

論文

[1067] ミキサ負荷電流による高強度コンクリートの練り混ぜ特性の評価

安田正雪*1・梶田佳寛*2・阿部道彦*3・田中斉*4

1. はじめに

高強度コンクリートは、普通の強度レベルのものと比較して、水セメント比が小さく、単位セメント量が多いため、粘性が高く、その製造、施工については特別な考慮が必要であると考えられる。このうち、コンクリートの製造においては、通常の場合、ミキサの負荷電流や目視によって練り混ぜ状況を判断して、練り混ぜ量、練り混ぜ時間等を決めることがなされている〔1〕が、高強度コンクリートについては、ミキサ負荷電流と練り混ぜ状況の関係についてまだ十分な資料が得られているとはいいがたい。

本報は、高強度コンクリートの製造時の合理的な品質管理方法のひとつとして、ミキサ負荷電流を取り上げ、試験室練りおよび実機練りミキサによる一連の実験結果に基づき、ミキサ負荷電流と高強度コンクリートの練り混ぜ特性との関係について検討したものである。

2. 研究方法

検討に用いたデータは、建設省総プロ「New RC」の研究の一環として実施された、各種の高強度コンクリートの実験および実大施工実験である〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕。実験のシリーズを表-1に示す。コンクリートの水セメント比(W/C)または水結合材比(W/B)の範囲は20~50%、単位水量の範囲は140~200kg/m³であり、使用した混和剤はポリカルボン酸系(A)およびアミノスルホン酸系(B,C)である。また、普通ポルトランドセメントに粗粉および微粉を混合することにより粉体の充填率を高めた粒度調整セメントも用いた。使用したミキサは、試験練り用のパン型強制練りミキサ、水平二軸型強制練りミキサ、遊星型強制練りミキサ(それぞれP型、N型、U型と略す)および実機練りの水平二軸型強制練りミキサである。

表-1 実験シリーズ一覧表

シリーズ	水結合材比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	混和剤の種類	混和材の種類と混入率* ()内は混入率 (%)	ミキサ			実験データの内容
					種類	容量(ℓ)	練混ぜ量(ℓ)	
I	22, 25 33, 50	160	A	プレーン SF (10), BS (30)	パン型, 遊星型 水平二軸型	100	60	練り混ぜ時間, 材料投入順序等の影響
II	25	140, 160 180, 200	A	プレーン, SF (10, 20, 30) BS (30, 50, 70)	パン型	100	75	単位水量, 混和材の混入率等の影響
III	25, 27 20, 22, 25	165 160	A, B C	プレーン SF (10)	水平二軸型	3000	1450~2000 1750~1950	スランプフロー, 練り混ぜ量等の影響
IV	20, 25, 30 40	165 155	A	戻り粉 (20) 重質炭酸カルシウム (10)	パン型	100	50	水結合材比の影響

* : プレーンは混和材無混入, SF はシリカフェム, BS は高炉スラグ微粉末, 戻り粉は普通ポルトランドセメントのものを示す

- * 1 東洋建設(株)総合技術研究所美浦研究所建築材料グループ係長(正会員)
- * 2 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室室長, 工博(正会員)
- * 3 建設省建築研究所第2研究部有機材料研究室室長, 工博(正会員)
- * 4 飛鳥建設(株)技術本部研究開発部副課長(正会員)

ミキサの負荷電流は、クランプテストを用いて、1秒間に2回の電流を測定し、練り混ぜに要するミキサ負荷電流（以降、ミキサ負荷電流と略す）はミキサ空転時の負荷を差し引いて求めた。

3. 研究結果

3. 1 練り混ぜ状況の観察

図-1、図-2にミキサ負荷電流の経時変化の例を示す。ミキサの種類やコンクリートの調合の違いによってミキサ負荷電流の値は異なるが、いずれの場合もミキサ負荷電流のピークが下がったところで、ほぼ目視でコンクリートになったことが確認できた。その後、練り混ぜの進行に伴い、ミキサ負荷電流は徐々に低下し、ほぼ平衡状態に達する。その間のミキサ内でのコンクリートの状況は、よく観察すれば微妙な変化がみられるものの、目視では大きな変化は認められない。

