

コンクリートの圧縮・引張応力領域におけるクリープ挙動の相違に関する実験的研究

コンクリート研究室 阿部 哲雄
指導教官 下村 匠

1. はじめに

コンクリートの圧縮クリープに関する研究は数多く行われており、その基本的性質が明らかになり、構造物の設計に反映されている。一方、収縮による応力の導入やひび割れの発生を予測する場合に必要なのは実際には引張クリープである。しかしながら、引張クリープはその実験の困難さ等の理由から研究事例が極めて少なく、そのため、引張クリープは圧縮クリープと同じ性質を仮定して取り扱われることが多い。そこで、本研究では引張クリープの基本的性質を圧縮と対比しつつ実験的に検討することを目的とする。

コンクリートに純引張応力を持続的に作用させるのは容易ではない。そこで、著者らは安定して精度良く引張クリープ試験を実施可能な持続引張荷重試験装置を開発した。本研究では、本試験装置を用いて引張クリープに及ぼす荷重応力の大きさ、応力の変動、乾燥の影響を試験し、圧縮クリープとの相違について検討を行った。

2. 実験概要

実験シリーズは表 1 に示すように、応力領域、乾燥条件をパラメータとして、6つのシリーズに大別される。CS, CD シリーズは圧縮クリープの実験シリーズであり、TS, TD シリーズは引張クリープの種々の基本的な性質について検討するものである。RS, RD シリーズは、圧縮応力から引張応力に反転する荷重パターンである。それぞれの詳細な荷重経路は図 1 に示す。

図 2 に試験体概要を示す。(a) 圧縮クリープ試験体、(b) 引張クリープ試験体ともに試験区間は外径 100mm、内径 32mm、長さ 200mm の中空円筒で共通である。

圧縮荷重は圧縮クリープ試験体を直列に 2 体設置し、試験体の中心に通した鋼棒を、油圧ジャッキを用いて緊張しナットで

定着することで試験体に圧縮応力を導入した。

引張荷重は図 2 (b) に示した引張クリープ試験体の中空円筒中心の鋼棒の圧縮反力により、端板を介してコンクリートに引張応力が導入される仕組みである。応力反転する場合には、図 2 (b) に示した引張クリープ試験体に対して鋼棒と M10 全ネジ棒を接合する改良を施し、圧縮力と引張力の両方が伝達できるようにした。

3. 実験結果

3.1 クリープひずみの応力に対する線形性およびクリープ係数の大きさ

図 3 に CS, CD シリーズの圧縮クリープひずみと TS, TD シ

表 1 実験シリーズ

実験シリーズ	試験体名	応力領域	乾燥条件 (S:シールド, D:ドライ)	初期荷重 応力 (MPa)	荷重に含まれる操作 (荷重経路: 図-1参照)			
					一定荷重	応力増加	除荷	荷重パターン
CS	CS 2.0 a	圧縮	非乾燥 (S)	-2.0	○	-	○	a
	CS 4.0 a			-4.0				
	CS 8.0 a			-8.0				
	CS 8.0 b			-8.0				
CD	CD 2.0 a	圧縮	乾燥 (D)	-2.0	○	-	○	a
	CD 4.0 a			-4.0				
	CD 8.0 a			-8.0				
	CD 8.0 b			-8.0				
TS	TS 0.5 c	引張	非乾燥 (S)	0.5	○	○	○	c
	TS 1.0 c			1.0				
	TS 1.5 c			1.5				
TD	TD 0.5 c	引張	乾燥 (D)	0.5	○	○	○	c
	TD 1.0 c			1.0				
	TD 1.5 c			1.5				
RS	RS 2.0 d	反転	非乾燥 (S)	-2.0	○	-	-	d
RD	RD 2.0 d		乾燥 (D)	-2.0				

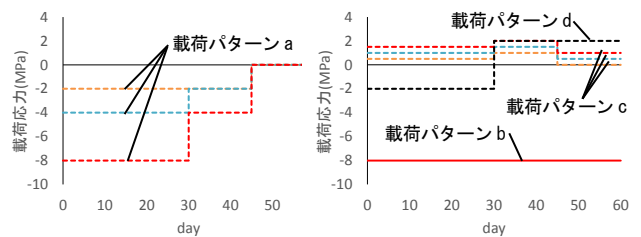


図 1 荷重パターン図

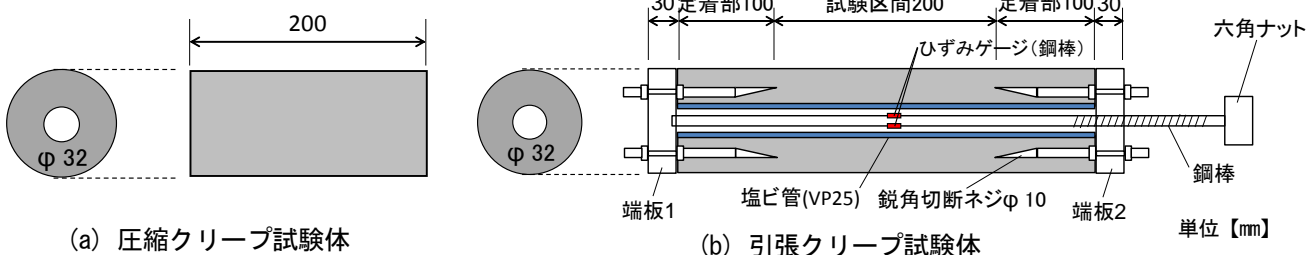


図 2 試験体概要図

リーズの引張クリープひずみについて、荷重日数 30 日（一定応力区間の終点）におけるクリープひずみと荷重応力の関係を乾燥試験体、非乾燥試験体毎に示す。なお、圧縮については符号を反転している。

