

論文 最大寸法80mmの粗骨材を用いたダム用高流動コンクリートの流動性

白根 勇二*1・佐藤 文則*2・永山 功*3・渡邊 和夫*4

要旨：本研究では、最大寸法 80mm の粗骨材を用いたダム用高流動コンクリートの配合検討を目的として、モルタルの品質を一定のもと、単位粗骨材絶対容積を変化させた実大規模のバケットによる打込み試験を行った。そして、バケットにより打ち込んだコンクリートの流動性と粗骨材の分布状況を、スランプフロー試験とフルサイズの大型スランプフロー試験と比較して検討した。その結果、単位粗骨材絶対容積が $500 \sim 530 \text{ l/m}^3$ の配合が、流動性、材料分離抵抗性に優れており、ダム用コンクリートへ適用できる可能性を示した。

キーワード：ダム、高流動コンクリート、単位粗骨材絶対容積、スランプフロー、流動性

1. はじめに

近年のコンクリート施工では、現場作業員の不足により施工方法の合理化や省力化が求められており、この問題の対策の一つとして高流動コンクリートの適用があげられる。コンクリートダムの施工においても監査廊、放流管周りなどで、粗骨材の最大寸法 20mm あるいは 40mm 程度の高流動コンクリートが利用されてきている。しかしながら、今後一層、施工方法の合理化や省力化が求められるのは必須である。

そこで、本研究では最大寸法 80mm の粗骨材を用いた高流動コンクリートのダム本体への適用を考え、実規模レベルでの流動性試験を実施した。本論文では、スランプフロー試験およびフルサイズの大型スランプフロー試験と、実大規模のバケット打込み試験の流動性を比較するとともに、大型スランプフロー試験後のコンクリート試料とバケットにより打ち込んだコンクリート試料の洗い分析試験を行い、粗骨材の分布状況について検討した。

なお、ダム本体は一般構造物よりも鉄筋の配置が少ないため、ダムに用いる高流動コン

クリートは、一般構造物に用いられる高流動コンクリートのような間隙通過性を必要としない。そのため、本研究におけるダム用高流動コンクリートに要求されるフレッシュ性状としては、材料分離を生じないこと、締固めを行わなくてもコンクリート内部に空隙等の欠陥がないことの2つを設定した。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合

本研究で使用した材料とその物性を表 1 に

表 1 使用材料および物性

材料	種類および性質
セメント	G フライアッシュセメントC種 比重:2.86 (中庸熱ポルトランドセメント)
細骨材	S 砕砂 比重:2.65
粗骨材(40~80mm)	G1 砕石 比重:2.70
粗骨材(20~40mm)	G2 G1:G2:G3=1.5:1:2.5
粗骨材(5~20mm)	G3
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
増粘剤	セルロース系増粘剤

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第1グループ 研究員(正会員)

*2 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 研究第1グループ 主任(正会員)

*3 建設省土木研究所 ダム構造研究室 室長(正会員)

*4 建設省土木研究所 ダム構造研究室 主任研究員

表－2 コンクリートの配合

配合名	配合条件				単位量(kg/m ³)							
	粗骨材 の 最大寸法 Gmax (mm)	単位 粗骨材 絶対 容積 Vg (l/m ³)	W/C (%)	Vp/Vs	水 W	セ メン ト C	細 骨 材 S	粗骨材 G			高性能 AE 減水剤 (×C) (%)	増 粘 剤 (×W) (%)
								G1	G2	G3		
Vg390	80	390	50	0.95	161	312	761	316	211	527	1.35	0.3
Vg425		425			151	301	713	344	230	574		
Vg470		470			138	275	652	381	254	635		
Vg500		500			129	258	611	405	270	675		
Vg530		530			120	241	571	429	286	715		
Vg550		550			115	229	544	446	297	743		

示す。骨材には実際のダム現場で使用されている碎石，砕砂を使用した。なお，粗骨材の混合割合は，G1：G2：G3＝1.5：1：2.5とした。

表－2に本研究で使用した配合を示す。なお，モルタルの配合は水セメント比（W/C）50%の条件で，所定の流動性と材料分離抵抗性が得られるペースト細骨材絶対容積比（Vp/Vs）0.95，高性能 AE 減水剤 1.35%（セメントに対する割合），増粘剤添加率 0.3%（水量に対する割合）を配合試験から選定した。コンクリートは，単位粗骨材絶対容積のみ 390l/m³ から 550l/m³ に変化させた。

