

砂防ダムによる土砂多き流れの制御について

京都大学工業教員養成所 正員 大同 淳之
神戸市立工業高等専門学校 正員 〇日下部 重幸

1 はしがき

この報告は、一般に集合運搬と呼ばれる土砂多き流れ（以下土砂流と呼ぶ）の制御に果たす砂防ダムの効果について考察したものである。

土砂流の制御としては、発生の防止と流下の阻止の二つが考えられる。発生に対する対策は、発生機構の解明が十分でない現在、これを完全に期待することはむずかしい。改善の方法として流下の阻止がある。流下を阻止する第一の方法は、砂防ダムのようなせきによる阻止である。土砂流の発生する地域では、平年流砂量が大きいため、砂防ダムはすぐに満砂し、ダムの貯留能力に期待することは困難である。ダムによる止り能力としては、満砂後のダムの貯留効果にたよらざるを得ない。満砂したダムによる貯砂量は、土砂流の貯留縦断面形からダムの満砂形状を差引くことにより求むることができる。わかれわかれは土砂流として、粒土粒多き多量を含む流れを用いて実験を行い、その結果について考察した。

2 実験の規模

実験は、幅0.2m、深さ0.44m、長さ20m、の循環式水路を行、た。実験に用いた流体は、 $d_{50}=3.4 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 、 $\sigma_p=2.96$ 、 $\rho=2.703$ の粘土を混濁したもので、重量混合比は、水：粘土 = 1：0.61~0.88、単位重量は $1.31 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$ の範囲である。この流体は従来の研究によるといわゆるビingham流体の性質を示し、この濃度の範囲で粘度 μ_b は $1.575 \sim 1.85 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}$ 、降伏値 τ_0 は、 $0.06 \sim 0.097 \text{ g/cm}^2$ である。また急速に流動すると、ニュートン流体と同様に挙動を示し、管内流速分布に対し、対数法則が成立することも確かめられている。

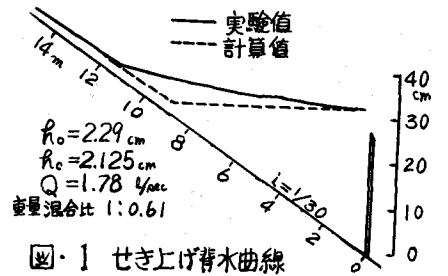
図・1は、水路内にせきを設置して、せき上げとした場合、図・2は低下背水、の一例である。いずれの場合にも、ニュートン流体の概念から予想される勾配より急な勾配が観測された。

3 実験結果に対する考察

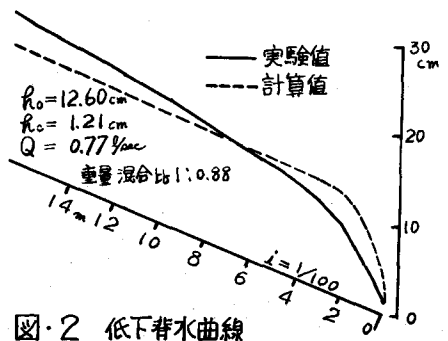
(i) 従来の不等流式の適用

前述のようにこの流体は、急速に流動した場合、ニュートン流体と同様に挙動する。したがって、不等流におけるエネルギーの関係が、ニュートン流体の場合と全く同様に成立つものと考え、阻水水深 h_0 、等流水深 h_e は、補正項は別として、同じように定義できる。例えば、みかけの層流に対しては慣用の記号を用いるとつぎのようになる。

$$h_0 = \sqrt[3]{Q^2/C^2 \cdot i \cdot b^2}, \quad C = \sqrt{29/f_0 F}, \quad f_0 = 6/Re_0 \cdots (1)$$



図・1 せき上げ背水曲線



図・2 低下背水曲線

$$R_{00} = (U_m R / V_0) \{ F \cdot 3\beta(1-\alpha) \}, \quad F = 4/(9-6\alpha+\alpha^2), \quad \beta = \alpha^2(1-\alpha)/2(1-\alpha), \quad \alpha = z/r$$

$$R_c = \sqrt{2Q^2/gb}, \quad \alpha = \int_A (U/U_m)^2 dA/A = (1-19.5\alpha)/(1-\alpha/3)^3 \quad \text{----- (2)}$$

水面形の計算も、これらの値を用いて、ニュートン流体と同様に計算できるはずである。図・1, 2にこれによる計算値を点線を示す。実験値は計算値より、かなり急な勾配を示している。これは、この流体が本質的には粘弾性流体であり、等流では、摩擦損失が粘性項のみに支配されて表面に平たいが、不等流の場合に、弾性効果が影響してくるのではないかと考えられる。以下この効果について考察してみる。

