

京都大学 防災研究所 正員 芦田 和男
 和歌山県 土木部 正員 坪倉 伸
 京都大学 大学院 学生員 谷川 俊男

1. まえがき 河床波の生成と発達過程に対する流体の粘性の影響に関しては、従来から数多くの研究が行なわれている。その代表的なものは、河床形態や抵抗に及ぼす水温の影響についての研究であろう。その結果は現在必ずしも統一的に説明されてはいないようであるが、いずれも水温（流体粘性）が河床形態に大きな影響を持っていることを示している。一方、層流下においても河床波が形成されるかどうか、さらに河床波の形成に水流の擾乱がどのような影響を持っているかなどについての研究も行なわれているが、それについての見解も定まっていない。そこで、著者らは流体の粘性を大幅に変化させて河床波の生成と発達に関する実験を行ない、河床波の発生機構と発達に対する粘性の影響について考察し、2, 3の興味ある事実を明らかにした。

2. 実験の概要 実験水路は幅20cm、長さ780cmの丁クリル型。使用材料は平均粒径0.099cm、比重2.58の砂と平均粒径0.121cm、比重1.80の軽量骨材の2種類、いずれも粒径は比較的均一。粘性もあがるための流体としてグリセリンと水を混合したものをを用いた。流体の動粘性係数 ν (cm²/sec) の実験範囲は、河床波の生成に対する実験では、 $\nu = 0.342 \sim 0.769$ 、河床波の発達に対する実験では、 $\nu = 0.0087 \sim 0.031$ 。

いずれも上流から給砂は行なっていない。また、実験中、水位、流量、水温等は絶えず測定したが、グリセリンを混入した流体では気泡等のため通水中における河床の測定が困難であったため、通水停止後これを行なった。

3. 河床波の生成に対する粘性の影響 河床波の生成に対する Reynolds 数あるいは粒子 Reynolds 数の影響を調べるために、これらの値を非常に小さくして行なった実験結果の一部を表-1に示す。

表-1 河床波の生成に対する Reynolds 数の影響に関する実験結果

Run	ρ_s	d_m	ρ	ν	Q	I_c	R	U	R/d_m	Z_*	Re	R_*	Fr	通水時間 (分)	河床形態
37	1.8	0.121	1.24	0.769	0.73	1/119	1.95	15.8	16.1	0.300	40.1	0.631	0.341	121	平坦河床
39	2.58	0.099	1.26	0.523	2.55	1/22	2.54	41.8	25.7	0.201	184	0.776	0.772	121	ゆるやかな 河床擾乱
40	"	"	"	0.602	2.57	1/19	2.56	41.7	25.9	0.208	177	0.755	0.767	120	
41	"	"	"	0.643	2.85	1/105	2.42	47.5	28.4	0.222	179	0.731	0.905	60	Dunes
49	"	"	"	0.358	5.90	1/525	3.72	59.6	37.6	0.134	620	1.11	0.856	34	
50	"	"	"	0.342	5.80	1/149	3.36	67.8	33.9	0.183	665	1.36	1.05	59	"
51	"	"	"	0.366	5.90	1/157	3.32	70.2	33.5	0.172	637	1.23	1.09	120	

ここに、 $Re = UR/\nu$, $R_* = U_* d_m/\nu$

$Fr = U/\sqrt{gh}$ h : 水深

Re 数と粒子の移動特性、河床波の生成の関連を次に示す。

(1) $Re \approx 40.1$ の場合 (Run 37) . 粒子は一層にわたって河床面全域で、ほとんど等速度で非常にゆっくり転動しながら移動し、河床面近傍においても水流の擾乱はほとんどないように見受けられる。この場合には、いかなる河床波も形成されなかった。

(2) $Re \approx 180$ 程度 (Run 39~41) においては、個々の粒子は独立に不規則に移動、停止を繰り返す、普通に見られる移動床上的の粒子の動きと変らない特性を示す。これは、水路入口での水流の擾乱が実験区間内で消滅してしま

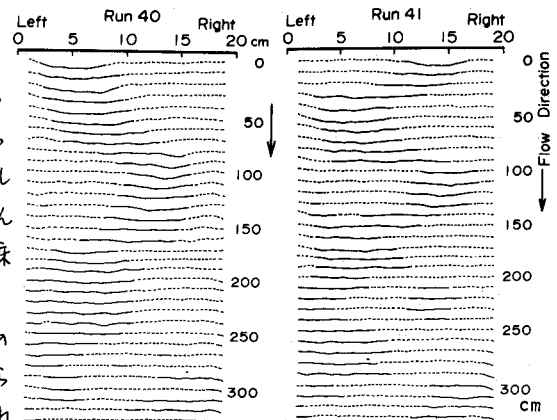


図-1 河床面の擾乱 ($Re \approx 180$)

