

◆ ダム分野における新技術特集 ◆

骨材粒度の変化が超硬練り貧配合コンクリートの コンシスティンシーに与える影響

吉田 等* 大滝嘉孝**

1. はじめに

近年、良好な地質条件を有する原石山をダムサイト近傍で確保することが次第に困難になりつつあり、河床砂礫や掘削ズリなどダムサイト付近で容易に得られる材料を有効利用することが強く望まれている。

このような現地発生材にセメントを添加・混合して強度を増加することにより、盛土材料や堤体材料として利用するのが CSG(Cemented Sand and Gravel) 工法¹⁾である。建設省が開発した本工法は、中部地方建設局の長島ダム上流仮締切²⁾に初めて導入されて以来、ダムの上流仮締切や擁壁などに盛んに利用されつつある。

このように、これまで土質材料の改良を目指して CSG 工法を用いてきた。しかし、永久構造物としてのコンクリートダムに CSG 工法を適用するには、CSG 工法の基本的理念である現地発生材を最大限に有効利用するという観点から、従来のコンクリートで定義してきた細骨材と粗骨材の分類によらない粒度特性におけるコンクリートの諸特性について確認する必要がある。

これより、本報文では、現地発生材をそのままコンクリート用骨材として用いる場合に想定される骨材粒度の変化が、コンシスティンシーおよび所要のコンシスティンシーを得るために必要な単位ペースト容積に与える影響について考察するものである。

2. 試験概要

2.1 試験項目および方法

本試験は、最大骨材寸法 80mm、水セメント比 W/C が 80% でスランプのきわめて小さい硬練り貧配合コンクリート(以下、「超硬練り貧配合コンクリート」という。)を対象に、骨材として粒度のバラツキのある現地発生材を利用した場合

Influence That the Change of Aggregate Grading Gives to the Consistency of Extremely Stiff and Lean Concrete

表-1 材料の物性値

材料	物性値
セメント	中庸熱ポルトランドセメント 比重 = 3.21、比表面積 = 3,400cm ² /g
混和剤	AE 減水剤遅延形(I種)
細骨材	花崗岩碎砂 比重 = 2.60、吸水率 = 1.42%
粗骨材 ¹⁾	花崗岩碎石 比重 = 2.62 ~ 2.64、 吸水率 = 0.44 ~ 1.37%

1) 粗骨材の比重、吸水率は各粒径ごとに測定した。

を想定し、下記の試験を行った。

● 試験 -1

骨材粒度の変化が超硬練り貧配合コンクリートのコンシスティンシーに与える影響の確認

● 試験 -2

骨材粒度の変化が所要のコンシスティンシーを満足するために必要な単位ペースト容積に与える影響の確認

このような超硬練り貧配合コンクリートは、ダム建設においては RCD 工法(振動ローラで締め固めることを基本とした工法)で一般的に用いられており、このときのコンクリートのコンシスティンシーは、振動台式コンシスティンシー試験(RCD 用)(以下、「VC 試験」という)によって評価している⁴⁾。

そのため、本検討で行う上記の試験においても、RCD 用コンクリートと同様に、VC 試験から求まる VC 値によりコンクリートのコンシスティンシーを評価するものとした。なお、大型 VC 試験は粗骨材寸法 80mm のフルサイズのコンクリートで実施し、標準 VC 試験はフルサイズのコンクリートからウェットスクリーニング(ふるいを用いてふるい分けを行うこと)によって 40mm 以上の骨材を取り除いて実施した。

使用材料としては、セメントには中庸熱ポルトランドセメント、骨材には花崗岩の碎石、碎砂を用いた。材料の物性値は表-1 に示すとおりである。

2.2 VC 試験の概要

VC 試験における測定は、試料を詰めた容器に所定の振動を加え、試料中のモルタルが表面に浮かび出てくるまでの秒数をもってコンシステンシーの指標とし、これを「VC 値」とした。

