

論文

[1031] 乾燥コンクリートのクリープと応力緩和の相関

正会員○岡島達雄（名古屋工業大学工学部）
 河辺伸二（名古屋工業大学大学院）
 名知博司（名古屋工業大学大学院）
 吉口勝史（竹中工務店建築部）

1. はじめに

コンクリートの応力緩和は、コンクリート構造物の亀裂解析などに必要な情報の一つである。

クリープと応力緩和は同一の原因によって生ずる現象である。しかしコンクリートの応力緩和実験は、クリープ実験と比べて困難である¹⁾などの理由から、現在までのところ多くの研究が行われていない。

そこで本研究では、同一条件下で、クリープ実験と応力緩和実験を行い、任意温度、任意初期設定応力レベルについての、クリープと応力緩和との相関性を究明するものである。

2. 実験方法

2.1 供試体の製作

(1) 供試体の形状 供試体は、図-1に示す一辺が113.0mmの立方状コンクリートの稜を、5mm面取りした形状の面取立方供試体とした。供試体内部に温度分布を測定するCu-Co熱電対を埋設した。

(2) 使用材料 セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は川砂利、化学混和剤はA E剤を使用する。また、骨材の物理的性質を表-1に示す。

(3) 調合 コンクリートの調合を表-2に示す。実験時の圧縮強度は、340kgf/cm²とした。

(4) 養生 コンクリート打設後、6時間でキャッピング、24時間で脱型し、以後材令2ヶ月まで水中養生とした。さらに、安定した条件を得るため供試体をあらかじめ1週間気中養生後3日間105℃で加熱乾燥させ、含有水分を完全に放出させておいた。

2.2 荷重方法

実験に用いた三軸圧縮引張試験機を、図-2に示す。載荷板は、端面摩擦による拘束を除くた

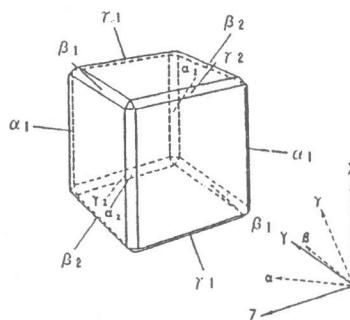


図-1 面取立方供試体と変位計の取り付け位置

表-1 骨材の物理的性質

| | 比 重 | | 吸水率 (%) | 粗粒率 |
|-----|------|------|---------|------|
| | 絶乾状態 | 表乾状態 | | |
| 粗骨材 | 2.43 | 2.49 | 1.91 | 3.00 |
| 細骨材 | 2.51 | 2.54 | 1.25 | 6.87 |

表-2 コンクリートの調合表

| 粗骨材最大の寸法 (mm) | スランブ (cm) | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 空気量 (%) | 単 位 量 (Kg/m ³) | | | | |
|---------------|-----------|------------|----------|---------|----------------------------|------|-------|--------|-----------|
| | | | | | 水 | セメント | 細骨材川砂 | 粗骨材川砂利 | 化学A混和剤(E) |
| 20 | 15 | 51 | 36 | 4 | 173 | 333 | 629 | 146 | 100 |

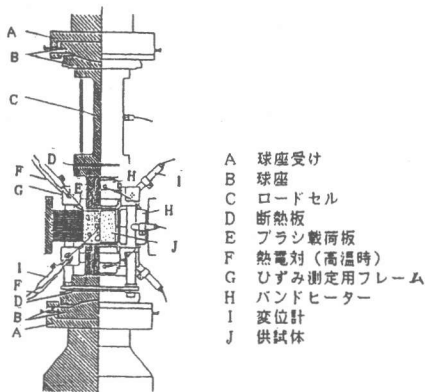


図-2 三軸圧縮引張試験機

め、鋼製ブラシ載荷板を使用した。

2.3 加熱方法

供試体の温度は、Cu-Co熱電対をあらかじめ埋設して測定した。そして、3方向6個の鋼製ブラシ載荷板に、それぞれにバンドヒーター(500W×2)を取り付け加熱した。本実験の昇温・降温の速度は毎時10℃を目標とした。

2.4 ひずみ測定方法

図-1に示す供試体の面取り部分に12個の変位計を6方向から対にして取り付ける。そして、 α 、 β 、 γ 方向から求めたひずみ ε_α 、

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_\alpha \\ \varepsilon_\beta \\ \varepsilon_\gamma \end{pmatrix} \quad \dots\text{式(1)}$$

