

ガラス状ポリマーの応力 : 光定数のひずみ速度依存性

楊, 槐堂
浙江大学力学系

桜田, 泰弘
九州大学応用力学研究所 : 助手

高橋, 清
九州大学応用力学研究所 : 教授

<https://doi.org/10.15017/4743780>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 63, pp.87-92, 1987-01. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



ガラス状ポリマーの応力-光定数のひずみ速度依存性

楊 槐 堂* 桜 田 泰 弘†
高 橋 清‡

概 要

3種のガラス状ポリマー、ポリメチルメタクリレート、ポリカーボネート、エポキシについて応力-光定数のひずみ速度依存性を調べた。測定には、Fizeauの干渉法を用いた。5.36×10⁻⁶～2.14×10⁻³/sのひずみ速度の範囲内でポリメチルメタクリレートの応力-光定数は強いひずみ速度依存性をもつ。一方他の2つのポリマーでは顕著なひずみ速度依存性はないことがわかった。

Key words: 応力-光定数, ひずみ速度依存性, コースティック法, ポリメチルメタクリレート, ポリカーボネート, エポキシ

1. はじめに

光弾性法やコースティック法により応力拡大係数(K)を求めることの大きな利点は外部負荷(P)や亀裂長さ(a)の値を必要としないことにある。この特徴は P や a が変化しつつある動的な破壊を測定の対象とするときに特に発揮される。これらの方法においては K を求める際に P や a を要しない代わりに光学定数値が既知でなければならない。この定数値にひずみ速度依存性がある場合には動的な K 値の評価のためにそれを知っておく必要があるわけである。

この研究はコースティック法で用いられる応力-光定数(stress-optical constants)(c)のひずみ速度($\dot{\epsilon}$)依存性をポリメチルメタクリレート(PMMA)、エポキシ(アラルダイトD)およびポリカーボネート(PC)について調べたものである。 c についての測定例はいくつか報告されている^{1,2)}。しかしそのひずみ速度依存性についてのまとまった報告は筆者らの知るところではあまり例をみない。

2. 原理と測定法

応力-光定数 c_r と c_t は次のような式で表わされる³⁾。

$$c_r = -\lambda(\alpha^* + \beta^*)/2 + \nu/2E \quad (1)$$

$$c_t = -\lambda(\alpha^* + \beta^*)/2 + \nu/E \quad (2)$$

ここで c_r 、 c_t はそれぞれ試験片の2つの面で光が反射する光学系および試験片を透過する光学系で用いられる c 値である。 λ は光の波長、 ν はポアソン比、 E はヤング率である。また α^* 、 β^* は別の応

* 現在、浙江大学力学系

† 九州大学助手、応用力学研究所

‡ 九州大学教授、応用力学研究所

力-光係数値 (stress-optical coefficients) である。光学的に等方的な材料にあっては $\alpha^* = \beta^*$ なので、

$$c_r = -\lambda \alpha^* + \nu/2E \quad (1)'$$

$$c_r = -\lambda \alpha^* + \nu/E \quad (2)'$$

となる。

α^* , β^* は Fizeau 干渉法によってもとめることができる⁴⁾。図 1 に Fizeau 干渉法による α^* , β^* 測定のための光学系を図示した。試験片 (S_p) の手前の面および背面から反射する光は互いに干渉し干渉縞を

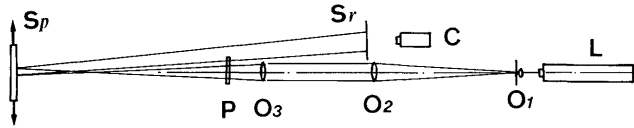


図 1 Fizeau 干渉法による α^* , β^* の測定

生じる。これはスクリーン (S_r) 上に写しだされる。スクリーン上の干渉縞は光学レンズをもった撮像管 (C) でとらえられビデオテレビに送られる。試験片にかかる荷重 P_n によって変化する干渉縞の縞数を σ_1 および σ_2 の方向に対してとったものをそれぞれ N_1 , N_2 とすると、

