

論文 実機ミキサおよび試し練りミキサで製造されたコンクリートの品質比較

柳谷 健三^{*1}・平井 一夫^{*2}・古田 満広^{*3}・島 弘^{*4}

要旨：生コンの配合設計は、購入者の要求事項を満足するよう各材料の構成割合を定めることである。そのためには、試し練りを行う必要がある。実際に製品を製造する実機ミキサにより行うことが理想であるが、物理的に困難なことから一般的に実機ミキサの50分の1程度の容量の試し練りミキサで行われる。生コン工場で所有する両ミキサは型式、羽根の形状、回転数などで異なるケースが多く、製造されるコンクリートの品質も異なることが懸念される。そこで本実験では、練混ぜ条件を複数設定し、両ミキサで練混ぜたコンクリートの品質を比較した。その結果、配合設計に影響するような差異は両者に認められなかった。

キーワード：実機ミキサ，試し練りミキサ，ミキサの型式，練混ぜ時間，材料投入順序，消費電力量

1. はじめに

レディーミクストコンクリートの国家規格である JIS A 5308 では、強度およびスランプ等により製品の種類が区分されている。生コン生産者は、それぞれの要求事項を満足するよう配合を設計している。一般的に、配合設計は試し練りミキサで練混ぜたコンクリートの試験結果に基づき暫定的に定め、最終的には実機ミキサにより、その妥当性を確認している。

一方で、これまでの経験では、両ミキサで得られるコンクリートの品質が異なるケースが散見されている。生コンが製造され始めた当初は実機でも傾胴形が主流であったが、現在では強制二軸形が一般的になっているのに対して、生コン工場の試験室で使用する試し練りミキサは、未だに傾胴形のケースも少なくない。品質が異なる原因として思い浮かぶのが両ミキサの型式あるいは容量の違いである^{1),2)}。しかし、実機ミキサと試し練りミキサによる違いについては、十分に明らかにされていないのが現状である。

そこで本実験では、同一材料を用い実機1種類と試し練り2種類のミキサによりコンクリートを製造し、フレッシュ状態および圧縮強度を比較した。さらに、魚本らの研究³⁾を参考に、練混ぜ時間および消費電力量とコンクリートの品質との関係性を評価した。

2. 実験

2.1 ミキサの型式

効率的、かつ有効な実験とするため、県内の JIS 認証工場が保有するミキサの型式を調査した。結果を表 - 1 に示す。

実機ミキサでは強制二軸形が主流になっている。製造瞬発力の向上、あるいは高強度化対応等が近年では生コン生産者のニーズになっているものと思われ、プラント更新時に傾胴形から変更する工場が散見される。試し練りミキサについては傾胴形が多いものの、呼び強度 40 以上のコンクリートが一般化しつつある現在では強制二軸形が増加傾向にある。この傾向は、建築需要が多い都市部で顕著になっている。実機ミキサと試し練りミキサの組み合わせでは、両者とも強制二軸形が最も多く、続いて前者が強制二軸形で後者が傾胴形の組み合わせが多い。

本調査結果を参考に実験成果の有用性を考慮し、比較対象ミキサの組み合わせを「(実機) 強制二軸形：(試し練り)強制二軸形」と「(実機) 強制二軸形：(試し練り) 傾胴形」の2種類とした。実験に用いたミキサの概要を表 - 2 に示す。

表 - 1 ミキサの型式調査結果

実機ミキサ	試し練りミキサ	工場数
強制二軸形	強制二軸形	9工場
強制二軸形	傾胴形	7工場
強制二軸形	パン形	5工場
傾胴形	傾胴形	4工場

表 - 2 実験に用いたミキサの概要

区分	種類	練混ぜ容量	略称
実機ミキサ	強制二軸形	2.5m ³	実機
試し練りミキサ	強制二軸形	60L	室内強制
試し練りミキサ	傾胴形	70L	室内傾胴

*1 アサノ五色台工業(株) 香南工場 技術課長 (正会員)

*2 大成生コン(株) 本社工場 工場長

*3 香川県生コンクリート工業組合 技術部長 (正会員)

*4 高知工科大学 工学部社会システム工学科教授 工博 (正会員)

