

論文 若材齢高強度コンクリートのクリープ特性に関する基礎的研究

小澤満津雄*1・国森亮平*2・車戸勝巳*3・森本博昭*4

要旨：本研究では、近年実施工への使用が増大している高強度コンクリートについて、若材齢時のクリープ試験により①載荷時材齢の影響、②載荷応力についての線形性、③圧縮クリープと引張クリープの相違点について検討した。その結果、①圧縮クリープおよび引張クリープとも載荷時材齢が大きくなるとクリープの進行が小さくなる ②圧縮クリープは、載荷応力比 40%以下の範囲で載荷応力についての線形性が認められた。一方、引張クリープは計測値のばらつきが大きく単位クリープに対する載荷応力の影響は確認できなかった ③本研究の範囲では圧縮および引張クリープの挙動に明確な差異は認められなかった、などの知見が得られた。

キーワード：圧縮クリープ、引張クリープ、若材齢、高強度コンクリート

1. はじめに

コンクリートの温度応力および自己収縮応力を精度良く解析、推定するためには、特に若材齢期のクリープ特性の把握が重要となる。すなわち、温度応力、自己収縮応力ともに若材齢期から大きく発現する。一方、これらに大きな影響を及ぼすクリープ特性も若材齢期に大きく変化する。また、温度応力は外部拘束が卓越する場合は、圧縮応力から引張応力へと変化する傾向を示す。これらの理由で、若材齢時期の圧縮クリープと引張クリープの解明と評価法は、精力的に取り組むべき課題の一つとなっている¹⁾。そこで本研究では、特に実験データの蓄積が不足している高強度コンクリートについて、若材

齢期のクリープ特性を把握し、精度の高いクリープ予測式を提案するための基礎資料を得るため、若材齢期における圧縮および引張クリープの試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 供試体の作成

本研究で用いた高強度コンクリートの示方配合を、表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。水セメント比は 30%とし粗骨材の最大寸法は 25mmとした。図-1に圧縮クリープ計測用供試体と引張クリープ計測用供試体の形状・寸法を示す。各図に示すように、供試体の寸法は圧縮クリープ用供試体が

表-1 示方配合

スランプ°	Air	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G		Ad*
							大	小	
cm	%	%	%						
18	3.8	30	44.2	132	440	840	530	530	22

*) 高性能 AE 減水剤

*1 岐阜大学 助手 工学部土木工学科 工修 (正会員)
 *2 岐阜大学大学院 工学研究科 (正会員)
 *3 岐阜大学学生 工学部土木工学科
 *4 岐阜大学 教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

表-2 実験計画

載荷時材齢 (日)	種類	載荷応力比 (%)	供試体形状・寸法 (mm)
1	圧縮	30	100×100×200
	引張	30	100×100×300
2	圧縮	30	100×100×200
	引張	30	100×100×300
3	圧縮	20	100×100×200
	引張	20	100×100×300
	圧縮	30	100×100×200
	引張	30	100×100×300
	圧縮	40	100×100×200
	引張	40	100×100×300

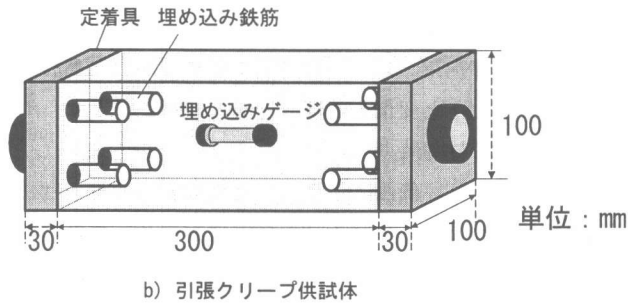
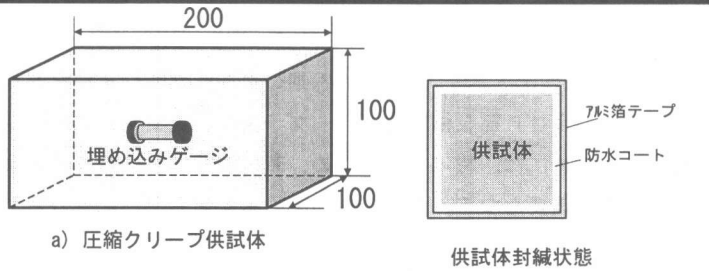


