

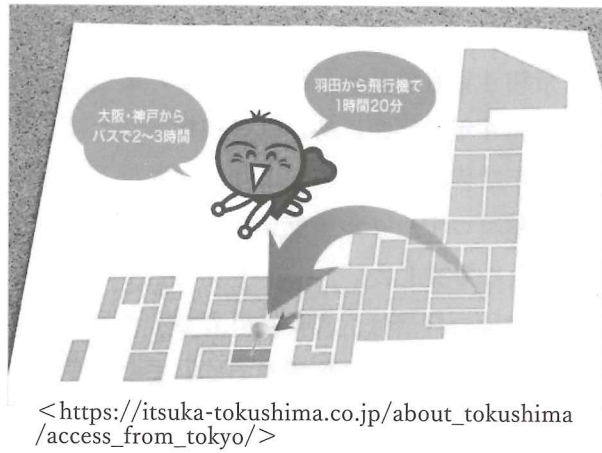


コンクリートの可視化

徳島大学大学院 社会産業理工学研究部
教授 橋本 親典

1. 徳島県と自己紹介

はじめまして。私は、徳島大学の橋本親典（はしもと ちかのり）です。徳島大学は、四国の一番大阪より（東側）に位置する県である徳島県にある大学です。この機関誌を読まれる皆様は、関東エリアのため、あまり、四国のことをご存じないかと思います。徳島県は阿波踊りが有名ですが、企業としては、2014年度ノーベル物理学賞を受賞した中村修二



博士の日亜化学工業が有名です。中村博士は、青色発光ダイオード（LED）を発明しましたが、徳島大学工学部電子工学科の出身です。工学部出身のノーベル物理学賞受賞者は大変少ないと思います。日亜化学工業は、LEDの技術では今も世界のトップ企業です。

ところで、「関東コン便り」に寄稿させていただくことになったいきさつを説明します。徳島大学に、1997年4月に群馬大学から異動してきました。1997年3月までは、群馬県桐生市にある群馬大学工学部建設工学科で、助教授として7年間勤務しました。当時の研究室の卒業生が現在、関東コンクリート製品協会の企画広報部会の委員をされており、原稿依頼があり、今回の寄稿になりました。

本寄稿のテーマは自由ですが、群馬大学の縁ということで、私が群馬大学時代に研究していたテーマをご紹介します。

当時、コンクリートの可視化という技術を使った実験的研究を精力的にやっておりました。本稿の可視化の研究は、文章よりは動画の方が理解しやすいです。徳島大学の研究室のHP<<https://sites.google.com/view/tokushimaconcretelab>>に、当時の動画をuploadしていますので、是非一度ご覧ください。

2. 世界初! ?フレッシュコンクリートの可視化

写真-1は、テーパ管、ベント管および分岐管内を流動するコンクリート中の流動状態を撮影したものです。3つの変形管の左右の写真の違いは、粗骨材の容積（Vg）とモルタルの容積（Vm）の容積比（Vg/Vm）を変えているだけです。左側は材料分離が発生してい

ない順調圧送状態です。右側は、白色の粒（モルタル相のトレーサ粒子）が糸を引くように撮影されていますが、これは粗骨材粒子群のアーチングが発生し、その空隙をモルタルが粗骨材粒子の速度よりも早い速度で動いていることを意味します。つまり、流動中における材料分離が発生している瞬間を撮影したものです。ただし、管内に充填されているコンクリートは本物のフレッシュコンクリートではありません。コンクリートの内部を可視化する目的で私が開発した疑似コンクリート（コンクリートの可視化モデル）です。コンクリートをモルタル相と粗骨材粒子群の2相系材料と見なし、モルタル相を吸水性高分子樹脂溶液で置換し、粗骨材には人工軽量骨材等の密度が普通の粗骨材より少し小さい粒子を使っています。

