

京都大学大学院 学生員 八杉 隆

京都大学工学部 正 員 中川 博次

京都大学工学部 正 員 村上 正吾

1. まえがき dunes が形成された河床の流砂量・抵抗予測、河床波の形状・スケールの変形（成長・減衰）等の解決のため、著者らはdunes の形状と流れ特性により定まる局所底面せん断応力分布と非平衡状態に適する流砂モデルを組み合わせたモデルを展開してきた¹⁾。本報では、河床波背面上の非平衡流砂状況に着目し、それが、どのように河床波の平衡条件を満たすかを検討することから形状・スケールの決定機構を考察した。河床波の変形には個々の波自体が水理条件にตอบสนองする変形と個々の波の相互干渉作用（結合・合体と分裂）による変形とに大別され、スケールが大きく波速の遅いものでは前者が卓越し、一方、小規模で波速が大きいものでは後者が卓越するものと考えられ、本研究の成果は前者のタイプの変形に適用される。

2. 平衡状態の河床波形状 ここでは、河床波の平衡形状が底面せん断応力の場所的变化とどのように対応するかに着目する。すなわち、流れ特性、形状、流砂特性の相互作用系の変化過程を追跡するかわりに、まず、河床波背面上の流砂特性量の分布性状を決定する局所的な底面せん断応力分布 $\tau_0(x)$ を仮定した。図-1 に示されるようなpick-up rateが零となる点を原点とする座標を考え、距離を原点からcrest までの

距離 x_c で、変動を考慮した限界掃流力 $k_2 \cdot \tau_c$ (τ_c : いわゆる限界掃流力、 k_2 : 定数 ≈ 0.7) で無次元された掃流力の分布を次のように仮定する。

$\eta(\xi) = \tau_*(\xi) / (k_2 \cdot \tau_c) = \eta_p(\xi + \xi_0)^m \dots \dots$

・(1) ここで、 $\xi = x/x_c$ 、 η_p 、 m : 定数で、 η_p はほぼ流れ特性、 m は河床波形状に関係するものと考えられる。

$\xi_0 = x_0/x_c = (1/\eta_p)^{1/m}$ (x_0 : 再付着点と原点との距離) である。さて、河床波

が形状・スケールを変えずに定常進行している時の局所的な河床波

高 $y(x)$ と背面上流砂量分布 $q_B(x)$ との間には $y(x)/y_c = q_B(x)/q_{Bc}$

$\dots \dots$ (2) なる関係がある。ここで、 y_c は原点よりのcrest 高、 q_{Bc}

はcrest での流砂量である。ところで、河床波として平衡状態に達

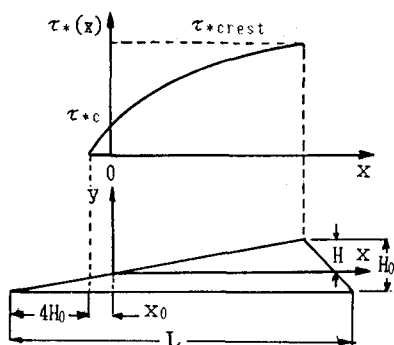


図-1 定義図

していても、その内部の流砂状況は非平衡であることから、局所流砂量分布 $q_B(x)$ にはこうした状況にも適用可能な中川²⁾らの非平衡流砂量式を用いる。

$q_B(x) = (A_3 d / A_2) \int_0^x p_s(x) G_x(x-x') dx' \dots \dots$ (3) 、ここで

$p_s(x)$: pick-up rateの分布式、 $G_x(s)$: step length が s を超える確率である。式 (2) を変形すると、次

式で表わされる無次元河床波形状関数 $f(\xi)$ が得られる。 $f(\xi) = y(\xi)/H = q_B^*(\xi)/q_{Bc} \dots \dots$ (4) ここで、

$H = y_c$ 、 $q_{Bc}^* = q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)g \cdot d^3}$ (σ/ρ : 砂の比重、 d : 砂粒径、 g : 重力加速度)。pick-up rate

を中川¹⁾の式で推定し、step length が指数分布に従うものとする、式 (3) を式 (4) に代入して、河床

波形を次のように表現できる。 $f(\xi) = \{ \exp(\beta_c/\lambda) / \Psi(1) \} \cdot \exp(-\beta_c/\lambda \cdot \xi) \Psi(\xi) \dots \dots$ (5)

ここで、 $\Psi(\xi) = \int_0^\xi \eta(\xi') \{ 1 - 1/\eta(\xi') \}^3 \cdot$

$\exp(\beta_c/\lambda \cdot \xi') d\xi' \dots \dots$ (6) $\beta_c = x_c/d$ 、 $\lambda = \Lambda/d$ (Λ : 平均step length) である。したがって掃流力の分

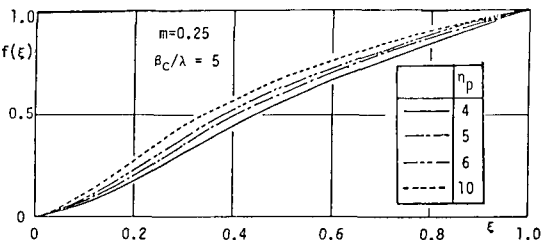
布関数 (すなわち η_p 及び m) と β_c/λ が与えられる

と、河床波形状は式 (5) によって与えられる。図-2

は $f(\xi) \sim \xi$ の関係を示す。(a) より η_p は形状より

もスケールに対する影響が大きいことが推察され、

(b) は形状に対する m の効果はかなり大きいことを示

図-2 (a) $f(\xi) \sim \xi$ (η_p : パラメータ)

