

報告 調査および粗骨材の種類がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する文献的検討

坂本 亮^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}

要旨:本報告は、過去20年間に日本建築学会および日本コンクリート工学協会において発表されたコンクリートの乾燥収縮に関する文献のうち、単位水量、単位粗骨材量、粗骨材の種類および圧縮強度が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響についてどのような傾向があるか調査し、近年、得られている知見との比較を行った。その結果、粗骨材の種類が最も乾燥収縮に影響を及ぼす可能性が大きく、単位水量は単位粗骨材量の変化に伴い、乾燥収縮に影響を及ぼしている可能性が大きく、既往の文献と同様な傾向を示した。

キーワード:乾燥収縮, 文献調査, 粗骨材の種類, 単位水量, 単位粗骨材量, 圧縮強度

1. はじめに

近年、日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事¹⁾」(以下、JASS5 と称する)の大幅な改定の影響により、コンクリートの乾燥収縮に再び大きな関心が高まっている。現行のJASS5では、乾燥収縮に影響を及ぼす要因のうち、単位水量が最も影響を及ぼす要因であるとされており、単位水量を185kg/m³以下にすることにより乾燥収縮の抑制を行うことと記載されている。

しかし、JASS5の改定の影響により、乾燥収縮に関する新たな知見が得られつつあり、乾燥収縮に影響を及ぼす支配的な要因は、単位水量ではなく粗骨材の種類および物性値であるということが徐々に明らかになりつつある。今本ら²⁾は、骨材の比表面積と乾燥収縮ひずみの関係について検討しており、粗骨材の比表面積が大きくなると、乾燥収縮ひずみも大きくなると報告している。寺西³⁾は、複合理論によりコンクリートの乾燥収縮に対する主要な要因を整理した結果、単位水量による影響は小さく、骨材量および粗骨材の種類による影響が大きいと報告している。都築ら⁴⁾は、各地域におけるレディーミクストコンクリート工場(以下、生コン工場と称する)で製造されたコンクリートの乾燥収縮について調査を行い、単位水量と乾燥収縮ひずみに明確な関係性は見られないことを指摘し、石灰砕石を用いた場合の乾燥収縮ひずみは、他の粗骨材を用いたものより小さくなると報告している。関田ら⁵⁾は、全国の生コン工場を対象とした乾燥収縮ひずみの調査を実施し、統計解析を行った結果、乾燥収縮ひずみに影響を及ぼす要因として粗骨材の種類が最も支配的であり、単位水量、混和剤の種類、細骨材の種類および水セメント比の影響は、比較的小さいと報告している。立松ら⁶⁾は、日常的に使用されている骨材原石の乾燥収縮ひずみにつ

いて調査を行った結果、骨材原石の乾燥収縮ひずみが大きくなると、コンクリートの乾燥収縮ひずみも大きくなるという傾向を示したと報告している。

そこで、本報告は、近年の生コン工場における調査および骨材の物性の違いにおける研究により得られている知見に対して、過去20年における日本建築学会および日本コンクリート工学協会より発表されたコンクリートの乾燥収縮に関する文献に示されたデータがどのような傾向にあるか把握することを目的としたものである。ここでは、単位水量、単位粗骨材量、粗骨材の種類および圧縮強度をパラメータとして検討した結果を報告する。なお、文献ごとにコンクリートの使用材料、調査、養生条件および測定方法が異なり、これらと条件を統一した場合の把握が困難であるため、コンクリートの乾燥収縮に及ぼす要因ごとに全体的な傾向を把握することを目的とした。

表-1 調査対象とした文献の内訳

学協会	出典	文献数(編)	
		小計	総計
日本建築学会	学術講演梗概集	156	165
	構造系論文集	8	
	技術報告集	1	
日本コンクリート工学協会	年次論文集	84	94
	コンクリート工学論文集	10	

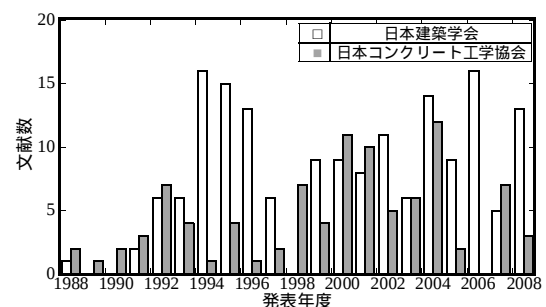


図-1 文献数の推移

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設技能工芸学科 助教 修士(工学) (正会員)