なぜコンクリートの可視化を考えたかというところ、コンクリートのポンプ圧送時に発生する管内閉塞について研究をしていたところ、コンクリートの内部の状況がよくわからなかったためです。流動中のコンクリートの内部、とくにモルタルや骨材の動きが知りたかったからです。従来から、圧送中のコンクリートの管内閉塞の原因は、管壁の潤滑層が加圧脱水によって高摩擦領域になって閉塞に至る（主原因がモルタルの性状変化）という考えと、粗骨材粒子のアーチングが閉塞を誘発させる（主原因がコンクリート中の粗骨材の量である単位粗骨材量）という考えの2つの説がありました。この可視化の写真によって、コンクリートの可視化モデルを開発することによってポンプ圧送時に発生する管内閉塞の原因が、骨材粒子群とモルタル相の速度差によって引き起こされることが明らかになりました。つまり、主原因は単位粗骨材量であるということです。写真-1の左右の写真の可視化モデルは、Vg/Vmが10%違うだけです。モルタルの配合が一定であれば、スランプ12cmと8cmの違いです。静置した状態で目視するとこの両者には大した差がありません。しかし、変形管を流動する場合は大きな違いがあることが明らかになりました。もちろん、この可視化実

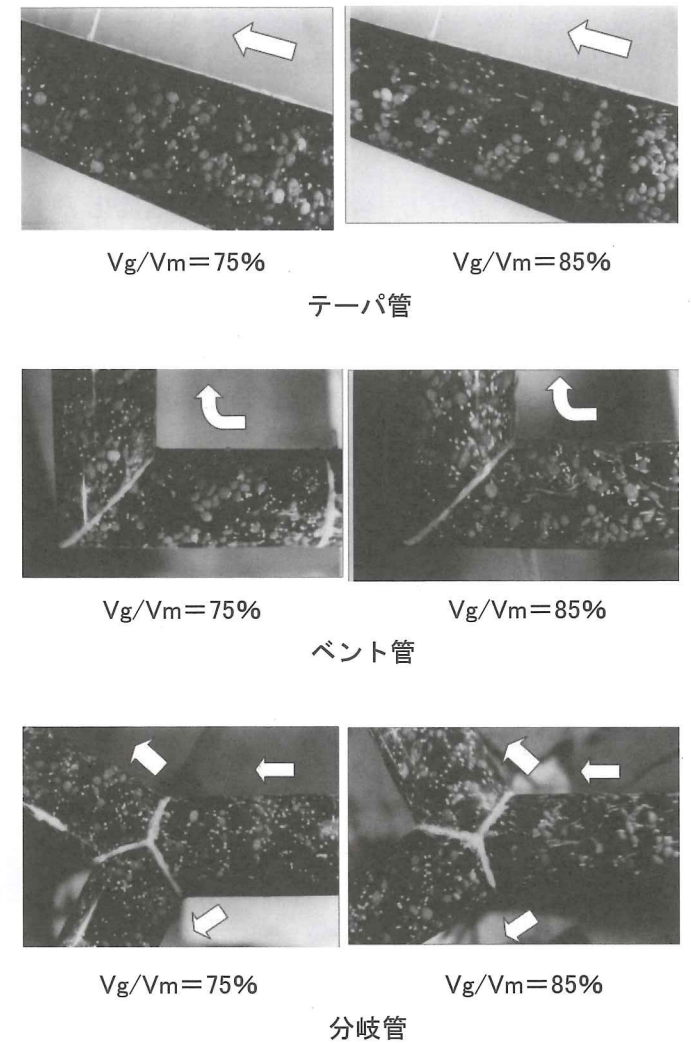


写真-1 変形管を流動する可視化モデル

験したところ、コンクリートの内部の状況がよくわからなかったためです。流動中のコンクリートの内部、とくにモルタルや骨材の動きが知りたかったからです。従来から、圧送中のコンクリートの管内閉塞の原因は、管壁の潤滑層が加圧脱水によって高摩擦領域になって閉塞に至る（主原因がモルタルの性状変化）という考えと、粗骨材粒子のアーチングが閉塞を誘発させる（主原因がコンクリート中の粗骨材の量である単位粗骨材量）という考えの2つの説がありました。この可視化の写真によって、コンクリートの可視化モデルを開発することによってポンプ圧送時に発生する管内閉塞の原因が、骨材粒子群とモルタル相の速度差によって引き起こされることが明らかになりました。つまり、主原因は単位粗骨材量であるということです。写真-1の左右の写真の可視化モデルは、Vg/Vmが10%違うだけです。モルタルの配合が一定であれば、スランプ12cmと8cmの違いです。静置した状態で目視するとこの両者には大した差がありません。しかし、変形管を流動する場合は大きな違いがあることが明らかになりました。もちろん、この可視化実