3. 2 ミキサの種類と練り混ぜ時間

図-3に、シリーズIのミキサの種類を変えて練り混ぜた場合の各水結合材比で目視でコンクリートになったことを確認した時間を示す。分割練りの場合は粗骨材を投入してからの時間である。モルタル先練りに要した時間は30秒から90秒であった。この図から、同じ調合のコンクリートについて、目視でコンクリートになったことを確認できる時間はP型、U型ミキサが比較的速く、N型ミキサでは遅くなる傾向にあった。N型ミキサは、シャフトの部分の表面積が大きく、この部分にはモルタル分が附着しやすいため、練り混ぜ状況が悪くなるものと考えられる。

3. 3 適正練り混ぜ時間

P型ミキサで負荷電流がほぼ平衡状態になった練り混ぜ時間を標準とし、標準より30秒あるいは60秒短いものを練り混ぜ時間不足、長いものを練り混ぜ時間過剰として、3種類の試験練りミキサを用いて同じ調合のコンクリートについて、標準、不足、過剰時間で練り混ぜた。ただし、分割練りの場合の標準時間は、モルタルの練り混ぜ時間と粗骨材投入後の時間の合計が一括練りの場合の標準時間と同じとした。練り混ぜ時間とスランプフローとの関係を見ると、図-4に示すようである。水セメント比25%のプレーンコンクリートを除いて、練り混ぜ時間が長くなるとスランプフローはほぼ一定の値に近づく傾向にあった。この時のスランプフローとミキサ負荷電流の関係は図-5に示すように、スランプフローが小さいほうがミキサ負荷電流が大きい傾向にあり、コンクリートの取扱い（ハンドスコップによる練り返し）は困難な傾向にあった。このように、ミキサ負荷電流の変化の様子はコンクリートの練り混ぜ状況を表しているといえよう。

