

1 はしがき 急こう配の砂れき河上に水流が生じると、砂れきと水の混合物の流れが生じ、流れの厚さは、こう配、砂れきのまきつ角および砂面上の水深で規定されるが、砂れき径の数倍から、与えられた砂屑の厚み全体に及ぶこともある。この流れで、砂れきが混合粒径からなるときは、流動層内の砂れきのうち粗粒のものは表層に、細粒は下層に移動し、わずかの距離の流動によって、流動層内の粒径が完全に分離する。表層ほど流速が早いので、限られた時間内では粗粒子ほど移動距離が大きいことになる。この現象は急こう配の自然河道で見られる現象とも一致する。本報文は、これについての実験結果を示すとともに、若干の考察を加えたものである。

2. ふるい分け現象の実験

実験は、幅8cm,長さ7.5mの水路に、直径が21.5mm, 14.3mmおよび7.2mmである砂および砂れきのうち、大小2種のものと重量で1:1,あるいは1:2の割合に混合して、25cmの深さに充填し、上流から水と流して流動を起し、流動に伴って生ずる粒径のふるい分けを観察した。与えた流量は、いずれも砂屑の表面に1cm程度の水深が生ずる程度で、水路のこう配は16°~20°である。

写真1は、こう配が20°で、粒径として21.5mmと7.2mmの砂を用いた1例で、流れの先端が下流に到達直後に水を止め、砂を停止せしめたもの、写真2は、粒径に14.3mmと7.2mmを用いたもので、ほぼ篩分けが終り、流動中のものである。これらの現象において、粒径が極端に違うときは、大小の粒径間運動機構がちがうことも考えられるから、実験および考察は、粒径が違って運動機構に違いのない範囲に粒径の違いを限定することにした。

図1は、流動中の粗粒が次第に表層に移動する軌跡の測定結果を、縦軸に粗粒の位置を流動深さで割って表わし、横軸にそれぞれの時刻とその粒子の速度の逆数で割って表示したものである。図に示される測定値のこう配が同じ実験ではほぼ等しいことから、極のラムダとみられるにもかかわらず、そこにある関係が存在することと示している。

図2は、流動層内の流速分布を示したもので、粒径に問わず追跡できるものとみとったもので、粒径に関係なく同じ流速分布に支配されているとみなされる。この流速分布を、 $U/U_* = \alpha (y/d)^\beta$ 、ここに



写真1 流れによるふるい分けの1例。こう配20° 粒径21.5mm および7.2mm 通水時間30sec

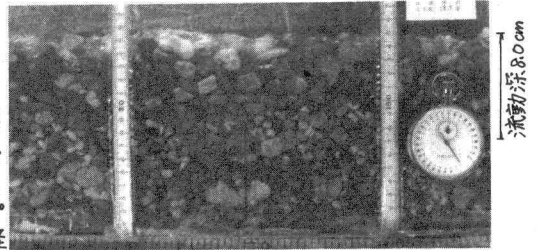


写真2 流れによるふるい分けの例。こう配19.5° 粒径14.3mm および7.2mm

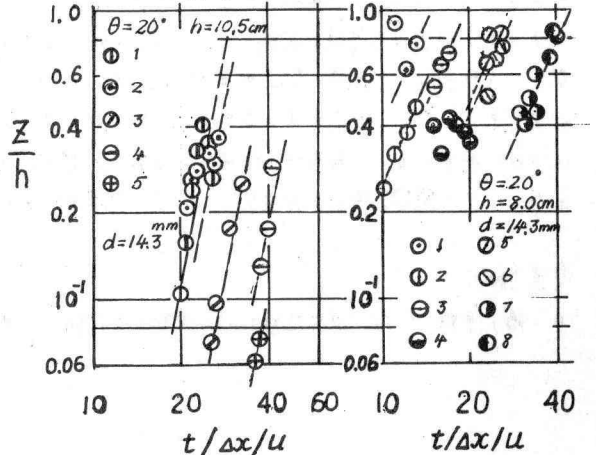


図1 粗れきの上層への移動状況

まさつ速度 U_* に用いる流動深 y は水流のみの部分を含めた深さ、 y は流動の境界面の高さ、 d は粗粒の直径、 β の値は、さきに著者の示した1.5乗には近い。

図3は、粗粒の動きから観察されるれきの回転角速度を示したもので、表層に移るほど早くなるが、この角速度とさきの流動速度と比較するとき、れきの運動はすべて主として、衝害物にあたったときに回転を伴う運動であると考えられる。

3. れきのふるい分けの機構

このれきのふるい分けに作用する力について考察する。速度差のある二層の粒子を考えたとき、速度差から上層の粒子は下層の粒子に衝突する。図4のように粒子が配列して上下間の速度差を δU 、単位面積に存在する粒子の数 $\epsilon = 1/b^2 d^2$ とすると、単位時間あたりに粒子が1つ突する回数は、 $(1/b^2 d^2) \{f(c) \delta U / s\}$ 、に比例すると考えられる。ここに C は容積率で $f(c)$ は未知である。

