

論文 骨材粒度がダムコンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響

町田宗久*1・吉田 等*2・佐々木隆*3・平山大輔*4

要旨:細骨材の粒度分布の変化が貧配合コンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響を明らかにするため、V C試験により検討した。その結果、5~1.2 mmと0.3 mm以下の粒径骨材のバラツキと細骨材の表面積が影響を及ぼすこと、細骨材率が大きくなるほど細骨材表面積がコンシステンシーに及ぼす影響が大きくなることが明らかになった。

キーワード:貧配合コンクリート, コンシステンシー, 細骨材粒度, V C試験

1. はじめに

近年、ダム建設における現地発生材の有効利用を目的とした新工法としてC S G工法が注目されている。C S G (Cemented Sand and Gravel) 工法とは、建設サイト付近で容易に得られる河床砂礫や掘削ズリなどから大玉だけを除いてセメント、水を簡易混合した材料（以下「C S G材料」という）を、堤体材料として利用する工法である。

C S G工法は、これまで、ダムの仮締切堤のほか、永久構造物である貯砂ダムの堤体材料として使用されている。通常のコンクリートダム工事に比べると骨材製造プラントなどの仮設備を大幅に縮小することが可能となる。一方で、骨材粒度のバラツキを許容し厳密な水分管理も行わないため、強度のバラツキやフレッシュ性状の変動が大きい。

このような背景から、筆者らは、骨材粒度のバラツキがC S G材料のコンシステンシーに及ぼす影響について検討を進めてきており、これまで粗骨材の粒度変化より骨材中に占める細骨材含有率がコンシステンシーに及ぼす影響が大きいことを実験により確認している。

本論文は、細骨材粒度のバラツキが貧配合コ

ンクリートのコンシステンシーに及ぼす影響を明らかにするために、V C試験により検討を行った結果を報告するものである。

2. 試験概要

2.1 使用材料

表-1に試験に用いた材料とその物性値を示す。粗骨材粒度と細骨材の基本的な粒度(以下、「基本粒度」と呼ぶ)は、図-1, 2に示すとおり土木学会の「コンクリート標準示方書ダム編」の標準粒度範囲内となるよう設定した。なお、細骨材は、S1(5~1.2 mm), S2(1.2~0.3 mm), S3(0.3 mm以下)に3分級し、基本粒度においてはそれぞれが1/3づつになるように設定した。

表-1 使用材料および物性値

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熟ポルトランドセメント
混和剤	A E減水剤
細骨材 (mm)	岩種: 安山岩
5-1.2	(比重=2.65, 吸水率=1.58%)
1.2-0.3	(比重=2.64, 吸水率=1.82%)
0.3-0	(比重=2.64, 吸水率=1.92%)
粗骨材 (mm)	岩種: 安山岩
80-40	(比重=2.73, 吸水率=0.67%)
40-20	(比重=2.72, 吸水率=0.79%)
20-10	(比重=2.72, 吸水率=1.02%)
10-5	(比重=2.69, 吸水率=0.98%)

*1 国土交通省土木研究所ダム部ダム構造研究室研究員(正会員)

*2 国土交通省土木研究所ダム部ダム構造研究室室長

*3 国土交通省土木研究所ダム部ダム構造研究室主任研究員

*4 国土交通省土木研究所ダム部ダム構造研究室研究員

2.2 試験ケース

試験ケースとして、基本ケースと変動ケースを設定した。基本ケースは、細骨材粒度を基本粒度とし細骨材率が異なる3種類を設定した。単位ペースト量は、大型VC値が60秒となるように調整した。変動ケースは、3分級した細骨材の粒径別百分率を変動させたもので、各細骨材率ごとに9ケース設定した。なお、単位ペースト量は各細骨材率ごとに基本ケースと同じとした。表-2に各ケースの粒径別割合、図-3～5に細骨材粒度の粒度分布を示す。

2.3 試験方法

ゼロスランプコンクリートのコンシステンシーは、一般に標準VC試験により評価されている。この場合、40 mm以上の骨材は予めウェットスクリーニングにより除去されるため、本試験においては、フルサイズ材料のコンシステンシーを評価できる大型VC試験(内径 48cm, 内高 40cm)もあわせて実施した。なお、標準VC試験におけるVC値20秒は、大型VC値で60秒に相当し、本研究では適切なコンシステンシーの範囲を大型VC値が 60 ± 20 秒であることとした。また、表-2に示す細骨材率が30%であるケースについては、密度もあわせて測定した。

