

## 論文 湿式吹付け用ポリマーセメントモルタルのポンプ圧送性

早川 健司<sup>\*1</sup>・早川 智浩<sup>\*2</sup>・紀陸 和昭<sup>\*3</sup>・鳥取 誠一<sup>\*4</sup>

**要旨**：ポリマーセメントモルタルと急結剤を併用する湿式吹付け工法では、ノズル部分で急結剤とポリマーセメントモルタルを混合して吹き付ける。このため、モルタルは連続したポンプ圧送が要求されるとともに、施工条件に応じて適切な能力のポンプや配管条件を設定することが重要である。そこで、本研究ではモルタルポンプの形式、配管径・長さ、打ち上げ高さ、補強繊維を変化させた圧送実験を行い、これらの諸条件がポリマーセメントモルタルの圧送性に与える影響を検討した。

**キーワード**：湿式吹付け、ポンプ圧送性、ポリマーセメントモルタル、圧力損失

### 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化現象が社会的問題となっており、社会的ニーズに即した補修方法が求められている。それに伴い、補修材料の性能、補修工法はめざましい進歩を遂げており、既設コンクリートとの一体性や施工効率等の観点から吹付け工法による補修技術が注目されている。

筆者らは、断面修復工法として液体急結剤とポリマーセメントモルタルを併用した湿式吹付け工法を開発してきた<sup>1) 2)</sup>。本施工システムでは、ポンプ圧送したポリマーセメントモルタルと別途圧送した急結剤をノズル位置で混合して吹き付ける。このため、所定の急結剤をノズル位置で均一に混合するためには、モルタルを連続して安定的に圧送することが重要となる。

一方、モルタルのポンプ圧送性は、モルタルのフレッシュ性状や配管径、長さ、打ち上げ高さ等の影響を受ける。施工計画においては、施工条件に応じて適切な能力のポンプや配管条件を設定することが閉塞等のトラブルなく施工するために重要となる。しかし、ポリマーセメントモルタルのポンプ圧送は経験的に行われてい

るのが現状であり、詳細に検討した事例は少ない。そこで、本研究では、ポンプ形式、配管径・長さ、打ち上げ高さ、補強繊維を変化させたポンプ圧送実験を行い、施工条件やモルタルの品質がポリマーセメントモルタルの圧送性に与える影響について検討した。

### 2. 吹付け工法の概要

図-1に吹付けシステムの概要を示す。本形式による湿式吹付け工法では、急結剤供給機により圧送した液体急結剤をノズル手前で圧縮空気と合流させる。噴霧化した急結剤を含む圧縮空気と別途圧送されたモルタルは、ノズル内で均一に混合されて吹き付けられる。したがって、均一な品質のモルタルを吹き付けるためには、連続的で安定したモルタルおよび急結剤の圧送が必要となる。一般的に、急結剤を併用する湿式吹付けは、急結剤を用いない湿式吹付け工法と比較して、厚吹付けが可能でありこと、初期強度の発現性に優れること、急結剤の種類や添加量を適切に選定することで表面仕上げも可能であること等の特徴を有する。

