

II-23 土砂による濁流の≡の特性について

神戸大学 正員 松梨順三郎

要旨 一般に固体微粒子は流体中で懸濁状態を呈するが、このような固体微粒子と流体との混合体は、従来泥漿(*Slurry*)と呼ばれ、主として化学工学の分野で取り扱われてきた。すなわち触媒としての固体を、粉末にして反応させようというわけである。したがってその混合体の流動の力学的機構についてはまだあまりよくわかっていないようである。ここでは固体微粒子として土砂及び粘土を対象とし、上述の化学的立場をはなれて、純力学的にこの問題を取り扱い、土砂と水の混合体すなわち濁流について、若干の考察結果を得たので、その大要を述べることにする。

§1 概要 われわれが河川の流れ特に洪水流を研究の対象とする場合、その流れは一般に清水の流れではなくて、土砂による濁流である。この濁流の特性について、まづ常識的にわがっている事項について述べよう。ある断面内の流速及び濃度は一様ではなく、ともにある分布をもっている。例えば「開水路のある鉛直線上の流速分布及び濃度分布は、それぞれ前者は鉛直上方に向いたほう物線型であり、後者は鉛直水平両軸を漸近線とする双曲線型である。一方円管内の流れにおいては、前者は管軸を軸とするほう物線型であり、後者は開水路の場合と類似しているが管の頂部において濃度が減少する」とが知られている。以上のことからわかるように、われわれが直接対象とする濁流は一般に濃度分布をもっている。そしてこの濃度分布の特性は一般に水路の境界特性、流れの平均流速の大きさ、固体粒子の粒度及びその分布特性、粒子の形状などに支配されるものと思われる。しかる流れの関数である河床の形状によっても大きく影響されるものと考えられる。したがってこのような流れは非常に複雑であるために、あまり研究が進んでいないようである。著者はここ数年來流れによる移動床の変形の問題を取りあげ、濃度分布の存在を無視して、水と河床物質を二つの互に混合しない異種の流体とし、これらの流体の境界面における現象として、この問題を取り扱ってかなりの成果を得たわけであるが、これらの成果は上述の假定から明らかであるように、砂粒子が比較的大きくて濃度分布の存在による影響を無視しうる場合は有効であるが、砂粒子の小きい場合は十分に現象を説明することかできない。したがってこのような場合の移動床の変形については当然濃度分布の流れに及ぼす特性について十分な知識をもつことが必要である。一方表大甲河川のように急勾配で、その流域に莫大な掃流土砂源をもつ場合は、集中豪雨の特性によつては、土砂の含有濃度が非常に大きく、したがってその鉛直方向の濃度分布は一様と考えられるような濁流の発生が予想される。このような流れは従来土石流などと呼ばれ、砂防工学の分野では近時かなり重要視されてきた。以上に至ると土木工学の立場から、著者の興味とする問題と固体粒子による混合流体との関連について述べねばならぬのであるが、つぎにこの混合流体に關する従来の工学的取り扱いについて述べよう。

従来、混合流体の濃度分布の特性に対して最も直接的である要素は固体微粒子の粒度であるとされている。そして固体が20~50ミクロンなどの細い粒子の場合には、流体との混合流体

はコロイド状を呈するが、これらの微粒子を包め、粒度が0.2mm程度までの粒子は液中で懸濁状態となっており、ある程度以上の流速をあてられると、固体は液体と分離することなく混合液全体はほぼ均一な物質となり濃度一定になるとされ、一般に泥漿として、その流動特性は非ニュートン流体の特性をもつものとされている。一方粒度が0.2~2mm程度の粒子になると、流れの乱流拡散によつて粒子は懸濁されやすくなるが、濃度の不均一性は無視しえないとされている。

ニニでは濁流の水理学的特性に関する研究の第一段階として、泥漿として取り扱うことの可能な混合体、すなわち $d_{50}=50$ ミクロン程度の固体微粒子と水との混合体を取りあげ、管内流れの実験資料によつて、この流体の非ニュートン流体としての特性を明らかにすることにする。

§2 理論的考察 土砂による濁流は、その土砂の粒度及び含有濃度の大きさによつては、ある種の非ニュートン流体としての特性をもつものと期待される。したがつて一般的にその濃度の大きさによつては、粘性流動及び塑性流動が考えられるわけであるが、弾性をもちようになるとは考えられない。したがつてこの流体は塑非弾性、ビンガム、粘非弾性、ニュートン流体などのいずれか一つまたは二つの流動特性をあわせもつものと考えられる。但々の流動特性をもつ場合の管内流れの片流については、すでに多くの人達によつて、その理論的解が得られているので、ニニでは、実験に供される土砂の濁流がどのような非ニュートンの特性をもつか未知であるとして、その片流の流動特性を一般的に表して、

$$(\tau - \tau_y)^n = -\mu \frac{du}{dr} \quad (1)$$

とする。ニニに r は円管の半径方向に測られた距離を表わし、 τ 及び u はそれぞれ $r=r$ における流れ方向のせん断応力及び流速を表わし、 μ 及び τ_y はこの流体の粘性係数及び降伏値であり、 n はこの流体に特有な指数である。この場合の流速分布は、

$$u = \frac{r_w \tau_w^n}{\mu(n+1)} \left\{ (1-a)^{n+1} - (R-a)^{n+1} \right\} = \frac{r_w \tau_y^n}{\mu} \left\{ \frac{(1-a)^{n+1} - (R-a)^{n+1}}{Q^n(n+1)} \right\} \quad (2)$$

となる。ただし、 $\tau_w = (r_w/2)(\Delta P/\Delta l)$ 、 $\tau_y = (r_y/2)(\Delta P/\Delta l)$ 、 $r_y/r_w = \tau_y/\tau_w = a$ 、 $r/r_w = R$ および $[u]_{r=r_w} = 0$ とする。ニニに r_w は管の半径であり、 r_y 、 τ_w はそれぞれ $\tau_y = [\tau]_{r=r_y}$ 、 $\tau_w = [\tau]_{r=r_w}$ によつて定義され、 ΔP は管の微小長さ Δl 間の圧力損失を表わす。つぎに流量 Q は、

$$Q = \frac{\pi r_w^3 \tau_w^n}{\mu(n+1)} (1-a)^{n+1} \left\{ 1 - \frac{2(1-a)}{n+2} + \frac{2(1-a)^2}{(n+2)(n+3)} \right\} \quad (3)$$

または、

$$\log Q = n \log \frac{\Delta h}{\Delta l} + \log k, \quad k = \left(\frac{\rho g r_w}{2} \right)^n \frac{\pi r_w^3 (1-a)^{n+1}}{\mu(n+1)} \left\{ 1 - \frac{2(1-a)}{n+2} + \frac{2(1-a)^2}{(n+2)(n+3)} \right\} \quad (4)$$

となる。したがつて(4)の第一式から Q 、 $\Delta h/\Delta l$ を実験的に測定することによつて n 及び k が得られる。さらに(4)の第二式によれば、 μ を粘度計で測定することによつて a を見積ることが出来る。以上によつて片流状態にある管内流れの流量と損失水頭及びその流体の粘性係数を測定すれば、その流体の流動特性は一意的に決定しうるわけである。

実験値による解析については講演時に発表することにする。