

弥栄ダム濁水スラリーの流送特性に関する考察

建設省 弥栄ダム工事事務所

正員 渡辺 貞夫

“ “ “ “ “ “

“ 末田 克己

“ “ “ “ “ “

“ ○平野 清治

1. まえがき

コンクリート用骨材を生産する過程に湿式プロセスを採用すると濁水が発生し、この濁水は環境保全、公害問題の面から処理する必要がある。処理後のスラッジが多量となればなる程、スラッジをスラリー状態へ還搬する方法が多方面で有利となる。スラリーは流送状態により均質スラリー（流送試験が乳濁であれば粒子は浮遊している）と不均質スラリー（粒子が沈降しているのを流速を上げて滑動させる）に大別されているが、ダム濁水即ち、骨材製造設備から発生する濁水の特性は不明な事項が多いため、流送実験を行なった結果を紹介し、本スラリーの流送特性について検討しなおすのである。

2. スラリーの諸物性

弥栄ダムにおける骨材プラントのスラリーは、骨材原石採取時の表土粘土50%、破砕時に生ずる細粒子50%より模擬スラリーを作製した。

2-1. 粒度分布、真比重 模擬スラリーの粒度分布は図-1に示す。

粒子の代表径は次のとおりである。

d_{50} (50%中位径) 80 μm , d_{85} (85%代表径) $\geq 20 \mu\text{m}$

d_{av} (算術平均径) 115 μm

2-2. 単一粒子の沈降速度 長さ1mの透明アクリルの円筒容器に水を満たし粒子の落下時間を計測した。今粒子を球形と仮定したときの沈降速度 v_{sd} と抗力係数 C_D との関係は次式で求めた結果は表-1に示す。

$v_{sd} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{1}{C_D} g d (S-1)}$ $\therefore g$: 重力加速度, d : 粒子径, S : 粒子の真比重

2-3. 流動特性 微粒子を多量に含むスラリーには剪断応力と剪断速度の間に比例関係が成立せずビンガム流体としての特性があると認められたので回転粘度計により測定した。測定結果は表-2のとおりで本スラリーは高濃度域(約35wt%)以上においては、ビンガム流体の特性を示していた。

3. 流送実験

実験装置は、可変速モータ駆動のスラリーポンプ、4Bパイプライン、スラリー調整タンクから構成されるループ状になっている。実験を行なったスラリー濃度は10~45wt%の範囲で、5種類を適用し流速と圧力損失との関係を求めた。

3-1. 圧力損失の測定結果 清水及び流送濃度における流速と圧力損失との関係は図-2のとおりである。一般にスラリーの単位長さあたりの圧力損失 i_m は、次式で表わされる。

$i_m = i_w (1 + C_m \alpha)$ $\therefore i_w$: 清水の単位圧力損失, C_m : スラリー濃度, α : 圧力勾配比

この中を Fr^* 数(修正フルード数)を用いて、データ整理したのが図-3であり、流送条件により Fr^* 数を求め、その対応する中値を積みとることにより圧力損失を推定することが可能となる。

今、 Fr^* 数は次式のように定義した。

$Fr^* = \frac{V^2}{g D (S-1)}$ $\therefore V$: スラリー流速, g : 重力加速度, D : パイプ内径, S : 粒子の真比重

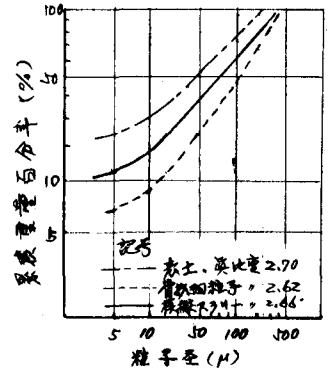


図-1 粒子分布・真比重

代表径	粒径(μ)	v_{sd} (%)	C_D (-)
d_{50}	80	0.578	5.19
d_{85}	220	2.69	2.96
d_{av}	115	1.20	17.5

表-1 単一粒子の沈降速度

スラリー濃度 (wt%)	剪断応力増分値 τ_y (dyne/cm ²)	型性粘度 μ_B (poise)
45	45.3	0.0782
37	15.2	0.0413
20以下	測定不可	←

表-2 τ_y と μ_B の関係

3-2. 流速様式の検討 本スラリーが均質スラリーか、不均質スラリーかは図-2、図-3から検討した処次のようなことが言える。

①濃度40wt%以上のスラリーは中が一定となり均質スラリーとして取扱うことができる。これは流動特性よりビンガム流体とみられる濃度と一致する。

②濃度30wt%以下のスラリーは不均質スラリーとして取扱う必要がある。

4. 圧力損失の算定式の誘導

一般に円管二相流における全圧力損失 ΔP_m は次式のように表わすことができる。 $\Delta P_m = \Delta P_L + \Delta P_i + \Delta P_g$
(スラリー全圧損失) (液体摩擦損失) (固体粒子摩擦損失) (浮遊圧損失)

これを単位長さ当たりの圧力損失に書き換えると、

$$i_m = i_L + i_i + i_g \text{ --- (1) とする。}$$

1) 液体の摩擦損失 i_L

次を解析すると i_L は (2) 式のようになる。

$$i_L = \alpha_L \cdot V^x \cdot D^{x-3} \cdot \mu_L^{z-t} \cdot g_L^{t-1} / g \cdot g \text{ --- (2) } \therefore V: \text{流速}$$

