

論文

[1175] 2軸強制練りミキサ内のコンクリートの練混ぜ機構の可視化

橋本親典^{*1}・平井秀幸^{*2}・辻 幸和^{*3}・田村 真^{*4}

1. はじめに

最近、コンクリートの製造技術は急速な進歩を遂げてきており、高強度コンクリートや締固め不要コンクリートに代表される”高級コンクリート”の開発により、これまで以上の高性能なコンクリートミキサの開発設計が要求されている。しかし、コンクリートミキサの練混ぜ性能は、JIS A 1119「ミキサで練り混ぜたコンクリート中のモルタルの差および粗骨材量の差の試験方法」による製造後のコンクリートの品質検査でしか判断されていないのが現状である。

これまでのコンクリートミキサのフレッシュコンクリートの製造に関する研究は、可傾式バッチミキサを対象とした加場らの研究[1]以外、ミキサの消費電力[2]等の間接的な指標による評価方法がほとんどである。これは、コンクリートミキサ内に複数のブレードが存在しブレード周辺のコンクリートの挙動が非常に複雑になり一種のブラックボックスであるためである。

著者らはこれまでに、コンクリートミキサの性能評価方法の確立を目的とし、著者らが開発してきた実験室規模で行うコンクリートの流動に関する可視化実験手法を用いて、2軸強制練りミキサ内のコンクリートの流動性状を定量化することを試みている[3]。

本研究では、2軸強制練りミキサ内のコンクリートの流動性状の定量化を目的とし、パドル配列の角度の違いがコンクリートの流動機構に及ぼす影響について検討し報告するものである。

2. 実験概要

図-1に、本実験で用いた2軸強制練りモデルミキサの概要を示す。モデルミキサの容量は、50リットルであり、公称1.5m³の実機ミキサの1/3モデルである。ミキサの容器と個々のパドルはすべて透明アクリル樹脂製である。したがって、モーター部分とミキサを固定する架台によって遮られている部分以外は、どの方向からもミキサ内部が透視できるようになっている。

主たる実験パラメータであるパドル配列の角度は、90度と45度の2種類である。図-2にパドル配列の角度を示す。両パドル配列角度ともパドルの数はシャフト1本につき7枚と一定である。

本実験では、ミキサ内のコンクリートの練混ぜ

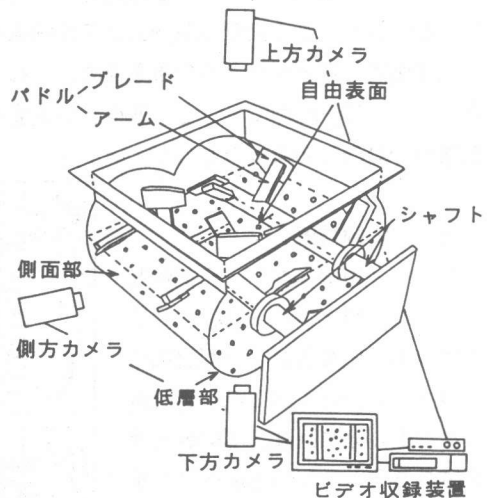


図-1 実験概要

*1 群馬大学助教授 工学部建設工学科、工博（正会員）

*2 東京電力(株)群馬支店工務部、工修（正会員）

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博（正会員）

*4 石川島建機(株)プラント事業部設計グループ

機構を解明する基礎的研究としての観点から、まずミキサ内をコンクリートがどのように動いているかを定量化することを試みた。したがって、従来の可視化実験で用いた粗骨材粒子群とモルタル相から成る固液2相系混相流体モデルでは、内部の挙動を明確に追跡することが不可能である。そこで、本実験では、フレッシュコンクリートの可視化モデルとしては、最も簡単な1相系の粘性流体を採用し、1相系粘性流体中のトレーサ粒子の挙動を追跡することとした。

