

# 石灰石骨材を使用した高強度コンクリートのひび割れ抵抗性に関する研究

三菱マテリアル㈱セメント研究所 正会員 中里 剛  
 正会員 鳴瀬 浩康  
 正会員 中山 英明

## 1. まえがき

最近、石灰石粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮が小さいことが注目されている。また、コンクリート用細骨材に砕砂を使用するケースが増加し、石灰石砕砂も使用されるようになってきている。これまで、石灰石砕砂と石灰石砕砂を使用した一般コンクリートにおいて、初期強度の増進および収縮ひずみの低減効果によりひび割れの抑制に有効となることを報告している<sup>1)</sup>。一方で、石灰石骨材を使用した高強度コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関しては検討された事例がほとんどない。そこで、石灰石砕砂と石灰石砕砂を用いた高強度コンクリートの一軸拘束応力および直接引張強度を測定することで、収縮ひび割れ抵抗性を評価し、骨材に硬質砂岩砕砂と山砂を用いた場合と比較検討した。

## 2. 実験概要

使用材料およびコンクリートの配合概要を表1に示す。セメントには、普通ポルトランドセメント(N)および中庸熱ポルトランドセメント(M)を、骨材には山砂および硬質砂岩砕砂 2005 (SG) と石灰石砕砂および石灰石砕石 (LSLG) を用いた。

収縮ひずみは、一軸拘束による場合 (JCI SAS3-2「コンクリートの自己収縮応力試験方法」に準拠) および無拘束による場合について測定した。一軸拘束試験体の概要を図1に示す。中央部に無拘束区間 (300mm) を設けた SD345 (呼び名 D29) の鉄筋にひずみゲージを貼付け、鉄筋のひずみ量を測定した。また、無拘束による場合は 100×100×400mm の供試体を3本作製し、埋込型ひずみ計にてひずみ量を測定した。直接引張強度試験の概要を図2に示す。供試体中心に切欠きを設け、また、載荷装置と連結する片面4本のボルト (12mm) を埋込んだ試験体を5本作製し、オートグラフにて測定した。なお、載荷速度は JIS の毎秒 0.06N/mm<sup>2</sup> に対して、毎秒 0.003N/mm<sup>2</sup> とした。養生条件は、いずれの試験も材齢7日まで封かん養生し、その後は 20 (相対湿度 60%) 環境の気中養生とした。

## 3. 実験結果および考察

無拘束による収縮ひずみ (以下、自由収縮ひずみ) を図3に示す。材齢7日までの自己収縮ひずみは、いずれも W/C55% より W/C35% が大きくなった。また骨材種類では、SG より LSLG が 20~50×10<sup>-6</sup> 小さくなった。石灰石骨材による拘束が影響していると推察される。材齢182日での自由収縮ひずみは、SG の場合、水セメント比の影響はほとんど認められなかった。一方、LSLG では、N、M 共に W/C55% より W/C35% が 100×10<sup>-6</sup> 程度大きくなった。収縮を抑制する効果がある石灰石骨材の単位粗骨材量が少ないことなどが考えられる。また、骨材種類では SG より LSLG が 30~40% 小さく、セメント種類では N より M が 20% 程度小さくなった。

表1 使用材料およびコンクリートの配合概要

記号	使用材料		W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )		
	セメント	粗骨材			C	W	
N-SG-55	N	山砂	硬質砂岩砕石	55	47.1	298	164
N-SG-35			砕砂	35	52.0	472	165
N-LSLG-55		石灰石砕砂	石灰石砕石	55	44.6	305	168
N-LSLG-35			砕砂	35	50.2	472	165
M-SG-55	M	山砂	硬質砂岩砕石	55	47.9	287	158
M-SG-35			砕砂	35	52.1	472	165
M-LSLG-55		石灰石砕砂	石灰石砕石	55	45.3	296	163
M-LSLG-35			砕砂	35	50.3	472	165

\* 混和剤: W/C55% は AE 減水剤を使用, W/C35% は高性能 AE 減水剤を使用

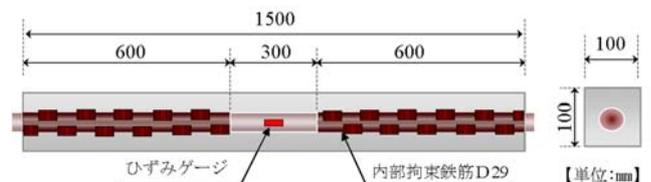


図1 一軸拘束試験体の概要

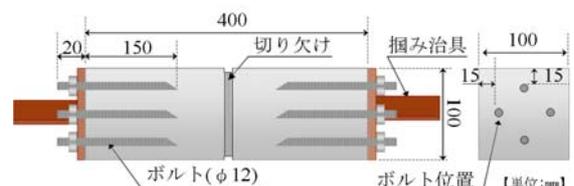


図2 直接引張強度試験の概要

コンクリートの直接引張強度を図4に示す。セメント種類別の直接引張強度は、材齢7日まではMよりNが大きくなり、材齢28日ではNとMは同程度となった。骨材種類では圧縮強度と同様<sup>1)</sup>に、材齢7日まではSGよりLSLGが高くなった。しかし、LSLGは材齢7日以降の引張強度がほとんど増進せず、特にW/C35%は材齢7日に比べ材齢28日の引張強度が低くなった。本試験は気中養生であり、骨材とマトリックスの収縮量の差が影響していると考えられる。

