

論文 結晶質石灰石砕砂のコンクリートへの適用性に関する検討

栗田 基央*¹・木元 大輔*²・久芳 昭二*³・小野 直樹*⁴

要旨：良質な骨材資源の枯渇に伴い、コンクリート用の細骨材に砕砂を使用するケースが増加している。また、砕砂の原石は多岐にわたっており、最近では石灰石も使用されるようになってきている。本研究では、今後、石灰石砕砂の使用量が增大すると予想される中、使用実績の少ない結晶質石灰石を原石とした砕砂についてコンクリートへの適用性を検討した。結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートのフレッシュ性状、強度発現性および各種耐久性を調査した結果、その性状は隠微晶質石灰石砕砂および天然骨材を使用したコンクリートと同等であることが判明した。

キーワード：コンクリート、砕砂、石灰石、結晶質、隠微晶質

1. はじめに

良質な天然資源の枯渇化や環境保全による採取規制等から、コンクリート用骨材を取り巻く情勢は年々厳しくなっている。特に、瀬戸内海に面する各県では、環境保全の観点から2006年4月に海砂採取を全面禁止した。また、一方で中国産川砂の輸出を禁止する動きが中国当局にあり、これらの動向から中国、関西地区の生コン工場では、代替細骨材として、安定的且つ大量供給可能な石灰石砕砂に期待を寄せている。石灰石は、年間1億4千万 t 程度生産されており、その用途はセメント原料、コンクリート骨材など多岐に亘る。また、石灰石は構成する方解石の結晶粒子の大小により、隠微晶質石灰石と結晶質石灰石に大別される。前者は粗骨材や細骨材としてコンクリートに広く使用されているのに対し、後者を粗骨材として使用したコンクリートは、圧縮、曲げ、引張強度が小さくなる¹⁾とされている。このため、結晶質石灰石は、砕石業者で取扱われることなく、ほぼ全量がセメント原料としてのみ使用されており、生産量も石灰石全体の7%と少ない。なお、結

晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートは隠微晶質のものと同等の強度を示すとの報告もあるが¹⁾、砕石業者で扱われないため、砕砂も製造されることがなく、使用実績や、適用性に関する研究報告は少ない。そこで本研究では、骨材資源の確保と結晶質石灰石の有効利用を目的に、砕砂のコンクリートへの適用性について検討した。

2. 結晶質石灰石砕砂の適用性の検討方法

本研究では、結晶質石灰石砕砂のコンクリート用細骨材としての適用性を検討するため、以下のシリーズの実験を行った。

シリーズ1 (隠微晶質石灰石砕砂および海砂との各種性状比較)では、結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートの各種性状を調査し、隠微晶質石灰石砕砂を使用したコンクリート、および海砂を使用したコンクリートと比較した。

シリーズ2 (山砂との混合使用に関する検討)では、結晶質石灰石砕砂に、山砂と隠微晶質石灰石砕砂を混合した混合砂を使用したコンクリートの各種性状を山砂(粗目)の場合と比較した。

*1 (株)宇部三菱セメント研究所 黒崎センター セメントグループ 研究員 (正会員)

*2 (株)宇部三菱セメント研究所 埼玉センター コンクリートグループ 研究員 (非会員)

*3 (株)宇部三菱セメント研究所 黒崎センター セメントグループ グループリーダー (非会員)

*4 三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー 鉱産品部 副部長 (非会員)

