

# 可視化実験手法による連続ミキサの練混ぜ機構に関する基礎的研究

浦野真次<sup>1</sup>・橋本親典<sup>2</sup>・辻 幸和<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135 東京都江東区越中島3-4-17)

<sup>2</sup>正会員 工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島県徳島市南常三島町2-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376 群馬県桐生市天神町1-5-1)

早急な補修工法などに用いられる連続ミキサの高性能化を図るために、ミキサの傾斜角度、ミキサ羽根の形状およびミキサ羽根の組合せの設定が重要である。本研究は、これまでブラックボックスであった連続ミキサの練混ぜ過程におけるコンクリートの流動挙動を定量化することを目的として、可視化実験手法を用いて流動状況を観察し、ミキサの仰角やミキサ羽根の変化などが流動方向や速度ベクトルの大きさに及ぼす影響について検討した。その結果、コンクリートの流動性状はミキサ内に発生する滞留現象として定量化することができ、排出効率を低下させずに良好な練混ぜ性能を確保するためには、ミキサ羽根の形状および組合せの適切な設定が重要であることを明らかにした。

**Key Words:** continuous mixer, visualization technique, mixing mechanism, concrete model, type of blade, slope of mixier

## 1. はじめに

連続ミキサは、材料を1バッチずつ質量計量して練り混ぜるバッチ式ミキサと異なり、材料を容積計量して連続的に供給を行い、高速回転で練り混ぜるという機構を有するミキサである。従来、材料の供給装置に関して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、計量精度の優れた機種が開発され、昭和61年には土木学会において「連続ミキサによる現場練りコンクリート施工指針(案)」が作成されている。施工現場まで容易に持ち込むことができ、材料が連続的に供給され練混ぜ時間が15秒程度と非常に短いため、練混ぜから打込みまで時間に余裕のないNATM用吹付けコンクリートや道路の早急な補修工事用の超速硬コンクリートなど、比較的特殊なコンクリートの製造に適用される場合が多い。

一般に、連続ミキサの混合装置(オーガ部)においては、ミキサ羽根が固定され着脱不可能なため、練混ぜ時間が非常に短い連続ミキサの練混ぜ性能向上させる手段として、ミキサ仰角を上昇させることにより、重力の働きを利用し、材料のミキサ通

過時間を延ばす方法が採られてきた。しかしながら、建設工事の多様化や補修工事の増加に伴い、今後増加することが予想される現場練りコンクリートの需要に対応して、より高品質なコンクリートの練混ぜ性能と、一定以上のコンクリートの供給能力を有する連続ミキサの設計開発が必要であると考えられる。

連続ミキサの練混ぜ性能は、土木学会規準「連続ミキサの練りまぜ性能試験方法(案)(JSCE-I 502)」<sup>1)</sup>に基づき、モルタル・粗骨材量の差、空気量差、スランプ差および圧縮強度差により評価されるのが一般的である。ミキサの練混ぜ機構に関しては、ミキサ消費電力量などの間接的な指標を用いて定量的に把握することが試みられているが<sup>2)</sup>、これら既往の研究はバッチ式ミキサを対象としたものであり、材料が連続的に供給される連続ミキサでは適用が困難である。さらに、連続ミキサは、複数の、しかも異なる種類のミキサ羽根が回転軸に取り付けられているため、ミキサ内でのコンクリートの流動性状は非常に複雑になり、材料の練混ぜ機構を直接把握することは困難である。

著者らはこれまでに、コンクリートの流動挙動を直接観察・記録できる可視化実験手法<sup>3), 4)</sup>を適用し、

フレッシュコンクリートを1相系粘性流体にモデル化して行った実験結果<sup>5)</sup>を基に、パドル羽根がミキサ内の流動機構に及ぼす影響を検討してきた<sup>6), 7)</sup>。本研究は、連続ミキサの練混ぜ機構の評価方法の確立を目的とし、ミキサ羽根の組み合わせ、ミキサ羽根の形状およびミキサの仰角の違いがコンクリートの練混ぜ性状に及ぼす影響について検討し、洗い分析試験による練混ぜ性能の評価も併せて行い、総合的に評価を行ったものである。

## 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。モデルミキサとしては、材料投入口から排出口までのオーガ部を実機の1/3のスケールでモデル化し、回転数およびミキサ仰角を任意に調節できるものを用いた。ミキサの底部である半円の周壁部分は、下方向より内部を透視でき、噛込んだ粗骨材によるミキサ停止およびミキサの破損を防止するため、厚さ2mmの透明なビニルシートとした。

ミキサ羽根は鋼製であり、図-2に示すように、ミキサ内の材料の送り用のスクリュー羽根が1種類と、同一断面に2枚および4枚の羽根を実機を模擬して傾斜角30度で取り付けたせん断用のパドル羽根が2種類あり、ミキサの回転主軸に任意の順序で着脱できるものを用いた。

### (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相系混相流体を用いた。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。モデル粗骨材は、表面が滑らかなガラス球（粒径12.5mm、比重2.5）を用いた。本モデルは、著者らが提案してきたこれまでの可視化モデルコンクリートとは粗骨材粒子に関するモデル材料が異なる。従来の粗骨材モデルである人工軽量骨材では、ミキサ回転時にミキサ羽根と周壁部で骨材の噛込みが起き、回転が停止してしまう。そこで本実験では、噛込みを抑止することを目的とし、粒径等を検討した結果、単一粒度分布のガラス球とした。ガラス球の比重は2.5であり、モデルモルタルとの比重差が1.5となるため、実際のコンクリートにおける粗骨材とモルタルの比重差0.4前後と比較して大きい。このため、実際のコンクリートの材料分離抵抗性と合わせることを目的とし、調整可能な範囲の最大値としてP漏斗による流下時間で200秒程度としてモデルモ

