

東日本セメント製品工業組合
東生会 2010年度 後期研修会 報告
各種ひび割れ対策(膨張材, 収縮低減剤, 繊維)の効果確認

1. 目的

本研修では、ひび割れ対策として膨張材、収縮低減剤、繊維を挙げ、それらの効果確認を目的に、各種試験を行った。

2. 試験日および試験場所

試験日 : 平成 23 年 6 月 23 日 (木)

試験場所 : グレースケミカルズ株式会社 技術部 試験室

3. 使用材料

使用材料を表-1 に示す。

表-1 使用材料

材料 記号	製造会社, 製品名, 生産地等	密度 (g/cm ³)
水 W	水道水	1.00
セメント C	太平洋セメント(株), 普通ポルトランドセメント	3.16
膨張材 CSA	電気化学工業(株), デンカ CSA#20	2.85
細骨材 S	大井川産, 旧河川砂	2.61
粗骨材 G	青梅産, 砕石 2005	2.70
混和剤 Ad	グレースケミカルズ(株), 高性能減水剤, スーパー300M	1.04
混和剤 SRA	グレースケミカルズ(株), 収縮低減剤, eSRA	0.95
繊維 Fiber	グレースケミカルズ(株), グレースマイクロファイバー, L=12mm	0.91

4. 試験配合

試験配合を表-2に示す。なお、目標スランプは 12.0 ± 2.5 cm、目標空気量は $3 \pm 1.5\%$ とした。

表-2 試験配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)							
			W	B		S	G	Ad	SRA	Fiber
				C	CSA					
Plain	44.4	41.0	175	360	—	760	1129	2.16 C*0.6%	—	—
CSA	44.4	41.0	175	330	30	760	1129	2.16 C*0.6%	—	—
SRA	44.4	41.0	175	360	—	760	1129	2.16 C*0.6%	7.2 C*2.0%	—
Fiber	44.4	41.0	175	360	—	760	1129	2.52 C*0.7%	—	0.6

5. 試験練り条件

使用ミキサ：強制二軸ミキサ

練混ぜ量：40 リットル

練混ぜ方法：1/2S + C (+CSA) + 1/2S + (Fiber) + G → 空練り 10 秒
→ W + Ad (+SRA) → 攪拌 90 秒 → 排出

試験温度：20°C

6. 試験項目

試験項目を以下に示す。なお、拘束収縮ひび割れ材齢試験およびプラスチック収縮ひび割れ試験は、表-2の配合の粗骨材 G を除いたモルタル部分のみを練混ぜて供試体を作製した。

1) フレッシュ試験

スランプ JIS A 1101, 空気量 JIS A 1128, コンクリート温度, 練上り

2) 圧縮強度試験 (供試体寸法 $\Phi 10 \times 20$ cm, 各配合各材齢 3 本, JIS A 1108)

材齢 1 日, 前置き 1 時間, 50°C 蒸気養生 3 時間

材齢 14 日, 標準養生

3) 沈降ひび割れ試験

供試体寸法 $\Phi 15 \times 30$ cm (スパーサあり), 各配合 1 本, 材齢 1 日脱型後目視評価

4) 拘束収縮ひび割れ材齢試験 ASTM C 1581-04 (リング試験)

供試体寸法 内径 33 cm 外径 40.6 cm 高さ 15 cm, 各配合 1 体

材齢 1 日外枠脱型, 以降ひび割れ発生まで自動計測

20°C, 60%RH でひび割れ発生時または 2 か月まで保存

5) プラスチック収縮ひび割れ試験 ASTM C 1579-06 準拠

供試体寸法 $50 \times 50 \times 2$ cm (底部 1 cm 突起あり), 各配合 1 体

打込み後, 材齢 1 日まで送風乾燥

6) 長さ変化試験 JIS A 1129-2

供試体寸法 $10 \times 10 \times 40$ cm, 各配合 3 本

材齢 1 日脱型, 材齢 7 日まで標準養生

20°C, 60%RH で 6 か月まで保存

7. 試験結果

1) フレッシュ試験，圧縮強度

練上り時のスランプ，空気量，コンクリート温度の測定結果および圧縮強度試験結果を表-3 に示す。また，圧縮強度試験結果を図-1 に示す。材齢1日では CSA が比較的高い強度を示したが，材齢28日では各配合ともほぼ同程度の圧縮強度であった。