2.2 使用材料

実験を行った JIS 認証工場で標準化された材料を用いた。概要を表 - 3 に示す。混和剤については実験目的により、それぞれ適宜用いた。

表 - 3 使用材料

材 料	種 類	品 質 特 性 等
セメント	普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³ 比表面積3200cm ² /g
細骨材	砕砂(石灰岩)	粗粒率2.80 表乾密度2.68g/cm ³ 混合比率70%
	海砂	粗粒率2.20 表乾密度2.58g/cm ³ 混合比率30%
粗骨材	砕石2005(石灰岩)	実積率59% 表乾密度2.70g/cm ³
混和剤	A E 減水剤	リゲニンスルホン酸化合物とポリオール複合体
	高性能 A E 減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	A E 剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤
水	上水道水	高松市

試し練りに用いた材料を実機練りの材料と近似させるため、以下の方法でサンプリングした。セメントは、実機練り数日前にタンクローリーより直接採取した。骨材はプラントの貯蔵ビンより、混和剤はタンクより実機練り当日に採取した。

2.3 配合条件

配合条件を表 - 4 に示す。基本的配合は、水セメント比 50%、スランプ 18cm とし、空気量 4.5% の 1000L 配合とした。配合番号 7 については空気量を人為的に混入しない配合としたが、材料の総和は他の配合と同一とした。

2.4 練混ぜ方法

実機練りの練混ぜ方法を図 - 1 に示す。最初に混和剤を含んだ水と累加計量した 2 種類の細骨材を同時投入し、続いてセメント、最後に粗骨材を投入する。練混ぜ時間の基本は、材料投入開始後 45 秒(全材料投入時間 25 秒含む)とした。なお、実機練りではトラックアジテータに積み込み、30 秒間高速搅拌後に試料を採取した。

材 料	練 混 ぜ 時 間 (秒)									練混ぜ完了
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
水 + 混和剤	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■…放出
砕砂 + 海砂	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
セメント	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
砕石2005	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

注) ■…放出

図 - 1 練混ぜ方法

試し練りミキサでは、一般的に強制二軸形は静止状態で水、セメントおよび細骨材を投入後一定時間練混ぜ、ミキサを静止し、粗骨材投入後に再び一定時間練混ぜている。一方、傾胴形では静止状態で全材料を投入し、練混ぜている。標準的練混ぜ時間は、JIS A 1138 によると前者が 90 秒以上、後者が 180 秒以上と規定されている。

このように両ミキサで練混ぜ方法が異なると、ミキサの練混ぜ性能だけでなく、ダブルミキシングの影響⁴⁾なども考えられ、実機ミキサと試し練りミキサ、あるいは強制二軸形と傾胴形のミキサ性能を単純に比較できなくなる。このため、試し練りミキサ用材料投入装置を写真 - 1 のとおり作製し、両ミキサの練混ぜ方法を近似させた。なお、練混ぜ時間の基本は、実機では前述した 45 秒、試し練りミキサでは比較しやすくするため 2 種類とも 120 秒とした。また、実機練りでは、細骨材の表面水率が数%程度と予想されたため、S.E.Cコンクリート(骨材の周りを水セメント比の適当に小さいキャピラリー



写真 - 1 試し練りミキサ用材料投入装置

表 - 4 配合条件

配合番号	W/C (%)	スランプ (cm)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)								
				C	W	S 1 (砕砂)	S 2 (海砂)	G	A E 減水剤	高性能 A E 減水剤	高性能減水剤	A E 剤 (g/m ³)
1	50.0	18	45.8	356	178	564	242	972	0.890	—	—	4
2	50.0	12	43.4	328	164	553	237	1050	0.820	—	—	3
3	50.0	8	42.7	312	156	554	238	1083	0.780	—	—	3
4	50.0	18	48.9	336	168	617	265	940	—	2.016	—	3
5	45.0	18	48.7	360	162	614	263	940	—	1.800	—	4
6	40.0	18	47.4	410	164	580	249	940	—	2.050	—	4
7	50.0	18	49.3	330	165	627	269	940	—	—	2.310	

