

技術解說

強化ガラス

「残念ながらありません。しかし、壊れにくいガラスはあります。」普通のガラスの数倍から十数倍の強度をもつ強化ガラスの仕組みと特徴について解説します。

なぜガラスは壊れやすいのか

いかなるものもそのものの強度以上の力が加わると変形したり壊れたりすることは誰もが経験していることです。そのなかでもとりわけガラスが壊れやすいのはなぜでしょうか。

アルミニウムのカップとガラスのカップを例にとって、そのわけを考えてみましょう。カップの口に両手の指を入れ、口を引き裂くように力を入れる場面を想定してください(あぶないので実際にやってはいけません!)。思い切り力を入れるとアルミニウムのカップは変形します。さらに、力を加えると変形した口が裂けるように壊れます。

ガラスのカップはどうでしょうか。こちらは力を入れても変形しません。さらに、力を加えると突然、チャーンと壊れます。

アルミニウムのカップでは、加えた力は変形と破壊に使われました。ガラスのカップでは、加えた力はすべて破壊に使われました。このようにガラスは変形することなく破壊するので、その分だけ小さな力で壊れます。

つぎに、これらのコップに硬いものがぶつかった場面を想定してください。アルミニウムのコップは表面が少し凹んでキズがつきました。ガラスのコップではどうでしょうか。ガラスは凹みませんから、その分だけガラスの表面にはアルミニウムより深いキズがつくことになります。ガラスはアルミニウムよりキズつきやすいのです。

表面にキズがあると、そのキズに壊そうという力(引張応力といいます)が集中していっそう壊れやすくなります。これはカップ麺のスープの袋に切込みがあると、その切込みに力が集中して切りやすいのと同じです。これが、ガラスが壊れやすい理由です。

ガラスを強化する方法

それでは、壊れやすいガラスの破壊の特徴を逆手にとってガラスを強化する方法はないのでしょうか。

図1に示すように、キズがつかないように表面の

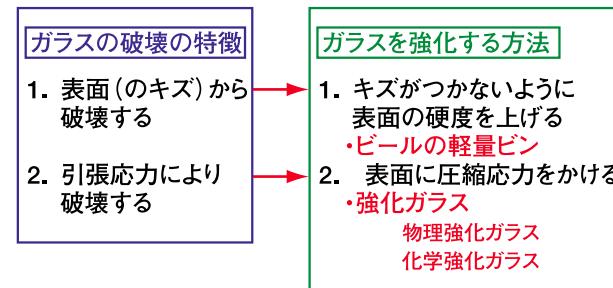


図1 ガラスの破壊の特徴とガラスを強化する方法

硬度を上げる方法では、ビールの軽量ピンの成功例があります。従来はピンにキズがつくことを前提に肉厚を少し厚めに設計していましたが、金属酸化物の硬い膜を表面に塗布することでキズがつかなくなり、肉厚を薄くすることできました。

表面に圧縮応力をかける方法では、物理強化ガラス、化学強化ガラスがつくられています。ガラスは引張応力で破壊するので、表面に圧縮応力層をつければ、その圧縮応力値の分だけ強度を上げることができます。

強化ガラスの仕組みと特徴

物理強化ガラスは、軟化温度付近まで加熱したガラスを圧縮空気などで急冷することにより表面に圧縮応力層をつくります。このため、物理強化ガラスは熱強化ガラス、風冷強化ガラスともいわれます。自動車のサイドガラス、リアガラス、強化窓ガラス、ガラステーブルなど、一般に強化ガラスといえば、このガラスを指します。