われないこと、および河床面で新たに形成される擾乱の影響と考えられる。この場合には河床波が形成されたが、RipplesやDunesではなく、河床波の下流側でも流線は剥離せず、きわめてゆるやかな勾配を持つた一種の河床面擾乱である。図-1に、この河床形態を示す。図中実線は横断方向の平均河床位よりも低い所を示しているが、蛇行する傾向が認められる。蛇行波長を明確には読み取ることは出来ないが、時間とともに若干伸びており、また蛇行波長と水路幅の比は従来知られている範囲に入っている。

(3) $Re \approx 600 \sim 650$ という層流から乱流への遷移領域近傍の場合 ($Run < 9 \sim 1$) においては、上に示した河床擾乱は発達し、河床波の下流側に切り立った部分が生じ、水流は剥離し、Dunesの河床形態であると考えられる。このように、Dunesの形成には、砂粒あるいはその種重おの下流側に生ずるeddyの存在が大きいかかわっているものと思われる。従来、RipplesおよびDunesの形成の下限はそれぞれ $U_* d_m / \nu \approx 3.5$ および8程度であるという研究もあるが、本研究では、 $U_* d_m / \nu \approx 1$ 程度においてもDunesと認められる河床形態が形成されており、従来の指摘は一般的なものではないようである。

4. 河床波の発達に対する粘性の影響 河床波のうち、Dunesの波長、水深比 Δ/h および波高、水深比 Δ/h は、次のような無次元量によって支配される。

$$\frac{\Delta}{h} = f_1 \left(\frac{U_* d_m}{\nu}, \frac{R}{d_m} \right) \quad ; \quad \frac{\Delta}{h} = f_2 \left(Z^*, \frac{R}{d_m}, \frac{U_* d_m}{\nu} \right)$$

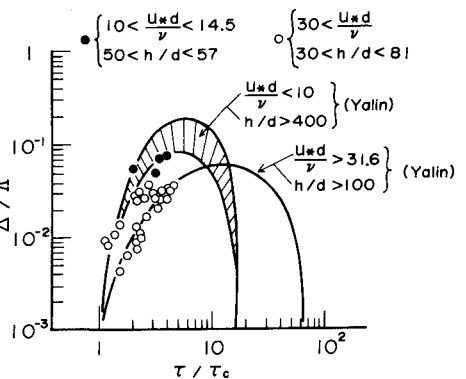
河床波の形状特性に及ぼす粘性の影響は $U_* d_m / \nu$ の効果によって評価される。そこで、実験結果から Z^* および R/d_m がほぼ同じで $U_* d_m / \nu$ の値だけ異なる組を取り上げて河床波の形状特性がどのように異なるかを示すと表-2のとおりである。

表-2 河床波の形状特性、抵抗に及ぼす粘性の影響

河床波の形状特性は、 $U_* d_m / \nu$ の値によって、大きく変化する。 $U_* d_m / \nu = 10 \sim 15$ 付近のものは $40 \sim 50$ 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。その結果、抵抗は増大する。ここに示した実験結果と、Yalinによって求められている結果と比較したものが図-2である。 R/d_m の範囲は若干異なり完全な比較ではないが、両者はかなりよく一致していると見る事ができる。また、 Z^* のある値で、Lower RegimeからUpper Regimeに遷移するが、その時の Z^* の値は R/d_m と $U_* d_m / \nu$ で変化する。後者の影響については $U_* d_m / \nu$ の小さい方が早く遷移することが知られる。このように、 Z^* の領域によって、河床波の形状特性や抵抗に及ぼす粘性の影響が全く逆に現われ、これによって、従来得られている水盤の影響についての事実を説明することができる。上に示した実験的事実が何にもとづくものであるかの物理的な説明は現在の所明確にできないが、 $U_* d_m / \nu$ が小さくなることは、砂粒子運動の慣性力に対する抵抗力が大きくなることに対応し、水流と流

通水時間 分	Run	Z^*	$U_* d_m / \nu$	R/d_m	Δ/h	Δ/h	U/u_*
120	30	0.104	12.2	48.9	0.240	3.46	8.17
	14	0.081	42.4	45.4	0.083	3.35	12.8
60	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	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	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



砂の間に存在するおくれの距離が小さくなることを意味する。図-2 河床波の発達過程に対する $\frac{U_* d_m}{\nu}$ の影響 このような砂粒子の運動特性が、河床波の発達や減衰に大きく関係しているものと著者は考えている。一方、本研究によって得られた Δ/h の値は、Yalinによって求められているものとほぼ一致した。また、本実験では、 Δ/h が $U_* d_m / \nu$ でそれほど変化しなかったが、それはまたよ、 R/d_m のそのような範囲で実験を行なったため、一般には変化することが予想され、今後の検討が必要である。