

# コンクリートの乾燥収縮に関する共同試験結果報告

○菅原伸之\*1 野澤優宏\*2 前田秀夫\*3 塩谷 勝\*4

**要旨：**愛知県生コンクリート工業組合技術委員会では、組合員工場が使用している粗骨材を種類・産地・岩種別に層別し、各層を代表する粗骨材を使用してコンクリートの長さ変化試験を行った。

その結果、工業組合全体としての乾燥収縮率の実態を把握することができた。さらに、高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）や収縮低減剤、および収縮低減材として尿素を用いた場合の収縮低減の効果と収縮低減材料の費用対効果についての資料を得た。

**キーワード：**乾燥収縮率、高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）、収縮低減剤、尿素、費用対効果

## 1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書や日本建築学会鉄筋コンクリート標準仕様書（以下、JASS 5 と略す）にコンクリートの乾燥収縮率に関する規制値が設けられた。そこで、全国生コンクリート工業組合連合会により、各工場における実態把握の必要性が推奨されてきた。愛知県生コンクリート工業組合（以下、愛知工組と略す）においてもそれを受けて、組合員工場が製造する生コンクリートを対象に乾燥収縮率の実態把握と今後の対応への資料を得る目的で、技術委員会で共同試験を 3 年間にわたって実施した。本報告は、その結果をまとめたものである。

## 2. 目的

次の 4 項目を対象とした。

- ① 組合員工場が使用する代表的な粗骨材の種類、産地、岩種、およびそれらの組み合わせを選定し、コンクリートの長さ変化試験（乾燥収縮率）の実施。
- ② 収縮低減材料（市販品以外の尿素<sup>1)</sup>も含む）を用いた場合の乾燥収縮率低減効果の確認。
- ③ 粗骨材の採取時期が異なることによる影響の把握。
- ④ 収縮低減材料の費用対効果の把握。

## 3. 試験の計画

### 3.1 概要

共同試験は、シリーズⅠとシリーズⅡに分けて行った。シリーズⅠは、平成 19 年度から 21 年度にわたり実施した。シリーズⅡは、高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）および収縮低減剤、さらに尿素（三者を併せて収縮低減材料という）の効果を検証するために、平成 21 年度に実施した。

試験は、いずれも練り上がり時のコンクリート温度が 20℃程度となるよう、当該年度の 9 月に試験計画を立案し、10 月に諸材料の準備、11 月に長さ変化測定用供試体等の作製の手順で行った。

なお、細骨材は、粗骨材が選定された工場のものを使用した。

---

\*1 愛知県生コンクリート工業組合：技術委員会委員（㈱太啓）      \*2 同委員（㈱磯谷組）

\*3 同委員（㈱大嶽安城）      \*4 愛知県生コンクリート工業組合：技術部

### 3.2 シリーズ I（粗骨材の選定）

シリーズ I で試験の対象とした粗骨材は、組合員工場が使用する粗骨材のうち種類・産地・岩種、およびその単数もしくは複数の組み合わせのグループから代表的な 27 サンプルを選定した。

実施年度別に選定した粗骨材の種類と産地を表-1 に示す。

なお、表-1 中のこれらの岩種は、頁岩、硬質砂岩、砂岩、チャート、石英はん岩、片麻岩、輝緑岩、かんらん岩、花崗岩、石英片岩、石灰岩である。

表-1 粗骨材の種類と産地

種類	平成 19 年度		平成 20 年度		平成 21 年度
砕石	多度産 多治見産 <sup>注)</sup> 藤岡産 藤原産 犬山産 音羽産 吉良産	鉢地産 幸田産 石巻産 <sup>注)</sup> 菅島産 <sup>注)</sup> 津久見産 鳳来産	多治見産 <sup>注)</sup> 南濃産 菅島産 <sup>注)</sup> 瀬戸産 志津産 照山産 石巻産 <sup>注)</sup>		稲武産 幡豆産 水梨産
	陸砂利	員弁川水系 木曾川水系 <sup>注)</sup>	揖斐川水系 <sup>注)</sup>	揖斐川水系 <sup>注)</sup> 木曾川水系 <sup>注)</sup>	町屋川水系 水窪川水系
山砂利	瀬戸産 <sup>注)</sup> 猿投産	多治見産 <sup>注)</sup>	笠原産 瀬戸産 <sup>注)</sup>	藤岡産 多治見産 <sup>注)</sup>	瀬戸産 <sup>注)</sup>

