

ファイバー2点曲げ試験によるホウケイ酸塩ガラスの強度

(滋賀県大工) ○西久保 嘉範, 吉田 智, 菅原 透, 松岡 純,
(日本電気硝子(株)) 濱野 憲司, 加藤 嘉成, 山崎 博樹

Strength of borosilicate glass fibers by using a two-point bending technique / ○ Nishikubo, Y., Yoshida, S., Sugawara, T., Matsuoka, J. (U. Shiga Pref.), Hamano, K., Kato, Y., Yamazaki, H. (Nippon Electric Glass Co., Ltd.) / The intrinsic strength of borosilicate glass fibers with the composition of $20\text{Na}_2\text{O}-40x\text{B}_2\text{O}_3-(80-40x)\text{SiO}_2$ (mol%, $x=0, 0.5, 1$) were evaluated by using a two-point bending technique. It is found that failure strains decrease with increasing B_2O_3 content in glass. Fatigue behaviors of the glass fibers were also evaluated in water. The fatigue parameter, n , increases with increasing B_2O_3 content in glass.

問合せ先 : e-mail yoshida@mat.usp.jp

【緒言】

ガラスに含まれる傷には、加工時や使用時に生じる外因性の傷と、熱履歴による構造欠陥が原因となる内因性の傷がある。この外因性の傷が、様々なガラス製品の強度を決定する要因となるが、外因性の傷が存在しない試料を用いて強度試験を行うことができれば、内因性の傷のみを考慮した強度(本質強度)が得られると考えられる。また、内因性の傷とガラスの疲労挙動の関係は、ほとんど明らかになっていない。そこで本研究では、作製時に外部と触れることのないガラスファイバーを試料として用い、ナトリウムホウケイ酸塩ガラスファイバーの2点曲げ強度を測定するとともに、内因性の傷がガラスの疲労特性に与える影響を評価することを目的としている。

【実験】

ガラスファイバー引き上げ装置、ファイバー2点曲げ試験機を作製し、ファイバー2点曲げ強度を測定するシステムを構築した。Fig. 1 にファイバー2点曲げ試験の模式図を示す。ガラスファイバーを2つの平行板で挟んで2点で保持し、その後、平行板を一定速度で移動させて、破壊時の平行板距離 D から(1)式を用いて破壊ひずみ ε_f を求めた[1]。

$$\varepsilon_f = 1.198 \frac{d}{D-d} \quad (1)$$

ここで、 d はファイバー直径である。

試料は、 $\text{Na}_2\text{O}-40x\text{B}_2\text{O}_3-(80-40x)\text{SiO}_2$ (mol%, $x=0, 0.5, 1$) ガラスとし、ファイバー引き上げ装置中で再熔融後、直径 $100\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ のガラスファイバーを得た。2点曲げの測定雰囲気はヘプタン中および水中とし、平行板移動速度は $50 \mu\text{m/s}$, $300 \mu\text{m/s}$, $2000 \mu\text{m/s}$ とした。

一方、2点曲げ試験により得られる破壊ひずみの平行板移動速度依存性から、ガラスの疲労挙動を評価した。疲労パラメータ n は、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}$ を一定と仮定して(2)式から求めた。

$$\varepsilon_f^{n+1} = B \dot{\varepsilon} \quad (2)$$

ここで、 B は材料と環境に依存する定数である。 $\log \varepsilon_f$ を $\log \dot{\varepsilon}$ に対してプロットした傾きから疲労パラメータを決定した。

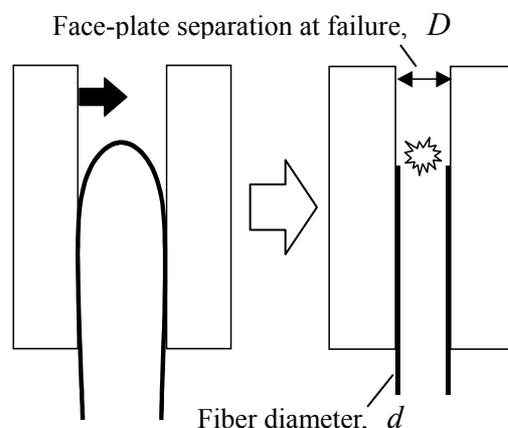


Fig. 1 Schematic diagram of two-point bending test.

