

九州大学 生産研 正員 江崎 哲郎

工学部 学生員 〇 近田 孝夫

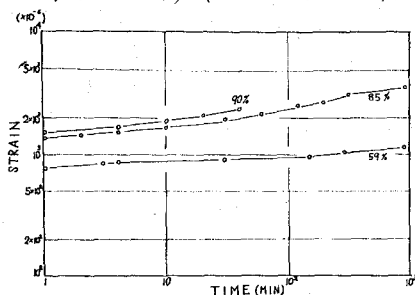
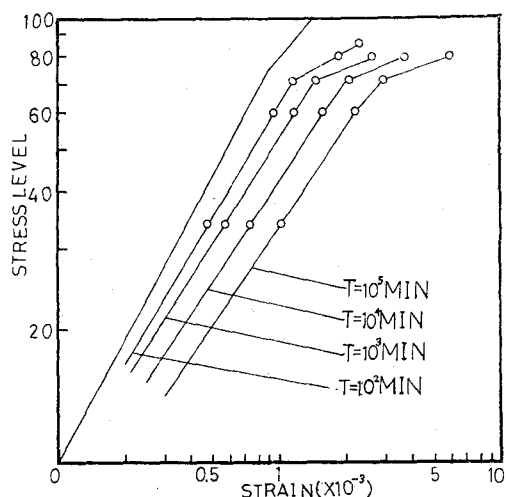
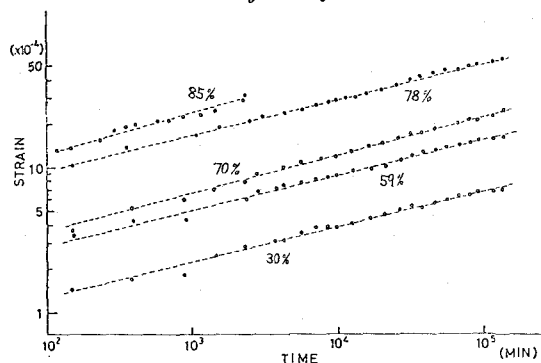
正員 徳光 善治

1. 緒言

前2報においては、低応力レベルから高応力レベルに至るまでの持続荷重下における時間依存の変形と破壊の特性を述べ、従来クリープ変形の実験式として用いられてきた Kelvin model をはじめとする2定数型の表示では、高応力レベルでは、うまく表わせないことが分った。従って、ここでは power expressions (冪表示) を検討することにする。

2. Power expressions. について

クリープひずみ ϵ_t , 載荷時間 t に対して $\epsilon_t = A t^B$ なる power expression はクリープの研究がけじまった頃から提案されているが、無限大時間にクリープが一定値に収束しないという矛盾のため、あまり多くは用いられていない。各定数の値は実験者によりまちまちで、例えば B の値は, Straub 0.42, Shank および Saliger $\frac{1}{3}$, Jensen $\frac{1}{2}$, Friedrich $\frac{1}{4}$, 久保 0.2~0.36 などがあり、およそ 0.2~0.5 の範囲である。一方, Nadai, ス偉, Nutting らは応力 P も含めて $\epsilon_t = f(P) \cdot g(t)$ なる相乗型を提案し、例えば久保は非線型のクリープ-応力関係に対して応力の増加分 ΔP によるクリープ増加分を $\Delta \epsilon_t = f(P + \Delta P) \cdot g(t) - f(P) \cdot g(t)$ として差をえたりとしている。Nutting は繊維の応力-ひずみ-時間の関係を $g = P^a \epsilon^{-b} t^c$ という、より拡張されたレオロジー特性を表わす式で示している。すなわち、 P に特別の値を入れればフック弾性およびニュートン粘性となり a はそれぞれ弾性率、粘性率となる。Scott Blair らは多くの物質に対してこの式が成立し、適当な a, b をとることにより、零および無限大の場合の障害および g の次元の問題点はあるものの、一定値 g が得られることを示している。そこで、この Nutting-Scott Blair 式を前報(その2)の実験結果に対して検討してみる。

図-1 $\log \epsilon_t - \log t$ の関係図-3 $\log P_r - \log \epsilon_0$ の関係図-2 $\log \epsilon_0 - \log t$ の関係

3. φ の求め方とその結果

ここでは応力 P を応力レベル $Pn(\%)$ 、時間 t を分で示すことにする。(α, β の値は単位が異なっても不変で、 φ のみが影響をうける) 応力レベル Pn 一定の時間依存のひずみ ϵ_t と時間 t の関係 (図-1, 2) より $\log \epsilon_t - \log t$ の直線関係が得られ、その勾配が α となる (b_1 は切片), すなわち、 $Pn=70\%$ までは $\alpha \approx 0.25$ と一定となり、Friedrich の結果と一致するが、それ以上になると勾配は α となる。