ε_β 、 ε_γ を、式(1)に代入してX、Y、Z方向のそれぞれのひずみを求めた。

2.5 クリープ実験

拘束方向(載荷方向)のひずみの測定 供試体を所定の温度(20℃, 60℃, 100℃)に加熱し、温度を一定に保つ。供試体に所定の初期設定応力を載荷速度 2~3kgf/cm²/sでX軸にだけ加える。この時の瞬間弾性ひずみを初期ひずみ ε_0 とする。X軸の初期応力 σ_0 を一定に保持し、クリープひずみを測定する。本研究の初期設定応力レベルは表-3のように設定する。

2.6 応力緩和実験

ひずみ拘束方向の応力の測定 20℃, 60℃, 100℃ 各一定温度下で、供試体を表-3の各初期設定応力レベルまでX軸方向に載荷し、その時の瞬間弾性ひずみを設定ひずみとする。載荷方向をひずみ拘束方向(X軸方向)とし、ひずみ拘束方向の設定ひずみを実験中一定に保持し、その間のひずみ拘束方向の応力を測定する。応力緩和実験の一定に保持する設定ひずみレベルは、載荷時の初期設定応力レベルで規定した。

3. 実験結果

(1) クリープの実験結果 クリープ実験の実験結果を図-3,4,5に示す。図-4によると、同一初期設定応力レベル下でのクリープ量は、温度が高いほど多い。同一温度下でのクリープ量は、初期設定応力レベルが、3/6 までの範囲においては初期設定応力レベルに比例する²⁾。

(2) 応力緩和の実験結果 応力緩和実験の実験結果を図-6,7,8に示す。図-7によると、同一温度下における応力緩和量は初期設定応力レベルが大きいくほど多い。

4. 終局量が時間に及ぼす影響の考察

u時間後のクリープ量 ε_u 、t時間後の応力緩和量 σ_t を、L o r m a n³⁾の終局表現の式で式(2),式(3)に表す⁴⁾。

$$\varepsilon_u = \frac{\varepsilon_\infty \cdot u}{n + u} \quad \dots\text{式(2)}$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_\infty \cdot t}{m + t} \quad \dots\text{式(3)}$$

ε_u : u時間後のクリープ量

ε_∞ : 終局クリープ量

σ_t : t時間後の応力緩和量

σ_∞ : 終局応力緩和量

n, m : 実験定数

表-3 初期設定応力レベル表

| 温度 | 初期設定応力レベル(σ_0/F_0) | | |
|------|-----------------------------|-----|-----|
| 20℃ | 1/6 | 2/6 | 3/6 |
| 60℃ | | 2/6 | 3/6 |
| 100℃ | | 2/6 | 3/6 |

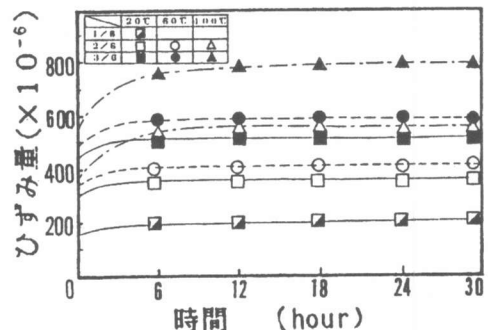


図-3 クリープの実験結果

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_\infty} = \frac{u}{n+u} \quad \dots\text{式(4)}$$

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_\infty} = \frac{t}{m+t} \quad \dots\text{式(5)}$$

u 時間後のクリープ量の終局クリープ量比式(4)が、t 時間後の応力緩和量の終局応力緩和量比 式(5)に等しいとすると

$$\frac{u}{n+u} = \frac{t}{m+t} \quad \dots\text{式(6)}$$

$$t = \frac{m}{n} u \quad \dots\text{式(7)}$$

よって、t 時間後の応力緩和量は $(n/m)t$ 時間後のクリープ量から求められる。

実験定数 n は終局量に対して時間を考慮した定数で、u 時間後のクリープ量の終局クリープ量比 式(4)が、1 に近いほど、n の値は 0 に近く、終局量比が 0 に近いほど、n は大きくなる。