表-3 フレッシュ・圧縮強度の試験結果

配合名	フレッシュ			圧縮強度 (N/mm ²)			
	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	材齢1日		材齢14日	
				各値	平均	各値	平均
Plain	11.0	1.8	21.5	7.69	6.92	49.5	47.5
				6.63		44.1	
				6.43		48.9	
CSA	15.5	2.5	22.0	9.83	9.16	47.1	46.7
				8.29		48.0	
				9.35		44.9	
SRA	12.0	1.3	22.0	6.24	6.05	47.1	46.7
				6.34		46.3	
				5.56		46.7	
Fiber	9.5	2.8	22.0	6.37	6.51	47.5	48.9
				6.48		49.5	
				6.67		49.8	

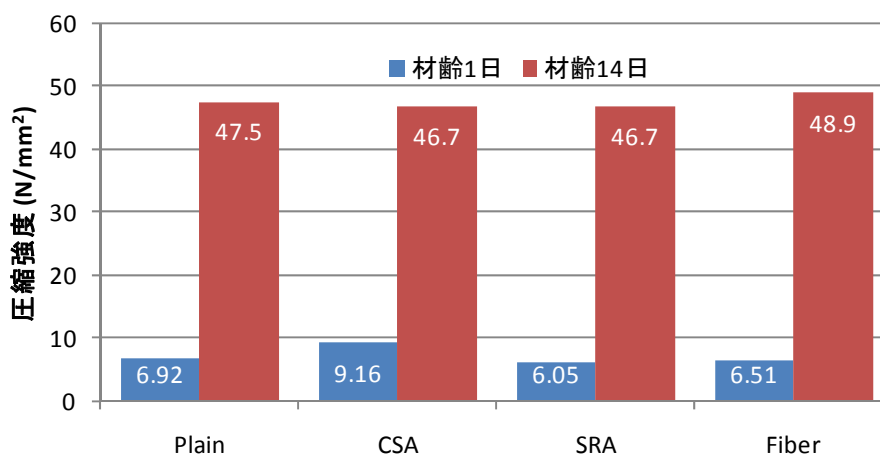


図-1 圧縮強度試験結果

2) 沈降ひび割れ

型枠スペーサを図-2に示す。また、脱型後の供試体の状況を写真-1, 2に示す。Plain配合を含む各配合の供試体で沈下ひび割れは認められなかった。

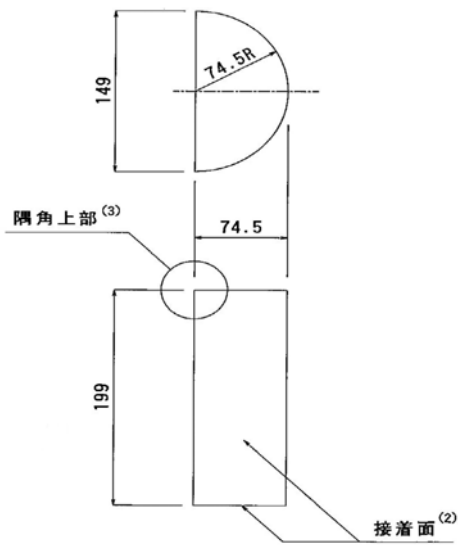


図-2 型枠スペーサ



写真-1 沈下ひび割れ試験 脱型後の状況 (Plain 配合)



写真-2 沈下ひび割れ試験 脱型後の状況 (全配合)