図-1 供試体の形状・寸法

100×100×200mm, 引張クリープ測定用供試体は 100×100×300mm である。引張クリープ試験は供試体の両端に 4 本ずつ, 計 8 本の異形鉄筋 (φ10×80mm) を埋め込むことにより供試体両端に定着板を固定し, この定着板を直接引張ることにより載荷を行った。各実験シリーズごとに寸法 100×100×400mm の測定ひずみ補正用供試体 (自己収縮ひずみ測定用) を作成した。また, 28 日までの各材齢における強度と弾性係数を測定するため圧縮強度およ

び弾性係数測定用の φ100×200mm の円柱供試体と割裂引張強度測定用の φ150×150mm の円柱供試体を作成した。ひずみの計測は埋め込みゲージ(東京測器 KM50F)を供試体中央に配置することにより行った。各供試体は, 試験開始直前まで恒温恒湿室内(温度 20℃, 湿度 60%以上)にて湿布養生を行った。各クリープ試験用供試体には試験直前に図-1 に示すように金属スプレーによる防水コートとアルミ箔テープによる封緘処理を施した。

表-3 強度試験結果

材齢 (日)	f_c (N/mm^2)	f_t (N/mm^2)	E_c ($\times 10^4 N/mm^2$)
1	23.0	1.8	2.3
2	44.5	3.4	3.5
3	44.7	5.7	-
7	69.2	-	4.1
14	63.3	-	4.0
21	80.2	-	4.1
24	79.4	5.5	-
28	83.0	6.5	3.8

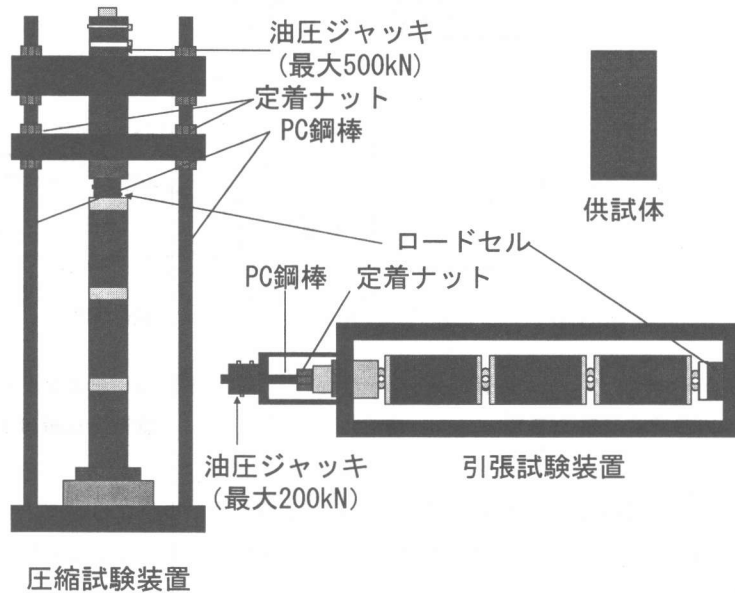


図-2 クリープ試験機概要図

2.2 実験計画

若材齢期の高強度コンクリートの圧縮および引張クリープ特性について、本研究では、次の項目について検討した。

- ①クリープ特性に及ぼす荷重時材齢の影響
- ②荷重応力についての線形性
- ③圧縮クリープと引張クリープの相違点

以上の検討を行うため、荷重時材齢を 1,2,3 日

とし、それぞれの材齢において圧縮および引張クリープ試験を行った。荷重応力は材齢 3 日では強度の 20, 30, 40% (以上、荷重応力比という。) として、その他の材齢においては 30% のみとした。実験計画をまとめて表-2 に示す。

