

報告 高強度コンクリート中のモルタル及び粗骨材量の差に関する一考察

中田 善久^{*1}・女屋 英明^{*2}・高野 肇^{*3}・毛見 虎雄^{*4}

要旨：レディーミクストコンクリート工場の実機ミキサを利用して、高強度・高流動コンクリートの練混ぜ性能について検証した。その方法は主として、水セメント比別セメントの種類別のコンクリートについて、JIS A 1119「コンクリート中のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差」に関する実験によるとともに、さらに、JIS A 8603「コンクリートミキサ」における練混ぜ性能の規定値の関係についても調べた。その結果、いずれの高強度・高流動コンクリートとも、所定の練混ぜ性能に関しては規定値を十分満足し、均質なコンクリートが製造できることを実証した。

キーワード：高強度コンクリート, コンクリートミキサ, JIS A 1119, JIS A 8603

1. はじめに

土木学会「コンクリート標準示方書」では、コンクリートの練混ぜ時間は試験によって定めることを原則とし、解説中では十分な練混ぜを行うために必要な時間が、ミキサの容量、コンクリートの調(配)合、混和材料の種類などにより相違するため、JIS A 1119 其他による試験結果からこれを定めることが述べられている。また、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の8.1.3 ミキサの項目中には、所定容量を所定時間練り混ぜて、前述の JIS A 1119 によるコンクリート中のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差がそれぞれ 0.8%及び 5%以下であれば、コンクリートを均質に練り混ぜる性能をもつとされている。

しかし、この練混ぜ性能の評価に重要となるコンクリート中のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差に関する実験報告は極めて少ない。さらに、近年使用実績が急増している高強度・高流動コンクリートのような流動性の大きいコンクリートは、これらの結果がどのように変化するか不明である。

そこで、本報告は、この点を明らかにするた

めに、レディーミクストコンクリート工場の実機ミキサにより製造した水セメント比別セメントの種類別の高強度・高流動コンクリートについて、JIS A 1119 によるコンクリート中のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差を調べ、さらに、JIS A 8603 における練混ぜ性能の規定値の関係について調べたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

高強度・高流動コンクリートに用いた使用材料を表-1に示す。セメントの種類は、普通ポ

表-1 使用材料

種類	産地・品質
セメント	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³) 低熱ポルトランドセメント(密度 3.22g/cm ³) 中庸熱ポルトランドセメント(密度 3.21g/cm ³)
細骨材	君津産山砂 (密度 2.59g/cm ³ , F.M 2.63)
粗骨材	鳥形山産石灰碎石 (密度 2.71g/cm ³ , F.M 6.68)
練混ぜ水	上水道水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

*1 ものつくり大学 建設技能工芸学科専任講師 博士(工学) (正会員)

*2 (株)内山アドバンス中央技術研究所課長

*3 山宗化学(株)技術部次長 博士(工学) (正会員)

*4 前足利工業大学 建築学科教授 工学博士 (正会員)

表-2 高強度・高流動コンクリートの調査

記号	セメントの種類	スランブフロー 又はスランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 (kg/m ³)
						セメント	水	細骨材	粗骨材	
25L	低熱	60	3.0	25.0	47.3	660	165	736	859	9.57
25M	中庸熱	60	3.0	25.0	47.2	680	170	720	843	10.54
30N	普通	60	3.0	30.0	49.9	567	170	803	843	10.21
33L	低熱	60	3.0	33.0	51.2	500	165	863	859	6.75
33M	中庸熱	60	3.0	33.0	51.4	516	170	853	843	8.00
37N	普通	60	3.0	37.0	51.1	460	170	868	868	7.36
42L	低熱	21.0 (スランブ)	3.0	42.0	45.5	393	165	806	1,009	4.91
42M	中庸熱	21.0 (スランブ)	3.0	42.0	45.7	405	170	798	992	5.06
44N	普通	21.0 (スランブ)	3.0	44.0	46.0	387	170	808	992	4.45

ルトランドセメント(N), 低熱ポルトランドセメント(L) 及び中庸熱ポルトランドセメント(M) の3種類のポルトランドセメントを使用した。細骨材は山砂を使用し, 粗骨材は最大寸法 20mm の石灰碎石を使用し, また, 化学混和剤については, ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。

