

浮流砂を考慮した砂河床の不安定解析(2)

佐賀大学 正 渡辺 訓甫 学○鶴田 芳昭

佐賀大学 正 大串 浩一郎 学 古賀 勝利

1. はじめに: 前報¹⁾において著者らは、線形安定理論を用いて浮流砂が河床の安定性に及ぼす影響について調べたが、安定・不安定の範囲が水深・砂粒径比 h/d によっても変化するため砂粒子の浮遊の影響を十分に考慮できなかった。また、Flat-bed と Anti-dune の境界についても実験結果をうまく説明できないなど検討すべき点が残されていた。本文は、前報における基礎式を若干修正して再び浮遊砂の効果について検討し、多くの実験結果と比較したものである。

2. 河床変動の基礎式: Sand-wave上の掃流砂は非平衡状態にあると考え、掃流・浮遊境界高さ($y=a_*$)において掃流層からの浮遊化flux、及び浮流層からの掃流化fluxを考慮し、掃流砂の式を次式のように表わす。

$$\frac{\lambda_{ad}}{A_*} \cdot \frac{\partial \Phi_B}{\partial x} = P - \frac{\Phi_B}{A_*} (1-P) + \bar{C}_B \cdot W_o \cdot [\phi(\sigma) - F(\sigma)] \left[\frac{C_*}{\bar{C}_B} - 1 \right] \quad (1)$$

ここに、 $\Phi_B = q_B / \sqrt{sgd^3}$ 、 $\lambda_{ad} = 100$ 、 $A_* \approx 0.1$ 、 P : 砂粒の移動確率、 $\sigma = W_o/U_*$ の関数である。なお $\bar{C}_B = q_B/K \cdot U_* (1 - U_{*c}/U_*) a_*$ 、 $K = 8.5$ と表わし、浮流層から掃流層への沈降は一波長間で平均化されているものとする。右辺第三項が浮流砂の効果を表わし、 W_o/U_* が大きくなるとその値は急速に0に近づく。次に、勾配 S_o なる平均河床から測った河床高 z は、河床に落着く砂の量と河床から飛びだす砂の量に規定されるから

$$\partial z / \partial t + 1/(1-\varepsilon) \cdot A_* / \lambda_{ad} \cdot [P - (1-P) \Phi_B / A_*] \cdot \sqrt{sgd^3} = 0 \quad (2)$$

流れの連続の式、運動方程式は

$$\partial h / \partial t + \partial (U_m h) / \partial x = 0 \quad (3)$$

$$\partial U_m / \partial t + U_m \partial U_m / \partial x = g S_o + g \partial (\lambda \cos \theta + z) / \partial x - \tau_b / \rho h \quad (4)$$

となる。ここに、 u_m : 平均流速、 h : 局所水深、 θ : 局所的な河床勾配、 τ_b : 底面せん断力¹⁾、 λ : Jaegerの圧力補正係数である。

3. 安定・不安定の範囲: 以上の4式を基礎式として、安定・不安定の境界線((5)~(7)式)、及び河床擾乱伝播速度((8)式)が以下のように得られる。

$$Fr^2 = 1/\lambda_1 \beta^2 \quad (5), Fr^2 = 1/(1 + \lambda_2 \beta^2) \quad (6), Fr^2 / \phi_o^2 q a = (1 - 2/\beta^2 \cdot \Lambda / q a) / (2 + 2/\beta^2 \cdot \Lambda^2) = 0 \quad (7)$$

$$- \gamma_2 / \beta = M \cdot (1 - \lambda_1 \beta^2 Fr^2) \cdot [\{\beta^2 E + \Lambda(1 + E\Lambda)\} q a + 2] / \{1 - (1 + \lambda_2 \beta^2) \cdot Fr^2\} \{(1 + E\Lambda)^2 + \beta^2 E^2\} \quad (8)$$

ここに、 β : 無次元波数、 $\lambda_1 = 1/2$ 、 $\lambda_2 = 1/3$ 、 $\phi_o \approx U_{mo}/U_{*o}$ 、 q : ϕ_o の関数、 $a = 5$: 河床せん断力の不均衡を表わすパラメーター、 $E = \lambda_{ad}/h_o \cdot (1 + \Phi_{Bo}/A_*)$: 掃流砂の非平衡を表わすパラメーター、及び $\Lambda = W_o/U_* \cdot [\phi_o(\sigma) - F_o(\sigma)] / K(1 - U_{*c}/U_{*o}) \varepsilon_B$: 浮流砂の効果を表わすパラメーターである。(8)式より擾乱の伝播方向を考慮すると、(5)式はAnti-duneの上限を、(6)式はFlat-bedとAnti-duneの境界を、(7)式はFlat-bedとRipple,Duneの境界を表わすことがわかる。図-1は W_o/U_* をパラメーターとして $\Psi_o \sim Fr/\phi_o \sqrt{q a}$ 紙上に安定・不安定領域を示したもので、 W_o/U_* が小さくなるとともにDune型の不安定であった領域の一部が安定なFlat-bedとなることがわかる。図-2及び図-3はそれぞれDune及びFlat-bedの領域を実験値^{4)~7)}と比較したもので、理論と実験値との一致は良好である。図-4はAnti-duneの領域について調べたもので、Flat-bedとAnti-duneの境界は資料が混在しているが平均の β の値0.47を用いた理論値 $Fr = 0.92$ とほぼ一致している。又、遠心力の効果を導入することによって、Anti-duneの発生領域に上限が現われてFroude数がかかなり大きくなると($Fr > 1.9$)再び河床は安定となり、実験の結果をうまく説明できることが分る。

