

実験報告・Report

板ガラスの残留表面応力

—バイアスコープ法及び断面光弾性法によるデータの比較—

岸 井 貫

(東京芝浦電気(株)総合研究所兼東芝硝子(株))

フロート法板ガラスとフロート法によらない板ガラスを収集して試料にした。残留表面応力を表面伝ば光を用いた散乱光光弾性法(バイアスコープ)と断面光弾性法とで測り、測定値を比べた。バイアスコープ法は高い圧縮応力を与えるか又はより小さい引っ張り応力を与えるかであった。断面光弾性法では観察できない薄い表面層が内部よりも低膨張になっていると推測された。低膨張化の原因は製造工程中での表面からの Na^+ イオン又は Na_2O の逸散、蒸発であろう。

(1983年3月16日受付)

Residual Surface Stresses in Sheet and Float Glasses

—Comparison of Data by Biascope with Those by Cross Section Photoelasticity Techniques—

Tōru KISHII

(R and D Center, Toshiba Corp.
Komukai Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki-shi 210
Toshiba Glass Corp.
Yoshida-cho, Haibara-gun, Shizuoka 421-03)

Float glasses and non-float glasses were examined for their residual surface stresses by both Sénarmont biascope and cross section photoelasticity techniques. Most surfaces gave compression stresses. However, biascope gave far higher stress values than cross section photoelasticity. This suggested the existence of very thin low-expansivity layers on the surfaces. The layers seemed to originate from Na^+ or Na_2O out-diffusion or evaporation during manufacturing processes.

[Received March 16, 1983]

Key-words: Glass, Float glass, Sheet glass, Surface, Stress, Residual stress, Photoelasticity, Measurement

1. 実験の目的

板ガラスの表面応力は次の場合に工業的に関心が持たれる。

- (1) 風冷強化(熱強化)品では強化の尺度として,
- (2) 徐冷されたものでは徐冷の尺度として,
- (3) 張り合わせなど複合化された製品では弾性的ひずみの尺度として,
- (4) 精密平面研磨をして使う用途では研磨後に生ずる弾性的たわみに影響する量として.

上記のうち(2)~(4)の表面応力は(1)に比べて1/10~1/100である。(1)の応力の測定には幾つかの非破壊的方法が知られているが^{1),2)}, (2)~(4)に関しては断面を光弾性的に観察するという破壊的測定法があるだけであった。

断面光弾性法で板ガラスの表面と表面層内の応力を調べた例はある³⁾。しかし板ガラスの表面層にはいろいろな原因による屈折率のこう配と不均質があり⁴⁾, 光ウェーブガイド(光導波路)効果のような波動光学的効果を生じている^{5),6)} ことを考えると, 更に詳しく調べる必要がある。

著者は光ウェーブガイド効果を利用して表面の弱い応力(10 kg·cm⁻² くらい)を測る方法を開発した^{6),7)}。この過程で, 新しい方法による値が断面光弾性法のそれよりも数倍くらい大きいことに気付いた⁸⁾ ので, 厚さを系統的に変えて試料を集め, 両方法による値の間の関係を経験的に知ろうとした。

2. 測定 の 原理

板ガラスは製造工程に原因して表面に平行に配列した不均質構造を持つが, 屈折率について言えば次のようである(図1)。

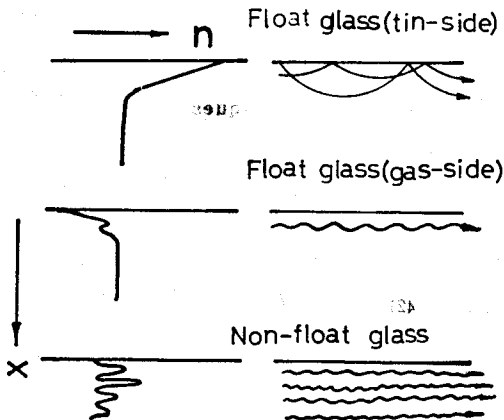


Fig. 1. Refractive index (n) distribution along depth (x) (left side) and ray optical ray trace of guided surface waves which propagate in the surface layers of glasses (right side).

