

## 論文 高強度コンクリートの圧縮クリープ性状

後藤 和正\*1・小室 努\*2・陣内 浩\*1・川端 一三\*3

要旨：本研究では、高強度コンクリートの圧縮クリープ性状を確認することを目的とし、圧縮強度30～120N/mm<sup>2</sup>のコンクリートについて載荷応力度比1/3のクリープ試験を実施した。この結果、クリープひずみは圧縮強度によらずほぼ一定値を示し、クリープ係数と単位クリープひずみは高強度になるほど小さくなった。さらに、高軸力を載荷した場合のクリープ性状を確認することを目的として、圧縮強度40～80N/mm<sup>2</sup>のコンクリートについて、載荷応力度比1/2のクリープ試験を行った。この結果、80N/mm<sup>2</sup>のコンクリートのクリープ係数と単位クリープひずみは載荷応力度比1/3の場合とほぼ同等であった。

キーワード：圧縮クリープ、高強度、載荷応力度比、弾性ひずみ、圧縮強度

## 1. はじめに

現在、鉄筋コンクリート（RC）構造物において、高強度コンクリートの構造部材としての研究開発<sup>1)～3)</sup>が進められ、実用化した<sup>4)</sup>ことにより、建物の高層化、部材断面の縮小化が可能になった。また、構造設計において、高層RC造建築物の柱断面は水平力よりも長期軸力により決定される場合が多い。RC構造計算規準ではコンクリートの長期圧縮許容応力度を設計基準強度の1/3としており、高強度コンクリートを用いた場合でもこの値を準用しているのが現状である。しかし、高強度コンクリートにおけるこれらの許容応力度と使用性能との関係は明確ではなく、これを明確にすることができれば、コンクリート構造物の合理的な設計につながる可能性がある。このなかでも、コンクリートのクリープ性状は常時使用性能の重要な指標である。

以上から、本研究では高強度コンクリートの圧縮クリープ性状を明らかにすることを目的として、シリーズ1およびシリーズ2では圧縮強度30N/mm<sup>2</sup>～120N/mm<sup>2</sup>のコンクリートについて、載荷応力度比1/3を2年間載荷した場合の

クリープ試験を実施した。なお、シリーズ1は筆者らの所属する研究チームがすでに発表したデータを用いたもの<sup>5)</sup>であり、シリーズ2は筆者らが載荷1年後における途中経過を発表したもの<sup>6)</sup>について載荷2年時まで継続して測定したデータをまとめたものである。

さらに、これまでの高強度コンクリートのクリープの研究は、載荷応力度が設計基準強度の1/3以下のものがほとんどであり、これより載荷応力度比の高いクリープのデータは皆無に等しい。高強度コンクリートの設計に用いる長期圧縮許容応力度を従来より大きくできる可能性を探求するために、シリーズ3では圧縮強度40N/mm<sup>2</sup>および80N/mm<sup>2</sup>のコンクリートについて、載荷応力度比1/2の高軸力を載荷した場合のクリープ試験を実施した。

## 2. 試験概要

## 2.1 使用材料および調査

使用材料を表-1に、コンクリートの調査を表-2に示す。結合材として、シリーズ1およびシリーズ3では普通ポルトランドセメントを用い、シリーズ2ではポルトランドセメント、

\*1 大成建設（株）技術研究所建築材料研究室・工修（正会員）

\*2 大成建設（株）設計本部構造グループ・工修（正会員）

\*3 大成建設（株）設計本部構造グループ（正会員）

シリカフェーム，スラグ石膏系混和材を質量比 7：1：2 で混合した 3 成分系の結合材を用いた。粗骨材はシリーズ 2 の①（石英片岩）を除きいずれも青梅産の硬質砂岩碎石を用いた。

## 2. 2 クリープ試験方法

クリープ試験体の形状は  $\phi 10 \times 20$  cm とし，各調合とも 3 体 づつ試験を行なった。いずれの試験体も，打設翌日に脱型し，材齢 7 日まで 20 ±

