

# ガラスの歪と歪の測定方法(No.4)

千葉工業大学 附属研究所 教授 岸井 貫

## △融着体の中の応力

### ① 角柱形融着体

温度—熱膨張特性、温度—粘性係数特性が違う二つのガラスを融着させた時に、どのように力が発生するかを説明します(図 20)。

簡単のために、二つのガラスが角柱形であり、これらがバイメタル形に張り合わせられた形の融着体を考えます。また、一方のガラスが他方よりも除冷点がかなり高いとします。融着してから冷却すると、始めに除冷点が高い方のガラスが固化し、それからもう一方のガラスがが固化します。

双方のガラスともに固化した時から応力が発生し始めます。

応力発生の原因は、二つのガラスの間の熱膨張特性の違い、いいかえれば固化してからの収縮量が違っていることです。

このような場合の応力の発生状況を、定性的ですが次のように説明します。

二つのガラスの間で、まだ収縮量の差が出ていないとします(図 20a)。

次に収縮量の差ができた時を考えます。一方が他方よりも余計に収縮しています。

融着していないので、それぞれが自由に収縮したと仮定すると図 20b のように二つのガラスの間に長さの差が出ます。

しかし実際は融着していますから、双方の長さは等しいことが必要で、二つのガラスの長さの中間の値になります(G20c)。

つまり収縮の少ないガラスはさらに縮められ、収縮な大きさガラスは引き延ばされます。

これに応じて、前者の中には長さ方向に圧縮するような力、後者の中には引っ張るような力が働きます。

このように仮定した時の応力の分布は、応力の断面にわたっての積分値が零であるとの条件が満たされるようなものです。

しかしこのままでは曲げモーメントが零ではありませんから、融着体はいつまでも自然に回転を続けます。

こういうことは物理的にあり得ません。

実際にはバイメタル作用で全体が曲がり、曲げモーメントが零になるような形で落ち着きます(図 20d)。

この辺りの事情は金属とガラス、またはセラミックスとガラスの融着の場合でも同じです。

この種の融着体ではその形と応力分布とは、次の条件を満足しなければなりません。

① 長さ方向の応力を断面内で積分すると零である。

② 曲げモーメントが零である。 ということです。

このように膨張差と応力が冷却中に発生する過程を詳しく見ていきます(図 21)。

融着体が冷却されて行く膨張係数の差があるので、膨張差が生じます(図 21a)。

しかし、少なくとも一方のガラスが軟らかい(粘度が小さい)時期には応力が発生してもすぐに緩和されてしまいます。(図 21b の右の方)。

次に固化温度の低い方のガラスも固化して、応力が発生し始めます(図 21b の中頃)。

しかし、このガラスがまだ十分固くない時期には、膨張差と応力が発生しても一部は消えます。

固化がさらに進むと応力の消失が少なくなり、完全に固化すると、それ以後に発生した応力が既にあった応力に代数的に加算された形で残ります(図 21 の左方)。

実際のガラスの組み合わせでどうなるかを、図 22 に示します。

図 22a のような融着体で、ガラス B の方がガラス A よりも固化温度が低いのです。図 22b ではガラス A の方が高膨張、図 22c ではガラス A の方が低膨張です。

