

実機プラントにおける超高強度コンクリートの練混ぜとフレッシュ性状に関する実験的研究

技術研究所

藤井和俊

技術研究所

渡邊一弘

技術研究所

中瀬博一

概要:本研究では、シリカフュームセメントを用いた超高強度コンクリートを通常の生コン工場で製造し、超高強度コンクリートの練り混ぜ排出時の最小動力負荷やスランプフロー、50cmフロータイムなどのフレッシュ性状と水セメント比、高性能減水剤の添加量およびコンクリートの練上がり温度との関係について実験的に検討した。その結果、生コン工場の既存の設備を用いて練上がり120分まで良好なフレッシュコンクリート性状を有するFc120N/mm²クラスの高強度コンクリートの製造が可能であった。

Key Words: 超高強度コンクリート、練混ぜ、動力負荷、フレッシュ性状、実機プラント

1. はじめに

今日では、高層RC造に適用するための設計基準強度(以下Fc)は増加の一途にあり、Fc100N/mm²の高強度コンクリートが、既に数棟に実用化されている¹⁾。とりわけ、高層RC造集合住宅へのこうした超高強度コンクリートの適用は、大スパン化や部材断面の減少による建物の軽量化および有効面積の拡大を狙ったものであり、主として最下層部の柱部材にFc100N/mm²クラスの高強度コンクリートが適用される。

Fc100N/mm²クラスの高強度コンクリートでは粘性を低減し、流動性を改善するためや、所定の強度を得るためにシリカフュームの使用が不可欠となっている。また、高性能AE減水剤についても少ない添加量で高い分散性を発揮し、良好な流動性保持性能を有するポリカルボン酸系高性能AE減水剤が主流となっている。

一方、安定したフレッシュ性状を有する高強度コンクリートや高流動コンクリートを製造する方法として、練混ぜ時のミキサ消費電力を利用した製造管理手法も提案されている^{2)~5)}。

これまでポリカルボン酸系高性能AE減水剤によるコンクリートの流動性に及ぼす温度の影響、すなわち高温時のスランプフローダウンや低温時でのスランプフローの後伸びなどについては、いくつかの報告^{6),7)}があるが、実機プラントでのこれらを用いた低水結合材比の超高強度コンクリートの練混ぜおよびフレッシュ性状に及ぼす諸要因の影響についての直接的な研究はなされていない。

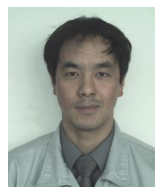
本報告では、夏期、標準期および冬期においてシリカフュームをブレックスしたセメントを用いた超高強度コンクリート(W/C=16%で材齢91日のコア強度140N/mm²)を通常の生コン工場で製造し、その練混ぜ性能およびフレッシュ性状の経時変化などについて実験的に検討した。



藤井和俊



渡邊一弘



中瀬博一

2. 実験概要

(1) コンクリートの使用材料と計画調合

表-1 に使用材料を示す。表-2 に計画調合を示す。荷卸し時点を練上がり 30 分経過後と想定し、その目標スランプフローは $60 \pm 10 \text{cm}$ 、目標空気量は $2.0 \pm 1.0\%$ とした。また、スランプフローは、練混ぜ開始から約 120 分間の流動性保持性能を考慮し、高性能 AE 減水剤の添加量により調整を行った。

表-1 コンクリートの使用材料

種類	産地・性質
セメント	シリカフェームセメント 密度 3.08g/cm^3 , 比表面積 $5600 \text{cm}^2/\text{g}$
細骨材 (右記の山砂, 砕砂を質量比 60:40 で混合した砂)	富津市鶴岡産山砂: 表乾密度 2.58g/cm^3 , 吸水率 1.93%
	八戸市松館産石灰石砕砂: 表乾密度 2.69g/cm^3 , 吸水率 0.68%
粗骨材	岩瀬町富谷産硬質砂岩碎石: 表乾密度 2.65g/cm^3 , 吸水率 0.91%
混和剤	ポリカルボン酸エーテル系 高性能減水剤

