

各種ひび割れ低減材料の効果に関する実験的検討

太平洋マテリアル(株) 正会員 博士 (工学) ○郭 度連
 りんかい日産建設(株) 工修 中出 睦
 太平洋マテリアル(株) 工修 杉野雄亮

1. はじめに

コンクリート構造物の収縮ひび割れに関する社会的な関心は高まっており、その抑制・制御技術の確立への期待は大きくなっている。従来からひび割れ低減のための材料面からのアプローチは数多く行われており、膨張材や収縮低減剤で代表される歴史の長いひび割れ低減材料の他に、近年は耐アルカリガラス繊維をネット状に工夫したもの¹⁾、収縮低減形高性能AE減水剤²⁾、塗布タイプ収縮低減剤³⁾等も開発され、新しい材料の開発もますます活発になっている。一方、各々の材料のひび割れ抵抗性は多様なひび割れ試験から検討されているが、各種ひび割れ低減材料の効果を一律的に確認した報告は少ないのが現状である。そこで、本報告では、各種ひび割れ低減材料を用いた簡易的な拘束収縮ひび割れ試験を行うことで、各材料間の相対的なひび割れ低減効果を実験により確認したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1 に示す。セメントは、高炉セメント B 種を用いており、ひび割れ低減材料としては、膨張材、製造元の異なるポリプロピレン短繊維 2 種類、ネット状の耐アルカリ性ガラス繊維、塗布タイプ収縮低減剤、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いている。

表-2 に試験水準およびコンクリートの配合を示す。配合は、24-15-20BB の生コンを想定した水セメント比 57%のコンクリートを用い、フレッシュ性状や強度特性を検討した。また、膨張材を用いた水準については、JIS A 6202

表-1 使用材料

材料	記号	物性
セメント	BB	高炉セメントB種、密度：3.15g/cm ³
膨張材	EX	低添加型石灰系膨張材、密度：3.15g/cm ³
細骨材	S1	大分県津久見産石灰砕砂、表乾密度：2.68g/cm ³
	S2	奈良県御所市産砕砂、表乾密度：2.63g/cm ³
粗骨材	G1	奈良県御所市産砕砂1505、表乾密度：2.68g/cm ³
	G2	奈良県御所市産砕砂2015、表乾密度：2.69g/cm ³
繊維	BL	ポリプロピレン短繊維、密度：0.91g/cm ³
	CB	ポリプロピレン短繊維、密度：0.91g/cm ³
	HN	耐アルカリ性ガラス繊維ネット
混和剤	Ad1	高性能AE減水剤標準型（リグニンスルホン酸、ポリカルボン酸の複合体）
	SP	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系）
	DS	高性能収縮低減型AE減水剤（ポリカルボン酸、ポリグリコールの複合体）
養生剤	CS	塗布タイプ収縮低減剤（低級アルコールのアルキレンオキサイド付加物）

の附属書 2「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法」の A 法で膨張ひずみを測定した。一方、拘束収縮ひび割れ試験はモルタルを用いており、表-2 のコンクリート配合から粗骨材を除去したモル

表-2 試験水準およびコンクリートの配合

水準	配合		W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)								混和剤
					水	セメント	膨張材	細骨材①	細骨材②	粗骨材①	粗骨材②	繊維	
1	24-15-20BB	PL	57.0	48.9	174	306	—	441	441	374	562	—	1.00%
2	24-18-20BB	CB	57.0	48.0	183	321	—	424	424	372	559	0.91	1.10%
3	24-18-20BB	BL	57.0	48.0	183	321	—	424	424	372	559	0.91	1.10%
4	24-15-20BB	EX	57.0	48.9	174	286	20	441	441	374	562	—	1.00%
5	24-15-20BB	CS	57.0	48.9	174	306	—	441	441	374	562	—	1.00%
6	24-18-20BB	EX-BL-SP	57.0	50.7	173	284	20	459	459	362	542	0.91	1.08%
7	24-18-20BB	EX-BL	57.0	48.0	183	301	20	424	424	372	559	0.91	1.10%
8	24-18-20BB	EX-BL-DS	57.0	48.0	183	301	20	424	424	372	559	0.91	1.60%
9	24-15-20BB	HN	57.0	48.9	174	306	—	441	441	374	562	—	1.00%