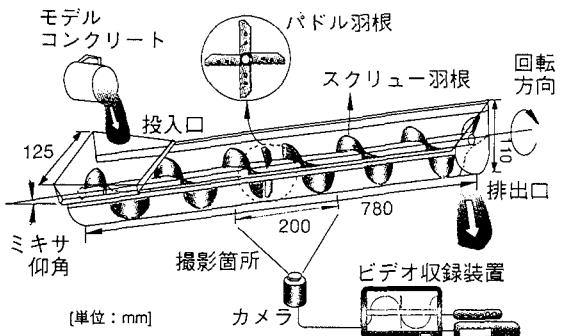


図-1 モデル連続ミキサ実験装置

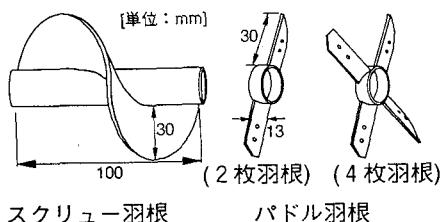


図-2 ミキサ羽根の種類および形状

ルタルの粘性を大きくした。

モルタルと粗骨材の混合比率は、実施工で連続ミキサを使用して製造されたコンクリートの配合例<sup>8)</sup>に従い、モルタルと粗骨材の容積比で0.8を採用することとした。ミキサ内でのコンクリートの流動を追跡するトレーサ粒子は、発泡スチロール粒子（粒径約2mm、比重0.02）を用い、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

実験パラメータは、ミキサ羽根の組み合わせ、パドル羽根の形状およびミキサの仰角である。ミキサ羽根の組み合わせは、図-3に示すように、撮影領域内においてスクリュー羽根のみ(a)、パドル羽根1枚(b)および2枚(c)と変化させ、3種類の組み合わせとした。せん断用パドル羽根の形状は、図-2に示した2枚および4枚の羽根を取り付けたパドル羽根を用い、撮影領域内に2箇所装着した(c)の場合で検討した。撮影領域外は、すべてスクリュー羽根とした。ミキサの仰角は、10度、15度、20度の3種類とした。ミキサの回転数は、モデルミキサの寸法やモデルコンクリートのミキサ内の通過時間等を考慮し60rpmとした（実機160～250rpm程度）。

モデルコンクリートを順次投入し、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。ミキサ羽

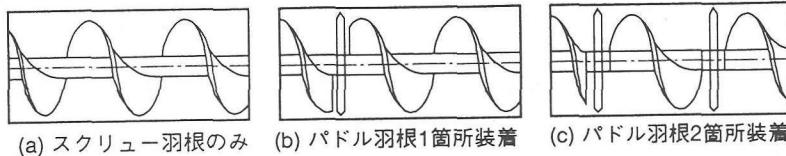


図-3 撮影領域内のミキサ羽根の組合せ

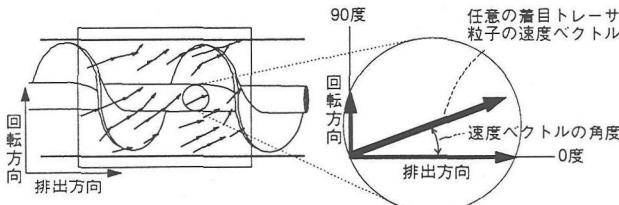


図-4 速度ベクトルの角度および各方向成分

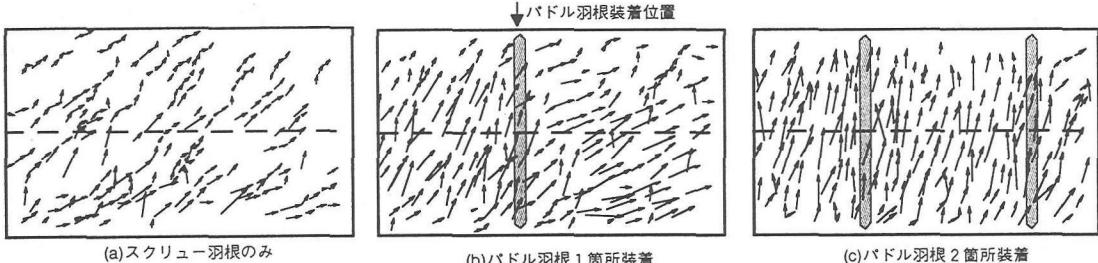


図-5 ミキサ羽根の組合せの違いによる速度ベクトル分布状況

根の組合せや仰角によってコンクリートの通過時間が異なるため、投入方法は、投入口天端まで一定量満たされる程度とした。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下面の中央部 20cm とした（図-1 参照）。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から、2次元平面上に転換した速度ベクトル分布を求めた。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、取得した速度ベクトル総数は 1 ケースにつき 200 個以上とした。

### 3. 練混ぜ・排出効率と速度ベクトルの関係

ミキサ内の流動機構を定量的に評価する指標として、可視化実験から得られた任意の着目トレーサ粒子の速度ベクトルの分布状況から、モデルコンクリートの流動の方向および速度ベクトル成分について、以下のように定義した（図-4 参照）。