2.2 コンクリートの調査

高強度・高流動コンクリートの調査を表-2 に示す。水セメント比は, 普通ポルトランドセメントは 30%, 37%, 44%, 低熱ポルトランドセメント及び中庸熱ポルトランドセメントでは 25%, 33%, 42%とそれぞれ3種類を選定した。また, 水セメント比 25%~37%のコンクリートは目標スランブフローを 60cm, 42%及び 44%のコンクリートについては目標スランブを 21cm とし, 室内における試し練りの結果を参考に, 目標とした流動性が得られるように高性能 AE 減水剤量を定めた。

2.3 試験項目及び試験方法

試験項目及び試験方法を表-3 に示す。試験項目は, 2.4 に示すミキサ内の位置からそれぞれ採取したコンクリート試料中のモルタルの単位

表-3 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101 による
スランブフロー	JIS A 1150 による
空気量	JIS A 1128 による
コンクリート中の M, G ^{*1}	JIS A 1119 による
圧縮強度	JIS A 1108 による

※1 M:モルタルの単位容積質量, G:単位粗骨材量

容積質量, 単位粗骨材量, スランブ, スランブフロー, 空気量及び圧縮強度とした。

2.4 ミキサの形式と試料の採取方法

ミキサは, 汎用機として用いられている N 社製 TSM-LC-3 型の実機公称容量 3m³ の二軸強制練り式ミキサを使用し, 2m³ のコンクリートを連続 2 バッチ練混ぜて, 各実験は 2 バッチ目のコンクリートについて行った。

コンクリート試料の採取位置(平面図)を図-1 に示す。実験に用いたコンクリート試料は, 図中のミキサ内の左下部(以下, 前部という)と右上部(以下, 後部という)から採取した。

モルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の実験は, 前部及び後部から採取したコンクリ

ート試料について各々行った。

スランプ、スランプフロー、空気量及び圧縮強度は、前部及び後部のコンクリート試料について各々行い、さらに、圧縮強度については、室内における試し練り時の圧縮強度と比較するために、両者を均一に混合した試料についても実験を行った。

2.5 練混ぜ方法および練混ぜ時間

コンクリートの種類と練混ぜ方法及び練混ぜ時間を表-4に示す。実験は、夏期及び標準期の2シーズンに分け、実施時期については夏期として2003年8月に行い、標準期として2003年10月に行った。

夏期の実験における練混ぜ時間は、レディーミクストコンクリート工場の実績から、コンクリートの水セメント比別に150秒、210秒及び270秒と設定した。また、標準期は、水セメント比25%、30%、33%及び37%のコンクリートのモルタル製造時の練混ぜ時間は夏期の実験と同一とし、粗骨材投入後の練混ぜ時間は、夏期の実験時に比べて30~60秒間短く設定した。

3. 実験結果および考察

3.1 モルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差について

(1) モルタルの単位容積質量の差

モルタルの単位容積質量の差に関する実験結果を図-2に示す。

モルタルの単位容積質量の差は、いずれの高強度・高流動コンクリートとも0.8%以下の規定値を満足する結果となった。また、夏期の実験における水セメント比30%(記号:30N, ●)の場合には、他の試験値に比べて幾分大きな値となったが、試料の採取方法や採取量(JIS A 1119では粗骨材の最大寸法に ϕ を表示した量にて判定するとし、本実験ではコンクリート試料の量は20 ϕ とした)に起因するばらつき内の結果と考えられる。

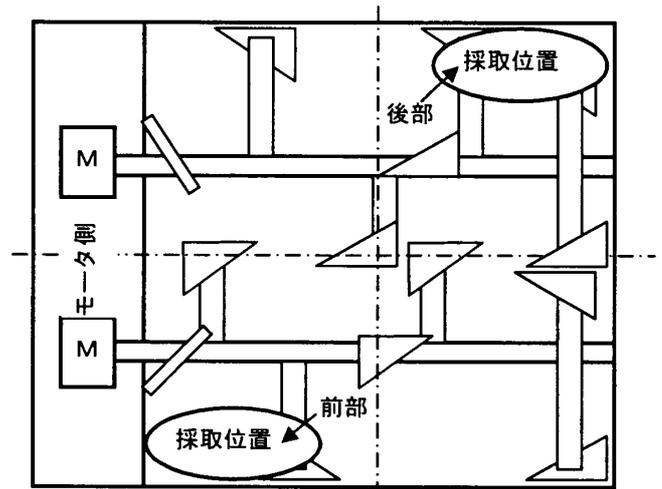


図-1 コンクリート試料の採取位置(平面図)

