

V-161

フレッシュコンクリートの管内流動

- 圧送管径の相違が粘性摩擦係数に及ぼす影響 -

全国生コンクリート工業組合連合会 正会員 鈴木一雄

1. まえがき

モルタルおよびコンクリートの管内流動が管壁にすべりを伴う塑性流れとなり、この場合の付着力は試料の降伏値と一次比例関係にあること、および、粘性摩擦係数はモルタルとコンクリートとで相違し、前者の場合約 0.12 gfs/cm^3 (圧送管径約30mm)、後者の場合 $0.03 \sim 0.06 \text{ gfs/cm}^3$ (圧送管径約125mm) となることを既に報告した^{1, 2}。

本報告は粘性摩擦係数がモルタルとコンクリートとで相違することに着目し、圧送管径の相違が粘性摩擦係数に及ぼす影響について実験的に検討すると共に、流量算定のための実用式を提示した。

2. 管壁にすべりを伴う塑性流れ

管壁と試料との間の付着力が管壁におけるせん断応力より小さいために試料が管壁ですべりを生じる。この場合の流量はBuckingham式にすべりによる移動量を加算した次式で与えられる。

$$Q_s = Q + \pi R^2 V_r = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta_{pl}} \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{r_f}{R} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{r_f}{R} \right)^4 \right\} + \pi R^2 V_r \quad (1)$$

ここに、 Q_s ; すべりを伴う場合の流量(cc/s), Q ; Bingham流量(cc/s), R ; 管半径(cm), η_{pl} ; 塑性粘度(gfs/cm²), $\Delta P/\ell$; 圧力勾配(gf/cm²/cm), r_f ; 栓流半径(= $2\ell \tau_f / \Delta P$; cm), τ_f ; 降伏値(gf/cm²), V_r ; すべり速度(cm/s)

管壁に接する試料のせん断応力は

$$\tau_r = \frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\ell} \quad (2)$$

ここに、 τ_r ; 管壁に作用するせん断応力(gf/cm²)

また、試料が管壁から受ける

抵抗力は、界面に液体摩擦を適用すればすべり速度に比例するので

$$f_r = \alpha V_r + A \quad (3)$$

ここに、 f_r ; ラビンゲ抵抗(gf/cm²), α ; 粘性摩擦係数(gfs/cm³), A ; 付着力(gf/cm²) $f_r = \tau_r$

であるから、式1におけるすべり速度は次式となる。

$$V_r = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\Delta P}{\ell} \cdot \frac{R}{2} - A \right) \quad (4)$$

従って、試料の物性値を実験によって定めれば式4よりすべり速度が算定でき、これを式1に代入することにより流量の予測が可能となる。

3. モルタルの圧送実験

1) 実験方法 ; 管路は水平直線配管とし、圧送管径20, 30, 50, 75および100mm、管長8mの塩化ビニール管を用い、表1に示す配合のモルタルを圧送した。実験に用いたポンプは圧送管径20および30mmの場合は容量40ℓ、最大圧力10kgf/cm²の気圧注入式のを、圧送管径50, 75および100mmの場合ホッパ容量80ℓ、最大圧力10kgf/cm²のダイヤフラム式のをを用いた。圧力勾配を種々に変化させ管路の出口で流量を測定した。圧送圧力の管理は管の入口10cmの位置に設置した容量2kgf/cm²のダイヤフラム式

表1. モルタルの配合

配合 番号	水セメント 比 W/C(%)	砂セメント 比 S/C	単位量(kg/m ³)		
			W	C	S
1		1.50	354	707	1061
2	50	1.20	386	772	926
3		1.00	411	822	822

表2. モルタルのコンシステンシー測定結果

配合 番号	管 径 (mm)	フロー レオロジー定数	塑性粘度 降伏値	
			(poise)	(gf/cm ²)
1	20	217	38.5	0.43
	30	217	38.5	0.43
	50	231	28.3	0.31
	75	236	36.4	0.36
	100	234	34.2	0.38
2	20	249	23.3	0.30
	30	249	23.3	0.30
	50	260	19.3	0.30
	75	260	20.6	0.29
	100	262	20.0	0.25
3	20	283	15.3	0.20
	30	283	15.3	0.20
	50	288	12.4	0.21
	75	279	13.2	0.22

