

骨材最大寸法80mmを用いたダム用高流動コンクリートの 配合に関する検討

白根 勇二

佐藤 文則

上馬場 靖^{*1}

渡邊 和夫^{*2}

永山 功^{*3}

要 旨

近年のコンクリートダムの施工は、合理化や省力化が求められており、こ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。

本研究では、提案した配合選定方法により、ダム用高流動コンクリートとして最適な配合を選定するとともに、配合特性について調査した。そして、実規模レベルのバケットによる打込み試験結果からダム用高流動コンクリートの実施工への適用性について検討した。

その結果、粗骨材の最大寸法が80mm、単位粗骨材絶対容積が530L/m³の配合のコンクリートでも流動性と材料分離抵抗性が良好であることがわかった。

キーワード ダム／高流動コンクリート／粗骨材最大寸法／単位粗骨材絶対容積／フロー／材料分離抵抗性

目 次

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 4. 実機配合試験 |
| 2. ダム用高流動コンクリートの配合検討手順 | 5. 実規模レベルのバケット打込み試験 |
| 3. 室内配合試験 | 6. まとめ |

STUDY ON MIX PROPORTIONS OF HIGH FLOW CONCRETE FOR DAMS WITH COARSE AGGREGATE OF MAXIMUM SIZE 80mm

Yuji Shirane
Yasushi Kamibaba
Isao Nagayama

Fuminori Sato
Kazuo Watanabe

Synopsis:

Recently construction of concrete-dams has need of rationalization and reduction of labor, and one of the method is application of high flow concrete.

In this study, we found out suitable mix proportions of high flow concrete for dams by proposed process, and grasped about the feature of mix proportions. We experimented with bucket placing at the site level, and studied about application of high flow concrete for dams to practical construction.

The results showed it is possible to use high flow concrete for dams with the maximum aggregate size of 80mm and unit aggregate volume of 530L/m³.

* 1 北陸支店 宇奈月ダム作業所

* 2 (株) アイ・エヌ・エー 技術本部

* 3 建設省 土木研究所 ダム構造研究室

1. はじめに

コンクリートダムの施工において、今後期待される合理化施工のひとつとして、高流動コンクリートのダム本体への適用があげられる¹⁾。この理由は、コンクリートの締固め作業や打継面処理作業などの簡便性が図れ、ダム施工の合理化や省力化に繋がると考えられるためである。現在、多く適用されているRCD工法や拡張レヤ工法では、振動ローラや大型パイプレータ等の施工機械、または人力により締固め作業を行い、グリーンカットにより打継面処理を行っているのが現状である。

高流動コンクリートをダム本体に適用するにあたり、高流動コンクリートに求められる所要の品質や適用性に関する評価方法、配合設計方法は確立されていない²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。そこで本研究では、提案した配合検討手順により、ダム用高流動コンクリートとして最適な配合を選定するとともに、配合特性について調査し、実規模レベルのバケットによる打込み試験結果から実施工への適用性について検討した。

2. ダム用高流動コンクリートの配合検討手順

2.1 コンクリートの要求性能

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や大きな流動性をそれほど必要としない。したがって、ダム用高流動コンクリートを適用するにあたり、コンクリートに要求される性状は、『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欠陥となる空隙を生じないこと。』とした。また、単位セメント量が多いと、温度応力の問題が懸念されるため、できる限り単位セメント量が少ない配合のコンクリートを使用する必要がある。したがって、大粒径の粗骨材を使用すること、単位粗骨材絶対容積をできるだけ大きくすることが、ダム用高流動コンクリートを適用するうえで不可欠であると言える。

2.2 コンクリートの配合検討手順

図-1に本研究で実施したダム用高流動コンクリートの配合検討手順を示す。本研究では、「ダム用高流動コンクリートは粗骨材とモルタルの複合体であり、適切な品質のモルタルと適切なモルタル量（または粗骨材量）を選定すれば、所定の流動性と材料分離抵抗性をもったダム用高流動コンクリートが得られる。」と考え、さらに、「モルタルはセメントペーストと細骨材の複合体であり、適切な品質のペーストと適切なペースト量（または細骨材量）を選定すれば、適切な品質のモルタルが得られる。」と考えた。

したがって、まず室内配合試験において、所要の流動性と材料分離抵抗性を得られる最適ペーストと最適モル

タルの配合選定試験を実施した。次いで、ここで選定されたペーストとモルタルの配合を基本として、粗骨材の最大寸法（以下、Gmaxとする。）と単位粗骨材絶対容積（以下、Vgとする。）がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を検討した。

