

論文

[1081] 高強度コンクリートの乾燥収縮特性に影響を及ぼす諸要因の検討

正会員○塩見伊津夫（建設省建築研究所）
 正会員 榊田 佳寛（建設省建築研究所）
 正会員 阿部 道彦（建設省建築研究所）
 正会員 安田 正雪（建設省建築研究所）

1. まえがき

高強度コンクリートの乾燥収縮については、従来、通常の強度のコンクリートに比べて小さくなると言われてきた。しかし、建設省総プロ「New RC」をはじめ、ここ数年の研究によれば必ずしも高強度コンクリートの乾燥収縮が小さくなるとは言いがたい。そこで、ここでは、乾燥収縮に及ぼす単位水量、水結合材比、骨材の種類、高減水性混和剤の使用量などの影響を調べ、高強度コンクリートの乾燥収縮についての知見を整理することとした。

本研究は、高強度コンクリートについて建築研究所および関連機関で実施された乾燥収縮試験結果を整理、分析し、乾燥収縮に影響を及ぼすと考えられる材料および調合要因について検討を行ったものである。

2. 研究方法

検討に用いたデータは、建設省建築研究所において昭和61年以降平成3年にわたり実施した高強度コンクリートの調合実験、および建設省総プロ「New RC」の一環としてコンクリート用化学混和剤協会との共同実験として実施した高強度コンクリート用混和剤の評価実験の結果である。実験のシリーズを表-1に示す。実験の水結合材比の範囲は20~40%、単位水量の範囲は140~200kg/m³であった。使用材料は、セメントに普通ポルトランドセメント、粗骨材は硬質砂岩碎石(笠間産, 筑波産, 青梅産), 石灰岩碎石(葛生産), 及び安山岩碎石(甲州産)を用い、細骨材は大井川産川砂と鬼怒川産川砂を用いている。また、混和剤は高減水性混和剤を使用し、低水結合材比において混和材として、シリカフュームおよび高炉スラグ微粉末を用いている。

表-1 実験シリーズ一覧表

シリーズ	水結合材比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	使用骨材		混和材混入の有無	備考	
			粗骨材	細骨材			
A 1)	25~40	140~185	硬砂岩A	川砂A	N	硬砂岩A: 笠間産 B: 筑波産 C: 青梅産	
			川砂利				
			硬砂岩B				
B 2)	20~30	160	石灰岩 安山岩	川砂B	○	川砂 A: 鬼怒川産 B: 大井川産	
C 2)	20~30	145~175	硬砂岩C	川砂B	○	混和材○: 混入 N: 無混入	
D 3)	30	140~200	硬砂岩C	川砂B	○		
E 4)	40	160, 170	硬砂岩C	川砂A	N		
F 5)	30	150, 165	硬砂岩C	川砂B	N		
G 6)	25	155, 160	硬砂岩C	川砂B	○		
H	22	154	硬砂岩C	川砂B	○		
							1)~6): 文献番号

乾燥収縮試験方法は、いずれのシリーズもJIS A 1129に準拠したコンパレータ方法にて行い、供試体の寸法は、10×10×40cmとした。供試体は、コンクリートの打ち込み、成形の後、表面をビニールで覆い、翌日に型枠を脱型した。供試体の養生方法は、脱型後一週間20℃の水中養生を行った後、基長の測定を行い、温度20℃、RH60%の室内で試験材令まで保存した。

乾燥収縮を表す特性要因として、材令26週における長さ変化の試験結果を用い、影響を及ぼすと思われるものでは、調査の要因として

- ①水結合材比
- ②単位水量
- ③骨材の種類
- ④混和剤の使用量

硬化コンクリートの性状として

- ①圧縮強度（材令4週）
- ②静弾性係数（材令4週）
- ③重量変化率（材令26週）

を取り上げた。

3. 検討結果

3.1 粗骨材の種類と乾燥収縮ひずみの関係

図-1および図-2に粗骨材の種類による乾燥収縮ひずみを示す。

シリーズAおよびシリーズB、Cにおいて、同一水結合材比、同一単位水量であっても粗骨材の種類によって乾燥収縮ひずみが大きく異なる傾向が認められた。

3.2 水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係

水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係を図-3～5に示す。シリーズA～Cは、実験の要因に水結合材比を取り上げ、シリーズD～Hについては、同一水結合材比にて実験を行った。なお、相関係数を求めるにあたっては、水結合材比35%がピークになっているので水結合材比35%以下を対象として求めた。