表3. モルタルの圧送実験より求めた粘性摩擦係数および付着力

配合番号	粘性摩擦係数 α (gfs/cm ³)					付着力 A (gf/cm ²)					平均	V (%)
	$\phi 20$	$\phi 30$	$\phi 50$	$\phi 75$	$\phi 100$	$\phi 20$	$\phi 30$	$\phi 50$	$\phi 75$	$\phi 100$		
1	0.114	0.113	0.107	0.113	0.111	0.121	0.119	0.123	0.113	0.118	0.119	3.17
2	0.121	0.121	0.112	0.112	0.109	0.048	0.063	0.055	0.063	0.055	0.057	10.5
3	0.118	0.093	0.109	0.122	—	0.031	0.031	0.031	0.038	—	0.033	10.6
平均値	0.118	0.109	0.109	0.110	0.110							
			0.113									
			7.0									

V; 変動係数
 ϕ ; 管径(mm)

圧力計を用いた。なお、レオロジー一定数の測定は圧送直後の試料を用い、内円筒半径2.5cm、高さ12cm、外円筒半径5cmの外円筒回転式の二重円筒型粘度計を用い、多点法³⁾によって行った。

2) 実験結果 ; 実験結果を表2および表3に示す。表2はコンシステンシー測定結果で、これを用いて算出したBingham流量と実測流量とを用いて算定した粘性摩擦係数と付着力の実験値を総括し表3に示した。表3において粘性摩擦係数は管径およびモルタル配合の相違に拘わらずほぼ一定値を示し、その範囲は0.093~0.122gfs/cm³、平均0.113gfs/cm³、変動係数7%であった。また、付着力も管径の相違に拘わらず配合によって相違し、後述するように降伏値と直線関係となる。

4. コンクリートの圧送実験

1) 実験方法 ; 管路は水平直線配管とし、管径125mm、管長90mの(鋼管)および管径75mm、管長8m(塩化ビニール管)を用い表4に示す5種の配合のコンクリートを圧送した。実験に用いたポンプは管径125mmの

表4. コンクリートの配合

配合番号	コンクリートの種類	G _{max} (mm)	φ (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
							W	C	S	G	Ad
1	AE	25	125	20	53	45	160	302	812	1031	—
2	流動化	"	"	12	"	"	167	315	799	1051	2.45
3	"	20	"	12	"	43	163	307	771	1036	6.14
4	"	"	100	14	"	"	"	"	"	"	6.75
5	プレーン	10	75	21	50	53	224	448	839	744	—

注) G_{max}:粗骨材の最大寸法、φ:管径、配合番号1~4空気量は4.5±0.5%、Ad:流動化剤

場合最大圧送量85m³/hのピストン式の PTF-85Bを、管径75mmの場合はホッパ容量160ℓ、最大圧力10kgf/cm²のダイヤフラム式のものを用いた。圧力勾配を種々に変化させ管路の出口で流量を実測した。圧送圧力の管理は前者の場合容量50kgf/cm²、後者の場合2kgf/cm²のダイヤフラム式の圧力計を用いた。レオロジー一定数の測定は流量測定と同時に試料を採取し、内円筒半径15cm、高さ20cm、外円筒半径20cmの二重円筒型の内円筒回転式粘度計を用い多点法によって行った。

2) 実験結果 ; 実験結果を表5に示す。表5においてピストン式ポンプの場合、ピストンの1ス

トローク毎に圧力波形を用いて定常状態の流量を定め、これを実測流量として粘性摩擦係数および付着力を算定した。この場合の実測流量に対するBingham流量は2%程度以下であった。この結果、粘性摩擦係数は管径75mmの場合を除いて(骨材最大寸法:20および25mm)ほぼ一定値を示し、その範囲は0.049~0.059gfs/cm³、平均0.054gfs/cm³であってモルタルの場合の1/2であった。管径75mmの場合(骨材最大寸法:10mm)は0.068gfs/cm³であって、上記のほ