\*1 東急建設（株）技術研究所土木研究室 工修（正会員）

\*2 大林組（株）土木技術本部構造技術部 工修（正会員）

\*3 日本化成（株）中央研究所研究部

\*4 （財）鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造室長 工博（正会員）

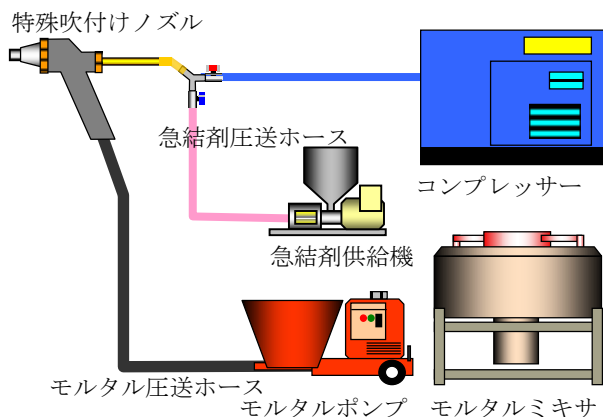


図-1 吹付けシステム例

### 3. 実験概要

#### 3.1 使用材料およびモルタルの製造

表-1 に主な使用材料の種類、表-2 にポリマーセメントモルタルの配合条件を示す。本実験では、ポリマーセメントモルタル自身の配合は一定とし、耐はく落性等の観点から有効と考えられる補強繊維の種類、混入量を変化させた。使用した繊維はビニロン繊維であり、直径 0.1mm・長さ 12mm (繊維 A)、および直径 0.2mm・長さ 24mm (繊維 B) の 2 種類である。モルタルの種類は、繊維無混入の No.1、繊維 A を 0.2% 混入した No.2、および繊維 B を 0.4% 混入した No.3 の 3 水準とした。モルタルの製造は、加水した後、強制練りミキサにより 3 分間練り混ぜ、その後ビニロン繊維を投入しさらに 1 分間練り混ぜる方法とした。

実際の吹付けでは急結剤をノズル手前で圧縮空気と混合するが、急結剤添加の有無がモルタルのポンプ圧送性に与える影響が小さいことを確認できたため、本実験において急結剤は使用しなかった。

#### 3.2 ポンプの種類

表-3 に実験に用いたモルタルポンプについて示す。本実験で用いたモルタルポンプは、スネーク式とスクイズ式の 2 種類である。スネーク式ポンプは、長円形断面の雌ねじ (弾性材料) であるステータ内を真円断面の金属製雄ねじのロータが回転することでモルタルを送り出す機構であり、脈動することなく安定して搬送でき

表-1 主な使用材料の種類

種類	主成分等	
ポリマーの種類	再乳化形粉末樹脂 酢酸ビニル/アクリル系	
液体急結剤	水溶性アルミニウム塩系	
繊維	A	ビニロン φ 0.1mm, L12mm
	B	ビニロン φ 0.2mm, L24mm

表-2 ポリマーセメントモルタルの配合条件

単位水量	W (kg/m <sup>3</sup> )	243
水粉体比	W/P (%)	39.2
ポリマー結合材比	P/C (%)	5.2
繊維混入率	Vf (vol%)	繊維なし 繊維 A : 0.2 繊維 B : 0.4

表-3 モルタルポンプの概要

	スネーク式	スクイズ式
吐出能力	0.18~0.72m <sup>3</sup> /h	0.14~1.3m <sup>3</sup> /h
最大吐出圧力	1.5MPa	3.5MPa
モータ容量	1.5kW	3.7kW
重量	120kg	266kg
吐出量変速	プーリー 無段変速式	インバータ変速式 (3点ローラー)

る。スクイズ式ポンプは、ポンピングチューブを 2 個もしくは 3 個のローラーが転がることによりモルタルを絞り出すことで圧送するものである。このため、スクイズ式ポンプは、少なからず脈動が発生する圧送形式である。

#### 3.3 圧送実験方法

図-2 にポンプ圧送実験の配管条件、表-4 に実験条件を示す。ポンプおよび配管条件はスネーク式ポンプを用いて圧送距離を 25m (φ 25mm ホース) とした CASE 1、および実験で使用したスネーク式ポンプより圧送能力の高いスクイズ式ポンプを用いて配管距離 50m (φ 38mm ホース 40m + φ 25mm ホース 10m) とした CASE 2 の 2 種類とした。地上にプラントを設置しポンプ圧送して足場上で吹き付ける場合を想定し、打ち上げ高さは 0m (水平配管のみ) および 10m の 2 条件とした。鉛直配管を含む条件では高所作業車を使用し、CASE 2 の鉛直配管部分は φ 38mm ホースとし、テーパ管を高所作業車の上部に配置した。ここで、ノズルへ接続するホ

