

論文 アジテータのかくはん時におけるモルタルと粗骨材の材料分離

新井 憲幸*1・橋本 親典*2・杉山 隆文*3・辻 幸和*4

要旨：本研究ではモデルアジテータを用いた可視化実験装置に画像処理装置を組み合わせ、モデルコンクリートを構成するモルタル相と粗骨材粒子の流速・流動方向を計測するシステムを用いて、かくはん時におけるモルタル相の粘性と粗骨材濃度がモルタル相と粗骨材の材料分離に及ぼす影響について検討した。その結果、アジテータのかくはん時に発生する材料分離は、モルタル相の粘性よりも粗骨材濃度による影響が大きいことが明らかになった。

キーワード：可視化実験、材料分離現象、粗骨材濃度、モルタルの粘性

1. 緒言

アジテータドラム内のフレッシュコンクリートの複雑な流動機構を実験室規模で解明する一手法として、著者らは可視化実験手法を提案し実験・検討を行ってきた。その結果、アジテータのかくはん過程の際、ドラムフロント部でモルタル相と粗骨材粒子群の材料分離現象の発生が確認されている[1]。本研究では、1/5スケールのモデルアジテータを用いた可視化実験装置に画像処理装置を組み合わせ、モデルコンクリートを構成するモルタル相と粗骨材粒子群のそれぞれのトレーサ粒子の流速・流動方向を計測するシステムを用いて、モルタル相および粗骨材粒子群の材料分離現象の定量化を試みた。その結果に基づき、かくはん過程における材料分離現象に及ぼすモルタルの粘性と粗骨材濃度の影響について検討する。

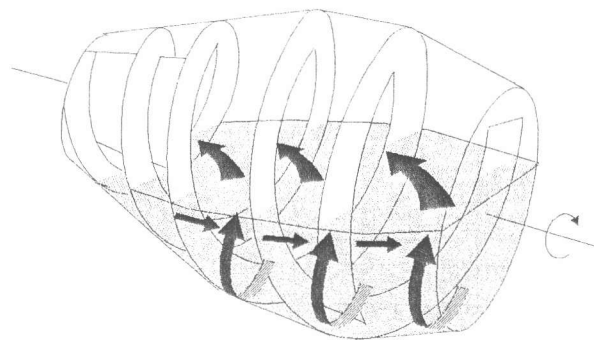


図-1 モデルコンクリートの流動性状

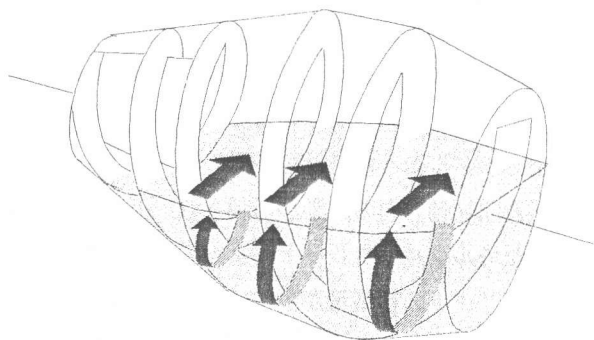


図-2 ドラム回転方向の流動

2. アジテータのかくはん過程における可視化モデルコンクリートの流動性状

かくはん過程におけるアジテータドラム内のモデルコンクリートの流動性状を図-1に示す[2]。

モデルコンクリートの流動はドラムの壁面摩擦力による回転方向と、ブレードの移動により生じる回転軸方向の2成分に大別できる。

*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 助手 工学部建設工学科、Ph. D (正会員)

*4 群馬大学 教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

ドラム回転方向の流動は、ドラムの回転に伴いドラム壁面とモデルコンクリートとの摩擦力によって発生し、モデルコンクリートの表層部と低層部が半径方向平面上で循環する流れである（図-2参照）。この流動は低層にいくに従い、モデルコンクリートの自重によりドラムとほぼ一体となって回転する領域を形成する。この領域では粒子相互間の位置変化はほとんど見られない。