3℃の水中養生とし，材齢 7 日以降はクリープ試験を実施する恒温恒湿室（温度  $20 \pm 3$ ℃，湿度  $60 \pm 5$ ％）に保存した。試験体は水中から取り出した時点で両端面を研磨により平滑にした。

クリープ試験は，図-1 に示すような自動油圧制御装置を接続したジャッキを用いた載荷装置により行った。載荷装置の上部には球座，下部には載荷板を配し，載荷板の下にはクリープ荷重の急激な上昇または低下を防止するため鉄板

表-1 使用材料

シリーズ 1		普通ポルトランドセメント 陸砂（鹿島産）：S1 川砂（神流川産）：S2 硬質砂岩碎石（青梅産） 高性能AE減水剤	比重3.15，比表面積3,200cm <sup>2</sup> /g 絶乾比重2.59，吸水率1.02％，粗粒率2.65 絶乾比重2.51，吸水率2.35％，粗粒率3.45 絶乾比重2.65，吸水率0.55％，粗粒率6.75 ナフタリン系
	①	早強ポルトランドセメント 石英片岩砕石（段戸産） 石英片岩砕石（段戸産）	比重3.14，比表面積4,540cm <sup>2</sup> /g 絶乾比重2.55，吸水率1.02％，粗粒率2.90 絶乾比重2.60，吸水率0.64％，粗粒率6.44
		②	普通ポルトランドセメント 硬質砂岩砕石（青梅産）：S1 陸砂（鹿島産）：S2 硬質砂岩砕石（青梅産）
共通	シリカフェーム スラグ石膏系混和材 高性能AE減水剤	比重2.2，比表面積20m <sup>2</sup> /g 比重2.92，比表面積7,580cm <sup>2</sup> /g アミノスルホン酸系	
シリーズ 3		普通ポルトランドセメント 硬質砂岩砕石（青梅産）：S1 陸砂（鹿島産）：S2 硬質砂岩砕石（青梅産） 高性能AE減水剤	比重3.16，比表面積3,250cm <sup>2</sup> /g 絶乾比重2.58，吸水率1.19％，粗粒率2.89 絶乾比重2.63，吸水率1.14％，粗粒率1.99 絶乾比重2.62，吸水率0.65％，粗粒率6.89 ポリカルボン酸系

表-2 コンクリートの調合

	設定強度 (N/mm <sup>2</sup> )	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							高性能AE減水剤 (B×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	
					水	結合材 (B)			細骨材		粗骨材				
						セメント	シリカフェーム	スラグ石膏	S1	S2					
シリーズ 1	75	30	36.0	3	170	567	-	-	409	173	1057	1.29	12.3	2.8	
	50	40	41.0	3	170	425	-	-	500	211	1045	0.40	10.6	2.5	
	30	60	51.0	4	170	283	-	-	655	275	913	0.46	17.2	3.0	
シリーズ 2	① 120	24	43.5	2	150	438	63	125	694		918	2.03	22.2	1.4	
	②	100	23	45.2	2	150	457	65	130	366	360	894	1.85	25.5	1.6
		50	50	52.6	2	165	231	33	66	490	483	894	1.60	18.8	1.6
シリーズ 3	80	30.5	42.3	3	170	557	-	-	548	140	954	0.85	21.0	3.1	
	40	62.0	49.5	3	170	274	-	-	734	187	954	1.00	9.2	3.7	

と硬質ゴム積層の弾性緩衝体を設置した。クリープ試験体への荷荷は、材齢28日に開始した。ひずみの計測は、荷荷時から7日間はひずみゲージにより行い、7日目以後はコンタクトメーターにより実施した。測定位置は、試験体上面の円周を3等分する位置の側面高さ方向中央部3箇所とした。クリープ試験体と同一の形状で、同一の養生を行った試験体により、長さ変化試験（材齢28日以降）および圧縮強度試験（材齢28日）を実施した。なお、シリーズ3では、クリープ試験終了後の材齢2年時に、除荷後の試験体および無荷荷の試験体の圧縮強度およびヤング係数を測定した。

