

論文 ダム用高流動コンクリートの品質に及ぼす粉体種類の影響

中島良光*1, 原田尚幸*2, 深井大二郎*3, 佐藤文則*4

要旨: 本研究は、P C D (Pumped Concrete for Dams) 工法に高流動コンクリートを適用することで中小規模のコンクリートダムにおける合理化施工システムを開発することを目標としたものである。本報は、高流動コンクリートに用いるセメントや混和材料の種類および添加率がコンクリートのフレッシュ性状、ブリーディング、凝結および強度発現に与える影響を検討したものである。その結果、中庸熟フライアッシュセメント、低熱ポルトランドセメントおよび3成分系低発熱セメントを用いた場合、石灰石微粉末の混和による品質の改善効果が高いことが分かった。

キーワード: 合理化施工, 高流動コンクリート, ダム, 石灰石微粉末, 低発熱セメント

1. はじめに

高流動コンクリートはコンクリート工事の合理化や省力化を目的として、近年、数多くの施工実績が挙げられている。また、ダムへの高流動コンクリートの適用検討も行われている。

著者らは、ダムの堤体全体に高流動コンクリートを用いることにより、施工の工期短縮と省力化を図ることを目的として研究を行っている。この中で、ダム堤体に用いることができる高流動コンクリートの配合を選定するため、粗骨材の最大寸法を80mmとしたダム用高流動コンクリートの配合について検討を行った。この結果、中庸熟フライアッシュセメントを用いた場合、セメント量が290kg/m³程度の配合でダムの施工に適用可能と考えられるフレッシュ性状を持つ高流動コンクリートを開発することができた。しかし、この配合ではセメント量が多く、中庸熟フライアッシュセメントのみを用いた場合には断熱温度上昇量が大きくなり、ダム堤体に用いるには不向きである。そこで本報では、ダム施工に適するセメントや混和材料を選定することを目的として、粉体の容積を一定とし、粉体種類や混和材料の置換率をパラメータとして各

種試験を行い、フレッシュ性状や強度、ブリーディング、凝結時間、発熱特性などに与える影響について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

本実験に用いた材料は表—1に示すとおりである。セメントは中庸熟フライアッシュセメント(フライアッシュ混入率20wt.%(26vol.%))、低熱ポルトランドセメントおよび3成分系低発熱セメント(セメント+高炉スラグ+フライアッシュ)を使用した。混和材料としてフライアッシュおよび石灰石微粉末を使用した。

2.2 基本配合の選定

基本配合を選定するため、中庸熟フライアッシュセメントを用いて、増粘剤量、水粉体容積比、ペースト細骨材容積比、モルタル粗骨材容積比、粗骨材最大寸法をパラメータとして試験練りを行った。流動性および分離状態を目視評価し、その結果、粗骨材最大寸法80mmの配合では、水粉体容積比1.7、ペースト細骨材容積比0.9、モルタル粗骨材容積比1.35、増粘剤添加率W×0.3%の配合が最も良いと判断した。

*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 工修 (正会員)
 *2 (株) 銭高組 技術本部 技術研究所 工修 (正会員)
 *3 日本国土開発(株) 技術開発研究所
 *4 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 (正会員)