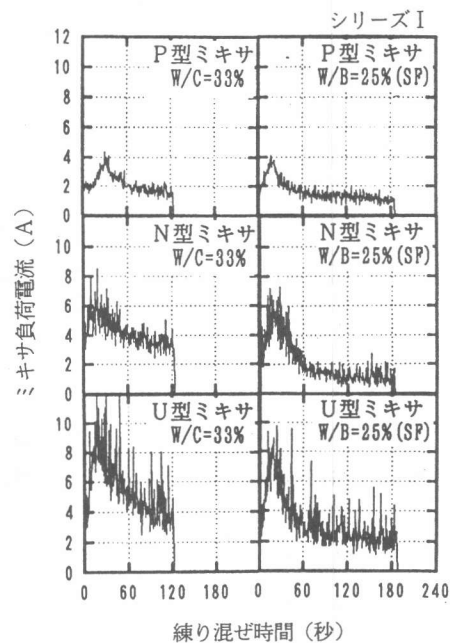


図-1 ミキサ負荷電流の経時変化例 1

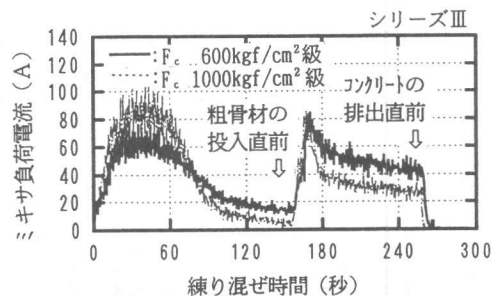


図-2 ミキサ負荷電流の経時変化例 2

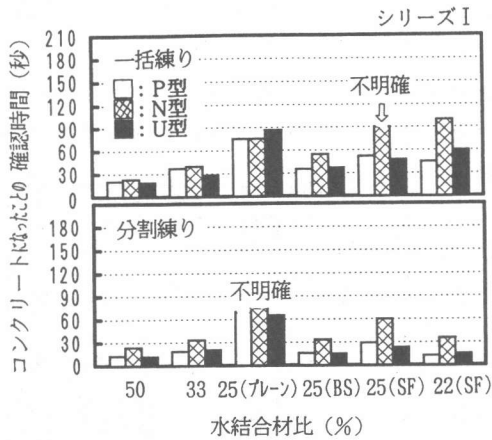


図-3 目視によるコンクリートの確認時間

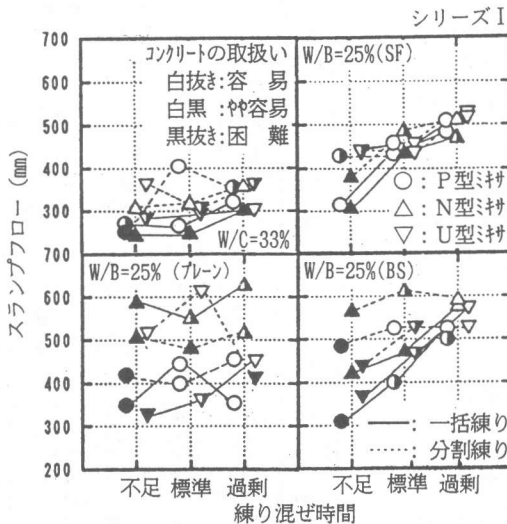


図-4 練り混ぜ時間とスランプフロー

図-6に、水セメント比33%と水結合材比25%の混和材を混入したコンクリートで練り混ぜ時間の標準に対するスランプフローの差を示す。練り混ぜ時間が標準の場合と比較すると、スランプフローの差はこれが不足な場合には小さく、過剰な場合には若干小さくなる傾向にあるが、分割練りでは大差はみられなかった。分割練りのほうがスランプフローの変化量が少ないこと、また、図-7に示すように、練り混ぜ時間の標準におけるミキサ消費電力(ミキサ負荷電流×電圧と時間の積の和)は分割練りが一括練りの約70%であることから、ミキサ負荷電流による練り混ぜ時間の定め方では、先練りモルタルの分割練りのほうが全量投入の一括練りよりも練り混ぜ状況が良いといえよう。

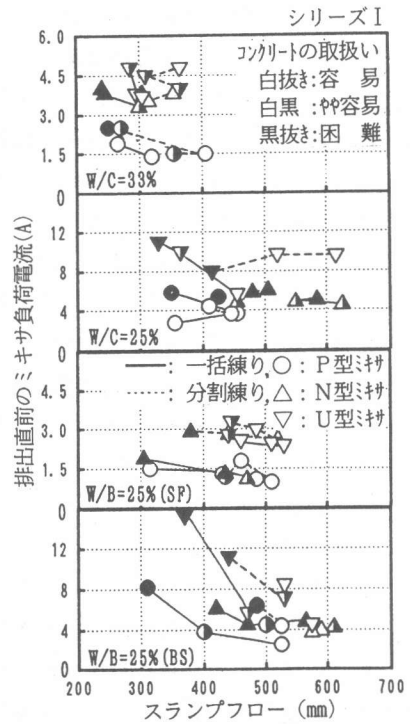


図-5 スランプフローとミキサ負荷電流

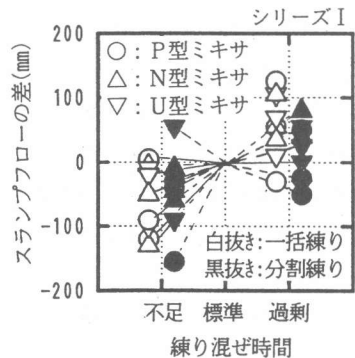


図-6 練り混ぜ時間とスランプフローの差

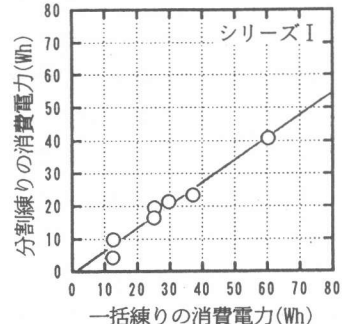


図-7 材料投入順序の違いによる消費電力の関係

なお、同一の調合であっても、コンクリートの取扱いが困難であったコンクリートの圧縮強度は、コンクリートの取扱いが容易であったものと比較すると若干小さくなる傾向にあった〔2〕。

P型ミキサとN型ミキサを用いて練り混ぜ時間と材料投入順序を変えてコンクリートを練り混ぜ、練り混ぜ後のスランプフローの経時変化を調べた結果を、図-8に示す。水結合材比25%のシリカフェームを混入したコンクリートについては、混和剤の使用量を変化させたものも行っている。アジテートは可変速可傾式ミキサ（容量 70 l, 1.5r.p.m）を用いた。

