

論文 ダム用高流動コンクリートに関する実験的検討

永山 功*1・渡辺和夫*2・町田宗久*3・小西義夫*4

要旨:本研究は、骨材最大寸法 40mm の増粘剤系高流動コンクリートについて、水粉体比を一定とした条件の下で、ペースト細骨材容積比がコンクリートの流動性や分離抵抗性に与える影響について検討したものである。その結果、ペースト細骨材容積比の増加とともに高流動コンクリートの流動性は増加するが、分離抵抗性は低下することがわかった。また、高流動コンクリートの特性はモルタルの特性からある程度まで推定できることがわかった。

キーワード:高流動コンクリート、スランプフロー、L型フロー、モルタルフロー

1. はじめに

近年、コンクリートダムの施工においても、作業の合理化、省力化を目的として、通廊、放流管の周辺部などに高流動コンクリートが利用され始めている。また、小規模なダムの施工に高流動コンクリートが採用できるかどうかといった検討も行われている。しかし、高流動コンクリートの配合設計手法はいまだ十分に確立されているとはいえ、特に、ダムのようなマスコンクリートにおいては、コンクリートの発熱問題から骨材の最大寸法を大きくした高流動コンクリートの配合設計手法の確立が望まれている。

筆者らは、ダム用高流動コンクリートの配合設計手法について検討するため、

- ① モルタルの品質が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響
- ② モルタルの量が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響
- ③ 骨材の最大寸法が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響

の3点について研究を行っているが、このうち、本論文では、①モルタルの品質が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響について検討した結果を述べる。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合条件

本試験は、高流動コンクリート中のモルタルの品質が高流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に及ぼす影響を求めることを目的として実施したものである。高流動コンクリートには発熱を抑えるため増粘剤系のコンクリートを用い、セメントを置換する粉体としてフライアッシュを使用した。また、骨材の最大寸法はできるだけ大きくすることとして 40mm を採用した。

試験では、単位粗骨材容積 (V_g)、水粉体比 (W/P) をそれぞれ 330 l/m^3 、50% の一定値として、セメントのフライアッシュ置換率 (F/P)、ペースト細骨材容積比 (V_p/V_s) を表-1 のように変化させた。なお、高性能 AE 減水剤の添加率 (SP/P)、増粘剤の添加率 (V/W) は、基本配合 (F/P)

*1 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室室長 (正会員)

*2 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室主任研究員

*3 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室

*4 戸田建設 (株) (前) 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室交流研究員

表-1 配合条件

粗骨材 最大寸法 Gmax (mm)	水 粉体比 W/P (%)	粗骨材 絶対容積 Vg (ℓ/m^3)	増粘剤 V (W×%)	高性能 AE 減水剤 SP (P×%)	フライアッシュ 置換率 F/P (%)	ペースト 細骨材 容積比 Vp/Vs
40	50	330	0.3	1.4	30,40,50	0.8~1.1

=30%、 $V_p/V_s=0.90$) においてスランブフロー $60\pm 5\text{cm}$ 、空気量 $6\pm 2\%$ の目標値と材料分離が生じないことを条件に決定し、他の配合においても同じ添加率を採用した。なお、使用した材料とその物性値を表-2に示す。

コンクリートの練混ぜには傾胴式ミキサー（容量 110ℓ ）を使用した。練混ぜにあたっては、粗骨材、細骨材の半分、結合材、増粘剤、細骨材の半分の順に材料を投入して1分間の空練りを行った後、水と高性能 AE 減水剤を投入して4分間の練混ぜを行った。その後、練り板上にコンクリートを排出して切返しを行った後、30分間放置してから各種試験を行った。

2.2 試験項目および方法

試験項目はスランブフロー、大型L型フロー、モルタルフローの3種類とした。試験概要を表-3に示す。また、図-1に今回使用した大型L型フロー試験容器の概観を示す。大型L型フロー試験容器の寸法は骨材最大寸法 80mm までのコンクリートに対応できるように定めたものであり、貯留槽の出口寸法は $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ となっている。なお、出口部に鉄筋は配置していない。

また、スランブフロー試験においては表-4、モルタルフロー試験においては表-5に示す判定基準に従って材料の分離抵抗性を評価した。さらに、モルタルフロー試験においては、流動したモルタルの中心部と周縁部から試料を採取し、その単位容積質量を測定してモルタルの分離抵抗性を評価した。

