

泥水が掃流におよぼす影響について

京都大学防災研究所 正員 矢野勝正
大阪府立工専 正員 ○大同淳之

この報告は、多量の粘土を含む流体が砂礫の掃流におよぼす影響について概説し、大凡の傾向を知るために行なつた掃流実験の結果について述べたものである。

泥水が掃流におよぼす影響を列挙するとつぎのようである。

1. 流れの密度の増加による外力の増大,
2. 砂礫の液中重量の減少,
3. 泥水に起因する境界面付近の流速の変化,
4. 砂礫が流動層より上の非流動層に突出するときの掃流量の増大,
5. せん断降伏値の寄与による砂礫の液中保持力の発生,
6. 抵抗係数 C_D の変化による抗力の増加,
7. 泥水中の乱れの規模の変化,
8. 揚力係数 C_L の変化による揚力の変動,

このうち 1 および 2 はおとられるもので、3 は流れの範囲ときめると決定できる。4 は地すべりにひきつづいて起る泥流のような高濃度、あるいは流れのせん断力が泥水の降伏値に対して小さいとき以外は考慮する必要はない。5 は泥水のもつせん断降伏値によって、密度差のある固体粒子を流体中に保持する能力という。例えば静止した泥水の上に鋼製の円柱体とをのせるといくらが沈降して静止する。この状態において荷重から浮力と差引いた残りとその時の浸水深の関係を求めたのが図 1 である。これだけの力が作用しているのに物が沈まず物体は沈まない。円柱面に依らくせん断応力のみによって支持されているとすると、その大きさを求めると、従来から求めてきたこの流体のせん断降伏値と一致する。この力は水中で粘土粒子が作るフロッフの容積濃度 ϕ_f が、50% 以上になると、きわめて顕著になる。フロッフの容積濃度は(土粒子結合の強さを示す係数 G_s と土粒子の実質容積濃度 ϕ_s) の積で表され、粘土実質濃度が 52% / G_s に達すると流体中はフロッフ粒子でみだされる。 G_s の値はいろいろの測定では 2.1 ~ 8.5 であった。¹⁾ そうして流体のせん断降伏値はこのフロッフ間の構造粘性およびその結合と破壊に要する力であると考えられる。流体が流動するとき粒子の慣性が依らくから液中の保持力は期待できないが、フロッフはそのまま存続するので、乱れの抑制に依くであらう。

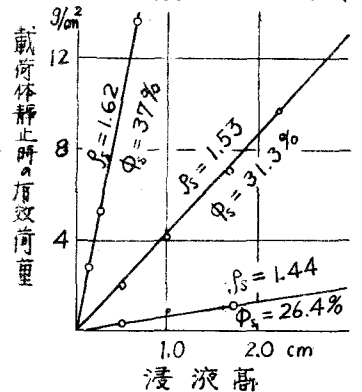


図 1

さて上の 4, 5 を考慮しなくてもより泥流における掃流現象は、清澄な流れでの機構と全く同じであらう。清澄な流れにおける掃流量の取扱いの 1 つは乱れによる揚圧力に着目し、1 つは流れ方向の抵抗力を主に考えている。いずれにしても、掃流量は床面上の砂礫の濃度とその移動速度の積で与えられる。掃流におよぼす泥水の影響を算定するためには、前者においては乱れの規模と揚力係数の変化を導入すればよい。後者の移動速度には、抗

力係数の変化と求めることによって説明できるであろう。

泥水中の礫の受ける抵抗係数 C_D は、境界面に沿く力の単位時間あたりの仕事量の相似の条件でみらびかれた定義の Reynolds 数 $Re_* = (u_* d / \nu_0) / \{1 + (\pi d / M_0 u) I\}$ と用いると、ニュートン流体の C_D と Re の関係がそのまま使えるので一応算定可能である。ここに d : 粒径, u : 流速, ν_0 : 泥水の塑性粘度, π : 泥水のせん断降伏値, I : 上記の条件とみたすよう実験的に決められている。この Re_* を用いて限界摩擦速度と粒径で作られる Reynolds 数 $u_* d / \nu$ と, $(u_* d / \nu) \cdot \{\alpha' / [1 + \{(1/\alpha') - 1\} I]\}^{1/2}$ とおき直すと, 泥水中の砂礫の限界掃流力は一応関係づけることができた²⁾。ここに $\alpha' = \{1 - (\pi/\tau_0)\}$, τ_0 は境界に沿くせん断力である。

