フライアッシュコンクリートのクリープによる応力緩和に関する一考察

呉工業高等専門学校　学生会員　○道本　真悟
呉工業高等専門学校　正会員　三村　陽一　堀口　至
山口大学　学生会員　山田　浩司

1．はじめに

フライアッシュは，石炭火力発電所から排出される産業副産物であるが，セメントと置換することで，水和熱を抑制できる．また，初期ひび割れの要因である温度応力は，持続して作用するため，クリープひずみによる応力緩和が生じる．本研究では引張クリープ実験を行い，普通コンクリート(以下，N)の結果と比較しつつ，フライアッシュコンクリート(以下，FA)のクリープによる応力緩和について検討した．

2．実験方法

本研究で行った引張クリープ実験のコンクリートの配合を**表１**，載荷装置およびドッグボーン供試体を**図１**に示す．測温機能を有する検長 50mm のひずみゲージを供試体に埋設した．本実験では，乾燥収縮の影響を除くため，水中載荷とした．供試体を 2 体用意し，一方を持続的に載荷した．もう一方を無載荷とし，載荷や温度変化以外の要因で生じるひずみを排除できるようにした．材齢 7 日から 14 日間載荷を行った．載荷応力は，載荷材齢の割裂引張強度の 30%としたため，FA が 0.822N/mm^2，N が 0.932N/mm^2 となった．データロガーを用いて全ひずみ，供試体温度，室温，水温を 1 時間間隔で自動計測した．

表１　コンクリートの配合

			N	FA
水結合材比			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	上下水道水	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

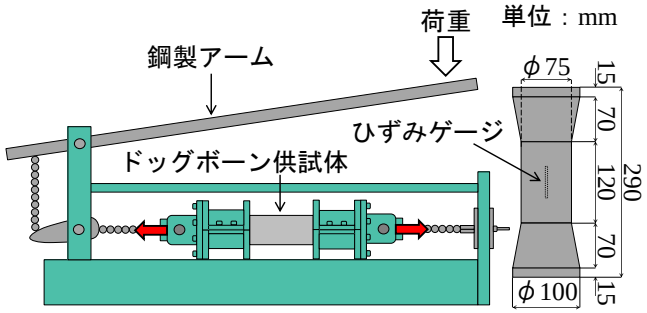

図１　載荷装置およびドッグボーン供試体

3．実験結果

本研究では，計測より得られた載荷供試体の全ひずみから，載荷時弾性ひずみ，無載荷ひずみ，温度ひずみを差し引いたものをクリープひずみとした．載荷開始時の供試体温度との差にコンクリートの線形膨張係数 10×10^{-6}/℃を乗じたものを温度ひずみ，無載荷供試体の全ひずみから温度ひずみを引いたものを無載荷ひずみとした．クリープひずみを載荷応力で除した単位クリープを**図２**に示す．**図２**には，吉武ら [1] の提案したレオロジーモデルから派生した**式**(1)を用いて回帰した(いずれも $R^2>0.9$)結果も示している．諸係数を最小二乗法により決定した．

$$J(t)=a\sqrt{t}+b\left[1-\exp\left(-ct^d\right)\right] \qquad (1)$$

ここに，J：単位クリープ，t：載荷期間，a, b, c, d：実験係数を表す．

図２より，載荷期間 14 日間を通じて FA の単位クリープは，N より小さい傾向を示した．**図２**に示す単位クリープの回帰式を時間微分して得られた単位クリープ速度を**図３**に示す．載荷期間 2 日まで

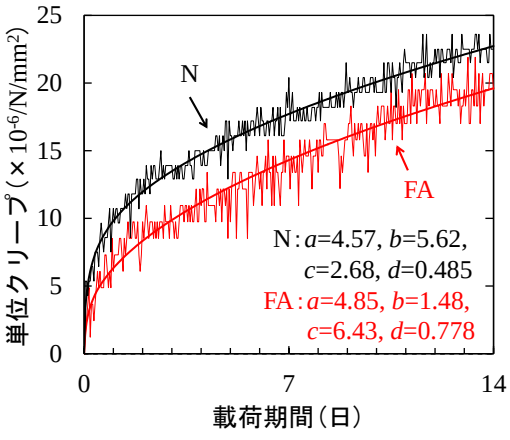

図２　単位クリープ

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　呉工業高等専門学校　三村教員室　TEL：0823-73-8476

は，N の単位クリープが FA より大きく，最大で約 1.6 倍であった．しかし，**図３**より，載荷期間 2～14 日の 12 日間における FA の単位クリープ速度は，N より高い傾向を示し，最大で約 1.06 倍であった．

