

1. まえがき

近年、コンクリート工事の多様化・大型化により、コンクリートの施工法としてポンプコンクリート、プレキャストコンクリート、トレミー工法等が採用されることが多くなってきた。これらの工法はいずれもグラウトやコンクリートが管内を流動する問題であり、その流動特性を解明することは極めて大切であり、これによって、施工の改善や合理化が促進されるものと考えられる。

本研究においては流動が比較容易である鉛直管におけるグラウトの流動実験を行い、その基本的性状を明らかにするとともに、レオロジー定数を用いて鉛直管に対する流動解析を試み、実験値との適合性を検討し、若干の考察を加えたものである。流動実験においては、(1) 流出条件(空中および水中)、(2) グラウトの配合(W/C, S/C)等α相違による影響について検討した。

2. 鉛直管における流動解析

次の仮定をおく。(1) グラウトはビンガム流体である。(2) 管内流れは定常流かつ層流である。(3) 管壁面におけるスリッジョがない。

Bernoulli の定理による式 図1の鉛直管において、ホッパー上端①と、水中における鉛直管下端②に Bernoulli の定理を適用する。②は基準面(z=0)をとると、次のようになる。

$$z + \frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} = \text{const} \quad \text{---(1)}$$

$$h + L = \frac{P_2}{\omega c} + \frac{V_a^2}{2g} + h_r \quad \text{---(2)}$$

$$h_r = \frac{V_a^2}{2g} \cdot (f_i + f_o + \frac{64L}{Re_b d}) \quad \text{---(3)}$$

ここで、 $V_a$ : 流速、 $\omega c$ : 流体(グラウト)の単位重量、 $\omega$ : 水a単位重量、 $P_2$ : ②における圧力(=  $\omega h_1$ )、 $h_r$ : 損失水頭、 $f_i$ : 入口損失係数(=0.5)、 $f_o$ : 出口損失係数(=1.0)、 $Re_b$ : ビンガム流体のレイルズ数、 $Re_b$ は図2を参照して次式で表わされる。<sup>1)</sup>

$$Re_b = \frac{\omega c V_a d (4\alpha)}{\eta_{pl}} F_{\alpha} \quad \text{---(4)}$$

$$\alpha = \tau_f / \tau_w = 2\tau_f / d = 4L\tau_f / \omega c (h + L - \omega h_1) d$$

$$\alpha = (\alpha^2 - 4\alpha + 3) / 12\alpha$$

$$F_{\alpha} = 9/5 \cdot \{ (5 + 6\alpha - 11\alpha^2) / (3 + 2\alpha + \alpha^2) \} = 1 - \alpha$$

ここで、 $\tau_f$ : 降伏値、 $\eta_{pl}$ : 塑性粘度

(3),(4)式を(2)式へ代入し、平均流速 $V_a$ と求めると次式で表わされる。

$$V_a = \frac{1}{2} \left\{ -6.4 \frac{L}{d^2} \frac{\eta_{pl}}{\omega c \alpha F_{\alpha}} + \sqrt{ \left\{ 6.4 \frac{L}{d^2} \frac{\eta_{pl}}{\omega c \alpha F_{\alpha}} \right\}^2 + 3.2g(h+L-h_1)} \right\} \quad \text{---(5)}$$

Buckingham-Reiner の式

$$V_a = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4}{\pi d^2} \int_0^{r_0} 2\pi r v dr + \pi r_0^2 v_m = \frac{d}{2} \frac{\tau_f}{\eta_{pl}} \alpha \quad \text{---(6)}$$

