

PC部材を対象とした早強コンクリートに発生する自己収縮ひずみ

三井住友建設(株) 正会員 修士(工学) ○佐々木 亘
 三井住友建設(株) 正会員 博士(工学) 谷口 秀明
 三井住友建設(株) 博士(工学) 樋口 正典

1. はじめに

昨今、天然骨材の品質低下に起因するコンクリートの収縮量の増加が問題になっており、学協会を中心に様々な動きがある^{1),2),3)}。それらの活動の対象は主に乾燥収縮である。土木分野で収縮が問題となった垂井高架橋(PCR構造)の骨材を使用したコンクリートは、**図-1**に示すとおり、市販骨材を使用したものに比べて乾燥収縮ひずみが相当に大きい。しかしその一方で、自己収縮ひずみも2倍程度大きくなっていることがわかる⁴⁾。

(社)日本コンクリート工学会(以下、JCI)ひび割れ制御指針⁵⁾に基づき、代表的なセメントと水セメント比のコンクリートの自己収縮ひずみを求めると、**図-2**に示すとおり、PC部材で多用される水セメント比が小さな早強コンクリートの自己収縮ひずみは他と比べて明らかに大きい(図中のH30およびH40)。さらに上述のような骨材の要因が加わった場合には、自己収縮ひずみが一層増加する可能性がある。しかし、実際にレディーミクストコンクリート(以下、生コン)工場で使用される骨材に着目し、骨材の品質が自己収縮ひずみに及ぼす影響を検討した研究は少ない⁶⁾。

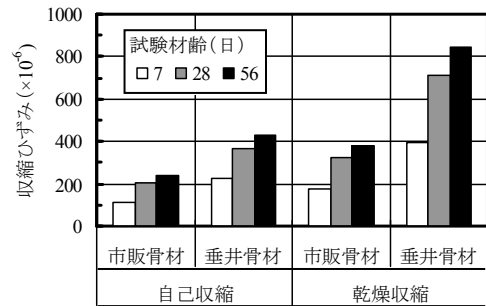
そこで、筆者らは、国内各地の生コン工場で常備している骨材を一試験機関に集め、骨材以外の諸条件をなるべく同一として、PC部材(特にPC橋)に使用する早強コンクリートの自己収縮ひずみを確認した。また、骨材の影響を考慮したうえで、骨材以外の使用材料および配合が自己収縮ひずみに及ぼす影響についても確認した。

2. 試験概要

国内各地の生コン工場から骨材を収集し、工場ごとの組合せ(31通り)で骨材を使用して、筆者らの所属する研究機関でコンクリートを製造した。

検討の対象は、設計基準強度 40N/mm^2 程度のPC橋上部構造を対象とした配合である。セメントには早強ポルトランドセメント(記号:C, 密度 3.13g/cm^3)を使用した。製造ロットなどの影響を排除するため、セメントはすべて同一の銘柄・ロットのものとしている。

表-1に、全31配合の諸値の最大、最小および平均を示す。水セメント比(W/C)は40%とした。単位水量(記号:W)は、コンクリート標準示方書⁷⁾で示される標準範囲 $155\sim 175\text{kg/m}^3$ を参考とし、ス



骨材および収縮の種類
図-1 垂井高架橋で使用されたコンクリートの自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみ

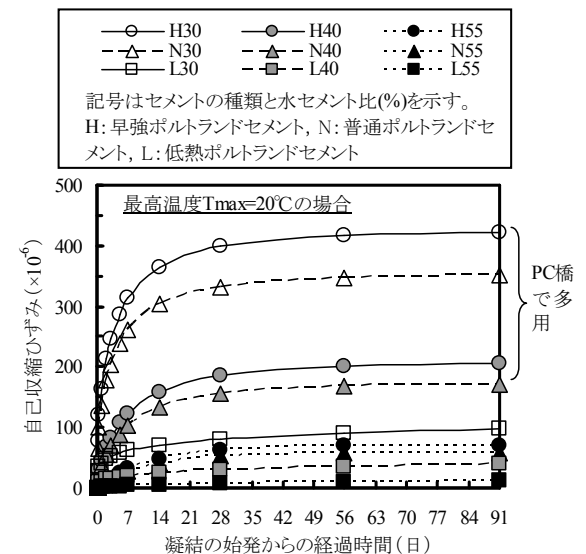


図-2 JCIひび割れ制御指針の計算式で求めた自己収縮ひずみ

ランプ（練り上がり直後で 12~15cm 程度）の調整において、高性能 AE 減水剤（標準形、ポリカルボン酸エーテル系の化合物）の使用量が過多あるいは過少にならない範囲とした。その使用量が過少となるものについては、AE 減水剤（標準形、リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体抑泡タイプ）に変更した。細骨材率(s/a)は工場の標準配合の値を参考とし、フレッシュコンクリートの性状を確認しながら配合の調整を行ったが、単位粗骨材絶対容積（記号： V_g ）は、コンクリートの収縮量に及ぼす影響を考慮し、一部を除き、 $0.375 \pm 0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3$ の範囲内で決定した。また、空気量 ($4.5 \pm 0.5\%$) の調整は AE 剤（変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤）により行った。

