

# 論文 粗骨材種類および収縮低減材料の異なるコンクリートにおける拘束ひび割れ試験

都築 正則<sup>\*1</sup>・酒井 正樹<sup>\*1</sup>・一瀬 賢一<sup>\*2</sup>・平田 隆祥<sup>\*2</sup>

要旨：粗骨材種類，収縮低減材料種類の異なる W/B=40 ~ 65% のコンクリートに対して，各種力学的性質の測定，長さ変化率試験および JIS A 1151 における拘束ひび割れ試験結果を行った結果，石灰石および収縮低減材料を使用したコンクリートは，脱型時からの収縮ひずみは小さくなり，ひび割れ発生材齢は大きくなった。また，収縮低減材料を使用したコンクリートは，使用しないものに比べ，ひび割れ発生時の割裂引張強度に対する拘束板による応力の割合が大きくなり，引張応力に対する抵抗性が増大した。

キーワード：ひび割れ，乾燥収縮，膨張材，収縮低減剤，石灰石骨材

## 1. はじめに

コンクリートのひび割れは，建物の耐久性および美観を損なうものとして，古くからその対策が講じられている。中でもコンクリートの乾燥収縮ひび割れに対する対策は，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，設計および施工段階において重要となるが，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 ( $8 \times 10^{-4}$  以下) が JASS 5-2009<sup>1)</sup> にて記述され，近年，材料選定の段階から要求事項が強まっている。このような中，乾燥収縮ひずみを低減するとされる石灰石骨材<sup>2)</sup>，膨張材および収縮低減剤等<sup>3)</sup>を使用したコンクリートの需要が高まる一方，それらコンクリートの乾燥収縮ひずみの値だけでなく，ひび割れ抑制評価手法の検討が望まれている。

本報告では，コンクリートの乾燥収縮ひずみとひび割れを繋げる材料評価試験の一つである JIS A 1151 の「拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験」に着目し<sup>4)</sup>，各種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発生材齢，および試験体のひずみから算出される応力の比較を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および調合

使用材料を表 - 1 に示す。セメント (C) は普通ポルトランドセメント，細骨材 (S) は山砂，粗骨材 (G) は石灰石碎石を 1 種類，産地の異なる硬質砂岩碎石を 3 種類，安山岩を 2 種類使用した。収縮低減材料は，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シド付加物の収縮低減剤 (SR) を使用した。

調合表を表 - 2 に示す。石灰石碎石 L および硬質砂岩碎石 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  $178 \text{ kg/m}^3$ ，単位粗骨材容積は  $356 \text{ L/m}^3$  に一定とした。収縮低減材料を使用する調合に関しては，W/B=55% かつ粗骨材に硬質砂岩碎石 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  $20 \text{ kg/m}^3$  およびその半分の  $10 \text{ kg/m}^3$  について比較した。収縮低減剤は水の重量置換とし， $6 \text{ kg/m}^3$  使用した。膨張材と

表 - 1 使用材料

C	普通ポルトランドセメント，密度： $3.16 \text{ g/cm}^3$
S	山砂，表乾密度： $2.62 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $1.76\%$
G	L 石灰石碎石 L，表乾密度： $2.70 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $0.45\%$
	SA 硬質砂岩碎石 SA，表乾密度： $2.66 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $0.66\%$
	SB 硬質砂岩碎石 SB，表乾密度： $2.63 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $1.27\%$
	SC 硬質砂岩碎石 SC，表乾密度： $2.71 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $0.66\%$
	TA 安山岩碎石 TA，表乾密度： $2.61 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $2.06\%$
	TB 安山岩碎石 TB，表乾密度： $2.60 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率： $2.47\%$
EX	低添加型石灰系膨張材，密度 $3.16 \text{ g/cm}^3$
SR	収縮低減剤，主成分：低級アルキレンオキシド付加物，単位水量の一部として使用。

表 - 2 調合表

調合記号	W/B (%)	単位使用量 ( $\text{kg/m}^3$ )					備考
		W'	SR	C	EX	S	
L55	55	178	-	324	-	827	961
SA55							947
SB55							936
SC55							965
TA55							930
TB55							926
L40	40	178	-	445	-	734	961
SA40							947
SB40							936
L65							65
SA65	947						
SB65	936						
EX10	55	178	-	314	10	827	
EX20			-	304	20		
SR6			6	324	-		
EX10+SR3			3	314	10		
			175	3	314		10

\*粗骨材は，調合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」の調合の粗骨材は全て，GSA を使用。

\*1 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 工修 (正会員)

\*2 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部 工博 (正会員)

