

二次元河床波上の局所流砂量の分布性状

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎

京都大学工学部 正 員 村上 正吾

京都大学大学院 学生員 水橋雄太郎

京都大学大学院 学生員○小池 章久

1. まえがき dunes が形成された河床の流砂量・抵抗予測、また河床波の変形（成長・減衰）、duneの安定な形状・スケールの予測等の問題解決には、duneの形状と流れの特性により定まる局所底面せん断応力分布および非平衡状態に適する流砂モデルを組み合わせることによって得られる dunes上の局所流砂量の分布を明らかにしなければならない。本報では既に著者ら¹⁾によって展開されている非平衡流砂量モデルを用いて dune 上の流砂特性量の分布性状について検討を加える。

2. モデルの概要 まず三角形の dune に対して圧力勾配を考慮した境界層の運動量方程式と流れの実測にもとづいて仮定された境界層内流速分布、外縁流速、粗面の抵抗則を用いて、底面せん断応力を計算した。一方、stochastic modelの構成要素である pick-up rate については dune 背面に沿う底面流速の変動係数の分布を実験によって評価し、これと前述の底面せん断応力とを結びつけることにより、与えられた水理量に対して推定することのできる予測式を提案した¹⁾。もう一つの構成要素である step lengthに関しては、河床波の背面上では個々の砂粒の運動特性が場所的に変化していることから、平均 step lengthも場所的に異なるものと推測される。このことを考慮して非平衡流砂過程を記述する stochastic model の基礎式として次式を導いた¹⁾。ここでは、各点の掃流力により定まる運動特性は、砂粒が step lengthを構成している一つの saltation長さ程度動けば慣性の効果も失われると考えられることから、運動特性の変化を取り入れた見掛けの pick-up rate といった概念を提案した。この見掛けの pick-up rate $\tilde{p}_s$ を与える式(1)を用いて、結局、deposit rate $p_d(x)$ 、局所流砂量 $q_B(x)$ 、河床高変化率 $\partial y / \partial t$ は式(2)～(4)で推定される。

$$\tilde{p}_s(x) = p_s(x) + \tilde{p}_s(x' - X_D) \cdot \int_{X_D}^{\infty} f_X(\xi | x' - X_D) d\xi \quad \dots (1) \quad p_d(x) = \int_{x-X_D}^x \tilde{p}_s(x') f_X(x-x' | x') dx' \quad \dots (2)$$

$$q_B(x) = \frac{A_3 d}{A_2} \int_{x-X_D}^x \{ \tilde{p}_s(x') \int_{x'-x}^{\infty} f_X(\xi | x') d\xi \} dx' \quad \dots (3) \quad \frac{\partial y(x)}{\partial t} = A_1 d \{ p_d(x) - p_s(x) \} \quad \dots (4)$$

3. 実験 実験は長さ 8m、幅 11.5cm の可変勾配水路の中央部に粒径 0.079cm の砂で移動床部（長さ 3.5m）を作り前後 2m を同じ砂で粗度付けした固定床と接続した。通水後、河床波が形成された後、ビデオカメラで河床面を真上より撮映し、ビデオモニターにて画面より crest から 4cm ごとに単位面積の領域より飛び出した、あるいは停止した砂粒個数を数えることにより河床波背面上での pick-up rate p_s 、deposit rate p_d の分布を実測した結果が図-1, 2 である。また流砂量の分布も、ビデオ画面上で、各点での横断方向線分を通過する個数を数えることから実測した。その結果は図-3 に示されている。図中の曲線は 2. で述べたモデルを用いた計算結果である。一方、三角形の模擬河床波上での p_{s*} 、 q_{B*} は既に著者らによって実測されており、モデルにもとづく計算結果を併示した図-4, 5 である。底面せん断応力が境界層の発達と結びついており乱れの効果を入れたとしても、再付着点付近での飛び出しは、モデルにおいては零に近く、現在のモデルでは実際の p_{s*} 、 p_{d*} の増加傾向を必ずしもよく説明しえない。三角形模擬河床波では比較的計算値との対応はよいものの、実際の河床波上での p_{s*} 、 q_{B*} については、形状が三角形とは異なり（背面が丸くなっている）、そのためモデルとの差はかなり目立っている。図-6 は、 p_{d*} と

q_B との関係を示しており、step length の分布形が変化しない場では、 $p_d(x)=(A_2/A_3) \cdot (d/\Lambda) \cdot q_B(x)$ の関係にあり、図-6 より読み取った平均 step lengthは 40d程度である。河床波背面上でもこれまでの平坦河床での平均 step length (40~250)d とほぼ同じオーダーであることがわかる。また、平均 step lengthがこの程度とすると、

