

論文 フライアッシュと各種分離低減剤を用いた高流動コンクリートの基礎性状

谷口秀明*¹・増田和機*²・原田和樹*¹・牛島 栄*³

要旨:セメントの50%をフライアッシュで置換した高流動コンクリートにおいて、水溶性セルロースエーテル、水溶性ポリサッカライド、多糖類ポリマーおよび微生物菌体の4種類の分離低減剤を使用し、コンクリートのフレッシュ性状並びに硬化性状を比較した。実験の範囲では、分離低減剤は強度発現や発熱に及ぼす影響は少ないが、所定の流動性状を得るための配合条件が限定されること、ブリーディングあるいは耐久性などに影響を及ぼす場合があることがわかった。

キーワード:高流動コンクリート、フライアッシュ、分離低減剤

1. はじめに

高流動コンクリートは、一般に材料分離抵抗性を付与する方法によって、粉体系、併用系および増粘剤（分離低減剤）系に大別され、それぞれの目的に応じた各種粉体（結合材）が単体あるいは複合して使用されている。フライアッシュは水和発熱の低減、単位水量の低減、並びに乾燥収縮量の低下等に寄与することが知られており、結合材として高流動コンクリートにも少なからず利用され、筆者らは、これまでに、フライアッシュを多量に用いた高流動コンクリートの研究を行ってきた[1]。

セメントを多量のフライアッシュで置換するとペーストの粘性が小さくなること、あるいはフライアッシュの比重が他の材料に比べて小さいことにより、高流動域のコンクリートにおいては材料分離抵抗性を保持できる範囲は

限られる。従って、粉体の総量を制限して分離抵抗性の高い、高流動コンクリートを指向するためには、分離低減剤の適用について検討する必要がある。

一方、高流動コンクリートに用いられる分離低減剤は、これまで水中不分離性コンクリートに使用

表-1 使用材料

材料名	種類	成分、特性、標準使用量など	記号	
セメント	普通ポルトランドセメント	比重3.15、比表面積3200cm ² /g	C	P
混和材	常磐火力産フライアッシュ	比重2.20、比表面積2890cm ² /g、強熱減量0.1%、MB吸着量0.05mg/g	F	
細骨材	君津産山砂	F.M 2.67、表乾比重2.58、吸水率1.32%	S	
粗骨材	青梅産碎石2005	実積率59.1%、表乾比重2.70、吸水率0.727%	G	
混和剤	高性能AE減水剤	リカルボ酸エーテル系の複合体	SP	
	空気量調整剤	変性リカルボ酸化合物系陰イオン界面活性剤	AE	
	分離低減剤	水溶性セルロースエーテル、標準使用量 0.2~0.6kg/m ³	SF	V
		水溶性リサッカライド、標準使用量 0.175~0.35kg/m ³	VC	
		多糖類ポリマー、標準使用量 0.5~1.0kg/m ³	BP	
微生物菌体、標準使用量 0.5~1.0kg/m ³		DP		

*1 (株)青木建設技術本部研究所材料研究室研究員 (正会員)

*2 東京電力(株)電力技術研究所構造研究室主任研究員 (正会員)

*3 (株)青木建設技術本部研究所材料研究室室長、工博 (正会員)

されていたセルロース系やアクリル系の粘
稠剤以外にも多糖類ポリマーや水溶性ポリ
サッカライドなどの新しい分離低減剤が開
発されている。

しかし、各々の分離低減剤を用いた高流
動コンクリートの性能は個別に確認されて
いるものの、同一の配合条件の下で他の分
離低減剤を用いたコンクリートと性能を比
較した例は少ない。

そこで、筆者らは、フライアッシュを多
量に用いた高流動コンクリートに対し、各
種分離低減剤を添加したコンクリートのフ
レッシュおよび硬化性状について基礎的な
検討を行なったので報告する。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を示す。本実験で使用
したフライアッシュは、強熱減量やメチレ
ンブルー吸着量が一般的な値よりも小さい。
また、分離低減剤は、現在市販されている
ものを中心に、水溶性セルロースエーテル、
水溶性ポリサッカライド、多糖類ポリマー
および微生物菌体[2]の4種類を使用した。
高性能AE減水剤は、分離低減剤との相性を
考慮して、ポリカルボン酸系のものを用い
た。また添加量は、これまでの実験結果か
ら、単位水量が140kg/m³前後で、所要の流
動性状を確保でき、凝結時間等に及ぼす影
響が比較的小さい量である、単位粉体量の
1.5%とした。