2.4 基本ケースの選定

細骨材率が異なる3種類の基本ケースの配合を選定するために、基本粒度を用いて、図-6に示すように細骨材率を変化させて大型VC値が最小となる最適細骨材率を求め、大型VC値が60秒になる単位ペースト量を求めることに

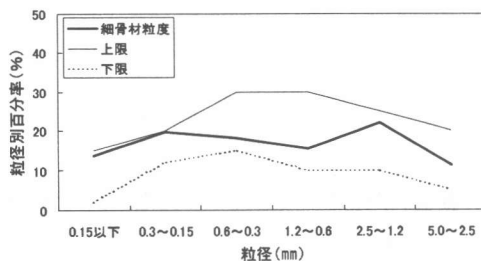


図-2 細骨材の基本粒度

表-2 各ケースの粒径別割合

ケース		細骨材率	粒径別百分率(%)			
			S1 (5~1.2mm)	S2 (1.2~0.3mm)	S3 (0.3mm以下)	
基本ケース	基本1	30	33.3	33.3	33.3	
	基本2	23				
	基本3	37				
変動ケース	S1 変動	S1-1	30.	100.0	0.0	0.0
		S1-2		66.7	16.7	16.7
		S1-3		0.0	50.0	50.0
	S2 変動	S2-1	37.	0.0	100.0	0.0
		S2-2		16.7	66.7	16.7
		S2-3		50.0	0.0	50.0
	S3 変動	S3-1		0.0	0.0	100.0
		S3-2		16.7	16.7	66.7
		S3-3		50.0	50.0	0.0

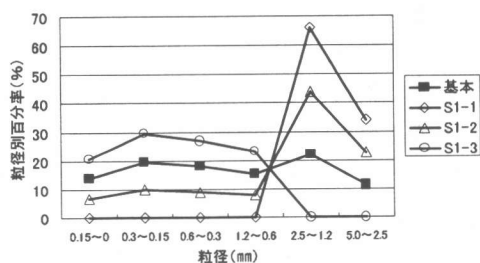


図-3 S1(5~1.2 mm)を変動させた場合の粒度分布

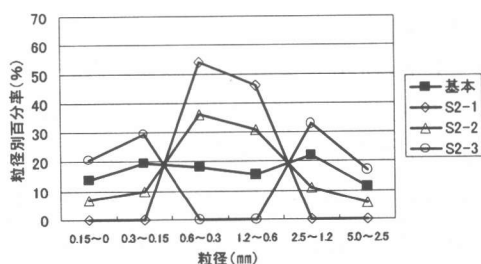


図-4 S2(1.2~0.3 mm)を変動させた場合の粒度分布

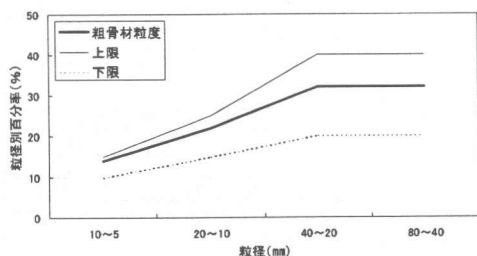


図-1 粗骨材の基本粒度

より、基本配合1とした。次に、基本配合1の細骨材率を±7%変動させた細骨材率について、大型VC値が60秒になる単位ペースト量を求め、これを基本配合2、3とした。図-7に単位ペースト量と大型VC値の関係、表-3に基本配合表を示す。

3 試験結果

3.1 VC値

表-4に試験結果の一覧表を示す。細骨材率が大きいほど、大型VC値、標準VC値ともに計測できないケースが多くなる傾向がみられた。なお、ここで計測できない状態とは、VC試験を行ってもペーストが上がってこない状態のことをいう。

3.2 細骨材粒度とVC値の関係

表-4に示すとおり、細骨材がS1～S3の単一粒度からなるS1-1、S2-1、S3-1では、大型VC値、標準VC値とも測定できたのは細骨材率23%のS2-1だけであった。このことから、細骨材粒度が単一粒度だけに片寄ると、適切なコンシステンシーを得ることができないことがわかった。

