

論文 種類が異なる骨材の混合と高流動コンクリートの流動性

高山 俊一*1・江頭 智嘉*2・巽 勇二*2

要旨：粗骨材に硬質砂岩碎石と石灰石碎石を，細骨材に海砂と石灰石砕砂を各々使用し，両骨材の混合比率を変え，高流動コンクリートの流動性をスランプフロー試験および充てん試験によって評価した。粗骨材の場合，実積率の違いがスランプフローおよび充てん高さの両者に影響し，比例関係を示した。しかしながら，細骨材の混合率を変えた場合の流動性は，粗骨材の測定結果と逆の結果を示した。この理由として，細骨材の粒度の0.15mm未満の微少量および形状が大きく影響していることが考えられる。

キーワード：高流動コンクリート，スランプフロー，実積率，骨材の形状

1. まえがき

高流動コンクリートが開発され，十数年が経過し，高流動コンクリートはコンクリート製品工場や従来のコンクリートでは締固めが出来なかった箇所など，現場でも施工されるようになってきた。一般に，高流動コンクリートは高性能減水剤の働きと材料分離を防止するために微粉末を混合し，その流動性はセメントペーストの流動性に大きく左右されるものとする。そのため，骨材の性質が普通コンクリートに比べてそれほど重要ではないと考えられている点もある。筆者らは数年前から，高流動コンクリートのより良い配合を求めることを目的とし，骨材の実積率と流動性に関する研究を行ってきた。今回，従来からのスランプフロー試験に新しく充填試験を加え，流動性と骨材の性質に関する研究を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

表-1 に使用材料の種類と物理的性質を示す。細骨材は海砂（北九州産）および石灰石砕砂（筑豊産）を使用した。石灰石砕砂の実積率は71.7%で，海砂のそれより7.9%大きい。粗骨材は硬質

表-1 使用材料

材料の種類		物理的性質	
普通ポルトランドセメント		密度 3.15g/cm ³	比表面積 3300 cm ² /g
石灰石微粉末		密度 2.70 g/cm ³	比表面積 7490 cm ² /g
海砂		密度 2.54 g/cm ³ 粗粒率 2.73	吸水率 1.28% 実積率 63.8%
石灰石砕砂		密度 2.67 g/cm ³ 粗粒率 2.89	吸水率 0.74% 実積率 71.7%
硬質砂岩碎石	1305	密度 2.72 g/cm ³ 最大寸法15mm,粗粒率 6.28	吸水率 0.69% 実積率 57.9%
	2005	密度 2.72 g/cm ³ 最大寸法20mm,粗粒率 6.60	吸水率 0.70% 実積率 59.0%
石灰石碎石		密度 2.70 g/cm ³ 最大寸法20mm,粗粒率 6.23	吸水率 0.58% 実積率 61.2%
高性能減水剤		主成分 ポリカルボン酸 密度 1.10g/cm ³	

表-2 実験項目

シリーズ番号	一定とする骨材の種類	変化する骨材の種類	
		1	海砂
2	海砂	碎石2005	碎石1305
3	海砂	石灰石碎石	碎石1305
4	石灰石碎石	石灰石砕砂	海砂

砂岩碎石（北九州産：1305 と 2005）および石灰石碎石（筑豊産）を使用した。骨材の粒度分布を図-1 および図-2 に示す。細骨材の粒度分布をみると，石灰石砕砂では0.15mm未満の微

* 1 九州共立大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

* 2 九州共立大学 工学部土木工学科

粉末部分が約15%と海砂に比べて13%も多い。図-2の石灰石碎石の粒度分布は、碎石2005に比べ、5mm未満の細かい粒度の部分が約

表-3 シリーズ1の配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	混合率 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤	
				水	セメント	石灰石微粉末	細骨材海砂	粗骨材石灰石 2005		
50	50	1	100	149	308	150	873	917	0	5.4
			75					688	231	
			50					458	462	
			25					229	693	
			0					0	924	