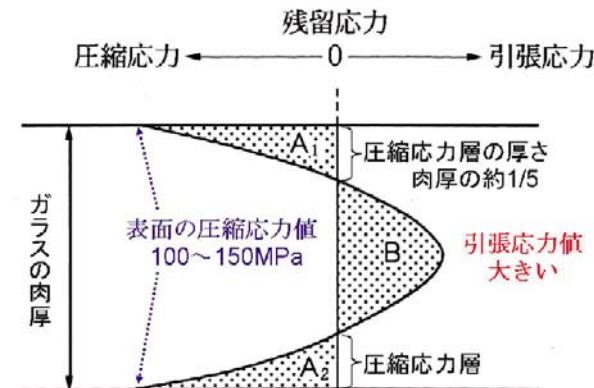


図2 物理強化ガラス断面の残留応力分布

圧縮応力層の面積の和(A_1+A_2)と引張応力層の面積(B)は等しく、ガラス全体としてバランスが保たれている。

図2に物理強化ガラス断面の残留応力分布を示します。表面の圧縮応力値を大きくすれば、強度の向上を

期待できますが、反面、内部では引張応力値も大きくなり、ある限界を超えると破壊します。強度の向上にも自ずと限度があるわけです。

それでは、強化ガラスが、強化によってどのくらい強くなったかを考えてみましょう。

表面の圧縮応力値が100MPaの物理強化ガラスを例にとって説明します(1MPa \approx 10kg/cm²)。普通のガラスの強度を50MPaと仮定しますと、この強化ガラスは150MPa(50MPa+100MPa)の引張応力で破壊すると考えられるので、この強化ガラスは普通のガラスに較べて、3倍強くなったことになります。一般的な物理強化ガラスの表面の圧縮応力値は100~150MPaですので、強度は普通のガラスの3~4倍になります。



写真1 物理強化ガラスの断面と深いキズ

ガラス表面の青い部分は普通のガラスより3~4倍強いが、その分、内部のオレンジ色の部分は弱くなっている。

写真1に物理強化ガラスの断面に深いキズが圧縮応力層を突き抜けて引張応力層に達したときの様子を示します。圧縮応力層より深いキズがつくと強化の意味がなくなるだけでなく、内部の強い引張応力のためガラス全体が一気に破壊します。

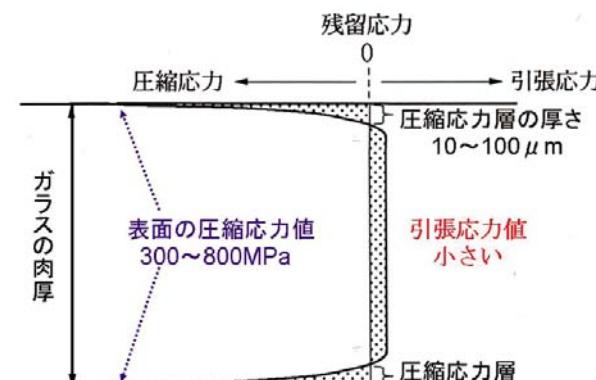


図3 化学強化ガラス断面の残留応力分布

物理強化ガラスに較べて、表面の圧縮応力値は大きいが、圧縮応力層が浅いので内部の引張応力値は小さい。

化学強化ガラスは、普通のソーダ石灰ガラスを硝酸カリウムの溶融槽(350℃~500℃)に入れてつくります。ガラスに含まれているナトリウムイオンと溶融層のカリウムイオンが置換することによりガラスの表面に圧縮応力層が形成されます。

イオンの置換に時間がかかる(数時間~数日間)ためコスト高になりますが、物理強化をすることができるない肉厚の薄いガラスや複雑な形状のガラス、強化処理時の変形を嫌う光学系のガラスにも均等に強化をかけることができます。

魔法瓶、腕時計のカバーガラス、コピー機のガラス、眼鏡用レンズなどに応用されています。

図3に示しますように、物理強化ガラスに較べ圧縮応力値が大きいので強度は普通のガラスの10倍以上にもなります。しかも、圧縮応力層が浅いので内部の引張応力値は小さく、物理強化ガラスのようにガラス全体が一気に破壊することもありません。反面、深いキズが予想される環境下では使えないという弱点があります。

表1 強化ガラスの特徴

物理強化ガラス	化学強化ガラス
形状	板など単純形状
肉厚	通常、3mm以上
コスト	安い
強化後変形	すこしあり
後加工	できない(引張応力値大)
圧縮応力値	100~150MPa
強度	普通ガラスの約3~4倍の強度
圧縮応力層の深さ	深い(肉厚の1/5程度)
	浅い(10~100μm)

表1に強化ガラスの特徴をまとめました。強化ガラスは誤った使い方をすると、本来の強度が出ないばかりでなく、強度への過信のため、かえって危険なことがあります。特徴をよく理解したうえで慎重に取り扱うことが必要です。

研究開発部 材料グループ(西が丘本部)

上部 隆男 TEL(03)3909-2151 内線338

E-mail:uwabe.takao@iri-tokyo.jp