タルの配合を用いている。

2.2 拘束収縮ひび割れ試験

拘束収縮ひび割れ試験は、図-1に示すような長さ1000mmの鋼板に拘束体としてD8の棒鋼を30mm間隔で28本溶接することで拘束を与えており、無拘束状態の試験体の中央部で最初のひび割れが生じるように工夫している。厚さ30mmのモルタルを打設し、温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室にて乾燥を開始した。ひび割れ発生材齢を把握するため、最初のひび割れが生じる中央部の無拘束区間190mmに測長距離10mmのポリエステルゲージを2枚貼付し、計測を行った。ひび割れ幅については、乾燥材齢14日、28日、56日、91日、182日にてクラックスケールを用いて目視で測定している。

3. 試験結果

3.1 フレッシュ性状

表-3にコンクリートおよびモルタルのフレッシュ性状を示す。コンクリートのスランプ及び空気量は所定の目標値を満足しており、著しいスランプロスも認められない。短繊維を用いたシリーズは、繊維添加後のスランプロスを補うため、単位水量を上げる、あるいは、高性能AE減水剤を使用する等の配合設定になっており、繊維添加後のスランプは目標値をクリアーしている。一方、モルタルのフロー値はコンクリートのスランプと概ね同等の傾向を示している。

3.2 コンクリートの性状

図-2に材齢28日のコンクリートの圧縮強度および割裂引張強度を示す。全てのシリーズにおいて圧縮強度および割裂引張強度は、ひび割れ対策をしていないコンクリート（以下、PL）と同等を示しており、繊維の混入や膨張材、収縮低減型AE減水剤がコンクリートの強度に及ぼす影響は少ないと考えられる。

膨張材を用いたコンクリートのPP繊維との併用が膨張ひずみに及ぼす影響を図-3に示す。鋼繊維を用いた膨張コンクリートは、その拘束作用により膨張ひずみは減少することが知られているが⁴⁾、PP繊維を混入した膨張コンクリートの拘束膨張ひずみは、繊維の混入有無に関わらず、ほぼ同等のひずみを示しており、PP繊維の混入は鋼繊維と異なり、膨張コンクリ

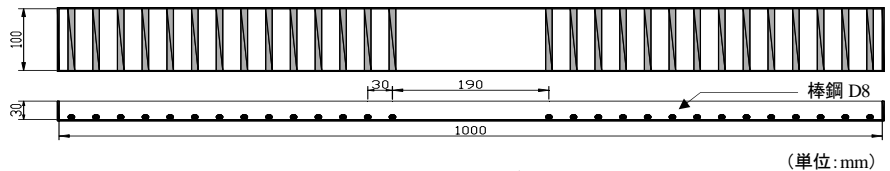


図-1 拘束収縮ひび割れ試験体

表-3 コンクリート及びモルタルのフレッシュ性状

水準	配合		コンクリート						モルタル	
			スランプ(cm)			空気量 (%)	温度 (°C)	フロー (cm)	フロー値(mm)	
			0分	30分	繊維投入				0打	繊維投入後
1	24-15-20BB	PL	18.5	16.0	-	5.7	13.0	31×31	180	-
2	24-18-20BB	CB	21.0	20.5	17.5	5.9	14.0	33×32	205	205
3	24-18-20BB	BL	21.0	20.5	15.5	4.5	15.0	26×25	200	190
4	24-15-20BB	EX	19.0	16.5	-	5.2	13.0	32×31	175	-
5	24-15-20BB	CS	17.5	16.0	-	5.5	13.0	32×31	180	-
6	24-18-20BB	EX-BL-SP	21.0	20.5	16.0	5.3	15.0	42×38	255	225
7	24-18-20BB	EX-BL	21.0	20.0	16.5	5.0	13.0	40×40	205	190
8	24-18-20BB	EX-BL-DS	20.0	20.0	16.5	4.9	15.0	37×37	200	195
9	24-15-20BB	HN	-	-	-	-	-	-	175	-