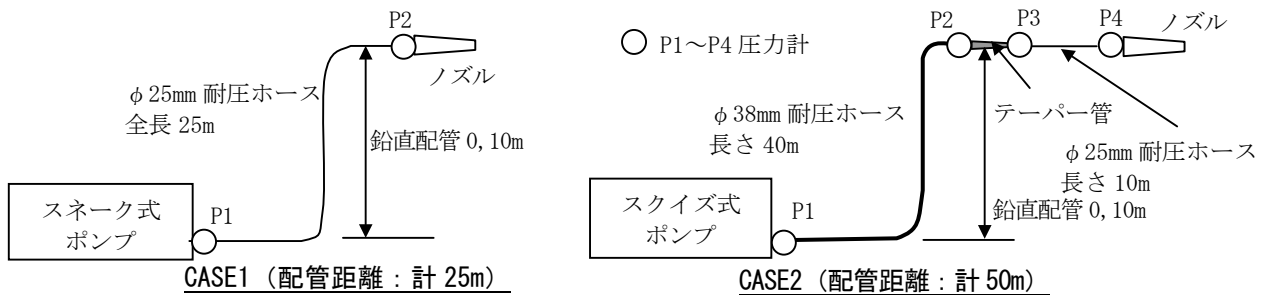


図-2 配管条件

表-4 実験条件

実験条件	水準
ポンプ種類	スネーク式, スクイズ式
打上げ高さ	0, 10m
吐出量設定	0.3, 0.5m <sup>3</sup> /h 程度
モルタル	繊維混入量3水準

表-5 フレッシュ試験結果

モルタル種類	塑性粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)
No.1 (繊維なし)	22.7 (7.0)	17.7 (6.2)
No.2 (0.2vol%)	25.8 (4.2)	18.8 (5.7)
No.3 (0.4vol%)	27.4 (6.8)	17.8 (3.7)

注) 各条件の圧送実験前の試料を用いて測定した値の平均, ( ) 内は標準偏差

ース径をφ25mmとしたのは、鉄筋背面を吹き付ける場合の複雑なノズル操作を考慮し、ノズル・接続配管を軽量化し作業性の向上を考慮したためである。また、ポンプ圧送に際しては、実際の吹付けと同条件になるように、吹付け時と同圧力の圧縮空気を混入した。

### 3.4 測定項目および方法

モルタルのフレッシュ性状に関する試験としてはフロー試験 (JASS15M-103 に準拠: 内径50mm, 高さ51mmのパイプ中に試料を充てんし、引上げた後の広がり測定), および管内流動を検討するためにレオロジー定数の測定を行った。塑性粘度および降伏値は、外円筒回転型の回転粘度計を用いて回転数とトルクの関係測定し、そのときの下降直線から算出した。管内圧力は、ジョイント部にダイヤフラム式の圧力計を取り付け、動ひずみアンプを介してデータロガーに200Hzで取り込んだ。圧送時間は基本的に6分間とし、吐出量は、圧送開始から1~2分、3~4分、5~6分の間に吐出した各モルタル重量を測定し、モルタルの見かけの密度で除して求めた。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 フレッシュ性状

ポンプ圧送実験に供したポリマーセメントモルタルのフロー値は115~135mmの範囲であった。

表-5に回転粘度計によって測定した塑性粘度および降伏値を示す。塑性粘度は16~34Pa·s、降伏値は11~24Paの範囲であった。平均値で比較すると、見かけの塑性粘度および降伏値は繊維混入により若干大きくなる傾向にあった。しかし、圧送実験に供したモルタルは、温度、練混ぜ後の経過時間、ポンプ循環、またバッチ間の影響等によって変動しており、繊維混入の影響はバッチ変動等の影響と比較して小さい結果であった。