2.2 練混ぜおよび打込み方法

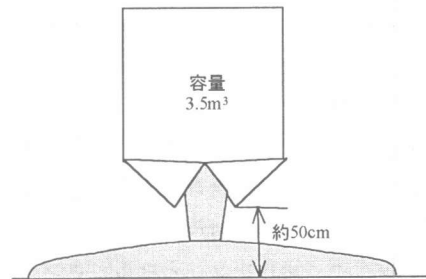
コンクリートの練混ぜは，容量 2.25m³ の可傾式ミキサを用いて行った。練混ぜ手順は，水，細骨材，混和剤を投入して 30 秒間練混ぜを行い，セメント，増粘剤を投入して 30 秒間練混ぜを行った後，粗骨材を投入してさらに 4 分間の練混ぜを行った。コンクリートの練混ぜ量は，1 バッチあたり 1.75m³ とし，運搬は 3.5m³ のコンクリートをバケットに積み替えて行った。なお，ダム用高流動コンクリートは，締固め不要を前提としており，パイプレータによる締固め作業は行わず，コンクリートの自重による流動のみとした。

2.3 試験項目および試験方法

コンクリートのフレッシュ性状を評価するために，以下の各試験を実施した。

(1) スランプフロー試験

スランプフロー試験は，40mm ふるいを用



図－1 バケットによる打込み試験方法

いてウェットスクリーニングした試料を用いて，土木学会規準（JSCE-F-503-1990）に準じて行った。

(2) フルサイズの大型スランプフロー試験

直径 30cm×高さ 70cm の塩ビ管の中に，高さ 60cm までフルサイズのコンクリートを突き固めなしで詰め，上面をコテで平らに均した後，塩ビ管を引き上げ，コンクリートの流動が停止した後に広がり測定した。広がり測定は長軸とその直角方向で測定し，これらの平均値をフルサイズの大型スランプフローとした。

(3) バケットによる流動性試験

表－2に示す Vg500 の配合で予備の打込み試験を行ったところ，十分な流動性を確認できたため，Vg500 の配合の他に単位粗骨材絶対容積を増やした Vg530 と Vg550 の配合についてもバケットの打込み試験を行った。また，バケットによる打込みエネルギー（位置エネルギー）を統一するため，図－1に示すように打込み高さを約 50cm とした。流動が停止した後に広がり長軸とその直角方向で測定し，これ

らの平均値をバケット打込み試験のフローとした。

(4) 洗い分析試験

洗い分析試験は、大型スランブフロー試験後およびバケットによる流動性試験後の試料を用いて行った。試料の採取方法は、大型スランブフロー試験では測定フロー値の 60% の直径で内側と外側に 2 分割し、バケット打込み試験では放出位置と先端部の 2 ヶ所で約 20l のコンクリートをサンプリングした。

3. 流動性試験の結果および考察

3.1 スランブフロー・大型スランブフロー

試験の流動性状

図-2 に単位粗骨材絶対容積とスランブフローおよびフルサイズの大型スランブフローの関係を示す。Vg500 と Vg530 の配合は、試験を 2 回行った。図-2 によると、単位粗骨材絶対容積の増加にともないスランブフローおよび大型スランブフローとも減少する傾向にあることがわかる。これは、単位粗骨材絶対容積の増加により粗骨材を押し流すだけのモルタル量が不足したため、流動性が低下したと思われる。

また、図-3 にスランブフローと大型スランブフローの関係を示す。これによると、スランブフローと大型スランブフローの間には、ほぼ比例関係があることがわかる。

写真-1 は、Vg390 の配合における大型スランブフロー (121cm) の状況である。この配合では、流動状況は良好である。目視状況では、単位粗骨材絶対容積が 470l/m^3 を超え、大型スランブフローが 100cm より小さくなると、コンクリート表面に粗骨材が目立ち、場合によっては、コンクリートが流動せず、倒れ込むように崩れるケースもあった。これも、粗骨材に対するモルタル量が不足しているためと思われる。

3.2 バケット打込み試験の流動状況

打込み試験を行った配合は、表-2 における Vg500, Vg530, Vg550 の 3 配合で、Vg530 と Vg550 は 2 回打込み試験を行った。しかし、