表-1 使用材料

材料種類	種別	記号	品質
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm ³
水	上水道水	W	
混和剤	AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
細骨材	結晶質石灰石砕砂	SL1	表乾密度：2.67g/cm ³ ，吸水率：0.58%，粗粒率：2.54，微粒分量：2.6%
	隠微晶質石灰石砕砂	SL2	表乾密度：2.65g/cm ³ ，吸水率：0.87%，粗粒率：2.85，微粒分量：4.1%
	隠微晶質石灰石砕砂	SL3	表乾密度：2.61g/cm ³ ，吸水率：1.79%，粗粒率：2.81，微粒分量：12.7%
	海砂	SS1	表乾密度：2.57g/cm ³ ，吸水率：0.94%，粗粒率：2.51，微粒分量：0.5%
	流紋岩乾式砕砂	SC	表乾密度：2.53g/cm ³ ，吸水率：2.36%，粗粒率：2.83，微粒分量：8.9%
粗骨材	流紋岩碎石 2015	G1	表乾密度：2.58g/cm ³ ，吸水率：1.11%，粗粒率：7.03
	流紋岩碎石 1505	G2	表乾密度：2.59g/cm ³ ，吸水率：1.13%，粗粒率：6.41

3. シリーズ1：隠微晶質石灰石砕砂および海砂との各種性状の比較

3.1 使用材料

使用材料を表-1に、細骨材の組合せを表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材は流紋岩砕石G1，G2を容積比60：40の混合割合で使用した。細骨材は、結晶質石灰石砕砂SL1のほか、比較用として隠微晶質石灰石砕砂SL2，SL3，および海砂SS1を使用し、これら細骨材の乾式砕砂SCとの混合割合は容積比50%，70%とした。なお、混和剤は、AE減水剤を使用した。

3.2 コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、水セメント比を55%とし、単位粗骨材かさ容積を0.655m³/m³一定とした。混和剤添加量はセメント量の0.65%一定とした。単位水量は、コンクリートの練り上がり直後の目標スランブを12±1cmとし、165kg/m³一定とした。目標空気量は、4.5±1.5%とし、AE剤にて調整した。

3.3 試験項目

試験項目および試験方法を表-3に示す。試験は、コンクリートのフレッシュ性状，強度性状，および各種耐久性について実施した。

3.4 試験結果

各コンクリートの配合とフレッシュ性状を表-4に示す。

(1) スランブ性状

単位水量を一定とした場合、流紋岩乾式砕砂

表-2 細骨材の組合せ(容積比)

試料名	SL1	SL2	SL3	SS1	SC
SL1(70)	70%				30%
SL2(70)		70%			30%
SL3(70)			70%		30%
SS1(70)				70%	30%
SL1(50)	50%				50%
SS1(50)				50%	50%

表-3 試験項目

試験項目		試験方法
フレッシュ	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
	凝結	JIS A 1147
強度	圧縮強度	JIS A 1108
	曲げ強度	JIS A 1106
	引張強度	JIS A 1113
	静弾性係数	JIS A 1149
耐久性	乾燥収縮	JIS A 1129
	凍結融解	JIS A 1148
	促進中性化	JIS A 1153

SCを30%混合したコンクリートのスランブは、いずれの場合ともスランブが12±1cmの範囲であった。流紋岩乾式砕砂SCを50%に増加した場合は、目標スランブより低下したが、同一単位量で細骨材の影響を調査するため比較試料として採用した。なお、結晶質石灰石砕砂SL1を使用したコンクリートの状態は、海砂とほぼ同等で良好であった。

表-4 コンクリートの配合とフレッシュ性状

試料名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					AE 剤 (g/m ³)	測定値				
			C	W	S	G	Ad		スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	凝結(h:m)	
												始発	終結
SL1(70)	55	44.3	300	165	810	1000	1.95	9.0	11.5	5.2	3.6	5:25	7:25
SL2(70)					805			3.0	13.0	5.5	4.1	5:30	7:40
SL3(70)					797			15.0	13.0	4.7	3.1	4:50	7:00
SS1(70)					788			6.0	13.0	5.5	4.3	5:45	7:35
SL1(50)					801			12.0	8.0	4.6	2.8	4:50	7:00
SS1(50)					786			9.0	10.5	5.2	3.0	5:25	7:15

(2) ブリーディングおよび凝結

結晶質石灰石砕砂SL1を使用したコンクリートのブリーディング率および凝結時間は、隠微晶質石灰石砕砂SL2, SL3および海砂SS1を使用したコンクリートと同等であった。

