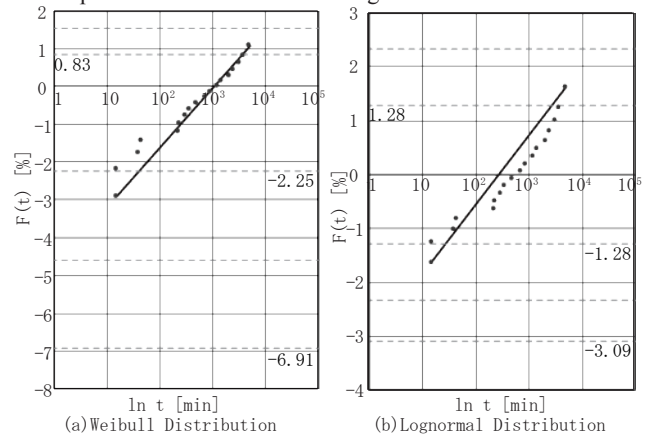


Fig.8 Breaking Probability - Breaking Time Relations

Table 2 Comparison of the Geometry Parameter m and Mean Breaking Time and Breaking Time of 1%

	Geometry Parameter m	Mean Breaking Time [min]	Breaking Time of 1% [min]
Weibull Distribution	0.58	1725	0.36
Lognormal Distribution	0.46	438.5	2.93