

東京都立大学

正会員 村田 二郎

,

,

○鈴木 一雄

1. はじめに モルタルの管内流動の性状は(1), 流動がBuckingham式に従う場合, (2), (1)の流動と共に管壁ですべりを生ずる場合, (3), 固体栓として運動する場合, (4), 半固体的に流動する場合, に区分される。十分流動性の高いグラウトの場合(1)に分類されることはすでに報告した。本研究は(2)の流動について検討したものであって, モルタルが管壁面から受ける抵抗(ラビング力という)を実測し, 管壁とモルタルとの間に液体摩擦が働くものとし, すべり速度とラビング応力が直線関係にあることを確かめ, この場合の流量式を提示したものである。

2. 流量推定式 モルタルが管壁に接して v_R の速度ですべする場合の流動は図-1に示すようであって, これを参照して流量式(1)で示されると考えられる。

$$Q_B = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 l \eta_{pe}} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_f}{R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_f}{R} \right)^4 \right\} + \pi R^2 v_R \quad (1)$$

ここに, Q_B : 流量(cm^3/sec), l : 管長(cm), R : 管の半径(cm), ΔP : 圧力差(Pa), r_f : 栓流半径(cm), v_R : すべり速度(cm/sec), すべり速度について検討する。図-1を参照して,

$$2\pi r l \tau = \pi r^2 \Delta P \quad (2)$$

$$\tau = \frac{r \Delta P}{2l} \quad (3)$$

したがって, 管壁におけるせん断応力 τ_R は式(4)となる。

$$\tau_R = \frac{R \Delta P}{2l} \quad (4)$$

また, ラビング応力は液体摩擦の概念を適用すれば, すべり速度に比例する。

$$f = \alpha v_R + \beta \quad (5)$$

ここに, f : ラビング応力(Pa), α : 摩擦に關係する係数($\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{cm}$), β : 付着に關係する係数(Pa)

$f = \tau_R$ において整理すると, すべり速度は式(6)となる。

$$v_R = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R \Delta P}{2l} - \beta \right) \quad (6)$$

3. ラビング応力の測定

式(6)の α および β を求めるため図-2に示すラビング応力測定装置を試作した。装置は内径30

mm, 長さ1mの塩化ビニール管をローラー上に水平に設置し, 管が自由にレール上を移動できるよう, ポンプとのジョイントの内径を管の外径より0.1mm大とした。モルタルの圧送時に管が流れ方向に移動しようとする力をラビング力とし, これを容量49Nのブルーミングを用いて測定した。また, 管入口付近の圧力を実測するため, 管入から5cmの点に容量0.2MPの圧力センサーを設置した。実験は表-1に示

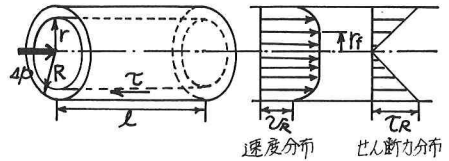


図-1 管内のモルタルの流れ

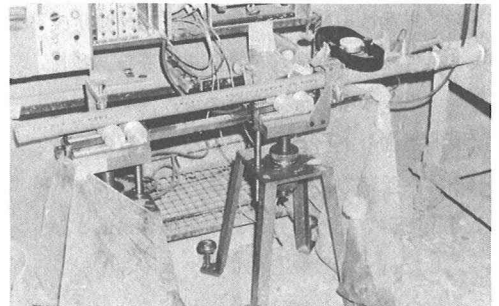


図-2 ラビング応力測定装置の概要

表-1 モルタルの配合およびコンシステンシー

No.	配合比		単位量 (kg/m^3)					70値	レオロジー定数	
	W/C (%)	S/C (%)	W	C	S	A ₂ ($\text{kg}/100\text{g}$)	Ad ($\text{kg}/100\text{g}$)		塑性流動係数 η_{pe} (Pa·s)	降伏値 τ_0 (Pa)
*1	50	1.85	325	649	1201	—	—	191	4.85	52.3
2		1.98	318	636	1259	—	—	197	4.87	42.8
*3		1.72	332	674	1162	—	—	201	3.46	50.5
4		1.60	347	693	1109	—	—	220	2.84	42.0
5		1.98	318	636	1259	流動特性 N. 5.09	—	270	2.22	14.8
6		"	"	"	"	流動特性 FZ. 5.21	—	279	0.85	17.1

