

資 料

ホウケイ酸ガラス管の内圧破壊(III)

熊野ひろみ 東海林正一 松村善二郎

Bursting Test of Borosilicate Glass Tubes (III)

Hiromi KUMANO, Syoichi TOKAIRIN and Zenjiro MATSUMURA

ガラスは化学的に安定であり、また可視光を透過することから化学実験用器具として用いられる。しかし、ガラスはきわめて塑性変形し難く、応力を加えると脆性破壊を起こす。特に、ガラス容器に内圧をかけた場合の破壊は鋭い破片が飛散し、非常に危険である。したがって、内圧をかけた場合に破壊を起こす圧力を知ることは実際の操作上重要なことである。そこで、我々はガラス製耐圧容器の内径・外径比と耐内圧強度の関係¹⁾、および容器外表面へ付けた傷の耐内圧強度に及ぼす影響²⁾について報告した。ガラス製耐圧容器はスターラーによる攪拌やブラッシによる洗浄等によって内表面に傷を付けられる。そこで、内表面に付けた傷の耐内圧強度に及ぼす影響について調べた。

試験する耐圧容器としては図1に示すものを用いた。外径15mm、内径11mmの市販ガラス管(IWAKI # 7740)の一端を半球となるように封じ、他端をフランジ型に成形した。円筒内表面にビッカースダイヤモンドを押し付けて傷を付ける装置は市販されていないので、図2に示す装置を製作した。

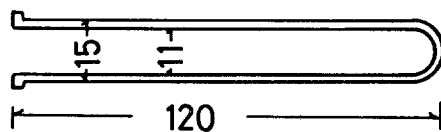


図1 ガラス製耐圧容器

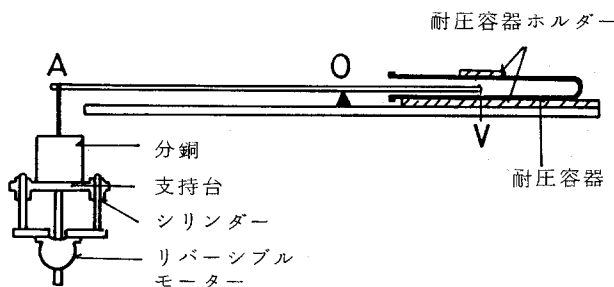


図2 耐圧容器内表面への加傷装置

ガラス製耐圧容器をホルダーに固定する。Oを支点とするでこの一端Vにビッカースダイヤモンドを取り付け、他端Aに分銅を載せてVを静かにガラス製耐圧容器内表面に押し付ける。ビッカースダイヤモンドをガラス表面に押し付ける際に振動や衝撃を与えないように留意する必要がある。そのため、分銅は支持台の上に載せ、その支持台は仕上精度5/1000以内で研削した2本のシリンダーで横振れを防ぎながら速度可変のリバースルモーターで静かに上下できるようにした。荷重を加える時間は20秒とした。この装置で付けた傷の写真を図3に示す。

ビッカースダイヤモンドで傷を付けたガラス製耐圧容器の内圧による破壊圧(以下破壊圧と呼ぶ)を図4に示す。以前に報告した外表面への傷の影響²⁾も同時に示す。ここで見られるように、外表面では5kg

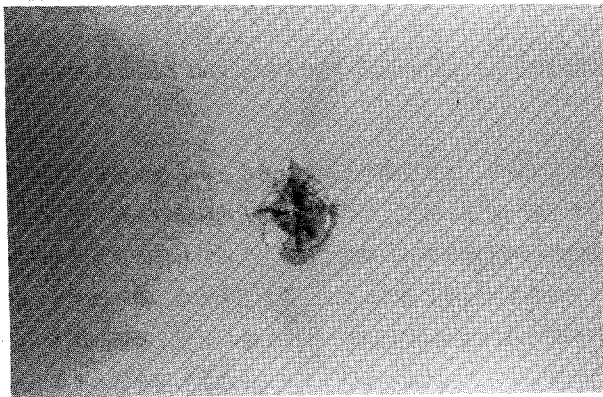


図3 ビッカースダイヤモンド傷荷重1kg

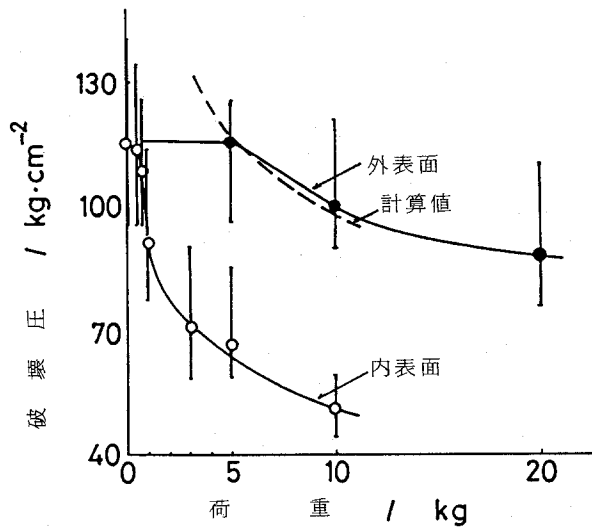


図4 傷を付ける荷重の破壊圧への影響

以上の傷が破壊圧を下げるのに対し、内表面では荷重 0.5kg 以上の傷が破壊圧を下げる。また、同じ荷重で付けた傷では外表面に付けた傷より、内表面に付けた傷の方が破壊圧を下げる効果の大きいことが分かる。