・方向：排出方向を基準 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、その角度の 1 つの範囲に存在する速度ベクトル数を取得した速度ベクトル総数で除した発生率を求める。練混ぜが良好な場合には、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、排出方向と回転方向に分解し、10mm/s ピッチで分別し、方向の場合と同様に算出した発生率を求める。速度の排出方向成分はコンクリートの製造能力( $m^3/h$ )に関係するミキサ内での滞留時間を意味し、排出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。また、回転方向成分はミキサ羽根によるせん断流動と関係し、練混ぜが良好な場合には、この速度が大きくかつ、ある一定の速度の値に集中せざばらつきが存在することが重要と考えられる。

### 4. 実験結果および考察

#### (1) ミキサ羽根の組合せの影響

図-5 は、ミキサの仰角を 15 度とし、図-3 に示したようにミキサ羽根の組合せを 3 種類変化させた場合の着目トレーサ粒子群の速度ベクトル分布状況

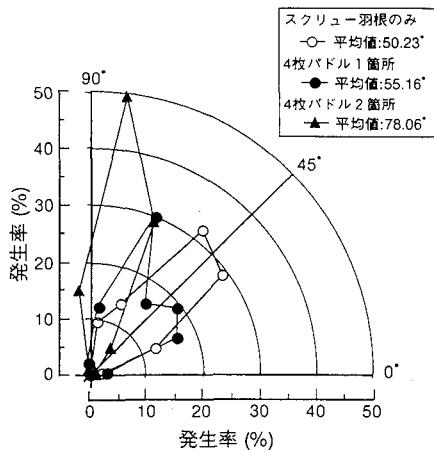


図-6 羽根の組合せの違いによる角度の分布状況

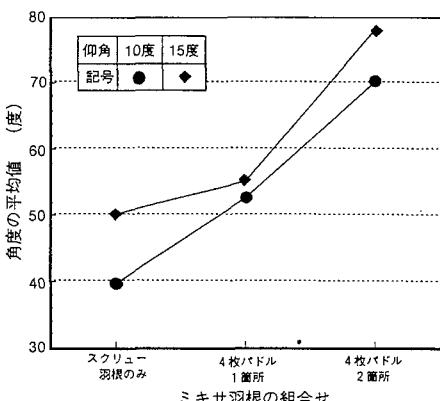
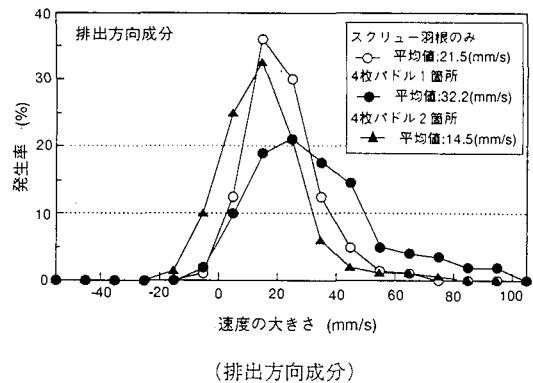


図-7 各羽根の組合せにおける平均角度

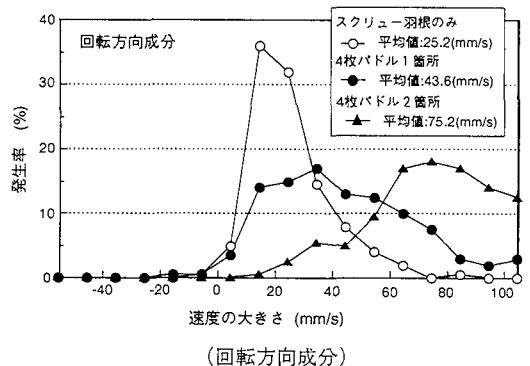


図-8 羽根の組合せの違いによる速度の分布状況

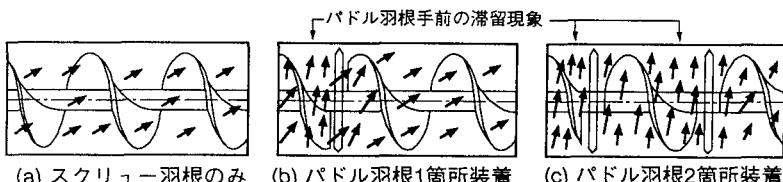


図-9 パドル羽根による滞留現象の概念図

である。パドル羽根装着箇所を図中に示した。スクリュー羽根のみの場合、斜めの一様な流動が発生し、連続的に排出方向へ送られる状況が認められる。パドル羽根を1箇所装着することにより、装着箇所より手前(投入側)での流動は、回転方向に向かう状況が生じている。パドル羽根の位置を通過すると自由度が極端に増し、むしろスクリュー羽根のみの場合よりも大きな速度ベクトルが発生した。パドル羽根を2箇所に増加した場合、2箇所のパドル羽根の存在により、撮影領域全体にわたって回転方向の流動が著し

く卓越した。

図-6に、得られた速度ベクトルの方向に関する発生率を示す。スクリュー羽根のみの場合、30～45度および45～60度の方向の間で発生率が最も多く、パドル羽根を1枚入れることにより30～60度の発生率は減少し、60～75度の発生率が増加した。パドル羽根を2枚入れた場合は、発生する角度はさらに90度方向に増加し、75～90度でピークとなっている。凡例とともに示した平均値も増加しており、パドル羽根の装着箇所の増加に伴い、スクリュー羽根による

