

# 論文 水平振動方式におけるフレッシュコンクリート及び粗骨材の挙動

陳 海峰\*1・河辺 伸二\*2

要旨：水平振動方式におけるフレッシュコンクリートの挙動を把握するため、透明型枠にカラーモルタル及びカラーコンクリートを投入し、目視によりフレッシュモルタル及びコンクリートの流動を観察する。また、密度が異なる3種類の模擬粗骨材を用い、水平振動後のコンクリート中の水平方向と垂直方向への挙動を考察する。さらに、従来のテーブルバイブレータの締固めと比較する。その結果、水平振動方式ではコンクリートの上層部がより均一に混合され、一度に投入する高さの制限があることが分かった。また、粗骨材の移動距離が小さく分離しない振動時間の範囲が広いことが分かった。

キーワード：水平振動方式，透明型枠，カラーコンクリート，模擬粗骨材

## 1. はじめに

コンクリート二次製品の製造において水平振動方式によるフレッシュコンクリートの締固め方式は、締固め時の騒音の低下、表面気泡の減少、型枠寸法による振幅と振動数の効率的な変更が可能であることが特長で、現在、日本全国で数十の生産ラインに採用されている。

しかし、水平振動方式によるフレッシュコンクリートの型枠内での流動状態と粗骨材の移動状況は明らかでない。

そこで本研究では、水平振動方式におけるフレッシュコンクリート及び粗骨材の挙動を解析する実験の第一歩として、透明型枠を用いて、カラーモルタル及びカラーコンクリートを投入し、目視によってフレッシュモルタル及びコンクリートの流動を観察する(以下、カラーコンクリートの実験)。次に、密度が異なる3種類のアルミナ球、ガラス球、ナイロン球をそれぞれ重量粗骨材、普通粗骨材、軽量粗骨材に近似し、それぞれフレッシュモルタル及びコンクリート中に投入して水平振動を行う。その後、3種類の模擬粗骨材の水平方向と垂直方向の2次元で移動状況を考察・検討する(以下、模擬粗骨材の実験)。また、テーブルバイブレータを用い、それぞれカラーコンクリートの実験と模擬粗骨材の

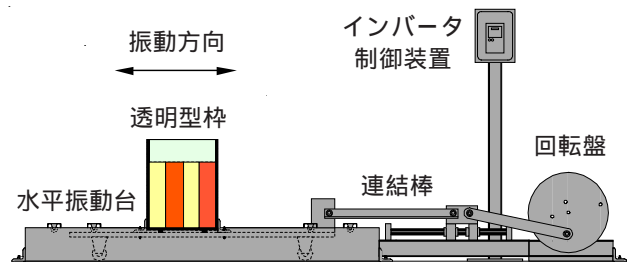


図 - 1 水平振動装置

実験を行い、水平振動方式の締固めと比較する。

本研究の結果は、コンクリート二次製品工場での水平振動方式における普通コンクリートの締固め効果の改善及び重量、普通、軽量コンクリート中の粗骨材の分離の防止に役立つと考える。

## 2. 実験概要

### 2.1 振動装置

実験に用いる水平振動装置<sup>1)</sup>を図-1に示す。装置は、水平振動台を水平方向に往復運動させながら型枠に振動を与える装置であり、本実験では、過去の実験結果とコンクリート二次製品工場で通常用いる振動条件を踏まえ、水平振動条件は振幅100mm、振動数1.0Hzで行う。

また、水平振動方式の特長を検討するため、テーブルバイブレータを用いて締固めを行い比較する。テーブルバイブレータの振幅は0.8mm、振動数は60Hzである。

\*1 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻 工修 (正会員)

\*2 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻教授 工博 (正会員)

表-1 着色顔料の色と物理的性質

色	粒度(μm)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	主な化学組成	水溶分(%)
			酸化第二鉄(%)	
赤	0.17	5.0	98.7	0.14
黄	0.08	4.1	87.1	0.22

表-2 コンクリートの調合

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能AE減水剤 C×0.2%
43	41	175	407	697	1013	0.81

表-3 模擬粗骨材の種類

種類		直径(mm)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	個数	
模擬粗骨材	模擬重量粗骨材	アルミナ球	20	3.60	15
	模擬普通粗骨材	ガラス球	20	2.50	15
	模擬軽量粗骨材	ナイロン球	19	1.10	15
粗骨材		川砂利	5~20	2.62(表乾)	—
細骨材		川砂	~5	2.59(表乾)	—

