

# 論文 高炉セメントを用いたコンクリートの収縮低減対策に関する実験的研究

荒井 圭子\*1・今本 啓一\*2・清原 千鶴\*3・西 祐宜\*4

**要旨:** 本研究では高炉スラグ微粉末 (以下, BFS) を使用したモルタルおよびコンクリートの収縮ひび割れ特性について実験的に検討を行った。シリーズ 1 では, モルタル試験体を用い, 環境温度 (20°C, 30°C) の違いによる影響について検討を行い, 30°Cにおいて強度は大きくなるが, BFS 置換率が高くなるほど収縮は大きくなり, ひび割れ発生材齢が短くなる結果が得られた。シリーズ 2 では, 環境温度 30°Cにおける高炉セメント B 種を用いたコンクリートの収縮低減対策として, 収縮低減剤の使用および養生期間の長さの違いについて検討を行い, 混和型収縮低減剤が最も効果が高い結果を示した。

**キーワード:** 高炉セメント, 環境温度, 収縮ひび割れ, 収縮ひずみ, 収縮低減剤, 養生期間

## 1. はじめに

地球環境保全の観点から, コンクリートにおいても種々の産業副産物の有効利用が期待されている。その中の 1 つに高炉セメントがある。高炉セメントを利用したコンクリートは長期強度増進効果やアルカリ骨材反応抑制効果に優れる性能を有している。しかしながら, 既往の研究より, 高炉セメント B 種を用いたコンクリート (以下, BB) は環境温度に強い影響を受け, 夏期における収縮ひび割れ抵抗性に劣ることが指摘されており, このひび割れ抑制が建築構造物の上部躯体への適用にあたっての課題となっている。

そこで, 本研究では高温時における BB の乾燥収縮低減方法を検討するため, シリーズ 1 ではモルタル試験体において, 環境温度の影響について検討を行った。また, シリーズ 2 ではコンクリート試験体において収縮低減剤および養生期間を変えて収縮低減対策を施した場合の収縮ひび割れ特性について実験を行い, 普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等の収縮ひび割れ特性が得られる手法について実験的に検討を行った。

## 2. シリーズ 1: モルタル実験

### 2.1 実験計画

実験水準を表-1 および実験項目を表-2 に示す。シリーズ 1 では, 普通ポルトランドセメントを用いたモルタル (以下, N モルタル) と BFS 置換率を変化させ, それぞれ高炉セメント A 種相当 B×20% (以下, BA モルタル), 高炉セメント B 種 B×45% (BB モルタル) を用い, 環境温度が収縮特性および収縮ひび割れ特性に及ぼす影響について検討を行った。

使用材料を表-3 に示す。使用した BFS の比表面積 4230cm<sup>2</sup>/g であり石膏の添加はない。モルタルの水結合材比 W/B : 50%とし, 細骨材容積率はシリーズ 2 のコンクリート中のモルタルと同等とし 52%とした。

### 2.2 実験方法

#### (1) 強度試験

強度試験用試験体はφ50×100mm の円柱試験体を用い, 表-2 に示す試験材齢において, 圧縮強度試験 (JIS A

表-1 実験水準 (シリーズ 1)

No.	記号	BFS置換率(%)	環境温度(°C)	セメント	養生方法
1	Nモルタル	0	20,30	普通ポルトランドセメント	7日まで封緘養生後, 気中養生。
2	BAモルタル	20			
3	BBモルタル	45			

表-2 試験項目および方法

試験項目	試験体寸法 (mm)	試験体本数 (本)	試験開始材齢 (日)	備考
フレッシュ試験	-	-	-	フロー, 空気量, 温度, 単位容積質量
圧縮強度 (ヤング係数)	φ50×100	3	7, 28*, 91	材齢7日まで封緘養生後, 脱型し, 気中養生。
割裂引張強度		3		
乾燥収縮ひずみ		2		
乾燥収縮ひび割れ	40×40×149	2	7	

※材齢28日で標準水中養生(20°C)を行った供試体においても実施。

表-3 使用材料

使用材料	記号	種類および主な物性
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランド (密度 3.16g/cm <sup>3</sup> , SO <sub>3</sub> : 2.29%)
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末 (密度 2.91g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 4230cm <sup>2</sup> /g, せっこう添加: 無)
細骨材	S	水系陸砂 (表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.04%, F. M2. 66)

\*1 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

\*2 東京理科大学 工学部建築学科准教授 博士 (工学) (正会員)

\*3 東京理科大学 工学部建築学科嘱託補手 博士 (工学) (正会員)

