

論文

[1079] 連続ミキサ内の羽根形状が流動機構に及ぼす影響

橋本 淳*¹ ・ 橋本親典*² ・ 辻 幸和*³ ・ 加藤裕志*⁴

1. はじめに

連続ミキサは、従来から使用されているバッチミキサとは違い、材料の計量を行いながらミキサに供給する供給装置と供給された材料を混合する混合装置が一体化している。従来、定められた配合の材料を連続的に安定して供給するシステムに問題が指摘されていたが、機械および設備の著しい進歩・発展に伴い十分に信頼できるようになりつつある。材料の供給と混合が同時に行われる連続ミキサは可搬式のコンクリートミキシングプラントとして、容易に打設現場に持ち込み、練混ぜ時間が10～15秒前後と非常に短いため、練混ぜから打設まで時間の余裕のない超速硬コンクリートや吹付コンクリートなどのコンクリートの製造に適用される場合が多い。

連続ミキサの練混ぜ性能の評価として、土木学会規準「連続ミキサの練りませ性能試験方法(案)」[1]で定められており、排出後のコンクリートに対し評価している。しかし、ミキサ内部での練混ぜに対しては、練混ぜ中のミキサ部が完全に密閉されているため、コンクリートの流動が不明のままであり、現場からの経験によりミキサ羽根の形状を決定しているのが現状である。

著者らは、これまでに可視化実験手法を用いることにより、連続ミキサ内部でのコンクリートの流動状況を直接観察するシミュレーション実験を適用し、モデルコンクリートとして、まず1相系での流動性状を定量化した[2]。その結果、一種のブラックボックスであった連続ミキサのミキサ内部におけるコンクリートの流動性状について、新しい知見を得ることができた。

本研究は、モデルコンクリートをより実際のコンクリートに近い固液2相系混相流体にし、フレッシュコンクリートの可視化実験手法による流動機構の定量化を試み、ミキサ羽根の形状が流動機構に及ぼす影響について実験的に検討するものである。

2. 実験概要

(1) モデル連続ミキサ

図-1に、本実験で用いたモデル連続ミキサの可視化実験の概要を示す。本実験では、混合装置であるミキサオーガ部をモデル化したものを使用する。モデルのスケールは実機の1/3である。ミキサ仰角はジャッ

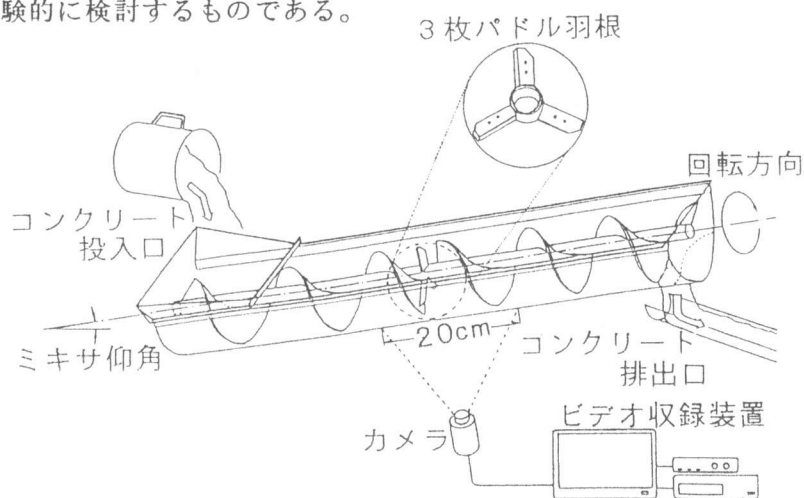


図-1 モデル連続ミキサ概要図

*1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻(正会員)

*2 群馬大学助教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

*3 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

*4 ドーピー建設工業(株)

キにより調節可能である。実機ミキサ底部である硬質ゴム製の周壁部は、透視可能なビニルシート（厚さ2.0mm）を用いた。

主たる実験パラメータであるミキサ羽根を図-2に示す。ミキサ羽根は、着脱可能なもので材料送り用スクリュウ羽根と同一断面に2枚・4枚の羽根を傾斜角30度で取り付けたせん断用パドル羽根（以下それぞれを、2枚パドル・4枚パドルと略する）の3種類で構成される。

