

九州大学 生産研 正員 江崎 哲郎
 “ 工学部 学生員〇 牧 角 龍 憲
 “ “ 正員 徳 光 善 治

1. 緒 言

その1で提起した、破壊せずに存在する領域における、任意の荷重経路に対する時間の経過を考慮した応力-ひずみの関係を求めるためには、まず、単純な荷重経路(この場合は、一定持続荷重)に対するひずみ曲線を調べる必要がある。従来より低応力下のいわゆるクリープ曲線は多くの実験が行われているが、高応力レベルにおける長期的な実験は少ない。また、その曲線をできるだけ忠実に表示する問題がある。その表示法は、差分により求める方法、複雑な関数を使う方法など考えられるが、できるだけ簡潔な方法が望ましい。そこで筆者らは、クリープ破壊を生じる応力レベルを含んだ、長期にわたる持続荷重実験を行ない、一般によく使われる定数からなるクリープ表示式をいくつかとりあげ、その回帰性および高応力レベルに対する表示式の適否を考察した。また、この際問題となる定数決定の方法についても検討を加えた。

2. 実験概要

(1) 供試体の作成 コンクリートの材料は、 $C = 350 \text{ kg/m}^3$, $W/C = 60\%$ で早強ポルトランドセメント、海砂、石灰石(最大寸法10mm)を使用した。圧縮強度は $\phi 10 \times 40$ の円柱である。

(2) 実験方法 持続荷重は、短時間破壊試験で求めた応力-ひずみ図より載荷する応力レベルに相当するひずみの値を求め、この値を指標として載荷した時の荷重としたが、今回の実験では破壊荷重より求めた応力レベルとよく一致した。載荷は応力レベル30, 60, 70, 80, 90%の5種について行ない、応力レベル90%の場合は、万能試験機、80%以下の持続が長時間にわたる時は、図-1に示すような盤圧計をとりつけた載荷機を用いた。

持続時間中の変形は供試体断面中央位置においての荷重方向のひずみをKM-100型モールドタイプひずみゲージを用いて測定した。このKM-100型ひずみ計は、長期測定用に開発されたゲージで、従来のカーボンタイプよりも小型化しており、 10^{-6} のひずみまで測定できる特性をもつため今回の実験における長期間測定、最大ひずみ測定に適するので使用した。載荷初期においては、供試体表面2方向に貼付した抵抗線ひずみ計も加えて、測定した。乾燥収縮は無載荷供試体(KM-100埋込)を2本用意し、載荷供試体と並行して収縮の測定を行なった。

(3) 実験結果及び考察 (i) 実験結果のひずみ-時間曲線を図-2, 3, 4に示す。応力レベル90%の場合には、2400分で破壊に至ったが80%及びそれ以下の応力レベルでは載荷後約120日経過後まで破壊していない。これは比較的若材令による載荷のため、実質的応力レベルが下ったためと考えられるが、例えば応力レベル80%の場合、時間依存の変形だけで 5000×10^{-6} (総変形で 6700×10^{-6}) を越えているが、安定した荷重を保持している。また、応力レベルと

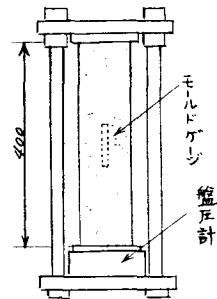


図-1. 載荷装置図

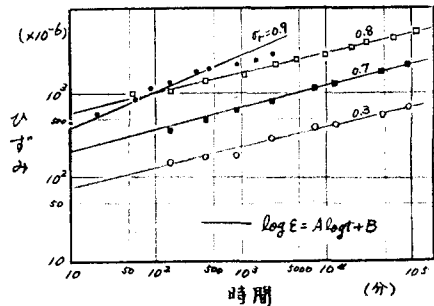


図-2.

$$\log E = A \log t + B$$

変形量の関係は比例関係になく、高応力レベルになると変形量の増加がおびただしい。(iii)比較的長時間荷重を行ない高応力レベルまでの時間依存の変形を測定したわけであるが、これらのひずみ曲線を表示するために一般的ないくつかの式をとりあげ、その式の特徴を再検討すると共に、高応力レベルの変形についてどの程度適用しうるかを考察する。再現する実験式は、 $\log \epsilon = A \log t + B$, $\epsilon = C(1 - e^{-Dt})$, $\epsilon = \frac{t}{E + Ft}$, $\epsilon = G \log t + H$ の4種類である。