この前提条件の下で、フレッシュ時に
おいてスランブフローが60±5cm、V漏斗流
下時間が15±5秒および空気量が4.5±1.0%
となるように、コンクリートの単位水量と細
骨材率を調整し、コンクリートの諸性状の
比較を行った。

表-2 に試験項目と試験方法を示す。な
お、対象とするコンクリートは締固め不要
コンクリートとし、試験機器や型枠への打
込み時には、突固めを行わなかった。

表-2 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランブフロー試験	JSCE-F503 に準じて試験を行い、スランブ フローとフロー50cm到達時間を測定した。
V漏斗試験	約10φ、吐出口6.5x7.5 (cm) のV型漏斗を 用い、流下時間を2回測定し、平均した。
空気量試験	JIS A 1118
凝結試験	JIS A 6204附属書1 に準じ、プロクター貫 入抵抗装置により貫入抵抗値を測定した。
グリーディング試験	JIS A 1123
断熱温度上昇 試験	空気循環式断熱温度上昇試験装置を用い、 コンクリートの発熱温度を測定した。
圧縮強度試験	JIS A 1108
引張強度試験	JIS A 1113
凍結融解試験	JSCE-G501
中性化促進 試験	材齢28日まで水中養生を行い、20℃、60% 、5%CO ₂ 濃度環境下で中性化を促進させた。
気泡間隔係数 の測定	ASTM C 457

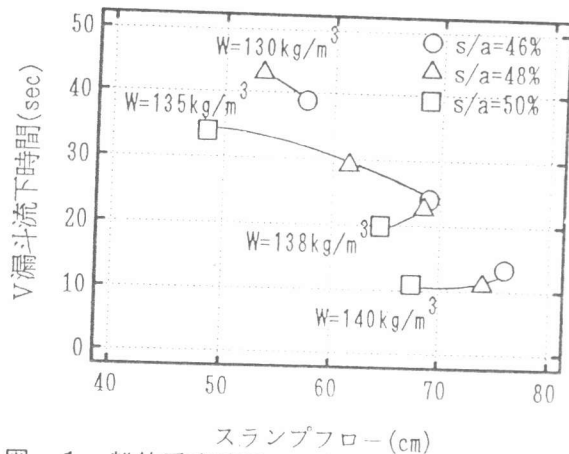


図-1 粉体系高流動コンクリートの流動性状

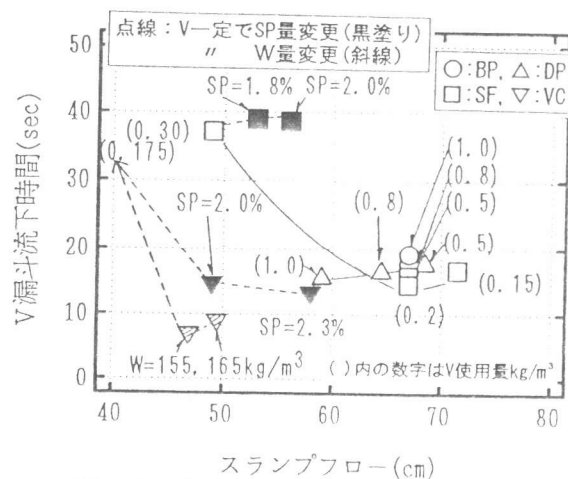


図-2 各種分離低減剤を使用した
高流動コンクリートの流動性状

3. 実験結果および考察

3.1 流動性状の把握と各種コンクリートの配合決定

筆者らの実験によれば、0打フロー（(社)セメント協会：高強度コンクリート用セメントの品質基準(案)）が250～300mmでJ14漏斗流下時間が20秒前後のモルタルに対して粗骨材を粗骨材かさ容積で0.525m³/m³前後混入したコンクリートは、材料分離を生じずにスランプフロー60cm程度の高流動コンクリートが得られることが多い[3]。そこで、前述の配合条件でモルタルの予備実験を行ったところ、単位水量が140kg/m³よりも多くなると、0打フローが300mmを超えてペーストと細骨材が分離気味になった。そのため単位水量を140kg/m³以下とし、細骨材率を46～50%に変え、分離低減剤を使用しない高流動コンクリートの練混ぜを行った。

