

電力中央研究所 正員 〇青柳 征夫
 “ “ 川崎 道夫

1. まえがき

プレストレストコンクリート圧力容器などの構造物においては、コンクリートに作用する温度と応力度が経時的に変化する条件においてクリープが進行する。したがって温度と応力度が一定の条件において得られたクリープ試験のデータに基づいてこゝろが変化するときのクリープを精度よく算定するための合理的な解析方法を明らかにすることがさきわめて肝要なのである。本報告は、温度と応力度が変化する条件下で実施した一軸クリープ試験の結果に基づき、クリープ解析の基本手法について検討したものである。

2. フリープ試験方法

実験に用いたコンクリートは、単位セメント量 480 kg/m^3 、水セメント比 35.4%、骨材最大寸法 20 mm であつて、材令 28 日における圧縮強度は約 450 kg/cm^2 である。フリープ試験に用いた供試体は銅板でシールした $\phi 15 \times 50 \text{ cm}$ の円柱形であつて、供試体を載荷枠とともに水槽の中に入れ、油圧ジャッキによつて荷重を作用させ、水槽の水温を電気ヒーターによつて変化させ、供試体に温度変化を与えるようにした。圧縮応力度の範囲を $0 \sim 75 \text{ kg/cm}^2$ とし、温度の範囲を $20^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ とした。また、載荷開始の材令は 28 日～56 日とし、載荷期間を約 56 日とした。さらに、コンクリートに作用する圧縮応力度が連続的に減少する条件下でのフリープ現象を明らかにするため、 20°C および 40°C において軸方向鉄筋比 $0 \sim 4.5\%$ とした円柱供試体のフリープ試験を約 1/4 年にわたつて実施した。ひずみの測定はすべてカールソン型ひずみ計によつた。

3. フリープ解析方法

一定温度条件において実施した実験結果から、フリープ基本式を片対数式であらわし、

$$\epsilon_{cr} = B \cdot T \cdot \sigma \cdot \log(\alpha + 1) \quad (1)$$

とした。ここに、 B ；実験によつて定まる定数（載荷材令に關係する） T ；温度（ $^\circ\text{C}$ ） σ ；応力度（ kg/cm^2 ） α ；載荷後の日数（日）である。

温度変化を考慮できる解析方法としては、有効弾性係数法¹⁾、フリープ率法、重ね合わせ法、時間移行法などが従来より提案されてゐるが、本研究では金属のフリープ解析の分野で応用されてゐる²⁾“ひずみ硬化法”についても検討を加えた。著者は、図 1 に示すような方法でこの手法の step-by-step による適用を試みた。すなわち、フリープ基本式が (1) 式によつてあらわされると、考へてゐる時間区分 i の一つ前の step ($i-1$) の終りにおけるクリープひずみを $\epsilon_{cr(i-1)}$ によつてあらわし、 i の時間区分の最初における応力度と温度をそれぞれ σ_i および T_i によつてあらわせば、 (σ_i, T_i) に対応するフリープ曲線が丁度 $\epsilon_{cr(i-1)}$ を通るようフリープ開始からの仮想時間 α_{ix} を次式によつて求めることができる。

$$\epsilon_{cr(i-1)} = B \cdot T_i \cdot \sigma_i \cdot \log(\alpha_{ix} + 1) \quad (2)$$

この α_{ix} を定めた後、 i 番目の時間区分の最後におけるフリー

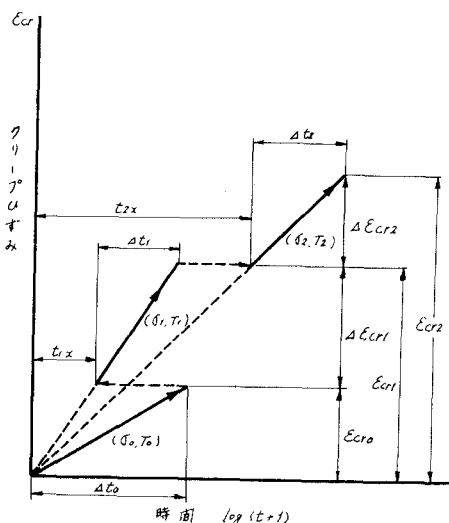


図-1 ひずみ硬化法の説明

づみは、

$$\epsilon_{cri} = B \cdot T_i \cdot \sigma_i / \log (\alpha_i x + \Delta \alpha_i + 1) \quad (3)$$