フレッシュコンクリートの可視化モデルには、高吸水性高分子樹脂を水に添加して得られる無色透明な粘性流体を用いた。添加量は3.0g/リットルで一定とし、得られる粘性はPロートによるフロー試験で200秒程度の流下時間で調整した。この流下時間は、Pロート試験において試料が途切れなくて一定の流速で流下することができる

最大流下時間であり、コンクリートの可視化モデルの対象を低スランプコンクリートに想定した。

また、フレッシュコンクリートの1相系粘性流体モデルの力学的挙動を追跡するために、着目トレーサ粒子として、粒径10~15mm、比重1.45の人工軽量粗骨材粒子を可視化モデル中に少量混入した。したがって、本人工軽量粗骨材粒子は、粗骨材モデルではない。

撮影箇所は、ミキサ内が透視可能なミキサの上方から撮影したミキサのモデルコンクリート自由表面とミキサの下方から撮影したミキサ底部のモデルコンクリート低層部とミキサのシャフトに垂直な方向の側面から撮影したモデルコンクリート側面部の計3箇所とした。画像処理方法としては、ビデオ画像を、シャフトが1回転する時間を8等分した時間間隔内に、画面に出現するトレーサ粒子群の単位時間あたりの移動距離を求め、2次元平面内の速度ベクトル分布を求めた。

撮影された画像データから画像処理の平均化を行うために、画像処理するデータの時刻は、連続しないシャトル1回転時間分のビデオ画像を任意に3~5回抽出し、同じ計測シーンを3回以上画像処理し速度ベクトル分布を求め、それらを重ね合わせて各計測シーン毎の速度ベクトル分布とした。同一計測シーンで、取得した速度ベクトル総数は、自由表面、側面部で最低100点以上、低層部で最低160点以上とした。

3. 実験結果

3.1 速度ベクトル分布状況

図-3、図-4および図-5に自由表面、低層部および側面部の速度ベクトル分布図を示す。各速度ベクトル分布図は、本実験で計測された8シーンの速度ベクトルを前半、後半の4シーン毎に重ね合わせ、シャフト1/2回転時間内に発生した速度ベクトル群をパドル配列角度別に比較したものである。

ミキサ上部の自由表面では、パドル配列角度の大きさに関係なく、

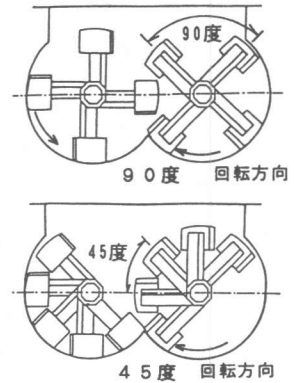


図-2 パドル配列角度

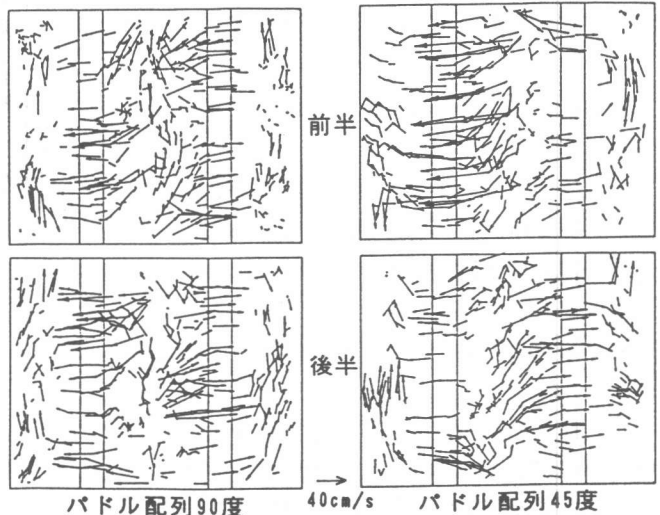


図-3 自由表面の速度ベクトル分布状況図

パドル回転方向（以後、回転方向と称する）の速度ベクトルが大きく、シャフト軸水平方向（以後、軸方向と称する）の速度ベクトルは回転方向の速度ベクトルと比較して小さい。特に回転方向の大きな速度ベクトルは、モデルコンクリートがシャフトを乗り越える場合に発生する。パドル配列90度の場合、シャフトを乗り越えるシャフト垂直方向の速度ベクトルが前半・後半に問わず左右のシャフトに存在し、自由表面全領域のモデルコンクリートが常に流動する。一方、パドル配列45度の場合、前半時には左側のシャフト付近に、後半時には右側のシャフト付近に速度ベクトルが多く発生しており、シャフト回転時間によってモデルコンクリートの流動領域に偏りがある。