練り混ぜ時間が不足の場合、標準や過剰のものと比較すると、練り混ぜ終了直後のスランプ、スランプフローが小さく、コンクリートの取扱いが困難であったものが、練り混ぜ後30分には逆にスランプフローが若干大きくなり、取扱いには差が認められなくなった。練り混ぜ後30分以降の経時変化には、練り混ぜ時間の違いは認められなかった。なお、練り混ぜ時間が過剰の場合でも、練り混ぜ直後より練り混ぜ後30分までスランプフローが増加していることから、実験で用いた混和剤の徐放効果が考えられる。

ミキサの種類および材料投入順序の影響をみると、練り混ぜ終了直後からのスランプフロー増加量は、N型ミキサのほうがP型ミキサよりも大きく、また一括練りのほうが分割練りよりも大きかった。なお、空気量の経時変化には練り混ぜの影響はあまり認められなかった〔2〕。

以上により、標準時間、すなわち、ミキサ負荷電流がほぼ平衡となる時間だけ練り混ぜると、コンクリートの練り混ぜ状況が良くなり、取扱いが容易となり、スランプフローや空気量の変化が少なくなることから、適正な練り混ぜ時間であると考えられる。

以下の実験では、適正な練り混ぜ時間だけ練り混ぜたものを対象とする。

3. 4 コンクリートの調合の影響

(1) 試験練りミキサの場合

コンクリートの調合と排出時のミキサ負荷電流の関係について図-9～図-11に示す。図-9、図-10より、ミキサ負荷電流はミキサの種類や練り混ぜ容量によって異なるが、水セメント比が小さくなると大きくなり、目標スランプフローが同じでも単位水量が多いと小さくなった。また、シリカフェームを混入するとコンクリートの取扱いが容易となり、ミキサ負荷電流もプレーンコンクリートと比較して大幅に小さくなった。また、シリカフェームの混入率を30%としてもコンクリートの取扱いには変化がなく、ミキサ負荷電流にも差は認められなかった。高炉スラグ微粉末では30%～50%の範囲で混入すると、プレーンコンクリートと比較してミキサ負荷電流は若干小さくなる程度であったが、70%とすると逆に大きくなり、コンクリートの取扱いが極めて困難となった。図-11より、粒度調整セメントを用いた場合と普通ポルトランドセメントを単独で用