収縮低減剤を併用する調合では、各使用量を 10kg/m<sup>3</sup> と 3kg/m<sup>3</sup> とした。調合名は、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び W/B の数値とし、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、その使用量の組み合わせとした。目標空気量は 4.5 ± 1.5%、目標スランプは 18 ± 2.5cm とした。

## 2.2 試験項目

試験項目を表 - 3 に、試験体の養生方法を表 - 4 に示す。各 JIS に準じる圧縮強度、最大圧縮応力の 1/3 静弾性係数および割裂引張強度試験用の試験体（試験体寸法：100mm × 200mm）の養生方法は、封かん養生（養生 SC）および、材齢 1 週まで封かん養生の後、気中乾燥（養生 S7D）の 2 種類とした。長さ変化率試験体は、養生 S7D および脱型後、材齢 1 週まで標準水中養生の後、気中乾燥（養生 W7D）の 2 種類とした。また、膨張材の効果を確認するため、打設翌日の脱型後、コンタクトゲージを貼り付け、基準長さを測定し、各養生における長さ変化を測定した。

拘束ひび割れ試験体は、1 調合につき 2 体とし、JIS A 1151 に準じて図 - 1 に示す形状の試験体を使用した。なお、試験体を拘束する鋼材（以下、拘束板と称す。）は、JIS では、7.27cm<sup>2</sup> × 2 枚としているが、本試験では、（全ての調合の試験体で）早期にひび割れを発生させるため、11.92cm<sup>2</sup> × 2 枚と、JIS のものより拘束板の断面積を大きくした。さらに、膨張材を使用した場合に拘束板の断面積がひび割れ発生に及ぼす影響を検討するため、調合「EX20」のみ、その他 2 種類の拘束板（断面積が、8.33cm<sup>2</sup> × 2 枚および 6.06cm<sup>2</sup> × 2 枚）を使用してその影響を確認した。拘束板中央部には、歪ゲージを貼り付け、打設直後からひび割れを測定し、ひび割れが開放される材齢をひび割れ発生材齢とした。養生方法は、養生 S7D とした。ただし、拘束板を除く型枠の脱型は、材齢 7 日に実施し、その後気中乾燥を行っている。

封かん養生および気中乾燥を行う環境は、20 ± 2℃、65% ± 5%RH の恒温恒湿室内とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 乾燥下における力学的性状

乾燥下における力学的性状として、養生 S7D 試験体における圧縮強度、静弾性係数および割裂引張強度試験結果を表 - 5 に示す。材齢 182 日における W/B = 55% の各種骨材を用いたコンクリートにおいて、圧縮強度、割裂引張強度が大きかったものは硬質砂岩 SA、静弾性係数が大きかったものは石灰石砕石 L を使用したものであった。

乾燥下における力学的性状と材齢の関係の一例として、硬質砂岩 SA および石灰石砕石 L を使用した試験体（養生 S7D）の圧縮強度、静弾性係数および割裂引張強度の発現性状を、図 - 2 に示す。圧縮強度、静弾性係数、割裂引張

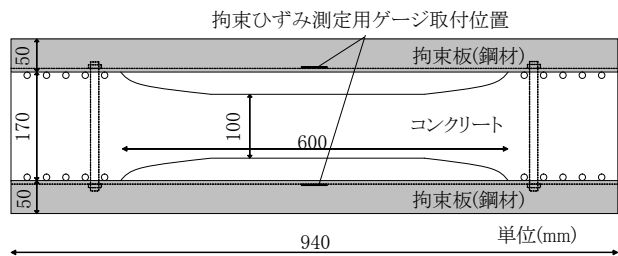
表 - 3 試験概要(全ての調合を対象)

試験項目	試験方法	備考
圧縮強度	JIS A 1108	寸法:100φ×200mm 養生方法:SCおよびS7D
静弾性係数(圧縮)	JIS A 1149	
割裂引張強度	JIS A 1113	
長さ変化率(収縮ひずみ)	JIS A 1129-2	寸法:100×100×400mm 養生方法:S7DおよびW7D
拘束ひび割れ試験	JIS A 1151	形状:図1を参照。 養生方法:S7D(ただし、側面の脱型は材齢7日に実施し、その後気中乾燥。)

表 - 4 試験体の養生方法

記号	養生方法
SC	封かん(20℃) 材齢1日 → 材齢189日
S7D	封かん(20℃) → 気中乾燥(20℃, 65%RH) 材齢1日 → 材齢7日 → 材齢189日
W7D	水中(20℃) → 気中乾燥(20℃, 65%RH) 材齢1日 → 材齢7日 → 材齢189日

○ : 打設 △ : 脱型 ■ : 乾燥開始



拘束板:溝形鋼H×B=100×50mm。鋼断面積=11.92cm<sup>2</sup>×2枚。  
〔EX20〕の調合に関しては、断面積が8.33cm<sup>2</sup>×2枚および6.06cm<sup>2</sup>×2枚の鋼板も使用。）