表-2 使用材料および物性値

使用材料	種類および特性
セメント	中庸熟ポルトランドセメント (比重=3.21,比表面積=3,010 cm^2/g)
フライアッシュ	電発フライアッシュ礫子産 (比重=2.29,比表面積=3,260 cm^2/g)
細骨材	笠間産砂岩 (比重=2.638,吸水率=1.21%,粗粒率=2.81)
粗骨材	笠間産砂岩 (比重=2.677,吸水率=0.50%,実積率=62.0%)
混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸塩) 増粘剤 (水溶性セルロースエーテル) AE 助剤 (アニオン系界面活性剤)

表-3 試験概要

試験項目	試験方法
スランブフロー	土木学会規準「コンクリートのスランブフロー試験方法(案)」に準拠、試験後目視による分離抵抗性評価(表-4参照)
モルタルフロー	JIS R5201(落下運動なし) 試験後目視による分離抵抗性評価(表-5参照)、 単位容積質量測定
大型L型フロー	図-1参照 流動時間の測定、目視による分離抵抗性評価

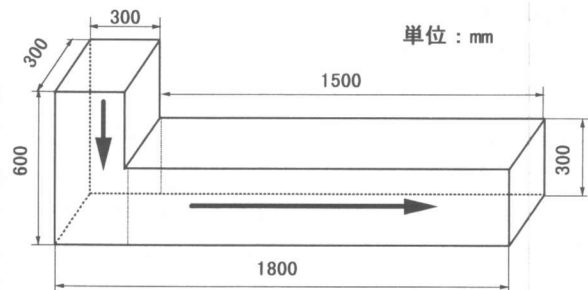


図-1 大型L型フロー試験容器

3. 試験結果および考察

3.1 流動特性

(1) スランプフロー試験結果

図-2 にペースト細骨材容積比とスランプフローの関係を示す。図によると、ペースト細骨材容積比が 0.95 以上になるとスランプフローは一定の値に収束する傾向が見られる。なお、今回試験を行ったフライアッシュ置換率 30%~50% の範囲では、フライアッシュ置換率はスランプフローの大きさにほとんど影響を及ぼしていない。

次に、図-3 にペースト細骨材容積比とスランプフロー50cm到達時間の関係を示す。図によると、ペースト細骨材容積比の増加に伴いスランプフロー50cm到達時間は減少するが、ペースト細骨材容積比が0.95以上になるとスランプフロー50cm到達時間は一定の値に収束する傾向が見られる。一方、フライアッシュ置換率の影響についてみると、ペースト細骨材容積比が0.8の場合には、フラ

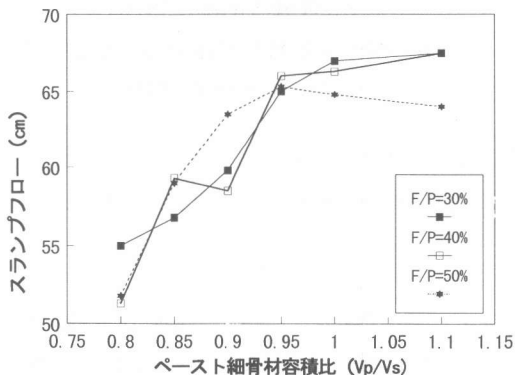


図-2 ペースト細骨材容積比とスランプフローの関係

表-4 材料分離抵抗性の評価基準 (スランプフロー試験)

評価点	評価基準
5	フロー先端部まで大小の粗骨材が均一に分散している。
4	フロー先端部で粗骨材の分離がわずかにみられる。
3	フロー中央部に比べてフロー先端部の粗骨材量が少ない。または粒径の大きい粗骨材が沈み気味である。
2	フロー中央部に粗骨材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。
1	フロー中央部に粗骨材のほとんどが残っている。

注：フロー中央部とはフロー半径の約 0.7 倍の内側を指す。また、必要に応じて 0.5 点単位の間接点を設ける。

減点	ペースト先走り長さ
0	ペーストの先走りが無い。
-0.5	ペーストの先走りが 10mm 以内。
-1.0	ペーストの先走りが 10mm 以上。

表-5 材料分離抵抗性の評価基準 (モルタルフロー試験)