15%程度多いことが分かる。以上のように、石灰石の細・粗骨材では、微細粒子部分が硬質砂岩碎石および海砂に比べて多いと言える。

2.2 実験方法

実験は表-2に示すように4シリーズに分けて実施した。シリーズ1～3では、細骨材に海砂を使用し、3種類の粗骨材の混合比率を変化して実験を行った。骨材の混合容積比は、100:0, 75:25, 50:50, 25:75, および0:100の5種類とした。表-3にシリーズ1の配合を示す。水セメント比は50%とした。粘性を大きくするために、比表面積7490cm²/gの石灰石微粉末を1m³当たり150kg使用した。流動性の評価は、スランプフロー試験と充てん試験(高さが590mmのU型容器, 流動障害は鉄筋D13が3本配置されている)によって行った。スランプフロー試験は、1層詰めとし、突き棒による突き固めは実施せず、コーンの引き上げ後の最大広がり直径と、その直交する位置での直径を測り、両直径の平均値をスランプフローとした。本試験に使用した充てん試験器は、土木学会基準(案)「充てん装置を用いた間げき通過試験法」に掲載されている試験器と類似した形状である。しかしながら、基準(案)の装置の高さは690mmであるが、本研究の装置の高さは590mmと100mmだけ低くなっている。幅は205mmで、基準(案)の装置の幅より5mmだけ大きくなっている。小型の充てん装置を使用した理由は、単にわずかであるが、コンクリートの打設量が小さくできるためである。骨材の実積率試験はJIS A 1104に従って行った。表-4に混合した骨材の実積率を示す。

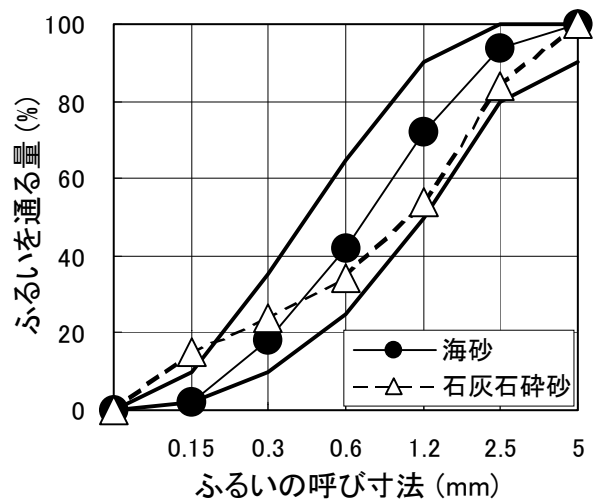


図-1 細骨材の粒度分布

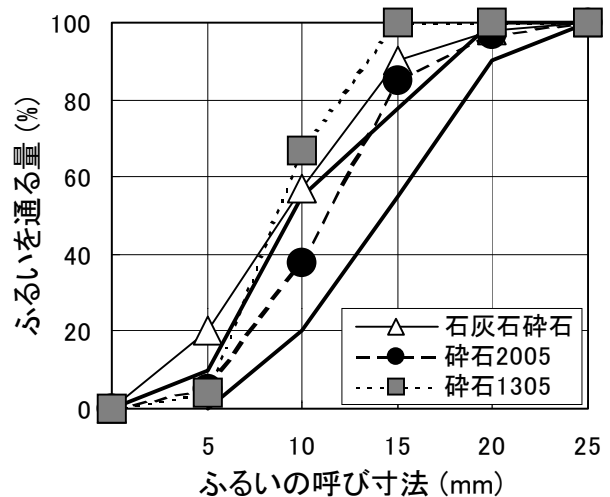


図-2 粗骨材の粒度分布

表-4 混合骨材の実積率 (%)

シリーズ	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0
1	61.2	60.6	60.0	59.5	59.0
2	59.0	58.7	58.4	58.1	57.9
3	61.2	60.4	59.5	58.7	57.9
4	71.7	69.8	67.8	65.8	63.8

