

II-8 断面急転部の砂堆の運動機構に関する研究

京都大学防災研究所 正員 工博 矢野勝正

" " " 芦田和男

" " " 宮井 宏

1. はし加き 湖水や海に流入する河川の河口処理、河川改修や河川構造物の築造などに伴う断面急転部の設計などを行なう場合、断面急転部の砂堆の運動機構を解明しておくことは重要であると思われる。水流の拡がり方は砂堆の形状を決定する非常に大きな要素であると考えられるので、ここではこれについての考察を中心にして、砂堆の挙動に関する若干の検討を行なった。

2. 理論的考察 水底に沿って下流方向にx軸をとってx方向の速度を無視し、急転部における水流のx方向に対する運動方程式を河床から水面まで積分し、平均操作を行ないその補正係数を1.0と仮定すれば、これは、

$$(1/g)(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}) = \sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h} + (1/\rho g)\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2} \quad (1)$$

となる。(1)式の $\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y^2}$ を *mixing length theory* を用い、かつ断面内において $l = \text{const.}$ と見なして表示すれば、

$$(1/g)(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}) = \sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h} + (2l^2/g)(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2})(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) \quad (2)$$

となる。 $\sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h} = 0$ の場合には、Tollmien 等の他によって2次元的に解析されている。これらの解析結果と実験値とによって拡散してゆく拡がり角度としてほぼ一定の値が得られている。しかし実際に急転部の水流の拡がり方を調べると、水理量や境界の条件に応じて、これよりほかにゆき場合や、急な場合などいろいろ生じる。したがって、こうした現象をとりあつかうには $\sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h} \neq 0$ の場合について考察を進めなければならぬが、この場合を厳密に論議するためには乱流の実測に基づいて、横方向の拡散係数についての検討を進めなければならぬ。いま、かりに、これが $\sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h} = 0$ の場合におけるものと変化しないとしても(2)式を解かなければ $\sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h}$ の影響を検討することができない。これは困難であるのでここではどのような無次元量が拡散の拡がりに対して影響をもつかを(2)式によって検討し実験結果を整理することにす。

u_0 を $x=0$ における流速、 l_0 を後流域の長さとし、 $u=u_0 u'$ 、 $v=u_0 v'$ 、 $x=l_0 x'$ 、 $y=l_0 y'$ 、 $l=l_0 l'$ とおいて(2)式を無次元量の方程式になおすと、

$$(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}) = P + (2l'^2)(\frac{\partial^2 u}{\partial y'^2})(\frac{\partial^2 u}{\partial y'^2}) \quad (3)$$

と書ける。ここに

$$P = (2l_0/u_0^2)(\sin\theta - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{c_0}{\rho g h}) \quad (4)$$

である。(4)式のPの大きさは、噴流の拡散に対する圧力こう配の影響を表わすものと考えられる。 $(\frac{\partial^2 u}{\partial y'^2})(\frac{\partial^2 u}{\partial y'^2}) > 0$ と考えられる領域では $P > 0$ の場合は、Pは見掛け上 l' を増加させる作用をなし、 $P < 0$ の場合には l' を減小させる作用をなす。すなわち前者では噴流の拡散を助長し、後者ではゆるやかにする。

るは横断方向に一様でないから、 F は x および y の関数と考えられるが、いま、一様速度の部分でこの値を求めると、

$$(1/\rho)u_{0x}(\partial u_{0x}/\partial x) = \sin\theta \cdot \partial h/\partial x - \tau_0/\rho g h \quad (5)$$

となる。ここに u_{0x} は x の点における一様速度の部分における流速である。これを用いて(4)式を書き表わせば、 $F = (\rho u_{0x})(\partial u_{0x}/\partial x)/u_0$ となる。いまこの式と同様な意味をもつ無次元量として便宜上、 $F_1 = (u_1 - u_0)/u_0$ を用いる。

ここに、 u_1 は後流域末端における流速である。減速流にありては $F_1 < 0$ であり $F_1 = 0$ の場合に比べ、噴流の拡散はゆるくなり、加速流にありては $F_1 > 0$ であり噴流の拡散は急になるものと考えられ、その程度は無次元量 F_1 によって表示される。 F_1 を便宜上水深を用いて表わせば $F_1 = (h_0 - h_1)/h_1$ となる。また、後流域の拡がりの程度を示す無次元量として、 $\Delta b/\rho_{0,short}$ を用いた。ここに $\Delta b = (b_1 - b_0)/2$ である。

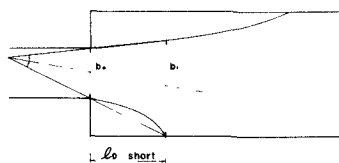


Fig. 1 Definition sketch

3. 実験結果 狭部巾0.4m、拡大部巾1mの水路を用いて固定床および移動床の場合について実験を行なった。固定床の場合には、堰を下げれば流は狭部-急拡部-下流部になり、常流-射流-常流となり堰を上げると常流-常流-常流となる。このような水面形の変化につれて後流域の形状も変化するか急拡部の水深が限界水深に比べて小さい場合は後流域は非常に小さく対称に近い形であるが、急拡部の流水が射流から常流へ移り変わるあたりで急激に長大になり、その非対称性はますますなる。この非対称な後流域の形は、外力の影響を受けたことかたければ時間的には変化せず、かなり安定した状態であると思われる。流を逆の非対称形に変えるには、急拡部に板を置きそれに沿わせて流水の方向を変えるか、流水のかたよっている側の後流域中に水を注入してやればよい。

以上のような固定床での実験結果を2.で述べた方法に

より整理したものが図-2であるが、図中の点 A_0, B_0 は、それぞれ、後流域の最短($l_{p,mean} = 0.5m$)のものと、最長でしかも非対称性の最もはなはだしいもの($l_{0, long} = 9.0m$, $l_{0, short} = 2.1m$)に対応する。さて、次にこの点 A_0, B_0 を表わされる流れに対して給砂を行なった。その結果、点 A_0 は給砂後9時間15分で点 A_1 に移動し、点 B_0 は3時間40分で B_1 に、さらに2時間10分後に B_2 に移動した。その結果 A_1 の後流域は $l_{p,mean} = 0.78m$ 、 B_1, B_2 は共に $l_{p,mean} = 0.85m$ となり、 A_0 と B_0 は大体同じような状態に近づいていった。

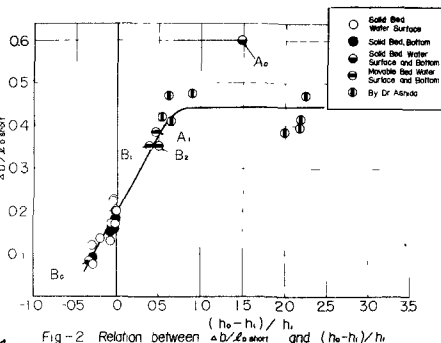


Fig. 2 Relation between $(h_0 - h_1)/h_1$ and $(h_0 - h_1)/h_1$

次に急拡部の横断方向の水面形に注目すると、固定床の場合には、長い後流域中の水位の方が短い後流域中の水位より必ず高くなるが、移動床の場合は、ほとんど対称形になっていすにもかかわらず、少し高低がある場合もあり、またほとんど同じ高さになっていす場合もあるので、この左右の水位差と非対称性との関係の解明は、今後に残された問題の一つである。しかし急拡部における水流の拡散の程度は F_1 によりかなりよく表示しうる。