注) 実施年度間で産地が重複するのは、粗骨材の複数使用工場における組み合わせが異なることによる。

### 3.3 シリーズ II（骨材と混和剤の種類および使用量）

シリーズ II では、シリーズ I で行った長さ変化試験の結果のうち、乾燥収縮率が比較的大きかったコンクリートの粗骨材を 3 種類選定し、それぞれについて収縮低減材料の効果を検証した。選定した粗骨材と収縮低減材料を表-2、表-3 に示す。

表-2 選定した骨材

シリーズ I で試験を行った年度	種類および産地
平成 19 年度	吉良産砕石
平成 20 年度	南濃産砕石 揖斐川水系陸砂利
	志津産砕石 木曾川水系陸砂利

表-3 使用した収縮低減材料とその使用量

収縮低減材料		使用量「Cは単位セメント量(kg/m <sup>3</sup> )」
高性能 AE 減水剤 (収縮低減タイプ <sup>o</sup> )	A	C×1.02~1.50%
	B	C×1.10~1.75%
収縮低減剤	C	C×1.5%、C×4.0%
	D	3.0kg/m <sup>3</sup> 、6.0kg/m <sup>3</sup>
尿 素*	E	30kg/m <sup>3</sup>

\* 微粒状のため使用時には練り混ぜ水に溶解した。

### 3.4 試験方法

長さ変化測定用供試体の寸法は 100×100×400mm とし、JIS A 1132 に準拠して作製した。供試体は材齢 1 日で脱型し、以後、材齢 7 日まで 20±2℃ の水中養生を行い、材齢 7 日で基長を測定した。その後、保存期間 26 週までの間に表-4 の方法で乾燥収縮率を求めた。また、併せて圧縮強度 (20±2℃ 水中養生:材齢 28 日) 試験も実施した。

長さ変化試験の委託先試験機関と測定方法は、試験誤差を考

表-4 試験機関と測定方法

試験実施年度	試験機関	測定方法
平成 19 年度	A 試験機関	レーザー式変位センサーを用いた自動長さ変化測定方法 <sup>注)</sup>
平成 20 年度	B 試験機関	JIS A 1129-1 (コンパレータ方法)
平成 21 年度	C 試験機関	JIS A 1129-3 (ダイヤルゲージ方法)

注) 筑波メカニクス社製の自動長さ変化測定装置による。

えると統一することが望ましいが、今回の試験については表-4 に示す 3 試験機関で、それぞれ年度ごとに異なる三つの測定方法で行った。

### 3.5 配合

共通配合は 30-18-20(25)N を用いたが、粗骨材の種類や組み合わせ、および細骨材が工場により異なるので、実際に用いた配合の単位量や水セメント比、細骨材率の範囲を表-5 に示した。砂利・砂から碎石・砕砂まで含まれるため、同じ呼び方のコンクリートでも単位量や水セメント比、細骨材率に差が見られる。

なお、シリーズIIの高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）の場合には単位水量を  $175\text{kg/m}^3$  に限定し、スランプは混和剤の添加量で調整した。また、収縮低減剤や尿素の場合にはその添加により空気量が増えるので、それらを用いたコンクリートの空気量は、 $5.0\pm 1\%$  に適合するよう AE 剤量により調整した。

## 4. 試験結果

### 4.1 シリーズ I

個々の試験結果、および粗骨材の種類、組み合わせ別に集計した結果を表-6 に示す。

乾燥収縮率は、最大値が  $828\mu$ 、最小値が  $469\mu$  であり、全てが JASS 5 の規制値  $8\times 10^{-4}$  を満足した。