\*4 (株) フローリック技術本部コンクリート研究所主任研究員 (正会員)

1108) および割裂引張強度試験 (JIS A 1113) を行った。養生方法は表-2 に示すように材齢 7 日までは各設定温度条件下で封緘養生とし、その後脱型し、気中養生を行った。ただし、環境温度 30℃においては、材齢 1 日まで 20℃相対湿度 60% 下において封緘養生し、翌日 30℃相対湿度 60% の環境下に存置した。また、材齢 28 日においては、標準水中養生を行った試験体においても実施した。

(2) 収縮ひずみ

収縮ひずみ測定用試験体にはφ50×100mm の円柱試験体を用い、埋め込みゲージにて測定を行った。乾燥開始材齢は 7 日とし、端面をアルミテープでシールして側面乾燥状態とした。

(3) 拘束ひび割れ試験

試験体概要を図-1 に示す。拘束体である鉄筋は丸鋼φ13mm として、定着部にネジきり加工したものを使用した。型枠との付着を除去するために試験体の側面にはポリエステルフィルムを敷いた。モルタルの自己収縮、乾燥収縮に伴いモルタルの断面に生じる収縮拘束応力を試験体中央の拘束用鉄筋のひずみより算出した。脱型後、試験体の端面と打設面および底面にアルミテープを貼付し、2 面乾燥状態で測定を行った。

2.3 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状の試験結果を表-4 に示す。モルタルフロー値には BFS 置換率の違いはほとんど見られなかったが、空気量においては BB モルタルで小さくなる結果となった。

(2) 強度試験結果

強度試験結果の一覧を表-5 に示す。また、図-2 に材齢 28 日において BFS 置換率が割裂引張強度に与える影響を示す。20℃では置換率が高いほど割裂引張強度は低くなっているが、30℃では BFS を置換することで割裂引張強度は増加している。しかし、置換率による割裂引張強度の増加は見られない。圧縮強度においても同様の傾向が見られる。水中養生では、強度発現していないことから、温度上昇に伴い BFS の反応が促進し、強度が増加していると考えられる。

(3) 自由収縮試験結果

材齢 1 日より測定を開始した自由収縮ひずみ結果を図-3 に示す。どの水準も 30℃時のひずみが大きく、BFS 置換率が高いほどひずみが大きい結果になった。また、脱型後から収縮が急激に進行している。図-4 に測定期間 6 日および 25 日時のひずみを示す。N モルタルは環境温度の違いによる影響はほとんど見られないが、BA モルタルおよび BB モルタルともに測定期間 6 日までの収縮ひずみは環境温度が高いほど小さく、脱型後の収縮ひずみは環境温度が高いほど大きい。また、BFS の置換率

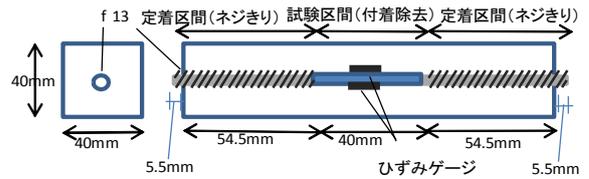


図-1 拘束ひび割れ試験体概要

表-4 フレッシュ性状 (シリーズ 1)

記号	フロー値 (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/L)
N	205.0	2.4	2.11
BA	204.1	2.7	2.23
BB	192.1	0.9	2.23

表-5 強度試験結果の一覧 (シリーズ 1)

記号	環境温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			弾性係数 (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )			割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		7日	28日 (気中)	28日 (水中)	7日	28日 (気中)	28日 (水中)	7日	28日 (気中)	28日 (水中)
N	20℃	37.7	45.1	57.4	25.5	25.0	28.5	3.43	3.79	3.16
	30℃	40.9	49.3	-	21.5	23.5	-	2.74	3.34	-
BA	20℃	29.6	44.4	64.2	19.7	23.8	24.6	2.85	3.64	3.39
	30℃	43.2	49.6	-	22.8	22.9	-	2.47	3.56	-
BB	20℃	30.4	42.4	55.3	15.5	21.9	23.1	2.60	3.28	2.77
	30℃	36.8	49.9	-	19.7	18.7	-	2.26	3.57	-