表-4 コンクリートの種類と練混ぜ方法・時間

記号	練混ぜ方法・練混ぜ時間
25L	モルタル150秒+粗骨材投入後120秒 = 270秒
	モルタル150秒+粗骨材投入後60秒 = 210秒
25M	モルタル150秒+粗骨材投入後120秒 = 270秒
	モルタル150秒+粗骨材投入後60秒 = 210秒
30N	モルタル120秒+粗骨材投入後90秒 = 210秒
	モルタル120秒+粗骨材投入後60秒 = 180秒
33L	モルタル120秒+粗骨材投入後90秒 = 210秒
	モルタル120秒+粗骨材投入後60秒 = 180秒
33M	モルタル120秒+粗骨材投入後90秒 = 210秒
	モルタル120秒+粗骨材投入後60秒 = 180秒
37N	モルタル120秒+粗骨材投入後90秒 = 210秒
	モルタル120秒+粗骨材投入後60秒 = 180秒
42L	モルタル90秒+粗骨材投入後60秒 = 150秒
42M	モルタル90秒+粗骨材投入後60秒 = 150秒
44N	モルタル90秒+粗骨材投入後60秒 = 150秒

※上段は夏期の実験、下段は標準期の実験。

42L、42M及び44Nは、夏期・標準期とも同一とした。

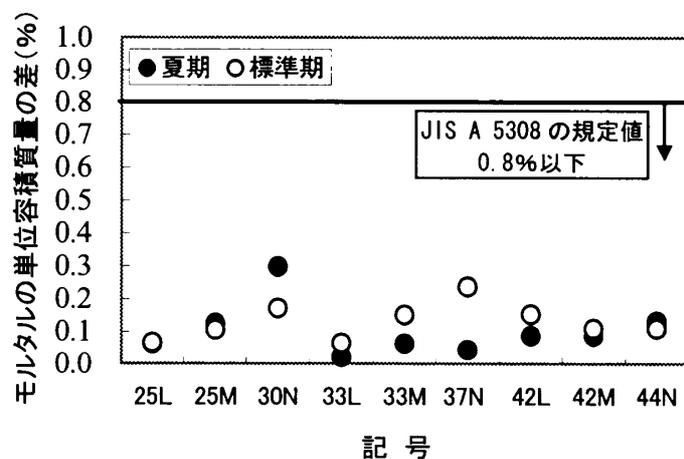


図-2 モルタルの単位容積質量の差に関する実験結果

なお、夏期と標準期について練混ぜ時間を変えて実験を実施したものの、本実験結果からは、いずれの高強度・高流動コンクリートとも練混ぜ時間による明確な差はみられなかった。

(2) 単位粗骨材量の差

単位粗骨材量の差に関する実験結果を図-3に示す。

単位粗骨材量の差は、モルタルの単位容積質量の差に関する結果と同様に、いずれの高強度・高流動コンクリートとも5%以下の規定値を満足する結果となった。本実験の練混ぜ時間については、高強度コンクリートの製造面から全般的に幾分長く設定したこともあるが、コンクリート中のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差に関する実験値は規定値を満足したことから、いずれの高強度・高流動コンクリートとも均質なコンクリートが製造されたことを示唆している。