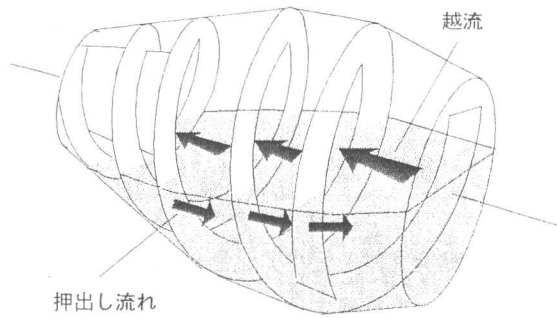


図-3 ドラム回転軸方向の流動

ドラム回転軸方向の成分の流動はさらにブレードの推進力によりドラム側壁付近のコンクリート深度の浅い範囲でドラム奥側へ流れる”押し出し流れ”と表層面にてブレードの高さを越えたモデルコンクリートが高低差を減少させる方向（開口部方向）に流動する”越流”の2種類に分けられる。図-3に押し出し流れ、越流の概略を示す。

3. 材料分離現象

図-4に材料分離現象の概略を示す。

フレッシュコンクリートをアジテータによって長時間かくはんするとモルタル相と粗骨材粒子群の材料分離現象が発生する。コンクリートの深度の浅い表層付近において粗骨材粒子群は

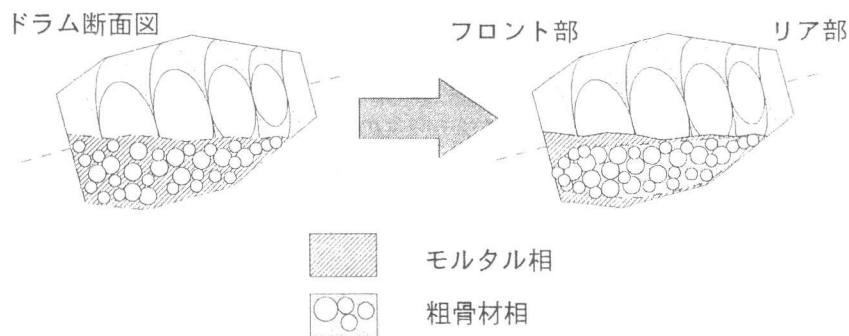


図-4 材料分離現象の概略

比較的自由に流動する。一方、モルタル相は粗骨材粒子群に比べるとドラム回転方向の流動の影響を強く受ける。これはドラム壁面摩擦力による付着がモルタル相と粗骨材粒子群で異なるためであり、この付着特性の差がモルタル相と粗骨材粒子群の粒子レベルの材料分離を発生させる。モデルコンクリートの積載量が増加すると回転軸方向の流動が抑制され、ドラム回転方向の流動が卓越し粒子レベルの材料分離が蓄積される。分離したモルタルはブレードによってドラム奥側に運ばれ層を形成し、モルタル相が堆積する。しかしモデルコンクリートの積載量が少ない場合は、回転軸方向の流動が活発となり、粒子レベルの材料分離を発生してもモルタル層の堆積は一時的なものであり時間とともに解消する[3]。また材料分離現象は、実機アジテータドラム内におけるコンクリートの表面および内部においても発生していることが確認されている[4]。よって本研究では、ドラムに接するモデルコンクリート表面を計測することによりモデルコンクリートの分離性状について検討した。

4. 実験概要

4. 1 可視化実験システム

可視化モデルアジテータは実機10トトラックアジテータの1/5スケールモデルでドラムは透明アクリル樹脂製、2組の螺旋型ブレードは塩化ビニル製である。図-5に実験に用いたモデルアジテータを示す。ドラム回転数は実機と同じく1.5rpm、モデルコンクリートの積載量は回転軸方向の流動が抑制される実機の積載

量 5.0m^3 に対応する40リットルとした。

フレッシュコンクリートの可視化モデルは、モルタル相と粗骨材粒子群からなる固液2相系混相流体とした。モルタルモデルは無色透明な高吸水性高分子樹脂水溶液（比重1.0）を使用し、その粘性をP漏斗の流下時間で制御した。なおモルタル相の着目トレーサ粒子として発泡スチロール粒子（粒径 $0.5\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ ）を混入した。着目トレーサ粒子の混入量は単位モルタル量当たりに対して一定とした。粗骨材モデルは、粒径 $5\sim 10\text{mm}$ 、比重1.66、実積率61.2%、メサライト系人工軽量粗骨材を用いた。

モデルコンクリートの性状はモルタルモデルの粘性、人工軽量粗骨材とモデルモルタルの体積濃度比（以下、 V_g/V_m と称する。）により調節した。

本研究に使用したモデルコンクリートの配合ならびにモデルコンクリートと実際のコンクリートの相似性を考慮するためにスランプフロー試験・V漏斗試験（流出口 $65\text{mm}\times 65\text{mm}$ ）によるコンシステンシー試験結果を表-1に示す。

