

論文 若材齢高強度コンクリートの圧縮クリープに及ぼすシリカフュームの影響

菅田 紀之^{*1}・寺澤 貴裕^{*2}

要旨: 高強度コンクリートの若材齢時における圧縮クリープ特性に及ぼすシリカフューム置換率の影響を検討するために、水結合材比が 20 %, 25 %, 30 % のコンクリートに対して、シリカフューム置換率を 0 %, 5 %, 10 %, 20 % と変化させて圧縮クリープ試験を行った。全クリープ、基本クリープおよび乾燥クリープについて検討を行った結果、単位クリープひずみに及ぼすシリカフューム置換率の影響は小さく、単位クリープひずみは水結合材比が大きいほど大きくなることを明らかにした。また、水結合材比と単位クリープひずみの関係および試験開始時強度と単位クリープひずみの関係は 1 つの曲線で表せることを明らかにした。

キーワード: 圧縮クリープ、高強度コンクリート、若材齢、シリカフューム

1. はじめに

コンクリート構造物では、若材齢時における収縮応力および温度応力の増加によりひび割れが発生することがある。特に、高強度コンクリートを用いた場合には、自己収縮量が多いことおよび水和発熱量が多いことより、マスコンクリートではなくてもひび割れの発生が問題になることがある。このひび割れを防止するためには、構造物の建設過程における収縮応力および温度応力を精度良く解析し、対処しなければならない。その解析のためには若材齢時におけるコンクリートの収縮および温度特性の他、クリープ特性等に関する情報が重要となる。ひび割れ発生が問題となる若材齢時における高強度コンクリートのクリープに関する研究は著者等による研究^{1), 2)}、小澤等による研究³⁾、伊藤等による研究⁴⁾ 等があるが、クリープ特性が十分に明らかにされているとはいえない。

そこで本研究では、若材齢時における高強度コンクリートの圧縮クリープ特性に及ぼすシリカフューム置換率の影響を明らかにする目的で、圧縮クリープ試験を材齢 1 日から行った。検討は、クリープひずみの変化、シリカフューム置

換率、水結合材比、試験開始時強度と単位クリープひずみの関係について行った。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

本研究に用いた高強度コンクリートの製作に使用した材料および配合を表-1 および表-2 に示す。結合材には普通ポルトランドセメントおよびシリカフュームを用い、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いた。目標空気量およびスランプフローは、1.5 % および

表-1 使用材料

材 料 (記号)	性質等
セメント (C)	普通ポルトランドセメント 比重: 3.15
シリカフューム (SF)	比表面積: 230,000 cm ² /g 比重: 2.2
細骨材 (S)	陸砂 比重: 2.69
粗骨材 (G)	碎石 2005 比重: 2.65
高性能 AE 減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系

*1 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 博 (工) (正会員)

*2 室蘭工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻 (正会員)

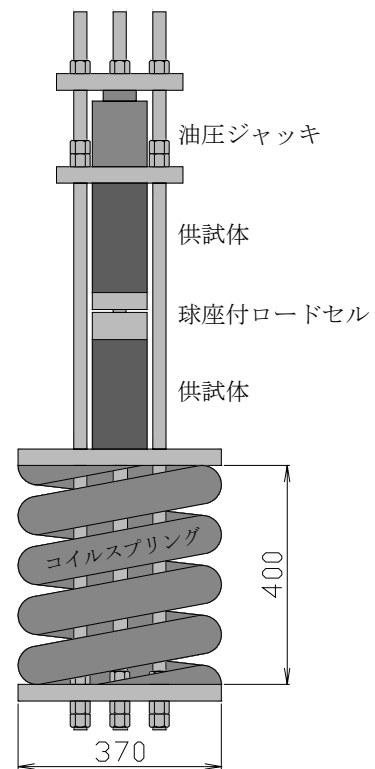
表－２ コンクリートの配合

SF/B (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	SF	S	G	SP
0	25	41.7	140	560	0	748	1031	4.20
	30			467	0	782	1076	3.59
5	20	41.7	140	665	35	693	955	8.05
	25			532	28	744	1025	5.04
	30			444	23	778	1072	4.48
10	20	41.7	140	630	70	700	947	10.25
	25			504	56	754	1019	7.28
	30			420	47	788	1066	4.68
20	20	41.7	140	560	140	677	933	11.9
	25			448	112	731	1007	8.40
	30			374	93	767	1057	5.83