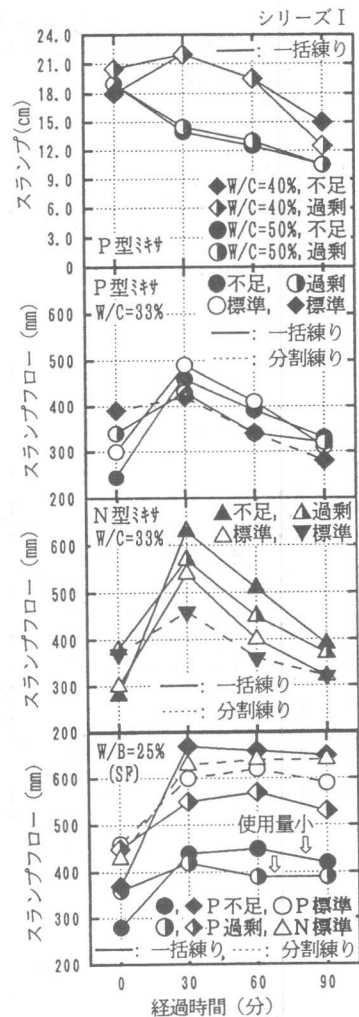


図-8 スランプフローの経時変化

いた場合のコンクリートと比較すると、目標スランプフローが同じでも、前者のほうがコンクリートの取扱いが容易であり、ミキサ負荷電流も小さくなっている。

以上のように、ミキサ負荷電流が小さくなるとコンクリートの取扱いも容易となることがわかる。

(2) 実機練りミキサの場合

コンクリートの調合と排出時のミキサ負荷電流の関係について図-12~図-15に示す。

図-12により、設計基準強度 (F_c と略す) が 600 kgf/cm^2 級, $W/C=27\%$ のコンクリートの練り混ぜ量 $1.5, 1.75, 2 \text{ m}^3$ のミキサ負荷電流は、スランプ約 21 cm のものと約 25 cm のものでは、練り混ぜ量が多くなるとミキサ負荷電流は大きくなる傾向にあった。また、スランプが大きくなるとミキサ負荷電流は小さくなった。一方、 $F_c 1000 \text{ kgf/cm}^2$ 級, $W/B=20\%$ のコンクリートでは、練り混ぜ量による差はほとんど認められなかった。

結合材水比およびシリカフェュームの混入の有無とミキサ負荷電流の関係は図-13に示すように、実機練りミキサについても試験室練りミキサとほぼ同じであるといえる。

スランプフローとミキサ負荷電流の関係は図-14に示すようであり、 $F_c 600 \text{ kgf/cm}^2$ 級ではコンクリートの練り混ぜ量が同一の場合、スランプフローが大きくなるほどミキサ負荷電流は小さくなり、スランプフローが約 100 mm 大きくなると 3 A 程度小さくなる。また、スランプフローが同じでも、混和剤の銘柄が異なるとミキサ負荷電流は異なった。

$F_c 1000 \text{ kgf/cm}^2$ 級のは、スランプフローが $400 \sim 700 \text{ mm}$ の範囲ではスランプフローの違いによってミキサ負荷電流にはそれほど大きな違いが認められなかった。

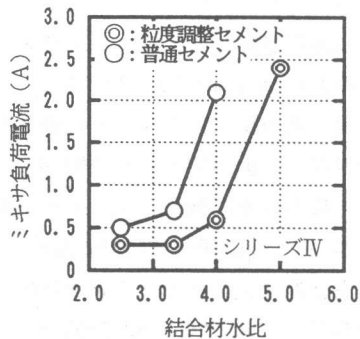


図-11 粒度調整セメントと普通セメントの関係

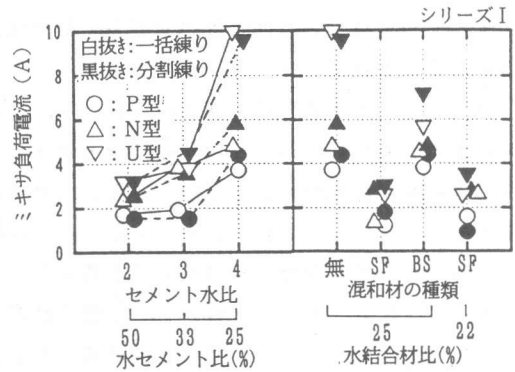


図-9 水セメント比および混和材の影響

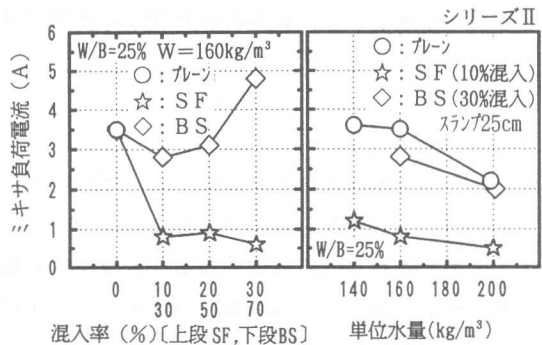


図-10 混和材混入量と単位水量の影響

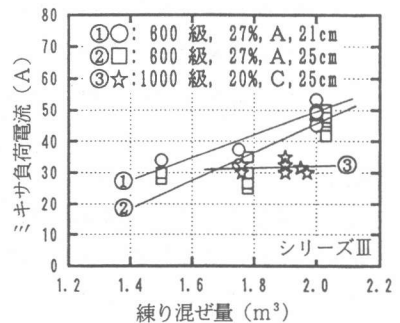


図-12 練り混ぜ量の影響

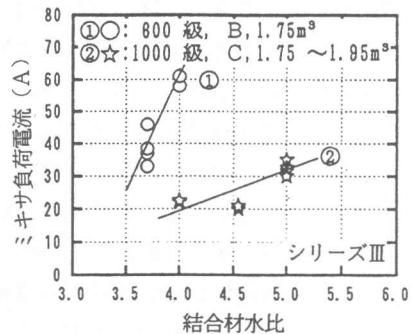


図-13 水結合材比の影響

また、粗骨材投入直前と排出直前のミキサ負荷電流の関係は図-15に示すようであり、モルタルの練り混ぜ終了時のミキサ負荷電流から、コンクリートのスランプフローの推定が可能である。