4. 2 評価方法

（1）アジテータドラム内における材料分離発生量の定量化

図-6に材料分離実験装置の概要を示す。

材料分離現象がドラムフロント部に発生するためアジテータのドラムフロント部底面に接するモデルコンクリートの流動を60分間、2次元収録した。収録データから画像処理装置によりモルタル相の着目トレーサ粒子である発泡スチロール粒子を白色、それ以外の領域を黒色とする2値化処理し、計測ウインドウ内におけるトレーサ粒子の面積占有率（以下、モルタル面積比）より材料分離発生量を検討した。なお計測ウインドウ（ $100\text{mm}\times 175\text{mm}$ ）は、ドラムフロント部底面の奥壁付近に設定した。

（2）ドラム壁面におけるモルタル相と粗骨材粒子の流動状況の定量化

コンクリートの深度の浅い表層付近においてモルタル相と粗骨材粒子は異なる流動を示し、粒子レベルの材料分離が発生する。粒子レベルのモル

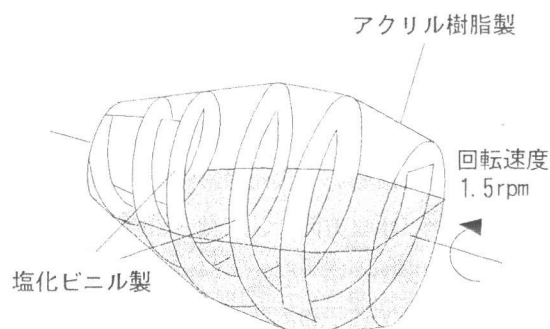


図-5 可視化モデルアジテータ

表-1 モデルコンクリートの配合とコンシステンシー試験結果

試験名	流下時間	V_g/V_m	スランプ フロー(cm)	V漏斗値
P100V05	100	0.5	46.0	3.6
P100V06		0.6	42.0	6.6
P100V08		0.8	38.0	32.6
P100V10		1.0	31.0	閉塞
P200V05	200	0.5	42.5	7.1
P200V06		0.6	40.5	8.2
P200V08		0.8	37.0	91.4
P200V10		1.0	26.0	閉塞

P100V05:P100はP漏斗による流下時間が100秒、V05は V_g/V_m が0.5であることを示す。

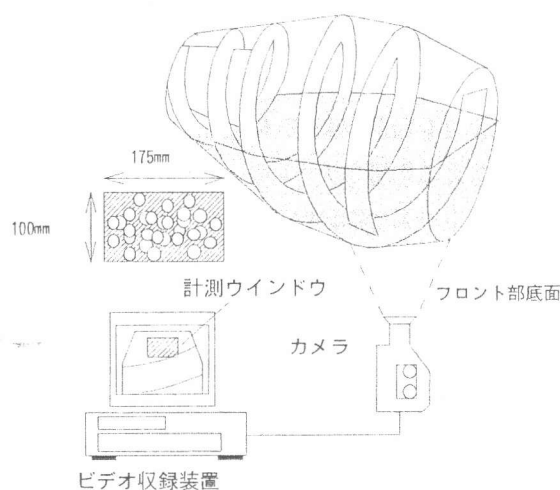


図-6 材料分離実験装置

タル相と粗骨材粒子の力学的挙動を詳細に検討するため、ドラムフロント部側面の表層付近を計測領域とし、表層付近のドラム接触面におけるモデルコンクリートの流動を2次元撮影した。なお計測領域内にX軸（水平方向）、Y軸（鉛直方向）の基準値として標準要素（84mm×84mm）を設定し、その基準値によって粒子の流速・流動方向を算出した。計測時刻は材料分離現象が顕著に発生する5～20分とし、計測時間間隔は始点から終点までを1秒とした。計測サンプル数は各粒子50個とした。計測領域から粗骨材粒子およびモルタル粒子の流速・流動方向の各階級における相対度数を算出し、モデルコンクリートのコンシステンシーの変化が材料分離現象に及ぼす影響について比較・検討した。なお流動方向は水平軸（X軸）に対して反時計回りを正として計測している。図-7にモルタル相と粗骨材粒子の流動撮影概要図を示す。

