

粘弾性安定クラック伝播中のクラック抵抗変動

小林 昭・大谷 信男・宗村 昌幸

Crack Resistance Variation during
Viscoelastic Stable Crack Propagation

By

Akira KOBAYASHI, Nobuo OHTANI and Masayuki MUNEMURA

Abstract: During stable crack propagation, crack resistance in viscoelastic solids was measured at various temperatures via sector area technique. The obtained crack resistance values are decreased with the increase in crack length at any test temperature. The crack velocity also decreases as the crack advances. The crack resistance increases as the crack velocity increases, and as the temperature decreases, which is quite contrary to the usual behavior of crack resistance in metals.

概 要

ポリメチル・メタクリル樹脂 (polymethyl methacrylate: PMMA と略称) におけるモード I での安定クラック成長中の瞬間クラック抵抗を, 扇形面積法 (sector area method) により, 異なる温度環境で測定した. 安定クラック伝播中のクラック抵抗は, どの温度においても, クラック径路の漸減函数となることが認められ, 特に -30°C における場合は, クラック成長開始直後では, 高いクラック抵抗値を示しているにも拘らず, クラック進展と共に急激に低下することが分かった. 速度ゲージ手法によるクラック伝播速度曲線も亦, クラック径路の減少函数となる. クラック抵抗 R およびクラック伝播速度 \dot{c} に関する R の勾配 $dR/d\dot{c}$ は, いずれも温度低下と共に増大し, 又, \dot{c} が増加するにつれて, それぞれの R が増大するが, これらの現象は金属におけるクラック抵抗の挙動とは逆であり, 興味ある事実である.

1. 序 論

種々の温度下での, 安定クラック伝播中の瞬間クラック抵抗については, 粘弾性材料に関する情報は未だ極めて少ない.

固体内のクラック抵抗を示すものとしては,

- (1) 破壊表面自由エネルギーで表わす改良グリフィス理論によるもの

- (2) 限界応力拡大係数 K_c 又は、限界歪エネルギー解放率 G_c を用いた破壊力学によるもの
- (3) 破壊の仕事率(specific work of fracture), 即ち、破壊靱性若しくはクラック抵抗 R を測定するもの

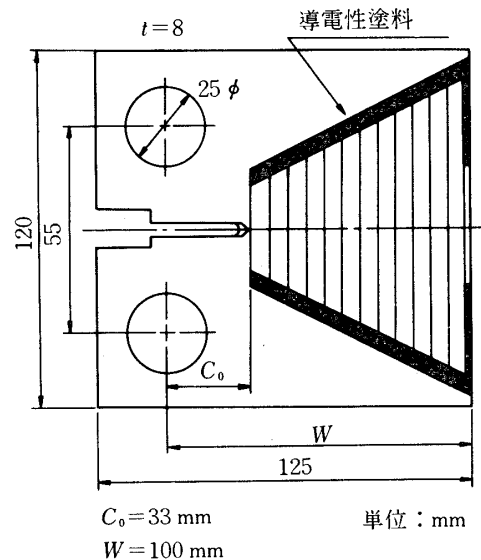
等があるが、粘弾性場合への Gurney および Hunt [1] による扇形面積法は、上記カテゴリー中(3)に属するが、一回の試験で多くのクラック抵抗値を求めることが出来、歪速度依存性が求められるので、安定クラック伝播中の瞬間クラック抵抗を測定するのに適しているといえよう。

本論文は、PMMA のような粘弾性体が、種々の温度下での安定クラック伝播中に示す、瞬間クラック抵抗を、扇形面積法および速度ゲージ法 [2] によって実験的に究明したものである。

2. 実験手法および試験片

クラックが進行するにつれて、刻々のクラック抵抗値 R を扇形面積法によって計測する為には、負荷および荷重点の変位 (loading pin 間の開口変位) を、連続的に記録する必要があり、又、安定クラック成長の実現も要求される。この為、剛性の高い試験機と、安定クラック成長を実現する試験片形状が必要となる。