表-2 コンクリートの計画調合

W/C (%)	S/a (%)	粗骨材 かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)			
			W	C	S	G
25	49.4	0.53	155	620	815	843
19	42.7	0.54	155	816	631	859
16	35.9	0.55	155	969	485	875

(2) 練混ぜ

コンクリートは一括練混ぜ方式で行い、セメントの計量器の容量の関係から、1バッチの練り量は 1.5m^3 とし 2 バッチを二軸強制練りミキサ(容量 3.0m^3)で混練した。練混ぜ時間は、全材料投入後 90 秒とし、W/C16%のみ 120 秒とした。

(3) ミキサの動力負荷の測定方法

ミキサの動力負荷の測定は、電動機と動力盤の電線にクランプ計を取り付け、動力負荷をデータロガーで取り込んだ。

なお、本報告での測定は、プラントでの電圧は常に変化しており、電流は電圧の大きさに左右され、電流のみによるミキサの負荷測定は、実負荷以外の影響を受けやすことからミキサの負荷電流の測定ではなく、ミキサの動力負荷(電力値)の測定を行った。

(4) コンクリートの試験および測定項目

フレッシュコンクリートの試験は、スランプフロー、50cm フロー到達時間、空気量、コンクリート温度とし、練上がりから 120 分まで 30 分ごとにその経時変化を測定した。なお、これらの経時変化の試料は、実際にアジテータ車でアジテータしたものから採取した。

3. 実験結果と考察

(1) 練混ぜ性能

1) ミキサの動力負荷

図-1 に練混ぜ時に測定したミキサの動力負荷の推移を示す。動力負荷については、バッチごとの差がほぼ無いことからここでは、1バッチ目の結果を記載した。ミキサの動力負荷が、全材料投入後最大動力負荷を過ぎ、その低下勾配が安定領域に移行するまでの所要時間は、W/C=16%では 50 秒程度、W/C=19%では 40 秒程度、W/C=25%では 30 秒程度であり、いずれも設定の練混ぜ時間 90 秒程度で動力負荷は安定し、ほぼ練上がっていることがわかる。ただし、冬期の W/C=16%については、低下勾配から安定領域に移行するのが顕著ではなかった。ミキサの排出時の最小動力負荷は、W/C=16%では 57~35kw, W/C=19%では 48~29kw, W/C=25%では 30~21kw であった。また、最大動力負荷は、各季節において水セメント比が小さいほど大きくなる傾向であったが、ミキサの練混ぜ能力(定格動力:110kw)を越えるような負荷は生じなかった。

超高強度コンクリートにおいてもミキサの動力負荷の経時変化を観察し、動力負荷が安定したことを確認することによって均質な施工性を有するコンクリートが生コン工場の既存の設備で製造することができる。

図-2 に最小動力負荷と動力負荷積算量の関係を示す。排出直前の最小動力負荷と動力負荷を経過時間で積分した動力負荷積算量は、高い相関を示し、最小動力負荷が小さいものほど動力負荷積算量も少ない。