(3) 圧縮強度, 曲げ強度, 引張強度

材齢 7 日, 28 日における各コンクリートの圧縮, 曲げ, 引張強度を図-1 に示す。結晶質石灰石砕砂 SL1 を使用したコンクリートの各種強度は、隠微晶質石灰石砕砂 SL2, SL3 を使用したコンクリートと同等であった。また、海砂 SS1 を使用したコンクリートに比べると若干上回る結果であった。結晶質石灰石砕砂 SL1 を使用したコンクリートの曲げ強度は圧縮強度の 1/6~1/8 程度, 引張強度は 1/10~1/13 程度となり, 一般的なコンクリートと同様な値を示した。

(4) 静弾性係数

各コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-2に示す。圧縮強度と静弾性係数の関係は、いずれのコンクリートにおいても同様で、同一曲線上にあり、細骨材の種類による影響は見受けられなかった。なお、同一圧縮強度に対する静弾性係数は、土木学会式や建築学会式に比較して大きくなる傾向を示した。

(5) 乾燥収縮

各コンクリートの保存期間26週までの乾燥収縮試験結果を図-3に示す。結晶質石灰石砕砂を70%使用したコンクリートSL1(70)の乾燥収縮は、隠微晶質石灰石砕砂SL2(70), SL3(70)および海砂SS1(70)と同等であった。また、結晶質石

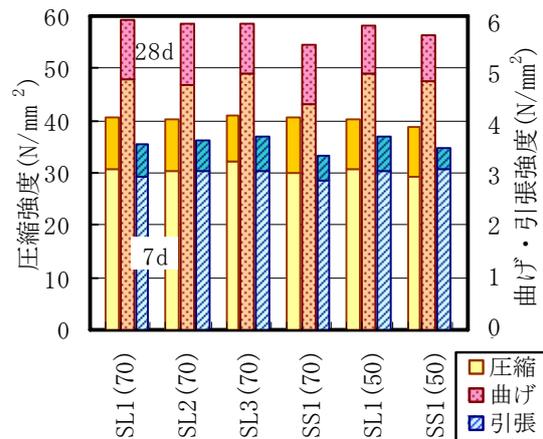


図-1 圧縮, 曲げ, 引張強度

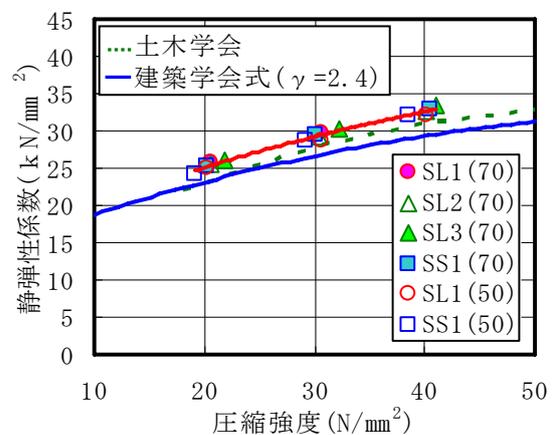


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

灰石砕砂を50%使用したコンクリートSL1(50)の乾燥収縮は、海砂SS1(50)を使用したコンクリートと同等であった。総じて、乾式砕砂SCの割合が多い程、コンクリートの乾燥収縮が大きくなる傾向であった。質量減少の推移も同様であったことから、この原因として、乾式砕砂SCの吸水率が他の細骨材に比べて大きく、コンクリート中に含まれる水分が多くなったことが考えら

れた^{2),3)}。なお、一般的に、石灰石骨材を使用したコンクリートは、他の骨材を使用したコンクリートに比べ乾燥収縮が小さくなると言われて⁴⁾、今回の試験では、この傾向は認められなかった。

