

論文 シリカフェ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

菅田 紀之*1・佐藤 克俊*2

要旨: シリカフェームを用いた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を検討するために、水結合材比を 20%, 25%, 30%, 試験開始材齢を 1 日, 3 日, 7 日とし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は水結合材比が大きいほど大きくなり, さらに試験開始材齢が若いほど大きくなることを明らかにした。影響を及ぼす要因として試験開始時の強度を取った場合, 水結合材比および材齢の影響を少なくでき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, シリカフェーム

1. はじめに

高強度コンクリートを用いた構造物では、収縮応力および温度応力による初期ひび割れの発生が問題になることがある。このひび割れは構造物の耐久性を低下させるものであり、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正確に予測し対策を施さなければならない。応力を正確に予測するためには精度のよい応力解析法の確立が必要である。そのためには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⁾、小澤等による研究²⁾、伊藤等による研究³⁾等があるが、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、高強度コンクリートの圧縮クリープ特性を明らかにする目的で、クリー

プ試験を材齢 1 日, 3 日, 7 日から行った。検討は、クリープひずみの変化, 単位クリープひずみに及ぼす配合(水結合材比, 単位結合材量), 試験開始時における材齢および圧縮強度の影響について行った。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの配合および材料

本研究に用いた高強度コンクリートの配合, 28 日強度および使用材料を表-1 および 2 に示す。水結合材比(W/B)として 20%, 25%, 30% の 3 種類を採用し, 単位水量を 140 kg/m³, 細骨材率を 41.7% で一定とした。また, 目標スランプフローおよび目標空気量を 55 cm および 1.5% として表のように配合を決定した。結合材には普通ポルトランドセメントおよびシリカフェーム(結合材の 10%)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。実験

表-1 コンクリートの配合および 28 日強度

目標空気量(%)	目標スランプフロー (cm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						28 日強度 (N/mm ²)
				W	C	SF	S	G	SP	
1.5	55	20	41.7	140	630	70	700	947	10.25	118.6
		25			504	56	754	1019	7.28	99.7
		30			420	47	788	1066	4.68	83.0

*1 室蘭工業大学助教授 工学部建設システム工学科 工博(正会員)

*2 パブリックコンサルタント(株) 工修(正会員)

表-2 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

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。20 °C の水中において 28 日間養生したコンクリートの圧縮強度は、表-1 に示すとおりであり、水結合材比が 20 % では、118.6 N/mm²、25 % では 99.7 N/mm²、30 % では 83.0 N/mm² であった。

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(SUP10)であり、直径は 70 mm、コイル外径は 370 mm である。試験装置は、球座付加圧版を介して 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、荷重の荷重は油圧ジャッキを用いて行い、上荷重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荷重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 2 % 以下であったため、試験中の荷重調整は行っていない。

圧縮クリープ試験は、温度 20 °C、相対湿度 70 % 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、3 日および 7 日であり、標準的な試験期間は 5 日間とした。試験期間中のひずみの変化はゲージ長 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、試験開始時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

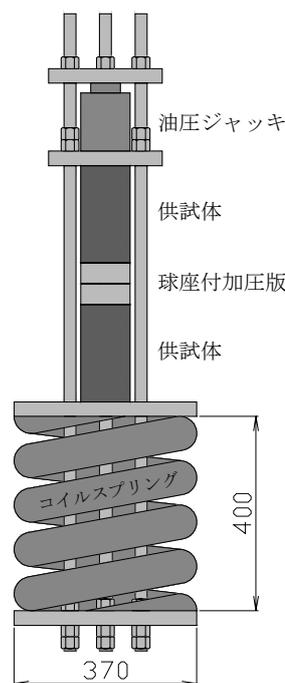


図-1 クリープ試験装置

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収縮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荷重供試体のひずみを測定した。密封供試体のひずみから荷重時弾性ひずみと収縮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荷重時弾性ひずみと収縮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、試験開始まで封緘状態で 20 °C の恒温室内で養生を行ったものである。

2.3 実験ケース

表-3 は圧縮クリープ試験の実験ケースおよび試験開始時における圧縮強度を示している。荷重応力は試験開始時における強度の 20 % と一定としている。本研究においては、水結合材比 (W/B) の影響を検討するために水結合材比を 20 %、25 %、30 % と変化させ、試験開始材齢の