### 4.2 管内の圧力波形の特徴

図-3, 図-4に、スネーク式ポンプおよびスクイズ式ポンプした場合の圧力測定結果例を示す。ポンプ出口の圧力(P1)の脈動は実験条件によって異なるが、スネーク式で0.05~0.11MPa程度、スクイズ式で0.3~1.2MPa程度であり、安定して材料を送り出す機構のスネーク式の変動は少なかった。しかし、スクイズ式ポンプを使用した場合でも、ノズル手前の圧力変動は0.07MPa以下であり、ノズル位置では脈動の影響がほとんどなかった。このように本実験では、全ての条件で連続して安定した圧送が可能であることが確認された。ただし、実験では0.9MPa程度以上の管内圧力が発生したが、これより小さい圧力ではスクイズ式ポンプの脈動が影響する場合もあると考えられる。

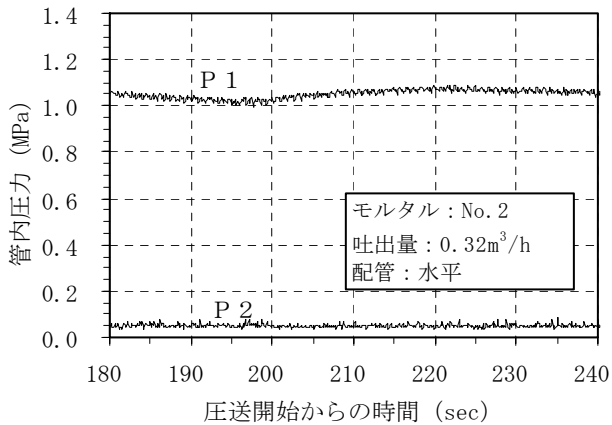


図-3 スネーク式ポンプの圧力波形例

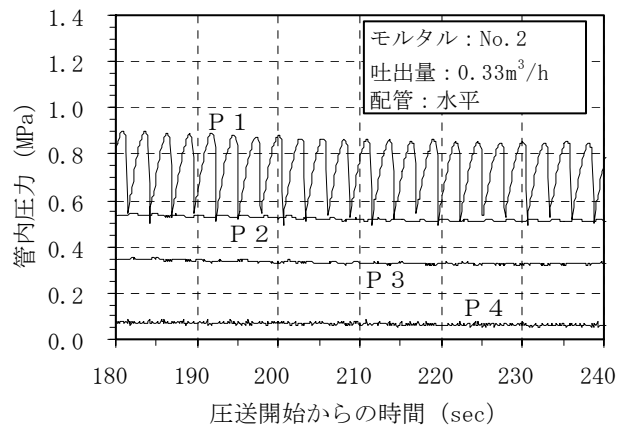
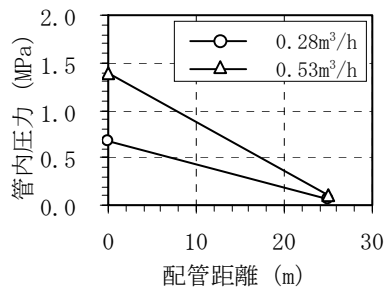
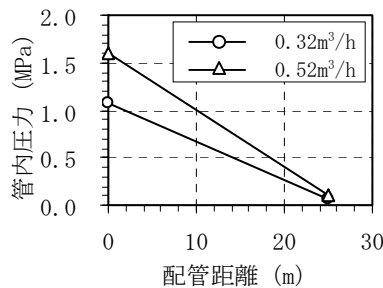


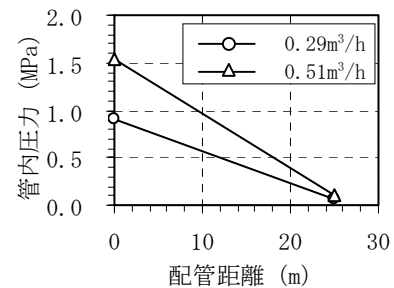
図-4 スクリュー式ポンプの圧力波形例



No. 1 (繊維なし)

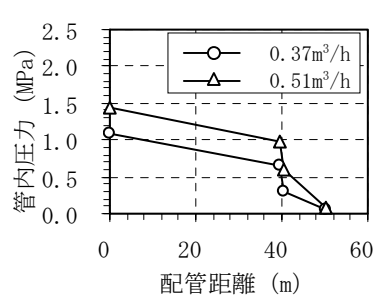


No. 2 (0.2vol%)