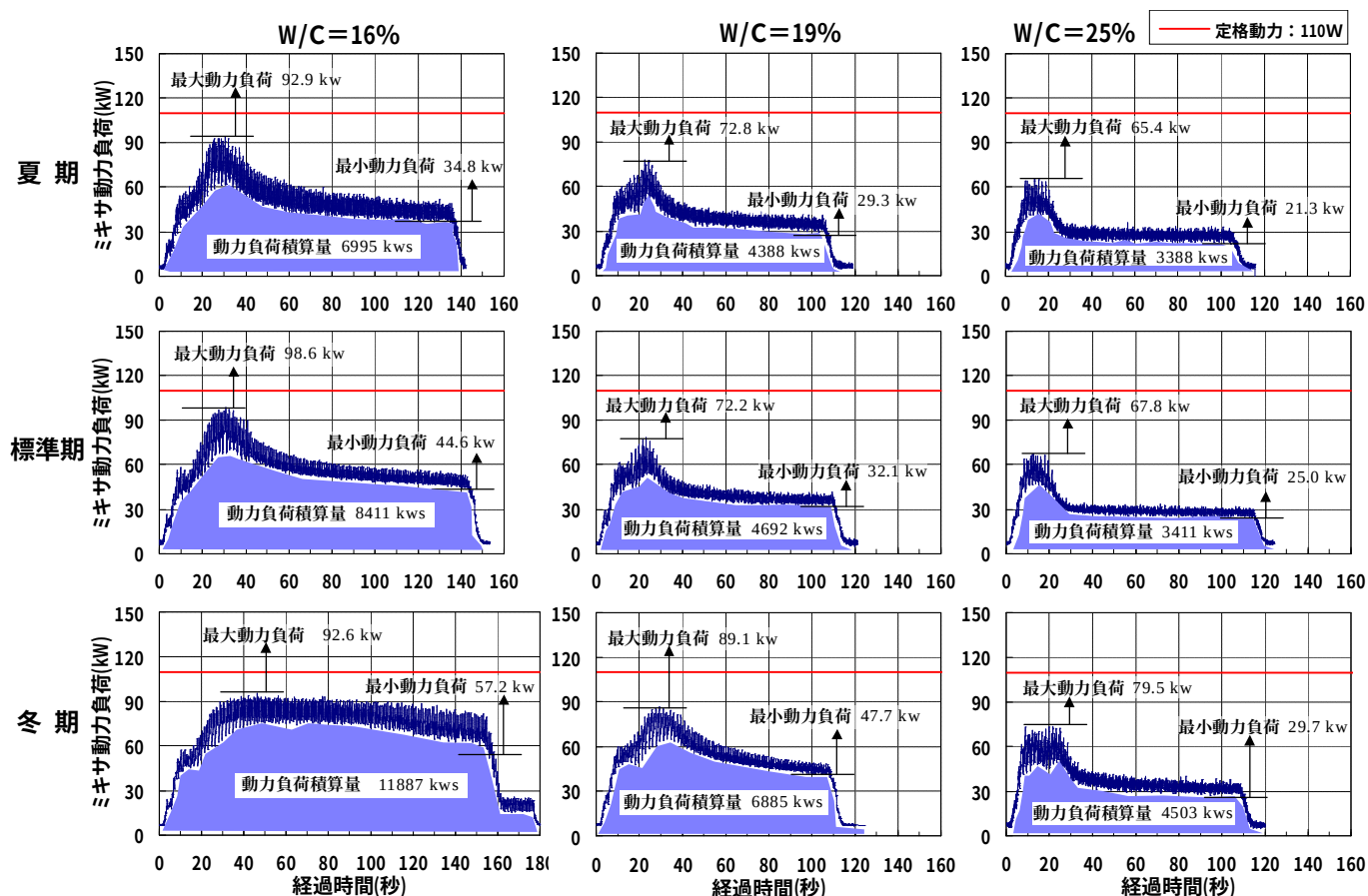


図-1 ミキサの動力負荷

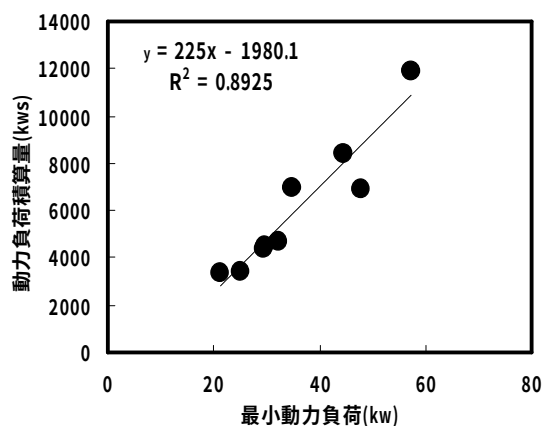


図-2 動力負荷積算量と最小動力負荷

2) ミキサの動力負荷とコンクリート温度

図-3 にコンクリート温度と最小動力負荷の関係を示す。ミキサの最小動力負荷は、同一調合で比較するとコンクリートの練上がり温度が低いほど大きい傾向となった。

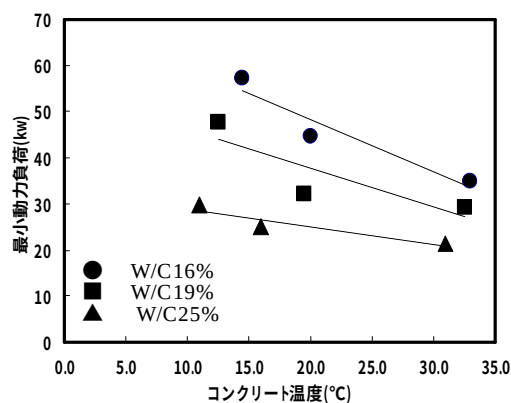


図-3 コンクリート温度と最小動力負荷

3) 50cm フロー到達時間とミキサの最小動力負荷

図-4 に最小動力負荷と練上がり 30 分経過後の 50cm フロー到達時間の関係を示す。50cm フロー到達時間は、最小動力負荷が大きいほど長くなる傾向であった。

最小動力負荷と 50cm フロー到達時間の相関は高く、製造時に最小動力負荷の測定値から 50cm フロー到達時間を推定し、コンクリートの粘性を評価することが可能と考えられる。

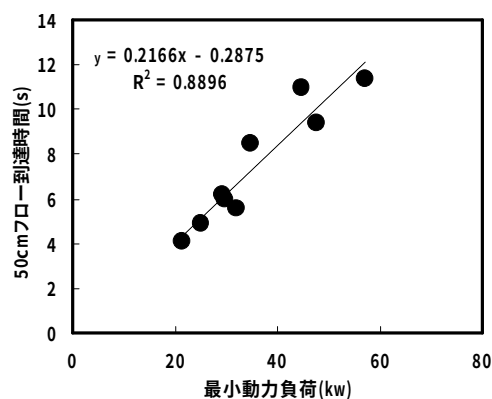


図-4 最小動力負荷と 50cm フロー到達時間

(2) フレッシュコンクリートの性状

1) 季節別経時変化