### 2.3 荷荷条件

材齢28日圧縮強度および荷荷応力度比を表-3に示す。材齢28日の圧縮強度は設定強度とはほぼ同等の値が得られた。実際に荷荷した応力度比はいずれも設定値に近似した。なお、荷荷応力度比は荷荷応力度と材齢28日圧縮強度の比であり、荷荷応力度を設定油圧とジャッキのシリンダ径から算出して求めた。

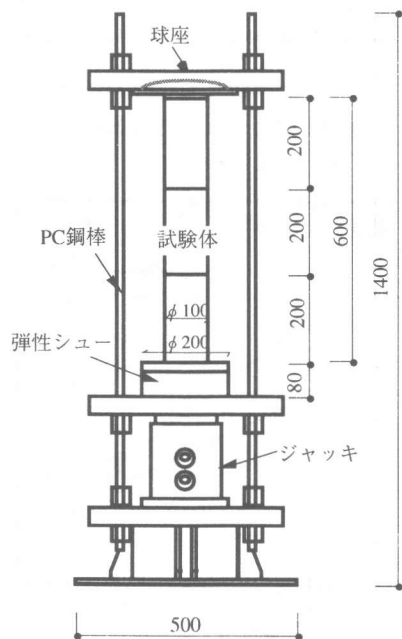


図-1 クリープ試験装置

### 3. 結果および考察

試験結果一覧を表-4に示す。

圧縮強度とクリープひずみの関係を図-2に示す。各シリーズごとのクリープひずみは、圧縮強度によらずほぼ同等の値を示した。これは、材料、環境条件および荷荷応力度比が同一であればクリープひずみはほぼ同等となる傾向があることを示している。また、シリーズ2では3成分系の結合材を用いているが、普通ポルトランドセメントを用いたシリーズ1とほぼ同等のクリープひずみとなっていることから、結合材が異なることによる影響は小さかったものと考え

表-3 荷荷条件

シリーズ	設定圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設定荷荷応力度比	圧縮強度 材齢28日 (N/mm <sup>2</sup> )	荷荷応力度比 材齢28日
シリーズ1	75	1/3	74.1	0.311
	50		50.1	0.335
	30		30.3	0.333
シリーズ2	120		119.1	0.333
	100		102.2	0.334
	50		54.5	0.300
シリーズ3	80	1/2	79.0	0.501
		1/3		0.309
	40	1/2	41.9	0.482
		1/3		0.309

表-4 クリープ試験結果一覧

シリーズ	設定圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設定荷荷応力度比	荷荷時弾性ひずみ (μ)	乾燥収縮2年 (μ)	クリープひずみ (μ)	クリープ係数	単位クリープひずみ *
シリーズ1	75	1/3	681	539	994	1.46	40.5
	50		516	542	991	1.92	59.1
	30		358	478	1042	2.91	103.2
シリーズ2	120		1190	199	928	0.78	23.4
	100		950	357	1017	1.07	29.8
	50		596	443	1001	1.68	61.2
シリーズ3	80	1/2	1332	366	2552	1.92	64.5
		1/3	749		1294	1.73	53.0
	40	1/2	913	709	2733	2.99	135.3
		1/3	593		1242	2.09	96.0

