

セラミックスの動的強度

— 材料は衝撃に弱いのか —



研究ノート

岸 田 敬 三*

Dynamic Strength of Ceramics

Key Words : Dynamic Fracture Toughness, Opening mode, Sliding mode, Glass, Ceramics

ガラスは壊れやすい材料の代表である。セラミックスも現在では脆弱な材料である。この点が改善されればセラミックスの工業的な用途も広がり、その使用効果の大きいことは広く知られているところである。

材料に衝撃力が働くのは危険なことであると考えられている。それは静的な場合に比べて安全率を大きくとっていることからわかる。材料は本当に衝撃に弱いのだろうか。材料の強弱を計る物差しはいろいろあるが、ここでは破壊じん性を考えることにする。

我々の研究室では、セラミックスのような比較的脆性な材料の動的破壊じん性の測定法として、図1に示すような方法を提案している。図のように、中央にき裂を有する円板形試験片に、弾性入力棒を接触させて置き、入力棒の一端に衝撃棒を衝突させる。このとき入力棒中に発生

した圧縮の応力波が試験片を衝撃し、き裂の先端には引っ張りの応力場が急速に発達し、やがてき裂は進展を始める。試験片の動的な応力場をもう少し正確にいうと、入射する圧縮応力によって極く初期には、き裂の先端は両側で圧縮の応力場であるが、すぐに引っ張りに転じる。この引っ張り応力場の発達は、左側き裂で右側に比べて時間的に数 μs ($1\mu\text{s} = 10^{-6}$ 秒) 遅れる。き裂の進展はまず右側から生じ、やがて左側でも生じるのである。なお、この方法では円板の左側には何ら支えは必要でない。破壊の開始は試験片が入力棒から離れるまでに起こり、試験片の慣性力が有効となる動的な場合の特徴である。静的な試験は円板の両側から圧縮力をかけて行う。

直径 36mm のガラスやセラミックスの試験片に対して、入力棒と衝撃棒の直径は 8mm で長さはそれぞれ 100cm の鋼の丸棒を用いた。衝撃棒を約 8m/s の速度で衝突させると、静的な場合の 10⁶ 倍の負荷速度をもった動的な試験が可能なのである。

実験では、入力棒上のひずみゲージによって入射波と反射波を測定し、それらから試験片に加わる衝撃荷重が求められる。その波形を $P(t)$ とすれば、つぎの畳み込み積分

$$K_I(t) = A_I \int_0^t h_I(t-\tau) \dot{P}(\tau) d\tau \cdots \cdots (1)$$

を用いて動的応力拡大係数が計算できる。 A_I は試験片形状による定数である。 $h_I(t)$ はステップ応答関数と呼んでいるが、これは試験片にス

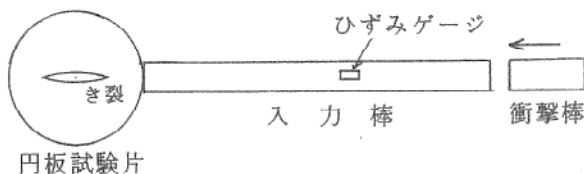


図1 衝撃試験法



*Keizo KISHIDA
1938年7月4日生
昭和36年大阪大学工学部精密工学科卒業
現在、大阪大学工学部精密工学科、教授、工学博士、材料力学
TEL 06-877-5111 (内線 4631)

テップ荷重が作用したときの、き裂先端の開口変位の動的と静的の比として与えられる。試験片に対して動的及び静的有限要素解析を行うことによって、これを求めることができる。もちろん、ステップ荷重が作用しても動的応力拡大係数がステップ状に上昇するのではなく、遅れが生ずる。これを表すのがステップ応答関数である。き裂の特異応力場の形成は、試験片内を伝播する応力波によるのであるが、直径を膨張波が往復する間に十分な大きさに達し、その強さは静的を値の1.8倍位となる。膨張波が往復する実際の時間は、ガラスで $14\mu\text{s}$ 、アルミナセラミックスで $7\mu\text{s}$ である。

一方、き裂の先端に貼ったひずみゲージの出力から破壊の開始、即ちき裂が進展を開始する時刻 t_f を知って、それを式(1)に代入した $K_I(t_f)$ が材料の動的破壊じん性を与える。

さて、これまで引っ張りのモードI型破壊について述べたが、図1の試験片を回転させて、き裂を入力棒に対して約23度の角度を持たせると、き裂の上下で互いにずれるせん断型のモードII破壊試験が可能となる(図2)。モードII

