

報告 ミキサ負荷電流による高流動コンクリートの製造管理

立山創一^{*1}・福岡信^{*2}

要旨: 本報告は、通常の生コンプレントにおいて「粉体系」高流動コンクリートを製造する場合の品質管理手法として、製造時リアルタイムで特性値を把握可能なミキサ負荷電流値に着目し、実打設時に検討を行ったものである。結果は、①最大ミキサ負荷電流値によって出荷時スランプフローを推定することは十分可能である。②出荷時スランプフローは $\{(\text{最大ミキサ負荷電流} - \text{排出直前の最小値}) \times \text{時間} / 2\}$ の値と最も相関が高かった。③荷卸し時スランプフローには運搬時間等の経時によるスランプフローの変動要因が加わるため、ミキサ負荷電流値による推定は困難であるとの知見が得られた。

キーワード: 高流動コンクリート、ミキサ負荷電流値、スランプフロー、フロー時間

1. はじめに

通常の生コンプレントにおいて製造の比較的容易な「粉体系」高流動コンクリートは、使用材料の種々の変動の影響（特に細骨材の表面水の変動）を受けやすいことがよく言われている〔1〕。実製造時に、フレッシュ性状の安定した「粉体系」高流動コンクリートを製造するためには、出荷時のフレッシュ性状確認の試験頻度をあげる方法が考えられる。製造の効率を考えると、練混ぜ時間の長い高流動コンクリートに、性状確認の試験時間まで加味することは、実際の工事においては、それらの所要時間によって打設量が拘束を受ける結果となるために、あまり現実的ではない。製造中にフレッシュ性状を確認できる方法が望ましいと思われる。

現在、練混ぜ中のミキサ負荷電流値によってフレッシュ性状の推定が可能であるとの報告がある〔1〕。そこで今回の実打設時に、製造中にリアルタイムで特性値を把握できるミキサ負荷電流値によってフレッシュ性状を推定する場合、どの時点のミキサ負荷電流値による推定が精度が高いのか調査した。

2. 試験方法

2. 1 練混ぜ方法

高流動コンクリートの打設は2回に分けて実施された。練混ぜ方法は表-1に示すように、モルタル先練り法である。練り時間は、2回目は練混ぜ時間短縮の目的でモルタル練り時間を1回目より10秒長くし、碎石投入後20秒短縮し合計で10秒短縮した。これは、モルタルを十分練る方が、練混ぜ効率の向上に効果があるとの報告〔2〕を基に、当日の排出時のミキサ負荷電流値の波形の安定度を確認した上でこの練り時間とした。

2. 2 調合及び使用材料

調合は表-2に、使用材料は表-3に示すとおりである。特徴は、ポンプ圧送性改善の目的でシリカフュームを粉体量（セメント+シリカフューム）の内割りで2.6%混入しているところである。目標スランプフローは $67 \pm 5\text{cm}$ 、空気量は $2.0 \pm 1.0\%$ である。

*1 安藤建設(株)技術研究所材料研究室主任、工修（正会員）

*2 安藤建設(株)技術研究所材料研究室室長、工博（正会員）

表-1 練り混ぜ方法

回数	ミキサ形式	ミキサ容量	練り混ぜ量	投入順序及び練り混ぜ時間
1回目	2軸強制	3.0 m ³	2.5 m ³	W+SP+SF+S+C-60秒→G-60秒→排出
2回目	練り			W+SP+SF+S+C-70秒→G-40秒→排出

記号=W:水, SP:高性能A E 減水剤, SF:シリカフューム, S:砂, C:セメント, G:碎石

表-2 高流動コンクリートの調合

水粉体比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能A E 減水剤(C+SF*%)	
		セメント	シリカフューム	水	砂		
31.9	50.0	519	14.0	170	831	856	1.3~1.6

なお、高性能A E 減水剤の練混ぜ開始時の添加量は、コンクリートの分離を防ぐために試験練りによって定めた添加量より0.2%少ない値とし、測定したスランプフロー結果により1.6%まで増加させた。練混ぜ中の砂の表面水の変動に対しては、水量（表面水設定を変更）により調整を行った。

2.3 コンクリートの試験方法

フレッシュコンクリートの試験方法は、スランプフロー試験が土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法（案）」であり、フロー時間の測定方法は、コーン引き上げからフロー停止までの時間である。

試料のサンプリングは、約20秒間生コン車のドラムを高速回転し攪拌の後、初流の30秒のコンクリートを廃棄した後採取した。

2.4 ミキサ負荷電流の測定方法

ミキサ負荷電流の代表的な測定結果例を図-1に示す。

測定はクランプメータを用い1秒間に20回の電流値を測定した。ミキサ負荷電流はミキサ空練り時の負荷を差し引いて求めた。

今回は、練り混ぜ方法がモルタル先練り法であるために、モルタル練り混ぜ時と碎石投入後のコンクリート練り混ぜ時の両方にピークがある。本報告では、より迅速にコンクリートのフレッシュ性状を把握できる可能性のある、モルタル練り混ぜ時の最大負荷電流値（以下MOR. MAXと略称）及び、碎石投入直前の最小負荷電流値（以下MOR. MINと略称）、また、コンクリートの練り混ぜ時の最大負荷電流値（以下CON. MAXと略称）及び排出直前の最小負荷電流値（以下CON. MINと略称）の4時点の負荷電流値とスランプフロー及びフロー時間との関係を調査した。

