

京都大学防災研究所 正員 上野鉄男, 学民 正

1. はじめに 本研究は、一定時間間隔の連続した写真観察によって、個々の河床波が流下しながら変形してゆく様子を検討することにより、河床波の発生・発達機構を解明しようとしたものである。
2. 実験方法 図-1に実験装置を示す。水路は長さ18m、幅1mで、平均粒径0.5mmの砂を1/400の勾配で敷き、給砂は行わず、23ℓ/secの流量を流した。下表に水理条件を示す。実験では、初め平坦であった路床に通水後まもなく上流端近くで水路床に擾乱が発生し、時間とともに発達しながら流下し、下流側につぎつぎと新しい河床波を発生させるような流れが取扱われている。流れの観測は6時間15分にわたって行い、基準点($x=0$ m)直上のカメラで河床波の発生・発達状況を30秒間隔で、通水を続けながら撮影した。その一例を下の写真に示す。また、超音波式河床測深器と水位計で水路中心線上の河床高と水位を水路全長にわたって、20分ごとに記録した。
3. 河床波の発生・発達過程 写真から、水路中心線上の河床波の前面の位置と幅を読み取り、それらの時間的変化を図-2に示した。写真上の河床波の前面の幅は波高に匹敵するが、正確には図-3の関係がある。ここで、 θ は x の位置にある河床波の前面をカメラの位置から見込む角、 θ_0 は $x=0$ mでの θ であり、河床波前面の傾きは45度と仮定されている。図-2から河床波は一定速度で一様に流下するのではなく、速度の極端に大きな河床波が部分的に存在することがわかる。波高が小さく、進行速度が大きい河床波が下流の別の河床波に近づくとき、後者の河床波の波高が小さくなって波速も大きくなり、前者の波高が大きくなって波速も徐々に小さくなる。このような現象は時間の経過とともに順次下流側へと伝わって行くようであり、これをモデル化すると図-4(平面図)および図-5(縦断面図)に示すようになる。このような現象を「河床波のつなぎかえ」と呼ぶこととする。このつなぎかえを契機に河床波は分裂したり、消滅したりしながら波長と波高を増大させ段階に発達してゆくようであり、図-2の時空間座標面は概略的にA、BおよびCの領域に区分できる。A領域では新しい河床波が「つなぎかえ」と発生してその規模を保ったまま流下し、B領域では河床波が「つなぎかえ」をくり返して発達してゆく。C領域は河床波が十分に発達した領域である。図-6に図-3の関係を用いて計算した河床波の波高と図-2から求めた波速との積として計算した局所的な掃流砂量の時空間分布を示す。図からつぎのことがわかる。①、掃流砂量の平均的な分布は時間が経過するほど大きく、同時に上流側ほど大きくなっている。したがって、B領域では砂粒が堆積することになる。②、掃流砂量はある場所、ある時間帯で極端に大きくなる場合がある。これを図-2と比較すると、この部分は河床波の「つなぎかえ」の部分と対応している。③、河床波の「つなぎかえ」はある時間帯に集中して起るようであり、掃流砂量もそのような時間帯で集中的に大きくなっている。

つぎに、河床波の波長と波高との関係について検討する。今、河床波の波長 λ と波高 η を図-7のように定義し、河床波が発達する過程を図-8のように表わすこととする。図で、実線部分が Δt 時間後に破線の部分まで変形したとすると、流砂量の連続条件から図で斜線を施した2領域の面積が等しいこととなり、つぎの式が成立する。

$$(\lambda + \Delta\lambda - \eta/\tan\alpha) \cdot \Delta\eta / 2 = \Delta\lambda \cdot \eta \quad \text{---(1)} \quad \text{微小項を省略して整理し、} \lambda_* = \lambda/\alpha, \quad \eta_* = \eta/\alpha \quad (\alpha \text{ は砂粒の平均粒径})$$

$$\text{とおくと、} \lambda_* = C \eta_*^{0.5} \quad \text{---(2)} \quad (C \text{ は積分定数}) \text{ が得られる。図-2から、その全領域にわたってかつ2分ごとに}$$

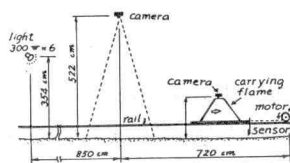
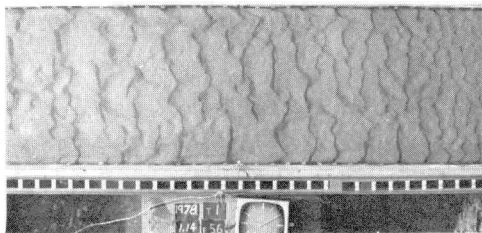


図-1

基準点($x=0$ m)に あける諸量	流し始め ($t=0$ min)	流し6分 ($t=6$ min)
水深(H , cm)	8.62	8.88
平均流速(U , cm/sec)	26.6	25.9
水面勾配 i (I)	1/20000	1/600
摩擦流速(U_* , cm/sec)	1.2	3.9
$R_c = UH/I$	1.76×10^4	1.76×10^4
$F_r = U/\sqrt{gH}$	0.29	0.28
$U_* d_m / \nu$	4.6	15
τ_*	0.0184	0.194