シリーズAにおいては、水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係は概ね相関があり、水結合材比35%以下では水結合材比が小さいほど乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向が認められた。

シリーズB、Cにおいても、全体として水結合材比が小さいほど乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向が認められた。しかし、水結合材比が乾燥収縮に及ぼす影響は粗骨材の種類によって異なっており、硬砂岩および石灰岩については水結合材比が小さいほど乾燥収縮ひずみは小さくなった。安山岩については、相関性が低かった。

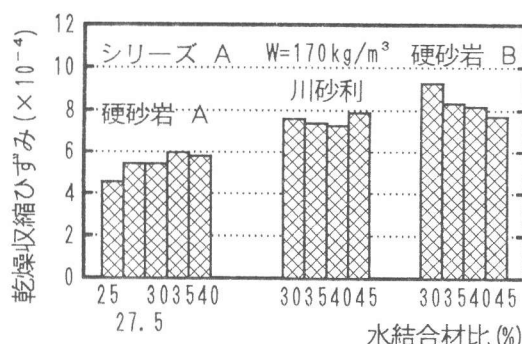


図-1 粗骨材の種類と乾燥収縮ひずみの関係

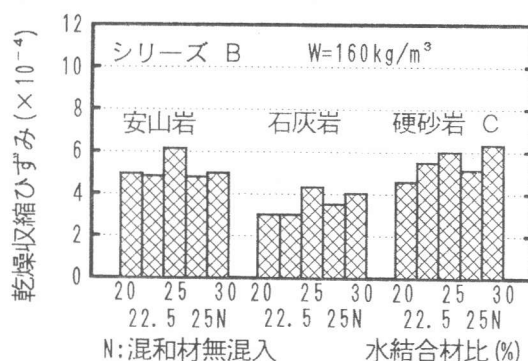


図-2 粗骨材の種類と乾燥収縮ひずみの関係

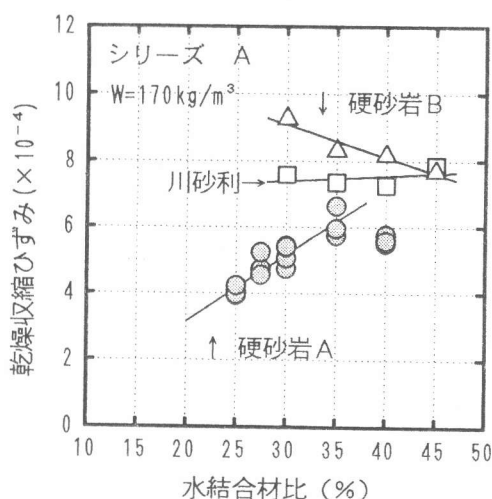


図-3 水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係

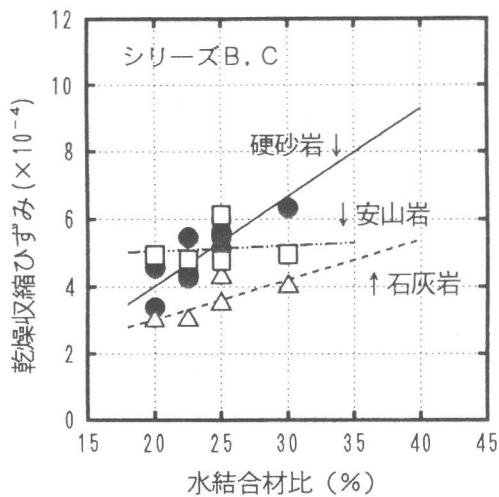


図-4 水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係

シリーズD～Hでは、単位水量が $150\sim 170\text{ kg/m}^3$ の範囲で、同一水結合材比であっても乾燥収縮ひずみに大きな違いが認められ、その範囲が $4.66\times 10^{-4}\sim 9.48\times 10^{-4}$ と大きいものであった。しかし、全体として水結合材比が小さいほど乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向が認められた。シリーズAおよびD～Hでは、乾燥収縮ひずみは、水結合材比40%の方が30%および35%より小さくなっている。この理由として、水結合材比40%の方がペースト量が少ないことが考えられる。しかし、別のシリーズでペースト量と収縮の関係をみると必ずしも高強度領域ではペースト量と収縮の間に明確な関係が認められず、単純にペースト量の大小で収縮は決まらない。(図-6)。