(6) 凍結融解抵抗性

各コンクリートの凍結融解試験結果を図-4に示す。結晶質石灰石砕砂を70%使用したコンクリートSL1(70)の凍結融解抵抗性は、隠微晶質石灰石砕砂SL3(70)および海砂SS1(70)を使用したコンクリートと同等であった。また、結晶質石灰石砕砂を50%使用したコンクリートSL1(50)は、海砂SS1(50)と同等であった。これらは、いずれも300サイクル終了時における相対動弾性係数が80%前後となり、良好な値を示した。なお、隠微晶質石灰石砕砂SL2(70)の凍結融解抵抗性が他のコンクリートに比べて劣る結果であった。表-4に示すとおり、所定の空気量を得るために必要なAE剂量が、他のコンクリートに比べて1/2~1/5と少なく、凍結融解抵抗性に効果のあるエントレインドエアが少なくなったことによるものと考えられた⁵⁾。

(7) 促進中性化

各コンクリートの促進中性化試験結果を図-5に示す。試験の結果、結晶質石灰石砕砂SL1を使用したコンクリートの中性化深さは、いずれの測定期間においても他のコンクリートと大差なく、 $\pm 1\text{mm}$ の範囲内にあった。

4. シリーズ2：山砂との混合使用に関する検討

4.1 使用材料

使用材料を表-5に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、粗骨材は石灰石砕砂を使用した。細骨材は、結晶質石灰石砕砂SL1に、山砂(中目)SM1と隠微晶質石灰石砕砂SL4を加えた混合砂を使用し、比較用細骨材として山砂(粗目)SM2を単味で使用した。なお、混合砂は、比較用の山砂(粗目)SM2と粒度分布が同様になるように混合割合を調整することとし、結晶質石灰石砕砂SL1、山砂(中目)SM1、お

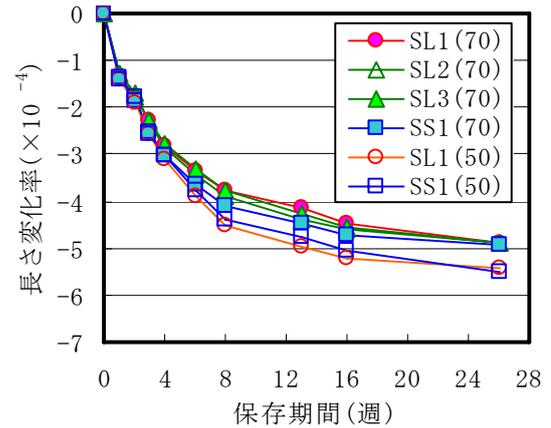


図-3 乾燥収縮

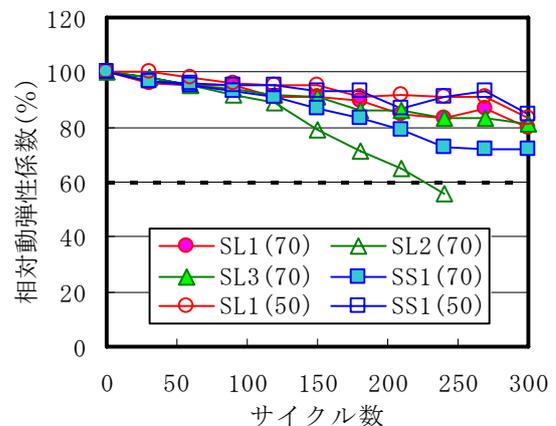


図-4 凍結融解

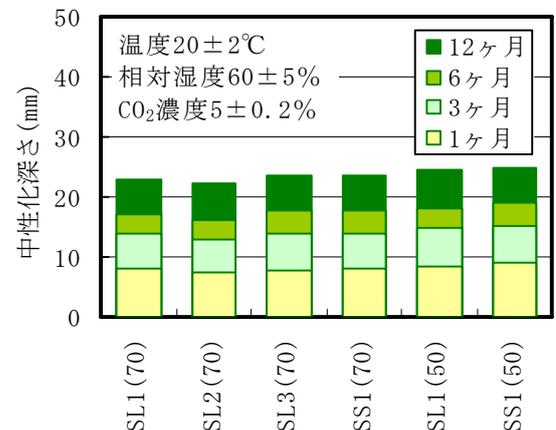


図-5 促進中性化

よび隠微晶質石灰石砕砂SL4をそれぞれ容積比30:50:20の割合で混合した。混和剤はAE減水剤を使用した。

4.2 コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、水セメント比を52%とし、目標スランプを $20\pm 1\text{cm}$ 、目標空気量を $5.0\pm 1.0\%$ とした。単位水量は 172kg/m^3 一定と