3. 結果及び考察

3.1 出荷時スランプフロー及びフロー時間との関係

表-3 使用材料

材料	産地、銘柄、品質
セメント	高炉セメントB種、比重=3.04、比表面積=3940cm ² /g
細骨材1	山砂（細目、50%）、比重=2.57、F.M=2.16
細骨材2	石灰碎砂（粗目、50%）、比重=2.67、F.M=3.20
粗骨材	石灰碎石、比重=2.70、F.M=6.62
高性能A E 減水剤	末端スルホン基を有する ポリカルボン酸系
シリカフューム	SiO ₂ =91.2%、比重=2.2、平均粒径=0.15μm

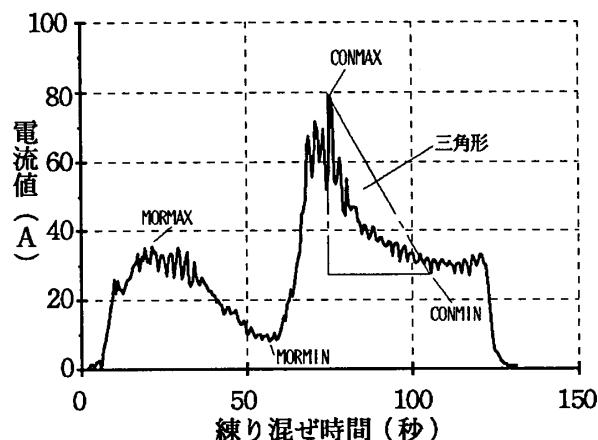


図-1 ミキサ負荷電流測定例

4 時点での負荷電流値と出荷時のスランプフローの関係を図-2 に示す。

出荷時のスランプフローと最も高い相関 ($r = 0.904$) を示したのは、CON. MAX の負荷電流値であった。勾配も他の 3 時点のものより立っており、スランプフローの変動に対して今回検討した 4 時点の中で最も敏感であることが判る。

他の 3 時点での負荷電流値は、MOR. MIN、CON. MIN、MOR. MAX の順で相関が低くなつた。各相関係数は 0.785, 0.734, 0.598 であり、MOR. MAX による出荷時のスランプフロー推定は困難であろう。

フロー時間に関しては図-3 に示すように CON. MAX との間に 0.546 程度の相関が認められる程度であった。

しかし、1 回目、2 回目を別々に相関を取り直すと、相関係数は約 0.7~0.9 と高い相関を示した。これは、練混ぜ方法よってフロー速度が変化したため、データを分割しない場合、相関が低くなつたものと思われる。

また、今回検討した 4 時点の負荷電流値に関して全波形を観察したところ、スランプフローが小→大になると CON. MAX 負荷電流値：大→小、CON. MIN 負荷電流値：大→小、CON. MAX から CON. MIN 迄の時間：長→短になる傾向が認められた。この傾向を簡略的に求めた数値（図-1 に示す三角形の面積 $\{ (CON. MAX - CON. MIN) \times CON. MAX から CON. MIN 迄の時間 (秒) \times 1/2 \}$ ）とスランプフローとの関係を調査したところ、図-4 にあるように相関係数は 0.964 と今回調べた中では最も高い相関を示した。

これは、今回検討対象とした 4 時点での負荷電流値と違い、時間の要素が入つた数値であるために相関が高くなつたものと考えられる。

ただ、製造中にリアルタイムで算出するには、現在の生コン工場の設備（ほとんどの工場は未だ練混ぜ時の電流負荷がディスプレイに表示されず、かつデータとして取り込める設備はなく、負荷電流はメータ表示のみ）で把握するには、やや困難な数値である。後付けによって、計測および解析が可能な装置を搬入可能であれば、この数値も有効であるが、現状では、電流メータにて読みとり可能な CON. MAX によるスランプフロー推定が現実的であると考える。