3) 拘束収縮ひび割れ

リング状供試体を図-3に示す。材齢1日で外枠を脱型し、その後、内型枠のひずみを貼り付けたひずみゲージにより自動計測した。ASTMによる評価指標を表-4に示す。

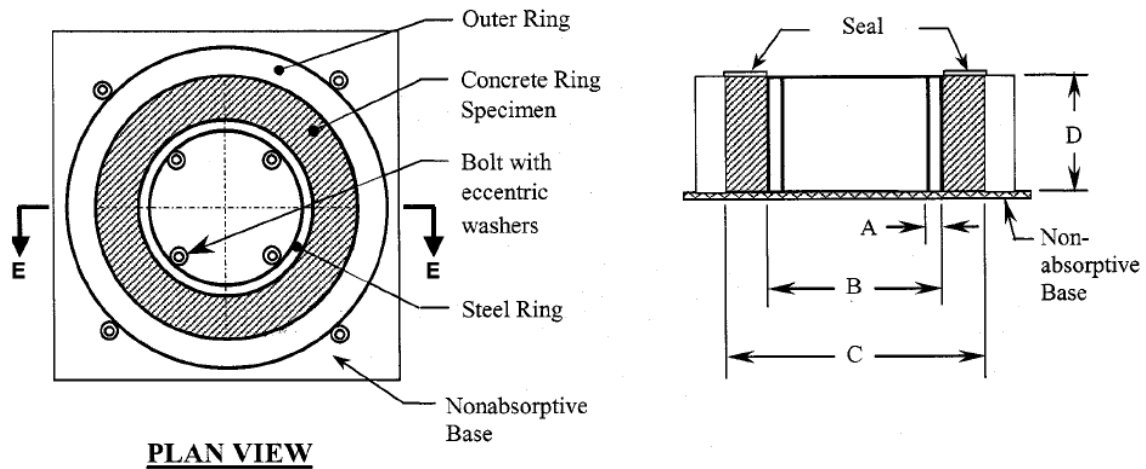


図-3 リング状供試体

表-4 ASTM の評価指標(日本語訳)

ひび割れ発生材齢 T_{cr}	平均応力速度 S (MPa/日)	ひび割れ発生可能性
$0 < T_{cr} < 7$	$0.34 < S$	高い
$7 < T_{cr} < 14$	$0.17 < S < 0.34$	やや高い
$14 < T_{cr} < 28$	$0.10 < S < 0.17$	やや低い
$28 < T_{cr}$	$S < 0.10$	低い

$$\epsilon_{net} = \alpha \sqrt{t} + k \quad (1)$$

where:

- ϵ_{net} = net strain, in./in. (m/m),
- α = strain rate factor for each strain gage on the test specimen (in./in.)/day^{1/2} ((m/m)/day^{1/2}),
- t = elapsed time, days, and
- k = regression constant

$$q = \frac{G |\alpha_{avg}|}{2\sqrt{t_r}} \quad (2)$$

where:

- q = stress rate in each test specimen, psi/day (MPa/day),
- G = 10.47×10^6 psi (72.2 GPa),
- $|\alpha_{avg}|$ = absolute value of the average strain rate factor for each test specimen, (in./in.)/day^{1/2} ((m/m)/day^{1/2}), and
- t_r = elapsed time at cracking or elapsed time when the test is terminated for each test specimen, days