表-3 実験ケース

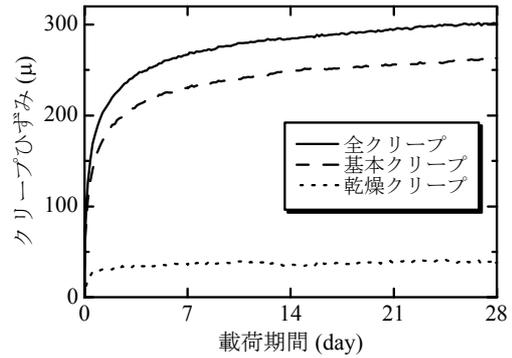
ケース	W/B (%)	載荷材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)
1	20	1	36.7
2	20	3	82.9
3	20	7	98.5
4	25	1	26.5
5	25	3	66.2
6	25	7	80.3
7	30	1	16.8
8	30	3	45.2
9	30	7	61.1

影響を検討するために試験開始材齢を1日, 3日, 7日と変化させた。また, それぞれの実験ケースにおいて密封供試体および開封供試体に対してクリープ試験を行っている。圧縮強度は, 材齢1日から3日の間の増加が大きく, 3日から7日の間の増加は小さくなっている。

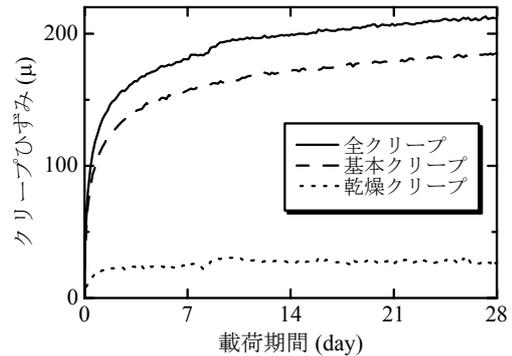
3. 実験結果および考察

3.1 圧縮クリープひずみの変化

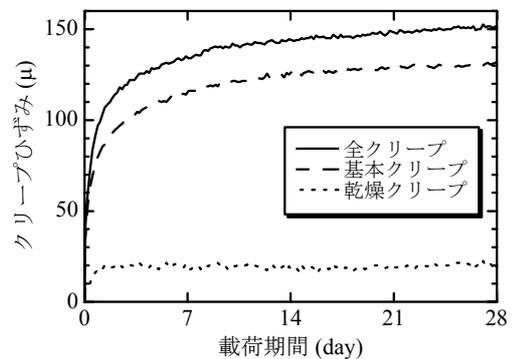
試験開始材齢が1日の場合における圧縮クリープひずみの28日間の変化を図-2に示す。クリープひずみは, 水結合材比が小さいほど大きくなっていることがわかる。しかしながら, 全クリープひずみ中に基本クリープと乾燥クリープの占める割合は, 水結合材比によらずほぼ等しく, 28日経過時における基本クリープひずみは全クリープひずみの87%, 乾燥クリープひずみは13%であり, 乾燥クリープの占める割合が小さいことがわかる。また, 各クリープひずみの増加率の変化傾向も水結合材比によらずほぼ同様となっており, 全クリープひずみおよび基本クリープひずみは1日経過時において28日経過時のひずみの60%から65%である。このように, 全クリープひずみおよび基本クリープひずみは荷重載荷後1日程度における増加量が大きく, 5日経過以降の増加量が小さくなり, 10日経過以降の増加率はほぼ一定になっていることがわかる。乾燥クリープひずみは2日経過時程



(a) W/B = 20 %



(b) W/B = 25 %



(c) W/B = 30 %

図-2 圧縮クリープひずみの変化

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といえる。よって, 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。試験開始時の材齢が3日および7日の場合については, 試験開始材齢1日の結果と比較すると荷重載荷初期における増加傾向は若干小さいが, ほぼ同様な増加傾向を示していた。

