

若材齢フライアッシュコンクリートの引張クリープに関する基礎的検討

呉工業高等専門学校 学生会員 ○渡邊 優樹 道本 真悟
 呉工業高等専門学校 正会員 三村 陽一 堀口 至

1. はじめに

若材齢期におけるコンクリートの初期ひび割れは、構造物の美観の悪化や長期的な耐久性の低下を招く。したがって、初期ひび割れ発生の可能性や幅を予測し、適切な対策を講じることが必要である。初期ひび割れ予測には、正確な引張応力の算定が重要である。温度変化による体積の膨張・収縮が拘束されることで生じる引張応力は、持続的に作用するものであるため、クリープによる応力緩和を考慮する必要がある。応力緩和を考慮しなければ過度に安全側に算定されることとなる。したがって、初期ひび割れ予測の際には、クリープ特性を考慮して低減された有効ヤング係数を用いるのが一般的である。本研究では、石炭火力発電所から排出されるフライアッシュを普通コンクリートに添加したフライアッシュコンクリートを対象とした。セメントの一部をフライアッシュに置換することによって水和熱の発生を抑制することができる。そこで本研究の目的は、普通コンクリート(以下、N)とフライアッシュコンクリート(以下、FA)の引張クリープ実験を材齢3, 7日で行い、FAのクリープ挙動および応力緩和について検討した。

2. 実験方法

実験で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。表-1中に使用した記号 X は、引張クリープ実験の荷重開始材齢を示している。引張クリープ実験で用いた荷重装置およびドックボーン供試体を図-1に示す。引張クリープ実験では、荷重供試体と荷重および温度変化以外の要因で生じるひずみ(無荷重ひずみ)を得るための無荷重供試体を各1体ずつ使用した。乾燥収縮の影響を取り除くため、水中で実験を行った。荷重開始材齢を3, 7日とし、荷重期間を14日間とした。荷重応力は、荷重開始日の割裂引張強度の30%としたため、N3は0.713N/mm²、N7は0.933N/mm²、FA3は0.453N/mm²、FA7は0.822N/mm²であった。データロガーを用いて計測間隔1時間で、全ひずみ、供試体温度、室温、水温を自動計測した。本研究では、荷重供試体の全ひずみから、荷重時弾性ひずみ、無荷重ひずみ、温度ひずみを差し引いたものをクリープひずみとした。なお、荷重時弾性ひずみとは、荷重直後の全ひずみである。また、荷重開始時の供試体温度との差にコンクリートの線膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ を乗じたものを温度ひずみとし、無荷重供試体の全ひずみから温度ひずみを引いたものを無荷重ひずみとした。

表-1 コンクリートの配合

		N	FA	
記号		NX	FAX	
水結合材比(W/B) ※B=C+FA		55%	55%	
フライアッシュ置換率(内割置換)		0%	20%	
単位量 (kg/m ³)	水	上水道水	165	165
	セメント	OPC	300	240
	フライアッシュ	JIS II種相当品	0	60
	細骨材	砕砂	844	844
	粗骨材	砕石 2015	499	499
		砕石 1505	499	499
混和剤	AE 減水剤	3.0	2.4	
	AE 助剤	0	16.8	

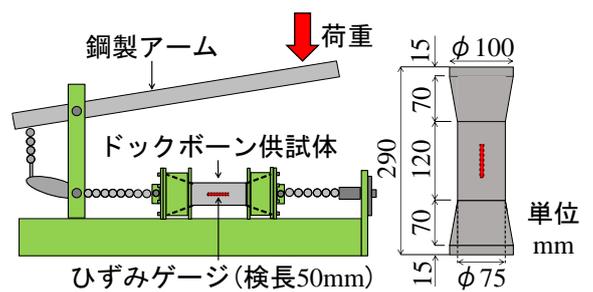


図-1 荷重装置とドックボーン供試体

3. 実験結果

荷重開始からの経過時間に対するクリープひずみを図-2に示す。クリープひずみは同配合のN3とN7、FA3とFA7で同様の増加傾向を示した。応力強度比が同じであれば荷重開始材齢によらず、クリープひずみは同様の増加傾向を示すと考えられる。図-2に示すクリープひずみを荷重応力で除した単位クリープを図-3に示す。FA3の単

キーワード 若材齢コンクリート, フライアッシュ, 引張クリープ特性, 応力緩和

連絡先 〒737-8506 呉市阿賀南2丁目2番11号 TEL:0823-73-8476

位クリープは、経過時間 14 日において N3 と同等であるが、経過時間 4 日以前では FA3 の方が小さかった。FA7 の単位クリープは、载荷期間 14 日間を通して N7 より小さい傾向を示したが両者の差異は、時間の経過とともに小さくなった。そこで、経過時間 4 日以降の単位クリープ増加率を算定した。その結果、N3 は $1.03 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、FA3 は $1.17 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、N7 は $0.82 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、FA7 は $0.94 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ であった。FA3 の単位クリープの増加率は N3 の約 1.14 倍、FA7 の増加率は N7 の約 1.15 倍となっており、FA の単位クリープの増加率は、载荷材齢が異なっても同程度の比率で普通コンクリートよりも大きかった。材齢に対する単位クリープの結果を図-4 に示す。図-4 に示す単位クリープの材齢 11~17 日における増加率を求めた。その結果、N3 は $0.84 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、N7 は $0.85 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、FA3 は $1.02 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ 、FA7 は $0.97 \times 10^{-6} \text{N/mm}^2/\text{日}$ となった。このことから、FA の材齢 11~17 日における単位クリープの大きさは異なるものの、その期間内における増加率は载荷材齢によらず同等であった。このような傾向は、普通コンクリートでも同様であった。