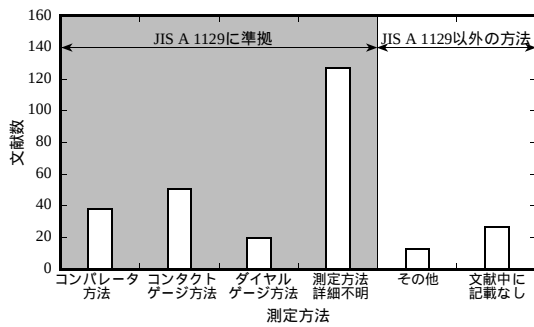


図-2 測定方法に関する文献数の分布



図-3 検討条件の内訳

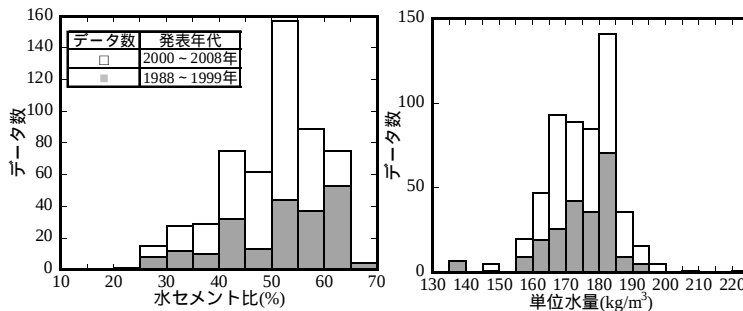


図-4 コンクリートの割合に関するデータ数の分布

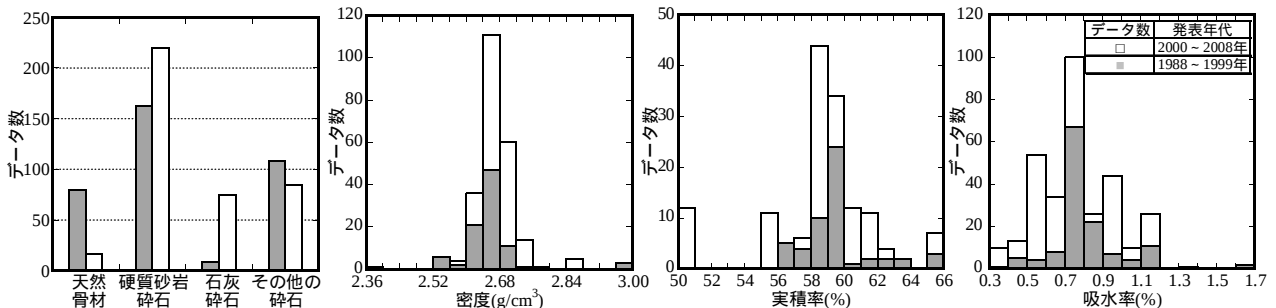


図-5 粗骨材の岩種および物性値に関するデータ数の分布

2. 文献調査の概要

2.1 調査対象とした文献の概要

(1) 文献の動向

調査対象とした文献の内訳を表-1に示す。調査対象は、1988年から2008年までの20年間に、日本建築学会および日本コンクリート工学協会において発表された、コンクリートの乾燥収縮に関する文献である。この期間において対象となる文献数は、日本建築学会で165編、日本コンクリート工学協会で94編の合計259編であった。なお、連番で発表されている場合には、それぞれを1編とした。また、モルタルとの比較により、単位水量が著しく大きい調査を用いている文献は、対象から除外した。

文献数の推移を図-1に示す。文献数は、1988～1992年における旧建設省New RC総プロの研究開発の影響により、1988～1996年まで増加し、1997年では減少するものの、その後再び増加する傾向を示している。これは、改定されたJASS5の動きに伴った動向と考えられる。

