

石炭灰混入コンクリートの自己収縮に及ぼす各種要因

笹田 達也* 小野 博宣** 佐々 弥人***

Influence of Measuring Methods and Test Conditions On Autogenous Shrinkage of Fly-ash Containing Concrete

Tatsuya SASADA*, Hironobu ONO** and Yahito SASSA***

(Received June 15, 2000)

It has been reported that the blast-furnance slag and fly-ashes have useful influence for decreasing autogenous shrinkage of concrete. But the mechanism of autogenous shrinkage has not been clearly clarified. In this paper nine kinds of mixing proportion with various cement, mortar and concrete, are prepared to estimate autogenous shrinkage under several testing conditions. The measuring method of shrinkage are as follows ; 1)contact-gauge, 2)dial gauge, 3)embedded mold-type strain gauge. Curing conditions of temperature are 10,20 and 30°C. Fly-ash replacement ratio are varied 0%,20% and 40%. The following results were obtained : While in early 24hrs. ages, specimens are expand about 200×10^{-6} strain temporality and then the specimens experienced shrinkage with age. Effects of different mixing proportion on autogenous shrinkage are clarified and increased with cement content ratio, decreased with increasing fly-ash replacement. The mutual correlation between the rate of shrinkage and the bleeding water evaporated by pressure forced method can be observed in each specimens.

Keywords : Autogenous shrinkage, Fly-ash, Mortar, Bleeding test

1. はじめに

近年、建築物の高層化や建設コスト削減のため、高強度・高流動コンクリートの利用が増えている。これらのコンクリートは、水セメント比が小さく単位セメント量が多くなる傾向があるため、凝結や収縮が通常のコンクリートよりも速く大きくなる可能性がある。これらのコンクリートに石炭灰（フライアッシュ）やシリカフュームのような微粒混和材を混入した場合には、凝結・硬化反応により、自己収縮やひび割れが低減されることが報告されている

ものの、フライアッシュの混入量や養生条件がコンクリートの自己収縮に及ぼす影響は十分定量的に解明されたいとはいえない。^{1), 2), 3)}

そこで、本研究では、コンクリートの自己収縮に対するフライアッシュの影響を検証することを目的として検討を行った。本報では、コンクリートの調合条件や養生温度が自己収縮に及ぼす影響について検討するとともに、自己収縮ひずみの測定方法について検討した。また、自己収縮における体積変化と脱水分離試験（加圧ブリーディング試験）の関係を検討し、基礎的なデータの収集を行った。

*建設工学専攻大学院生(Graduate Student, Constructional Engineering)

**建築学科 (Department of Architecture)

***土屋組 (Tutiyaumi)

2. 実験概要

2. 1 使用材料および割合表

実験に使用した材料を表1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(C)を用い、混和材には、比重2.20のフライアッシュ(FA)を用いた。セメントとフライアッシュを混合したものを本報では結合材(B)と呼ぶこととした。骨材には木曽川産のものを用いた。混和剤にはAE減水剤を用いた。また、表2、表3にモルタル調合、コンクリート調合をそれぞれ示す。

表1 使用材料

項目	記号	適用	比重
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
フライアッシュ	FA	中部フライアッシュ	2.2
混練水	W	水道水	1
細骨材	S	木曽川産川砂	2.56
粗骨材	G	木曽川産砂利	2.6
AE減水剤	Ad	オキシカルボン酸塩系	1.07

表2 モルタル調合

	置換率(%)	W/B (%)	Unit Weight(kg/m ³)			
			C	FA	W	S
M.B.400-FA0%	0	43	692	—	294	1250
M.B.400-FA20%	20	44	553	115	294	1250
M.B.400-FA40%	40	46	414	230	294	1250
M.B.500-FA0%	0	34	834	—	284	1154
M.B.500-FA20%	20	35	667	138	284	1154
M.B.500-FA40%	40	37	499	277	284	1154
M.B.600-FA0%	0	28	970	—	275	1067
M.B.600-FA20%	20	29	777	159	275	1067
M.B.600-FA40%	40	30	581	321	275	1067

[Note : B = C + FA]