3.3 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係

シリーズAおよびDにおいては、単位水量が小さいものほど乾燥収縮率が小さくなる傾向が見られたが、同一水結合材比ではその差は 0.7×10^{-4} 程度で大きなものではなかった(図-7)。

シリーズB, Cにおいては、ほとんど単位水量による影響は認められず、同じ単位水量、水結合材比においては、使用骨材の種類など他の要因の影響によるものと思われる乾燥収縮ひずみの値の違いの方が大きかった(図-8)。

シリーズDでは、単位水量が大きくなると乾燥収縮率が大きくなっているが(図-9)、シリーズE～Hでは、単位水量の違いによる影響は、認められなかった。

全体としては、単位水量の 10 kg/m^3 の増加によって乾燥収縮は $0.1\sim 0.2\times 10^{-4}$ 程度の増加しか認められなかった。

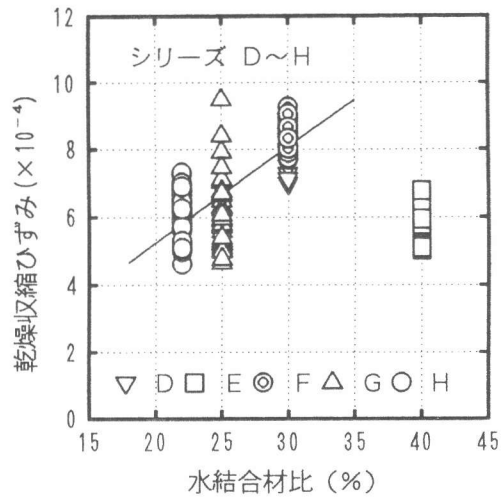


図-5 水結合材比と乾燥収縮ひずみの関係

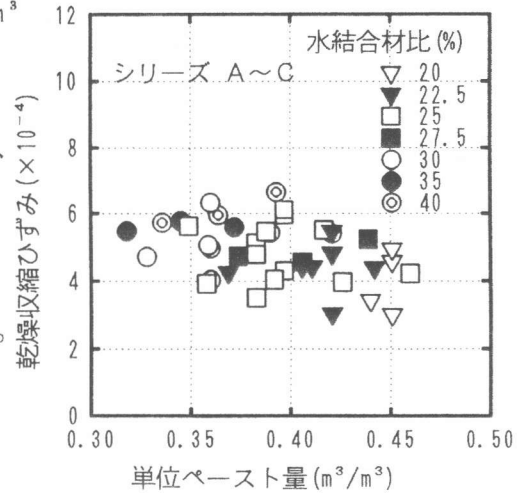


図-6 単位ペースト量と乾燥収縮ひずみの関係

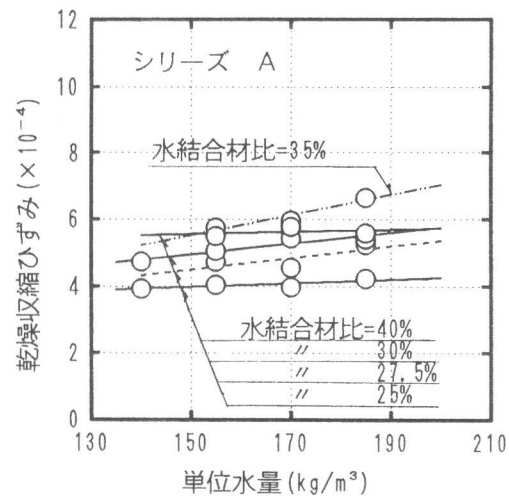


図-7 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係

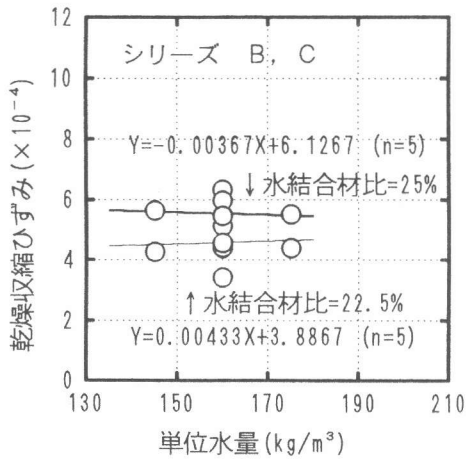


図-8 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係

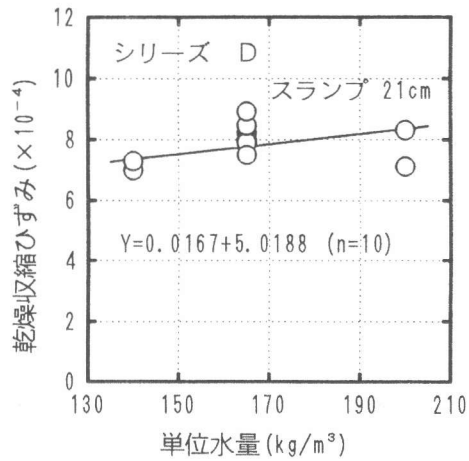


図-9 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係

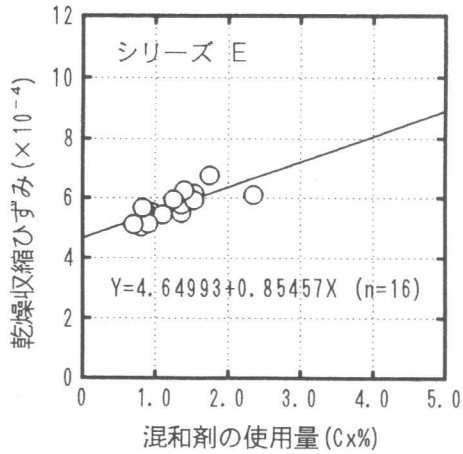