した。混和剤添加量はセメント量の0.25%とした。なお、空気量は、AE剤にて調整した。

4.3 試験項目

コンクリートの試験項目は、スランプ、空気量、ブリーディング、凝結のフレッシュ性状のほか、圧縮強度、乾燥収縮および凍結融解抵抗性とした。それぞれの試験方法は、表-3に示す通りである。

4.4 試験結果

コンクリートの配合とフレッシュ性状を表-6に示す。

(1) スランプ性状

混合砂を用いたコンクリートのスランプは、練り上がり直後から90分経過時まで山砂(粗目)とほぼ同等の結果が得られた。また、目視の結果、コンクリートの状態は両者ともほぼ同等で良好であった。

(2) ブリーディングおよび凝結

混合砂を使用したコンクリートのブリーディングおよび凝結時間は、山砂(粗目)を使用したコンクリートとほぼ同等であった。

(3) 圧縮強度

各コンクリートの圧縮強度試験結果を図-6に示す。試験の結果、混合砂を用いたコンクリートの圧縮強度は、山砂(粗目)の場合と同等であった。

(4) 乾燥収縮

各コンクリートの乾燥収縮試験結果を図-7に示す。混合砂を用いたコンクリートの乾燥収縮は、山砂(粗目)の場合に比べて小さくなった。シリーズ1では、結晶質石灰石砕砂、隠微晶質

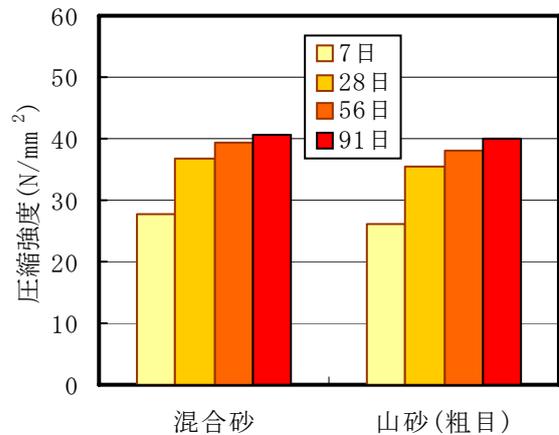


図-6 圧縮強度

表-5 使用材料

材料種類	種別		記号	品質
セメント	普通ポルトランドセメント		C	密度：3.16g/cm ³
水	水道水		W	
混和剤	AE減水剤		Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体
細骨材 (混合砂)	割合 (容積比)	30	結晶質石灰石砕砂	SL1 表乾密度：2.67g/cm ³ ，吸水率：0.56%，粗粒率：2.45 微粒分量：2.6%
		50	山砂(中目)	SM1 表乾密度：2.63g/cm ³ ，吸水率：1.48%，粗粒率：2.54 微粒分量：1.1%
		20	隠微晶質石灰石砕砂	SL4 表乾密度：2.63g/cm ³ ，吸水率：1.21%，粗粒率：3.78 微粒分量：5.4%
細骨材	山砂(粗目)		SM2	表乾密度：2.61g/cm ³ ，吸水率：1.38%，粗粒率：2.84 微粒分量：0.9%
粗骨材	石灰石砕石		G3	表乾密度：2.70g/cm ³ ，吸水率：0.34%，粗粒率：6.64

表-6 コンクリートの配合とフレッシュ性状

試料名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					AE剤 (g/m ³)	測定値				
			C	W	S	G	Ad		スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	凝結(h:m)	
												始発	終結
混合砂	52	45.3	331	172	807	990	0.83	23.2	20.5	4.9	4.9	4:53	6:46
山砂(粗目)		46.8			825	967						19.9	19.5

