

2. 骨材粒度特性に関する検討

2.1 骨材粒度の変化によるVC値への影響

2.1.1 分級骨材の単位量変化試験(その1)

(1) 検討目的と検討方法

現地発生材を必要に応じてオーバーサイズカットや破碎すること等によりCSG材として使用することを前提とするCSG工法においては、採取場所の違い等に基づく骨材粒度の変化が予想される。したがって、骨材粒度が変化するとCSGの施工性がどのように影響を受けるかについて把握しておく必要がある。また実施工においては、そのような骨材粒度の変化に合わせて、所要の施工性を確保するためにCSGの単位ペースト量を調整することも考えられるが、どのように単位ペースト量を変化させればよいかということも把握する必要がある。

本検討では、CSGのフレッシュ性状の指標としてVC値を用いることとし、骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響、および所要のVC値を得るために必要な単位ペースト量に与える影響について試験を実施した。試験における粗骨材の粒度変化の範囲は、示方書ダム編に規定される標準粒度範囲の概ね上限値、下限値までとなるように設定した。

(2) 使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.1.1に示す。また、細骨材の粒径別分布曲線を図2.1.1、粗骨材の粒径別分布曲線を図2.1.2に示す。粗骨材の基本粒度は、示方書ダム編の標準粒度範囲内のほぼ中間になるように設定した。

表2.1.1 使用材料および物性()

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 (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,400cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5~0mm)	岩種：花崗岩 (密度 = 2.60, 吸水率 = 1.42%, 粗粒率 = 2.54)
粗骨材 (mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.64, 吸水率 = 0.44%)
40-20	(密度 = 2.64, 吸水率 = 0.88%)
20-10	(密度 = 2.62, 吸水率 = 1.16%)
10-5	(密度 = 2.62, 吸水率 = 1.37%)

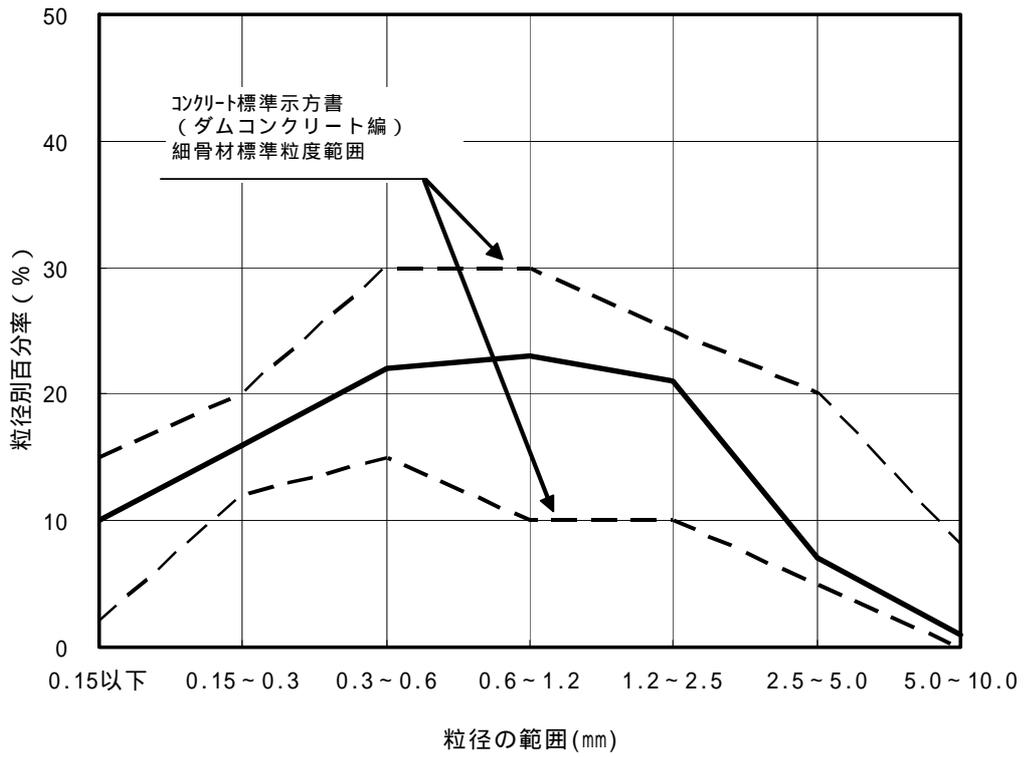


図 2.1.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

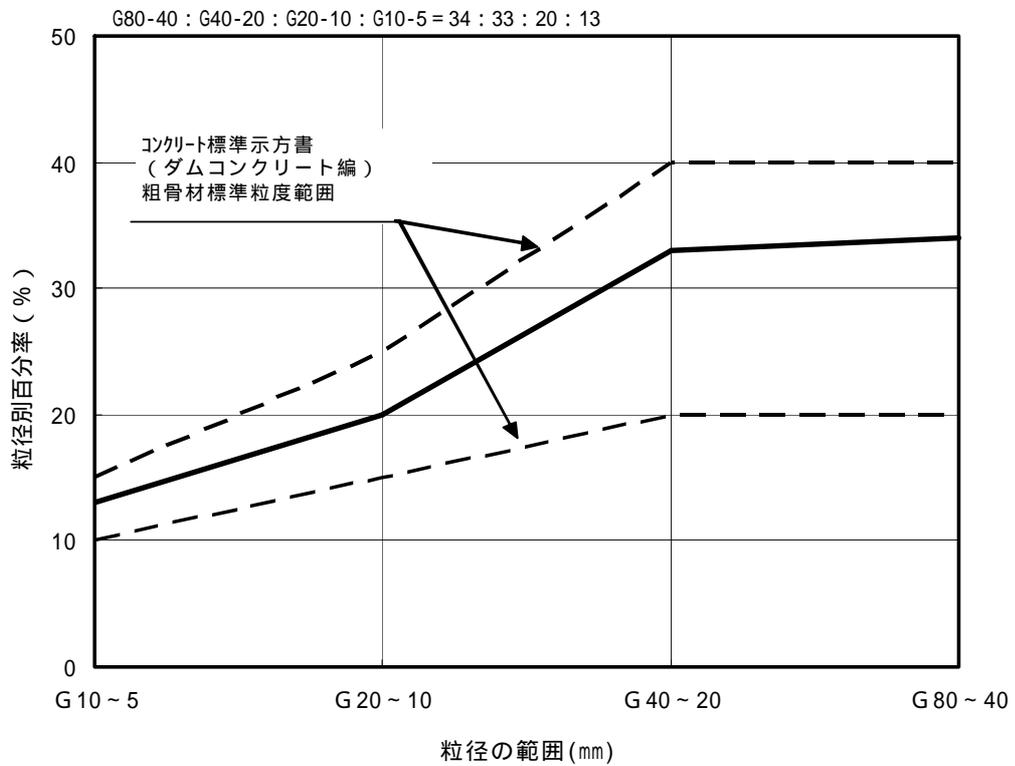


図 2.1.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

この検討における3つの試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

この検討におけるCSGの基本配合を選定するための試験である。まず単位ペースト量を一定として、CSG材における細骨材率をパラメータとした数種類の配合のCSGを練り混ぜ、それらのVC値の測定を行い、VC値が最小となる細骨材率を最適細骨材率として選定する。次に細骨材率を一定(最適細骨材率)として、単位ペースト量(単位セメント量を一定としているため、実質的に単位水量)をパラメータとした数種類の配合のCSGを練り混ぜ、それらのVC値の測定を行い、VC値が所定の値(標準VC試験で20秒、大型VC試験で60秒)となる単位ペースト量(単位水量)を最適単位ペースト量(最適単位水量)として選定する。

試験1：骨材粒度の変化がVC値に与える影響

試験1では、粗骨材の粒度変化がCSGのVC値に与える影響を確認するために、細骨材率および単位ペースト量を基本配合のとおりで一定とし、粗骨材の特定の分級骨材の単位量を変化させて大型VC値と標準VC値を測定する。

この時に、各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内となるようにする。また、単位量を変化させる分級骨材以外の分級骨材の単位量は、変化対象とした分級骨材より小さい粒径の分級骨材においては基本配合時の数値に固定し、大きい粒径の骨材においてはそれらの比が常に一定となるようにする。

試験2：骨材粒度の変化が所要のVC値を得るのに必要な単位ペースト量に与える影響

試験2では、骨材粒度(細骨材率および粗骨材粒度)が変化したとき、CSGのVC値が所要の値となるような単位ペースト量がどのようになるかを確認するために、細骨材率、粗骨材分級骨材の単位量、単位ペースト量を変化させて、大型VC値および標準VC値を測定する。

この時の細骨材率の変化範囲は、基本配合における細骨材率の $\pm 7.5\%$ とする。また、粗骨材分級骨材の単位量の変化範囲は、概ね標準粒度範囲以内となるようにする。

試験2における粒度の比較は以下の3通りである。

- ・粗骨材粒度が一定で細骨材率が異なる骨材粒度
- ・細骨材率 s/a が基本配合の細骨材率 - 7.5%一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度
- ・細骨材率 s/a が基本配合の細骨材率 + 7.5%一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度

(4) 基本配合の選定

細骨材率 s/a とVC値の関係を図2.1.3に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 102\text{kg/m}^3$ (一定)においてVC値が最小となる細骨材率 s/a は大型VC、標準VCとも30%であった。次に、単位ペースト量 P とVC値の関係を図2.1.4に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$ (一定)とした時の大型VC値が60秒となるような単位ペースト量は、 $P = 216\text{kg/m}^3$ であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表2.1.2に示す。

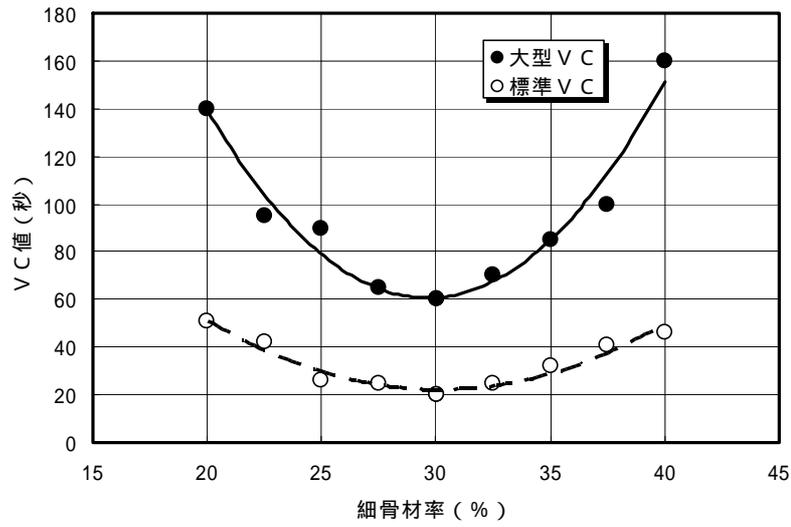


図 2.1.3 細骨材率とVC値 (C = 120kg/m³、W = 102kg/m³) ()

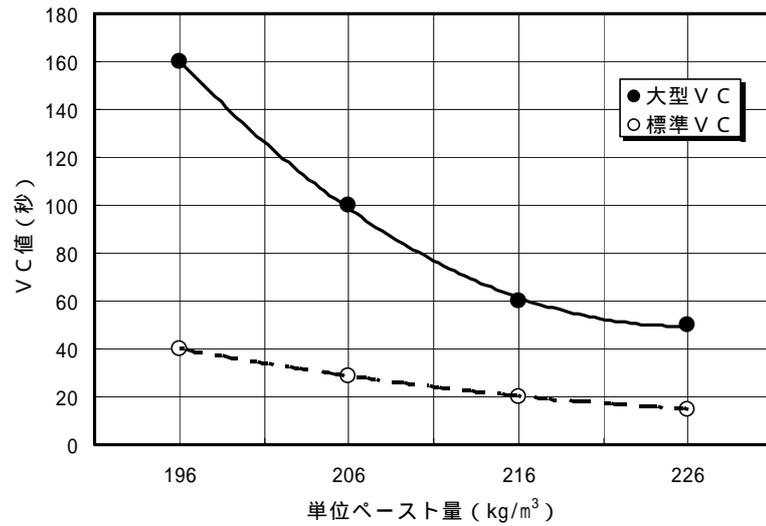


図 2.1.4 単位ペースト量とVC値 (C = 120kg/m³、s/a = 30%) ()

表 2.1.2 基本配合表 ()

最大骨材寸法 (mm)	目標大型VC値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
									80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
80	60	1.5 ± 1.0	80	30	216	96	120	664	535	519	312	203	0.300

(5) 試験ケース

試験 1 および試験 2 における試験ケースを表 2.1.3 に、試験 1 における骨材の粒径別分布曲線を図 2.1.5 ~ 図 2.1.7 に示す。また、試験 2 における骨材の粒径別分布曲線と粒度分布曲線を図 2.1.8、図 2.1.9 に示す。

表 2.1.3 試験 1 および試験 2 における試験ケース ()

試験区分	粒度	粒度変化区分	単位 ペースト量 (kg/m ³)	細骨材率 (%)	粗骨材各粒径毎の割合 (%)			
					G10-5	G20-10	G40-20	G80-40
基本			216	30	9.1	14.0	23.1	23.8
試験 1	1-1	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G10-5)	216	30	6.4	14.6	24.2	24.9
	1-2		216	30	7.8	14.3	23.6	24.4
	1-3		216	30	10.5	13.7	22.6	23.2
	1-4		216	30	11.8	13.4	22.1	22.8
	1-5	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G20-10)	216	30	9.1	9.8	25.2	25.9
	1-6		216	30	9.1	11.9	24.2	24.9
	1-7		216	30	9.1	16.1	22.1	22.8
	1-8		216	30	9.1	18.2	21.0	21.7
	1-9	粗骨材粒度の変動 (変動対象粒径 =G40-20)	216	30	9.1	14.0	16.2	30.7
	1-10		216	30	9.1	14.0	19.7	27.2
	1-11		216	30	9.1	14.0	26.6	20.3
	1-12		216	30	9.1	14.0	30.0	16.9
試験 2	2-1	細骨材率と 粗骨材粒度の変動	196 206 216 226 236	37.5	11.8	18.2	16.0	16.5
	2-2			37.5	11.8	11.7	19.2	19.8
	2-3			37.5	8.1	12.5	20.6	21.3
	2-4			22.5	10.1	15.5	25.6	26.4
	2-5			22.5	6.4	16.3	27.0	27.8
	2-6			22.5	6.4	9.8	30.2	31.1

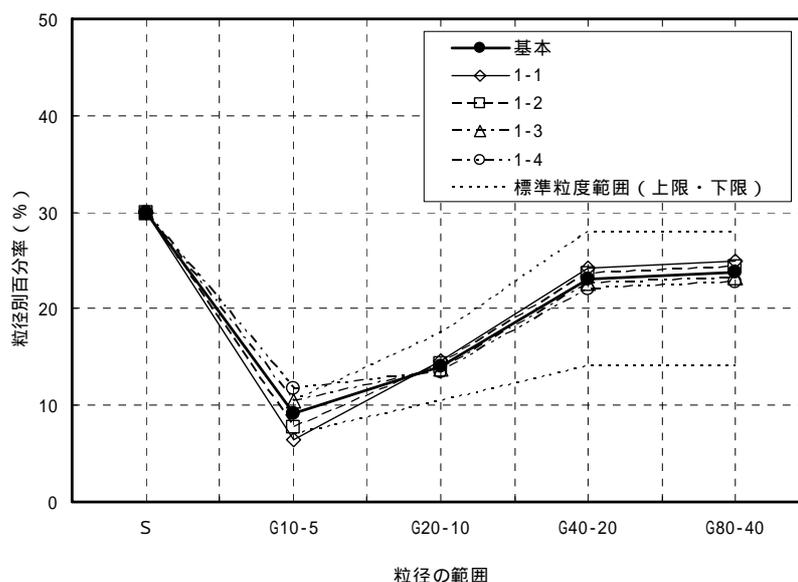


図 2.1.5 試験 1 における骨材の粒径別 (G10-5 変動) 分布曲線 ()

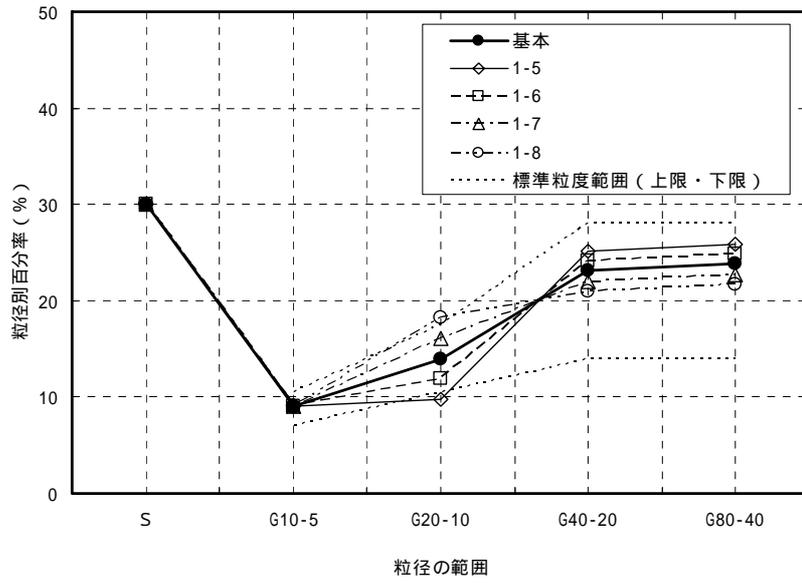


図 2.1.6 試験 1 における骨材の粒径別 (G20-10 変動) 分布曲線 ()

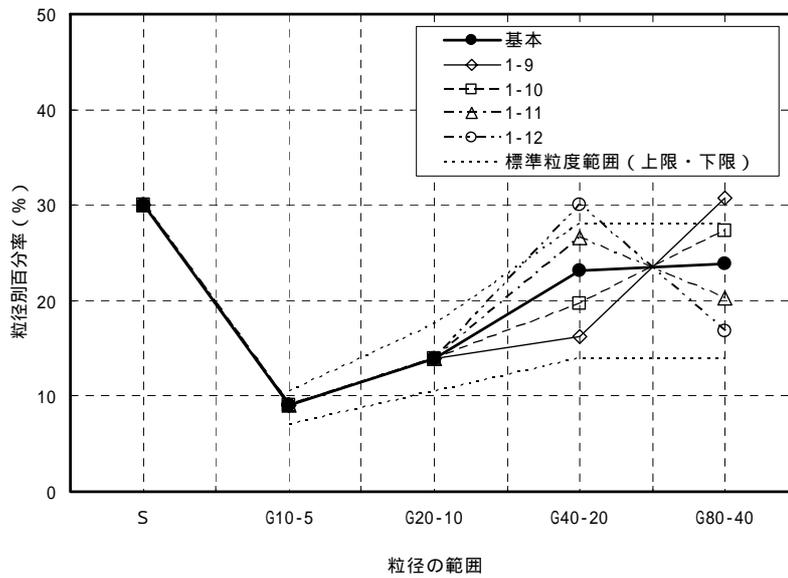


図 2.1.7 試験 1 における骨材の粒径別 (G40-20 変動) 分布曲線 ()

