

論文

[1080] 2軸強制ミキサのブレード取付け角度がかくはん性能に及ぼす影響

島崎篤*1・滝口善英*2・橋本親典*3・辻幸和*4

1. はじめに

2軸強制練りミキサは安定した品質のコンクリートを製造でき、大容量のコンクリートを一度に製造できることからコンクリートプラントやコンクリートの打ち込み現場で広く用いられている。

一方、高強度コンクリートや超流動コンクリートに代表される“高級コンクリート”の製造技術は大きく進歩し、シリカフェームなどの数 μm ほどの超微粒系の混和材料の発展もめざましい。そのため高級コンクリートの製造を目的として練混ぜ時間の短縮、排出後のコンクリートの品質の向上・安定などの2軸強制ミキサの更なる高性能化が要求されている。

著者らはこれまでに、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機構の定量化を試み、2本のシャフトによるらせん流動がミキサ中央で接触する“局部交錯流動”と、逆方向に進行するらせん流動が相互に繰り返すことにより形成される“全体循環流動”の存在を明らかにした [1]。(図-1参照) また、パドル配列角度90度では“局部交錯流動”が、パドル配列角度45度では“全体循環流動”が卓越していることも確認した。

セメント粒子と水の水和反応を円滑に進行させるための“微視的な練混ぜ”には“局部交錯流動”が有効であり、骨材粒子群を均一に混合しその粒子空隙間にセメントペーストを密実に充填させる“巨視的な練混ぜ”には“全体循環流動”が有効であると考えられる。単位粉体量が多い高級コンクリートの練混ぜに対しては全体循環流動によるミキサのかくはん性能が重要と思われる。本研究の目的は、実際にミキサの練混ぜの“力”をコンクリートに直接伝達するパドル先端部の“ブレード”に着目し、その取付け角度の違いが全体循環流動によるかくはん性能に及ぼす影響について実験的に検討する。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図-2に本実験で用いたモデル2軸強制ミキサの概要を示す。実験に用いたモデル2軸強制ミキサは容量50リットルであり、公称 1.5m^3 の実機ミキサの1/3モデルである。ミキサ容器部は透明アクリル樹脂製である。したがって、ミキサ容器部を固定している架台とモーター部に遮られている部

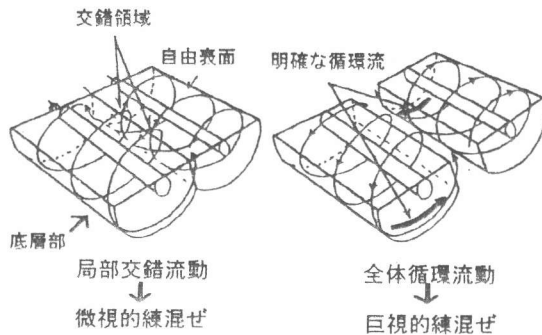


図-1 2軸強制練りミキサ内の流動機構

*1 群馬大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
 *2 千葉県庁
 *3 群馬大学助教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)
 *4 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

分以外は、いずれの方向からも内部透視が可能である。パドルはシャフトに固定されるアームとその先端に取り付けられるブレードから構成され、シャフトと個々のアーム間の取付け角度（以降、パドル配列角度と称す）と、アームとブレードの取り付け角度（以降、ブレード取り付け角度と称す）は変更可能である。モデルフレッシュコンクリートはモルタル相と粗骨材相からなる固液2相系粘性流体とし、モデルモルタルとして高吸水性高分子樹脂水溶液（比重1.0）を、モデル粗骨材として単一粒径のガラス球（粒径12.5mm，比重2.50）を用いた。またモデル粗骨材の挙動を追跡する着目トレーサ粒子（以降、トレーサ粒子と称する）として粒径15mmの発泡スチロール粒子を用いた。モルタルの粘性はPロートによるフロー試験で流下時間を調節し200秒程度になるモルタルを用いた。ミキサに投入したモデルフレッシュコンクリートの容積は50リットルで一定とした。

