

論文 フレッシュコンクリートの鉄筋間通過挙動に関する可視化モデル実験

森 博嗣^{*1}・黒川 善幸^{*2}・寺西 浩司^{*3}・荒井 正直^{*4}

要旨：フレッシュコンクリートの鉄筋間通過挙動を表現することができる力学モデルの構築を目的として、2相系可視化モデル試料である模擬モルタルと、粗骨材を模擬したアクリル製の円柱体を用いて、2次元鉄筋間通過実験を行い、鉄筋間通過時の個々の粗骨材の運動を詳細に観察した。本稿では、粗骨材の運動が、鉄筋間通過性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

キーワード：レオロジー、鉄筋間通過性、粗骨材、可視化実験、高流動コンクリート

1. はじめに

無振動打設される高流動コンクリートでは、その鉄筋間通過性状が打設結果に支配的な影響を及ぼす[1,2]。鉄筋に接触した粗骨材は、マトリックスモルタルと一体となった挙動を阻害されて分離し、粗骨材どうしのアーチアクションに起因した閉塞が生じるなど、フレッシュコンクリートの流動性状が、鉄筋間通過時には、局所的に複雑に変化するものと考えられる。しかし、これらの分離や閉塞の発生機構に関してはほとんど解明されていない。

本報では、フレッシュコンクリートの鉄筋間通過挙動を表現することができる力学モデルの構築を目的として、2相系可視化モデル試料[3,4]を用いた2次元鉄筋間通過実験を行い、鉄筋間通過時の個々の粗骨材の運動を詳細に観察した。本稿では、粗骨材の運動が鉄筋間通過性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 実験の概要

(1) 試験装置

試験装置の概要を図-1に示す。粗骨材を模擬した直径3cm、高さ3cmのアクリル製の円柱体（比重：1.3、以下、単に粗骨材という）を整列配置し、模擬モルタルを粗骨材上面位置まで充填した透明容器中において、一定間隔に設置した2本の鋼棒（6mm）を、サーボモータによって一定速度で水平移動させた。すなわち、本試験装置

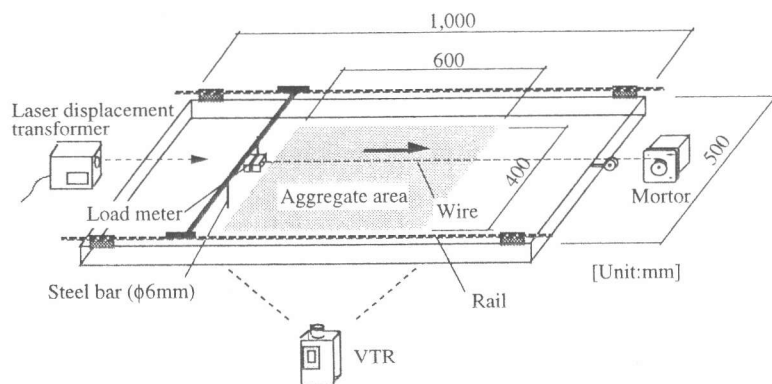


図-1 試験装置の概要

- *1 名古屋大学助教授 工学部建築学科、工博（正会員）
- *2 名古屋大学助手 工学部建築学科、工修（正会員）
- *3 前田建設工業（株）技術研究所建築材料施工研究室、工博（正会員）
- *4 名古屋大学大学院 工学研究科建築学専攻、工修（正会員）

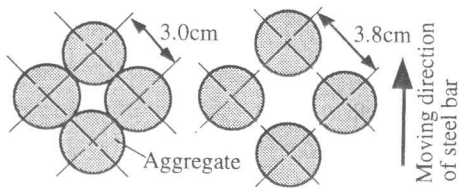


図-2 模擬粗骨材の配置状況

表-1 実験条件

実験要因	水準	
	鉄筋間隔	6cm
模擬粗骨材間隔 (粗骨材面積率)	3.0cm (79%)	3.8cm (49%)
模擬モルタル種類	高吸水性樹脂 水溶液 (B)	水 (W)
鉄筋移動速度	約3.0cm/s	約1.2cm/s

鉄筋移動速度(F, S)
 粗骨材間隔(mm)
B 6 - 3.0 - F
 鉄筋間隔(cm)
 模擬モルタル種類(B,W)