内圧 P_i を受ける円筒容器の半径 r における円周方向の応力 σ_t および半径方向の応力 σ_r は次の式で示される³⁾。

$$\sigma_t = \frac{r_i P_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(\frac{r_o^2}{r^2} + 1 \right) \quad (1)$$

$$\sigma_r = -\frac{r_i^2 P_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(\frac{r_o^2}{r^2} - 1 \right) \quad (2)$$

σ_t は引張り応力であり、内表面で最大、外表面で最小となる。 σ_r は圧縮応力であり、内表面で内圧 P_i 、外表面でゼロとなる。したがって、同じ大きさの傷を円筒の内表面に付けた場合と、外表面に付けた場合とではその耐内圧強度に差が生じたものと考えられる。半径 r における主せん断応力 τ_r は次の式で示される。

$$\begin{aligned} \tau_r &= \frac{\sigma_t - \sigma_r}{2} \\ &= \frac{r_i^2 r_o^2 P_i}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \end{aligned} \quad (3)$$

内表面に付けた傷が破壊のオリジンとなる場合の破壊圧を P_{ii} とすれば、そのとき内表面の傷の受けるせん断応力 τ_{ri} は式(3)より

$$\tau_{ri} = \frac{r_o^2 P_{ii}}{r_o^2 - r_i^2} \quad (4)$$

となる。同様に、外表面の傷がオリジンとなる場合の破壊圧を P_{io} 、外表面でのせん断応力を τ_{ro} とすれば、

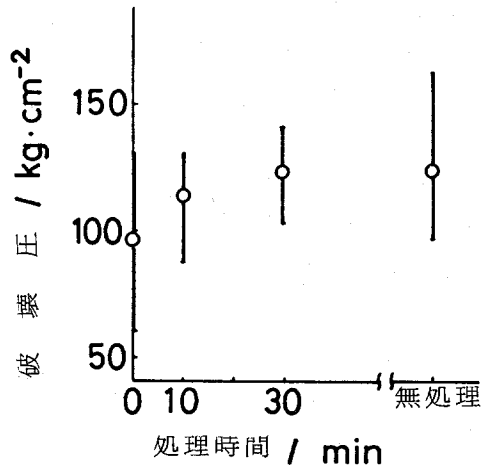


図5 フッ酸処理の破壊圧への影響
荷重 1kg フッ酸10%

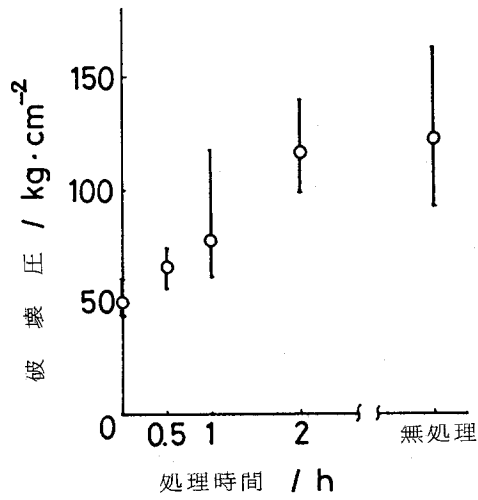


図6 フッ酸処理の破壊圧への影響
荷重10kg フッ酸10%

$$\tau_{ro} = \frac{r_i^2 P_{ii}}{r_o^2 - r_i^2} \quad (5)$$

となる。同じ荷重で同じ大きさの傷が付き、同じ大きさの傷を付けたガラスは同じ応力で破壊するものと仮定すれば、ある荷重で内表面に傷を付けた耐圧容器の破壊圧 P_{ii} と同じ荷重で外表面に傷を付けた耐圧容器の破壊圧 P_{io} との間には式(4)と式(5)から次の関係が成り立つ。

$$\frac{P_{ii}}{P_{io}} = \frac{r_i^2}{r_o^2} \quad (6)$$

式(6)を用いて内表面に傷を付けた耐圧容器の破壊圧 P_{ii} から外表面に傷を付けたものの破壊圧 P_{io} を

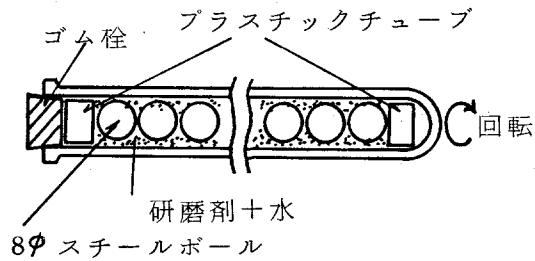


図7 研磨剤による加傷方法

計算し、図4中に破線で示した。図からわかるように、荷重5kg~10kgの間で計算値は実測値と一致している。荷重5kg以下では外表面に付けた傷が破壊のオリジンとならないために実測値とずれるものと考えられる。