圧縮クリープひずみに着目すると、圧縮クリープひずみと荷重応力の関係は概ね線形的な関係にあり、応力に対する線形性が確認できる。一方、引張クリープひずみは、荷重応力の増加とともに大きくなる傾向が認められるが、原点近くを通る直線で表現できる傾向にはなく、本実験の範囲内では引張クリープひずみの応力に対する明確な関係は見られなかった。

図 4 に非乾燥条件下における圧縮クリープ係数と引張クリープ係数の比較を示す。TS_1.0_c, TS_1.5_c 試験体のクリープ係数はほぼ一致しており、その値は圧縮クリープの結果である CS_8.0_b よりも大きい傾向にある。

圧縮・引張クリープの線形性、クリープ係数の大きさに関して厳密には相違が存在するが、図 3 に示すように、引張クリープは荷重応力の絶対値が圧縮クリープに比べて小さい範囲での現象である。図 3 において引張クリープのデータは圧縮クリープのデータの延長線上にあり、圧縮クリープの荷重応力のスケールで考えれば、引張クリープの線形クリープ則からの絶対的な乖離は小さく、圧縮応力が卓越する場合には引張クリープを圧縮クリープと同じ法則で表現しても実質的に問題無いものと考えられる。一方で、収縮ひび割れ予測など、引張応力が卓越する場合には、両者の違いを考慮する必要がある。

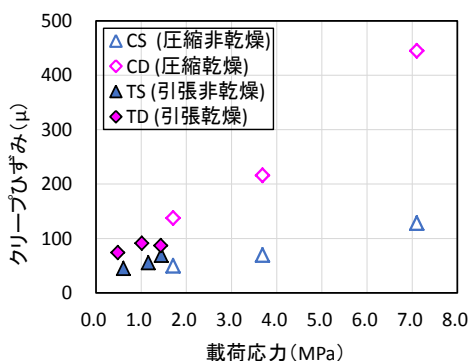


図 3 クリープひずみと荷重応力の関係

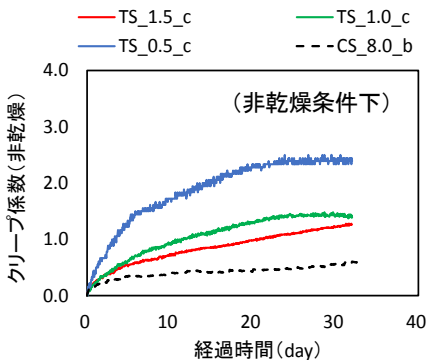


図 4 クリープ係数の比較

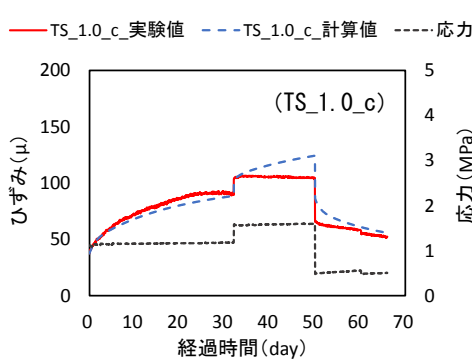


図 5 重ね合わせ則の適用結果の一例

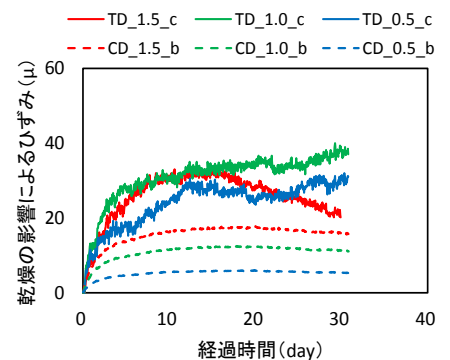


図 6 乾燥の影響によるひずみ

3.2 重ね合わせ則に関する検討

TS シリーズ (引張非乾燥) の引張クリープひずみについて、線形重ね合わせ則の適用性を検討した。一定応力下における引張クリープひずみの経時変化より、重ね合わせに必要なクリープ式を同定した。線形重ね合わせ則を用いてひずみの経時変化を計算した結果の一例 (TS_1.0_c 試験体) を図 5 に示す。引張クリープひずみは、応力が増加した後、計算値と実験値との間で乖離が生じており、線形重ね合わせ則では変動応力下のクリープひずみを正確に計算出来ないことがわかる。以上より、変動応力下の引張クリープは過去の応力履歴の影響を受け、バージョン引張クリープの挙動と異なることが推察される。

3.3 引張クリープに及ぼす乾燥の影響

図 3 に示した TS, TD シリーズを比較すれば、同一応力において乾燥試験体の引張クリープひずみは非乾燥試験体のそれよりも大きく、乾燥によってクリープひずみが増加することがわかる。乾燥によって増加したクリープひずみ (すなわち乾燥クリープ) を抽出し、図 6 に示す。また、同図には線形クリープ則を仮定して得られた、圧縮応力下の乾燥によって増加したクリープひずみを併せて示す。引張応力下における乾燥によって増加したひずみは圧縮クリープと比較して大きく、引張クリープの方が乾燥の影響を受けやすいことがわかった。

4. まとめ

- (1) 引張クリープについて応力に対する明確な線形関係は見られなかった。また、乾燥・非乾燥どちらの場合においても同じ応力レベルの場合、引張クリープの方が圧縮クリープよりも大きい傾向にあった。引張応力が卓越する場合には、両者の相違を考慮する必要がある。
- (2) 荷重応力とクリープひずみの関係において、引張クリープは圧縮クリープの延長線上で表現可能であった。圧縮応力が卓越する場合には、両者を同様としてもよい。
- (3) 変動応力下の引張クリープは過去に受けた応力履歴の影響を受ける。