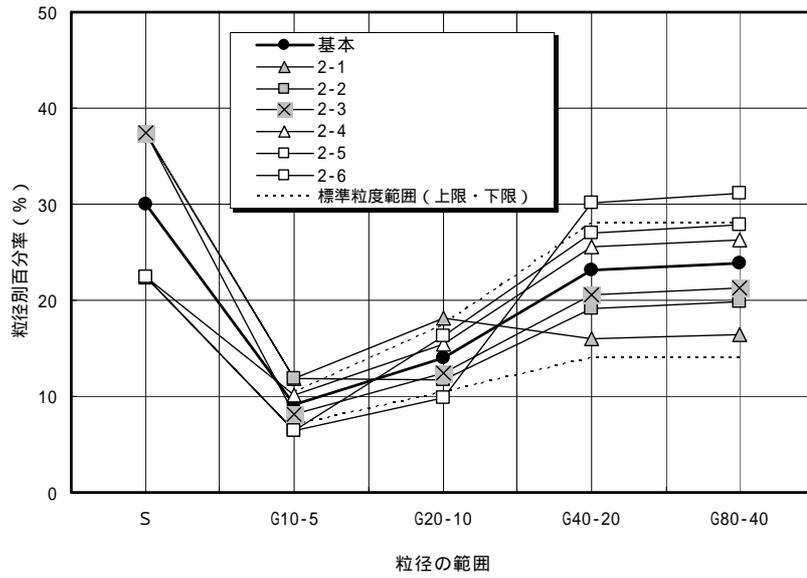


図 2.1.8 試験 2 における骨材の粒径別分布曲線 ()

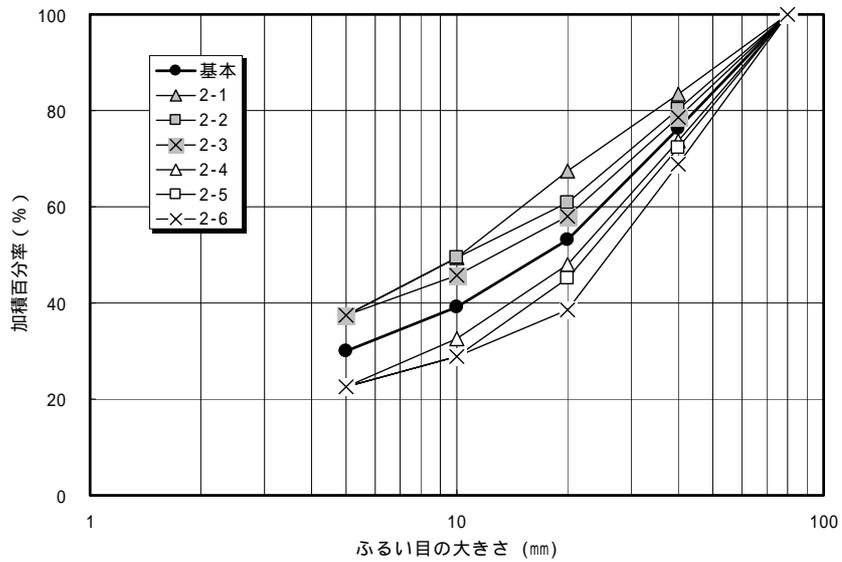


図 2.1.9 試験 2 における骨材の粒度分布曲線 ()

(6) 試験結果 (試験 1、試験 2)

試験 1 における粗骨材粒度の変動による V C 値への影響を表 2.1.4 ~ 表 2.1.6 および図 2.1.10 ~ 図 2.1.12 に示す。

図 2.1.10 より、10 ~ 5mm 分級骨材が多くなると V C 値は小さくなる傾向が見られるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

図 2.1.11 より、20 ~ 10mm 分級骨材の割合が 15% 程度のときに大型 V C 値の最小値が現れるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

図 2.1.12 より、40 ~ 20mm 分級骨材の割合が 22% 程度のときに大型 V C 値の最小値が現れるものの、この分級骨材の割合の変化に対する V C 値の変化は小さいことが確認された。

次に、試験 2 の結果は以下のとおりで、表 2.1.7 ~ 表 2.1.9 および図 2.1.13 ~ 図 2.1.15 に示す。

試験 2 のケースのうち、粗骨材粒度が一定 (図 2.1.2 に示す基本粒度) で、細骨材率 30%、22.5%、37.5% のそれぞれのもとで単位ペースト量を変化させて V C 値を測定した結果を図 2.1.13 に示す。この図より、いずれの細骨材率 ($s/a = 30\%$ 、 22.5% 、 37.5%) においても、単位ペースト量が多くなるほど、V C 値 (大型、標準) は小さくなる。大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量は、細骨材率が最適細骨材率とは異なる場合 (細骨材率 $s/a = 22.5\%$ 、 37.5%) では、基本配合における $P = 216\text{kg}/\text{m}^3$ から $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ となり、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 多くなる結果となった。これは、図 2.1.3 に示されるように、細骨材率が最適細骨材率から離れるほど V C 値が大きくなることから、当然の結果である。

試験 2 のケースのうち、細骨材率が 22.5% 一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト量と V C 値の関係を図 2.1.14 に示す。この図より、粗骨材粒度が異なっても、単位ペースト量と V C 値の傾向はほぼ同様であり、大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量は、どのケースも $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ 程度となっている。

試験 2 のケースのうち、細骨材率が 37.5% 一定で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト量と V C 値の関係を図 2.1.15 に示す。この図より、大型 V C 値が 60 秒となる単位ペースト量は、粒度 2-3 では $P = 226\text{kg}/\text{m}^3$ 、粒度 2-1 および 2-2 では $P = 231\text{kg}/\text{m}^3$ となっている。

表 2.1.4 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G10-5) と V C 値 ()

G10-5割合	標準 V C 値	大型 V C 値
6.4	24	70
7.8	22	65
9.1	20	60
10.5	21	65
11.8	18	55

表 2.1.5 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G20-10) と V C 値 ()

G20-10割合	標準 V C 値	大型 V C 値
9.8	21	70
11.9	20	65
14.0	20	60
16.1	20	60
18.2	22	65

表 2.1.6 試験 1 : 粗骨材粒度の変動 (G40-20) と V C 値 ()

G40-20割合	標準 V C 値	大型 V C 値
16.2	16	65
19.7	20	60
23.1	20	60
26.6	23	65
30.0	35	75

表 2.1.7 試験 2 : 粗骨材粒度一定での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	s/a=30%	s/a=37.5%	s/a=22.5%	s/a=30%	s/a=37.5%	s/a=22.5%
	基本	2-3	2-4	基本	2-3	2-4
196	40			160		
206	29	60	53	100	170	140
216	20	41	42	60	100	95
226	15	21	22	50	60	60
236		14	11		45	40

表 2.1.8 試験 2 : 細骨材率一定 (22.5%) での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	2-4	2-5	2-6	2-4	2-5	2-6
206	53	54	52	140	140	145
216	42	42	47	95	100	105
226	22	18	18	60	60	60
236	11	10	9	40	40	35

表 2.1.9 試験 2 : 細骨材率一定 (37.5%) での単位ペースト量と V C 値 ()

単位ペースト量 (kg/m ³)	標準 V C V C 値 (秒)			大型 V C V C 値 (秒)		
	2-1	2-2	2-3	2-1	2-2	2-3
206	74	81	60	210	220	170
216	45	50	41	105	105	100
226	25	24	21	70	70	60
231	21	10		60	60	
236	17	15	14	45	45	45

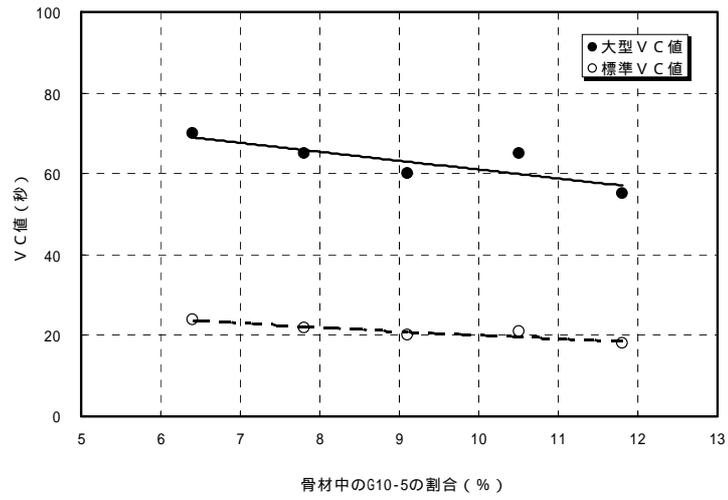


図 2.1.10 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G10-5) と VC 値 ()

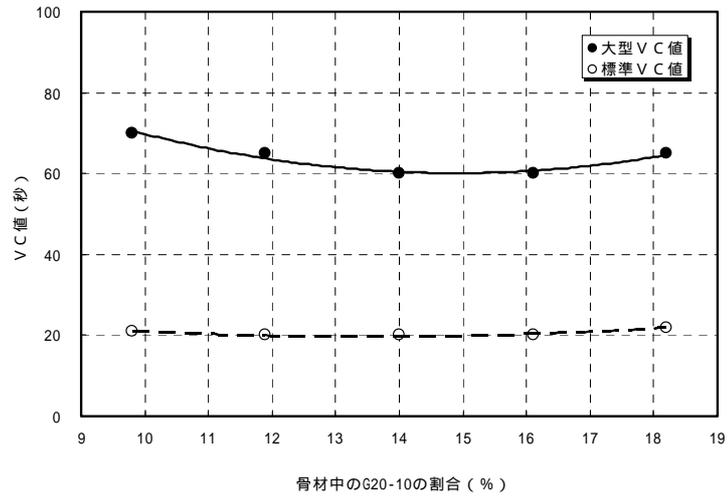


図 2.1.11 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G20-10) と VC 値 ()

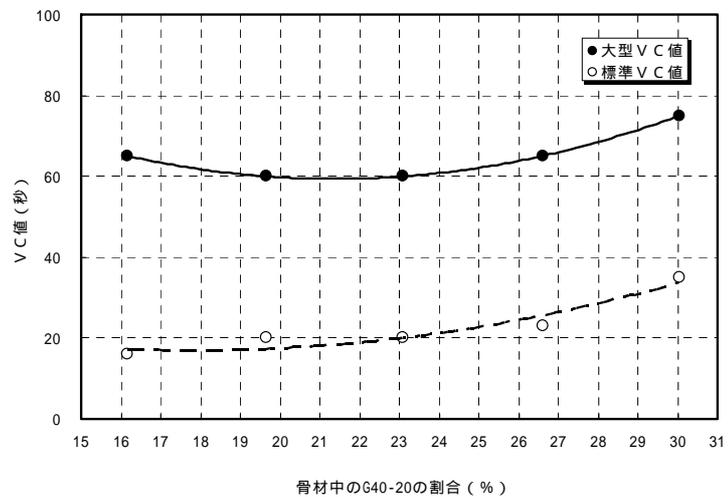


図 2.1.12 試験 1：粗骨材粒度の変動 (G40-20) と VC 値 ()

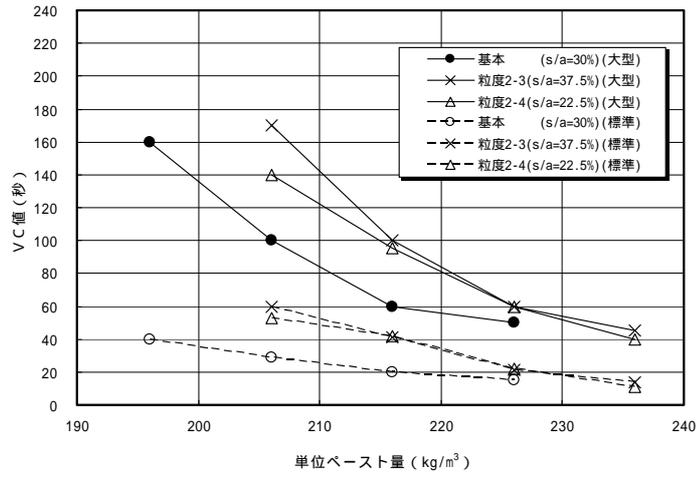


図 2.1.13 試験 2：粗骨材粒度一定での単位ペースト量とVC値()

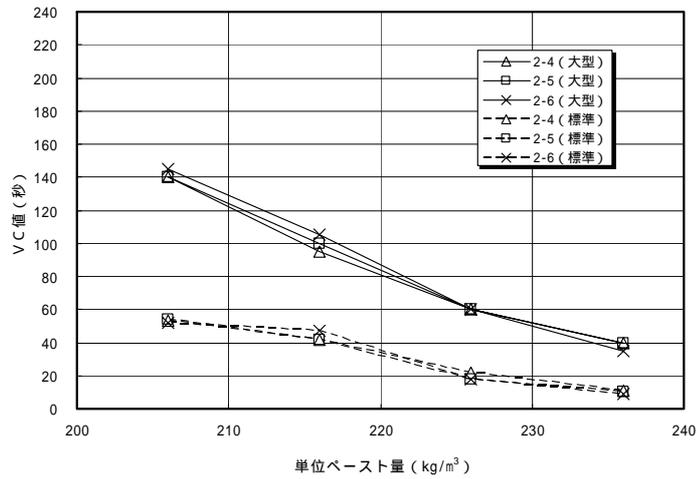


図 2.1.14 試験 2：細骨材率一定 (22.5%) での単位ペースト量とVC値()

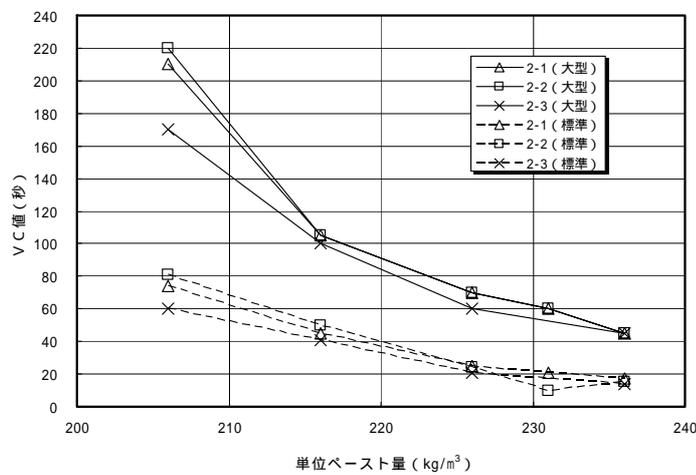


図 2.1.15 試験 2：細骨材率一定 (37.5%) での単位ペースト量とVC値()

基本配合選定試験（図 2.1.3）および試験 1（図 2.1.10～図 2.1.12）の結果に基づき、大型 V C 値が最小値をとるような各分級骨材の粒径別百分率から 5%変化させたときの大型 V C 値と、最小となった大型 V C 値との差について整理したものを表 2.1.10 に示す。この表より、粒径が小さい骨材ほど 5%の粒径別百分率の変化に対し、大型 V C 値が大きく反応することがわかる。

したがって、骨材粒度の変化が C S G の V C 値に与える影響は、細骨材または粒径の小さい粗骨材ほど大きいと言える。

表 2.1.10 最適な粒径別百分率と大型 V C 値の比較（ ）

粒径 (mm)	最適な粒径別百分率 ¹⁾ (%)	大型 V C 値の増分 ²⁾ (秒)
5 ~ 0	約 30%	約 20 ~ 25
10 ~ 5	約 12%	約 12
20 ~ 10	約 15%	約 10
40 ~ 20	約 22%	約 5

1) 試験結果から読みとれる大型 V C 値が最小となった時の粒径別百分率

2) 1)の粒径別百分率から 5%変化させた時の大型 V C 値と最小となった大型 V C 値との差

また、試験 2 の結果から、大型 V C 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト量（以下、所要単位ペースト量という）について整理したものを表 2.1.11 に示す。

この表より、基本粒度の細骨材率 30% の場合に比べて、細骨材率を 22.5%、37.5%とした場合の所要単位ペースト量は 10 ~ 15 kg/m³多くなる。一方、同一細骨材率において粗骨材粒度を変化させた場合、所要単位ペースト量に大きな違いは見られない。（s/a = 22.5%では同一単位ペースト量、s/a = 37.5%では 5kg/m³の違い）

したがって、所要単位ペースト量に対しては細骨材率が大きく影響し、粗骨材粒度の変化はそれほど影響しないと言える。

表 2.1.11 大型 V C 値が 60 秒となる単位ペースト量と骨材粒度の関係（ ）

粒度	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)
基本粒度	30	216
粒度 2 - 1	37.5	231
粒度 2 - 2		231
粒度 2 - 3		226
粒度 2 - 4	22.5	226
粒度 2 - 5		226
粒度 2 - 6		226

(7) まとめ

骨材粒度の変化が、CSGのフレッシュ性状(指標としてVC値)や所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量に及ぼす影響について検討するために、粗骨材や細骨材における各分級骨材の単位量を変化させてVC試験を行った。この時の各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内とした。その結果、以下のことがわかった。

CSGのVC値は、骨材の粒度分布に影響を受ける。VC値に対する影響度合いは、粒径の小さい骨材ほど大きくなる。

所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量は、骨材の粒度分布に影響を受けるが、その影響度合いは細骨材率が最も大きい。細骨材率に比べると、粗骨材粒度の影響は小さい。

以上の知見より、CSGの施工においてCSGのフレッシュ性状をより一定に管理する場合、次のような方法で対処することが考えられる。

- ・ 施工の開始に先立ち、現場から採取・製造したCSG材について、細骨材率および単位ペースト量をパラメータとした試験を実施し、図2.1.3および図2.1.4に示すような、細骨材率とVC値の関係および単位ペースト量とVC値の関係を把握する。ただし、ここで定まる最適細骨材率は、そのCSG材が本来持っている細骨材率とは異なったものとなるのは当然である。そのCSG材が本来持っている細骨材率で定めた配合を、基本配合とする。
- ・ 実際の施工においてCSG材を適切な頻度でサンプリングし、その粒度分布をふるい分けによって確認する。その結果のうち、特に細骨材の粒径別百分率(細骨材率)に着目する。
- ・ そのCSG材の細骨材率が、当初の細骨材率とあまり変わらない場合は、そのCSG材を基本配合によって練り混ぜてCSGを製造することができる。
- ・ そのCSG材の細骨材率が、当初の細骨材率と大きく異なる場合は、そのCSG材を基本配合によって練り混ぜるとVC値が大きく異なってしまうことが考えられる。そこでCSGのVC値を所要の値で管理するため、そのCSG材の細骨材率における、所要のVC値を得るための単位ペースト量を、図2.1.3および図2.1.4のような関係から求め、その配合によってCSGを製造する。

以上の対処は、CSGの施工性および強度をより一定に確保するために有効である。一般に、CSGの強度はひし形理論によってある範囲内で管理することとなっているが、この対処によって、想定外の条件の変動に対してもある程度カバーすることが可能になると考えられる。

ただし、ここで実施した試験には、現地発生材ではなくコンクリート用砕石・砕砂を用いている。したがって、以上の知見がいかなるCSG材についても成り立つかどうかは不明である。そこで、さまざまな材質(例えば細骨材に微粒分が極度に多いもの、粘土分を含むもの等)のCSG材でも、このような知見が成り立つかどうかを検証することが今後の課題と考えられる。

また、CSG材の細骨材率の変化によって単位ペースト量を調整する場合、水セメント比を一定としてセメントと水の量を同時に調整するのか、単位水量のみで調整するかについての検討も必要と考えられる。

2.1.2 分級骨材の単位量変化試験（その2）

（1）検討目的と検討方法

前項「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験（その1）」において、骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響は、粒径の小さい骨材ほど大きくなるが、細骨材を除くとその影響は比較的小さなものであることが判明した。ただし、この時の粗骨材粒度の粒径別百分率の変化範囲は、示方書ダム編の標準粒度範囲以内というものであった。

現地発生材をできるだけ手を加えずにCSG材として使用することを前提とするCSG工法においては、CSG材における骨材粒度分布が示方書ダム編に規定される標準粒度範囲に収まるという保証はない。したがって、CSG材における粗骨材の粒径別百分率が標準粒度範囲を大きく外れて変化する場合でも、CSGのフレッシュ性状があまり影響を受けないかどうか、影響を受けるとすれば所要の施工性を確保するためにCSGの単位ペースト量をどのように調整すればよいかを把握する必要がある。