スランプフローとV漏斗流下時間の関係を、図-1に示す。実験結果によれば、単位水量を138kg/m³以下にすると粘性が非常に大きくなり、V漏斗の流下時間が目標値を満足できなくなった。また、細骨材率の多少の違いによってもスランプフローとV漏斗流下時間が鋭敏に変化したことから、分離低減剤を使用しないコンクリートの単位水量を140kg/m³に決めた。

分離低減剤を使用するコンクリートは、この配合よりも単位水量を5kg/m³増やした若干材料分離状態のコンクリートに分離低減剤を使用し、その効果を確認することにした。

図-2に各種分離低減剤を用いたコンクリートのスランプフローとV漏斗流下時間の関係を示す。多糖類ポリマー（以下BP）と微生物菌体（以下DP）は添加量がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響は少なく、DPの添加量とスランプフローに相関が見られる程度である。

一方、水溶性分離低減剤の場合には添加量の影響が顕著にあらわれ、セルロースエーテル（以下SF）は添加量と漏斗流下時間、スランプフローとの間に相関が認められた。ポリサッカライド（以下VC）については添加によりペーストの粘性が極端に高まることから、高性能AE減水剤の使用量を2.3%まで増量することにより対応した。

以上の実験により決定した、コンクリートの配合とフレッシュ性状を、表-3に示す。

3.2 凝結硬化性状

図-3に示す通り、分離低減剤を使用した配合は、分離低減剤を使用しない配合（以下NB）

表-3 比較する高流動コンクリートの配合とフレッシュ性状

記号	配 合									フレッシュ性状						
	重量容積表現の区別	W/P (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³ , ℓ/m ³)					S P 使用量 (Px Wt%)	A E 使用量 (Px Wt%)	V		空気量 (%)	スランプフロー (cm)	50cmフロー時間 (sec)	V漏斗流下時間 (sec)
				W	P		S	G			種 類	使用量 (kg/m ³)				
					C	F										
NB	Wt.	29.2	—	140	240	240	812	850	1.5	0.005	—	—	5.1	65.5	10.0	18.9
	Vol.	75.6	50.0	140	76	109	315	315		—	—	—	2.7	76.0	4.0	閉塞
NS	Wt.	30.2	—	145	240	240	774	877	2.3	0.004	SF	0.20	5.0	67.0	8.5	15.7
SF										0.008	VC	0.175	4.6	58.0	9.7	13.2
VC									1.5	0.005	BP	0.80	5.2	67.0	9.0	17.7
BP	Vol.	78.3	48.0	145	76	109	300	325		0.003	DP	0.80	4.8	64.5	9.4	16.4
DP																

に比べて凝結時間は2時間以上遅延した。しかし、配合SF、BPについては分離低減剤を使用しない配合で水結合材比を30.2%とした配合(以下NS)と概ね同じ凝結時間を示した。配合DPは配合NSに比べて3時間程度遅延した。さらに、配合VCは配合NSに比べ、8時間程度遅延したが、これは配合VCは所定の流動性状を得るため、高性能AE減水剤の添加量を、他の配合よりも0.8%多くしたことによる影響が現れたものと考えられる。

図-4にブリーディングの試験結果を示す。ブリーディングの抑制効果は水溶性分離低減剤の方が高いようである。例えば、配合SFはブリーディング量は $0\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、配合VCは高性能AE減水剤の多量使用により、ブリーディングの継続時間は他の配合に比べて6時間程度長い、その量は $0.025\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。

膨潤性分離低減剤を用いた配合BP、DPは分離低減剤を用いてない配合NBとほぼ同様のブリーディング量であり、ブリーディングの抑制に対する効果はあまり期待できない結果を示した。

3.3 発熱性状

図-5に配合NBと配合DPの断熱温度上昇試験結果を示す。分離低減剤の有無に関わらず、粉体(セメント、フライアッシュ)量が同一である両者の発熱性状は同様な結果であった。分離低減剤SFを用い、水セメント比49%の普通ポルトランドセメントのみを使用した増粘剤系高流動コンクリートと本実験のコンクリートを比較すると、終局温度上昇量で 5°C 程度、発熱速度を示す係数 α で0.1程度小さくなり、 β で2.0程度の大きくなっている。