第1図の PMMA 試験片は、住友化学製スミペックス (Sumipex) (商品名) 平板より製作したもので、compact tension 型で初期クラック長さ $C_0 = 33$ mm 中には長さ 4 mm の疲労



第1図 PMMA 試験片

クラックが含まれる。よく知られているように、この compact tension 型試験片は安定クラック成長をなす。クラック成長の間、クラック伝播速度 \dot{C} は速度ゲージによって計測される。第1図に示されるように、速度ゲージは、クラック進行方向に垂直に、クラックの予想径路上に、定まった間隔でひかれた導電性塗料 (conductive silver coating material: デュポン (du Pont) 社製 No 4817) より成るもので、クラックが進行するにつれて、この導電性塗料を切断して電気出力を変えるので、時間マークと共に測定して、塗料の線の間隔内での平均的クラック伝播速度を求めるものである。

インストロン (Instron) 型引張試験機は、充分剛性があり、自記式であって、負荷能力内では上述の目的に充分適うものである。このインストロン型試験機を用いて、モード I (開口変位型) の単調増大負荷によるクラック伝播実験を行った。

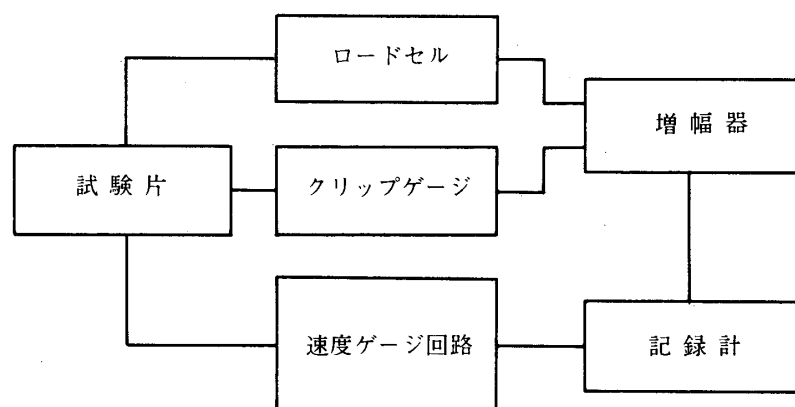
試験温度は、 -30°C (液体窒素利用)、 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ (室温)、 $52\sim 55^{\circ}\text{C}$ (温風器利用) の3種類である。

荷重点での相対変位は、クリップ・ゲージにより、又、荷重はロード・セルにより、それぞれ計測した。

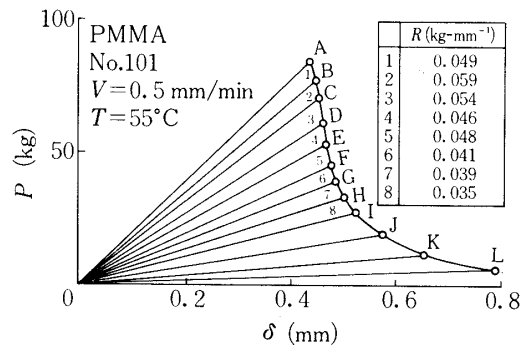
関係する計測ブロック図を、第2図に示す。

3. 実験結果および検討

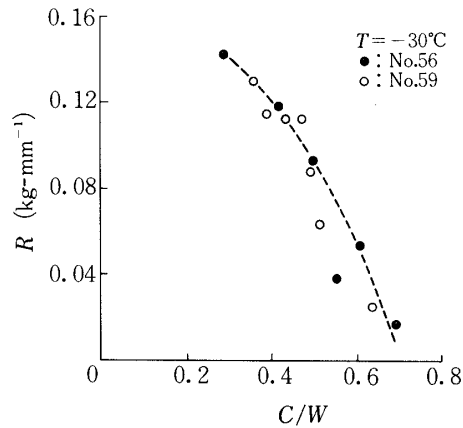
一定引張速度 0.5 mm/minute で前述試験片を負荷して安定クラック伝播を実現させ、扇形面積法でクラック抵抗 R を計測するために、荷重 P と loading pin 間の開口変位 δ をそれぞれ測定した。その一例を第3図に示す。第3図で、クラックが進展するにつれて、開口変位 δ は $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$ にそれぞれ相当する δ の値をとる。今、 $A \rightarrow B$ に開口変位が増加すると、 $\triangle OAB$ の面積をこの間のクラック面積の増加量で割ったものが、この間のクラック抵抗 R となる。このようにして得られたクラック抵抗 R を、進行クラック長さの函数として、各温度について示したものが第4図～6図である。更に比較のために、第7図にまとめて掲げた。