この試験方法においては、超硬練り貧配合コンクリートの最適なコンシステンシーは概ね 20 秒程度である。しかし、標準 VC 試験においては 40mm 以上の骨材はウェットスクリーニングにより除去されるため、骨材粒度の変化に対応したコンシステンシーを適切に評価しにくい。よって、本試験ではフルサイズの骨材によるコンシステンシー評価が可能な大型 VC 試験を採用することとした。

3. 予備試験

3.1 基本配合の設定

本試験で用いる基本となる粗骨材粒度（以下、「基本粗骨材粒度」という）は図-1 に示すコンクリート標準示方書（ダム編）³⁾ の標準粒度範囲（以下、「標準粒度範囲」という）のほぼ中間値となるように設定した。

この基本粗骨材粒度を用い、水セメント比 W/C を 80% で一定とした条件で予備試験を行い、大型 VC 値が最小となる細骨材率 s/a を確認した。

このときに得られた細骨材率 s/a と VC 値の

関係を図-2 に示す。図によると、基本粗骨材粒度において VC 値が最小を示す細骨材率 s/a は 30% となった。つぎに大型 VC 値が 60 秒となるように単位セメント量を設定し、これを基本配合とした（以下、基本配合時の骨材粒度を「基本粒度」という）。

その配合は表-2 に示すとおりである。

また、事前に基本粒度（細骨材率 s/a=30%）のコンクリートを用いて、標準 VC 値と大型 VC 値の関係を確認した。その結果は図-3 に示すように、単位ペースト容積が約 133ℓ/m³ のときに大型 VC 値 60 秒が標準 VC 値 20 秒に対応することがわかった。

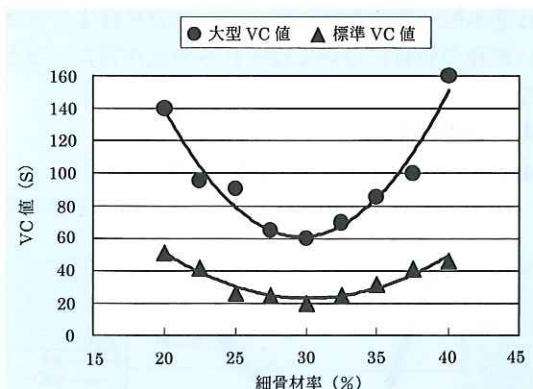


図-2 細骨材率と VC 値の関係

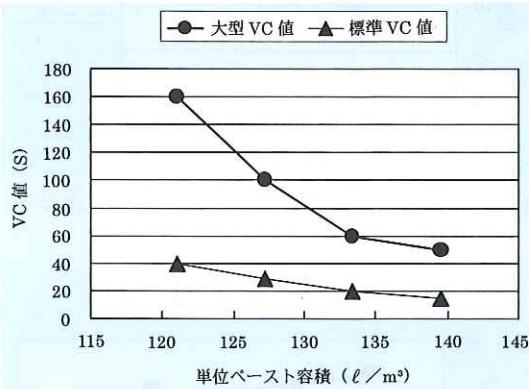


図-3 標準 VC 値と大型 VC 値の関係

表-2 基本配合表

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

4. 試験-1の概要と結果

4.1 試験-1の概要

試験-1においては基本粒度のうち細骨材率 s/a を 30%一定にし、粗骨材の特定の粒径範囲のみを変化させて大型 VC 値と標準 VC 値を測定した。このときに試験対象とする粒径骨材の粒径別百分率の変化範囲は、概ね標準粒度範囲の上限値、下限値となるように、基本粗骨材粒度(図-1 参照)における粒径別百分率の 0.7~1.3 倍に設定した。

また、試験対象粒径以外の粒径別百分率は、試験対象とした粒径より小さい粒径の骨材においては基本配合時の数値に固定し、当該粒径より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した。