しており、 m が大きくなると下に凸な形状、 m が小さくなると上に凸な形状になることがわかる。(c)は β_c/λ (波長と平均step lengthの比に相当し、河床波の大きさの影響を示すパラメータ)の効果を示しており、長波長のものは上に凸な形状で頂部付近で平坦になる傾向にあり、短いものは下に凸な尖った形になることを示している。

3. 平衡状態の河床波のスケール 定常進行する河床波では、全体の流砂量 q_{B0} と crestでの流砂量 q_{Bc} との間には、 $q_{B0} = (1/2) q_{Bc} \dots\dots (7)$ なる関係がある。 q_{Bc} は非平衡流砂量式(3)を用い計算され、図-3に示すように β_c の増加関数となる。一方、 q_{B0} は、式(1)で与えられる掃流力の分布の一波長平均 τ_* がいわゆる有効掃流力に相当するものと考ええると、平衡流砂量式を用いて評価できる。例えば、中川ら³⁾の式を用いると q_{B0} は次式で与えられる。

$$q_{B0} = 10 \cdot \{k_2 \tau_* \eta_p \cdot (1 + \xi_0)^{m+1} / (m+1) / \xi_L\}^{2.5} \dots\dots (8)$$

ここで、 $\xi_L = (4 \cdot \Delta^* / \beta_c) + \xi_0 + 1 \dots\dots (9)$ 但し、 $\Delta^* = H_0/d$ (H_0 :波高)である。よって、式(8)も β_c の関数として表わされ、式(7)を媒介に非平衡流砂量式から求められる峯流砂量と等値できる。図-3に Δ^* をパラメータとして q_{B0} より求めた q_{Bc} をも併示した。非平衡流砂量式から得られる $q_{Bc} \sim \beta_c$ 曲線との交点として、河床波長にかかわる β_c が決定される。さらに式(9)を用いて波長を決定することができる。すなわち、 β_c は m 及び η_p の関数として決定される。なお η_p と Δ^* の間には次の関係式が得られる。すなわち、流れの条件(平均流速 U_0 及び平均水深 h)及び平均的な流れに対する流速係数 Φ_0 とcrestにおける流速係数 Φ_c が与えられると、crestでの掃流力 τ_{*crest} は次のように表わされる。

$$\tau_{*crest} = \tau_* \{ (\Phi_0 / \Phi_c) / (1 - H_0 / 2h) \}^2 \dots\dots (10)$$

ここで、 $\tau_* = (U_0 / \Phi_0)^2 / \{ (\sigma / \rho - 1)gd \} \dots\dots (11)$ である。これを式(1)での表現 $k_2 \tau_* \eta_p \cdot (1 + \xi_0)^m$ と等値することから、次式を得る。 $\Delta^* = 2 [1 - (\Phi_0 / \Phi_c) \cdot \sqrt{\eta_p} / \{ \eta_p \cdot (1 + \xi_0)^m \}] \cdot (h/d) \dots\dots (12)$ ここで、 $\eta_p = \tau_{*crest} / k_2 \tau_*$ である。この時、 m 及び η_p は、流れの条件によってほぼ定まるものと考えられるので任意の値をとりえない。

4. あとがき 非平衡流砂モデルを用い、掃流力分布を仮定したときに決定される平衡河床波形状について論じたが、今後は、掃流力分布のパラメータと水理量との関係を明らかにするとともに、変形の過程についても検討を行いたい。

<参考文献> 1) 中川・辻本・村上：第28回水理講演会論文集，1984. 2) Nakagawa & Tsujimoto : Proc. ASCE, Vol.106, HY12, 1980. 3) 中川・辻本・矢田：河床波と流砂の相互関係と河床波の変形過程について：京大防災研究所年報，第21号 B-2, 1978.

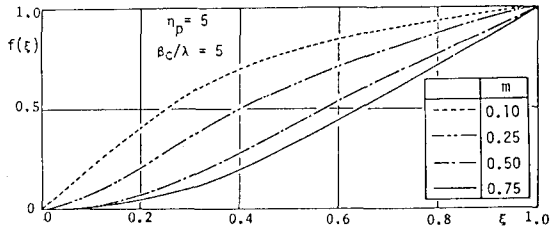


図-2 (b) $f(\xi) \sim \xi$ (m : パラメータ)

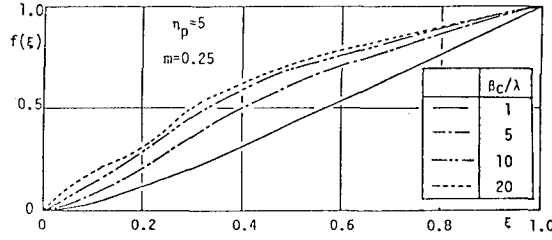


図-2 (c) $f(\xi) \sim \xi$ (β_c/λ : パラメータ)

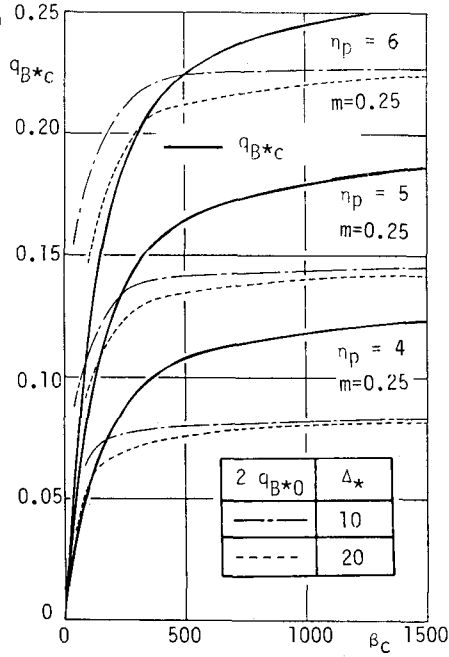


図-3 $q_{Bc} \sim \beta_c$