ここで、 $Q$ : 流量、 $v_m$ : 栓流流速

空中流出の場合には、 $h_1 = 0$  とおけばよい。

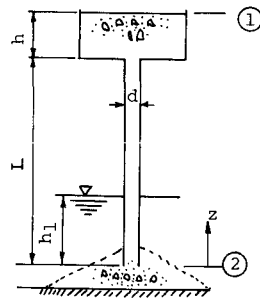


Fig. 1

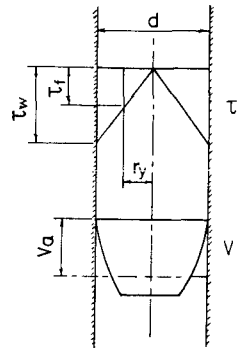


Fig. 2

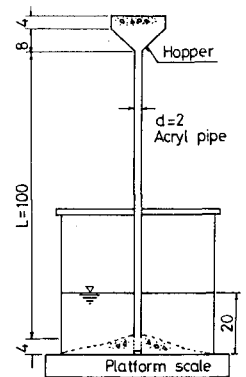


Fig. 3 Unit: cm

### 3. 実験方法

実験に用いた鉛直管は図3に示すように管径20mm、管長100cmのものである。流動実験の手順は予め水槽底部の栓にのみ鉛直管は、グラウトミキサーで3分間練り混ぜた直後のグラウト試料をホッパーから充てこんだ後、一定の引き上げ高さ(4cm)まで管を引き上げ、それと同時に流出したグラウト分をホッパーから捕給し、定常連続流れとみなせるようにして、一定時間おきにグラウト流出量を台秤で計量し、平均流速 $v_{am}$ を求めた。実験は空中および水中流出の両者について、各試料につき3回行った。

使用材料はセメントは普通セメント、細骨材は川砂(最大粒径5mm F.M. 2.90)である。グラウトの配合は $W/C = 0.45, 0.50, S/C$ (容積比) $= 0, 1, 2$ とし、いずれも混和剤として保水剤NL-1850セメント1kg当り8cc用いた。グラウト練り混ぜ容量は12Lで、温度は17~18°Cである。レオロジー定数 $\tau_0, \eta_{pl}$ は回転粘度計によって求めた。回転粘度計の諸元は、外円筒回転型で、外円筒直径中60mm、深さ145mm、内円筒直径中30mm、長さ48.5mmである。

### 4. 実験結果および考察

(1) レイリス数について すべてのケースについて $Re_{gr} = 2 \sim 100 < 2000$ となり、管内流動は層流と考えてよい。(2) 空中流出と水中流出との相違 水中流出は空中流出より流速 $v_{am}$ が8~47%小さくなった。しかし、比較的流動性のよいセメントペーストの場合は両者の間に大差が認められなかった。(3) グラウトの配合による影響  $W/C$ が大きくなる程、 $S/C$ が小さくなる程、 $v_{am}$ は大きくなる。特に $S/C$ の増大に対して、 $v_{am}$ の減少率は大きくなる傾向を示したが、これは細骨材粒径(5mm)が管径(20mm)に対して大きいためであると考えられる。(4) 計算値との比較 回転粘度計から求めた $\tau_0, \eta_{pl}$ を用いて計算値と実測値とを比較すると、 $v_{am}/v_c$ は1.3~6.8の範囲で、計算値より実測値の方が相当大きくなっている。この理由としては、4キットロビ

ーの影響があること、 $\tau_0, \eta_{pl}$ の誤差も含んでいること、管壁におけるスリップがあること等が考えられる。流速の遅い場合は比較的計算値と合う傾向を示した。また、Bernoulli式とBackingham Reiner式による両計算値はほぼ一致した。

Table.1

Condition of Outflow	Mix proportion		Flow (mm)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\eta_{pl}$ (poise)	Measured (cm/sec)		Calculated (cm/sec)		$v_{am}/v_{c1}$	$v_{am}/v_{c2}$
	W/C	S/C				$v_{am}$	$v_{c1}^*$	$v_{c2}^{**}$			
In air	0.45	0	280	0.146	12.5	106 92 89	96	16	17	6.0	5.6
		1	260	0.153	25.1	55 48 51	51	9	10	5.7	5.1
		2	215	0.170	32.0	19 17 21	19	7	8	2.7	2.4
	0.50	0	300	0.055	5.7	139 125 124	129	40	41	3.2	3.1
		1	270	0.108	9.8	72 96 75	81	24	25	3.4	3.2
		2	241	0.123	16.9	34 35 29	33	17	17	1.9	1.9
Under water	0.45	0	272	0.146	12.5	79 99	89	13	16	6.8	5.6
		1	256	0.153	25.1	35 40 46	40	7	9	5.7	4.4
		2	206	0.170	32.0	8 9 13	10	6	7	1.7	1.4
	0.50	0	300	0.055	5.7	119 114 125	119	34	37	3.5	3.2
		1	269	0.108	9.8	68 52	60	20	23	3.0	2.6
		2	238	0.123	16.9	23 15 17	18	12	14	1.5	1.3

\*  $v_{c1}$ : Eq. (5)

\*\*  $v_{c2}$ : Eq. (6)

Temperature of grout: 17 to 18°C

### 5. まとめ

#### 細骨材の粒径

が流動特性におよぼす影響については講演時に報告する予定である。本研究は郡立大学 村田二郎教授の指導の下に行われたものであり、ここに記して感謝いたします。

参考文献 1) 富田幸雄, レオロジー, pp.321~340, 1970, コロナ社