

河床波の発生・発達過程について

京都大学防災研究所 正員 宇民 正
 京都大学防災研究所 正員 上野鉄男
 広島市 正員 ○有本俊志

1. はじめに 本研究は、河床波の発生・発達過程をその3次元性ならびにそれと水流の乱流構造との関連性に注目して把握しようとしたものである。そのために河床状況の連続撮影により河床波の変化してゆく様子を観察し、それを基礎として河床波の発達過程のモデル化を行い、最後にその実験的検証を行ったものである。

2. 実験方法および水理条件 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0.3mmの砂を敷いて行ったが、その概略を図-1に示す。また、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。

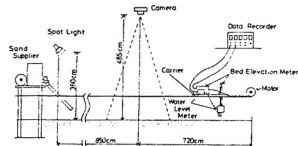


図-1

3. 河床波の発達過程のモデル化 河床波の発達過程においては“河床波のつなぎかえ”が重要な役割を果たすことを著者らは指摘し、さらに詳細な検討を行った。その結果河床波が“つなぎかえ”を契機として水路の横断方向に水深の2倍程度のスケールを単位として3次元的に発達してゆくことがわかった。写真-1は河床波の撮影結果の一例(Case A、通水開始から

表-1

Case	流量	勾配	給砂量	流砂量
A	20.0 l/sec	1/1000	170 g/min	140 g/min
B	20.0	1/1000	0	170
C	20.0	1/700	210	203
D	20.0	1/700	0	210
E	28.4	1/400	0	

約2時間30分後のもの)で、矢印の部分に着目すると、ここで斜めの強いうせん流が発生しており、河床の洗掘が激しく砂粒の舞い上がるような状態が観察され、その下流側では流砂量が極端に大きくなっている。

“河床波のつなぎかえ”はまさにこのような“斜めらせん流”が発生している下流側で起っていることがわかった。さらに詳細に観察すると、この斜めらせん流は、その上流側の河床波の前面が水路の横断方向に対して斜めになっており、かつ、河床波の前方へ流れが入り込む部分が低くなっており、さらに、下流側に河床波の山があるところに顕著に発生していることがわかった。この斜めらせん流の発生状況をモデル化したものが図-2であり、これをA-A断面で切った縦断面図が図-3である。

写真-2は図-2をさらに単純化した境界条件のもとでの水素気泡法による写真撮影結果の一例(水路幅40cm、平均流速6cm/sec、 $Re=1860$)であり、写真の矢印①の斜め段落ち(高さ1cm)で河床波の前面が水路の横

表-2

Case	H (cm)	U_m (cm/sec)	Re	Fr	U_s (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

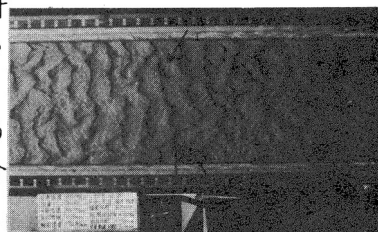


写真-1

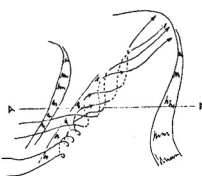


図-2

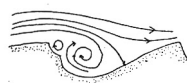


図-3

断方向に対して斜めになっている点を、矢印②の斜め段上りで下流側の河床波の山を表わしている。このようにすると、段落ちの下流側で図-2と同じ斜めらせん流が形成されるのが認められる。

以上のような考察に基づいて、河床波の波高と波長の増大過程をモデル化したのが図-4であるが、図においては河床波の波高と波長の増大は河床波の峰の下流部の水流による洗掘現象によるとし、単純化のために洗掘される部分は図のように三角形になると考えた。今、河床波の波高 η と波長 λ を図-5のように定義し、図-4で実線の部分が 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結論的には $\lambda_* = C \eta_*^{0.5}$ が得られる。

ここで、 $\lambda_* = \lambda / \alpha$ 、 $\eta_* = \eta / \alpha$ (α は砂粒の平均粒径)である。

ここで、図-4は水路幅全体にわたる現象を2次元的に表わしたのではなく、図-2および図-3のモデル図のように斜めらせん流が発生し、その下流側で“河床波のつなぎかえ”が起るような部分、つまり水路横断方向に水深の2倍程度の範囲を平均的に表わしたものであるという意味で用いている。また、このような現象は河床面全体でいっせいに発生しているというよりも、斜めらせん流が発生しているような場所で、時間的にも空間的にも断続的に、すなわち、ある特定の時間のあある特定の場所で起るわけだが、そのような現象を総合すると、平均的には上述のモデルを河床波の発達過程に一般的に当てはめてもよいと考えられる。

4. モデルの実験的検討 図-6に無次元掃流力 τ_b の経時変化を示す。また、図-7および図-8に $\bar{\eta}$ および $\bar{\lambda}$ の経時変化を示すが、 $\bar{\eta}$ および $\bar{\lambda}$ は各時刻の1枚の写真から、水路中心線付近の河床波の最大波高と波長を、それぞれ数個ないし20数個程度読み取り、それらの平均的な値をとったものである。これらの図から、通水開始から約2時間後に河床波は十分に発達していることがわかる。図-9に

$C = \bar{\lambda}_* / \bar{\eta}_*^{0.5}$ の経時変化を示す。図よりCはCase Eを除くと河床波の発達過程を通じてほぼ一定となり、Case Eは河床勾配が大きく水路幅に対応した河床形態が形成されていたが、Case E以外は横断方向に水深の2倍程度の規模をもった3次元性の強い河床波が形成されており、このような場合には河床波の発達過程が前述のモデルでよく説明できることがわかった。

参考文献 リ 宇民上野;京大防災研究所年報, #2号, 1978. 2) 有本;京大工学部卒業論文, 1979.

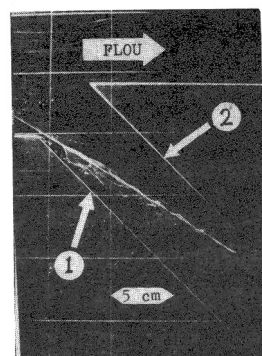


写真-2

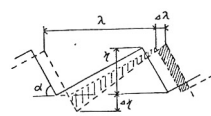


図-4

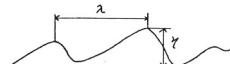


図-5

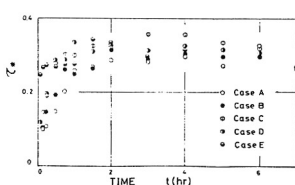


図-6

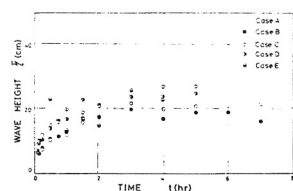


図-7

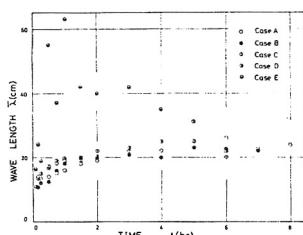


図-8

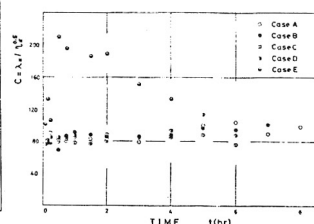


図-9