ミキサ下部の低層部では、自由表面とは異なり、回転方向と軸方向の速度ベクトルの大きさに差異は見られず卓越した流動方向が存在しない。パドル配列90度の場合、シャフト回転時間に関係なく左右にある程度の大きさの速度ベクトルが発生し、自由表面の流動状況と同様である。また、パドル配列45度の場合においても、前半時では計測画面右側に大きな速度ベクトルが存在し、後半時では左側に大きな速度ベクトルが存在し自由表面の流動と同様である。

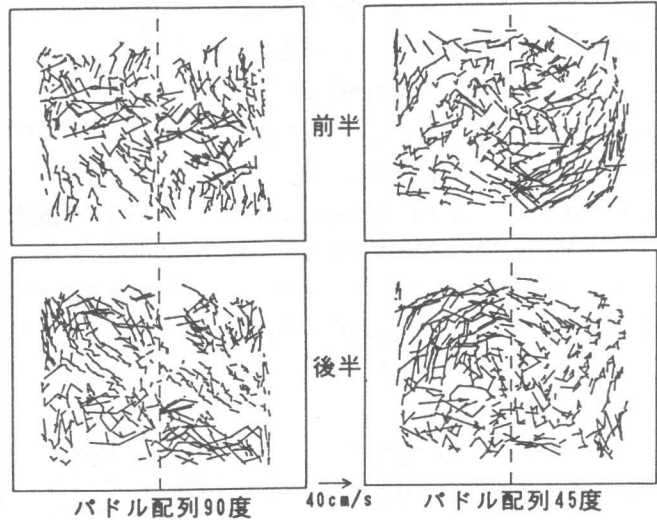


図-4 低層部の速度ベクトル分布状況図

ミキサの側面部においては、上記のようなパドル配列の違いによる前半・後半の速度ベクトルの分布の相違が現れた。パドル配列90度の場合、前半時と後半時において自由表面から低層部へ流動するベクトルが存在するのに対し、45度では前半時だけに自由表面から低層へ大きな速度ベクトルが存在する。

シャフト回転時間によって発生する速度ベクトル分布の相違は、モデルコンクリート自由表面下に存在するパドルの位置の違いによると考えられ、以下のように説明することができる。

パドル配列90度では2本のシャフトのパドル7枚が常に同じ枚数だけモデルコンクリートの自由表面下に存在する。したがって、シャフト回転時間に関係なく常にどちらのシャフト側のモデルコンクリートもパドルの回転運動による練混ぜが行われミキサ全領域が流動する。

これに対し、パドル配列45度ではシャフト回転前半・後半時で、2本のシャフトのパドルが交互にモデルコンクリートの自由表面下に存在するため、パドルの回転運動による練混ぜが2本のシャフトで同時に行われない。その結果、どちらか一方のシャフトで練混ぜが集中することになり、ミキサ全領域が流動せず2本シャフト軸を中心に交互に流動領域が出現する。