主たる実験パラメータとしては、モルタル容積に対する粗骨材容積比（以降、 V_g/V_m と称す）が0.3、0.6の2種類、パドル配列角度が45度、90度の2種類（図-3参照）、ブレード取り付け角度が30度、45度、および60度の3種類（図-4参照）とし計12種類の実験をそれぞれのパラメータ毎に3回の繰り返し実験をおこなった。

パドル数は、配列角度に関係なく2本のシャフトそれぞれに7枚ずつで同数とした。またブレード面積はシャフト回転方向に対する正射影面積が同一となるようにした。

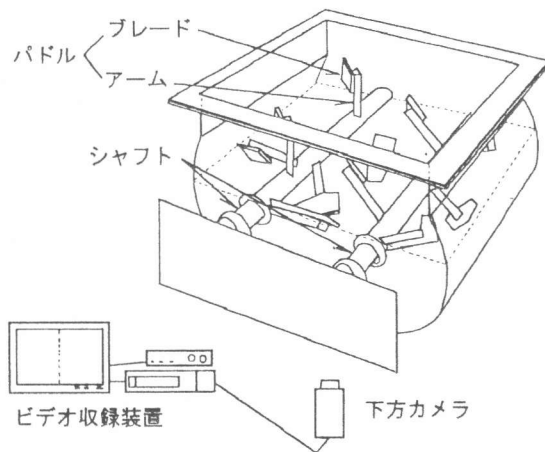


図-2 実験装置の概要

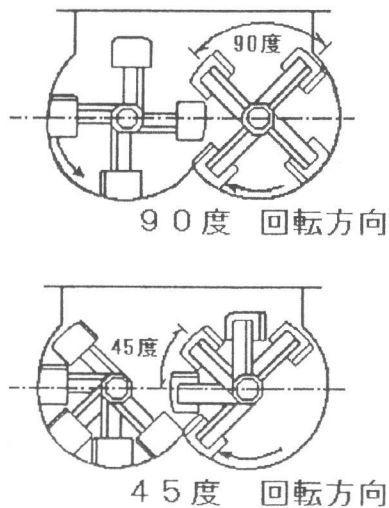


図-3 パドル配列角度

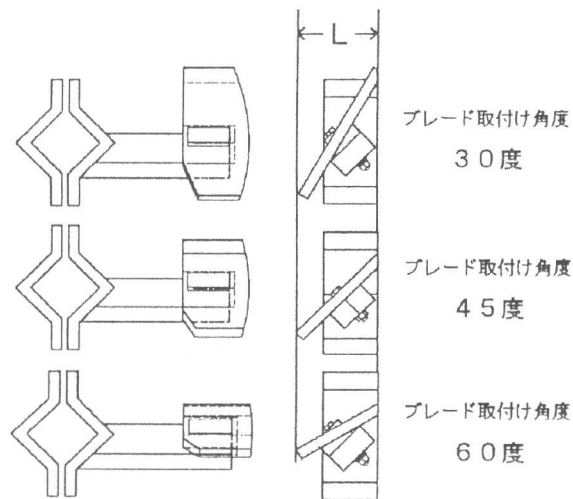


図-4 ブレード取り付け角度

2. 2実験方法

以下に示す方法で実験を行った。（図-5参照）

(1)モデルモルタルとモデル粗骨材を所定の V_g/V_m で十分に混合しモデルフレッシュコンクリートを作製する。

(2)作製したモデルフレッシュコンクリートを静かにモデルミキサ内に投入する。

(3) 撮影用カメラをモデルミキサ下方から計測領域であるミキサ底層部を画面全体に撮影する位置に固定する。

(4) 練混ぜを開始する。

(5) 練混ぜ開始直後にトレーサ粒子を1000個モデルコンクリート自由表面部の所定の位置に投入する。

トレーサ粒子を投入した瞬間を計測時間の起点とする。

(6) ミキサ回転直後に投入したトレーサ粒子群がミキサの練混ぜの進行によって底層部に出現し、分散していく状況をビデオ撮影する。

(7) 画像処理方法は、計測画面中心位置を原点とし、計測画面内に出現したトレーサ粒子個々の座標をすべて取得する。

(8) 計測時間は60秒以上とし、計測時間30秒までは1秒間隔毎に、30秒以降は5秒間隔毎にトレーサ粒子の座標データを取得する。

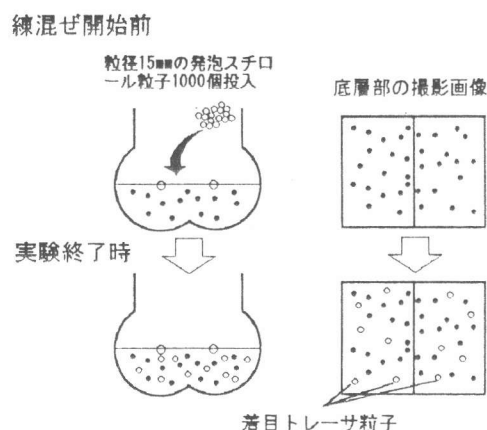