表 - 5 シリーズ別実験の概要と目的

比較要因	実験の概要	配合条件
シリーズA 練混ぜ時間 スランブ	<ul style="list-style-type: none"> 練混ぜ量時間の水準 全ミキサとも45, 90, 120, 180秒 ただし、実機のみ30秒を追加 スランブの水準 8cm, 12cm, 18cm 練混ぜ量 公称最大練混ぜ量の60% 【実機(2.5m³)】1.5m³ 【室内強制2軸(60L)】36L 【室内傾胴(70L)】42L 練混ぜ後の品質変動 実機のみ：練混ぜ直後 アジテータ車30分後 	W/C : 50% AE減水剤
シリーズB 練混ぜ量	<ul style="list-style-type: none"> 練混ぜ量の水準 公称最大練混ぜ量の50, 75, 100% 【実機(2.5m³)】1.25, 1.875, 2.5m³ 【試験:強制2軸(60L)】30, 45, 60L 【試験:傾胴(70L)】35, 52.5, 70L 練混ぜ時間 【実機】45秒 【室内強制2軸】120秒 【室内傾胴】120秒 	W/C : 50% スランブ : 18cm AE減水剤
シリーズC 練混ぜ時間 粉体量(W/C) 混和剤変更	<ul style="list-style-type: none"> 粉体量の水準 W/C : 50, 45, 40% 練混ぜ量 公称最大練混ぜ量の60% 【実機(2.5m³)】1.5m³ 【試験:強制2軸(60L)】36L 【試験:傾胴(70L)】42L 練混ぜ時間 全ミキサとも45, 90, 180, 270秒 	スランブ : 18cm 高性能AE減水剤
シリーズD 練混ぜ時間 混和剤変更	<ul style="list-style-type: none"> 練混ぜ量 公称最大練混ぜ量の60% 【実機(2.5m³)】1.5m³ 【試験:強制2軸(60L)】36L 【試験:傾胴(70L)】42L 練混ぜ時間 全ミキサとも45, 90, 180, 270秒 	スランブ : 18cm 高性能減水剤 (AE剤使用しない)

の状態にしたセメントの皮殻で包んだ状態にしたコンクリート)による品質改善⁵⁾の影響を同一とするため、数日後に実施する試し練りにおいても同程度の表面水率になるよう調整した。なお、粗骨材は表面水が少ないため、実機練りでは実測値、試し練りでは表乾状態とした。

練混ぜ量は、表 - 2 に示す公称容量の 60%を基本とした。ただし、練混ぜ量を比較要因とした実験では、公称容量の 50%、75%および 100%とした。

2.5 実験要因および水準

本実験では要因を 4 つに大別し、それぞれシリーズ A ~ Dとした。シリーズ A では練混ぜ時間を 4 水準およびスランブを 3 水準、シリーズ B では練混ぜ量を 3 水準、シリーズ C では混和剤を AE 減水剤から高性能 AE 減水剤に変更し練混ぜ時間を 4 水準および水セメント比を 3 水準とした。さらに、空気量が JIS 規格を大幅に上回ったシリーズ C の結果を受け AE 剤を混入しないシリーズ D を実施した。シリーズ別実験の概要と目的を表 - 5 に

示す。

2.6 試験項目

フレッシュコンクリートではスランブおよび空気量試験を、硬化コンクリートでは圧縮強度試験を、また、特定の配合でブリーディング試験および長さ変化試験をそれぞれの JIS に準拠して実施した。なお、圧縮強度試験は材齢 7 日と 28 日を基本としたが、練混ぜ時間が早期強度に影響することを想定して材齢 3 日を、養生が長期間になれば練混ぜ時間の影響が薄れることを想定して材齢 98 日(休日の関係から 91 日を変更)を追加した。

3. 実験結果および考察

3.1 消費電力量

シリーズ A のスランブ 18cm における練混ぜ時間とミキサの消費電力量の関係を図 - 2 に示す。消費電力量は、材料投入からコンクリート排出までに消費された電力量から空転時の電力量を引いて、練混ぜたコンクリートの設計容積で除して 1L 当たりの単位量を求めた。

当然のことであるが、練混ぜ時間が長くなると 1L 当たりの消費電力量も大きくなっており、強い相関関係であることが分かる。勾配は種類によって異なり、室内傾胴が最も急激に増加している。原因としてミキサの練混ぜ原理が考えられ、練混ぜ進行中に流動性が増しミキサへの負荷が低減する強制練りに比べ、重力方式である傾胴形は負荷低減が少ないと想定される。