この流れにおける粒子の充填は、粒子の移動にすべりによる部分となり占めることから、密に充填された状態ではないがほぼ粗充填に近く、しかも底層ほど密であろうと考えられる。粒子が衝突したとき、流動の境界面では下側の粒子は支えられてその位置を変えず、上側の粒子が下側の粒子をのりこえる。境界面が離れるにしたがって、粒子の自由度が増し、粒子が衝突したとき、一方の粒子が上方に動くとは限らないが、れきの充填が下方ほど密であるため、統計的に支えられている場合が多く、結果として上方に動くケースが多いと考えられる。さて、一つのれきが一回の衝突で生ずる上向き力は、図5より、運動量の関係から、つぎのように表わせる。

$$\int_0^t P_y dt = m (U_2 - U_1 \sin \beta) \quad (1)$$

外力のモーメントおよび障害の高さ h とのりこえるためのエネルギーの関係より

$$\omega_1 = 2g \{r \sin \theta \sqrt{r^2 - (r-h)^2} - \cos \theta (r-h)\} / \{r(r-h) + r^2\} \quad (2)$$

ここに r は断面半径である。したがって上向き力は、

$$\int_0^t P_y dt = m (r \omega_2 - r \omega_1 \sin \beta), \quad \omega_2 = \omega_1 \{r(r-h) + r^2\} / (r^2 + r^2) \quad (3)$$

となる。衝突前の速度 U_1 は粒径に無関係に等しいという条件での、単位質量あたりの運動量 $(\int P_y dt / m)$ と r で微分した結果は正で、 r が大きいほど大きな力を生ずることを示し、大きい粒径ほど大きい上向き力を生ずるとすることができ、単位時間あたりの上向き力はつぎのように表される。

$$P = (1/b^2 d^2) (f(c) \delta U / s) m (r \omega_2 - r \omega_1 \sin \beta) \quad (4)$$

一方、境界面から Z の位置においては上層から平均値が $(h-Z) \bar{c} (\omega - \beta) g \cos \theta$ である分布をもったれきの重みが作用しているので、この力よりも P が上廻ったときのみ粒子は上方に動きうると考えられる。この考え方の正否は、さらに測定の結果と得て考察と加えるつもりである。

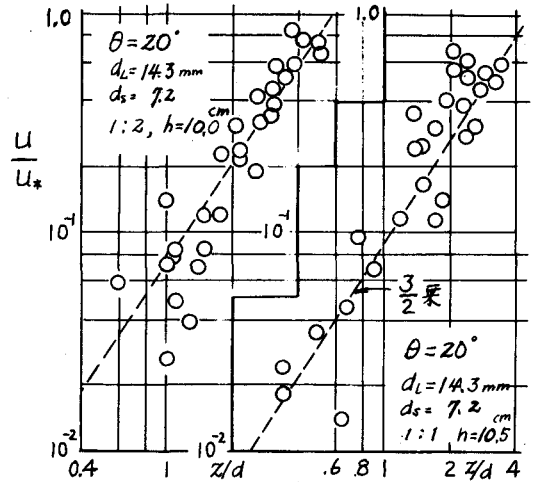


図2 砂れきの流速分布

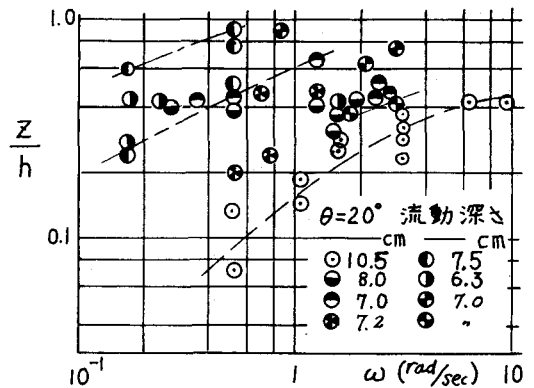


図3 流動中の砂れきの回転角速度の1例

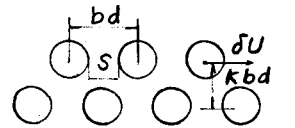


図4 砂れきの配列のモデル

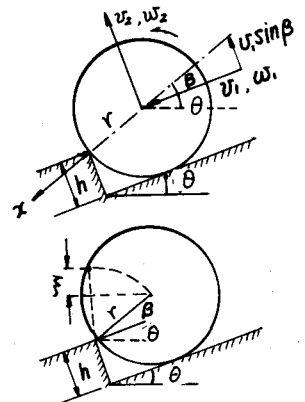


図5 れきの衝突における記号