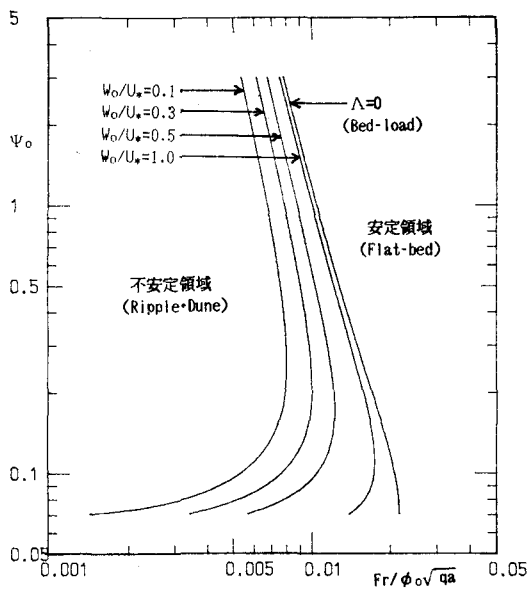


図-1 安定・不安定領域の変化

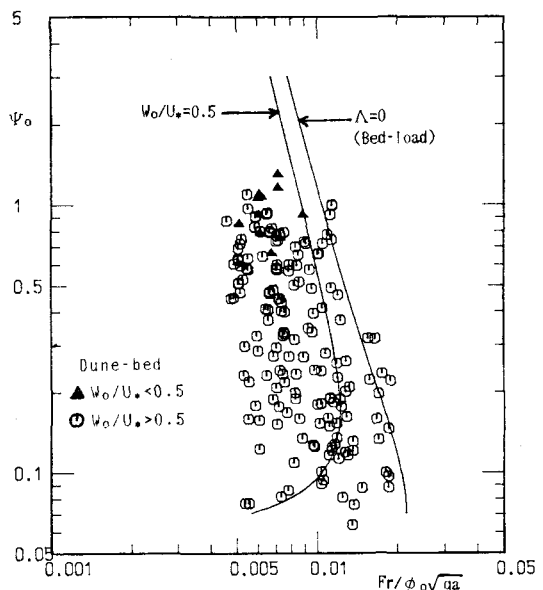


図-2 Dune-bedの領域

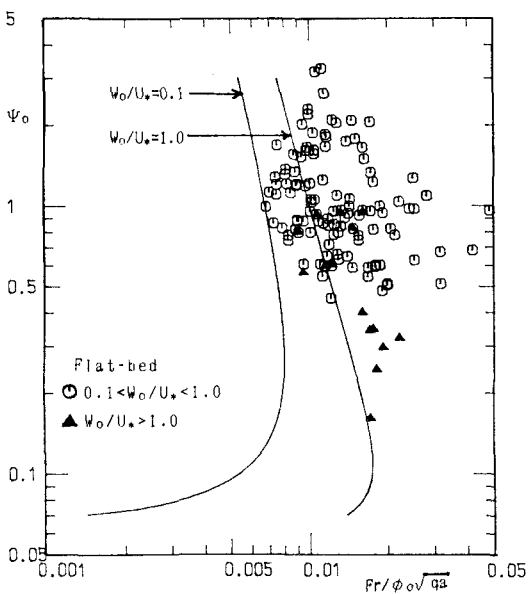


図-3 Flat-bedの領域

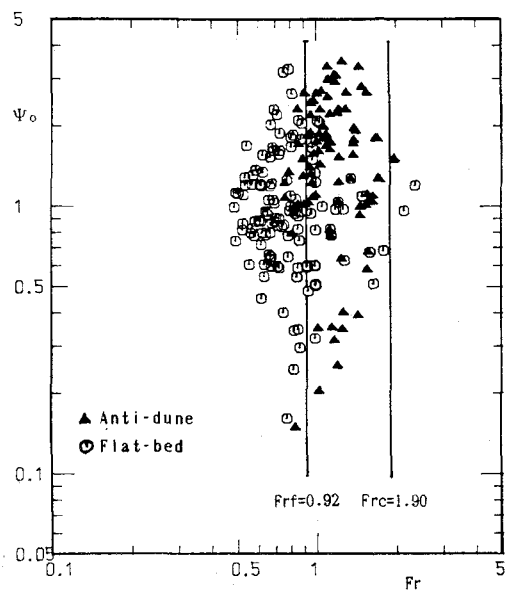


図-4 Anti-duneの領域

4. 参考文献

- 1) 渡辺・鶴田：昭和60年度西部支部発表会，1986. 2) 岩佐・Kennedy：Proc. ASCE, vol. 94, HY2, 1968.
- 3) Wills. et. al：Proc. ASCE, vol. 98, HY3, 1972. 4) Simons. et. al：Proc. ASCE, vol. 87, HY3, 1961.
- 5) Guy. et. al：US. Geological Survey Prof. Paper, 1966. 6) Laursen：Proc. ASCE, vol. 84, HY1, 1958.
- 7) 土木学会水理委員会粗度部会：第16回水理講演会，1972.