2.3 実験方法

本研究では図-2 に示すような油圧式の圧縮および引張のクリープ試験装置を用いた。従来

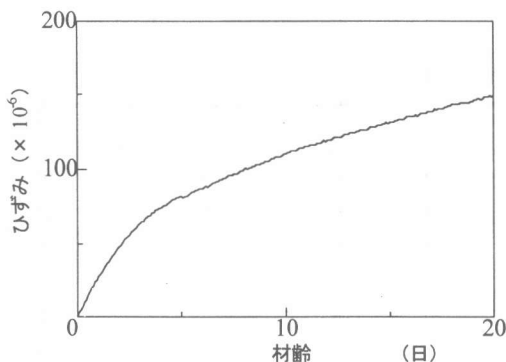


図-3 自己収縮ひずみの経時変化

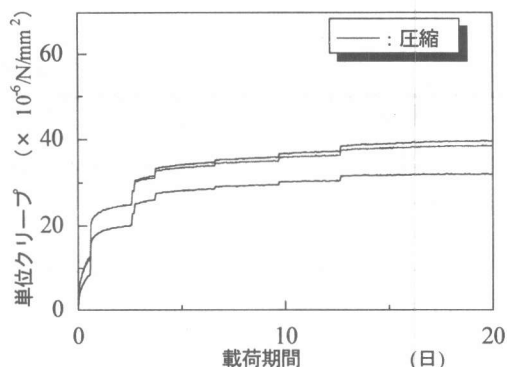


図-4 単位クリープの経時変化
(載荷時材齢 1 日)

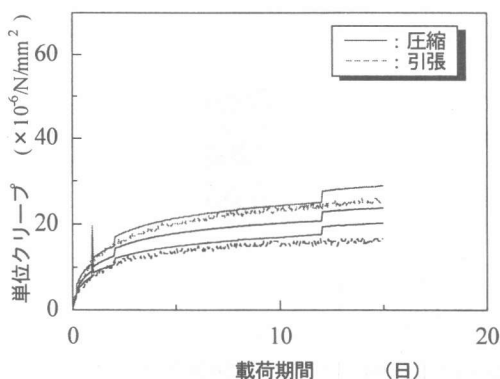


図-5 単位クリープの経時変化
(載荷時材齢 2 日)

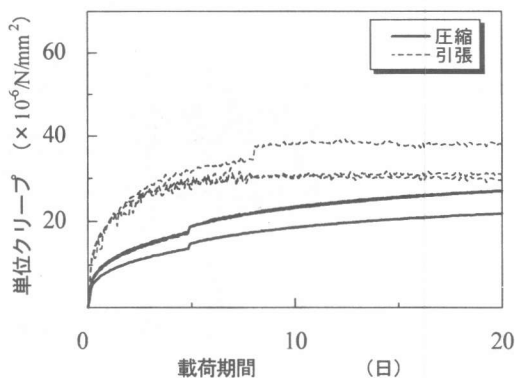


図-6 単位クリープの経時変化
(載荷時材齢 3 日)

から、クリープ試験装置としてレバー式のクリープ試験機が多く用いられてきたが、試験機の機構上の制限から高い応力レベルでの試験が困難であり、高強度のコンクリートを対象とした試験装置としてはあまり適してはいない。そこで本研究では荷重装置を油圧式にすることで、圧縮で最大 500kN、引張で最大 200kN の荷重が可能となった。また、同時に最大で 3 体の供試体に荷重することができるため、効率よく信頼性の高い試験結果を得ることができる。クリープ試験は材齢 1,2 および 3 日で圧縮および引張の荷重を行い、荷重以降、埋め込みひずみ計により 2 時間毎にひずみの計測を行った。