評価点	評価基準
5	フロー先端部まで細骨材が均一に分散しており、フロー先端部が丸みをおびている。ペーストの先走りはみられない。
4	フロー先端部まで細骨材がほぼ均一に分散しており、フロー先端部が丸みをおびている。ペーストの先走りはみられない。
3	フロー中央部に比べてフロー先端部の細骨材量がやや少ないが、フロー先端部は丸みをおびている。ペーストの先走りはみられないが、全体に細骨材の沈み込みがみられる。
2	フロー中央部に細骨材量の大半が集中しており、フロー先端部の細骨材量はわずかである。フロー先端部は丸みがなく、ペーストの先走りがみられる。
1	フロー中央部に細骨材量のほとんどが残っており、ペーストの先走りが顕著である。

注：フローの中央部とはフロー半径の約 0.7 倍の内側を指す。また、必要に応じて 0.5 点単位の間接点を設ける。

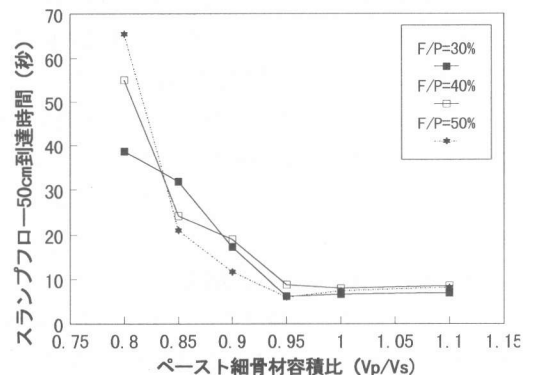


図-3 ペースト細骨材容積比とスランプフロー50cm到達時間の関係

イアッシュ置換率が大きくなるほどスランプフロー50cm到達時間が長くなるように見えるが、全体的にはフライアッシュ置換率の影響は明確ではない。

さらに、図-4にスランプフローとスランプフロー50cm平均速度の関係を示す。ここにスランプフロー50cm平均速度とは次式で求めた値である。

$$\text{スランプフロー50cm平均速度} = \frac{50\text{cm}/2 - \text{スランプコーンの半径}(10\text{cm})}{\text{スランプフロー50cm到達時間}}$$

図によれば、フライアッシュ置換率の大小にかかわらず、スランプフローとスランプフロー50cm平均速度の間には高い相関が見られる。また、スランプフローが60cm程度以下になるとフロー速度が極めて緩慢になり、十分な流動性が得られないことがわかる。

(2) 大型L型フロー試験結果

図-5にペースト細骨材容積比とL型フロー100cm到達時間の関係を示す。なお、ペースト細骨材容積比0.8と0.85の配合を除いてL型フローは試験容器の端部まで達したため(L型フロー $\geq 150\text{cm}$)その値は図に示していない。図によると、ペースト細骨材容積比が増加するとL型フロー100cm到達時間は減少するが、ペースト細骨材容積比が0.95以上になるとL型フロー100cm到達時間は一定の値に収束する傾向が見られる。これは、ペースト細骨材容積比とスランプフロー50cm到達時間の関係とよく似た結果となっている。一方、フライアッシュ置換率の影響について見るとペースト細骨材容積比が0.8の場合、フライアッシュ置換率が大きくなるほどL型フロー100cm到達時間が長くなるように見えるが全体的にはフライアッシュ置換率の影響は明確ではない。

次に、図-6にスランプフロー50cm到達時間とL型フロー100cm到達時間の関係を示す。図によると、スランプフロー50cm到達時間とL型フロー100cm到達時間の間には比例関係があり、流動性という視点においてそれぞれの試験は互換性があるといえる。

(3) モルタルフロー試験結果

ペースト細骨材容積比はモルタルの構成を示すパラメーターであり、ペースト細骨材容積比が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響は、モルタルの性状を調べることで、ある程度まで理解できると考えられる。そこで、高流動コンクリートを5mmふるいでウェットスクリーニングして得られたモルタルについてモルタルフロー試験を行った。

