

石灰石骨材および収縮低減材料を使用したコンクリートのひび割れ抑制評価

都 築 正 則 酒 井 正 樹
神 代 泰 道 平 田 隆 祥

Evaluation of Crack Control of Concrete using Limestone Coarse Aggregate and Shrinkage Reducing Admixtures

Masanori Tsuzuki Masaki Sakai
Yasumichi Koshiro Takayoshi Hirata

Abstract

We tested shrinkage-reducing admixtures to evaluate their control of cracks in concrete; we measured not only shrinkage but also the crack-generation time and the crack number of the concrete. The results, showed that using limestone coarse aggregate and these admixtures, reduced the shrinkage strain of concrete. For a uniaxial restraint specimen, the crack-generation time of concrete, when using limestone coarse aggregate and these admixtures, was more than the time of concrete without these materials. For the restraint specimen of the portal frame, which had actual-scale reinforcing steel inside, the crack number of concrete using limestone coarse aggregate and expansive additive was less than that using sandstone coarse aggregates. This showed that crack control using limestone coarse aggregate and these admixtures can be evaluated according to the crack-generation time and crack number.

概 要

乾燥収縮ひずみを低減する石灰石骨材、収縮低減材料(膨張材および収縮低減剤)を使用したコンクリートの需要が高まる中、それら材料がもつひび割れ抑制評価手法が望まれている。本報告では、それら材料がもつひび割れ抑制効果を、収縮ひずみの値だけでなく、ひび割れ発生時期およびひび割れ発生本数に着目し、比較試験にて評価した。結果、石灰石骨材および収縮低減材料を使用したコンクリートは、収縮ひずみが小さくなり、一軸ひび割れ拘束試験体において、それらの材料を使用しないものより、ひび割れ発生時期は遅くなった。また、実大鉄筋を内部に配置した門形フレーム拘束試験体において、ひび割れ発生本数は少なくなった。このことから、石灰石骨材および収縮低減材料のひび割れ抑制効果を、これら試験体のひび割れ発生時期およびひび割れ本数にて評価できることが分かった。

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮ひび割れの対策として、設計や施工では、適切なひび割れ誘発目地の設置や、材齢初期におけるコンクリートの十分な養生等が重要となる。

また、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009」¹⁾に、長期、超長期供用コンクリートの乾燥収縮ひずみの規定値(8×10^{-4} 以下)が記述され、近年、収縮低減したコンクリートを使用する機会が増加している。乾燥収縮ひずみを低減するには、粗骨材として石灰石骨材を使用すること²⁾や、混和材料として膨張材および収縮低減剤を使用すること^{3), 4)}が挙げられる。(ここでは、膨張材や収縮低減剤を合わせて「収縮低減材料」と定義する。)

これら石灰石骨材や収縮低減材料が持つひび割れ抑制効果を評価するには、乾燥収縮ひずみの値だけではなく、収縮ひび割れが発生する試験で評価すること^{例えば5)}が、直接的で望ましいと考える。

本報告では、石灰石骨材や収縮低減材料を使用したコンクリートを対象として、収縮ひずみの値だけでなく、2種類の拘束ひび割れ試験を行い、材料が持つひび割れ抑制効果を評価出来るか検討した。試験は、シリーズ1とシリーズ2として、シリーズ1の試験では、各種粗骨材および収縮低減材料を使用したコンクリートを対象に、一軸拘束試験体を用いてひび割れ発生時期の比較を行った。シリーズ2では、石灰石骨材および膨張材を使用したレディーミクストコンクリートを対象に、実寸大レベルの鉄筋を内部に配置した拘束試験体を用いて、ひび割れ本数を比較した。

2. 一軸拘束ひび割れ試験体を用いたひび割れ発生時期の比較検討(シリーズ1)

2.1 試験概要

2.1.1 使用材料および調査 使用材料をTable 1に示す。セメント(C)には普通ポルトランドセメント、細骨材

Table 1 使用材料
Properties of Material

C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³
S	山砂, 表乾密度: 2.62g/cm ³
G	L 石灰石砕石, 表乾密度: 2.70g/cm ³
	SA 硬質砂岩砕石, 表乾密度: 2.66g/cm ³
	SB 硬質砂岩砕石, 表乾密度: 2.63g/cm ³
	SC 硬質砂岩砕石, 表乾密度: 2.71g/cm ³
	TA 安山岩砕石, 表乾密度: 2.61g/cm ³
	TB 安山岩砕石, 表乾密度: 2.60g/cm ³
EX	低添加型石灰系膨張材, 密度: 3.16g/cm ³
SR	収縮低減剤, 主成分: 低級アルコールのアルキレンオキッド付加物, 単位水量の一部として使用。密度: 1.00~1.03g/cm ³

Table 2 調査表
Mixture Proportions

調査記号	W/B (%)	単位使用量(kg/m ³)					S	G※2	備考
		W ^{※1}	SR	C	EX				
L55	55	178	-	324	-	827		961	収縮低減材料なし
SA55								947	
SB55								936	
SC55								965	
TA55								930	
TB55								926	
L40	40	178	-	445	-	734		961	収縮低減材料あり
SA40								947	
SB40								936	
L65	65	178	-	274	-	875		961	収縮低減材料あり
SA65								947	
SB65								936	
EX10	55	178	-	314	10	827	947		収縮低減材料あり
EX20			-	304	20				
SR6			6	324	-				
EX10+SR3			3	314	10				