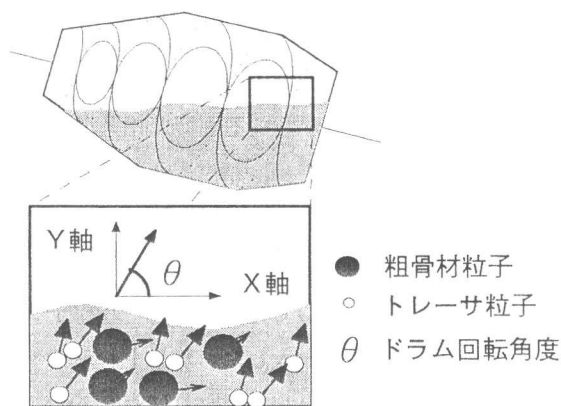


図-7 各粒子の流動撮影概要図

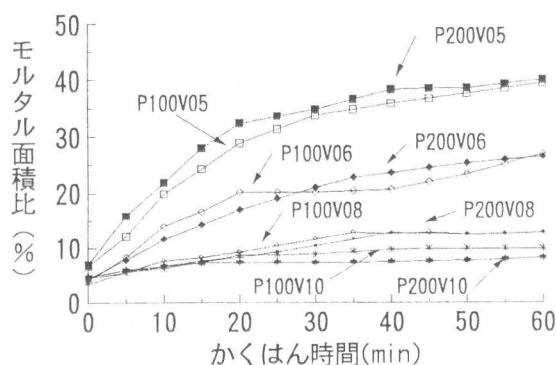


図-8 材料分離の経時変化

5. 実験結果および考察

5. 1 アジテータドラム内における材料分離発生量の定量化

図-8にP漏斗による流下時間と V_g/V_m の変化によるかくはん時間とモルタル面積比の関係を示す。

高スランプコンクリートである $V_g/V_m=0.5, 0.6$ は、かくはん時間の経過に伴いモルタル面積比が著しく増加しているが、低スランプコンクリートである $V_g/V_m=0.8, 1.0$ は、さほど材料分離現象の発生は見られない。また、 V_g/V_m を一定としP漏斗による流下時間を変化させても材料分離発生量にさほど影響がないことが分かる。よってモルタル相の粘性よりも V_g/V_m がドラム壁面に対する材料分離現象に与える影響は大きい。

5. 2 ドラム壁面におけるモルタル相と粗骨材粒子の流動状況の定量化

図-9、10、11にP漏斗による流下時間を100秒で一定とし、 $V_g/V_m=0.5, 1.0$ と変化させた場合のモルタル相と粗骨材粒子の流速のX成分・Y成分の相対度数分布ならびに各粒子の流動方向の相対度数分布を示す。

$V_g/V_m=1.0$ におけるモルタル相と粗骨材粒子の

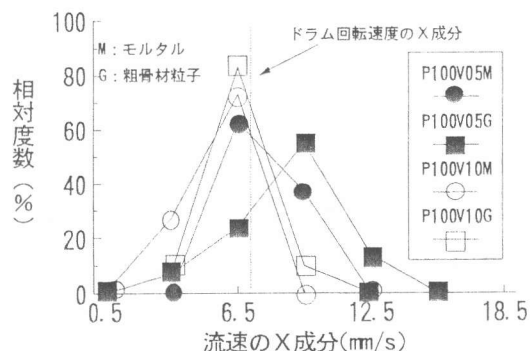


図-9 V_g/V_m の変化による各粒子の流速のX成分

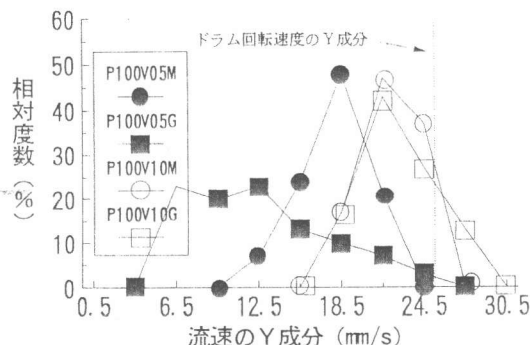


図-10 V_g/V_m の変化による各粒子の流速のY成分

流速のX成分はほぼ同様な傾向であり、ドラムの回転に追従している。これはモルタル相と粗骨材粒子がブレードによる推進力よりもドラム回転方向成分の影響を受けるためである。なおドラム回転速度のX成分は7.0mm/sである。