鋼製リングのひずみの経時変化を図-4, 5に示す。なお, 図-5は横軸を日数の平方根とした。

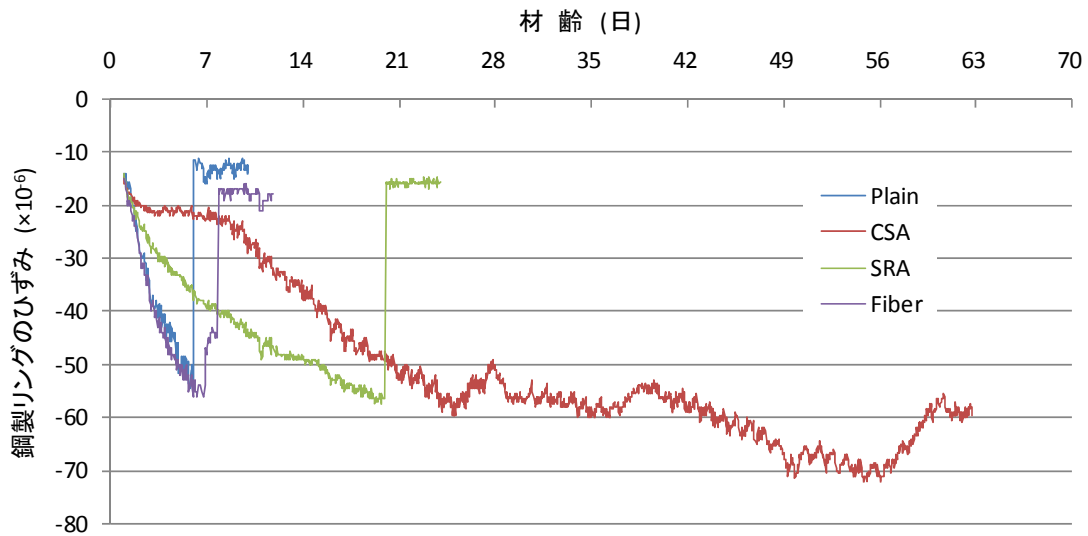


図-4 鋼製リングのひずみの経時変化

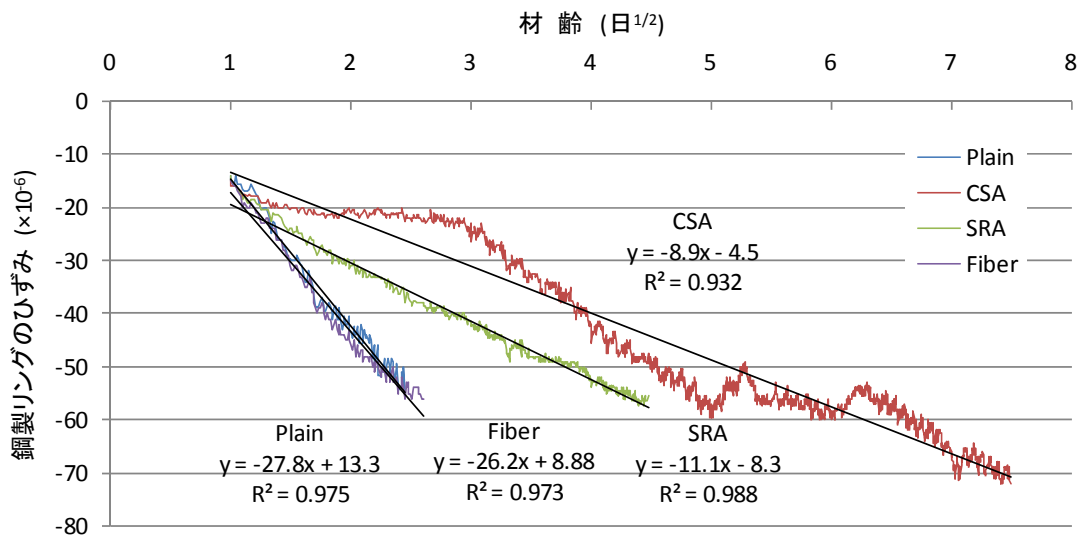


図-5 鋼製リングのひずみの経時変化(横軸:日数の平方根)

各配合のひび割れ発生材齢と平均応力速度およびそれらによるひび割れ発生可能性の評価結果, さらに材齢28日(7月21日)時点でのひび割れ幅を表-5に示す。なお, CSA配合については, 材齢2か月時点でひび割れが生じなかった。

