

プレストレストコンクリート部材に使用する 早強コンクリートの自己収縮に対する評価

Evaluation to Autogenous Shrinkage of High Early Strength Concrete for Prestressed Concrete Members

谷口 秀明 HIDEAKI TANIGUCHI
佐々木 亘 WATARU SASAKI
樋口 正典 MASANORI HIGUCHI

国内各地のレディーミクストコンクリート工場の骨材を使用し、橋梁上部構造のプレストレストコンクリート部材に使用する早強コンクリートの自己収縮ひずみに及ぼす要因を確認した。試験の結果、骨材の相違は自己収縮ひずみに大きく影響を及ぼすこと、水セメント比 40%の早強コンクリートでは、JIS A 1129 の試験で測定した長さ変化率の 20%程度を自己収縮ひずみが占める可能性があること、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみはいずれもヤング係数と相関があること、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ことなどが分かった。

キーワード：プレストレストコンクリート，早強コンクリート，自己収縮，乾燥収縮，骨材

This report describes the result of the examination to confirm the factor to exert the influence on the autogenous shrinkage of high early strength concrete for prestressed concrete members. As a result of the experiment, the followings were obtained; 1) The relationship between quality of the aggregate and autogenous shrinkage of concrete were observed. 2) The autogenous shrinkage of the high early strength concrete of 40% in water-cement ratio accounts for about 20% of the value measured by JIS A 1129 test. 3) Autogenous shrinkage and drying shrinkage shows correlations with Young's modulus, respectively. 4) Autogenous shrinkage grows when the volume of coarse aggregate per unit volume of concrete decreases, and the shrinkage strain changes depending on the kind of the aggregate.

Key Words: Prestressed Concrete, High Early Strength Concrete, Autogenous Shrinkage, Drying Shrinkage, Aggregate

1. はじめに

コンクリート用骨材は、コンクリート中の 7 割前後の容積を占めるため、その品質はコンクリートの品質に大きく影響を及ぼす。最近では、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ほとんどが乾燥収縮であるが、収縮が問題となった垂井高架橋（PRC 構造）では、図-1 に示すとおり、垂井高架橋の骨材を使用した場合には、比較用骨材を使用した場合に比べて、乾燥収縮ひずみのみならず、自己収縮ひずみも 2 倍程度大きい⁴⁾。すなわち、骨材の品質は、乾燥収縮、自己収縮のいずれにも大

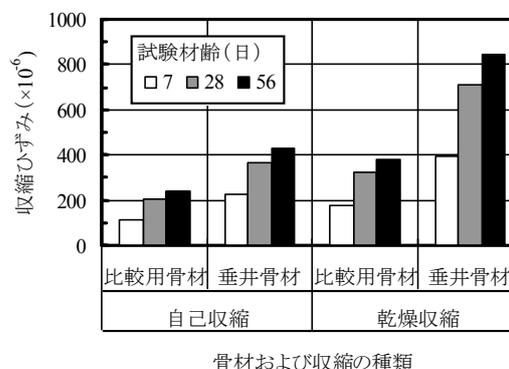


図-1 垂井高架橋で使用されたコンクリートの自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみ

大きく影響を及ぼす可能性が高い。

前述の垂井高架橋で使用されたコンクリートは、セメントの種類は早強ポルトランドセメント、水セメント比は 38%、単位セメント量は 453kg/m^3 である。これは、筆者らによるレディーミクストコンクリート（以下、生コン）工場の調査データベース⁵⁾では、現場打ちの PC 橋上部構造（設計基準強度 40N/mm^2 程度）に使用されるコンクリートとして一般的であり、水セメント比がさらに小さく、単位セメント量が多い配合が多数存在することも確認している。さらに、設計基準強度 50, 60 N/mm^2 の高強度コンクリートの適用も増えている。

JCI ひび割れ制御指針⁶⁾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た結果を図-2 に示す。PC 部材で多用される水セメント比が小さく、早強ポルトランドセメントを使用したコンクリート（以下、早強コンクリートと呼ぶ）の自己収縮ひずみは他と比べて大きいことが明白である。これに対して、前述の垂井高架橋の事例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高い。しかし、実際に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極めて少ない⁷⁾。

筆者らは、これまでに、早強コンクリートを含めたコンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす諸要因と長期の乾燥収縮ひずみの早期判定に関する検討を行ってきた^{8),9)}。この検討では、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た一斉試験を実施しており、乾燥収縮ひずみと同時に自己収縮ひずみも測定している。