コンクリートの引張応力の経時変化を図5に示す。SGはいずれもひび割れが発生し、そのひび割れ発生日数は、W/C55%よりW/C35%が長く、NよりMが長くなった。一方、LSLGは材齢182日を経過しても、いずれもひび割れが発生せず、SGよりひび割れ抵抗性は高かった。収縮ひずみの低減効果および引張強度の増進が影響していると考えられる。

コンクリートの応力強度比を表2に示す。直接引張強度より算出した応力強度比は、SGの場合はひび割れ発生日時点で0.92~1.02となり、ひび割れの発生と対応した。一方、ひび割れが発生していないLSLGの応力強度比は0.72~0.94となり、SGの場合よりも小さくなった。また、水セメント比ではW/C55%よりW/C35%が0.1程度小さく、セメント種類ではNよりMが0.1程度小さくなった。なお、N-LSLG-55の応力強度比は、SGの場合と同程度であるがひび割れは発生していない。LSLGはSGと比較して同一応力に達する材齢が長く、クリープが大きいことなどが影響していると考えられる。

以上の結果より、骨材にLSLGを使用すると、高強度コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性は大幅に向上すること、さらに、セメントはNよりMが優れることが明らかとなった。

4. まとめ

- (1) LSLGの応力強度比は、SGよりも小さくなった。
- (2) 骨材にLSLGを用いたコンクリートは、高強度域においても収縮ひび割れ抵抗性が高く、セメントはNよりもMを用いることで更に向上できる。
- (3) コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性の評価に、本研究での直接引張試験を適用することが可能である。

【参考文献】

- 1) 中山英明他：石灰石骨材を使用したコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，2009

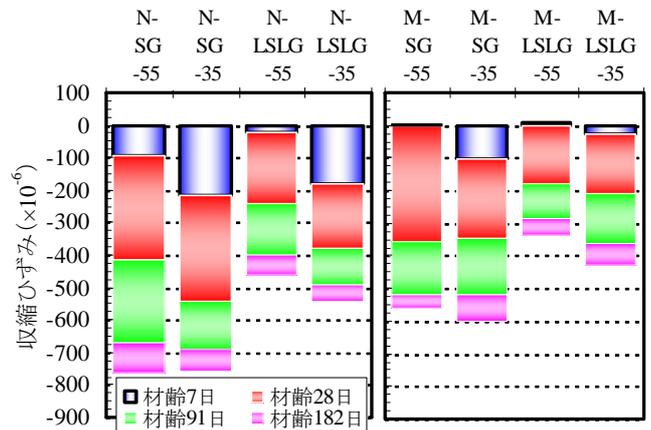


図3 無拘束による収縮ひずみ(自由収縮ひずみ)

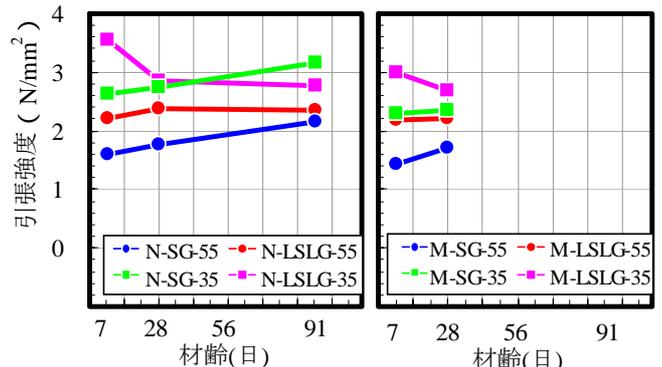


図4 コンクリートの直接引張強度

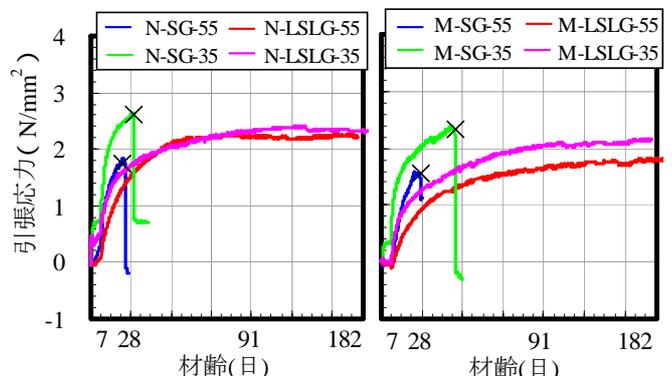


図5 コンクリートの引張応力の経時変化

表2 コンクリートの応力強度比

記号	ひび割れ発生材齢(日)	ひび割れ発生日点または材齢91日時点		
		引張応力(N/mm <sup>2</sup> )	直接引張強度 <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	応力強度比 <sup>*2</sup>
N-SG-55	21.6	1.74	1.71	1.02
N-SG-35	29.7	2.61	2.75	0.95
N-LSLG-55	なし	2.21	2.36	0.94
N-LSLG-35	なし	2.27	2.76	0.82
M-SG-55	26.9	1.55	1.69	0.92
M-SG-35	42.7	2.20	2.34 <sup>*3</sup>	0.94 <sup>*3</sup>
M-LSLG-55	なし	1.91	2.22 <sup>*3</sup>	0.86 <sup>*3</sup>
M-LSLG-35	なし	1.93	2.69 <sup>*3</sup>	0.72 <sup>*3</sup>

\*1 引張強度の実測値から求めた回帰式より算出

\*2 応力強度比は引張応力/引張強度で算出

\*3 材齢28日まで引張強度を用いて応力強度比を算出した