

中央大学理工学部 正会員 林 泰造
東亜建設工業 正会員 〇矢内栄二
I.N.A新土木研究所 正会員 大西光陽

1. はじめに

移動床流れにおいて形成される河床形態は抵抗や流量と密接な関係をもっており、与えられた水理条件に対して発生する河床形態を予測することは重要である。このため、従来から多くの研究者によって研究がなされてきているが、これらの多くは砂漣と砂堆を同じ領域で取り扱っており、わずかに Yalin の砂粒レイノルズ数による判別があるにすぎない。

本研究は、林・大西のせん断流モデルによる河床安定理論の成果から、従来同一の取扱いを受けていた砂漣と砂堆の区別をもしうる領域区分図を求めたものである。

2. 河床波の卓越波数と存在領域

林・大西は2次元せん断流モデルを用い、無次元掃流力 $\bar{\tau}_0$ を導入することによって河床波の増幅率 G_L を次式で求めた(水講 1981)。

$$G_L = \bar{\Phi}_0 \left[- \left\{ \frac{12\beta}{U_b \bar{\tau}_0} + \frac{6}{U_b} \left(\frac{\hat{\alpha}(y=0)}{\bar{\tau}_0} \right)_I \right\} \sin k \delta_r + \frac{6}{U_b} \left(\frac{\hat{\alpha}(y=0)}{\bar{\tau}_0} \right)_R \cos k \delta_r \right] \dots (1)$$

ここに、 $\bar{\Phi}_0 = 3\alpha(d/D_0)\bar{\tau}_0(\bar{\tau}_0 - \bar{\tau}_{c0})^{\frac{1}{2}}$ 、 $U_b = 1 - \frac{\beta}{3\bar{\tau}_0}$ 、 $\left(\frac{\hat{\alpha}(y=0)}{\bar{\tau}_0} \right)_I$ および $\left(\frac{\hat{\alpha}(y=0)}{\bar{\tau}_0} \right)_R$ はそれぞれ $\frac{\hat{\alpha}(y=0)}{\bar{\tau}_0}$ の虚数部と実数部である。(1)式を解くことによって林・大西は各河床形態の卓越波数を理論的に求めたが、本報においては簡便のために以下の式で近似する。

$$kD = \{ 2.1 \times 10^{-4} (D/d)^{5.27} \frac{1}{\bar{\tau}_0} \}^{\frac{1}{3}} \dots (2) \quad (\text{砂漣})$$

$$kD = 3.6 \times 10^{-6} (D/d)^{1.30} \bar{\tau}_0^{-2} \dots (3) \quad (\text{砂堆})$$

$$kD = \{ 4.7 \times 10^{-5} (D/d) \frac{1}{\bar{\tau}_0} \}^{\frac{1}{3}} \dots (4) \quad (\text{反砂堆})$$

ここに、 k : 卓越波数、 D : 水深、 d : 粒径、 $\bar{\tau}_0$: 無次元掃流力

(2),(3),(4)式は(1)式の解析によって得られた曲線に対する近似式であるが、林・大西は砂漣と砂堆の step length について、中川・辻本及び林・尾崎の研究より算定し限界掃流力近傍の step length を評価することによって砂漣と砂堆のそれぞれについて卓越波数を導いた。この事は Yalin の提案した砂粒レイノルズ数 $u_* d/\nu$ の区別に対応するものである。また林らは得られた卓越波数はそれぞれの河床形態によって存在可能な領域があることを理論的に導いた。それによると、砂漣の存在波数域は $2 < kD$ であり、砂堆は $0.2 < kD < 5$ であり、反砂堆は $kD < 2$ である。

以上の条件を(2),(3),(4)式にあてはめると、河床形態のそれぞれについての存在領域は次のようになる。

$$D/d \geq 5.70 \times 10^2 \bar{\tau}_0^{0.189} \dots (5) \quad (\text{砂漣})$$

$$744 \bar{\tau}_0^{\frac{1}{2.62}} D/d \geq 8.78 \times 10^3 \bar{\tau}_0^{\frac{1}{2.62}} \dots (6) \quad (\text{砂堆})$$

$$D/d \leq 1.29 \times 10^3 \bar{\tau}_0^{\frac{1}{1.75}} \dots (7) \quad (\text{反砂堆})$$

(5),(6),(7)式によって各河床形態の存在領域を知ることができる。

3. 実験資料による検討

(5),(6),(7)式と実験との比較を図-1~4に示す。使用した資料は筆者等の実験および Guy 等の実験である。ただし、実験における発生初期の波数を知ることが困難であることより $\bar{\tau}_0$ としては実験の $\bar{\tau}_0$ を用いた。