表-5 ひび割れ発生材齢と材齢28日時点でのひび割れ幅

配合名	初期ひずみ ($\times 10^{-6}$)	最大ひずみ ($\times 10^{-6}$)	ひび割れ発生 材齢(日)	平均応力速度 (MPa/日)	ASTM ひび割れ 発生可能性	材齢28日時 ひび割れ幅
Plain	-14.0	-54.5	6	0.41	高い	1.3 mm
CSA	-14.5	-72.0	(終了63)	0.04	低い	—
SRA	-14.0	-57.5	20	0.09	やや低い	1.2 mm
Fiber	-15.0	-56.0	8	0.33	やや高い	0.4 mm

リング状供試体に発生したひび割れを写真-3~5に示す。



写真-3 Plain 配合のひび割れ状況



写真-4 SRA 配合のひび割れ状況



写真-5 Fiber 配合のひび割れ状況

4) プラスチック収縮ひび割れ試験

プラスチック収縮ひび割れ試験におけるひび割れ発生状況を写真-6～10に示す。



写真-6 ひび割れ発生状況(全配合, 材齢 1 日)

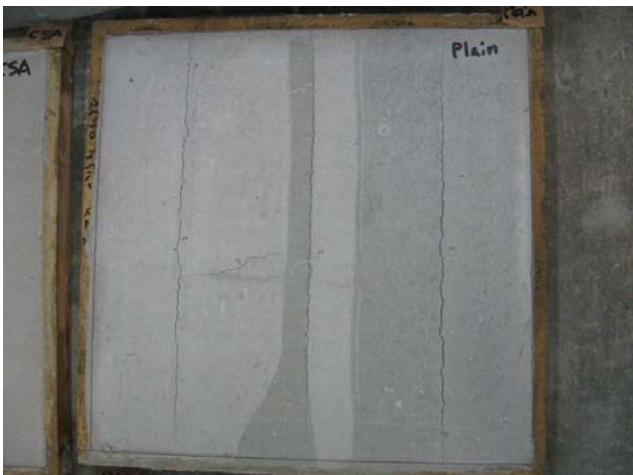


写真-7 Plain 配合のひび割れ発生状況



写真-8 CSA 配合のひび割れ発生状況



写真-9 SRA 配合のひび割れ発生状況



写真-10 Fiber 配合のひび割れ発生状況

各配合のひび割れ面積を図-6に示す。Fiber配合では、プラスチック収縮ひび割れをPlain配合の1/3程度に低減できることが確認された。

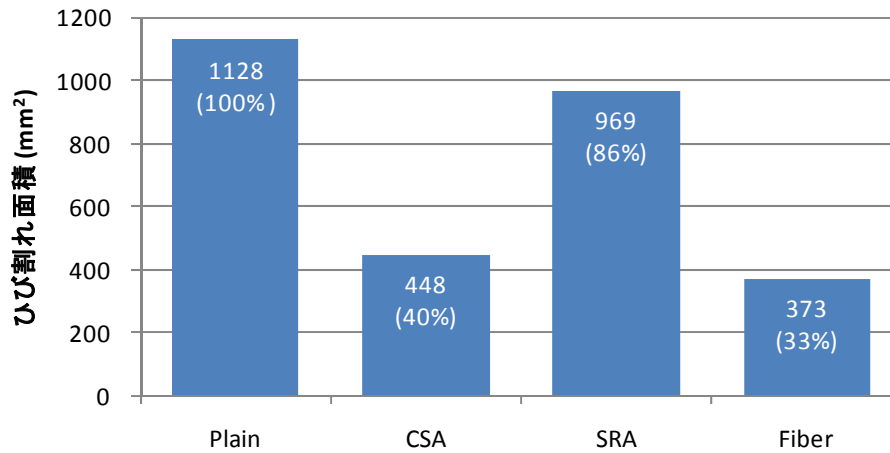


図-6 ひび割れ面積

4) 乾燥収縮

材齢26週までの長さ変化試験結果を図-7, 8に示す。長さ変化率は、SRA配合が他の3配合に比べて大幅に小さい結果であった。なお、質量変化率に関しては、各配合ともほぼ同様の結果であった。