※1: Wは収縮低減剤の量を除いた水量の意。
 ※2: 粗骨材は、調査記号のアルファベットの文字の粗骨材を使用している。
 (例えば: 「SA55」の場合、粗骨材(G)は「SA」を使用。)
 また、「収縮低減材料あり」の調査の粗骨材は全て、「SA」を使用。

(S)には山砂, 粗骨材(G)には、それぞれ産地の異なる石灰石砕石を1種類, 硬質砂岩砕石を3種類, 安山岩砕石を2種類使用した。収縮低減材料には、低添加型の石灰系膨張材(EX)および、主成分が低級アルキレンオキッド付加物の収縮低減剤(SR)を使用した。

コンクリートの調査をTable 2に示す。空気量は4.5±1.5%, スランプは18±2.5cmを目標値とした。石灰石砕石Lおよび硬質砂岩砕石SA, SBを用いるものは、水結合材比(以下W/B)を40%, 55%, 65%とし、その他の骨材は、W/B=55%のみとした。単位水量は178kg/m³, 単位粗骨材容積は3560 /m³に一定とした。収縮低減材料を使用する調査に関しては、W/B=55%かつ粗骨材に硬質砂岩砕石SAを使用するコンクリートとし、収縮低減材料の効果を比較した。膨張材はセメントの重量置換とし、メーカー推奨量である20kg/m³およびその半分の10kg/m³について比較した。収縮低減剤は水の重量置換とし、6kg/m³を使用した。膨張材と収縮低減剤を併用する調査では、それぞれの使用量を10kg/m³および3kg/m³とした。調査名は、収縮低減材料を使用しないものは、使用粗骨材の記号およ

Table 3 測定項目および測定方法
Measurement Item and Method

測定項目	測定方法	備考
脱型時からの収縮ひずみ	JIS A 1129-2 長さ変化率試験	寸法: 100×100×400mm 養生方法: 養生S7D※, 打設翌日の脱型時を基準(0点)とする。
ひび割れ発生時期	JIS A 1151 一軸拘束ひび割れ試験	形状: Fig.1を参照。 養生方法: S7D(ただし、側面型枠の脱型は材齢7日に実施し、その後気中乾燥。)

※養生S7D: 打設翌日で脱型後、封かん養生を行い、材齢7日以降乾燥開始

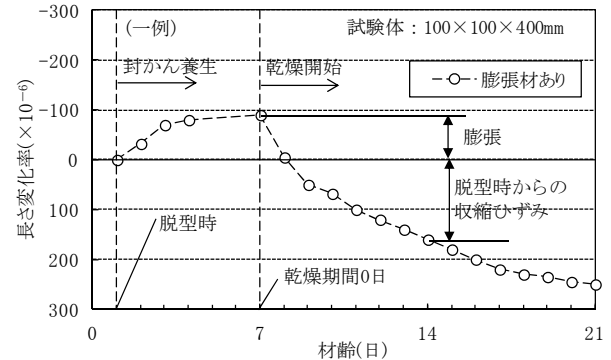


Fig. 1 脱型時からの収縮ひずみ(一例)
Schematic of Shrinkage Strain from Demolding Time

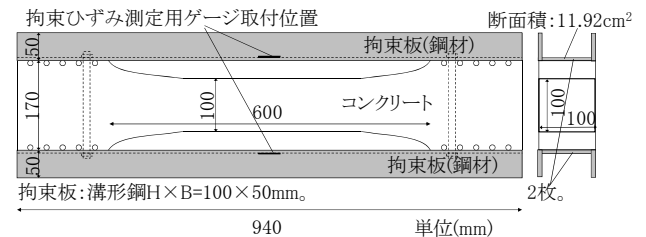


Fig. 2 一軸拘束ひび割れ試験体形状
Schematic of Uniaxial Restraint Specimen

びW/Bの値の組み合わせとし、収縮低減材料を使用するものは、使用した収縮低減材料の記号およびその使用量(kg/m³)の値を付記した。練混ぜは、容量100Lの室内試験用ミキサで行った。

2.1.2 測定項目および方法 測定項目および方法をTable 3に示す。測定項目は、基礎性状としてフレッシュ性状および標準水中養生における圧縮強度・割裂引張強度の他、脱型時からの収縮ひずみおよびひび割れ発生時期とした。

脱型時からの収縮ひずみの一例をFig. 1に示す。収縮ひずみ測定用の試験体は、打設翌日の脱型後封かん養生を行い、材齢7日から気中乾燥(以下、養生S7Dと称す)を開始した。通常、コンクリートの乾燥収縮ひずみの値は、材齢1週までの標準水中養生後に基長を測定し、乾燥期間6ヶ月後の長さ変化率としている。ここでは、膨張材による材齢1週までの膨張量および、W/Bの違いによる自己収縮ひずみの影響も考慮するため、脱型時を基長とし、材齢1週までの長さ変化も加味した収縮ひずみ(以下、脱型