60 cm である。コンクリートの水結合材比(W/B)は、20 %、25 %および 30 %の 3 種類であり、結合材(B)に対するシリカフューム置換率(SF/B)を 0 %、5 %、10 %および 20 %の 4 種類としている。水結合材比 20 %でシリカフューム置換率 0 %については、所要のフレッシュ性状が得られなかったため、11 種類の配合のコンクリートについて試験を行った。試験に用いた供試体は直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱供試体である。

2.2 クリープ試験方法

本研究において用いた圧縮クリープ試験装置は、図－１に示すようなコイルスプリング式のものである。コイルスプリングはクロムバナジウム鋼であり、直径は 70 mm、コイル外径は 370 mm である。試験装置は、球座付ロードセルを介して 2 本の円柱供試体を直列に配置できるようになっており、荷重の載荷は油圧ジャッキを用いて行い、上載荷版をナットにより固定することにより持続的に一定荷重が作用するようにしている。本装置のようなコイルスプリング式のクリープ試験装置の場合、供試体の変形による載荷荷重の減少が問題になることがあるが、本研究における荷重減少率は最大で 2 %程度であ



図－１ クリープ試験装置

ったため、試験中の荷重調整は行わなかった。

圧縮クリープ試験は、温度 20 °C、相対湿度 65±5 %に制御された恒温恒湿室内で行った。試験開始時の材齢は 1 日であり、試験期間は 7 日間とした。試験期間中のひずみの変化はゲージ

表－３ コンクリートの強度および弾性係数

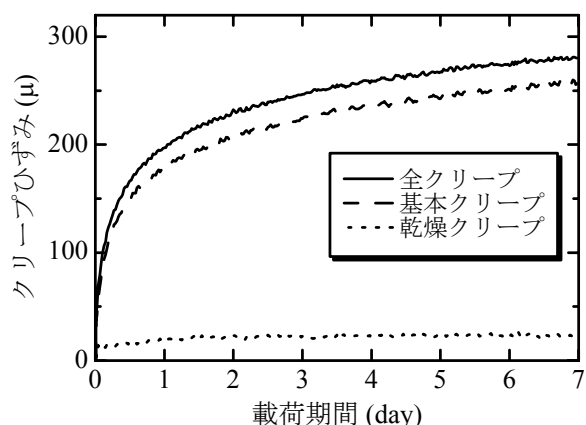
W/B (%)	SF/B (%)	1 日強度 (N/mm ²)	28 日強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
20	5	38.3	117.0	26.8
	10	37.8	117.7	26.9
	20	46.5	107.7	25.8
25	0	31.7	110.2	24.0
	5	34.4	106.7	24.8
	10	28.1	104.2	24.0
	20	31.3	95.0	24.3
30	0	14.9	78.1	18.3
	5	17.4	82.3	19.4
	10	15.1	73.0	19.9
	20	18.8	82.3	20.2

長 120 mm の埋込みゲージにより測定した。クリープ試験において作用させた応力度は、材齢 1 日における圧縮強度の 20 % である。試験は、乾燥を防ぐためにアルミテープで密封した 2 本の円柱供試体と密封していない 2 本の円柱供試体に対して行った。また、自己収縮等のクリープ以外の変形量を補正するために、クリープ試験と同一条件において無載荷供試体のひずみを測定した。密封供試体のひずみから載荷時弾性ひずみと密封無載荷ひずみを減じたひずみを基本クリープひずみ、密封していない供試体のひずみから載荷時弾性ひずみと無載荷ひずみを減じたひずみを全クリープひずみ、全クリープひずみから基本クリープひずみを減じたひずみを乾燥クリープひずみとして検討を行った。クリープひずみの試験結果は直列に配置した 2 本の供試体の平均値である。なお、クリープ試験に用いたコンクリート供試体は、1 日間封緘状態で 20 °C の恒温室内で養生を行ったものである。