(2) モデルフレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの可視化モデルとして、モルタル相と粗骨材粒子群からなる固液2相系混相流体とする。モデルモルタルは、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（比重1.0）を用いた。モデルモルタルの粘性は、P漏斗による流下時間で200秒程度で一定とした。モデル粗骨材は、ミキサ回転時におきる骨材の噛み込みを抑止するため、表面が滑らかなガラス球（粒径12.5mm，比重2.5）によりモデル化する。実際の連続ミキサで用いたコンクリートの配合例を文献調査した結果、モルタルと粗骨材の容積比を0.8で一定とした。

モルタルの流動を追跡するため、着目トレーサ粒子として発泡スチロール粒子（粒径2.0mm，比重0.98）をモデルフレッシュコンクリートに適量混入した。

(3) 試験方法

あらかじめモータの回転数を60rpmにあわせ、モデルコンクリートを順次投入していく。

ミキサ内のモデルコンクリートの流動状況を8mmビデオカメラによって撮影し、ビデオデッキで収録する。

撮影箇所は、材料投入やコンクリート排出による流動の乱れが少ないモデルミキサ中央部20cmとし、下方からモデルミキサの底流を撮る。画像処理方法は、画面に出現する任意のトレーサ粒子の単位時間当たりの移動距離より速度ベクトル分布を求め、2次元平面上に転換し解析する。なお、各トレーサ粒子の計測時間間隔は0.25秒で一定とし、速度ベクトル総数は200個以上とした。