そこで本検討では、粗骨材粒度の粒径別百分率の変化範囲を示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化させた場合、その骨材粒度の変化がCSGのVC値に与える影響について試験を実施した（ここでも前項と同じくCSGのフレッシュ性状の指標としてVC値を用いることとした）。

（2）使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.1.12に示す。また、細骨材の粒径別分布曲線を図2.1.16、粗骨材の粒径別分布曲線を図2.1.17に示す。粗骨材の基本粒度は、示方書ダム編の標準粒度範囲のほぼ中間になるように設定した。

表 2.1.12 使用材料および物性（ ）

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,430cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (5~0mm)	岩種：花崗岩 (密度 = 2.63, 吸水率 = 1.61%, 粗粒率 = 2.42)
粗骨材 (mm)	岩種：花崗岩
80-40	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.66%)
40-20	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.83%)
20-10	(密度 = 2.75, 吸水率 = 0.93%)
10-5	(密度 = 2.73, 吸水率 = 1.40%)

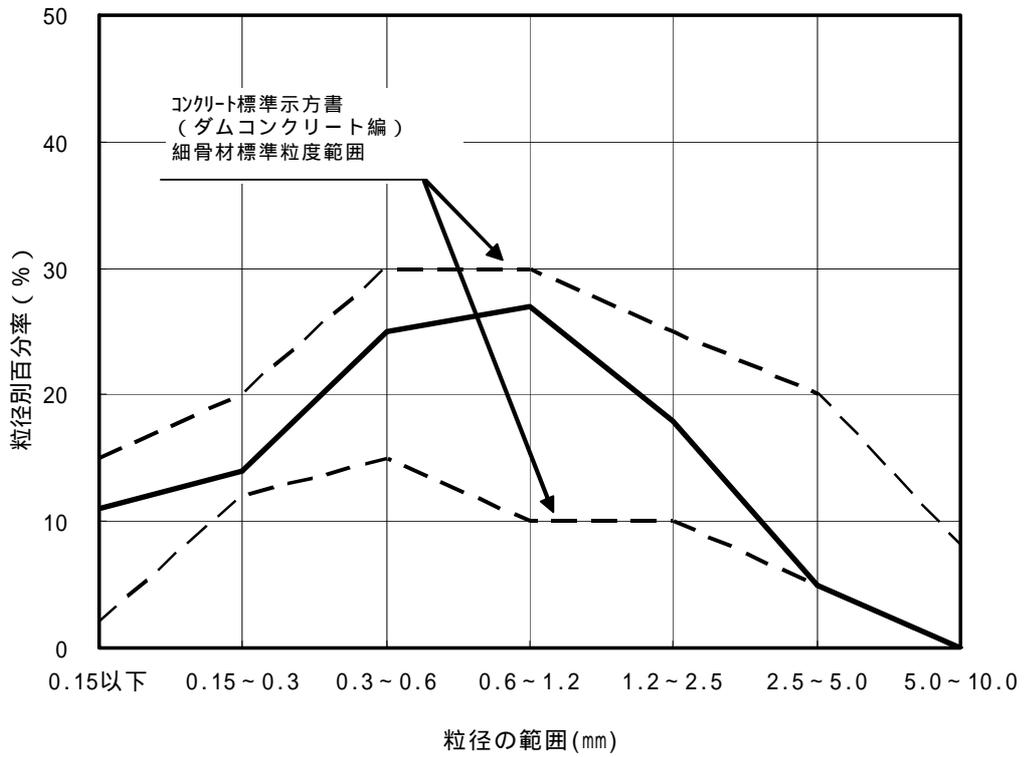


図 2.1.16 細骨材の粒径別分布曲線 ()

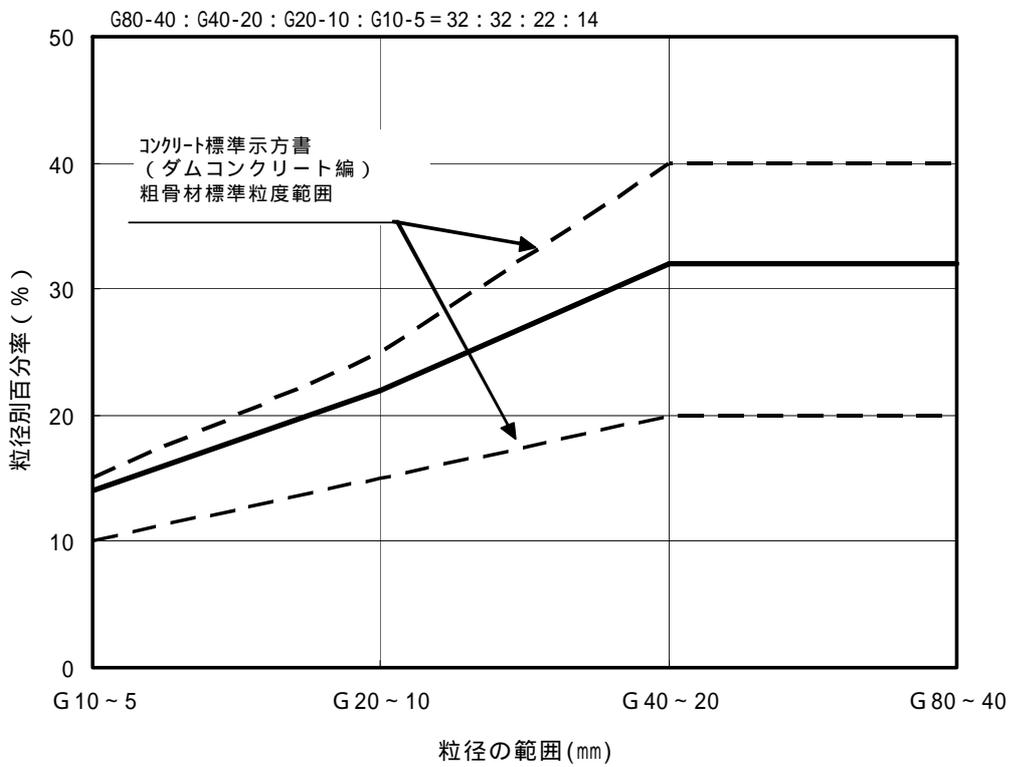


図 2.1.17 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

この検討における試験項目および試験方法を、以下に示す。

基本配合の選定試験

前項と同様、この試験に使用するCSG材において適切なVC値を確保するための、最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。

骨材粒度変化試験

粗骨材分級骨材の粒径別百分率を示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化させる条件のもとで、各分級骨材の単位量をさまざまに変化させて大型VC値を測定する。VC値の測定には、フルサイズ試料のVC値を評価できる大型VC試験を用いることとした。標準VC試験では、40mm以上の粗骨材をウェットスクリーニングにより除去するため、本検討のように40mm以上の粗骨材の粒径別百分率が大きく変化する場合の試験方法としては適していないと判断されるためである。

ある分級骨材の単位量(ここではG80-40)を変化させた場合のCSGの配合イメージを図2.1.18に示す。この方法により、ある分級骨材の単位量の変化とともに、単位ペースト量等も変化するということになる。

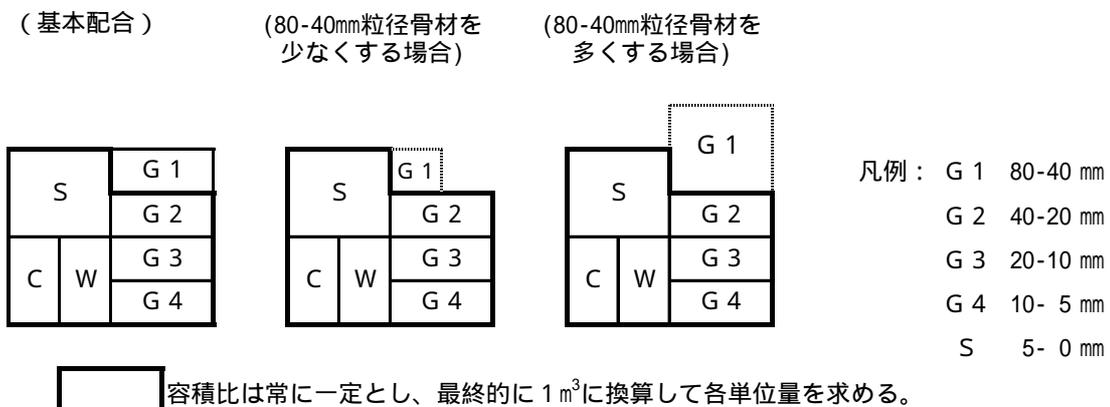


図 2.1.18 分級骨材の単位量を変化させたときのCSGの配合
(80-40mm 粒径を変化させる場合)()

(4) 基本配合の選定

細骨材率s/aとVC値の関係を図2.1.19に示す。これより、C = 120kg/m³、W = 102kg/m³(一定)において大型VC値が最小となる細骨材率s/aは30%であった。次に、単位ペースト量PとVC値の関係を図2.1.20に示す。これより、C = 120kg/m³、s/a = 30%(一定)とした時の大型VC値が60秒となるような単位ペースト量は、P = 222kg/m³であった。以上の結果に基づき、基本配合を選定した。基本配合を表2.1.13に示す。

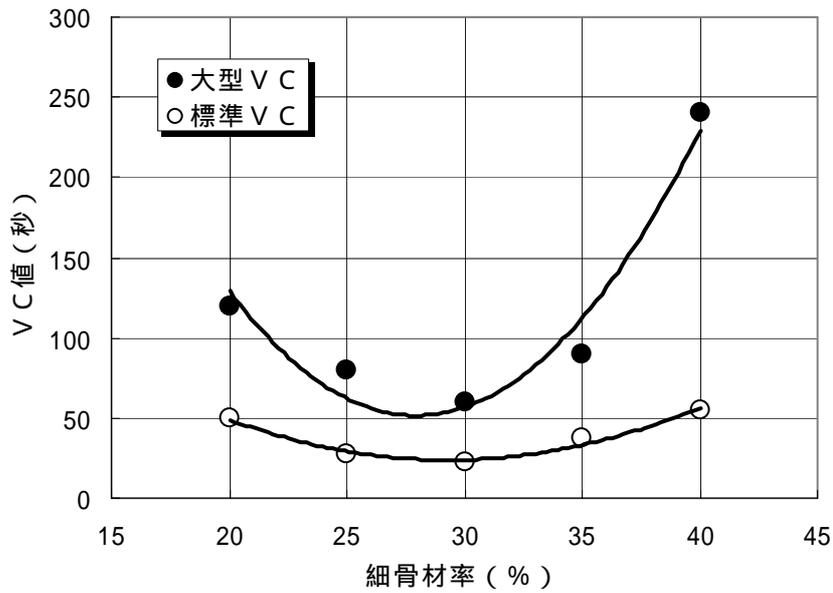


図 2.1.19 細骨材率と VC 値 (C = 120kg/m³、W = 102kg/m³) ()

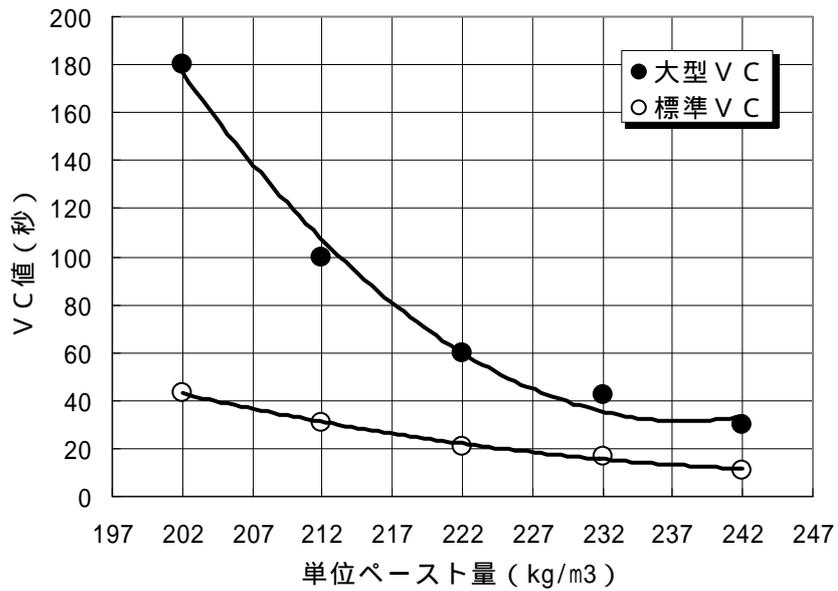


図 2.1.20 単位ペースト量と VC 値 (C = 120kg/m³、s/a = 30%) ()

表 2.1.13 基本配合表 ()

最大骨材寸法 (mm)	目標大型 VC 値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)							
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
									80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
80	60	1.5 ± 1.0	85	30	222	102	120	667	521	521	358	226	0.300

(5) 試験ケース

この検討の骨材粒度変化試験における試験ケースを、表 2.1.14 に示す。また、各分級骨材の単位量を変化させることによる骨材粒度の変動を図 2.1.21～図 2.1.25 に示す。

なお、表 2.1.14 において、各分級骨材の質量変化倍率を 0.2～1.75 倍としているのは、各ケースにおける大型 V C 値が、大型 V C 試験としての精度を確保できると考えられる V C 値の範囲内 (20～140 秒程度) に収まることを目標として設定したものである。

表 2.1.14 骨材粒度変化試験の試験ケース ()

試験 ケース	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量を変化させる 分級骨材	分級骨材の 単位量変化 倍率	骨材の粒径別百分率 (%)				
				G1 (G80-40)	G2 (G40-20)	G3 (G20-10)	G4 (G10-5)	S (S5-0)
基準	222	-	基準	22.4	22.4	15.4	9.8	30.0
1	262	G1 (G80-40)	0.2	5.45	27.31	18.76	11.93	36.55
2	245		0.5	12.64	25.23	17.34	11.02	33.77
3	233		0.75	17.81	23.74	16.31	10.37	31.77
4	216		1.15	24.93	21.68	14.90	9.47	29.02
5	212		1.25	26.52	21.22	14.58	9.27	28.41
6	206		1.4	28.78	20.57	14.13	8.99	27.53
7	262	G2 (G40-20)	0.2	27.31	5.45	18.76	11.93	36.55
8	245		0.5	25.23	12.64	17.34	11.02	33.77
9	233		0.75	23.74	17.81	16.31	10.37	31.77
10	216		1.15	21.68	24.93	14.90	9.47	29.02
11	212		1.25	21.22	26.52	14.58	9.27	28.41
12	206		1.4	20.57	28.78	14.13	8.99	27.53
13	248	G3 (G20-10)	0.2	25.55	25.55	3.53	11.16	34.20
14	238		0.5	24.28	24.28	8.34	10.61	32.50
15	229		0.75	23.30	23.30	12.03	10.18	31.19
16	218		1.15	21.90	21.90	17.32	9.57	29.31
17	212		1.35	21.26	21.26	19.71	9.29	28.47
18	208		1.5	20.81	20.81	21.44	9.09	27.85
19	238	G4 (G10-5)	0.2	24.31	24.31	16.71	2.12	32.55
20	232		0.5	23.56	23.56	16.19	5.15	31.54
21	227		0.75	22.96	22.96	15.78	7.55	30.74
22	217		1.25	21.87	21.87	15.03	11.97	29.27
23	213		1.5	21.36	21.36	14.68	14.00	28.60
24	209		1.75	20.87	20.87	14.34	15.98	27.94
25	254	S (S5-0)	0.5	26.35	26.35	18.11	11.52	17.67
26	237		0.75	24.23	24.23	16.65	10.59	24.31
27	231		0.85	23.46	23.46	16.12	10.25	26.70
28	219		1.05	22.08	22.08	15.17	9.65	31.02
29	217		1.1	21.75	21.75	14.96	9.50	32.04
30	214		1.15	21.44	21.44	14.73	9.37	33.01

注) 表中に を付記したものは、示方書ダム編の標準粒度範囲を外れるもの

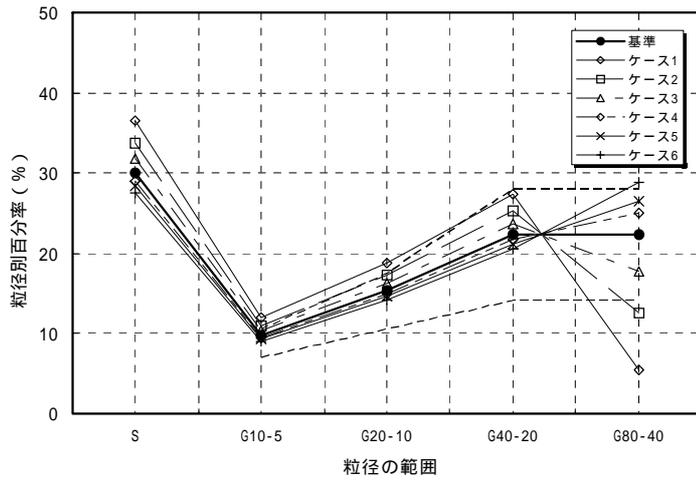


図 2.1.21 骨材粒度の変動 (G80-40 の単位量を変化) ()

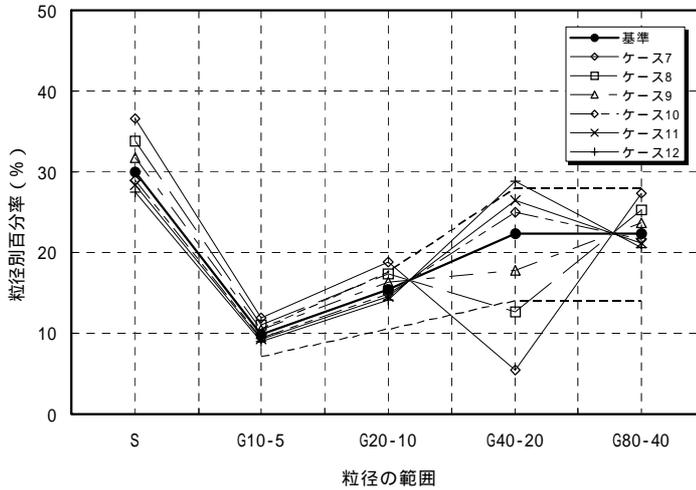


図 2.1.22 骨材粒度の変動 (G40-20 の単位量を変化) ()

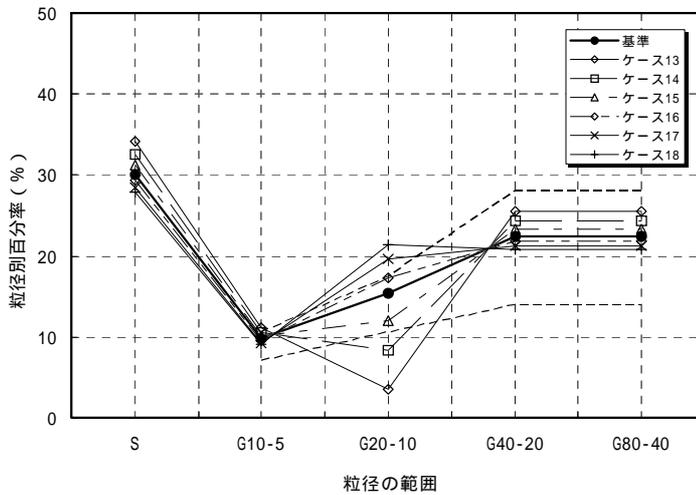


図 2.1.23 骨材粒度の変動 (G20-10 の単位量を変化) ()