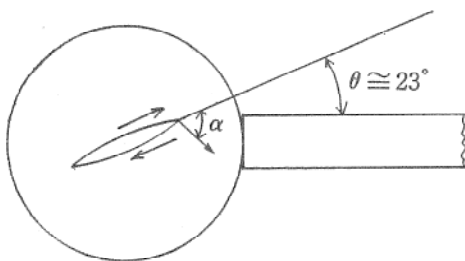


図2 せん断型衝撃破壊と初期き裂の進展方向

の場合にもその動的応力拡大係数 $K_{II}(t)$ が式(1)と同様に計算できる。引っ張り型の破壊の場合、き裂の進展は元のき裂の方向と同じであるが、せん断型破壊の場合は図2のように角度 $\alpha \cong 68^\circ$ の方向となる。この方向はこれに垂直な引っ張り応力が最大となる方向として求められるが、実験ではこれより少し小さい角度となっている。試験片の傾き角を0度から23度の間で変化させると、引っ張りとせん断の混合した応力下での破壊となる。混合モード下での、材料の動的破壊じん性試験が行えるのが、図1に示した方法の重要な特徴なのである。

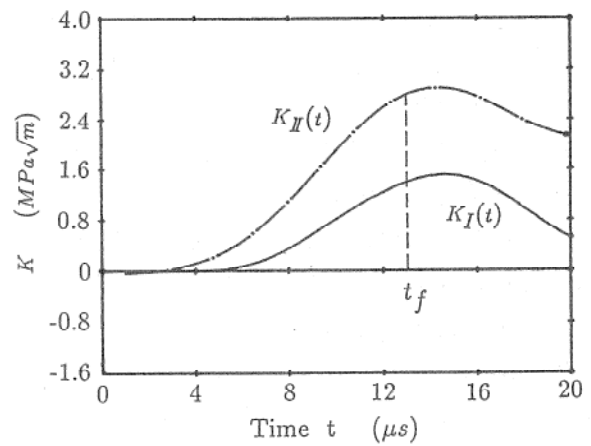


図3 動的応力拡大係数の時間的変化

$\theta = 15^\circ$ として行った混合モードでのアルミナセラミックスの衝撃試験の結果を示すと、以下のようなものである。まず、図3には引っ張りとせん断の各動的応力拡大係数の時間的変化のようすを示す。縦の点線は破壊開始時間であって、この時の K_I と K_{II} を読んで実験データがえられる。

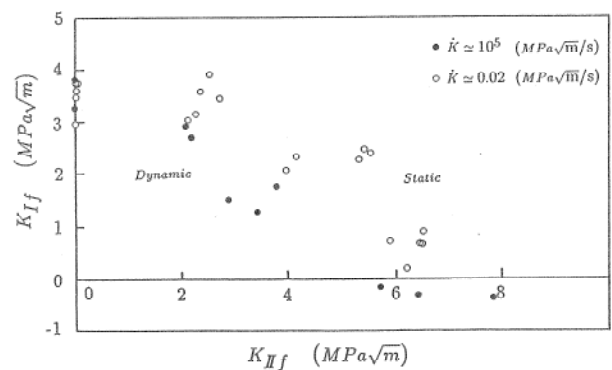


図4 アルミナセラミックスの強度

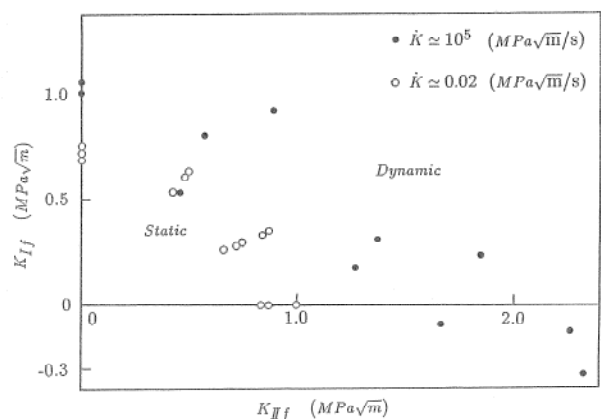


図5 ソーダガラスの強度

図4はこのようにして得られたアルミナセラミックスの結果であって、動的強度は静的なものとは比べて全体としては大差はないといえる。これに対してソーダガラスの結果は、図5に示すとおりに明らかに動的強度が上回っている。ガラスはむしろ衝撃に強いのである。動的強度が静的より大きくなる材料は他にもあって、セラミックスの粉末を複合材とした鉛ガラスにもこの傾向がはっきりみられる。また金属材料ではアルミ MMC がそうであって、チタン合金もこ

の部類にはいる。

機械や構造物が壊れるのは衝撃によることが多いのも確かである。それは衝撃によって予期せぬ大きな力が発生するためであって、むやみに材料のせいにはしてはならない。衝撃力を正しく評価することは、実験的にも理論的にもそれほど容易なことではないが重要なことである。

文 献 中野，岸田；日本航空宇宙学会誌，
36巻410号45頁1988年。