は、フレッシュコンクリートと鉄筋の相対運動を、実際とは逆にして再現するものである。粗骨材の移動状況は、ビデオカメラによって下方から撮影し、1秒ごとの画像データより、図-1の網掛け部分(600mm)を鉄筋が移動する間の粗骨材の移動量および回転量を求め、さらにそこから粗骨材の速度および速度ベクトルを算定した。また、鉄筋に加わる抵抗力および鉄筋の変位は、それぞれロードセルおよび非接触型変位計によって測定した。

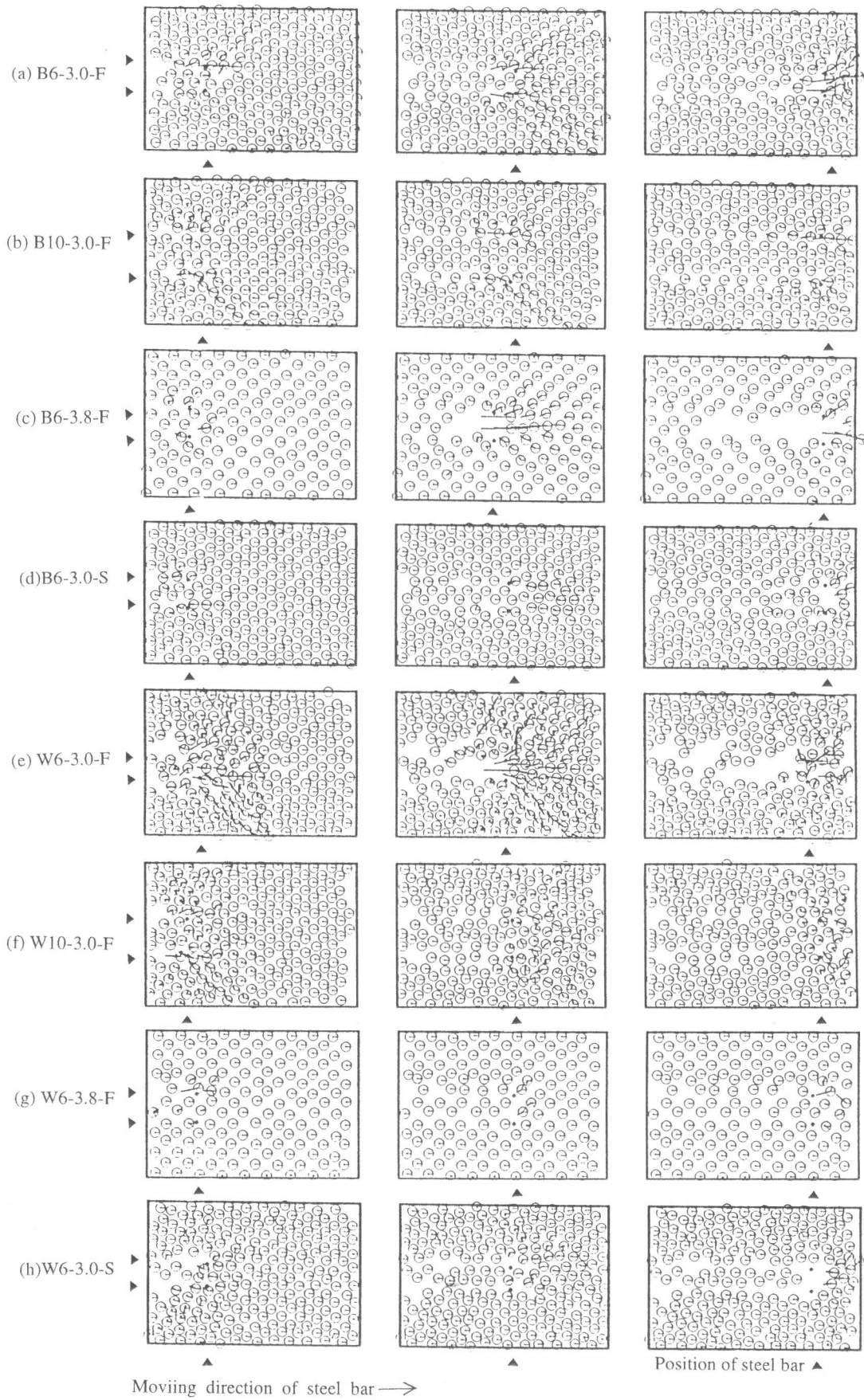
(2) 実験要因および使用材料

表-1に示すように、実験要因として、鉄筋間隔、粗骨材間隔、鉄筋の移動速度および模擬モルタルの種類を取り上げた。模擬モルタルとしては、アニオン系高吸水性樹脂(吸水率300倍)の0.8%水溶液(半透明)と、比較のために水を用いた。B型粘度計によって測定した高吸水性樹脂水溶液の降伏値および塑性粘度は、それぞれ2.3Paおよび0.54Pa・sであり、一般的な高流動コンクリートのマトリックスより小さな値である。また、粗骨材間隔は、3.0cm(接触状態)および3.8cmの2水準とし、初期状態では粗骨材を図-2に示すように配置した。鉄筋間隔は、6cmおよび10cmの2種類とした。また、鉄筋の移動速度は、約3.0cm/sおよび約1.2cm/sの2種類に変化させた。