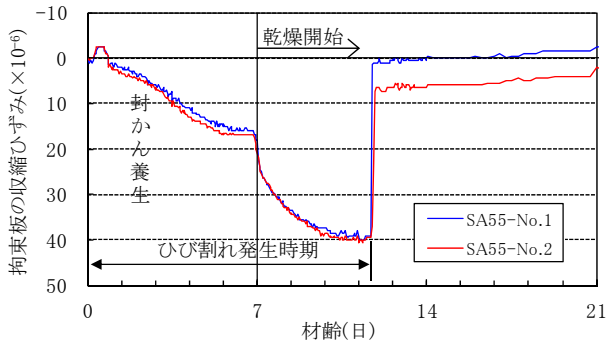


Fig. 3 一軸拘束ひび割れ試験の例
Result of Uniaxial Restraint Test

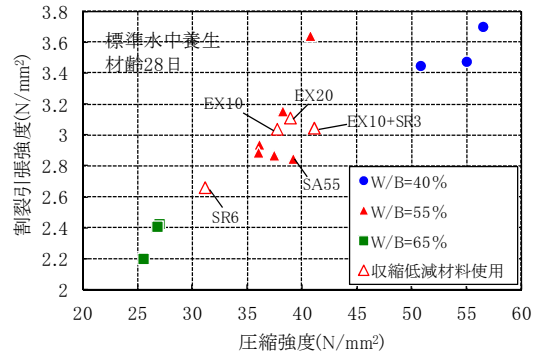


Fig. 4 圧縮強度と割裂引張強度
Relation of Compressive Strength and
Splitting Tensile Strength

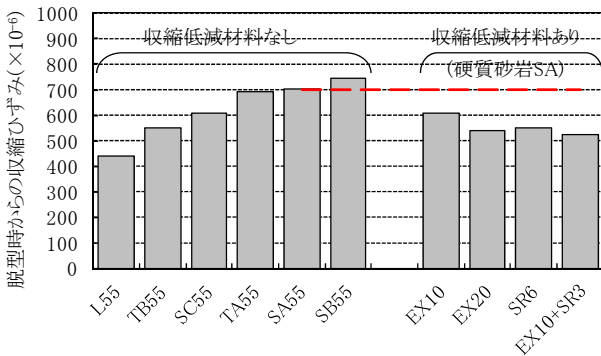
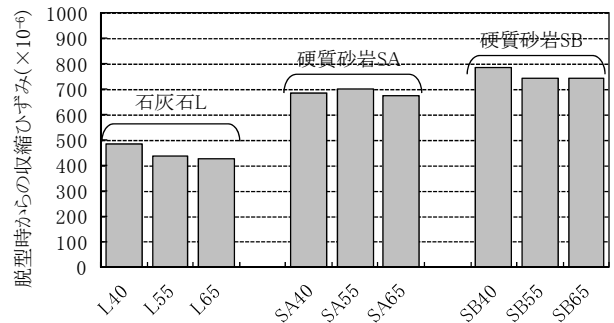


Fig. 5 脱型時からの収縮ひずみ(乾燥期間182日)
Shrinkage Strain from Demolding Time (Drying Age: 182 Days)



時からの収縮ひずみと称す。)で比較した。材齢1週まで封かん養生とした理由は、一軸拘束ひび割れ試験と同一条件にするためである。

Fig. 2に、ひび割れ発生時期測定用の一軸拘束ひび割れ試験体の形状を示す。1調査につき2体とし、JIS A 1151「拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法」に準じた形状の試験体を使用した。試験体の養生方法は養生S7Dとした。拘束板は、JISでは $7.27\text{cm}^2 \times 2$ 枚(コンクリート断面積に対する鋼材比:14.5%)としているが、本試験では、 $11.92\text{cm}^2 \times 2$ 枚(鋼材比:23.8%)とJISのものより拘束板の断面積を大きくし、早期にひび割れを発生させるようにした。この理由は、収縮低減材料を使用した場合、ひび割れ発生時期が大幅に遅れたり、ひび割れが発生しないことがあり、各調合のひび割れ発生時期の相対的な比較を困難にすることが懸念されたためである。拘束板の中央には、歪ゲージを貼り付け、打設直後から拘束板のひずみを測定した。Fig. 3に示すように、拘束板のひずみは、乾燥開始後から急激に大きくなる。ひび割れ発生時期は、このひずみがひび割れにより開放された時期である。封かん養生および気中乾燥を行う環境は、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $60\% \pm 5\% \text{RH}$ の恒温恒湿室内とした。

2.2 試験結果

2.2.1 コンクリートの基礎性状 フレッシュ性状は目標値に概ね収まる結果となった。標準水中養生にお

る材齢28日の圧縮強度と割裂引張強度の関係をFig.4に示す。W/B=40%、55%、65%で、圧縮強度は $25 \sim 57\text{N/mm}^2$ 程度、割裂引張強度は $2.2 \sim 3.8\text{N/mm}^2$ 程度の範囲に収まる結果となった。W/Bが小さくなるほど、強度は大きくなった。W/B=55%の粗骨材種類による強度差は、 5N/mm^2 程度であり、収縮低減材料の影響としては、調査「SR6」が 31N/mm^2 と「SA55」と比較して、 8N/mm^2 程度強度が低下した。それ以外は「SA55」と同程度の強度であった。