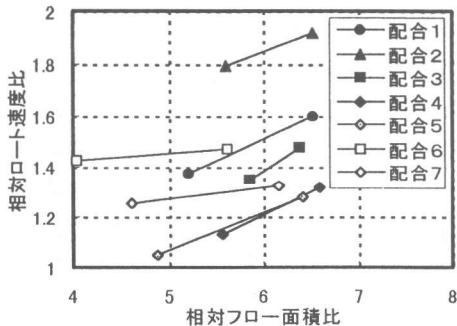
表—1 使用材料

セメント	中庸熟フライッシュセメント, 比重 3.03, FA 混入率 20wt.% (26vol.%) 低熟ポルトランドセメント, 比重 3.22, 比表面積 3420cm ² /g 3成分系低発熱セメント, 比重 2.73, 比表面積 4970cm ² /g	MF LP SL	
混和材	I 火力産フライアッシュ, 比重 2.29, 比表面積 3210cm ² /g 石灰石微粉末, 比重 2.70, 比表面積 2600cm ² /g	FA LS	
細骨材	砂岩系砕砂, 比重 2.67, F.M.2.51	S	
粗骨材	G 1 : 砂岩系碎石, 80~40mm, 比重 2.68 G 2 : 砂岩系碎石, 40~20mm, 比重 2.68 G 3 : 砂岩系碎石, 20~5mm, 比重 2.68	混合割合 G 1 : G 2 : G 3 = 34.4 : 27.4 : 38.2	G
混和剤	高性能 A E 減水剤 : ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体 増粘剤 : 水溶性セルロースエーテル	SP VA	

表—2 配合一覧

配合番号	基本配合条件				パラメータ			単位量(kg/m ³)										
	骨材最大寸法 (mm)	水粉体容積比	ペースト細骨材容積比	モルタル粗骨材容積比	セメント種類	混和材種類	混和材置換率 [vol %]	水			セメント		混和材		細骨材	粗骨材	混和剤	
								中庸熟フライアッシュ	低熟ポルトランド	3成分系低発熱	フライアッシュ	石灰石微粉末	高性能 AE 減水剤	増粘剤				
1	80	1.7	0.9	1.35	MF	--	0	164	288					778	1095	0.49	4.31	
2					MF	FA	39		175			87					3.66	
3					MF	LS	30		201			78					3.07	
4					MF	LS	50		144			131					2.74	
5					LP	LS	50			156		131					3.44	
6					SL	LS	30				185	78					2.63	
7					SL	LS	50				132	131					2.36	

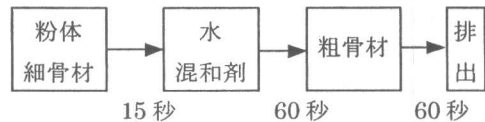
したがって、本試験ではこの配合を基本として、表—2に示すように粉体の種類と置換率をパラメータとした。高性能 AE 減水剤の添加率は、大型スランプフローが 120cm±10cm になるように調整することとしたが、事前にモルタルによる配合試験を行い、図—1に示す結果を得た。この結果から相対フロー面積比が 5 程度となる高性能 AE 減水剤添加率を推定し、これを用いることとした。



図—1 モルタル試験結果

2. 3 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは容量 100% の水平二軸型ミキサを用いて、図—2のような方法にて行った。



