

論文

[1015] アジテータ車のコンクリートの排出性能に関する基礎的研究

正会員○橋本 親典 (群馬大学建設工学科)

正会員 吉田 正宏 (群馬大学大学院)

正会員 辻 幸和 (群馬大学建設工学科)

正会員 林 善弘 (新明和工業)

1. はじめに

トラックミキサ車は、レデーミキストコンクリートの使用とポンプ圧送によるコンクリート打設工法の普及により、都市部およびその近郊の建設現場におけるコンクリート打設に関する一連の施工システムにおいて重要な役割を果たしている。現在、わが国で用いられているトラックミキサ車の多くは、バッチャプラントで製造されたレデーミキストコンクリートを積み込んで打設現場まで運搬する間、骨材とモルタル分の材料分離とスランプロスを防止するために、攪拌しながら運搬するアジテータ車として使用されている[1]。

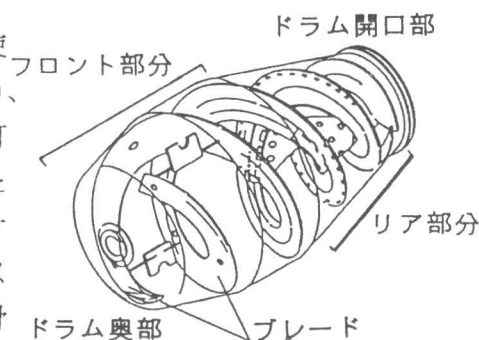


図-1 アジテータ内部の透視図

2. アジテータの排出機構とこれまでの研究経過

アジテータ内部の透視図を図-1に示す。アジテータ内壁には、ブレードが180度の位相でダブルスパイラル状に取り付けられている。コンクリートの練り混ぜを行うミキサとアジテータの構造上の大きな違いは、ミキサではブレードのみが回転しドラムが固定されているのに対し、アジテータではブレードとドラムと一緒に回転する点である。コンクリートの排出過程は、図-2に示す1組のらせん型のブレードの回転運動によって行われる。ドラムが回転することによりブレードとドラム壁に存在するコンクリートがブレード上面を滑りながら常にドラム底面のブレード上面に移動する。ブレード自体は常に同一平面上の円軌道を運動するが、ブレード上面を滑るコンクリートは排出口に向かってブレードを階段状に昇っていき、排出口に達する。

著者らはこれまでに、アジテータの排出性能の評価と高性能化を目的とし、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、アジテータ内のコンクリートの流動解析を行ってきた

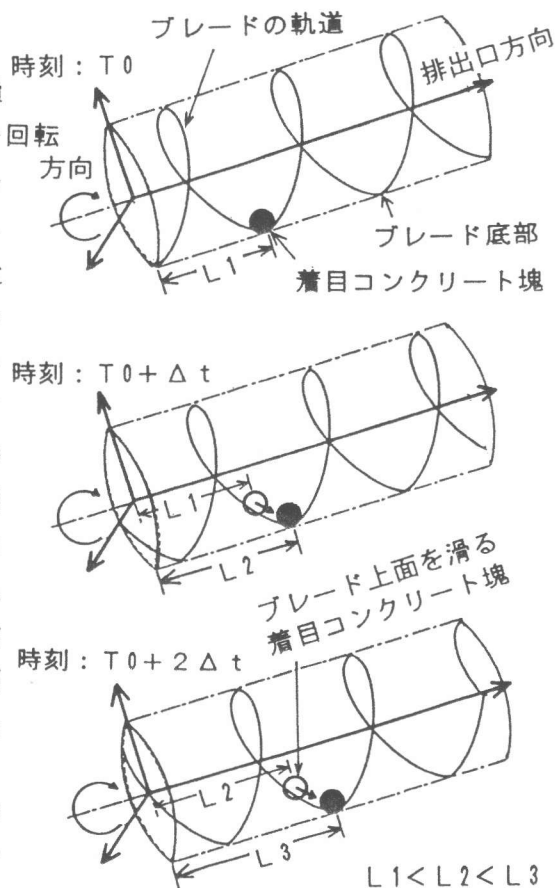


図-2 コンクリートの排出過程

[2]。1/5スケールのモデルアジテータを用いた流動実験の結果、アジテータの排出性能に悪影響を及ぼす流動現象として、排出口付近のコンクリートがブレードによってドラム上部壁面に巻き上げられる現象（図-3参照）の存在が明らかになった[3]。また、コンクリートの配合要因であるモルタル相の粘性と粗骨材とモルタルの容積比が付着巻き上げ量に及ぼす影響や、ブレードの巻ピッチ角度、ブレードの断面形状およびドラムの回転速度が、排出性能に及ぼす影響について検討してきた。その結果、コンクリートの排出性能を向上させるためには、ブレードの巻ピッチ角度が重要な設計パラメータの一つであることが明らかになった[4]。