(2) 乾燥収縮の測定方法

測定方法に関する文献数の分布を図-2に示す。検討し

たデータは、種々の試験方法が混在しており、明記されていた文献のうち、JIS A 1129に規定されている方法が大半であった。そのうち、コンタクトゲージ方法が最も多く用いられている。一方、JIS A 1129に準拠しているものの、測定方法まで詳細に記載していない文献が多数見られた。

2.2 本報告で対象とした文献の概要

(1) 対象とした文献の検討内容

検討条件の内訳を図-3に示す。本報告で調査対象とした文献のデータは、セメントに普通ポルトランドセメント(以下、Nと称する)、混和材料が無混入のものが大半であり、それぞれ全体の約80%および約65%を占めている。本報告では、データ数が多い項目を抽出し、図-3の下線が引いてある項目を対象とした。その結果、セメントにN、混和材料が無混入のものに加え、試験方法にJIS A 1129を用いた文献のうち、材齢1日で脱型を行い、材齢7日まで標準養生した後、温度20℃、湿度60%の気中により乾燥を開始したデータについて限定し、検討した。

なお、乾燥材齢26週における乾燥収縮ひずみの結果がない文献は、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の

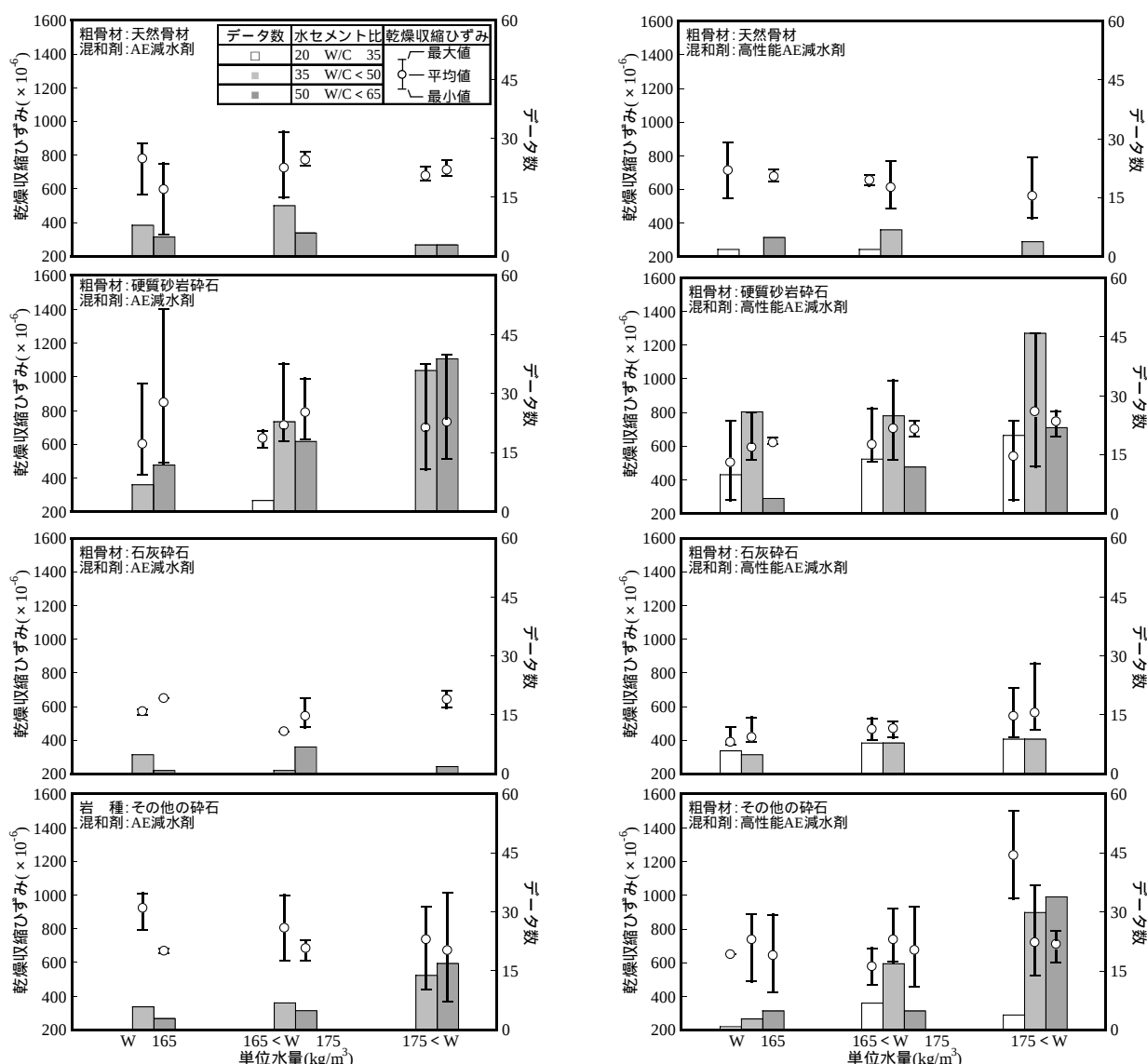


図-6 単位水量と乾燥収縮ひずみの関係

収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説⁷⁾に記載されている乾燥収縮ひずみの予測式より乾燥材齢26週の乾燥収縮ひずみを算出した。

(2) コンクリートの調合