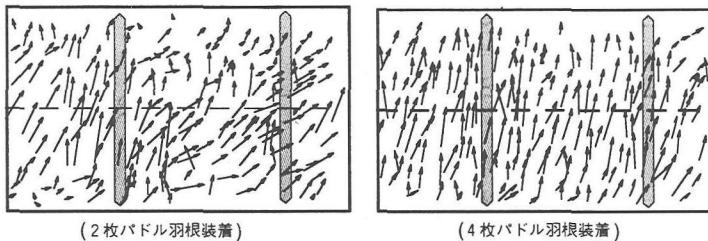


図-10 ミキサ羽根の形状の違いによる速度ベクトル分布状況

連続的な排出方向の流動を減少させ、回転方向の流動を卓越させることが確認された。この傾向は、ミキサの仰角によらず認められた（図-7参照）。

得られた速度ベクトルの排出方向成分および回転方向成分の速度に関する発生率を、図-8に示す。速度ベクトルの排出方向成分は、発生率は概ね 10 ~ 20mm/s をピークとして集中している傾向にある。スクリュー羽根のみの場合と比較して、パドル羽根を 2箇所にした場合、ピーク値が小さくなり、平均値も減少している。このことは、排出方向に移動するコンクリートの流量が減少し、排出効率が低下することを意味する。しかし、パドル羽根を 1箇所にした場合は、スクリュー羽根のみの場合よりも平均値が大きくなり、むしろ排出効率がよくなっていると考えられる。これは、図-5について述べたように、パドル羽根の位置を通過した箇所で大きな速度ベクトルが発生したためと考えられる。回転方向成分は、スクリュー羽根のみの場合一定の速度に集中し、パドル羽根の装着箇所が増加するに従って、様々な速度が発生し 40mm/s 程度以上の発生率が増加した。これとともに平均値も増加し、パドル羽根の装着が回転方向への流動を活発にしている。

以上のように、パドル羽根を装着することにより、スクリュー羽根のみの場合のある一定の方向・速度とは異なり、様々な方向および速度を持った流動を発生させ、練混ぜを活発にすると考えられる。ある一定領域内の装着箇所が増加すると、排出効率の低下を伴う。パドル羽根が高速で回転しコンクリートも練混ぜ途中の状態であることを考慮すると、この現象はパドル羽根によるせん断流動の形成ではなく、図-9に示すように排出方向への流動可能な面積の減少によるパドル羽根手前での局所的な滞留現象の発生が原因であると考えられる。

## (2)パドル羽根の形状変化の影響

図-3に示したミキサ羽根の組合せ(c)において、2箇所ともに2枚パドル羽根および4枚パドル羽根(図-2参照)を用いた場合の速度ベクトル分布状況を図-10に示す。いずれの形状のパドル羽根においても、