$$\alpha^* = (dN_1/dP) b/2 \quad (3)$$

$$\beta^* = (dN_2/dP) b/2 \quad (4)$$

となる⁴⁾。 b は試片の幅である。また横方向のひずみ ϵ_2 が測定されるならば ν/E は

$$\nu/E = -(d\epsilon_2/dP) bt \quad (5)$$

によって得ることができる。ここで t は試片の厚さである。

試験片の形状はダンベル形で、ゲージ部の長さは 200 mm、幅は 20 mm、厚さは 4.8~6.0 mm であった。ひずみ ϵ_2 はひずみゲージによって測定した。ひずみゲージ (長さ 6 mm) を貼付することにより生じる補強効果は文献 5 で提案されている方法で修正した。試片への荷重は万能試験機 (高津 DSS-5000) により 0.05~20 mm のクロスヘッド速度でなされた。この速度は $\dot{\epsilon}$ (後述の $\dot{\epsilon}_1$ にあたる) に換算すると $5.36 \times 10^{-6} \sim 2.14 \times 10^{-3} /s$ となる。測定は恒温室 (20°C, 60%湿度) でなされた。

3. 結果と考察

テレビモニター上に写し出された干渉縞の 1 例を図 2 に示した。

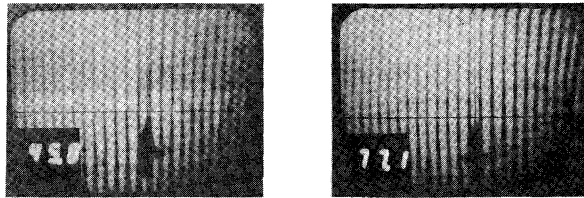


図 2 Fizeau 干渉縞の例、テレビモニター中の数字は最大荷重に対するパーセンテージを示す。

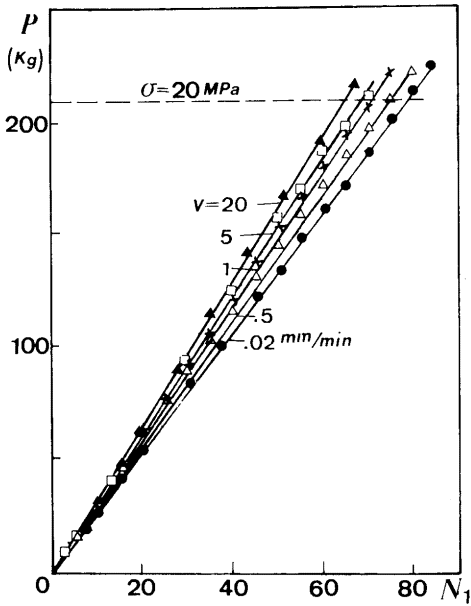


図3 PMMAの $P-N_1$ の負荷速度依存性

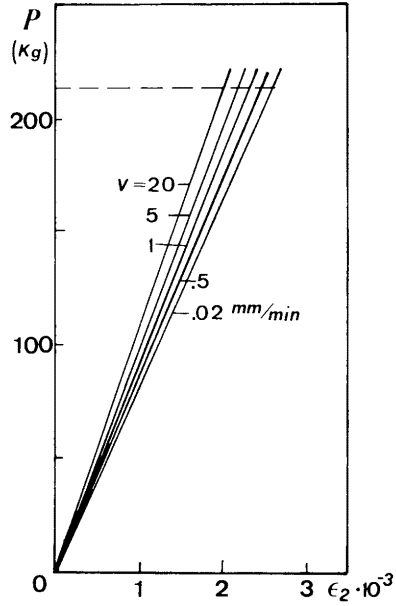


図4 PMMAの $P-\epsilon_2$ の負荷速度依存性

図3および4にはPMMAの N_1-P および ϵ_2-P 曲線をそれぞれ示した。これらの測定においては最大荷重は材料が弾性的に振舞う範囲内におさえられた。図3および4には顕著なひずみ速度依存性が示されている。それぞれの直線の傾は dP/dN , $dP/d\epsilon_2$ を与える。図5はPMMAの ν/E および α^* の $\dot{\epsilon}$ 依存性を示した。いずれも右さがりの傾向が著しい。 ν/E は主としてヤング率の $\dot{\epsilon}$ 依存性を反映して

