

クリープひずみに及ぼす応力履歴の影響に関する研究

岡山大学工学部 正会員○綾野克紀  
岡山大学大学院 学生員 桧垣 智  
岡山大学大学院 学生員 ロスリ  
岡山大学工学部 正会員 阪田憲次

1. まえがき

コンクリートのクリープひずみは非線形な現象であり、特に、コンクリートに作用する応力が変化する下では非線形性が大きいことが知られている<sup>1)</sup>。コンクリート部材は一般に、コンクリートと鉄筋の複合部材であるため、たとえコンクリート部材に作用する荷重が一定であっても、クリープと乾燥収縮によって、コンクリートに作用する応力は時間とともに変化する。従って、コンクリート構造物において、コンクリートに作用する応力が時間とともに変化することは稀ではない。変動応力下のコンクリートのクリープひずみを計算するための法則には、重ね合せ則の他にクリープ硬化則がある。クリープの重ね合せ則が任意時間に載荷された応力増加によるクリープひずみがそれより以前または以降に載荷される荷重によって影響を受けないとし、全ての応力増加によるクリープひずみを足し合わせるのに対し、クリープ硬化則は、クリープが進行した後のコンクリートのクリープ構成方程式を定式化することにより、変動応力下のクリープひずみを求めようとするものである。しかし、クリープの重ね合せ則と従来のクリープ硬化則は、クリープひずみ（またはクリープ速度）と時間の関係を規定するもので、変動応力下のクリープひずみを的確に表すことができない場合がある。

本論文は、種々の応力履歴を受けたコンクリートのクリープひずみの持続応力に対する非線形性を実験的に明らかにするとともに、変動応力下のクリープひずみと持続応力の関係を規定する新たなクリープ硬化則を確立することを目的とする。

2. 実験概要

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は碎石、細骨材は川砂である。コンクリートの配合を表1に示す。供試体は10cm×10cm×38cmの角柱で、打設後3日間水中養生し、その後は材令28日まで気中養生し、初載荷を行った。実験はすべて、温度19±1℃、湿度68±7%の恒温恒湿度室内で行い、ひずみの測定には最小目盛り1/1000mmのホイットモア式ダイヤルゲージ（検長25cm）を用いた。

持続応力は図1に示す方法に従って導入した。第1サイクルにおいては、各々の供試体に28日圧縮強度の10%、20%、30%、40%、50%の持続応力を導入し、第2サイクルでは、第1サイクルにおいて応力/強度比10%、30%、50%の応力履歴を受けた供試体には、28日圧縮強度の10%、20%、30%、40%、50%の一定持続応力を導入し、第1サイクルにおいて応力/強度比20%、40%の応力履歴を受けた供試体には、28日圧縮強度の20%、40%、50%の一定持続応力を導入した。

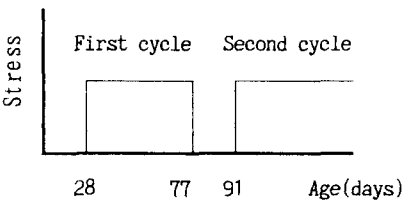


図1 持続応力のかけ方

表1 コンクリートの配合

| Max size<br>(mm) | Slump<br>(mm) | Air<br>(%) | W/C<br>(%) | S/a<br>(%) | Unit weight(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      | Admix-<br>ture |
|------------------|---------------|------------|------------|------------|---------------------------------|-----|-----|------|----------------|
|                  |               |            |            |            | W                               | C   | S   | G    |                |
| 20               | 40~50         | 2.0        | 66.1       | 44.0       | 185                             | 280 | 808 | 1083 | —              |

### 3. 実験結果および考察

図2は、第2サイクル14日目におけるクリープひずみと初期ひずみとの関係を示した図である。また、図3は、バージンコンクリート（一度も載荷されたことのないコンクリート）のクリープひずみが線形クリープであるとし、重ね合せ則に基づき第2サイクル14日目におけるクリープひずみと初期ひずみとの関係を計算した結果である。クリープひずみの線形仮定とクリープの重ね合せ則は、複雑なクリープ問題を単純化するための重要な仮定であり、現在、変動応力下にあるコンクリートのクリープひずみの計算によく用いられているが、実験結果との適合性はないことが分かる。