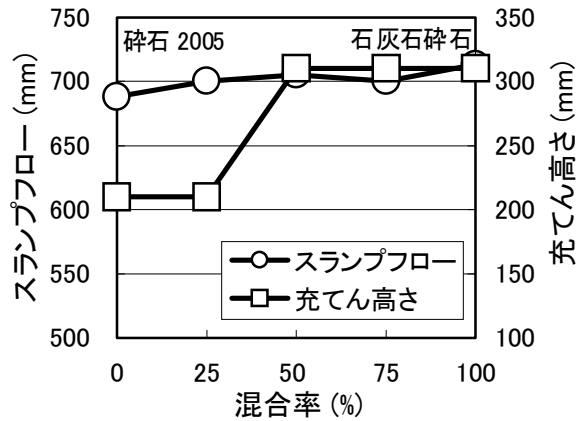


図-3 混合率と流動性 (シリーズ 1)

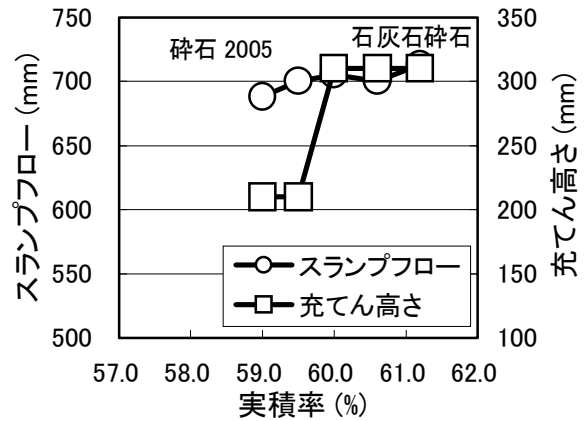


図-4 実積率と流動性 (シリーズ 1)

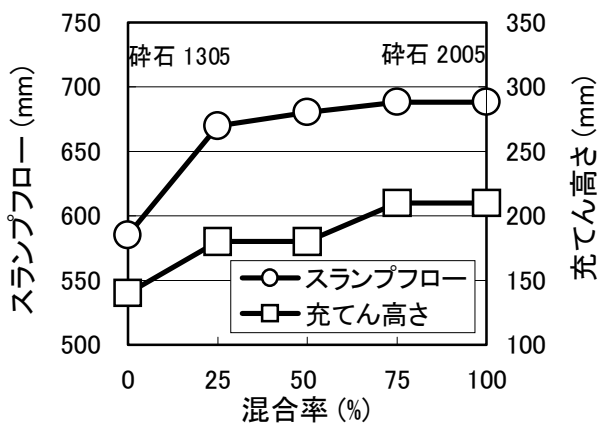


図-5 混合率と流動性 (シリーズ 2)

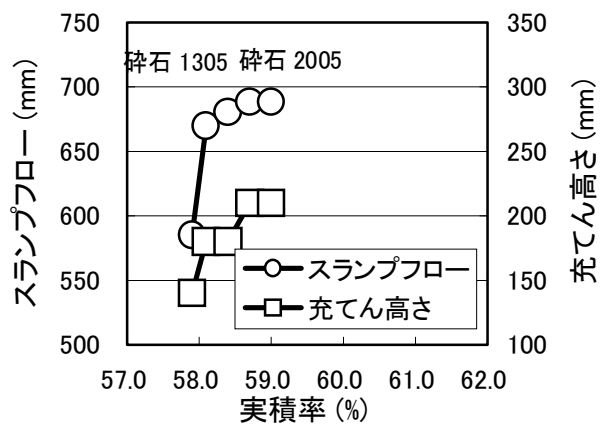


図-6 実積率と流動性 (シリーズ 2)

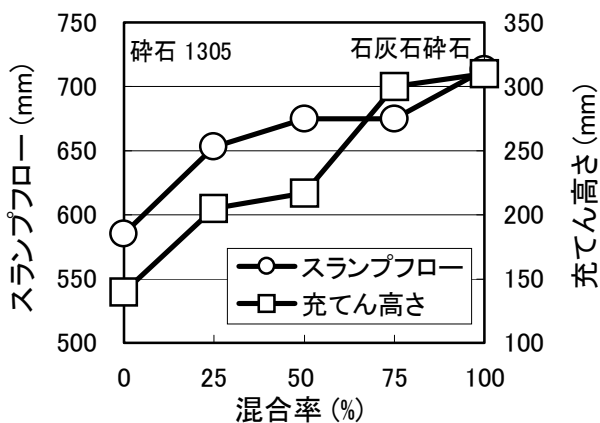


図-7 混合率と流動性 (シリーズ 3)