2.2.2 脱型時からの収縮ひずみ 乾燥期間182日(6ヶ月)における長さ変化率試験体の、脱型時からの収縮ひずみ($10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 、3試験体の平均値)をFig. 5に示す。左側の図における「収縮低減材料なし(W/B=55%)」のコンクリートは、収縮ひずみは $450 \sim 750 \times 10^{-6}$ 程度を示し、粗骨材の違いにより約 300×10^{-6} 程度、異なる結果となった。石灰石砕石を使用した「L55」の収縮ひずみが小さく、硬質砂岩砕石SBを使用した「SB55」が大きくなった。左側の図における「収縮低減材料あり」のコンクリートでは、未使用の「SA55」に比べてどの試験体も収縮ひずみが低減された。「EX10」では 90×10^{-6} 程度、その他材料では $150 \sim 180 \times 10^{-6}$ 程度の収縮ひずみが低減され、低減効果が一番大きなものは「EX10+SR3」であった。膨張材の使用量増大、または収縮低減剤との併用により、収縮ひずみがさらに低減されることが確認出来た。

右側の図より、W/Bの影響をみると、石灰石砕石Lを使用したものは、W/Bが大きくなるにつれ収縮ひずみが大

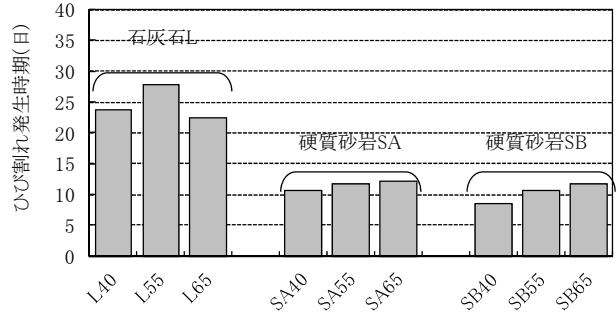
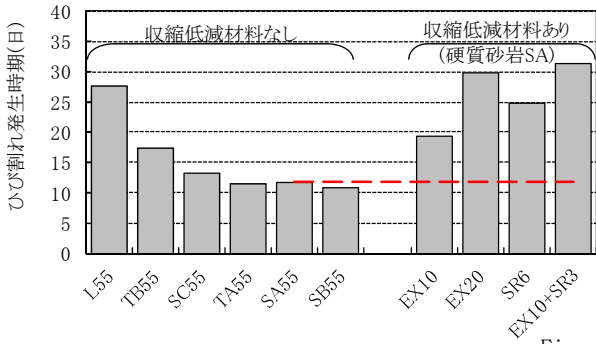


Fig. 6 ひび割れ発生時期
Crack-generation Time

きくなることを確認出来るが、硬質砂岩SAおよびSBを使用したものは、W/Bによらず同程度であった。本試験範囲内では、収縮ひずみにおよぼす影響として、W/Bよりも使用している粗骨材のほうが大きい結果となった。

2.2.3 ひび割れ発生時期 一軸拘束試験体における各試験体のひび割れ発生時期(2試験体の平均値)を、Fig. 6に示す。2試験体のひび割れ発生時期は、ひび割れ発生時期が遅れるほどばらつき、石灰石砕石Lを用いたもの、「EX20」、「EX10+SR6」において、5~10日程度であった。本試験内では調合の影響をみるため、以降は、2試験体の平均値に対しての見解とする。左側の図における「収縮低減材料なし(W/B=55%)」のコンクリートにおいて、使用粗骨材が異なること、ひび割れ発生時期が異なり、その発生材齢は11~28日程度であった。石灰石砕石Lを使用した「L55」のひび割れ発生は、硬質砂岩砕石SAを使用した「SA55」に比べ10日以上遅れる結果となった。

左側の図における「収縮低減材料あり」のコンクリートでは、収縮低減材料を使用しない「SA55」と比較して、ひび割れ発生時期が2倍以上と遅くなり、「EX10」<「SR6」<「EX10+SR3」≒「EX20」の順にひび割れ発生が遅れた。

また、右側の図より、W/Bの値とひび割れ発生時期との関係性は確認できなかった。このことから、脱型時からの収縮ひずみ同様、ひび割れ発生時期においても、W/Bよりも使用粗骨材の影響が大きいことを確認した。

各試験体のひび割れ発生時期と脱型時からの収縮ひずみの関係をFig. 7に示す。全体として、収縮ひずみが小さいほど、ひび割れ発生材齢が大きくなる傾向を示した。ただし、収縮低減材料を使用した「EX20」および「EX10+SR3」は、石灰石砕石Lを使用したコンクリートよりも脱型時からの収縮ひずみが大きい、ひび割れ発生が遅れる結果となった。本試験における一軸拘束条件下では、膨張材の混入が石灰石砕石使用よりもひび割れの発生を遅らせる効果が高いことが分かった。

3. 実大配筋拘束試験体を用いたひび割れ本数の比較検討 (シリーズ2)

