硬質塩化ビニルのクリープ特性とクリープ 破断特性の関係*

中川有三** 古賀満男** 大久保修三*** 守谷恒夫***

On the Relation between Creep and Rupture of Unplasticized Polyvinyl Chloride

by

Yuzo NAKAGAWA, Mitsuo KOGA, Shuzo OKUBO and Tsuneo MORIYA
(Faculty of Engineering, Kyoto University) (Sumitomo Bakelite Co. Ltd.)

We have studied on a relation between minimum creep rate and time duration to rupture of unplasticized polyvinyl chloride.

Although it has been shown by many reports on metals that they are reciprocally proportional to each other, we have recognized through our experiment that the relation is as follows;

$$t_r = M / (\dot{\epsilon}_{\min})^\theta,$$

where t_r is time duration to rupture, $\dot{\epsilon}_{\min}$ is minimum creep rate, M and θ are coefficients which change their values depending on testing temperatures, two ranges of $\dot{\epsilon}_{\min}$ and conditions of heat treatment of specimens.

Values of coefficient θ for normal specimens become larger than 1 in the lower range of minimum creep rate, though it is almost equal to 1 in the higher range in which time duration to rupture is approximately proportional to reciprocals of minimum creep rate. For the specimens kept at 60°C for 5 days, no range is recognized where the value of θ is almost equal to 1.

A master rupture curve of normal specimens is drawn in the range of temperature -10 to 40°C, derived from the formula proposed by the authors in the preceding paper and from the above mentioned parameters.

(Received Nov. 13, 1962)

1. ま え が き

著者らは、さきに硬質塩化ビニルのクリープ試験結果について報告し、またこれとならんで簡易型クリープ破断試験機によるクリープ破断試験を行ない、その結果についても一部報告した。本報ではその後の試験結果を追加し、クリープ特性との関係を導入してクリープ破断特性をまとめた。

一般にクリープ破断試験の結果を解析するには、最小クリープ速度と破断時間が反比例するという仮定を設けて取り扱うことが多いが、この材料ではこの関係がかならずしも成り立たないことが明らかになった。

2. 試験材料および試験装置

試験材料はスミライト VS9200 の厚さ 1 mm の板から Fig. 1 に示す寸法の試験片を、板成型時のロール押し出し方向と直角方向の 2 種類切り出した。以下

これらをそれぞれ //, ⊥ の記号で区別する。

クリープ試験機とクリープ破断試験機の構造はすでに報告したので詳細は省略する。

3. 試験結果

標準材の -10°C ~ 40°C におけるクリープ破断曲線と、60°C 5 日間加熱処理材の 40°C におけるクリープ破断曲線を Fig. 2 に示す。また、クリープ試験から得られた応力-最小クリープ速度線図を Fig. 3 に示す。

前述の最小クリープ速度と破断時間が反比例するという仮定が常に成り立つならば、Fig. 2 および 3 の対応する直線のこう配は絶対値がそれぞれ等しくなるべきであるが、実際にはかならずしもそうならない。次

Fig. 1 Specimen

* 原稿受付 昭和37年11月13日, 第6回材料試験連合講演会にて講演(昭37.10)

** 正員 京都大学工学部

*** 住友ベークライト(株)

節以後この点について考察を進める。

4. クリープ特性とクリープ破断特性の関係

(I) 一般的関係

クリープ試験結果のひずみ-時間曲線 (Fig. 4) において, クリープが加速期に移行して $d\varepsilon/dt \rightarrow \infty$ に向かう時刻を t_r とし, 定常クリープを延長して $t=0$ および $t=t_r$ のときの切片をそれぞれ ε_s および ε_r とする. これは定常クリープの終点が曲線の上ではっきり求めにくいために用いる便宜的の方法であって, t_r および ε_s をそれぞれ破断時間および降伏ひずみの measure として用いようとするものである.

上の定義から次の関係が成り立つ.

$$t_r \cdot \dot{\varepsilon}_{\min} = \varepsilon_r - \varepsilon_s \quad (1)$$

ここに $\dot{\varepsilon}_{\min}$ は最小クリープ速度である.

Fig. 2 Conventional stress σ vs. logarithm of time to rupture t_r

Fig. 3 Conventional stress σ vs. $\log \dot{\varepsilon}_{\min}$

Fig. 4 Definition of ε_r , ε_s and t_r

次に, クリープ試験から得られた温度一定の時の応力と最小クリープ速度の関係 (Fig. 3) は (2) 式で表わされる.

$$\sigma = a + b \log \dot{\varepsilon}_{\min} \quad (2)$$

ここに σ は公称応力, a および b は定数である.