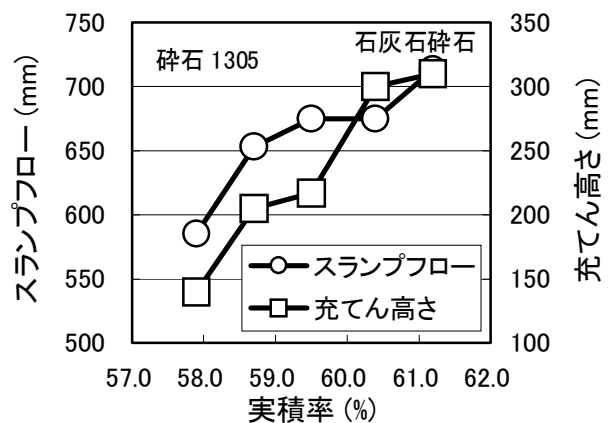


図-8 実積率と流動性 (シリーズ 3)

3. 結果および考察

3. 1 粗骨材と流動性 (シリーズ 1~3)

図-3 および図-4 にシリーズ 1 の場合のスランプフローおよび充填高さの測定結果をそれぞれ混合率と実積率に対して示す。充填高さは石灰石砕石の混合量が多くなるほど、すなわち実積率が大きくなるほど増加傾向を示した。

特に、石灰石砕石が 50%以上となると、充填高さが 300mm となり、材料分離も見られずなめらかな流動を示した。この場合の実積率は 60%以上となっている。他方、スランプフローは実積率が大きくなるに従って約 40mm のわずかな増加がみられた。

図-5 および図-6 にシリーズ 2 のスランプ

フローおよび充てん高さの測定結果を示す。シリーズ2は両骨材とも硬質砂岩であり、最大寸法が異なる砕石 2005（最大寸法 20mm）と砕石 1305（最大寸法 15mm）を混合して使用した。砕石 2005と砕石 1305の実積率の違いは1.1%に過ぎない。両図によると、砕石 2005の混合量が多いほど、すなわち実積率が大きくなるほど、スランプフローおよび充てん高さが大きくなっている。シリーズ1と比べると砕石 1305が100%の場合を除き、スランプフローは670mm以上となっているが、充てん高さは最大でも約220mmに過ぎない。このように両測定値が小さい理由は、実積率が最大でも59%とシリーズ1に比べて小さいことに因るものと考えられる。

図-7 および図-8 にシリーズ3のスランプフローおよび充てん高さの測定結果を示す。図-7によると、石灰石砕石の混合量が多いほど、スランプフローおよび充てん高さが大きくなっている。図-8では、流動性は実積率が大きくなるほど順調に増加している。シリーズ1と同様に、石灰石砕石の混合量が増加するほど、流動性が著しく向上している。石灰石砕石の混合比が50%以上になると、実積率は約60%以上となり、このために流動性が大きくなったものと考えられる。シリーズ1～3の測定結果から、粗骨材は石灰石砕石を混合使用した方が、流動性が向上することは明らかであると考えられる。粗骨材の形状を観察すると、石灰石砕石の角は丸く、硬質砂岩砕石の角は鋭角をしており、明らかに異なっていた。表-5は15mmふるいに留まった粗骨材の各々30個を抽出し、ノギスで骨材の長さ、幅、および厚みを測定し、平均の長さ、細長比、標準偏差および変動係数をまとめたものである。同表によると、砕石 2005と石灰石砕石の平均値および変動係数の違いは極