いずれの調合においても概ね目標スランプフローが得られ、材料分離は認められず、良好なワーカビリティを有していた。図-5 にスランプフロー、50cm フロー到達時間および空気量の経時変化を示す。

スランプフローの経時変化は、練上がり直後から 30 分までは大きいものもあるが 30 分経過後でスランプフローが 60cm 以上のものは、30 分以降のスランプフローの経時変化は小さい傾向にあった。ただし、夏期のW/C=25%では練上がり 60 分以降のスランプフローロスが大きくなった。また、冬期のW/C=19と 25%では練上がり直後のスランプフローが 60cm 以下の場合に、30 分経過後でスランプフローが増大しているものの、90 分以降のスランプフローロスが大きくなった。

50cm フロー到達時間については、一般にスランプフローが 60～70cm 程度の建築用の高流動コンクリートでは 3～8 秒程度であり、50cm フロー到達時間は練上がり直後で、3～8 秒程度であれば、120 分までのその経時変化もその範囲にあった。冬期および標準期のW/C=16%での 50cm フロー到達時間の経時変化は、10～14 秒の範囲であった。

空気量の経時変化は、いずれの調合においても 120 分まで 1.4～2.4%の範囲で推移し、大きな変化は認められなかった。コンクリートの練上がり温度は、夏期 31.0～33.0℃、標準期 16.0～20.0℃、冬期 11.0～14.5℃であった。