配合 番号	スラン プ (cm)	レオロジー 塑性粘度 (poise)	一定数 降伏値 (gf/cm ²)	圧力 勾配 (gf/cm ²)	Bingham 流量 (ℓ/s)	実測 流量 (ℓ/s)	比 流 (ℓ/s)	すべり 速度 (cm/s)	ラビン 抵抗 (gf/cm ²)	粘性摩 擦係数 (gfs/cm ³)	付着力 集f/cm ²
1	20	2704	2.10	0.98	0.001	0.39	0	4.98	2.93	0.055	2.66
				1.07	0.003	0.78	0	9.89	3.20		
				1.56	0.02	2.94	0.01	37.2	4.70		
				2.60	0.06	7.41	0.01	93.6	7.81		
2	12	5414	2.29	1.72	0.02	2.65	0.01	33.4	5.17	0.059	3.20
				3.26	0.09	4.51	0.02	56.3	6.53		
				6.74	0.25	13.9	0.02	174	13.5		
				1.55	0.02	10.3	0.00	83.9	4.88		
3	12.5	5213	2.42	2.04	0.06	12.6	0.00	102	6.38	0.051	0.91
				2.35	0.08	14.6	0.01	118	7.34		
				2.40	0.09	16.8	0.01	136	7.50		
				1.07	—	9.40	—	76.6	3.34		
4	14.5	5321	2.22	1.39	0.01	12.0	0.00	97.8	4.34	0.049	0.39
				2.36	0.14	19.6	0.01	159	7.38		
				1.30	0.00	0.37	0.02	8.34	2.43		
5	21	3620	1.57	1.50	0.01	0.63	0.02	14.0	2.81	0.068	1.86
				1.69	0.01	0.86	0.02	19.1	3.16		
				1.87	0.02	1.08	0.02	24.1	3.50		

ぼ中間値となっている。そこで、骨材の最大寸法と管径との比(2R/A_{max})と粘性摩擦係数との関係を図1に示した。図1において2R/A_{max}の値が6~8の間に粘性摩擦係数の遷移領域が存在する。これは境界層の変化に起因すると考えられるが定かではない。次に、付着力はモルタルと同様に試料の降伏値との間はほぼ直線関係となり、従来えられている結果も含めこれらの関係は式5で与えられる。

$$A = 1.10 \tau_f + 0.35$$

無視できる程度に小さいので式6で与えられる。

$$Q_s = \pi R^2 V_r = \frac{1}{\alpha} \left(-\frac{R}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\ell} - A \right) \quad (6)$$

式6を用いて簡易に流量を推定するには粘性摩擦係数を図1より定め、付着力と降伏値との関係(式5参照)および、降伏値とスランプとの関係(式7参照)を利用すればよい。

$$\tau_f = 3 \times 10^{-3} SL^2 \quad (7) \quad \text{ここに、SL:スランプ(cm)}$$

なお、本研究は元都立大学教授 村田二郎先生にご指導を賜った。ここに付記して感謝致します。

参考文献:1)村田、鈴木;土木学会論文集、No.354,1985.2、2)村田、鈴木;第40回土木学会年次講演会概要集、1985.9、3)村田、菊川;土木学会論文報告集、No.284,1979.4

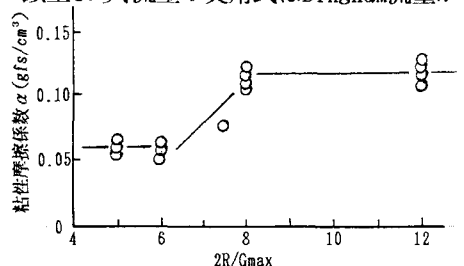


図1. 2R/G_{max}と粘性摩擦係数との関係