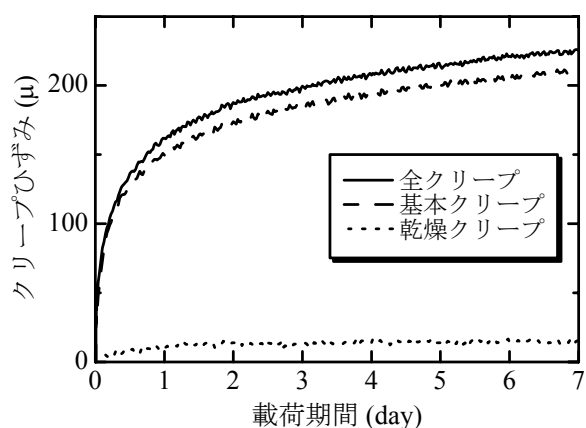
3. 実験結果

3.1 圧縮強度および弾性係数

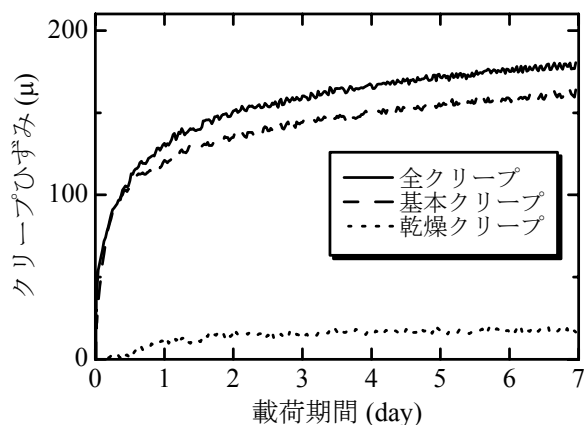
表－３ に材齢 1 日および 28 日における圧縮強度試験の結果およびクリープ試験時における載



(a) W/B = 20 %, SF/B = 10 %



(b) W/B = 25 %, SF/B = 10 %



(c) W/B = 30 %, SF/B = 10 %

図－２ 圧縮クリープひずみの変化

荷応力と載荷時弾性ひずみから求めた材齢 1 日における弾性係数を示す。コンクリートの養生は材齢 1 日までは 20°C の封緘養生，その後は 20°C の水中養生である。クリープ試験では表－３ に示す 1 日強度の 20 % の応力度を供試体に作用させた。水結合材比 20 % の 28 日強度の平均

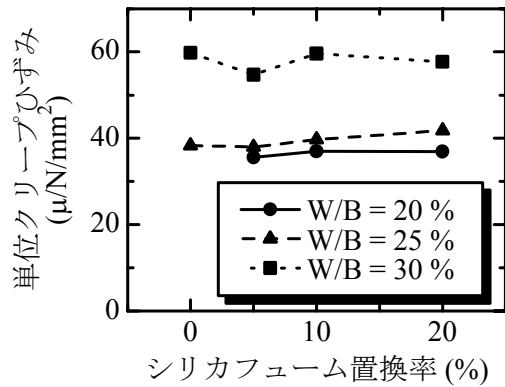
は、 114 N/mm^2 、25 %では 104 N/mm^2 、30 %では 79 N/mm^2 である。また、材齢 1 日における弾性係数の平均値は、それぞれ 26.5 kN/mm^2 、 24.3 kN/mm^2 、 19.5 kN/mm^2 である。

