

V-409

若材齢コンクリートのクリープ回復挙動の定式化に関する一考察

大 林 組 正会員 入矢桂史郎
名古屋工業大学 正会員 上原 匠
名古屋工業大学 正会員 梅原 秀哲

1 まえがき

コンクリートのクリープ現象については、従来からプレストレスコンクリートを中心に研究がなされ、実験結果に基づいたクリープひずみの予測式も提案されている。しかしこれらは、圧縮クリープ挙動についての研究がほとんどであり、しかも水和が進行し、物性値が材齢に依存しなくなった状態での研究成果がほとんどである。ひび割れ予測に必要な引張応力に対するクリープや、物性値が大きく変化する若材齢に荷重された応力によって生じるクリープについては、あまり研究がなされていないのが現状である。

筆者らは、マスコンクリートの温度応力を正確に予測する研究の一つとして、若材齢コンクリートのクリープの重要性に着目して研究を進め、圧縮・引張についてのクリープひずみ式を提案してきたが^{[1][2]}、温度応力のように応力が変化する場合には、重ね合わせ則を適用することを前提としてきた。本研究では、若材齢のクリープ挙動の定式化に重ね合わせ則が適用できるかどうかについて、変動応力状態を最も単純化した状態である圧縮応力を荷重して除荷した後のクリープ回復挙動について、クリープ試験を行うことにより、詳細に検討した。

2 配合および使用材料

実験には、一般に鉄筋コンクリートとして使用されている材料・配合を選定した。使用したコンクリートの配合と使用材料を表-1および2に示す。

表-1 コンクリートの配合

スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	AD
8.0	4.0	55.0	44.6	172	313	787	1015	1.16

3 クリープ試験

本研究で使用したクリープ試験機は、てこを利用したもので、圧縮・引張ともに一定の荷重を長期に作用することができる。なお、引張応力を荷重する際には、供試体両端に治具を接着して行うものである。また、供試体の周辺を断熱材で覆うことによって、温度・湿度を実験期間にわたって一定にコントロールすることができる。クリープ試験は、 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を用いて、材齢1日で 1.53N/mm^2 の圧縮応力を荷重し、1日間その応力を保持した後、材齢2日で除荷した。除荷後1日放置してクリープひずみの回復挙動を測定した後、材齢3日に引張応力を作用させた。クリープ試験時の温度は 20°C 一定とし、湿度は100%としたが、クリープ以外に収縮（例えば硬化収縮など）を測定して補正するために、同じ環境内に無荷重の供試体をセットし、そのひずみを測定してクリープひずみより差し引いて補正した。クリープひずみは埋め込み型ひずみ計により、荷重直後から測定した。図-1に測定されたクリープひずみを示す。圧縮応力荷重後1日で生じたクリープひずみは約 80μ であり、弾性ひずみ 163μ の約半分に達している。また、圧縮応力の除荷後には、弾性ひずみの回復が起こり、続いてクリープひずみが回復した。しかし、このクリープひずみの回復は圧縮応力除荷後1日で定常に達した。その後 0.4N/mm^2 の引張応力を荷重したが、トータルひずみとしては圧縮ひずみが残った。

表-2 使用材料

セメント	OPC 比重: 3.16
細骨材	豊田産 比重: 2.56 F.M.: 2.82
粗骨材	春日井産 比重: 2.68 F.M.: 6.76
混和剤	標準型 AE減水剤

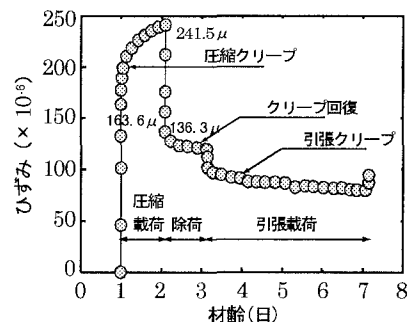


図-1 クリープ試験結果

4 クリープひずみ関数の定式化

既往の研究^{[1][2]}において、圧縮・引張についてのクリープひずみ関数が提案されているので、ここではその値を使用し、クリープひずみの回復挙動について検討を行った。以下に、提案されたクリープひずみ関数を示す。

圧縮クリープひずみ: $\varepsilon_c = J_c \sigma$

$$J_c = \xi_c(\tau) \phi_c(T) \{26.96(1 - e^{-24.7\tau}) + 71.99(1 - e^{-0.575T})\} \times 10^{-6}$$

ここに、載荷材齢関数: $\xi_c(\tau) = -0.307 \log \tau + 1.0$

温度関数: $\phi_c(T) = 0.0112T + 0.552$

τ : 載荷時の材齢(日)、 T : 温度(°C)、 t : 載荷材齢(日)