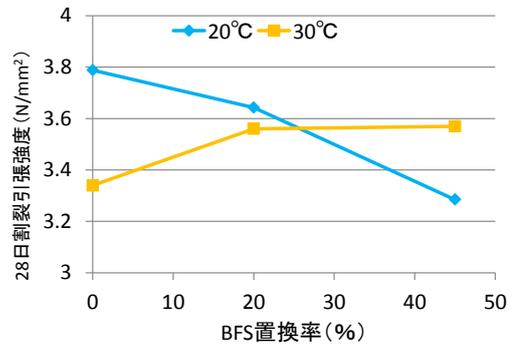


図-2 BFS 置換率が割裂強度に与える影響

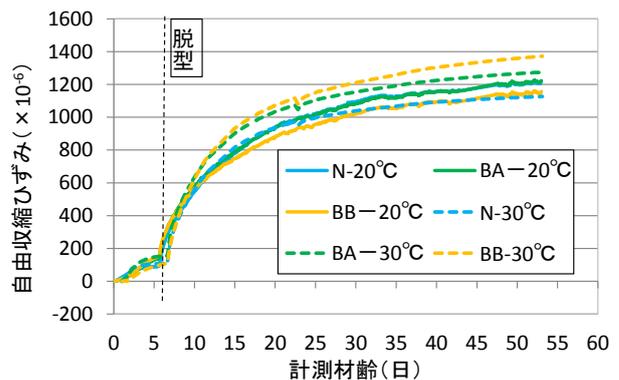


図-3 材齢 1 日からの自由収縮ひずみ (シリーズ 1)

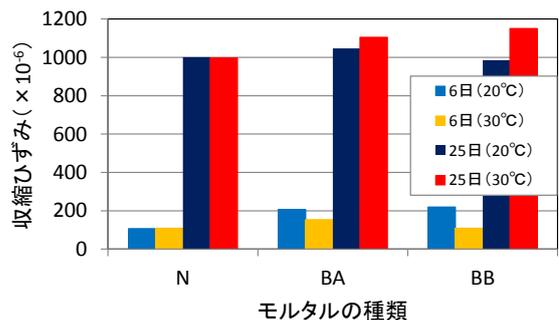


図-4 測定期間 6 および 25 日の収縮ひずみ

が大きくなるほどその傾向は顕著になっている。環境温度の増加に伴う BA および BB モルタルの収縮ひずみの増大は、温度が高くなることにより BFS の反応が促進され生成される CSH 量が多くなる<sup>2)</sup>ことや環境温度の増加に伴いペーストの比表面積(内部空隙の表面積)が大きくなる<sup>3)</sup>ことなどの影響等が考えられる。

#### (4) 拘束ひび割れ試験結果

拘束ひび割れ試験結果の一覧を表-6 に示す。図-5 にひび割れ発生材齢の測定結果を示す。なお、ひび割れ発生材齢は、拘束応力が最大値を示した材齢としている。環境温度 20℃では BA モルタル、BB モルタルのひび割れ発生材齢は N モルタルと大差は見られなかったが、30℃では BFS の置換率が大きくなるほどひび割れ発生材齢が早くなった。

図-6 よりいずれの調査においても封緘養生期間に生じる拘束応力は 30℃時に大きく、ひび割れ発生時の拘束

応力は 30℃時に小さくなった。また、図-7 を見ると BFS の置換率が大きいと 30℃で反応が促進され、応力強度比は小さくなった。30℃時に BFS を置換したモルタル試験体のひび割れ抵抗性が小さくなった要因の 1 つとして、図-3 および図-4 に示すように脱型直後の収縮ひずみの増大が挙げられ、収縮ひずみを抑制することが 30℃時の BB モルタルの収縮ひび割れ抵抗性改善の対策としては有用であると考えられる。

写真-1 にひび割れ発生状況を示す。いずれのモルタル試験体において、ひび割れは試験体の軸方向に対して直交方向に生じており、鉄筋による拘束がなされていることが判断できる。また、ひび割れ幅自体に温度による影響は見られないが、ひび割れ長さや、本数は若干高温時に多い結果となった。

### 3. シリーズ 2 : コンクリート実験

#### 3.1 実験計画

シリーズ 1 の結果より、環境温度が高くなると BFS をセメント代替に使用したモルタル試験体の乾燥収縮ひずみが大きくなることを確認した。そこで、シリーズ 2 では環境温度が高い場合の乾燥収縮低減対策として、収縮低減剤(塗布型および混和型)の適用および養生期間の長さの違いについて検討を行った。

表-6 拘束ひび割れ試験結果一覧(シリーズ 1)