また、撮影領域外は、すべてスクリュウ羽根のみとし、ミキサ仰角は15度で一定とした。

(4) 撮影領域内のミキサ羽根の組合せについて

本研究では、回転軸に装着するミキサ羽根の条件として、下記の2点に着目し、連続ミキサ内のモデルコンクリートの流動機構に及ぼす影響を検討した。

1) ミキサ羽根の組合せ

図-3に、ミキサ羽根の組合せの概要を示す。ミキサ内の働きとして、材料送り用であるスクリュウ羽根のみとした場合と、それにせん断用4枚パドルを

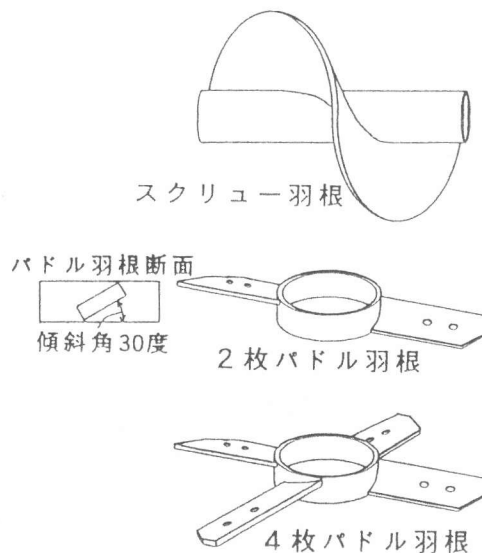


図-2 ミキサ羽根

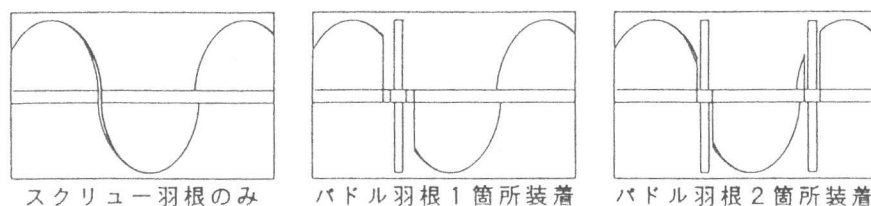


図-3 撮影領域内のミキサ羽根組合せ

1 箇所・2 箇所と装着した場合の3種類とする。

2) パドル羽根の形状変化

せん断用パドル羽根の形状の違いとして、2枚パドル・4枚パドルを用い、撮影領域内に2箇所装着させた場合で検討する。

3. 速度ベクトルと練混ぜ・排出効率との関連性

ミキサ内の流動機構を定量的に評価する指標として、可視化実験から求められた速度ベクトル分布状況からモデルコンクリートの流動の方向および大きさを次のように定義した。

- ・方向 : 排出回転軸方向を基準0度とし、反時計回りを正方向として、個々の速度ベクトルの角度を15度ピッチで分別し、頻度分布を求める。練混ぜが良好な場合、一方向に卓越せず、様々な方向に分散すると考えられる。
- ・大きさ : 個々の速度ベクトルを、回転軸方向と回転軸垂直方向に分解し、2.0cm/sピッチで分別し、それぞれの発生頻度分布を求める。速度における良好な練混ぜとは、ある一定の値に集中せずばらつきが存在し、種々の速度が発生し流動に乱れが存在することが重要と考えられる。また、速度の軸方向成分は滞留時間に関係し、軸方向速度成分が大きい場合排出効率が向上すると考えられる。

4. ミキサ羽根の組合せにおける実験結果および考察

4. 1 速度ベクトル分布状況

図-4に、ミキサ羽根の組合せにおける本実験で得られた速度ベクトル分布状況を示す。スクリー羽根のみでは、斜めの一様な流動になる。4枚パドル装着により装着箇所の前での流動が、軸垂直方向に向かう。逆にパドル羽根を過ぎると自由度が極端に増し、むしろスクリー羽根のみの場合より大きいベクトルが発生している。4枚パドルを2箇所に増加した場合、1箇所目を過ぎたモデルコンクリートは少し軸方向の流動を発生するが、次のパドル羽根が存在するために再び軸垂直方向に向かう。

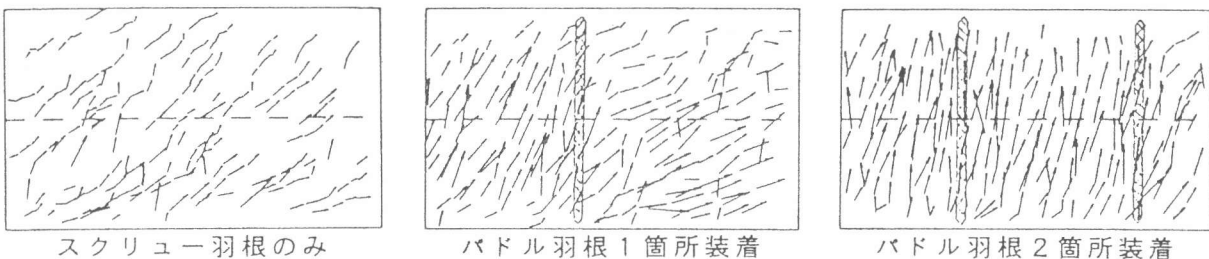


図-4 ミキサ羽根の組合せの違いによる速度ベクトル分布状況図

4. 2 速度ベクトルの方向に関する分布状況

図-5に、計測した速度ベクトル群の角度頻度分布状況を示す。スクリー羽根のみの場合、45度方向の斜めの流動が卓越している。一方、4枚パドル装着は回転軸に対し垂直方向の流動を発生させる。4枚パドルを1箇所装着の場合は、スクリー羽根のみの場合とあまり変化はないが、2箇所装着の場合は、斜めの流動を激減させ極端に垂直方向のみの流動に変化させる。したがってパドルを多数使用することは、練混ぜ効率は良好になるが、排出効率の低下を招く可能性

がある。

4. 3 速度ベクトルの発生頻度分布状況

図-6に、軸方向・軸垂直方向の発生頻度分布状況を示す。軸方向の速度は、排出効率である滞留時間に関係が深い指標である。パドル羽根を1箇所にした場合、スクリー羽根のみよりも軸方向の速度が大きく、排出効率がよい。垂直方向は、スクリー羽根のみの場合一定の速度に集中している。軸方向および軸垂直方向の速度が一定に集中している結果から、スクリー羽根のみの組合せは材料を送るスクリーコンベヤになっていることを意味し、せん断用パドル羽根をスクリー羽根に組み合わせることにより、材料の練混ぜに貢献する流動を増加させることが可能となる。しかし、パドル羽根を単に増加することは、排出効率の低下を誘発させる。

4. 4 流動機構のモデル化

スクリー羽根とパドル羽根の組合せによって形成される流動機構を図-7に示す。スクリー羽根のみでは材料を送り出すスクリーコンベヤの働きしかなく、せん断用のパドルを組み合わせることにより、ある一定の斜め方向とは違う種々の方向を有する流動を発生させる。