すなわち、 $\alpha=0.25$ のときは定常領域における変形の進行と考えることができ、 $\alpha > 0.25$ となった時には加速領域に入ったものと考えられる。さらに t 分後 (ここでは $t=10, 10^2 \cdots 10^5$ (分) とした) のひずみ ϵ_t を各応力レベルについて求め、 $\log Pn - \log \epsilon_t$ の関係を求めると図-3 のようになる。これは、 $Pn=70\%$ 付近に折点を持つ折線で表わされ、低い方の勾配が $1/\beta$ 、($\beta \approx 1.5$ と一定), 高い方の勾配 $1/\beta'$ はそれよりかなり小さな勾配となる。これらの両方の結果から φ を求めると表に示したように $Pn=70\%$ 以下で約 10^7 , 70% 以上で約 10^{10} とほぼ一定となる。すなわち φ が一定の場合には、応力-ひずみ-時間を3軸とする空間上で式は一つの曲面を表わし、この場合は $Pn \approx 70\%$ で境界を境界とする2曲面で表わされる。図-4にこの曲面を $t=10^2 \sim 10^5$ 分の面で切った切口の形を示す。

このように直線の勾配 α, β および φ は、クリープ限付近、あるいは破壊と非破壊の境界付近において明らかな変化を示し、コンクリートの内部における構造変化の指標とすることができ、 φ に変化が生じた場合には、破壊がさしそまっていると考えられる。例えば $Pn=78\%$ の供試体は、載荷後16ヶ月 (約 7×10^5 分) 経過してすでに破壊しているが、コンクリート表面の観察においても表面に縦方向のクラックが発達しており、構造変化を生じていることが推察される。

4. Nutting - Scott Blair 式のコンクリートに対する適用について

以上のように応力-ひずみ-時間の関係が $\varphi = P^\alpha \epsilon_t^{-\beta} t^\varphi$ の2つの式でコンクリートの場合も表わすことができたが、これを一般的なひずみと応力が共に変化する場合に適用する場合について考えてみる。応力によるひずみは瞬間ひずみとこの時間依存のひずみの和として示し、応力増加または一定の場合には、ひずみ、時間 (この式では t が陽に含まれているので消去でき、 t の代りにひずみ速度 $\dot{\epsilon}_t$ でもよい) が分れば応力 ($\dot{\epsilon}_t$ に対しては応力速度 $\dot{P}$) が求められる。しかし応力が低下する場合には、非線型、リカバリーの問題が残る。図-5は、持続する曲げ圧縮応力をうける R.C. 柱中央部の各 fiber のひずみ速度から rate of creep method を用いて応力を推定した結果の1例であり、fiber ⑤は rate of creep method が回復を表現できなかったため応力 0 となっている。また fiber ①②では応力増加、③では最終的に応力が低下している。しかも Nutting 式は、その手適用すれば曲面工を移動させて、リカバリーを表現できるが誤差がある。また、リカバリーは、一般に載荷期間が長く、応力レベルが大きければいい。従って、応力低下が小さい場合には、その適用しても差支えないが、応力低下が大きい場合には、回復について検討する必要がある。

表

TIME-STRAIN					STRESS LEVEL-STRAIN				
Pn	α	b_1	φ	t	β	b_2	φ'	β'	b_2'
34	0.253	-4.430	$10^{6.8}$	10^1	1.425	-6.352	$10^{6.6}$	1.812	-6.900
59	0.244	-4.307	$10^{7.0}$	10^1	1.469	-6.179	$10^{6.7}$	6.091	-14.835
70	0.275	-4.024	$10^{6.8}$	10^1	1.537	-6.037	$10^{6.8}$	8.979	-19.765
78	0.234	-3.479	$10^{6.8}$	10^4	1.562	-5.824	$10^{6.8}$	8.106	-17.880
85	0.507	-3.911	$10^{19.5}$	10^5	1.612	-5.649	$10^{6.9}$	2.234	-15.996
90	-1.171	-4.695	$10^{20.5}$						

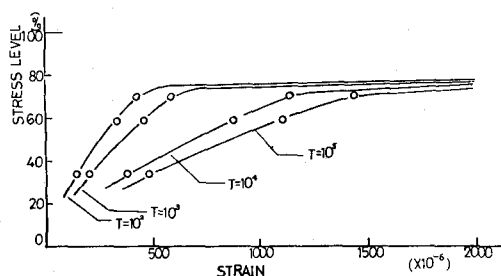


図-4. 曲面の切口の形状

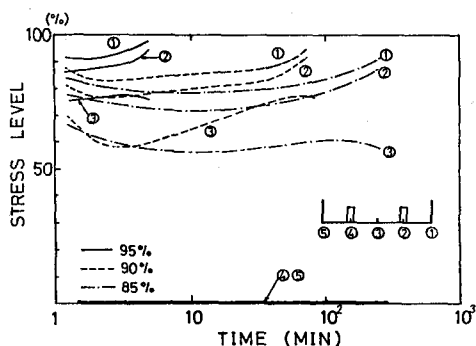


図-5. 曲げ圧縮をうける R.C. 柱の応力