

論文

[1016] スクイズ式ポンプのチューブ内を流動するコンクリートの可視化に関する基礎的研究

正会員 橋本 親典 (群馬大学建設工学科)

正会員○平井 秀幸 (群馬大学大学院)

柱 征宏 (大林組)

正会員 辻 幸和 (群馬大学建設工学科)

1. はじめに

現在、コンクリートポンプ工法は建設工事の規模の大型化に伴い、省力化、工期の短縮、経済性の点から多大な評価を受け、建築・土木の分野を問わず広く普及している。建設現場で用いられているコンクリートポンプは、大きく分けてピストン式ポンプとスクイズ式ポンプの2種類がある。スクイズ式ポンプは、構造上の便利さから小規模工事に適し、都市の狭い施工現場を中心に採用される。特に、最大吐出量が $10\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ 程度の小容量ポンプは、スクイズ式ポンプが主流である。スクイズ式ポンプの長所としては、ピストン式ポンプに比べ連続圧送性に優れている点である。短所としては、硬練りコンクリートを圧送する場合に、ピストン式ポンプと比較して吸込み効率が劣る点である。

従来、これらのコンクリートポンプの開発・設計は、圧送現場での経験に基づいて試行錯誤的に修正・改良してきたものが多い。ポンプの設計を行う点で最も重要となるポンプ内部でのフレッシュコンクリートの流動性状は、ブラックボックスであり設計技術者の推測の域を脱し得なかった。これは、コンクリートが水や油のような一相系の流体でなく、セメントペースト、砂や砂利が混ぜられた固液2相系の粉粒体で、管内やチューブ内部を直接観察することが不可能であり、管内圧力や圧送前後のコンクリートの品質変化でしか流動性状を判断できなかった為である。

著者らは、ポンプ圧送時の管内流動に関する実験手法として、フレッシュコンクリートの可視化モデルを使ったシミュレーション実験を開発してきた。この可視化実験手法は、フレッシュコンクリートをモルタル相と粗骨材粒子群から成る固液2相系流体と仮定し、流動性状を外部から直接可視化することが可能な別の材料に置換し、従来明らかにされていなかったコンクリート内部の力学的挙動を画像データとして取り扱う方法である[1]。これまでにこの実験手法を用いて、ピストン式滑り弁型ポンプ内のコンクリートの流動について研究してきた[2]。

本研究では、スクイズ式コンクリートポンプ内部のコンクリートの流動性状に着目し、ゴム製ポンピングチューブ内を流れるフレッシュコンクリートの可視化に関する基礎的研究として、モデルモルタルのみの流動状況の可視化を試みる。可視化実験から得られた画像データから、ローラーの位置によるモデルモルタルの速度ベクトル分布を定量化し、ローラーがポンピングチューブ（以後、チューブと称する）を潰すときにシール面に発生すると想像されている“逆戻り”現象の存在を確認し、チューブ内の可視化モルタルの流動性状に及ぼすローラー径、ローラーとチューブ間の潰し量、チューブの曲げ角度の影響について検討する。

2. スクイズ式コンクリートポンプの圧送メカニズムと“逆戻り”現象

図-1にスクイズ式コンクリートポンプの圧送メカニズムを示す。スクイズ式ポンプの圧送原

理は、ねり歯磨きのチューブから中身を絞り出すのと同じ原理である。2個のローラーがゴムパットにチューブを押し付けながら回転すると、チューブ内のコンクリートが輸送パイプへ絞り出される。また、ローラーによって押圧されたチューブのローラー通過後の復元に伴いコンクリートは、ホッパーより吸入される。これらの動作が連続的に行われ、コンクリートは連続的に圧送される[3]。ローラーがチューブを潰している箇所は、完全にシールされず、この不完全なシールは、流動方向と逆の流れ（以後、“逆戻り”現象と称する）を発生させると考えられる。逆戻り現象は、吐出効率の低下、コンクリートの材料分離およびチューブやゴムローラーの摩耗を誘発させる原因と考えられる。したがって、スクイズ式ポンプのチューブ内の流動性状を可視化することにより、この“逆戻り”現象の特性を定量化することが可能と思われる。

