FRP 用ガラス繊維の縦弾性係数の温度依存性[†]

後 藤 弘 太 郎*

Temperature Dependence of Elastic Modulus of FRP Glass Fibers

by

Kotaro GOTO*

Elastic moduli of glass fiber that is used for reinforcement of FRP are measured in the temperature range from 20 to 300°C.

In this experiment, three kinds of glass fiber samples were prepared; E-glass, C-glass and T-glass. Load was placed on a specimen in a transparent furnace controlled at predetermined temperatures. The elongation of specimen was read by a reading microscope and the diameter of specimen was measured by a micrometer. The elastic modulus of glass fiber was calculated by the gradient of load-elongation diagram, the diameter of glass fiber and the distance between the marks on the glass fiber specimen.

The results obtained are as follows;

- (1) The elastic modulus of glass fiber obtained was 60~80 GPa at room temperature, and depended on composition and diameter of glass fibers.
- (2) The elastic modulus of E-glass decreased with increasing temperature, while that of C-glass did not change very much with temperature and that of T-glass increased with temperature.
- (3) In any case, the elastic moduli of small size fibers were larger than those of large size fibers.

Key words: Glass fiber, Elastic modulus

1 緒 言

ガラス繊維で強化したプラスチックの縦弾性係数はそれぞれの縦弾性係数とガラス繊維の充填割合から弾性率の複合則によって計算することができる¹⁾。それぞれの温度における樹脂の縦弾性係数の実測値と室温におけるガラス繊維の縦弾性係数の値からこの方法によって求めたガラス繊維強化プラスチックの縦弾性係数が実測値と差ができるのは当然のこととしても、その差が温度の上昇につれて大きくなる²⁾ことは、ガラス繊維の縦弾性率の温度依存性を考慮して吟味しなければならないが、ガラス繊維の縦弾性係数の温度依存性のデータは見あたらない。

本研究は FRP の強化材として用いられる種々のガラス繊維の縦弾性係数を室温より 300°C までの間で静的に測定し、ガラス繊維の縦弾性係数に及ぼす温度およびガラス繊維の太さ、組成の影響を実験的に明らかにしたものである。

2 実 験

本実験に用いたガラス繊維試料を Table I に示す。試料繊維は日東紡績(株)製市販ストランドでプラスチック系サイジング剤で表面処理されている繊維材料のガラス組成のカタログ値を Table II に示す。E ガラスは電気絶縁材料として用いられる FRP の代表的なガ

ラス繊維材料で無アルカリガラスとも言われ Na 成分の少ないのを特徴としている。C ガラスは耐酸性を考慮したアルカリ成分が多く、また E ガラスと比較して SiO₂ 成分が多くなっている。T ガラスは高抗張

Table I. Samples.

Sample	Material	Diameter of Fiber (μm)
E-10	E glass	10
E-14		14
E-17		17
E-23		23
C-9	C glass	9.3
C-14		14
T-9	T glass	9.3
T-14		14

Table II. Composition of glass fiber.

Composition (wt %)	E-glass	C-glass	T-glass
SiO ₂	52~56	60~65	65
Al ₂ O ₃	12~16	2~6	23
CaO	15~25	15~20	
MgO	0~1		11
B ₂ O ₃	8~13	2~7	
Na ₂ O+K ₂ O	0~1	8~12	
ZrO ₂			<1

[†] 原稿受理 平成 4 年 6 月 19 日 Received June 19, 1992

* 正 会 員 工学院大学工学部機械工学科 〒160 東京都新宿区西新宿, Dept. of Mech. Eng., Kogakuin Univ., Shinjuku-ku, Tokyo, 160

Fig. 1. Distribution of diameter of glass fiber.

Fig. 2. Measuring apparatus.