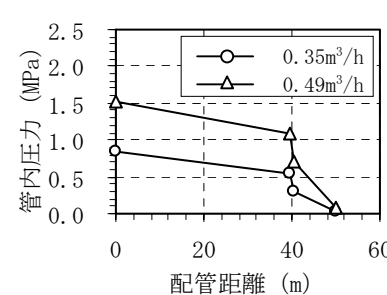


No. 3 (0.4vol%)

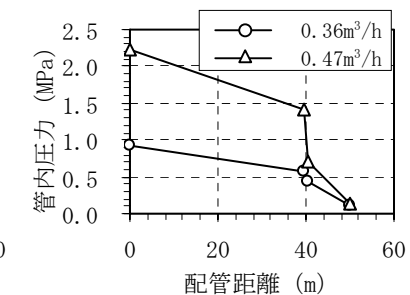
図-5 CASE1の管内圧力分布 (水平配管)



No. 1 (繊維なし)



No. 2 (0.2vol%)



No. 3 (0.4vol%)

図-6 CASE2の管内圧力分布 (水平配管)

### 4.3 管内圧力

図-5にCASE1における水平配管条件の管内圧力分布、図-6にCASE2について示す。管内圧力は、両ポンプ形式とも吐出量の増加に伴い大きくなった。繊維混入の有無で比較すると、繊維無混入のNo.1より繊維を混入したNo.2、No.3の圧力は同程度もしくは大きくなる場合が多かった。特に、混入量が多く繊維長の大きいNo.3のCASE2(吐出量0.47m³/h)における管内圧力が顕著に大きくなり、管内圧力のうちテーパ管の圧力損失が大きくなった。この原因としては、テーパ管のジョイント部へ繊維が挟

まること等により、その部分に繊維が蓄積して圧送に有効な配管断面が減少すること、テーパ管内の圧力勾配によりモルタルと繊維が分離気味となり、部分的に見かけの繊維混入量が増大すること等が考えられる。このような現象は繊維長24mmであり繊維混入率の大きいNo.3で顕著に表れたものと考えられる。実験条件の範囲では圧力によって搬送されている状況であるが、圧力がさらに大きくなる配管条件や繊維の練混ぜに起因する不均一性が生じた場合には、上述の現象が助長し閉塞の原因となることが推察される。

図-7に吐出量と圧力損失の関係を示す。同一のホース径では、吐出量が増大すると圧力損失も大きくなる。繊維の混入の有無で比較すると、繊維混入した No.2, No.3 の圧力損失は繊維無混入の No.1 より大きくなる傾向を示した。しかし、前述の特に圧力が大きくなった CASE2 の No.3 を除くと、繊維種類, 混入率が異なる No.2, No.3 の明確な差異は認められなかった。また、ホース径 38mm の圧力損失は、ホース径 25mm の 0.2~0.35 倍程度であった。

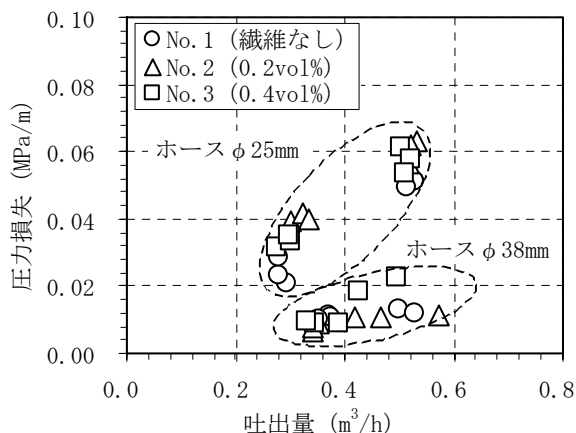


図-7 吐出量と圧力損失の関係 (水平管)