コンクリートの調合に関するデータ数の分布を図-4に示す。水セメント比は、60～65%の範囲で最も多く、1988～1999年代では、水セメント比が60%以上で最も多いものの、2000～2008年代では、50～55%で最も多く分布している。単位水量は、180～190kg/m³の範囲で多く、単位粗骨材量は、概ね900～925kg/m³の範囲で多く分布しているものの、年代にかかわらず広い範囲で分布している。

(3) 粗骨材の種類および物性値

粗骨材の種類および物性値に関するデータ数の分布を図-5に示す。本報告では、粗骨材を天然骨材、硬質砂岩砕石、石灰砕石およびその他の砕石に4区分した。粗骨材の種類は、硬質砂岩砕石が最も多く用いられている。天然骨材は、1988～1999年に比べ、2000～2008年の使用量が少なくなっている一方で、硬質砂岩砕石および石灰砕石

は、1988～1999年に比べ、2000～2008年の使用量が多くなる傾向を示した。これは、天然骨材の枯渇問題により、天然骨材から砕石へ移行したためと考えられる。また、粗骨材の物性は、密度が2.6～2.7g/cm³、吸水率が0.7～0.8%および実積率が58～60%の範囲で多く分布している。

3. 調査結果および考察

3.1 コンクリートの調合が乾燥収縮に及ぼす影響

(1) 単位水量が乾燥収縮に及ぼす影響

単位水量と乾燥収縮ひずみの関係を図-6に示す。粗骨材に硬質砂岩砕石、石灰砕石およびその他の砕石を用いた高性能AE減水剤コンクリートの乾燥収縮ひずみの平均値は、単位水量の増大に伴い、大きくなる傾向を示した。これは、JASS5¹⁾と同様な傾向を示しており、同一粗骨材の場合は、単位水量が乾燥収縮に影響を及ぼしていると考えられる。また、硬質砂岩砕石および石灰砕石を用いた乾燥収縮ひずみの平均値は、同一単位水量の場合、水セメント比の増大に伴い、大きくなる傾向を示した。これは、水