４．応力緩和の検討

図２に示す単位クリープの回帰結果を用いて応力緩和の試算を行った．本試算では，**式(2)**と**式(3)**を用いて，1 時間ごとの残留応力を求めた．本試算に用いたヤング係数を，三村ら[2)]の報告している引張ヤング係数に近い値を示すヤング係数の，実験方法および算定方法によって得た．**図４**に本試算に用いたヤング係数の経時変化を示す．**図４**より FA は，強度発現が緩慢であるため，N よりも小さいヤング係数を示した．

$$\varepsilon_{en} = \varepsilon_{en-1} - \Delta J \times \sigma_{n-1} \quad (2)$$

$$\sigma_n = E_n \times \varepsilon_{en} \quad (3)$$

ここに，ε_{en}：載荷期間 n における弾性ひずみ，ΔJ：1 時間ごとの単位クリープの増分，σ_n：載荷期間 n における残留応力，E_n：載荷期間 n におけるヤング係数を表す．

本試算の初期応力は，引張クリープ実験における載荷時弾性ひずみ ε_{e0} に，**図４**に示す載荷期間 0 日のヤング係数を乗じたものである．残留応力を初期応力で除した応力残留率(σ_n/σ_0)を**図５**に示す．**図５**に示すように，本試算では，載荷期間 14 日の応力残留率がいずれも約 57%となったが，応力緩和の傾向が異なった．初期の載荷期間では，N の応力残留率が小さいものの，時間の経過とともに FA の応力残留率の低下が顕著となった．これは，**図３**に示すように，載荷期間 2～14 日の長い期間において，FA の単位クリープ速度が N の約 1.06 倍であり，**式(2)**における FA の ΔJ が N より大きくなるためと考えられる．加えて，**図４**に示すように FA のヤング係数の発現が N より緩慢であり，応力増加の影響が小さかったことも，時間の経過とともに FA の応力残留率の低下が顕著となった要因と考えられる．

実構造物に作用する温度応力は，圧縮から引張に転じて徐々に大きくなるため，クリープによる応力緩和の影響が，時間の経過とともに大きくなると考えられる．したがって，FA の載荷期間後半に応力緩和が著しくなる傾向は，温度ひび割れに対し有利である可能性がある．

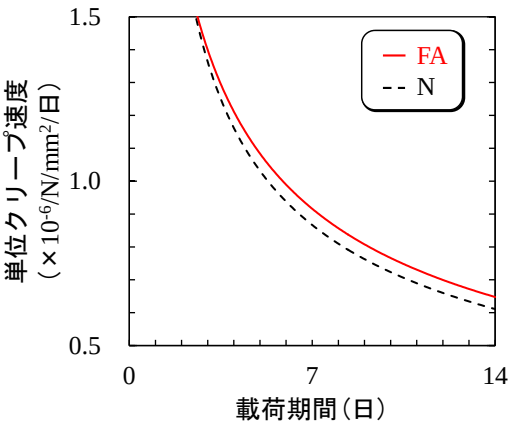

図３　単位クリープ速度

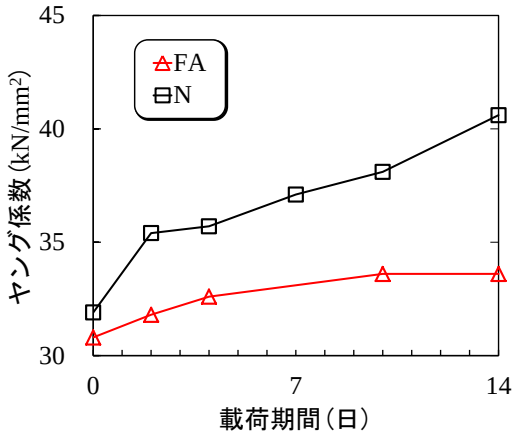

図４　ヤング係数

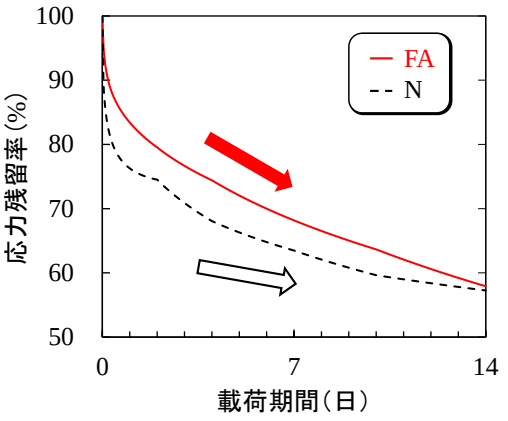

図５　応力残留率

５．まとめ

1) フライアッシュコンクリートの単位クリープは，載荷期間 2～14 日の 12 日間を通じて普通コンクリートより高い傾向を示し，最大で約 1.06 倍であった．
2) 本試算の結果，ヤング係数の発現性状やクリープ速度が応力緩和に影響し，実際の温度応力作用下では，フライアッシュの添加が温度ひび割れに対し有利になる可能性がある．

参考文献

1) 吉武　勇，中村秀明，永井泉治，浜田純夫：若材齢コンクリートの水和反応進行の影響を考慮した引張クリープ推定式の提案，土木学会論文集，No.634/V-45，pp.47-53，1999.11.
2) 三村陽一，吉武　勇，堀口　至：初期ひび割れ予測に用いるヤング係数に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.400-405，2014.