実機配合試験では、大粒径粗骨材を用い、単位粗骨材絶対容積ができるだけ大きいコンクリートの配合を選定した。その後、実大規模レベルのバケット打込み試験を行い、実機配合試験とバケット打込み試験のフレッシュ性状を比較し、ダム用高流動コンクリートとして適用可能な配合を検討した。

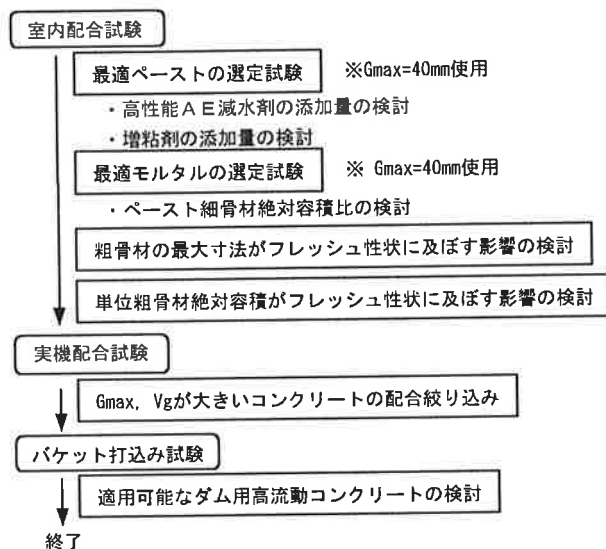


図-1 本研究における配合検討フロー

3. 室内配合試験

3.1 使用材料およびコンクリートの練混ぜ方法

表-1に室内配合試験における使用材料を示す。

コンクリートの練混ぜは、140Lの可傾式ミキサを使用して行った。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。

表-1 室内配合試験の使用材料

使用材料		種類および性質	
セメント		フライアッシュセメントC種 比重:2.87 (中熱ポルトランドセメント)	
細骨材		河床砕砂 比重 2.66 粗粒率 2.76	
粗骨材	5~10mm	河床碎石	比重 2.68
	10~20mm		比重 2.69
	20~30mm		比重 2.69
	30~40mm		比重 2.70
	40~60mm		比重 2.71
	60~80mm		比重 2.74
高性能AE減水剤		ポリカルボン酸系高性能AE減水剤	
AE助剤		AE剤	
増粘剤		セルロース系増粘剤	

3.2 フレッシュ性状試験方法

コンクリートのフレッシュ性状を把握するため、表-2

に示す標準スランプフロー試験，大型スランプフロー試験，テーブルフロー試験，洗い分析試験，目視観察評価を実施した。目視観察による評価基準は，表-3に示すとおりである。ただし，ここでは目視観察評価の結果のみを示す。

表-2 各試験項目および試験方法

項目	試験方法
大型スランプフロー試験	直径30cm×高さ70cmの塩ビ管に高さ60cmまでフルサイズのコンクリートを突き固めなして詰めた後，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。
標準スランプフロー試験	40mmふるいでウェットスクリーニングした試験料を用いて，土木学会規準に(JSCE-F-503-1990)に準じて測定。
テーブルフロー試験	練り上がり30分経過後に，5mmふるいでウェットスクリーニングした試験料を用いて，JIS-R-5201に準じて測定。
洗い分析試験 (大型フロー)	大型スランプフロー測定後，測定フローの60%の直径で内側と外側に2分割し，各分級の単位質量の割合の差を測定。
目視観察評価	各フロー試験終了後，表-3に示す評価基準に従い，「粗骨材の分離状態」，「ペーストの先走り長さ」の評価点の合計で評価。

表-3 目視評価基準

評価区分	評価点	粗骨材の分離状況
A	5	フロー先端まで大小の粗骨材が均一に分散している。
B	4	フロー先端近くまで大小の粗骨材がほぼ均一に分散している。
C	3	フロー中央部に比べてフロー先端部は粗骨材量が少ない。
D	2	フロー中央部に粗骨材量の大半が集中しており，フロー先端部の粗骨材量はわずかである。
E	1	フロー中央部に粗骨材量のほとんどが残っている。
評価区分	減点	ペーストの先走り長さ
A	0	ペーストの先走りが無い。
B	-0.2	ペーストの先走りが5mm以内。
C	-0.5	ペーストの先走りが5～10mm。
D	-1	ペーストの先走りが10mm以上。

建設省土木研究所：高流動コンクリートの材料分離抵抗性評価方法(案)