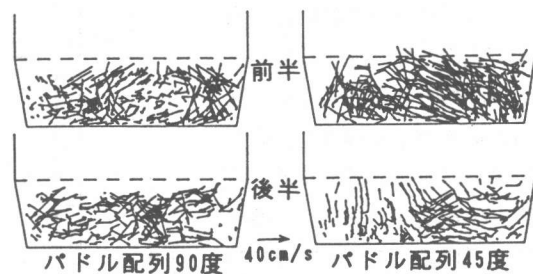


図-5 側面部の速度ベクトル分布状況図

4. 考察

4. 1 速度ベクトルの速度成分の平均値の分布状況

シャフト1回転の前半時と後半時の速度ベクトル分布状況図を基に、自由表面、低層部および側面部でのモデルコンクリートの流動状況を定量化するために、計測画面を自由表面と低層部では縦横8等分割の計64等分割し、側面部では縦に8等分割し、それぞれの分割領域内に存在する速度ベクトルを集計し、その分割領域内毎に速度ベクトルの速度成分の平均値を求めた。図-6に計測画面要素分割図を示す。速度成分は回転方向と軸方向とし、計測画面上で左側および上側へ流動する方向をそれぞれ正とした。

図-7に自由表面での速度成分ベクトルの平均値の分布状況を示す。ベクトル分布図の右上の数値は、全領域内における回転方向と軸方向の速度の大きさ(絶対値)の比である。自由表面では、パドル配列角度にかかわらず回転方向の速度が軸方向の速度の2倍程度であり、回転方向に卓越した流動である。回転方向の速度ベクトルは、パドル配列角度にかかわらずミキサ中心付近から外側へ分布し、ベクトルの大きさがシャフト上で大きくなる。軸方向速度ベクトルは逆にシャフト上で減少する。

図-8に低層部での速度成分ベクトルの平均値の分布状況を示す。パドル配列角度にかかわらず、回転方向と軸方向の速度割合が同程度である。パドル配列90度の場合、回転方向の速度ベクトルはシャフト回転時間に関係なく、左右の領域で中心線方向に向く速度ベクトルが発生する。軸方向の速度ベクトルは、各分割領域において一様な流動方向が存在しない。一方、パドル配列45度の場合、回転方向の速度ベクトルは計測画面全体にわたって、前半時に左

向きに流動し、後半時は逆に右向きの流動が卓越する。特に、前半は計測画面の右下側の領域で、後半では左上側で活発な流動が行われる。軸方向速度成分は、シャフト回転時間にかかわらず中心線を境に流動方向が対称になる。したがって、パドル配列45度における低層部では、常に一定の流動方向が存在する。

図-9に側面部の速度成分ベクトルの平均値の分布状況を示す。パドル配列45度の場合、前半時において全計測領域で、回転方向、軸方向の速度成分が大きく、計測画面の右側ほど増加す