3.1 試験概要

3.1.1 使用材料および調合 使用材料をTable 4に示

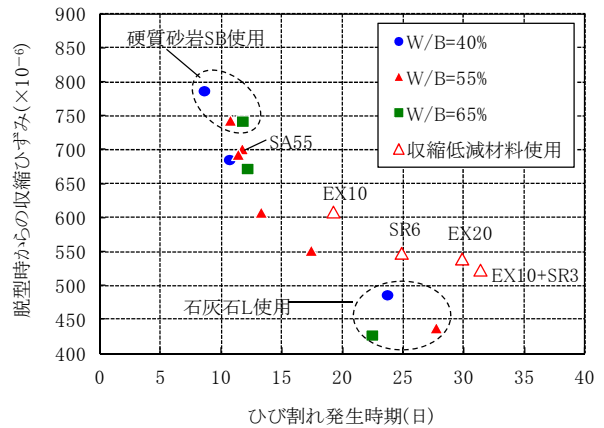


Fig. 7 脱型時からの収縮ひずみとひび割れ発生時期
Relation of Shrinkage Strain and Crack-generation Time

Table 4 使用材料
Properties of Material

工場	記号	仕様
共通	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³
A工場	EX	低添加型石灰系膨張材, 密度: 3.16g/cm ³
	S	S1 硬質砂岩砕砂, 表乾密度: 2.63g/cm ³
		S2 山砂, 表乾密度: 2.60g/cm ³
		S3 石灰石砕砂, 表乾密度: 2.67g/cm ³
G	G1 硬質砂岩砕石, 表乾密度: 2.66g/cm ³	
B工場	S	S4 石灰石砕砂, 表乾密度: 2.66g/cm ³
		S5 山砂, 表乾密度: 2.59g/cm ³
	G	G2 石灰石砕石, 表乾密度: 2.70g/cm ³
		G3 石灰石砕石, 表乾密度: 2.70g/cm ³

Table 5 調合表
Mixture Proportions

工場	調合記号	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	B		S			G
				C	EX	S1	S2	S3	
A工場	SG 2SG	60.1	182	303	—	S1 450	S2 180	S3 270	G1 894
	SGEX 2SGEX	60.1	182	283	20	S4 450	S5 180	G2 270	G3 894
B工場	LG 2LG	58.0	180	311	—	S4 622	S5 262	G2 462	G3 462

SG, SGEX, LGは3月打設, 2SG, 2SGEX, 2LGは4月打設(調合は同一)

Table 6 測定項目および測定方法
Measurement Item and Method

測定項目	測定方法	備考
脱型時からの収縮ひずみ	シリーズ1と同様 (Table 3を参照)	
ひび割れ発生時期	シリーズ1と同様 (Table 3を参照)	
ひび割れ本数, ひび割れ幅	門形フレーム拘束試験体。目視およびコンタクトゲージ法による長さ変化の測定	形状: Fig.6を参照。 養生方法: 材齢7日に脱型, 以降気中乾燥

す。ここでは、収縮ひずみの異なるレディーミクストコンクリートを対象とした。硬質砂岩砕石を使用している工場(A工場)および石灰石砕石を使用している工場(B工場)を選定した。セメント(C)には普通ポルトランドセメント、細骨材(S)および粗骨材(G)には、各工場が通常使用しているものを使用した。A工場では、膨張材の影響をみるため、低添加型の石灰系膨張材(EX)を使用した。

調査表をTable 5に示す。使用するコンクリートは床スラブ等で使われる一般的な強度の「呼び強度24」のコンクリートとした。A工場およびB工場において、W/Bはそれぞれ60.1%および58.0%であり、単位水量は182kg/m³および180kg/m³である。膨張材の使用量は、セメントの重量置換でメーカー推奨量である20kg/m³とした。目標空気量は4.5±1.5%、目標スランブは18±2.5cmとした。

3.1.2 測定項目および方法 測定項目および方法をTable 6に示す。シリーズ2では、実寸大レベルの鉄筋を内部に配置したコンクリート試験体(以下、門形フレーム試験体)を対象として、ひび割れ本数およびひび割れ幅を測定した。また、シリーズ1同様、圧縮強度、脱型時からの収縮ひずみおよび一軸拘束ひび割れ試験によるひび割れ発生時期を測定した。門形フレーム試験体の概要をFig.8に示す。形状は、武田らの報告⁶⁾によるものを模擬し、試験体の鉄筋比は報告中にある通常の壁部材と同程度の0.63%に合わせた。試験体の拘束には水平フレーム(H型鋼250×250×9×14mm、断面積92.2cm²)と鉛直フレーム(水平フレームのH型鋼と同一)を使用し、これらをボルトによって緊結するよう「日型」に組み立てた後、ひび割れ観察を行う試験体(長さ=2.5m)と一体となるよう柱内のコンクリートも同時に打設した。この時、コンクリート断面積に対する鋼材比は、 $92.2 \times 2 \div 450 = 41\%$ であり、本試験体の拘束は一軸拘束ひび割れ試験よりも大きい。試験体は1調査につき上下の2体とし、上部試験体の打設は、下部試験体打設から約1ヶ月後とした。

ひび割れの測定方法は、クラックスケールを用いた目視によるひび割れスケッチおよび、試験体片面にコンタクトゲージを貼付けひび割れを含む長さ変化を測定した。測定長さは、10cm間隔で、2.3mとし、長さ変化の基準となる基長測定は、材齢7日の脱型日を基準とした。