図 - 1 拘束ひび割れ試験体形状

表 - 5 コンクリートの力学的性状

調合記号	Air※ (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )			割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		7日	28日	182日	7日	28日	182日	7日	28日	182日
L55	4.1	27.5	34.6	32.9	3.04	3.03	2.80	2.40	2.59	2.55
SA55	4.4	27.5	37.7	35.8	2.54	2.63	2.44	2.72	2.79	2.66
SB55	3.5	25.1	33.0	31.3	2.01	2.29	2.23	2.07	2.68	2.12
SC55	3.5	28.5	36.4	34.0	2.88	3.00	2.71	2.54	3.30	2.43
TA55	3.6	22.3	29.8	28.1	2.57	2.59	2.39	2.01	2.81	1.83
TB55	4.9	24.4	32.8	30.3	2.61	2.67	2.35	2.39	2.60	2.03
L40	4.6	37.5	44.4	41.8	3.24	3.38	2.88	3.02	3.03	2.51
SA40	3.5	41.4	46.7	46.1	2.85	2.84	2.73	3.26	3.65	3.02
SB40	4.2	38.4	46.7	44.5	2.39	2.64	2.54	3.02	3.35	2.59
L65	4.7	16.3	24.0	26.1	2.68	2.76	2.47	1.75	2.43	2.01
SA65	4.8	16.8	23.7	22.5	2.27	2.15	1.94	1.92	2.14	1.91
SB65	4.7	16.1	24.3	24.1	1.96	2.12	2.10	1.65	2.14	1.75
EX10	4.6	26.2	35.6	32.7	2.63	2.68	2.59	2.21	2.67	2.27
EX20	3.7	27.7	38.0	33.5	2.62	2.70	2.51	2.28	2.73	2.16
SR6	3.8	24.7	32.1	33.8	2.50	2.61	2.48	2.17	2.67	2.39
EX10+SR3	2.7	27.6	36.2	36.3	2.57	2.81	2.76	2.31	2.58	2.28

※Air:フレッシュ性状試験時の空気量(参考値)

強度とも、どの材齢においても W/B が小さくなるほど大きい値となった。材齢ごとに見ると、圧縮強度、割裂引張強度は材齢 28 日まで増加する傾向が見られるのに対し、静弾性係数は乾燥を開始した材齢 7 日以降からほぼ同程度の値を示した。静弾性係数は乾燥による影響を大きく受

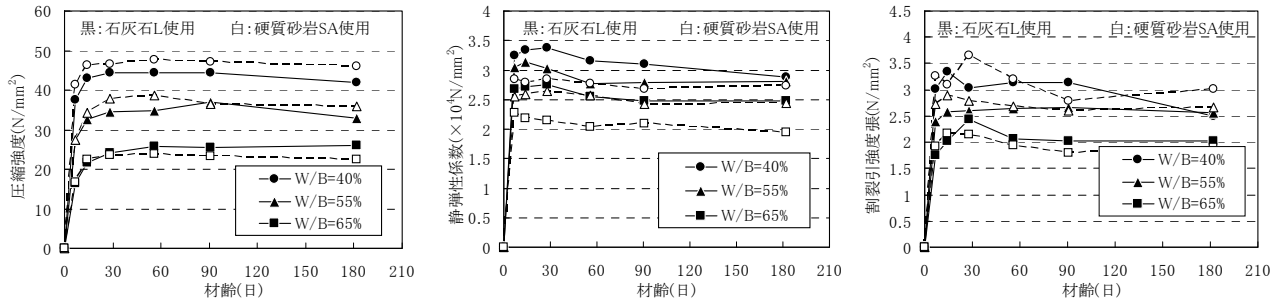


図 - 2 圧縮強度，静弾性係数，割裂引張強度試験結果(養生 S7D)

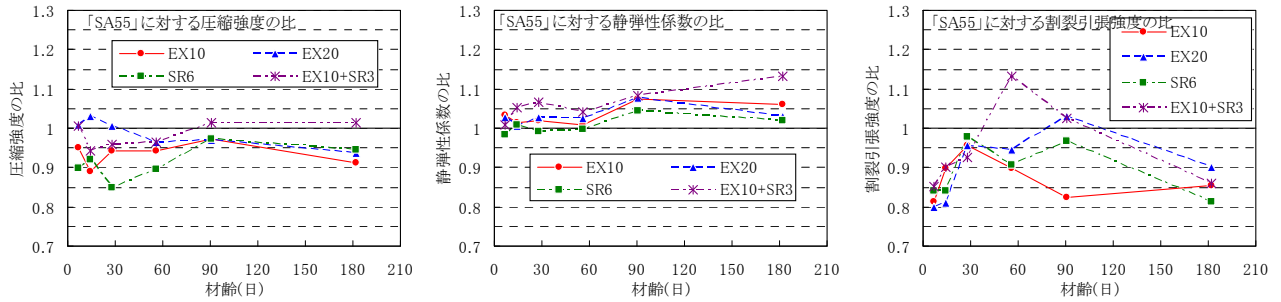


図 - 3 各試験体における収縮低減材料を用いた場合の比率(養生 S7D)