以上をまとめると、同一調合の場合には、ミキサ負荷電流はスランプフローとほぼ直線的な関係が得られることから、降伏値の指標とすることができると考えられる。さらに、ミキサ負荷電流は混和剤の種類やセメントの一部をシリカフェームで代替するとスランプフローが同じでもミキサ負荷電流の値が異なるため、粘性の指標としても考えることができることを示唆している。今後、ミキサ負荷電流とコンクリートのレオロジーについての詳細な検討が必要であるが、ミキサ負荷電流は高強度コンクリートの取扱いの程度を表す指標として、製造時の合理的な品質管理方法として有効であるといえよう。

4. まとめ

- (1) ミキサ負荷電流の変化の様子は、高強度コンクリートの練り混ぜ状況を表している。
- (2) ミキサ負荷電流がほぼ平衡となる時間は適正な練り混ぜ時間であり、この時間で高強度コンクリートの練り混ぜ状況が良くなり、取扱いが容易となる。
- (3) 適正な練り混ぜ時間では、ミキサ負荷電流が小さいほうが、高強度コンクリートの取扱いが容易となる。
- (4) ミキサ負荷電流は、高強度コンクリートの製造時の合理的な品質管理方法の指標となる。

〔謝辞〕

実験に際して、(社)建築業協会、コンクリート用化学混和剤協会、(社)セメント協会、日産建設(株)の須藤米治氏および東京大学建築学科友沢研究室の皆様の御協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 〔1〕岸，渡部，牧野，山田：練り混ぜ進行過程におけるコンクリートの物性および均一性
コンクリート工学年次論文報告集9-1, pp. 121~126, 1987. 6
- 〔2〕田中，須藤，平間，榊田，阿部他：高強度コンクリートの練り混ぜに関する基礎的実験
日本建築学会大会学術講演梗概集(A)， pp. 407~412, 1992. 8
- 〔3〕安田，榊田，阿部：実機プラントにおける高強度コンクリート製造時の負荷電流
日本建築学会大会学術講演梗概集(A)， pp. 305~306, 1992. 8
- 〔4〕塩見，榊田，阿部，安田他：超高強度コンクリートの調合方法に関する実験
日本建築学会大会学術講演梗概集(A)， pp. 279~282, 1992. 8
- 〔5〕関連文献として，友沢，陳，細谷：高強度コンクリート用バインダーの開発および性能
評価に関する基礎的研究，セメント・コンクリート論文集，N046, 1992, pp. 832~837

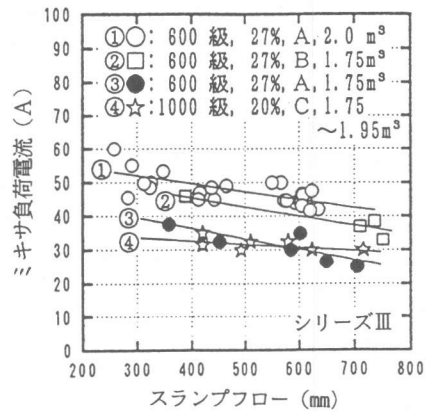


図-14 スランプフローの影響

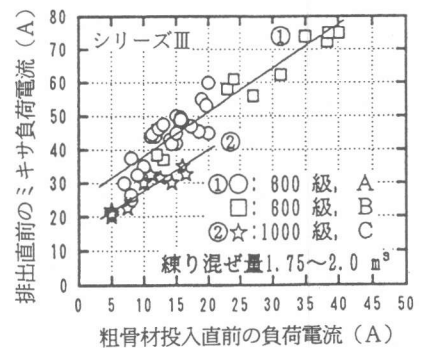


図-15 ミキサ負荷電流の関係