しかし、これはパドルにより直接軸垂直方向の流動を発生させるのではなく、パドル装着により“つまりの現象”を引き起こし、その現象により軸垂直方向の流動が発生したと考えられる。この現象が起こる理由は、断面積で考えた場合スクリー羽根と比較すると、パドル羽根が同一断面に4枚存在し、極端にモデルコンクリートの流動可能な面積を減少させたためと考えられる。

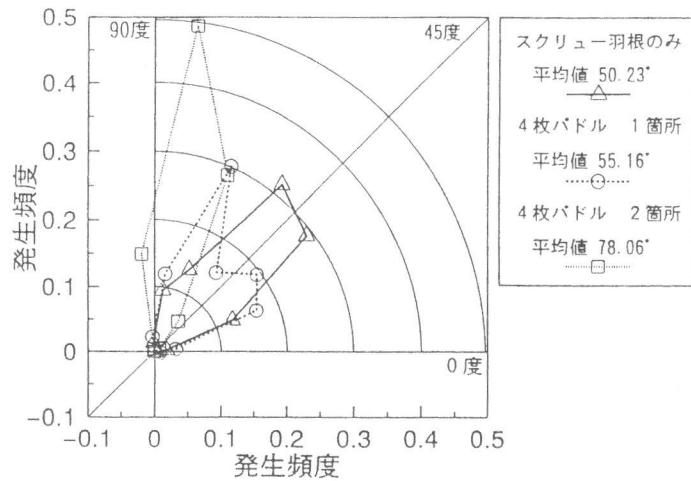


図-5 速度ベクトルの角度頻度分布状況

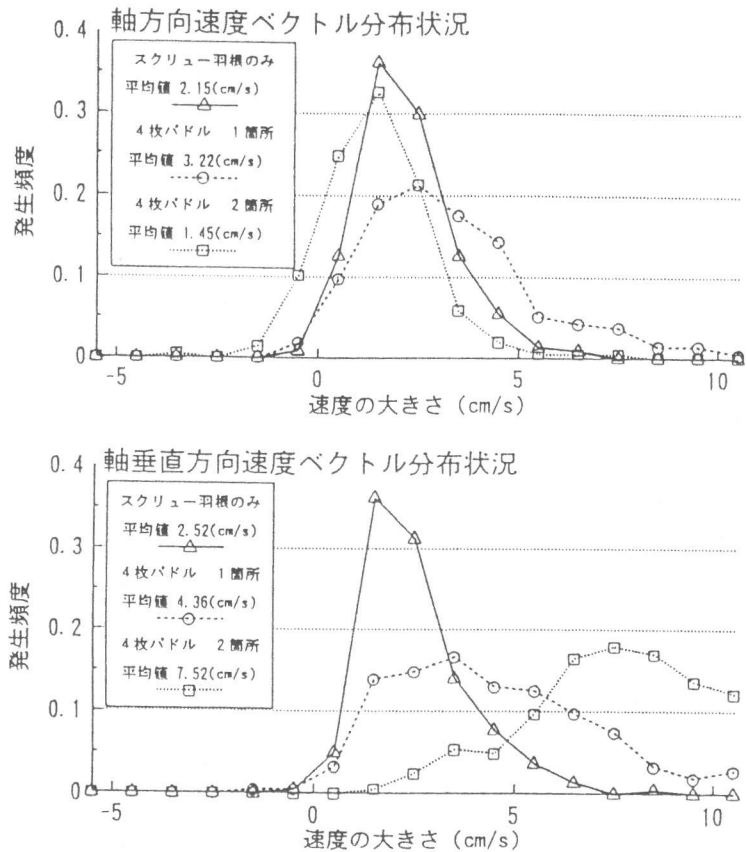


図-6 方向別速度ベクトルの速度頻度分布状況

パドルを過ぎたモデル
コンクリートは、スク
リュー羽根による斜め
の流動に戻るが、続い
てパドルがある場合次
の“つまりの現象”が
影響しすぐにその流動
は失われてしまう。