3.4 強度発現性状

図-6に材齢28日までの圧縮強度発現性状を示す。フライアッシュを50%置換した高流動コンク

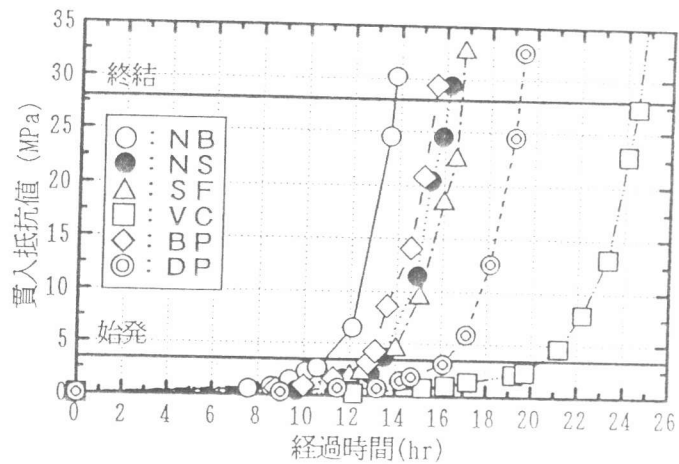


図-3 凝結試験結果

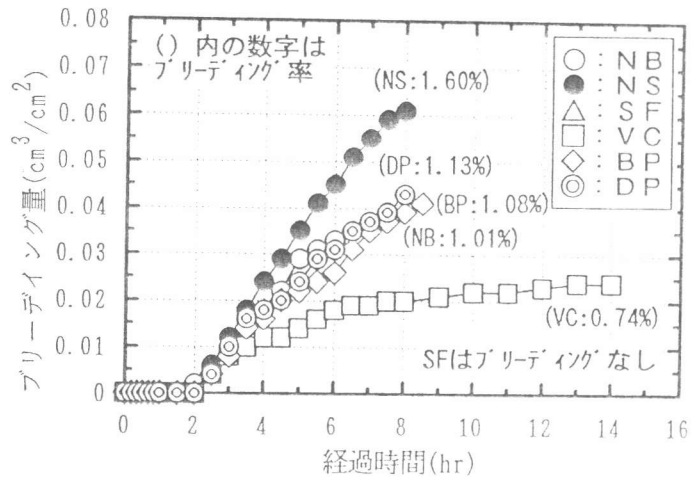


図-4 ブリーディング試験結果

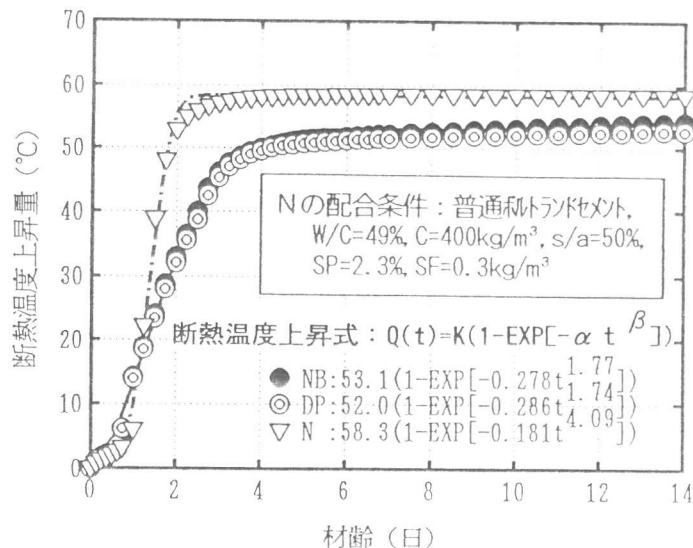


図-5 断熱温度上昇試験結果

リートの圧縮強度は、材齢28日でも30MPa程度であった。フライアッシュを含めずに単位水量と単位セメント量で計算した水セメント比が約60%であることから判断すると、置換したフライアッシュの大部分は材齢28日までの強度発現には寄与しないことがわかる。

材齢28日における圧縮強度については分離低減剤の影響は認められないが、材齢7、14日については若干の差異が認められた。しかしながら、規則性は見られないため分離低減剤の影響によるものか否かについては判定することはできない。

一方、図-7に示した引張強度は、圧縮強度に比べて材齢7日から28日までほとんど変化がなく、すべて2MPa前後であった。材齢28日における圧縮強度に対する強度比は1/15程度であり、一般的に言われる、圧縮引張比1/10よりも小さな値を示した。