験だけでこの仮説が証明されたわけではありません。この可視化の結果を基に、実際の循環圧送試験を実施してその仮説を検証しました。この可視化の研究が私の学位論文になりました。

3. 可視化とコンクリート施工機械の高性能化

“To see is to believe. (百聞は一見にしかず.)”とされているように、目で見ることは流れの現象を理解するのに最適の手段です。「可視化」とは、直接目で見るができない流動現象を目視観察しようとする技術であり、主として流体力学もしくはそれに関連の深い分野において発達してきた実験手法です。

私は、前節で説明したフレッシュコンクリートの可視化モデルを使って、コンクリート施工機械におけるフレッシュコンクリートの流動解析の適用を試みました。従来ブラックボックスであったフレッシュコンクリート内部の力学的挙動、すなわち、流動中に発生する材料分離現象やコンクリートの流動機構を観察しました。これらの知見に基づき、コンクリート工学的見地からコンクリート施工機械の高性能化を試みました。

群馬大学時代で研究してきた流動現象としては、1)ポンプ圧送時における直管、テーパ管およびベント管内の流動（前節で説明した内容）、2)ピストン式ならびにスクイズ式コンクリートポンプのバルブ内における流動機構、3)アジテータ内における流動機構、4)連続ミキサ・2軸強制練りミキサ内における練混ぜ性能、5)ポンプ圧送時の脈動流に伴う管内流動、6)高流動コンクリートのコンシステンシー評価試験装置内の流動現象、7)高流動コンクリートの型枠内の流動現象、8)地下連続壁用高流動コンクリートの充填状況などです。

代表的な実験装置として、写真-2にモデルアジテータを、写真-3に2軸強制練りモデル

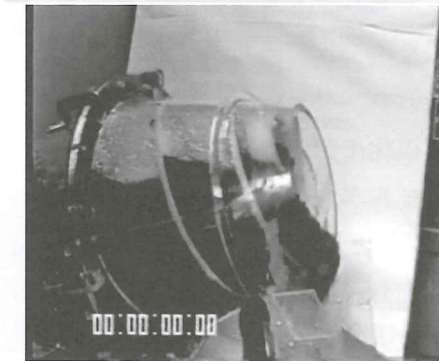
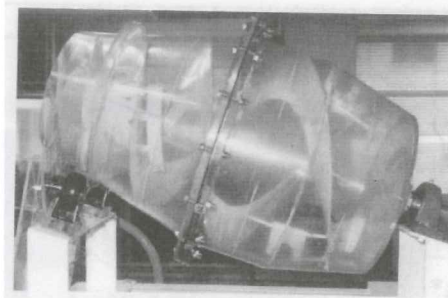