全試験体の作製および養生は、外気温の変動を受けない20±2℃、60±5%RHの恒温恒湿室内で実施した。

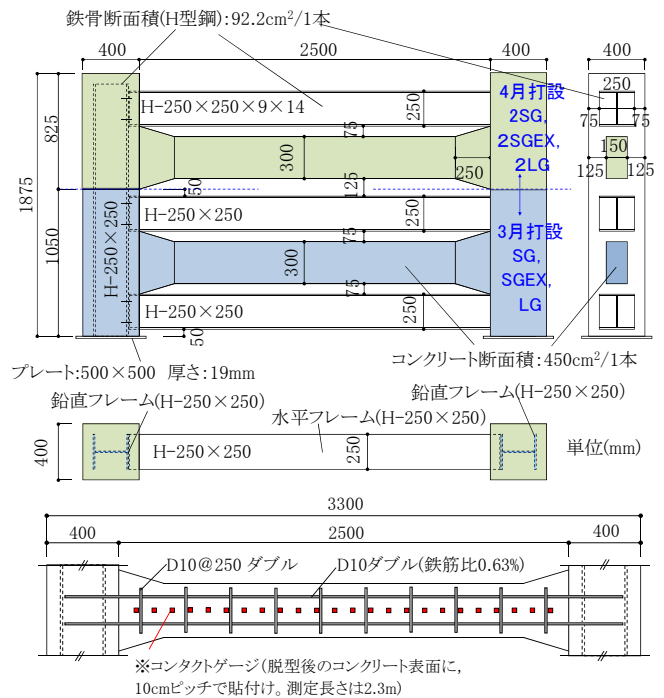


Fig. 8 門形フレーム拘束試験体の形状
Schematic of Restraint Specimen of Portal Frame

Table 7 フレッシュ性状及び圧縮強度
Fresh Properties and Compressive Strength

打設日	調査	フレッシュ性状			圧縮強度 (N/mm ²)		
		CT (°C)	スランブ (cm)	Air (%)	標準水中養生		
					材齢(日)		
					28	91	182
3月中旬	SG	12.0	19.0	5.5	33.0	36.5	37.6
	SGEX	15.7	18.5	4.0	31.0	36.1	38.0
	LG	14.8	19.0	3.5	35.5	41.8	43.6
4月中旬	2SG	15.7	20.5	4.6	30.2	33.3	35.7
	2SGEX	18.6	20.5	4.0	27.6	31.4	33.7
	2LG	19.7	19.5	4.0	39.4	44.7	46.3

3.2 実験結果

3.2.1 基礎性状 コンクリートの基礎性状として、フレッシュ性状および標準水中養生の圧縮強度試験結果をTable 7に示す。空気量およびスランブは目標値を全て満足した。圧縮強度は、SGシリーズおよびSGEXシリーズが材齢28日で30N/mm²前後の強度に対し、LGシリーズは35~40N/mm²程度と強度が高い結果となった。これは、同じ呼び強度でも、工場によりW/B比の設定値が異なり、LGのW/Bが他2調査に比べて小さいためと考える。

3.2.2 脱型時からの収縮ひずみ シリーズ1同様、養生S7Dにおける脱型時を基準とした収縮ひずみ(2試験体の平均値)をFig. 9に示す。硬質砂岩を使用したコンクリートSGシリーズは 800×10^{-6} 前後、膨張材を使用したコンクリートSGEXシリーズは、 650×10^{-6} 前後、石灰石砕石を使用したLGシリーズは、 500×10^{-6} 前後を示した。

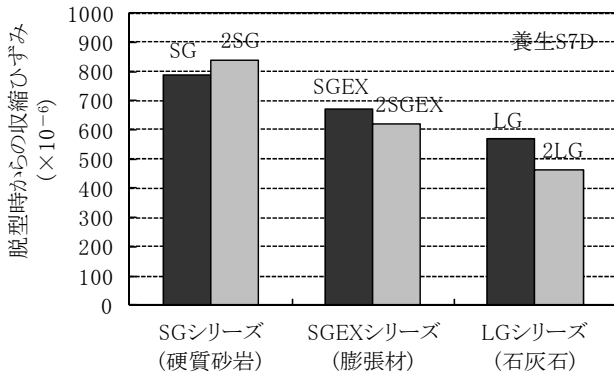


Fig. 9 脱型時からの収縮ひずみ (乾燥期間189日)
Shrinkage Strain from Demolding Time (Drying Age:189 Days)

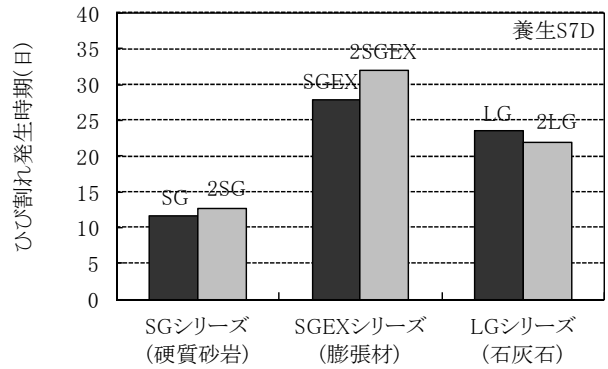


Fig. 10 ひび割れ発生時期
Crack-generation Time

本試験内では膨張材の使用により約 150×10^{-6} の収縮を低減する結果となった。また、石灰石砕石を使用したコンクリートは硬質砂岩のものより収縮が小さく、骨材の産地は異なるがシリーズ1と同様の傾向が認められた。