そこで、本研究では、橋梁上部構造の PC 部材に使用する早強コンクリートの自己収縮ひずみに着目し、これに影響を及ぼす要因について検討を行った。

2. 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の実態把握

(1) 試験方法

表-1 に示すように、国内各地の生コン工場から骨材を収集し、工場ごと（表中の No.）の組合せで骨材を使用して、筆者らの所属する研究機関でコンクリートを製造した。表中の No.0 は筆者らが試験研究用に使用している骨材、No.1 および No.2 は首都圏の建築工事を対象に高強度コンクリートの製造・出荷実績がある工場の骨材、No.3~No.30 は地方を中心に土木工事で使用した工場の骨材であることを指す。

検討の対象は、設計基準強度 40N/mm^2 程度の PC 橋

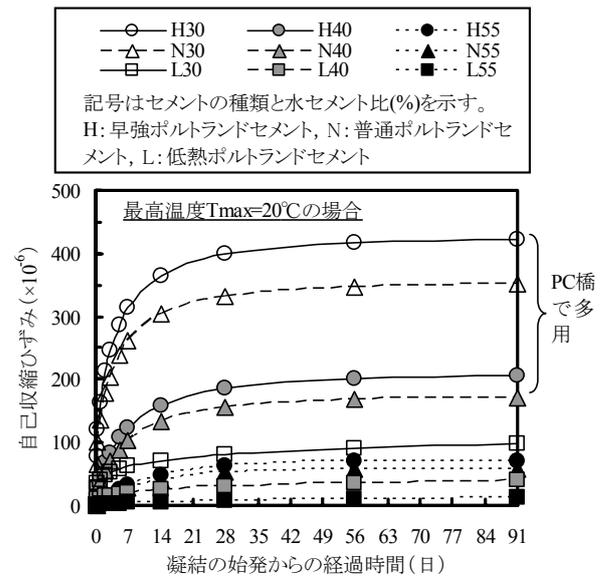


図-2 JCI ひび割れ制御指針の計算式で求めた自己収縮ひずみ

上部構造を対象とした配合である。使用したセメントは、早強ポルトランドセメント（密度 3.13g/cm^3 ）である。セメントと骨材の複合要因の影響を排除するため、セメントはすべて同一の銘柄・ロットのものとした。単位水量（記号：W）とスランプ（練り上がり直後で 12~15cm 程度）の調整には、一部を除き、高性能 AE 減水剤（記号：SP, 標準形, ポリカルボン酸エーテル系の化合物）を、空気量 ($4.5 \pm 0.5\%$) の調整には AE 剤（変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤）を使用した。

表-2 は、表-1 に示す全配合の諸値の最大、最小および平均を求めたものである。水セメント比（記号：W/C）は 40%とした。単位水量は、コンクリート標準示方書¹⁾で示される標準範囲 $155 \sim 175\text{kg/m}^3$ を参考とし、高性能 AE 減水剤の使用量が過多あるいは過少にならない範囲とした。その使用量が過多・過少になるものについては、AE 減水剤（記号：WAE, 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た。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：Vg）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。

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⁾のとおりである。自己収縮試験は、測定が容易で、その個人差が生じにくい、(社)日本コンクリート工学会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に