表3 コンクリート調合

	W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
			C	FA	W	S	G	Ad
C.B.400-FA0%	42.5	40.1	400	—	170	726	1096	—
C.B.400-FA20%	42.5	40.1	322	65	170	726	1096	—
C.B.400-FA40%	42.5	40.1	240	133	170	726	1096	—
C.B.500-FA0%	34	40.1	500	—	170	692	1048	—
C.B.500-FA20%	34	40.1	398	84	170	692	1048	—
C.B.500-FA40%	34	40.1	300	164	170	692	1048	—
C.B.600-FA0%	28.3	40.1	600	—	170	660	995	—
C.B.600-FA20%	28.3	40.1	480	99	170	660	995	—
C.B.600-FA40%	28.3	40.1	360	198	170	660	995	—
C.B.-H.F.	32.1	40.1	363	167	170	783	858	7.02

[Note : B = C + FA]

2. 2 試験器具

凝結試験では、セメントの凝結時間測定用ビカー針装置(JIS R 5201)同自動凝結試験機(MIC-308-1)を用いた。自己収縮では、コンタクトゲージ測定器(1/1000mm)および、ダイヤルゲージを用いて測定した。また、埋め込みひずみゲージ(KM-100B)によるひずみをデーターロガーで自動計測した。

2. 3 試験方法

1) フライアッシュ混入セメントペーストの凝結試験

凝結試験では、JIS R 5201を基準にして測定した。実験は、気温20℃、湿度RH=80%の恒温恒湿実験室内で行った。標準軟度のセメントペーストを始発針の取り付けられたビカー針装置によって測定した。始発時間は、注水後から針と底板の距離が4±1mmとなった時間とし、それ以降は測定の間隔を5分単位で記録した。また、終結時間は、注水後から始発時間を経て、終結針で貫入量が0.5mmとなった時間とした。

2) 自己収縮測定方法

(a) ダイアルゲージによる測定

ダイヤルゲージによる測定方法²⁾の概要を図1および写真1に示す。供試体の両端に長さ変化を測定する支持標点とするためのゲージプラグを埋め込み、この変位をダイヤルゲージで測定した。ダイヤルゲージの設置・測定開始は、試料が始発時間に到達後とした。材齢24時間後に脱型し、供試体全体にポリエステルフィルムとアルミ箔で密封した後、材齢3, 7, 14および28日における供試体長さを測定した。

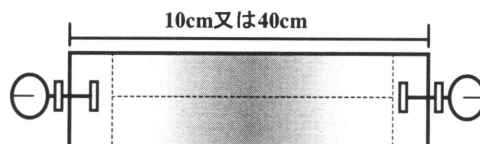


図1 ダイアルゲージ測定概略図

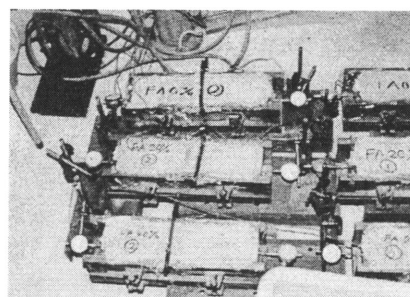


写真1 ダイアルゲージによる自己収縮測定

(b) コンタクトゲージによる測定

供試体を材齢24時間後に脱型した後は、JIS A 1129に準拠し、図2に示すようなコンタクトゲージ法⁴⁾を併用して収縮を測定した。供試体寸法と標点間の測定距離の一覧を表4に示す。材齢24時間後を測定の基長とし、初期の7日間は1日間隔で、また、その後は14, 21, 28, 56, および98日の各材齢において測定した。

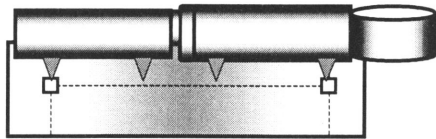


図2 コンタクトゲージ測定概略図

表4 供試体別測定間距離

供試体寸法 (cm)	測定間隔 (cm)
10×10×40	30
7.5×7.5×30	25
4×4×16	15

(c) 埋め込みひずみゲージによる測定

埋め込み式ひずみゲージ(KM-100B)を用いた内部のひずみ測定システムを図3および写真2に示す。ゲージを埋め込む際に、コンクリートの打ち込み時の振動によりゲージが移動しないよう、型枠の中央部にひずみゲージを糸で固定した。打ち込み後、24時間まで1時間に自動計測し、脱型後は1日間隔で計測した。