つぎに、揚力係数と乱れの変化を知る必要がある。両者はいずれも実験によってその変化を求める以外にない。著者らもこの測定を行うべく準備中であるがまだ測定値を得ていない。

しかたして解析的に泥水の影響を算定していくことはいまのところできないので、泥水による掃流実験を行な、その傾向を求めらる。

ここに行った実験は、平均粒径 0.813 mm の砂の上に泥水と流して掃流量を測定したもので、粘土の実質容積濃度は 0 から 16.7% ($\phi_F = 34.7\%$)

最高濃度の泥水の単位体積重量は 1.28 g/cm^3 の範囲である。この泥水の塑性粘度 M_0 は、 $M_0 = M_0 \{1 + 3 / (1/\phi_F - 1/0.52)\}$, ここに M_0 は水の粘度、で表わされ、せん断降伏値は図 2 に示す大きさをもつ。

図 3 に、Einstein の提案した掃流砂輸送の強度 Φ と流れの強度 $1/\psi$ の関係に整理した実験結果を示す。左の分母は沈降速度, $1/\psi$ の分子は礫の受ける抗力と代表する項で、いずれも抵抗係数が関係する。上に示したように抵抗係数には、 $\alpha' (= 1 - \pi/\tau_0)$ が関係するから、要、 $1/\psi$ の分子にはいずれも α' の影響が加味されなくてはならないが

とりあえず流体と砂礫の密度差が考慮されたこれらの関係量で、どの程度整理しうるかみかそのである。

図 3 からつぎのことが示される。(1) ちらばりの度合は α' の値に比例し、 α' が 1 に近いとき清澄な流れの結果に一致し、 α' が少くなるほど流砂量が大になる。(2) 既に記したデータは流れが層流の領域にあるもので、層流の限界は抵抗法則から定めながら、そこでは大規模な乱れはない。したがって砂礫の移動は流れ方向の抵抗によってのみ行なわれていると考えられる。乱れのある領域とない領域の結果がそれほど異なっていないのは、粒径が大きく乱れに比例しないともみられる。これらについては更に検討したい。

参考文献 1) 大同、土砂と多量に含む流体の粘度と降伏値、土砂管回面資料選集 第 42
2) 大同、流砂中にあつた礫の移動限界に関する実験的研究、京大防災研年報 1961

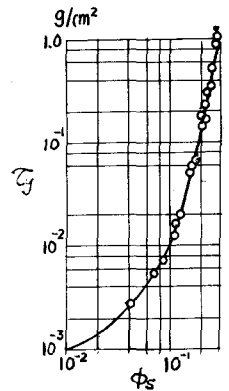


図 2 この実験に用いた泥水の降伏値と粘土濃度の関係

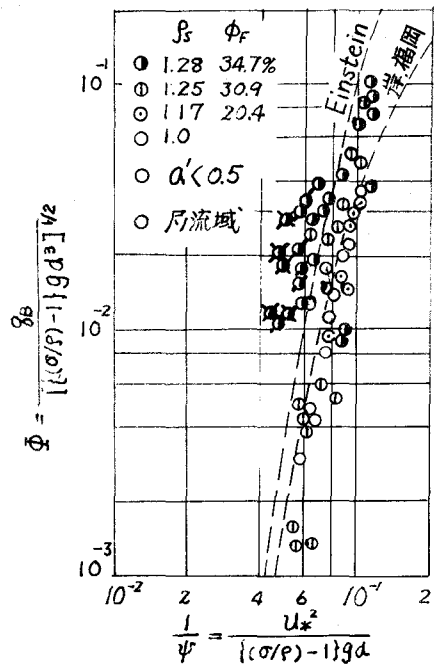


図 3 泥水の掃流量の測定結果