図—2 練り混ぜ方法

2. 4 試験項目と試験方法

試験項目及び試験方法は表—3及び図—3～図—5に示す通りとした。

3. 試験結果

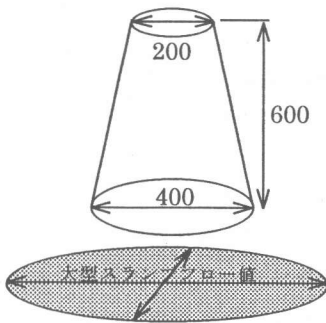
表—4に試験結果一覧を示す。

3. 1 フレッシュ時の試験結果

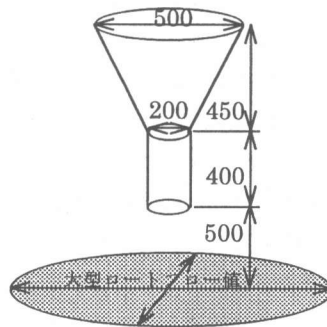
フレッシュコンクリートの試験結果の相関を図—6に示す。

表—3 試験の項目と方法

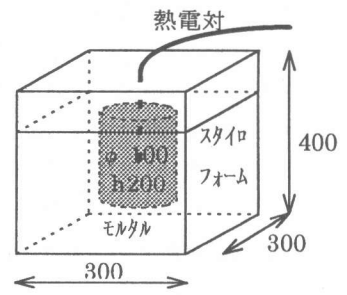
試験項目	試験方法
標準スランブフロー試験	試料を40mmふるいでウェットスクリーニングし、JSCF-F 503「コンクリートのスランブフロー試験方法(案)」によってスランブフローを測定し、同時に、50cmに到達する時間を測定した。
大型スランブフロー試験	図-3に示す大型スランブコーンを用い、JSCF-F 503「コンクリートのスランブフロー試験方法(案)」に準じて大型スランブフローを測定し、同時に、100cmに到達する時間を測定した。
大型ロート流下試験	図-4に示す大型ロートを用い、ロートに詰めた試料が流下する時間を測定するとともに、流下後のフローとフローが100cmに到達する時間を測定した。
空気量	40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を用いてJIS A 1128に準じて空気量を測定し、40mm以上の骨材分について配合上の理論値を用いて換算した。
コンクリート温度	棒状アルコール温度計を用いて測定した。
ブリーディング試験	JIS A 1123-1975に準じて測定した。
凝結時間	ASTM C 403「貫入抵抗によるコンクリートの凝結時間試験方法」に準じて測定した。
圧縮強度	40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を用いてJIS A 1132により供試体を作成した。供試体寸法はφ15cm×h30cmとし、20±3℃で標準水中養生とした。材齢3日、7日、28日、91日で圧縮強度試験を行った。
簡易断熱温度上昇量	図-5に示す簡易断熱温度上昇試験容器に5mmふるいでウェットスクリーニングしたモルタルを詰め、中心部分の温度履歴を測定した。



図—3 大型スランブフロー試験 (mm)



図—4 大型ロート試験 (mm)



図—5 簡易断熱温度上昇試験 (mm)

表—4 試験結果一覧

配合	標準スランブフロー		大型スランブフロー		流下時間 (秒)	大型ロート		空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	ブリーディング		凝結時間		圧縮強度(N/mm ²)						
	フロー (cm)	50cmフロー時間(秒)	フロー (cm)	100cmフロー時間(秒)		フロー (cm)	100cmフロー時間(秒)			量 (cc/cm ²)	率 (%)	始発 (h:m)	終結 (h:m)	3日	7日	28日	91日			
1	61.0*69.0	14.3	121*118	12.3	7.6	139*122	8.2	4.0	21.0	0.06	1.45	19:25	23:25	7.05	12.0	26.7	39.9			
	63.5*61.5	12.7																62.0*61.5	9.3	67.0*60.0
2	62.0*61.5	9.3	117*117	9.8	8.5	125*121	9.0	5.2	21.5	0.00	0.04	17:15	22:50	3.36	6.47	14.7	26.8			
	67.0*60.0	9.5																62.0*61.0	14.9	62.0*61.0
3	57.0*53.0	17.5	126*113	12.1	19.6	132*127	18.9	4.5	21.5	0.03	0.69	12:40	19:35	2.57	4.37	10.9	19.4			
	55.0*55.0	19.4																60.5*59.5	19.6	62.0*61.0
4	52.0*52.0	36.8	123*114	6.8	7.3	131*123	7.1	4.4	21.0	0.00	0.00	18:10	28:30	2.94	8.41	13.4	15.7			
	52.0*51.0	35.4																59.0*54.0	14.4	56.0*55.0
5	60.5*59.5	19.6	123*114	6.8	7.3	131*123	7.1	4.4	21.0	0.00	0.00	18:10	28:30	2.94	8.41	13.4	15.7			
	60.5*59.5	19.6																59.0*54.0	14.4	56.0*55.0
6	62.0*61.0	14.9	123*114	6.8	7.3	131*123	7.1	4.4	21.0	0.00	0.00	18:10	28:30	2.94	8.41	13.4	15.7			
	60.5*59.5	19.6																59.0*54.0	14.4	56.0*55.0
7	62.0*61.0	14.9	123*114	6.8	7.3	131*123	7.1	4.4	21.0	0.00	0.00	18:10	28:30	2.94	8.41	13.4	15.7			
	60.5*59.5	19.6																59.0*54.0	14.4	56.0*55.0

注) 各配合について2バッチの練り混ぜを行い、初めのバッチで標準スランブフロー(上段)と大型スランブフローを行い、2バッチ目で標準スランブフロー(下段)と大型ロート試験を行っている。