けると考えられる。

各性状(圧縮強度，静弾性係数および割裂引張強度)における収縮低減材料の使用の影響を見るため，収縮低減材料を使用していない調合 SA55 の各種性状の値に対する，収縮低減材料を使用したコンクリートの各種性状の値の比率を図 - 3 に示す。各性状は，養生 S7D 試験体のものである。圧縮強度の比率は，収縮低減剤を使用した SR6 は材齢 28 日までその他調合に比べて低い傾向を示すものの材齢に伴い，1.0 に近づく傾向が見られた。材齢 91 日以降では，収縮低減材料を使用した全てのコンクリートにおける圧縮強度の比率は約 0.9 ~ 1.0 の範囲に収まった。静弾性係数の比率は，どの材齢においても，全ての調合が SA55 よりも大きい傾向を示し，比率としては約 1.0 ~ 1.1 程度の範囲であった。割裂引張強度の比は，材齢ごとに傾向がばらつくものの，材齢 7 日では SA55 よりも低く，材齢 28 日までに 0.9 ~ 1.0 に近づく傾向が見られた。その後材齢 182 日では，約 0.8 ~ 0.9 程度の範囲に収まった。本試験範囲内では，収縮低減材料を使用した場合，使用しないものに比べ圧縮強度および割裂引張強度は若干低い傾向を示し，静弾性係数は大きくなること確認できた。

圧縮強度，静弾性係数および割裂引張強度において材齢 7 日からの乾燥の影響を見るため，乾燥を受けない養生 SC 試験体に対する養生 S7D 試験体の各種試験値の割合を，図 - 4 に示す。割合の算出方法は，材齢ごとに全調合の養生 SC の試験値を x 軸に，養生 S7D の試験値を y 軸にプロットし，その近似式(切片=0)の傾きとした。図より，圧縮強度および割裂引張強度は材齢 28 日から養生 SC の値を下回り，静弾性係数は乾燥直後の材齢 7 日から下回る傾向を示した。その後，乾燥期間が長くなるにつれ各性状は低下する傾向が見られ，材齢 182 日では，全ての力学的性

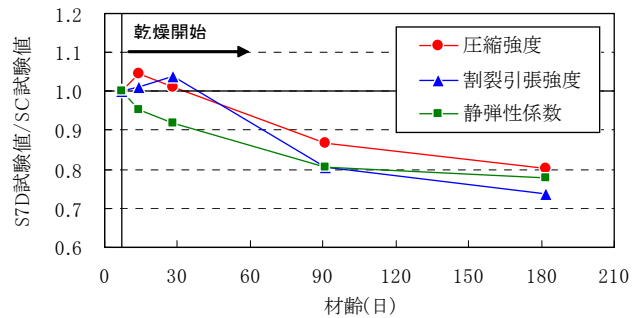


図 - 4 試験体の力学的性質におよぼす乾燥の影響

状において，養生 SC の値の 8 割程度となった。本試験値は寸法 100 × 200mm の試験体を対象としたものであり，乾燥条件が厳しいためと考える。試験体の乾燥条件が厳しい場合，力学的性質が低下する可能性が認められた。

### 3.2 脱型時からの収縮ひずみ試験結果

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の測定値としている。そのため，膨張材などの乾燥開始前の養生時に膨張する材料を使用した場合，コンクリートの膨張量の測定が不可能のため，その効果を十分に考慮できないことが懸念される。また，W/B が低い場合，材齢 1 週までの自己収縮ひずみの増大も懸念されるため，本試験では脱型時を基長とし，材齢 1 週までの長さ変化も加味した収縮ひずみ量(以下，脱型時からの収縮ひずみと称す。)と比較することとした。

材齢 189 日(乾燥期間 182 日)における養生 S7D 試験体における脱型時からの収縮ひずみを，図 - 5 に示す。収縮低減材料を使用しない W/B=55% の結果から，粗骨材の違いにより，収縮ひずみが異なることを確認でき，その値は 450 ~ 750 × 10<sup>-6</sup> 程度を示した。石灰石砕石 L を使用した