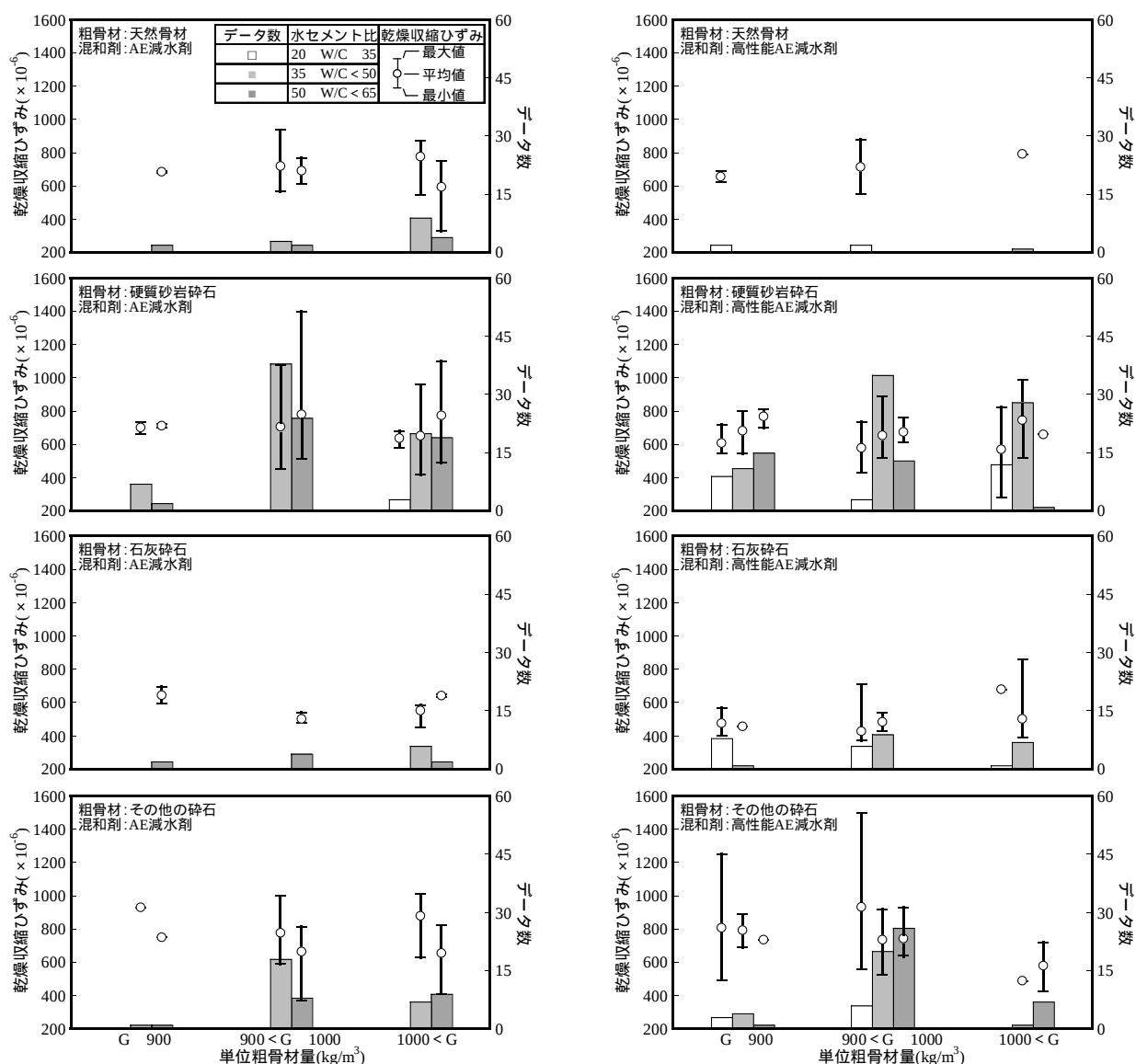


図-7 単位粗骨材量と乾燥収縮ひずみの関係

セメント比の増大により、セメントペーストの量が多くなったためと考えられ、既往の調査研究^{4)・5)}と同様な傾向を示した。また、水セメント比が大きくなると乾燥収縮ひずみのばらつきは、大きくなる傾向を示した。この傾向は、硬質砂岩碎石および石灰碎石の高性能AE減水剤コンクリートにおいて顕著に見られた。これは、高強度コンクリートの乾燥収縮が小さいことが乾燥収縮ひずみのばらつきに影響を及ぼしていると考えられる。一方、AE減水剤と高性能AE減水剤による影響は、ほとんど見られなかった。既往の調査研究⁵⁾により、混和剤の種類による影響は比較的小さいと報告されており、本報告でも同様な傾向が見られた。しかし、高性能AE減水剤を用いることが多い近年ではブリーディングの影響により、乾燥収縮ひずみが小さくなる可能性がある⁶⁾と報告している文献⁶⁾もあり、混和剤の影響については未だ不明な点がある。