第2図 計測ブロック図



第3図 扇形面積法による荷重～開口変位関係

第4図 $R \sim C/W$ (-30°C)

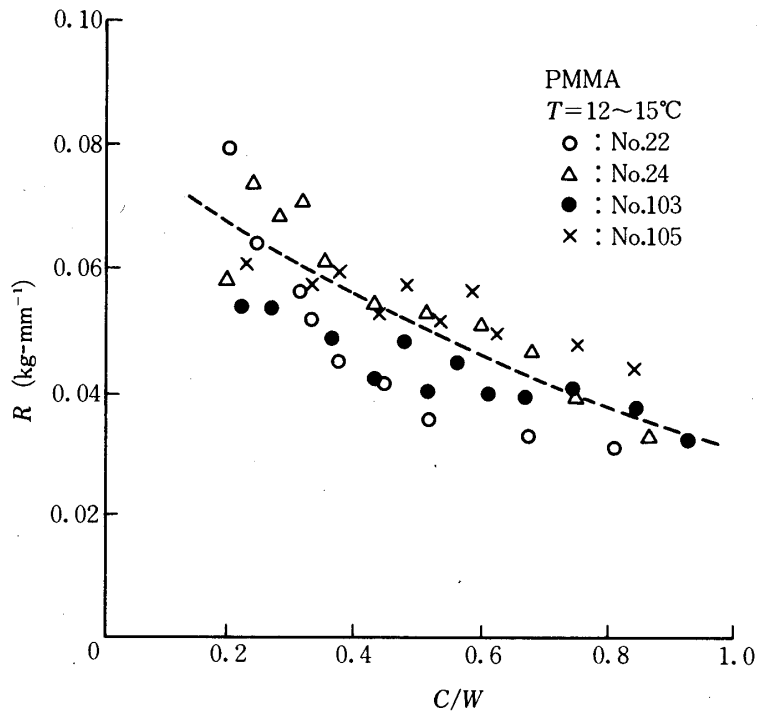
これらの結果から、

- (1) R は、温度に拘らず、クラック長さ C の減少函数である。
- (2) dR/dC は、温度 T が減少するにつれて、大きくなる。
- (3) 温度が減少すると、高い初期 R 値が得られる。

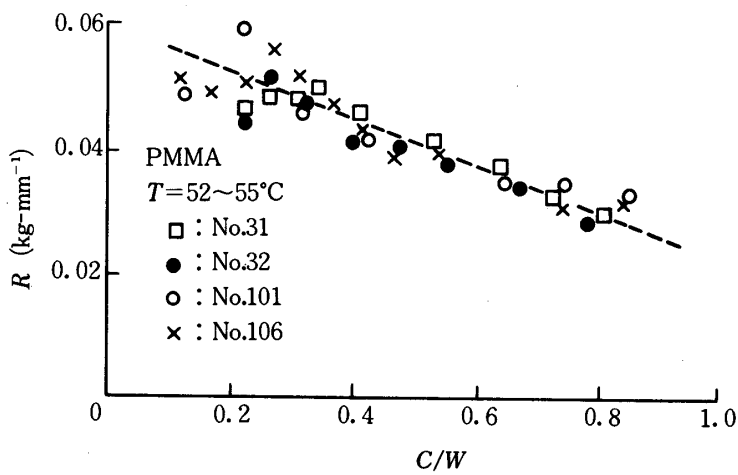
などが認められる。

各温度において、速度ゲージを用いて求めた、安定クラック伝播中のクラック速度 \dot{C} を、進行クラック長さの函数として表わしたものが第8図である。第8図より、すべての \dot{C} 曲線はクラック長さの減少函数であり、 -30°C における \dot{C} は他の二温度での場合に比べて常に下まわっているが、 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ の場合と $52\sim 55^{\circ}\text{C}$ の場合とはほとんど同様な挙動を示すことなどが分かる。 C/W (W = 試験片幅 = 100mm: 第1図参照)が増加すると、すべての \dot{C} は減少するが、compact tension型試験片を用いた場合に予期される結果である。

