

北海道大学工学部 正員 ○ 板倉 忠興
北海道大学工学部 正員 岸 力
北海道開発局 正員 柳屋 圭吾

緒言 著者は第35回年次講演会において¹⁾、砂堆河床上の乱れの実測結果に基づいた鉛直方向流速の変動成分の流れ方向の位置的分布を考慮した浮遊砂捲上げのモデルを提案した。その後の計測の結果によれば²⁾、河床波上の bursting は3次元性を有し、浮遊砂の捲上げには横断方向の分布をも考慮する必要のあることが確認された。

本文ではこのことを取り入れた浮遊砂捲上げのモデルを構築し、主として実際の河川における実測結果との比較を行っている。

1. 河床波上の bursting の模式化

砂堆上の流れの可視化実験の結果から次のような bursting のモデルを考える。砂堆 crest の直下流には射離域が形成され、再付着点付近にはよどんだ低速流体塊が存在する。また、一般に砂堆は3次元の形状を呈して居り、ここでは簡単のため図-1のように横断方向に対し角度 θ で折れ曲った状態で低速流体が存在すると考える。一方、crest 付近では急激な速度勾配のために横断方向に軸をもつ渦管が形成され、この渦管が射離域の外縁に沿って流下、再付着点に到達して低速流体を捲上げる。この渦管は半径 r_0 、長さ $2L$ で循環 Γ を持つ直管とする。

いま、図-1のようにこの渦管が丁度再付着点に到達した場合を考えると、低速流体の中心($x=0, z=0$)においてこの渦管のために誘起される周速度 V_0 は(1)式で表される。

$$V_0 = \frac{\Gamma}{4\pi r_0} \left\{ -\cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(-\frac{L}{r_0} \right) \right] + \cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{L}{r_0} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

また、低速流体のその他の点(x, z)における周速度 V_z は

$$V_z = \frac{\Gamma}{4\pi r} \left\{ -\cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(-\frac{L-z}{r} \right) \right] + \cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{L+z}{r} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

(1)式と(2)式との比を V'_z とすれば

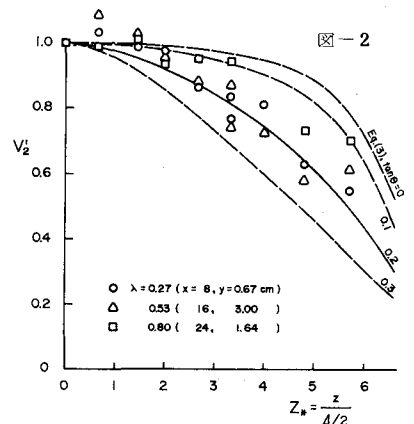
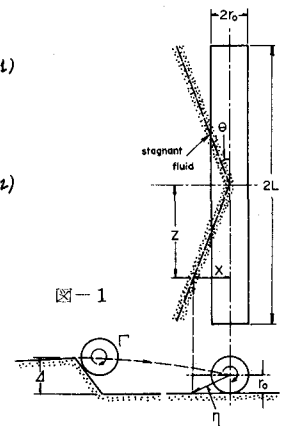
$$V'_z(z) = \beta \frac{G_1[\rho(r-z)] + G_2[\rho(r+z)]}{G_1(r) + G_2(r)} \quad (3)$$

ここに、 $G_1(z) = -\cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(-z) \right]$, $G_2(z) = \cos \left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}z \right]$

$$\beta = 1 / \sqrt{1 + (z_0 \tan \theta)^2}, \quad r = \frac{L}{r_0}, \quad z_0 = \frac{z}{r_0}$$

(3)式のように鉛直速度の横断分布は r, θ をパラメータとして z_0 の関数で表される。ここで前報^{1), 2)}の実測結果に対する(3)式の適用を行う。渦管の直径は河床波の波高に比例すると考え $r_0 = \Delta/2$ 。河床波は今回実測を行った形状を以下の単位としてこれが横断方向に繰返し配列していると仮定して $r = 3.3\Delta / (\Delta/2) = 6.67$ とすれば図-2を得る。

図-2中の楕点は実測値でありこの結果から $\tan \theta = 0.2$ を採用することとする。これは測定を行った河床波の実際の形状とも良く符合する。図-3は黒木ら³⁾が人工的なウロツ状の河床上で得た V' の実測結果であり、本モデルの河床波とは若干性格を異にするが、上述のように砂堆の単位が横断方向に配列している様子が良く確認できる。



2. 河床波上の浮遊砂量

前報¹⁾では河床波上で流下方向の距離($\lambda = x/l$, l : 河床波の波長)に関する v' の分布から見かけ上の粒子摩擦速度 u_*' を定義して浮遊砂量の算定を行ったが、ここではさらに前述の横断方向の分布を取り入れ(4)式を定義する。

$$u_*'(\lambda, z_0) = v'_1(\lambda) \cdot v'_2(z_0) \cdot u_* \quad (4)$$

ここに、

$$v'_1(\lambda) = 1 + 0.78 \exp\left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \frac{1-\lambda_0}{1-\lambda}\right), \quad \lambda_0 = 0.3$$

浮遊砂量 q_b は以下前報と同様に

$$q_b = \int_{-0.67}^{0.67} \int_{0.2}^1 \int_0^h p(d) \cdot C(d, \lambda, y, z_0) \cdot u_*'(\lambda) \cdot d \cdot dy \cdot d\lambda \cdot dz_0 \quad (5)$$

$$\frac{u(\eta)}{u_*} = Ar + \frac{1}{K} \left(\ln \frac{y}{k_s} + \phi_s \frac{y}{k_s} \right), \quad K = 0.4, \quad Ar = 8.5 \quad (6)$$

$$\frac{C(\eta)}{C_b(\lambda, z_0)} = \left[\left(\frac{k - y}{k - b} \right)^{1+\phi_s} \frac{b}{h} \right]^5, \quad \phi_s = \frac{u_0}{K u_*}, \quad b = 0.05h \quad (7)$$

前報では Einstein の方式に倣ひ、(6)式、(7)式の u_* に u_*' を適用して計算を行ったが、この場合妥当性を欠くと考えられることから以下上記のよう計算を行うこととした。

3. 結果の検討

計算の結果は主として実際河川における実測資料^{4), 5), 6), 7)}との同じ比較を行い図-4, 5, 6に示した。実測値は河床形態が "dune" と明示された資料を引用した。河

床波の波長波高比 λ はかなりな範囲であり実際の v' の分布は必ずしも(3), (4)式と同一とは思われないが計算値との間には良い一致が認められる。尚、粒径分布に対する適用方法は図-7の通りであり図中の○印を代表粒径とした。また、浮遊限界粒径 d_c は基準点濃度式⁸⁾で $C_b = 0$ とする粒径とした。

本研究には文部省科学研究費(一般C)の援助を受けた。

参考文献: 1) 枝倉・森・岸, 第35回年講, II-162, 1980。

2) 佐々木・枝倉・岸, 第34回年講, 1981。3) 黒木・岸, 論文報告集, 1981.9。4) Guy-Simons-Richardson, USGS Professional Paper No. 462-1, 1966。5) McQuivey, USGS Professional Paper No. 802-B, 1973。6) Culbertson-Scott-Bennet, USGS Professional Paper No. 562-J, 1972。7) 建設省土研, 建設省流砂観測資料集, 土研研究所資料, No. 625, 1971。8) 枝倉・岸, 第33回年講, II-298, 1978。