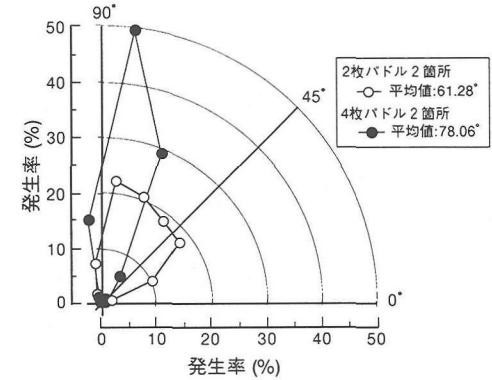


図-11 羽根の形状の違いによる角度の分布状況

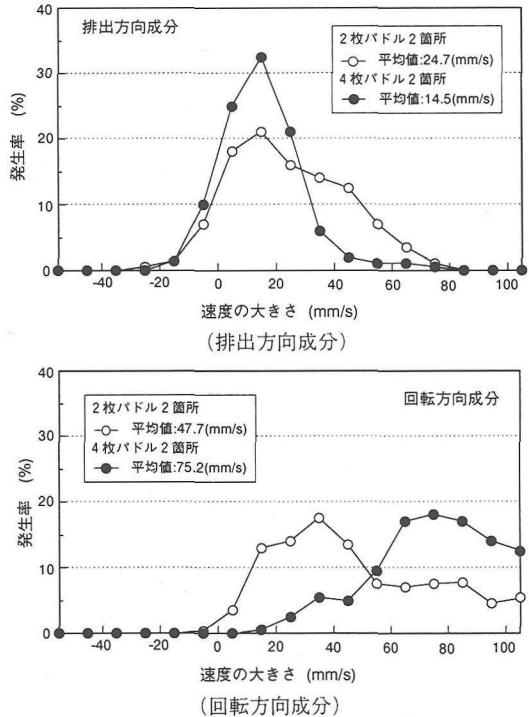


図-12 羽根の形状違いによる速度の分布状況

回転方向の流動が発生している。しかし、2枚パドル羽根においては4枚パドル羽根と比較してその現象の

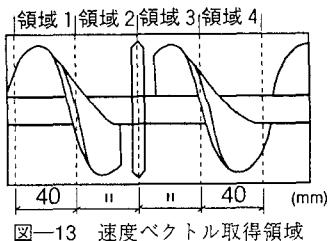


図-13 速度ベクトル取得領域

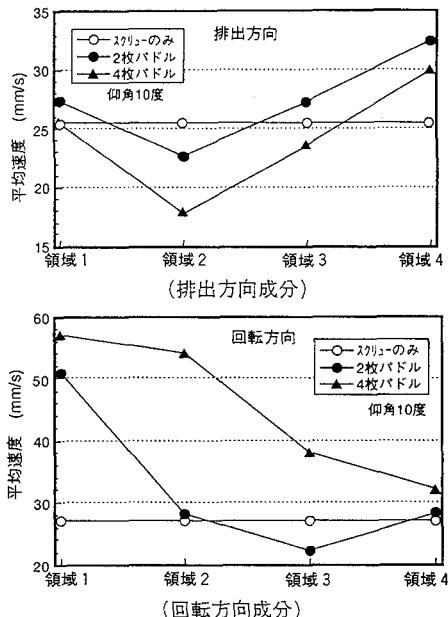


図-14 羽根の形状の違いによる各領域の速度の平均値

程度が小さく、パドル間でスクリュー羽根による影響を受け、斜めの流動が発生している。これは、1箇所のパドル羽根の断面において、2枚パドル羽根は流動可能な面積が大きいためであると考えられる。

図-11に、得られた速度ベクトルの方向に関する発生率を示す。2枚パドル羽根の場合、1方向に卓越せず、様々な方向に分散している。一方、4枚パドル羽根は著しく流動方向の発生率が変化し、90度に近い回転方向に卓越する。

得られた速度ベクトルの排出方向成分および回転方向成分の速度に関する発生率を、図-12に示す。速度ベクトルの排出方向成分は、2枚パドル羽根の方が様々な速度が発生し、30mm/s以上の大いきい速度の発生率が増加し、平均値も4枚パドル羽根と比較して大きくなっている。また、図-8において示したスクリュー羽根のみの場合の排出方向成分の平均値と比較しても同程度であり、排出効率が低下していないと考えられる。回転方向成分は、速度の分散の程度は

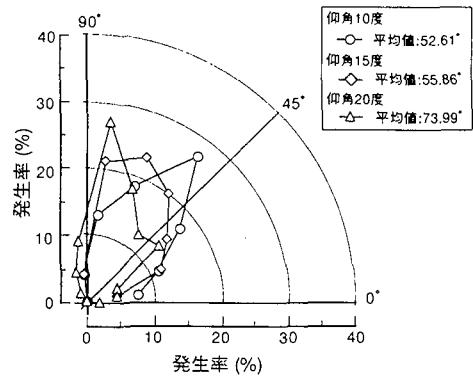


図-15 ミキサの仰角の違いによる角度の分布状況

同様であるが、4枚パドル羽根の方が回転方向の流動が活発であることがわかる。したがって、同数の装着箇所であっても、パドル羽根の形状が2枚から4枚になることにより、排出効率を低下させ、練混ぜ効率を向上させると考えられる。

パドル羽根による練混ぜ性状の変化の影響範囲を検討するため、パドル羽根付近の領域別の速度ベクトルについて評価した。ミキサ羽根の組合せが図-3に示す(b)、パドル羽根の形状を2枚および4枚とした場合について、図-13に示すようにパドル羽根装着位置を規準とし、各領域幅40mmとし4領域で速度ベクトルの排出方向成分および回転方向成分の速度の平均値を、図-14に示す。いずれの方向成分についても、スクリュー羽根のみでは一定の速度となる。パドル羽根装着により、排出方向成分では、領域2において最も速度が減少し、その後領域4までは速度が増加した。その排出方向成分の速度の低下は、2枚パドルより4枚パドルの方が大きい。回転方向成分では、領域1に比べ領域2の速度が両パドル共に低下しているが、2枚パドルより4枚パドルの方が低下が小さい。これは、パドル羽根による直接的な巻き上げの効果もあるものの、排出方向への流動可能な面積の減少により、パドル羽根手前での局所的な滞留現象が発生していることが原因であることがわかる。また、領域3および4の速度は、パドル羽根通過後もスクリュー羽根のみと比較して変化しており、局所的な滞留現象の影響が継続していると考えられる。

### (3) ミキサ仰角の影響

ミキサ羽根の組合せが図-3に示す(b)の場合について、ミキサの仰角を10度、15度、20度と上昇させて得られた速度ベクトルの方向に関する発生率を、

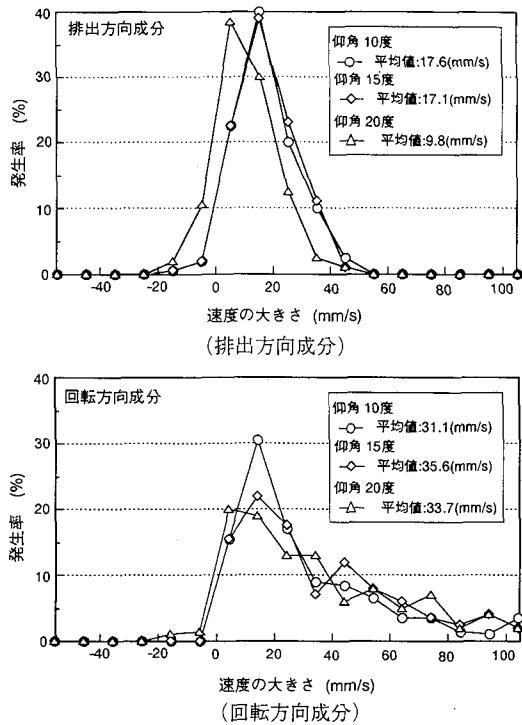


図-16 ミキサの仰角の違いによる速度の分布状況

図-15に示す。ミキサ仰角を上昇させることにより、速度ベクトルの発生する方向のピークが排出方向から回転方向へと移行した。発生率の分散の程度は、仰角によらず同様である。

