

京都大学防災研究所 正員 工野鉄男, 宇民正
 広島市 正員 有本俊志

1. はじめに 河床波の形成時に水路の上流側の上方から照明を当てると、通水を続けながらも河床波の配置と3次元的な特性とを写真で撮ることが出来る。これまでの研究から、砂遣は独特の発達過程を有することが明らかとなったが¹⁾、本研究では写真観察の手法を用いて砂遣と砂堆との発達過程の違いを明らかにする。

2. 水理条件および計測方法 実験は長さ18m、幅1m、深さ0.6mのモルタル仕上げの直線水路に平均粒径(d)が0.3mmの砂を敷いて行った。

表-1

表-2

水理条件および通水開始2時間

後の諸量を表-1および表-2

に示す。写真-1に河床波の撮

影結果を示す。写真上の河床波

の下流側の斜面の幅(b)から河床波の波高(η)が計算できる。図-1のように諸量をとると、カメラから河床波の下流側の斜面を見込む角 θ は

$$\theta = \frac{(\sqrt{\frac{7}{6}} x^2 \cos^2 \beta + P^2 / \tan \alpha - \frac{3}{4} x \cos \beta) \eta}{\sqrt{(x^2 + P^2)(x^2 \cos^2 \beta + P^2)}} \quad (1)$$

となる¹⁾。ここで、 β は河床波の峰線と水路の横断方向とのなす角度である。 $x=0$ の場合の値を θ_0 とすると

$$\eta = b \tan \alpha / (\theta / \theta_0) \quad (2)$$

となる。本研究では、実測の結果 $\tan \alpha = 0.8$ を用いた。

3. 河床波の発達過程 写真-1に見られるように、河床波は3次元的な形状を有し、同一の河床波でも横方向に高さが異なる。波高 η は一つの河床波でその最大の落差を読み取り、その直下流の波長を λ として(η , λ)の組を作り、各時刻の一枚の写真から水路中心線近くの河床波について(η , λ)の組をいくつか読み取った。 η および λ の経時変化を示すと図-2および図-3のようになる。図より、Case AおよびBとCase CおよびDはほぼ同様の発達過程を示すことがわかる。Case AおよびBの平均的な経時変化を実線で、Case CおよびDのそれを破線で、Case Eのそれを点線で示すこととする。河床波は発達するにつれて波高および波長を増大させるが、Case A, B $\rightarrow$ C, D $\rightarrow$ E と河床の勾配が大きいが、勾配が大きいものほど河床波の発達速度が大きいことがわかる。Case Aの場合でも3時間を過ぎると河床波の発達の度合は小さくなっている。Case Eでは他に比して波長が大きくなっている。波長と波高の比 λ/η の経時変化を図-4に示す。Case A~Dでは時間とともに λ/η は減少し、Case Eでは λ/η はほ

Case	H (cm)	Un (cm/sec)	Re	Fr	U _{av} (cm/sec)	τ_*	Re _*
A	7.40	27.03	1.70×10^4	0.317	3.67	0.286	9.37
B	7.75	25.81	1.76×10^4	0.296	3.83	0.312	10.26
C	7.14	28.01	1.88×10^4	0.335	3.82	0.310	10.79
D	7.43	26.92	1.68×10^4	0.315	3.89	0.322	9.82
E	6.95	40.90	2.57×10^4	0.496	3.94	0.330	10.69

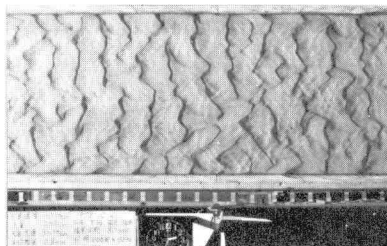
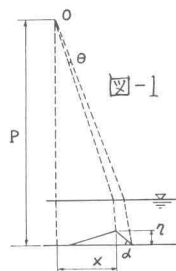
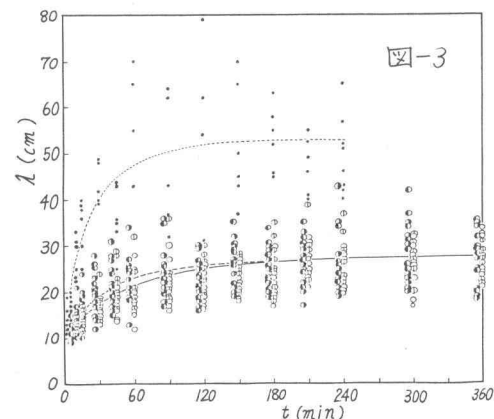
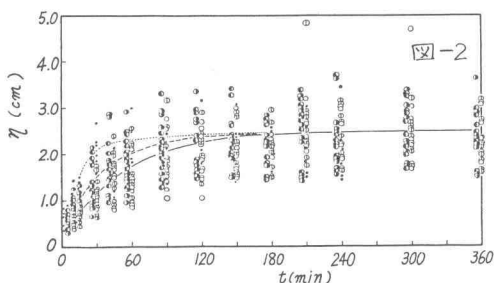