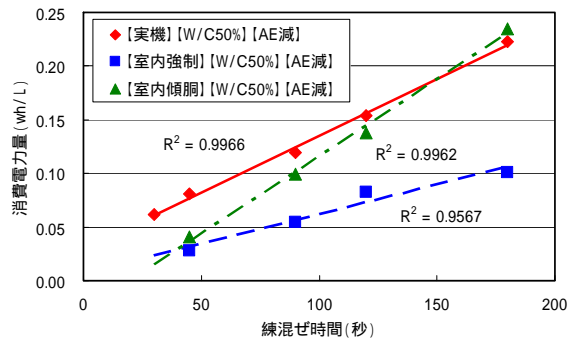


図 - 2 練混ぜ時間と消費電力量の関係

3.2 フレッシュコンクリートの特性

3.2.1 ブリーディング

シリーズ A の結果を図 - 3 に示す。全ミキサとも練混ぜ時間が長くなるとブリーディング量は減少する傾向が認められる。ミキサ別では実機ミキサが最も少なく、室内強制が最も多い。

3.2.2 スランブ

混和剤の種類別にスランブ 18cm の試験結果を、図 - 4 ~ 図 - 6 に示す。図 - 4 の AE 減水剤使用では、実機でスランブがピークとなるのは 45 秒である。一方、室

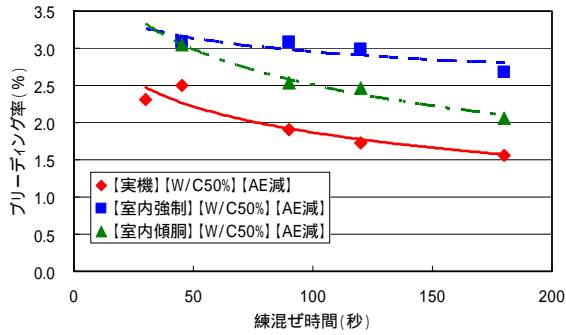


図 - 3 練混ぜ時間とブリーディング率の関係

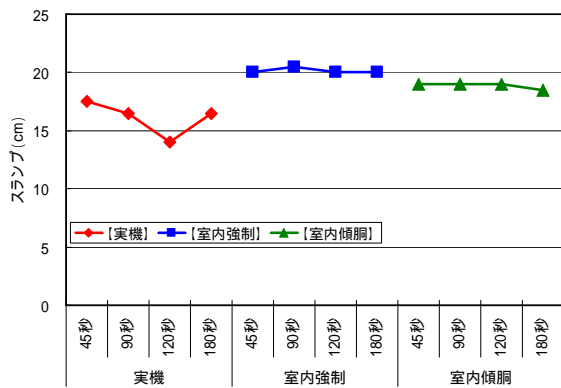


図 - 4 スランプ (AE 減水剤)

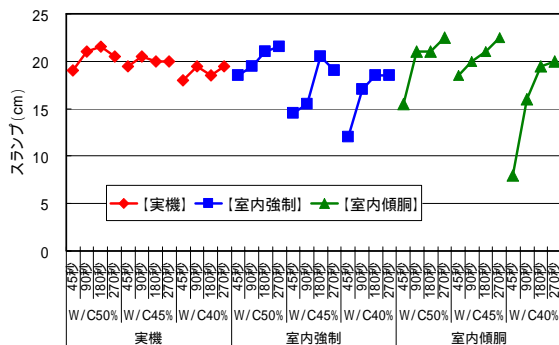


図 - 5 スランプ (高性能 AE 減水剤)

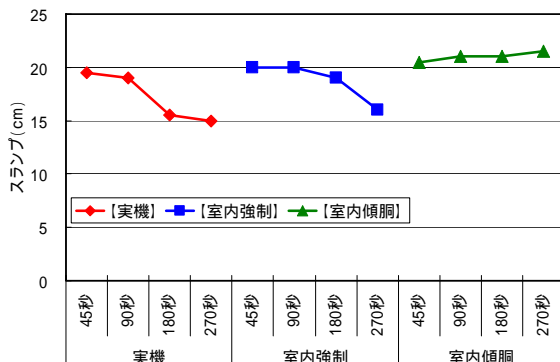


図 - 6 スランプ (高性能減水剤)

内強制および室内傾胴では、練混ぜ時間による差異は認められない。

図 - 5 の高性能 AE 減水剤については練混ぜ時間の影響が AE 減水剤より顕著であると想定し、270 秒まで時間を拡大した。実機では 90 秒前後で最大になっている。一方、室内強制および室内傾胴では、180 秒～270 秒で最大になっている。後述する空気量増加が影響したものと思われる。また、粉体量が多い水セメント比 40%では練混ぜ時間が短いと実機と室内両ミキサに顕著な差異が認められた。なお、練混ぜ時間 270 秒超については確認していないが、更にスランプが増大する可能性もある。