2. で述べた各点の掃流力で支配される区間長もせいぜい粒径の 10 倍程度とすれば充分と考えられる。

4. あとがき 河床波背面上の局所流砂量分布性状の記述のために、境界層モデルと非平衡流砂量モデルを用い、それを移動床実験によって検討した。その結果、必ずしも三角形形状を仮定した議論では現象をうまく説明することができないが、基本的にはこうした手法によって河床波上の流砂特性量の分布性状ばかりでなく、duneの変形、dune河床の乱れの抵抗予測も可能であり、モデルの細部の検討を進めてゆく必要のあることがわかった。

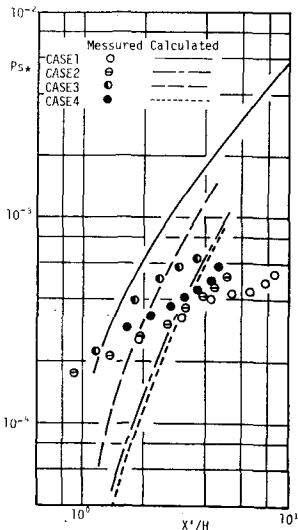


図-1 $X'/H \sim p_s$

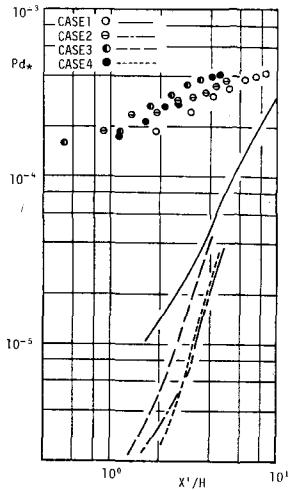


図-2 $X'/H \sim p_d$

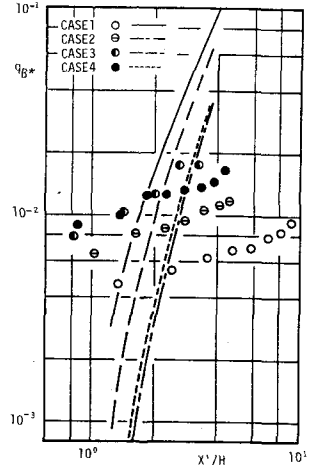


図-3 $X'/H \sim q_B$

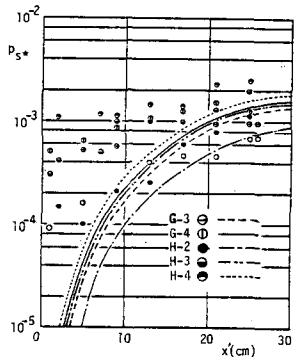


図-4 $X' \sim p_s$

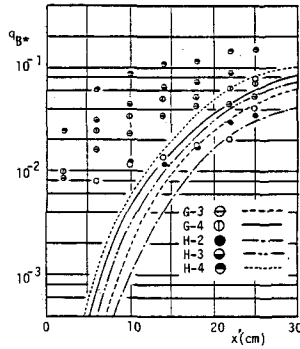


図-5 $X' \sim q_B$

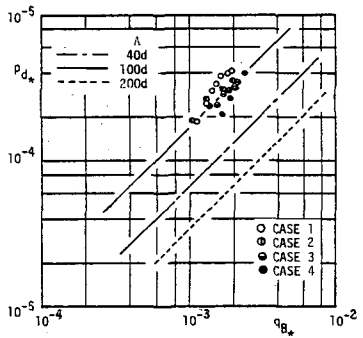


図-6 $q_B \sim p_d$

実験条件表

RUN	I	L(cm)	H(cm)	U(cm/s)	h(cm)
CASE1	1/150	40.8	1.2	63.6	3.5
CASE2	1/250	40.3	1.2	40.9	6.6
CASE3	1/300	28.9	1.1	38.9	6.6
CASE4	1/500	43.9	1.3	39.3	8.0
G-3	1/500	40.0	2.0	43.7	11.0
G-4	1/500	40.0	2.0	46.1	12.5
H-2	1/300	40.0	2.0	36.5	6.4
H-3	1/300	40.0	2.0	45.5	8.1
H-4	1/300	40.0	2.0	50.9	11.5

1) 中川・辻本： 第28回水理講演会論文集，1983, pp. 735-741