3. 実験概要

図-2に実験装置の概要を示す。ポンピングチューブは、透明度の高いビニール性である。寸法は、内径125mm×厚さ15mm×長さ2970mmである。使用材料は、モデルモルタルとして高吸水性高分子樹脂を水に添加して得られる無色透明な粘性流体を用い、着目トレーサ粒子として発泡スチロール粒子を混入した。トレーサ粒子は比重が0.98前後で、モデルモルタルの比重1.00と同程度であるためモルタル相の流動に追従できるものと考えた。

撮影箇所は、図-2に示す吸入側の側面、上部と吐出側の側面、上部の4

箇所である。側面の撮影位置は、ローラーの回転によってチューブ断面形状があまり変化しない箇所であり、着目トレーサ粒子から平均断面流速の計測を目的とした。一方、上部の撮影位置は、ローラーの回転によりチューブが潰され、大きく変形する箇所であり、“逆戻り”現象を直接トレーサ粒子の流跡線から観察することを目的とした。ローラーの回転速度は6rpmで一定とし、回転数が10回転になるまでチューブ内の着目トレーサ粒子の各撮影箇所での流動状況をビデオに収録し、実験後、収録データを画像処理し、着目トレーサ粒子の流跡線および速度ベクトル分布を求めた[2]。モデルモルタルの粘性は、Pロートによる流下時間で制御し200秒で一定とした。

実験パラメータは、ローラー径、ローラーとチューブ間の潰し量、曲げ角度である。ローラー径は、直径180mm、ゴム厚15×2mmの小径と直径240mm、ゴム厚30×2mmの大径の2種類を用いた。ローラーとチューブ間の潰し量は、チューブに全く隙間がない状態を基準潰し量0mmとし、1mm隙間を設けた場合（潰し量-1mm）と隙間がない状態からさらに2mm潰した場合（潰し量2mm）の2

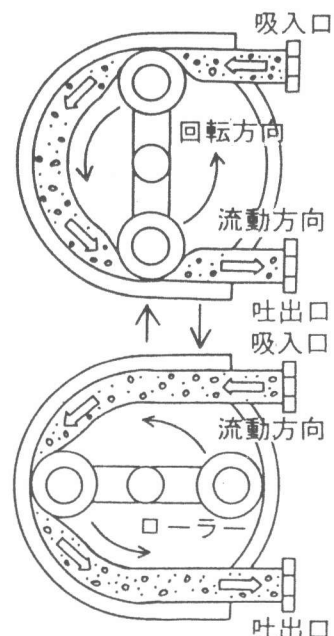


図-1 スクイズ式ポンプの圧送メカニズム

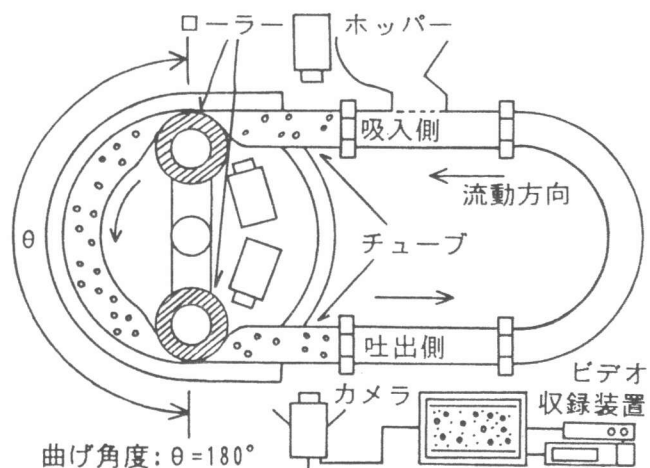


図-2 実験装置

種類とした。チューブの曲げ角度は、吸入と吐出方向が平行になる180度と吐出側のチューブを180度からさらに10度内側に曲げた190度の2種類とした。なお、190度の場合は、180度の場合と比較してローラーとチューブの接触時間を増加させ圧送効率の向上を期待するものである。