図 - 6 の高性能減水剤使用では、実機は 45 秒でピークになり、その後小さくなる傾向である。室内強制では 180 秒まで練混ぜるとスランプが小さくなる傾向を示す。一方、室内傾胴では 270 秒まで微増している。

本実験の範囲内でスランプだけに特定すると、水セメント比が 50%前後のコンクリートの練混ぜ時間は、実機では 45 秒以上、室内強制および室内傾胴では 90 秒以上必要であると考えられる。

3.2.3 空気量

スランプ 18cm のコンクリートの試験結果を混和剤の種類別に図 - 7 ～ 図 - 9 に示す。

図 - 7 をみると、AE 減水剤を使用した場合、実機では 45 秒がピークで練混ぜ時間延長とともに減少傾向にある。参考として実施した練混ぜ時間 30 秒では 4.11%と 45 秒より若干少ない。このことより 45 秒前後で AE 剤の効果が十分に得られていることが分かる。一方、室内強制および室内傾胴では、120 秒まではともに微増しているが、180 秒では室内強制が同じ傾向であるのに対し、室内傾胴は若干減少し両者は異なる傾向を示した。

図 - 8 の高性能 AE 減水剤では、全ミキサが同じ傾向を示し、増加幅は異なるものの練混ぜ時間延長とともに増加している。要因として高性能 AE 減水剤使用ではコンクリートの粘性が増し、巻き込みエアが増加したと推察される。なお、実機において水セメント比 50%のコンクリーについては、練混ぜ時間を更に延長し 360 秒を実施

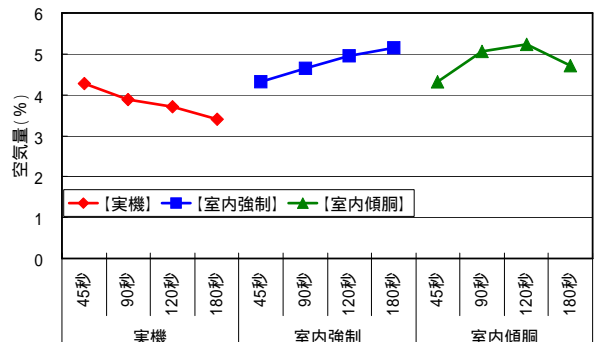


図 - 7 空気量 (AE 減水剤)

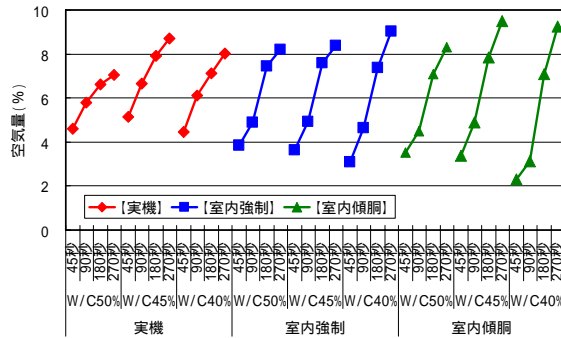


図 - 8 空気量 (高性能 AE 減水剤)

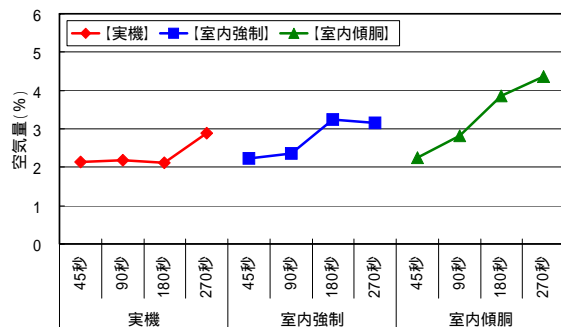


図 - 9 空気量 (高性能減水剤)

したが、270 秒の 7.05% に対し 6.07% と約 1% 減少した。

AE 剤を含まない高性能減水剤で練混ぜた結果、図 - 9 をみると、実機では 180 秒までは安定していたが、270 秒では約 0.8% 増加している。室内の両ミキサは、ともに 180 秒までは増加しているものの、270 秒では室内強制は微減しているのに対し室内傾胴は増加が継続している。重力式である室内傾胴は、巻き込みエアが混入しやすいのではと推察される。