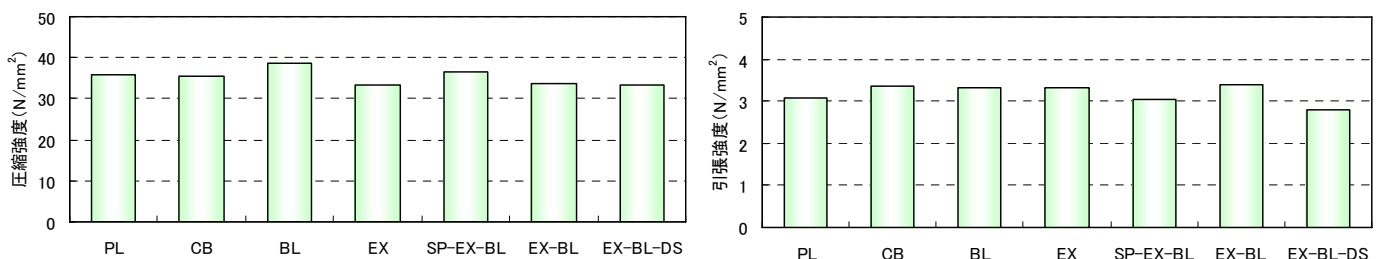


図-2 コンクリートの圧縮強度と引張強度

ートの膨張ひずみに影響を及ぼさないと考えられる。

3.3 拘束収縮ひび割れ試験

図-4 に試験体の中央部に貼付したゲージによるひずみを、ひずみの変化から把握したひび割れ発生材齢を図-5 に示す。ひび割れ対策を施していない PL が最もひび割れの発生は早く、材齢 8.6 日でひび割れが発生しており、使用した全てのひび割れ低減材料で一定の効果が認められている。膨張材を単独、あるいは併用で用いた試験体は全体的にひび割れ発生材齢が遅くなっており、本実験の範囲内では最もひび割れ抵抗性が高いと考えられる。膨張材と短繊維を併用した場合は、膨張材単独使用よりもひび割れ発生は遅くなっており、併用による効果が認められる。一方、膨張材、短繊維、収縮低減型高性能 AE 減水剤を併用した試験体は、材齢 182 日までひび割れが発生しておらず、ひび割れ抵抗性の高さが確認できた。

図-6 にひび割れの発生位置を示す。ひび割れは無拘束の状態である試験体中央部、すなわち拘束と無拘束の境界である端部から約 40cm の地点で予定通り最初のひび割れが発生している。1 本目のひび割れで中央部の無拘束区間はフリーになり、2 本目のひび割れは拘束区間の中央当り、端部から約 70cm の地点で発生している。また、3 本目は端部から約 20cm の地点で生じており、全ての試験体で規則的に同じ地点で生じている。

それぞれのひび割れ幅の進展を図-7 に示す。乾燥材齢が経過するほど、ひび割れ幅は進展しており、1 本目のひび割れ幅が最も大きくなっている。PL は最終的に約 0.3mm に達しており、最も大きく、使用したほとんどのひび割れ低減材料で幅の抑制効果は認められる。繊維系の CB, BL, HN は、ひび割れ発生材齢やひび割れ本数は PL と大差はないものの、HN は最大ひび割れ幅が小さくなっており、ひび割れ幅の低減効果が認められる。一方、膨張材を単独で使用した試験体はひび割れ 2 本、膨張材と短繊維を併用した試験体はひび割れ 1 本、膨張材、短繊維と収縮低減型高性能 AE 減水剤を併用した試験体はひび割れなしになっており、ひび割れ本数も少なく、最大ひび割れ幅も最も小さくなっている。また、膨張材と他の低減材料を併用することでその効果は相殺されることなく発揮され、併用効果が認められる。