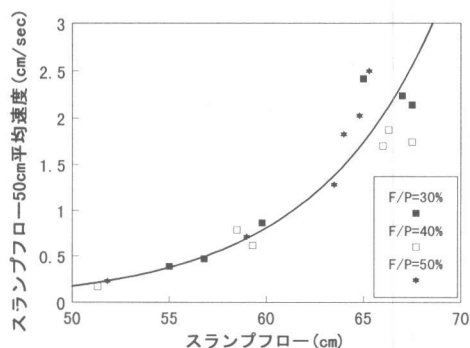


図-4 スランプフローとスランプフロー50cm平均速度の関係

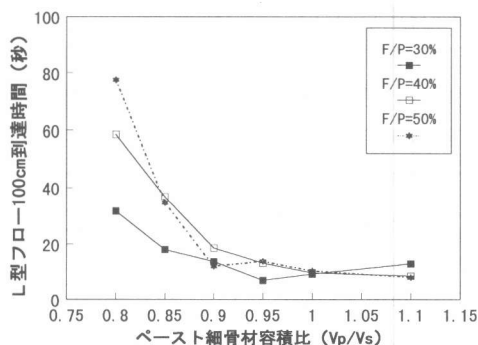


図-5 ペースト細骨材容積比とL型フロー100cm到達時間の関係

図-7は、ペースト細骨材容積比とモルタルフロー（テーブルの落下運動を行わない場合）の関係を示したものである。図によると、ペースト細骨材容積比が増加するとモルタルフローは増加するが、ペースト細骨材容積比が1を超えるとフローが一定の値に収束する傾向を示している。この結果はペースト細骨材容積比とスランプフローの関係とよく似た結果となっている。なお、フライアッシュ置換率はモルタルフローの大きさにほとんど影響を及ぼしていない。

次に、モルタルフローとスランプフローの関係を示したものが図-8である。図から、モルタルフローとスランプフローの間には高い相関がある。したがって、モルタルの流動性を把握すれば、高流動コンクリートの流動性をある程度まで把握できるものと考えられる。

3.2 材料分離抵抗性

(1) スランプフロー試験結果

図-9にスランプフロー試験におけるペースト細骨材容積比と材料分離抵抗性評価点の関係を示す。図によれば、ペースト細骨材比が0.8~0.9の範囲では材料分離抵抗性評価点が3.5~4.5と良好であるが、ペースト細骨材容積比が0.95より大きくなると材料分離抵抗性評価点が低下する傾向にある。

(2) 大型L型フロー試験結果

大型L型フロー試験ではコンクリートは壁で囲まれた容器の中を流動するため、材料分離は生じにくい環境にあり、配合と材料分離抵抗性の関係を評価することはできなかった。

(3) モルタルフロー試験結果

図-10にモルタルフロー試験におけるペースト細骨材容積比と材料分離抵抗性評価点の関係を示す。図によれば、ペースト細骨材容積比が0.9以下の場合には材料分離抵抗性評価点は概ね3.5~5と良好であるが、ペースト細骨材容積比が0.95以上になると評価点は3となっている。