記号	環境温度(℃)	ひび割れ発生材齢(日) <sup>※</sup>	収縮ひずみ( $\times 10^{-6}$ )	拘束率(%)	最大拘束応力(N/mm <sup>2</sup> )	応力強度比
N	20℃	11.2	-711	0.80	2.71	0.78
	30℃	9	-545	0.74	2.57	0.74
BA	20℃	11.4	-672	0.77	2.58	0.85
	30℃	9.7	-677	0.78	2.81	0.95
BB	20℃	11.3	-609	0.76	2.70	0.98
	30℃	7.5	-460	0.77	1.99	0.76

※打設時からの材齢(日)

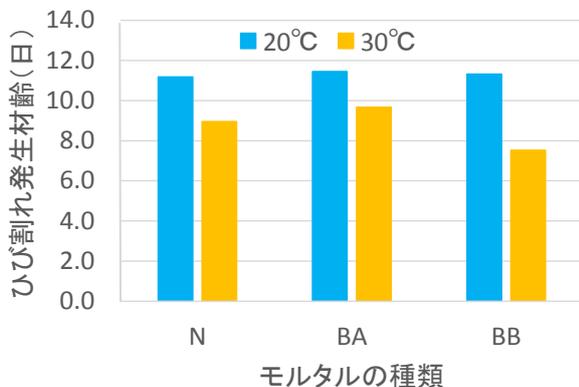


図-5 ひび割れ発生材齢(シリーズ 1)

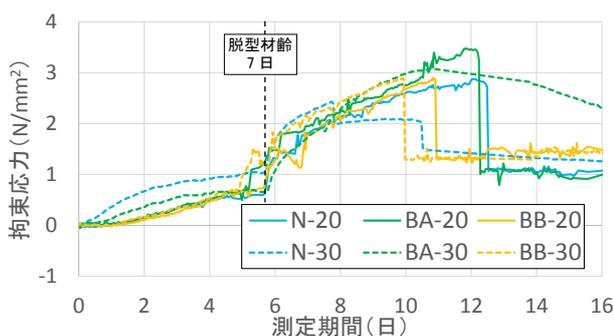


図-6 拘束応力(シリーズ 1)

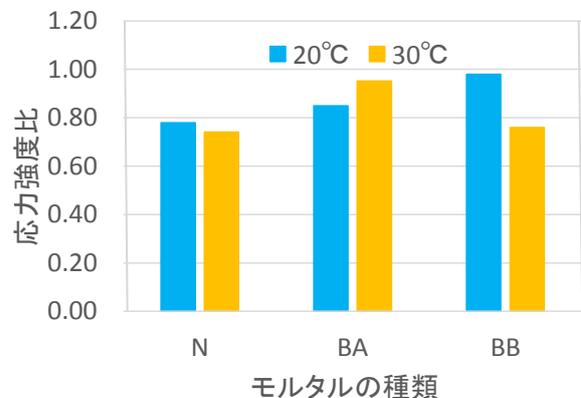


図-7 応力強度比(シリーズ 1)

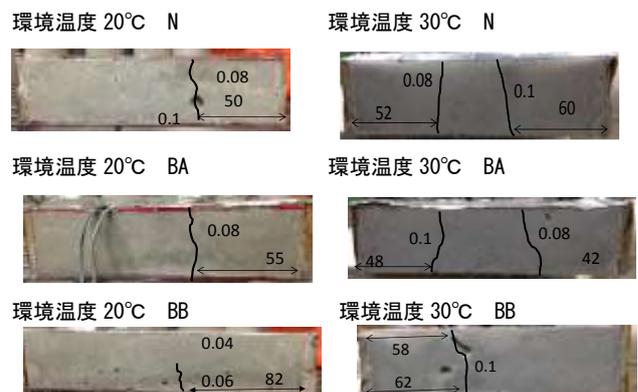


写真-1 ひび割れ発生状況(シリーズ 1)(単位:mm)

実験水準を表-7に示す。コンクリートの種類は結合材に普通ポルトランドセメントのみを使用した普通コンクリート(N)、高炉 B 種に相当する普通ポルトランドセメントの45%をBFSで置換した高炉 B 種コンクリート(BB)、混和型収縮低減剤を用いたBB(BSRA)、塗布型収縮低減剤を用いたBB(BES)および養生期間を7日としたBB(BB7)の5種類である。

使用材料および調合を表-8、表-9に示す。セメント、BFSおよび細骨材はシリーズ1と同様のものを用いている。混和型収縮低減剤にはグリコールエーテル系誘導体を主成分としたものを用い、単位水量の一部として6kg/m<sup>3</sup>とした。塗布型収縮低減剤の主成分もグリコールエーテル系誘導体であるが、コンクリート表面塗布の作業性および含浸透性を高めたものである。推奨される使用量が80~150g/mm<sup>2</sup>であったため本実験では、150g/mm<sup>2</sup>とした。