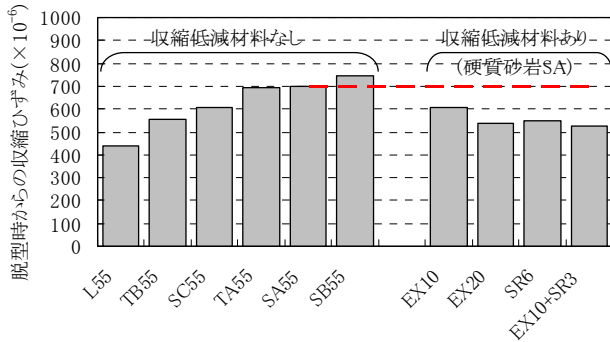


図 - 5 脱型からの収縮ひずみ(養生S7D、材齢189日)

試験体(L55)の収縮ひずみが小さく、硬質砂岩SBを使用した試験体(SB55)が大きくなった。収縮低減材料を使用したコンクリートでは、無使用(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 $90 \times 10^{-6}$ 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。図より膨張材の使用量増大、または収縮低減剤の併用によって収縮ひずみがさらに低減されることが確認出来た。

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、ほぼ同程度であった。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。

収縮ひずみにおよぼす乾燥開始前の養生方法の影響を見るため、養生S7Dと養生W7Dにおける脱型からの収縮ひずみを比較したものを、図 - 6 に示す。全体として、どちらの養生も概ね同等の収縮ひずみを示す結果となった。収縮低減材料を使用した場合、養生W7Dのほうが養生S7Dよりも若干収縮ひずみが小さくなるようである。

### 3.3 拘束ひび割れ試験結果

拘束ひび割れ試験の一例として、ひび割れ発生時のSA55における拘束板による応力と材齢の関係を、図 - 7 に示す。拘束板による応力は、拘束材である鋼材のひずみと鋼材の弾性係数(=  $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ )と鋼材の断面積を乗じ、コンクリートの断面積(=  $100 \text{ cm}^2$ )で除した値とした。応力が開放された材齢をひび割れ発生材齢とし、応力はコンクリートの引張側を正とした。図より、W/B=55%という水結合材比に対して、封かん養生時に発生する応力が大きいことが確認できるが、原因は定かではない。

各試験体のひび割れ発生材齢およびひび割れ発生時の応力の一覧を表 - 6 に示す。2試験体の各値のばらつきは、図 - 5 における収縮ひずみが小さい調合(石灰石砕石Lを用いたもの、「EX20」、「EX10+SR6」等)が大きいことが確認できた。以降は、2試験体の平均値に対する考察とする。各試験体のひび割れ発生材齢を、図 - 8 に示す。収縮低減材料を使用しない同一W/Bで比較すると、使用粗骨材が異なることで、ひび割れ発生材齢が異なり、その発生材齢

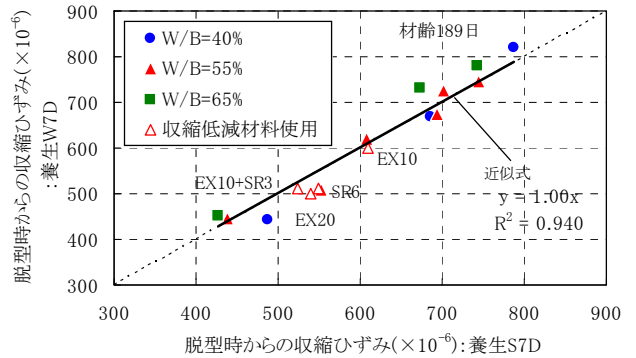
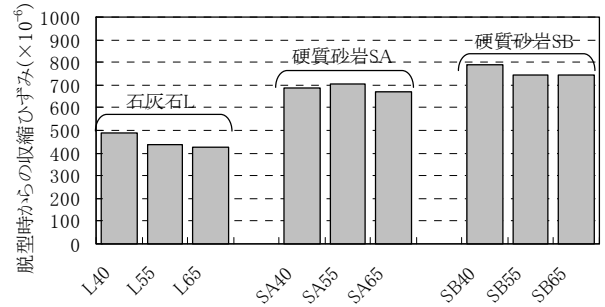