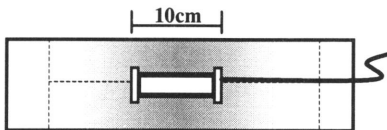


図3 埋め込みひずみゲージ測定概略図

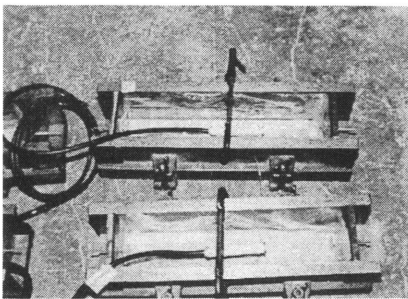


写真2 埋め込みひずみゲージによる自己収縮

3) 供試体の脱水試験方法

(a) 加圧ブリーディング試験

加圧ブリーディング試験方法(以下、加圧法と略す)では、写真3に示す(容器高さ 209mm、底面積 17662.5mm²)を万能圧縮試験機に設置し容器内試料上面の圧力が 42kN (3. 42N/mm²) となるように 10 分間加圧した。加圧中に底部から抽出されるブリーディング水の水量と時間の関係を記録した。

(b) 減圧脱水試験

減圧脱水試験方法(以下、減圧法下部と略す)では、

写真4に示すように、容器に真空ポンプを接続し、真空ポンプの圧力タンク内がおおよそ大気圧の 1/2 である 53. 3kPa 一定の負圧となるようにして、試料を入れた容器内を減圧しブリーディング水を吸引した。抽出したブリーディング水の水量と時間の関係を吸引時間 30 分間まで測定した。

加圧ブリーディング試験でも、減圧脱水試験でも、試料の単位水量に対する脱水抽出したブリーディング水の重量比を分離脱水率として、以下の考察に用いた。

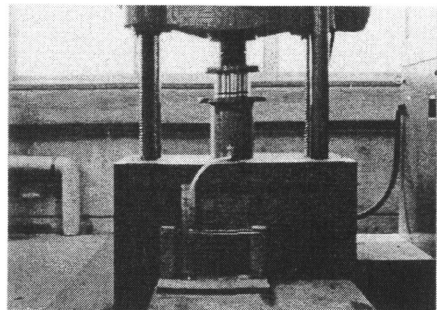


写真3 加圧ブリーディング試験方法(加圧法)

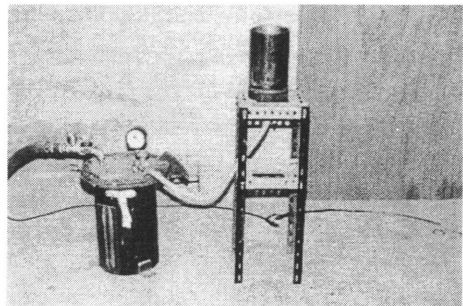


写真4 減圧脱水試験方法(減圧法下部)

3. 実験結果及び考察

3. 1 凝結試験結果

コンクリートやモルタルにフライアッシュを混入することによって、どの程度の凝結速度に差が出るかを予備的に調べるため、セメントペーストレベルでの凝結試験を行った。⁵⁾ セメントペーストの凝結始発時間および凝結終結時間とフライアッシュ(FA)の混合比率との関係を図5および図6にそれぞれ示す。実験パラメータとして養生温度3水準(5, 20 および 30℃)を設定したが、養生温度が低いほど始発時間および終結時間ともに遅れる結果となった。また、フライアッシュの混入量が増加するにしたがって、始発時間および終結時間は、おおよそ 5~10%遅延することがわかった。