図-5 実験方法概要図

3. 実験結果

3.1 トレーサ粒子分布状況

図-6に計測画面内に出現したトレーサ粒子の分布状況の一例を示す。

各ブレード取付け角度とも初期段階では計測画面右側領域の上部からトレーサ粒子が出現する。また、左側シャフトの巻き込みにより計測画面左側領域上部にも若干のトレーサ粒子が出現する。しかし、左側領域ではトレーサ粒子の分散は進行せず、ある時間まで画面左側上部で滞留状態にある。画面右側領域全体のトレーサ粒子の分散がほぼ完了すると画面左側領域でのトレーサ粒子の分散が進行し、最終的にトレーサ粒子は画面全体に分散する。なお、底層部に出現するトレーサ粒子の最終出現個数は1000個のうち100個程度である。

また目視観察の範囲内で、トレーサ粒子が計測画面全体に偏りなく分散し、それぞれある時間でトレーサ粒子濃度が一定となり平衡状態に達するという状況と最終出現個数についてはブレード取付け角度の違いによる差はほとんどみられない。しかし、同一の練混ぜ時間でのブレード取付け角度別のトレーサ粒子分布状況は若干の違いがみられる。練混ぜ時間5秒、10秒ではほとんど差はみられない。しかし、練混ぜ時間15秒になるとブレード取付け角度が小さいほど画面左側領域に出現するトレーサ粒子が多く、トレーサ粒子群の分散の程度が大きい。これは明らかにブレード取付け角度の違いによりかくはん性能に違いがあることを意味する。

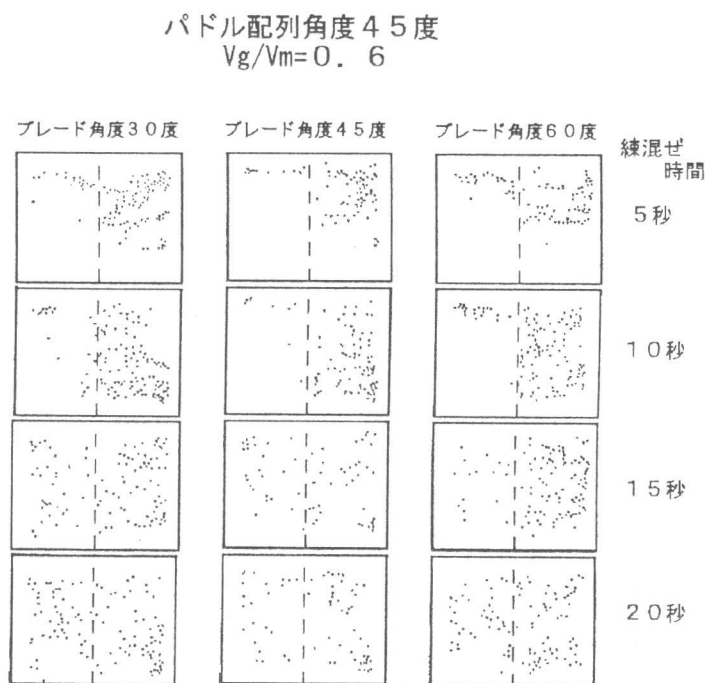


図-6 トレーサ粒子分布状況

4. 考察

撮影画像より得られたトレーサ粒子の座標データを定量的に評価するために以下に示す2種類の指標を用いる。

(1) トレーサ粒子群の重心の移動経路および原点からの距離の経時変化

計測画面内に出現したトレーサ粒子群の重心座標を算出し、図-7に示すように計測画面から抽出した着目領域内の重心の移動経路を示し、原点と重心間の距離を測定する。個々の実験条件においてトレーサ粒子群はミキサ全体に分散し、ある時間で平衡状態に達する。その結果、重心座標と原点間の距離は零に漸近する。

