

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13903  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21560485  
 研究課題名（和文） コンクリートの収縮ひずみに及ぼす骨材の影響に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on effect of aggregate to shrinkage strain of concrete  
 研究代表者  
 梅原 秀哲（UMEHARA HI DETAKA）  
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・理事  
 研究者番号：70151933

研究成果の概要（和文）：  
 コンクリートの収縮ひずみは、最近では骨材事情の変化から従来の値に比べて、著しく大きな値を示すことが多くみられるが、収縮ひずみを求める試験方法が確立されていないため、規制値を設定できないのが現状である。そこで本研究では、新たな試験方法を提案した。実験結果より、単位水量の大小、セメントの種類にかかわらず、提案した試験方法で、材齢7日以前の自己収縮ひずみと材齢7日以降の乾燥収縮ひずみを同一試験体で測定できることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：  
 Shrinkage strain of concrete sometimes shows much larger than previous values because of aggregate becoming worse. However, it is difficult to restrain to use this aggregate, because the testing method to measure shrinkage strain has not been established. In this study, a new testing method was proposed. Finally it becomes clear that autogeneous shrinkage strain before 7days age and drying shrinkage strain after 7days age are measured at same testing specimens using proposed testing method .

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの収縮ひずみは、最近では骨材事情の変化から従来の値に比べて、著しく大きな値を示すことが多くみられる。10年前に、設計時の想定を大きく上回る収縮ひずみが実構造物において発生し、多数のひび割れが確認された事例が報告されている。一般的に収縮ひずみは、自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの和として表わされる。乾燥収縮ひずみについてはこれまでの研究成果より、単位水量と相関はあるが、大きな値を示す要因ではなく、粗骨材の種類の影響が大きいと言われている。中でも砂岩砕石は、石灰岩砕石、流紋岩砕石、安山岩砕石や川砂利と比べて、大きなひずみを生じることが多

い。自己収縮ひずみについても、これまでの研究成果により、単位セメント量が多い場合や高炉スラグ微粉末を使用した場合に多いと言われている。10年前の実構造物のひび割れの場合は、使用された粗骨材は乾燥収縮ひずみだけでなく自己収縮ひずみも大きかったことが判明している。このように収縮ひずみの大きいコンクリートは、何らかの規制を設けて排除する必要が生じている。

しかしながら、乾燥収縮ひずみの値と自己収縮ひずみの値を規定しても、乾燥収縮試験方法と自己収縮試験方法が異なるため、それらの和である収縮ひずみをどの程度の値にしてよいかは規定できないのが現状である。平成20年3月に発刊された土木学会コンクリート標準示方書施工編では、現在使用実績があるレディーミクストコンクリートは、乾燥収縮ひずみとして1000 $\mu$ 以下であり、これに材齢7日までの自己収縮ひずみ100 $\mu$ と6ヶ月以降の乾燥収縮ひずみと自己収縮ひずみの和の100 $\mu$ を加えて、収縮ひずみが1200 $\mu$ 以下であると記述されている。乾燥収縮ひずみと同時に自己収縮ひずみを測定していないため、材齢7日までのひずみは推定値となっていることおよび、材齢6カ月以上の乾燥収縮ひずみや自己収縮ひずみを測定していないため、同じく推定値となっていることが、1200 $\mu$ という不明確な値を使わざるを得なかった原因である。さらに、施工編では収縮ひずみが構造物に重大な影響を及ぼす可能性がある構造物では、試験により収縮ひずみを確認することと記述されている。したがって、収縮ひずみを正確に求める必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、既存の乾燥収縮ひずみ試験方法と自己収縮ひずみ試験方法を参考にして、収縮ひずみを求める試験方法を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

2つの既存の試験方法(①法、②法)を複合させた試験方法(③法)を提案し、実験によりその精度を確かめる。3つの試験方法の概略を図1に示す。

① 自己収縮を対象とした試験方法(JCI-1996)：封緘養生することにより自己収縮ひずみを測定する。

② 乾燥収縮を対象とした試験方法(JIS A1129)：7日間の水中養生の後、温度と湿度一

定の室内養生により材齢7日を基準とした乾燥収縮ひずみを測定する。

③ 材齢7日以前の自己収縮と材齢7日以降の乾燥収縮を対象とした試験方法(提案する試験方法)：材齢7日までの封緘養生で自己収縮ひずみを計測した後、室内養生にて材齢7日を基準とした乾燥収縮ひずみを測定する。

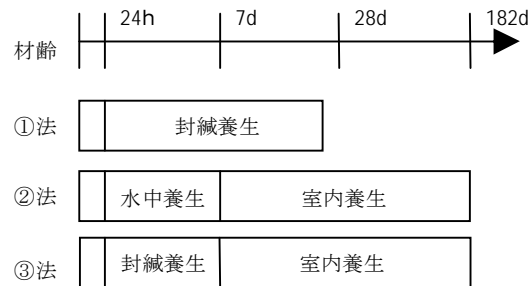


図1 試験方法の概略

②法の供試体の内部は材齢7日において、水中養生による内部湿潤状態となっている。また、③法の供試体の内部はセメントの水和反応で水分が消費されることによる内部乾燥状態となっている。このような供試体内部の状態の違いが乾燥収縮量に影響を与えないことが確認できれば、③法は材齢7日までの自己収縮ひずみと材齢7日を基準とした乾燥収縮ひずみが計測できる方法であると判断できる。