また, クリープ破断試験の結果から得られた温度一定のときの公称応力と破断時間の関係 (Fig. 2) は (3) 式で表わされる.

$$\sigma = p - q \log t_r \quad (3)$$

ここに p および q は定数である.

Table 1 Correlation between formulas (1) and (4)

Term Case	b/q	$t_r \cdot \dot{\varepsilon}_{\min}$	Diagram of the formula (4)
A	$=1$	$=\text{Const.}$	Straight line (Incl. $=1$)
B	$=\text{Const.} \neq 1$	$\neq \text{Const.}$	Straight line (Incl. $\neq 1$)
C	$\neq \text{Const.}$	$\neq \text{Const.}$	Curved line

Fig. 5 ε_r , ε_s vs. $\log 1/\dot{\varepsilon}_{\min}$

Fig. 2 および 3 の直線が屈曲点を持つとき、(2) および (3) 式のこれらの定数は屈曲点の両側でその値が変わるが、両図の屈曲点はほぼ対応する位置にあり、したがって線図の左右それぞれの部分において、これらの定数の関係を解析することができる。

(2) および (3) 式から (4) 式を導く。

$$\log t_r + \frac{b}{q} \log \dot{\epsilon}_{\min} = \frac{p-a}{q} \quad (4)$$

(1) 式と (4) 式の相互関係をまとめると Table 1 のようになる。このうち、上述の仮定が成り立つのは A の場合だけである。

(II) 実験結果との比較

(i) 標準材 標準材についてクリープ試験から求めた (1) 式の実験値と $\dot{\epsilon}_{\min}$ の関係を Fig. 5 (a)~(c) に示す。これらの図から明らかなように、 $\epsilon_r - \epsilon_s \cong \text{const.}$ であるのはクリープ速度の比較的大きい領域だけであって、小さいほうの領域ではしだいに増大する傾向があり、この傾向は高温になるほど著しい。

次に、同じくクリープ試験から求めた $\log t_r - \log 1/\dot{\epsilon}_{\min}$ 線図を Fig. 6 に示すが、この線図は直線の (5) 式で近似できる。

$$\log t_r + \theta \log \dot{\epsilon}_{\min} = \log M \quad (5)$$

(4) 式と (5) 式を比較すると、 $\theta = b/q$ となるはずであるが、 θ はクリープ試験の結果から求め、 b/q はクリープ、クリープ破断両試験の結果から求められるもので、実験結果から得られる値はかならずしも一致しない。その値を Table 2 (a) に示す。それによると、 $\dot{\epsilon}_{\min} > 10^{-2} \%/\text{h}$ の範囲では b/q および θ の値はほぼ 1 に等しく、Table 1 の A の場合が近似的に成り立つとみなせるが、 $\dot{\epsilon}_{\min} < 10^{-2} \%/\text{h}$ の範囲では B の場合に対応すると考えられる。

(ii) 加熱処理材 60°C 5 日間加熱処理材のクリープ特性が特異なものであることはすでに報告したが、(1) および (4) 式の実験値もそれぞれ Fig. 5 (d), 6

Fig. 6 $\log t_r$ vs. $\log 1/\dot{\epsilon}_{\min}$

および Table 2 (b) に示すように標準材とかなり異なる傾向をもっている。すなわち、顕著な方向性が現われ、また θ および b/q の値が近似的にも 1 に等しいとみなせる部分が全くない。ことに、 $\dot{\epsilon}_{\min} > 10^{-2} \%/\text{h}$ の範囲で $\theta_{//} \gg \theta_{\perp}$ となることは、この範囲で破断時間に著しい方向性を示すこととよく一致している。

以上の結果をまとめると、この材料の最小クリープ速度と破断時間の関係は (6) 式で表わすことができる。

$$t_r = \frac{M}{(\dot{\epsilon}_{\min})^{\theta}} \quad (6)$$

θ の値はそれぞれの場合に応じて Table 3 に示すように変化する。金属材料では一般にこの値は 1 かまたは近似的に 1 に等しいとされているが、この材料では 1 から大きくかたよる場合があるので、(6) 式において θ を無視することができない。

5. Master rupture curve

著者らは前報において、最小クリープ速度を温度および負荷応力の関数として表わす (7) 式を提出した。

$$\log \dot{\epsilon}_{\min} = \alpha - \frac{Q}{2 \cdot 30 RT} - \left(\beta - \frac{f}{2 \cdot 30 RT} \right) \sigma \quad (7)$$