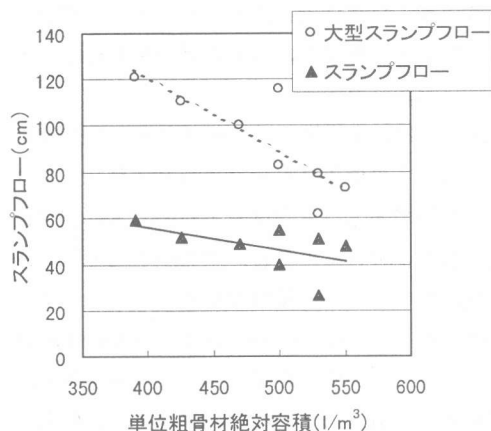


図-2 単位粗骨材絶対容積とスランブフローの関係

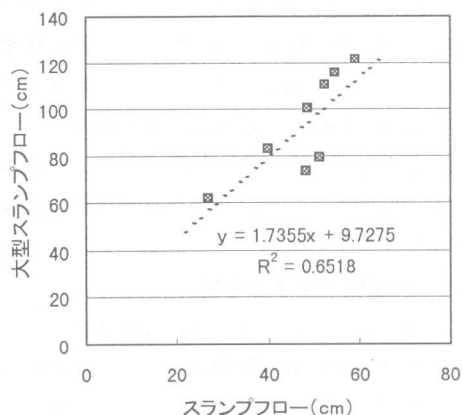


図-3 スランブフローと大型スランブフローの関係



写真-1 大型スランブフローの状況 (Vg390 121cm)

Vg550 の 1 回目は打設ヤードの広さの問題で十分な広がりやをせず、有効なデータを得ることができなかった。

図-4 は、実規模レベルのバケット打込み試験における単位粗骨材絶対容積とスランプフローの関係である。室内試験と同様、単位粗骨材絶対容積が大きくなると、フローが低下し、流動性が失われていく傾向にあることがわかる。

図-5 は、フロー中央位置からの流動距離とコンクリートの厚さの関係を示す。単位粗骨材絶対容積が 500l/m^3 の場合、フロー中央位置のコンクリートの厚みは 14cm と薄く、緩やかな勾配でコンクリートが流動した。しかし、単位粗骨材絶対容積が 550l/m^3 の場合、フロー中央位置での厚みは 53cm となったうえ、流動距離も短く、流動性は低かった。また、単位粗骨材絶対容積が 530l/m^3 の場合は、流動距離が長い結果と短い結果であった。したがって、単位粗骨材絶対容積が 530l/m^3 付近で流動性が変化する可能性が考えられる。

3.3 流動性に関する考察

図-6 は、スランプフロー、大型スランプフローとバケット打込み試験のフローの関係を示す。この図より明らかなように、スランプフロー、大型スランプフローともバケット打込み試験のフローと直線的な相関関係があることがわかる。なお、スランプフローと打込み試験のフ

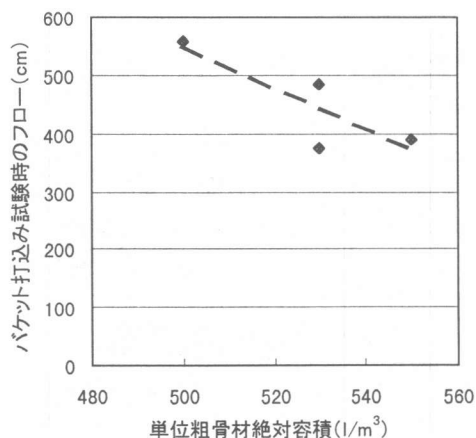


図-4 単位粗骨材絶対容積とバケット打込み試験のフローの関係

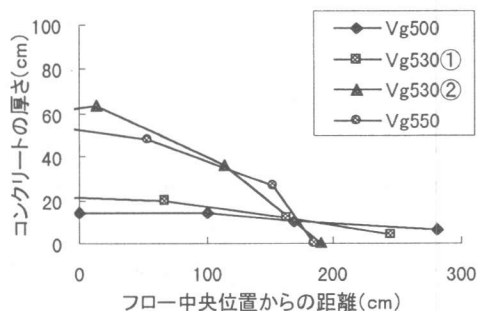


図-5 バケット打込み試験時のコンクリートの形状

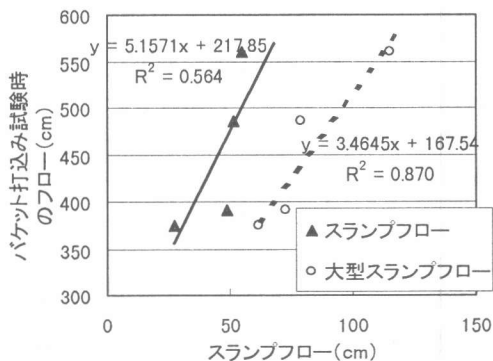


図-6 各フロー試験の関係

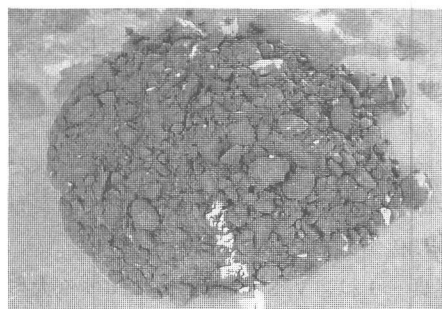


写真-2 大型スランプフローの状況 (Vg530① 79cm)