傷をフッ酸で溶かせば傷の角が丸くなり、傷の破壊圧への影響が少なくなるものと考えられる。そこで、内表面の傷を10%フッ酸水溶液でエッチングし、破壊圧を測定した。荷重1kgで傷を付けた場合の破壊圧とフッ酸処理時間の関係を図5に、荷重10kgで傷を付けた場合の関係を図6に示した。荷重1kgで傷を付けた耐圧容器の破壊圧が傷を付けないものの破壊圧と等しくなるのに30分のフッ酸処理が必

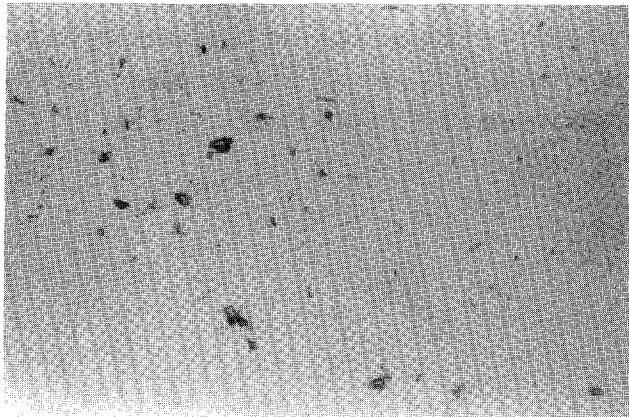


図8 研磨剤で付けた傷
研磨剤 177 μm (#80)

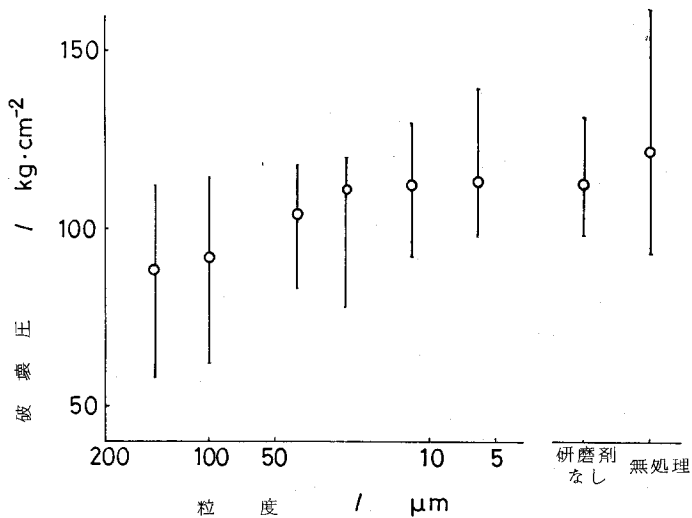


図9 研磨剤の粒度と破壊圧の関係

要であるが、荷重 10kg で傷を付けたものでは 2 時間必要であった。

数多くの傷が付いた耐圧容器の耐内圧強度を調べるために、研磨剤を用いて傷を付け、破壊圧を測定した。図 7 に示すように、耐圧容器内に直径 8mm のスチールボール 10 個、研磨剤 0.3g、水 1cm³ を入れ回転させて傷を付けた。回転時間は 30 分、回転数は 60~150rpm とした。耐圧容器のフンラジ部および底部はプラスチックチューブで傷が付かないよう保護した。研磨剤としては 80~2000 メッシュ(粒径 177~6.3 μ m)のものを用いた。この方法で付けた傷を図 8 に示す。

研磨剤の粒径と破壊圧の関係を図 9 に示す。研磨剤の粒径が小さくなるにしたがい破壊圧は高くなり、24 μ m 以下のものでは研磨剤の粒径にかかわらずほぼ一定となった。回転数の破壊圧に対する影響を 100 μ m の研磨剤を用いて調べた。回転数 60rpm では破壊圧の平均は 94.6kg/cm²、150rpm では 95.6kg/cm² であって、回転数の違いによる破壊圧の有意の差は認められなかった。

ガラス製耐圧容器内表面に付けた傷は外表面に付けた傷よりも耐内圧強度を低下させる効果が大いことが分かった。荷重 0.5kg で付けたビッカースダイヤモンドの傷は肉眼で見付けるのが困難な程小さいが、耐圧容器内表面に付けた場合は耐内圧強度を下げる事が示された。

文 献

- 1) 熊野, 東海林, 松村, 熊谷, 東北大学非水研報告, 27, 83(1977).
- 2) 熊野, 東海林, 松村, 同上, 33, 1(1983).
- 3) 落合安太郎, "圧内容器", 日刊工業新聞社 (1976) p.92.