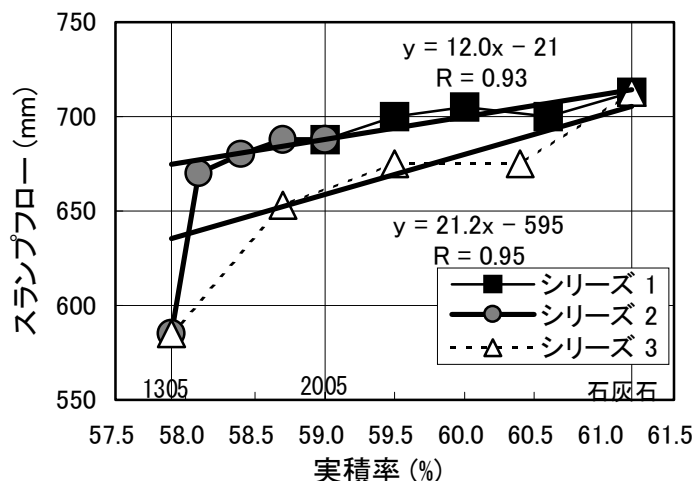


図-7 実積率とスランプフロー

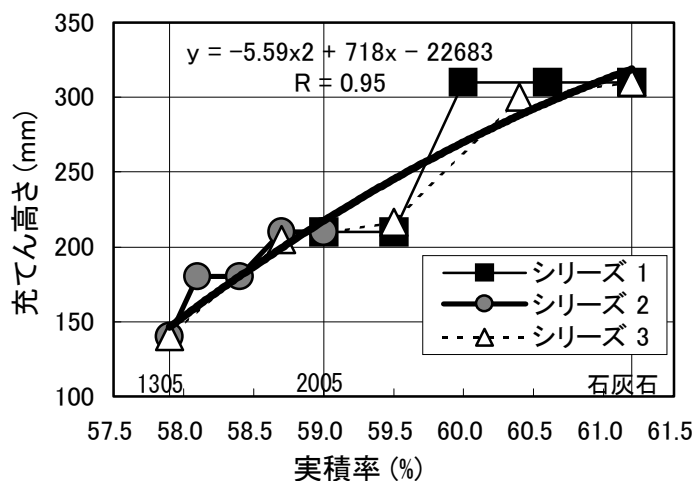


図-8 実積率と充てん高さ

表-5 粗骨材の長さ、幅および細長比

種類		長さ L	幅 d ₁	厚み d ₂	細長比	
					d ₂ /L	※1
砕石 2005	平均 (mm)	28.9	21.1	13.4	0.480	0.610
	標準偏差	3.84	1.93	2.73	0.143	0.114
	変動係数 (%)	13.3	9.2	20.4	29.9	18.7
石灰 石砕 石	平均 (mm)	29.6	21.2	14.3	0.497	0.614
	標準偏差	4.35	2.32	3.01	0.144	0.117
	変動係数 (%)	14.7	11.0	21.0	28.9	19.1

※1 (d₁+d₂)/2/L

めて小さいと考えられる。その中で、石灰石砕石の細長比 (d₂/L) の平均値が 0.497、変動係数が 28.9%であり、砕石 2005 に比較し、平均値で 0.017、変動係数が 1.0%異なっている。このことから、石灰石砕石は硬質砂岩砕石に比べて、極めてわずかであるが立方体により近いものと考えられる。

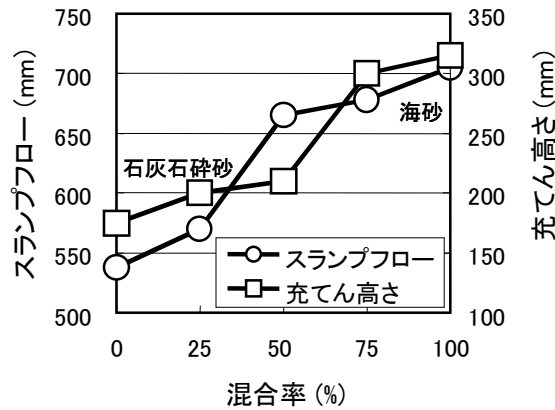


図-11 混合率と流動性 (シリーズ 4)