図-10 混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係

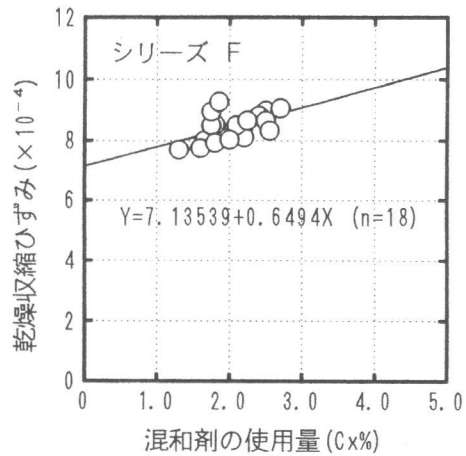


図-11 混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係

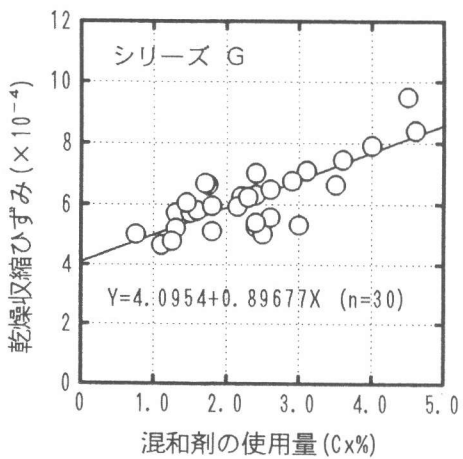


図-12 混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係

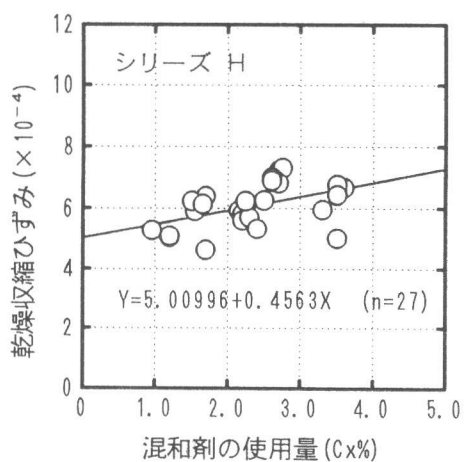


図-13 混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係

3.4 混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係

図-10～13にシリーズE～Hの混和剤の使用量と乾燥収縮ひずみの関係を示す。

シリーズE～Hの調査は、各々同一水結合材比、ほぼ同一単位水量であるが、混和剤の種類にかかわらず使用量が増大するに従い、乾燥収縮率が增大する傾向が認められた。この傾向は、低水結合材比において顕著に見られ、混和剤の使用量が概ね1.5(Cx%)以上のものは混和剤の使用量が増加すると乾燥収縮率が增大していることが認められる。

3.5 圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係

図-14に全シリーズの材令28日の圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係を示す。硬砂岩Aと川砂Aを用いた場合及び、硬砂岩Cと川砂Bを用いた場合は、各々圧縮強度が大きくなるにつれ乾燥収縮率が小さくなる傾向が認められた。しかしながら、硬砂岩Cと川砂Bを用いた場合は、硬砂岩Cと川砂Aを用いた場合とは異なった傾向を示した。