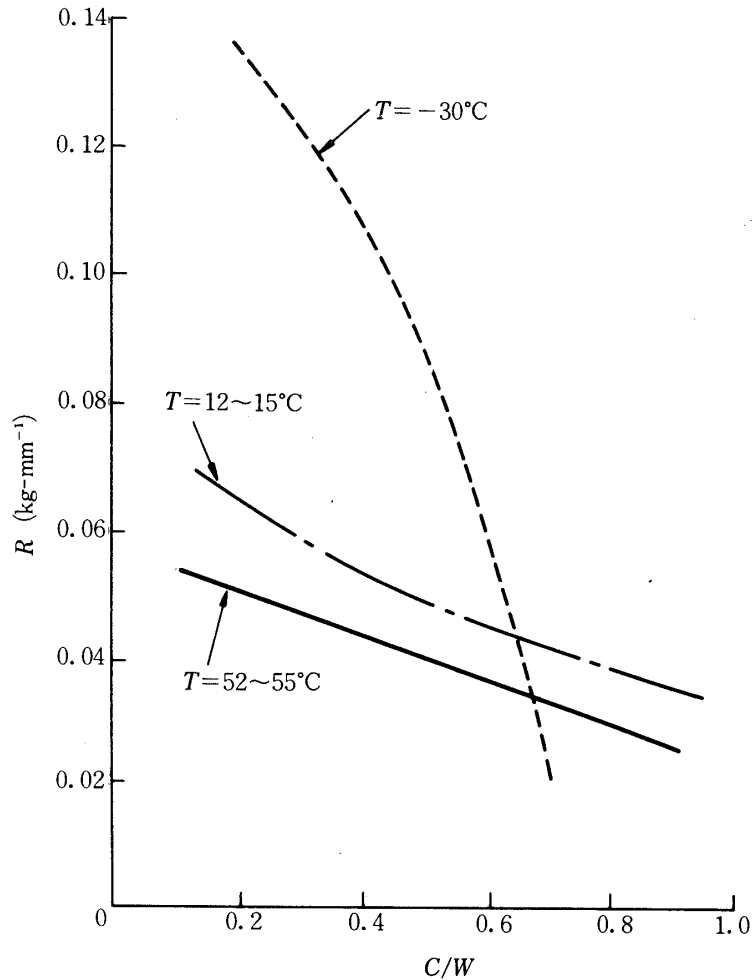
第9図は、各温度での \dot{C} と R との相関々係を示したものである。 R および dR/dC は、温度の低下に伴って増大し、又、 \dot{C} の増加と共に各 R 値は増大することが分かるが、これらは、金属におけるクラック抵抗挙動とは全く反対であり、Atkins等[3]による結果とよく合うものである。



第5図 $R \sim C/W$ ($12\sim 15^{\circ}\text{C}$)



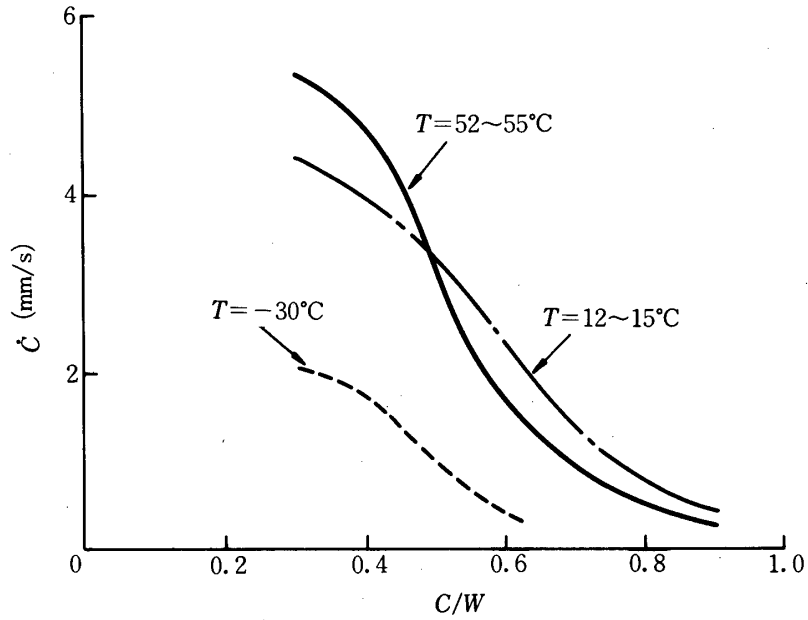
第6図 $R \sim C/W$ ($52\sim 55^{\circ}\text{C}$)