3.3 最適ペースト配合の選定試験

(1) 要因と水準

最適ペースト配合の選定試験は， $G_{max}=40\text{mm}$ の粗骨材を使用し，ペースト細骨材絶対容積比を0.9， V_g を $330\text{L}/\text{m}^3$ と一定にし，表-4に示すように増粘剤添加率（単位水量の0.0～0.3%）と高性能AE減水剤添加率（単位セメント量の0.8～1.4%）をパラメータとして行った。そして，各試験結果から最適な添加量を決定した。

表-4 室内配合試験の要因と水準

要因	水準
水セメント比 W/C	50%
ペースト細骨材絶対容積比 V_p/V_s	0.7, 0.8, 0.9, (0.95), 1.0, 1.1, 1.2, 1.4
単位粗骨材絶対容積 V_g	290, 330, 350, 370, 390, 410, 430, 450, 470 L/m^3
粗骨材の最大寸法 G_{max}	40, 60, 80 mm
増粘剤添加率	0.0, 0.1, 0.2, 0.3 % (×単位水量)
高性能AE減水剤添加率	0.8, 1.0, 1.2, 1.4 % (×単位セメント量)
空気量	5 ± 1.5 %

(2) 最適ペースト配合の検討

図-2に，高性能AE減水剤の添加率を1.0%と一定にし，増粘剤添加率を0.0～0.3%の範囲で変化させたときの目視観察評価の結果を示す。増粘剤添加率を大きくすると評価点が高くなる傾向が見られ，各フロー試験において，フロー先端まで大小の粗骨材が均一に分散するためには，増粘剤添加率を0.2%以上にする必要があることがわかった。

図-3に，目視評価点5を満たすための最小増粘剤添加率である0.2%の一定にし，高性能AE減水剤の添加率を0.8～1.4%の範囲で変化させたときの目視観察評価の結果を示す。大型スランプフロー試験では，高性能AE減水剤の添加率が目視観察評価に影響を与えておらず，全ての配合で評価点5.0となった。また，いずれのフロー試験においても評価点が5.0となったのは，高性能AE減水剤の添加率を1.0～1.2%とした配合であった。

以上より，良好な品質のコンクリートが得られる増粘剤添加率は0.2%，高性能AE減水剤の添加率は1.0%と判断できたため，これ以降の室内配合試験では，これらの混和剤添加率を基本配合とした。

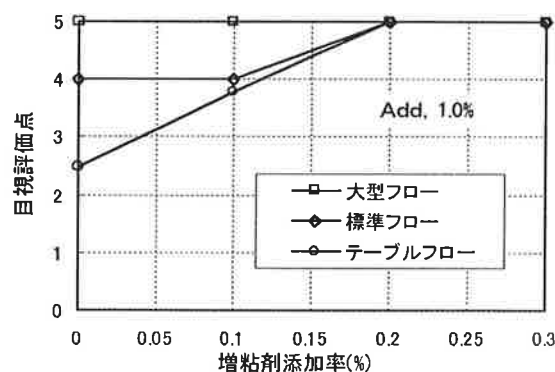


図-2 増粘剤添加率と目視評価点

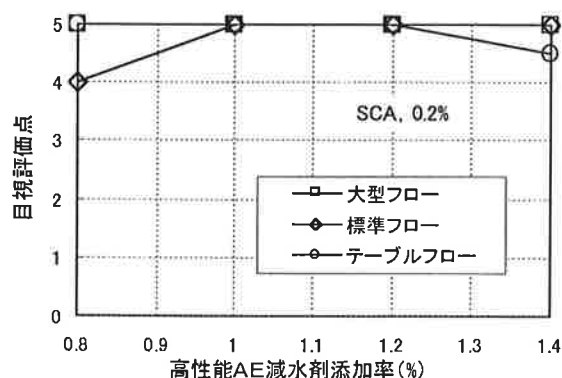


図-3 高性能AE減水剤添加率と目視評価点

3.4 最適モルタル配合の選定試験

(1) 要因と水準

最適モルタル配合の選定試験は， G_{max} が40mmの粗骨材を使用し， V_g を $330\text{L}/\text{m}^3$ ，増粘剤添加率を0.2%，高性能AE減水剤添加率を1.0%一定のもと，表-4に示すペー