骨材種類の中で砂利グループ (G1~G5) の平均値は、石灰碎石を除く他のグループに比べて  $30\sim 50\mu$  小さいが、範囲が  $359\mu$  と大きく、標準偏差にもそのことが現れている。石灰碎石グループ (CS1~CS3) は試験数が少ないが、平均値は、他のグループに比べて  $70\sim 130\mu$  小さいことが認められた。

また、図-1 にヒストグラムを示す。 $600\mu\sim 700\mu$  が最頻値となっており、さらに、全体の約 90% が  $500\mu$  以上  $800\mu$  以下であった。

圧縮強度の結果は、平均値が  $43.1\text{N/mm}^2$ 、最大値が  $49.8\text{N/mm}^2$ 、最小値が  $36.4\text{N/mm}^2$ 、標準偏差が  $3.92\text{N/mm}^2$  であった。

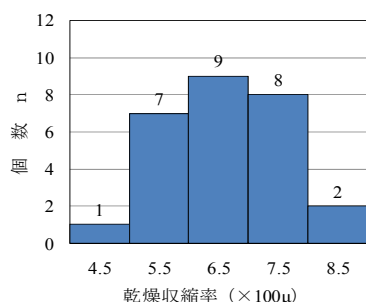


図-1 試験結果のヒストグラム

表-5 単位量・配合の範囲と平均値

項目	範囲	平均
セメント ( $\text{kg/m}^3$ )	340~386	363
水 ( $\text{kg/m}^3$ )	170~188	178
水セメント比 (%)	45.2~50.0	49.1
細骨材率 (%)	40.8~49.5	45.3

表-6 試験結果の一覧

記号	保存期間26週の乾燥収縮率 ( $\mu$ )						
	結果	個数	平均値	最大値	最小値	範囲	標準偏差
G1	720	5	637.4	828	469	359	140.4
G2	555						
G3	615						
G4	469						
G5	828						
C1	761	9	696.6	766	620	146	61.8
C2	727						
C3	645						
C4	728						
C5	766						
C6	632						
C7	754						
C8	636						
C9	620						
GC1	729	10	674.1	828	549	279	88.7
GC2	692						
GC3	683						
GC4	578						
GC5	670						
GC6	549						
GC7	771						
GC8	578						
GC9	828						
GC10	663						
CS1	540	3	568.7	592	540	52	—
CS2	574						
CS3	592						
全体		27	663	828	469	359	92.6

記号：粗骨材の種類：G は陸砂利・山砂利、C は碎石、GC は砂利+碎石、CS は石灰碎石を表す。

## 4.2 シリーズⅡ

収縮低減材料の効果を確かめるために実施した試験結果を表-7に示す。

なお、圧縮強度試験も併せて行ったが、GC7のD(3.0)が他に比べて $57.5\text{N/mm}^2$ と高い強度を示したが、他は $45\pm 5\text{N/mm}^2$ の範囲内であった。

表-7 収縮低減材料を使用した場合の試験結果（保存期間26週：単位は $\mu$ ）

グループ	表-6 による 記号	粗骨材の岩種	比較用ベ- ース <sup>注1)</sup>	A <sup>注2)</sup>	B <sup>注2)</sup>	C <sup>注3)</sup>		D <sup>注3)</sup>		E <sup>注4)</sup>
						(1.5)	(4.0)	(3.0)	(6.0)	
1	GC9	硬質砂岩+陸砂利	799	716	742	675	553	743	704	—
2	GC7	硬質砂岩+陸砂利	798	679	724	648	559	735	639	588
3	C1	片麻岩	663	590	605	541	424	575	548	—

注1) 収縮低減材料を用いない配合。

注2) 高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）の銘柄別。使用量は単位水量 $175\text{kg/m}^3$ に見合う量。