コンクリートの品質として、圧縮強度、ヤング係数、乾燥収縮ひずみおよび自己収縮ひずみを確認した。自己収縮ひずみ以外の試験方法および試験結果については、既報⁸⁾で報告しているとおりでである。自己収縮試験は、測定が容易で個人差の生じにくい、JCI「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」⁹⁾に準拠した。100×100×400mm の角柱供試体を使用し、供試体中央に設置した埋込みひずみ計により測定を行った。1 配合当たり供試体数は 3 本である。コンクリートの凝結時間試験を実施し、以降に示す自己収縮ひずみの起点は凝結の始発とした。

3. 試験結果および考察

3.1 国内各地の骨材を使用したコンクリートの自己収縮ひずみ

表-2 は、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみの測定結果である。乾燥収縮ひずみは、同一配合条件下で実施した試験結果であり、既報⁸⁾から抜粋したものである。表中の経過時間は乾燥を始めた材齢 7 日からの乾燥期間を指す。自己収縮ひずみの計算値は、図-2 中の早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を 40%とした場合の値である。一方、乾燥収縮ひずみの計算値は、コンクリート標準示方書¹⁰⁾での収縮ひずみの予測式に対して、表-1 に示す単位水量の平均値 $166 \text{ kg}/\text{m}^3$ を代入して求めた。また、図-3 は、自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみ比の分布である。自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみ比とは、各経過時間における試験値を計算値で除した値である。

表-2 に示すように、自己収縮ひずみの全データの平均値は、JCI ひび割れ制御指針⁵⁾に基づく計算値とほぼ一致する。粗骨材の種類について、砂利と砕

表-1 配合の諸値の最大、最小および平均

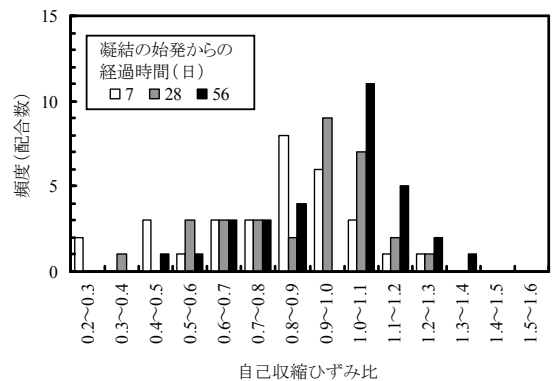
	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	V _g (m ³ /m ³)
最大	40	44.0	175	438	0.395
最小		40.0	155	388	0.365
平均		42.5	166	415	0.377

【記号】W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, W:単位水量, C:単位セメント量, V_g:単位粗骨材絶対容積

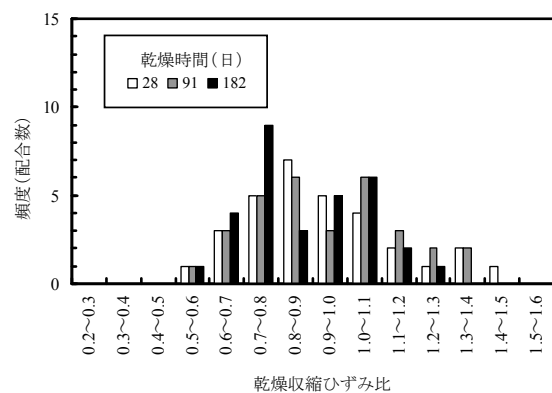
表-2 自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみの測定結果

経過時間(日)	自己収縮ひずみ			乾燥収縮ひずみ		
	7	28	56	28	91	182
砂利 (4配合)	最大	115	191	230	560	727
	最小	35	74	100	301	453
	平均	86	148	181	412	578
碎石 (27配合)	最大	150	241	282	541	748
	最小	37	97	119	204	333
	平均	99	164	194	359	530
全データ (31配合)	最大	150	241	282	560	748
	最小	35	74	100	24	333
	平均	99	164	196	363	532
計算値	124	187	202	387	570	664

(×10⁻⁶, 収縮を正とした値)



(a) 自己収縮ひずみ比



(b) 乾燥収縮ひずみ比

図-3 自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみ比の分布

石の平均値を比較しても、両者の自己収縮ひずみに大きな差は無い。しかし、全データの最小値と最大値で見ると、材齢 7 日で 5 倍程度、材齢 56 日で 3 倍程度異なる。