石灰石砕砂を使用したコンクリートの乾燥収縮は、海砂の場合と同程度であったが、本試験においては、一般に言われる傾向と同様であった。

(5) 凍結融解抵抗性

各コンクリートの凍結融解試験結果を図-8に示す。試験の結果、混合砂を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性は、山砂(粗目)を単味で使用した場合と同等であった。また、300サイクル終了時における相対動弾性係数は両者とも80%以上と良好な値を示した。

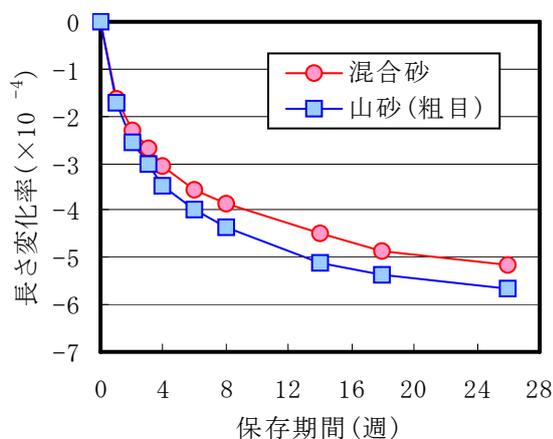


図-7 乾燥収縮

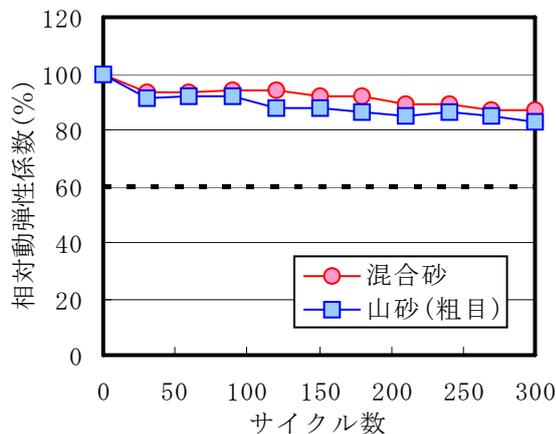


図-8 凍結融解

5. まとめ

骨材資源の確保を目的に、これまで使用実績の少なかった結晶質石灰石砕砂についてコンクリートへの適用性を調査した。その結果、以下の事項が判明した。

(1) フレッシュ性状

結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートは、

比較用細骨材である隠微晶質石灰石砕砂、海砂、および山砂を使用したコンクリートに比べて、スランプはほぼ同等であり、コンクリートの状態は良好であった。ブリーディング率および凝結時間は、比較試料と同等であった。

(2) 強度性状

結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートの圧縮、曲げ、引張強度は、比較試料と同等であった。

(3) 耐久性

結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性および促進中性化性状は、比較試料と同等であった。また、乾燥収縮は、同等か、または小さくなり、良好な結果を得た。

以上、結晶質石灰石砕砂のコンクリート用細骨材としての適用性について調査した結果、結晶質石灰石砕砂を使用したコンクリートの性状は、天然骨材を使用したコンクリートと同等の性能を有することが判明した。このことから、結晶質石灰石砕砂のコンクリートへの適用は十分可能と考えられた。

参考文献

- 1) 石灰石鉱業協会：石灰石骨材とコンクリート、石灰石鉱業協会，pp30-32，2005
- 2) 清原千鶴ほか：複合則理論を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみの推定，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，No. 1，pp492-493，2004
- 3) 麓 隆行ほか：細骨材の吸水率がコンクリートの硬化後の性能に及ぼす影響，骨材の品質と有効利用に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp73-80，2005.12
- 4) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-46，石灰石骨材コンクリートに関する研究，セメント協会，pp43-44，1992
- 5) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-46，石灰石骨材コンクリートに関する研究，セメント協会，pp45，1992