(2) 計測画面4分割領域内のトレーサ粒子個数の変動係数

計測画面を図-8に示すように原点を中心に4分割し、それぞれの領域内に出現するトレーサ粒子の個数を計測しその変動係数を求める。この指標は計測画面内のトレーサ粒子の分散程度を示し、各領域内のトレーサ粒子が同数であれば零となる。

4. 1 トレーサ粒子群の重心の移動経路および原点からの距離の経時変化

図-9にトレーサ粒子群の重心の移動経路の一例を示す。パドル配列角度に関係なく、重心位置はグラフ右上から徐々に原点に向かって移動する。パドル配列角度45度ではブレード取り付け角度による差はほとんどみられず、重心は画面右上からまずX軸に接近し、X軸付近である時間滞留点を持ちその後原点に接近し原点付近で再度滞留する。この現象は、 V_g/V_m が0.3の場合でも同様の傾向を示す。

一方、パドル配列角度90度ではブレード取り付け角度60度において他のブレード取り付け角度に比べ重心の移動経路に以下に示す有意な差が認められる。練混ぜ時間の経過に伴い原点に接近してはいるものの、原点付近での滞留状態が存在せず計測画面右側領域のみで移動している。これは、トレーサ粒子群が画面右側領域に若干、偏在していることを意味する。

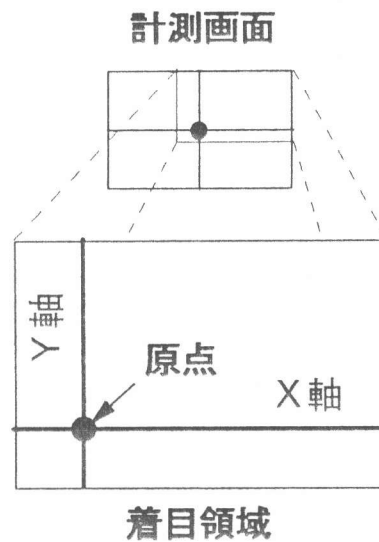


図-7 計測画面と座標軸の関係

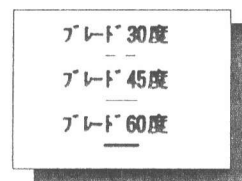
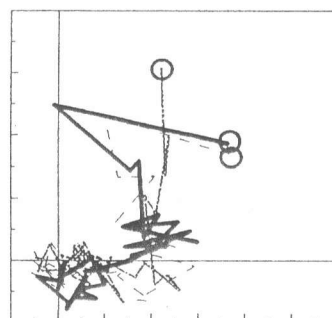
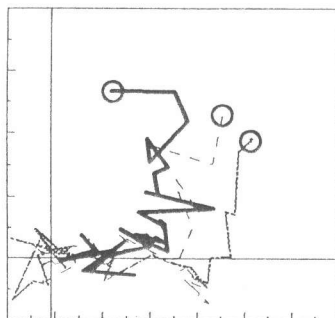
	①	②
①	I	II
②	III	IV

図-8 計測画面要素分割図

パドル配列角度90度

パドル配列角度45度

V_g/V_m 0.6



○ : 移動開始点
(練混ぜ開始
1秒後の
重心位置)

図-9 重心位置の移動経路

練混ぜ時間と原点からの重心距離の関係の一例を図-10に示す。パドル配列角度90度ではブレード取り付け角度60度の場合、他のブレード取り付け角度と比較して重心距離が平衡状態に達するまでの時間が長い。一方、パドル配列角度45度ではブレード取り付け角度が小さくなるほど平衡状態に達する時間が短く、良好なかくはんが行われていると考えられる。この傾向は Vg/Vm が0.3の場合も同様である。