\* 単位クリープひずみの単位は μ / (N/mm<sup>2</sup>) である。

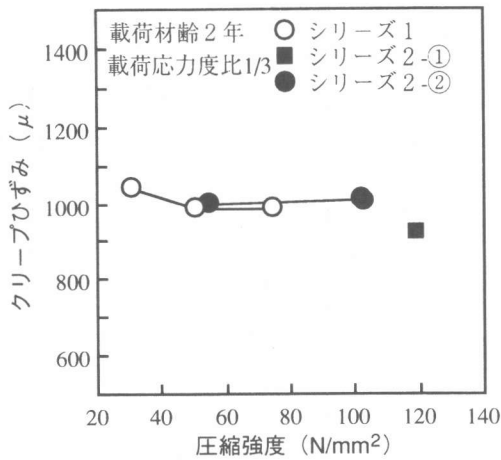


図-2 圧縮強度とクリープひずみの関係

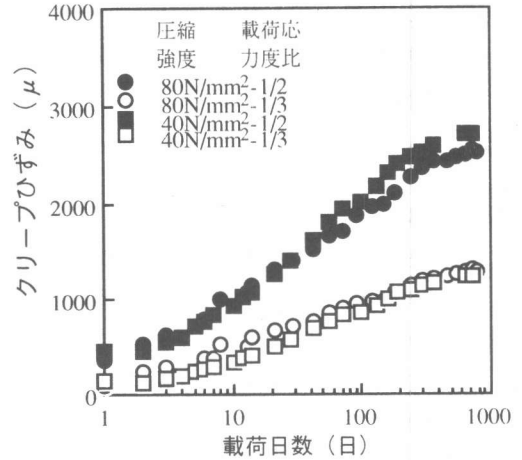


図-5 クリープひずみの経時変化 (シリーズ3)

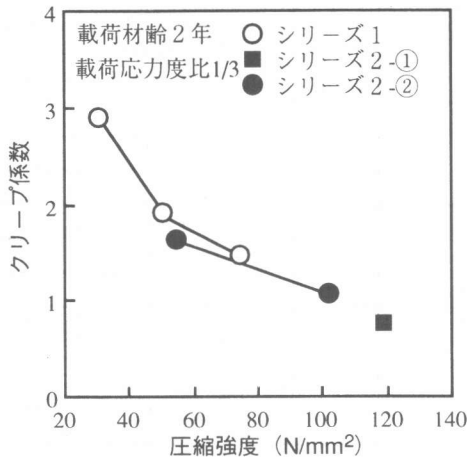


図-3 圧縮強度とクリープ係数の関係

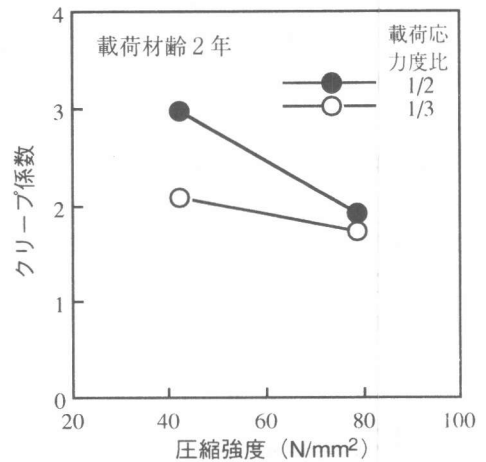


図-6 圧縮強度とクリープ係数の関係 (シリーズ3)

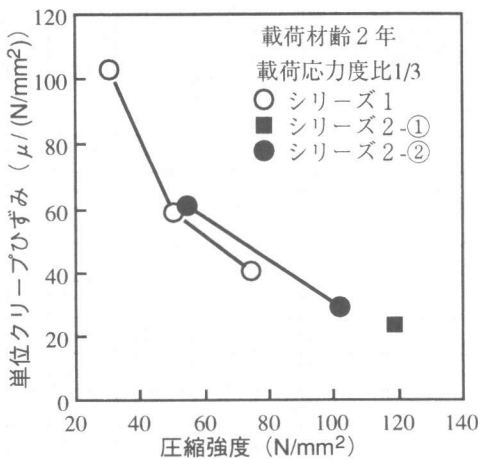


図-4 圧縮強度と単位クリープひずみの関係

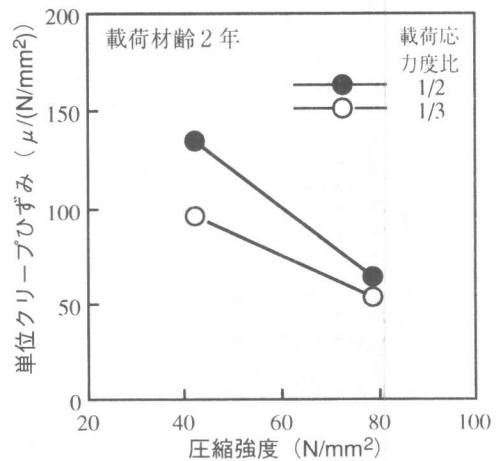


図-7 圧縮強度と単位クリープひずみの関係 (シリーズ3)