スト細骨材絶対容積比（0.7～1.4）をパラメータとして行った。そして、各試験結果から最適なペースト細骨材絶対容積比を決定した。

(2) 最適モルタルの検討

図-4にペースト細骨材絶対容積比を0.7～1.4に変化させたときの目視観察評価の結果を示す。目視評価点は、ペースト細骨材絶対容積比が0.9～1.0の範囲で、いずれの試験においても5となり、1.1以上になると評価点は徐々に低下する傾向が認められた。ペースト細骨材絶対容積比が0.7と0.8の配合については、コンクリートが流動しなかったため、評価外とした。

以上より、良好な品質なコンクリートが得られる最適なペースト細骨材絶対容積比は0.9～1.0の間であると判断できるため、ペースト細骨材絶対容積比0.95を基本配合とした。

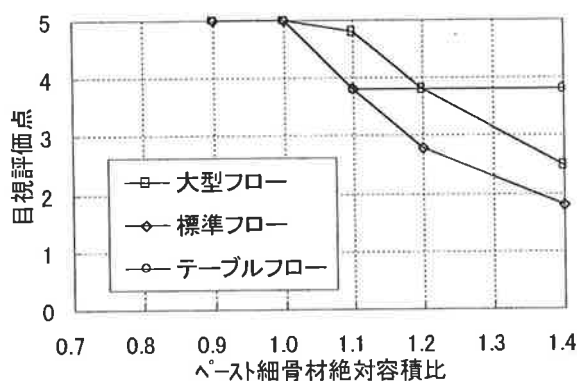


図-4 ペースト細骨材容積比と目視評価点

3.5 コンクリートの配合検討

(1) 要因と水準

前節で選定した混和剤添加率およびペースト細骨材絶対容積比のもと、表-4に示すGmax（40mm，60mm，80mm）とVg（290L/m³～470L/m³）をパラメータとして、大粒径粗骨材を使用した場合のコンクリートの流動性と材料分離抵抗性への影響を検討した。

(2) 流動性に関する検討

図-5および図-6は、GmaxとVgを変化させたときの大型スランプフロー試験、標準スランプフロー試験における結果である。図より大型スランプフロー試験、標準スランプフロー試験のいずれにおいても、Gmaxが40mmの配合では、Vgが390L/m³を超えるとスランプフローは急激に低下するが、Gmax=60mm，80mmの配合では、Gmax=40mmの場合に比べ、Vgが大きな配合でも高い流動性を示した。