表-1 工場ごとの骨材の条件と、試し練りで定めた配合の条件

No.	細骨材										粗骨材							配合(W/C=40%)						
	種類	産地	密度	吸水率	種類	産地	密度	吸水率	種類	産地	密度	吸水率	種類	産地	密度	吸水率	種類	産地	密度	吸水率	混和剤の種類	細骨材率(%)	単位水量	
0	川砂	栃木県	2.57	2.93	砕砂	栃木県	2.64	1.48					砕石2005	栃木県	2.65	0.63					SP	43.8	160	
1	砕砂	栃木県	2.67	1.67	陸砂	茨城県	2.61	1.03					砕石2005	茨城県	2.66	0.60	砕石2005	栃木県	2.68	1.04		SP	43.8	160
2	砕砂	高知県	2.60	2.17	山砂	千葉県	2.61	1.99					砕石2005	高知県	2.70	0.43					SP	41.8	165	
3	陸砂	青森県	2.58	3.73	陸砂	青森県	2.55	2.57					砕石2005	青森県	2.73	1.70					SP	43.0	165	
4	砕砂	岩手県	2.86	1.22	山砂	宮城県	2.56	2.01					砕石2505	岩手県	2.90	0.45					SP	44.0	165	
5	砕砂	新潟県	2.62	1.95									砕石2505	新潟県	2.66	1.20					SP	44.0	165	
6	陸砂	茨城県	2.66	0.94	砕砂	栃木県	2.73	1.07					砕石2005	栃木県	2.76	0.72					WAE	44.0	155	
7	山砂	千葉県	2.60	1.55									砕石2005	山口県	2.67	0.48	砕石2005	東京都	2.69	0.46		SP	42.0	160
8	山砂	千葉県	2.56	3.09	砕砂	東京都	2.59	1.87					砕石2005	東京都	2.65	1.04					SP	41.0	175	
9	砕砂	東京都	2.64	1.72	砕砂	東京都	2.66	1.17	山砂	千葉県	2.61	2.40	砕石2005	東京都	2.66	0.71	砕石2005	神奈川県	2.66	1.03		SP	42.0	160
10	陸砂	神奈川県	2.64	2.27	山砂	千葉県	2.59	2.23					砕石2005	兵庫県	2.63	1.10	砕石2005	神奈川県	2.67	0.96		SP	41.0	170
11	砕砂	山梨県	2.63	2.68	山砂	千葉県	2.57	2.67					砕石2005	山梨県	2.62	2.74					SP	43.0	165	
12	川砂	神奈川県	2.64	2.52	山砂	千葉県	2.60	2.47	山砂	神奈川県	2.62	3.43	砕石2005	神奈川県	2.81	1.25					SP	41.0	165	
13	川砂	静岡県	2.63	1.44									川砂利	静岡県	2.65	1.03					WAE	40.0	165	
14	陸砂	静岡県	2.63	1.29	山砂	静岡県	2.63	1.50					陸砂利	静岡県	2.66	1.12					WAE	42.0	165	
15	川砂	山梨県	2.65	1.54									川砂利	山梨県	2.68	1.16					SP	44.0	160	
16	山砂	愛知県	2.57	1.79	スラグ砂	愛知県	2.83	0.82					砕石2005	三重県	3.00	0.70	砕石2005	三重県	2.65	1.64		SP	41.4	170
17	陸砂	富山県	2.54	1.66									陸砂利	富山県	2.62	1.37					WAE	42.0	165	
18	山砂	京都府	2.56	2.04	砕砂	大阪府	2.66	2.01					砕石2015	大阪府	2.71	0.63	砕石1505	大阪府	2.70	0.72		SP	41.0	170
19	山砂	京都府	2.50	1.56									砕石2015	大阪府	2.71	0.70	砕石1505	大阪府	2.66	0.91		SP	42.0	170
20	砕砂	山口県	2.55	1.34	海砂	山口県	2.47	1.90					砕石2015	愛媛県	2.75	0.48	砕石1505	愛媛県	2.72	0.76		SP	41.0	160
21	砕砂	広島県	2.70	0.75	砕砂	大分県	2.53	1.02					砕石2015	広島県	2.63	1.46	砕石1505	広島県	2.62	1.67		SP	43.0	170
22	加工砂	島根県	2.60	1.37									砕石2015	島根県	2.72	1.43	砕石1505	島根県	2.74	1.42		SP	43.0	175
23	砕砂	福岡県	2.68	1.07	海砂	長崎県	2.61	1.52					砕石2015	山口県	2.74	0.44	砕石1505	山口県	2.72	0.57		SP	43.0	175
24	砕砂	広島県	2.60	1.09									砕石2015	広島県	2.63	0.54	砕石1505	広島県	2.65	0.65		SP	44.0	165
25	砕砂	愛媛県	2.55	3.02	海砂	大分県	2.62	1.49					砕石2005	愛媛県	2.56	2.04					SP	43.0	170	
26	砕砂	愛媛県	2.55	1.41									砕石2005	愛媛県	2.63	0.84					SP	43.0	165	
27	砕砂	広島県	2.61	0.72									砕石2015	広島県	2.63	0.44	砕石1505	広島県	2.63	0.57		SP	44.0	165
28	陸砂	鹿児島県	2.53	2.38	陸砂	宮城県	2.57	2.50					砕石2505	鹿児島県	2.63	1.07					SP	43.0	175	
29	海砂	佐賀県	2.66	0.97	砕砂	大分県	2.59	1.33					砕石2005	大分県	2.71	0.27					SP	42.0	165	
30	海砂	福岡県	2.59	1.06	海砂	福岡県	2.57	2.00					砕石2005	大分県	2.71	0.27					SP	41.0	170	