図-3は、ローラー1回転を8等分割した計測シーンを示す。Aシーンの始まりは、ローラーがチューブを潰している時点であり、各シーンの計測時間は1.25sec ($=1/8 \times 10\text{sec}$) である。管内の速度分布は、画像データのトレーサ粒子群の単位時間あたりの移動距離から求めた。

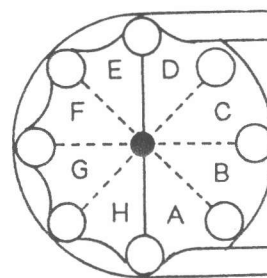


図-3 計測シーン

4. 実験結果および考察

4. 1 吸入・吐出側のチューブ内の速度分布状況

計測シーンA～Hをそれぞれ1/8～8/8回転時とした。図-4に、潰し量2mm、ローラー径大、曲げ角度180度の実験条件における断面流量の回転時変化を示す。断面流量は、各回転時に出現するトレーサ粒子から求められた速度の平均に管断面積を乗じたものである。吐出側では2/8と6/8回転時、吸入側では4/8と8/8回転時で、極端に断面流量が減少する。この回転時は、吐出側でローラーがチューブを離れるシーンであり、吸入側では、ローラーがチューブを潰し始めるシーンである。この現象は、各実験条件の変化にかかわらず同様の傾向である。しかし、ローラー径小、曲げ角度180度の実験条件では、吐出側で上記の回転時より1回転時前に減少した。これは、ローラー径が小さくチューブから離れる時期が早いと思われる。

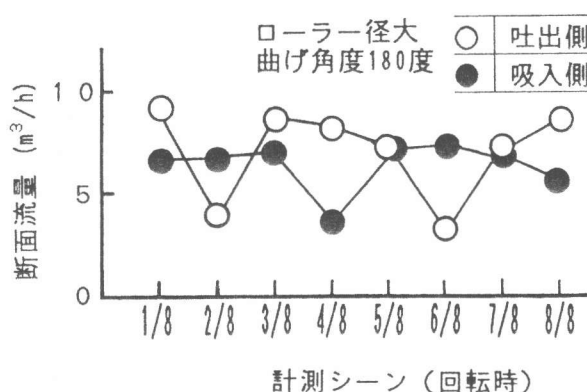


図-4 断面流量の経時変化

図-5および図-6に、潰し量2mm、ローラー径大、曲げ角度180度の実験条件における吐出・吸入側のチューブ高さ方向の平均速度と平均速度の標準偏差の分布状況を示す。2個のローラーが回転しているため、5/8～8/8回転時は省略した。平均速度および標準偏差は、チューブの高さ方向を25mmごとに5等分割して各区間に存在するトレーサ粒子群の速度の平均値とその標準偏差を意味する。吐出側では2/8回転時において、標準偏差が平均速度に比較して著しく大きい。これは、トレーサ粒子が流動方向と逆方向に運動すると一部のトレーサ粒子の速度が負となるためである。つまり、この回転時に“逆戻り”現象が発生すると考えられる。吸入側では、各回転時において標準偏差が