## 2.2 カラーコンクリートの実験<sup>2)</sup>

型枠：カラーコンクリートの流動状態を目視で観察するため、型枠の前面部のみ透明なアクリル製板とし、他は合板で作製する。型枠の寸法は300(長さ)×400(高さ)×100(幅)mmである。異なる色のモルタル及びコンクリートを隔離するため、型枠の内部を写真-1に示す型枠のように長さ方向に厚さ2mmの板で4等分する。

着色顔料：本実験では、目視で分別しやすくするため赤と黄の2種類のコンクリート着色用の顔料を用いる。着色顔料の色と物理的性質を表-1に示す。

カラーモルタル：カラーモルタルは、表-2に示すスランプ18cmのコンクリートの調合から粗骨材を抜いた調合にそれぞれ赤と黄の2種類の着色顔料を加える。着色顔料の添加量はそれぞれセメント量に対し5%とし、モルタルフロー値は赤と黄ともに190±10mmになるように高性能AE減水剤で調整する。

カラーコンクリート：カラーコンクリートは、表-2に示すスランプ18cmのコンクリートの調合にそれぞれ赤と黄の2種類の着色顔料を加える。着色顔料の添加量はセメント量に対し

5%とし、スランプ値は赤と黄ともに18±1.5cmになるように高性能AE減水剤で調整する。

## 2.3 模擬粗骨材の実験<sup>3)</sup>

型枠：フレッシュコンクリート中の粗骨材を水平方向と垂直方向への移動状況を考察するため、型枠の寸法は500(長さ)×600(高さ)×50(幅)mmとし、合板製とする。

模擬粗骨材：重量、普通、軽量コンクリート中の粗骨材の移動状況を考察するため、模擬粗骨材は、それぞれ重量粗骨材、普通粗骨材、軽量粗骨材に近似する3種類の密度が異なるアルミナ球、ガラス球、ナイロン球を15個ずつ用いる。模擬粗骨材の種類と密度を表-3に、状態を写真-2に示す。

モルタル：模擬粗骨材実験に用いるモルタルは、表-2に示すスランプ18cmのコンクリートの調合から粗骨材を抜いた調合を用い、モルタルフロー値は190±10mmになるように高性能AE減水剤で調整する。

コンクリート：コンクリートは、表-2に示すスランプ18cmのコンクリートの調合を用い、スランプ値は18±1.5cmになるように高性能AE減水剤で調整する。



写真-1 透明型枠

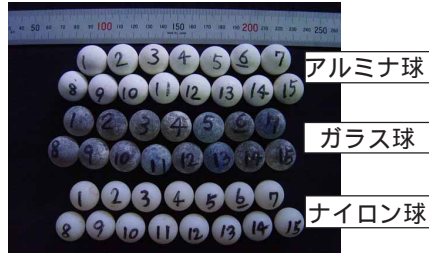


写真-2 模擬粗骨材

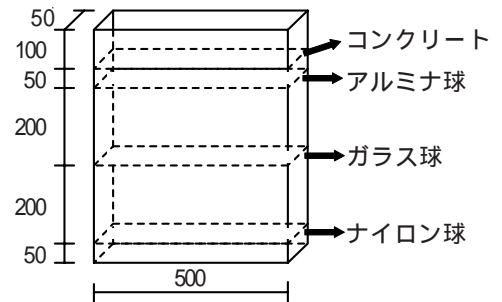


図-2 模擬粗骨材の設置方法(mm)