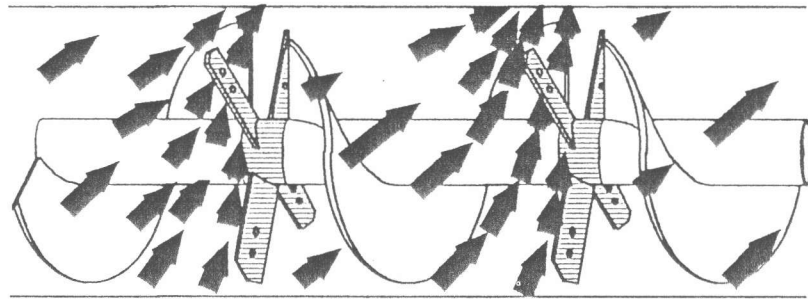


図-7 ミキサ羽根の組合せの違いによる流動模式図

5. パドル羽根の形状変化における結果および考察

5. 1 速度ベクトル分布状況

図-8に、パドル羽根の形状変化における本実験で得られた速度ベクトル分布状況を示す。2枚パドル・4枚パドル共に、装着箇所の前では“つまりの現象”が見られるが、2枚パドルにおいてはその現象の程度が小さく、パドル間でスクリー羽根による斜めの流動が発生している。結果的に撮影領域内全体で考えた場合様々なベクトルが存在する。4枚パドルではスクリーによる流動はほとんど発生しない。

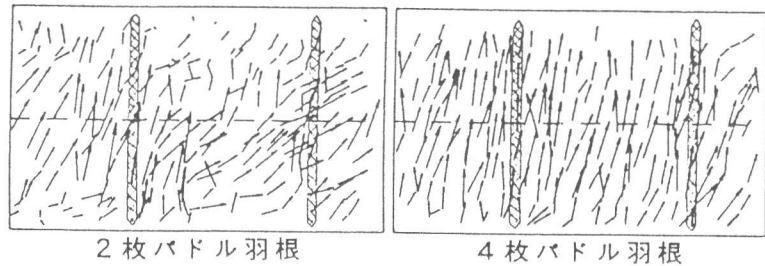


図-8 パドル羽根の形状変化における速度ベクトル分布状況図

5. 2 速度ベクトルの方向に関する分布状況

発生角度分布状況を図-9に示す。2枚パドルでは一方向に卓越せず、スクリー羽根の流動を失わずに、様々な方向に分散していることがわかる。しかし、4枚パドルの場合、極端に流動方向が変化し軸垂直方向に卓越する。