図-16に、ミキサ仰角を上昇させた場合の排出方向成分および回転方向成分の速度に関する発生率を示す。排出方向成分は、いずれの仰角においても0~20mm/sをピークとして集中し、仰角を大きくするに伴い、平均値が小さくなる傾向を示しており、仰角を上昇させると排出効率が低下するという従来の知見と一致する。回転方向成分では、発生率の分散の程度およびピークの位置は大きな変化が認められず、平均値もミキサ仰角を上昇させてもほとんど大きくなっていない。すなわち、ミキサの仰角を上昇させることは、ミキサ内でのコンクリートの流动方向を変化させ、単にミキサ全体での滞留時間を長くしているだけであり、局所的な滞留現象は起こさないと考えられる。

## 5. 洗い分析による練混ぜ性能評価

### (1) 実験の目的

上述の実験結果から、ミキサ羽根の組合せおよび

ミキサ羽根の形状の変化はパドル羽根手前での局所的な滞留現象を発生させること、ミキサ仰角の変化はミキサ全体でのコンクリートの滞留時間を長くすることが示され、それぞれ異なる現象により練混ぜ性状に影響を及ぼしていることが明らかとなった。しかし、それぞれの現象が練混ぜ効率および排出効率にどの程度影響を及ぼしているかは明らかになっていない。そこで、モデルモルタルに対するモデル粗骨材の容積比を指標として用い、練り混ぜたモデルコンクリートに「JIS A 1112 まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験方法」を適用し、練混ぜ性能の評価を行った。

### (2) 実験方法

図-17に、本実験で用いたモデル連続ミキサオーバー部における試料採取の概要を示す。モデル連続ミキサ、ミキサ羽根およびモデルモルタルは前述と同様のものを用いた。モデル粗骨材は、四角形で薄片状のアクリルチップ（寸法約2.6mm、比重1.16）を使用した。材料投入口より、モデルモルタルとモデル粗骨材を交互に5秒間隔で投入した。なお、排出後のモデルモルタルに対するモデル粗骨材の容積比（以下、 $V_g/V_m$ と称す）の初期設定値が0.4となるように各材料を投入した。投入量は、実機との相似性から $1 \times 10^4 \text{m}^3/\text{sec}$ とした。モデル粗骨材、 $V_g/V_m$ の初期設定値および材料投入方法は、各実験パラメータに対して練混ぜ性能に明確違いが出るように採用したものである。

ミキサを回転させ、材料の投入を開始し、練り混ぜられたモデルコンクリートが始めに排出された時点から25秒後、一時回転を停止させ図-17に示した試料採取箇所①~④から試料を適量採取する。再度回転させ、25秒間隔で試料を採取し、計5回採取した。採取した試料の2.5mmふるいによる洗い分析試験を行い、試料の $V_g/V_m$ を算定する。実験パラメータは、パドル羽根（2枚パドル羽根）の装着数、装着箇所およびミキサ仰角である。ミキサ羽根の組合せは、図-18に示すように6種類とした。また、パドル羽根の装着を3箇所で一定とし、その装着箇所を変化させた場合について、図-19に示す3種類のミキサ羽根の組合せについても実験を行った。ミキサの仰角は、10度および15度の2種類に変化させた。

連続ミキサでは、同時に投入したコンクリートがすべて同時に排出されることは限らず、ある時間間隔をもって排出される。本実験では、発泡スチロール粒子（粒径約2mm、比重0.02）を20粒投入してから3粒が排出されるまでに要した時間をミキサ通過時間と定義した。