一方、 $V_g/V_m=0.5$ におけるモルタル相の流速のX成分はドラム回転方向成分の影響を受けるのに対して、粗骨材粒子の流速のX成分はモルタル相に比べて大きい。 $V_g/V_m=0.5$ では粗骨材の自由度が大きいいため、粗骨材粒子がブレードによる推進力の影響を受けやすいためである。

$V_g/V_m=1.0$ におけるモルタル相と粗骨材粒子の流速のY成分はともにドラム回転方向成分の影響を受けている。なおドラム回転速度のY成分は26.0mm/sである。一方、 $V_g/V_m=0.5$ におけるモルタル相の流速のY成分はドラム回転方向成分の影響を受けているが、粗骨材粒子の流速のY成分はモルタル相よりも小さい。すなわち粗骨材粒子は質量差による重力の影響を受けているものと考えられる。

各粒子の流動方向の相対度数分布においても流速分布と同様である。すなわち、 $V_g/V_m=1.0$ におけるモルタル相と粗骨材粒子はドラム回転角度と一致しておりドラム壁面摩擦力の影響を受けている。一方、 $V_g/V_m=0.5$ におけるモルタル相はドラム回転角度と一致しているが、粗骨材粒子は流動方向の相対度数分布に幅があり質量差による重力の影響、ブレードによる推進力等の外力を受けている。従って、 $V_g/V_m=1.0$ のモデルコンクリートが材料分離現象を発生しないのは、粗骨材粒子がモルタル相に比べて密な状態であるために粗骨材に自由度がなく、モルタル相と粗骨材粒子が一体となって流動するためであると考えられる。一方、 $V_g/V_m=0.5$ のモデルコンクリートはモルタル相に比べて粗骨材粒子が粗な状態であるためにブレードの推進力による押し出し流れの影響を受けて材料分離現象が顕著に発生すると考えられる。

次に図-12、13、14に $V_g/V_m=0.5$ で一定としP漏斗による流下時間を100、200秒と変化させた場合のモルタル相と粗骨材粒子の流速のX成分・Y成分

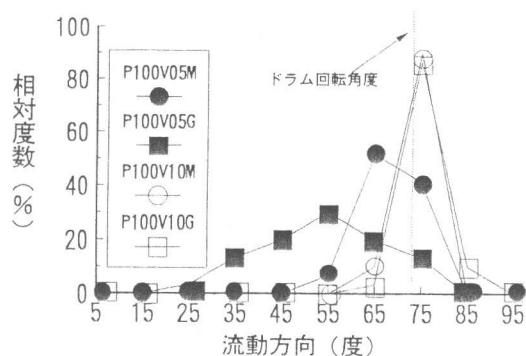


図-11 V_g/V_m の変化による各粒子の流動方向

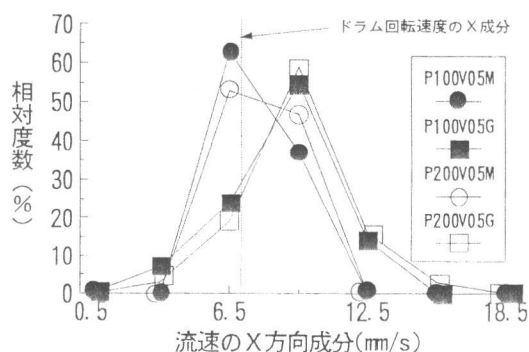


図-12 流下時間の変化による各粒子の流速のX成分

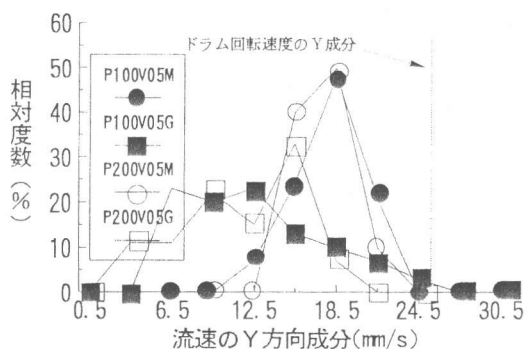


図-13 流下時間の変化による各粒子の流速のY成分

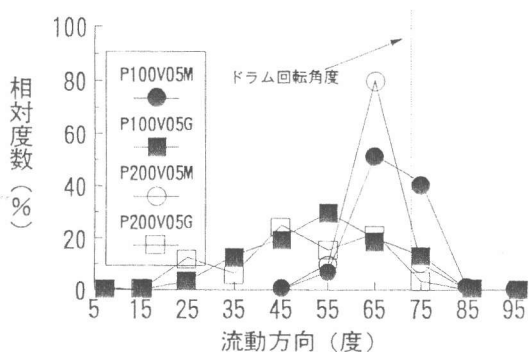


図-14 流下時間の変化による各粒子の流動方向

分ならびに流動方向の相対度数分布を示す。

モルタル相、粗骨材粒子の流速のX成分・Y成分、流動方向はP漏斗による流下時間が変化してもほぼ一致しており、モルタル相と粗骨材粒子の材料分離の程度は同じ大きさである。また $V_g/V_m=0.6, 0.8, 1.0$ においても同様な傾向であった。