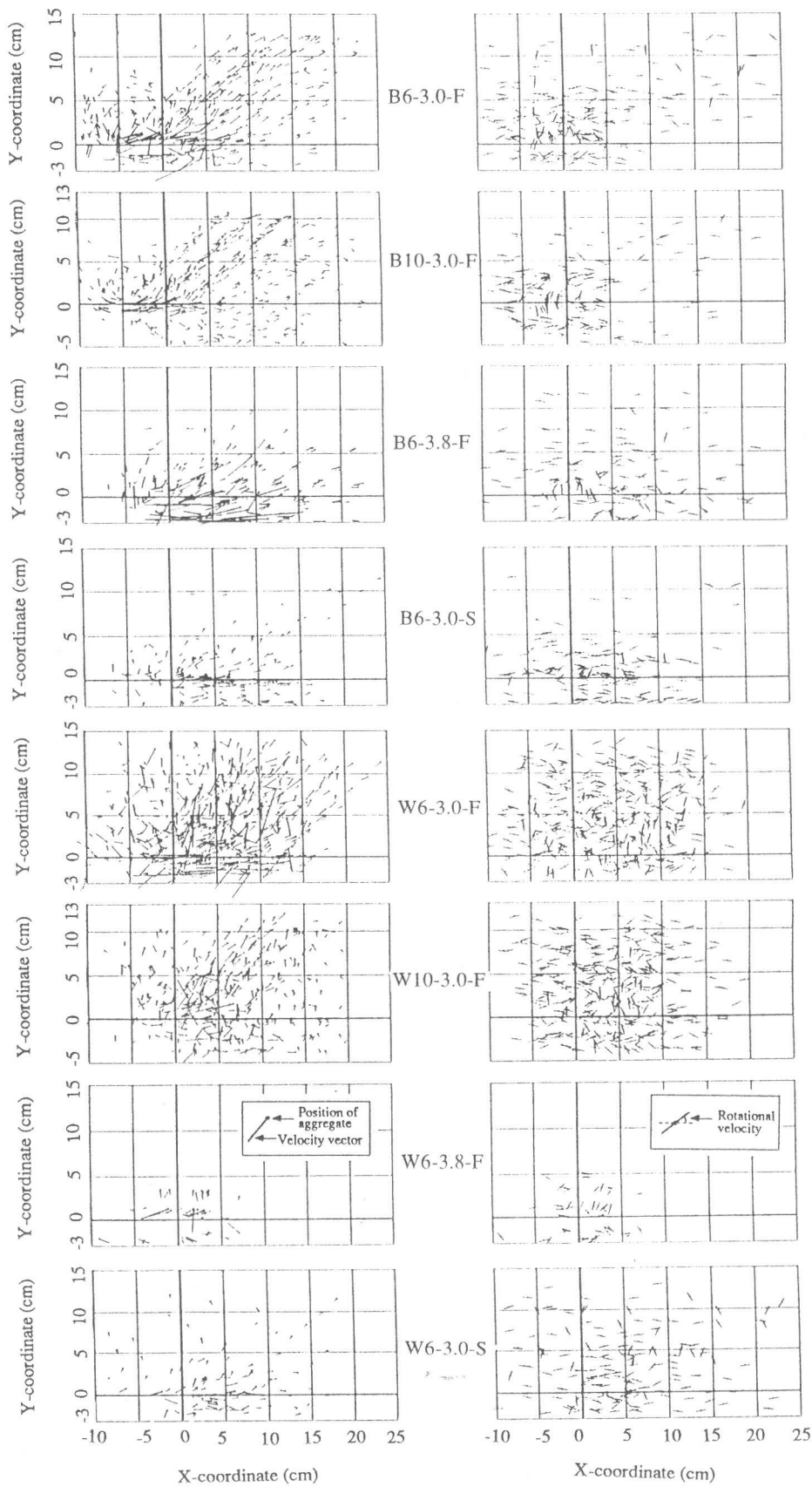
3. 実験結果および考察

図-3は、粗骨材の移動、速度ベクトル(太線)および回転による角速度(粗骨材マーカ内の角度)などの状況を、時間経過を追って示したものである。鉄筋に接触した粗骨材は、回転しながら鉄筋の通過経路上から押し出され、その粗骨材の並進および回転運動が、隣接する粗骨材を介して、鉄筋から離れた位置にある粗骨材まで減衰しながら伝達される。今回の実験要因では、粗骨材の運動の影響は、鉄筋進行方向に対して±45度の範囲に集中している。また、鉄筋の移動速度が小さくなると、粗骨材の速度ベクトルが小さくなることも確認できた。

図-4は、鉄筋位置を原点とした相対座標上における粗骨材の速度ベクトルおよび角速度を、全測定ステップを通して重ね合わせて示したものである。同図には、一定値以上の移動速度(0.5cm/s)あるいは角速度(5度)を持つ粗骨材の運動のみを表示した。鉄筋付近にある粗骨材は、鉄筋の進行と同一方向に移動し、移動速度および角速度が最も大きい。これは、鉄筋間通過時の粗骨材の運動が、モルタルから受ける作用力の他に、鉄筋との摩擦力によって決定されることを示している。また、粗骨材が密に配置された場合(間隔:3.0cm)は、高吸水性樹脂をマトリックスとした試料では、粗骨材の移動方向がほぼ一定であり、また、移動速度および回転速度が、鉄筋位置からの距離とともに規則的に減少するのに対して、水を用いた試料では、粗骨材の速度ベクトルの方向・大きさおよび角速度が不規則となっている。また、高吸水性樹脂を用いた