### 3.2 実験方法

フレッシュコンクリートのスランブは18±2.5cm、空気量は4.5±1.5%とし、スランブ、空気量、温度および単位容積質量の試験を行った。

強度試験用試験体はφ100×200mmの円柱試験体を用い、表-10に示す試験材齢において、圧縮強度試験(JIS A 1108)および割裂引張強度試験(JIS A 1113)を行った。また、材齢28日においては、標準水中養生を行った試験体においても実施した。

100×100×400mmの角柱試験体を用い、コンクリート内部に埋設した埋め込みゲージにてひずみの測定を行った。また、試験体の端面、底面および打設面にアルミテープを貼付し、2面乾燥状態で測定を行った。

拘束ひび割れ試験は図-8に示す試験体により行い、コンクリートの自己収縮、乾燥収縮に伴いコンクリート断面に生じる収縮拘束応力を試験体中央の拘束用鉄筋(φ32mm)のひずみより算出した。試験体はモルタル同様、試験体の端面、底面および打設面にアルミテープを貼付し、2面乾燥状態で測定を行った。

塗布型収縮低減剤は材齢3日に脱型した後に塗布作業を開始し、強度試験体については全面に、自由収縮および乾燥収縮ひび割れ試験体は乾燥を受ける側面2面に塗布を行った。

### 3.3 実験結果と考察

#### (1) フレッシュ試験結果

スランブ(N:19.1cm, BB:19.9cm, BSRA:20.6cm)、空気量(N:4.3%, BB:4.3%, BSRA:5.5%)はいずれも目標値を満足した。

#### (2) 強度試験結果

N, BBおよびBSRAの打設日を材齢の基準とした強度試験結果の一覧を表-12に示す。圧縮強度試験および割

表-7 実験水準 (シリーズ2)

No.	記号	BFS置換率 (%)	セメント	収縮低減剤の有無 (混入量一定)	環境温度	養生方法
1	N	0	普通ポルトランドセメント	×	30°C	3日まで封緘養生 その後気中養生
2	BB	45		×		
3	BSRA			○(混入型)		
4	BES			○(塗布型)		
5	BB7			×		7日まで封緘養生 後、気中養生

表-8 使用材料 (シリーズ2)

使用材料	記号	種類および主な物性
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント,密度3.16g/cm <sup>3</sup> ,SO <sub>3</sub> 2.29%
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末,密度2.91g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	水系陸砂,表乾密度2.59g/cm <sup>3</sup> 吸水率2.04%,含水率3.0%,F.M2.66
粗骨材	G	青梅産碎石,表乾密度2.66g/cm <sup>3</sup> 吸水率0.60%,含水率0.35%,容積率5.83%
収縮低減剤	SRA	混和型収縮低減剤(SRA)
	ES	塗布型収縮低減剤(ES)
混和剤	AE	AE剤(AE):標準形一種,ロジンカリウム塩系 AE減水材(Ad):標準形一種,リグニンスルホン酸塩と オキシカルボン酸塩
	Ad	

表-9 調査表

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位重量(上段:kg/m <sup>3</sup> )						Ad (C×%)	AE (C×%)
			W	C	BFS	S	G	SRA		
N	50	47.1	175	350	-	817	942	-	0.75	0.002
BB		193		158	805	942	-			
BES		46.8	169	193	158	805	942	6	0.006	
BB7										
BSRA		46.7	169	193	158	805	942	6	0.006	

表-10 試験項目 (シリーズ2)

試験項目	試験体寸法 (mm)	試験体本数 (本)	試験体材齢 (日)	備考
フレッシュ試験	-	-	-	スランブ,空気量,温度,単位容積質量
圧縮強度 (ヤング係数)	φ100×200	3	3, 7, 28, 91	材齢3日または7日まで封緘養生後、脱型し、気中養生。
割裂引張強度		3		
乾燥収縮ひずみ	100×100×400	2	7	
乾燥収縮ひび割れ	100×100×1100	2		