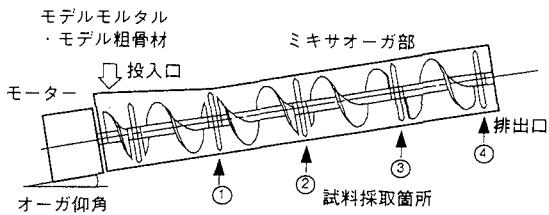


図-17 試料採取箇所

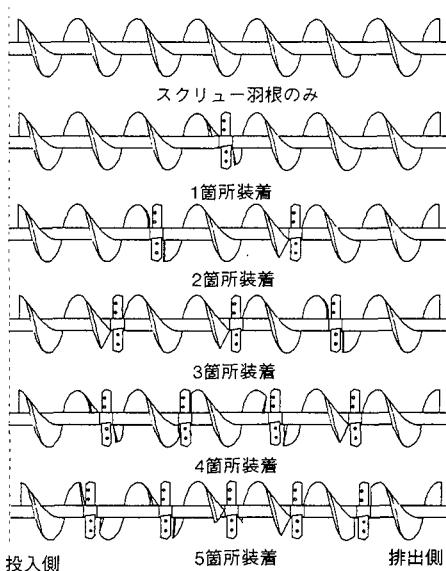


図-18 装着枚数を変化させた  
ミキサ羽根の組合せ状況

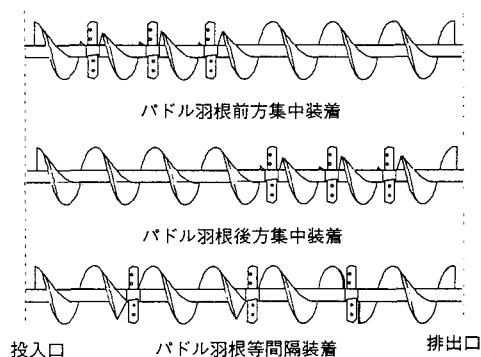


図-19 装着箇所を変化させた  
ミキサ羽根の組合せ状況

### (3) 実験結果および考察

ミキサの仰角を10度、図-18に示したミキサ羽根の組合せとした条件における $V_g/V_m$ の初期設定値0.4

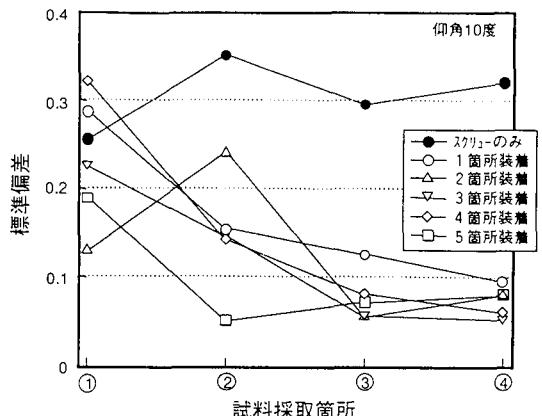


図-20 初期値 $V_g/V_m=0.4$ に対する  
標準偏差 (ミキサ仰角10度)

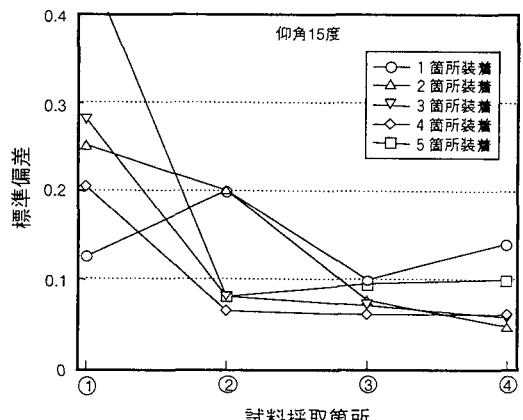


図-21 初期値 $V_g/V_m=0.4$ に対する  
標準偏差 (ミキサ仰角15度)

に対する採取試料の標準偏差を、図-20に示す。ほとんど練混ぜを行わないスクリュー羽根のみの場合、いずれの採取箇所においても標準偏差が大きく、 $V_g/V_m$ が大きく変動していることがわかる。一方、パドル羽根を装着した場合、試料採取場所④においてはパドル羽根装着箇所数に関らず標準偏差が収束し、1箇所でもパドル羽根を装着することによって練混ぜに対して有効であるといえる。投入口から最も短い距離で標準偏差が小さくなったのは、パドル羽根を5箇所装着したケースである。魚本らによれば、通常のバッチ式の強制練りミキサの場合、練混ぜ開始初期においてはコンクリート材料の「混合・分散」が行なわれ、材料が均一になった後で「練る」作業になるとしている<sup>9)</sup>。連続ミキサにおいても、材料が均一に混合された後での「練る」作業がコンクリートの品質の安定化に対して、非常に重要である。すなわち、

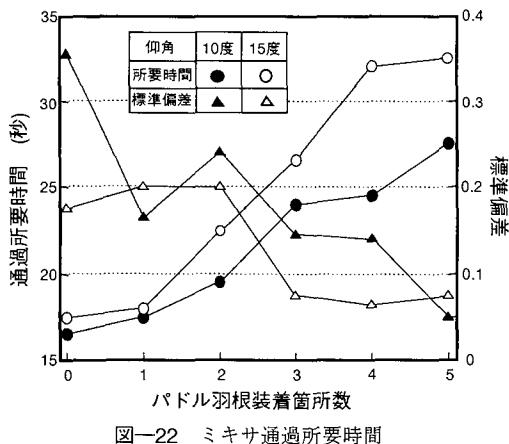
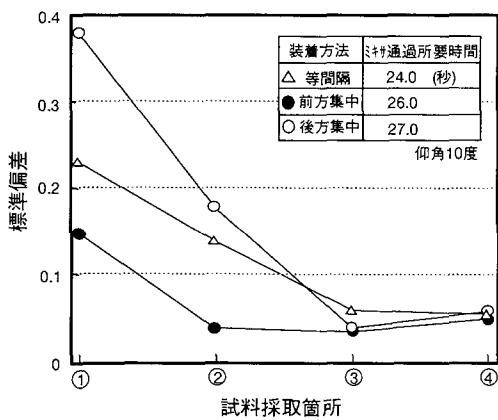


図-22 ミキサ通過所要時間

図-23 初期値  $V_g/V_m=0.4$ に対する標準偏差  
(パドル羽根3箇所装着)

比較的初期の段階で均一なコンクリートとし、「練る」作業のための滞留時間を確保する意味において、パドル羽根の装着箇所数の増加は重要である。

ミキサの仰角を15度とした場合の  $V_g/V_m$  の初期設定0.4に対する採取試料の標準偏差を、図-21に示す。仰角10度の場合と標準偏差が収束する傾向は同様であるが、パドル羽根の装着が3箇所までのケースでも投入口から短い距離で標準偏差が小さくなっている。しかし、ミキサ仰角の上昇はミキサの通過時間を長くしているだけであり、少ないパドル羽根の装着枚数で標準偏差が小さくなる傾向となることが「練る」作業に有効であるかは不明である。