図-8に、鉛直配管を含む条件の鉛直管の圧力損失を示す。本実験では鉛直配管前後の圧力を測定していないため、同条件で水平圧送した実験結果と比較することで鉛直配管の圧力損失を求めた。打ち上げの影響については、水平換算距離にしてφ25mm配管で1.3~2.8m程度、φ38mm配管で1.8~4.7mであった。

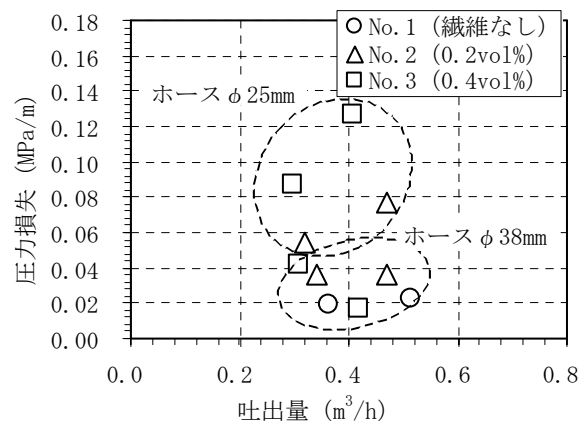


図-8 吐出量と圧力損失の関係 (鉛直管)

図-9に、鉛直配管を含む条件のポンプ出口 P1 の実測値と水平配管の同条件での P1 実測値にモルタルの自重による圧力を加えた圧力との関係を示す。両者の圧力はモルタルの自重分を考慮することで概ね同程度のケースもあるが、No.3およびテーパー管を含むCASE2の圧力は自重分を加えた圧力より大きくなった。これは上述の原因でテーパー管位置の圧力が増大した影響によると考えられる。

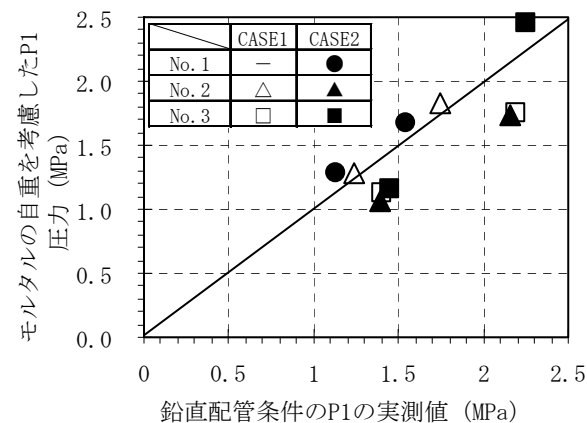


図-9 モルタル自重の影響

以上の結果より、本実験の配管条件における圧送限界距離は、ポンプの最大吐出圧力を閾値として概略予測可能となり、例えば鉛直配管 10m, No.3 (繊維 B : 0.4vol%), 吐出量 0.3m³/h 程度の場合、CASE1で20m程度、CASE2では120m程度であると考えられる。

#### 4.4 管内流動に関する考察

ポリマーセメントモルタルの管内流動は、ビンガム流体の流動と管壁ですべりを伴う流動の両者を考慮し、式(1)で表されると考えられる<sup>3)</sup>。

$$Q = Q_B + Q_S \quad (1)$$

ここに、 $Q$  : モルタルの全流量  
 $Q_B$  : ビンガム流量,  $Q_S$  : すべりによる流量

$$Q_B = \frac{\pi R^4}{8\eta_{pl}} \frac{\Delta P}{L} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{2L\tau_f}{R\Delta P} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{2L\tau_f}{R\Delta P} \right)^4 \right\} \quad (2)$$

$$Q_S = \pi R^2 V_R \quad (3)$$

ここに、 $\eta_{pl}$  : 塑性粘度  $\tau_f$  : 降伏値  
 $R$  : 管の半径  $\Delta P/L$  : 圧力損失  
 $V_R$  : すべり速度