【結果と考察】

Fig. 2、Fig. 3 にヘプタン中および水中で測定した 2 点曲げ破壊ひずみを示す。ヘプタン中で得られた $x=0$ 組成のガラスの破壊ひずみ 6%は、ヤング率 60GPa を用いると破壊強度 3.6GPa に相当する。ヘプタン中では、すべての組成において破壊ひずみに平行板移動速度依存性が認められないのに対し、水中での測定では、いずれの組成においても、平行板移動速度が小さくなるほど破壊ひずみが小さくなることが分かった。

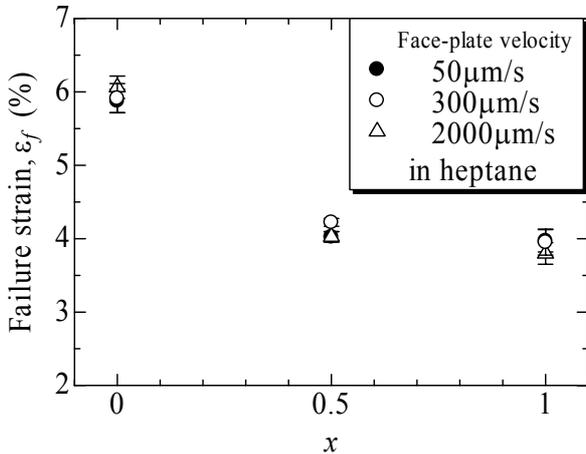


Fig. 2 Relation between failure strain in heptane and glass composition.

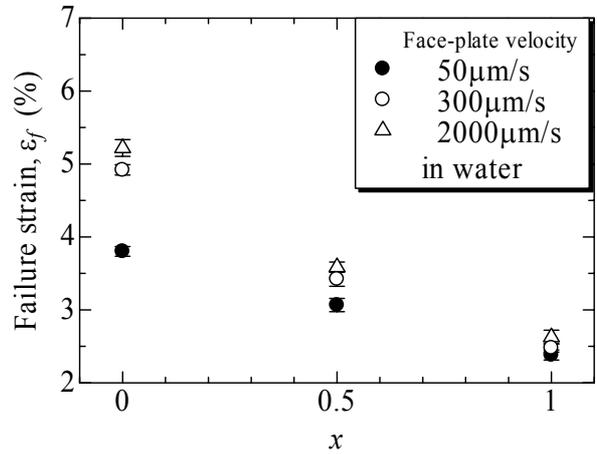


Fig. 3 Relation between failure strain in water and glass composition.

Fig. 4 に、水中における 2 点曲げ破壊ひずみとひずみ速度の関係を示す。破壊ひずみのひずみ速度依存性は、 B_2O_3 含有量の増加とともに小さくなり、疲労パラメータ n が増大することが分かった。

一方、ナトリウムアルミノホウケイ酸塩ガラスにおいて、 B_2O_3 含有量が増加するとガラスの化学的耐久性が低下し、疲労パラメータが減少するという、本結果とは異なる報告がある[2]。この違いは、傷先端の応力集中にあると考える。(3)式に、傷先端近傍の最大応力 σ_A を示す。

$$\sigma_A = \sigma \left(1 + 2 \sqrt{\frac{c}{\rho}} \right) \quad (3)$$

σ は遠方応力、 $2c$ はクラック長軸長さ、 ρ はクラック長軸長さの曲率半径である。本研究で用いたガラスが有する傷は内因性の傷であるため、その長さがナノサイズ以下であると考えられ、傷先端の応力は曲率半径の変化に影響を受け易いといえる。したがって、ガラス中の B_2O_3 含有量の増加が、水中における傷先端の曲率半径の増大、すなわち応力集中度の低下を引き起こし、応力腐食を起し難くしたと考える。

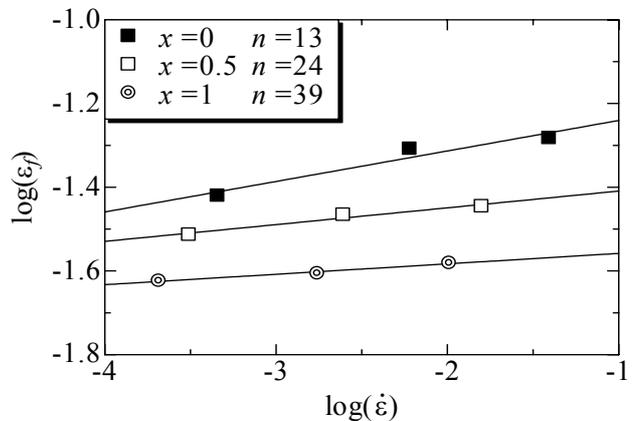


Fig. 4 Variation of failure strain obtained in water with strain rate.

[1] M. J. Matthewson et al, *J. Am. Ceram Soc.*, **69** (1986) 815-821.

[2] E. Gehrke et al, *J. Mat. Sci.*, **22** (1987) 1682-1686.