骨材の密度は表乾密度で、その単位はg/cm³である。吸水率の単位は%である。混和剤の種類におけるSPは高性能AE減水剤、WAEはAE減水剤を指す。単位水量の単位はkg/m³である。

表-2 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)	Vg(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

準拠した。100×100×400mmの角柱供試体を使用し、供試体中央に埋込みひずみ計を設置してデータロガーで測定した。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。

(2) 試験結果および考察

表-3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¹⁾での収縮ひずみの予測式に対して、表-2中に示す単位水量の平均値166

表-3 自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみの測定結果

		自己収縮ひずみ			乾燥収縮ひずみ			
経過時間(日)		7	28	56	28	91	182	
基準	No.0	108	176	208	290	488	577	
No.1,2	No.1	111	178	210	271	430	486	
	No.2	107	175	208	265	386	442	
No.3 ~30	全データ	平均	98	163	194	372	543	581
		最小	35	74	100	204	333	392
		最大	150	241	282	560	748	798
	砂利	平均	86	148	181	412	578	606
		最小	35	74	100	301	453	477
		最大	115	191	230	560	727	734
砕石	平均	99	164	194	359	530	571	
	最小	37	97	119	204	333	392	
	最大	150	241	282	541	748	798	
全データ	平均	99	164	196	363	532	573	
計算値		124	187	202	387	570	664	

(×10⁻⁶, 収縮を正で表した値)

kg/m³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。

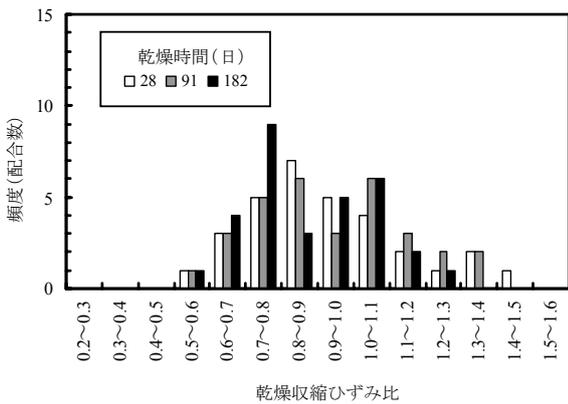
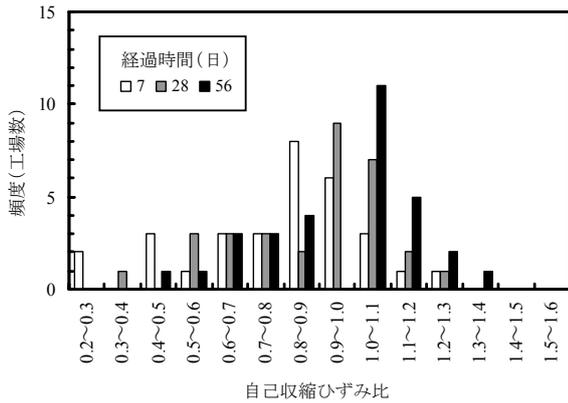


図-3 自己・乾燥収縮ひずみ比の分布

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。「基準」骨材 No.0 と骨材 No.1, No.2 を使用した場合の自己収縮ひずみには差異が認められない。しかし、骨材 No.3～No.30 を用いた場合の自己収縮ひずみは、表-3 における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。砂利と碎石の平均値を比較すると、両者の自己収縮ひずみの差は小さい。

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¹⁾で求めた値よりも若干小さい。また、自己収縮ひずみがほぼ同一の骨材 No.0, No.1 および No.2 を使用した場合であっても、182 日の乾燥収縮ひずみは $100 \sim 150 \times 10^{-6}$ 程度異なる。骨材 No.3～No.30 を用いた場合の乾燥収縮ひずみは、それらよりも大幅に大きいものあるいは小さいものが存在し、全データの最大値と最小値は材齢 182 日では 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分かる。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