(3) 材料分離抵抗性に関する検討

図-7は、大型スランプフロー測定後の試料をフロー内

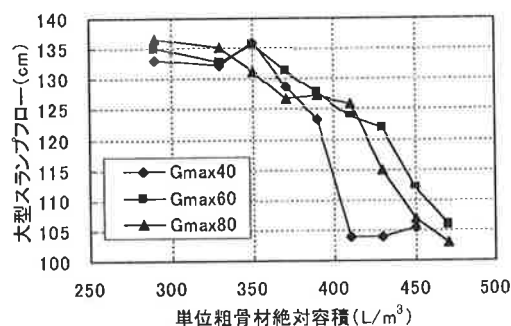


図-5 Gmax・Vg と大型スランプフローの関係

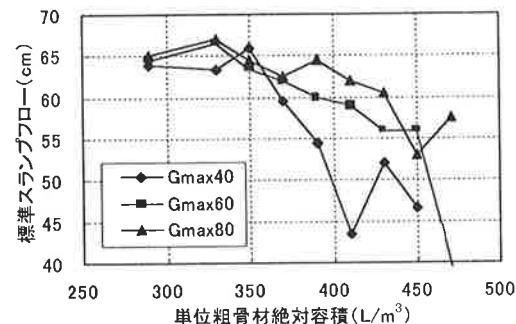


図-6 Gmax・Vg と標準スランプフローの関係

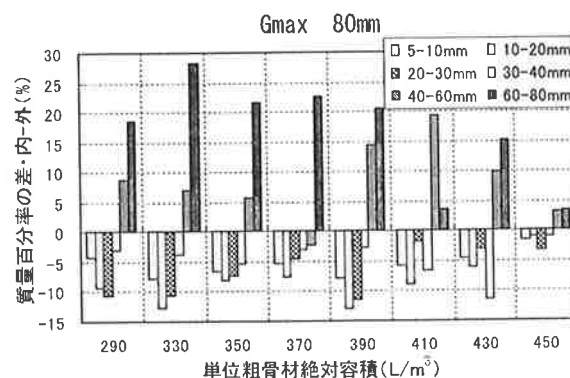
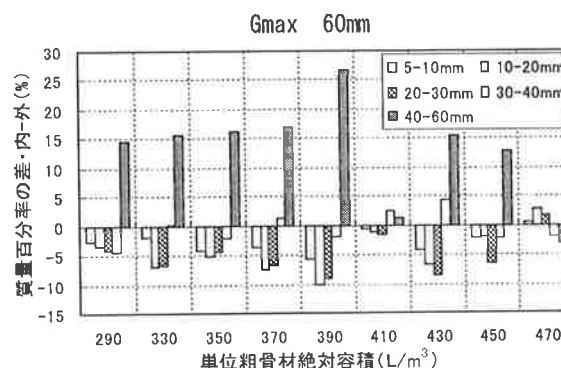
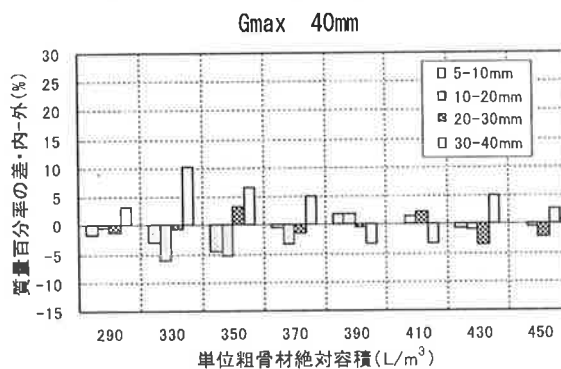


図-7 Gmax・Vg と洗い分析試験結果の関係

側と外側に分け、洗い分析試験し、各粒径における単位質量百分率の差を求めた結果である。図よりGmaxが40mmの配合ではVgによらず、フロー内側と外側で大きな分布の差はないことがわかる。しかし、Gmaxが60mm, 80mmの配合では、大粒径の骨材（40mm以上の粗骨材）が分離していることが認められた。

図-8は、目視評価の結果を示す。いずれのGmaxにおいても、Vgが大きくなるにしたがい、大型スランブフロー、標準スランブフローの目視評価点は徐々に小さくなる傾向があった。Vgの増加により粗骨材を押し流すだけのモルタルが不足し、粗骨材がフロー中央部に集中し盛り上がった状態となったことによる。また、Gmaxが大きいほど大型スランブフロー、標準スランブフローの目視評価は全体的に小さく、目視では、大粒径粗骨材の大きさに比べ、モルタル分の厚さが薄いことが確認された。この状況から考えると、フロー試験に使用した試料の量が影響し、大粒径の粗骨材がモルタルによって流されずに残ってしまったものと考えられ、測定試料の量を多くす