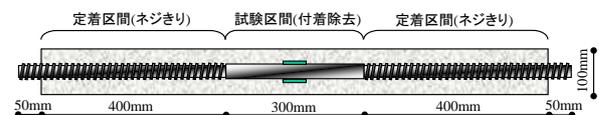


図-8 拘束ひび割れ試験体

裂強度試験ともに材齢7日までの若材齢時は強度発現が遅延するものの、材齢28日の圧縮強度においてはBESおよびBB7のほうが値は高く、割裂強度においてはBESはNと同等程度の強度発現が得られている。BESは収縮低減剤を塗布することにより、乾燥による水分逸散が抑制されるためセメントの水和反応およびBFSの潜在水硬性が促進され、強度発現が得られたものと思われる。また、材齢3日まで封緘、その後気中養生の試験体は材齢7日から28日にかけて強度の伸びはなく、低下している。それに対し、材齢7日まで封緘養生した試験体は材齢28日においても強度は促進している。材齢3日から

7日までの材齢初期の養生方法の違い（乾燥の影響等）が、強度促進に影響を与えていると思われる。

また、N、BBおよびBSRAを20℃の水中養生と30℃の気中養生を比較すると、圧縮強度、割裂強度ともに水中養生を行った試験体の強度の方が高く、コンクリートの強度増進には養生期間の影響が大きいことが分かった。

(3) 自由収縮試験結果

材齢1日から測定した自由収縮ひずみを図-9に示す。また、測定期間20日までの結果を図-10に示す。脱型までの自己収縮ひずみを見てみると、BSRAは若干膨張している。一般にBBは温度が高いほど自己収縮ひずみが大きくなると報告されているが<sup>4)</sup>、本実験ではNが最も大きい結果となった。また、乾燥開始後からのひずみの増加速度を見てみると、N:  $20 \times 10^{-6}/日$ 、BB:  $24 \times 10^{-6}/日$ 、BSRA:  $15 \times 10^{-6}/日$ 、BES:  $19 \times 10^{-6}/日$ 、BB7:  $18 \times 10^{-6}/日$ となっており、BBが乾燥開始直後のひずみ増加速度が最も速く、BESおよびBB7はNと同程度、BSRAがもっとも増加速度が遅い結果となり、収縮低減対策を施すことによりひずみの増加速度がNと同等以上になったことが確認できた。

測定期間40日では、BBと収縮低減対策を行ったコンクリートを比較してみると、BSRAが44.1%、BESが8.6%、BB7が2.4%低減しているが、測定期間120日ではBESおよびBB7はBBと同程度の値を示しており、乾燥直後から長期に渡り混和型収縮低減剤が最も収縮低減効果が得られることが確認できた。

(4) 拘束ひび割れ試験結果

各試験体の収縮拘束応力の経時変化を図-11に示す。BBの収縮拘束応力は養生温度が高くなるに連れ、大きくなる傾向であるが、材齢7日におけるBBとBSRAの収縮拘束応力を比較してみると、 $0.2N/mm^2$ 程度の差が見られ、ひび割れ発生時の収縮拘束応力はNのひび割れ発生時と同程度となっている。

試験体ごとの拘束ひび割れ試験結果の一覧を表-13に示す。図-12より、BBは混和型収縮低減剤の使用により、ひび割れ発生材齢が2倍以上伸び、最も効果が見られた。また、養生期間を長くする方法をとることでひび割れ発生材齢は約1.4倍に伸びた。また、既往の研究<sup>5)</sup>と同様に前述した収縮ひずみの増加速度が速いほどひび割れ発生材齢が早くなっている。このことから収縮低減対策特に乾燥初期の収縮ひずみの進行速度を抑えることによって環境温度30℃におけるBBのひび割れ抵抗性の改善につながる事が確認できた。

各試験体のひび割れ発生時の収縮応力強度比（ひび割れ発生時の収縮拘束応力をその材齢の割裂引張強度で除した値）を図-13に示す。一般に、ひび割れ発生時の応力強度比は0.7程度とされているが<sup>6)</sup>、今回の実験では

表-12 強度試験結果の一覧（シリーズ2）

記号	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )				弾性係数 ( $\times 10^4 N/mm^2$ )				割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	3日	7日	28日 (気中)	28日 (水中)	3日	7日	28日 (気中)	28日 (水中)	3日	7日	28日 (気中)	28日 (水中)
N	25.1	32.2	26.3	39.6	25.3	25.1	24.7	24.8	2.83	2.68	3.10	3.50
BB	14.9	21.4	20.3	34.4	23.9	22.3	21.7	29.8	1.44	2.31	2.74	2.51
BSRA	12.6	20.2	21.9	31.2	21.5	25.3	19.8	32.9	1.46	2.02	2.81	2.86
BES	14.9	21.0	35.0	34.4	23.9	27.4	23.8	29.8	1.44	2.34	3.01	2.51
BB7	14.9	23.8	30.9	34.4	23.9	23.3	25.6	29.8	1.44	2.11	2.45	2.51