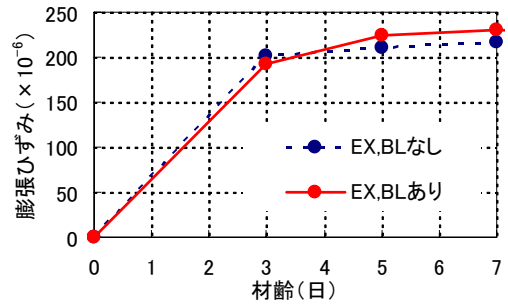


図-3 膨張コンクリートの膨張ひずみ

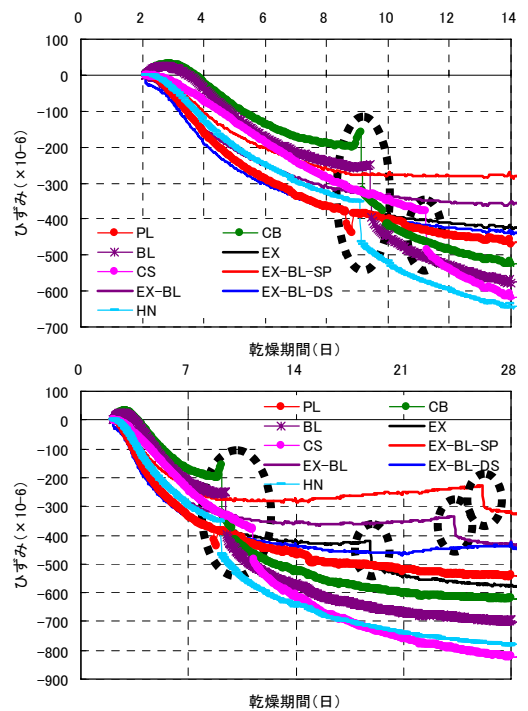


図-4 ひび割れの発生



図-5 ひび割れの発生材齢

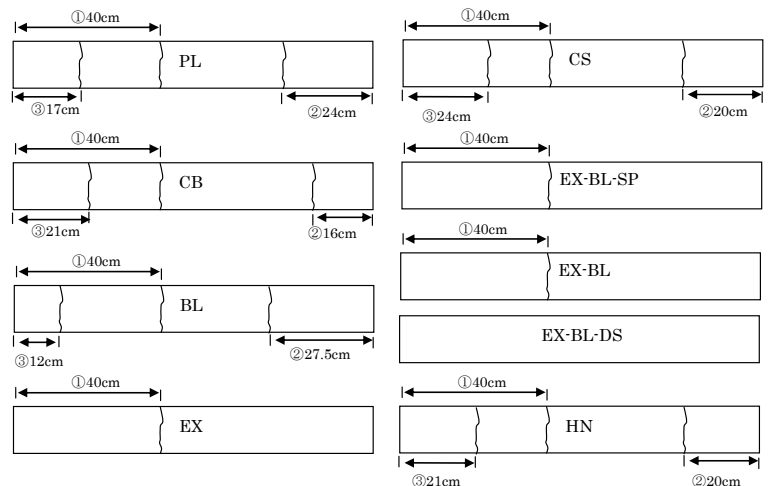


図-6 ひび割れの発生位置

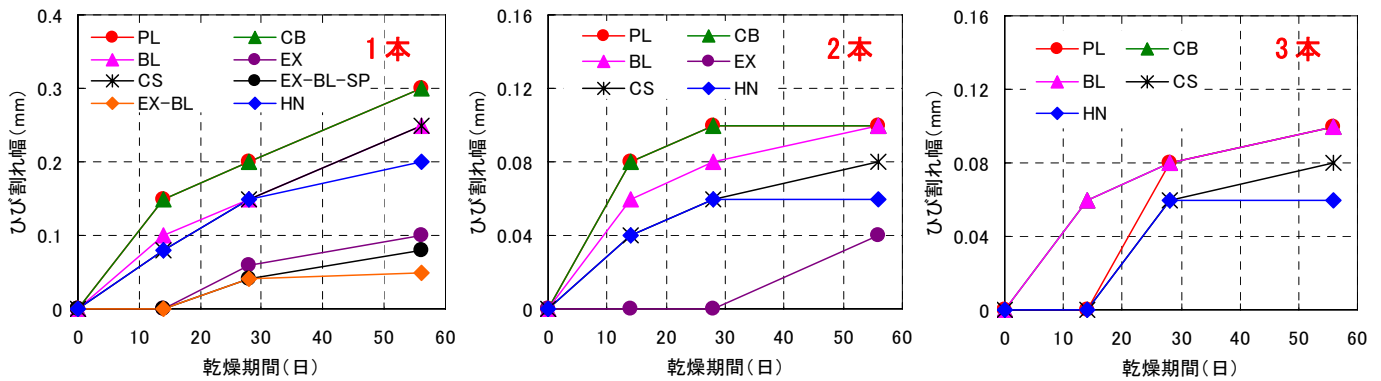


図-7 ひび割れ幅の進展

表-4 拘束収縮ひび割れ試験のまとめ

	PL	CB	BL	EX	CS	EX-BL-SP	EX-BL	EX-BL-DS	HN
ひび割れ発生材齢(日)	8.6	9.1	9.4	18.8	11.2	26.2	24.3	—	9.1
最大ひび割れ幅(mm)	0.3	0.3	0.25	0.1	0.25	0.08	0.05	—	0.2
ひび割れ本数(本)	3	3	3	2	3	1	1	—	3
ひび割れ密度 ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{mm}^2$)	0.5	0.5	0.45	0.14	0.41	0.08	0.05	0	0.32

ひび割れの低減効果を一律に評価することは難しいことであるが、本報告ではひび割れ密度を下記の式によって評価し、得られた結果を図-8 および表-4 に示す。ひび割れ調査対象面積は試験体の大きさ $100 \times 1000\text{mm}$ 、ひび割れ長さは 100mm として評価した。

$$\text{ひび割れ密度 (mm}^2\text{/mm}^2) = \frac{\sum(\text{ひび割れ幅} \times \text{ひび割れ長さ})}{\text{ひび割れ調査対象面積}}$$

本実験の範囲内で得られたひび割れ低減材料によるひび割れの低減効果を示しており、塗布タイプ収縮低減剤により約 2 割の低減、耐アルカリガラス繊維により約 3 割の低減効果が認められる。一方、膨張材が最も大きなひび割れの低減効果が期待できることが示されている。