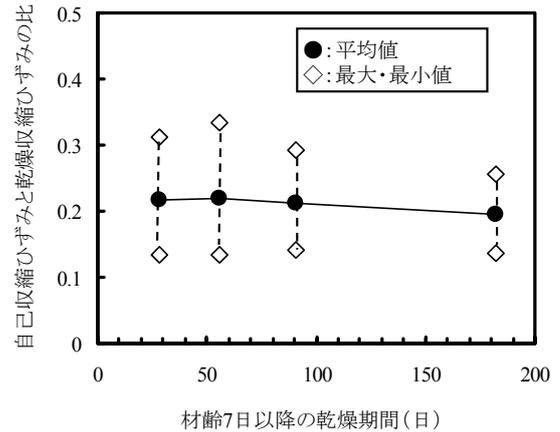


図-4 自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの比の経時変化

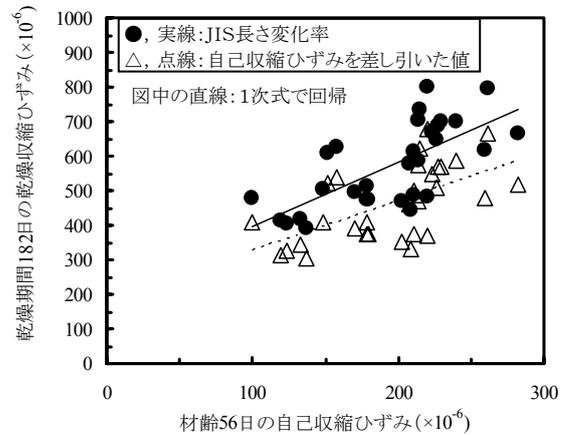


図-5 自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの関係

て 0.5 倍～1.5 倍程度異なる可能性がある。

図-4 は、乾燥収縮ひずみに対する自己収縮ひずみの比を求め、その経時変化を示したものである。起点は、乾燥収縮試験における乾燥を開始した材齢 7 日である。本研究における乾燥収縮ひずみとは、JIS A 1129 の試験方法で測定した長さ変化率である。乾燥環境下においても、セメントの水和進行により自己収縮を生じ、仮に封かん状態と同程度の進行があるとすれば、図中に示す自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの比とは、JIS の試験方法で測定される長さ変化率に含まれる自己収縮ひずみの比ということになる。既報⁸⁾のとおり、早強ポルトランドセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、水中養生期間が 3～7 日間の範囲で確保されれば、標準水中養生を行ったコンクリートとほぼ一致する。

今回の 31 種類の骨材を組み合わせた全国試験においては、その比の平均はいずれの材齢においても 0.2 程度であるが、 $\pm 10\%$ 程度の範囲を有し、各材齢の最大値と最小値は 2～3 倍異なる。JIS 試験方法で測定された長さ変化率を乾燥収縮ひずみとして扱った場合、PC 橋で使

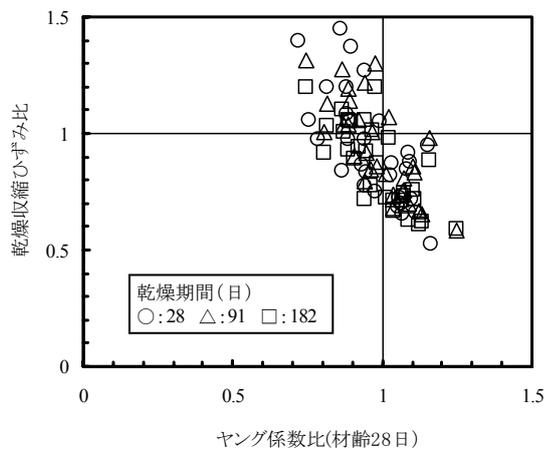
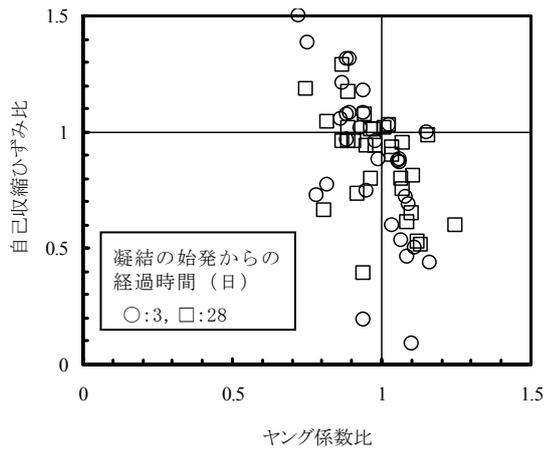