注) *: 使用した砂は利根川産で比重2.56, 吸水率4.0%, F.M. 1.70でそれ以外は富士川産で, 比重2.61, 吸水率2.72, F.M. 2.75である。

す配合のモルタルを容量50ℓの強制練りミキサを用いて練り混ぜたのち、ただちに容量40ℓの気圧注入式ポンプ内に投入し、気圧を種々に変化させ、管内圧力、流量およびラビング力の測定を行った。なお、モルタルのレオロジー定数は内円筒の半径2.5cm、高さ70cm、外円筒半径5.0cmの外円筒回転型の粘度計を用いて測定し、その結果を表-1に併記した。

実験結果を表-2および図-3～図-6に示す。圧力勾配と流量との関係は図-3に示すようになって、実測流量はすべりがなくと仮定したBuckingham式による計算流量より大となっており、モルタルが管内ですべりを生じていることが認められた。実測流量と計算流量との差を管の断面積で除して求めたすべり速度と、ラビング力を管の表面積で除して求めたラビング応力との関係を図-4に示す。図-4において、ラビング応力はすべり速度に比例すること認められ、式(5)を実証している。ラビング応力とすべり速度の値を式(5)を用い、最小自乗法により係数 α および β を計算し表-2に示した。表-2において α の値は配合の相違にかかわらずほぼ一定で、平均値は11.7(Pa·s/cm)である。 β の値はコンシステンシーによって相違し降伏値との関係は図-5に示すようにほぼ直線関係となり式(7)で示される。

$$\beta = 0.39 \tau_y - 4.41 \quad (7)$$

図-6はラビング応力と管壁におけるせん断応力との関係を示したものであって、モルタルの配合の相違にかかわらず、両者はほぼ一致していることが示されている。

以上のことから、すべりを伴うモルタルの管内における流量レオロジー定数、 α および β の値を用い式(2)より、算定できる。

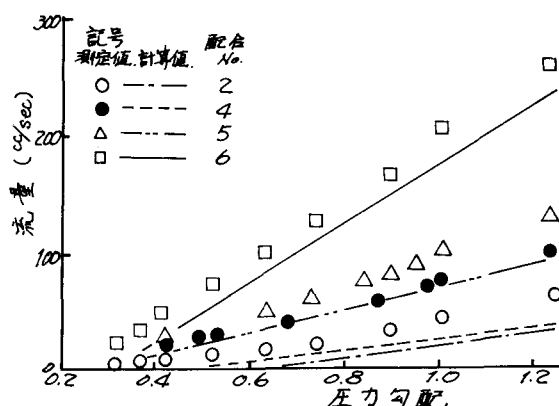


図-3 圧力勾配と流量との関係

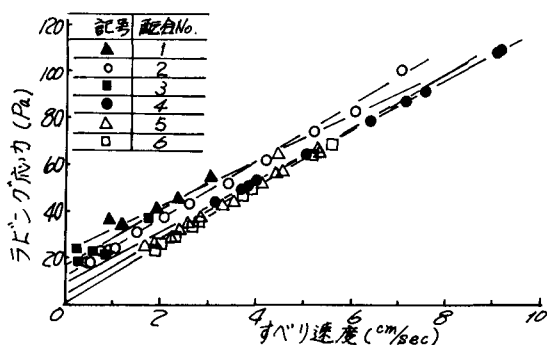


図-4 すべり速度とラビング応力との関係

表-2. α および β の計算結果

No.	降伏値 τ_y (Pa)	α (Pa·s/cm)	β (Pa)
1	52.3	10.6	18.8
2	42.8	12.8	11.8
3	50.5	12.6	15.2
4	42.0	10.7	8.93
5	14.8	11.7	2.75
6	17.1	11.7	1.86

図-5. 降伏値と β との関係

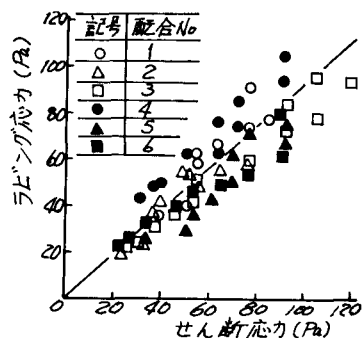


図-6 せん断応力とラビング応力との関係

参考文献

- 1) 村田, 鈴木「グラウトモルタルの管内流動」第36回土木学会年次学術講演会, 昭和56年10月
- 2) 村田, 鈴木「注入モルタルの圧送用パイプラインの設計法の提案」第37回土木学会年次学術講演会, 昭和57年10月