注3) 収縮低減剤の銘柄別で、Cの（ ）内はセメント量に対する添加率（%）。Dの（ ）内は添加量（ $\text{kg/m}^3$ ）。

注4) 尿素で $30\text{kg/m}^3$ 使用。

## 5. 考察

### 5.1 収縮低減材料を用いない場合

粗骨材の種類・産地・岩種、およびその組み合わせによる乾燥収縮率の結果は、表-6に示すように、平均値が $663\mu$ 、最大値が $828\mu$ であり、JASS5の規制値である $8\times 10^4$ を超えるものはなかった。しかし、測定の不確かさや粗骨材の変動を考慮すると、規制値に近い粗骨材についてはさらに試験が必要と考える。

### 5.2 収縮低減材料の効果

図-2に各種の収縮低減材料、およびその添加量の水準を変えた場合の乾燥収縮率の違いを示す。また、図-3には比較用ベースに対する低減効果（%）を示す。これによれば比較用ベースの乾燥収縮率が異なってもグループ間で収縮低減材料の銘柄ごとの傾向にはあまり差はないが、低減材料の使用率が一定でないので断定はできないものの、いずれのグループでも銘柄間の差が大きいことが分かる。また、尿素を用いた場合の低減効果も大きかった。今後、収縮低減材料の採用に当たっては、後述する費用対効果も含めて確認する必要がある。

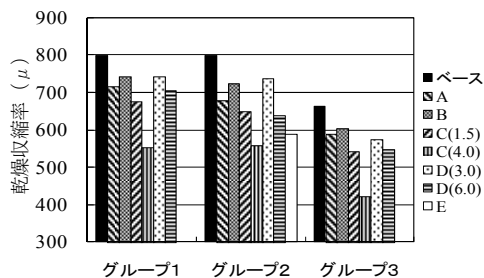


図-2 収縮低減材料の効果  
（収縮率による比較）

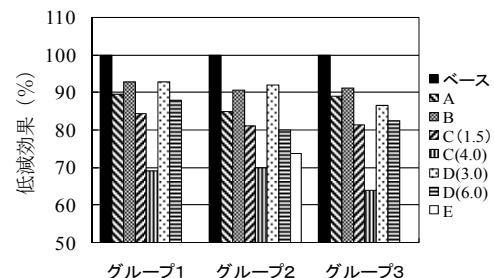


図-3 収縮低減材料の効果  
（ベースに対する割合）

### 5.3 乾燥収縮率と質量減少率との関係

図-4に示すように、保存期間26週における乾燥収縮率と質量減少率の間には相関関係は見いだせなかった。したがって、本試験結果からは、質量減少率により乾燥収縮率を推定することは困難であると言える。

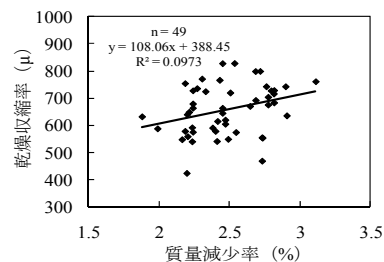


図-4 乾燥収縮率と質量減少率との関係

#### 5.4 保存期間が短い場合の乾燥収縮率と26週乾燥収縮率との関係

図-5に示すように、保存期間4週と26週の乾燥収縮率の相関関係は、寄与率( $R^2$ )が0.92( $n=27$ )と非常によいことが分かる。さらに、これに収縮低減材料使用分の結果を加えた図-6においても $R^2$ が0.85( $n=49$ )であり、いずれも良好な相関関係が得られた。今後さらに精度の確認を行うことが大切であるが、愛知工組における今後の試験においては大いに活用したい関係である。

参考までに他の保存期間との相関関係についても表-8に示したが、保存期間が26週に近くなるほど相関関係が良くなることが現れている。しかし、早期判定に用いるのであれば、今回の試験結果では、保存期間4週からの推定で充分であると言える。