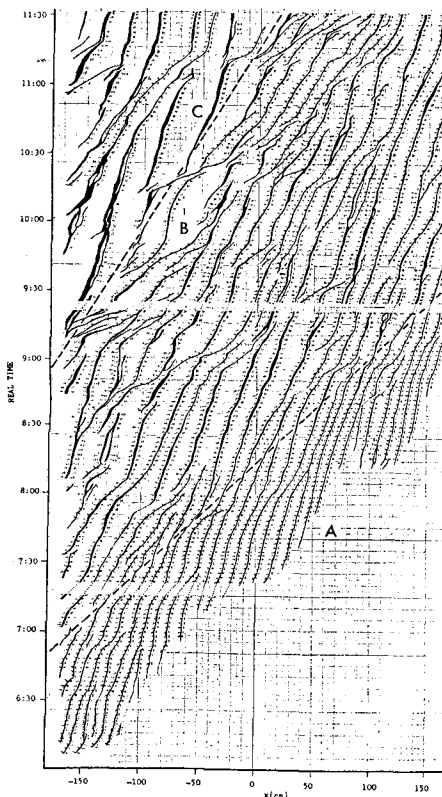


図-2

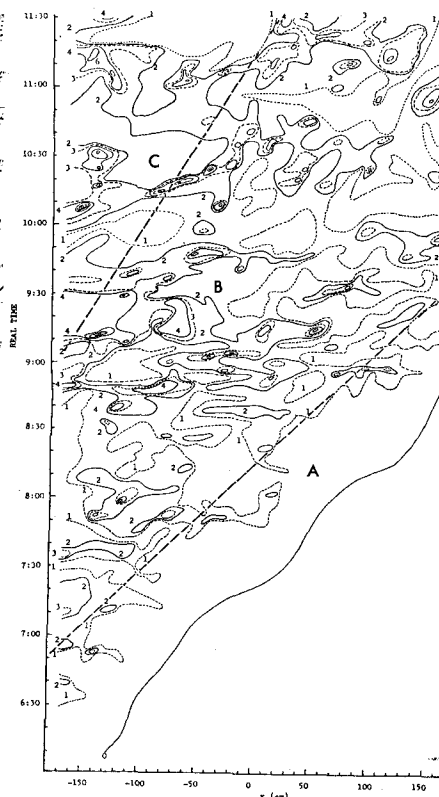


図-6

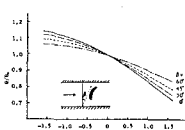


図-3

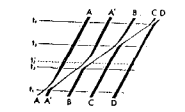


図-4

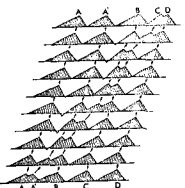


図-5

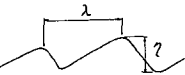


図-7

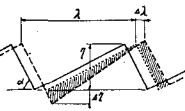
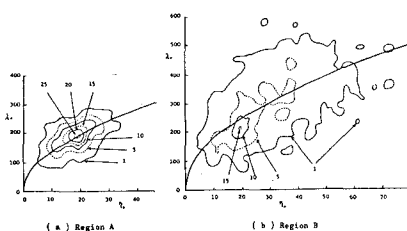


図-8

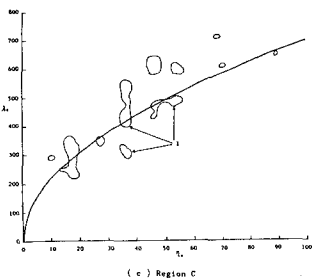
河床波の波長 λ とその直上流の波高 η を求め、 (η, λ) の頻度分布を等高線で示すと図-9のようになる。 (a) , (b) , (c) はそれぞれA, B, C領域のものに対応している。C領域のものについてはデータが少なく、AおよびB領域のものについてもある程度のばらつきがあるが、(2)式をあてはめると比較的よく適合する。ここで注目されるのは各領域ごとにCの値が異なることであり、実験結果から、 $C_A=45$, $C_B=56$, $C_C=70$ となる。図-10は水路中心線上の河床高と水位の測定結果から、各1m区間ごとに求めた無次元掃流力 τ_* の時空間分布を示したものである。 τ_* はA領域、B領域、C領域の順に大きくなっている。そこで、A, BおよびC領域のそれぞれの概略的な τ_* を求め、とりあえず、これをCと関係づけると図-11のようになる。

4. おわりに 以上、河床波の発生・発達過程を時間的、空間的に明らかにし、掃流砂量の時空間的な変化特性や河床波の波長と波高の関係についても検討した。これらから、河床波の発生・発達過程は段階的であり、それには河床波のつながりかえが重要な契機となっていることが明らかとなった。



(a) Region A

(b) Region B



(c) Region C

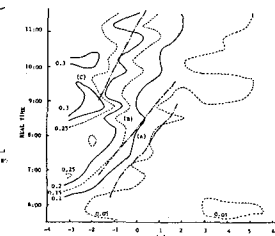


図-10

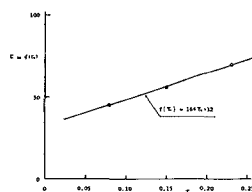


図-11