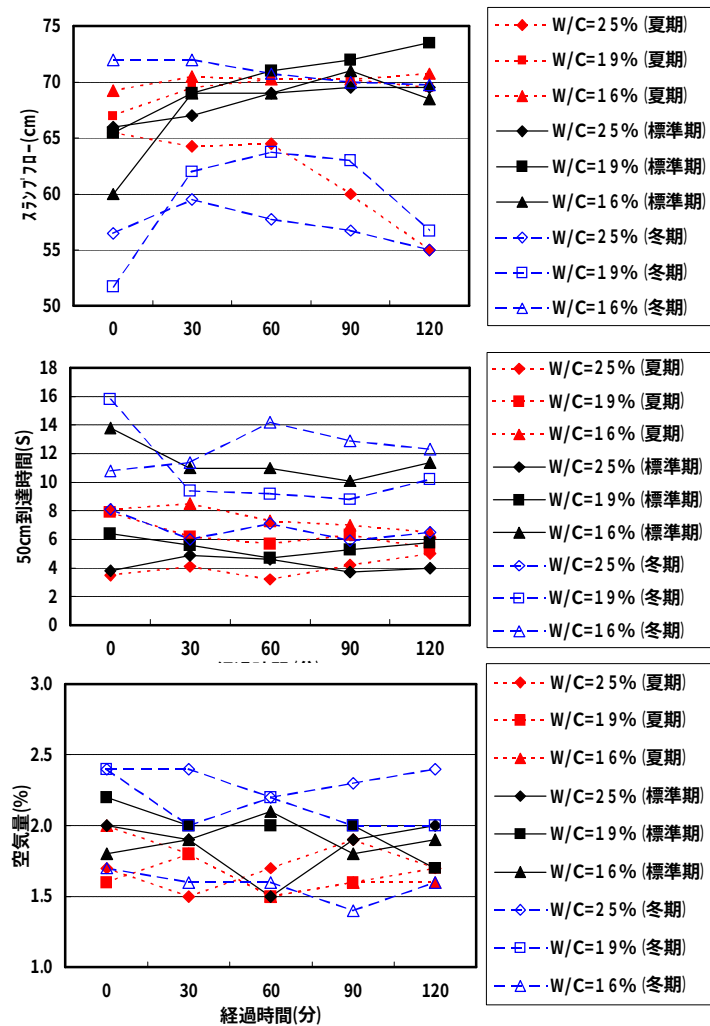


図-5 経時変化

2) 各季節における水セメント比と高性能 AE 減水剤の添加量

図-6 に水セメント比とスランプフローが目標値(練上がり 30 分経過後で 60cm)になるように補正した高性能 AE 減水剤の添加量の関係を示す。同一調合での目標スランプフローを得るための高性能 AE 減水剤の添加量は、冬期が最も少なく夏期が最も多い。標準期は夏期よりやや下回る程度であった。これらの添加量の違いは、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤が温度の影響を受け、特に低温時では分散性は低下するが、後伸びすなわち分散保持性が向上するという現象⁸⁾に起因していると考えられる。

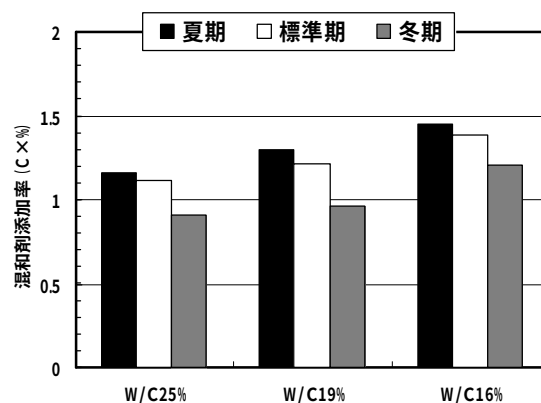


図-6 水セメント比と高性能 AE 減水剤の添加量

3) スランプフローと高性能 AE 減水剤の添加量

図-7 に高性能 AE 減水剤の添加量と練上がり 30 分経過後のスランプフローの関係を示す。スランプフローは、試験時期すなわちコンクリート温度に応じて高性能 AE 減水剤の添加量によって調整していることからその相関は高い。スランプフローを 1cm 増加するための高性能 AE 減水剤の添加量は、単位セメント量の 0.07% 程度必要であった。

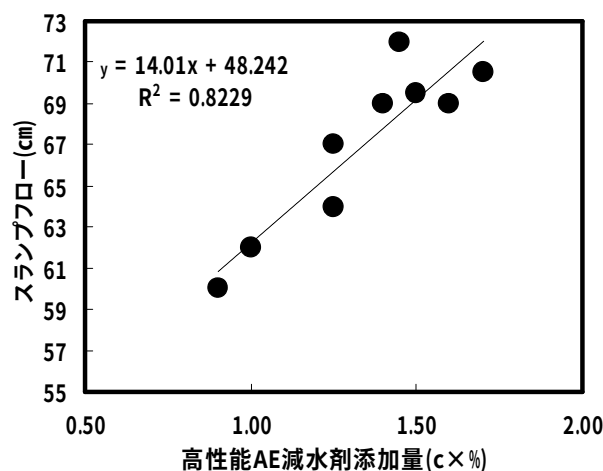


図-7 高性能 AE 減水剤の添加量とスランプフロー

4) 50cmフロー到達時間に及ぼすコンクリート温度と高性能AE減水剤の添加量の影響

図-8 にコンクリート温度と練上がり 30 分経過後の 50cm フロー到達時間の関係を示す。50cm フロー到達時間は、同一調合においてはコンクリート温度が高いほど高性能 AE 減水剤の添加量が多くなることなどにより、短くなる傾向であった。