(a) $\log \epsilon = A \log t + B$ (図-2)は初期の場合および高応力で破壊に近づいた場合は、直線性を失うため、近似しない。又、無限にひずみが増大することを表わすため、長期予測の場合、終局ひずみ値に種々の制限を必要とする。今実験値と比較するに、破壊に近づく場合、実験式とかなり離れた値をとっている。(b) $\epsilon = C(1 - e^{-Dt})$ (図-3)は、ケルビンモデルの解であり、 $\frac{d\epsilon}{dt} = C(D - \epsilon)$ 、即ち終局ひずみまでの残量に比例したひずみ速度でひずみが増大する、この式を積分したもので粘弾性を示す。低応力レベル(今回は30%)の場合は、終局ひずみが小さく、粘弾性変形として扱えるので近似しやすいが、高応力レベル(70%以上)においては、終局ひずみに今もって至らない場合、終局値を仮定して式を求めると、依然として大きなひずみ速度をもって増大する曲線は近似できない。この実験式では大きな曲率をもったものしか表わせず、実験値は曲率が小さいものを示しているためである。

(c) $\epsilon = \frac{t}{E + Ft}$ (図-3)は $t \rightarrow \infty$ で $\epsilon = \frac{1}{F}$, $t \rightarrow 0$ で $\dot{\epsilon} = \frac{1}{t}$ となり、初期ひずみ速度と終局ひずみとによって決定されるものであり、低応力レベルの場合、よく近似するとされている。

(b)と同様、時間の経過と共にひずみ速度が落ちる。しかしながら、高応力レベルの場合、

初期で近似しても中間点付近ではひずみ速度がかなり違うため、近似しにくい。(d) $\epsilon = G \log t + H$ は、長時間になると一般に実験値より小さい値を示すが、高応力の場合さらには逆れる。近似性は悪いようである。

実験式は、最小二乗法で求めた。 $\epsilon = C(1 - e^{-Dt})$ は、正規方程式が非線型となるが、適当な初期値を与えて近似させた。式の定数誤差は、繰返し計算によって小さくでき、実験値のとり方によっては、無視できるほどに小さくできる。以上、不定数型の実験式を検討したが、低応力レベルに対しては、よく近似し、終局値に附しては $\epsilon = \frac{t}{E + Ft}$, $\epsilon = C(1 - e^{-Dt})$ を用いれば実用上十分であろう。が、高応力レベルにおいては、不定数型では無理があり、関数の性質上近づけない部分が出てくる。従って高応力レベルにおいて厳密に近似させるには、差分による近似、複雑な関数による近似を採用すべきであろう。

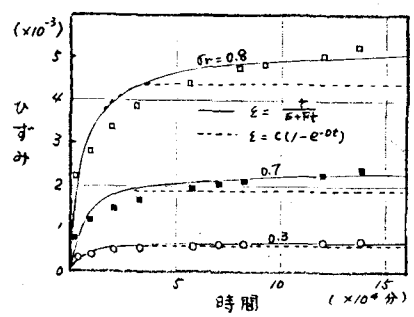


図-3. $\begin{cases} \epsilon = C(1 - e^{-Dt}) \\ \epsilon = \frac{t}{E + Ft} \end{cases}$

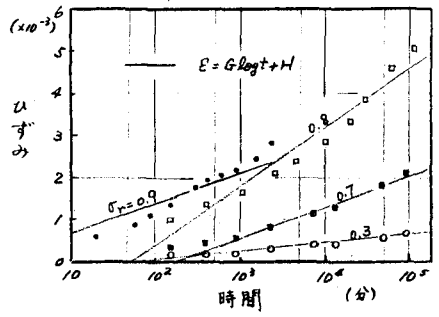


図-4 $\epsilon = G \log t + H$

表-1. 実験式と各応力レベルでの係数

実験式	σ_r	30%	60	70	80	90	90(8)
$\log \epsilon = A \log t + B$	A	0.23552	0.23960	0.25782	0.23755	0.42392	0.48799
	B	1.64703	1.48213	2.05141	2.50720	2.14468	1.94311
$\epsilon = C(1 - e^{-Dt})$	C	576.67842	1313.34473	1898.60965	4360.92822		
	D	0.0001683	0.0001556	0.0001382	0.0001294		
$\epsilon = \frac{t}{E + Ft}$	E	8.25627	3.99253	3.15846	1.28470	0.03715	0.01708
	F	0.0014101	0.0006243	0.0004273	0.0001898	0.0003542	0.0014848
$\epsilon = G \log t + H$	G	208.31078	470.38846	712.13121	1378.46268	750.72606	258.54660
	H	-411.77775	-931.08817	-1514.52207	-2358.62178	-122.44220	61.29856