(ii) 偏差応力を考慮した場合

定常円管内層流についての Weissenberg の研究によると、偏差テンソルの成分 σ_{ij} と、回復しうるずりひずみ S との関係は次式で示される。

$$\sigma_{xx} - \sigma_{zz} = GS^2, \quad \sigma_{zx} = GS, \quad \sigma_{zz} = \sigma_{yy} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 G は剛性率である。さらに Rivlin の考えを用いると、 $\sigma_{zz} = \sigma_{yy} = 0$ となる。オビンガム流体では、降伏応力を引いた有効応力 σ_{zx} について、 $\sigma_{zx} = \mu_0 \cdot d\gamma/dz$ であるから、 σ_{zx} は次式で表わされる。

$$\sigma_{zx} = \mu_0^2 / G \cdot (d\gamma/dz)^2 \quad \text{----- (4)}$$

このような性質を有する流れに対しては、運動方程式にこの偏差応力による項が加わり

$$\rho \frac{\partial}{\partial x} (U_m A) + \rho \frac{\partial}{\partial x} (\alpha U_m^2 A) = -G S + \rho g A \sin \theta - \rho g A \frac{\partial R}{\partial x} \cos \theta + b \int_0^{2z} \sigma_{xx} dz \quad \text{----- (5)}$$

となる。層流の場合、流速分布は、 $U = \{G/\mu_0(R-z)\} \cdot (2z - z^2/2)$ であるから

$$\sigma_{xx} = \frac{\mu_0^2}{G} U_m^2 \left\{ \frac{1 - z/R}{2(1 - z/R)} \right\}^2, \quad b \int_0^{2z} \sigma_{xx} dz = \frac{b \mu_0^2}{3G} \frac{Q^2}{A^2} \Gamma, \quad \Gamma = \frac{1}{\{2 - 2z/R + z^2/R^2\}} \quad \text{----- (6)}$$

となる。(5) 式に(6) 式を代入して整理し、 $\partial/\partial t = 0$ とおくと不等流の式は、

$$i + \frac{dR}{dx} + \frac{d}{dx} \frac{\alpha U_m^2}{2g} + \frac{G}{\rho g R} - \frac{Q^2 \mu_0^2 b}{3 \rho g G} \left(\frac{1}{A^2} \frac{\partial \Gamma}{\partial x} - \frac{2\Gamma}{A^2} \frac{dA}{dx} \frac{dR}{dx} \right) = 0 \quad \text{----- (7)}$$

となり、従来の不等流の式に、左辺最後の項が加わる。(後々これを偏差項と呼ぶ)。長方形断面の場合、

$$\frac{dR}{dx} = \frac{i - \frac{Q^2}{C^2 b^2 R^2} + \frac{\mu_0^2}{3 \rho g G} \frac{Q^2}{b^2 R^2} \frac{d\Gamma}{dx}}{1 - \frac{dQ^2}{9 b^2 R^2} - \frac{\mu_0^2 Q^2}{3 \rho g G} \frac{2\Gamma}{b^2 R^2}} \quad \text{----- (8)}$$

として水面形を求めることができる。

現在、 G が測定できていないので、(8) 式を用いて、水面形を求めることはできないが、たが、図・1 の実験値を用いて(7) 式の各項の値を求め、逆に G を求めた。その結果を表・1 に示す。 G は必ずしも一定値を示していないが、粘性係数 μ_0 の測定値の精度がどうか、上へのべた考え方が十分成立するのではないかと考えられる。この研究を示唆された京大防災研究所土屋助教授、および実験に協力いただいた、防災研究所砂防研究室の方々にお礼申し上げます。

表・1 剛性率 G の計算値

距離 m	(1) $-i + \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 10^{-2}$	(2) $\frac{Q^2 \mu_0^2}{9 b^2 R^2} \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 10^{-2}$	(3) $\frac{Q^2}{C^2 b^2 R^2} \times 10^{-2}$	(4) (1) + (2) - (3)	(5) $G \times (\text{偏差項}) \times 10^{-10}$	(6) $G \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 10^{-8}$
2	-0.280	-0.002	0.001	-0.280	0.845	3.01
3	-0.430	-0.002	0.001	-0.432	1.38	3.19
4	-0.530	-0.003	0.001	-0.533	1.43	2.68
5	-0.530	-0.005	0.001	-0.533	2.93	5.50
6	-0.730	-0.008	0.002	-0.736	9.17	12.5
7	-0.980	-0.012	0.003	-0.989	17.4	17.6
8	-0.980	-0.023	0.006	-0.997	28.4	28.5
9	-1.130	-0.042	0.015	-1.157	75.0	64.8
10	-1.130	-0.099	0.080	-1.139	99.3	87.2