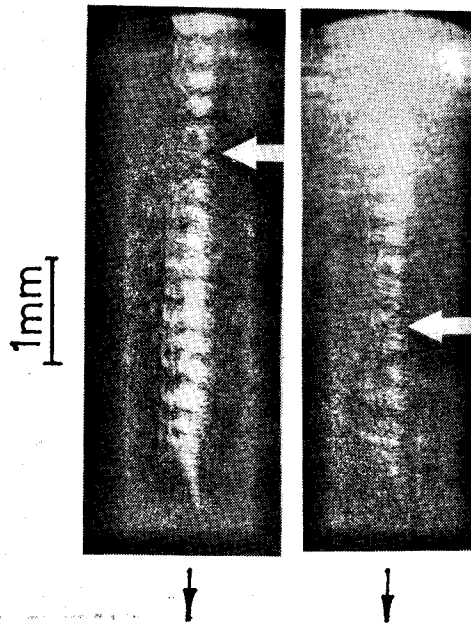


Fig. 2. Laser beam propagation along the tin-side surface of the sample #1. The two photos shows the translation of a dark portion (white arrows) by analyzer rotation (15°) of the Sénarmont compensator in the biascope. Dark arrows : Light propagation direction.

- (1) フロートガラスのスズ進入面 内部に比べ屈折率が0.002くらい高い⁹⁾。
- (2) フロートガラスのガス接触面 深い層ほど屈折率が高いが, 4mm以下の厚さのガラスでは表面から数 μm 以内に屈折率極大も存在する⁹⁾。厚いフロートガラスでは極大はもっと深い部分にしかない。
- (3) フロート法以外の製法による板ガラス 表面付近から内部へのすべての部分で多数の屈折率極大がある⁹⁾。

これらのうち, 厚いフロートガラスのガス接触面以外ではすべて表面伝ば光を励起することができ^{6),7),8)}, 表面伝ば光を使って強い表面応力は屈折計法で, 弱い表面応力は散乱光光弾性法(バイアスコープ)で測ることができる(図2)。

どちらの方法も表面伝ば光の経路に働く応力を測るが, その経路は表面, 又は表面から数 μm 以内にあると考えられる。

応力を計算するために, ガラスの光弾性定数を $2.6 (\text{nm}\cdot\text{cm}^{-1}) \cdot (\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2})^{-1}$ と仮定した。

3. 断面の光弾性観察法

板ガラスを幅1cmの大きさに切り, 断面をバフ研磨しガラス製角形液槽中でグリセリンにひたしてバビネ補正器を使って観察, 測定した(図3)。また表面付近を詳しく調べるために厚さ2mmの薄片で観察した例も

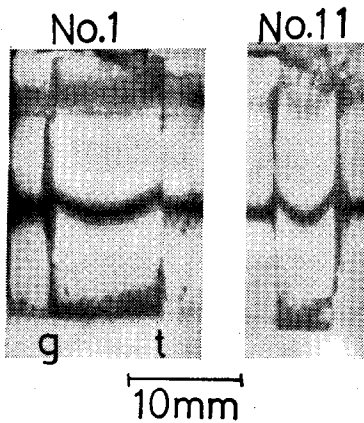


Fig. 3. Cross section photoelasticity of (a) the float glass No. 1 and (b) the non-float glass No. 11. Path of linearly polarized light : 1 cm, t : Tin-side surface, g : Gas-side surface.