3.2 単位クリープひずみに及ぼす配合の影響

単位クリープひずみに及ぼす配合の影響につ

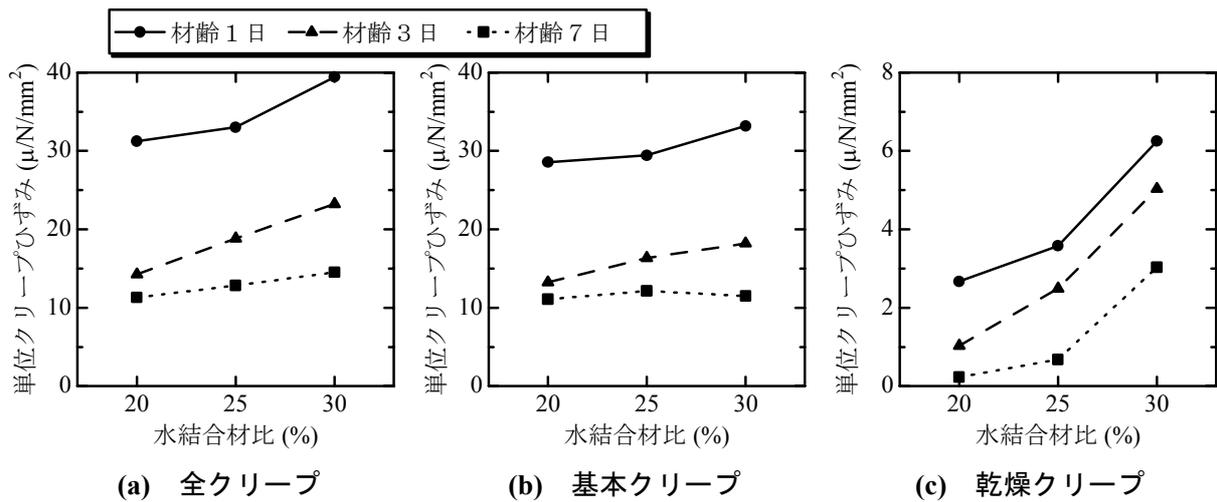


図-3 単位クリープひずみに及ぼす水結合材比の影響 (荷重載荷後 5 日)

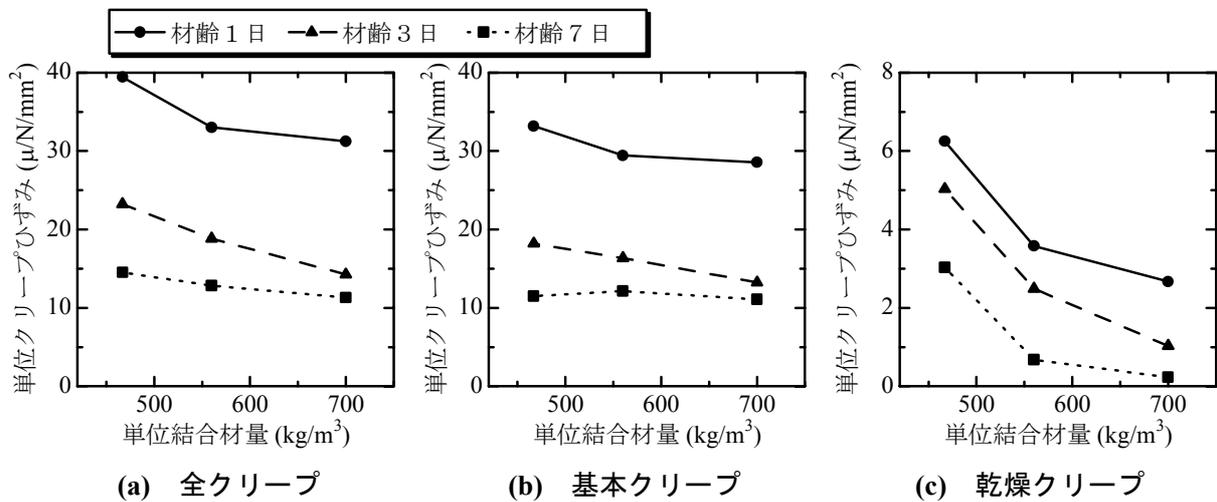


図-4 単位クリープひずみに及ぼす単位結合材量の影響 (荷重載荷後 5 日)

いて検討を行う。本研究における配合に関する実験パラメータは水結合材比 (単位結合材量) のみであるので、水結合材比および単位結合材量の影響について検討を行った。図において示す単位クリープひずみは、荷重載荷後 5 日経過時点における値である。クリープに及ぼす配合等の影響は荷重載荷日数により異なるものと考えられるが、ここではクリープひずみの増加量が小さくなる 5 日において検討を行った。水結合材比と単位クリープひずみの関係を図-3 に示す。この水結合材比の範囲内においては、全単位クリープひずみは、水結合材比が大きくなるとほぼ直線的に大きくなっていることがわかる。基本単位クリープひずみは、試験開始時における材齢が 1 日および 3 日の場合、水結合材