また、図2から、応力履歴を受けたコンクリートのクリープひずみが過去に受けた最大荷重の影響を非常に強く受ける非線形な現象であることがいえる。第1サイクルで載荷された荷重よりも第2サイクルで載荷された荷重が大きいコンクリートのクリープひずみと初期ひずみとの関係は、第2サイクルから載荷を開始したコンクリート、すなわち、バージンコンクリートのクリープひずみ-初期ひずみ曲線を横軸方向に平行移動した曲線に一致しており、第1サイクルで載荷された荷重よりも第2サイクルで載荷された荷重が小さいコンクリートのクリープひずみと初期ひずみとの関係は全て、一つの曲線で表される。従って、持続荷重が変化した後のクリープひずみと初期ひずみの関係は、バージンコンクリートのクリープひずみ-初期ひずみの関係を用いて以下のように表すことが可能である。いま、バージンクリープが(1)式で表されるとする。ただし、 $\varepsilon_{cr}$ は第2サイクルにおけるクリープひずみ、 $\varepsilon_0$ は第2サイクルにおける初期弾性ひずみ、 $t$ は材令、 $t'$ は載荷時材令である。

$$\varepsilon_{cr} = f(\varepsilon_0, t, t') \quad \text{---(1)}$$

第1サイクルで載荷された荷重よりも第2サイクルで載荷された荷重が大きい場合：

$$\varepsilon_{cr} = f(\varepsilon_D + (\varepsilon_0 - \varepsilon_D'), t, t_2) \quad \text{---(2)}$$

第1サイクルで載荷された荷重よりも第2サイクルで載荷された荷重が小さい場合：

$$\varepsilon_{cr} = f((\varepsilon_D / \varepsilon_D') \times \varepsilon_0, t, t_2) \quad \text{---(3)}$$

ここに、 $\varepsilon_D'$ は、第1サイクルに載荷された荷重によって生じる弾性ひずみであり、 $\varepsilon_D$ は、第1サイクルで載荷された荷重と同じ大きさの持続荷重を受けるコンクリートの第2サイクルにおけるクリープひずみと同じクリープひずみを第2サイクルより載荷を開始したコンクリートに生じさせる荷重による弾性ひずみである。図4中の実線は、(2)、(3)式に基づき、第2サイクル14日目におけるクリープひずみと初期ひずみとの関係を示した曲線である。これらの曲線は、実験結果の傾向を非常によく表しており、実験値との適合性もあると思われる。

### 4. まとめ

コンクリートのクリープひずみが過去に受けた最大荷重の影響を非常に強く受ける非線形な現象であることを実験的に明らかにした。また、変動応力下のクリープひずみと弾性ひずみの関係を示すことができた。

### 参考文献

1) W.H. Diliger; Private communication

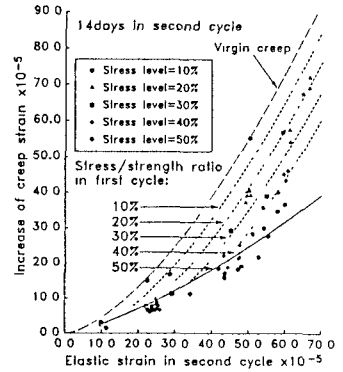


図2 クリープ-初期ひずみ曲線

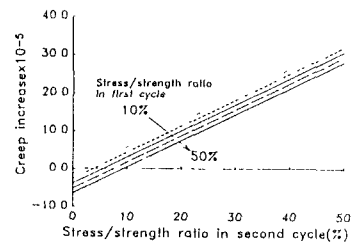


図3 クリープの重ね合せ則による計算結果

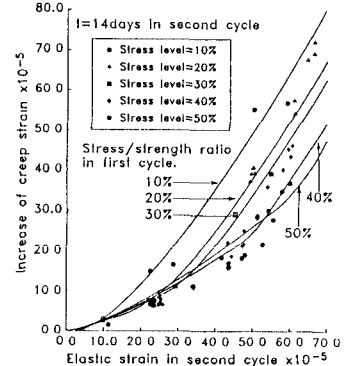


図4 (2)(3)式に基づく計算結果