図-10 に、圧力損失と全流量  $Q$  (吐出量) に対するビンガム流量  $Q_B$  の比 ( $Q_B/Q$ ) の関係 (CASE 1, 水平配管条件) を示す。ここでビンガム流量  $Q_B$  は表-5 に示した塑性粘度および降伏値を用いて式(1)~(3)によって算出した。 $\phi$  25mm 配管の場合の全流量に対するビンガム流量の比は 0.09~0.16 程度であり、圧力損失および繊維混入の有無との明確な傾向は認められなかった。

図-11 に、式(1)~式(3)から算出したすべり速度と圧力損失から求めた管壁面に生じる最大せん断応力の関係 (CASE 1, 水平配管条件) を示す。最大せん断応力は、すべり速度に比例して大きくなる関係にあった。また、すべり速度に対する最大せん断応力は繊維の混入の影響を受け、繊維なしと比較して 0.2%混入や 0.4%混入では大きくなる傾向にあった。

## 5. まとめ

本実験では、連続して安定した圧送が要求されるポリマーセメントモルタルと急結剤を併用した湿式吹付け工法に用いるポリマーセメントモルタルのポンプ圧送性について検討した。本実験の範囲で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) スネーク式およびスクイズ式ポンプの両者とも、安定したポンプ圧送が可能であることが確認された。
- (2) 繊維を混入した場合の管内圧力は、混入量、繊維長の影響を受け、この影響程度はテーパ管部で大きくなった。
- (3) 圧力損失は吐出量の増加とともに大きくなり、ホース径 38mm の圧力損失は、ホース径 25mm の 0.2~0.35 倍程度であった。
- (4) 鉛直配管における管内圧力は、水平配管条件にモルタルの自重による圧力を加えることで概ね評価できた。ただし、テーパ管や繊維混入の影響を受け、管内圧力がモルタルの自重による圧力増加より大きくなる場合もあった。
- (5) ポリマーセメントモルタルの管内流動に対

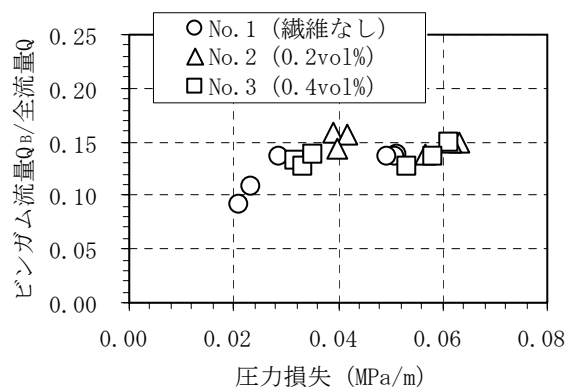


図-10 圧力損失と $Q_B/Q$ の関係

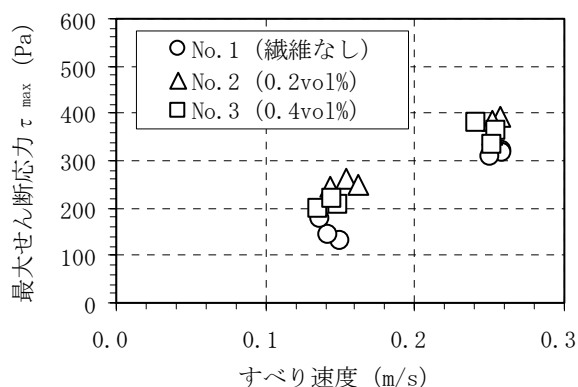


図-11 すべり速度と最大せん断応力の関係

するビンガム流動の割合は 0.09~0.16 程度であった。

## 謝辞

実験に際してご協力を頂きました昭栄薬品(株)、(株)J-fec の関係各位に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 伊藤正憲, 鳥取誠一, 楠本秀樹, 久保正則: 繊維混入湿式吹付けモルタルに関する検討, 第2回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 日本材料学会, pp.1-6, 2002.10
- 2) 阿部宏, 伊藤正憲, 楠本秀樹, 平田隆祥: 湿式吹付け工法によるポリマーセメントモルタルの付着に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.26, No.1, 1767-1772, 2004.7
- 3) 土木学会: コンクリートのポンプ施工指針, コンクリートライブラリー100, 2000