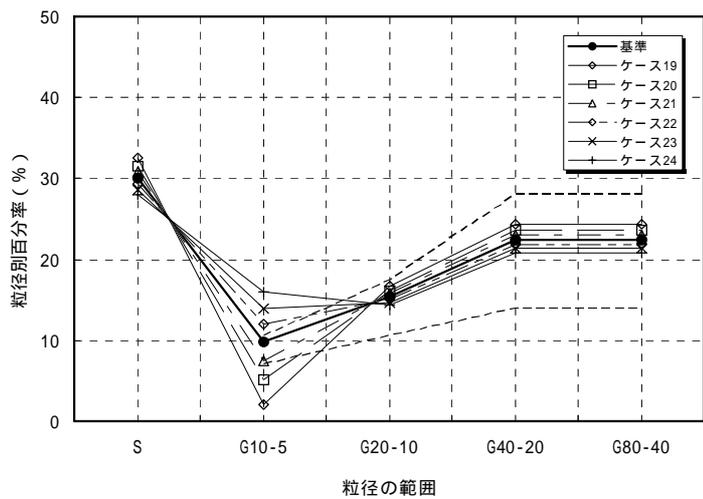


図 2.1.24 骨材粒度の変動 (G10-5 の単位量を変化) ()

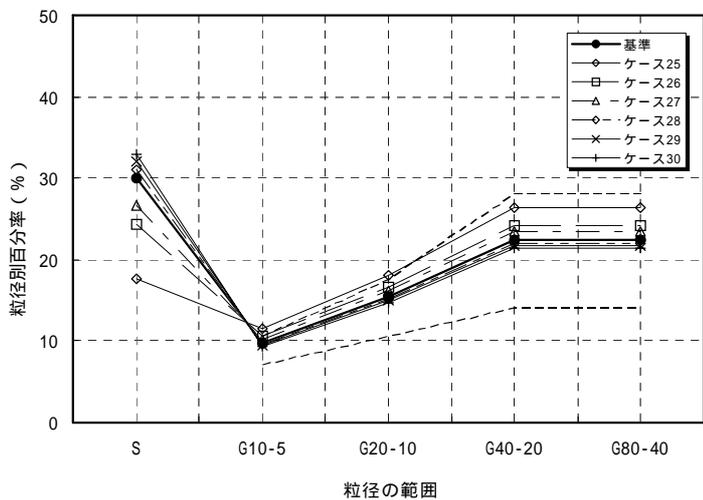


図 2.1.25 骨材粒度の変動 (G5-0 の単位量を変化) ()

(6) 試験結果

骨材粒度変化試験の試験結果を、図 2.1.26 ~ 図 2.1.30 に示す。これらの図には、基本配合選定試験における単位ペースト量と大型 V C 値の関係 (図 2.1.20 参照) を併せて示している。

図 2.1.20 における関係は、細骨材率 30% 一定のもとでの関係である。これは、他の各分級骨材の粒径別百分率がある一定の値のもとで、図 2.1.20 の関係が成り立つと言い換えることができる。すなわち、分級骨材 G80-40 に着目すると、G1 率 = 22.4% (G1 は G80-40 を表し、G1 率とは G80-40 の粒径別百分率をいう。22.4% は表 2.1.14 における基本配合の G1 の粒径別百分率を示す) 一定のもとで、この関係が成り立っていると言い換えられる。同様に、G40-20 は G2、G20-10 は G3、G10-5 は G4、G5-0 は S として、それぞれ G2 率 = 22.4%、G3 率 = 15.4%、G4 率 = 9.8%、S 率 = 30.0% で一定のもとで、この関係が成り立っていると言い換えられる。

図 2.1.26 ~ 図 2.1.30 より、粗骨材については、その粒径別百分率が標準粒度範囲を外れても、その単位ペースト量と大型 V C 値の関係は基本配合選定試験における関係とほぼ同じの結果となった。しかし、細骨材については、図 2.1.30 に示されるように、S 率が大きい方へわずかに変化する (30% 31 ~ 33%) だけで V C 値は基本配合選定試験における関係よりも大きい方へシフトする結果となった。これらから、骨材粒度分布が V C 値に与える影響としては、粗骨材については標準粒度範囲を外れるほど粒度が変化しても影響は小さいが、細骨材はわずかな粒度の変化でも影響はかなり大きいと言えることができる。なお、図 2.1.30 で S 率が小さくなる場合には V C 値の増大が見られないが、これは単位ペースト量が大きいために V C 値が小さい領域での試験となり、基本配合選定試験との差が現れにくいとと考えられる。

図中の \triangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

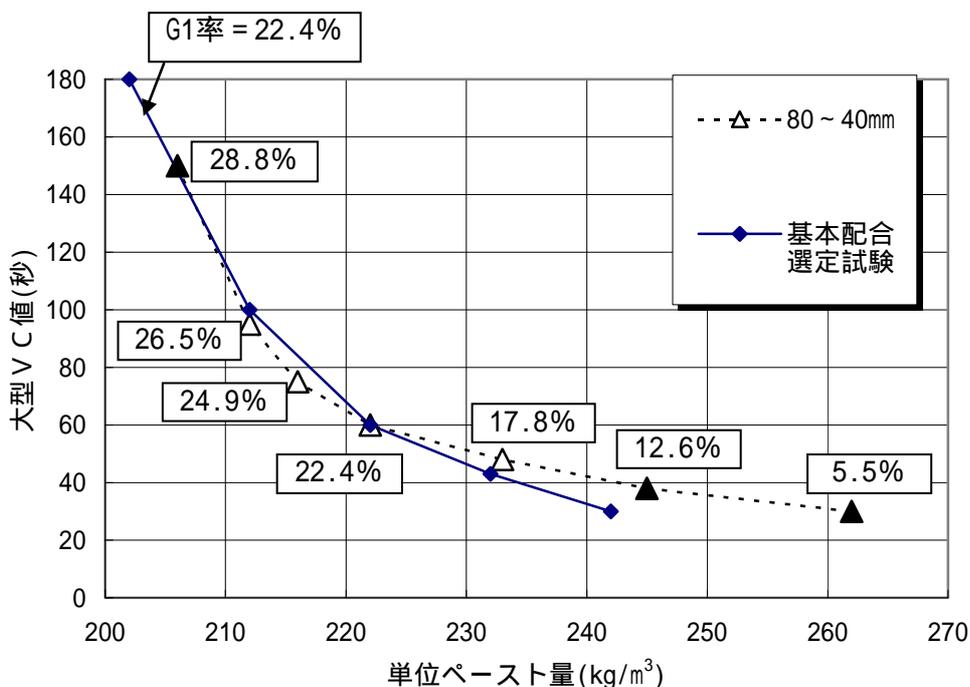


図 2.1.26 骨材粒度変化試験の結果 (G80-40 の単位量を変化) ()

図中の \blacktriangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

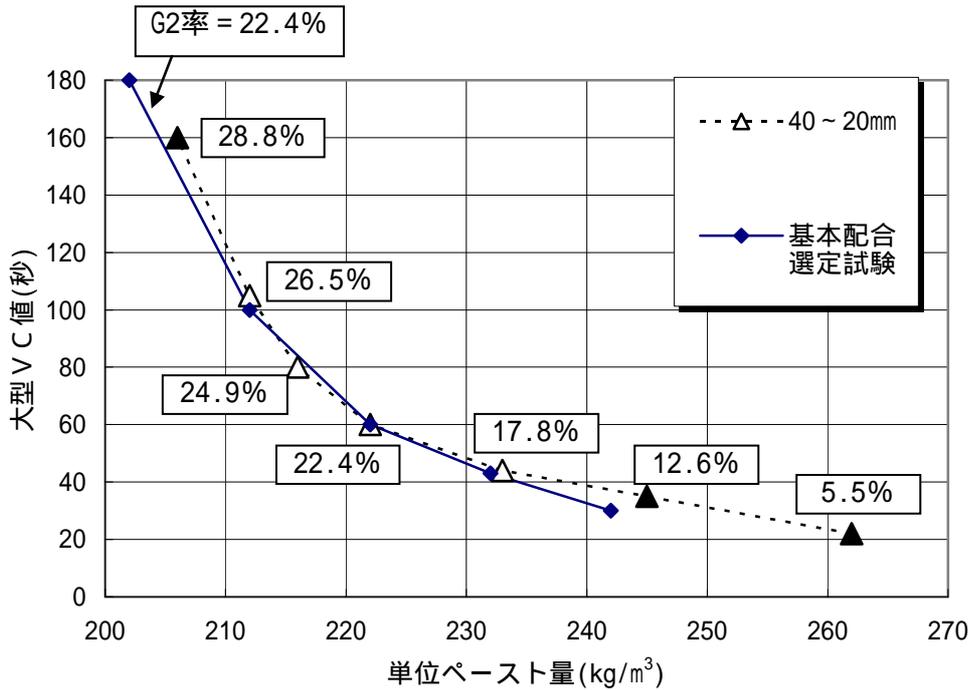


図 2.1.27 骨材粒度変化試験の結果 (G40-20 の単位量を変化) ()

図中の \blacktriangle は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

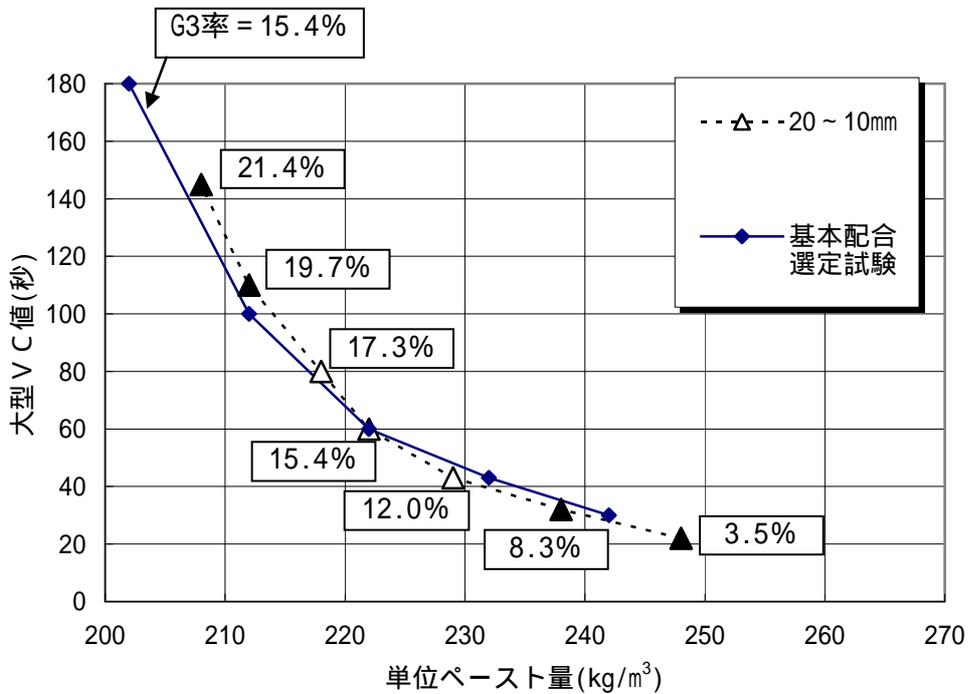


図 2.1.28 骨材粒度変化試験の結果 (G20-10 の単位量を変化) ()

図中の は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

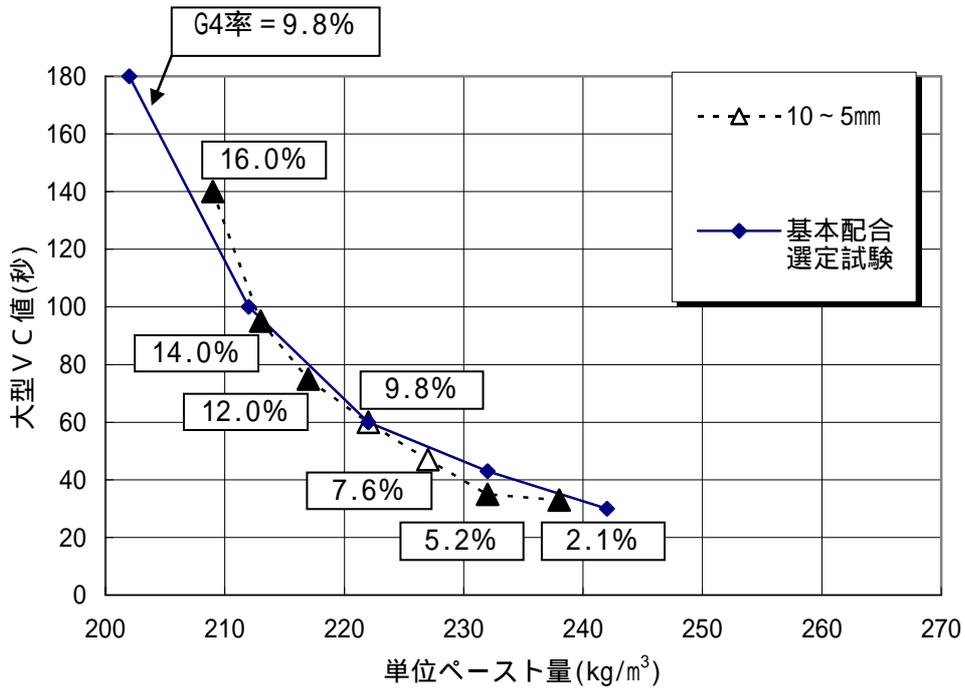


図 2.1.29 骨材粒度変化試験の結果 (G10-5 の単位量を変化) ()

図中の は示方書ダム編の標準粒度範囲を外れているものを示す

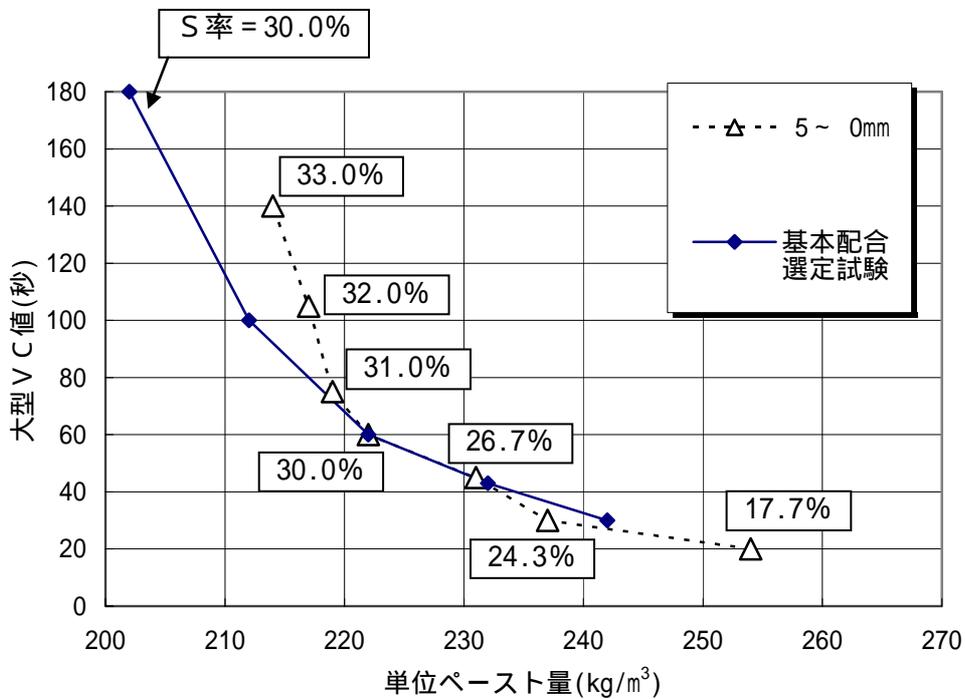


図 2.1.30 骨材粒度変化試験の結果 (G5-0 の単位量を変化) ()

(7) まとめ

この検討では、粗骨材粒度の粒径別百分率が示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化した場合についてV C試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

粗骨材の各分級骨材の粒径別百分率の変化が大きい場合においても（示方書ダム編の標準粒度範囲外となるほど変化しても）、V C値に与える影響は小さい。

細骨材の粒径別百分率（細骨材率）の変化は、V C値に大きな影響を及ぼす。

以上の知見は、前項「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験（その1）（7）まとめ」で挙げた知見を補足するものであり、この知見から考えられる施工での対処方法や今後の課題については、前項（7）まとめにおいて示したものと同一である。

なお、本節「2.1 骨材粒度の変化によるV C値への影響」においては、C S Gのフレッシュ性状の指標としてV C値を用いた。また、ここでいうC S Gも、用いている材料は製品骨材であるため、実質上はR C D用コンクリートである。したがってここまでの知見はどちらかといえばR C D用コンクリートで成り立つものであると言える。

さらに、「技術資料」におけるC S Gのフレッシュ性状の管理方法としては、V C試験は採用されていない。これは、C S Gの強度管理を行ううえでは密度管理が有効であることによるものである。したがって、C S Gの実施工において、本節で実施したような試験をそのまま実施することは標準的ではないことになる。

そこで、一般的なC S Gと同様な材料において、骨材粒度の変化がC S Gの密度や強度に対してどのように影響するかを把握することが今後の課題と考えられる。

2.2 細骨材粒度の変動によるフレッシュ性状および強度への影響

(1) 検討目的と検討方法

前節の試験より、骨材粒度の変化がCSGのVC値に及ぼす影響について検討した結果、粗骨材の粒度変化は影響が小さく、細骨材率の変化は影響が大きいことが判明した。

一般にコンクリートの製造においては、細骨材率だけでなく、細骨材の中の粒度分布もコンクリートのフレッシュ性状に大きく影響することが知られている。そのため示方書施工編や示方書ダム編においては、所要の性能のコンクリートを経済的に製造できるような細骨材の標準的な粒度分布を定めている。

しかし、CSGにおいては当然ながら細骨材の中の粒度分布についても、採取場所の違い等に基づく変化が予想される。したがって、細骨材の中の粒度分布が変化するとCSGの施工性がどのように影響を受けるかについて把握しておく必要がある。

そこで本検討では、細骨材の中の粒度分布を変化させた場合の、CSGのフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。なお細骨材の中の粒度分布状態を表す指標として、コンクリートの製造においては粗粒率(FM)がよく用いられている。本検討では粗粒率に加えて、土質工学において粒度分布の指標として用いられている均等係数(U_c)と、RCD用コンクリートの製造においてペーストの容積と細骨材の空隙容積との比を表すペースト細骨材空隙比(α)を用いて、CSGのフレッシュ性状や強度等との関係を整理し、 U_c や α がCSGの性状を評価するための有効な指標になり得るかどうかについて検討した。

(2) 使用材料

この試験で用いた骨材は現地発生材ではなく、コンクリート用砕石・砕砂であり、試験に用いたCSGは、それらの骨材によって模擬的に製造したものである。

試験に用いた材料とその物性を表2.2.1に示す。細骨材粒度と粗骨材の基本的な粒度(基本粒度)は、図2.2.1、図2.2.2に示すとおり、示方書ダム編の標準粒度範囲内となるように設定した。なお、細骨材は、S1(5~1.2mm)、S2(1.2~0.3mm)、S3(0.3~0mm)に3分級し、基本粒度においてはそれぞれが1/3ずつになるように設定した。

表2.2.1 使用材料および物性()

使用材料	種類および物性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント (密度 = 3.21g/cm ³ 比表面積 = 3,410cm ² /g)
混和剤	A E 減水剤 遅延形 (種)
細骨材 (mm)	岩種: 安山岩
5-1.2	(密度 = 2.65, 吸水率 = 1.58%)
1.2-0.3	(密度 = 2.64, 吸水率 = 1.82%)
0.3-0	(密度 = 2.64, 吸水率 = 1.92%)
粗骨材 (mm)	岩種: 安山岩
80-40	(密度 = 2.73, 吸水率 = 0.67%)
40-20	(密度 = 2.72, 吸水率 = 0.79%)
20-10	(密度 = 2.72, 吸水率 = 1.02%)
10-5	(密度 = 2.69, 吸水率 = 0.98%)