図 - 6 養生S7Dと養生W7Dの収縮ひずみの比較

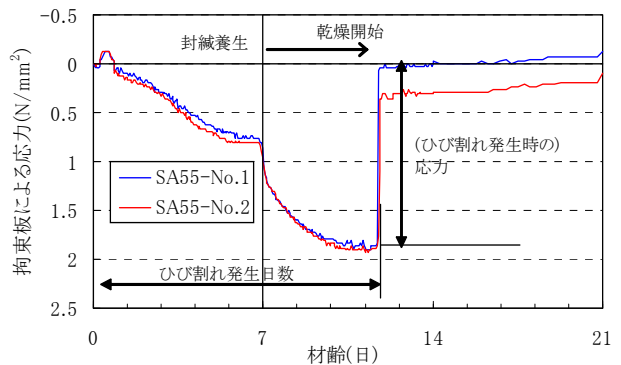


図 - 7 拘束ひび割れ試験結果の一例

表 - 6 拘束ひび割れ試験結果一覧

調査記号	ひび割れ発生材齢(日)			ひび割れ発生時の応力(N/mm <sup>2</sup> )		
	試験体No		平均	試験体No		平均
	No.1	No.2		No.1	No.2	
L40	21.2	26.2	23.7	2.53	2.88	2.71
L55	34.0	21.4	27.7	2.69	2.24	2.47
L65	18.1	26.7	22.4	1.76	2.24	2.00
SA40	10.4	11.0	10.7	1.84	1.98	1.91
SA55	11.7	11.7	11.7	1.84	1.86	1.85
SA65	12.0	12.3	12.1	1.50	1.55	1.53
SB40	8.71	8.46	8.58	1.84	2.00	1.92
SB55	11.1	10.3	10.7	1.67	1.91	1.79
SB65	12.0	11.5	11.8	1.55	1.64	1.60
EX10	19.4	19.0	19.2	2.07	2.19	2.13
EX20	33.2	26.5	29.8	2.29	2.46	2.37
SR6	25.0	24.8	24.9	1.95	1.98	1.97
EX10+SR6	26.5	36.2	31.4	2.24	2.72	2.48

は11 ~ 28日程度であった。石灰石砕石Lを使用した試験体のひび割れ発生材齢は、硬質砂岩を使用したものに比べ2倍程度長くなった。また、そのひび割れ発生材齢はW/

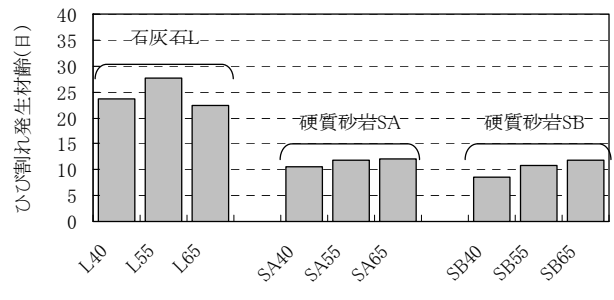
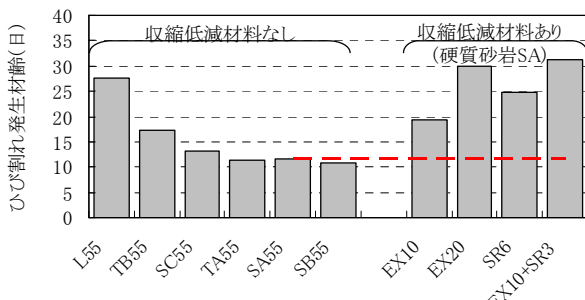


図 - 8 ひび割れ発生材齢

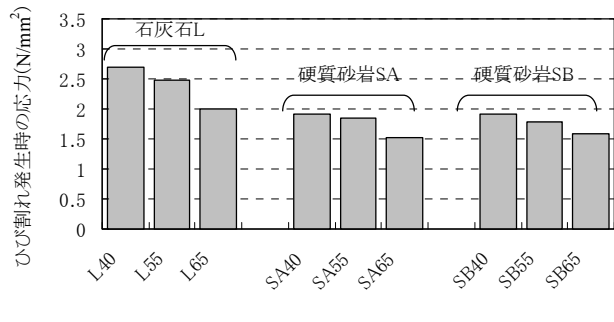
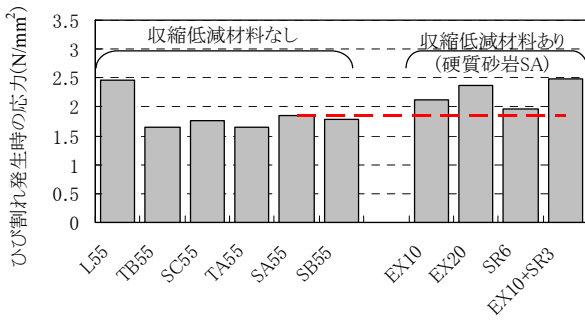


図 - 9 ひび割れ発生時の応力

Bによる違いは確認できず、使用粗骨材の影響が大きかった。収縮低減材料を用いたものは、収縮低減材料を使用しないSA55と比較して2倍以上のひび割れ発生材齢となり、EX10 < SR6 < EX10+SR3 EX20の順にひび割れ発生が遅れる傾向となった。