(2) 単位粗骨材量が乾燥収縮に及ぼす影響

単位粗骨材量と乾燥収縮ひずみとの関係を図-7に示す。

既往の研究⁷⁾より、同一粗骨材を用いた場合、単位粗骨材量が大きくなると乾燥収縮ひずみは、小さくなると示されているものの、本報告では、データ数が少ない粗骨材の種類もあり、明確な傾向を示さなかった。しかし、データ数が最も多い硬質砂岩碎石を用いた高性能AE減水剤コンクリートの乾燥収縮ひずみの平均値は、単位粗骨材量の増大に伴い小さくなる傾向を示している。これは、粗骨材がセメントペーストの収縮変形を拘束する⁷⁾ため、単位粗骨材量が大きくなると乾燥収縮ひずみは小さくなると考えられる。また、硬質砂岩碎石を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの平均値は、同一粗骨材量の場合、水セメント比の増大に伴い、大きくなる傾向を示した。これは、粗骨材の種類および粗骨材量を一定とした場合、単位水量および水セメント比が乾燥収縮に影響を及ぼしていると考えられる。一方、いずれの粗骨材の種類とも混和剤の違いによる影響はあまり見られなかった。

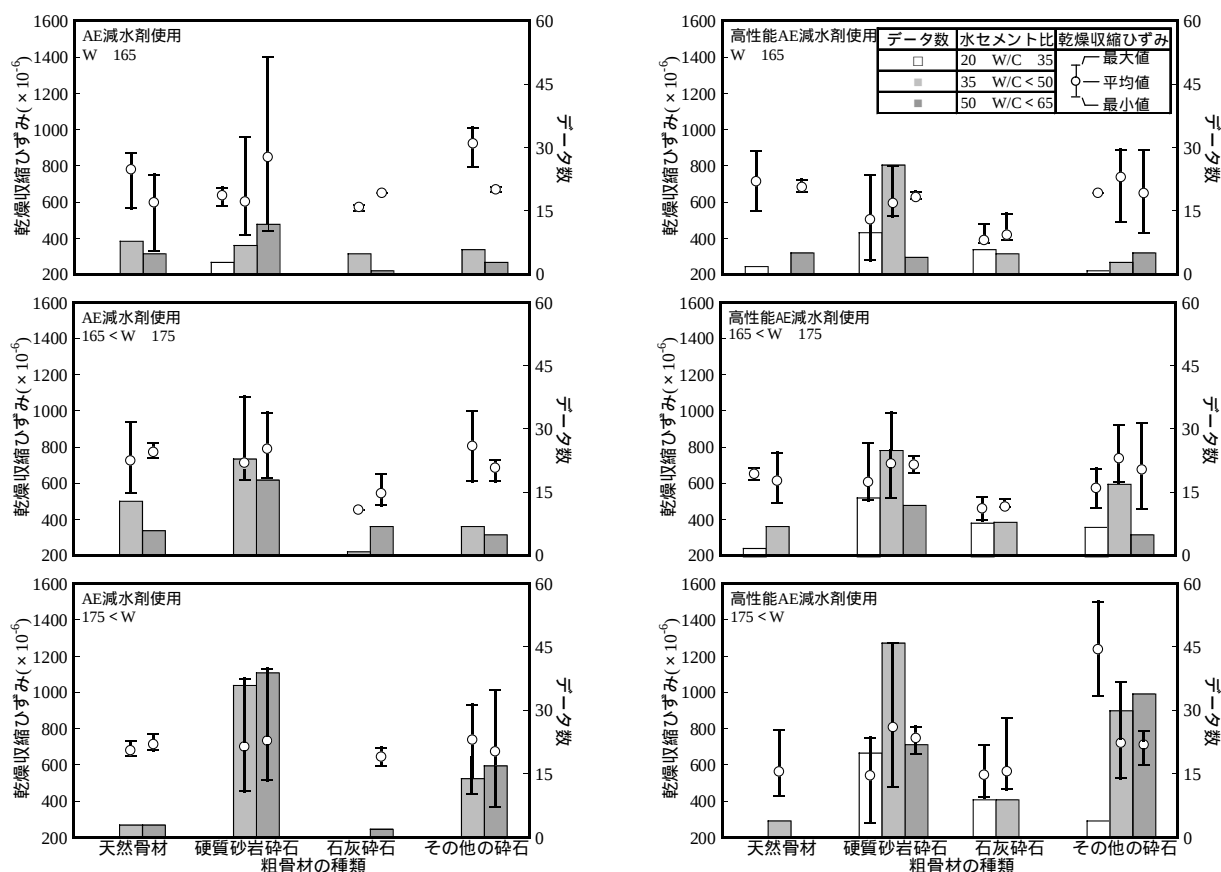


図-8 粗骨材の種類と乾燥収縮ひずみの関係

3.2 粗骨材の種類が乾燥収縮に及ぼす影響

粗骨材の種類と乾燥収縮ひずみの関係を図-8に示す。乾燥収縮ひずみの平均値は、データ数が少ないものがあるものの、いずれの単位水量の範囲とも石灰碎石を用いた場合において最も小さくなり、既往の調査研究⁹⁾と同様な傾向を示した。これは、石灰碎石がセメントペーストとの化学反応により、乾燥収縮を抑制している⁹⁾ためと考えられる。また、生コン工場の調査では、石灰碎石以外の種類による乾燥収縮ひずみの大小の判断は困難である⁴⁾とされており、天然骨材、硬質砂岩碎石およびその他の碎石の乾燥収縮ひずみの平均値は、ほぼ同等の結果を示した。