b は例えばソーダ石灰ガラスと鉛ガラスとの組み合わせ。

c の方は低アルカリのソーダ石灰ガラスと高アルカリのソーダ石灰ガラスとの組み合わせに相当します。

b1、c1 は熱膨張曲線の組み合わせ、b2、c2 は冷却中の膨張差の発生状況、b3、c3 は冷却後の応力の分布を示します。

図 20 バイメタル形融着体中の応力の発生・分布

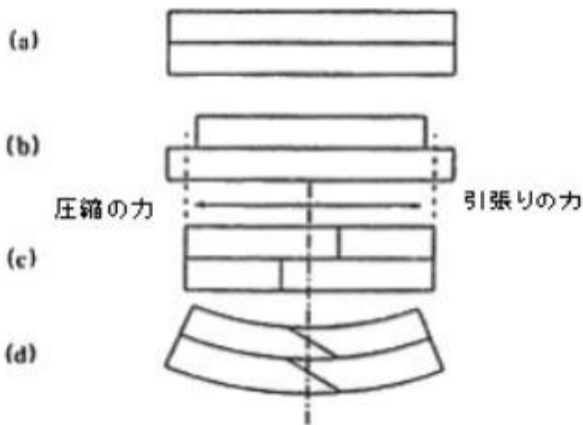


図 22 異種ガラスの組み合わせと応力の発生・分布

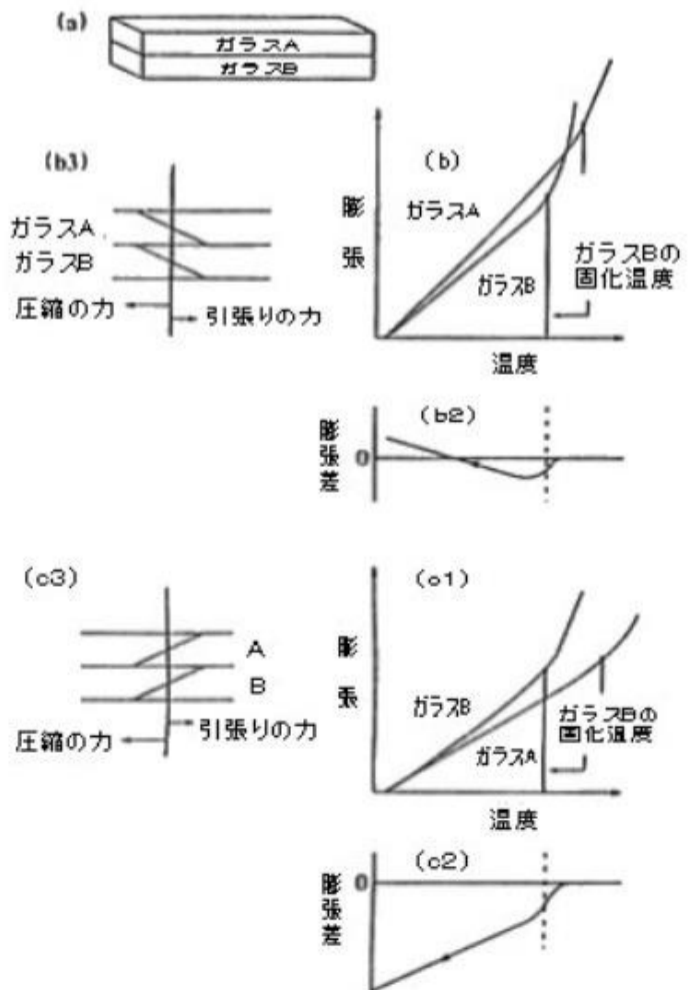
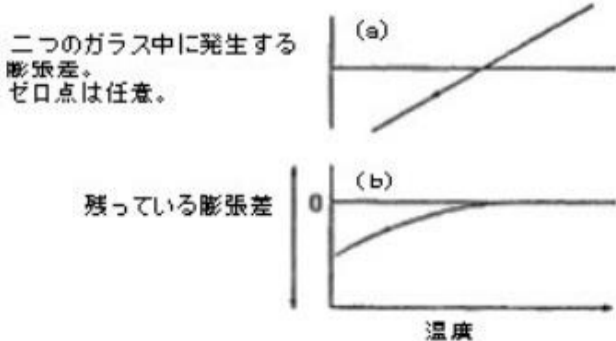