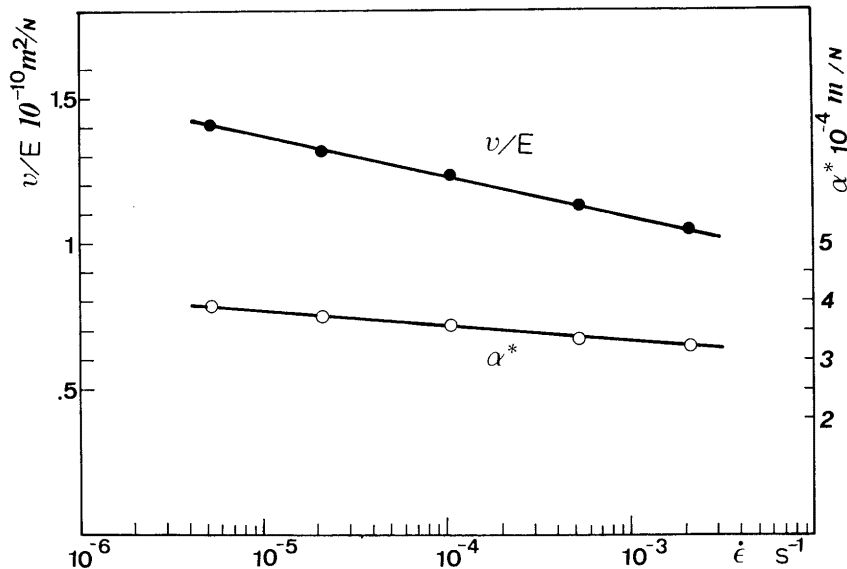


図5 PMMAの ν/E , α^* のひずみ速度依存性

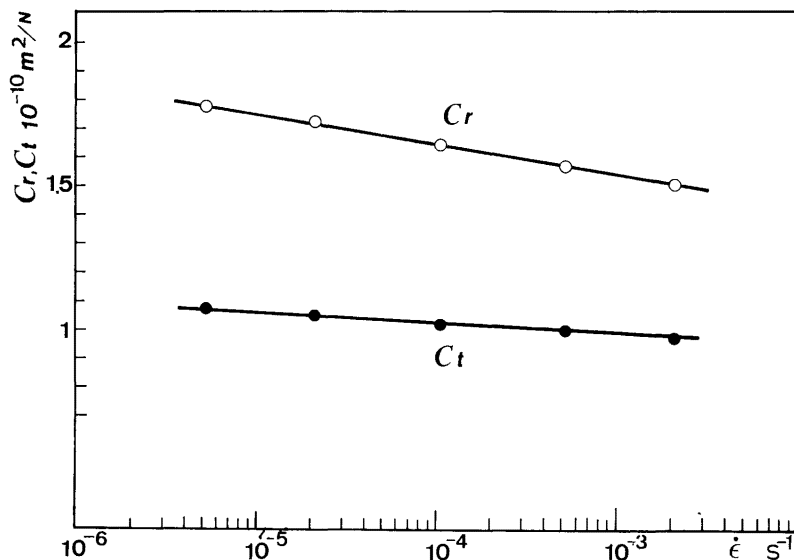


図6 PMMAの c_r , c_t のひずみ速度依存性

いる。一方光学的性質の α^* も $\dot{\epsilon}$ と共に減少している。これらの値を用い、(1)', (2)'の式からPMMAの c_r , c_t の $\dot{\epsilon}$ 依存性を求めた。図6にその結果を図示した。最もよく用いられる c_t の値は $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 前後の値となっている。この値は静的な K 値の測定で用いられる値とよく合っている。 c_r も c_t も $\dot{\epsilon}$ に対して強く依存している、この $\dot{\epsilon}$ の範囲内では次のような実験式で表わすことができる。