図-1において(5)式の領域は破線で示されるが、砂漣については破線より上の領域、即ち相対水深 D/d が 300 以上の時に存在する。図-2において(6)の領域は一点鎖線で示される間を示すが、データはこの間に存在することが認められる。図-3の実線は(7)式で示される反砂堆の存在限界を示すが、実験値は(7)式で表わ

される領域をはずれては存在しない。図-4は以上のデータを集めてプロットしたものであるが、それぞれの河床形態は従来経験的に知られていた重複した領域をもつことがわかる。特に砂漣と砂堆の共存域では、面高の同程度の観測値が認められる。また、砂堆と反砂堆、及び砂漣・砂堆と反砂堆の共存域も存在するが、実際にはこれらの Lower Regime と Upper Regime とを区別する重要なパラメータであるフルード数によって反砂堆への移行が決定され、フルード数が0.8を超える状態は掃流力の大きい図-4中の反砂堆のみが形成される領域になると思われる。全体として、図-1の砂漣の領域からはずれるデータと図-2の砂堆の領域からはずれるデータは共に τ_{*0} が0.1前後に集中しており、この付近で発生する河床形態の判別の難しさを示していると考えられ、また、相対水深が小さいと掃流力が小さくても砂堆の領域からはずれてしまうことがわかる。遷移領域は、砂堆の領域をはずれてしかもフルード数が0.8以下のもの及び各河床形態の混在領域で発生するものと予想されるが、今後の実験的研究及び各種の資料より検討を重ねるつもりである。

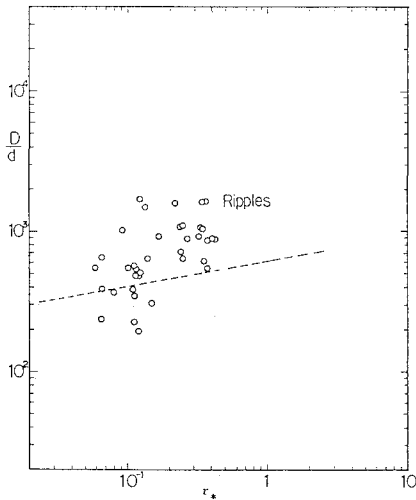


図-1 砂漣の領域

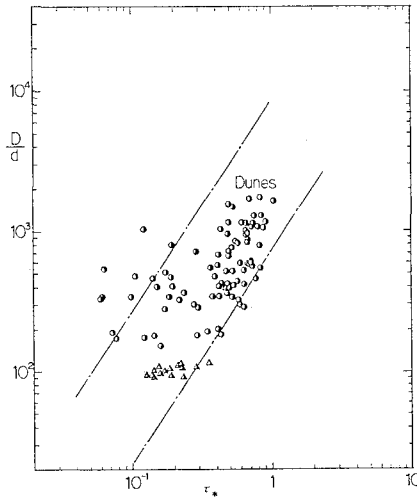


図-2 砂堆の領域

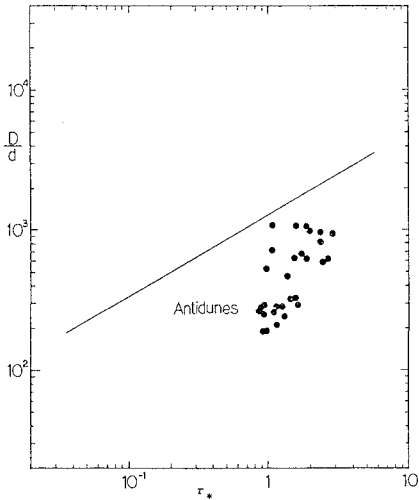


図-3 反砂堆の領域

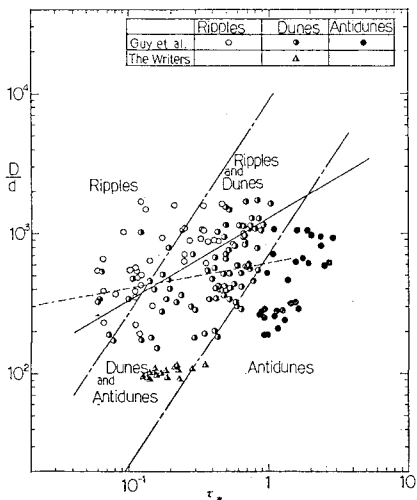


図-4 領域区分図