また、川砂Aおよび川砂Bの吸水率はそれぞれ2.0%および1.2%であり、圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係において細骨材の種類及び影響が大きいことが認められる。

3.6 静弾性係数と乾燥収縮ひずみの関係

図-15に全シリーズの静弾性係数と乾燥収縮ひずみの関係を示す。圧縮強度と同様に硬砂岩Aと川砂Aを用いた場合及び、硬砂岩Cと川砂Bを用いた場合は、各々静弾性係数が大きくなるにつれ乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向が認められた。全体として負の相関が顕著に見られ、圧縮強度の場合と同様に細骨材の種類による影響が大きいことが認められる。

3.7 重量減少率と乾燥収縮ひずみの関係

図-16および図-17に重量減少率と乾燥収縮ひずみの関係を示す。シリーズD~Hのうち水結合材比が30%以下の場合では、乾燥収縮ひずみの大小にかかわらず重量減少率が0.6~1.5%の範囲にありあまり大きな違いはない。

また、シリーズA~Cでは水結合材比が30%以上の場合、重量減少率の大きなものほど乾燥収縮ひずみが大きい傾向が認められた。

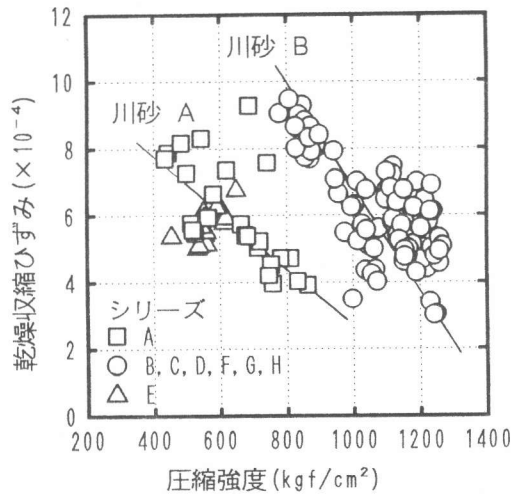


図-14 圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係

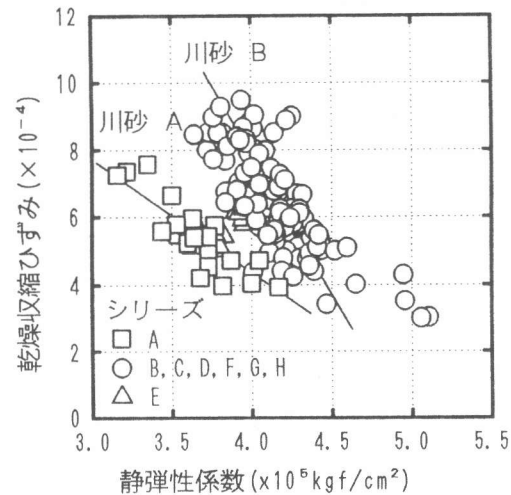


図-15 静弾性係数と乾燥収縮ひずみの関係

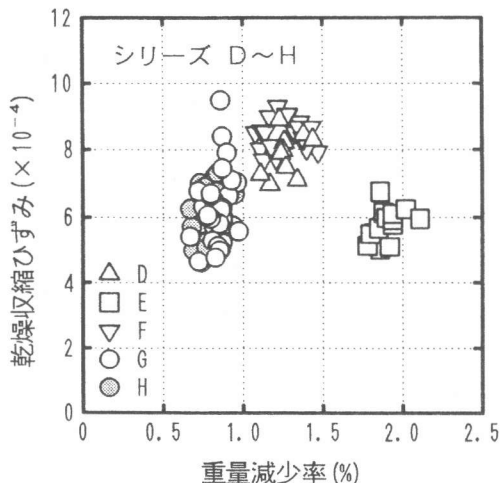


図-16 重量減少率と乾燥収縮ひずみの関係

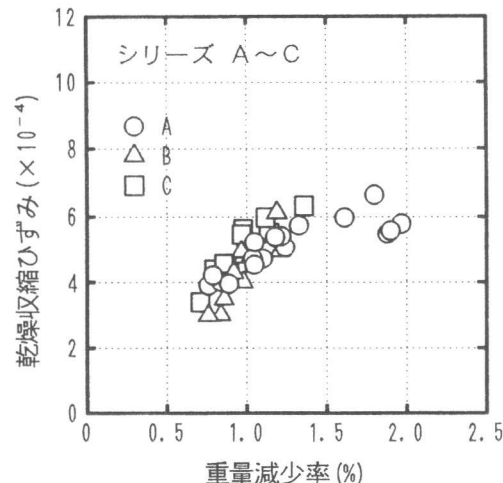


図-17 重量減少率と乾燥収縮ひずみの関係

全体としては、重量減少率が大きくなると乾燥収縮ひずみが大きくなっているが、その相関性は非常に小さい。30%以下の低水結合材比では、水分の蒸発による重量減少に差はなくても発生している収縮応力には大きな差があり、毛细管の構造に大きな違いがあるものと示唆される。

3. 8 まとめ

乾燥収縮特性に影響を及ぼすと思われる要因について検討した結果をまとめると、表-2のようになる。

表-2 実験のシリーズと要因

シリーズ 実験の要因		シリーズ							
		A	B	C	D	E	F	G	H
調 合 要 因	水結合材比	◎	○	◎	-	-	-	-	-
	単位水量	△	-	△	○	-	-	-	-
	骨材の種類	-	◎	-	-	-	-	-	-
	混和剤の使用量	-	-	-	○	◎	◎	◎	◎
硬 化 の 性 状	圧縮強度	×	△	×	△	△	△	×	×
	静弾性係数	×	×	×	△	△	△	×	×
	重量変化率	◎	◎	◎	△	△	△	△	△

記号説明 γ : 相関係数

<調査要因>

◎ : 影響あり ($\gamma \geq 0.6$)

○ : やや影響あり ($0.4 \leq \gamma < 0.6$)

△ : 影響なし

- : 実験の要因でない