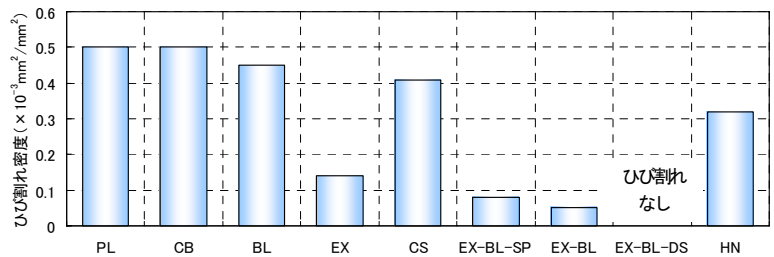


図-8 ひび割れ密度

4. まとめ

各種ひび割れ低減材料を用いた簡易的な拘束収縮ひび割れ試験を行うことで、各材料間の相対的なひび割れ低減効果を実験的に確認した。本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) ポリプロピレン短繊維の混入は、膨張コンクリートの膨張ひずみに影響を及ぼさない。
- (2) 使用した全ての材料でひび割れ低減効果が認められ、本実験の範囲内では、 $PL < \text{短繊維} < \text{塗布型収縮低減剤} < \text{耐アルカリ性ガラス繊維} < \text{膨張材}$ の順でひび割れ抵抗性が高いことが確認できた。
- (3) 膨張材と複数の材料を併用してもその効果は相殺されることなく、発揮できる。

参考文献

- 1) 杉野雄亮・竹下永造・郭度連：耐アルカリ性ガラス繊維ネットのひび割れ抑制効果に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 32，No. 1，pp. 1847-1852，2010
- 2) 小泉信一・井元晴丈・菅俣匠・太田晃：高性能 AE 減水剤（収縮低減タイプ）を使用したコンクリートの諸特性と収縮低減作用，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31，No. 1，pp. 625-630，2009
- 3) 郭度連・花田達雄・杉山彰徳：塗布タイプ収縮低減材を用いたコンクリートの性能向上，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31，No. 1，pp. 631-636，2009
- 4) 辻幸和・古川茂：鋼繊維で補強したコンクリート部材の膨張特性，土木学会論文集，第 384 号，V - 7，pp. 111-118，1987