第7図 クラック抵抗 R の比較

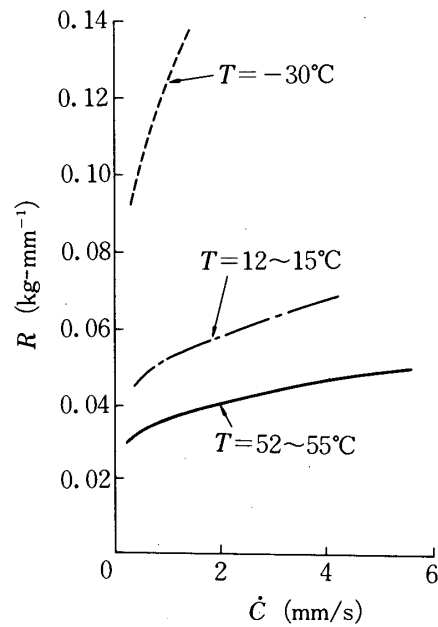
4. 結 論

PMMAのような粘弾性体における安定クラック伝播の際の、刻々のクラック抵抗を、異なる温度下において、扇形面積法により測定した。実験にあたっては速度ゲージを有するcompact tension型試験片を用い、低速のモードI引張負荷の下に、安定クラック伝播を実現させ、 -30°C 、 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ 、 $52\sim 55^{\circ}\text{C}$ の3種の温度下でのクラック抵抗およびクラック伝播速度を得た。

クラック抵抗 R は、温度の如何によらず常にクラック長さの減少函数であり、温度が低下するにつれて、 dR/dC が増大し、又、温度低下と共に、初期 R 値が高くなることが分かった。すべてのクラック伝播速度 \dot{C} は、クラック長さ C の減少函数であり、 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ の場合と $52\sim 55^{\circ}\text{C}$ の場合は、ほとんど同様の \dot{C} 曲線を呈するが、 -30°C の場合は、前述の二つの場合に比べて、半分以下の \dot{C} の値を常に示している。



第8図 $\dot{C} \sim C/W$ ($T = -30^\circ\text{C}$, $12 \sim 15^\circ\text{C}$, $52 \sim 55^\circ\text{C}$)



第9図 $R \sim \dot{C}$ ($T = -30^\circ\text{C}$, $12 \sim 15^\circ\text{C}$, $52 \sim 55^\circ\text{C}$)

$R \sim \dot{C}$ 関係については、 R および $dR/d\dot{C}$ のいずれも温度低下と共に増加し、個々の R は \dot{C} が増加すれば増大するが、これらは金属で認められるクラック抵抗挙動とは全く異なっているものである[3].

謝 辞

本研究に当たり、御助力をいただいた当所小林研究室の花野井英雄君および長島純君の協力を深甚の謝意を表す。

1979年12月29日 材料部

参 考 文 献

- [1] C. Gurney and J. Hunt; Proc. Roy. Soc. London, A229, pp. 508–524 (1967).
- [2] H. Liebowitz, ed.; “Fracture,” Vol. II, Academic Press, New York, p. 545 (1968).
- [3] A.G. Atkins, C.S. Lee and R.M. Caddell; J. Materials Sci., 10, pp. 1381–1393 (1975).