本実験でのクリープの実験定数 n と応力緩和の実験定数 m との関係を図-9,10 に示す。図-9 によると、クリープの実験定数 n は、3/6 まではほぼ一定の値を示し応力緩和の実験定数 m は単調減少する。図-10 によると、 n/m と初期設定応力レベル σ_0/F_c は、

$$n/m = 20 (\sigma_0/F_c)^2 + 0.5 \quad \dots\text{式(8)}$$

という関係がみられた。

5. 応力緩和量をクリープ量から求める考察
時間 T_0 で弾性ひずみを e_0 と仮定する。

$$\text{初期応力は } \sigma_0 = E e_0 \quad \dots\text{式(9)}$$

σ_0 : 初期応力 E : ヤング係数

もし、供試体が応力 σ_0 で载荷されている間、ひずみを拘束しない場合には、クリープは従来のクリープ-時間曲線で表されるであろう。その時おこるクリープを C_1 とする。

実際供試体は、ひずみ一定に保たれているため、任意時間 T_1 でのひずみ e_1 は

$$e_1 = e_0 - c_r \quad \dots\text{式(10)}$$

$$\sigma_1 = E e_1 \quad \dots\text{式(11)}$$

c_r : σ_0 から σ_1 へ減少する間の時間 $(T_1 - T_0)$ のクリープ

σ_1 : 時間 T_1 での応力

E の値は一定であると仮定する。応力減少下のクリープ c_r は時間 $(T_1 - T_0)$ で平均応力

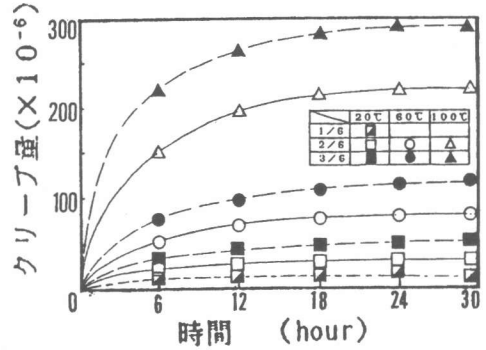


図-4 クリープ曲線

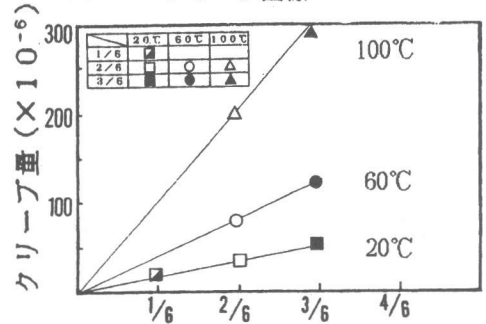


図-5 初期設定応力レベル (σ_0 / F_c)

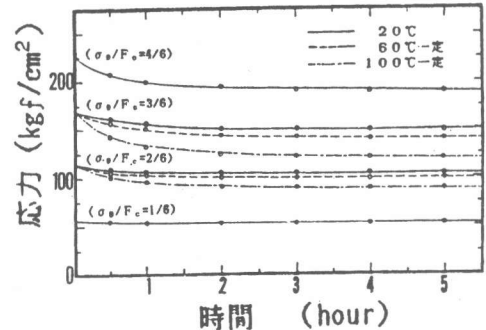


図-6 応力緩和の実験結果

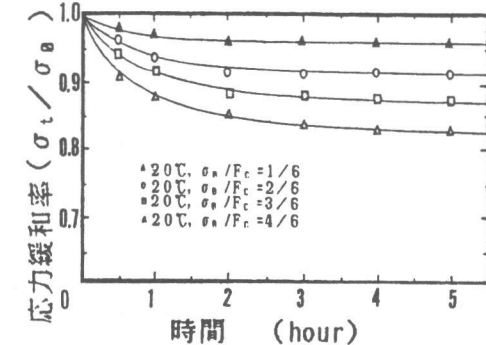


図-7 20°C一定応力緩和曲線

を受ける時のクリープに近似できると仮定する。

$$c_r = \frac{1}{2} (\sigma_0 + \sigma_1) c_1 / \sigma_0 \quad \dots \text{式(12)}^5)$$

c_1 : 時間 $(T_1 - T_0)$ での仮想クリープ
時間 $(T_{i+1} - T_i)$ では

$$\sigma_{i+1} \doteq \frac{\sigma_i + \sigma_{i+1}}{2e_0} (c_{i+1} - c_i) \quad \dots \text{式(13)}^6)$$

式(13)から

$$\sigma_{i+1} \doteq \frac{2e_0 - \Delta c}{2e_0 + \Delta c} \sigma_i \quad \dots \text{式(14)}$$

ただし $\Delta c = c_{i+1} - c_i$

図-11 は、本実験の5時間までの応力緩和量を求めるために、式(7) からクリープ時間 u を応力緩和時間 t 時間に置き換え、式(14)を利用して、5時間までの応力緩和量を求めたものである。