CON. MAX によって出荷時のスランプフローを管理する場合、今回の実験結果からその精度を推定すると約 ± 10 cm

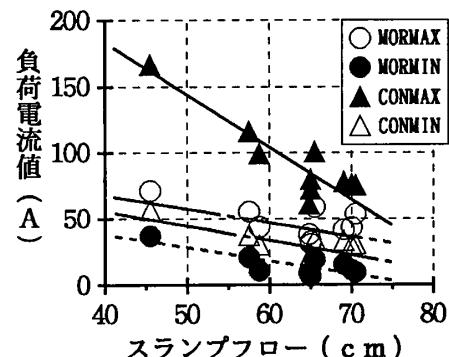


図-2 出荷時スランプフローと負荷電流値

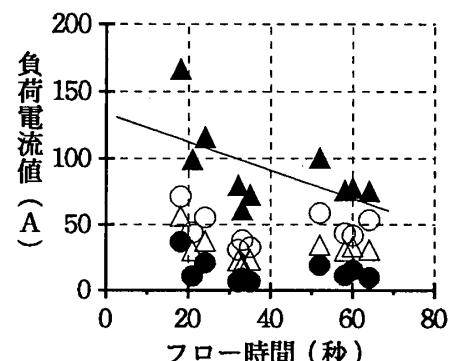


図-3 出荷時フロー時間と負荷電流値

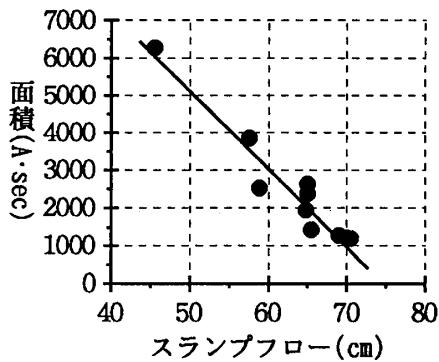


図-4 出荷時スランプフローと三角形面積

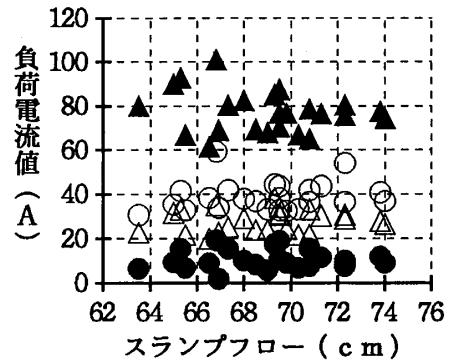


図-5 荷卸し時スランプフローと負荷電流値

程度で管理可能である。

3. 2 荷卸し時スランプフロー及びフロー時間との関係

4 時点での負荷電流値と荷卸し時のスランプフローおよびフロー時間の関係を図-5 および 6 に示す。

荷卸し時のスランプフローは運搬及び待機による経時変化の影響を含んでいるために、出荷時に比べどの時点の負荷電流値も相関は認められなかった。最も相関の高いCON. MAXでも相関係数は0.251しかなく、ミキサ負荷電流値による荷卸し時のスランプフローの単純な推定は困難である。荷卸し時のスランプフロー推定には経時変化による影響を考慮する必要がある。

図-6 に示すフロー時間も同様に、相関は認められなかった。

3. 3 スランプフローと圧縮強度の関係

スランプフローによって圧縮強度の推定が可能であるかどうか検討を行った。荷卸し時のスランプフローと材齢28日標準養生供試体の圧縮強度である。結果は図-7 に示すとおり、相関は認められなかった。

高流動コンクリートの場合、スランプフローの変動が水量の影響だけによるものでなく、砂の粒形や粒度分布の変動による影響も大きいために今回のような結果となったものと思われる。

4. まとめ

結果をまとめると以下のとおりである。

①CON. MAX時点のミキサ負荷電流値による、出荷時のスランプフローはおおよそ±10cmの精度で推定可能である。②出荷時のスランプフローと最も相関の高かったのは (CON. MAX - CON. MIN) × 時間 × 1/2 で求められる三角形の面積であり、この数値をほぼリアルタイムで把握できる装置を設置できれば出荷時のスランプフローを±4cm程度で推定できる。③荷卸し時のスランプフローは、運搬時間及び待機時間による経時変化の影響を受け、ミキサ負荷電流値による単純な推定は不可能である。

〔謝辞〕最後に、実験を行うに当たり、ご協力を戴きました、竹本油脂(株)、日立コンクリート(株)戸田橋工場の関係者の皆様に感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 若松 岳ほか：ミキサ負荷電流を利用した高流動コンクリートコンクリートの製造管理の一考察、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、pp. 25-32、1994. 5
- 2) 大友 健ほか：水中不分離性コンクリートの流動性を向上させる練り混ぜ方法に関する研究、コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集、pp. 1-8、1992. 5

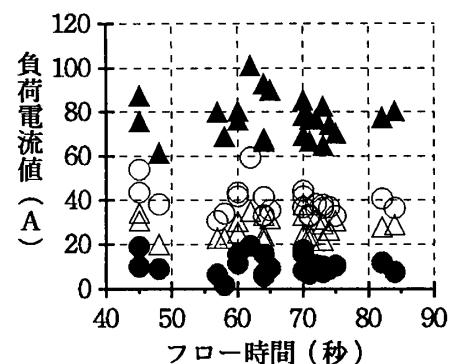


図-6 荷卸し時フロー時間と負荷電流値

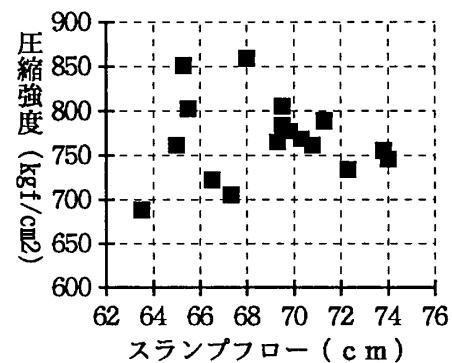


図-7 荷卸し時スランプフローと圧縮強度