

(260) 引張クリープ破断時間の予測について

金属材料技術研究所

久保 清
田中 千秋
福本 保

緒言 クリープ試験によって得られたひずみのデータから構造部材の破断時間を設計時に予測することが構造物の安全性を保証する点から一部で行われている。破断時間の予測については種々の理論が提案されている。しかし、これらの理論は十分に実験値に裏付けられているとはいえないようである。そこで、定荷重下の引張クリープ破断時間の実験値と理論値を比較することによって、これらの理論の問題点と適用性とを検討した。

解析 引張荷重下の丸棒はクリープ変形とともに断面面積が減少し、ある時間で断面面積は零となる。この時間を粘性破壊時間という。変形時の真応力と対数ひずみの関係は

$$\sigma = \sigma_0 \exp(\epsilon) \quad \sigma_0: \text{公称応力} \quad \text{----- (1)}$$

となる。ひずみ速度-応力関係式を $\dot{\epsilon} = k\sigma^n$ (Nortonの法則), $\dot{\epsilon} = \frac{k}{P}\sigma^m t^p$ (時間硬化則) および $\dot{\epsilon} = \frac{k}{P}\sigma^m \epsilon^p$ (ひずみ硬化則) とする。(1)式をそれぞれのひずみ速度-応力関係式へ代入し変数分離し、積分すると、各々の理論(仮定)に基づくひずみ-時間関係式が求まる。

$$t = \frac{1}{nk\sigma_0^n} \left(1 - \exp(n\epsilon)\right) \quad \text{----- (2) (Nortonの法則)}$$

$$t = \frac{1}{(mK\sigma_0^m)^p} \left(1 - \exp\left(\frac{m\epsilon}{p}\right)\right)^p \quad \text{----- (3) (時間硬化則)}$$

$$t = \frac{p}{K^p \sigma_0^{mp}} \int_0^\epsilon \frac{d\epsilon}{\epsilon^p \exp(m\epsilon)} \quad \text{----- (4) (ひずみ硬化則)}$$

(2)(3)(4)式の $\epsilon \rightarrow \infty$ としたときの t が粘性破壊時間である。

実験結果 供試材(低炭素鋼LAおよびLBと12Cr鋼)の化学成分等を表1に、また理論で使用した材料定数を表2に示す。それぞれの供試材の破断時間の実験値と理論値を図1に示す。

①実験値が(4)式の理論値と一致したLBのクリープ曲線の形は大きな遷移クリープの後、定常クリープがなく、加速クリープを示した。②LAの低応力側および12Cr鋼のクリープ曲線は遷移クリープが小さく、大部分定常クリープであった。そして③実験値が(2)式の理論値と一致したLAのクリープ曲線は応力の低下とともに結果①の形から②の形へ移っていく傾向を示した。

表2 供試材の材料定数

Material	Temp. (°C)	k	n	K	m	p	B	X
LA	450	2.72×10^{-24}	15.12	1.29×10^{-8}	4.27	2.13	—	—
LB	450	4.25×10^{-22}	14.38	5.71×10^{-11}	6.42	1.96	—	—
12Cr	550	6.016×10^{-18}	11.24	1.65×10^{-6}	2.62	1.404	7.406×10^{-4}	7.87

表1 供試材の化学成分、熱処理および

結晶粒度

Chemical composition

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	N
Carbon steel (LA)	0.17	0.29	0.45	0.023	0.031	0.07	—	0.18	<0.001	0.0046
Carbon steel (LB)	0.17	0.28	0.44	0.023	0.031	0.07	—	0.18	<0.001	0.0046
12%Cr steel (12Cr)	0.13	0.12	0.56	0.020	0.014	0.31	11.80	0.08	0.010	0.023

Heat treatment

LA (70mmφ)	920°Cx2hr→AC
LB (70mmφ)	900°Cx2hr→FC
12Cr (45mmφ)	980°Cx1hr→OQ, 760°Cx2hr→WC

Grain size (JIS G 0552-1957)

LA	6.5
LB	3.0
12Cr	—

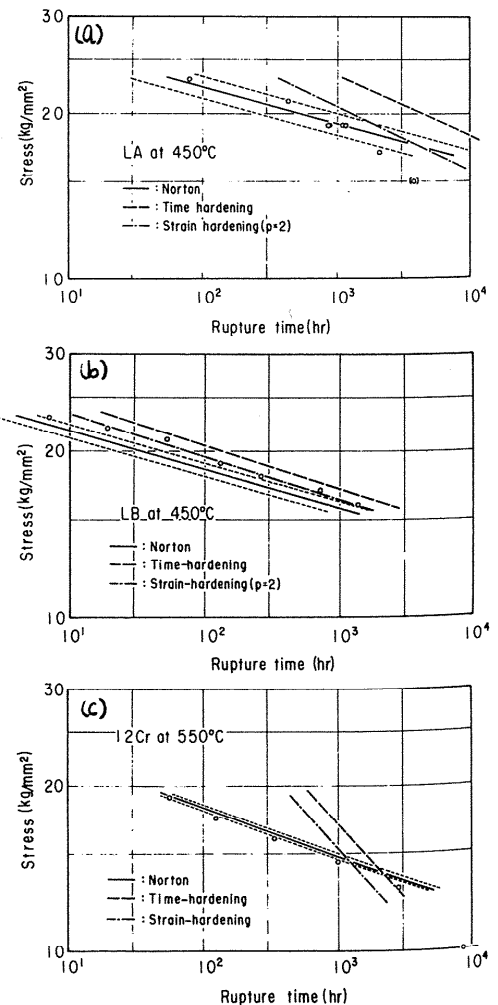


図1 破断時間の実験値と理論値の比較