によって計算することができる。ここに $\Delta \alpha_i$ は i 番目の step における時間間隔である。

4. クリープひずみの実験値と計算値の比較

図-2 は、応力度と温度の双方を段階的に上昇させた後、一定の応力度と温度に保持し、これらも段階的に降下させたときのクリープひずみの実験値と計算値を比較して示したものである。この図から明らかなように、応力度と温度の上昇時において有効弾性係数法によるクリープひずみが過大に算定され、クリープ率法では逆にクリープひずみが過小に算定されていることが認められる。重ね合わせ法は、応力度と温度の上昇時には、実験値に比較的近い計算値を与えているが、これらの降下時にクリープ回復がかなり大きく見積り過大であることがわかる。これに対し、ひずみ硬化法は、計算の手間が重ね合わせ法よりかなり少なく、クリープ率法と同程度であるにも拘らず、実験結果をかなりよく追跡している。その他、二、三の温度と応力度の変化する組み合わせにおいても、ひずみ硬化法による計算結果が実験値と比較的良好一致を示すことが明らかとなった。

軸方向に鉄筋が配置されている鉄筋によって、クリープひずみが拘束を受け、コンクリートのクリープは無筋コンクリートに比べて小さくなるとともに、コンクリートに作用する荷重の比率が次第に減少してゆく。図-3 は、無筋コンクリートのひずみ ϵ_c としての各種鉄筋比をもった鉄筋コンクリート円柱供試体の荷重開始から1年後のクリープひずみ比の実験値とひずみ硬化法に基づく step-by-step による計算結果を示したものであるが、実験値と計算値の間に良好一致がみられる。すなわち、ひずみ硬化法は、応力度が連続的に減少する条件においても適用できる一般性の高いクリープ解析の基本手法であると考えられる。

参考文献

- 1) H.M. Fahmi et al. "Prediction of creep of concrete at variable temperatures," ACI. Journal/ Oct. 1973 pp 709~713
- 2) J.K.G. Odqvist 著, 村上訳 "クリープ強さ理論," 培風館 pp 160~179

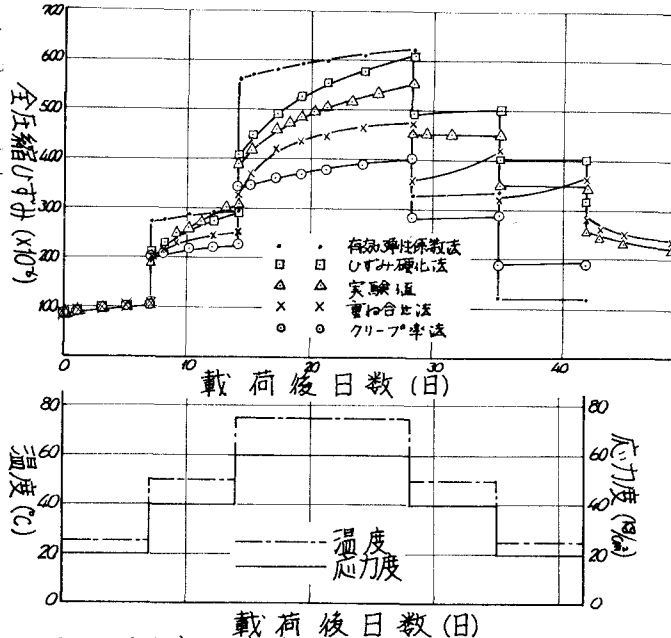


図-2 応力度と温度を変化させたときのクリープの実験値と計算値

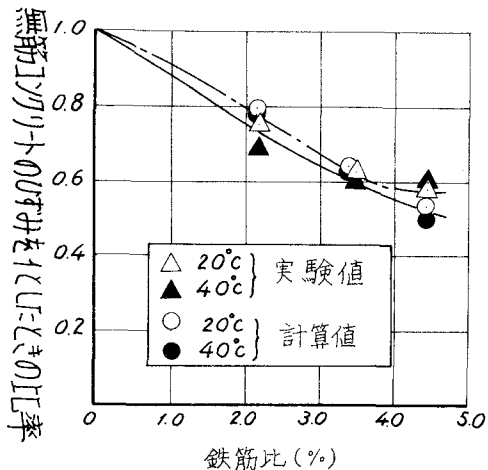


図-3 荷重後1年における鉄筋コンクリートのクリープひずみ率と鉄筋比の関係