荷重応力の計測にはロードセルを用いた。また、同条件下に置いた無荷重供試体により、クリープ以外のひずみ（主として自己収縮ひずみ）を測定し、クリープ測定ひずみの補正を行った。本研究で用いた高強度コンクリートの材齢 28 日までの各材齢における強度および弾性係数を表-3 に示す。試験実施中、クリープによる荷重荷重の減少量が初期導入荷重の 3% 程度以上になった時点で適宜、荷重の再導入を行った。また、持続荷重載荷期間は、クリープ進行がほぼ定常状態となる材齢 20~25 日までを目安とした。

3. 実験結果

3.1 自己収縮ひずみ

クリープ測定ひずみの補正に用いた無載荷供試体のひずみ履歴の一例を図-3に示す。図より、自己収縮ひずみは材齢の初期段階から生じ、材齢5日以降から増加速度は小さくなるものの長期にわたり増加することがわかる。材齢20日における自己収縮ひずみは 150×10^{-6} 程度であった。

3.2 載荷時材齢の影響

載荷時材齢1,2および3日それぞれの圧縮および引張単位クリープの経時変化を図-4~6に示す。各図から圧縮クリープについては、載荷後20日のクリープひずみは載荷時材齢1日の場合は $30 \sim 40 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ 載荷時材齢2日では $15 \sim 30 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ 推定)そして載荷時材齢3日のものは $20 \sim 25 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ となった。すなわち、載荷時材齢1日のクリープを1(最大値で比較)とした場合の載荷時材齢2日と3日のクリープは0.75および0.63程度となり、若材齢期、特に材齢1日から2日にかけてクリープ特性が大きく変化することが確認できる。一方、引張クリープについては、載荷時材齢1日では載荷応力が 0.6N/mm^2 と小さく、有意なクリープひずみの計測を行うこ

とが出来なかったので載荷時材齢2日と3日と比較すると、それぞれ $20 \sim 30 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ 推定)と $30 \sim 40 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ であるが、計測のばらつき等、総合的に検討して両者には、大きな差異は生じていない。

3.3 応力比の影響

載荷時材齢3日で、載荷応力比を20および40%それぞれの単位クリープひずみの経時変化を図-7, 8に示す。載荷応力比30%の場合の結果は図-6に既に示した。図-6~8の結果を、圧縮クリープと引張クリープに分けて示したのが図-9, 10である。図-9から、圧縮クリープでは、載荷応力比が20%から40%に変化した時の載荷材齢20日での単位クリープはいずれも $20 \sim 30 (\times 10^{-6} \text{N/mm}^2)$ の範囲にあり、載荷応力比の影響は認められない。このことから、少なくとも載荷応力比が40%以下の範囲では圧縮クリープは載荷応力に比例すると仮定しても大きな誤りはないと考えられる。一方、図-10から引張クリープについては測定値のバラツキが大きく明確な結論を得ることは困難であるが、本研究で得られた実験結果の範囲内では載荷応力比の影響は確認できなかった。

3.4 圧縮クリープと引張クリープ

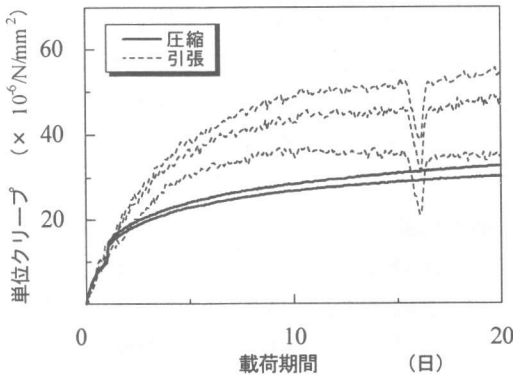


図-7 単位クリープの経時変化
(載荷時材齢3日；応力比20%)

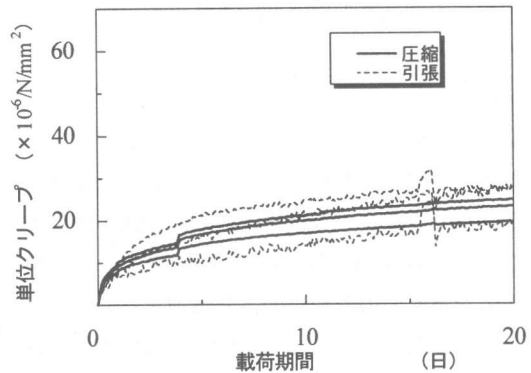


図-8 単位クリープの経時変化
(載荷時材齢3日；応力比40%)