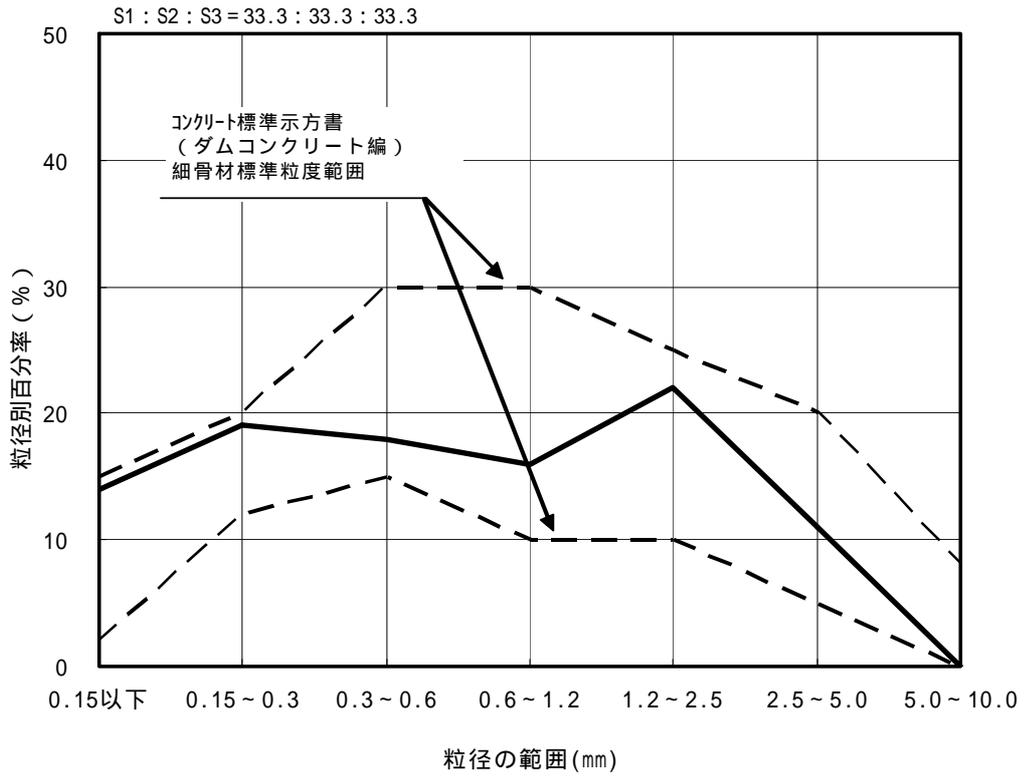


図 2.2.1 細骨材の粒径別分布曲線 ()

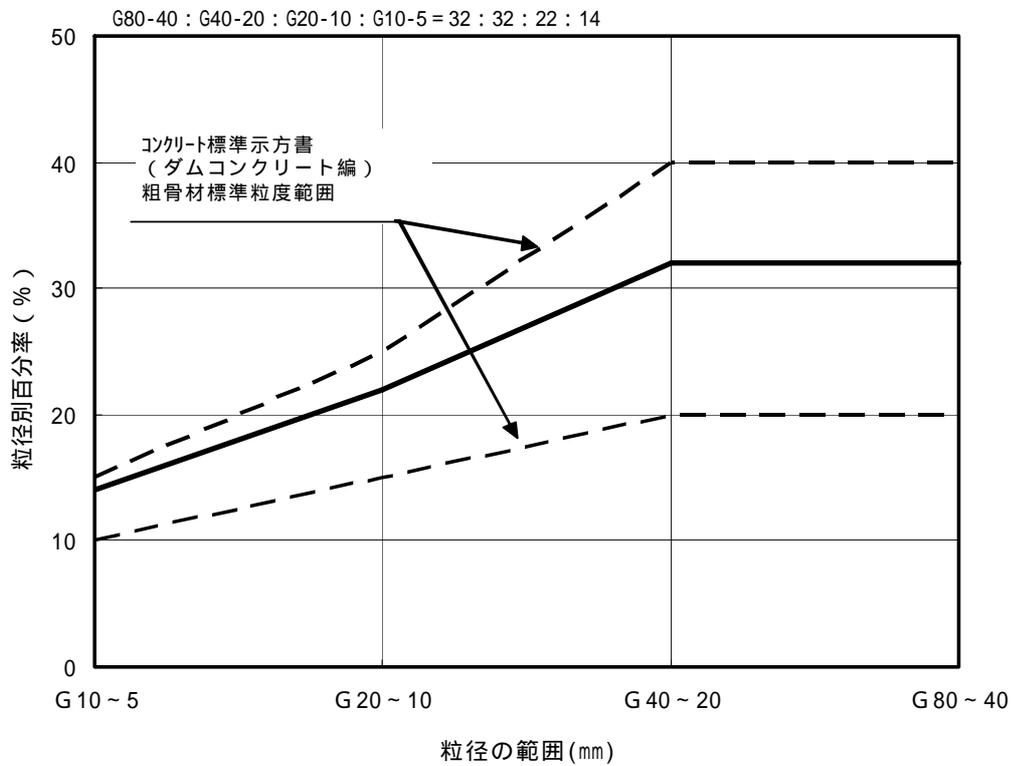


図 2.2.2 粗骨材の粒径別分布曲線 ()

(3) 試験項目および方法

基本配合の選定試験

前節と同様、この試験に使用するCSG材において適切なVC値を確保するための、最適な細骨材率および単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。なお、次に実施する「細骨材の中の粒度分布変化試験」において細骨材率の大きさの影響も考慮するため、最適細骨材率から±7%の細骨材率のもとにおいても、適切なVC値を確保するための単位ペースト量を定める試験を実施し、基本配合を選定する。したがって、3種類の基本配合を定めることとなる。

細骨材の中の粒度分布変化試験

上記で定めた3種類の基本配合のそれぞれにおいて、細骨材の中の粒度分布をさまざまに変化させてCSGを練り混ぜ、VC試験、標準供試体試験、大型供試体試験(「1.概要 (2) CSGの試験要領」を参照)を実施する。これらの試験により作製した供試体について、VC値、供試体の外観評価、供試体の密度比、供試体の圧縮強度を求め、これらの結果を細骨材の中の粒度分布、粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比によって整理し、どのような傾向が見られるかを検討する。

なお、細骨材の均等係数およびペースト細骨材空隙比は、次のように定義される。

[均等係数 U_c]

土質工学分野で用いられる指標である均等係数は、粒度試験結果に基づき、粒度の状態を知るために粒径加積通過曲線の傾度を求めるもので、均等係数が大きくなるほど粒度分布が広い(粗粒と細粒が均等に分布している)ことを示している。一般に、均等係数が4~5以下の土では、「粒度分布が悪い」といい、10以上の土は、「粒度分布が良い」といわれている。

均等係数 U_c は、下式によって求める。

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots \dots \dots \quad \text{式 2.2.1}$$

ここに、 D_{10} 、 D_{60} は、粒径加積通過曲線における加積通過百分率 10%、60%に対する粒径 D (mm) を示す。

[ペースト細骨材空隙比 α]

RCD用コンクリートの配合特性を表す指標として、ペースト細骨材空隙比 α 、モルタルの粗骨材空隙比 β 等の諸比率が試験施工の配合比較や他ダムとの配合比較に用いられている。ペースト細骨材空隙比 α 、モルタル粗骨材空隙比 β は次式で定義される。それぞれ、細骨材中の空隙に対するペーストの体積の比、粗骨材中の空隙に対するモルタルの体積の比を表している。

$$\alpha = \frac{W/\rho_W + C/\rho_C + F/\rho_F}{(1/W_S - 1/\rho_S)S} \dots \dots \dots \text{式 2.2.2}$$

$$\beta = \frac{W/\rho_W + C/\rho_C + F/\rho_F + S/\rho_S}{(1/W_G - 1/\rho_G)G} \dots \dots \dots \text{式 2.2.3}$$

ここに、 W 、 C 、 F 、 S 、 G ：コンクリート中の水、セメント、フライアッシュ、細骨材、粗骨材の単位量 (kg/m³)

ρ_W 、 ρ_C 、 ρ_F 、 ρ_S 、 ρ_G ：水、セメント、フライアッシュ、細骨材、粗骨材の密度 (kg/m³)

W_S 、 W_G ：細骨材、粗骨材を振動台で締め固めた単位容積質量(表乾)(kg/m³)

ペースト細骨材空隙比、モルタル粗骨材空隙比が 1.0 未満であると、理論的には細骨材、粗骨材の空隙をペースト、モルタルが完全に充填できないことを意味している。そこで、RCD用コンクリートの配合は、ペースト細骨材空隙比、モルタル粗骨材空隙比がともに 1.0 を大きく下回らない配合であることが望ましいとされる。従来の RCD用コンクリートの配合設計結果によれば、一般にペースト細骨材空隙比は 1.1 程度以上、モルタル粗骨材空隙比は 1.2 程度以上の値を示している¹⁾。

(4) 基本配合の選定

細骨材率s/aとVC値の関係を図 2.2.3 に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$ (一定)において大型VC値が最小となる細骨材率s/aは 30%であった。次に、単位ペースト量PとVC値の関係を図 2.2.4 に示す。これより、 $C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$ (一定)とした時の大型VC値が 60 秒となるような単位ペースト量は、 $P = 218\text{kg/m}^3$ であった。以上の結果に基づき、基本配合 1 を選定した。

さらに、基本配合 1 の細骨材率を ±7%変動させた細骨材率 (s/a = 23%、37%) について、基本配合 1 と同じ水セメント比 81.7% (一定)として大型VC値が 60 秒になる単位ペースト量を求めた。それぞれの単位ペースト量PとVC値の関係を図 2.2.5、図 2.2.6 に示す。これより大型VC値が 60 秒となるような単位ペースト量は、s/a = 23%の場合 $P = 228\text{kg/m}^3$ 、s/a = 37%の場合 $P = 233\text{kg/m}^3$ となり、これを基本配合 2、3 とした。

基本配合 1、2、3 を表 2.2.2 に示す。

表 2.2.2 基本配合表 ()

配合名	最大骨材寸法 (mm)	目標大型VC値 (s)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位ペースト量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)									
							水		細骨材 S			粗骨材 G				混和剤 (AE減水剤)
							W	C	5~1.2 (mm)	1.2~0.3 (mm)	0.3以下 (mm)	80-40 (mm)	40-20 (mm)	20-10 (mm)	10-5 (mm)	
基本 1	80	60	1.5 ± 1.0	81.7	30	218.0	98.0	120.0	225	225	225	517	517	356	226	0.300
基本 2					23	228.0	102.5	125.5	171	171	171	565	565	388	247	0.314
基本 3					37	233.0	104.8	128.2	274	274	274	461	461	317	201	0.321

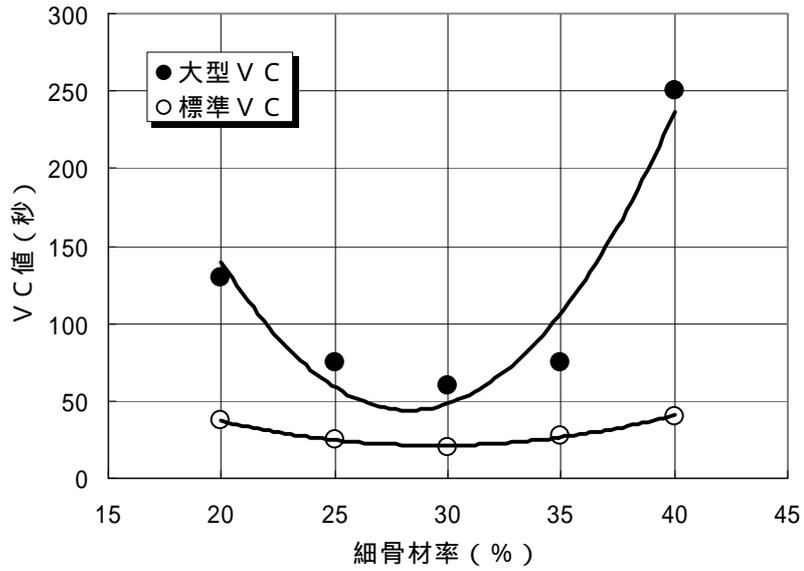


図 2.2.3 細骨材率とVC値 ($C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $W = 98\text{kg/m}^3$) ()

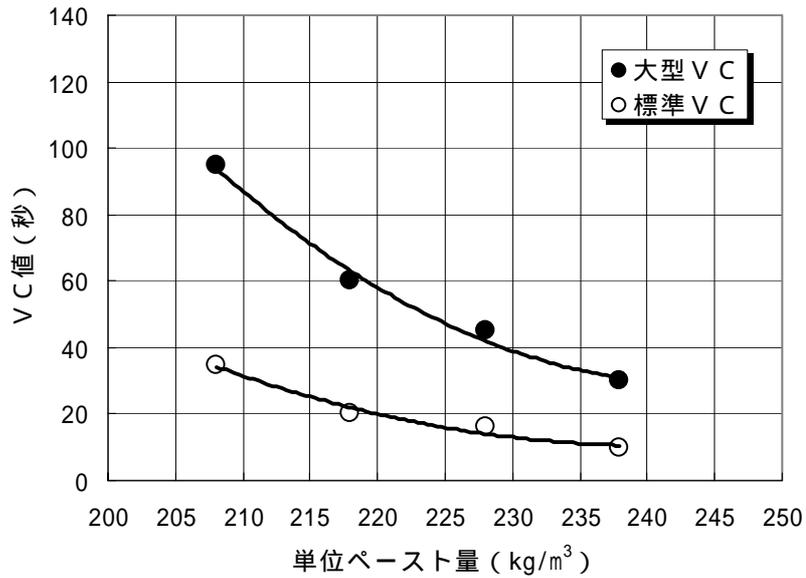


図 2.2.4 単位ペースト量とVC値 ($C = 120\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 30\%$) ()

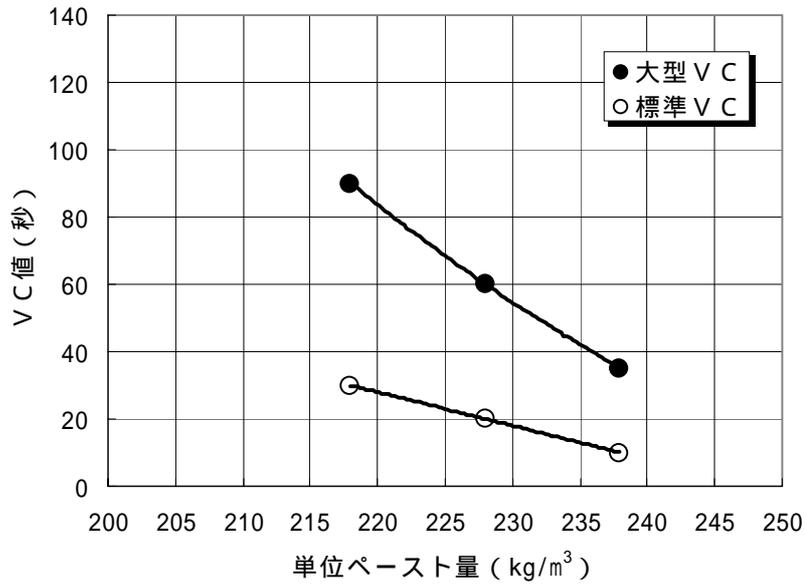


図 2.2.5 単位ペースト量とVC値 (W/C = 81.7%、s/a = 23%) ()

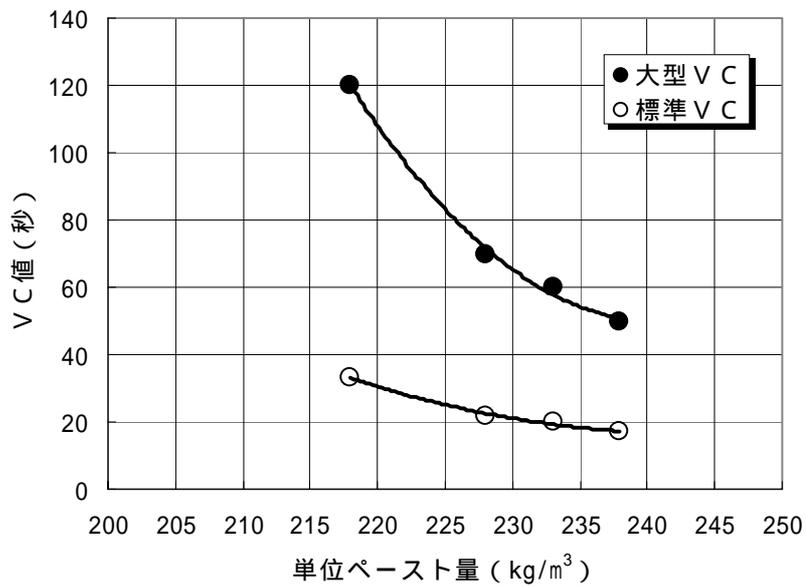


図 2.2.6 単位ペースト量とVC値 (W/C = 81.7%、s/a = 37%) ()

(5) 試験ケース

細骨材の中の粒度分布変化試験の試験ケースを表 2.2.3 に示す。この表において、基本ケースは表 2.2.2 に示した基本配合によって試験を実施するものである。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るもので、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。

各試験ケースの細骨材の粒径別分布および細骨材の粒度分布を表 2.2.3～表 2.2.4 および図 2.2.7～図 2.2.12 に示す。

表 2.2.3 試験ケースと各ケースの粒径別百分率 ()

ケース		細骨材率 (%)	粒径別百分率 (%)			試験項目
			S 1 (5~1.2mm)	S 2 (1.2~0.3mm)	S 3 (0.3mm以下)	
基本 ケース	基本 1	30				<ul style="list-style-type: none"> ・ V C 試験 ・ 標準供試体試験 ・ 大型供試体試験
	基本 2	23	33.3	33.3	33.3	
	基本 3	37				
変動 ケース	S1 変動	S1-1	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	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	

表 2.2.4 細骨材の粒径別分布 ()

粒度区分	細骨材粒度比率 (%)			粒径別分布率 (%)					
	S1	S2	S3	0.15以下	0.15~0.3	0.3~0.6	0.6~1.2	1.2~2.5	2.5~5.0
基準	33.3	33.3	33.3	13.7	19.6	18.0	15.4	22.0	11.3
S1-1	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	34.0
S1-2	66.7	16.7	16.7	6.7	10.0	9.0	7.6	44.0	22.7
S1-3	0.0	50.0	50.0	20.3	29.7	27.0	23.0	0.0	0.0
S2-1	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	54.0	46.0	0.0	0.0
S2-2	16.7	66.7	16.7	6.7	10.0	36.0	30.6	11.0	5.7
S2-3	50.0	0.0	50.0	20.3	29.7	0.0	0.0	33.0	17.0
S3-1	0.0	0.0	100.0	41.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3-2	16.7	16.7	66.7	27.3	39.4	9.0	7.6	11.0	5.7
S3-3	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	27.0	23.0	33.0	17.0

表 2.2.5 細骨材の粒度分布 ()

粒度区分	粒度分布 (%)						
	0.1	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5
標準	0.0	13.7	33.3	51.3	66.7	88.7	100.0
S1-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	100.0
S1-2	0.0	6.7	16.7	25.7	33.3	77.3	100.0
S1-3	0.0	20.3	50.0	77.0	100.0	100.0	100.0
S2-1	0.0	0.0	0.0	54.0	100.0	100.0	100.0
S2-2	0.0	6.7	16.7	52.7	83.3	94.3	100.0
S2-3	0.0	20.3	50.0	50.0	50.0	83.0	100.0
S3-1	0.0	41.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
S3-2	0.0	27.3	66.7	75.7	83.3	94.3	100.0
S3-3	0.0	0.0	0.0	27.0	50.0	83.0	100.0