図-8に細骨材率30%におけるS1粒径骨材の粒径別百分率とVC値の関係を示す。図によると粒径別百分率とVC値は凹型曲線で近似できる。適切なコンシステンシーを得るためには、S1粒径骨材の粒径別百分率が約27～65%の範囲となる結果となった。

図-9に細骨材率30%におけるS2粒径骨材の粒径別百分率とVC値の関係を示す。S2粒径骨材の粒径別百分率が0%であっても適切なコンシステンシーを得ることができ、また、S2粒径骨材の粒径別百分率が大きくなる

ほどVC値が大きくなる傾向を示したが、適切なコンシステンシーを得るための範囲は明確ではない結果となった。

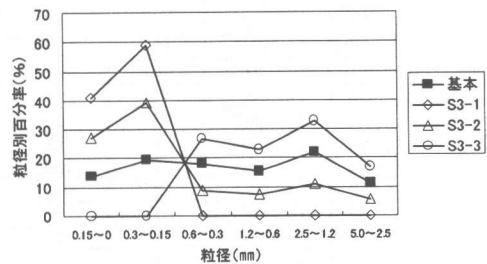


図-5 S3(0.3 mm以下)を変動させた場合の粒度分布

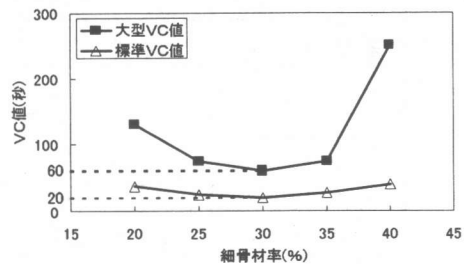


図-6 細骨材率とVC値の関係

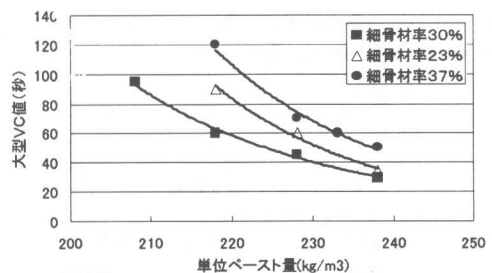


図-7 単位ペースト量と大型VC値の関係

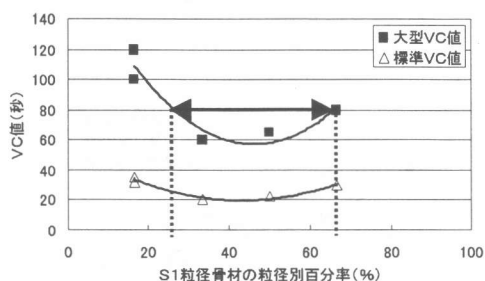
表-3 基本配合表

配合名	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	目標とな る大型V C値 (S)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 (%)	細骨材 率(%)	単位量(kg/m3)									混和剤 (ホ"リ ズNo.8)	
						水	セメン ト	細骨材			粗骨材					
								5~1.2 mm	1.2~ 0.3mm	0.3mm 以下	80~40 mm	40~20 mm	20~10 mm	10~5 mm		
基本1	80	60	1.5±	81.7	30	98.0	120.0	225	225	225	517	517	356	226	0.300	
基本2			1.0		23	102.5	125.5	171	171	171	565	565	388	247	0.314	
基本3					37	104.8	128.2	274	274	274	461	461	317	201	0.321	