一方、乾燥収縮ひずみの全データの平均値は、コンクリート標準示方書¹⁰⁾で求めた値よりも若干小さい。砂利と碎石を比較すると、乾燥収縮ひずみの平均値は砂利を使用したコンクリートのほうが若干大きい、最大値は碎石のほうが大きい。いずれの場合も乾燥収縮ひずみの値は配合（骨材の組合せ）によりばらつきがあり、最大値と最小値は材齢 182 日では 1.5~2 倍程度異なる。

図-3に示すとおり、自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみ比の分布を調べると、自己収縮ひずみ比は乾燥収縮ひずみ比よりもばらつきが大きいことがわかる。そのばらつきは初期材齢ほど大きい傾向が認められるが、56 日であっても、自己収縮ひずみは、使用する骨材によっては JCI ひび割れ制御指針⁵⁾に基づく計算値に対して 0.5 倍~1.5 倍程度異なる可能性がある。

図-4は、ヤング係数比と自己収縮ひずみ比の関係を示したものである。ここで、自己収縮ひずみ比とは、試験値と計算値（表-2）の比である。また、ヤング係数比とは、各材齢のヤング係数の試験値と計算値の比である。ヤング係数の計算値は、コンクリート標準示方書¹⁰⁾における構造計算に用いるヤング係数の標準値を累乗式で回帰し、圧縮強度の試験値を代入して求めたものである⁸⁾。かなりばらつきがあるものの、おおよそ、ヤング係数比が大きいほど、自己収縮ひずみ比が小さくなる傾向があり、特にヤング係数比が 1.0 以上の領域では、自己収縮ひずみ比はほぼ 1.0 以下になっている。コンクリートの条件は骨材以外の要因をなるべく同一としているため、ヤング係数比の大小は骨材の品質の影響によるものと考えられる。すなわち、骨材の品質が自己収縮ひずみに及ぼす影響の大きいことがこのことからわかる。

3.2 骨材の種類以外の要因がコンクリートの自己収縮に及ぼす影響

(1) 単位セメント量

今回の実験では、単位セメント量は、表-1に示すように骨材の種類によって多少異なる。しかし、図-5に示すとおり、本試験の単位セメント量の範囲では、単位セメント量と自己収縮ひずみに相関関係はほとんどみられない。このため、自己収縮ひずみの相違は、骨材の品質に起因するものと推測される。このことを明らかにするため、特定の骨材の組合せについて、単位セメント量と自己収縮ひずみ比の関係を調べたものが、図-6である。単位セメント量は、水セメント比を一定（40%）とし、単位水量の増減により変化させた。単位水量は、前章での値を基準として 150~185kg/m³ の範囲で変化させている。ここで、単位水量を 150kg/m³ にする場合には高性能 AE 減水剤の使用量を増加させ、185kg/m³ にする場合には高性能 AE 減水剤の使用量が過小となるため AE 減水剤に変更した。なお、骨材の種類ごとに単位粗骨材絶対容積は一定としている。単位セメント量の増加により、自己収縮ひずみ比が微増する傾向も見られるが、本実験の範囲では、単位セメント量の影響は骨材の種類の影響に比べて極めて小さい。したがって、前述の骨材の組合せ 31 種類における自己収縮ひずみの相違は、骨

