$$\left.\begin{array}{ll}\dfrac{1}{\beta}=0.647-0.303\log_{10}d_m & 0.1<d_m<2\\ \dfrac{1}{\beta}=0.574-0.056\log_{10}d_m & 2<d_m<13\\ \dfrac{1}{\beta}=0.299+0.193\ \mathrm{iog}_{10}d_m & 13<d_m<80\end{array}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

d_m: mm—unit

2）限界掃流力について

砂礫層上を水が流動している場合砂礫層に加えられる剪断力（平均量）は粗な面としての流体抵抗として求められるが，砂礫の移動は砂粒に加えられる局部的流体抵抗を考える方が都合が良い。

局部的流体抵抗を考えるに当り砂礫群の中でどの粒径のものを取るべきか問題であるが，第1段階として平均径を取つて考える，今河床上の流速を v とすると砂粒に加えられる力は次の式で示される。

$$F=K\cdot C\cdot A\cdot\frac{\rho v^2}{2}\quad\cdots\cdots(2)$$

C：抵抗係数，ρ：水の密度，A：平均径に相当する砂粒の流水の方向の断面積，K：砂礫群の混合による補正項で著者が溢流堰堤下流部の洗掘についての実験観測において砂礫の移動は少なくとも最大径によつて左右せられることが見られ，それらのことから K は β^2（最大径の断面積を考え）に比例するものと推定せられる。

次に水中砂の摩擦係数を f, C が静水中を平均径に相当する砂粒が沈降する時の抵抗係数と相似であると仮定すると砂粒の移動の限界について次の関係が得られる，但し v_f は砂粒の沈降速度。

$$F\left(\frac{v}{v_f},\ \frac{f}{\beta^2}\right)=0\quad\cdots\cdots(3)$$

v は摩擦速度と関係づけられるから次の式で示され

$$F\left(\frac{v_*}{v_f},\ \frac{f}{\beta^2}\right)=0\quad\cdots\cdots(4)$$

限界掃流力は容易に得られるものである。著者は在来発表せられている資料をもとにして，v_f は Krey の公式，f は境氏の提案せる式を用いて（4）の関係を求め，かつ境，栗原公式と比較を行つたその結果は講演時に述べる。なお本研究は文部省科学研究費の補助を受けた。

文献
（1）「本邦に於けるコンクリート骨材の調査」日本ポルトランドセメント業会彙報。
（2）高田　昭「多摩川産砂利及び砂に関する調査」土木試験所報告9号
（3）藤井真透「骨材の最大密度の粒度について」土木試験所報告37号
（4）安芸皎一「河相論」
（5）境　隆雄「河床砂礫の性質と限界掃流力との関係に就いて」土木科学1—2，3
（6）栗原，椿「限界掃流力に就いて」九州大学流体工学研究所報告，4—3
（7）Kramer "Sand mixtures and sand movement in finial model" 1934 Pro. A. S. C. E
（8）Ippen "The motion of discrete particles along the bed of a turbulent stream" 1953 I. A. H. R.

(5—15) 限界掃流力に関する研究

正員　京都大学工学部　岩　垣　雄　一

限界掃流力に関する研究は古くから多くの研究者たちによつて行われて来たが，その大部分は実験的に限界流速あるいは限界の掃流力と砂粒の平均径との関係を見出し，実験公式を作ることが目的であつた。これに対して実験結果を乱れの概念を入れて説明しようと試みたのは C. W. White (1940) であつて，彼が乱れ係数 (turbulence factor) なる因子によつて乱れの効果を表現したことは，とくに注目すべきことである。その後栗原博士 (1948) は，粗度に関する Reynoids 数 $u_c{}^*d/\nu$（$u_c{}^*$：限界摩擦速度 $\sqrt{\tau_c/\rho}$，τ_c：限界掃流力，ρ：流体の密度，d：平均粒径，ν：動粘性係数）の値が約25附近で，乱れ係数が著しい極大を示すことを手掛りとし，乱流理論を巧みに応用して限界掃流の力学的機構を解明した。しかしこの栗原博士の理論はかなりむつかしく，理解しがたい点が少くない。著者はこのような理由から，栗原博士とは取扱い方を変え，つぎのような考え方によつて限界掃流力の解析を試みた。

1．white および栗原博士は砂粒が流体の剪断力をうけもつて平衡を保つと考えたが，著者は1つの球状砂粒

が，それに及ぼす流体抵抗および加速度による抵抗をうけもつて平衡を保つものとした。

2．栗原博士は乱れによる剛断力の増加分として，流れと直角水平方向の圧力変動および速度変動と，流れの方向の速度変動による力を考えたが，著者は流れの方向と鉛直方向の速度変動のみを取扱つた。