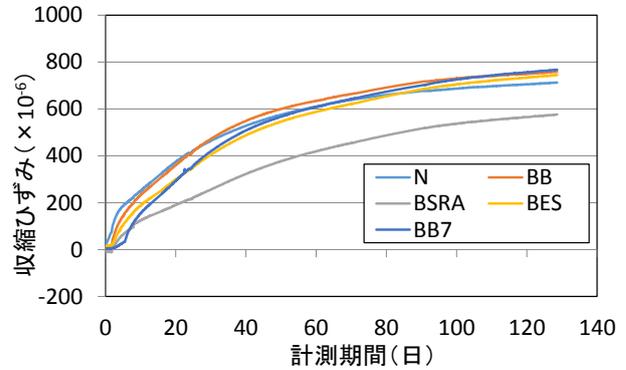


図-9 材齢1日からの自由収縮ひずみ（シリーズ2）

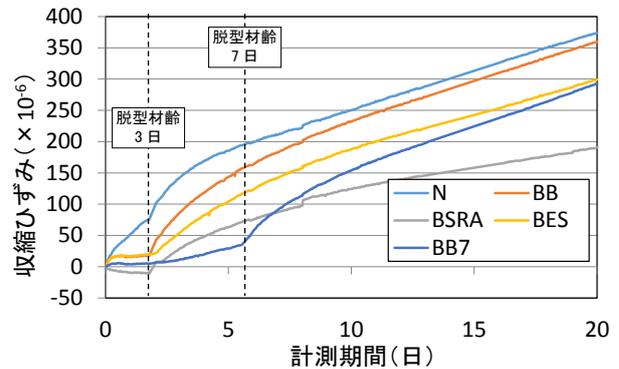


図-10 乾燥開始直後の自由収縮ひずみ（シリーズ2）

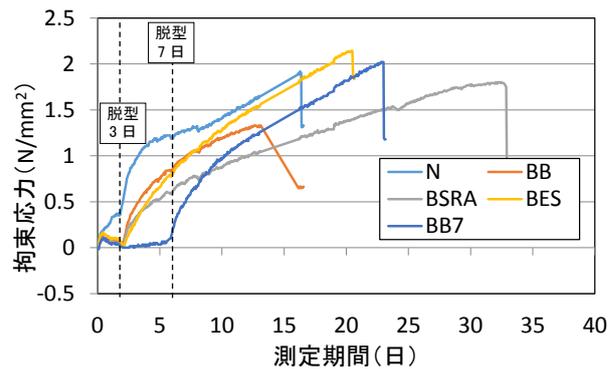


図-11 拘束応力の経時変化（シリーズ2）

表-13 拘束ひび割れ試験結果一覧（シリーズ2）

記号	ひび割れ発生材齢(日)	収縮ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	拘束率 (%)	最大拘束応力 (N/mm <sup>2</sup> )	応力強度比
N	14.1	-304	0.67	1.78	0.63
BB	13.1	-273	0.72	1.37	0.56
BSRA	32.1	-271	0.64	1.76	0.59
BES	18.3	-264	0.64	1.73	0.64
BB7	20.2	-295	0.67	1.76	0.76

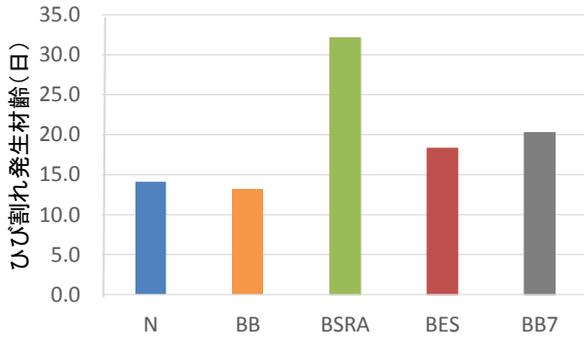


図-12 ひび割れ発生材齢(シリーズ 2)