3.2.3 ひび割れ発生時期 一軸拘束ひび割れ試験体における各試験体のひび割れ発生時期(2試験体の平均値)を、Fig. 10に示す。図によると、同じ調合のひび割れ発生時期は、打設日によらず、ほぼ同程度の値を示す結果となった。ひび割れ発生時期は、SGシリーズでは12日前後、SGEXシリーズでは30日前後、LGシリーズでは20日前後であった。また、収縮ひずみが一番小さいLGシリーズよりも膨張材を使用したSGEXシリーズは、ひび割れ発生が遅れる結果となり、シリーズ1同様、本試験範囲内では、石灰石砕石使用よりも膨張材使用がひび割れ発生を遅らせる効果が高いことが分かった。

3.2.4 ひび割れ本数 門形フレーム拘束試験体で発生したひび割れの幅の経時変化をFig. 11に示す。ひび割れ部以外のコンタクトゲージ間の長さ変化は、概ね $0.05 \sim 0$ mm以内であり、図に示した以外の範囲では貫通ひび割れは発生していないと考えられる。 0.05 mm以上の長さ変化を生じた時点、貫通ひび割れ発生時期と仮定すると、1本目のひび割れが発生する時期は、SGシリーズとLGシリーズが、材齢30日以内とほぼ同じであった。膨張材を使用したSGEXシリーズは45~90日以内であった。2本目以降のひび割れは、概ね、SGシリーズ、LGシリーズ、SGEXシリーズの順で発生する傾向が見られた。

材齢180日程度における門形フレーム試験体のひび割れ状況をFig. 12に示す。図には、コンタクトゲージによる長さ変化から、貫通ひび割れと推定したものを太線で示し、その値をひび割れ幅として記載した。2SG(上段の試験体)においては、柱部材との境界である両端に 0.1 mm以上のひび割れが、目視により確認されたため、クラックスケールでの読み値を併記している。また、確認できる 0.05 mm未満のひび割れ(以下、ヘアークラック)は細線で示した。貫通ひび割れは、同調合においてひび割れ本数のバラツキが上段・下段で見られるものの、 0.05 未満のヘアークラックも含むひび割れ本数としては、SGシリ

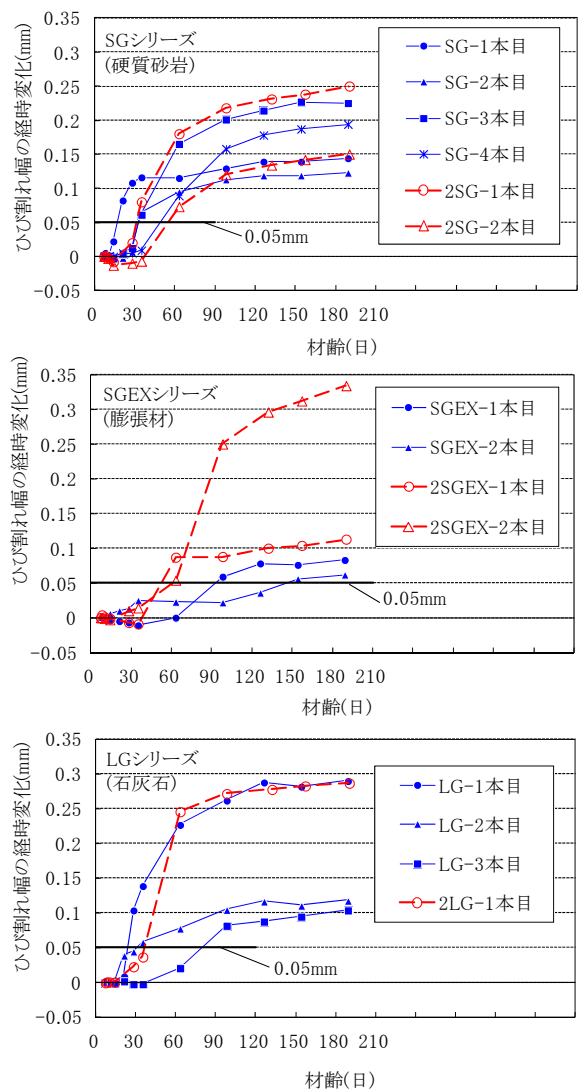


Fig. 11 ひび割れ幅の変化
Length Change of Crack Width

ーズ>LGシリーズ>SGEXシリーズの順であった。特に膨張材を使用したコンクリートであるSGEXシリーズは、SGシリーズと比較するとひび割れを大きく低減することが出来た。また、LGシリーズおよびSGEXシリーズに

において、ひび割れ本数が低減された一方、ひび割れ幅が0.3mm程度と比較的大きいひび割れが確認された。

また、石灰石砕石を使用したLGシリーズは、膨張材を使用したSGEXシリーズと貫通ひび割れ本数はほぼ同等であるものの、ヘアークラックの量が多いことが確認された。本試験内では、脱型時からの収縮ひずみが一番小さい石灰石砕石を使用したLGシリーズよりも、膨張材を使用したEXシリーズのほうが貫通ひび割れ発生時期が遅くなり、ひび割れ本数は小さい傾向を示した。