振動時間 120s



振動時間 180s

写真-3 水平振動方式による  
カラーモルタルの流動状況



振動時間 20s

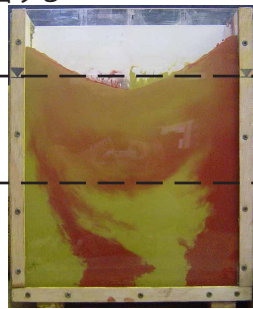


振動時間 30s

写真-4 テーブルバイブレータ方式による  
カラーモルタルの流動状況



振動時間 120s



振動時間 180s

写真-5 水平振動方式による  
カラーコンクリートの流動状況

均一に混合する



振動時間 20s



振動時間 30s

写真-6 テーブルバイブレータ方式による  
カラーコンクリートの流動状況

### 3. 実験方法

#### 3.1 カラーコンクリートの実験

カラーモルタル：表-2に示すコンクリートの捨てモルタルの調合に基づいて計量した細骨材，セメントにそれぞれ着色顔料を加えモルタルミキサで空練りする。次に水，高性能AE減水剤を加え均一に攪拌する。練り上がったカラーモルタルは二つの透明型枠に黄，赤，黄，赤の順で投入する。その後，間隔板を抜いてそれぞれ水平振動装置とテーブルバイブレータで振動を行う。フレッシュモルタルの時間の経過に伴う流動状況を観察するため，デジタルカメラで水平振動方式では30s間隔，テーブルバイブ

レータ方式では5s間隔で流動状況を撮影する。

カラーコンクリート：表-2に示すコンクリートの調合に基づいて計量した細骨材，粗骨材，セメントにそれぞれ着色顔料を加え傾胴式ミキサで空練りする。次に水，高性能AE減水剤を加え均一に攪拌する。練り上がったカラーコンクリートを二つの透明型枠に黄，赤，黄，赤の順で投入する。その後，間隔板を抜いてそれぞれ水平振動装置とテーブルバイブレータで振動を行う。フレッシュコンクリートの時間の経過に伴う流動状況を観察するため，デジタルカメラで水平振動方式では30s間隔，テーブルバイブレータ方式では5s間隔で流動状況を撮影する。

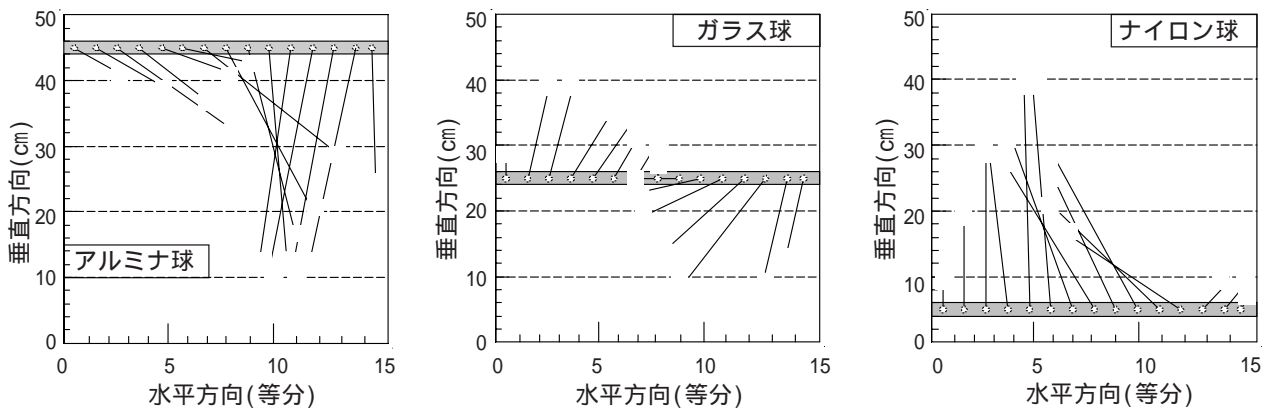


図-3 水平振動方式によるモルタル中の模擬粗骨材の移動状況(振動時間120s)

