

東京都立大学 正会員 村田二郎

" " " 〇鈴木一雄

1 まえがき コンクリートの管内流動は通常、管壁における付着力に比べせん断力が大きいので、すべりを伴うBingham体の流れと考えることができる。本研究は管壁におけるコンクリートのすべり速度について検討し管内流量式を提示したものである。

2 コンクリートの管内流動 Bingham体が管壁に接して v_R の速度ですべる場合の流量は次式で示される。

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

ここに、 Q :流量(cm^3/sec)、 l :管長(cm)、 η_{re} :塑性粘度($\text{g}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$)、 R :管の半径(cm)、 ΔP :圧力差(g/cm^2)、 f_f :栓流半径(cm)= $2l\tau_f/\Delta P$ 、 τ_f :降伏値(g/cm^2)、 v_R :管壁におけるすべり速度(cm/sec)

すべりについて検討する。

管内の力の釣合式より管壁におけるせん断力は

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

ここに、 τ_R :管壁におけるせん断力(g/cm^2)

試料が管壁から受ける抵抗力は液体摩擦の概念

より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 :管壁におけるラビング抵抗(g/cm^2)、 α :摩擦に關係する係数($\text{g}\cdot\text{sec}/\text{cm}^3$)、 A :付着力(g/cm^2)

$\tau_R = f_R$ であるから

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

従って、コンクリートの性質に対抗して α および A を実験的に定めれば式(4)よりすべり速度が算定できる。

3 コンクリートの圧送実験

1). 実験装置および実験方法 式(4)の α および A を実験的に定めるため図1に示す装置を試作した。装置は内径100mm、長さ2mのステンレス鋼管をローラ上に水平に設置し、固定管とのジョイントはアクリル製で、その内径はステンレス鋼管の外径より1mm大きくしている。コンクリートが管内を流れる場合、管を流れる方向に移動させようとする力が生ずる。この力をラビング力とし容量30kgのプルービングリングにより検出した。管内の圧力勾配を求めるため、管入口から15cmの位置に容量5kg/cm²のダイヤフラム型圧力計を設置し圧力の測定を行った。実験は表1に示す配合の流動化コンクリートおよびプレーンコンクリート200ℓを容量100ℓの可傾式ミキサーを用いて2回に分けて練り混ぜた後、最大圧力10kg/cm²、ホッパー容量

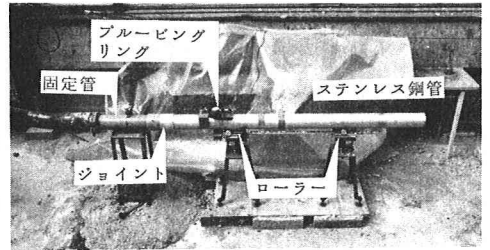


図1. コンクリート用ラビング抵抗測定装置

表1. コンクリートの配合およびコンシステンシー

No.	コンクリートの種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)						スランプ(cm)		レオロジー定数	
				W	C	S	G	Ad1	Ad2	ベース	流動化		
1	流動化 コンクリート	53	49	171	323	912	946	0.808	0.646	7.0	13.0	3972	1.94
2				179	338	890	963	0.845	0.676	12.0	17.5	3051	1.84
3				191	360	872	913	0.900	0.720	16.5	22.0	2972	1.52
4	プレーン コンクリート			179	338	890	936	0.845	—	14.0	—	3952	2.18
5	189			357	869	908	0.893	—	18.0	—	3460	1.84	
6	196			370	852	891	0.925	—	21.0	—	2908	1.53	

※ Ad1:減水剤(C×0.25%)、Ad2:流動化剤(C×0.2%)。

骨材は美山産砕石2005を用いた。1 Poise = 1 / 981g·sec/cm²

表2. 流量およびラビング抵抗測定結果の一例 (ラング:180cm)

配合NO.	圧力勾配 (g/cm ² /cm)	実測流量 Q _A (cc/sec)	Bingham 流量 Q _B (cc/sec)	比 = $\frac{Q_A}{Q_B}$	すべり速度 $v_R = \frac{Q_A - Q_B}{\pi R}$ (cm/sec)	ラビング抵抗 f_R (g/cm ²)	管壁におけるせん断力 (g/cm ²)	比 = $\frac{f_R}{\tau_R}$
2	0.97	136	7.6	0.06	1.6	2.53	2.43	1.04
	1.02	202	10.3	0.05	2.4	2.60	2.55	1.02
	1.47	1247	41.0	0.03	15.4	3.71	3.68	1.01
	1.82	1885	67.5	0.04	23.1	4.38	4.55	0.96
	1.96	2069	78.3	0.04	25.4	4.87	4.90	0.99
5	1.05	283	10.8	0.04	3.5	2.66	2.63	1.01
	1.21	637	19.8	0.03	7.9	3.09	3.03	1.02
	1.26	754	23.0	0.03	9.3	3.10	3.16	0.96
	1.68	1699	50.3	0.02	21.0	4.17	4.21	0.99
	2.00	2411	71.7	0.03	29.8	5.07	5.00	1.01