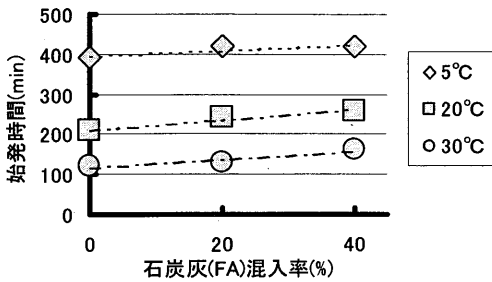


図4 セメントペーストの始発時間

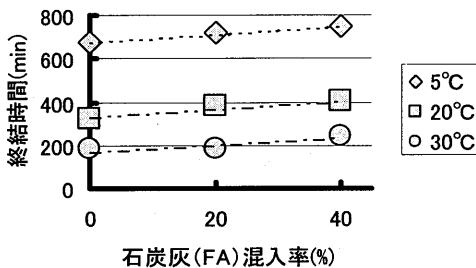


図5 セメントペーストの終結時間

3.2 コンタクトゲージ法による自己収縮測定

モルタルの自己収縮ひずみとフライアッシュ(FA)の混入率の関係を図6に示す。供試体寸法は $4 \times 4 \times 16$ cmで、材齢28日時点における自己収縮量を比較した。同図によれば、単位結合材料が大きくなる程、また、フライアッシュの混入量が増加する程、自己収縮ひずみの絶対値が大きくなる傾向がわかる。

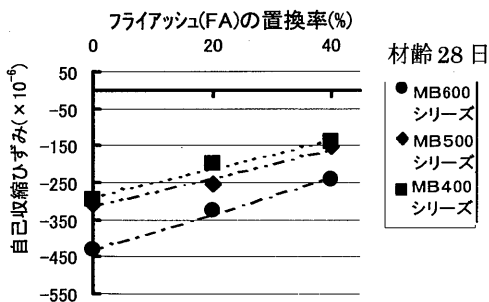


図6 コンタクトゲージによるモルタル調査

モルタル供試体の寸法がコンタクトゲージ法による自己収縮の測定値に及ぼす影響を検討するために、同一調査で寸法の異なる3種類の供試体について自己収縮の測定を行った。⁶⁾ 試料の調査はフライアッシュ混入率

20%のモルタル試料(MB500-FA20%)とし、供試体寸法は $4 \times 4 \times 16$ cm、 $7.5 \times 7.5 \times 25$ cm および $10 \times 10 \times 40$ cm の3水準とした。このモルタルの自己収縮ひずみの経時変化を図7に示す。寸法の大きい供試体ほど収縮長さは大きくなるが、同図のように単位長さ当りのひずみに換算すると、供試体寸法ごとのひずみ量には大きな差異は見られなかった。

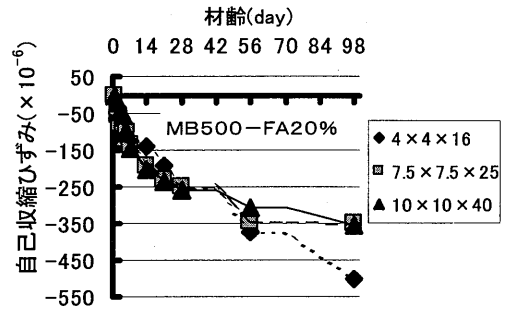


図7 コンタクトゲージ法による供試体寸法と収縮ひずみ

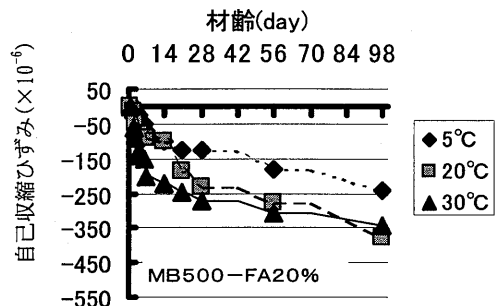


図8 養生変化によるコンタクトゲージ測定

図8は養生温度ごとに自己収縮ひずみの経時変化を整理したものである。試料の調査はMB500-FA20%で、コンタクトゲージ法によって測定したものである。養生温度が高い場合は、若材齢において収縮量の絶対値が大きくなる傾向が同図から読み取ることができる。20°Cと30°Cの場合を比較すると、若材齢での収縮量には差異が見られるものの、長期材齢になるにしたがってその差は次第に小さくなるのが分かる。

試料の種類が極初期材齢における長さ変化に及ぼす影響を検討するために、高強度コンクリート(HF)、普通コンクリート(CB500-FA20%)およびモルタル(MB500-FA20%)の3調査の極初期材齢における長さ変化の経時変化を測定した。供試体寸法は $10 \times 10 \times 40$ cmとし、埋め込み型のひずみゲージを用いて測定した。別