3.2 圧縮クリープひずみの変化

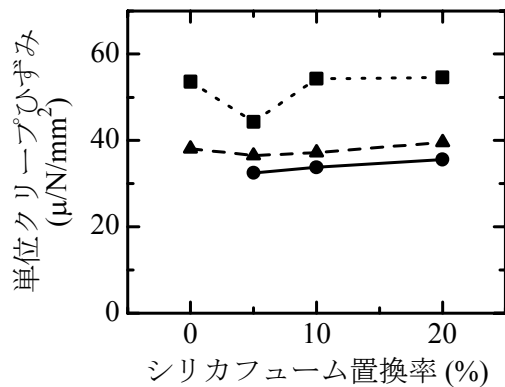
シリカフェーム置換率が 10 %の場合における圧縮クリープひずみの 7 日間の変化を図-2 に示す。クリープひずみは、荷重載荷後 1 日程度までにおいて大きく増加していることがわかる。この期間における全クリープひずみおよび基本クリープひずみの増加は、水結合材比が大きいほど大きく、水結合材比 20 %、25 %、30 %の 1 日経過時における全クリープひずみは、7 日経過時ひずみの 70 %、74 %、77 %である。基本クリープひずみについては、それぞれ 7 日経過時ひずみの 69 %、71 %、74 %である。乾燥クリープひずみについては、2 日経過時程度まで増加しているが、その後はほとんど増加していない。したがって、2 日経過以降のクリープひずみは、ほぼ基本クリープによるものであるといえる。また、全クリープひずみに占める乾燥クリープの割合は小さく、7 日経過時における乾燥クリープひずみは全クリープひずみの 10 %以下である。以上のようなクリープひずみの性状は他のシリカフェーム置換率の場合についても同様であった。

3.3 単位クリープひずみ

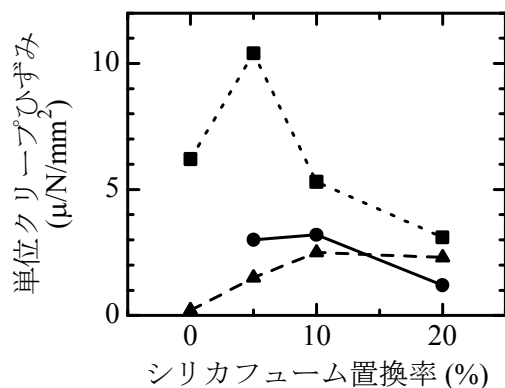
単位クリープひずみについて検討を行う。図-3 にシリカフェーム置換率と単位クリープひずみの関係を示す。図において示す単位クリープひずみは、荷重載荷後 7 日経過時における値である。本研究で採用したシリカフェーム置換率の範囲内において、全単位クリープひずみは、水結合材比 30 %でシリカフェーム置換率が 5 %の場合に若干小さくなっているものの、シリカフェーム置換率の影響を受けずほぼ一定値になっていることがわかる。また、基本単位クリープひずみについても、同様に水結合材比 30 %でシリカフェーム置換率が 5 %の場合に 10



(a) 全クリープ



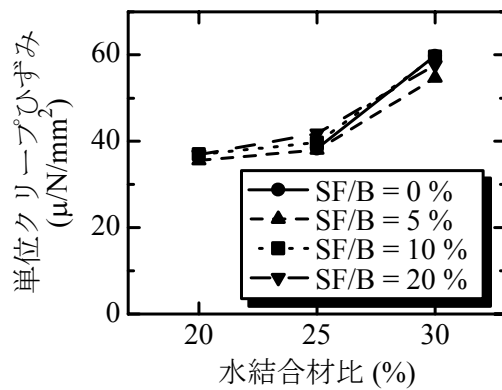
(b) 基本クリープ



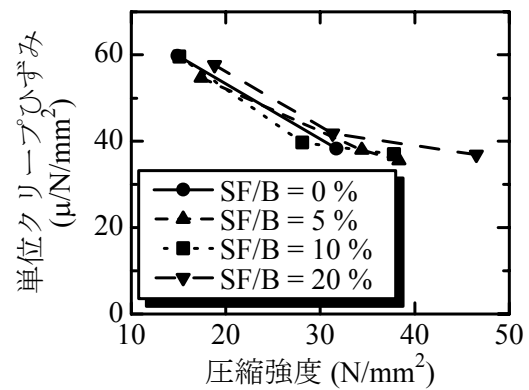
(c) 乾燥クリープ

図-3 シリカフェーム置換率と単位クリープひずみの関係 (荷重載荷後 7 日)

