

河床波の発達過程に関する基礎的研究

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男
 和歌山県 正員 坪香 伸
 京都大学 大学院 学生員 谷川 俊男

1. まえがき 最近、河川の抵抗に対する温度の影響が注目されている。温度は流体の粘性に直接影響するか、他の水理量の変化にくらべて小さいためその特性は十分明らかにされるに至っていない。一方、河床波の発生要因として乱れが考えられている。しかしながら主流部における乱れが河床の不規則現象にどのように関係するか明らかでない。そこで著者らは、流体の粘性に着目し、まず流体の粘性を水の何倍程度に上げることによつて、河床波の形状特性ならびに抵抗特性にどのように影響するかを実験により求めた。次に極度に粘性を上げ主流部に乱れの存在しない層流状態を作り、この状態で河床波の発生実験を行った。

2. 実験の概要 幅20cm、深さ15cm、長さ780cmのアクリル製水路に、平均粒径0.099cmの砂(比重2.58)をしきならし、普通の水に対してはこう配 $1/500$ と $1/200$ について実験し、水位と河床位を通水開始15分、30分、60分、120分後にそれぞれ測定した。粘性を何倍程度に上げたものに対しては、水路こう配 $1/500$ で実験し、水位は通水停止直前、河床位は通水停止後に測定した。層流における河床形態に関する実験も同様に水位と河床位を測定した。これら粘性を上げるためグリセリンを水に混入した。

3. 実験の結果ならびに考察 まず、層流における河床形態の実験結果を表1に示す。

このうちRun37は平均粒径0.121cmで比重1.80の材料を使つて行ったものである。

Run	通水時間	平均粒径	平均流速	径深 R_{0m}	τ_x	R/d	R_*	Re	Fr	河床波の長さ λ	河床波の深さ δ	河床形態
37	121分	$1/19$	15.8	1.95	0.300	16.1	0.631	40.1	0.341	76.9	12.1	Flat Bed
40	120分	$1/19$	41.7	2.56	0.208	25.9	0.755	177	0.767	60.18	12.0	交互砂州状の河床形態
41	60分	$1/105$	47.5	2.42	0.222	24.4	0.731	179	0.823	64.30	12.0	〃

$\tau_x = u_*^2 / (g \beta - 1) g d$, $R_* = U_* d / \nu$, $Re = U_* R / \nu$, $Fr = U_* / \sqrt{g R}$, u_* : 摩擦速度, d : 平均粒径

表1. 層流における河床形態の実験結果

Run37とRun40, 41とでは粒子の移動形態が著しく異なる。Run37では、粒子は河床面上の粒子一層にわたつてほぼ等速にゆくりとすべるように移動し、河床波は形成されない。一方、Run40, 41では粒子は独立に不規則に移動し、普通に見られる移動床での粒子の動きとかわらない特性を示し河床波が生じた。図1、図2にRun40, 41に対する横断形状図を示す。図中実線は、横断方向の平均河床位よりも低いところを示している。これによると一般に見られる河床波とはかなり異なつた形状ではあるが、交互砂州状の河床形態を示していることがわかる。しかも、それらはきわめてゆるやかなこう配を前面に有しており流れがはく離せず流れる。

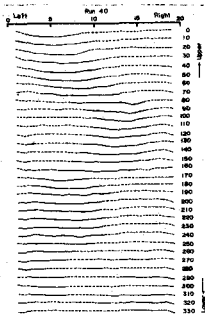


図1. 横断形状図(120分後)

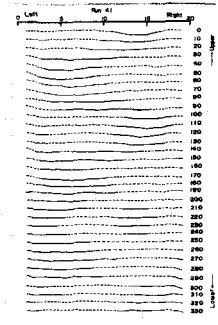


図2. 横断形状図(60分後)

ていると考えられる。図1, 図2を比べると時間とともに波長は伸びている。またRun 40を平衡状態に近いと考えて河床形態の蛇行波長 λ と水路幅 B との比をとると $\lambda/B=12$ となり一般河川における観測結果と同程度の値を示す。

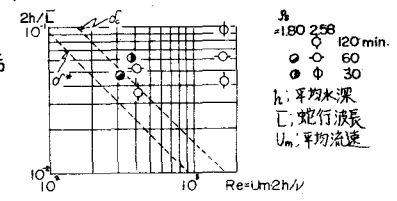


図4. 波長とRe数の関係

図3は Re 数と波長との関係を示す。図の破線 d_c は日野ら²⁾によって求められた層流下での河床波の発生理論から導かれた河床波の波長の存在する限界を示し、破線より下が存在領域である。また、破線 d_c は卓越波長である。本実験による値は Re 数の増加とともに波長が減少し、時間とともに波長が伸びることを示す。また、日野らの理論値とよい一致を見ないのは実際に生じた河床波が3次元的な形態を強く示すことその原因の一つと考えられる。

次に、水の約3倍程度に粘性を昇げた流体に対する実験結果を示す。図4がその120分通水後の縦断形状図である。図より2次元の規則性よりもむしろ3次元的な形状特性を示していることがわかる。普通の水に対する形状と比較するために τ_* , R_* がほぼ同じ実験ケースを各時間ごとに普通の水で行った実験より選んで表2に比較した。それによると R_* によって河床波の波高が大きく変化し、 R_* が10~15付近のものは、40~50付近のものより著しく波高が増大することがわかる。一方波長はあまり変化しない。この結果、抵抗は R_* が小さい方が大きい傾向を示している。

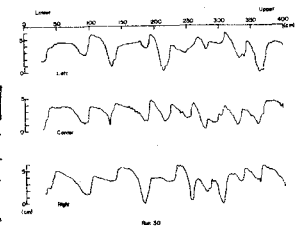


図5 縦断形状図 (中心線と60mmはなれた断面)

4. あとかき 層流下でも河床波が生じる。その形状は3次元的であり、交互砂州状のものである。河床波の前面は普通の河床波のように急ではなくきわめてゆるやかである。このため流れは、河床面上すべりにわたって離れてはく離していないと考えられる。河床波の波長は時間とともに長くなり、 Re 数が大きくなるほどみじかくなる。また河床波の発生は粒子の移動特性と密接な関係があると考えられ、一層にわたって河床面がすべるようなときには河床波は発生せず、個々の粒子が独立に移動するような状態ではじめて河床波が生じた。

通水時間	Run	τ_*	R_*	R/d	Δ/h	λ/h	U/U_*
120分	30	0.104	12.2	48.9	0.240	3.46	8.17
	14	0.081	42.4	45.4	0.085	3.35	12.8
60分	31	0.099	11.7	45.8	0.174	3.43	8.45
	13	0.117	46.5	38.5	0.068	5.14	9.22
30分	32	0.129	14.5	46.5	0.328	4.24	7.55
	14	0.137	50.9	50.8	0.115	3.61	9.75
15分	33	0.063	10.1	39.2	0.214	3.62	11.6
	13	0.099	41.5	37.8	0.071	6.31	9.15

注: R_* : 河床波の平均波高, λ : 波長, d : 平均水深, U/U_* : 流速係数

表2. 普通の水と、3倍の粘性を持った流体との比較

以上のことから、河床波の発生には主流部の乱れが、その主たる要因とはならないが、発達過程においては河床面近傍の乱れの特徴が重要な意味を持つと考えられ、 R_* が大きく関係している。

- 1) 水理学会河床波の形成と河床形態研究小委員会; 移動床流れにおける河床形態と粗度, 土木学会論文集 No.210, 1973
- 2) 日野幹男, 宮永洋一; 河床波の発生機構の解析, 第20回水理講演会論文集 1976