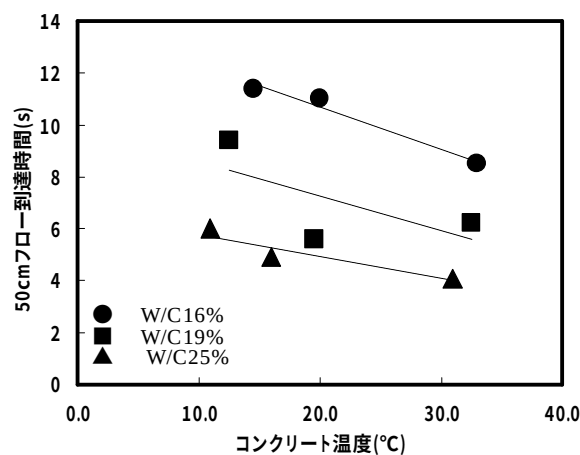


図-8 コンクリート温度と 50cm フロー到達時間

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下の通りである。

- ①生コン工場の既存の設備を用いて練上がり 120 分まで良好なフレッシュコンクリート性状を有する超高強度コンクリートの製造が可能である。
- ②練混ぜに消費された動力負荷積算量と排出直前の最小動力負荷は、高い相関を示した。
- ③ミキサの最小動力負荷は、同一調合で比較するとコンクリートの練上がり温度が低いほど大きい。
- ④最小動力負荷と 50cm フロー到達時間の相関は高く、製造時に最小動力負荷の測定値から 50cm フロー到達時間を推定し、コンクリートの粘性を評価することが可能と考えられる。
- ⑤同一調合での高性能 AE 減水剤の添加量は、冬期が最も少なく夏期が最も多い。標準期は夏期よりやや下回る程度であった。
- ⑥ 50cm フロー到達時間は、同一調合においてはコンクリート温度が高いほど高性能 AE 減水剤の添加量が多くなることなどにより、短くなる傾向であった。

謝辞

本研究を進めるのにあたり、元足利工業大学教授毛見虎雄博士にご指導を、関東宇部コンクリート工業(株)豊洲工場、同技術センター、(株)宇部三菱セメント研究所、宇部三菱セメント(株)、(株)ポゾリス物産、(株)日工ミキシングセンターに協力をいただきました。深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば陣内浩ほか：設計基準強度 100N/mm² の高強度コンクリートを用いた超高層建物の施工，日本建築学会技術報告集，第9号，PP7～12，1999.12
- 2) 安田正雪ほか：実機プラントにおける高強度コンクリートの製造時の負荷電流(New RC 実大施工実験 その4)，日本建築学会大会学術講演梗概集，PP305～306，1992.8
- 3) 鈴木一雄ほか：実機プラントにおける高流動コンクリートの製造実験(その1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，PP537～538，1995.8
- 4) 木村芳幹ほか：高強度コンクリートの練混ぜ性能の推定，コンクリート工学年次論文報告集，PP1093～1098，Vol.21,NO.2,1999
- 5) 石川伸介ほか：高さ7.25m の壁への高流動コンクリートの実験的適用(その1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，PP899～900，2000.9
- 6) 加藤弘義ほか：高性能 AE 減水剤によるセメント粒子の分散効果に及ぼす温度の影響，コンクリート工学年次論文報告集，PP163～168，Vol.21,NO.2,1999
- 7) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説，P25,1997
- 8) 柳澤太一ほか：練混ぜ温度が高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響の作用機構，コンクリート工学年次論文報告集，PP547～552，Vol.21,NO.2,1999