クリープと応力緩和との相関は時間 t での値に終局量に対する比を考慮した。その結果、弾性の理論を考慮した式(14)によりクリープ量から応力緩和量が推測できた。

6 結論

本研究ではクリープと応力緩和の終局量に対するそれぞれの、ひずみ-時間曲線、応力-時間曲線の傾きを時間で考慮した。その結果、本研究の範囲内で、式(14)より初期応力レベルが $3/6$ までの範囲において、クリープと応力緩和の相関は式(14)によって表された。

参考文献

- 1) Neville, A.M., Creep of concrete: Plain, Reinforced, and prestressed, 1970, pp.382-387.
- 2) <a>Neville, A.M., Creep of concrete: Plain, Reinforced, and prestressed, 1970, pp.91
岩崎 訓明: コンクリートの特性, 1975, pp.109
注) 今回の実験は上記に示されている結果を踏まえた上で、初期設定応力レベルが $3/6$ までの実験を行った。初期設定応力レベルが $3/6$ を越える範囲においては、今年以降実験を行い、その相関性を調べる予定である。
- 3) Lorman, W.R., Prec. ASTM[40]1940, pp.1082-1102
- 4) <a> 谷川 恭雄、山田 和夫 他: コンクリートの応力緩和特性とクリープ特性について、第一回コンクリート工学年次講演会論文集、1984, pp.66-72.
 Taylor, M.A and Maurer, G.K, Magazine of Concrete Research, Vol. 25, No84, 1973, pp. 123-135.
<c> 西林 新蔵、木山 英郎: コンクリートの応力緩和に関する一研究、土木学会論文報告集、1975, pp.145-153.
- 5) Hansen, T.C., ASTM Materials Research and Standards 4, No.1, 1964, pp.12-14.
- 6) McCoy, E.E., Discussion on ref.6 Materials Research and Standards 4, No9, 1964, pp.490-493.

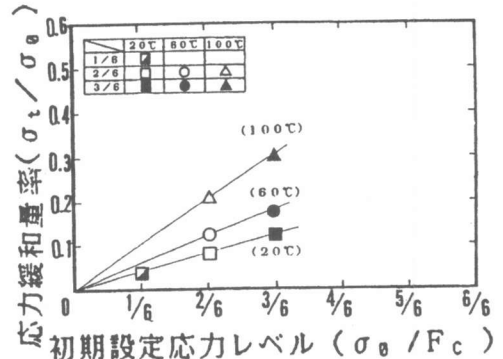


図-8 初期設定応力レベル曲線

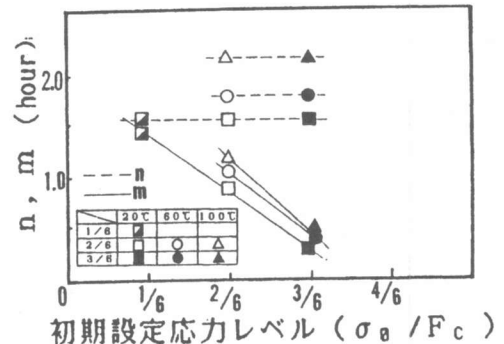


図-9 nとmの関係

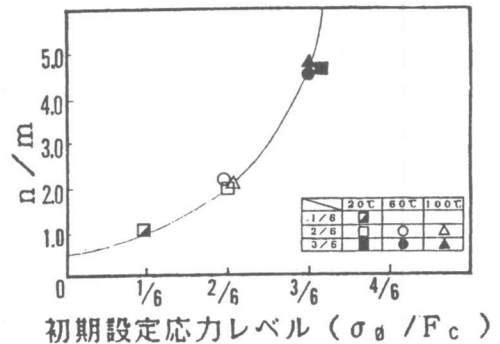


図-10 n/m曲線

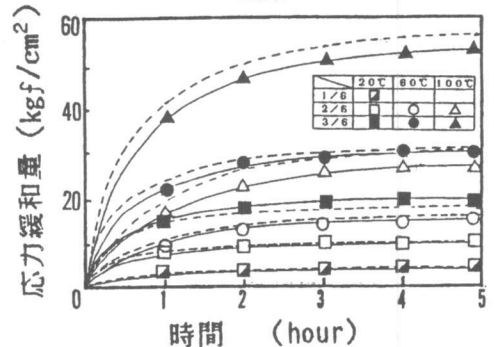


図-11 実験値と式(14)の比較