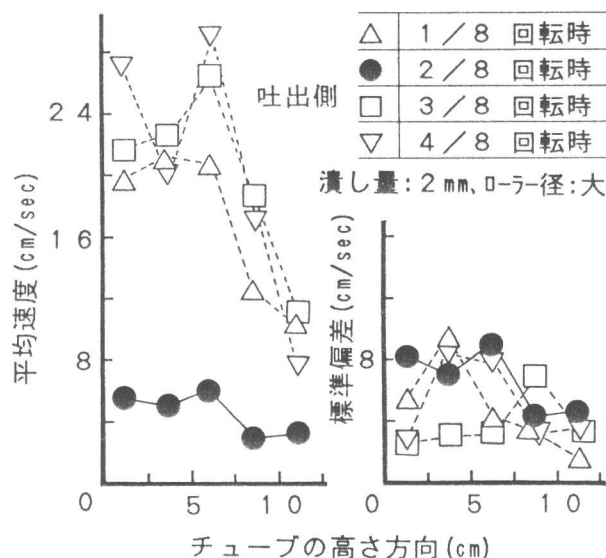


図-5 チューブ内の平均速度および標準偏差

平均速度に対して小さい。吸入側では、平均速度が減少しても流動方向の逆向きの運動、つまり“逆戻り”現象までに達していない。他の実験条件においても同様な傾向を示す。

図-7に、潰し量、ローラー径、曲げ角度の各実験条件と平均断面流量の関係を示す。平均断面流量は、ローラー1回転に生ずる吐出量である。潰し量およびローラー径が大きい実験条件の方が平均断面流量が増加する。曲げ角度は、180度の方が190度より平均断面流量が多い。本実験条件内では、潰し量2mm、ローラー径大、曲げ角度180度の圧送条件が最も圧送効率が良いとされる。したがって、実際のスクイズ式ポンプにおいて同一断面のポンピングチューブを用いても、ローラー径、潰し量や曲げ角度の違いによって圧送効率が異なるものと予想される。

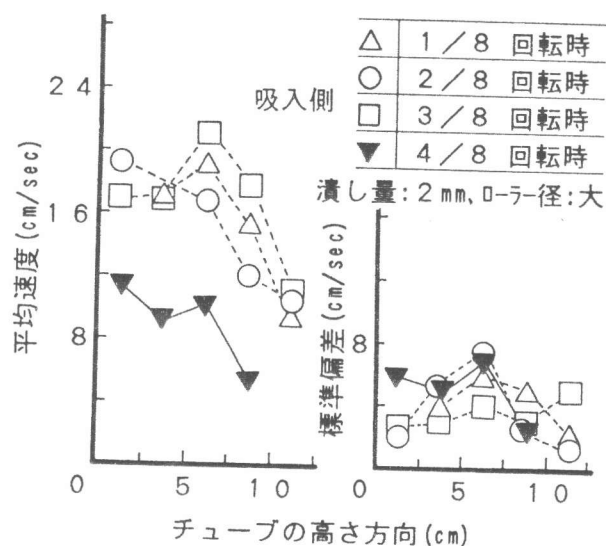


図-6 チューブ内の平均速度および標準偏差

4.2 吸入・吐出側のチューブ内のトレーサ粒子群の速度ベクトル分布状況

図-8および図-9に、潰し量2mm、ローラー径大、曲げ角度180度の実験条件における吸入側・吐出側のトレーサ粒子群の速度ベクトル分布を示す。吸入側は、ローラーがチューブを潰し始めてからシールするまでの映像を2等分し、吐出側は、ローラーがチューブをシールしている状態からチューブを離れるまでの映像を3等分した。x軸正方向が流動方向である。