本研究は、アジテータ車のコンクリートの排出性能に関する基礎的研究として、リア部のブレード巻ピッチ角度を 11.25° から 20° までの広範囲に変動させた1/5スケールのモデルアジテータを用いたシミュレーション実験を行い、排出過程におけるブレード周辺のコンクリートの排出機構とブレード巻ピッチ角度およびコンクリートの付着巻き上げ量の相互関係について検討する。

3. 排出性能実験の概要

図-3に1/5モデルアジテータを用いた排出性能実験装置の概要を示す。排出性能実験では、排出経過時間に伴う1回転の排出量（以後、回転排出量と称する）をデジタル重量計で測定し、回転排出量曲線および累積回転排出量曲線が求められる。モデルアジテータのドラムは、アクリル樹脂製で、ブレード部分は塩化ビニル製である。ブレード巻ピッチ角度は、 11.25° , 12.8° , 14.85° , 16° , 18° および 20° の6種類とした。巻ピッチ角度を変化させることにより、回転軸方向のブレードの間隔が変化し 11.25°

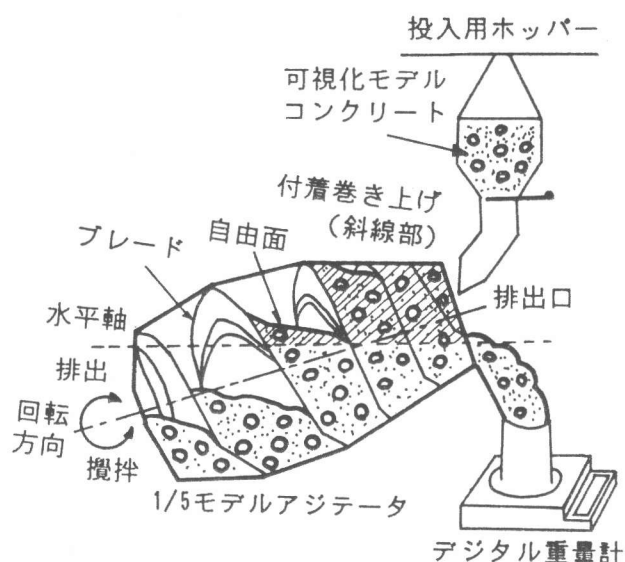


図-3 排出性能実験装置

のアジテータのブレード間隔が最も狭く、 20° が最も広い。図-4にブレードの巻ピッチ角度を示す。アジテータのドラム回転速度は、実機アジテータにおいて排出する時の標準回転速度である3rpmと同一とした。

コンクリートの可視化モデルは、水・セメント・細骨材・粗骨材等から構成されるフレッシュコンクリートをモルタル相と粗骨材相からなる2相系の混相流にモデル化したものである。排出性能実験において回転排出量曲線や累積回転排出曲線を求めるだけであれば、必ずしも可視化モデルコンクリートを用いる必要はない。しかし、本研究では、排出過程におけるブレード周辺のコンクリートの流動性状を観察し、排出メカニズムとブレード巻ピッチ角度の相互関係を検討するために可視化モデルコンクリートを採用した。また、著者らの研究[5]では、ブレードへのコンクリートの付着巻き上げ現象を滑り特性と考え、鋼およびアクリル樹脂製の平板を用いて、斜面を滑る実コンクリート塊およびモデルコンクリート塊の摩擦によるエネルギー損失係数を相似則の指標とし、鋼板と実コンクリートのエネルギー損失係数とアクリル樹脂板とモデルコンクリートのエネルギー損失係数を比較検討した。その結果、対応するスランプが同程

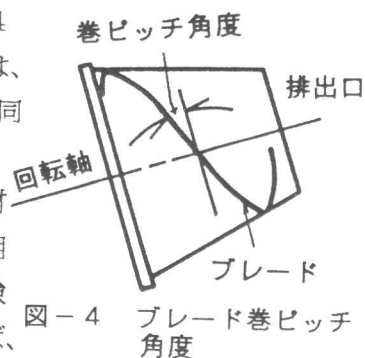


図-4 ブレード巻ピッチ角度

度の場合、実際とモデルのエネルギー損失係数の比はほぼ1となり、滑り特性は近似することが確認された。よって、本モデルアジテータを用いた排出性能実験では、実際のコンクリートよりもむしろ可視化モデルコンクリートを採用した方が、滑り特性の観点から適当であると判断した。