3.5 耐久性

図-8に凍結融解試験の結果を示す。水溶性ポリサッカライドを用いた配合VCは、約130サイクル以降から著しく相対動弾性係数が低下し始め、約170サイクルで60%以下になった。他の配合は、空気量2.7%の配合NSも含めて、300サイクル終了後で80%以上であった。一般的に、耐凍害性の目安である連行空気量と後述する気泡間隔係数がそれぞれ4.8%、250 μ m以下である配合VCのコンクリートは、十分耐久であると考えられ、凍結融解試験において動弾性係数が低下した原因については、今後の研究により追求したい。

重量変化率については、配合NB、DPは2%以下であるが、他は3%以上の

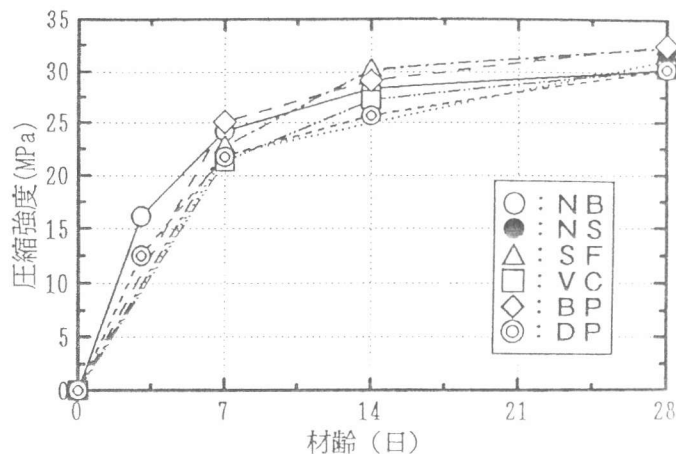


図-6 圧縮強度試験結果

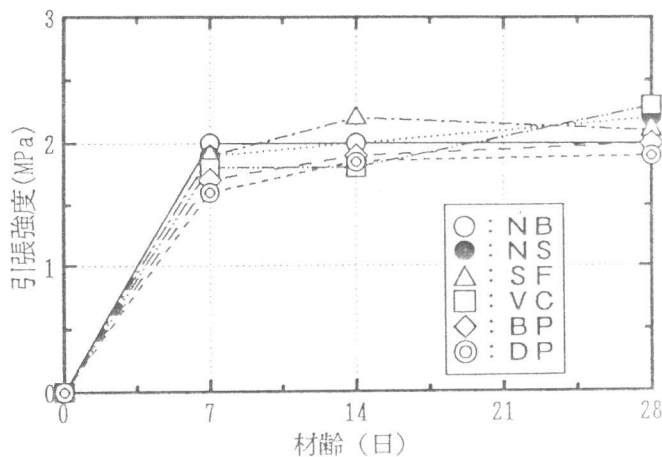


図-7 引張強度試験結果

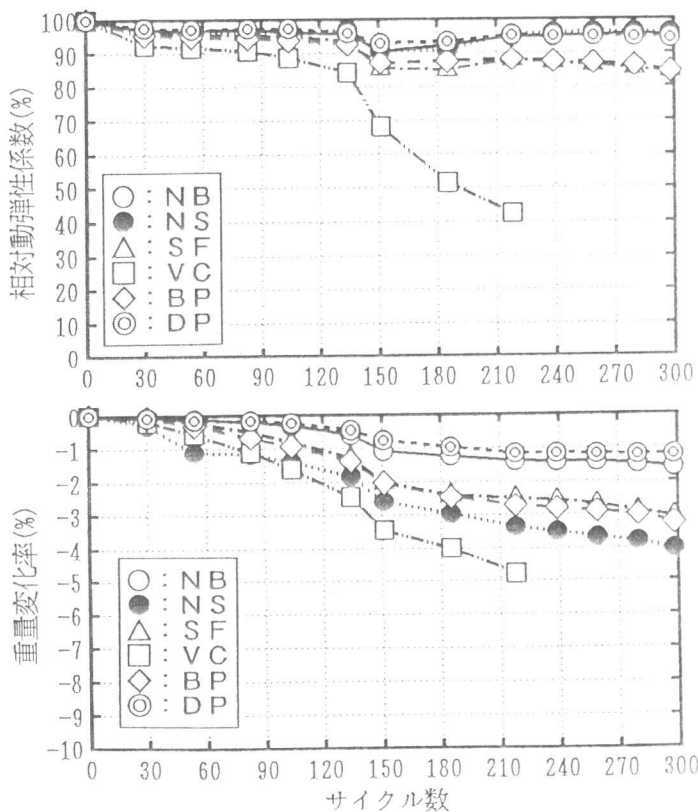


図-8 凍結融解試験結果

減少率を示した。これより、微生物菌体を除く分離低減剤はスケーリングに対する抵抗性を低下させる可能性があると考えられる。

表-4に示した中性化促進試験の結果は試験材齢が4週であるため、中性化浸透深さが小さく、配合による差異を判断しにくいものの、配合NS、SF、VCに中性化が認められ、特に凍結融解の試験結果と同様、配合VCは他の配合よりも大きかった。また、配合NSは打設面のみ中性化していたことから、フレッシュ時において材料分離傾向にあったことが影響したものと考えられる。

図-9に円柱供試体を上・中・下に切断した部分の気泡間隔係数を示す。材料分離を示した配合NSは、全体的に気泡間隔係数が若干小さくなった。分離低減剤を用いた配合は、用いないものに比べて上・中・下の各値にばらつきが大きくなっており、コンクリート中に分離低減剤が均一に分散されていないように推測される。特に配合DPは他の配合に比べて不均一であったが、各配合における気泡間隔係数の平均値、最大・最小値には大きな差異は見受けられなかった。