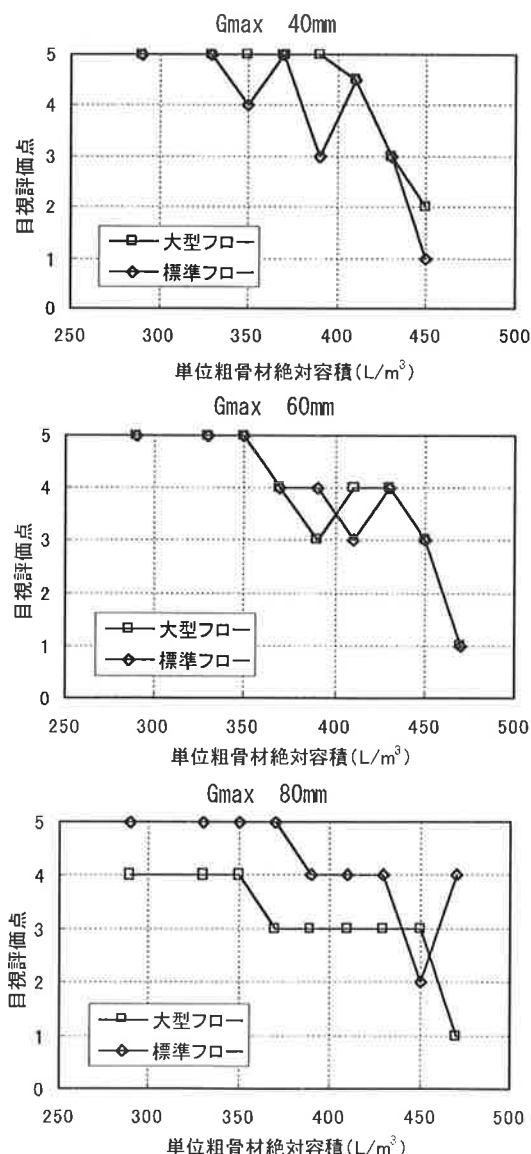


図-8 Gmax・Vgと目視評価点の関係

れば、材料分離抵抗性に対する目視評価は向上すると思われる。

以上の室内配合試験の結果、大粒径骨材を使用し、Vgを増加させてもダム用高流動コンクリートとしての配合設計が可能であることがわかった。

4. 実機配合試験

4.1 使用材料および配合

実規模レベルのバケットによる打込み試験を実施するにあたり、室内配合試験をもとに実機配合試験を行った。表-5と表-6に実機配合試験に使用した材料および配合を示す。使用材料は室内配合試験と同一のものである。Gmaxは室内配合試験で大粒径骨材の使用が可能であることが確認できたため80mmとし、Vgは390L/m³～550L/m³に変化させた。また、室内配合試験と実機配合試験では骨材のロットに違いがあるため、事前の確認試験を行った。その結果、室内配合試験とほぼ同程度の品質を確保するため、増粘剤添加率を0.2%から0.3%、高性能AE減水剤の添加率を1.0から1.35%に変更した。

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、1バッチあたりの練混ぜ量は1.75m³とした。練混ぜ手順は、室内配合試験と同様とした。

表-5 実機・バケット試験の使用材料

材料	種類および性質
セメント	C フライアッシュセメントC種 比重:2.86 (中熱ポルトランドセメント)
細骨材	S 河床砕砂 比重:2.65
粗骨材(40～80mm)	G1 河床砕石
粗骨材(20～40mm)	G2 比重:2.70
粗骨材(5～20mm)	G3 G1:G2:G3=1.5:1:2.5
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

表-6 実機・バケット試験の配合

配合名	配合条件				単位量(kg/m³)							
	粗骨材 の最大 寸法 Gmax (mm)	単位 粗骨材 絶対容 積 Vg (L/m³)	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		

4.2 流動性に関する検討

図-9にVgと標準スランブフローおよび大型スランブフローの関係を示す。Vgの増加にともない、標準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、Vg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に流動性が低下したものと考えられる。

写真-1 と写真-2 は、 V_g が 390L/m^3 と 500L/m^3 の配合における大型スランプフローの状況である。 V_g が 390L/m^3 のとき、スランプフローは 121cm となり、写真からも流動状況が良好であることがわかる。一方、 V_g が 500L/m^3 のとき、スランプフローは 82.5cm となり、コンクリート表面に粗骨材が目立っている。 V_g が 470L/m^3 を越え、大型フローが 100cm より小さくなると、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。

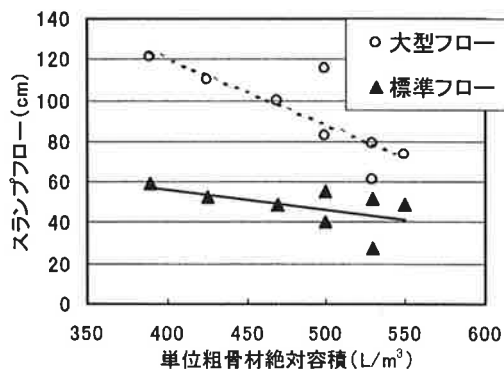


図-9 実機配合試験におけるフロー



写真-1 V_g390 の大型フロー (121cm)



写真-2 V_g470 の大型フロー (100cm)

4.3 粗骨材の分布状況

図-10 は、大型スランプフロー試験後に洗い分析試験を行って、材料分離抵抗性を調査した結果である。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。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 $\pm 10\%$ 以内に入っており、ほぼ均等に分散していることがわかる。また、骨材寸法が 40mm

以上の粗骨材は、 V_g が $425\sim 530\text{L/m}^3$ の範囲の配合で、質量百分率の差が $\pm 10\%$ 以内に入り、ほぼ均等に分散していた。

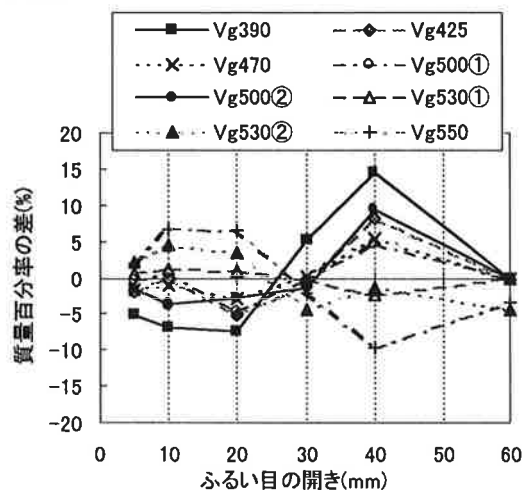


図-10 実機配合試験の洗い分析試験結果

5. 実規模レベルのバケット打込み試験

5.1 使用材料および配合

実規模レベルのバケット打込み試験に使用した材料は、表-5 に示すとおりである。ダム用高流動コンクリートの適用可能な限界の配合を検討するため、バケット打込み試験を行った配合は、表-6 の V_g500 、 V_g530 、 V_g550 の3配合で行った。