可視化モデルコンクリートの主たる実験パラメータは、モデルモルタルの粘性とモルタルと粗骨材の容積比である。モデルモルタルの粘性は、Pロートによるフロー試験によって得られるフロー値によって制御し、本実験ではフロー値を200sec程度で一定とした。モルタルと粗骨材の容積比（以後、 V_g/V_m と称する）は、0, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 1.0の6種類とした。

モデルアジテータに積載した可視化モデルコンクリートの量は、40ℓで一定とした。この積載量は、実機アジテータ（10t車）のコンクリート最大積載量である 4.5m^3 から換算した。

可視化モデルコンクリートが想定している実コンクリートのスランプは、フロー値:200sec, V_g/V_m :0.6のモデルコンクリートが8cm程度である。フロー値:200sec, V_g/V_m :0.9および1.0でのモデルコンクリートに対応する実コンクリートのスランプは3cm以下で、貧配合の非常に硬練りのコンクリートを想定している。

同一実験条件での実験の繰り返し回数は最低2回とし、単位時間排出量の変動係数（標準偏差／平均値）が10%を越えるとき再実験を行い、変動係数を10%以内になるまで繰り返し実験を行うこととした。

4. 実験結果および考察

ドラムが回転した回数と回転排出量の関係の一例を図-5に、累積回転排出量の関係の一例を図-6に示す。

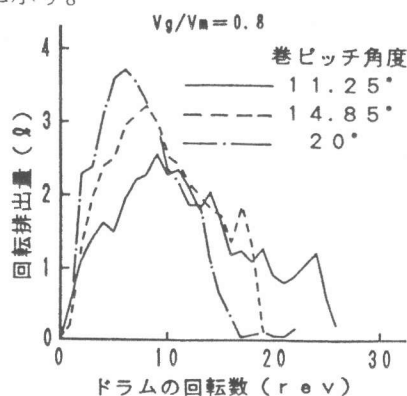


図-5 回転排出量曲線の一例

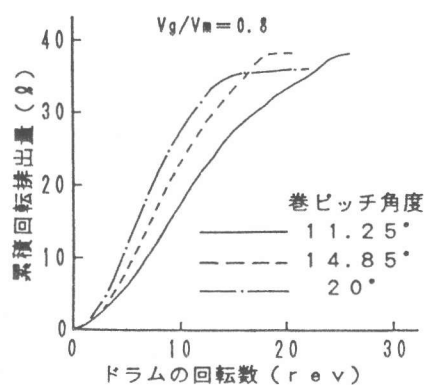


図-6 累積回転排出量曲線の一例

回転排出量のピーク値が高い値を示し、累積回転排出量曲線の傾きが急になる実験条件ほど、排出性能が良好な場合と考えられる。累積回転排出量曲線の傾きは、ドラムの回転数の経過に伴い必ずしも一定ではない。巻ピッチ角度が 20° の場合、排出開始直後は傾きが大きく排出性能が良好であるのに対し、排出終了近くになると急激に傾きが小さくなる。排出部位によって累積回転排出曲線の傾きが変化することを考慮して、排出部位毎の累積回転排出量の傾きの逆数（以後、単位排出回転数と称する）を排出性能の定量的指標として採用した。

着目した排出部位としては、全排出量を5等分し排出開始直後から全排出量の $1/5$ までの開始直後排出部位、全排出量の $2/5$ から $3/5$ までの中間排出部位、および全排出量の $4/5$ から排出終了時までの終了直前排出部位の3箇所とした。したがって、単位排出回転数は任意の排出部位区間においてモデルコンクリート1ℓを排出するのに必要なドラム回転数を意味し、単位

排出回転数が小さいものほど排出性能が良好であることを意味する。

図-7は、排出部位毎のブレード巻ピッチ角度と単位排出回転数の関係を示す。

終了直前の排出部位における単位排出回転数に関しては、 V_g/V_m の大きさに関係なく巻ピッチ角度 14.85° の単位排出回転数が最も小さく、排出性能が良好であることを示す。