一方、いずれの単位水量とも乾燥収縮ひずみのばらつきは、石灰碎石を用いた場合に最も小さくなり、硬質砂岩碎石を用いた場合に最も大きくなる傾向を示した。これは、硬質砂岩碎石の使用量が多いことに加え、乾燥収縮ひずみの大きい粗骨材であるためと考えられる。また、混和剤の違いによる影響はあまり見られなかった。

3.3 材齢28日の圧縮強度が乾燥収縮に及ぼす影響

材齢28日の圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係を図-9に示す。粗骨材の種類によりデータ数が著しく少ない場合があるものの、水セメント比および混和剤の違いにかかわらず、乾燥収縮ひずみの平均値は、圧縮強度が大きくなると小さくなる傾向を示した。粗骨材の種類にかかわらず、同様な傾向が見られた。これは、高強度コンクリート

になると乾燥収縮が小さくなるためと考えられる。

4. まとめ

本報告は、過去20年におけるコンクリートの乾燥収縮に関する文献に示されるデータがどのような傾向にあるか把握することを目的として検討したものである。

これにより得られた知見を以下に示す。

- (1) 乾燥収縮ひずみは、硬質砂岩碎石および石灰碎石を用いた場合、単位水量の増大に伴い、大きくなる傾向を示した。
- (2) 乾燥収縮ひずみは、硬質砂岩碎石を用いた場合、単位粗骨材量の増大に伴い、小さくなる傾向を示した。
- (3) 乾燥収縮ひずみは、石灰碎石を用いた場合、最も小さくなる傾向を示した。
- (4) 乾燥収縮ひずみは、圧縮強度の増大に伴い、小さくなる傾向を示した。

以上より、コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす要因のうち、粗骨材の種類が支配的な要因である可能性が高く、既往の文献と同様な傾向を示すものの、同一粗骨材の場合は、単位水量が乾燥収縮に影響を及ぼしている。