図-6 ヤング係数比と自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみの関係

用するコンクリートでは、乾燥収縮ひずみに含まれる自己収縮ひずみを無視できる割合ではないことが分かる。

図-5 は、材齢 56 日の自己収縮ひずみと乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみの関係を示したものである。図中には、乾燥収縮ひずみとして、JIS の試験方法で測定した長さ変化率の値と、長さ変化率には自己収縮ひずみが含まれるものとし、自己収縮ひずみを差し引いた値の 2 種類を示している。差し引いた自己収縮ひずみは、前述と同様に、材齢 7 日以降の自己収縮ひずみが封緘状態と乾燥環境下で同一と仮定している。自己収縮ひずみが大きくなるに従い、乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向が認められる。また、自己収縮ひずみを差し引いた乾燥収縮ひずみで表しても、両者の関係を一次式で回帰した傾きに大きな変化は認められない。したがって、骨材の品質は、自己収縮、乾燥収縮のいずれにも影響を及ぼす可能性が高く、例えば、乾燥収縮ひずみが大きいデータがある場合には自己収縮ひずみも大きい可能性があるため、PC 部材に使用するコンクリートに関しては、構造物条件などによっては自己収縮ひずみを事前に確認することが必要となることがあると考えられる。

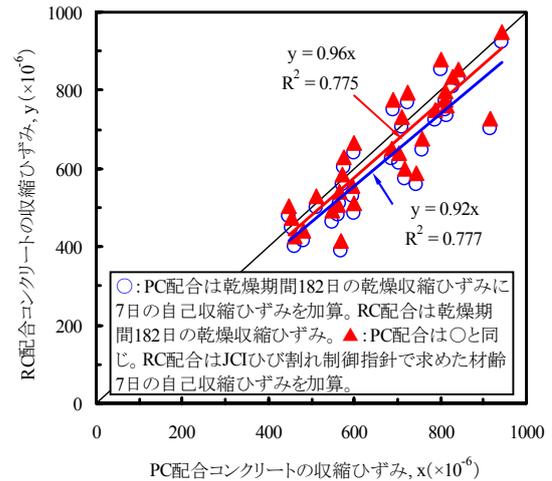


図-7 PC 配合と RC 配合のコンクリートの収縮ひずみの比較

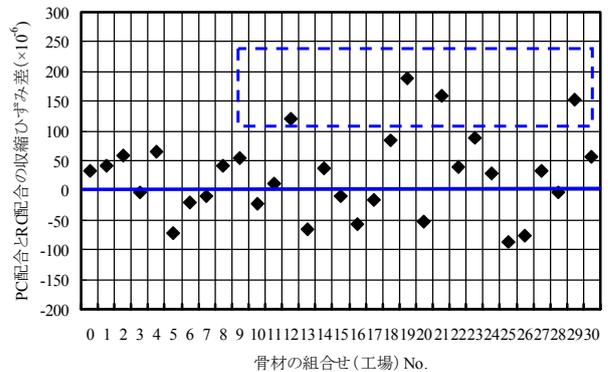


図-8 PC 配合と RC 配合のコンクリートの収縮ひずみ差

図-6 は、ヤング係数比と自己収縮ひずみ比および乾燥収縮ひずみ比の関係を示したものである。ここで、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみ比とは、試験値と計算値(表-3)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¹⁾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。乾燥収縮ひずみ比に関しても、自己収縮ひずみ比と同様の傾向が認められる。すなわち、自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみは、ヤング係数との相関が認められる。

図-7 は、PC 配合コンクリートと RC 配合コンクリートの収縮ひずみを比較したものである。ここで、PC 配

合とは本論文で対象とする早強コンクリートを指し、RC 配合とは PC 配合と同じ骨材を使用した RC 部材を対象とするコンクリートで、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を 55%としている⁸⁾。PC 配合では、乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみに材齢 7 日の自己収縮ひずみを加算した。一方、RC 配合では、乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみのみと、JCI ひび割れ制御指針で計算した材齢 7 日の自己収縮ひずみ (26×10^{-6}) を乾燥収縮ひずみに加算したものを示した。図-8 は、両配合とも自己収縮ひずみを加算した全ひずみを対象とし、表-1 に示す骨材の組合せ (工場) No.ごとに両者の収縮ひずみの差を求めた結果である。両配合は、セメントの種類および水セメント比が異なる。しかし、全体的な傾向として、PC 配合のほうが RC 配合よりも自己収縮ひずみを考慮した全収縮ひずみは若干大きいものの、双方で大きく異なるものではない。骨材の組合せごとに調べても、両者の違いは $\pm 50 \times 10^{-6}$ 程度の範囲である。すなわち、全収縮ひずみには、セメントの種類および水セメント比よりも骨材の相違が大きく影響を及ぼすと言える。また、PC 配合、RC 配合のいずれかを確認すれば、他配合のおおよその収縮ひずみが予測できる。ただし、骨材によっては、図-8 中の点線内に示すとおり、PC 配合の全収縮ひずみが RC 配合よりも 100×10^{-6} 以上大きくなるものも存在するので注意する必要がある。