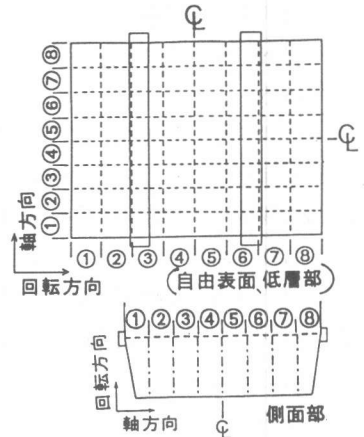


図-6 計測画面分割図

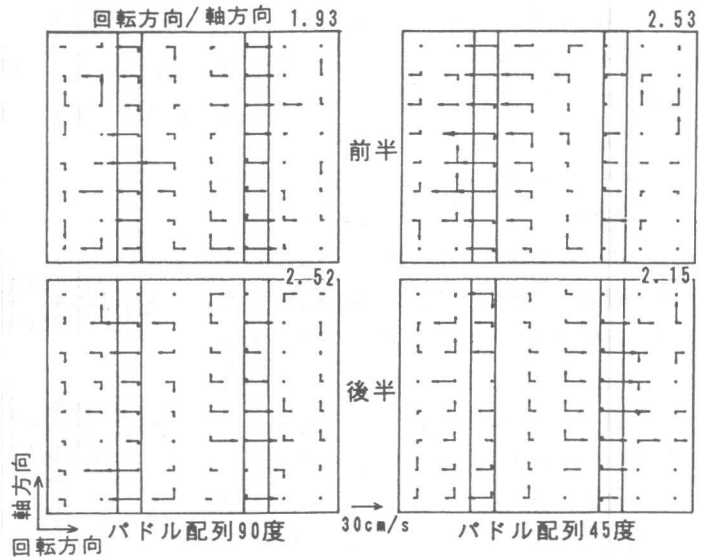


図-7 自由表面の速度ベクトル成分の平均値の分布状況

る。後半時には、各速度成分とも前半の逆方向に流動しその大きさも小さく、計測画面の左側ほど軸方向は減少し回転方向は増加する。パドル配列90度では、常に計測領域の速度成分ベクトルの大きさ・方向が変化しており一様な流れが存在しない。しかし、前半時・後半時を重ね合わせると、軸方向は計測画面の右側へ流動し回転方向は自由表面から低層部へ流動し、概ね45度と同様な流動方向となる。

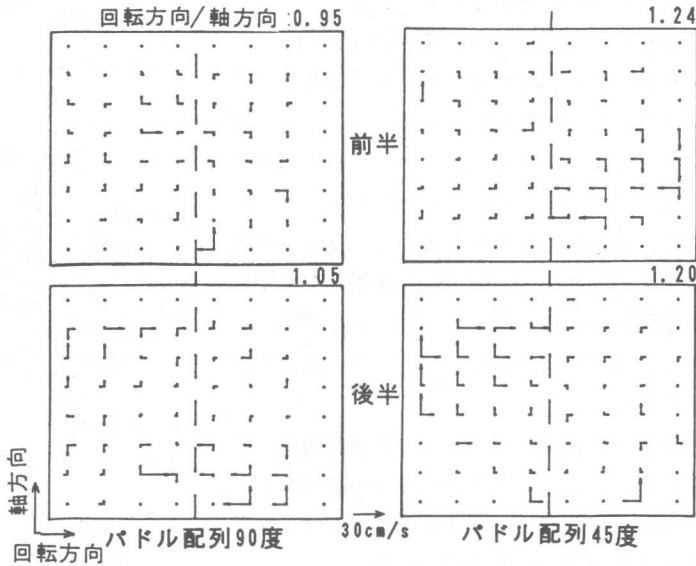


図-8 低層部の速度ベクトル成分の平均値の分布状況

4.2 2軸強制練りミキサの流動機構のモデル化

図-10にシャフト軸回りに形成される流動の概要図を示す。また、図-11、図-12はパドル配列角度90度ならびに45度における2軸強制練りミキサの流動機構を示す。

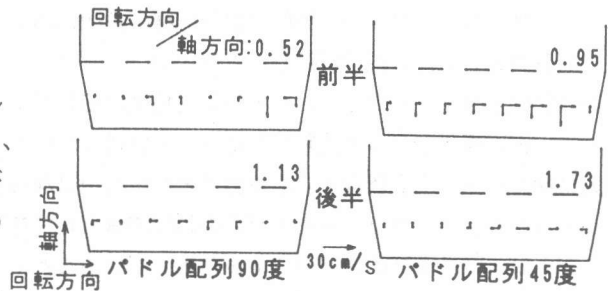


図-9 側面部の速度ベクトル成分の平均値の分布状況

パドル配列角度90度、45度ともに、7枚のパドルはシャフトの軸回転によつてらせん状の回転運動をするように、アームとパドルの取り付け角度が調整されている。したがって、1本のシャフト軸回りに形成されるモデルコンクリートの流動は、図-10に示すらせん状の回転流動（以後、らせん流動と称する）となり、パドル配列角度に関係なく形成される。らせん流動は、パドル1枚毎に形成される回転流動と7枚のパドルの回転によつて形成されるシャフト軸に平行な一方向流動の重ね合わせと考えることができる。

2軸強制練りミキサは、シャフトが2本あるため、シャフト1回転時間中に2つのらせん流動がミキサ内に存在する。2本のシャフトの回転流動は、ミキサ中心軸から外側に向かって回転するため、並列に存在する2つの一方向流動の向きは逆方向になる。この逆方向の流れによつ