引張クリープひずみ: $\varepsilon_t = J_t \sigma$

$$J_t = \phi_t(\sigma_{\max}) \phi_t(\xi_t(\tau)) \{28.74(1 - e^{-0.801t}) + 8.130(1 - e^{-45.38t})\} \times 10^{-6}$$

ここに、載荷材齢関数: $\xi_t(\tau) = -1.107 \log \tau + 1.538$

温度関数: $\phi_t(T) = 0.0257T + 0.487$

圧縮応力関数: $\phi_t(\sigma_{\max}) = 0.17 \sigma_{\max} + 0.701$

$\sigma_{\max}$: 最大圧縮応力(N/mm²)、 τ : 載荷時の材齢(日)

T : 温度(°C)、 t : 載荷材齢(日)

5 除荷部分のクリープの表現方法の提案

除荷部分を表現するには次の3つの方法がある。

- (1) 重ね合わせ則に基づいて、除荷された圧縮応力を引張応力増分として評価する方法。
- (2) クリープ回復挙動は、解放された圧縮応力によるクリープと同じ動きをするとして、圧縮クリープ式にクリープ回復率(最終回復ひずみ/先行クリープひずみ)を乗じて評価する方法。
- (3) 全く別の除荷関数として評価する方法。

この中で圧縮クリープの回復率については、既往の研究^{[1][2]}によって先行した圧縮クリープ量の0.2倍程度との報告がなされているが、ここではさらに詳細に比較検討した。クリープひずみを定式化する際に、変動応力に対して適用が容易なのは、重ね合わせ則を適用することである。ここでは、重ね合わせ則を適用することに主眼を置き、実験結果と最初の2つの評価方法で算定したひずみを比較した。図-1から、クリープ回復部分を取り出し拡大したものと、引張・圧縮のクリープひずみ式の値を比較して図-2に示す。この結果、除荷を圧縮応力と同じ値の引張応力の載荷として重ね合わせた場合、クリープひずみを数倍大きく算定することとなった。また、圧縮クリープ式に回復率を乗じたものと、引張クリープ式に一定率を乗じたものを比べると、前者の方が良い対応を示すことがわかった。これは、引張クリープでは載荷初期のひずみの進行は小さいが、それからの伸びが大きいのに対して、圧縮・除荷はそれぞれ載荷初期にひずみの進行が大きいことによる。この方法により図-2の計測結果を解析したものを図-3に示す。解析と実験結果は良い対応を示しており、重ね合わせ則の適用が可能であると言えよう。

6 まとめ

クリープ回復挙動とその評価方法について、次のことが明らかとなった。

- 1) 除荷により回復するクリープひずみは、同値の反対向きの応力の重ね合わせを行ったものに比べて、数分の1と小さく、通常重ね合わせ則を適用した場合、除荷時のクリープひずみを過大に評価することとなる。
- 2) 回復クリープ関数として、圧縮応力先行の場合は、圧縮クリープ関数に回復率0.25を乗じたものが良く一致する。これは、除荷後の回復挙動が初期に変化が大きく、短期間で進行が止まることによる。
- 3) 圧縮・除荷・引張という載荷パターンに対して、各々の応力状態に対応したクリープ関数を用いて、重ね合わせる事が可能である。今後、引張応力先行等の載荷パターンについても研究を進めていく方針である。

【参考文献】

- [1] 野村、上原、梅原: クリープを考慮したマスコンクリートの温度応力に関する研究: コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1、1993
- [2] 後藤、上原、梅原: 若材齢コンクリートのクリープ挙動に関する研究: コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17、No. 1、1995

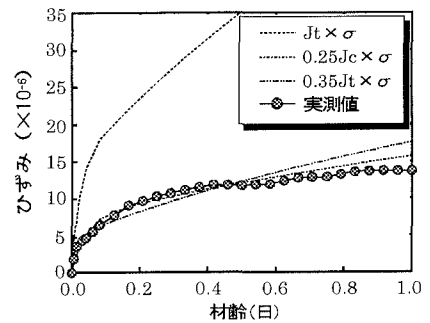


図-2 回復挙動のモデル化の比較

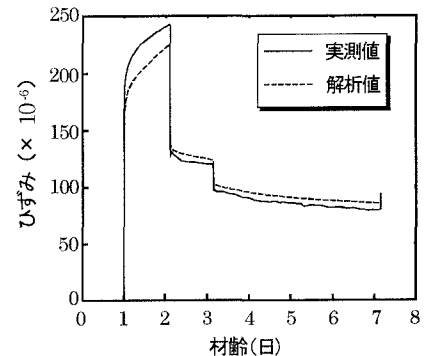


図-3 実験結果と解析値の比較