比が大きくなると増加の傾向を示している。しかしながら、試験開始材齢が 7 日の場合、水結合材比によらずほぼ一定値になっている。乾燥単位クリープひずみは、水結合材比の増加に伴い大きくなっていることがわかる。その増加率は大きく、水結合材比の影響は乾燥クリープに大きく現れているといえる。また、これらの図から全単位クリープひずみに占める乾燥単位クリープひずみの割合を求めると、水結合材比が 20 % のケースでは 2 % から 9 %、水結合材比が 25 % のケースでは 5 % から 13 %、水結合材比が 30 % のケースでは 16 % から 22 % であり、水結合材比が小さいほど乾燥単位クリープひずみの割合が少なくなっていることがわかる。特に、水結合材比が 20 % で試験開始材齢が 7 日のケース

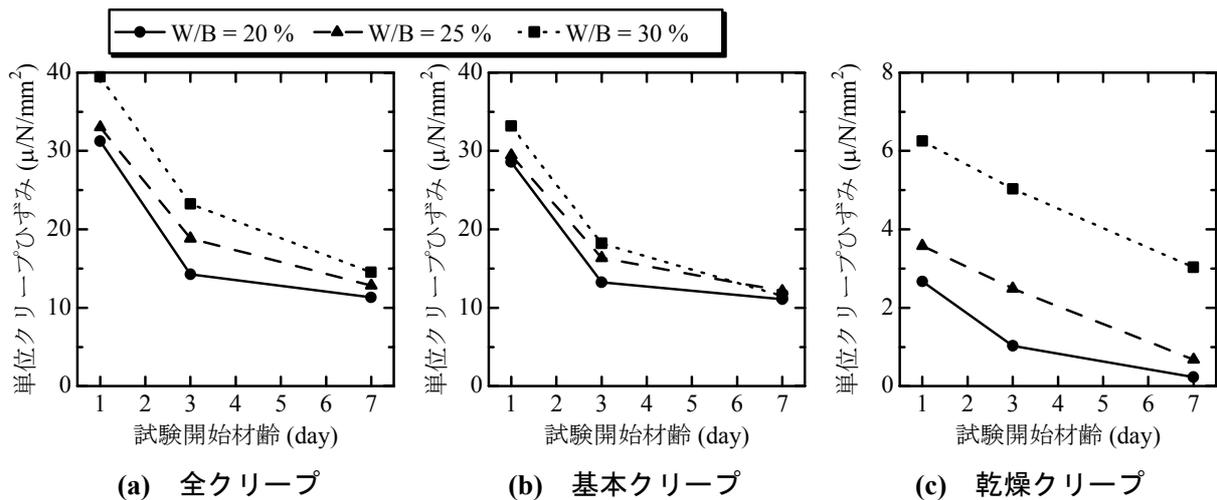


図-5 単位クリープひずみに及ぼす試験開始材齢の影響 (荷重載荷後 5 日)

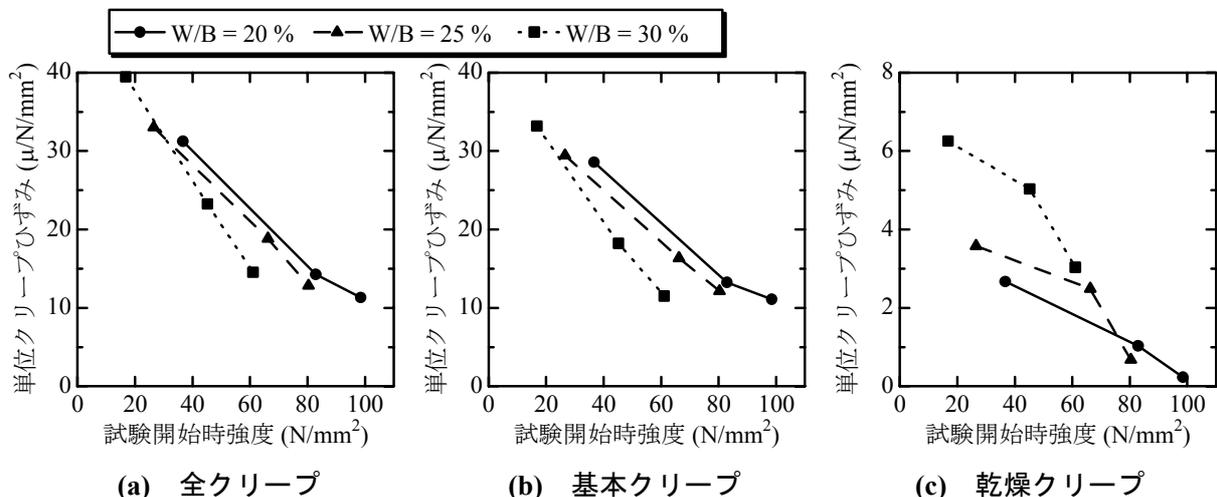


図-6 単位クリープひずみに及ぼす試験開始時強度の影響 (荷重載荷後 5 日)