吸入側は、ローラーがチューブを潰しに入ると、上流域に速度方向の変化と速度の減少があるが、下流域には速度ベクトルの減少がない。

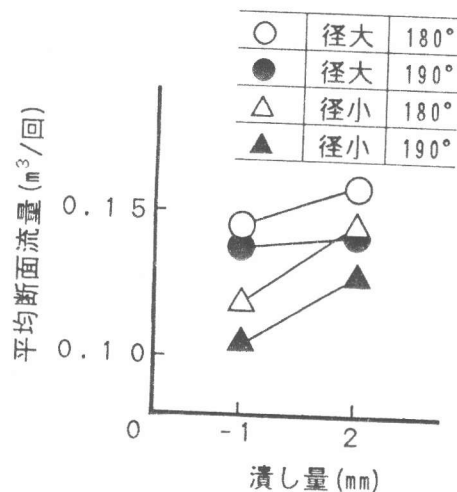


図-7 各実験条件と平均断面流量の関係

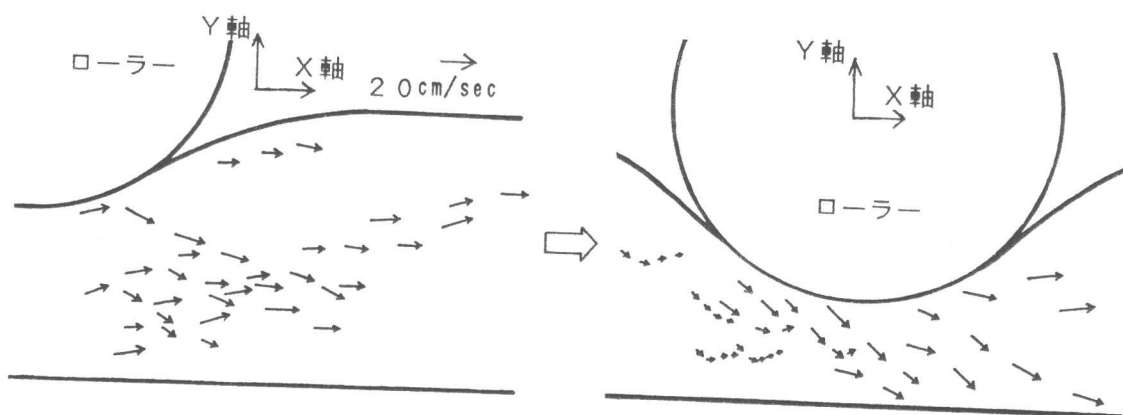


図-8 吸入側の速度ベクトル分布

吐出側は、ローラーがチューブを離れ始めると速度ベクトル方向は流動方向と逆向きとなり側面と同じ“逆戻り”があることが確認できた。その後、ある程度離れると速度ベクトル方向は流動方向となる。

吸入側の上流では、チューブがローラーに常に潰されて、下流側のチューブはローラーと接地面によってシールされている。よって、下流のモデルモルタルが上流に戻る流れはない。一方、吐出側では、経過時間とともにローラーがチューブを離れ、チューブが復元し圧力が開放され、下流のモデルモルタルが上流に引き戻される。従って、“逆戻り”現象は、吸入側では起こらず吐出側に存在する。このような速度ベクトルの変化は、各実験条件において同様な傾向である。しかし、逆戻りの発生時間および終了時間は、各実験条件によって異なる。

図-10および図-11に、同一撮影時刻において画面上に存在するトレーサ粒子群の速度ベクトルの大きさの平均値とAシーンから経過時間の関係を示す。図-10は、潰し量の違いを、図-11は、ローラー径および曲げ角度の違いを示す。平均速度が正から負の値に変化する時点を“逆戻り”が発生し始める時刻を意味し、負の値を有する区間を“逆戻り”が継続される時間を意味する。

潰し量による変化は、逆戻り発生時刻および継続時間に関しては有為な差は見られない。しかし、潰し量が多い方が正の平均速度が大きく、潰し量が大きくなると流動方向と逆戻り方向の速度差が増大する傾向にある。

“逆戻り”による急激な速度変化は、チューブの局部的な摩耗やコンクリートの材料分離に対して悪影響を及ぼすと考えられる。したがって、圧送効率の向上に対して有効である潰し量の増加は、“逆戻り”現象の抑制に対しては逆効果と思われる。