一方、開始直後や中間の排出部位における単位排出回転数では、 V_g/V_m が0.8以下ではブレード巻ピッチ角度が増加するに従い単調に減少する。 V_g/V_m が0.9以上ではブレード巻ピッチ角度 14.85° の単位回転排出量が極小値となり、終了直前排出部位の場合と同様な傾向を示す。

したがって、実際のアジテータでは、終了直前の排出性能を考慮すると、コンシステンシーの大小に関係なく、排出性能を向上させるための最適なブレード巻ピッチ角度が存在すると予想される。

5. 排出機構のモデル化

各実験条件において、可視化モデルコンクリートの排出過程の流動状況を目視およびビデオ撮影デ

ータの詳細な観察により、排出部位毎の排出性能に及ぼすブレード巻ピッチ角度と可視化モデルコンクリートの V_g/V_m の影響については、図-8に示す3つの排出機構によって説明することができる。なお、以下のモデル化では、ブレード巻ピッチ角度が大きくなるに従って、コンクリートの排出性能の向上に寄与する排出機構を“正の排出機構”とし、排出性能を低下させる原因と考えられる排出機構を“負の排出機構”と定義した。

①ドラム1回転あたりの輸送距離に関する正の排出機構：ブレード巻ピッチ角度を大きくすると、アジテータが1回転する間にブレードに沿ってコンクリートが排出口に進む距離が長くなり、少ない回転数で排出口までコンクリートを輸送させることができる。したがって、ブレード巻ピッチ角度が大きくなると、コンクリートの排出性能が向上する。

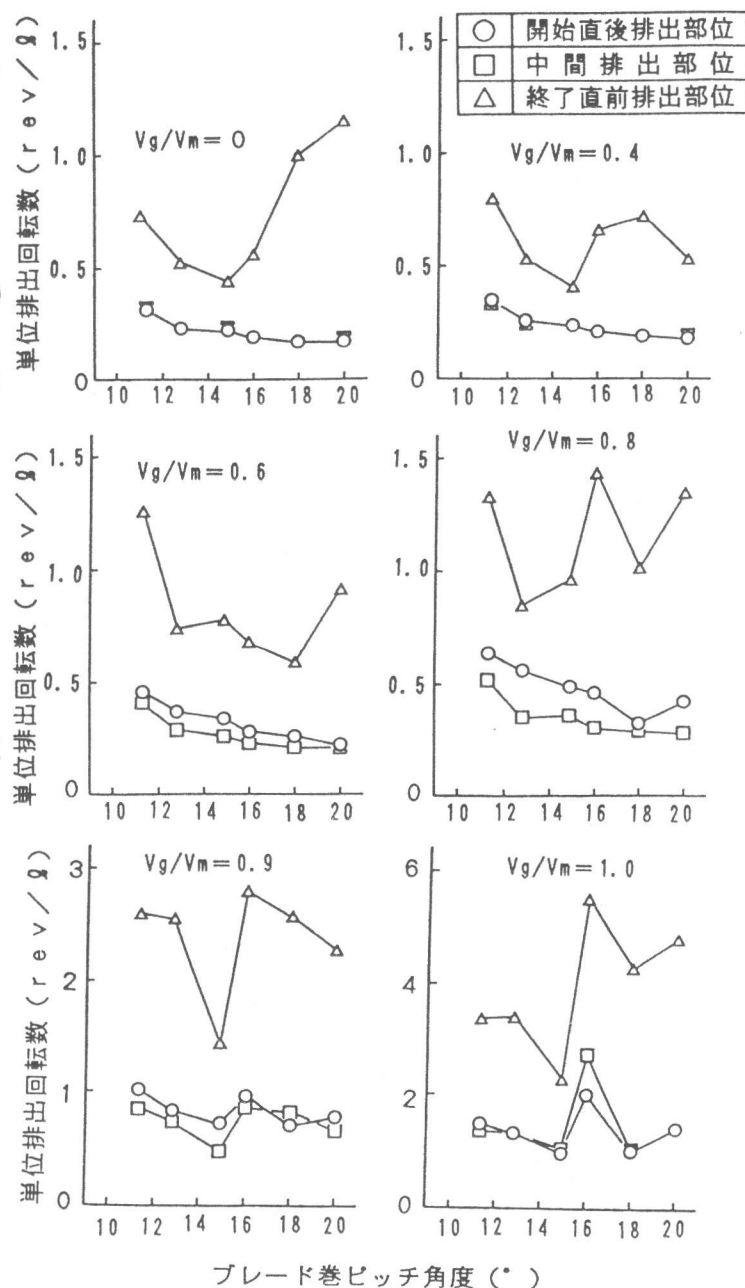
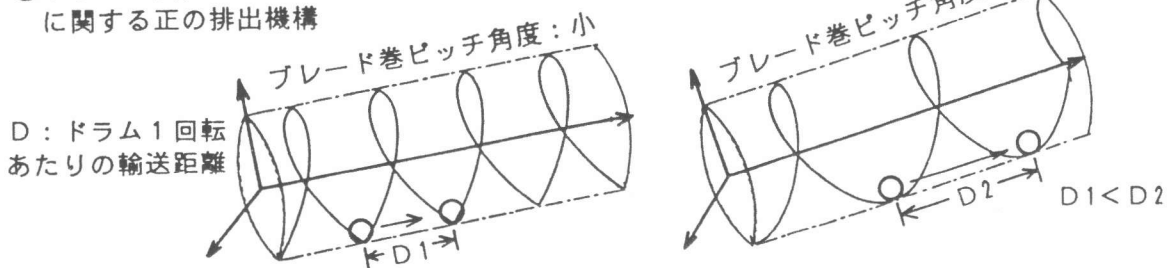


