

三次元河床の不安定解析に関する研究

佐賀大学 正 渡辺 訓甫 ○学 古賀 勝利

1. はじめに: 河床砂が移動している水路や河川の底面には、二次元的な河床形態、いわゆるRipple and Dune、Flat-bed、Anti-duneが発生する他に、時として三次元的な砂れき堆(Alternating bars)が発生し直線水路においても流れは蛇行する。前報¹⁾において著者らは、線形安定理論を用いて浮流砂の影響による二次元的な河床形態の発生区分をかなりの程度まで明らかにすることができた。本文は、前報における基礎式を三次元不安定性に拡張して砂れき堆の発生機構、発生範囲に及ぼす浮流砂の効果について検討し、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・浮流境界高さ($y=a_*$)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、流れ方向及び横方向の速度成分を u_m 、 v_m 、その合成速度を V として、掃流砂の式を次式の様に表わす。

$$\frac{\lambda_{ad}}{A_*} \frac{\partial \Phi_B}{\partial x} + \frac{\lambda_{ad}}{A_*} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_m}{V} \Phi_B \right) = P - \frac{\Phi_B}{A_*} (1-P) + \bar{C}_B \cdot W_0 \cdot [\phi(\sigma) - F(\sigma)] \left[1 - \frac{C_B}{\bar{C}_B} \right] \quad (1)$$

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、 $\sigma = w_0 / u_*$ の関数である。なお $C_B = q_B / K u_* (1 - u_{*c} / u_*) a_*$ 、 $K = 8.5$ 、 $\bar{C}_B$ は C_B の1波長間平均値で、浮流層から掃流層への沈降は場所的平均化されているとしている。右辺第三項が浮流砂の効果を表わし、 w_0 / 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_0 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の不均衡性に規定されるから

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

流れの連続の式、運動方程式は

$$\partial h / \partial t + \partial (u_m h) / \partial x + \partial (v_m h) / \partial y = 0 \quad (3)$$

$$\partial u_m / \partial t + u_m \partial u_m / \partial x + v_m \partial u_m / \partial y = g S_0 - g \partial (\lambda h \cos \theta + z \cos \theta) / \partial x - \tau_b / \rho h \quad (4)$$

$$\partial v_m / \partial t + u_m \partial v_m / \partial x + v_m \partial v_m / \partial y = -g \partial (\lambda h \cos \theta + z \cos \theta) / \partial y - v_m / V \cdot \tau_b / \rho h \quad (5)$$

となる。ここに、 h : 局所水深、 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: 河床に与える擾乱を $z = L/h_0 = \epsilon \cdot \exp(\gamma T + i\beta X)$ において線形安定解析を行うと安定・不安定の境界を決める式が求まる。式形が複雑なので関数表示すると

$\gamma = f(F_r, \Psi_0, \phi_0, \beta, w_0/u_*, \nu)$ 、ここに、 $\nu = \pi/2 \cdot h_0/B$ 、 $\beta = L/4B$: 波長水路幅比、となる。 β の値は水深水路幅比 h_0/B と ν の値によって決まり、実験値^{2)~4)}によると $\phi_0 \approx 10$ 程度のものが多いので $h_0/B = 0.1$ 、 $\phi_0 = 10$ とすると安定・不安定の境界線は (F_r, Ψ_0) 紙上で ν 及び w_0/u_* をパラメーターとして表わされる。図-1は掃流砂のみの場合の境界線で、実線がDuneとFlat-bedの境界を点線がFlat-bedとAnti-duneの境界を示している。両曲線とも ν の増加とともに高Froude数領域に移行している。従って砂れき堆は、二次元河床のFlat-bed及びAnti-duneの一部が三次元擾乱のため、Dune型の不安定領域に発生することが期待される。 $\nu = 0$ とすると前報における二次元河床の場合に帰着し図-2に示すように w_0/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となることが分かる。図-3は三次元河床で $\nu = 1$ の場合の w_0/u_* による安定・不安定領域の変化であって、 w_0/u_* が小さくなるとDune・Flatの境界が低Froude数側にシフトし二次元の場合と同様の傾向を示す。しかしながら図-4に示すように ν の値が大きくなると安定・不安定の境界は w_0/u_* が小さくなるにつれて二次元河床や $\nu = 1$ の場合とは逆に高Froude数側にシフトする傾向がある。図中の砂れき堆の資料は、 w_0/u_* の値によってグループ分けされているが、 w_0/u_* の小さいものは高Froude数側に存在しており、解析結果はある程度実験値の傾向と一致している。