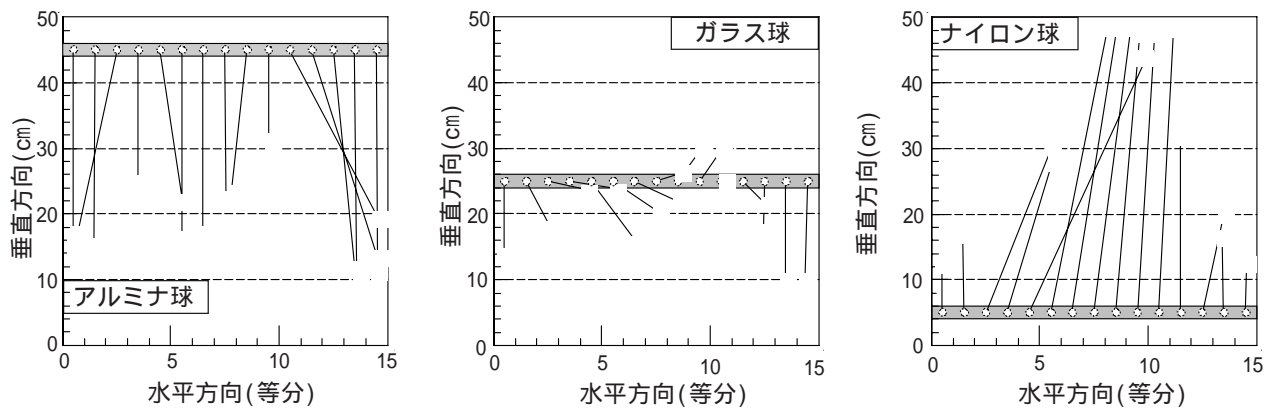


図-4 テーブルバイブレータ方式によるモルタル中の模擬粗骨材の移動状況(振動時間20s)

### 3.2 模擬粗骨材の実験

模擬粗骨材は写真-2に示すようにアルミナ球, ガラス球, ナイロン球にそれぞれ15個ずつ用い, 1~15の番号を付ける。また, 密度が大きい粗骨材が沈下し, 密度が小さい粗骨材が浮上することを考慮して, 軽量粗骨材に近似したナイロン球は型枠の下層部に, 重量粗骨材に近似したアルミナ球は上層部に, 普通粗骨材に近似したガラス球は中層部に並べる。その設置方法を図-2に示す。

フレッシュモルタル及びコンクリートは打設2時間後に脱型し, まだ固まらない内に水平方向で15等分に, 垂直方向では2cmごとの層で分けていき, 各モルタル及びコンクリートのブロック中の球を取り出す。

また, 模擬粗骨材が振動時間との経過による垂直方向への移動状況を考察するため, 水平振動方式では30~180sまで30s間隔で, テーブルバイブレータでは20~35sまで5s間隔で振動を行い, 模擬粗骨材の分布状況を考察する。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 カラーコンクリートの実験

カラーモルタル及びコンクリートの水平振動方式による振動120s, 180s間後の流動状況を写真-3, 5に, テーブルバイブレータによる振動20s, 30s間後の流動状況を写真-4, 6に示す。振動時間は過去の実験結果から水平振動方式では120~180sまで締固めが良好であり, テーブルバイブレータでは20~35sまで締固めが良好であることを考慮した。

カラーモルタル: 写真-3に示すようにカラーモルタルは水平振動を受けると, 激しく流動する同時に上層部は下層部に, 下層部は上層部の方に回転しながら混合している。テーブルバイブレータによるカラーモルタルは写真-4に示すように徐々に上下層部ともに浸透している。

カラーコンクリート: カラーコンクリートは水平振動を受けると写真-5のように, 激しく流動しながら上層部から下層部に徐々に混合している。また, カラーモルタルに比べ回転の発

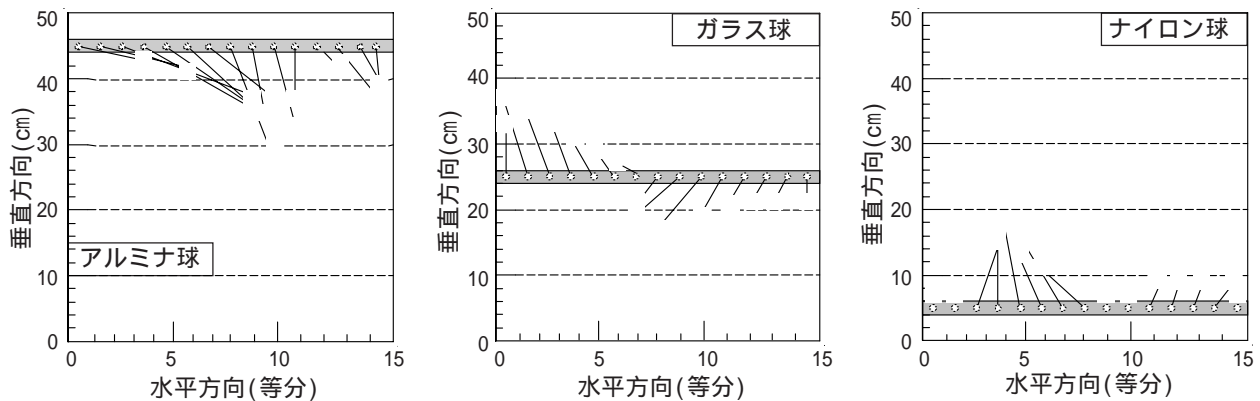


図-5 水平振動方式によるコンクリート中の模擬粗骨材の移動状況(振動時間 120s)