次に V_g/V_m を0.5、0.6、0.8、1.0と変化させた場合のモルタル粒子の流動方向の相対度数分布を図-15に、粗骨材粒子の流動方向の相対度数分布を図-16に示す。

V_g/V_m が変化してもモルタル相の流動方向はほぼ同様な相対度数分布であり、ドラムの回転角度（74度付近）に近い流動を示している。これはドラム壁面に対するモルタル相の付着が V_g/V_m にあまり影響を受けないことを表している。一方、粗骨材粒子は V_g/V_m の増加に伴い相対度数分布が単一のピーク値に変化し、ドラムの回転運動に拘束されている。すなわち、粗骨材粒子がモルタル相に対して密な状態になると自由度を失い、ドラム回転方向成分の影響を受ける。

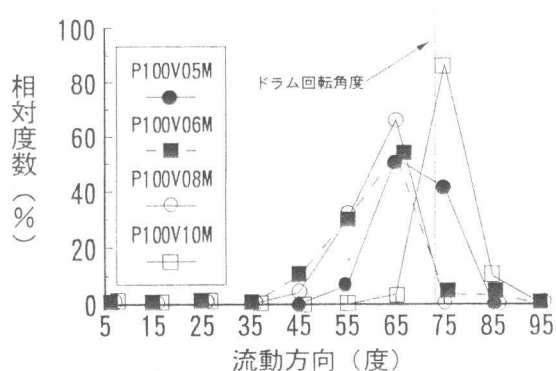


図-15 V_g/V_m の変化によるモルタル粒子の流動方向

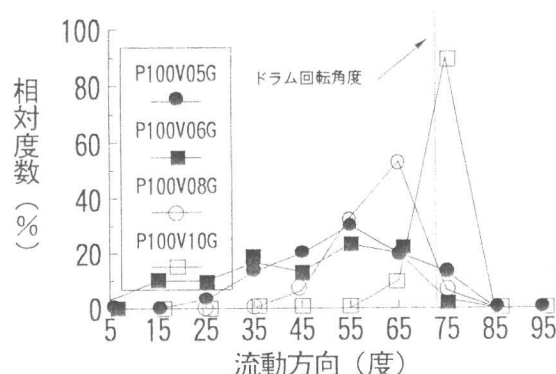


図-16 V_g/V_m の変化による粗骨材粒子の流動方向

6. 結言

本実験範囲内で以下のことが明らかになった。

- (1) 粗骨材濃度がモルタル相と粗骨材粒子の材料分離現象に与える影響は大きく、モルタル相の粘性が材料分離現象に与える影響は小さい。
- (2) 粗骨材濃度が増大するとモルタル相に比べて粗骨材粒子は密な状態になるため、粗骨材粒子の自由度が奪われて粗骨材粒子とモルタル相が一体となって流動し、材料分離現象が発生しにくい。
- (3) 粗骨材濃度が減少するとモルタル相に比べて粗骨材粒子が質量差による重力、ブレードによる推進力の外力を受けるため材料分離現象が顕著に発生する。

参考文献

- 1) 橋本 親典・安本 礼持・丸山 久一・辻 幸和：アジテータ内で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、論文[1014]、13-1、pp. 101-106、1991
- 2) 橋本 親典・平林 克己・林 善弘・辻 幸和：可視化実験手法を用いたトラックアジテータ車のコンクリートの攪拌性能に関する基礎的研究、コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集、pp. 15-22、1992. 5
- 3) 新井 憲幸・橋本 親典・辻 幸和：アジテータドラム内で生じるコンクリートの材料分離現象の発生メカニズム、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第5部、pp. 580-581、1994. 9
- 4) 吉田 正宏・安本 礼持・橋本 親典・林 善弘：実機アジテータの攪拌による材料分離現象、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第5部、pp. 532-533、1991. 9