3.2 練混ぜ性能の規定値の関係について

(1) 練混ぜ性能に関する規定値

JIS A 8603「コンクリートミキサ」における練混ぜ性能の規定値(スランプ、空気量及び圧縮強度)を表-5に示す。

本実験の前部及び後部から採取したコンクリート試料におけるスランプ、スランプフロー、空気量および圧縮強度の平均値からの差（以下、本報告では平均値からの差の割合とする）については次式より求めた。

$$\text{平均値からの差の割合(\%)} = \frac{|A-B|}{A+B} \times 100 \quad (1)$$

ここに、

A: 前部から採取したコンクリート試料の測定値

B: 後部から採取したコンクリート試料の測定値

なお、JIS A 8603 では、練混ぜ量が公称容量の

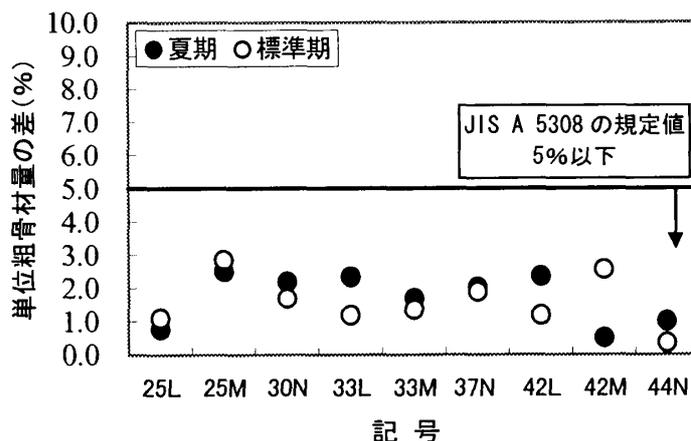


図-3 単位粗骨材量の差に関する実験結果

表-5 スランプ、空気量及び圧縮強度の規定値

試験項目		規定値※ ¹
平均値からの差	スランプ(フロー)	15%以下
	空気量	10%以下
	圧縮強度	7.5%以下

※1 練混ぜ量が公称容量の場合

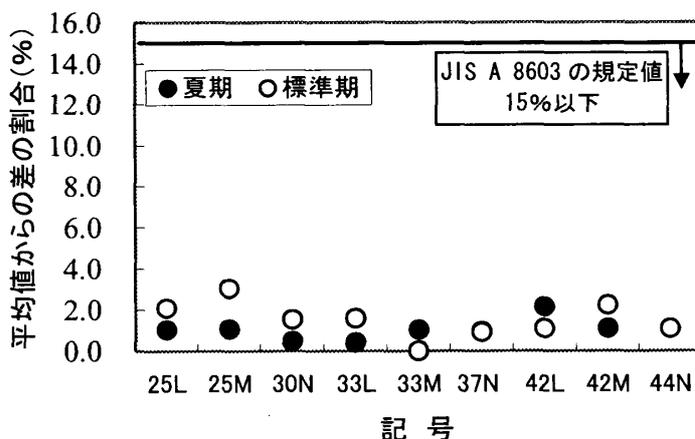


図-4 前部・後部から採取した試料のスランプ・スランプフローの平均値からの差の割合

場合に表-5に示す規定値を適用するとしている。本実験では、公称容量の約70%のコンクリートを練混ぜて実験を行ったが、本規定値を参考値として用いた。

(2) スランプ、フロー及び空気量

前部及び後部から採取したコンクリート試料におけるスランプ・スランプフローの平均値からの差の割合を図-4に、空気量の平均値からの差の割合を図-5に示す。

JIS A 8603 によれば、スランプ及び空気量の平均値からの差の割合は、それぞれ 15%及び 10%以下とされている。

本実験では、前部及び後部から採取した試料のスランプ・スランプフローの差の割合は、小さい結果となったが、空気量についてはばらつきが大きい傾向となった。これは、本実験に用いた高強度・高流動コンクリートの空気量の測定値は 3%以下であり、前部及び後部における測定値の差が小さい場合であっても、結果的には差の割合とすれば大きくなったことが要因として考えられる。

なお、モルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差に関する実験結果と同様に、夏期と標準期において明確な差の傾向はみられなかった。

(3) 圧縮強度

標準期の実験結果として、前部及び後部から採取したコンクリート試料における圧縮強度の平均値からの差の割合を図-6 に示す。

前部及び後部から採取した試料の圧縮強度の差の割合としては 1%前後の結果となり、JIS A 8603 に示す 7.5%以下を十分満足する結果となった。

また、セメントの種類別の材齢 28 日における圧縮強度試験結果を図-7 及び図-8 に示す(図中のセメント水比と圧縮強度の回帰式は、予め実施した室内における試し練りの実験結果から求めたものである)。