てミキサ内のコンクリートが循環する。

パドル配列角度が90度の場合、常に2本のシャフトのパドルのいずれかが自由表面下に存在するため、2つのらせん流動がミキサ中心軸付近で常に交錯する領域が頻繁に発生する(図-11参照)。この交錯する領域において、局所的なコンクリートの練混ぜが活発に行われるものと考えられる。

一方、配列角度が45度の場合、シャフト回転前半時と後半時で自由表面下に存在するパドルが両シャフトのときよりも片方のシャフトに集中するときの方が長い。そのため、2つのらせん流動は同時に存在するときよりも、シャフト回転前半時と後半時で交互に出現する傾向になる。したがって、2つのらせん流動が交錯する領域の発生頻度が減少し、交互に出現するらせん流動による逆向きの一方向流動が卓越し、結果としてミキサ全体の循環流が明確に現れる(図-12参照)。この循環流の存在は、ミキサ全体のコンクリートの練混ぜに有効であると予想される。

コンクリートの練混ぜの観点からミキサ内の流動機構を考えると、局所的な練混ぜとミキサ全体の練混ぜが必要であり、2つのらせん流動が交錯する領域の存在とミキサ全体の循環流はどちらも重要な流動機構であると思われる。

5. 結論

ミキサ内のコンクリートの練り混ぜ機構の解明に関する基礎的研究として、2軸強制練りミキサ内のコンクリートの流動性状の定量化を目的とし、パドル配列角度の違いがコンクリートの可視化モデルの流動状況に与える影響について実験的に検討した。本実験内で、以下のことが明らかになった。

- 1) フレッシュコンクリートを1相系の粘性流体としてモデル化した可視化実験手法により計測されたトレーサ粒子群の速度ベクトル分布を用いることにより、2軸強制練りミキサのコンクリート自由表面、低層部および側面部のコンクリートの流動性状を定量化することができた。
- 2) 2軸強制練りミキサ内の流動は、2本のシャフト軸回りのらせん流動の組み合わせとしてモデル化することができる。パドル配列角度が90度の場合は、らせん流動間で交錯する領域が頻繁に発生する流動機構が卓越し、パドル配列角度が45度の場合は、交互に出現するらせん流動によって、ミキサ全体を循環する一方向の流動機構が卓越する。

参考文献

- 1) 加場重正：コンクリートミキサ内における固体粒子の運動について、土木学会論文集、第68号、pp.50-58、1960.5
- 2) 魚本健人ほか：配合設計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、No.442/v-16、pp.109-118、1992.2
- 3) 橋本親典ほか：2軸強制練りミキサ内のコンクリートの流動機構に関する基礎的研究、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集(セメントコンクリート研究会主催)、pp.29-34、1992.10

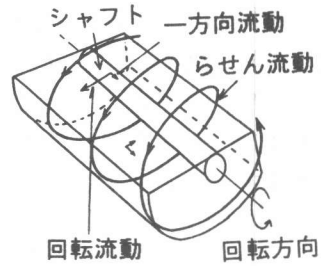


図-10 シャフト軸回りの流動機構

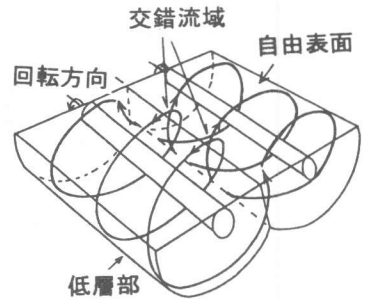


図-11 パドル配列90度の流動機構

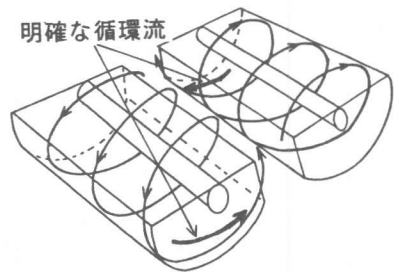


図-12 パドル配列45度の流動機構