160ℓのダイヤフラム式コンクリートポンプにより圧送圧力を0.5〜3.2 kg/cm²とし5〜7段階に変化させ流量およびラベリング力の測定を行った。レスロジ一定数は内円筒半径15 cm, 高さ20 cm, 外円筒半径20 cmの内円筒回転型の粘度計を用いて測定した。その測定結果を表1に併記する。

2). 実験結果 実験結果の一例を表2に示す。表2において流動化剤の有無にかかわらず、スランプ値が同じ場合、圧送性はほとんど同様であった。これは表1に示す降伏値が等しく後述するように流量が降伏値に依存するためであろう。図2は管壁におけるせん断力とラベリング抵抗との関係を示したもので、両者はほぼ等しく、その比は0.94〜1.04 平均1.01 となっている。図3はすべり速度とラベリング抵抗との関係を示したものであって、ラベリング抵抗とすべり速度との関係は直線で示され液体摩擦状態を示している。

これらの直線から摩擦に關係する係数 α および付着力 A を定め表3に示した。表3において摩擦に關係する係数は配合の相違にかかわらず0.086〜0.097, 平均0.091 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$ となっている。また付着力は配合によって相違した。図4は付着力と降伏値との關係であって、これらの間に直線關係が認められ、実験値から両者の關係は式で示すようである。

$$A = 1.1 \tau_f + 0.35 \quad (5)$$

図3. すべり速度とラベリング抵抗の關係

図4はスランプ値と降伏値との關係を示したものであって両者の間には選擇的關係がある。従って、付着力は図4と図5を組み合わせる図6からスランプ値を用いて推定することができる。これらの關係は式で示される。 $A = 3.6 - 0.075 S_L$ (6) ここに S_L : スランプ値 (cm)

表2に示した実験流量に対するBingham流量は最大6% であって、無視できる程度に小さいと考えれば、流量は実用上、式から推定される。

$$Q = \pi R^2 v_R = \pi R^2 \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R}{2} \frac{dP}{dL} - A \right) \quad (7)$$

表3. α および A の計算結果

配合 NO.	スランプ値 (cm)	降伏値 ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$)	α ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$)	A ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^2}$)
1	13.0	1.94	0.091	2.51
2	17.5	1.84	0.086	2.39
3	22.0	1.52	0.094	2.04
4	14.0	2.18	0.097	2.72
5	18.0	1.84	0.090	2.32
6	21.0	1.53	0.088	1.99

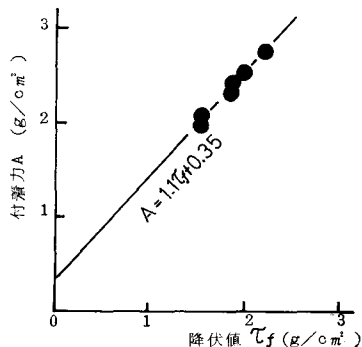


図4. 降伏値と付着力との關係

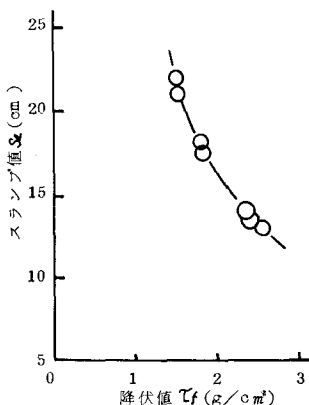


図5. 降伏値とスランプ値との關係

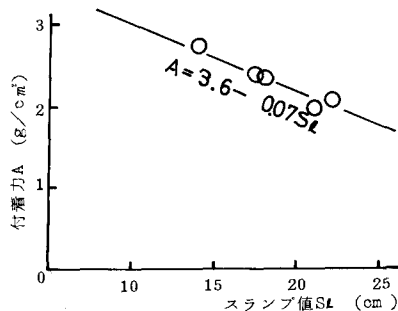


図6. スランプ値と付着力との關係