$$c_r = -1.21 \times 10^{-10} (1 - 0.0882 \log \dot{\epsilon}) \quad (6)$$

$$c_t = -0.84 \times 10^{-10} (1 - 0.0555 \log \dot{\epsilon}) \quad (7)$$

$\dot{\epsilon}$ が1ケタ変わると c_r は8.8%、 c_t は5.6%変わる。PMMAの c_r は c_t より大きな $\dot{\epsilon}$ 依存性をもつことが示された。反射コースティック法により K を求める場合にはこのことを十分考慮すべきであろう。PMMAの動的な破壊でよく用いられる $c_t = -0.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ の値を(7)式の左辺に入れると、 $\dot{\epsilon}$ は $10^{2.3}/\text{s}$ となる。 $10^2/\text{s}$ オーダーの $\dot{\epsilon}$ はたとえ 100 m/s で進行中の亀裂に対してでも大きすぎる値だろう。この点に関して言えることは、(1)もしも上述のような高ひずみ速度下での c_t の値が妥当なものと仮定すれば、 $\dot{\epsilon}-c_t$ の関係はさらに $\dot{\epsilon}$ が大きい領域までこのまま直線的に外挿してゆくことができない、(2) $\dot{\epsilon}-c_t$ の関係が $\dot{\epsilon}$ の大きい領域までこのまま直線的に変化することがいえるならば上述の動的な c_t 値は小さすぎる、ということである。(1)の場合には図6で $\dot{\epsilon}$ がさらに大きくなると、 c_t の曲線は $\dot{\epsilon}$ と共に急に減少するような傾向を示そう。このような $\dot{\epsilon}$ 依存性は、 c が光学的性質 α^* と機械的性質 ν/E (あるいは E)の双方に関係していることと無関係ではないであろう。PMMAの場合 E は $\dot{\epsilon}$ のかなり大きなところまでこのグラフで直線的に増加することが知られている。したがって $\dot{\epsilon}$ 大のところでは c_t が直線からずれてくることがあるとすれば、それは α^* の $\dot{\epsilon}$ 依存性を反映するものであろう。

図7はエポキシとPCの E および ν の $\dot{\epsilon}$ 依存性を示す。ここで ν は、 ϵ_1 および ϵ_2 の同時計測を行ない ϵ_2/ϵ_1 より求めた。また E は $\sigma-\epsilon$ カーブの傾きから与えられた。PCの場合 ν はほとんど変わら