4. 応力緩和の試算

図-3 に示す単位クリープを使用して応力緩和量の試算を行った。本試算では、時間ステップ Δt を 1 時間とし、式(1)、式(2)を用いて応力緩和量および残留応力を算定した。

$$\Delta\sigma_n = \Delta\varepsilon_{spn} \times \sigma_{n-1} \times E_n \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} - \Delta\sigma_n \quad (2)$$

ここに、 $\Delta\sigma_n$: Δt で変化した応力、 $\Delta\varepsilon_{spn}$: Δt で変化した単位クリープ、 E_n : 経過時間 n におけるヤング係数(実験値)、 σ_n : 経過時間 n における残留応力を表す。载荷応力を初期载荷応力 σ_0 として応力緩和の試算を行った。応力残留率 (σ_n/σ_0) の経時変化を図-5 に示す。経過時間 4 日における FA3 と N3 の応力残留率は同程度であったが、経過時間 14 日における FA3 の応力残留率は 8% であり、N3 の 19% に比べ応力の減少量が大きかった。経過時間 4 日における FA7 の応力残留率は 64% であるのに対し、N7 の応力残留率は 57% と、単位クリープの大きい N7 の方が応力緩和は顕著であった。しかしながら、経過時間 14 日では、両者の応力残留率はそれぞれ 29% および 32% と、単位クリープが小さい FA7 の方が応力緩和は顕著となった。このことから、応力緩和の算定に影響するのは単位クリープの大きさではなく、単位クリープの増加率であると考えられる。先述したように、FA の単位クリープの増加率は、载荷材齢 3 日において普通コンクリートの約 1.14 倍、载荷材齢 7 日において約 1.15 倍であり、普通コンクリートに比べ FA ではクリープによる応力緩和の影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

- (1) FA の材齢 11~17 日における単位クリープの大きさは異なるものの、その期間内における増加率は、载荷材齢によらず同等であった。このような傾向は普通コンクリートでも同様であった。
- (2) 経過時間 4 日以降、FA の単位クリープの増加率は、载荷材齢 3 日で普通コンクリートの 1.14 倍、载荷材齢 7 日で 1.15 倍であった。応力緩和量の試算の結果、単位クリープの大きさではなく、このような単位クリープの増加率の違いが応力緩和量に影響した。

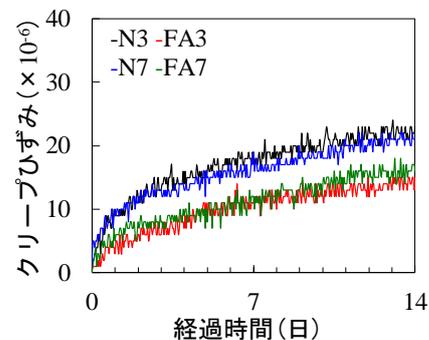


図-2 クリープひずみの経時変化

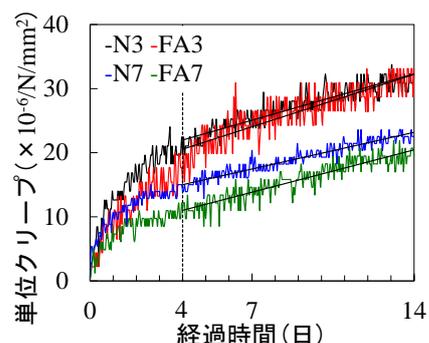


図-3 単位クリープの経時変化および増加率

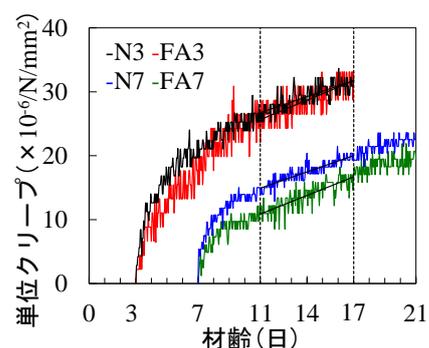


図-4 材齢 11~17 日の単位クリープの増加率

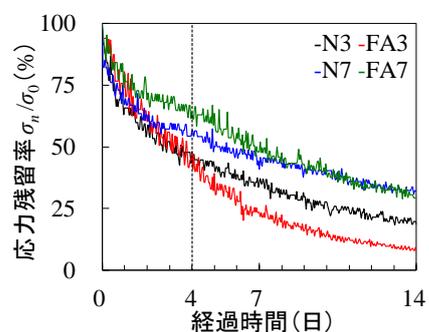


図-5 応力残留率の経時変化