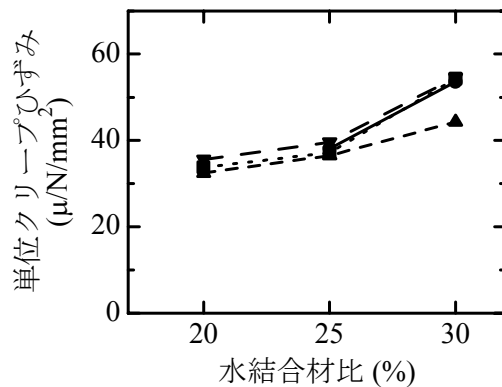
$\mu\text{N/mm}^2$ 程度小さくなっているが、ほぼ一定値を示しているといえる。シリカフェーム置換率と乾燥単位クリープひずみの関係については、水結合材比の違いにより増加あるいは減少の関係を示しているようである。しかしながら、乾燥クリープひずみは全クリープひずみおよび基本クリープひずみの 1/10 程度以下であり、実験



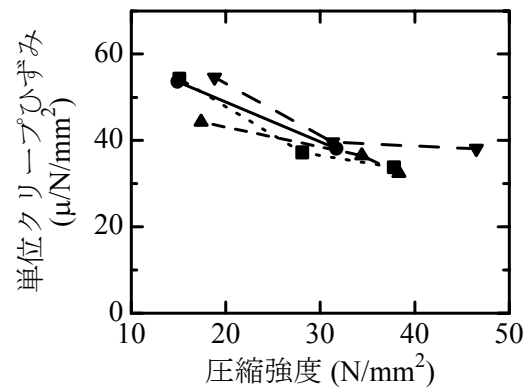
(a) 全クリープ



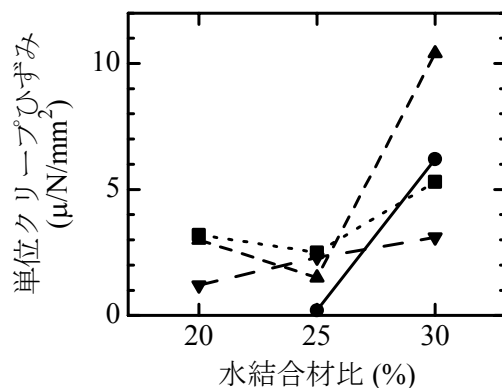
(a) 全クリープ



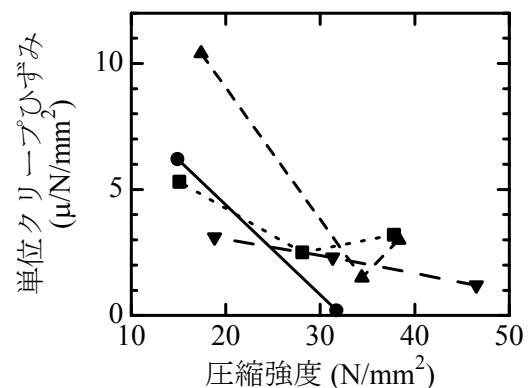
(b) 基本クリープ



(b) 基本クリープ



(c) 乾燥クリープ



(c) 乾燥クリープ

図－４ 水結合材比と単位クリープひずみの関係（荷重載荷後 7 日）

図－５ 試験開始時圧縮強度と単位クリープひずみの関係（荷重載荷後 7 日）

結果のばらつきの影響が大きく現れたものと考えられる。したがって、本研究の結果からシリカフューム置換率と乾燥単位クリープの関係を示すことは難しいものと考えられる。

水結合材比と単位クリープひずみの関係を示すと図－４のようになる。全単位クリープひずみは、シリカフューム置換率によらず水結合材

比が大きくなるに従い増加していることがわかる。その増加率は水結合材比が大きいくほど大きくなっている。また、水結合材比と全単位クリープひずみの関係は、1つの曲線を用いて表すことができるものと考えられる。基本単位クリープひずみについても、全単位クリープと同様に水結合材比が大きくなるに従い増加している。