謝辞

本報告では、引用させて頂いた文献が多数あるため、文献名を割愛させて頂いた。ここに執筆者の方々に敬意を

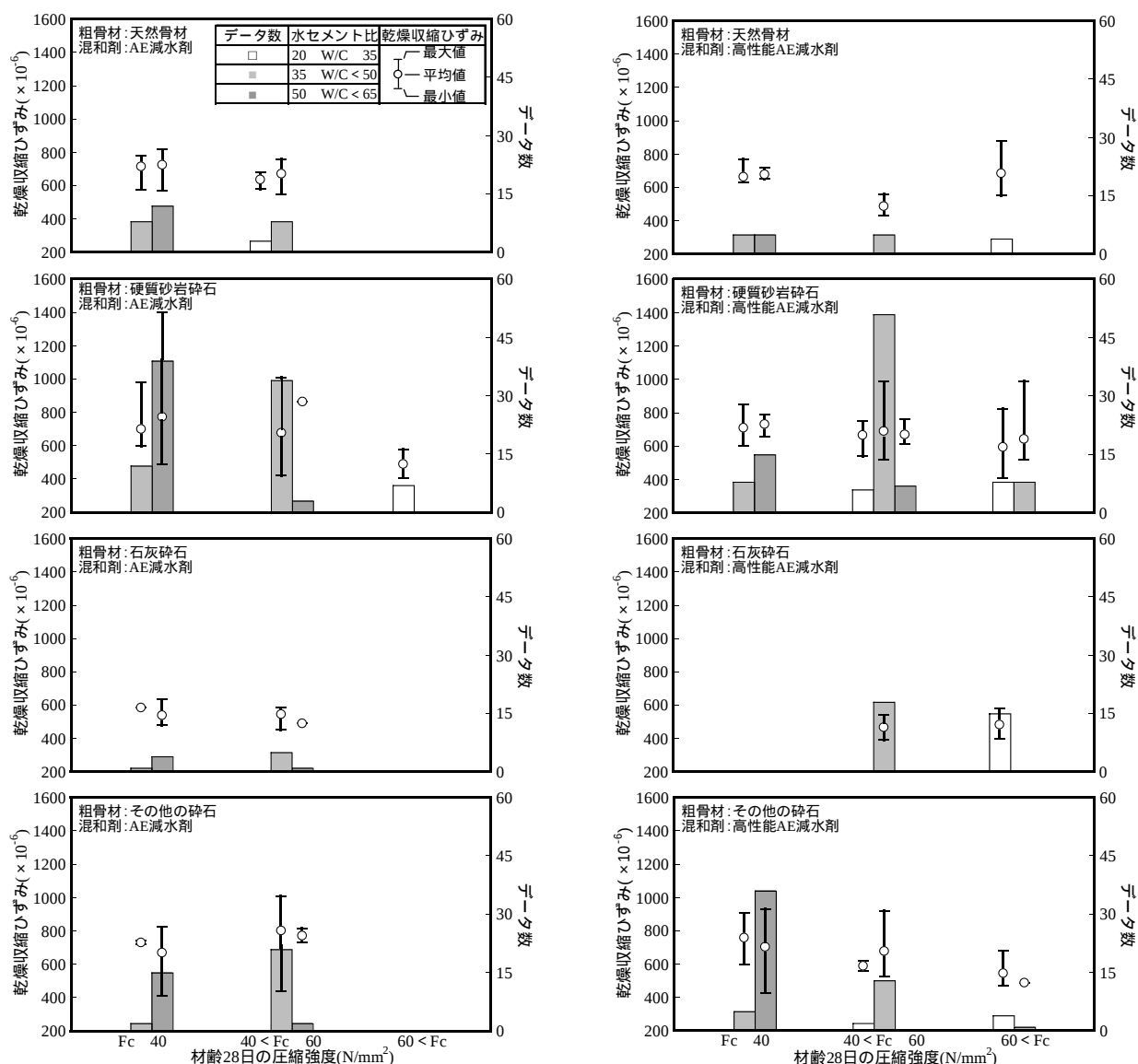


図-9 材齢28日の圧縮強度と乾燥収縮ひずみの関係

表するとともに、多数の貴重な研究成果が公表されていることに感謝する次第である。また、データの整理に当たって、日本大学理工学部建築学科中田研究室・酒井恵美君、嘉数真理子君および金替俊明君の協力を得た。ここに付記して深謝する。

参考文献

- 1) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事2003
- 2) 今本啓一ほか:各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響,日本建築学会構造系論文集, No.606, pp.9-14, 2006.8
- 3) 寺西浩司:コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす要因 骨材や単位水量などの影響をどのように考えるか,コンクリート工学, Vol.46, No.12, 11-19, 2008.12
- 4) 都築正則ら:各地域のレディーミクストコンクリート工場にて製造されたコンクリートの乾燥収縮に関する調査,コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.483-488, 2008
- 5) 関田徹志ほか:レディーミクストコンクリートを対象とした乾燥収縮の調査研究およびその統計分析,日本建築学会構造系論文集, Vol.73, No.629, pp.1019-1026, 2008.9
- 6) 立松和彦ほか:関西における骨材原石の乾燥収縮および細孔径分布に関する実験的研究,日本建築学会構造系論文集, No.549, pp.1-6, 2001.11
- 7) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説
- 8) 岩清水隆ほか:骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究 その8 調査がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.653-654, 2000.9
- 9) セメント協会,コンクリート専門委員会報告F-46,石灰石骨材コンクリートの研究,1992.10