では、乾燥単位クリープひずみの割合が 2 % であり、乾燥クリープがほとんど発生していないといえる。

単位結合材量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。単位水量が一定であり、単位結合材量は水結合材比と反比例の関係にあるため、水結合材比の影響による単位クリープひずみの増減と反対の影響が出ている。全単位クリープひずみは単位結合材量が増加すると減少している。基本単位クリープひずみも、単位結合材量が増加すると減少傾向を示しているが、試験開始時における材齢が 7 日の場合には、単位結合材量によらずほぼ一定値になっている。また、乾燥単位クリープひずみは、単位結合材量の増加に伴い小さくなっている。

3.3 単位クリープひずみに及ぼす材齢の影響

単位クリープひずみに及ぼす試験開始時の材齢の影響について検討を行う。単位クリープひずみは、図-3 および 4 と同様に、荷重載荷後 5 日経過時点における値である。試験開始時における材齢と単位クリープひずみの関係を図-5 に示す。単位クリープひずみは、試験開始材齢が若いほど大きくなっていることがわかる。全単位クリープひずみおよび基本単位クリープひずみは材齢が若いほど増加率が大きく、試験開始材齢 3 日の全単位クリープひずみが試験開始材齢 7 日の 1.3 倍から 1.6 倍であるのに対して、試験開始材齢 1 日の全単位クリープひずみは試験開始材齢 3 日の 1.7 倍から 2.2 倍になっている。基本単位クリープひずみも、全単位クリープひ

ずみとほぼ同様な傾向を示しており、試験開始材齢3日の基本単位クリープひずみは試験開始材齢7日の1.2倍から1.6倍、試験開始材齢1日の基本単位クリープひずみは試験開始材齢3日の1.8倍から2.2倍になっている。乾燥単位クリープひずみについては、試験開始材齢が若いほどほぼ直線的に大きくなっていることがわかる。

3.4 単位クリープひずみに及ぼす強度の影響

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。単位クリープひずみは、荷重載荷後5日経過時点における値である。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-6に示す。全単位クリープひずみ、基本単位クリープひずみおよび乾燥単位クリープひずみは、共に試験開始時における圧縮強度が大きくなるほど小さくなっていることがわかる。水結合材比が30%で試験開始時の強度が45 N/mm²以上の実験ケースにおいて全単位クリープひずみおよび基本単位クリープひずみが他の結果よりも小さく示されているが、他の単位クリープひずみはほぼ同一の線上に分布していることがわかる。また、水結合材比が30%で試験開始時の強度が45 N/mm²以下の実験ケースにおいて乾燥単位クリープひずみが他の結果よりも大きくなっているが、他の乾燥単位クリープひずみはほぼ同一の線上に分布しているといえる。

単位クリープひずみに影響を及ぼす要因として水結合材比を取った場合、図-3に示すように試験開始材齢により異なった線で表される。また、試験開始材齢を取った場合、水結合材比により異なった線で表される。しかしながら、単位クリープひずみに影響を及ぼす要因として試験開始時強度を取った場合、1つの線を用いて表すことができるといえる。

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を明らかにする目的

で、水結合材比を20%、25%、30%とし、結合材として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た高強度コンクリートのクリープ試験を行った。試験環境は温度20℃、相対湿度70%である。コンクリートの試験開始時における材齢は1日、3日、7日であり、20℃の恒温室内において封緘養生を行ったものである。本研究により得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- 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傾向にある。
- 4) 単位水量を一定とした場合、単位結合材量が多いほど単位クリープひずみは小さくなる。
- 5) 単位クリープひずみは、試験開始材齢が若いほど大きくなる。
- 6) 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。
- 7) 試験開始時強度と単位クリープひずみの関係は、水結合材比、試験開始材齢によらず1つの線で表すことができる。

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) 小澤密津雄・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
- 3) 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