このことから、本試験内のように、コンクリートの拘束条件が大きい一軸拘束試験体の場合、膨張材のひび割れ本数は、石灰石砕石よりも大きいことを確認した。

4. まとめ

乾燥収縮ひずみを低減する石灰石骨材、収縮低減材料(膨張材および収縮低減剤)を使用したコンクリートについて、ひび割れ発生時期およびひび割れ本数の測定を行い、結果、本試験範囲内で以下のことを確認した。

- 石灰石砕石および収縮低減材料を使用したコンクリートは、硬質砂岩砕石を使用したものに比べ、脱型時からの収縮ひずみは小さくなり、一軸拘束ひび割れ試験体における、ひび割れ発生時期は遅くなった。
- 実大鉄筋を内部に配置した門形フレーム拘束試験体において、石灰石骨材または膨張材を使用したコンクリートのひび割れ本数は、硬質砂岩砕石を使用したものに比べ少なくなった。
- 石灰石骨材および収縮低減材料のひび割れ抑制効果は、一軸拘束ひび割れ試験体のひび割れ発生時期および門形フレーム試験体のひび割れ本数にて評価できる。

本試験範囲内の拘束条件下に限れば、収縮ひずみが一番小さい石灰石骨材を使用したコンクリートに比べ、膨張材を使用したものはひび割れ発生時期が遅くなり、ひび割れ本数も少なかった。このことから、コンクリートの拘束条件が大きい場合、膨張材のひび割れ抑制効果のほうが、石灰石骨材よりも大きいことが分かった。

このことから、一軸拘束ひび割れ試験体におけるひび割れ発生時期と、実大鉄筋を内部に配置した門形フレーム試験体におけるひび割れ本数には、関係性が認められ、今後のデータの蓄積に伴い、門形フレーム試験体を使用しなくても、収縮低減材料のひび割れ抑制効果は、一軸拘束ひび割れ試験体のひび割れ発生時期で確認することが可能と考える。

参考文献

- 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説5 鉄筋コンクリート工事，pp.185-190，(2009)

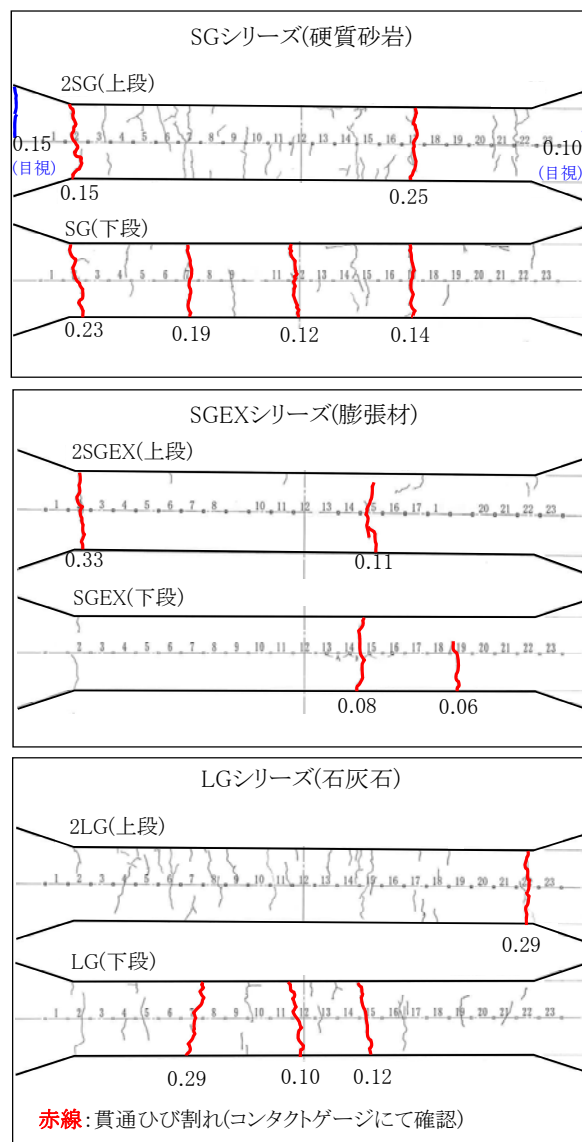


Fig.12 ひび割れ発生状況(門形フレーム試験体)
Sketch of Cracking
(on Restraint Specimen of Portal Frame)

- 大塩明，他：石灰石砕石骨材を用いたコンクリートの基礎的諸物性，セメント技術年報，No.41，pp.106-109，(1987)
- 富田六郎：超低収縮コンクリート，コンクリート工学，Vol.32，No.7，pp.105-109，(1994)
- 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，pp.119-123，(2006)
- 三谷裕二，他：膨張コンクリートの収縮ひび割れ性状に関する検討，高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会報告書，pp.439-444，(2011)
- 武田寿一，他：鉄筋コンクリート外壁のひび割れに関する研究(その1)，乾燥収縮拘束ひびわれ実験，大林組技術研究所報，No.36，(1986)