表-4 中性化浸透深さ

種類	NB	NS	SF	VC	BP	DP	
測定箇所	打設面	0	3.0	0	0.5	0	0
	側面1	0	0	1.2	2.7	0	0
	側面2	0	0	0.3	2.3	0	0
	底面	0	0	0	2.7	0	0
	平均	0	0.8	0.4	2.0	0	0

(試験材齢4週)(単位: mm)

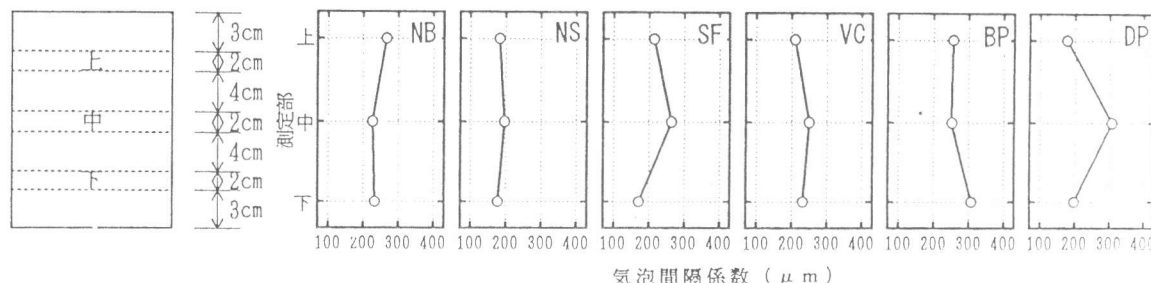


図-9 気泡間隔係数の測定箇所と測定結果

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、次の通りである。

- (1) 分離低減剤はその種類によって、コンクリートのフレッシュ性状に与える影響は異なり、特に水溶性の分離低減剤は、比較的多くの高性能AE減水剤を必要とするもの、添加量の影響が大きいものが見られた。
- (2) ブリーディングの抑制については水溶性の分離低減剤の方が効果が大きく、凝結時間については微生物菌体、ポリサッカライドがプレーンコンクリートよりも遅延する傾向にあった。
- (3) 耐久性については、ポリサッカライドを使用した場合に低下する結果となったが、これがポリサッカライドを使用したことによるものか否かは今回の実験では明らかではない。

参考文献

- 1) 増田和機：フライアッシュの特性が締固め不要コンクリートに与える影響、第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp89-94、1994
- 2) 牛島 栄・谷口秀明・其阿弥喜嗣・立石 彬：特殊増粘剤を混入した高流動コンクリートの性状に関する基礎的研究、Vol. 16、No. 1、pp135-140、1994
- 3) 谷口秀明・原田和樹・牛島 栄：高流動域におけるモルタルおよびコンクリートの流動特性に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No. 48、pp750-755、1994