4.2 試験結果

4.2.1 10~5mm 粒径骨材の影響

図-4 に 10~5mm 粒径骨材の粒径別百分率を

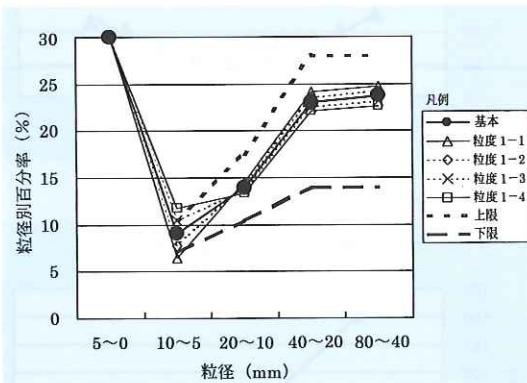


図-4 10~5mm 粒径骨材の粒径別百分率を変化させた試験粒度

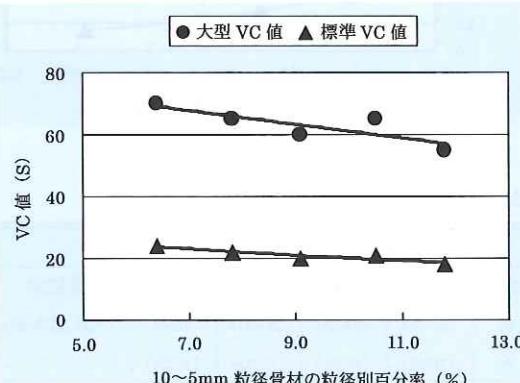


図-5 10~5mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係

変化させたときの試験粒度を示す。また、このときの 10~5mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係を図-5 に示す。図によると、10~5mm 粒径骨材が多くなると VC 値は小さくなる傾向にあるが、その影響は小さいことが確認された。

4.2.2 20~10mm 粒径骨材の影響

図-6 に 20~10mm 粒径骨材の粒径別百分率を変化させたときの試験粒度を示す。また、このときの 20~10mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係を図-7 に示す。図によると、粒径別百分率が約 15% のときに大型 VC 値の最小値が現れて配合上最適な粒径別百分率が存在するような傾向が見られた。