写真-1



○ Case A ○ Case B ○ Case C ○ Case D ● Case E



ば一定の値をもつことがわかる。河床形態は Case A~D は砂連, Case E は砂堆である。

河床波の波高と波長は, 水流によって河床波の上流側の緩斜面が洗掘されて増大すると考えられる。河床波の発達過程を観察することにより, 砂連では河床波の峰の下流部で峰に近いところほど大きく洗掘され, 砂堆では河床波の峰の下流部でほぼ一様に洗掘されることがわかった。これを単純化してモデル化すると表-3 のようになる。表中の図で, 実線部分が Δt 時間後に破線の部分まで変形したとし, 点線は元の河床波を変形せず下流側へ平行移動させたときの状況を示している。流砂量の連続条件から, 図で斜線を施した2つの領域の面積が互いに等しいことになる。図-5 および図-6 に表中の式(5) および(6)の定数 C_1 および C_2 の経時変化を示す。Case A~D では C_1 が時間にかかわらず一定の傾向を示し, C_1 の値は80~130 で平均的には105 となる。また, Case E では C_2 の値が一定となる傾向を示し, C_2 の値は平均的には30 程度である。 $C_1=105$, $C_2=30$ とすると, 式(5) および(6) の λ 1項目は λ 2項目より, 約1オーダー大きな値となるので, 河床波の波長は, 砂連では波高の1/2乗に比例して増大し, 砂堆では波高に比例して増大すると言える。

ところで, 河床波が発達するにつれて, 上述のように波長が増大してゆくが, 一方で河床波を含む空間には限界があるので, 河床波は発達するにつれて部分的に消滅しなければならない。“河床波のつなぎかえ”を契機に分裂したり, 消滅したりしながら波長と波高を増大させ発達してゆく過程については前に述べた。

図-7 は「土木研究所資料」²⁾のデータによって, 砂連(O)および砂堆(●)について, 式(5)および(6)の適用性を検討したものである。データとそれぞれの式の一致は良好であり, 上述の河床波の波高と波長の関係は平衡状態に達した河床波についても適用できることがわかった。

図-7 は「土木研究所資料」²⁾のデータによって, 砂連(O)および砂堆(●)について, 式(5)および(6)の適用性を検討したものである。データとそれぞれの式の一致は良好であり, 上述の河床波の波高と波長の関係は平衡状態に達した河床波についても適用できることがわかった。

参考文献 1) 宇民・上野: 河床波の発生・発達過程に関する実験的研究, 京大防災研究所年報, 第21号B, 1978.
2) 建設省土木研究所鹿島試験所: 相似律の観点から見た移動河床流れの水理, 土木研究所資料, 第1059号, 1975.

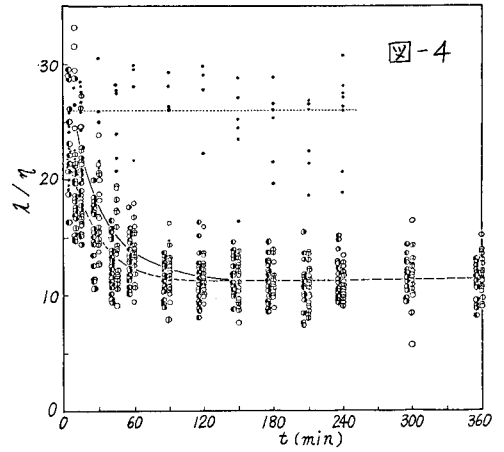


表-3

河床形態	砂 連	砂 堆
発達のモデル		
流砂の連続式	$(\lambda + \Delta\lambda - \eta / \tan \alpha) \cdot \Delta\eta / 2 = \Delta\lambda \cdot \eta$ (3)	$(\lambda - \eta / \tan \alpha) \cdot \Delta\eta = \Delta\lambda \cdot \eta$ (4)
連続式の解	$\lambda_* = C_1 \eta_*^{1/2} - \eta_* / \tan \alpha$ (5)	$\lambda_* = C_2 \eta_* - \eta_* \log \eta_* / \tan \alpha$ (6)