5.2 バケット打込み試験の方法

コンクリートの練混ぜは、実機配合試験のときと同様に行い、 3.5m^3 のコンクリートをバケットに積み替えて運搬した。打込み方法は、写真-3 のように、打込み高さを約 50cm とし、コンクリートの流動が停止した後に広がり測定するとともに放出位置と流動先端部の2ヶ所で 20L のコンクリートを採取して洗い分析試験を行って、材料分離抵抗性を調査した。

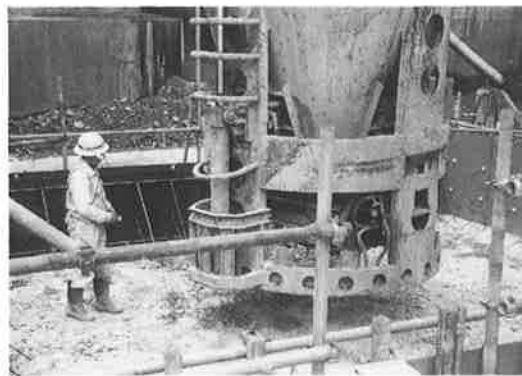


写真-3 バケット打ち込み試験の状況

5.3 流動性に関する検討

図-11 は、バケット打込み試験における V_g とフローの関係である。実機配合試験と同様、 V_g 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-12 は、コンクリートの放出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。Vg が 500L/m³ の場合、放出位置のコンクリートの厚さは 15cm 程度と薄く、緩やかな勾配でコンクリートが流動した。逆に、Vg が 550L/m³ の場合、コンクリートの放出位置での厚みは 65cm 程度となったうえ、流動距離も短く、流動性は低かった。また、Vg が 530L/m³ の場合、流動距離が長い結果と短い結果が出たことから、Vg=530L/m³ 付近が流動性の変曲点と考えられる。

図-13 は、標準スランブフロー、大型スランブ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、相関性が高い結果を得られた。これは、標準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が原因であると考えられる。

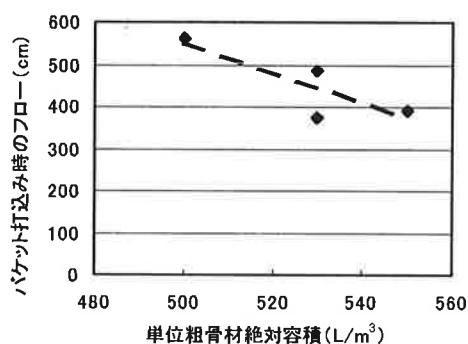


図-11 バケット打込み試験におけるフロー

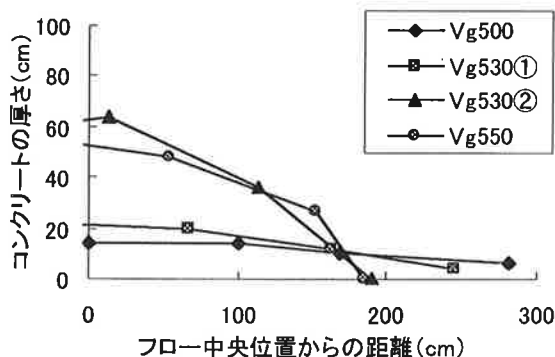


図-12 バケット打ち込み時の
コンクリート形状

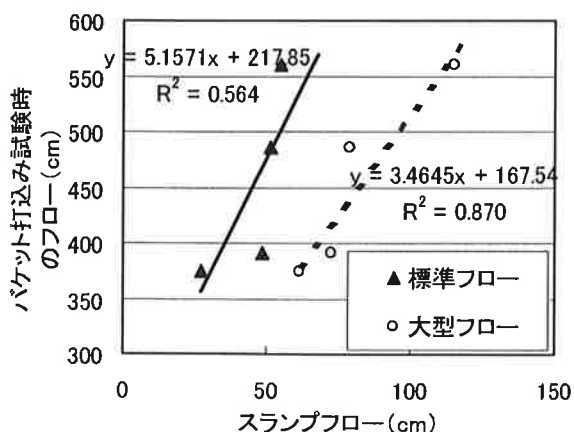


図-13 各フロー試験の関係

写真-4、写真-5 は Vg530①の大型スランブフローと打込み試験の流動状況である。大型スランブフロー試験時の状況は、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、目視評価は悪く、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も 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には相関があるものの、大型スランブフローの目視評価と打込み試験の目視評価に相違があることがわかった。したがって、バケット打込みの流動特性を参考に、今後は大型スランブフロー試験の流動性評価方法（適正なスランブフロー評価、または大型L型フロー試験などの適用）の検討が必要であると考えられる。