3. 骨材の種類以外の要因がコンクリートの自己収縮ひずみに及ぼす影響

(1) 単位セメント量および粗骨材の単位量

今回の実験では、単位セメント量は、表-2 に示すように骨材の種類によって多少異なる。しかし、図-9 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の関係は成立していない。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。このことをより明らかにするため、特定の骨材条件 (No.0, No.15) を使用し、単位セメント量と自己収縮ひずみの関係を調べたものが、図-10 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、表-1 に示す値を基準として $150 \sim 185 \text{kg/m}^3$ の範囲で変化させている。ここで、単位水量を 150kg/m^3 にする場合には高性能 AE 減水剤の使用量を増加し、 185kg/m^3 にする場合には高性能 AE 減水剤の使用量が少なすぎるので AE 減水剤に変更した。単位セメント量の増加により、自己収縮ひずみが微増する傾向も見られる

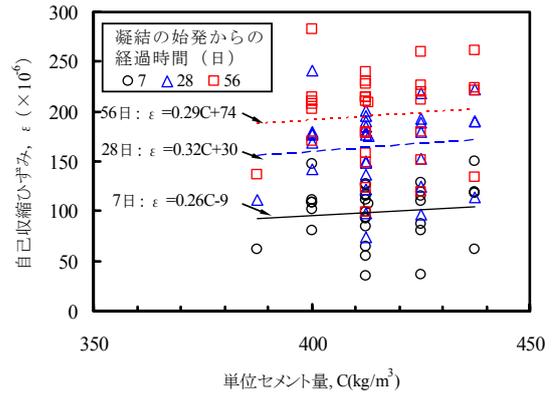


図-9 単位セメント量と自己収縮ひずみ比の関係

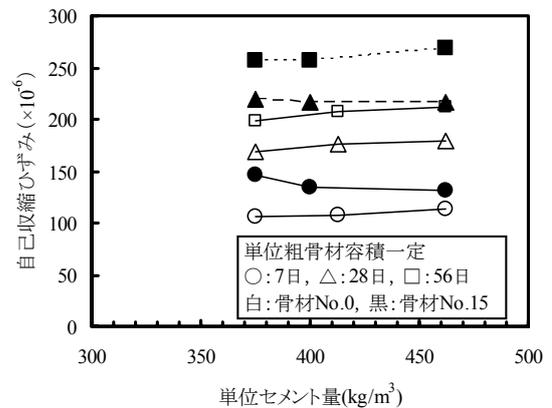


図-10 単位セメント量と自己収縮ひずみの関係

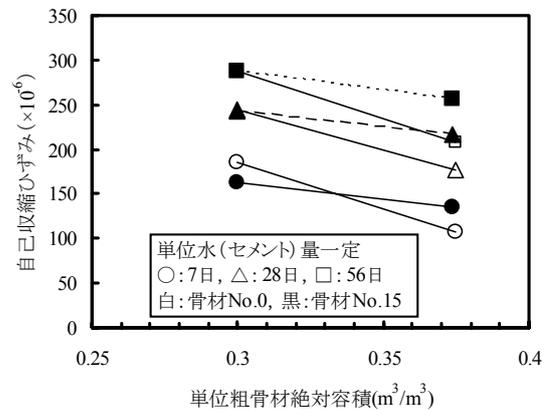


図-11 単位粗骨材絶対容積と自己収縮ひずみの関係

が、この試験の範囲ではその影響は極めて小さい。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の主たる原因は、骨材の種類・品質の相違であると判断される。

(2) 単位粗骨材量 (絶対容積)