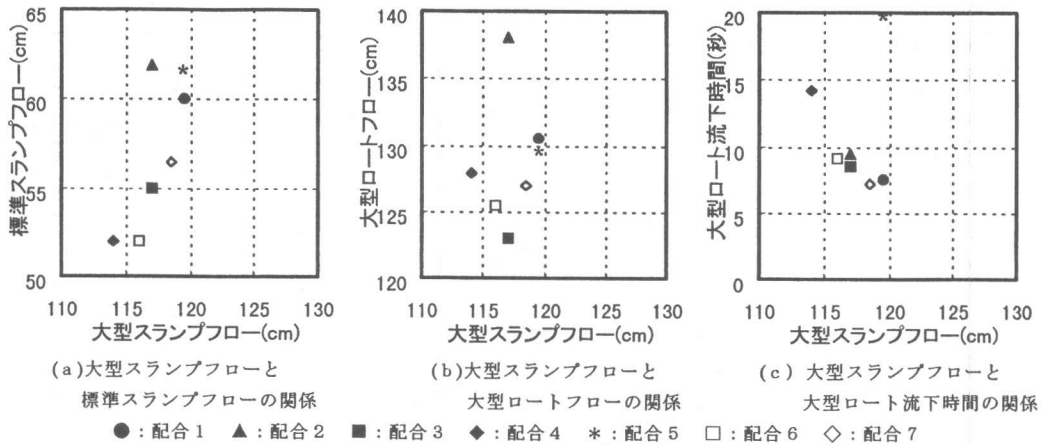


図-6 フレッシュコンクリートの試験結果の相関図

大型ロート流下時間は低熱ポルトランドセメントを用いた配合5では若干遅く、粘性がやや高くなっていると思われるが、他は5秒から15秒の範囲に収まっており、各配合の粘性に大きな差は見られない。

石灰石微粉末の置換率と高性能AE減水剤の粉体に対する添加率の関係を図-7に示す。

同一のフローを得るために必要な高性能AE減水剤添加量は図-7に示したように、セメントの種類の違いにより異なり、中庸熟フライアッシュセメントを用いた場合が最も多く必要で、3成分系低発熱セメントを用いた場合が最も少なくなることが分かった。また、石灰石微粉末の置換率が大きいほど高性能AE減水剤の添加率を少なくすることができ、石灰石微粉末が流動性の改善に効果があるといえる。

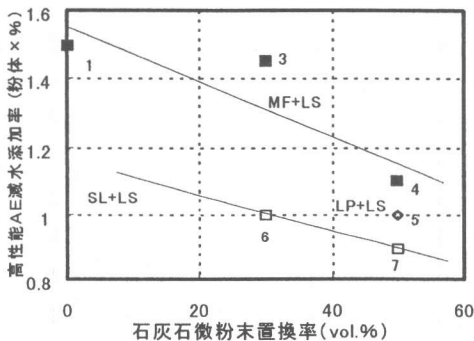


図-7 石灰石微粉末の置換率と高性能AE減水剤添加率の関係

以上の結果から、粉体容積を一定にして粉体種類を変えた場合、高性能AE減水剤の添加量を調整して大型スランプフローを同程度に調整することで、ほぼ同等の流動性および粘性を持つフレッシュコンクリートを得られることが分かった。

3.2 ブリーディングおよび凝結時間

ブリーディング試験結果を図-8に、凝結試験結果を図-9に示す。ブリーディングは石灰石微粉末を用いていない配合1, 2では大きくなり、フライアッシュを多量に混和した配合2では2%を超えるブリーディングが発生した。これに対し、石灰石微粉末を用いた配合3, 4ではほとんど0%に近い結果となり、石灰石微粉末によるブリーディング抑制効果が高いことが分かった。

凝結試験では、中庸熟ポルトランドセメント

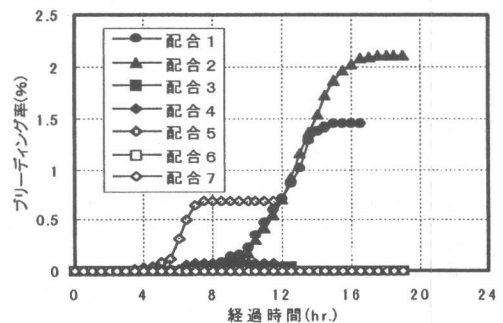


図-8 ブリーディング試験結果

を用いた配合1から配合4のうち、セメント量が少なくフライアッシュの多い配合2が凝結時間が遅くなった。これに対し、セメント量は配合2より少ないものの、石灰石微粉末を大量に使用した配合4では凝結時間は若干短くなっている。水結合材比が大きくなったにもかかわらず凝結時間が短縮されたのは、石灰石微粉末の置換率の増加に伴い、流動性が改善され、その結果、高性能AE減水剤添加率が減少したことが要因と考えられる。