途、試料の凝結時間を測定し、凝結始発時間を材齢の基準とした場合の自己収縮(膨張)ひずみ量の経時変化を図 9 に示す。いずれの調査においても、凝結始発から 10 時間ほどまで膨張する傾向にあった。したがって、粗骨材の有無や普通コンクリートと高強度コンクリートの違いなどとは無関係に凝結始発時間以後の極初期材齢において試料は膨張する傾向にあることが分かった。

次に、材齢 28 日までの自己収縮性状の経時変化を測定した結果を図 10 に示す。試料は図 9 と同じく、高強度コンクリート(HF)、普通コンクリート(CB500-FA20%)およびモルタル(MB500-FA20%)の 3 調査である。3 調査とも、材齢 14 日頃までは顕著な差異が見られないものの、それ以降、粗骨材の無いモルタル調査がやや大きな自己収縮ひずみを呈する結果となった。最終的には材齢 28 日程度でほぼ収縮が一定値に収束したと考えられる。

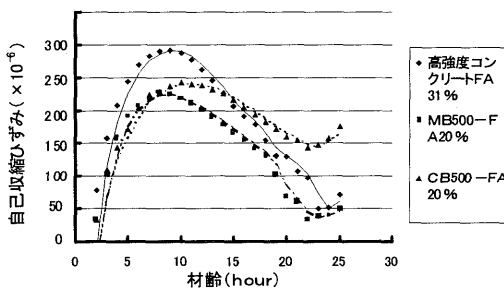


図 9 埋め込みひずみゲージによる初期収縮測定

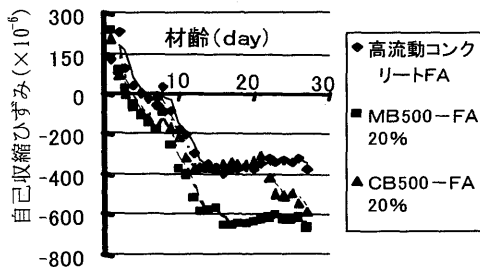


図 10 埋め込みひずみゲージによる収縮測定

測定方法の違いが自己収縮ひずみの測定値に及ぼす影響を検討するために、ダイヤルゲージ法、コンタクトゲージ法および埋め込みひずみゲージ法の 3 種類で同一供試体の自己収縮ひずみを測定した。試料は MB.500-FA20% とし、供試体寸法は $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ とした。それぞれの試験方法で測定した自己収縮ひずみの

経時変化を図 11 に示す。同図によれば、材齢 10 日頃まではいずれの測定方法でも大きな差異は見られなかったものの、それ以後は、埋め込みゲージ法による収縮量の絶対値が他の測定値よりも大きくなる傾向が見られた。これは、供試体内部と表面部の収縮量の違いに遠因するものと考えられる。

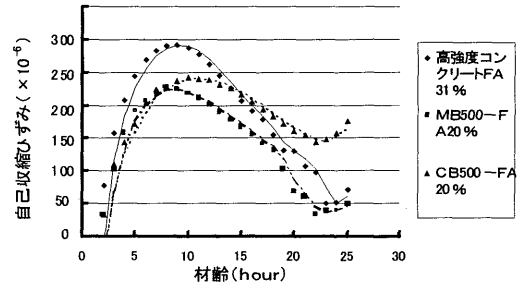


図 11 各種測定方法による収縮測定

3. 3 フライアッシュによる収縮低減効果

フライアッシュがコンクリートの自己収縮を抑制する程度を把握するために基礎的な実験を行った。本研究では、コンクリート自己収縮と材料分離抵抗性に関係があると考え、脱水分離試験である加圧ブリーディング試験(加圧法)および減圧脱水試験法(減圧法下部)が自己収縮と相関関係があるかを実験的に検討した。

図 12 は、分離脱水率と結合材料の関係を示したものである。図中には、2 種類の試験方法(加圧法と減圧法下部)による分離脱水率をプロットした。いずれのコンクリートも単位水量は 170 kg/m^3 の一定なので、結合材料が増加するほど自由水は減少することから分離脱水率も低下することが分かる。