Table 2 Experimental values of Coefficients of the formulas (4) and (5)

a) Normal specimens						
Temp. $\dot{\epsilon}_{\min}$ (%/h)	20°C		30°C		40°C	
	$<10^{-2}$	$<10^{-2}$	$>10^{-2}$	$<10^{-2}$	$>10^{-2}$	$<10^{-2}$
b/q	0.85	0.89	—	—	1.00	4.00
θ	0.93	1.16	0.92	1.25	1.07	1.29

b) Specimens kept at 60°C for 5 days (Tested at 40°C)				
$\dot{\epsilon}_{\min}$ (%/h)	//		⊥	
	$>10^{-2}$	$<10^{-2}$	$>10^{-2}$	$<10^{-2}$
b/q	1.38	—	0.82	—
θ	1.30	$\approx \text{Const.}$	0.73	$\approx \text{Const.}$

Table 3 Brief table of the values of θ and b/q

Kind of specimens	$\dot{\epsilon}_{\min} > 10^{-2}$		$\dot{\epsilon}_{\min} < 10^{-2}$	
	$\theta, b/p$	*	$\theta, b/q$	*
Normal	≈ 1	A	$\approx \text{Const.} > 1$	B
Kept at 60°C for 5 days	//	$\approx \text{Const.} > 1$	B	$\approx \text{Const.}$
	⊥	$\approx \text{Const.} < 1$		
				C

* Corresponding case of the Table 1

ここに Q は活性化エネルギー, R はガス定数, T は絶対温度また α , β および f は定数である.

(5) 式を (7) 式に代入して (8) 式を得る.

$$T \left(\alpha - \beta \sigma \frac{\log M}{\theta} + \frac{\log t_r}{\theta} \right) = \frac{Q - f\sigma}{2 \cdot 30 R} \quad (8)$$

(8) 式は一般に Larson-Miller の式として知られている (9) 式に対応するものである.

$$T(\text{const.} + \log t_r) = K(\sigma) \quad (9)$$

(9) 式の const. はかならずしも一定でなく, 応力とともに値を変える傾向があると指摘されているが,

(8) 式では対応する項に σ の関数が含まれている.

(8) 式を用いてクリープ破断試験結果を Master rupture curve にまとめたものが Fig. 7 である. ただし M および θ の値は, クリープ試験の行なわれた温度 20, 30, 40°C の範囲, また (7) 式の諸定数の値はおもに最小クリープ速度の大きい領域での実験結果に基づいているので, この図は低温度および低クリープ速度領域へ外挿された部分も含んでいる.

Fig. 7 Master rupture curve of normal specimens

6. 定数の温度の関数としての表示

(I) a および b

クリープ試験の結果から得られる (2) 式の定数 a , b は次の (2') 式と (7) 式の各項を比較することにより, 温度の関数として (10) 式で表わすことができる.

$$\log \dot{\epsilon}_{\min} = -\frac{a}{b} + \frac{1}{b} \sigma \quad (2')$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \phi_1(T) = \frac{Q - 2 \cdot 30 R T \alpha}{f - 2 \cdot 30 R T \beta} \\ b &= \phi_2(T) = \frac{2 \cdot 30 R T}{f - 2 \cdot 30 R T \beta} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(II) p および q

上と同様にして (3) 式と (8) 式からクリープ破断曲線の定数 p , q を温度の関数として (11) 式で表わすことができる.

$$\left. \begin{aligned} p &= \phi_1(T) = \frac{Q - 2 \cdot 30 R T (\alpha - \log M / \theta)}{f - 2 \cdot 30 R T \beta} \\ q &= \phi_2(T) = \frac{2 \cdot 30 R T}{\theta (f - 2 \cdot 30 R T \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

7. 結 言

最初に述べたように, この材料では最小クリープ速度と破断時間がかかならずしも反比例しないが, その理由は降伏ひずみが一定値をとらず, 破断時間が長くなるに従って一般に増大することにある. このことを考慮にいれて, クリープ破断特性を最小クリープ速度と関係づけて解析を行ない, その結果を Master curve に整理した.

本報では取り扱いを簡単にするため, $\log t_r - \log 1/\dot{\epsilon}_{\min}$ 線図を直線で近似しうる場合についておもに解析したが, 加熱処理材のように直線とみなせない部分をもつものに対してはなお不充分であり, さらに検討を必要とする.

参 考 文 献

- 1) 中川, 奥田, 古賀, 大久保, 守谷, 材料試験, 11, 108, 561 (1962)
- 2) Y. Nakagawa *et al.* Proc. 4th. Jap. Cong. Test. Mat., 113 (1961)
- 3) H. Conrad, Trans. ASME, J. Basic Eng. 81, 617 (1959)
- 4) S.S. Manson and W.F. Brown Jr., Proc. ASTM, 53, 693 (1953)