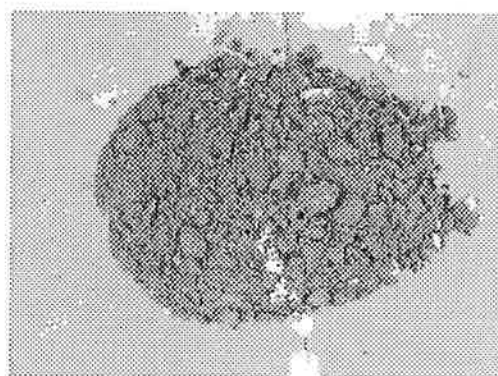


写真-4 Vg530①の大型フロー (79cm)

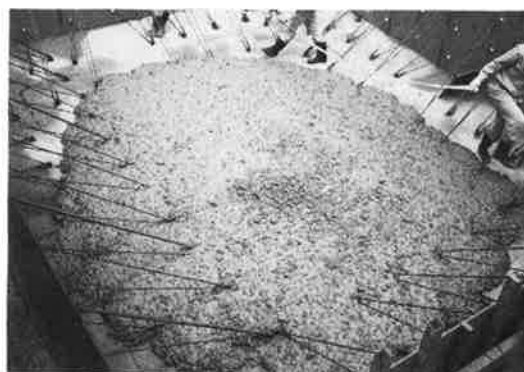


写真-5 Vg530①のバケットフロー (485cm)

5.4 粗骨材の分布状況

図-14 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、大粒径粗骨材（粗骨材寸法 40mm 以上）の質量百分率の差が±10%以内で、ほぼ均等に分散しており、バケット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、Vg500 の配合でも材料分離は認められなかった。したがって、粗骨材の分布状況から判断すると、Vg

が 500～550L/m³ の高流動コンクリートのダム本体への適用が可能であると考えられる。

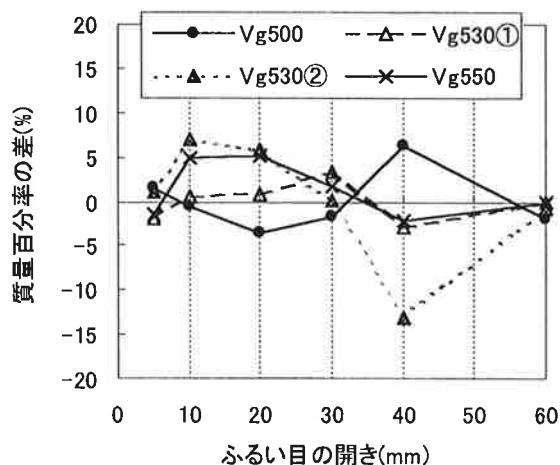


図-14 各配合の粗骨材分布状況

6. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 単位粗骨材絶対容積が増加するにしたがいスランプ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) 粗骨材の最大寸法が 60mm, 80mm の場合は、40mm の配合に比べて、単位粗骨材絶対容積の増加による標準スランプフロー、大型スランプフローの低下は小さかった。
- (3) ダム用高流動コンクリートを適用する際には、本研究で行った配合選定フローにより配合を容易に決定することができる。

- (4) 今後、バケット打込み状況を考慮した流動性評価試験方法についての検討が必要であると考えられる。
- (5) 単位粗骨材絶対容積が 500～550L/m³ の範囲では、バケット打込み時の粗骨材の材料分離抵抗性は良好であり、材料分離は認められなかった。

本研究結果より、高流動コンクリートのダム本体への適用について流動性と粗骨材の材料分離抵抗性から評価すると、単位粗骨材絶対容積が 500～530L/m³ 程度まで増加できる可能性が示された。今後は、硬化体の物性やコンクリートの打継部の処理方法等に関する検討も加えて、ダム用高流動コンクリートの配合選定方法と適用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
- 5) 白根勇二ほか：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.481-486，1999.7