しかし、粒径別百分率の変化がコンシステンシーに及ぼす影響は、10~5mm 粒径骨材の場合と同様に小さいことが確認された。

4.2.3 40~20mm 粒径骨材の影響

図-8 に 40~20mm 粒径骨材の粒径別百分率を変化させたときの試験粒度を示す。また、この

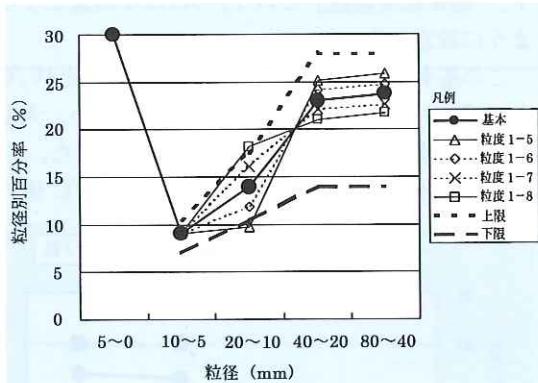


図-6 20~10mm 粒径骨材の粒径別百分率を変化させた試験粒度

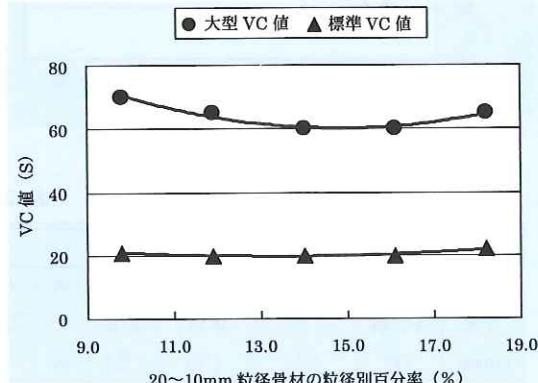


図-7 20~10mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係

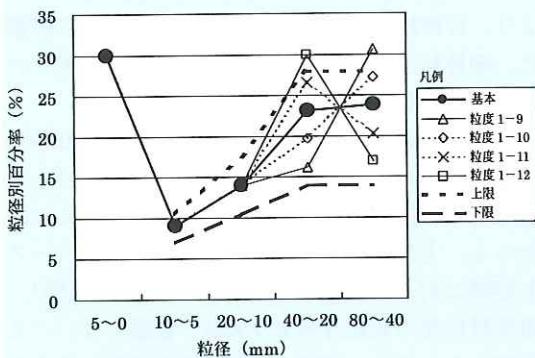


図-8 40~20mm 粒径骨材の粒径別百分率を変化させた試験粒度

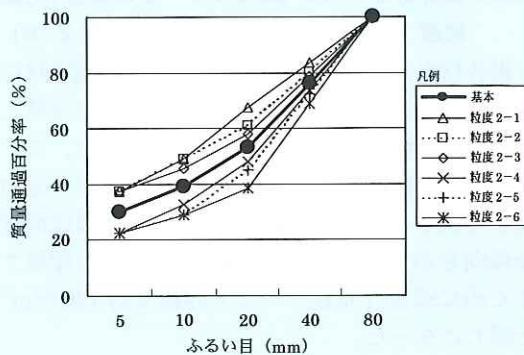


図-10 試験-2で用いた骨材粒度分布

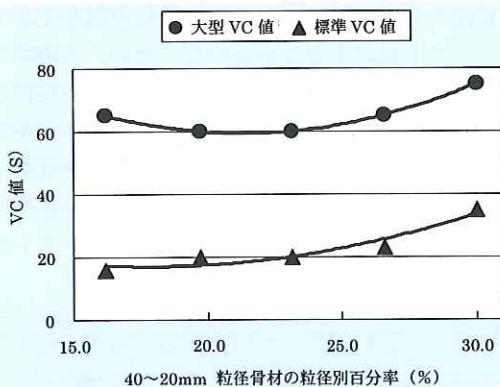


図-9 40~20mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係

ときの 40~20mm 粒径骨材の粒径別百分率と VC 値の関係を図-9 に示す。図によると、20~10mm 粒径骨材の場合と同様な傾向を示し、全骨材中に占める粒径別百分率が約 22% のときに大型 VC 値が最小となったが、他の粒径の場合と同様にその影響は小さいことが確認された。

5. 試験-2 の概要と結果

5.1 試験-2 の概要

試験-2においては、図-10 に示す骨材粒度を用い細骨材率 s/a と粗骨材粒度を変化させて、大型 VC 値 60 秒 (標準 VC 値 20 秒相当) とするために必要な単位ペースト容積に与える影響を確認した。

5.2 試験結果

5.2.1 粗骨材粒度が一定の場合 (対象粒度: 基本、粒度 2-3、粒度 2-4)

粗骨材粒度が一定で、細骨材率 s/a が異なる骨材粒度における単位ペースト容積と VC 値

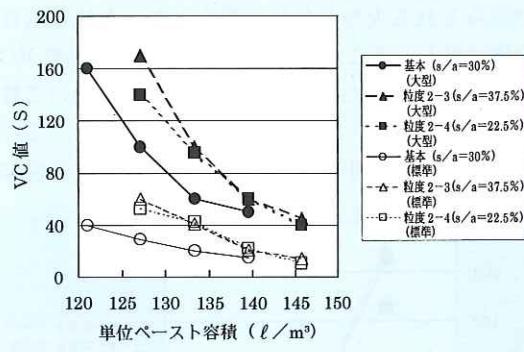


図-11 単位ペースト容積と VC 値の関係 (粗骨材粒度が一定)