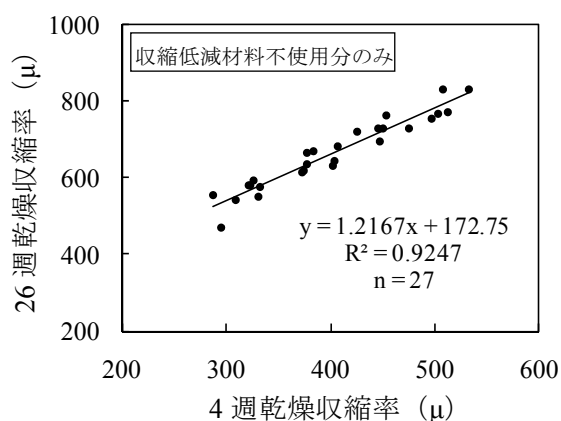


図-5 4週と26週との乾燥収縮率の関係

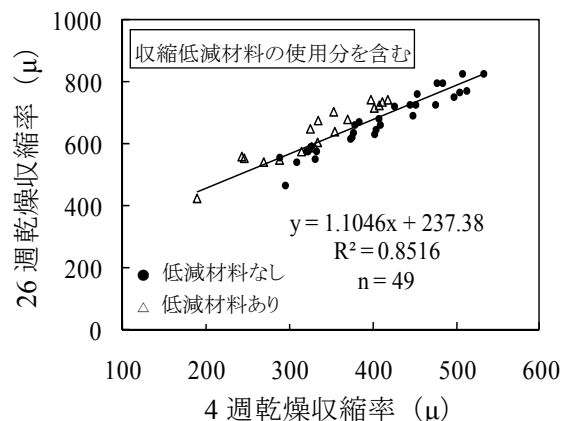


図-6 4週と26週との乾燥収縮率の関係

表-8 保存期間4週、8週、13週と26週の乾燥収縮率との相関関係

区分	保存期間	個数	$R^2$	回帰式
収縮低減材料 不使用分のみ	4週	27	0.9247	$y = 1.2167x + 172.75$
	8週	27	0.9547	$y = 1.0882x + 82.151$
	13週	27	0.9686	$y = 1.0529x + 32.404$
収縮低減材料の 使用分を含む	4週	49	0.8516	$y = 1.1046x + 237.38$
	8週	49	0.8921	$y = 0.9506x + 174.93$
	13週	49	0.9383	$y = 0.9588x + 101.77$

#### 5.5 同一材料における採取時期の違いによる乾燥収縮率の差

シリーズIのうち比較的乾燥収縮率の大きい粗骨材を用いた配合のコンクリートについて、シリーズIIの収縮低減材料の効果を調べたが、その際に比較用ベースとした収縮低減材料を用いないコンクリートは、シリーズIと全ての材料・配合が同じで再度実施したので、各材料の採取時期は1~2年の期間を経ている。その両者の乾燥収縮率の差を示したのが表-9である。データが僅かなことと、測定の不確かさ、供試体作製のバラツキ、測定方法の違い、各材料(細骨材、セメント)の変動などが加わったものであるため、単純に粗骨材のみによる変動とは言い難いが、総合的に100 $\mu$ 程度の差を生じる可能性が考えられる。

表-9 採取時期の違いによる乾燥収縮率の差(数値の単位:  $\mu$ )

種類・産地	シリーズI		シリーズII	差 (II - I)
	平成19年度	平成20年度	平成21年度	
硬質砂岩碎石(南濃産)+陸砂利(揖斐川水系)	—	771	798	+27
硬質砂岩碎石(志津産)+陸砂利(木曾川水系)	—	828	799	-29
片麻岩碎石(吉良産)	761	—	663	-98

## 5.6 収縮低減材料を用いた場合の費用対効果の例

収縮低減材料を用いた場合に生コン価額が高くなることが避けられないが、先にも述べたように、粗骨材や収縮低減材料の種類、銘柄などによって低減効果が異なることから、費用対効果の形で表すのが一つの評価方法であると考え、シリーズⅡの結果をもとに図-7に示した。

図-7によれば、高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）の場合には、3種類の粗骨材のいずれにおいても、収縮低減剤の銘柄を問わず同じような傾向が現れている。ただし、同じ乾燥収縮率幅の低減に対応する費用に関しては銘柄間に差が大きいことが分かった。このことから費用対効果に関してはコスト削減のためにも十分な資料を得ておくことが大切である。