図-7 排出部位毎のブレード巻ピッチ角度と単位排出回転数の関係

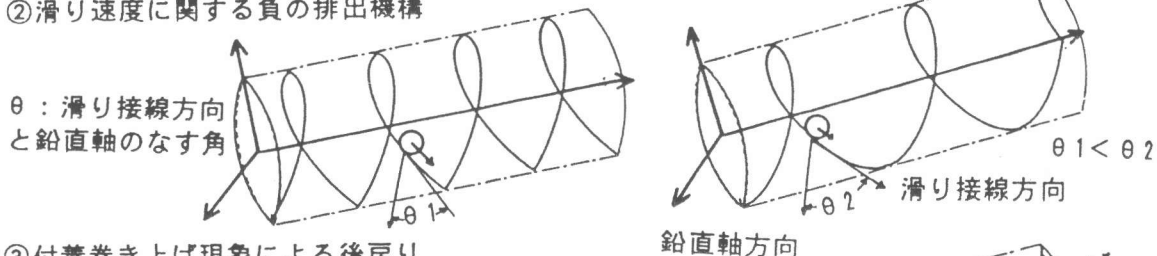
②滑り速度に関する負の排出機構：ブレード巻ピッチ角度を大きくすると、コンクリートがブレード上面を滑るとききの滑り方向と鉛直軸方向がなす角度が大きくなり、ブレードを流動するコンクリートの滑り速度が減少する。したがって、ブレード巻ピッチ角度が大きくなるとコンクリートの排出性能が低下する。

③付着巻き上げ現象による後戻りに関する負の排出機構：排出口付近でのコンクリートの付着巻き上げによってドラム上方に付着したコンクリートは、ドラム奥側のブレードに落下する。この為、ブレード巻ピッチ角度が大きい場合は、後方のブレードに戻る距離が長くなり、付着巻き上げされたコンクリートの後戻り量が増大する。したがって、ブレード巻ピッチ角度が大きくなると、コンクリートの排出性能が低下する。