空気量の試験結果より AE 減水剤では練混ぜ時間の影響は少ないが、高性能 AE 減水剤では他の混和剤と比べその影響度合いが顕著であることがわかった。

3.3 硬化コンクリートの特性

3.3.1 圧縮強度

(1) 練混ぜ時間による評価

圧縮強度の試験結果についてシリーズ A を図 - 10 に、シリーズ C を図 - 11 に、シリーズ B および D を図 - 12 に示す。

シリーズ A のスランブ 18cm では実機のほうが室内両ミキサに比べ若干強度が高い。図 - 7 に示すとおり空気量が少なかったことが影響していると考えられる。

図 - 12 のシリーズ B では、1 バッチ当たりの練混ぜ量が多くなると僅かであるが強度低下が認められる。室内傾胴と異なる傾向を示したのは、他のバッチの空気量 5% 前後に比べ 100% 練りでは 2.44% しか得られなかったこ

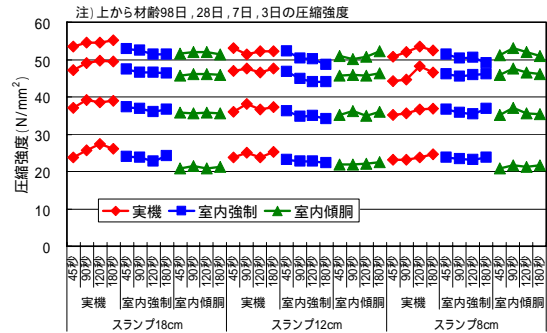


図 - 10 圧縮強度 (シリーズ A)

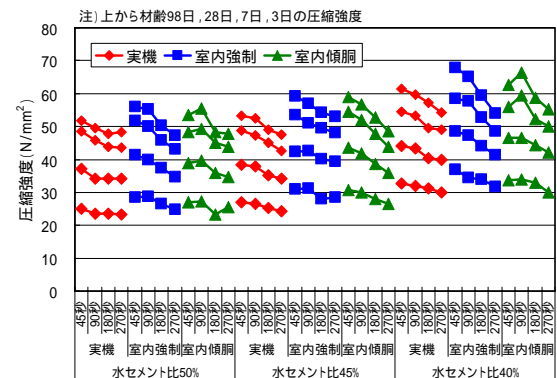


図 - 11 圧縮強度 (シリーズ C)

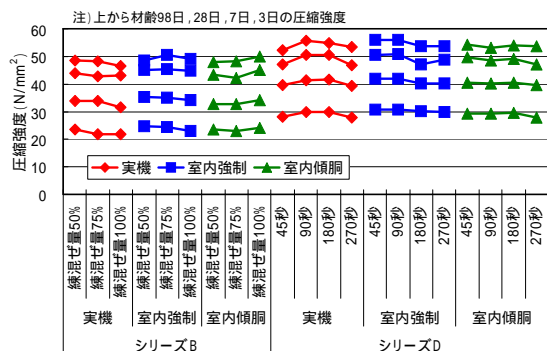


図 - 12 圧縮強度 (シリーズ B, D)

とが要因として考えられる。

図 - 11 のシリーズ C では、練混ぜ時間が長くなると空気量が急激に増加し、一部の結果を除き強度が低下することがわかる。水セメント比 40% の室内傾胴の材齢 28 日および 98 日の練混ぜ時間 90 秒が 45 秒と比較して顕著に高くなっているのは、粉体量が多く 45 秒の練混ぜでは十分な水合ができていなかったのではと推察される。なお、本シリーズにおいてのみ、室内両ミキサのほうが実機より高めになる傾向が認められたが、要因については特定できなかった。

図 - 12 のシリーズ D では、実機で 90 秒まで強度増進が認められる。一方、室内両ミキサでは練混ぜ時間を延長しても強度増進に寄与しないことがわかる。

本結果より、室内ミキサのほうが実機ミキサに比べ強度が高くなる、あるいは練混ぜ時間が早期強度へ著しく影響するだろうとの当初の仮定は証明できなかった。

(2) 消費電力量による評価

圧縮強度を消費電力量により評価した。シリーズAのスランブ 18cm の結果を図 - 13 に示す。全般的に圧縮強度と消費電力量の関係は明確でなく、消費電力量で評価することはできなかった。