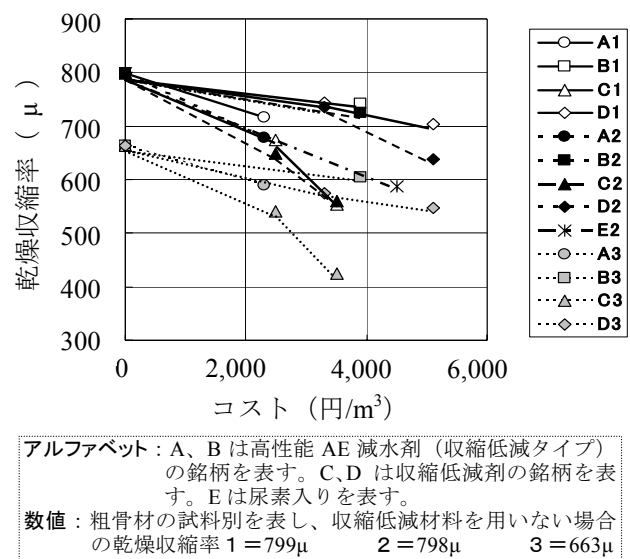


図-7 収縮低減材料による費用対効果の例

## 6. まとめ

乾燥収縮率規制への愛知工組としての対応を検討するに当たって、技術委員会による乾燥収縮に関する共同試験を実施した。その結果、以下のことが言える。

- ①粗骨材の種類、産地、岩種別に組合員工場全体を網羅できるよう代表試料を選定し実態を把握したが、全体的には JASS 5 の規制値である  $8 \times 10^{-4}$  を超えるものがないことが確認できた。
- ②大半のデータは  $500 \sim 800 \mu$  の範囲にあり、ことに  $600 \sim 700 \mu$  の範囲には全体の 3 分の 1 が占めている。
- ③同じ供試体による保存期間が短期の場合の乾燥収縮率から 26 週の乾燥収縮率の推定は、今回の共同試験ではかなり精度高く予測することが可能であることを確認できたので、特に、収縮低減材料などの効果を早期に予測することなどに今後活用して行きたいと考える。
- ④試験数が少なく断定的なことは言えないが、採取時期が 1~2 年の期間を経た場合、同じ粗骨材でも乾燥収縮率に  $100 \mu$  程度の差が生じることが分かった。各種材料の品質変動が乾燥収縮率の変動にどの程度の影響を及ぼすかについて、今後、試験を行う必要性を痛感した。
- ⑤収縮低減材料を用いた場合の収縮低減効果、ならびにその費用対効果についても事例を提示することができ、今後の乾燥収縮率のニーズに対応できる参考資料を得ることができた。

## 参考文献

- 1) 河井 徹、田中 博：“尿素を用いたコンクリートのひび割れ低減に関する研究”コンクリート工学年次論文集、Vol.29, 2009、pp.639~644

## 共同試験協力者 (50 音順)

技術委員会：委員長：吉兼 亨(宇部生コンクリート株)

執筆者以外の委員：市川直孝(東三河支部)、金森茂生(名古屋エスオーシー株)、金子高昇(山石建材工業株)、亀山正彦(愛設生コン LLP)、服部一男(宇部生コンクリート株)、松田敏貴(名古屋支部)、水野喜守(中部太平洋生コン株)、森 茂(東海菱光株)、山口桂介(田原生コン株)、山本進久(株スエヒロ産業)、その他、協力組合員：延べ 100 名

協力工場：生駒生コンクリート株、(株)磯谷組、稲武生コンクリート株、宇部生コンクリート株、(株)大嶽安城、(株)大嶽名古屋、コスモ生コン株、新城生コン株、新知多コンクリート工業株、(株)知立菱光コンクリート、(有)東栄興業、名古屋エスオーシー株、ハーバー生コン株、三河生コンクリート株、名東生コン株、山富建材株