図 21 融着体中の応力の発生過程



② 円筒形融着体

金属とガラスとが同心円形に融着された場合の応力分布を説明します。

例として金属が中心にあり、ガラスがこれを取り巻く形であるとし、ガラスの方が金属より膨張係数が大きい(余計に縮む)とします(図 23a)。

ガラスが金属より余計に縮もうとするのを金属が妨げている、と考えます。軸方向と円周方向の縮みが妨げられているので、ガラスの中のこれらの方向の応力は引張りの力です。

また、半径方向の縮みも金属で妨げられているので、ガラスの半径方向の力は圧縮の力になります。

金属の方で考えると、長さ方向・円周方向・半径方向ともガラスから縮めようとする力を受けますから、これらの方向の力は皆圧縮の力になります。

このような力の分布は、喩えれば茶筒にゴム輪を枚付けた場合を想像すれば理解しやすいと思います。

金属の方が余計に縮む場合は、圧縮の力と引っ張りの力が交代したような分布になります(図 23b)。

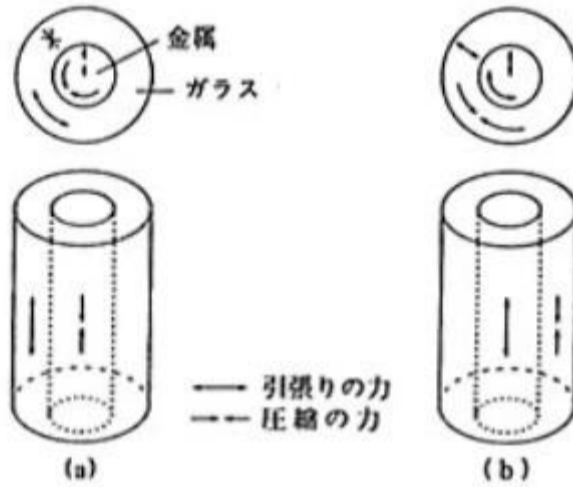
形が軸対象なので、軸を曲げるような応力や曲げモーメントを考える必要がありません。

円筒形融着体では、もう一つ複雑な事情があります。

軸方向の応力は半径-円周軸方向の力に較べて消失しにくいのです。

そのために、融着後に冷却するとき、軸方向の応力が先に立ち上がり始め、それに少し遅れて半径-円周方向応力が立ち上がります。

図 23 円筒形融着体中の応力の性質



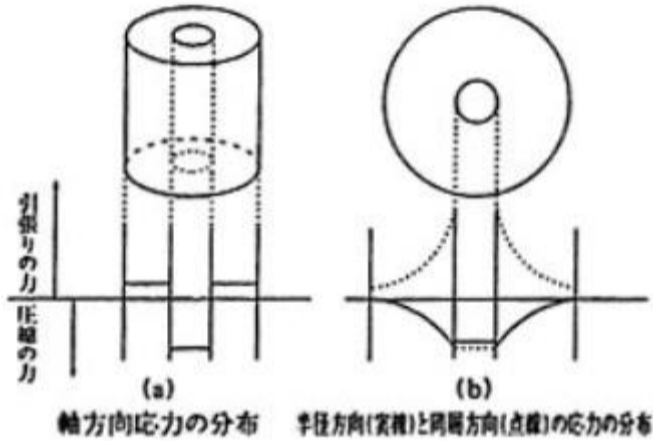
③ 応力の性質

円筒形の融着体の中で働いている力には次のような性質があります。応力の計算にはこの性質を利用します。

- a. 軸方向の力を軸に垂直な断面について積分するとゼロです。
- b. 金属とガラスとの界面では半径方向の応力は連続的に変化します。
- c. 特に外表面の半径方向の応力はゼロです。
- d. これらの応力によりガラス・金属が変形して、ガラスの内孔の形と金属の外形とが同じになっています(割れ目がありません)。

応力の分布(図 24)を定量的に計算するとき、このような性質を利用します。

図 24 円筒形融着体中の応力分布外側の材料が高膨張の場合



④ 応力の観察法

ガラスとガラス・金属・セラミックなどを融着した時の応力の計算は面倒なことですし、それぞれの材料の特性が総て判っているとは限りません。

このような場合、ガラスが透明であれば、ガラスの中に働いている応力を直接に観察することが出来ます。

角柱形・バイメタル形では、融着した後でガラスの側面を艶出し研磨して、光が透過できるようにします(図 25a)。

円筒形融着体では側面と端面とを平面に艶出し研磨します(図 25b)。

偏光を通過させて応力を測り、又は計算します(測定と計算の方法は後の章で記します)。

図 25 融着試験体中の応力を偏光を使って観察・測定する方法