力と高温での機械的性質を期待されて SiO_2 と Al_2O_3 成分がともに多くなっている。ガラス繊維の断面は顕微鏡でみてほぼ完全な円形をしており、直径をマイクロメータで μm の精度で測定すると何回測定しても同じ値となる。また一本の繊維を長さ 10 cm にわたって長手方向に 1 cm ごとに直径を測定すると、標準偏差が平均値の 1% ほどでこの範囲では一様な太さを持っている。E-10 と E-17 の試料について、同じストランドから解した繊維直径の分布を Fig. 1 に示す。二つの試料とも繊維直径にかなりのバラツキが見られる。

縦弾性係数の測定は Fig. 2 に示した透明電気炉の中を通して、ストランドから解した試料繊維一本を粘着テープでスタンドに止め、下端には針金で作ったフックをやはり粘着テープで止める。

電気炉は石英ガラスの二重管からなっており、二重管の間に細いヒータをらせん状に荒く巻いた構造にして、中が見えるようになっている。熱電対で温度を検出し、PID コントローラで制御する。時間に対する炉内温度の安定度はペンレコーダの記録で線の幅以内となるが、炉の温度分布は上部 45 mm の範囲で 280°C の時に $\pm 2^\circ\text{C}$ であった。この範囲を利用するた

Fig. 3. Relationship between load and elongation of glass fiber.

め繊維に 40 mm 間隔で二点のマークをつけて、読みとり顕微鏡でこのマークを追う。一定温度に 15 分以上おいた後フックに荷重をかける。荷重に伴う繊維の伸びを測定する。荷重は約 2 gr で試料繊維が破断するまで数個のデータが得られる。この間、時間は約 1 分で終わる。Fig. 3 に E-23 の繊維を室温で測定したときの荷重と伸びの関係を示す。最小自乗法によって回帰直線を求めると、相関係数が 0.995 となる。この時の直線の勾配とマイクロメータで測定した繊維直径、マーク間距離から次式で縦弾性係数を求めることができる。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{W/A}{\lambda/L_0} = \frac{WL_0}{A\lambda} \quad (1)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

ここで E ; 縦弾性係数

σ ; 応力

ϵ ; ひずみ

W ; 荷重

A ; 断面積

λ ; 伸び

L_0 ; マーク間距離

d ; 直径

W/λ ; 回帰直線の勾配

3 結果と考察

Fig. 4 に E ガラス、E-23 の各温度で測定した繊維一本一本の縦弾性係数の測定結果を示す。かなりばらっているがこれをグループ化して平均値をとり縦弾性係数と温度の関係を求めると Fig. 5 のようになる。Fig. 5 から、室温の縦弾性係数に比べて 150°C 付近において二分の一になっていること、繊維直径の細いもののほど高い縦弾性係数であることが認められる。

Fig. 4. Measured values of elastic modulus of glass fibers at various temperatures (E-23).

Fig. 5. Mean values of elastic modulus of glass fibers (E-glass).

Fig. 6, Fig. 7 に C ガラス, T ガラスの縦弾性係数と温度との関係を示す。C ガラスは温度上昇に伴う縦弾性係数の低下が緩やかで, T ガラスでは温度の上昇につれて逆に縦弾性係数が大きくなっている。繊維直径の細い方が縦弾性係数が大きな値となることは E ガラスの場合と同じ傾向にある。

ガラスの弾性率をその組成の弾性率と成分の割合から計算することが試みられ大筋で認められている³⁾。SiO₂ 成分の多いシリカガラスやパイレックスガラス等では室温から数百度の間では温度上昇とともにヤング率が上昇している結果とアルミナのヤング率が 1000°C において室温の 12% しか低下しないことなどからこれらの現象を考えると, E ガラスの縦弾性係数が温度上昇に伴って低下するのに比べて C ガラスは SiO₂ 成分が多く含まれているので温度上昇による縦弾性係数の低下が少なくなり, T ガラスではアルミナ成分が縦弾性係数の温度上昇に伴う低下が少ないので, SiO₂ の温度上昇に伴う縦弾性係数の上昇の性質が生かされて結果として温度の上昇に伴って縦弾性係数が大きくなっていくものと考えられる。

Fig. 8 に E ガラスの縦弾性係数と繊維直径との関係を示す。繊維直径の大きくなるにつれて縦弾性係数の

Fig. 6. Mean values of elastic modulus of glass fibers (C-glass).