D : 管内径, μ_L : 液体の粘度, g_L : 液体の比重, g : 重力加速度。

α_L : 管摩擦係数。

2) 粒子の摩擦係数 i_i

粒子による摩擦損失のみを求めるのは困難

であるが、今粒子を含む流体の管摩擦 (α_L) を導入すると以下のようになる。

$$i_L + i_i = \alpha_m V^x D^{x-3} \mu_m^{z-t} g_m^{t-1} / g \cdot g \text{ --- (3), (2)(3) 式より}$$

$$\frac{i_L + i_i}{i_L} = \left\{ \frac{\alpha_m}{\alpha_L} \left(\frac{\mu_m}{\mu_L} \right)^{z-t} \left(\frac{g_m}{g_L} \right)^{t-1} \right\} - i_L \text{ --- (4)}$$

又、一般に $\alpha_L \approx \alpha_m$ と考えられるから

$$i_i = \left\{ i_L \left(\frac{\mu_m}{\mu_L} \right)^{z-t} \left(\frac{g_m}{g_L} \right)^{t-1} \right\} - i_L \text{ --- (5) とする。}$$

3) 粒子の浮遊圧力損失 i_g

浮遊に必要なエネルギーは粒体重量が沈降

速度で落下するエネルギーを補充すると粒体はその重量を保つと考えると

$$i_g = \frac{1}{g} C_v \left(\frac{g_s}{g_L} - 1 \right) \frac{V_s}{V} \text{ (6) とする。以上 (1)(2)(5)(4) より}$$

$$i_m = i_L \left\{ \left(\frac{\mu_m}{\mu_L} \right)^{z-t} \left(\frac{g_m}{g_L} \right)^{t-1} \right\} + \frac{1}{g} C_v \left(\frac{g_s}{g_L} - 1 \right) \frac{V_s}{V} \text{ --- (7)}$$

本流速テストの圧換結果から $t = 1.806$ であり、今均質不均質流体の場合 $g \approx g_L$

均質流体の場合 $g \approx 1.0$ とすれば、本スラリーの圧換算定式は次式となる。

35wt% 未満のスラリー (= ニュートン流体) の場合

$$i_m = i_w \left(\frac{g_m}{g_w} \right)^{0.806} + 1.25 C_v (S-1) \frac{V_s}{V} \text{ --- (8)}$$

35wt% 以上のスラリー (= ビンガム流体) の場合

$$i_m = i_w \left\{ \left(\frac{\mu_m}{\mu_w} \right)^{4.194} \left(\frac{g_m}{g_w} \right)^{0.806} \right\} + C_v \left(\frac{g_s - g_m}{g_m} \right) \frac{V_s}{V} \text{ --- (9)}$$

i_w, μ_w, g_w : 清水の圧換, 粘度, 比重

上記の (8)(9) 式により計算した圧力損失特性を図-4に示す。

5. 考察

ダム濁水スラリーの流速特性に關し次のような結果を見いだ

すことができた。①35wt% 以上の濃度では均質スラリーとして取扱うことが

ができる。又35wt% 以下では不均質スラリーとして取扱うべきではない。

②圧力損失算定式として、本論中の (8)(9) 式を用いることができる。

しかし、ダム濁水スラリーは管槽プラントから発生する粒度分布が戻石投入量の変化により常に変動する中で、この影響が流速特性に及ぼす範囲の有無について今後更に検討を計る予定である。

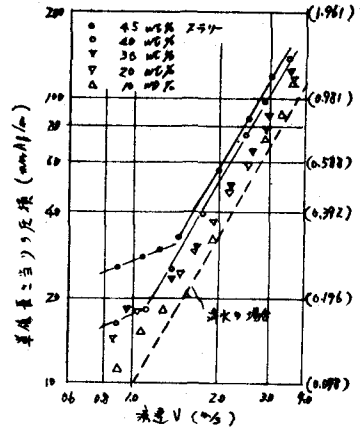


図-2 流速と圧力損失の関係

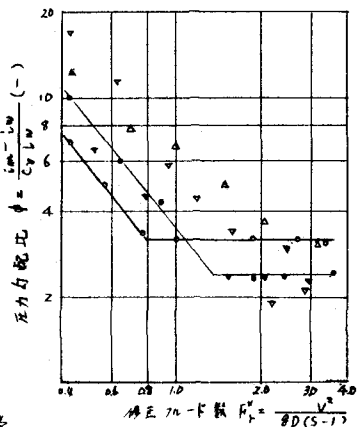


図-3 μ と Fr^* の関係

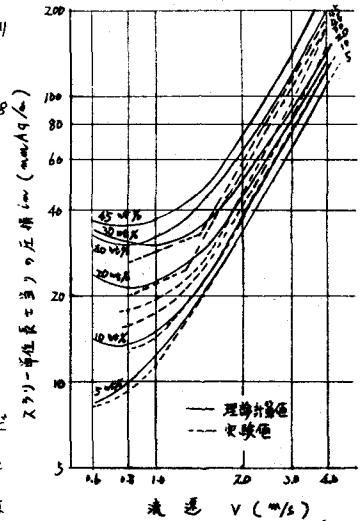


図-4 (8)(9) 式による圧力損失