図—3 粗骨材の移動状況



図—4 粗骨材の速度ベクトルおよび回転速度の相対座標に関する分布

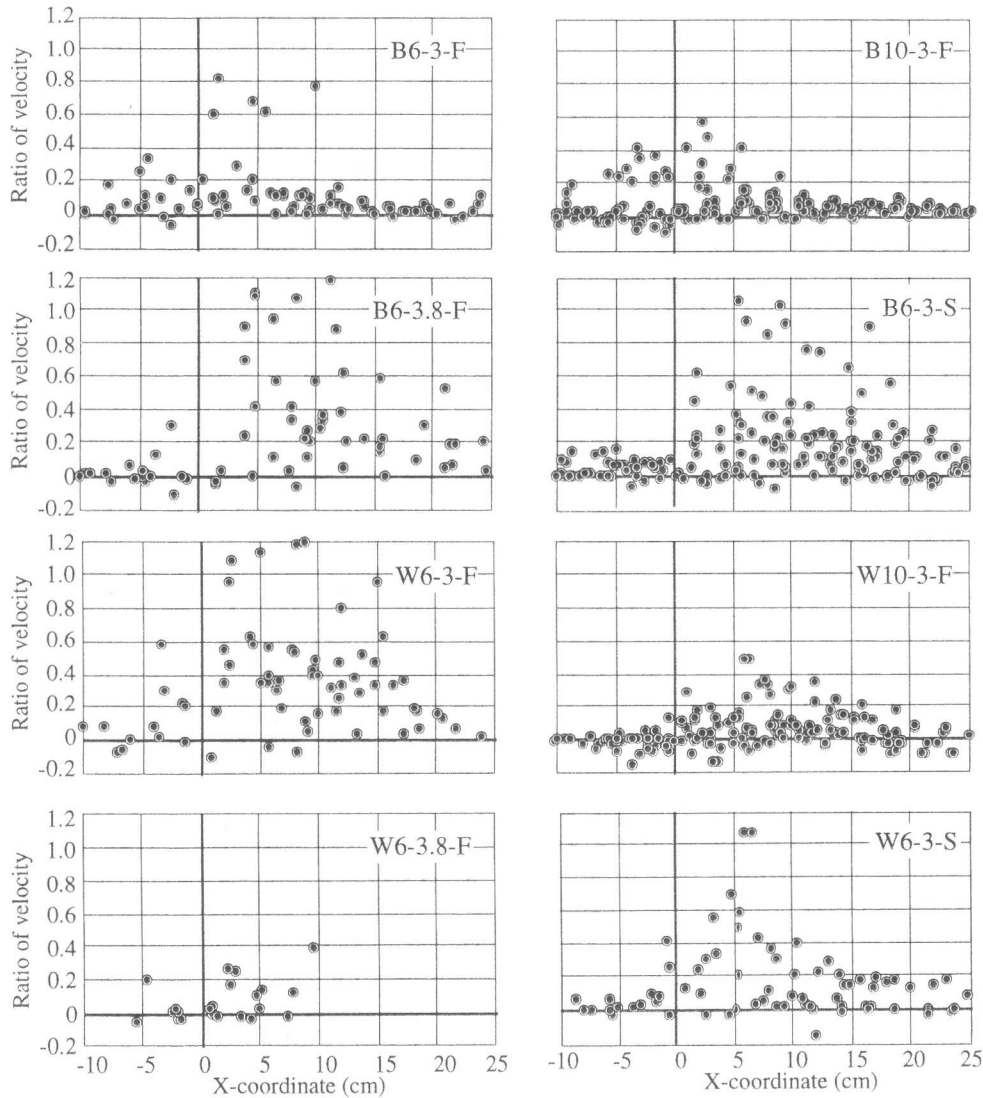


図-5 鉄筋に対する粗骨材の相対速度比の分布

試料では、粗骨材間隔が大きい場合（3.8cm）にも、ある程度の範囲の粗骨材に対して影響が及ぶのに対して、水の試料では、粗骨材の運動がほとんど伝達されない。以上の結果は、マトリックスの粘性が、粗骨材間に力を伝達し、粗骨材の円滑な流動に寄与する要因であることを示している。また、鉄筋の移動速度が小さくなった場合は、試料の種類を問わず、粗骨材の相対速度も小さくなっている。

次に、鉄筋間の内側に存在する粗骨材について、鉄筋の移動速度に対する粗骨材の速度ベクトルの同方向成分の比を求め、この値と粗骨材相対位置の関係を図-5に示す。同図には、絶対値が0.05以上の相対速度比を持つ粗骨材の運動のみを表示した。いずれの条件下においても、鉄筋位置前面で最大の速度比が観察され、その前後では速度比が距離とともに減少する分布となる。速度比は、鉄筋と粗骨材の速度が近づくとともに増加し、同速度の場合、つまり粗骨材が相対的に停止した状態で1となる。速度比の値が広範囲で大きくなり、図の分布範囲の面積