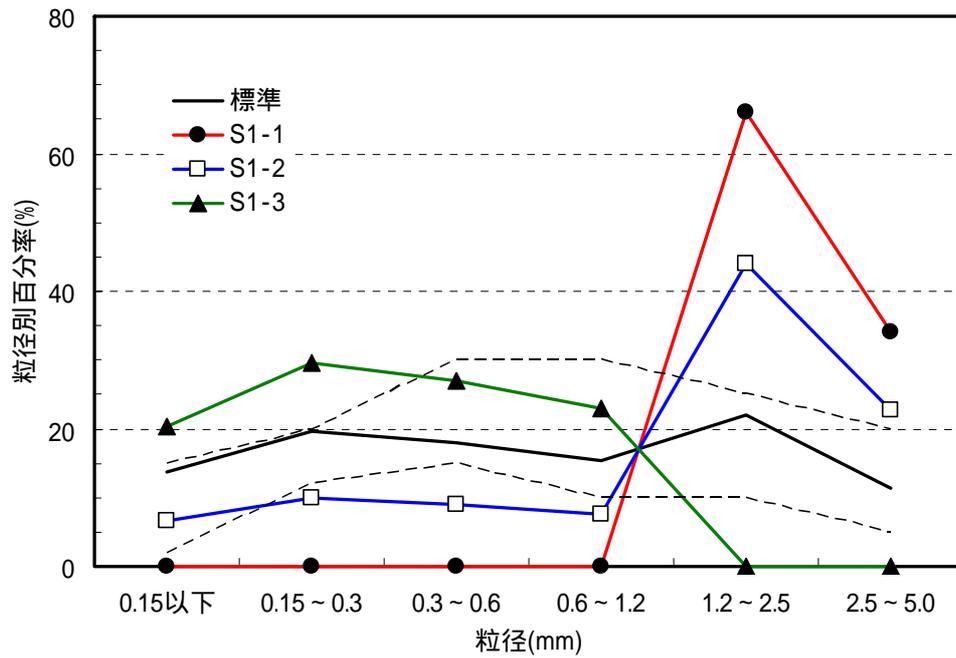


図 2.2.7 細骨材の粒径別分布曲線 (S 1 - 1 ~ S 1 - 3) ()

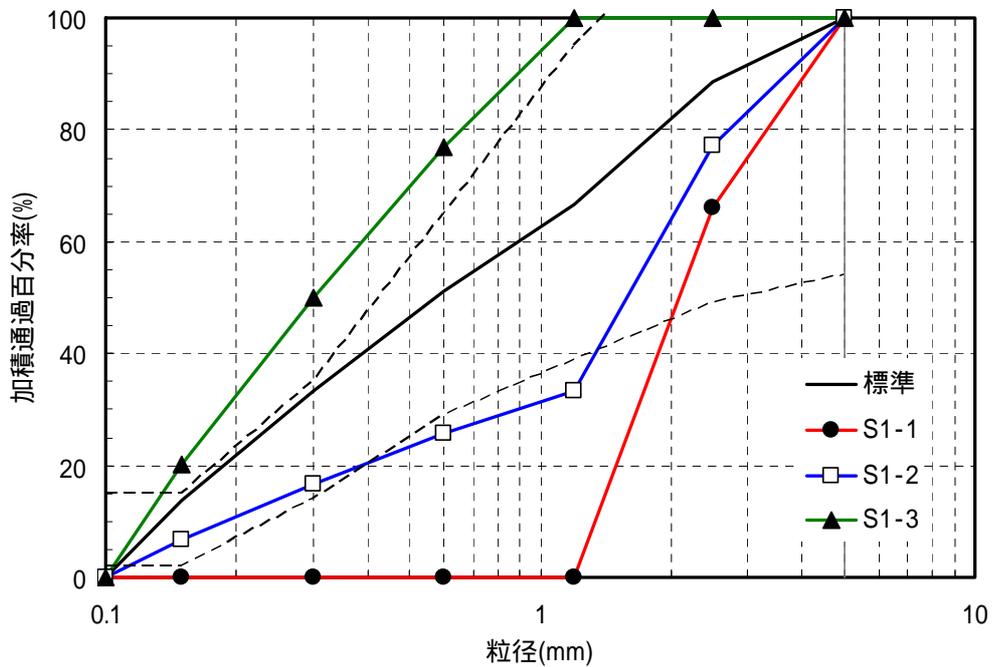


図 2.2.8 細骨材の粒度分布曲線 (S 1 - 1 ~ S 1 - 3) ()

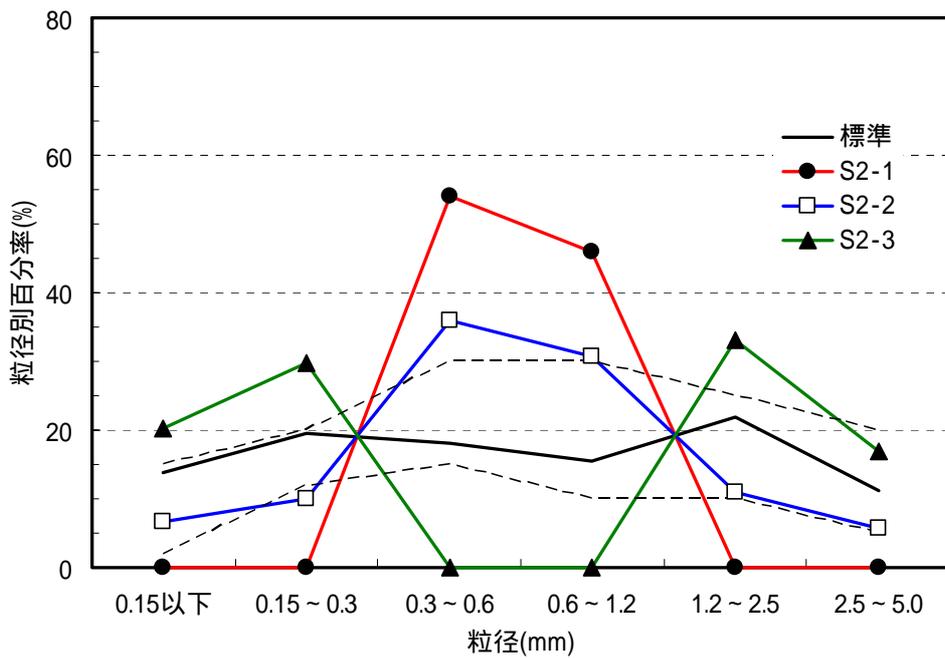


図 2.2.9 細骨材の粒径別分布曲線 (S 2 - 1 ~ S 2 - 3) ()

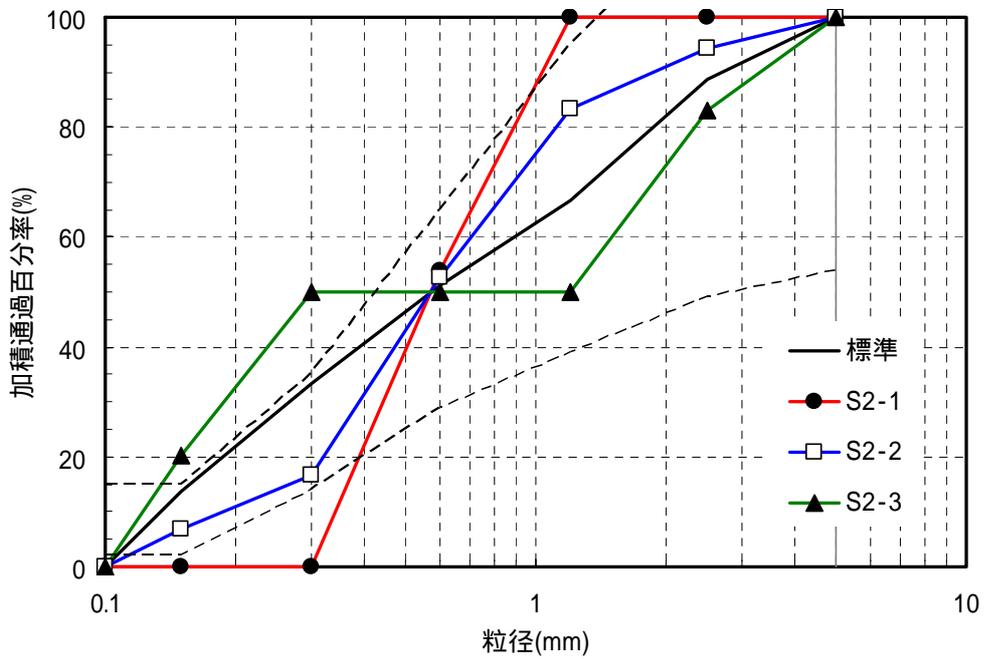


図 2.2.10 細骨材の粒度分布曲線 (S 2 - 1 ~ S 2 - 3) ()

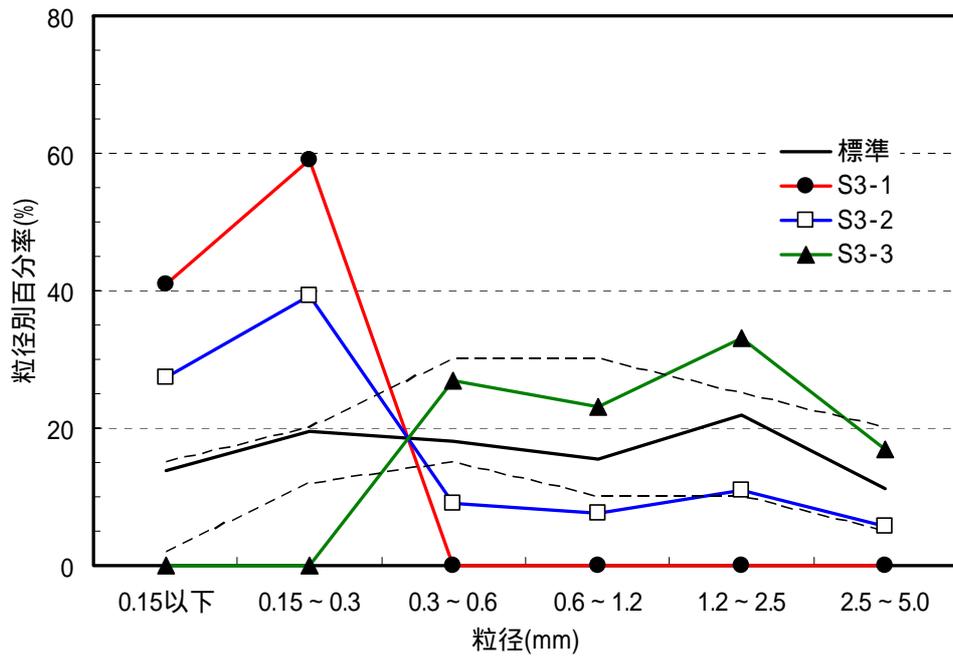


図 2.2.11 細骨材の粒径別分布曲線 (S 3 - 1 ~ S 3 - 3) ()

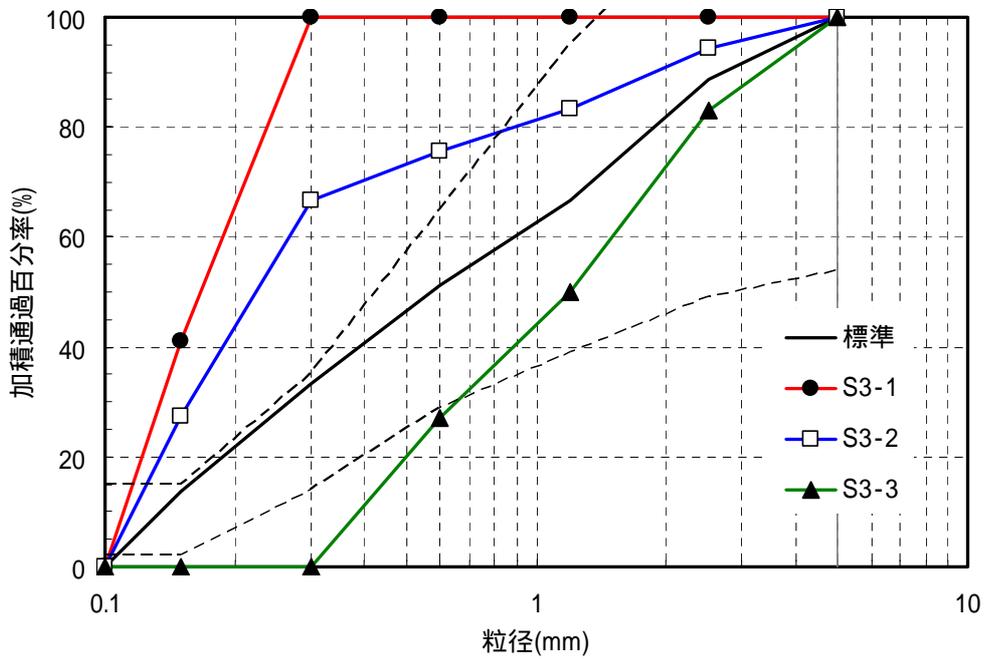


図 2.2.12 細骨材の粒度分布曲線 (S 3 - 1 ~ S 3 - 3) ()

(6) 試験結果

1) 細骨材粒度と V C 値

試験結果一覧表を表 2.2.6 に示す。この表から、細骨材がそれぞれ S 1、S 2、S 3 の単一粒度からなるケースである S 1 - 1、S 2 - 1、S 3 - 1 では、大型 V C 値、標準 V C 値ともに測定できたのは細骨材率 23% の S 2 - 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偏ると、適切なコンシステンシーが得られないと言える。また、細骨材率が大きいほど、大型 V C 値、標準 V C 値ともに、試験を行ってもペーストが上がってこないため計測できないケースが多くみられた。

表 2.2.6 試験結果 ()

細骨材率 (%)	粒度区分	細骨材粒度比率 (%)			粗粒率 F M	均等係数 U c	ペースト細骨材空隙比	大型 V C 値 (秒)	標準 V C 値 (秒)
		S 1	S 2	S 3					
30	基本 1	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.29	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	0.86	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.33	80	30
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	0.96	165	50
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	0.84	×	×
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.14	100	32
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.30	65	22
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.67	×	×
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	0.99	120	35
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	1.11	×	53	
23	基本 2	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.77	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	1.19	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.82	65	19
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	1.32	65	23
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	1.15	100	33
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.57	60	20
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.79	55	19
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.92	×	87
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	1.36	75	24
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	1.53	85	30	
37	基本 3	33.3	33.3	33.3	2.46	7.70	1.13	60	20
	S1-1	100	0	0	4.34	1.70	0.76	×	×
	S1-2	66.7	16.7	16.7	3.40	9.97	1.16	70	27
	S1-3	0	50	50	1.53	4.20	0.84	×	102
	S2-1	0	100	0	2.46	1.91	0.74	×	×
	S2-2	16.7	66.7	16.7	2.46	3.72	1.00	130	38
	S2-3	50	0	50	2.47	16.30	1.14	65	22
	S3-1	0	0	100	0.59	2.68	0.59	×	×
	S3-2	16.7	16.7	66.7	1.53	3.26	0.87	×	155
S3-3	50	50	0	3.40	3.88	0.97	×	×	

注)「×」: V C 試験を行ってもセメントペーストが表面に一樣に上がらない「V C 値測定不能状態」をいう。

V C 値が 140 秒を超えるものは、試験結果の精度がよくないと考えられ、グラフにプロットしないこととした。

粒径別百分率とV C 値の関係

細骨材率 30%におけるS 1 ~ S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係を図 2.2.13 ~ 図 2.2.15 に示す。なお、粒度区分S 1 - 3 (大型V C 値 165 秒)のデータについては、大型V C 値を精度良く計測できる限界としては140 秒程度までと考えられることから、同図のとりまとめから除外した。

これらの図から、以下のことが言える。

- ・ S 1 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、凹型曲線となる。適切なV C 値の範囲を大型V C 値 60 ± 20 秒とすると、適切なV C 値を得るためのS 1 粒径骨材の粒径別百分率の範囲は約 27% ~ 65%となった。
- ・ S 2 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係においては、S 2 粒径骨材の粒径別百分率が0%であっても適切なV C 値を得ることができ、S 2 粒径骨材の粒径別百分率が大きくなるほどV C 値が大きくなる傾向を示した。適切なV C 値を得るための範囲は不明確であると言える。
- ・ S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、凹型曲線となる。適切なV C 値を得るためのS 3 粒径骨材の粒径別百分率の範囲は約 21% ~ 55%となった。

細骨材率が23%、37%におけるS 1 ~ S 3 の粒径骨材の粒径別百分率と大型V C 値の関係を、細骨材率30%の場合と比較したものを図 2.2.16 ~ 図 2.2.18 に示す。

これらの図から、S 1、S 2、S 3 粒径骨材の粒径別百分率とV C 値の関係は、細骨材率23%、37%の場合も細骨材率30%と同様の傾向を示しているが、細骨材率が大きくなるほど、同一粒径別百分率ではV C 値が大きく、V C 値も変化が大きい。逆に、細骨材率が小さいほどV C 値が小さく、V C 値の変化も小さい。

以上のように、細骨材の中の粒度分布を粒径別百分率で表し、それらが様々に変化する場合のV C 値との関係を把握することで、実施工において細骨材の中の粒度分布が変化しても十分な施工性を有するCSGを製造するための対処方法を検討することは可能と考えられる。しかし、表2.2.6に示すような試験を全て実施することは、極めて煩雑と考えられる。

そこで、細骨材の中の粒度分布についての他の指標(粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比)でV C 試験結果を整理し、粒径別百分率の場合よりも簡単にV C 値の傾向を説明できるかどうかについて検討する。

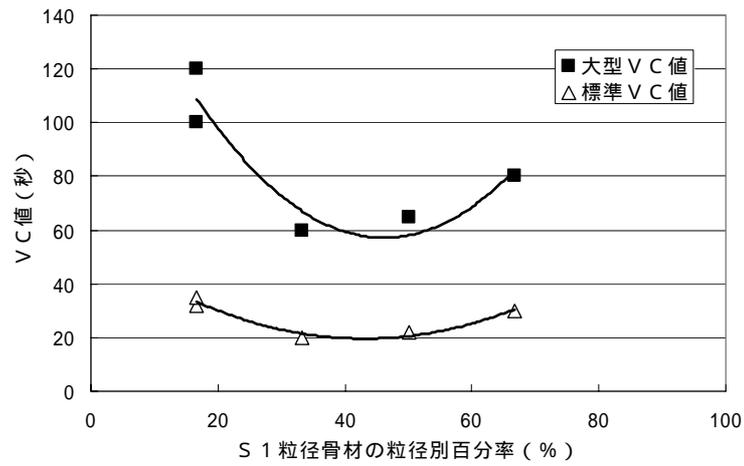


図 2.2.13 S 1 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係 (s/a=30%一定) ()

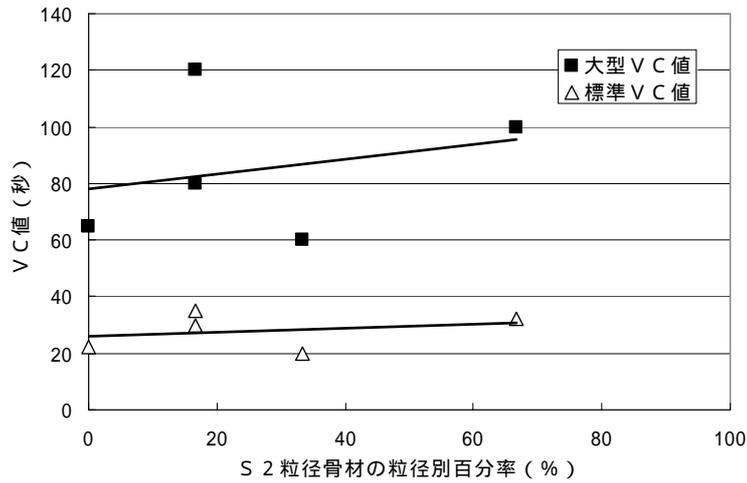


図 2.2.14 S 2 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係 (s/a=30%一定) ()