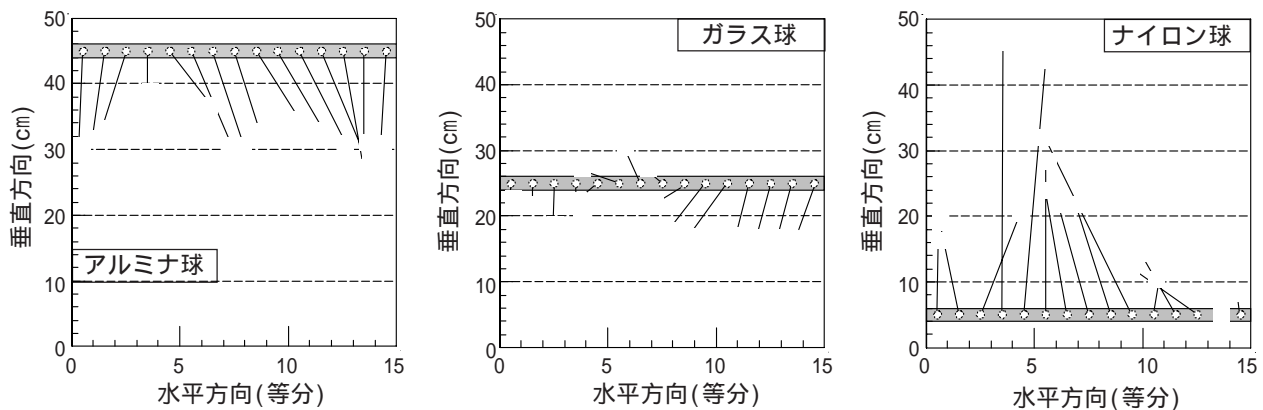


図-6 テーブルバイブレータ方式によるコンクリート中の模擬粗骨材の移動状況(振動時間 20s)

生も少なく、上層部が下層部より更に均一に混合されている。テーブルバイブレータでは、上下層部ともに徐々に浸透している。

以上から、水平振動方式では上層部のフレッシュコンクリートがテーブルバイブレータより更に均一に混合され、また均一に練り混ぜを行うための条件には、一度に投入するフレッシュコンクリートの高さに制限があると考えられる。

#### 4.2 模擬粗骨材の実験

水平振動方式の振動120s時のフレッシュモルタル及びコンクリート中の模擬粗骨材の水平方向および垂直方向への移動状況を図-3, 5にテーブルバイブレータの振動20s時の移動状況を図-4, 6に示す。

水平振動方式によるモルタル中のアルミナ球、ガラス球、ナイロン球はカラーモルタルと同様に上層部は下層部に、下層部は上層部の方に回転していると同時に水平方向、垂直方向の移動も発生している。テーブルバイブレータによるアルミナ球、ガラス球、ナイロン球は、水平方

向の移動は少ないが垂直方向の移動は大きい。

水平振動方式によるコンクリート中のアルミナ球、ガラス球、ナイロン球は図-5に示すのように、水平方向、垂直方向ともに移動が小さい。テーブルバイブレータによるアルミナ球、ガラス球、ナイロン球は図-6に示すのように、水平方向の移動は少ないが、垂直方向の移動距離は水平振動方式に比べ大きい。

以上から、水平振動方式による粗骨材の水平方向及び垂直方向への移動は、コンクリートの粗骨材との相互作用の影響が大きく、またテーブルバイブレータに比べ水平方向の移動は若干大きい垂直方向の移動は小さいことが分かる。

また、振動時間の経過に伴う模擬粗骨材の垂直方向への移動状況を把握するため、アルミナ球、ガラス球、ナイロン球の平均移動距離を求める。ただし、上昇方向は(+), 沈下方向は(-)とする。その結果を図-7~10に示す。コンクリート中のアルミナ球とナイロン球の平均移動距離は水平振動方式とテーブルバイブレータの