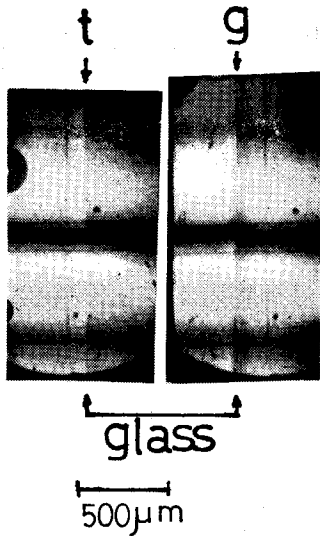


Fig. 4. Thin section photoelasticity of the float glass No. 1. Path of linearly polarized light : 2mm, t : Tin-side surface, g : Gas-side surface.

あった (図 4)。

幅が 1 cm もある試料では、屈折率こう配が大きい部分の応力は原理的に測定できないはずである。光が直進しないからである。

4. 試料と測定結果

市販の板ガラスを収集して試料にした (表 1)。フロートガラス (No. 1~5) かそうでないか (No. 11~13) は、強くて明りょうな光ウェーブガイド効果を示すスズ進入面の有無で容易に判断できた。測定値 (表 1) から経験測として次のように言える。

(a) 多くの場合圧縮応力が観察され、バイアスコ

Table 1. Surface compression stresses ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) obtained by biascope (Bia) and cross section photoelasticity (Cro) techniques. Minus signs indicate tensions.

Sample No.	Float glasses					Non-float glasses			
	1	2	3	4	5	11	12	13	
Thickness (mm)	10.0	8.0	4.8	3.1	2.7	4.8	1.5	1.2	
Surface stress ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	Tin-side	Bia. 8 ₃ Cro. 1 ₉	5 ₀ 1 ₃	7 ₁ 1 ₇	5 ₃ 7	7 ₁ 6	Bia. 2 ₇ Cro. 1 ₇	3 ₂ 4	-3 ₂ -2 ₅
	Gas-side	Bia. — Cro. 2 ₅	— 1 ₀	— 2 ₇	8 ₁ 7	5 ₃ 4			

プ法の方が断面法よりも数倍大きい絶対値を与えた。

- (b) このことは、バイアスコブが表面にある薄い圧縮圧力層の効果を検出しているかのような結果であった。
- (c) 厚さ 2 mm の薄片の光弾性観察では、フロートガラスのガス接触面にある圧縮応力層を実証できた (図 4)。しかし他種の面ではこの方法でも応力層を確認できなかった。
- (d) 上記 (a)~(b) があてはまらないで表面引っ張り応力を示す試料 (No. 13) が、フロート法によらないガラスに 1 例だけあった。

5. 討 論

測定結果は、多くの場合に板ガラスの表面付近には断面光弾性法では検出できない薄い圧縮応力層があり、その応力の絶対値は断面光弾性法による値よりかなり大きいことを示した。

表面の圧縮応力層はガラス内部よりも低膨張であることが推測され、表面層が低膨張である原因は製造工程中に、

- (1) フロートガラスのスズ進入面では (スズ浴からの Sn^{2+} , Sn^{4+} イオン) \leftrightarrow (ガラス中の Na^{+} イオン) の交換、
 - (2) そのほかの種類面では Na_2O の蒸発、
- が起きて組成が変化したことであろう。

品質管理の目的で表面応力を測る場合、以上の経験則や事象を考慮してデータを判断する必要がある。

風冷強化ガラスについて言えば、表面層の組成変化に原因する応力は強化で作り込まれる応力の 1/10 よりもかなり小さいので、実用上前者を考慮する必要はない。

文 献

- 1) T. Kishii, *Opt. Laser Tech.*, **11**, 259-61 (1979).
- 2) T. Kishii, *Opt. Laser Tech.*, **11**, 197-202 (1979).
- 3) R. Brückner and J.F. Navaro, *Glastech. Ber.*, **44**, 361-68 (1971).
- 4) H. Goerk, *Glastech. Ber.*, **44**, 8-19 (1971).
- 5) T. Kishii, *Opt. Laser Tech.*, **14**, 255-60 (1982).
- 6) 岸井 真, 窯協, **90**, 664-69 (1982).