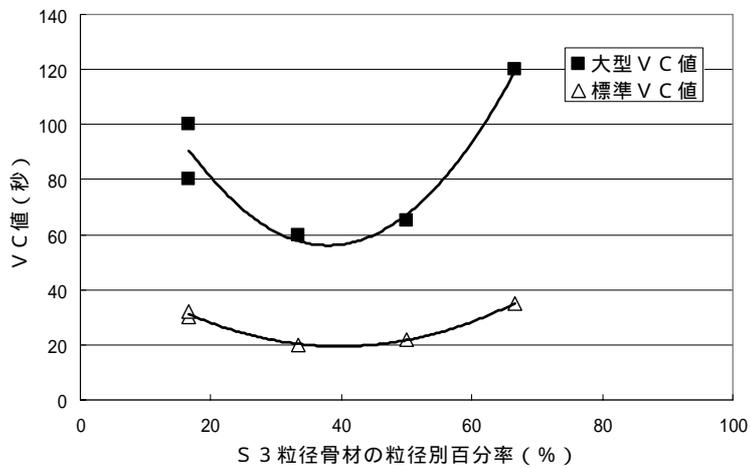


図 2.2.15 S 3 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係 (s/a=30%一定) ()

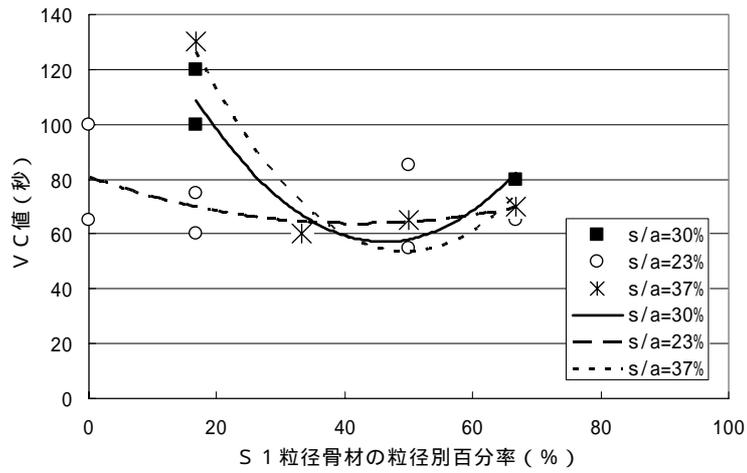


図 2.2.16 S 1 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

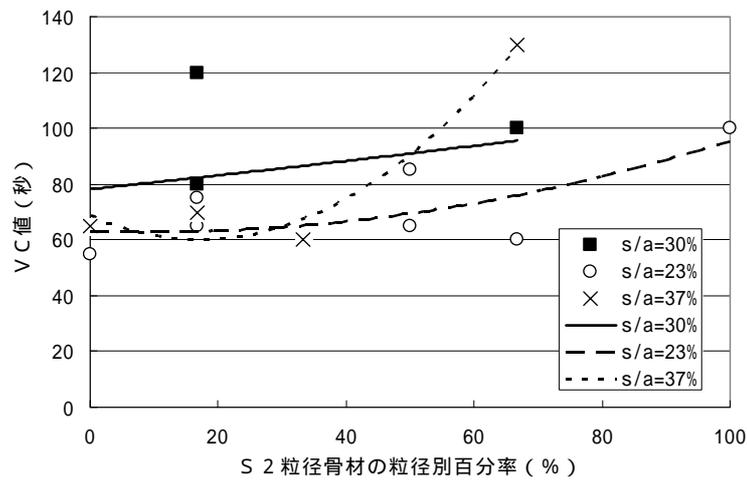


図 2.2.17 S 2 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

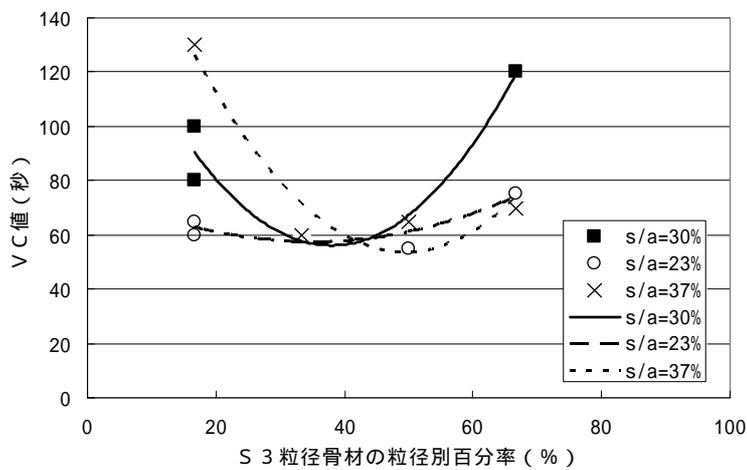


図 2.2.18 S 3 粒径骨材の粒径別百分率と大型 V C 値の関係 ()

粗粒率、均等係数、ペースト細骨材空隙比とV C 値の関係

細骨材の粗粒率F Mと大型V C 値の関係を図 2.2.19 に、均等係数 U_c と大型V C 値の関係を図 2.2.20 に、ペースト細骨材空隙比 α と大型V C 値の関係を図 2.2.21 に示す。なお、細骨材率 37%については大型V C 値の計測ができなかったケースが多かったことから、近似曲線を描いていない。

図 2.2.19 より、粗粒率F Mと大型V C 値の關係に一定の傾向は見られない。これは、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ためである。

図 2.2.20 より、均等係数 U_c と大型V C 値の關係は、概ね均等係数 U_c が 8 までは均等係数が大きくなるほど大型V C 値は小さくなる傾向を示し、 U_c が 8 以上ではほぼ横ばいとなっている。また、細骨材率が大きいほど、 U_c の変化に対するV C 値の変化が大きい傾向にある。

図 2.2.21 より、ペースト細骨材空隙比 α と大型V C 値の關係は、 α が大きくなるほど大型V C 値は小さくなる傾向にあり、 α が 1.0 以下になると大型V C 値が 120 秒以上、もしくはV C 値測定不能となり、フレッシュCSGが締め固めにくくなっていることがわかる。また、細骨材率が大きいほど、 α の変化に対するV C 値の変化が大きい傾向にある。

図 2.2.20 のような關係が見られる原因は、細骨材の均等係数と細骨材の実積率との關係によるものである。細骨材の均等係数 U_c と細骨材の実積率との關係を図 2.2.22 に示す。この図より、 U_c が概ね 8 以上で細骨材の実積率として最大値が得られており、 U_c が 8 未満では細骨材の実積率が低下している。このことより、図 2.2.20 において U_c が 8 未満ではV C 値が大きくなる傾向になるものと考えられる。

以上より、細骨材の粒度が変化した場合のCSGのV C 値の評価は、細骨材の粗粒率F Mよりも均等係数 U_c およびペースト細骨材空隙比 α が有効であることが明らかとなった。また、細骨材の粒度変化がCSGのV C 値に及ぼす影響は、細骨材率が大きいほどその影響が大きいことが明らかになった。

これらの指標（細骨材の均等係数 U_c 、ペースト細骨材空隙比 α 、細骨材率 s/a ）とV C 値との關係を統一的に導くことの試みとして、表 2.2.6 で大型V C 値が計測できたケースについて、 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型V C 値との關係を整理したものを図 2.2.23 に示す。これより、両者には明快な關係が得られているように思われる。しかし、これを図 2.2.3～図 2.2.6 の基本配合選定試験の場合に適用したものを、図 2.2.24 に示す。この図からは、細骨材率ごとにデータが分散し、明快な傾向が見られないものとなった。これは、V C 値に対してはモルタル粗骨材空隙比 β （式 2.2.3 参照）も大きく影響すると考えられるが、これを考慮に入れていないためと考えられる。

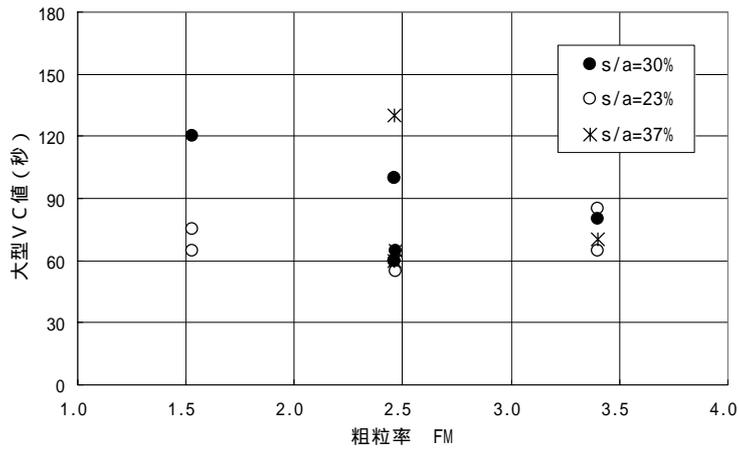


図 2.2.19 粗粒率と大型VC値 ()

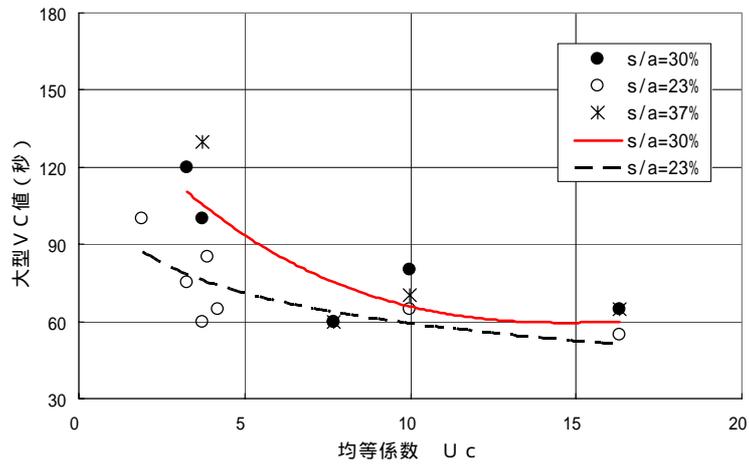


図 2.2.20 均等係数と大型VC値 ()

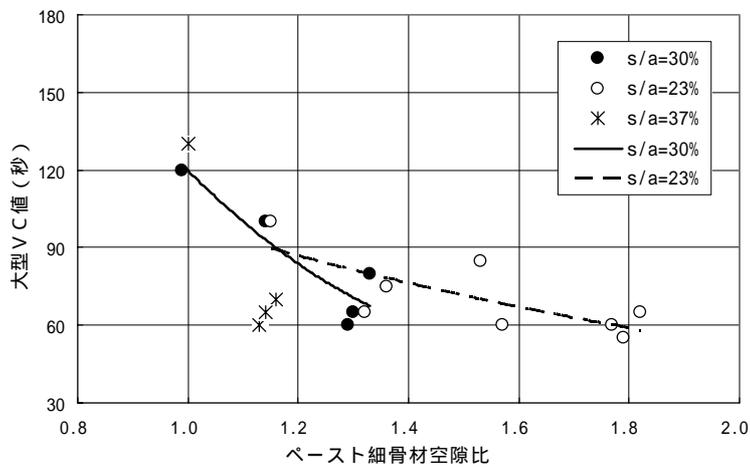


図 2.2.21 ペースト細骨材空隙比 α と大型VC値 ()

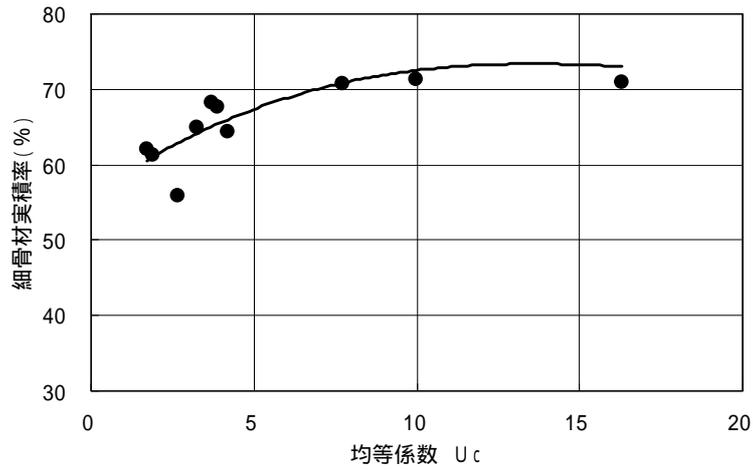


図 2.2.22 細骨材の均等係数と実積率の関係 ()

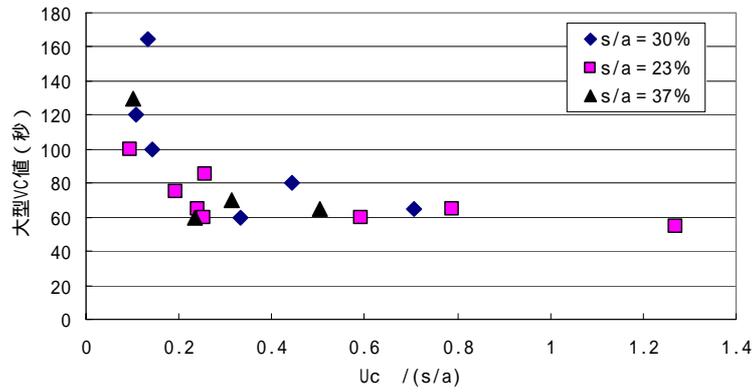


図 2.2.23 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型 VC 値との関係 (表 2.2.6 の結果について)

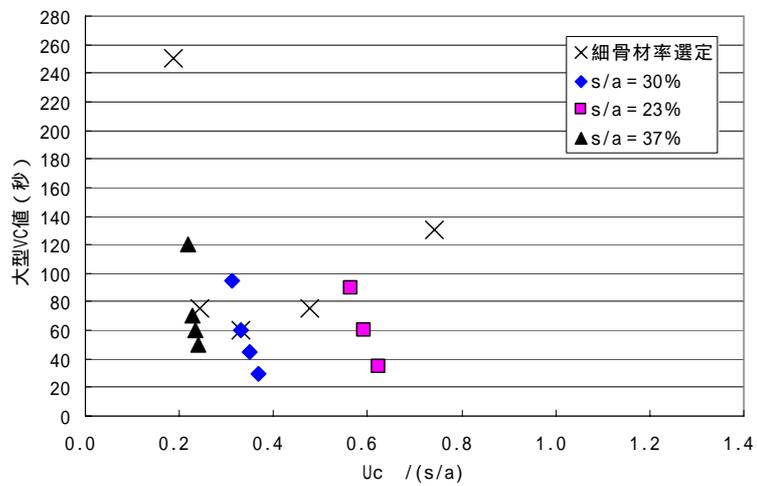


図 2.2.24 $U_c \cdot \alpha / (s/a)$ と大型 VC 値との関係 (図 2.2.3 ~ 図 2.2.6 の結果について)

2) 細骨材粒度と供試体の評価点、密度比、圧縮強度

C S Gのフレッシュ性状評価の指標として、均等係数 U_c およびペースト細骨材空隙比 α が有効であることが判明したことを踏まえ、大型供試体試験のコア評価点、コア密度比、圧縮強度についても同様に、均等係数およびペースト細骨材空隙比 α を用いて評価したものを図2.2.25～図2.2.30に示す。

ここで、コア評価点とは、表2.2.7に示す供試体の外観観察結果に基づいて与えるものである。密度比とは、供試体の単位容積質量を、理論配合上の単位容積質量（空気量を無視）で除したものである。（密度比＝100%は、空隙が無いことを意味する。）

表2.2.7 供試体の外観評価基準（ ）

区 分	供試体の外観	評価点
良 (A)	表面が緻密である	5
ほぼ良 (B)	表面がややポーラスな部分、砂分が現れている部分がある	4
やや不良 (C)	表面がポーラスな部分、モルタル分がはげ落ちている部分がある	3
不 良 (D)	モルタルが粗骨材のまわりにゆきわたらず、豆板状の部分がある	2
極めて不良(E)	粗骨材がばらばらでC S Gとしての外観を呈していない部分がある	1

図2.2.25～図2.2.27より、細骨材の均等係数 U_c が8程度までは、均等係数が大きくなるほどコア評価点、密度比、圧縮強度が大きくなる傾向を示し、 U_c が8以上ではほぼ横ばいとなっている。

図2.2.28～図2.2.30より、ペースト細骨材空隙比 α が大きくなるほどコア評価点、密度比、圧縮強度が高くなる。 α が1.0以上になるとコア密度比は96%以上となり、良好な締め固め密度が得られていることがわかる。

U_c は細骨材の粒度分布のみを示す指標であるのに対し、 α はその試験ケースの配合における単位ペースト量の多少を含んだ指標である。したがって、 α が大きくなるほど単位ペースト量が大きくなり、締め固めが良好になるものと考えられる。

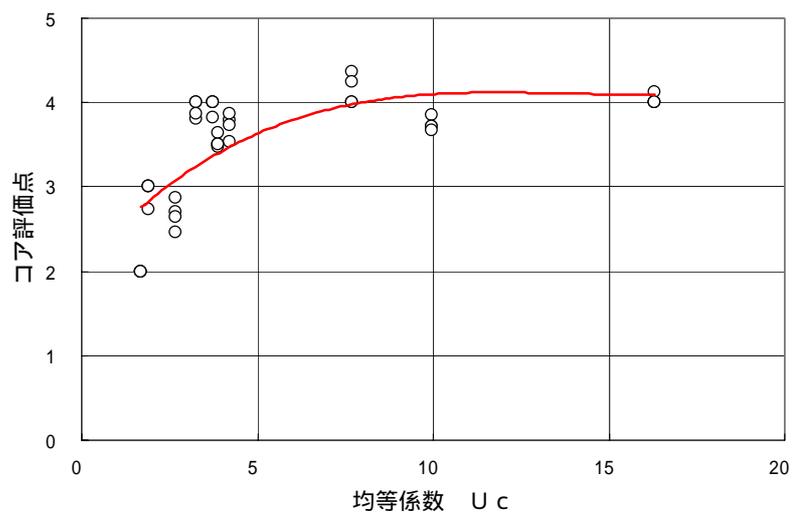


図 2.2.25 均等係数 U_c とコア評価点 ($s/a=30\%$ 一定) ()

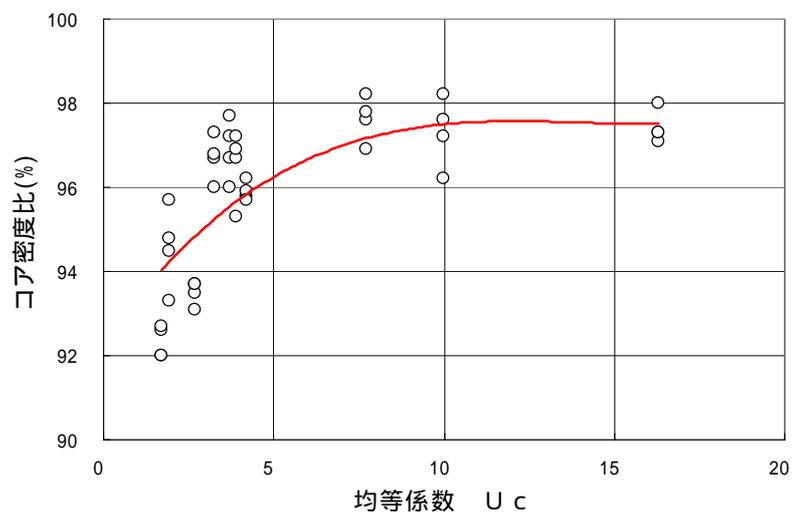


図 2.2.26 均等係数 U_c とコア密度比 ($s/a=30\%$ 一定) ()