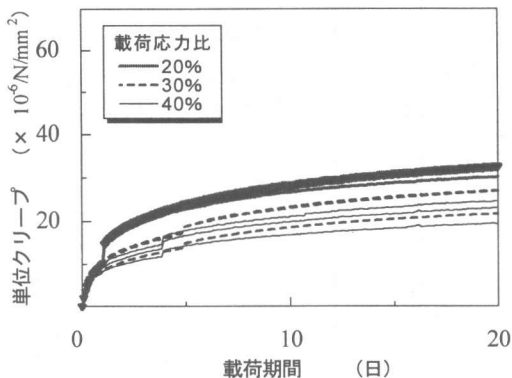


図-9 圧縮クリープの経時変化

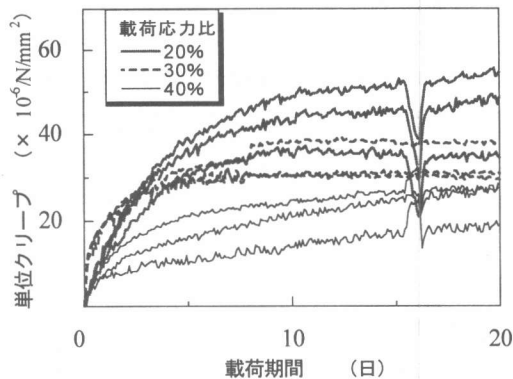


図-10 引張クリープの経時変化

図-5,6 で載荷時材齢 2 および 3 日の圧縮クリープと引張クリープを比較すると、載荷時材齢 2 日の載荷後 20 日でのクリープは、圧縮が $20 \sim 30 (\times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2)$ で、引張が $15 \sim 25 (\times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、同じく載荷時材齢 3 日では圧縮が $20 \sim 30 (\times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、引張が $30 \sim 40 (\times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2)$ で、いずれの載荷時材齢においても圧縮クリープと引張クリープとの間に大きな差異は認められなかった。クリープの進行についても有意な差異は確認できない。しかしながら、圧縮クリープと引張クリープの発生メカニズムおよびひずみ量については現段階では結論が得られておらず、本研究で得られた実験結果も含めて、今後さらに資料の蓄積を待たなければならない。

4. まとめ

本研究で得られた知見のまとめを以下に示す。

- ① 自己収縮ひずみは材齢の極く初期の段階から生じ、材齢 5 日以降から増加速度はやや小さくなるものの長期にわたり増加する傾向を示した。本研究で用いた水セメント比 30% の自己収縮ひずみは材齢 20 日で 150×10^{-6} 程度であった。
- ② 若材齢期では短期間のうちにクリープ特性

が大きく変化する。特に材齢 1 日から 2 日にかけての変化は大きく、圧縮クリープでは、載荷時材齢 1 日の載荷後 20 日のクリープを 1 とした場合、載荷時材齢 2 日では 0.75、同 3 日のものでは 0.63 となった。

③ 本研究の範囲ではクリープにおよぼす載荷応力比の影響は認められなかった。すなわち、圧縮クリープでは少なくとも載荷応力比が 40% 以下の範囲ではクリープは載荷応力に比例すると仮定しても大きな誤りはないと考えられる。一方、引張クリープについては測定値のバラツキが大きく明確な結論を得ることは困難であったが、本研究で得られた実験結果の範囲内では載荷応力比の影響は確認できなかった。

④ 載荷時材齢 2 日と 3 日のいずれにおいても圧縮クリープと引張クリープの進行とひずみ量に大きな差異は認められなかった。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート小委員会、クリープ・乾燥収縮小委員会 (308) : コンクリート技術シリーズ、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮, pp.1-17, 1997