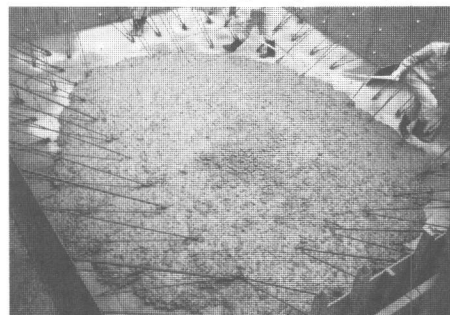


写真-3 バケット打込み試験時の流動状況 (Vg530① 485cm)

ローの相関係数は、 $R^2=0.564$ であるのに対し、大型スランブフローと打込み試験のフローの相関係数は、 $R^2=0.870$ となり、打込み試験のフローは、大型スランブフローで評価した方が相関を得られた。これは、スランブフロー試験では 40mm 以上の骨材を除いたため単位モルタル量が元配合と異なること、一方、大型スランブ試験ではフルサイズのコンクリート試料で試験しているためと考えられる。

写真-2、写真-3は Vg530①の大型フローと打込み試験の流動の状況である。大型スランブフローの状況は、コンクリートが倒れ込むように崩れ、写真からもわかるように表面に骨材が目立ち、目視状況は悪く、フローも 79cm であった。しかし、実際にバケットで打ち込むと、表面に骨材がそれほど目立たず、コンクリートの広がり 485cm と良好な流動性を示した。これは、バケットによる打込み方法は、コンクリートの絶対量が多いことや、打込み面から距離を持って落下させるため、位置エネルギーがコンクリートの流動に影響したと考えられる。このように、大型スランブフローと打込み試験のフローは相関があるものの、大型スランブフロー試験の目視状況と打込み試験の目視状況に相違があることがわかった。したがって、今後、バケット打込みの流動特性を参考にして、大型スランブフロー試験の流動性評価（適正なスランブフロー値）の検討が必要であると考えられる。

4. 粗骨材の分布状況

4.1 大型スランブフロー試験の粗骨材の分布状況

図-7は、フルサイズの大型スランブフローの試料内外を洗い分析試験し、内側と外側の粗骨材の割合を質量百分率の差で表したものである。なお、+側は、外側より内側に粗骨材が多く分布していることを示している。粗骨材寸法が 40mm 未満の粗骨材は、質量百分率の差がいずれも単位粗骨材絶対容積に対して $\pm 10\%$ 以

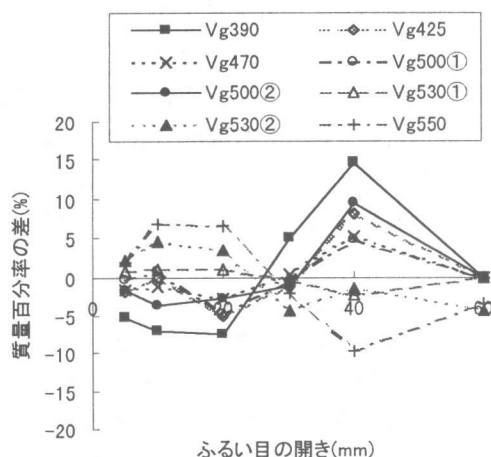


図-7 大型スランブフローの骨材分布状況

内に入っており、ほぼ均等に分散していることがわかる。しかし、流動性の検討でも述べたが、単位粗骨材絶対容積が 470l/m^3 を超える配合での大型スランブフロー試験は、コンクリートが倒れ込むように崩れるケースもあった。

4.2 バケット打込み試験の粗骨材分布状況

図-8～図-11に、バケット打込み試験の粗骨材の分布状況と、同配合における大型スランブフロー試験後の粗骨材の分布状況を示す。打込み試験では、Vg530②を除くと、粗骨材寸法 40mm 以上の大粒径粗骨材の質量百分率の差は $\pm 10\%$ 以内でほぼ均等に分散しており、打込み試験を行った3配合の中で大型スランブフローが最も大きい、単位粗骨材絶対容積 500l/m^3 の配合でも材料分離が認められなかった。