各試験体の拘束板のひずみから求めたひび割れ発生時の応力を、図 - 9 に示す。収縮低減材料を使用しないW/B=55%の応力を比較すると、石灰石砕石Lを使用した試験体では2.5N/mm<sup>2</sup>であるのに対し、その他の粗骨材を使用した場合は、1.6 ~ 1.8N/mm<sup>2</sup>を示し、ほぼ同程度の値となった。W/Bの違いで比較すると、W/Bが小さくなるにつれ、どの粗骨材においても、その応力は大きくなる傾向を示した。これは図 - 2より、コンクリートの割裂引張強度がW/Bの小さい順に大きくなり、材齢7日以降の強度の増進よりも顕著であるためと考えられる。収縮低減材料を使用したコンクリートのひび割れ発生時の応力は、使用しないSA55と比べて大きくなり、EX20 およびEX10+SR3では0.5N/mm<sup>2</sup>程度上回る結果となった。

各試験体のひび割れ発生材齢と脱型時からの収縮ひずみの関係を図 - 10 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収縮ひずみが大きいにも関わらず、ひび割れ発生材齢が大きくなっていることが確認できる。これは、収縮ひずみの基長を測定する脱型時までの膨張量が影響しているものと推察する。

各材齢における割裂引張強度試験結果の線形補間から、ひび割れ発生材齢における各試験体の割裂引張強度を求め、ひび割れ発生材齢における拘束板による応力を除す

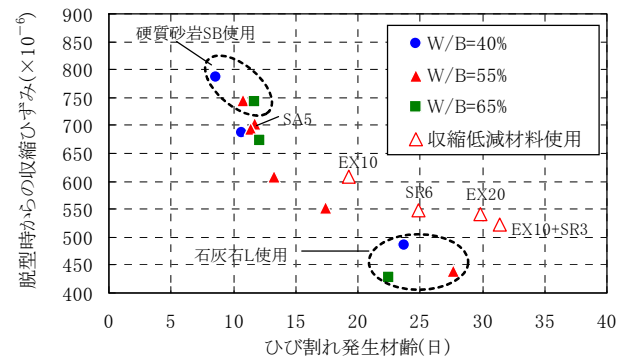


図 - 10 ひび割れ発生材齢と収縮ひずみの関係

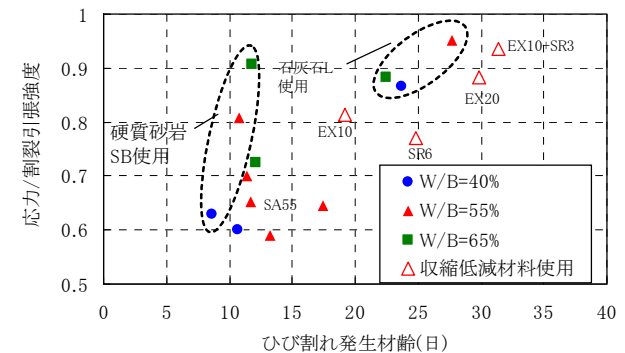


図 - 11 ひび割れ発生材齢と応力強度比の関係

ことでひび割れ発生時の応力強度比を求めた。各試験体のひび割れ発生材齢と求めた応力強度比の関係を、図 - 11 に示す。図より硬質砂岩SBを使用したコンクリートを除き、応力強度比が大きいほど、ひび割れ発生材齢が大きくなることを確認した。硬質砂岩SBを用いたものは、材齢に伴う収縮ひずみの増加ではなく、乾燥開始時の初期の収縮ひずみが大きいため、ひび割れ発生材齢に対しての応力強度比が大きくなったと考えられる。応力

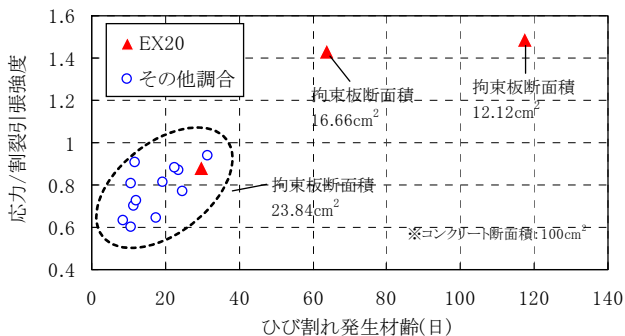


図 - 12 ひび割れ発生材齢と応力強度比の関係 (拘束板厚の影響)