3．乱れの混合距離および最小渦の直径の概念を用いた。

4．層流底層を考慮し，流速分布として対数法則式を用いた。

以上の取扱い方による解析から，つぎのような結果が得られた。

(1) $u_c{}^{*2}/(s-1)gd$ と $u_c{}^{*}d/\nu$ の関係が求められた。ここに s：砂粒の密度と流体の密度の比（流体が水の場合は比重），g：重力加速度である。

(2) $u_c{}^{*}d/\nu=20$ 附近で $u_c{}^{*2}/(s-1)\,gd$ の値が極小となり，$u_c{}^{*}d/\nu>200$ では $u_c{}^{*2}/(s-1)\,gd$ はほぼ一定値をとる。

(3) $u_c{}^{*2}/(s-1)\,gd$ の値に極小があらわれるのは，時間的平均の流速による砂粒の流体抵抗の効果が支配的であつて，乱れによる影響は少ないためである。

なお限界掃流力に及ぼす自由表面の効果を調べるため，閉水路内の水流に対する限界掃流力の実験を行つた。これについては講演時に述べる。

最後にこの研究に対して終始御指導を賜つた石原教授ならびに実験に助力を頂いた末石富太郎君に感謝するとともに，文部省科学研究費による研究の一部であることを附記して謝意を表する。

(5—16) 掃流砂量理論式の誘導について

准員 京都大学工学部 三 池 亮 次

本文は，流水と掃流砂との間の量的相関を示すいわゆる掃流砂量公式を，水路床構成を考慮に入れて，理論的に誘導したものである。こゝでは均一な粒径 d を有する球状砂粒により構成された，平らなかつ緩勾配の平衡状態にある水路床上を，それと同じ粒径形状の流砂が，飛翔（skipping）の型式によつて流下する場合に限定した。上述の平衡状態とは，水路床面が洗掘ないしは堆積傾向にない，常に同じレベルを保つ状態のことであり，またこの場合はその限界流速があまりに小さいので，飛砂の場合のような跳躍現象はほとんど存在しないであろうと考えられる。

以上のように考えて，分子論的方法を用い積分的概念に基づいて energy 方程式より誘導した掃流砂量 G の理論式はつぎのようである。

$$\sqrt[3]{\frac{Gg}{u_{*b}(\tau_b-n_u\tau_c)}\left(\frac{\rho_s-\rho}{\rho_s}\right)^2\Big/\frac{\tau_b}{\rho gd}}=C^{1/3}\left(a-b\log\frac{k_s}{d}\right)$$

ここに，

$$C=2\frac{1}{r}\frac{k}{k^{12}}\frac{n_s{}^2}{(1+\beta)},\qquad r=R/m'gy,\qquad \log\frac{k_s}{d}=\log\frac{h}{d}-\frac{1}{5.75}\left(\frac{\bar{u}}{u_{*b}}-6.0\right)$$

上式において，ρ_s, ρ は砂粒及び流水の密度，$\tau_b=\rho ghi$ は底剪断力，τ_c は限界掃流力，$\bar{u}$ は平均流速，$\bar{u}_s$ は平均平衡流砂速度，i は勾配，k_s は粗度，m' は砂粒水中相当質量，g は重力加速度，R は衝突ごと流砂の失うエネルギー，a, b は常数であり，$u_{*b}=\sqrt{\tau_b/\rho}$, $n_u=u_c/u_b$, $n_s=\bar{u}/u_b$ であつてその他の記号は **図—1**，**図—2** に示す通りである。

上の理論式の誘導方法は，具体的に説明するとつぎのような考え方に基づいている。

1．すべての流砂速度は平衡状態にあるとし，統計平均的模型的状態を想定して，(1) 平均平衡流砂速度 $\bar{u}_s$ 及び衝突直前の流砂速度は常にそしてすべて等しい。(2) すべての流砂は，同じ飛翔様式をとつて流下していき，(3) 底砂は一様な平均間隙中 $\bar{\beta}d$ をもつて分布すると考える。

2．流砂の衝突ごとに失うエネルギーは $u_b\times\tau_b$ によつて表わされるが，流砂はこれを常に流水より補給されつつその運動を続けていくとする。

3．$r=R/m'gy$ として R を potential energy に関係ずける。

4．上底面流速 u_u が限界状態に保たれて常に u^c に等しいとする。

5．飛翔間に掃流砂のうける乱れの影響を無視する。