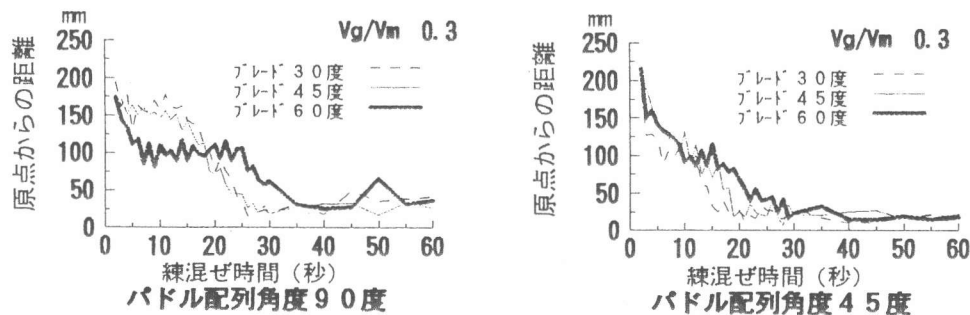


図-10 トレーサ粒子群の重心位置と原点との距離の経時変化

4. 2計測画面4分割領域内のトレーサ粒子個数の変動係数

練混ぜ時間と計測画面4分割領域内のトレーサ粒子個数の変動係数（以降、変動係数と称す）の関係を図-11に示す。パドル配列角度90度においてブレード取り付け角度30度と45度では有意な差はみられない。しかしブレード取り付け角度60度は他のブレード取り付け角度に比べ平衡状態に達する時間が長い。ブレード取り付け角度60度では画面右側領域にトレーサ粒子が偏在し4分割領域内に存在するトレーサ粒子個数にばらつきがあるためであると考えられる。また、 Vg/Vm の違いによるグラフ形状の差はほとんどみられない。

一方、パドル配列角度45度では、 Vg/Vm の違いにより傾向に差がみられる。 Vg/Vm が0.3ではブレード取り付け角度が小さいほど平衡状態に達する時間が短くブレード取り付け角度による差が明確に現れている。一方、 Vg/Vm が0.6ではブレード取り付け角度60度が平衡状態に達する時間が他のブレード取り付け角度に比べ比較的長い。

また、すべてのブレード取り付け角度において、パドル配列角度90度に比較して45度の方が練混ぜ時間の経過に

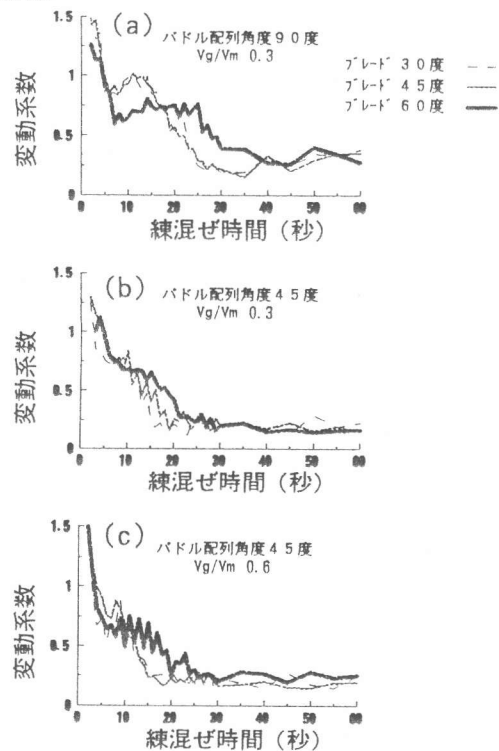


図-11 練混ぜ時間と変動係数の関係

伴う変動係数が一定値に収束するまでの時間が短い。これは、パドル配列角度45度で卓越する“全体循環流動”が、かくはんに有効であるという既往の研究結果と一致する。

ここで、仮想画面内にトレーサ粒子に相当する出現座標位置を乱数を用い発生させ、本実験と同様の解析を行い変動係数を求めると0.155という値になる。（以下、この値を理想値と称す。）この理想値は画面内のトレーサ粒子分布状態が理想的なため本実験の収束値より小さい。そこで、本実験の収束値に近い値である理想値の2倍（0.31）を基準値とし、個々のパラメータにおいて変動係数が徐々に減少し基準値を下回る時間とブレード取り付け角度の関係を図-12に示す。この指標において基準値を下回することはトレーサ粒子の分散がほぼ平衡状態に到達していることを意味する。