の関係を図-11 に示す。図によると、細骨材率 $s/a=30\%$ の基本粒度から細骨材率 s/a が変化すると、大型 VC 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト容積は、約 $133\ell/m^3$ (基本配合時) から約 $140\ell/m^3$ (細骨材率 $s/a=22.5\%, 37.5\%$ 時) となり大きくなった。しかし、単位ペースト容積と大型 VC 値の関係を示すグラフ特性は、ほぼ同様な傾向を示した。

5.2.2 細骨材率 s/a が 37.5% で一定の場合 (対象粒度: 粒度 2-1、粒度 2-2、粒度 2-3)

細骨材率 s/a が一定 ($s/a=37.5\%$) で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト容積と VC 値の関係を図-12 に示す。図によると、単位ペースト容積が小さくなるにしたがい粗骨材粒度の違いによる影響が現れるが、全体的なグラフ特性は粗骨材粒度に関係なく、ほぼ同様な傾向を示し、また、大型 VC 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト容積も約 $140\sim143\ell/m^3$ とはほぼ同じになった。

5.2.3 細骨材率 s/a が 22.5% で一定の場合 (対象 粒度 : 粒度 2-4、粒度 2-5、粒度 2-6)

細骨材率 s/a が一定 ($s/a=22.5\%$) で、粗骨材粒度が異なる骨材粒度における単位ペースト容積と VC 値の関係を図-13 に示す。図によると、ここでのグラフ特性は細骨材率 s/a が 37.5% で一定の場合と同じく、粗骨材粒度に関係なく、ほぼ同様な傾向を示し、また、大型 VC 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト容積も約 $140 \ell/m^3$ と同じになった。

6. 考察

予備試験および試験-1 の結果から、グラフ上で読みとれる大型 VC 値が最小となった粒径別百分率に対し、そこから 5% 変化したときの大型 VC 値と最小となった大型 VC 値との較差について整理してみると表-3 に示すとおりとなった。この表から、粒径が小さくなるにしたがって VC 値に

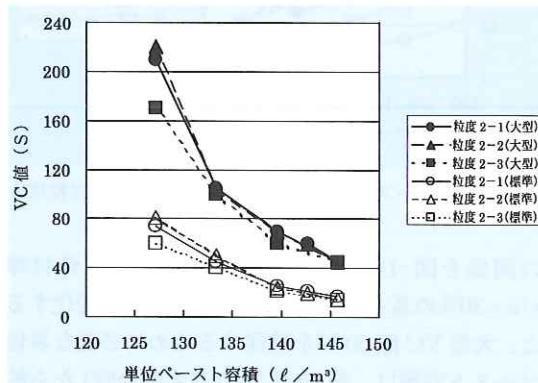


図-12 単位ペースト容積と VC 値の関係
(細骨材率 $s/a=37.5\%$ で一定)

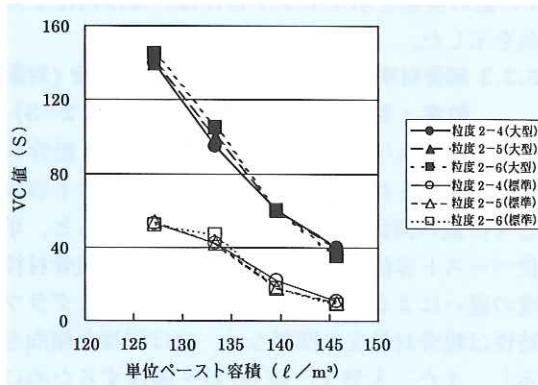


図-13 単位ペースト容積と VC 値の関係
(細骨材率 $s/a=22.5\%$ で一定)