ミキサ仰角を変化させた場合について、パドル羽根の装着箇所数と排出効率と関係するミキサの通過時間および採取箇所②における試料の標準偏差の関係を図-22に示す。パドル羽根の装着箇所数が増加するに伴い、通過所要時間は単調増加する。パドル羽根装着枚数が多い範囲では、パドル羽根を1箇所増

加させた場合と比較して、仰角を10度から15度に増加させた方が通過時間の増加は大きい。

ミキサの仰角を10度、図-19に示したミキサ羽根の組合せとした条件における  $V_g/V_m$  の初期設定値0.4に対する採取試料の標準偏差を、図-23に示す。合わせてミキサ通過所要時間を凡例中に示した。前方集中装着型は、採取箇所②の投入口から最も短い距離で標準偏差が小さくなった。後方集中装着型は、前方のスクリュー部において練混ぜが行われないため、排出口付近になって収束した。等間隔装着型は、その中間的なものと言える。ミキサ通過時間はパドル羽根の箇所数が同数であるにも関わらず、パドル羽根を集中させたものの通過時間が増加した。したがって、ミキサオーバルの長さを勘案して可能な限りパドル羽根相互の間隔を等間隔とすることが望ましい。

## 6. 結論

本研究は、これまでブラックボックスであった連続ミキサの練混ぜ過程におけるコンクリートの流動挙動を量量化することを目的として、可視化実験手法を用いて流動状況を観察し、ミキサの仰角やミキサ羽根の変化などが流動方向や速度ベクトルの大きさに及ぼす影響について検討した。本研究の結果、得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 固液2相系混相流体を用いた可視化実験手法により、連続ミキサの練混ぜ過程におけるコンクリートの流動挙動を定量的に評価することができた。
- (2) パドル羽根を装着することにより、スクリュー羽根のみの場合のある一定の方向・速度とは異なる流動を発生させ、練混ぜを活発にする。
- (3) パドル羽根を装着することにより、排出方向への流動可能な面積を減少させ、パドル羽根手前での局所的な滞留現象を発生させる。その影響は、パドル羽根通過後においてもある範囲内で継続する。
- (4) パドル羽根の装着箇所数が同数であっても、パドル羽根の形状が変化することにより、排出効率および練混ぜ効率を変化させる。
- (5) ミキサの仰角を上昇させることにより、ミキサ内全体でコンクリートの流動方向を変化させ、滞留時間を長くする。このとき局所的な滞留現象は伴わない。
- (6) 連続ミキサにおいて、材料が均一に混合された後での「練る」作業がコンクリートの品質の安定化に対して、非常に重要であり、比較的初期の段階で均一なコンクリートとし、「練る」作業のための滞留時間を確保する意味において、パドル羽根の装着箇所数の増加は重要である。

今後は、パドル羽根の羽根形状や取付け角度に対する検討も行い、最適なミキサ羽根の組合せを求める手法を確立する必要があるものと考えられる。

**謝辞：**本研究の実施に際しては、住友大阪セメント（株）内田美生氏には実験装置の提供並びにご指導を、また群馬大学工学部に在学中であった橋本淳氏、加藤裕志氏、新井智道氏には実験にご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する次第である。

## 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），連続ミキサの練り混ぜ性能試験方法(案), pp.31-32, 1986.6.
- 2) 魚本健人, 西村次男, 渡部正, 田中恭一：配合条件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, 丸山久一, 清水敬二：フレッシュコンクリートの管内流動における閉塞過程の可視化実験手法, コンクリート工学, Vol.17, No.2, pp.119-127, 1988.
- 4) 橋本親典, 安本礼持, 丸山久一, 辻幸和：アジテータ内のフレッシュコンクリートの攪拌過程の可視化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, pp.101-106, 1991.
- 5) 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) 橋本淳, 橋本親典, 辻幸和, 加藤裕志：連続ミキサ内の羽根形状が流動機構に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.485-490, 1994.
- 7) 新井憲幸, 橋本親典, 杉山隆文, 池田正志：洗い分析試験による連続ミキサの練混ぜ性能評価, 土木学会第50回年次学術講演会概要集, V-67, pp.134-135, 1995.
- 8) 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), II.6章 連続ミキサを使用したおもな施工例, pp.66-88, 1986.6.
- 9) 魚本健人, 西村次男：コンクリートの品質に及ぼす練混ぜ時間の影響, フレッシュコンクリートの挙動とその施工への応用に関するシンポジウム論文集, pp.91-96, 1989.4.

(1997.3.21 受付)

## FUNDAMENTAL STUDY ON MIXING MECHANISM OF CONCRETE IN THE CONTINUOUS MIXER BY VISUALIZATION TECHNIQUE

Shinji URANO, Chikanori HASHIMOTO and Yukikazu TSUJI

Slope of mixer, arrangements of blades and shape of blade are most important to design high performance continuous mixer. In this paper, mixing mechanism of concrete in the continuous mixer was investigated experimentally by visualization technique.

Arrangements of blades and shape of blade are more important to improve the mixing efficiency without deterioration of discharge efficiency than angle of mixer.