本実験の実機ミキサで練り混ぜたコンクリートの圧縮強度は、室内における試し練りの実験値とほぼ同等か、やや大きい結果となった。室内と実機による練混ぜ条件の差などの要因の影響もあるが、均質にコンクリートが練り混ぜられ、いずれの高強度・高流動コンクリートも、良好な強度発現性が得られた結果と言える。また、

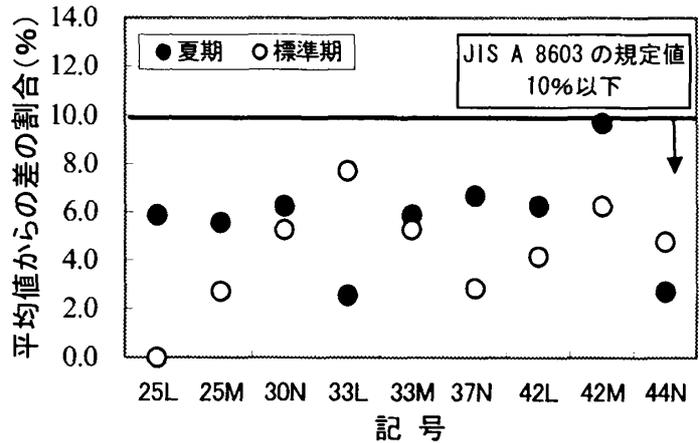


図-5 前部・後部から採取した試料の空気量の平均値からの差の割合

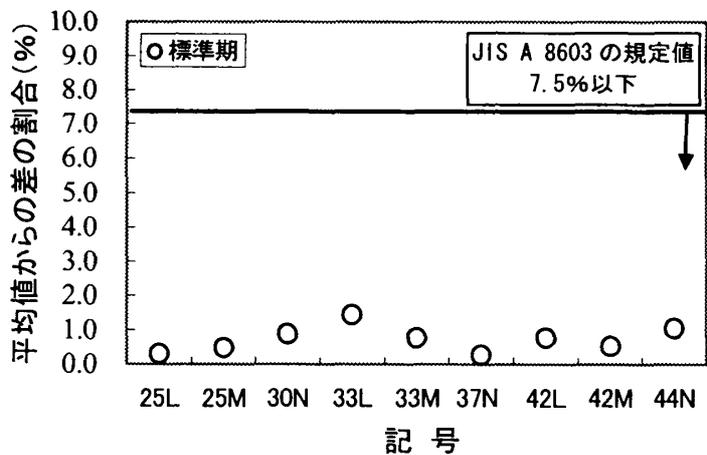


図-6 前部・後部から採取した試料の圧縮強度の平均値からの差の割合

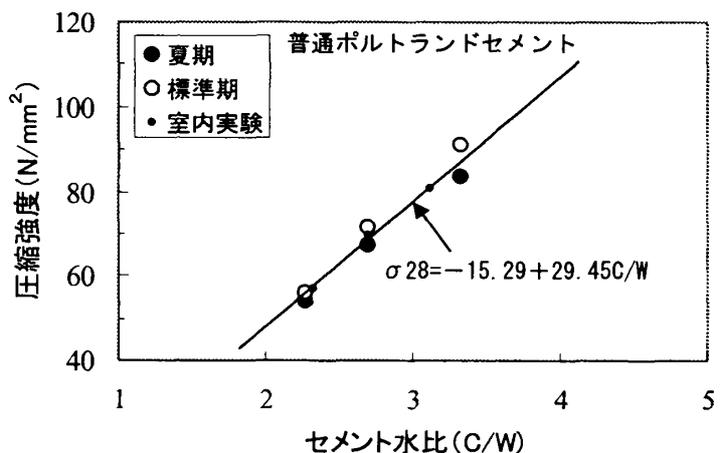


図-7 圧縮強度試験結果

夏期と標準期における圧縮強度には大きな差はなく、実験時期や練混ぜ時間による圧縮強度へ

の影響はほとんどない結果となった。

3.3 JIS A 1119 の試験方法及び練混ぜ性能の規定値に関する考察

前項までの結果から、高強度・高流動コンクリートは、JIS A 1119 により練混ぜ性能に関する実験を行った場合に、JIS A 5308 及び JIS A 8603 における規定値を十分満足していた。