られる。また、石英片岩の骨材と早強ポルトランドセメントを使用したシリーズ2の①(120N/mm<sup>2</sup>)ではクリープひずみは他と比較して小さくなった。

圧縮強度とクリープ係数および単位クリープひずみの関係を図-3および図-4に示す。

クリープ係数は、圧縮強度が高くなるほど小さくなっている。これは、クリープ係数はクリープひずみを載荷時の弾性ひずみで除したものであり、弾性ひずみは強度が高くなるほど大きくなる傾向がある(表-4)ためである。なお、弾性ひずみが大きくなるのは、ヤング係数が強度の1/2乗または1/3乗に比例し<sup>7)</sup>、強度の増加の割合ほど大きくなるためである。

単位クリープひずみは、圧縮強度が高くなるほど小さくなっている。これは、単位クリープひずみはクリープひずみを載荷応力度で除した値であり、載荷応力度は載荷応力度比が同一であれば圧縮強度が高いほど大きくなるためである。

シリーズ3における載荷日数とクリープひずみの関係を図-5に示す。載荷応力度比1/2のクリープひずみは、載荷応力度比1/3の場合と同様に、圧縮強度が変化してもほぼ同等になった。また、載荷応力度比1/2のクリープひずみは載荷応力度比1/3の2倍強となった(表-4)。

圧縮強度とクリープ係数および単位クリープひずみの関係を図-6および図-7に示す。載荷応力度比1/2のクリープ係数および単位クリープひずみは、設定強度40N/mm<sup>2</sup>では載荷応力度比1/3の場合の1.5倍程度となっているが、設定強度80N/mm<sup>2</sup>では載荷応力度比1/3の場合とほぼ同等の値を示した。

シリーズ3におけるクリープ試験後の試験体の圧縮強度およびヤング係数の試験結果を表-5に示す。除荷後の圧縮強度は、無載荷の圧縮強度と比較して同等以上の値を示し、2年間の載荷による強度の低下はなかった。ヤング係数についても除荷後の試験体は無載荷の場合と同等の値を示した。載荷応力度比1/2と1/3の圧縮強度およびヤング係数もほぼ同等の値を示した。

つぎに、クリープひずみに載荷時の弾性ひずみを加えたひずみ(全ひずみと乾燥収縮ひずみの差:C+Eひずみ)を、載荷応力度比1/2と1/3の場合について求め、これらの比(C+Eひずみの比)を算出した。このC+Eひずみの比の経時変化を図-8に示す。C+Eひずみの比は設定強度40N/mm<sup>2</sup>および80N/mm<sup>2</sup>のいずれの場合も、載荷日数とともに増加しているが、載荷3日目以降の増加の割合は小さくほぼ一定と考えてもよい。この関係から、同一の調合条件のコンクリー

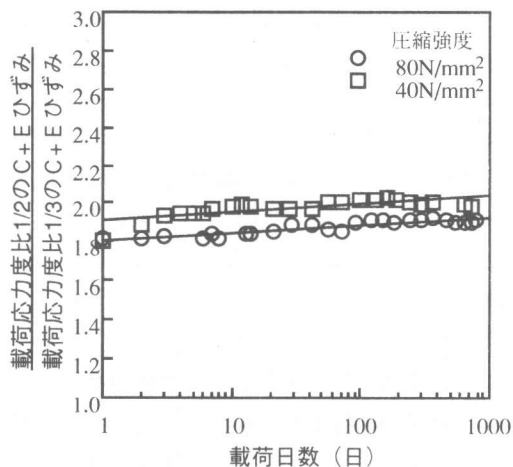


図-8 C + E ひずみの比の経時変化

表-5 クリープ試験後の圧縮強度およびヤング係数

設定強度 (N/mm <sup>2</sup> )	載荷 応力度比	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )		
		材齢28日 無載荷	材齢2年 無載荷	材齢2年 除荷後	材齢28日 無載荷	材齢2年 無載荷	材齢2年 除荷後
40	1/3	41.9	42.7	44.4	2.63	2.90	3.02
	1/2			45.5			2.89
80	1/3	79.0	81.1	80.5	3.35	3.64	3.86
	1/2			84.9			3.70