及ぼす影響が大きくなる傾向が読み取れる。これより、骨材粒度がコンシステンシーに及ぼす影響は、細骨材または粒径の小さい粗骨材ほど大きいことが明らかとなった。

また、試験-2 の結果から、大型 VC 値 60 秒を確保するために必要な単位ペースト容積について整理すると図-14 に示すとおりとなった。この図からも、大型 VC 値 60 秒を確保する単位ペースト容積に対しては細骨材率 s/a が大きく影響し、粗骨材粒度の変化はあまり大きく影響しないことが明らかとなり、試験-1 と同様な傾向が読み取れた。

この原因としては、次の要因が考えられる。

貧配合のコンクリートでは、骨材の間を充填するペースト量に十分な余裕がないため、実積率の高い骨材粒度が有利となる。すなわち、大粒径の骨材間の隙間を充填する小粒径の骨材の存在が重要となる。一方、大粒径の骨材間の隙間を充填するのに必要な量を超えて小粒径の骨材が存在すると、小粒径の骨材間を充填する新たなペーストが

表-3 各骨材粒径が VC 値に及ぼす影響

粒径 (mm)	最適な粒径別百分率 ¹⁾ (%)	大型 VC 値の較差 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 VC 値が最小となったときの粒径別百分率

2) 最適な粒径別百分率から 5% 変化したときの大型 VC 値と最小となった大型 VC 値との較差

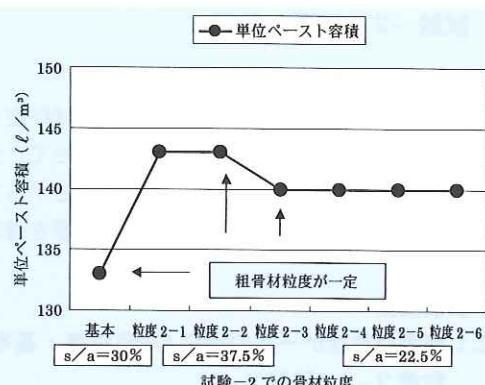


図-14 大型 VC 値 60 秒となる単位ペースト容積と骨材粒度の関係

必要となる。このようなことから、小粒径になるほど貧配合コンクリートのコンシスティンシーに大きく影響を与えるものと考えられる。

7. おわりに

本検討より、超硬練り貧配合コンクリートのコンシスティンシーは骨材の粒度分布によって変化し、その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なものであることが明らかとなった。しかし、今回の試験では、粗骨材粒度を標準粒度範囲の上限値、下限値相当しか変化させなかつたため、コンシスティンシーに大きく影響を与える各粒径の粒径別百分率を確認することができなかつた。そのため、今後は粒径別百分率の変化範囲を大きくした試験を行う必要があるものと思われる。また、コンシスティンシーに与える影響については、個別の粒径別百分率のみを変化させて確認したが、これらの各粒径が同時に変化したときの影響についても併せて確認する必要があるものと思われる。

なお、冒頭で紹介した CSG 工法は、今後のダム建設において骨材採取のために必要であった原石山の規模を、縮小または不要にできる可能性を持った工法である。これは単にダム建設費の縮減のみならず、環境への影響負荷も軽減できることから、今後もさらに実用化に向けた検討を進めることが必要である。

本検討の結果がその一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) たとえば中村昭、豊田光雄、山本裕之、川口昌尚 : CSG の工学的性質と施工, 土木技術資料 36-10, pp.40-45, 1994.10
- 2) 永山 功、渡辺和夫、西澤賢太郎 : 貯砂ダムにおける CSG 工法の開発, 土木技術資料 41-7, pp.6-7, 1999.7
- 3) (社) 土木学会 : コンクリート標準示方書(ダム編) [平成 8 年制定], p.16, 1996.
- 4) 建設省河川局開発課、(財) 国土開発技術研究センター : 改訂 RCD 工法技術指針(案), 平成元年 8 月

吉田 等*



建設省土木研究所ダム部
ダム構造研究室長
Hitoshi YOSHIDA

大滝嘉孝**



同 ダム構造研究室
研究員
Yoshitaka OOTAKI