しかし、高強度・高流動コンクリートのように、調合設定におけるスランプ、スランプフロー及び空気量などの条件が通常のコンクリートと異なるコンクリートに対しては、各実験時期における練混ぜ性能の結果から、総合的に検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

本報告は、レディーミクストコンクリート工場の実機ミキサにより製造した水セメント比別セメントの種類別の高強度・高流動コンクリートについて、JIS A 1119 による練混ぜ性能に関する実験を行って、JIS A 5308 及び JIS A 8603 における規定値との関係を調べたものである。

本実験結果をまとめると以下のようである。

(1) ミキサ内の前部及び後部の 2 箇所から採取した試料のモルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差に関する実験値は、JIS A 5308 における練混ぜ性能の規定値を十分満足した。

(2) ミキサ内の前部及び後部の 2 箇所から採取した試料のスランプ、スランプフロー、空気量及び圧縮強度の測定値の平均値からの差の割合は、JIS A 8603 における練混ぜ性能に関する規定値を十分満足した。

(3) モルタルの単位容積質量及び単位粗骨材量の差などの各試験項目の結果は、練混ぜ時間による差はみられなかった。

(4) セメントやコンクリートの種類が違ってもある練混ぜ時間以上あれば、高強度・高流動コンクリートは、通常のコンクリートと同様に

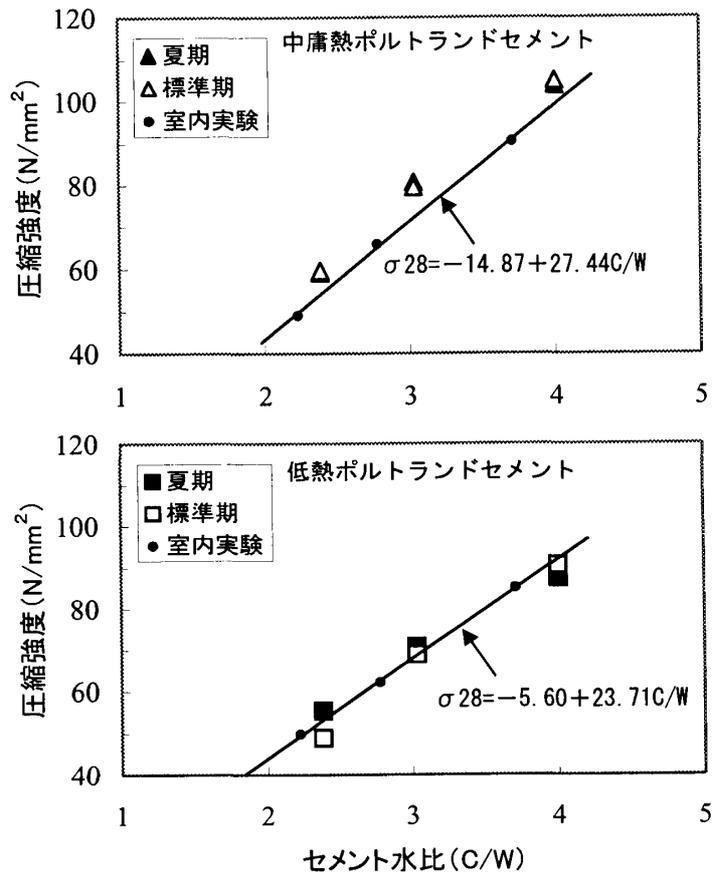


図-8 圧縮強度試験結果

均質なコンクリートが製造できる。

(5) 高強度・高流動コンクリートは、調合設定の条件が通常のコンクリートと異なるために、各実験時期における練混ぜ性能の結果から、総合的に検討する必要がある。

今後は、冬期における練混ぜ性能に関する実験を実施し、高強度・高流動コンクリートの練混ぜ時間とコンクリートの均質性などの関係について、さらに検討していく予定である。

【謝辞】

本実験にあたっては、西松建設(株)の太田 要一 所長、内山城南コンクリート工業(株)の清水 正三 工場長、鈴木 一史 課長をはじめ関係者の方々にご協力を頂きました。また、JCIのJIS原案作成委員会WG3の棚野主査をはじめとする委員各位に多大なご指導、ご助言を頂きました。ここに、付記し謝意を表します。