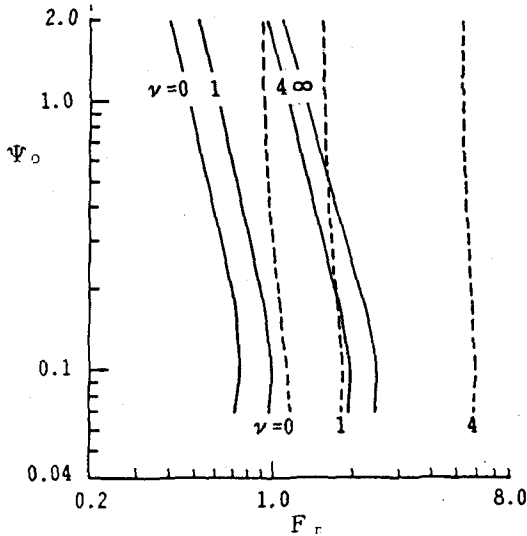


図-1 三次元河床 (掃流砂のみ)

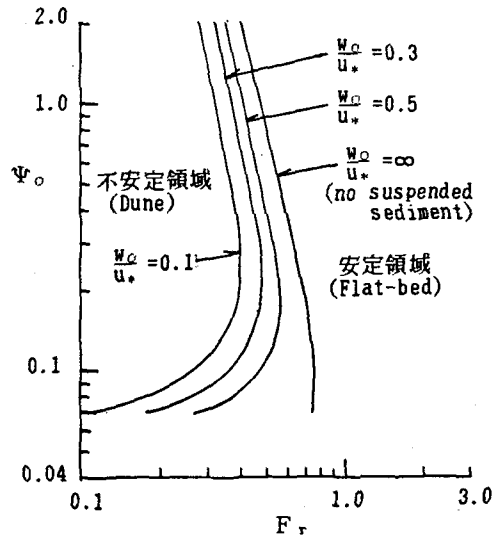


図-2 二次元河床の W_0/u_* による境界の変化

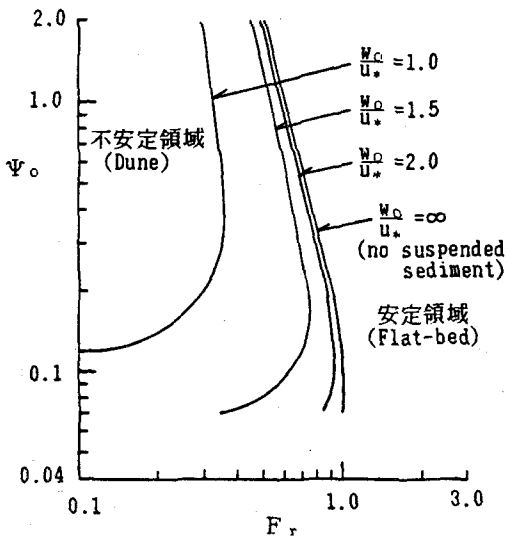


図-3 三次元河床の不安定領域 ($\nu=1$ の場合)

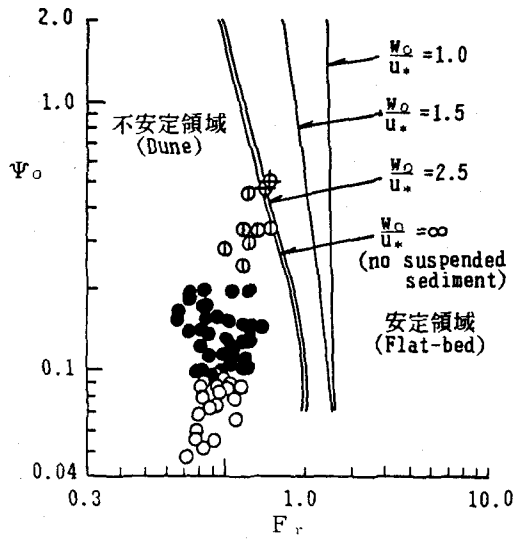


図-4 三次元河床の不安定領域 ($\nu=4$ の場合)
 $\bigcirc$: $W_0/u_* > 2.5$, $\bullet$: $1.5 < W_0/u_* < 2.5$,
 $\odot$: $1.0 < W_0/u_* < 1.5$, $\oplus$: $W_0/u_* < 1.0$

4. 参考文献

- 1) 渡辺・鶴田：昭和61年度西部支部発表会，1987.
- 2) 芦田・塩見：水路における砂れき堆の水理特性について，防災研年報第9号，昭41.3.
- 3) 鮎川：水路形態と粗度に関する委員会資料，昭46.
- 4) 定村：砂れき堆の形成について，九州大学卒業論文，昭46.3.