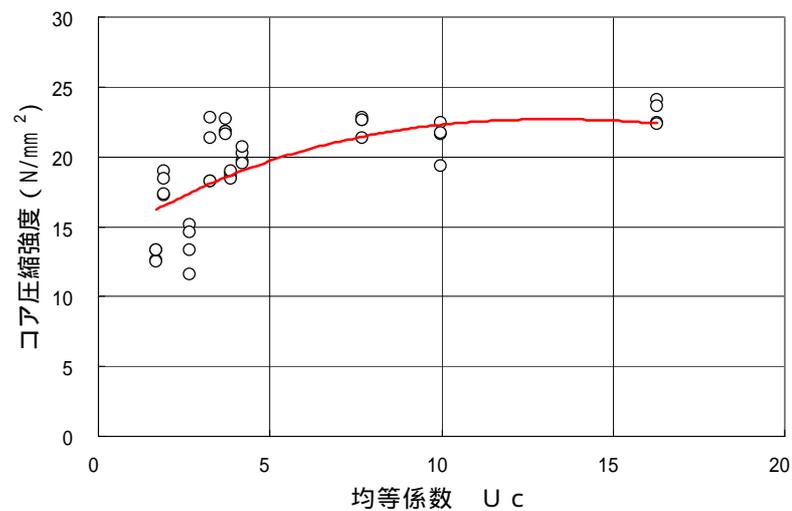


図 2.2.27 均等係数 U_c とコア圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

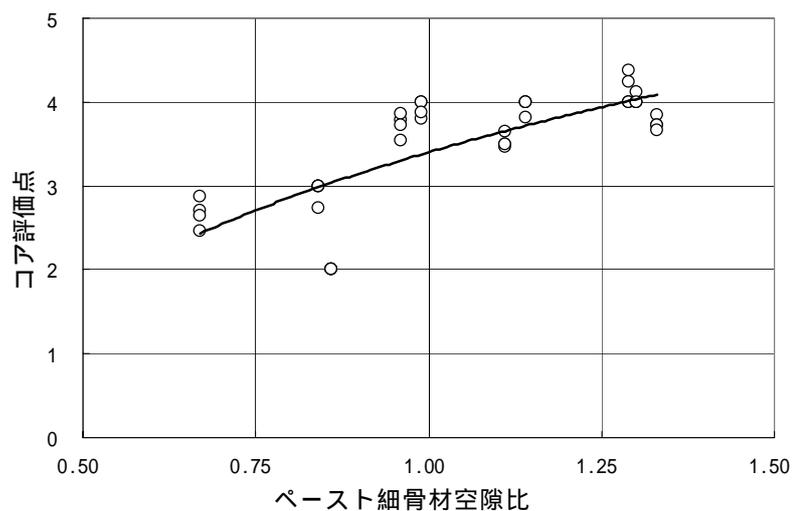


図 2.2.28 ペースト細骨材空隙比 α とコア評価点 ($s/a=30\%$ 一定) ()

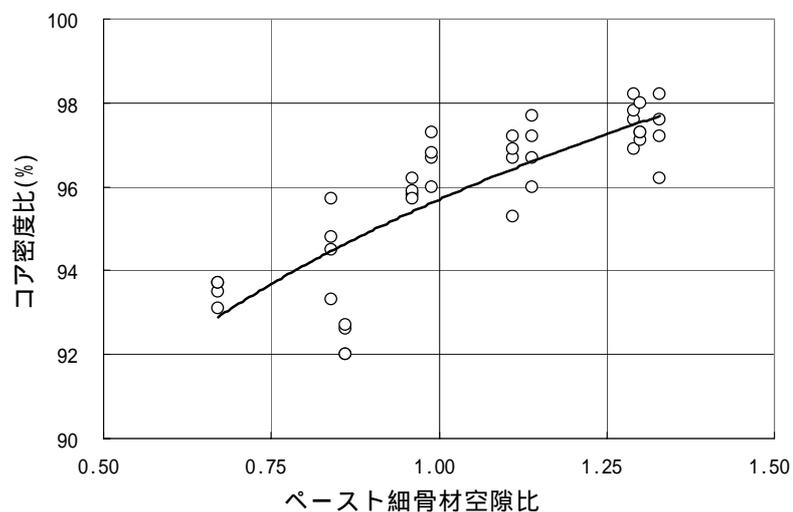


図 2.2.29 ペースト細骨材空隙比 α とコア密度比 ($s/a=30\%$ 一定) ()

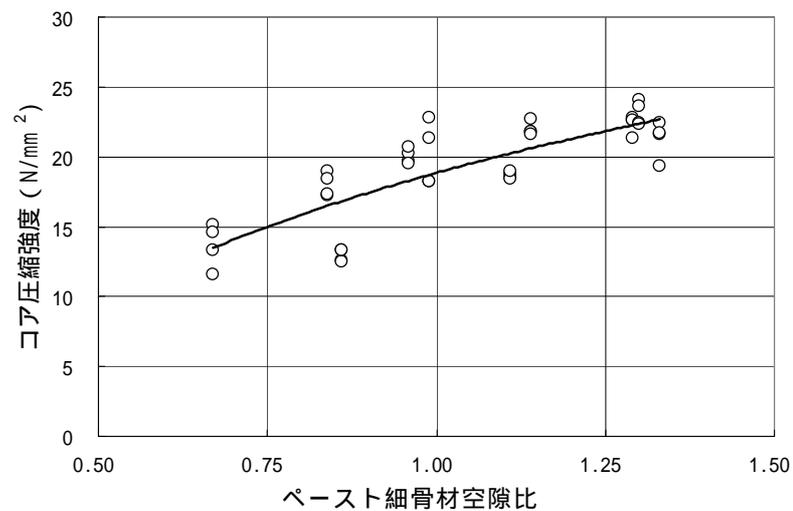


図 2.2.30 ペースト細骨材空隙比 α とコア圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

次に、標準供試体における、均等係数と圧縮強度の関係を図 2.2.31 に、ペースト細骨材空隙比 α と圧縮強度の関係を図 2.2.32 に示す。

これらの図より、細骨材の均等係数 U_c が 8 程度までは均等係数が大きくなるほど圧縮強度も大きくなる傾向を示し、 U_c が 8 以上ではほぼ横ばいとなっている。また、ペースト細骨材空隙比 α の場合は、 α の増加にともない圧縮強度は増加する傾向を示している。これらの傾向は、コア供試体における傾向（図 2.2.27、図 2.2.30）と同様である

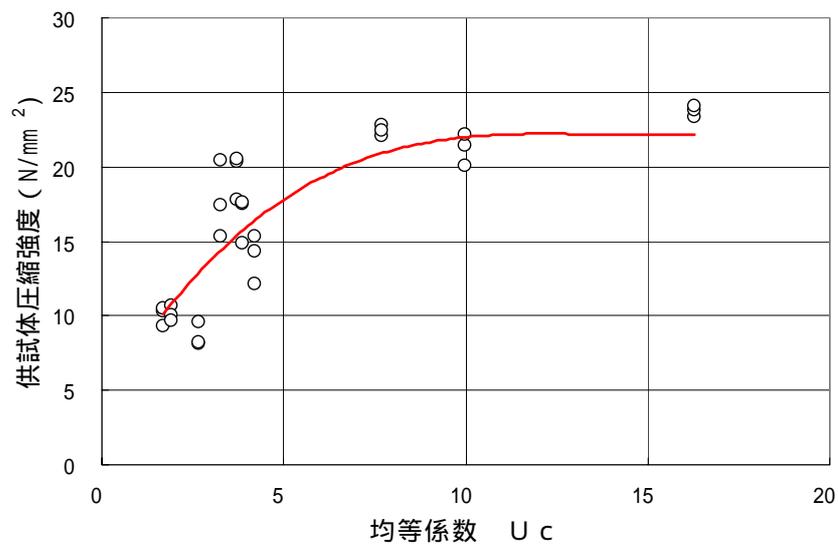


図 2.2.31 均等係数 U_c と供試体圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

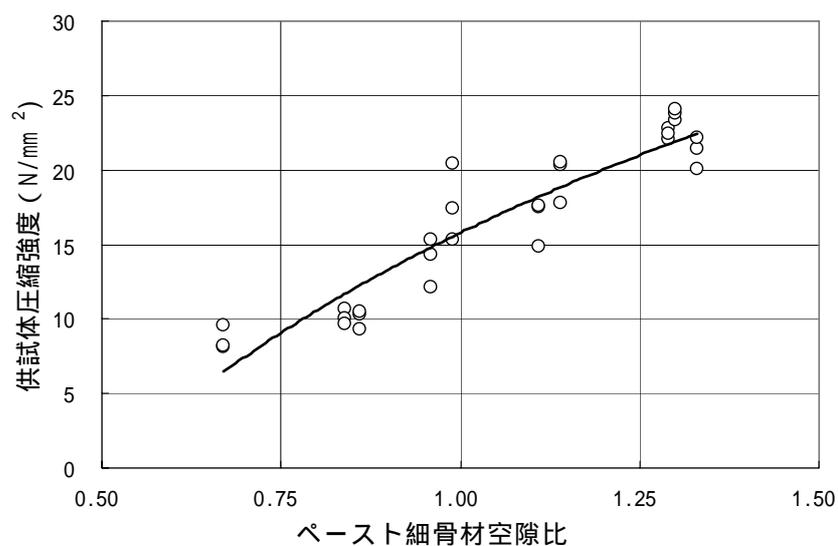


図 2.2.32 ペースト細骨材空隙比 α と供試体圧縮強度 ($s/a=30\%$ 一定) ()

3) コア密度比とコア圧縮強度の関係

参考として、この試験から得られたコア密度比とコア圧縮強度の関係を図 2.2.33 に示す。この図より、コア密度比とコア圧縮強度の間には比例関係が成り立つといえる。したがって、CSGの締固め密度は、強度管理を行う上での有効な指標になるものといえる。

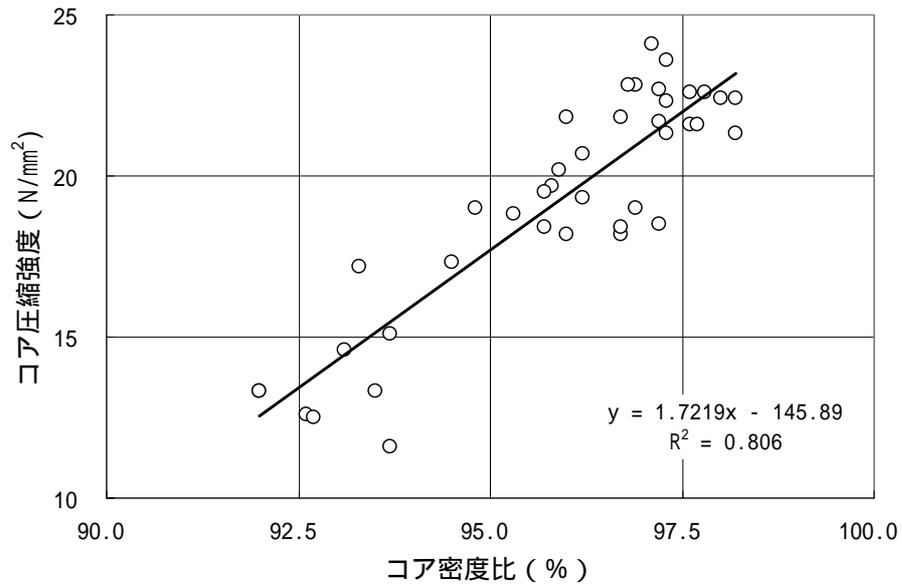


図 2.2.33 コア密度比とコア圧縮強度 ()

4) 標準供試体圧縮強度と採取コア圧縮強度の関係

参考として、この試験から得られた標準供試体圧縮強度とコア圧縮強度の関係を、図 2.2.34 に示す。両者には比例関係があることが見受けられる。

なお、コア圧縮強度の方が標準供試体圧縮強度よりも高い傾向となっている。これは、大型供試体作製装置と標準供試体作製装置の締め固めエネルギーの違いによるものである。参考文献²⁾によれば、大型供試体作製装置で締め固めた大型供試体の圧縮強度と、標準供試体作製装置で 40 秒間（本試験では 40 秒間）締め固めて作製した標準供試体の圧縮強度を比較すると、大型供試体試験の圧縮強度が大きくなるが、標準供試体作製装置の締め固め時間を 60 秒間とすると、両者の圧縮強度は一致するとされている。

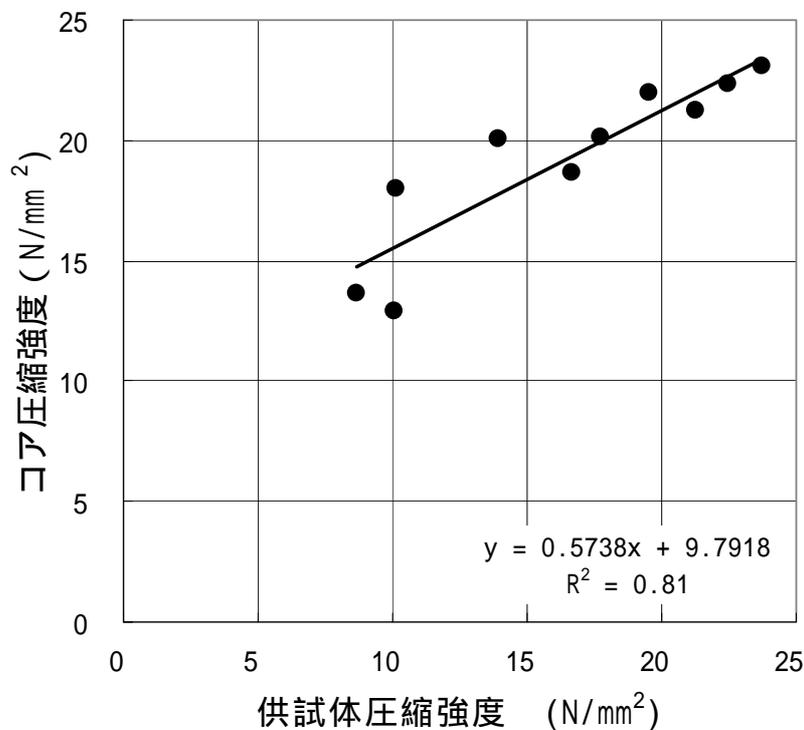


図 2.2.34 供試体圧縮強度とコア圧縮強度 ()

(7) まとめ

細骨材の中の粒度分布の変化(細骨材 5~0mm を 5~1.2mm、1.2~0.3mm、0.3~0mm に 3 分級)が C S G のフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

細骨材粒度が単一粒度(1分級)だけに偏ると、適切な V C 値が得られにくくなる。

細骨材率が大きくなるほど、細骨材の粒度の変化が V C 値に及ぼす影響が大きい。

適切な V C 値を得るためには、5~1.2mm と 0.3mm 以下の分級骨材が適切な範囲(5~1.2mm : 27~65%、0.3mm 以下 : 21~55%)に入っていないなければならない。

細骨材の均等係数 U_c が 8 までは U_c が大きくなるほど V C 値は小さくなる傾向を示し、 U_c が 8 以上となると V C 値はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど V C 値は小さくなる傾向を示した。このことから、細骨材の粒度が変化する場合の C S G の V C 値の評価には、 U_c および α が有効な指標となり得る。

均等係数 U_c が 8 までは U_c が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示し、 U_c が 8 以上となると密度比、圧縮強度はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示した。

大型供試体のコア密度比とコア圧縮強度には比例関係が認められる。したがって C S G の圧縮強度を予測するうえにおいて、密度比は有効な予測手段であると言える。

以上の知見より、C S G の施工において C S G の V C 値を管理する場合、次のような方法で対処することが考えられる。

- ・ 「2.1.1 分級骨材の単位量変化試験(その1)(7)まとめ」で述べたとおりの基本配合を定める試験や、C S G 材の粒度分布が基本粒度と異なる場合での試験を実施する。
- ・ C S G 材の粒度分布が基本粒度と異なる場合において、細骨材の中の粒度分布の違いにも着目し、均等係数やペースト細骨材空隙比を算出して、図 2.2.20 や図 2.2.21 に示されるような V C 値との関係を整理する。
- ・ 実際の施工において、細骨材の中の粒度分布を適切な頻度で試験し、それが基本粒度と異なる場合には図 2.2.20 に示すような関係から、均等係数が十分な値を確保できているかどうかを確認する(この検討における C S G 材の場合には、 U_c 8)。また、図 2.2.21 に示すような関係から、適切な V C 値が得られるような単位ペースト量の増減を検討する。

なお、この検討では細骨材の中の粒度分布に着目したため、一般に R C D 用コンクリートの配合特性を表す指標として用いられるモルタル粗骨材空隙比 β に着目した整理を行っていない。しかし、V C 試験は粗骨材の空隙を満たしながらモルタルが上昇していく時間を計測するものであり、V C 値の大小に対して β も大きく影響するものと考えられる。したがって、図 2.2.20 や図 2.2.21 に示されるような細骨材の粒度特性と V C 値の関係に対して、 β を関わらせることによってより明快な関係を導き出せるものと考えられる。

2.3 骨材粒度特性の影響

骨材粒度の変化が、CSGのフレッシュ性状（指標としてVC値）や所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量に及ぼす影響について検討するために、粗骨材や細骨材における各分級骨材の単位量を変化させてVC試験を行った。この時の各分級骨材の単位量を変化させることによる粒径別百分率の変化範囲は、概ね示方書ダム編の標準粒度範囲以内とした。その結果、以下のことがわかった。

CSGのVC値は、骨材の粒度分布に影響を受ける。VC値に対する影響度合いは、粒径の小さい骨材ほど大きくなる。

所要のVC値を確保するために必要な単位ペースト量は、骨材の粒度分布に影響を受けるが、その影響度合いは細骨材率が最も大きい。細骨材率に比べると、粗骨材粒度の影響は小さい。

次に、粗骨材粒度の粒径別百分率が示方書ダム編の標準粒度範囲外まで変化した場合についてVC試験を行った。その結果、以下のことがわかった。

粗骨材の各分級骨材の粒径別百分率の変化が大きい場合においても（示方書ダム編の標準粒度範囲外となるほど変化しても）、VC値に与える影響は小さい。

粗骨材の粒径別百分率（細骨材率）の変化は、VC値に大きな影響を及ぼす。

また、細骨材の中の粒度分布の変化（細骨材5~0mmを5~1.2mm、1.2~0.3mm、0.3~0mmに3分級）がCSGのフレッシュ性状および強度等に与える影響について試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

細骨材粒度が単一粒度（1分級）だけに偏ると、適切なVC値が得られにくくなる。

細骨材率が大きくなるほど、細骨材の中の粒度変化がVC値に及ぼす影響が大きい。

適切なVC値を得るためには、5~1.2mmと0.3mm以下の分級骨材が適切な範囲（5~1.2mm：27~65%、0.3mm以下：21~55%）に入っていないなければならない。

細骨材の均等係数 U_c が8までは U_c が大きくなるほどVC値は小さくなる傾向を示し、 U_c が8以上となるとVC値はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほどVC値は小さくなる傾向を示した。このことから、細骨材の粒度が変化する場合のCSGのVC値の評価には、 U_c および α が有効な指標となり得る。

均等係数 U_c が8までは U_c が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示し、 U_c が8以上となると密度比、圧縮強度はほぼ横ばいとなった。また、ペースト細骨材空隙比 α については、 α が大きくなるほど密度比、圧縮強度は高くなる傾向を示した。

大型供試体のコア密度比とコア圧縮強度には比例関係が認められる。したがってCSGの圧縮強度を予測するうえにおいて、密度比は有効な予測手段であると言える。

これらをまとめると、CSGのフレッシュ性状は主にCSG材における細骨材率と細骨材の中の粒度分布に影響され、これを評価する指標として U_c および α が有効であると言える。また密度比や圧縮強度を確保するうえでも、 U_c や α での管理が有効であると考えられる。

-
- 1) 志水茂明、永山功：R C D用コンクリートの配合とその締固め特性、強度特性についての考察、ダム技術 No.34、1989.
 - 2) 永山功、渡辺和夫：標準供試体作製装置を用いたR C D用コンクリートの配合設計についての検討、コンクリート工学年次論文報告集、vol.18、No.1、1996.