5. まとめ

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) モルタルの品質が一定の場合、単位粗骨材絶対容積が増加するにしたがい、スランブフロー、大型スランブフローおよびバケット打込み試験のフローは小さくなり、流動性が失われる傾向にあることがわかった。
- (2) バケット打込み試験のフローは、スラ

ンプフローより大型スランプフローとの相関が高いことがわかった。

(3) 大型スランプフロー試験では、単位粗骨材絶対容積が 470l/m^3 を超えると、コンクリートが倒れ込むように崩れ、目視状況は良好とならなかった。しかし、バケット打込み試験においては、単位粗骨材絶対容積を $500\sim 530\text{l/m}^3$ まで増加させてもコンクリートが流動し、目視状況も良いことがわかった。したがって、実際に打ち込んだときの目視状況は、大型スランプフロー試験の状況よりもよくなると思われる。

(4) バケットで打込みを行う場合、打込みの流動特性を参考にして、大型スランプフロー試験の流動性評価を検討することが必要である。

(5) 単位粗骨材絶対容積が $500\sim 550\text{l/m}^3$ 範囲で、バケット打込み試験の粗骨材の分布状況は良好であり、材料分離は認められなかった。

今回は、バケット打込み試験の流動性と材料分離抵抗性について検討した。今後は、コンクリートの打継ぎ部等に関する検討も加えて、配合選定方法を確立していこうと考えている。

参考文献

- 1) 永山 功ほか：高流動コンクリートのダムへの適用性に関する検討，ダム技術，NO.130，pp.28-34，1997.7
- 2) 佐藤文則ほか：高流動コンクリートのフロー試験における材料分離度の評価方法についての検討，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集，pp.822-823，1997.9
- 3) 大西雅也ほか：大粒径骨材を用いた高流動コンクリートのフロー試験方法に関する検討，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集，pp.832-833，1997.9
- 4) 中島良光ほか：粗骨材の最大寸法が高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影

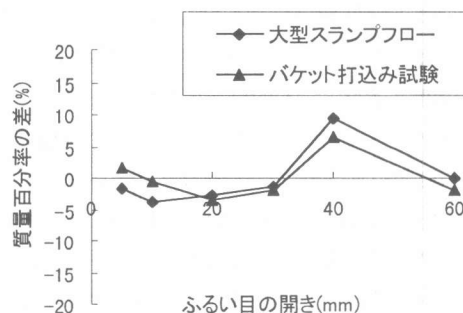


図-8 Vg500 の粗骨材分布状況

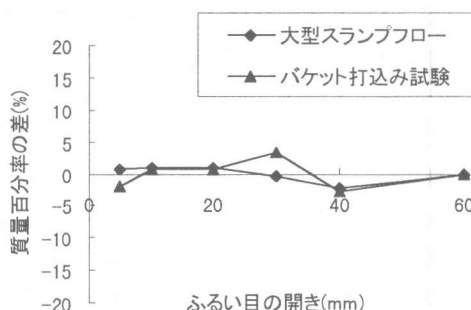


図-9 Vg530①の粗骨材分布状況

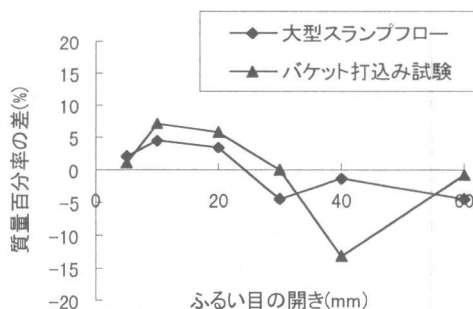


図-10 Vg530②の粗骨材分布状況

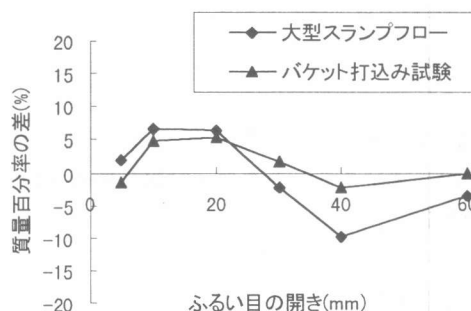


図-11 Vg550 の粗骨材分布状況

響，土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集，pp.872-873，1997.9