

(V-39) 高流動コンクリート中の骨材挙動およびその可視化について

筑波大学基礎工学類 学生員 齋藤秀徳

工業技術院機械技術研究所 三澤雅樹

筑波大学機能工学系 正会員 京藤敏達

1. はじめに

高流動コンクリートとは、コンクリート打設時に締め固めを要しないコンクリートである。コンクリートはポンプによる圧送を経て構造物内の鉄筋の間隙を通過するため、特に粗骨材の閉塞が問題となる。しかし、流動中のコンクリート内部の流れおよび骨材の動きを観察することは困難なため、現在、モデルコンクリートとしてセルロース水溶液に粒子を分散させた流体を作成し、その流れを管路側面から観察するに留まっている。

そこで本研究では、超高速 NMR 可視化装置によりモデルモルタル中の粒子分布を可視化した。さらに実際のモルタル中の比重調整されたモデル粗骨材をマイクロ X 線 CT により可視化した。また、モルタル中の球体の沈降実験を行った。

2. 超高速 NMR による可視化

NMR (核磁気共鳴) を用いた映像法では、核磁化の歳差運動を測定量として画像を再構成する。巨瀬は NMR の超高速撮影法を流体計測に用い、流体要素の変形を非接触で取り込むことに成功した。この際の時間・空間分解能はそれぞれ数 10ms および 0.1mm 程度である。骨材として使用したナイロン球 (密度 $1.14\text{g}/\text{cm}^3$) は、磁気信号を送らないことから、その流体内部の位置を可視化することができる。

2.1 実験概要

セルロースとトマトケチャップを混合した流体 (粘性流体) を作製し、直径 16.2mm の円筒中にナイロン球 (直径 5.6mm) を分散させ、ナイロン球の沈降実験およびピストン圧送実験を行なった。

2.2 実験結果

図 1 は鉛直円筒の水平断面の粒子沈降の時間変化を追った NMR 画像であり、図 2 はピストン圧送時の水平断面の粒子分布の時間変化を追った NMR 画像である。

①沈降実験

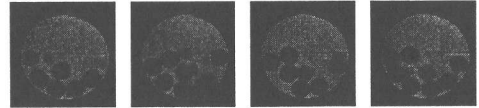


図 1(a) 水平断面可視化画像 (10 秒間隔)

②ピストン圧送実験

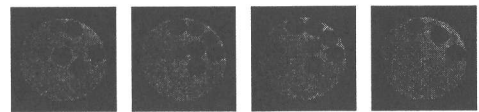


図 1(b) 水平断面可視化画像 (2.5 秒間隔)

2.3 考察

図 1 から球体は壁面近傍を沈降し、中心付近には、ほとんど存在しないことが分かる。図 2 でも図 1 と同じように球体は壁面近傍に集まることが分かる。この現象は流体の持つチキソトロピーにより誘起されと考えられる。

3. マイクロ X 線 CT による可視化

3.1 実験概要

NMR 装置では液体中に粉体が分散した流体内部を可視化することはできない。フレッシュコンクリートが粘性、塑性、チキソトロピーを持つことは分かっているが、実際のコンクリートが上記のモデルモルタルと同様な性質を示すかどうかは不明である。そこでマイクロ X 線 CT でモルタル内部の粒子が可視化されるかを調べた。マイクロ X 線 CT では、物体の密度差が大きくなるほど識別しやすくなる。コンクリート中の骨材はモルタルと骨材の密度差が小さいため可視化できなかった。そこで、モルタルと比較的密度差のあるナイロン球 (密度 $1.14\text{g}/\text{cm}^3$, 直径 0.56cm) および BB 弾 (密度 $2.21\text{g}/\text{cm}^3$, 直径 0.60cm, 成分はプラスチックと石の粉) の中に直径がそれぞれ 0.25cm, 0.20cm の針金を埋め込みモデル骨材を制作した。それらの密度はナイロン球 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$, BB 弾 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$ である。