写真-2 モデルアジテータ

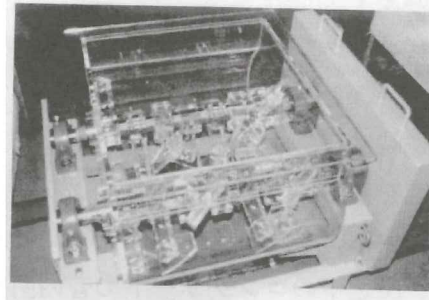


写真-3 モデルアジテータ

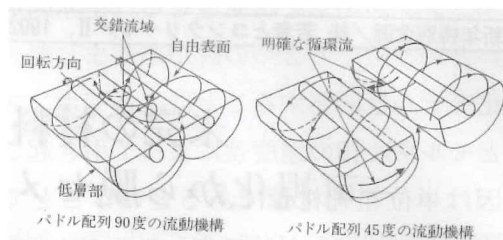


図-1 配列角度と流動機構の関係

ミキサを示します。施工機械をアクリル樹脂で作る場合が多いため、可視化モデルを投入して、内部の動きを見ているだけでも結構おもしろいです。特に、モデルモルタルのトレーサ粒子や粗骨材粒子の動きを見ているだけでも、案外飽きないものです。流動状況のイメージを把握するという意味では、この可視化のビデオの方が、数値解析によるシミュレーションよりも何十倍も説得力があります。「1. 徳島県と自己紹介」で紹介した研究室のHPの動画を見ていただければと思います。

当時、パドル配列角度に45度と90度がありました。この配列角度によって流動機構が異なることを明らかにしました。図-1に、パドル配列角度45度と90度で発生する流動機構の違いを示します。

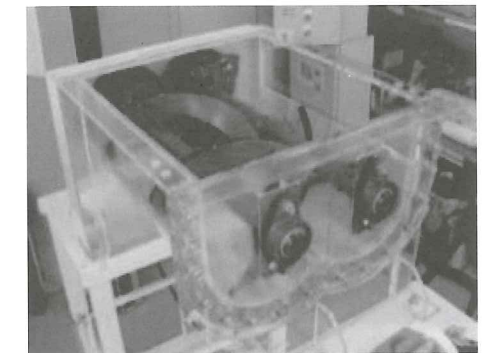
最近、再度可視化実験を用いたコンクリート施工機械の高性能化の研究を始めました。

通常、高流動コンクリートは高粉体量の配合になります。従来の有スランプコンクリートに比べ、単位粗骨材量が少ないため、練混ぜ時間が長くなり、生コンプラントの製造能力が低下します。そのため、さらなるミキサの高性能化が必要になります。可視化技術を使って、ミキサ内のコンクリート流動を3次元的に定量的に評価できる画像処理手法を開発しました。写真-4は、可視化ミキサ、ブレード回転方向および計測システム全体を示します。これまで想定外であったブレード回転方向を逆回転することによって、モデルコンクリートの流動挙動が大きく変化することを明らかにしました。

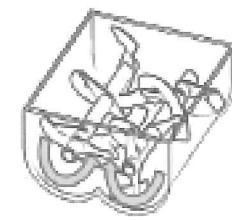
従来と同じ練混ぜ時間で、高流動コンクリートを練混ぜることができるミキサが登場する日も近いと思います。

参考文献

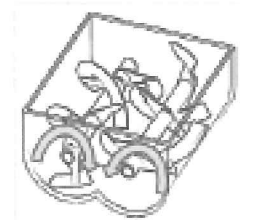
1) 筈谷 武, 中島 翼, 橋本 親典, 渡邊 健 :3次元画像解析手法を用いた2軸強制練りミキサの流動解析とその定量化,コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 1263-1268, 2018年.



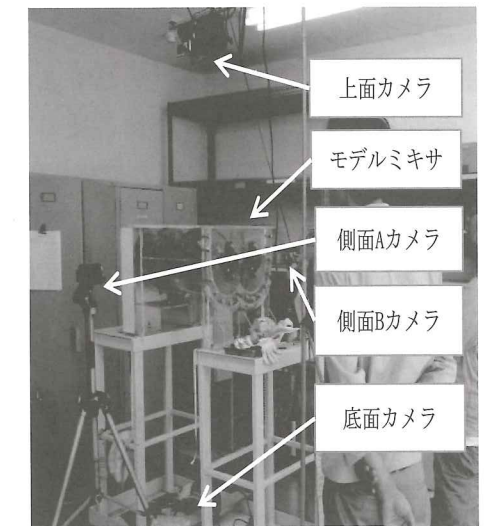
モデルミキサ外観



正回転



逆回転



可視化実験風景

写真-4 可視化実験を用いたコンクリート施工機械の高性能化の研究