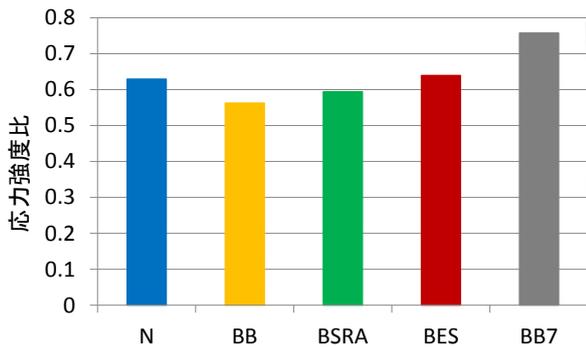


図-13 応力強度比 (シリーズ 2)

養生期間を長くする方法のみ 0.7 を越え、全体的にやや小さめの値を示す結果となった。

写真-2 に N, BB, BSRA, BES, BB7 のひび割れ発生状況を示す。モルタルと同様、鉄筋直交方向にひび割れが生じており、ひび割れ発生位置に各試験体に大きな違いはない。

以上の結果を基に、夏期を想定した高温時における高炉セメントを使用したコンクリートの収縮低減対策について、Nと比較して非常に良好な結果（強度：標準水中養生強度と同等、ひび割れ発生材齢：Nの2倍以上、拘束応力：Nより大きい値）を◎、Nと同程度の結果を○、Nよりも劣る結果を△と判断し、表-14 にまとめた。

## 5. まとめ

本研究では、高温時の BB の収縮ひび割れ低減効果について、検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1)高炉セメントを用いたモルタル試験体では高温時において収縮ひび割れが大きくなり、BFS の置換率が大きいほどその傾向は顕著になる。
- (2)高炉セメントを用いたモルタル試験体では高温時においてひび割れ発生材齢が早くなり、普通セメントを使用した試験体に比べて収縮ひび割れ特性が劣る。
- (3)収縮低減対策として混和型の収縮低減剤が最も効果が高い結果となった。塗布型収縮低減剤および養生材齢の延長も効果があり、高炉セメントを用いた場合、今回実施した対策を施すことで、収縮低減効果ならび

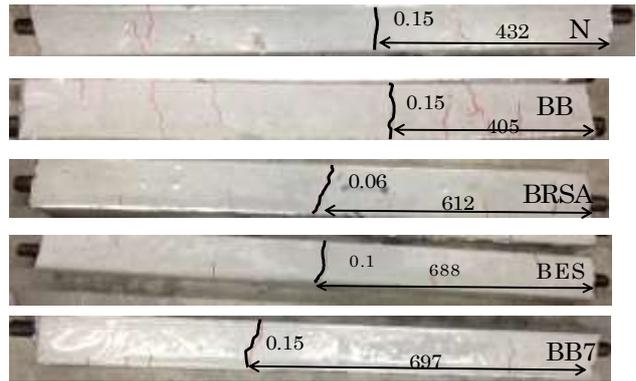


写真-2 ひび割れ発生状況(シリーズ 2) (単位 mm)

表-14 収縮低減対策実験結果のまとめ

対策	強度	ひび割れ発生材齢	収縮拘束応力
混和型収縮低減剤(BSRA)	△	◎	○
塗布型収縮低減剤(BES)	◎	○	△
養生材齢の延長(BB7)	○	○	○

(普通セメントと比較して非常に良好◎,同等○,やや劣る△)

に収縮ひび割れ抑制効果が得られる。

## 謝辞

本研究は鉄鋼スラグ協会の委託により実施されたものであり、鹿島建設株式会社技術研究所:閑田徹志氏、百瀬晴基氏、石関浩輔氏および東京理科大学卒論生:伊藤麻里子さんの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1)新谷彰, 閑田徹志, 百瀬晴基, 今本啓一, 小川亜希子:高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの拘束ひび割れ実験, 学術講演梗概集.A-1, 材料施工 2010, pp947-948, 2010.7
- 2)西祐宜,佐川孝広,松沢友弘:塗布型収縮低減剤の養生効果, コンクリート工学,Vol.51, No.3,2013.3
- 3)今本啓一, 栗原司:混合セメントコンクリートにおける乾燥収縮ひび割れ特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集,Vol.34,No.1,pp.376-381,2012.7
- 4)宮澤信吾, 佐藤良一, 杉山淳司:高温履歴を受ける高炉セメントコンクリートの自己収縮予測式, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp465-470, 2008
- 5)日本建築学会:鉄筋コンクリート造構造物の収縮ひび割れ-メカニズムと対策技術の現状, 2003.5
- 6)閑田徹志, 百瀬晴基, 依田和久, 今本啓一:高炉セメント B 種コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に及ぼす各種要因の影響およびその向上対策に関する実験検討, 日本建築学会構造系論文集, 695 巻, pp. 9-18, 2014.1