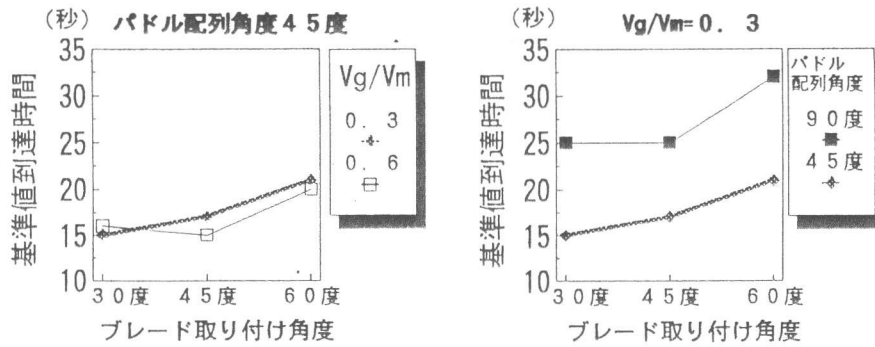


図-12 ブレード取付け角度と基準値到達時間との関係

パドル配列角度45度の場合、 V_g/V_m が0.6においてブレード取付け角度30度と45度ではほとんど差はなく60度は他のブレード取付け角度に比べ時間を要する。一方、 V_g/V_m が0.3ではブレード取付け角度が小さいほど基準値到達時間が短い。パドル配列角度45度と90度で比較した場合、90度はすべてのブレード取付け角度において基準値到達時間が長い。

局部交錯流動が卓越するパドル配列角度90度ではブレード取付け角度を変化させた場合、60度から45度程度で全体循環流動の発生能力が限界に達し、それ以上取付け角度を小さくしてもかくはん能力は向上しない。

一方、全体循環流動に卓越したパドル配列角度45度では、 V_g/V_m が大きく粗骨材粒子間でのミキサ練り混ぜエネルギーの伝達が活発に行われる状態では、ブレード取付け角度30度と45度の差はほとんど現れない。しかし、 V_g/V_m が小さくミキサの全体循環流動発生能力に対する依存度が大きい場合、即ちミキサ自身の練混ぜ能力に対し、より厳しい条件下では、ブレード取付け角度が小さいほど他のブレード取付け角度と比べ全体循環流動を活発にし、良好なかくはんを行うことが可能である。

5. 結論

コンクリート材料の製造技術の発展に伴い安定した品質のコンクリートの製造に必要な高性能ミキサの開発を目的とし、可視化実験手法を用い、2軸強制ミキサのブレード取付け角度が練混ぜ性能に与える影響を実験的に検討した。

本実験内において以下のことが明らかになった。

(1) 全体循環流動が卓越するパドル配列角度45度では、ブレードの取付け角度を小さくすることによりミキサ内の全体循環流動の発生頻度を増加させる。それはモルタルに対する粗骨材濃度が小さいほど顕著である。

(2) 局部交錯流動が卓越するパドル配列角度90度では、ブレード取付け角度の変化による全体循環流動の発生能力には限界がある。

<謝辞>本研究は平成5年度文部省科学研究費補助金(奨励研究(A)課題番号05750443)の一部により行ったものである。また、本研究を実施するにあたり、ご協力いただいた石川島建機(株)プラント事業部の関係各位に、心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 橋本親典ほか：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、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 1037-1042, 1993. 6
- 2) 橋本親典ほか：フレッシュコンクリートの固液2相系モデルによる2軸強制練りミキサの練混ぜ機構の定量化に関する基礎的研究、超流動コンクリートに関するシボ°ジウム論文報告集, pp. 39-46, 1993. 5