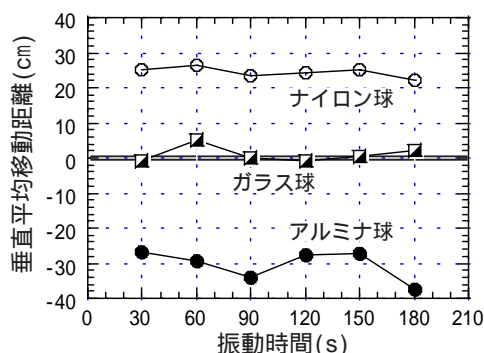


図-7 モルタル中の模擬粗骨材の垂直平均移動距離と振動時間の関係(水平振動方式)

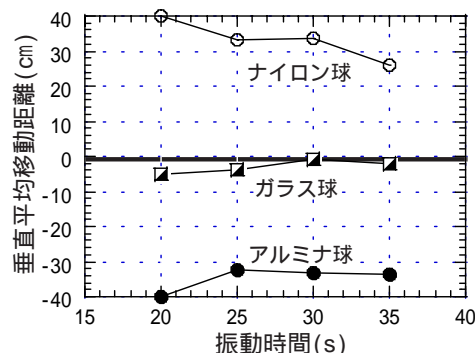


図-8 モルタル中の模擬粗骨材の垂直平均移動距離と振動時間の関係(テーブルバイブレータ)

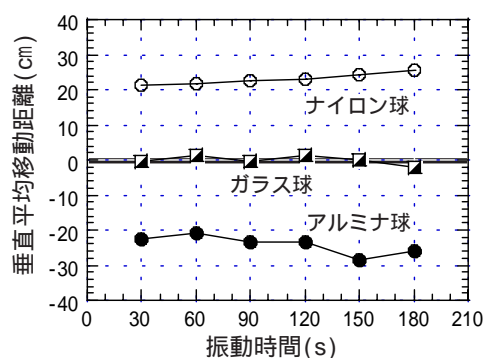


図-9 コンクリート中の模擬粗骨材の垂直平均移動距離と振動時間の関係(水平振動方式)

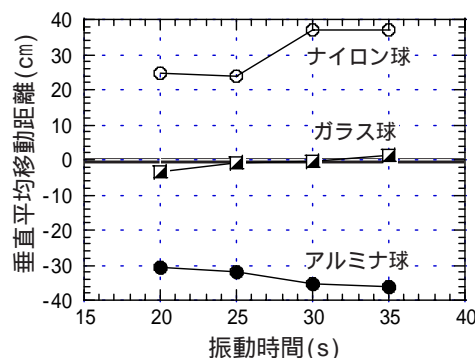


図-10 コンクリート中の模擬粗骨材の垂直平均移動距離と振動時間の関係(テーブルバイブレータ)

いずれもモルタルに比べ小さく、時間の経過とともに大きくなる。また水平振動方式の移動距離はモルタルとコンクリートのいずれもテーブルバイブレータと比べ小さく、その変化も緩やかであった。

これらから、水平振動方式はテーブルバイブレータと比べフレッシュコンクリート中の重量粗骨材、普通粗骨材、軽量粗骨材のいずれも分離抵抗性が良好であり、振動時間の範囲が広いと考えられる。

## 5. まとめ

1) 水平振動方式の上層部のフレッシュコンクリートはテーブルバイブレータより更に均一に混合されるが、均一に練混ぜを行うための条件には、一度に投入するフレッシュコンクリートの高さ方向に制限がある。

2) 水平振動方式による粗骨材の水平方向及び垂直方向への移動は、コンクリートの粗骨材との相互作用の影響が大きく、またテーブルバイブレータに比べ水平方向の移動は若干大きい

垂直方向の移動は小さい。

3) 水平振動方式はテーブルバイブレータと比べフレッシュコンクリート中の重量粗骨材、普通粗骨材、軽量粗骨材のいずれも分離抵抗性が良好であり、振動時間の範囲が広い。

## 【謝辞】

本実験に協力を頂いた松岡コンクリート工業(株)、名古屋工業大学院生張昊然氏、卒業生天野政之氏に感謝致します。

## 【参考文献】

- 1) 陳海峰, 河辺伸二: 水平振動方式によるコンクリートの表面性状における型枠形状の影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.421-426, 2005.6
- 2) 近藤高規: カラーコンクリートの着色技術の現状と課題、コンクリート工学, Vol.32, No.8, pp.24-32, 1994.8
- 3) 寺西浩司, 谷川恭雄, 森博嗣, 寺田謙一: フレッシュコンクリートの振動下における粗骨材沈下挙動に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.563-568, 1995.9