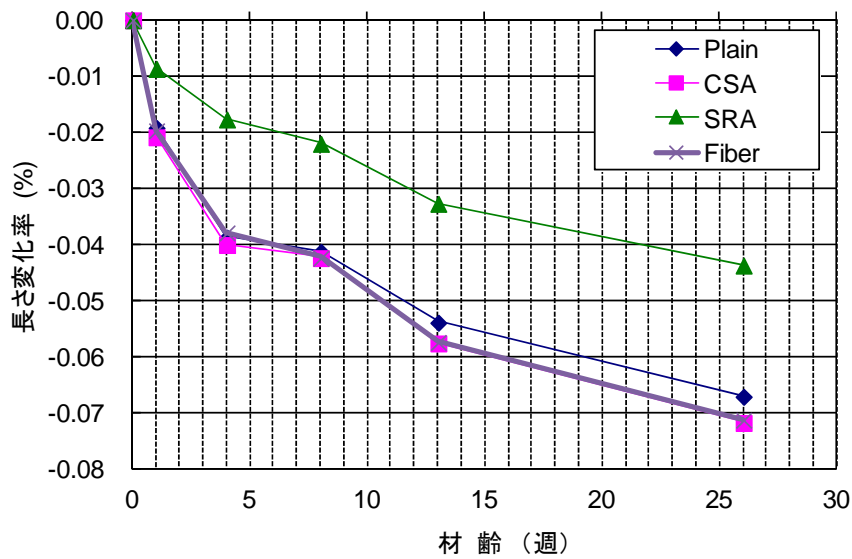


図-7 長さ変化率

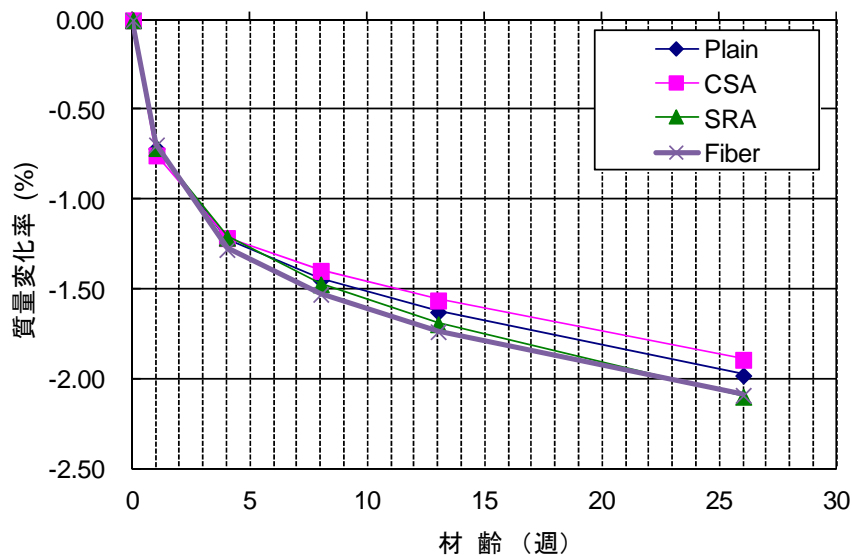


図-8 質量変化率

8. まとめ

各種ひび割れ対策の効果は、表-6のようにまとめられる。なお、表中の△は、Plain配合と同等の評価結果である。

以上より、今回試験した3つのひび割れ対策（膨張材，収縮低減剤，繊維）は、評価方法によりその効果が異なることが明らかとなった。コンクリート材料によるひび割れ対策にあたっては、予測されるひび割れ原因に応じて、適切な対策を選定する必要があると考えられる。

表-6 各種ひび割れ対策の効果

配合名	沈降ひび割れ	拘束収縮ひび割れ	プラスチック収縮ひび割れ	乾燥収縮ひずみ (長さ変化率)
CSA	△	◎	○	△
SRA	△	○	△	◎
Fiber	△	○ (ひび割れ幅の低減)	◎	△

以 上