水結合材比 30 %でシリカフューム置換率 5 %の場合に、他の置換率よりも単位クリープひずみが小さくなっているが、水結合材比と基本単位クリープひずみの関係は、1つの曲線により表すことができるものと考えられる。また、乾燥単位クリープひずみは、シリカフューム置換率により異なる値を取っているが、全体的な傾向としては、水結合材比が大きくなるに従い乾燥単位クリープも増加するといえる。

単位クリープひずみに及ぼす試験開始時における圧縮強度の影響について検討を行う。試験開始時における圧縮強度と単位クリープひずみの関係を図-5に示す。図より、全単位クリープひずみは、試験開始時の圧縮強度が大きくなるに従い減少していることがわかる。強度に対する全単位クリープひずみのばらつきは小さくなっており、材齢および配合等によらず本研究の範囲内（圧縮強度は 15 ~ 45 N/mm² 程度）においては、圧縮強度を用いて全単位クリープひずみを一意的に表すことができるものと考えられる。また、基本単位クリープひずみも全単位クリープひずみと同様に、試験開始時の圧縮強度が大きくなるに従い減少している。ばらつきについては全クリープひずみよりも大きいものの、圧縮強度を用いて基本単位クリープひずみを一意的に表すことができるものと考えられる。乾燥単位クリープひずみは、ひずみ量が小さいためばらつきが大きくなっている。しかしながら、全体的な傾向としては試験開始時強度が大きくなるに従い乾燥単位クリープが小さくなっていることがわかる。

4. ま と め

本研究では、若材齢時における高強度コンクリートの圧縮クリープ特性に及ぼすシリカフューム置換率の影響を明らかにする目的で、水結合材比を 20 %, 25 %, 30 %とし、結合材のシリカフューム置換率を 0 %, 5 %, 10 %, 20 %として圧縮クリープ試験を行った。試験環境は温度 20 °C, 相対湿度 65 ± 5 %である。コンクリート

の試験開始時における材齢は 1 日であり、20 °C の恒温室内において封緘養生を行ったものである。その結果、本研究の範囲内においては単位クリープひずみ、特に全単位クリープひずみおよび基本単位クリープひずみに及ぼすシリカフューム置換率の影響は、極めて小さいことが明らかになった。また、他の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 全クリープおよび基本クリープの増加率は荷重載荷後 1 日程度までにおいて大きい。
- (2) 全クリープに占める乾燥クリープの割合は小さく、乾燥クリープの増加は荷重載荷初期の段階のみである。
- (3) 単位クリープひずみは水結合材比が大きくなると増加する。
- (4) 単位クリープひずみは試験開始時の強度が大きいほど小さくなる。

参考文献

- 1) 菅田紀之・佐藤克俊・鎌田健太郎：高強度コンクリートの圧縮クリープに及ぼす初期高温履歴の影響，セメント・コンクリート論文集，No. 55, pp.494 - 499, 2002.2
- 2) 菅田紀之・佐藤克俊：シリカフュームを用いた若材齢高強度コンクリートの圧縮クリープ，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24, No. 1, pp.387 - 392, 2002.6
- 3) 小澤満津雄・国森亮平・車戸勝巳・森本博昭：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，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22, No. 2, pp.631 - 636, 2000.6
- 4) 伊藤秀敏・田澤栄一・米倉亜州夫・大島邦裕：高強度コンクリートの若材齢引張クリープ，セメント・コンクリート論文集，No.53, pp.635 - 641, 1999.12