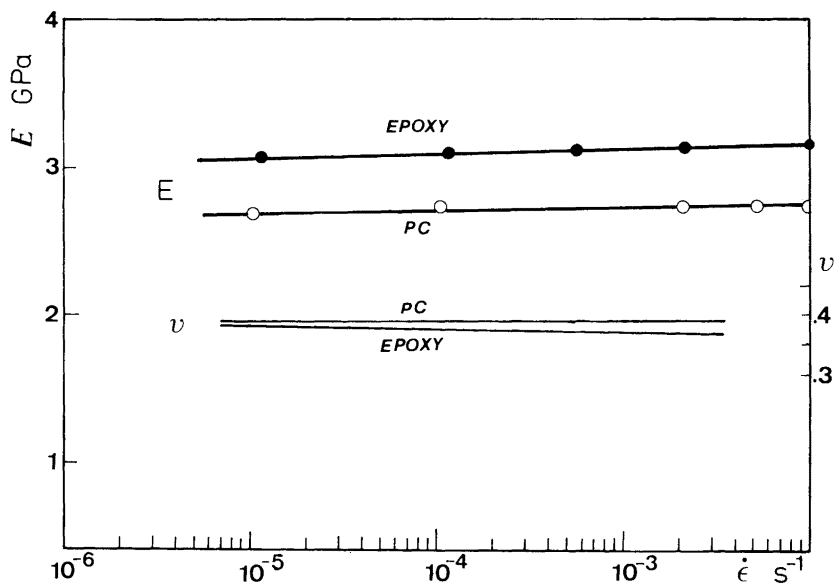


図7 エポキシおよびPCの E , ν のひずみ速度依存性

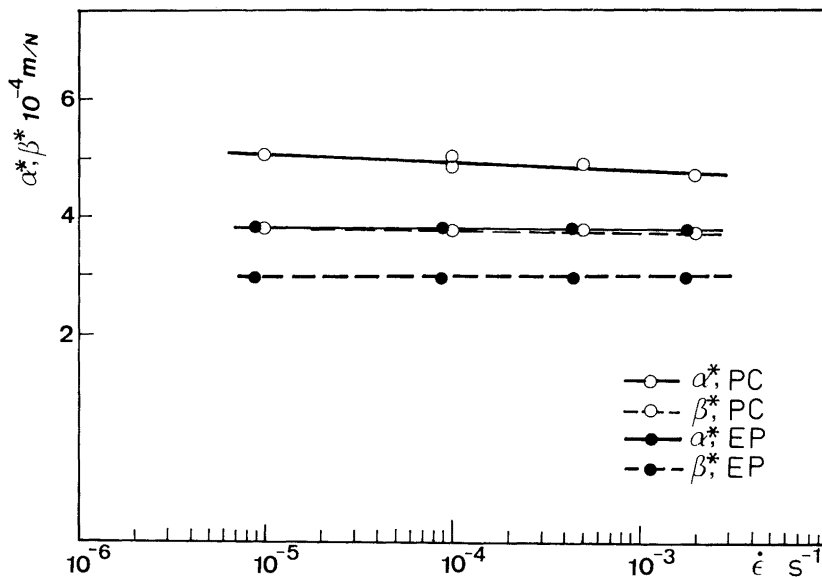


図8 エポキシおよびPCの a^* , β^* のひずみ速度依存性

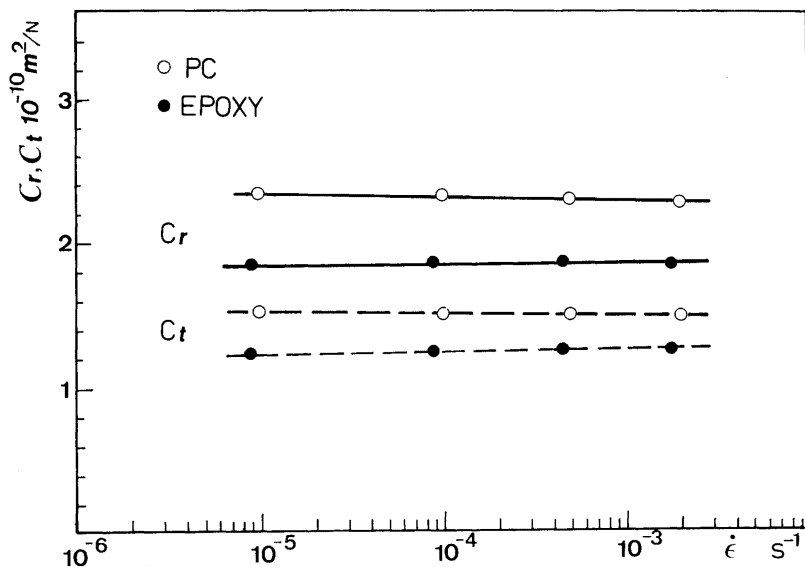


図9 エポキシおよびPCの c_r , c_t のひずみ速度依存性

ず E がわずかに正の $\dot{\epsilon}$ 依存性を示している。一方エポキシの場合 ν はわずかながら負の $\dot{\epsilon}$ 依存性もち、 E はPCとほぼ同じような正の $\dot{\epsilon}$ 依存性をもつ。

図8はPC, エポキシの α^* , β^* の $\dot{\epsilon}$ 依存性を示したものである。PCの α^* がPMMAの場合に近い負の $\dot{\epsilon}$ 依存性を示すのに対して他はほんのわずかな負の依存性を予想させる程度にすぎない。

図9はPC, エポキシの c_r , c_t の $\dot{\epsilon}$ 依存性に関する結果を示している。PCの c_r がわずかに右下がりの傾向を示している。その他についてはこの $\dot{\epsilon}$ の範囲内ではほとんど $\dot{\epsilon}$ 依存性を持たないといっただろう。図7の機械的性質の $\dot{\epsilon}$ 依存性は図8の光学的性質の $\dot{\epsilon}$ 依存性によって相殺的に補償される傾向のあることを図9は示している。

謝 辞

実験に協力を惜しなかつた応用弾性学部門の方々に謝意を表する。

文 献

- 1) P. S. Theocaris, J. Strain Analysis, **8** (1973) 267.
- 2) M. Nisida and H. Saito, Experimental Mechanics, **4** (1964) 366.
- 3) D. D. Raftopolos, D. Karupanos and P. S. Theocaris, J. Phys. E, **9** (1976) 869.
- 4) P. S. Theocaris and E. Gdoutos, J. Phys. D, **7** (1974) 477.
- 5) C. C. Perry, Experimental Mechanics, **24** (1984) 286.

(昭和61年5月31日 受理)