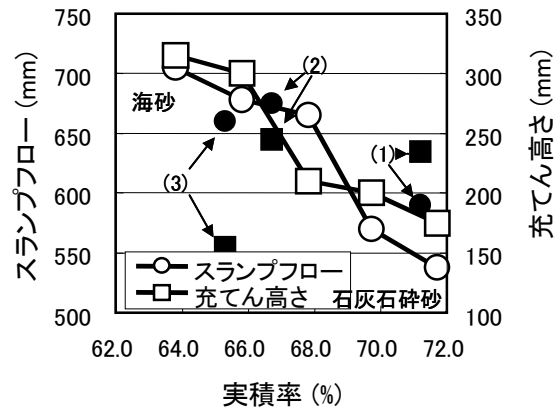


図-12 実積率と流動性 (シリーズ 4)

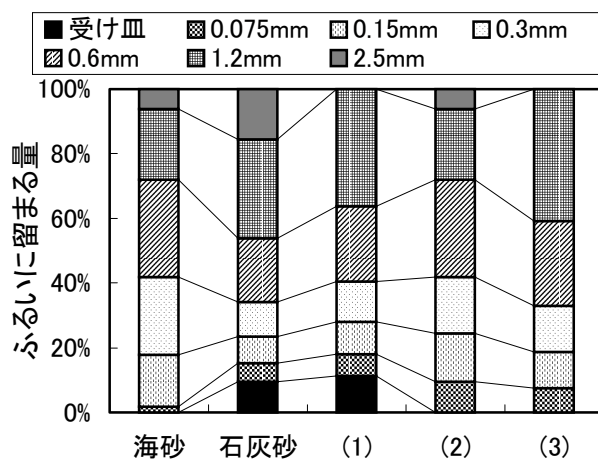


図-13 細骨材の粒度分布

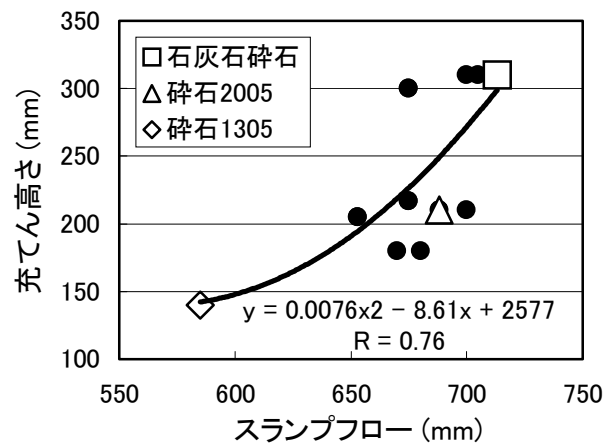


図-14 スランプフローと充てん高さ

図-9 および図-10 はシリーズ 1～3 の測定結果をまとめた実積率とスランプフローおよび充てん高さの関係を示す。図-9 によると、実積率の増加によってスランプフローは緩やかではあるが大きくなっている。図-10 によると、実積率の増加にしたがって充てん高さは著しく大きくなっている。実積率が 58.6%から 61.0%に大きくなると、充てん高さは 156mm から 315mm と増加するため、この区間での実積率 1%の変化が充てん高さ 53mm を増大させることになる。

したがって、高流動コンクリートでも、普通コンクリートの場合と同様に実積率の変化が流動性に大きく影響し、特に充てん高さに強く作用していることが認められる。すなわち、石灰石砕石は硬質砂岩砕石より扁平の程度が小さく、そのばらつきも極めてわずかであると言える。

3. 2 細骨材と流動性 (シリーズ 4)

図-11 および図-12 はシリーズ 4 のスランプフローおよび充てん高さの測定値を示す。図-11 によると、石灰石砕砂の混合量が多いほど、スランプフローおよび充てん高さが減少している。図-12 によると、実積率が大きくなるほど、流動性が減少している。この細骨材の測定結果は、シリーズ 1～3 の場合と全く逆になっている。著者らの昨年までの研究では、本研究の測定結果ほど明白な傾向は認められなかったが、実積率が 2.5%変化してもスランプフローはほぼ同程度であった。

図-13 は両細骨材の粒度分布ならびに石灰石砕砂の粒度調整を行い、試作した砂の各粒度分布を示す。石灰石砕砂の粒度を調整し、同図に示す粒度分布を有する試料(1)～(3)を作製した。(1) 2.5mm ふるいに留まる粒子を取り除いた。