実験のパラメータは、粗骨材、単位水量、セメントとした。粗骨材には、多孔質で自己収縮ひずみに大きく影響する人工軽量骨材や高炉スラグ骨材、乾燥収縮ひずみの大きくなることが想定される砂岩砕石、小さくなることが想定される石灰岩砕石を選定した。また単位水量は、150kg/m<sup>3</sup>と175kg/m<sup>3</sup>の2種類とし、セメントは普通ポルトランドセメント以外に、高炉セメントB種、早強セメント、低熱セメントを用いた。試験体は寸法100×100×400(mm)のものを1つの試験に対して3本作成した。

## 4. 研究成果

### (1) 試験方法の確立について

材齢7日の自己収縮ひずみ(図2)は100 $\mu$ 程度となり、示方書に記載されている自己収縮ひずみの見込み値100 $\mu$ が妥当であるという確認が得られた。高炉スラグ骨材と人工軽量骨材を用いたコンクリートは自己収縮ひずみが小さく、砂岩砕石や石灰砕石を用いたコンクリートは自己収縮ひずみが大きくなることが明らかとなった。

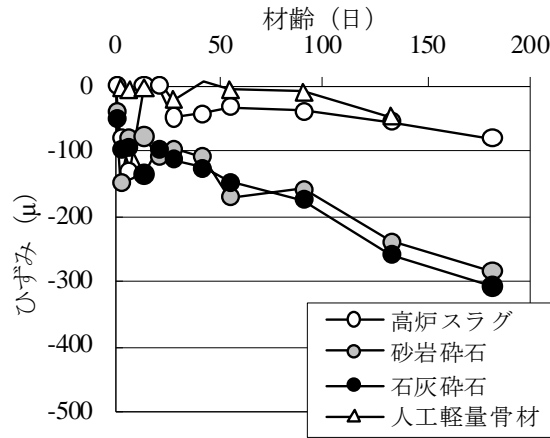


図2 自己収縮ひずみ

材齢7日を基準とした材齢182日までの乾燥収縮ひずみについては、②法と③法による計測結果は同程度となった。このことから、今回提案する材齢7日までの封緘養生で自己収縮ひずみを計測した後、同じ試験体で材齢7日以降の乾燥収縮ひずみを計測する方法（③法）の妥当性が確認できた。

次に、図3に乾燥収縮ひずみの結果を示す。この乾燥収縮ひずみは、図2に示す自己収縮ひずみを除いたデータを使用した。乾燥収縮ひずみは、砂岩砕石、高炉スラグ骨材、石灰砕石の順に大きくなった。砂岩砕石は材齢初期から他の骨材に比べて大きなひずみを示しており、高炉スラグ骨材と石灰砕石は材齢50日程度まで同程度のひずみを示した後、急激に両者のひずみ差が拡大した。

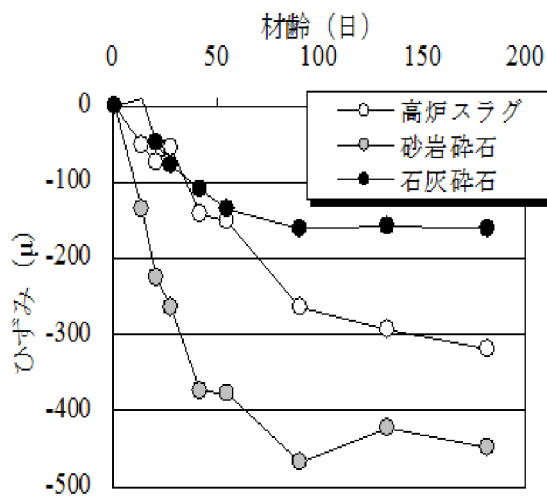


図3 乾燥収縮ひずみ

(2) 粗骨材の空隙構造の収縮ひずみへの影響

自己収縮ひずみは、外部との水分の出入りを遮断された試験体によって測定されるため、試験体中の主な水分移動は、セメントの水和反応による消費と粗骨材からセメントペーストへの供給であると考えられる。自己収縮は、セメントの水和反応により形成される空隙に、外部より水分が補給されない場合に生じる自己乾燥に起因する。したがって、粗骨材からセメントの水和反応により形成される空隙に水分が供給されれば、自己乾燥もしくは自己収縮を低減させることができる。高炉スラグ骨材および人工軽量骨材を使用したコンクリートに確認された自己収縮ひずみの低減は、両粗骨材からセメントペーストに対して水分供給が行われたものと考えられる。この水分供給は、吸水量測定において表乾質量測定時に表面乾燥が確認されなかった高炉スラグ骨材および人工軽量骨材では、骨材内部から骨材表面への水分移動が生じており、この現象が大きく影響しているものと考えられる。この水分供給メカニズムは、インクボトル空隙を有しない砂岩砕石と石灰砕石の自己収縮ひずみが、粗骨材種に関係なく同程度であることから裏付けられる。