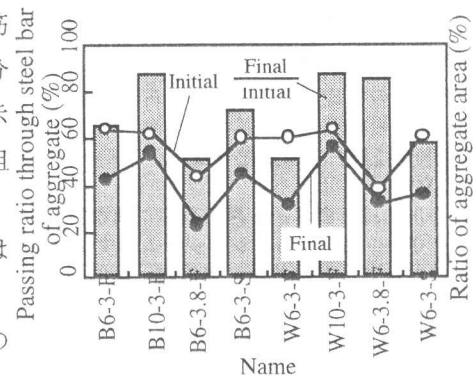


図-6 粗骨材の鉄筋間通過率

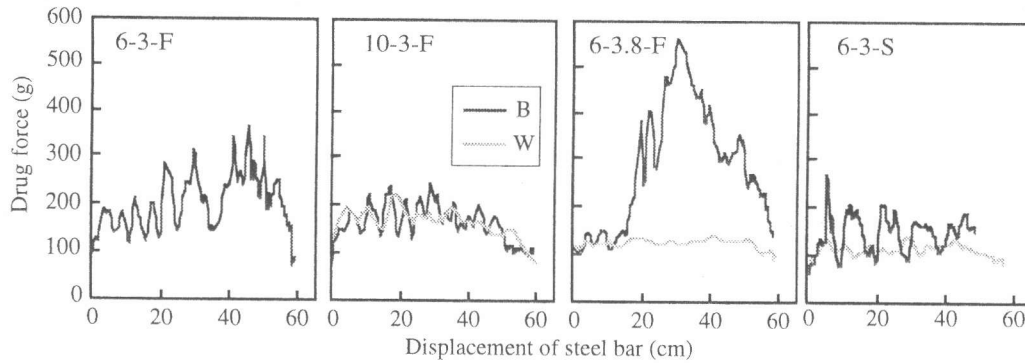


図-7 鉄筋の抵抗力-変位曲線

が増大すると、粗骨材の閉塞が発生しやすくなり、鉄筋間通過性能が低下するものと考えられる。同図より明らかなように、鉄筋間隔の小さい場合（6cm）は、鉄筋間隔が大きい場合（10cm）よりも速度比の分布範囲の面積が大きい。

また、初期および鉄筋間通過終了時について、鉄筋間内側の経路上に存在する全粗骨材量より面積率を求め、両者の比を粗骨材の鉄筋間通過率と定義して図-6に示した。図-5において速度比の分布範囲面積が大きいものほど、この鉄筋間通過率の値が小さくなり、粗骨材とマトリックスが鉄筋間通過時に分離していることが分かる。また、図-6から鉄筋の移動速度が、鉄筋間通過率に影響を及ぼさないことも確認できる。つまり、本実験結果によれば、コンクリートの投入速度は、鉄筋間通過性状に影響を及ぼさないといえる。

図-7は、鉄筋の抵抗力-変位曲線である。鉄筋に加わる抵抗力は、鉄筋間隔の小さい条件下では大きく測定されている。鉄筋間隔が小さい場合には、粗骨材の移動および回転の総運動量が大きく、それが抵抗力の増加として現れたものと考えられ、鉄筋間通過に必要な圧力に対して、粗骨材独自の運動が与える影響が大きいことを示している。

4. まとめ

本報では、2相系モデルコンクリートを用いた2次元可視化実験によって、フレッシュコンクリートの鉄筋間通過挙動について検討を行った。本研究によって得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 鉄筋間通過挙動と粗骨材の鉄筋付近における運動とは密接な関係があり、鉄筋に接触した粗骨材は、マトリックスの流速以下に減速され、回転しながら鉄筋間を通過する。
- 2) 鉄筋付近にある粗骨材の速度比分布（図-5）において、測定点の分布範囲の面積が大きいほど、鉄筋間通過時に、粗骨材とマトリックスモルタルの分離が生じる。

謝辞

本研究の実施に際しては、名古屋大学・谷川恭雄教授のご指導を賜った。また、若林信太郎君（名古屋大学大学院生）、平岩陸君（名古屋大学学生）の助力を得た。本研究費の一部は、平成6年度文部省科研費・試験研究（A）（研究代表者：岡村甫東京大学教授）によった。付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 谷川恭雄・森博嗣・黒川善幸：超流動コンクリートにおける粗骨材連行性に関するレオロジー的考察、超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp.79-84, 1993.5
- 2) 寺西浩司・谷川恭雄・森博嗣・黒川善幸：高流動コンクリートの間隙通過性の評価方法に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No.467, pp.19-26, 1995.1
- 3) 佐藤良一・橋本親典・辻幸和：フレッシュコンクリートの可視化モデルによるコンシステンシー評価試験の流動特性の定量化、第2回超流動コンクリートのに関するシンポジウム論文報告集、pp.9-16, 1994.5
- 4) K. Ozawa, A. Nanayakkara and K. Maekawa: Flow and Segregation Behavior of a Two-phase Model Concrete around Bifurcating Pipe Lines, Proc. of JSCE, No.408, V-11, pp.195-203, 1989.8