トで、載荷応力度比が明らかな場合の長期のクリープひずみおよび弾性ひずみの試験結果があれば、載荷応力度比1/2程度までの長期のクリープは短期間のクリープ試験を行うことにより予測できる可能性がある。

シリーズ1～3を通して、コンクリート強度が高くなるほど、クリープ係数は小さくなり、載荷応力度比が1/2と1/3のときのクリープ係数の差が小さくなることはいえる。一般に、コンクリートの弾性時の軸剛性を $K_e$ 、クリープ係数を $\phi$ とすると、クリープを考慮したコンクリートの軸剛性は $K_e / (1 + \phi)$ となる。よって、クリープ係数が小さくなると、クリープによる軸剛性低下は小さくなる。このことは、軸力を受けるRC部材を考えるとコンクリートから鉄筋へのクリープによる軸力の移行の割合が小さくなることを示す。従って、鉄筋の応力度増加が小さくなることから、RC部材の長期性能向上につながる。以上から、高強度のコンクリートを用いたRC部材はクリープからみた常時使用性能が優れているといえる。

#### 4. まとめ

- ① 同一材料を用い同一環境条件下で試験を行った場合のクリープひずみは、載荷応力度比(1/3, 1/2)が一定であれば圧縮強度に関わらず同等であった。
- ② クリープ係数および単位クリープひずみは、高強度になるに従い小さくなる傾向があった。
- ③ 載荷応力度比1/2の場合を1/3の場合と比較すると、クリープひずみは設定強度40N/mm<sup>2</sup>および80N/mm<sup>2</sup>とも2倍強になったが、クリープ係数および単位クリープひずみは設定強度40N/mm<sup>2</sup>では約1.5倍程度であり、設定強度80N/mm<sup>2</sup>ではほぼ同等であった。
- ④ 2年間のクリープ試験後のコンクリート試験体の圧縮強度およびヤング係数は、載荷応力度比1/2および1/3とも無載荷の場合と比較して同等以上であった。
- ⑤ クリープひずみに載荷時の弾性ひずみを加

えたひずみについて、載荷応力度比が1/2と1/3の場合の比を算出した結果、この比は載荷3日目以降ほぼ一定であった。以上から同一の調査条件のコンクリートで、基本的なクリープ試験結果があれば、載荷応力度比1/2程度までの長期のクリープは短期間のクリープ試験を行うことにより予測できる可能性がある。

⑥ 圧縮強度が高くなるほどクリープ係数が小さくなることから、高強度コンクリートを用いたRC部材はクリープからみた常時使用性能が優れているといえる。

#### 参考文献

- 1) 陣内浩ほか：超高強度コンクリートによる柱構造体の強度発現性状の検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.255-260，1994.6
- 2) 後藤和正ほか：超高強度コンクリートによる柱構造体強度発現性状の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集A，1994年度大会，pp.313-314，1994.9
- 3) GOTO,K et al., Experimental Study on High Strength Cast-In-Place Concrete with 100 MPa, Fourth International Symposium on the Utilization of High Strength / High Performance Concrete, No.2, pp.125-134, BHP96, May.1996
- 4) 陣内浩ほか：設計基準強度100N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを用いた超高層建物の施工，日本建築学会技術報告集，No.9，pp.7-12，1999.12
- 5) 飯島真人ほか：高強度コンクリートの圧縮クリープ性状，日本建築学会大会学術講演梗概集A，1990年度大会，pp.521-522，1990.10
- 6) 陣内浩ほか：高強度コンクリートの耐久性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集A，1995年度大会，pp.593-594，1995.8
- 7) 日本建築学会，建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，1997年改定，pp.170，1997.1