低熱ポルトランドセメントを用いた配合5では、ブリーディングは若干生じたものの、凝結時間は7配合の中で最も早くなった。3成分系低発熱セメントを用いた配合6、7では凝結の始発時間は他の配合とあまり変わらないものの、終結時間は遅くなっており、始発から終結までにかかなり時間を要する性質を持っていることが分かる。

3.3 簡易断熱温度上昇試験

図-10に簡易断熱温度上昇試験結果を示す。

この試験では断熱材からの放熱があるため、おおよそ1日で温度のピークを迎え、その後5日目程度で外気温と同じ温度に収束している。

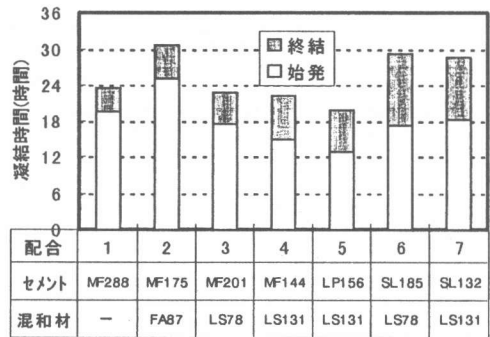
石灰石微粉末置換率と温度上昇量の関係を、図-11に示す。この図より、石灰石微粉末置換率と温度上昇量の関係は各セメント毎に直線で表わされると考えられ、3成分系低発熱セメントが最も温度上昇量が低く、中庸熱フライアッシュセメントと低熱ポルトランドセメントが同等程度となった。

3.4 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を図-12に示す。

セメントの種類による差は同一石灰石微粉末置換率の配合4、5、7で比較すると3成分系低発熱セメントは初期強度の発現が高いが長期材齢では低熱ポルトランドセメントを用いた配合が最も高くなった。

粉体のうち、圧縮強度に寄与するものを有効結合材として定義し、粉体中の石灰石微粉末が結合材として働いているかを検討するため、フ



表中の記号と数字は粉体の種類と単位量を表す。
図-9 凝結試験結果

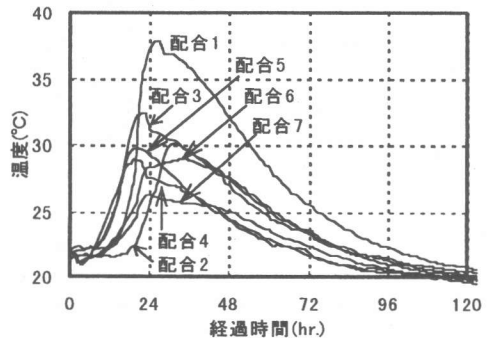


図-10 簡易断熱温度上昇試験結果

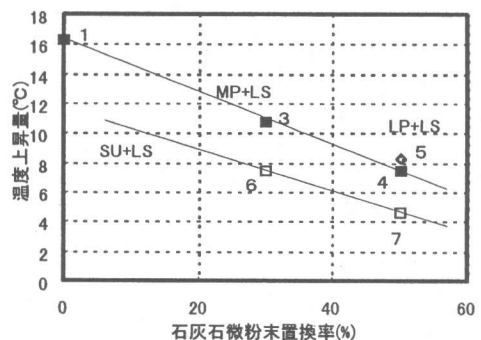
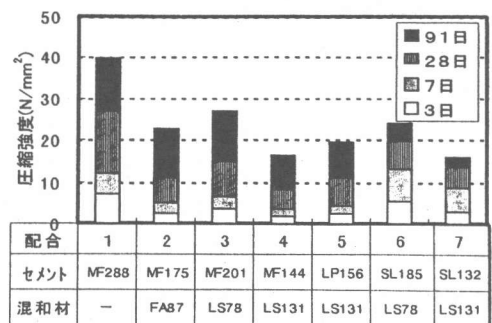