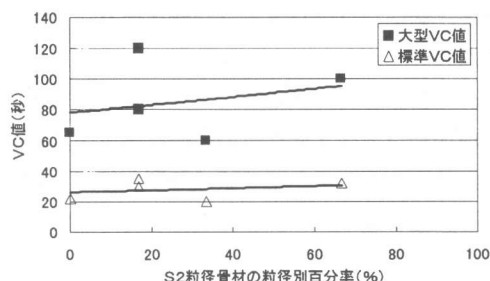
表－４ 試験結果の一覧表

細骨材率 (%)	粒度区分	細骨材粒度比率(%)			粗粒率 FM	表面積比	大型VC値 (秒)	標準VC値 (秒)	密度比
		S1	S2	S3					
30	基本1	33.3	33.3	33.3	2.46	1.00	60	20	97.8
	S1-1	100	0	0	4.34	0.13	×	×	98.0
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	0.56	80	30	96.7
	S1-3	0	50	50	1.53	1.43	165	50	95.8
	S2-1	0	100	0	2.46	0.50	×	×	95.3
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	0.75	100	32	91.8
	S2-3	50	0	50	2.47	1.25	65	22	88.0
	S3-1	0	0	100	0.59	2.37	×	×	89.5
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	1.68	120	35	88.8
	S3-3	50	50	0	3.40	0.32	×	53	93.3
23	基本2	33.3	33.3	33.3	2.46	1.00	60	20	
	S1-1	100	0	0	4.34	0.13	×	×	
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	0.56	65	19	
	S1-3	0	50	50	1.53	1.43	65	23	
	S2-1	0	100	0	2.46	0.50	100	33	
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	0.75	60	20	
	S2-3	50	0	50	2.47	1.25	55	19	
	S3-1	0	0	100	0.59	2.37	×	87	
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	1.68	75	24	
	S3-3	50	50	0	3.40	0.32	85	30	
37	基本3	33.3	33.3	33.3	2.46	1.00	60	20	
	S1-1	100	0	0	4.34	0.13	×	×	
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	0.56	70	27	
	S1-3	0	50	50	1.53	1.43	×	102	
	S2-1	0	100	0	2.46	0.50	×	×	
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	0.75	130	38	
	S2-3	50	0	50	2.47	1.25	65	22	
	S3-1	0	0	100	0.59	2.37	×	×	
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	1.68	×	155	
	S3-3	50	50	0	3.40	0.32	×	×	

×印・・・VC値計測不能



図－８ 細骨材率 30%における S 1 粒徑骨材の粒徑別百分率と VC 値の関係



図－９ 細骨材率 30%における S 2 粒徑骨材の粒徑別百分率と VC 値の関係

図－１０に細骨材率 30%における S 3 粒徑骨材の粒徑別百分率と VC 値の関係を示す。図によると粒徑別百分率と VC 値の間は凹型曲線で近似できる。適切なコンシステンシーを得るためには、S 3 粒徑骨材の粒徑別百分率が約 21～55%の範囲となる結果となった。

また、図－８～１０の傾向は細骨材率が 23%, 37% のケースにおいても同様であった。

3.3 細骨材表面積とVC値の関係

3.2より、適切なコンシステンシーを得るためには、S 1, S 3 粒徑骨材については適切な範囲に入っていないと示された結果が示された。このことから、細骨材粒度を各粒徑骨材の粒徑別百分率のみではなく、他の指標で評価することとした。

一般に、コンクリートの骨材粒度は粗粒率(FM)で評価されることが多い。しかし、表-4で示すとおり細骨材の粒度分布が異なっても粗粒率が変わらないケースが存在する。そこで、細骨材表面積とVC値の関係について考察を行った。表面積の算出に当たっては細骨材が球体であると仮定し、S1、S2、S3それぞれの平均粒径を直径とみなした。なお、ここでは、基本粒度の表面積を1とした場合の各ケースの表面積を細骨材表面積比(以下、「表面積比」と呼ぶ)とする。

図-1.1に各細骨材率における表面積比と大型VC値の関係、図-1.2に各細骨材率における表面積比と標準VC値の関係を示す。図によると、表面積比とVC値の間は凹型曲線で近似できる。基本粒度は、表面積比が1であり、表面積比が1に近いところではVC値が小さく、1から離れるにしたがってVC値が大きくなる結果となった。また、細骨材率が大きくなると、回帰曲線が立ってくる傾向を示したことから、細骨材率が大きくなると表面積比がコンシステンシーに及ぼす影響が大きくなると考えられる。

3.4 VC値と密度の関係

図-1.3に細骨材率30%におけるVC値と密度比の関係を示す。密度比は、配合から計算される理論密度を1とした場合の各ケースの締固め密度である。図によるとVC値と密度比の間は直線で近似でき、VC値が小さくなるほど密度比が大きくなり、締固めが良好である結果となった。

3.5 表面積と密度の関係

図-1.4に表面積比と密度比の関係を示す。図によると、表面積比と密度比の間は凸型曲線で近似でき、表面積比が約1~1.5の間の密度比の値が大きくなり、締固めが良好である結果となった。