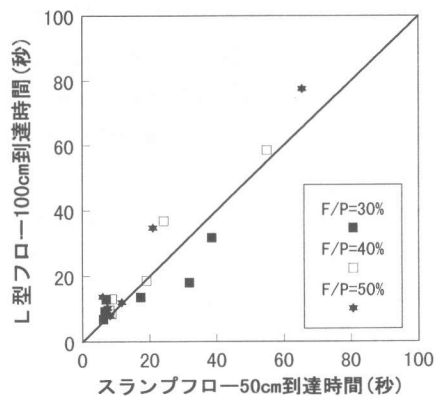


図-6 スランプフロー50cm 到達時間とL型フロー100cm 到達時間の関係

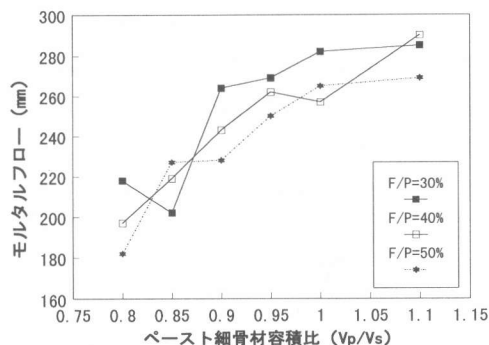


図-7 ペースト細骨材容積比とモルタルフローの関係

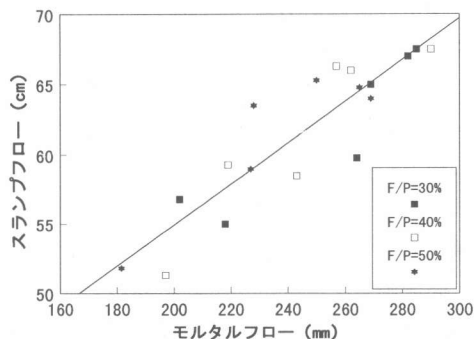


図-8 モルタルフローとスランプフローの関係

一方、図-11は、モルタルフロー試験後に流動したモルタルの先端部から採取した試料と中央部から採取した試料の単位容積質量の比率を計算し、これとペースト細骨材容積比の関係を示したものである。図によれば、値にばらつきはあるものの、ペースト細骨材容積比が大きくなると流動したモルタル先端部の単位容積質量は小さくなり、材料分離の影響が現れている。

4. まとめ

本論文は、骨材の最大寸法 40mm の増粘剤系高流動コンクリートについて、水粉体比を一定とした条件のもとでペースト細骨材容積比がコンクリートの流動性や分離抵抗性に及ぼす影響について検討した結果をとりまとめたものである。その結果をとりまとめると以下のとおりである。

- (1) ペースト細骨材容積比が増加するとスランプフローは増加する。ただし、ペースト細骨材容積比が 0.95 以上になるとスランプフローは収束する傾向を示す。なお、フライアッシュ置換率の影響がスランプフローに及ぼす影響は認められなかった。
- (2) ペースト細骨材容積比が増加すると分離抵抗性は徐々に減少する。なお、フライアッシュ置換率の影響が分離抵抗性に及ぼす影響は認められなかった。
- (3) スランプフロー50cm 到達時間と大型L型フロー100cm 到達時間の間には比例関係があり、試験として互換性がある。
- (4) スランプフローとモルタルフローの間には直線性の高い相関関係が得られた。したがって、高流動コンクリートの流動特性はモルタルの流動特性によってある程度評価できるものと考えられる。

なお、今後は、モルタルの量や、骨材の最大寸法が高流動コンクリートの特性に及ぼす影響について検討していく予定である。

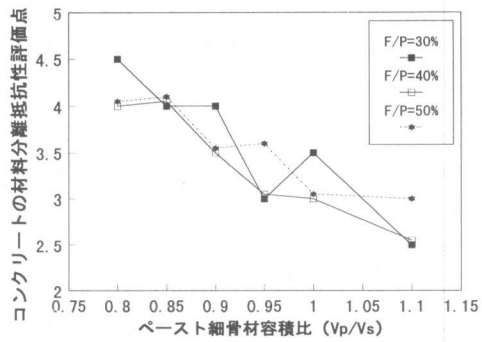


図-9 コンクリートの材料分離抵抗性評価点

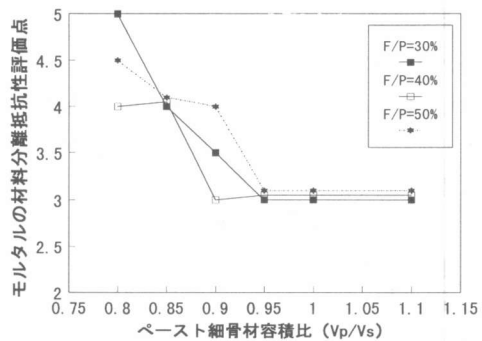


図-10 モルタルの材料分離評価点

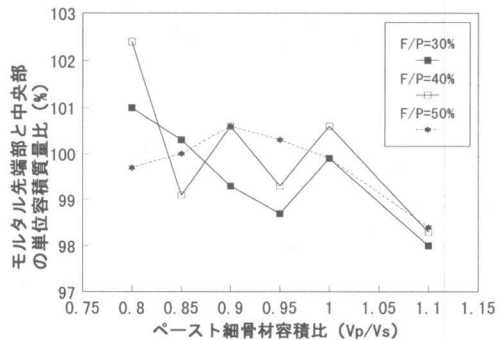


図-11 モルタルの単位容積質量比