<硬化コンクリートの性状>

◎ : 相関あり ($\gamma \geq 0.6$)

○ : やや相関あり ($0.4 \leq \gamma < 0.6$)

△ : 相関なし

× : 負の相関あり ($\gamma < -0.6$)

4. 結び

- ① 高強度コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材の影響は大きい。
- ② 水結合材比が小さくなるにつれ、乾燥収縮ひずみは小さくなる傾向がある。
- ③ 水結合材比が30~35%以下になると、単位水量が大きくなると乾燥収縮ひずみは、大きくなるが、その増加の割合は高強度コンクリートにおいては小さく、必ずしも乾燥収縮を支配する要因ではない。
- ④ 混和剤の使用量が増大するにつれ、乾燥収縮ひずみは増加する傾向が認められた。
- ⑤ 圧縮強度と乾燥収縮ひずみ、静弾性係数と乾燥収縮ひずみは負の相関にあり、細骨材の吸水率による異なった傾向が認められた。
- ⑥ 水結合材比35%以上では、重量減少が大きくなるにつれ、乾燥収縮ひずみが大きくなったが、水結合材比が30%以下では、重量減少が同じであっても、乾燥収縮ひずみの範囲は大きく変動する。

[謝辞] 実験の協力を頂き、とりまとめに際し貴重な御意見を頂いたコンクリート用化学混和剤協会技術委員会委員長児玉和己氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 友沢史紀・榊田佳寛・阿部道彦・田中 齊・安田正雪：高強度コンクリートの調査と基礎的物性，建築研究所年報，pp. 49-54，1987.
- 2) 榊田佳寛・阿部道彦・安田正雪・高塩美佐子・松本雅之：高強度コンクリートの調査と基礎物性に関する研究(その1~3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 483-488，1990.
- 3) 阿部道彦・榊田佳寛・安田正雪・松本雅之・塩見伊津夫：高強度コンクリートの調査方法に関する実験(その1~3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 795-800，1991.
- 4) 友沢史紀・岸谷孝一・福士 勲・榊田佳寛・阿部道彦・橋爪 進：高強度コンクリート用高性能減水剤の品質基準および使用規準作成に関する研究(その1~3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 657-660，1988.
- 5) 友沢史紀・福士 勲・榊田佳寛・棚野博之・児玉和己・中島浩二・加藤元久：高強度コンクリート用化学混和剤の開発に関する研究(その1~3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 21-26，1990.
- 6) 榊田佳寛・阿部道彦・塩見伊津夫・児玉和己・加藤元久・加瀬永穂：高強度コンクリート用混和剤に関する研究(その1~3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 749-755，1991.