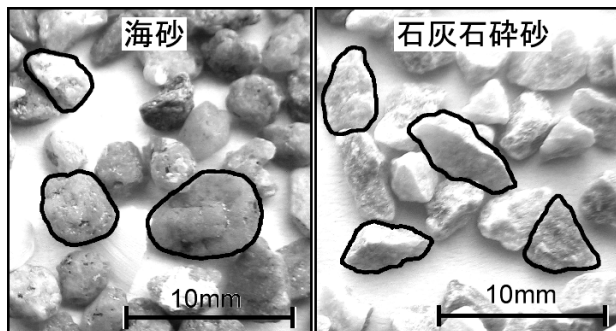


写真-1 細骨材 (2.5mm以上)

(2)0.075mm 未満を取り除いて、2.5mm, 1.2mm を減らした。(3)0.075mm 未満と2.5mm 以上を取り除いた。この細骨材を用いて流動性の測定を行い、その結果を図-12の中に示す。(2),(3)のコンクリートでは、外観ならびに感触から粘性が小さくなった。このことから逆に0.075mm以下の微細粒子が粘性に影響したものと考えられる。また、(2)および(3)の実積率は65%および67%であるので、微細粒子を減少することによって実積率が低下した。

海砂と石灰石砕砂の拡大写真を写真-1に示す。写真によると海砂は、石灰石砕砂に比べて丸い形状が多いことがわかる。そこで両細骨材の2.5mmふるいに留まった各々30個を抽出し、デジタルカメラで撮影した。それをコンピュータを利用して拡大した後、粒子の面積、周長および密集度を計算し、まとめたものを表-6に示す。密集度²⁾は、円のとき1を、細長くなるほど小さな値を示す。海砂の密集度の平均値が0.92を、変動係数3.80%を示し、石灰石砕砂のそれに比べて平均値が0.05、変動係数が0.90%異なっている。すなわち、海砂の粒子が石灰石砕砂に比べてより円に近く、そのばらつきも小さいことが分かった。したがって、細骨材の場合には、石灰石砕砂の実積率が海砂のそれに比べて5.3%も大きいにもかかわらず、粒度分布および形状による影響が大きかったため、図-12の結果となったものと考えられる。

図-14はシリーズ1~3の測定結果の充てん高さスランプフローの関係を示す。同図に

表-6 細骨材の密集度

種類		面積 (mm ²)	周長 (mm)	密集度
海砂	平均値	22.7	18.3	0.92
	標準偏差	5.14	2.34	0.035
	変動係数(%)	22.7	12.8	3.80
石灰石砕砂	平均値	13.5	14.8	0.87
	標準偏差	3.47	2.09	0.041
	変動係数(%)	25.7	14.1	4.70

密集度： $2\sqrt{(\pi A)/周長}$

よると、充てん高さはスランプフローと比例関係にあることが認められる。図中に近似曲線を示す。曲線の相関係数(R)は0.76であった。高流動コンクリートのスランプフローは600mmを目標としているので、本研究に使用した充填試験(高さが590mm)の充てん高さは約150mmに達していれば十分ではないかと考えられる。ただし、本研究のように粗骨材の材料分離が観測されないという条件においてである。

4. まとめ

本研究によって得られた事をまとめて示す。

- (1) 高流動コンクリートの流動性は、粗骨材の実積率に関係があり、実積率が大きいほど流動性が増加した。
- (2) 細骨材の場合は、石灰石砕砂の混合量が多いほどすなわち実積率が大きくなるほど流動性は低下した。この理由として、石灰石砕砂では0.15mm未満の微細分が多いこと、密集度が0.87と小さいこと、および砕石特有の鋭角が多いことに因るものと考えられる。したがって、流動性に影響する要因としては、実積率ばかりでなく、粒度および形状も考慮する必要があるものと再認識した。

参考文献

- 1) 高山俊一：高流動コンクリートの流動性と骨材の実積率，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.973-978，2001.6
- 2) 篠原謹爾：河川工学，共立出版，pp.38