Fig. 7. Mean values of elastic modulus of glass fibers (T-glass).

値が小さくなることにわかる。また, C ガラス, T ガラスについても Fig. 6, Fig. 7 から繊維直径の大きい方が縦弾性係数が小さいという関係がみられる。ガラス繊維の強度と繊維径の関係では, 繊維直径の小さいものの方が強度が大きな値となり, その原因が繊維の巻取り工程などでの繊維の損傷が繊維径の小さいものほど少ないからだと説明されているが, 縦弾性係数は強度と同じように考えることは出来ない。ガラス繊維化する工程でのガラス繊維構造の違いが原因となっている可能性もプラスチック系サイジング剤の表面処理の効果が現れる可能性もある。いずれにしても繊維直径の小さいものの方が縦弾性係数が大きくなる

Fig. 8. Relationship between elastic modulus and diameter of glass fiber (E-glass).

理由は今後の課題として残っている。

4 結 論

以上の実験結果を要約すると次のような結論が得られる。

(1) ガラス繊維の縦弾性係数はガラスの組成、繊維の太さによって異なり、室温付近で 60~80 GPa の値となり、E ガラス>C ガラス>T ガラスの順に低下する。

(2) 温度上昇に伴う縦弾性係数の変化は、E ガラスでは急激に低下し、C ガラスは緩やかな低下、T ガラスでは逆に上昇する傾向がある。

(3) いずれの場合でも繊維直径の細いものが縦弾性係数の値は大きくなる。

(平成 4 年 5 月 23 日 日本材料学会第 41 期学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 宮入裕夫, 工業材料, **35**, 15, 25 (1987).
- 2) 後藤弘太郎, 秋葉泰経, 鈴木賢也, 綱取弘晃, 工学院大学研究報告, 67, 16 (1989).
- 3) 作花済夫, 境野照雄, 高橋克明, “ガラスハンドブック”, p. 662 (1975) 朝倉書店
- 4) 3) と同じ p. 661.
- 5) 小倉敬二, 三好良夫, 西川 出, 森下啓司, 日本材料学会第 41 期学術講演会前刷 p. 351 (1992).
- 6) 3) と同じ p. 222.

書 評

“もの作り不思議百科”

——注射針からアルミ箔まで——

JSPT 編

(1992年, (株)コロナ社発行, A 5 判, 164ページ, 1200円)

わたし達がなにげなく使っている身の周りのもので、その加工・成形法について特に興味を引くもの、不思議なものについてそれらの手法をわかりやすく説明した本である。注射針から始まって金属バット・ベアリング鋼球・やかん・鈴・ビール缶・シャープペンシルの芯・ファスナ・トランペット・ホチキス針……22テーマが紹介されている。読者は自分が予め想像して製法と実際との大きな相違に驚かされる例に多く出会うであろう。読み始めてみると板から出発する注射針、針金から出発するホチキス針、一枚板から成形される鈴、指輪と宝石の爪等々評者も自身の想像と異なる例をいくつも見た。

日本塑性加工学会がその会誌に連載された資料をもとにさらに充実させ、一般読者にも読みやすく編集し直したものであり、学会の編集出版物としては異色のもので幅広い読者の興味を満たすものといえよう。

本書は二部から成っており、第一部は上述のもので大部分を占め、第二部は新材料・ハイテク材料の紹介になっている。それらの間にはさまれている技術史ノートも面白い。

高校生から一般読者を対象とした新型コロナシリーズの一部であるが、材料屋が読んでも十分に読むことができる記述になっている。ちょっとした会話の間に、あるいは大学での講義の間に本書の内容を紹介すればきっと喜ばれることであろう。

(神戸大学工学部 猪飼 靖)