図-11 石灰石微粉末と温度上昇量の関係



表中の記号と数字は粉体の種類と単位量を表す。

図-12 圧縮強度試験結果

ライアッシュはセメントの20%までを結合材として換算し²⁾、石灰石微粉末は結合材と見なさないと仮定して有効結合材水比と91日材齢の圧縮強度の関係を調べた。この結果を図-13に示す。この図のように、中庸熟フライアッシュセメントと石灰石微粉末を用いた配合の場合、有効結合材水比と圧縮強度の関係はほぼ線形となっていることから、本実験の結果ではセメントの20%のフライアッシュを結合材とし、石灰石微粉末は結合材として寄与していないと仮定することで91日強度の推定が可能である。

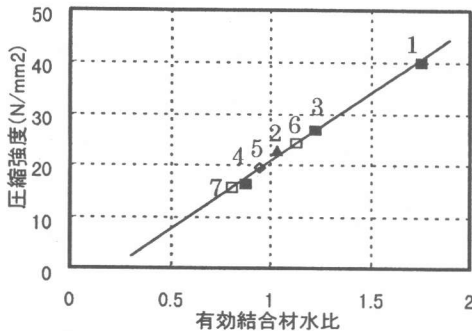


図-13 有効結合材水比と圧縮強度の関係

3. 5 総合評価

20万m³程度のコンクリートダムに高流動コンクリートを適用する場合を想定し、施工性や工程などを考慮し、その目標性能を表-6のように仮定した。これに対し、今回の試験結果と、配合から算出したコスト等を4段階に評価(優◎, 良○, 可△, 不可×)し、表-7にまとめた。

この結果、粉体の容積を一定とした場合、中庸熟フライアッシュセメントを用いた配合3または4、低熱ポルトランドセメントを用いた配合5、3成分系低発熱セメントを用いた配合7が総合的に見て優れていると判断された。この結果、石灰石微粉末の置換率の大きい配合は、凝結やブリーディングに改善効果が見られること、材料単価など経済的に有利であること、高性能AE減水剤の使用量が減ることなどから、本実験の結果では、粉体容積の50%までは強度が確保できる範囲で石灰石微粉末を多く使用す

ることが良いと判断される。

表-6 目標性能

流動性	大型スランブフロー120cm程度
分離抵抗性	骨材が均一に流れること
ブリーディング [*]	1%以下
凝結時間	終結24時間以内
圧縮強度	材齢91日で15N/mm ² 以上
断熱温度上昇量	25℃以下

表-7 全試験結果の総括表

配合番号	1	2	3	4	5	6	7
流動性	すべて目標性能を満足している。						
分離抵抗性	特に差はない						
ブリーディング [*]	×	×	◎	◎	○	◎	◎
凝結時間	○	×	○	○	○	×	×
圧縮強度	すべて目標性能を満足している。						
温度上昇量	×	○	△	○	○	○	◎
コスト	×	△	○	◎	△	△	○
総合	△	△	○	○	○	△	○

4. まとめ

以上、ダム用高流動コンクリートの品質に及ぼす粉体種類の影響について検討を行い、以下の結論を得た。

- (1)粉体の容積を一定とし、セメントおよび混和材種類を変化させた場合、高性能AE減水剤の添加量を調整して大型スランブフローを同程度にすることで、ほぼ同等の品質のフレッシュコンクリートを得ることができる。
- (2)セメントの20%のフライアッシュを結合材とし、石灰石微粉末は結合材として寄与しないと仮定すると91日強度の推定が可能である。
- (3)石灰石微粉末は、ブリーディングの低減効果が大きい。逆にフライアッシュの多量添加はブリーディングの増大をもたらす。
- (4)石灰石微粉末を混和することで高性能AE減水剤添加率が低減できることから、凝結時間は短くなる。

参考文献

- 1) 中島他: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回年次学術大会論文集,平成9年9月
- 2) 出頭他:二成分系のハイパフォーマンスコンクリートのフレッシュ性状について,前田建設技術研究所報,1991年