乾燥収縮ひずみは、温湿度一定の環境下で外部との水分の出入りを許す状態で測定される。既往の研究では、粗骨材の比表面積と粗骨材自体の乾燥収縮量は比例関係にあると指摘されている。すなわち、試験体のパラメータが粗骨材を除き同一であれば、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、粗骨材自体の乾燥収縮ひずみに大きく影響される。比表面積は同一体積内であれば、直径の小さい空隙量が多いほど大きくなることは自明であるため、直径40nm以下の空隙量は粗骨材自体の乾燥収縮と密接に関係していると考えられる。石灰砕石は直径40nm以下の空隙量がほとんど存在せず比表面積が小さいため、乾燥収縮ひずみが小さくなったものと考えられる。砂岩砕石は直径40nm以下の空隙量が最も多いため、乾燥収縮ひずみが大きくなったものと考えられる。高炉スラグ骨材は直径40nm以下の空隙量を考慮すれば、乾燥収縮ひずみの測定値は過小評価とも考えられる。しかし、高炉スラグ骨材がインクボトル空隙を有し、セメントペーストに緩やかな水分供給が行われたため、他の粗骨材を使用したコンクリートに比べて内部湿度低下が遅延されたことや、高炉スラグ骨材の実質部分を形成する物質が天然骨材のそれとは異なり、弾性が低いため変形抵抗性が大き

くなったことにより、乾燥収縮ひずみが小さくなったものと考えられる。また、材齢 50 日程度経過後に高炉スラグ骨材と石灰碎石を使用したコンクリートの乾燥収縮ひずみ差が大きくなったのは、材齢 50 日付近における高炉スラグ骨材のインクボトル空隙からの水分逸散量の減少に関連すると考えられる。

### (3) まとめ

実験結果より、単位水量の大小、セメントの種類にかかわらず、提案している試験方法で、材齢 7 日以前の自己収縮ひずみと材齢 7 日以降の乾燥収縮ひずみを同一試験体で測定できることが明らかとなった。

また、粗骨材の種類によって収縮ひずみが異なる要因として、自己収縮ひずみでは粗骨材のインクボトル空隙の有無が影響すること、乾燥収縮ひずみでは直径 40nm 以下の空隙量の数が影響することが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 吉田 亮、小幡雄一郎、齊藤和秀、梅原秀哲、インクボトル関係を内包する人工骨材および天然骨材の空隙構造に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 32、No. 1、2010、pp. 107-112
- ② 小幡雄一郎、吉田 亮、矢野智也、梅原秀哲、粗骨材の吸水量および空隙構造に基づいたコンクリートの体積収縮変化に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、Vol. 32、No. 1、2010、pp. 371-376

[学会発表] (計 9 件)

- ① 小幡雄一郎、異なる湿度環境下における粗骨材ヤング係数およびコンクリート体積変化に関する一考察、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011 年 9 月 7 日、愛媛大学
- ② 石黒憲司、粗骨材中のインクボトル空隙の有無が乾燥による体積変化挙動に与える影響についての一考察、土木学会中部支部研究発表会、2011 年 3 月 4 日、中部大学
- ③ 太田健司、化学組成の異なる石灰石微粉末を使用したコンクリートの乾燥収縮に関する研究、土木学会中部支部研究発表会、2011

年 3 月 4 日、中部大学

- ④ 鶴飼貴史、骨材の寸法および種類がセメント硬化体の乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究、土木学会第 65 回年次学術講演会、2010 年 9 月 1 日、北海道大学
- ⑤ 小幡雄一郎、粗骨材における含水率と体積変化との関係に関する一考察、土木学会第 65 回年次学術講演会、2010 年 9 月 3 日、北海道大学
- ⑥ 小幡雄一郎、粗骨材の吸水量とコンクリートの収縮体積変化との関係についての一考察、土木学会中部支部研究発表会、2010 年 3 月 1 日、金沢工業大学
- ⑦ 矢野智也、吸湿過程における粗骨材の体積変化挙動に関する研究、土木学会中部支部研究発表会、2010 年 3 月 1 日、金沢工業大学
- ⑧ 鶴飼貴史、骨材の寸法および種類がセメント硬化体の乾燥収縮に及ぼす影響に関する一考察、土木学会中部支部研究発表会、2010 年 3 月 1 日、金沢工業大学
- ⑨ 矢野智也、コンクリートの収縮ひずみの測定方法に関する研究、土木学会第 64 回年次学術講演会、2009 年 9 月 3 日、福岡大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅原 秀哲 (UMEHARA HI DETAKA)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・理事  
研究者番号：70151933

(2) 研究分担者

吉田 亮 (YOSHIDA RYO)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：40548575