強度比が1.0以下でひび割れが発生する原因としては、応力強度比の算定として、割裂引張強度を使用しておりひび割れ低減係数(0.7程度とされる<sup>5)</sup>)を乗じていないためと考えられる。収縮低減材料を使用したコンクリートは、使用しないISA55に比べて応力強度比およびひび割れ発生材齢が大きくなる事が確認でき、収縮低減材料がひび割れ発生に対して有効であることが確認できた。

調査EX20における拘束板の断面積を変えた拘束ひび割れ試験体ひび割れ発生材齢とひび割れ発生時の応力強度比を、図 - 12に示す。拘束板の断面積が小さくなるほど、そのひび割れ発生材齢は遅く、応力強度比が大きくなる傾向を示した。応力強度比が1.0以上になってもひび割れが発生しない原因としては、材齢に伴うマイクロクラックによるコンクリートの剛性低下やそれに伴う試験体のコンクリートと拘束板が一体として挙動していないこと等が推察されるが、今後の検討課題としたい。

拘束のないコンクリートの収縮ひずみと拘束ひび割れ試験体の拘束板のひずみの差を「コンクリートの拘束ひずみ」とし、線形補間により、同材齢におけるコンクリートの拘束ひずみを算出した。例を図 - 13に示す。次に、材齢ごと(実験値の線形補間による)のコンクリートの静弾性係数とその材齢ごとの拘束ひずみの増分を乗じたものをひび割れ発生材齢まで累計し、コンクリートに作用する応力として算出した。このため、ここではクリープ係数による応力の低減は考慮していない。

上記のように「コンクリートの拘束ひずみ」および「コンクリートの静弾性係数」から算出した応力と、拘束板のひずみおよび拘束板の静弾性係数から求めた応力(図 - 7参照)の比較を図 - 14に示す。全体として、コンクリートの拘束ひずみから求めた応力のほうが、拘束板のひずみから求めた応力よりも2倍程度を示すことが確認でき、この応力の違いがクリープの影響を示していると考えられる。

#### 4. まとめ

粗骨材種類、収縮低減材料種類の異なる W/B=40 ~ 65%のコンクリートに対して、各種力学的性質の測定、長さ変化率試験およびJIS A 1151における拘束ひび割れ試験結

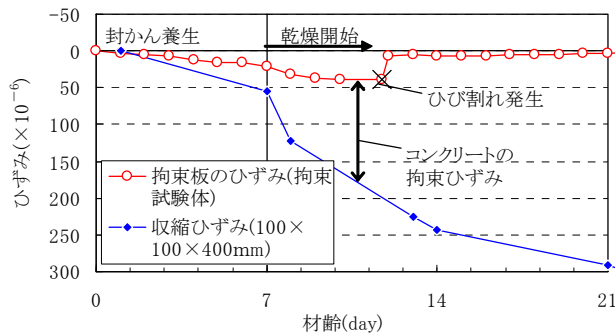


図 - 13 コンクリートの拘束ひずみ(例)

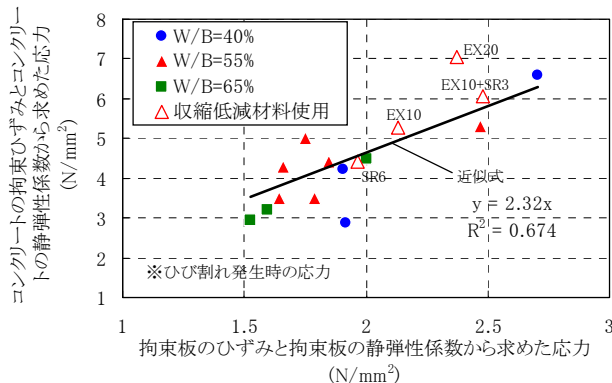


図 - 14 拘束板のひずみから求めた応力とコンクリートの拘束ひずみから求めた応力の比較

果を行った結果、以下のことが分かった。

- (1) 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、脱型時からの収縮ひずみは小さくなり、ひび割れ発生材齢は大きくなった。
- (2) 収縮低減材料を使用したコンクリートは、使用しないものに比べ、ひび割れ発生時の割裂引張強度に対する拘束板による応力の割合が大きくなり、引張応力に対する抵抗性が増大した。

今後は、クリープ係数のデータ蓄積や、提案されている解析手法等<sup>5)</sup>を利用して、収縮低減材料のひび割れ抑制効果を定量的に示すことを今後の検討課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 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
- 2) 大塩明ほか：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，pp.106-109，No.41，1987
- 3) 富田六郎：超低収縮コンクリート，コンクリート工学，pp.105-109，Vol.32，No.7，1994
- 4) 名和豊春：耐久設計のための収縮ひび割れ制御のあるべき姿について，コンクリート工学，pp.11-20，Vol.47，No.4，2009
- 5) 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.49-89，2006