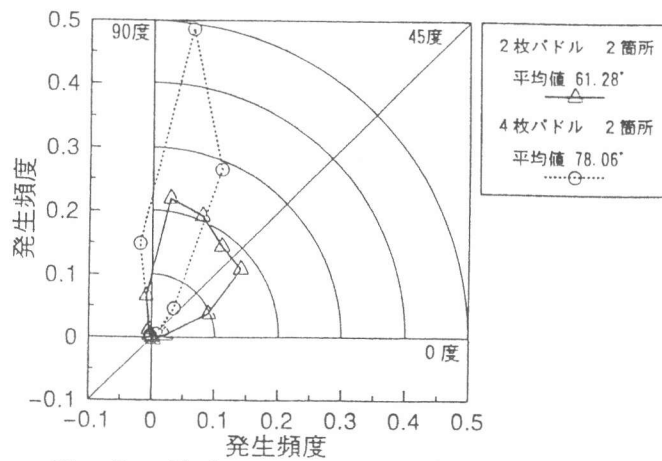


図-9 速度ベクトルの角度頻度分布状況

5. 3 速度ベクトルの発生頻度分布状況

方向別速度ベクトルの発生頻度分布状況を図-10に示す。滞留時間にかかわる軸方向においては、2枚パドルの方が平均値が大きく、排出効率がよい。練混ぜ効率の観

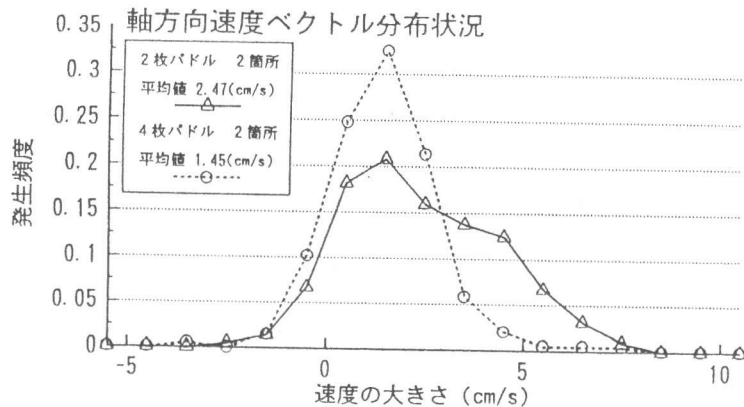


図-10.1 方向別速度ベクトルの速度頻度分布状況

点においても、4枚パドルに比べ、最大値が小さく様々な速度にばらつきがあり、練混ぜ効率が良好である。軸垂直方向では、スクリー羽根と比較した場合、明らかに両方とも分布状況が変化し平均値が増大する。4枚パドルでは、“つまりの現象”の程度が大きいため極端に平均値が大きい。

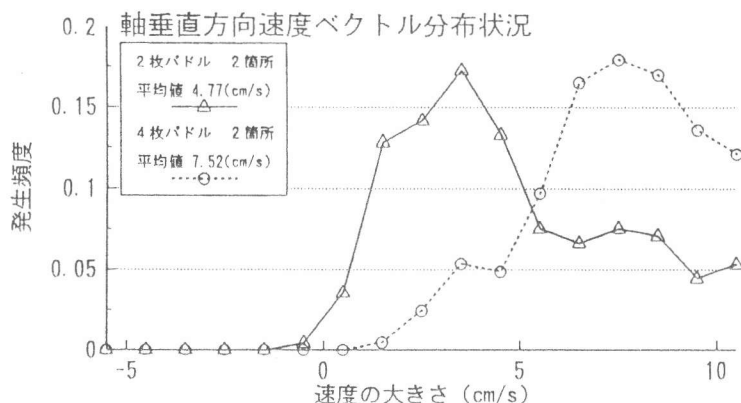


図-10. 2 方向別速度ベクトルの速度頻度分布状況

5. 4 流動機構のモデル化

パドル羽根の形状変化における流動機構を図-11にモデル化する。2枚パドル・4枚パドル共に、“つまりの現象”が存在するが、2枚パドルは“つまりの現象”の影響が小さく、排出効率を低下せずに様々な流動を発生させる。一方、4枚パドルは“つまりの現象”を大きく誘発し、軸垂直方向の流動を卓越させ、排出効率を低下させる。

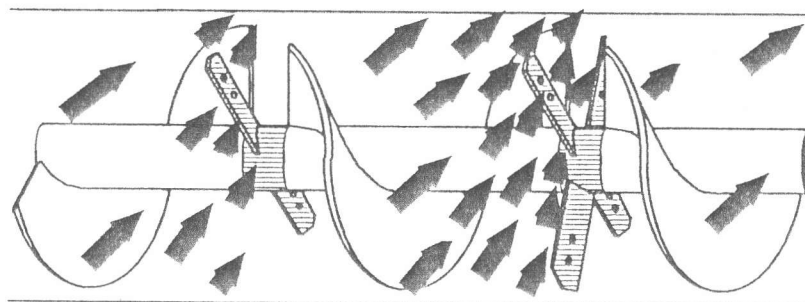


図-11 パドル羽根の形状変化における流動模式図

6. まとめ

連続ミキサ内のコンクリートの流動機構に与えるパドル羽根形状の影響について、実験的に検討した。その結果、パドル羽根が形成する流動は、単に材料を送るスクリー羽根の流動とは全く違い、パドル羽根装着による“つまりの現象”として説明できることが明らかとなった。また、パドル羽根枚数を多くすると、“つまりの現象”が大きくなり軸垂直方向の流動を誘発させ、排出効率の低下を招くことが明らかとなった。

今後の検討課題には、“つまりの現象”に対するパドルの羽根の傾斜角の影響が挙げられる。

<謝辞>本研究の一部はセメント協会奨励研究費の助成によりました。また本研究を実施するにあたり、住友セメント(株)中央研究所 内田美生氏にご指導ならびにご協力いただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：連続ミキサによる現場練りコンクリート施工指針(案)、pp. 31~32、1986. 6
- 2) 浦野真次・橋本親典・辻 幸和・内田美生：連続ミキサ内におけるフレッシュコンクリートの練混ぜ過程の可視化、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 1、pp. 1031~1036、1993. 6