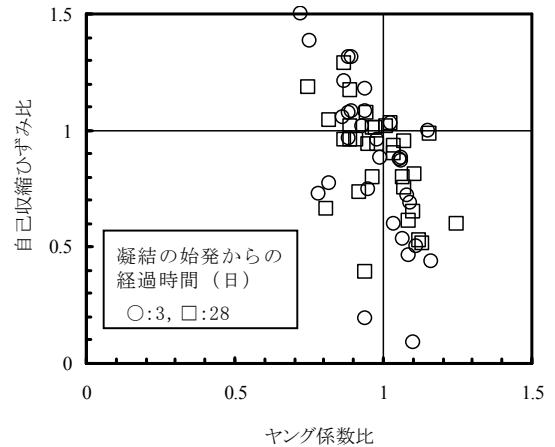


図-4 ヤング係数比と自己収縮ひずみの関係

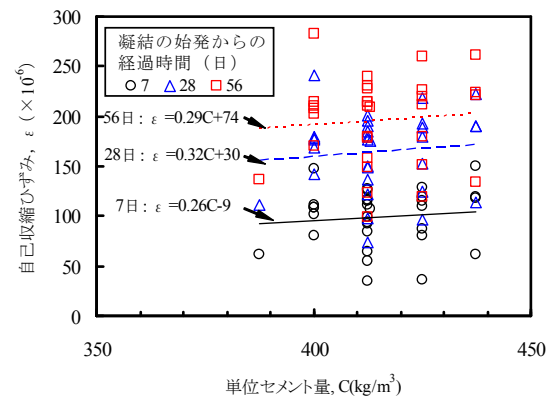


図-5 単位セメント量と自己収縮ひずみの関係

材の品質に起因するものと考えても良いと考えられる。

(2) 単位粗骨材絶対容積

図-7は、単位粗骨材絶対容積と自己収縮ひずみ比の関係を示したものである。単位粗骨材絶対容積は、前章での条件を基準に、高流動コンクリート等で採用する可能性がある $0.300\text{m}^3/\text{m}^3$ まで減じた。水セメント比、および単位水量は一定である。単位粗骨材絶対容積を減じると自己収縮ひずみ比が大きくなっており、自己収縮ひずみに及ぼす単位粗骨材絶対容積の影響は図-6の単位セメント量の影響に比べて大きい。また、図-7に示した骨材Aと骨材Bでは、骨材Aのほうがその傾向が顕著である。使用する骨材によって単位粗骨材絶対容積が自己収縮ひずみに及ぼす影響の度合いが異なることがわかる。

4. まとめ

PC部材を対象とした早強コンクリートの自己収縮に及ぼす要因を確認し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 骨材の種類がコンクリートの自己収縮ひずみに及ぼす影響は乾燥収縮ひずみより大きく、材齢56日における自己収縮ひずみは、JCIひび割れ制御指針による計算値に対して0.5~1.5倍程度の範囲を有する。
- (2) コンクリートのヤング係数が大きい場合、自己収縮ひずみは計算値よりも小さくなる傾向にある。
- (3) 水セメント比を一定(40%)とした場合、本実験の範囲では単位セメント量の変化が自己収縮ひずみに与える影響は小さい。
- (4) 水セメント比および単位水量を一定とした場合、単位粗骨材絶対容積を減じると自己収縮ひずみは大きくなる傾向があるが、その程度は骨材によって異なる。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年版コンクリート標準示方書改定資料，2008.3
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5，2009.2
- 3) 日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮問題とその対応—委員会報告，2010.3
- 4) 土木学会：垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書，pp.8-10，2005.9
- 5) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2008，pp.47-56，2008.11
- 6) 日本コンクリート工学会：コンクリートの自己収縮研究委員会報告書，2002.9
- 7) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.85-86，2008.3
- 8) 谷口秀明，佐々木亘，斯波明宏，樋口正典：コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす要因に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.365-370，2010.7
- 9) 日本コンクリート工学会：超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ)，pp.209-210，1994.5
- 10) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】，pp.44-49，2008.3

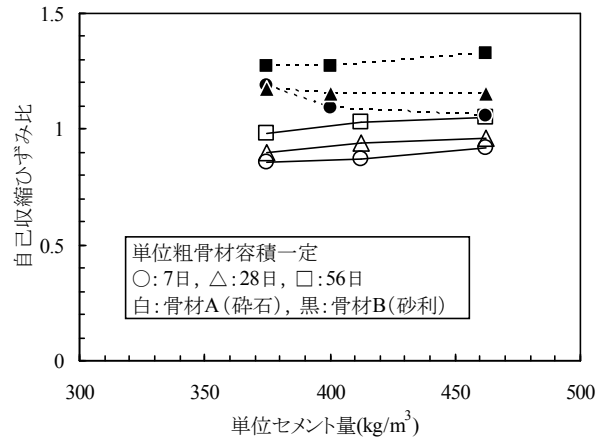


図-6 単位セメント量と自己収縮ひずみ比の関係

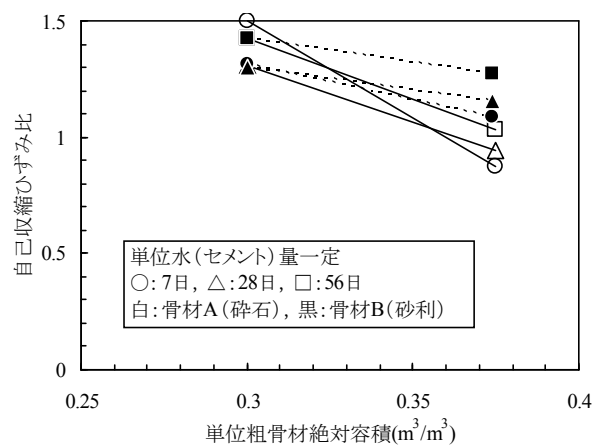


図-7 単位粗骨材絶対容積と自己収縮ひずみ比の関係