モルタル(MB500 シリーズ)の自己収縮ひずみと分離脱水率の関係を図 13 に示す。供試体寸法 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ でコンタクトゲージ法を用いて測定した材齢 28 日時の収縮量をプロットした。実験ではフライアッシュの混入率を実験要因として、0, 20 および 40% の 3 水準で試験しており、脱水方法としては加圧法および減圧法下部の 2 手法を用いて試験を行った。同図によれば、フライアッシュの混入率が増加するに従い、自己収縮ひずみが減少する傾向にあり、また、分離脱水率が増加する傾向にあることが分かる。このことにより、分離脱水率が低くすなわち保水性の高い結合材を持つコンクリートのほうが自己収縮率が小さいことが分かった。また、フレッシュ時の分離脱水試験を行うことによって、硬化後の自己収縮率を予測できる可能性があることが分かった。

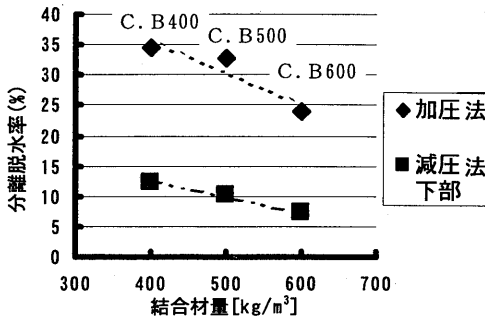
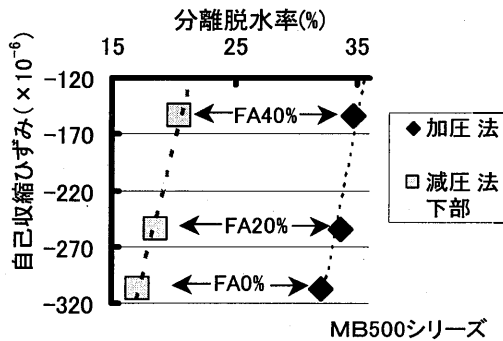


図 12 分離脱水率と結合材量

図 13 自己収縮ひずみと分離脱水率
(セメントモルタル M.B500)

4. まとめ

- フレッシュコンクリートの自己収縮性状において、初期 24 時間以内では一時的に膨張する現象が観察された。
- 硬化初期においては結合粉体量、フライアッシュ混入量といった水結合材比率など収縮要因による大きな差異が見られず、その調合の差が明確にあらわれるのは打設後 28 日経過した時点であることが分かった。
- 加圧ブリーディング試験を用いた水分抽出と体積変化の測定より、結合粉体量やフライアッシュなど調合による特性値の差異が自己収縮と相互関係をもつことが確認できた。その理由の 1 つは、セメントと混和材(フライアッシュ)とでは自由水分を拘束する性質に差異が生じ、脱水分離試験との対応関係が認められた。このことより、自己収縮性状を加圧ブリーディング試験より早期に判定できる可能性があると考えられる。

謝 辞

本研究は、平成 11 年度文部省科学研究費補助金(基盤研究 C: 研究代表者中部大学教授小野博宣)、によつた、また一部は中部大学先端技術研究センターと中部大学特別研究費(小野博宣)の補助支援を受けたものである。

本研究の推進にあたり多大なご協力とご指導をいただきました東海コンクリート工業(株)の誠意を表します。また、深見信規氏(藤田学園)、平成 11 年度小野研究室卒業研究生の伊藤美佐緒さん、岡島明日香さん、鈴木信也君、桜井孝治君、二村哲雄君、藤原大吾君、宮田和明君、山口敦雄君、山内謙和君の支援を受けました。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 社団法人、日本コンクリート工学協会:「自己収縮研究委員会報告書」、1996
- 2) 田澤榮一:「自己収縮研究委員会報告」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No1、pp1~10、1997
- 3) 三浦智哉、田澤榮一他:「コンクリートの自己収縮に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響」、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17、No1、pp359~363、1995
- 4) 今本啓一、大谷博:「高強度・超高強度コンクリートの収縮性状に関する研究」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No1、pp1061~1066、1995
- 5) 笠井哲郎:「各種ポルトランドセメントの水和収縮に及ぼす温度の影響」、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No1、pp577~582、1997
- 6) 安田正雪、栢田佳寛他:「高強度コンクリートの収縮ひずみに及ぼす試験体寸法の影響」コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19、No1、pp613~618、1997