一方、ローラー径および曲げ角度が大きい方が、逆戻り発生時刻が遅



図-9 吐出側の速度ベクトル分布

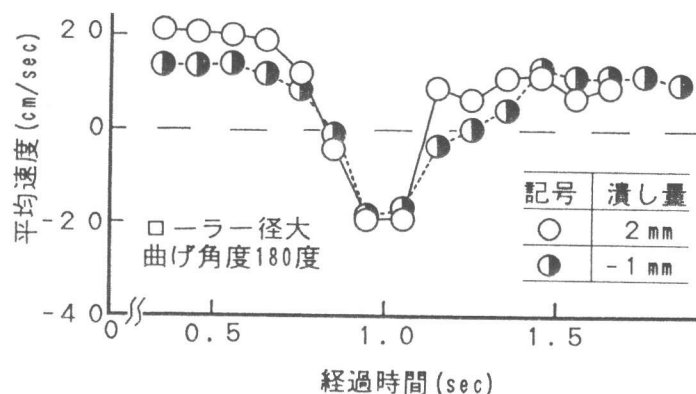


図-10 潰し量の影響

くなり、継続時刻が長くなる。さらに、“逆戻り”が発生する区間の平均速度の絶対値が小さい。ローラー径および曲げ角度が大きい方が、ローラーがチューブを離れる時間が遅くなり圧力の開放が徐々に行われるために、逆戻りする時刻が遅れ、継続時間が長くなり、“逆戻り”の程度が減少するものと考えられる。

したがって、実際のスクイズ式ポンプにおいて、“逆戻り”現象を抑制するためには、ローラー径およびチューブの曲げ角度が大きい方が有利と考えられる。ローラー径を大きくすることは、圧送効率の観点からも有効であるが、曲げ角度に関しては、先の潰し量と同様に圧送効率の向上に対する効果とは相反する関係にある。

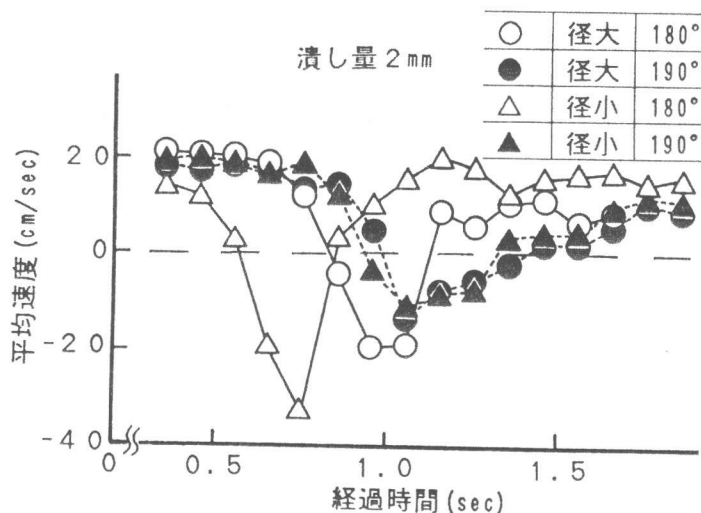


図-1.1 ローラー径および曲げ角度の影響

5・結論

スクイズ式ポンプのポンピングチューブ内を流れる可視化モデルモルタルに関する画像データを収録し、これに基づいて、吐出側および吸入側におけるチューブ内のコンクリートの流動性状について検討した。本実験内において、次のことがいえる。

- (1) ローラーとチューブ間に形成される不完全なシール面付近に発生する“逆戻り”現象は吐出側の上流に存在し、吸入側では発生しない。
- (2) ローラー径を大きくすることは、圧送効率の向上ならびに“逆戻り”現象の抑制に対しても有効である。
- (3) ポンピングチューブの曲げ角度とローラーとポンピングチューブ間の潰し量に関する設計パラメータについては、圧送効率の向上と“逆戻り”現象の抑制に対する効果が相反する関係にある。

謝辞

本研究は平成3年度文部省科学研究費補助金（奨励研究（A）課題番号03750404）の一部により行ったものである。また、本研究を実施するにあたり、ご協力頂いた石川島建機（株）コンクリートポンプ事業部設計グループの関係各位に、心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 橋本親典・堀口和宏・丸山久一・清水敬二：テーパ管を流動する可視化モデルコンクリートの乱れ計測システム、土木学会論文集、No. 402/V-10、pp. 60-70、1989. 2
- 2) 橋本親典・平井秀幸・丸山久一・辻幸和：コンクリートポンプの滑り弁内を流れるコンクリートの可視化、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13、No. 1、pp. 95-100、1991. 6
- 3) （社）日本建設機械化協会編：コンクリートポンプハンドブック、2章構造と機能、森北出版（株）、pp. 17、1979. 12