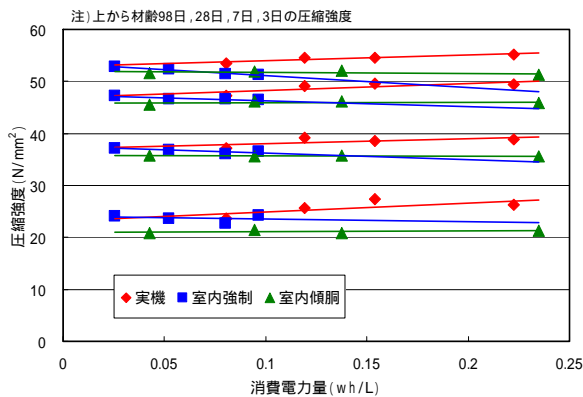


図 - 13 圧縮強度と消費電力量の関係

3.3.2 長さ変化

シリーズAのスランブ 18cm とシリーズCの水セメント比 50%に特定し、長さ変化試験を実施した。材齢 26 週の結果を図 - 14 に示す。なお、シリーズCの 180 秒については、供試体の損傷により測定できなかった。本結果より、ミキサの種類および練混ぜ時間がコンクリートの長さ変化に及ぼす影響度合いは特定できなかった。

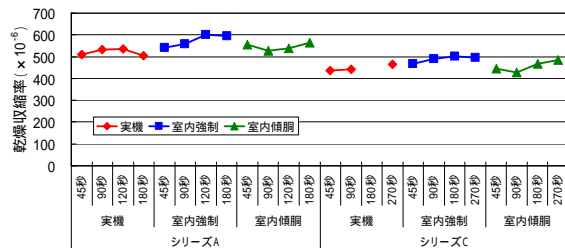


図 - 14 乾燥収縮率 (シリーズA, C)

4. まとめ

ミキサの練混ぜ性能に関して、実機ミキサと試し練りミキサで実験を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 実験を実施した生コン工場では、実機ミキサの練混ぜ時間は 45 秒を標準としている。一方、試し練りミキサは室内強制を使用し、120 秒を標準としている。両者の単位容積当たりの消費電力量は、ほぼ同じであった。
- (2) プリーディング量は練混ぜ時間が長くなれば減少する。この傾向は全ミキサとも同じであるが、種類

により影響度合いが異なる。

- (3) 水セメント比が50%前後のコンクリートの練混ぜ時間は、実機では 45 秒以上、室内強制および室内傾胴では 90 秒以上必要であると考えられる。ただし、粉体量が多い配合の場合、室内ミキサでは、更に時間を延長しなければ所定のスランブが得られないことがあるので注意を要する。また、過度に延長するとスランブが小さくなるケースがあった。
- (4) ミキサの種類および練混ぜ時間の違いによる圧縮強度への影響度合いを明確にできなかった。また、単位容積当たりの消費電力量を指標としても、圧縮強度を評価することはできなかった。
- (5) 長さ変化についても、ミキサの種類および練混ぜ時間の影響は認められなかった。
- (6) 全般的に評価すると、実機ミキサと室内試し練りミキサで練混ぜられたコンクリートの品質に配合設計に影響するような差異は認められなかった。

技術者同士の日常会話レベルで、「なぜ、試し練りミキサのほうが実機ミキサに比べ強度が高くなるのか」について議論したのが本実験の出発点であった。しかし、実験結果からは、そのような傾向は認められなかった。

謝辞：本実験は、JCI 四国支部の「四国の生コン技術力活性化委員会」の活動として実施した。委員の皆様、実験場所を提供していただいた蓮井コンクリート(株)、および多大な応援をして頂いた香川県生コンクリート工業組合の組合員工場の皆様に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 岸清, 渡部正, 山田一宇, 魚本健人: ミキサの種類と練りませ時間がコンクリートの品質に及ぼす影響, 土木学会論文集, 第 402 号/V-10, pp.53-60, 1989.2
- 2) 魚本健人ほか: 3m³ミキサと 100lミキサで練りませたコンクリートの品質比較実験, フレッシュコンクリートの挙動とその施工への応用に関するシンポジウム論文集, JCI, pp.109-114, 1989.4
- 3) 魚本健人, 西村次男, 渡部正, 田中恭一: 配合条件とミキサ消費電力量がコンクリートの品質に及ぼす影響, 土木学会論文集, 442/V-16, pp.109-118, 1992.2
- 4) 田澤栄一, 笠井哲郎, 岡本修一: ダブルミキシングで製造したコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文集, 第 408 号/V-11, pp.139-146, 1989.8
- 5) 加賀秀治ほか: S.E.C コンクリートの研究(特性と強度), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 1029, pp.57-58, 1980.9