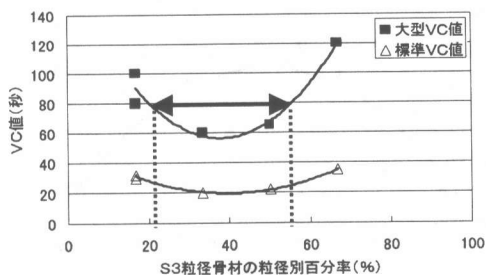


図-1.0 細骨材率30%におけるS3粒径骨材の粒径別百分率とVC値の関係

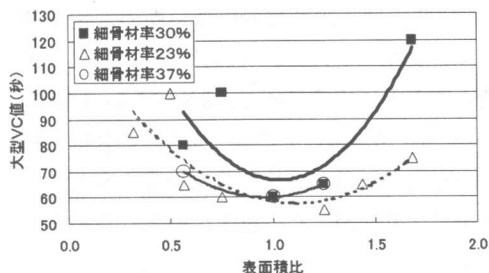


図-1.1 表面積比と大型VC値の関係

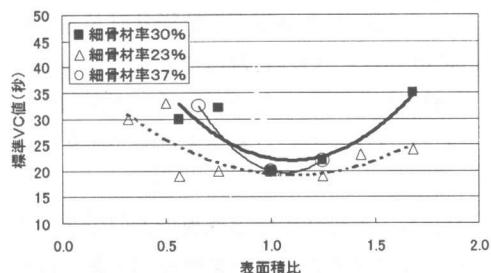


図-1.2 表面積比と標準VC値の関係

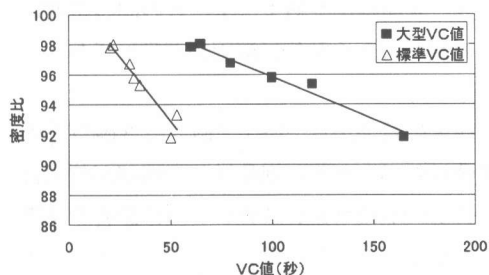
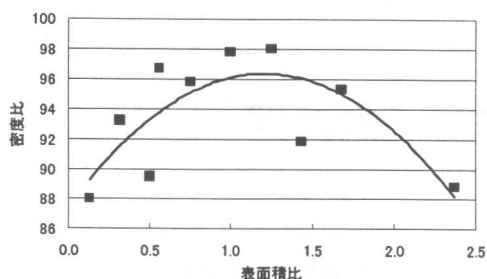


図-1.3 VC値と密度比の関係



図－１４ 細骨材率３０％における
表面積比と密度比の関係

４ まとめ

本研究では、細骨材の粒度分布の変化が貧配合コンクリートのコンシステンシーに与える影響を明らかにする目的で、細骨材を $5\sim 1.2\text{mm}$ 、 $1.2\sim 0.3\text{mm}$ 、 0.3mm 以下に３分級し、細骨材の組合わせにより細骨材の粒度分布を変化させ、ＶＣ試験により検討した。以下に得られた結果をとりまとめる。

- １）細骨材粒度が単一粒度だけでは、適切なコンシステンシーを得ることができない。
- ２）適切なコンシステンシーを得るためには、 $5\sim 1.2\text{mm}$ と 0.3mm 以下の粒径骨材が適切な範囲に入っていないといけない。
- ３）細骨材率が大きくなると細骨材表面積比がコンシステンシーに及ぼす影響が大きくなる。
- ４）ＶＣ値と密度比の間は直線で近似でき、ＶＣ値が小さくなるほど密度比が大きくなり、締固めが良好である。
- ５）表面積比と密度比の間は凸型曲線で近似でき、表面積比が約 $1\sim 1.5$ の間の密度比の値が大きくなり、締固めが良好である。

本研究の結果から、 $5\sim 1.2\text{mm}$ と 0.3mm 以下の粒径骨材のバラツキと細骨材の表面積が貧配合コンクリートのコンシステンシーに影響を及ぼすことが明らかになった。

今後は、今回の試験結果を踏まえて、ＣＳＧ材料をダムの堤体材料として使用するために、現場での材料の粒度の管理方法や練混ぜ、施工方法などについても研究を行っていく予定である。