図-11 は、単位粗骨材絶対容積と自己収縮ひずみの関係を示したものである。単位粗骨材絶対容積は、表-1

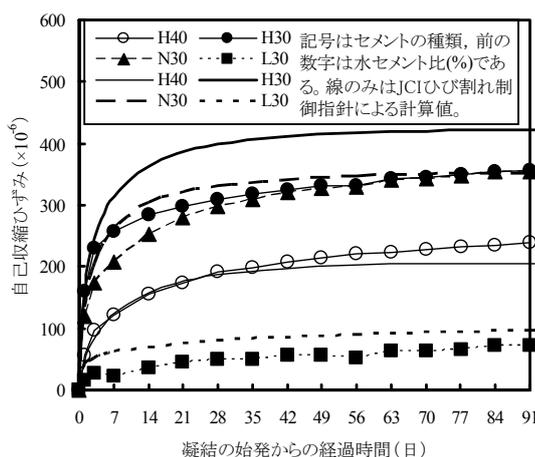


図-12 水セメント比およびセメントの種類が自己収縮ひずみに及ぼす影響

に示す条件（表中では細骨材率 s/a で表記）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。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り、特に骨材 No.15 では、その傾向が顕著である。また、既報⁸⁾で示した乾燥収縮ひずみの場合と同様に、骨材の種類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。

(3) 水セメント比およびセメントの種類

冒頭で述べたとおり、PC 橋で使用される早強コンクリートは、設計基準強度が $40\text{N}/\text{mm}^2$ であっても水セメント比は 30% 台である場合が多く、最近では高強度化に伴い、さらに小さいものも使用されている。高強度化を図った場合には、温度応力などの観点から、早強ポルトランドセメント以外のセメントも使用されている。

そこで、ここでは、水セメント比を 30% とし、早強ポルトランドセメント以外に、普通ポルトランドセメント（記号：N、密度 $3.15\text{g}/\text{cm}^3$ ）と低熱ポルトランドセメント（記号：L、密度 $3.24\text{g}/\text{cm}^3$ ）を使用した。

自己収縮試験の結果を、図-12 に示す。早強ポルトランドセメントのみを使用し、水セメント比を 40% から 30% に低下させると、自己収縮ひずみは 56 日で 328×10^{-6} まで大きくなるが、図-2 に示す計算値よりもかなり小さい。普通ポルトランドセメントまたは低熱ポルトランドセメントを使用した場合には、早強ポルトランドセメントを使用した場合に比べて自己収縮ひずみが小さく、特に低熱ポルトランドセメントへの変更は自己収縮ひずみの低減に効果的である。それらのセメントを使用した場合の自己収縮ひずみは、図-2 に示す JCI ひび割れ制御指針⁶⁾の計算値より小さいが、 $20 \sim 40 \times 10^{-6}$ の差であり、計算値とはほぼ一致する。

5. まとめ

本研究では、PC 部材に使用する早強コンクリートの自己収縮ひずみに及ぼす要因を確認し、以下のことが明らかになった。

- ① 骨材の相違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も大きく、材齢が若いほど、骨材によって自己収縮ひずみが大きく異なる。
- ② 水セメント比 40% の早強コンクリートでは、JIS 試験で測定した長さ変化率の 20% 程度は自己収縮ひずみが占める可能性がある。また、その比率は使用する骨材によって異なり、 $20 \pm 10\%$ 程度の範囲を有する。
- ③ 自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみは、いずれもヤング係数との相関がある。
- ④ PC 配合と RC 配合はセメントの種類と水セメント比が異なるが、同一骨材を使用した場合には、乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみに材齢 7 日の自己収縮ひずみを加算した全収縮ひずみは大幅には異なる。ただし、一部の骨材条件では、PC 配合の全収縮ひずみが RC 配合よりも 100×10^{-6} 以上大きくなるものが存在するので注意する必要がある。
- ⑤ 水セメント比が一定（40%）の場合、一般的な単位水量の範囲での単位セメント量の変化は自己収縮ひずみにほとんど影響しない。また、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 年制定コンクリート標準示方書，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協会：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，2005.9
- 5) 谷口秀明，樋口正典，藤田学，河野広隆：施工者によるレディーミクストコンクリートの品質評価，コンクリート工学，Vol.48，No.2，pp.15-23，2010.2
- 6) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008.11
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの自己収縮

縮研究委員会報告書, 2002.9

- 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) 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と長期収縮ひずみの早期判定, 三井住友建設技術開発センター報告, 第8号, pp.63-71, 2010.9