キーワード: 高流動 コンクリート X 線 CT

連絡先: 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

TEL 0298-53-5486 FAX 0298-53-5105

E-mail saito@surface.kz.tsukuba.ac.jp

それらをそれぞれモルタルおよびセメントペースト中に分散させ、直径 2cm、高さ 1cm のコンクリートサンプルをつくり、それをマイクロ X 線 CT で可視化した。

3.2 マイクロ X 線 CT

X 線源としてマイクロフォーカス X 線源に散乱線防止のための SUS 薄板を設置したものを用い、1024 チャンネルの X 線用リニアイメージセンサで透過 X 線を検出した。線源出力は 90kV、90 μ A に設定した。リニアイメージセンサの信号蓄積時間は 1 角度あたり 500msec に設定した。線源、被写体の回転中心、検出器の配置から拡大率は、 $230/137 \approx 1.68$ となった。リニアセンサ受光部には幅 200 μ m スリットを設けているため断層像厚さは、119 μ m の平均値となる。被写体を回転ステージにセットした後、X 線を照射し、被写体を 1.0 度ステップで回転させて撮影を行った。

3.3 実験結果

X 線 CT 画像 実物画像

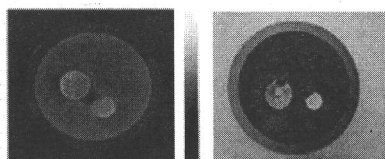


図 2(a) セメントペースト中の BB 弾

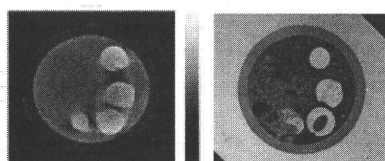


図 2(b) モルタル中の BB 弾

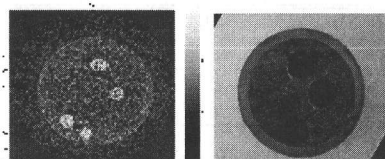


図 2(c) セメントペースト中のナイロン球

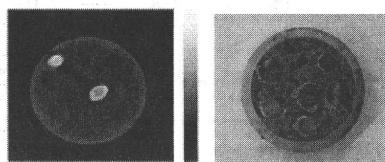


図 2(d) モルタル中のナイロン球

3.4 考察

ナイロン球中の針金は見えたが、ナイロン球全体は可視化されていない。一方で BB 弾は球全体が鮮明に可視化された。BB 弾は密度差が小さいにも関わらず可視化された理由は、原料であるプラスチックの吸収係数によるためであると考えられる。

4. モルタル中の球体の沈降実験

4.1 実験方法および結果

直径 10cm、高さ 20cm の円筒管にモルタルを充填し、試料表面から鉛球（直径 1.2cm、比重 11.34）を落下させた。図 3(a)、(b) の円および直線の交点上モルタル表面から鉛球を沈降させ、沈降が止まりコンクリートが固化した後に試料を切断した。

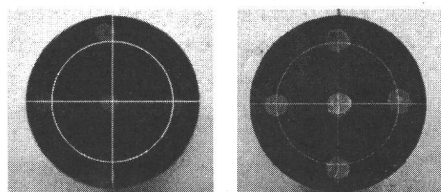


図 3(a) 沈降距離 16cm 図 3(b) 沈降距離 2.5cm

4.2 結果の考察

今回の実験ではモルタルの配合には注意を払わずに、実際のモルタル中での球体挙動が 2 章で述べたモデルモルタルと同様であるかを検討した。球体の沈降距離が大きい図 3(a) では、球体は側壁に引き寄せられる傾向がみられた。

5. おわりに

高流動コンクリートの閉塞をモルタルのレオロジ的な性質に結び付けて議論することを試みた。流体のチキソトロピーは物体挙動に大きく影響し、ニュートン流体とは異なる傾向を示す。

今後、実際の高流動コンクリート中のモデル骨材の移動を高速 X 線 CT で調べる予定である

謝辞 本研究を行うに当たり、筑波大学技官 飯高稔氏には、多大なるご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

岡村 甫・前川 宏一・小澤 一雄 (1993), ハイパフォーマンス・コンクリート, 技報堂出版. 232p