①ドラム1回転あたりの輸送距離に関する正の排出機構



②滑り速度に関する負の排出機構



③付着巻き上げ現象による後戻りに関する負の排出機構

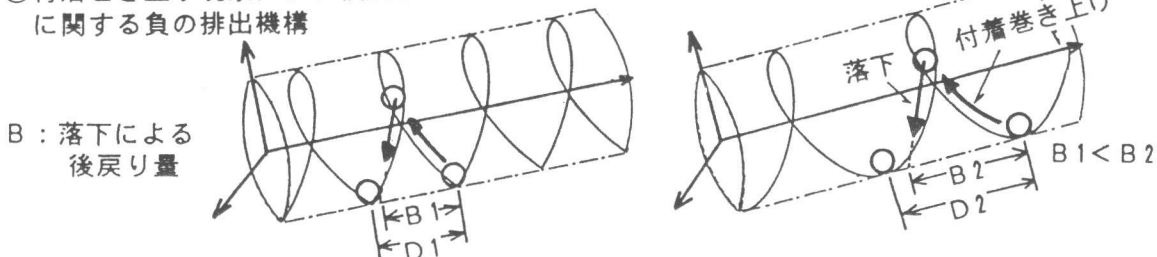


図-8 コンクリートの排出機構のモデル化

開始直後や中間での排出部位では、アジテータ奥から排出口に向かってコンクリートが供給されるため常に付着巻き上げ現象がリア部のドラム内壁面に発生する。そのため、排出口付近のブレードに沿って運ばれるコンクリートは、ブレード面上にあるコンクリート自体の重力がブレードとコンクリートとの付着力より大きくなり滑り落ちるのではなく、アジテータ奥から供給されるコンクリートによって無理やり排出口に押し出されるように前進する。したがって、②滑り速度に関する負の排出機構の影響があまり現れず、①ドラム1回転あたりの輸送距離に関する正の排出機構と③付着巻き上げ現象による後戻りに関する負の排出機構で排出性能の優劣が決定する。

高スランプコンクリートに対応する V_g/V_m が0.8以下のモデルコンクリートでは付着巻き上げ量が少ないため、ブレード巻ピッチ角度が大きくなることによる③の負の排出機構の影響が抑制さ

れ、①の正の排出機構の影響が卓越し、コンクリートの排出性能が向上する。一方、低スランブコンクリートに対応する V_g/V_m が0.9以上のモデルコンクリートでは付着巻き上げ量が多くなり、ブレード巻ピッチ角度がある限界以上に大きくなると③の負の排出機構の影響が卓越し、付着巻き上げられたコンクリートが後方のブレードに落下し、①の正の排出機構の影響により排出口に運ばれる量よりも後戻りする量が多くなる。その結果、コンクリートの排出性能が低下する。

これに対し、終了直前の排出部位では、アジテータ内部に存在するコンクリートが減少するために、付着巻き上げられるコンクリートの量も減少する。したがって、③付着巻き上げ現象による後戻りに関する負の排出機構の影響があまり現れず、①ドラム1回転あたりの輸送距離に関する正の排出機構の影響と②滑り速度に関する負の排出機構の影響で排出性能の優劣が決定する。

ブレード巻ピッチ角度がある限界に達するまでは、①の正の排出機構の影響の方が②の負の排出機構の影響より卓越し、コンクリートは排出口へ運ばれる。そして、ブレード巻ピッチ角度がある限界を越えて大きくなると、①の正の排出機構より②の負の排出機構の影響が卓越し、ブレード面にあるコンクリートが滑りにくくなり、コンクリートの排出性能が低下する。

6. 結論

アジテータ車のコンクリートの排出性能に関する基礎的研究として、排出過程におけるブレード周辺のコンクリートの排出機構に着目し、広範囲に変化させたブレード巻ピッチ角度を主たる実験パラメータとした実機の1/5スケールのモデルアジテータを用いた排出性能実験を行った。

本実験範囲内において、以下のことが明らかになった。

- 1) アジテータ車のコンクリートの排出性能に対して、リアのブレードの巻ピッチ角度には最適角度が存在する。
- 2) コンクリートの排出性能に対して最適なブレード巻ピッチ角度が存在する理由は、任意の排出部位において次の3種類の排出機構の組合せによって説明できる。①ドラム1回転あたりにブレード上のコンクリートが輸送される距離に関する排出機構、②ブレード上面をコンクリートが滑るときの滑り速度に関する排出機構および③排出口付近に発生する付着巻き上げ現象に伴う後戻り量に関する排出機構の3種類であり、①の排出機構はブレード巻ピッチ角度の増加に対して排出性能を向上させる効果があり、②と③の排出機構は排出性能を低下させる効果がある。

なお、本研究費の一部は、第9回日本スパンクリート協会研究助成金により行われたことを記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) (社)日本建設機械化協会編：コンクリートポンプハンドブック 付：トラックミキサ、森北出版、pp.229-230、1979.12
- 2) 安本礼持・丸山久一・橋本親典・林善弘：可視化実験手法によるアジテーター内部のコンクリートの流動解析、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第5部、pp.710-711、1990.9
- 3) 安本礼持・橋本親典・丸山久一・辻幸和：可視化実験手法によるアジテータ内でのフレッシュコンクリートの排出過程の研究、コンクリート工学年次論文報告集13-1、pp.107-112、1991.6
- 4) 橋本親典・吉田正宏・林善弘・辻幸和：アジテータの設計諸条件がコンクリートの排出性能に及ぼす影響、第18回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.9-14、1991.11
- 5) 橋本親典・吉田正宏・安積淳一・辻幸和：フレッシュコンクリートの可視化実験手法に関する相似則の検討、コンクリート工学年次論文報告集13-1、pp.89-94、1991.6