

管水路と開水路における河床波の比較研究

神戸大学工学部 学生員 〇松田尚久
 神戸大学工学部 正員 寛 源亮
 久保田鉄工 正員 難波 徹

1. まえがき 本研究は管水路と開水路における河床波の発生限界と発達状態についての調査を行った。この実験より河床波の発生機構に関して若干の考察を行った。

2. 実験方法 実験装置は全長100cm幅7cmの水路に比重1.04 粒径0.08cmのポリスチレン粒子を敷きつめ、水深15cmから55cmの間で管水路と開水路における河床波の発生と発達状態を記録した。また別途、全長200cm幅20cmの水路に比重2.60 粒径0.032cmの砂粒子を用いて同様な実験を行った。

3. 河床波の発生限界と発達状態 河床波が発生しないか、発生しても時間の経過と共にその波高が減衰するものを安定状態とし、不安定状態は発生した河床波が時間の経過と共にその波高を増しながら発達するものとした。図1,2において破線よりRe数、Fr数の大きな領域が不安定領域となる。但し、ここで $Re = u \cdot R / \nu$ (u :平均流速, R :径深) $Fr = u / \sqrt{gR}$ である。同図より同一径深の場合に開水路の方が小さなFr数、Re数で河床波が発生することは明らかである。

管水路と開水路及び砂粒子の場合の波長の発達状態を図3に示す。図3より河床材料の比重と粒径が異なると波長の発達状態が大きく異なる。比較実験によって得られた結果をまとめると、①波高、波長、波速は発達した後、最終的には一定値に収束していくが、

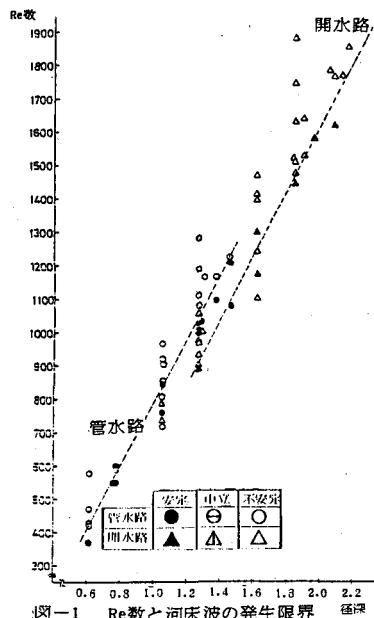


図-1 Re数と河床波の発生限界

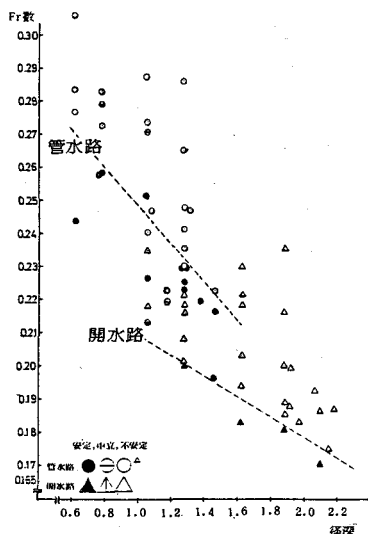


図-2 Fr数と河床波の発生限界

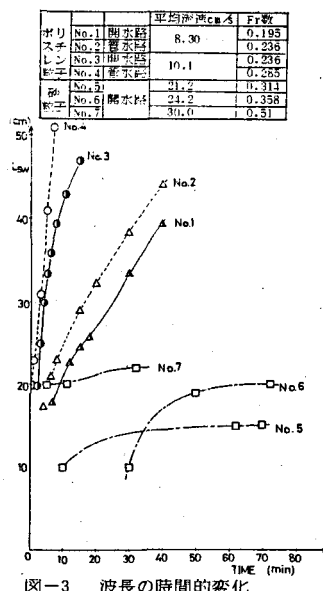


図-3 波長の時間的変化

Motoaki YANO, Tohru NAMBA, Takahisa MATSUDA

収束する速さと収束値は管水路の方が大きくなる。②Fr数が大きくなるほど管水路と開水路の波速の差は大きくなる。③水深が小さくなればどちらも波長の収束値が大きくなる。

4. 流速分布と河床状態 Re数より流れは層流と乱流の遷移領域にあると思われる。表-1は管水路と開水路の各水深における河床波が発生する限界の速度勾配 $\partial u/\partial y$ と平均流速 U を示している。ここにおける $\partial u/\partial y$ は、 δ をBlasiusの解による層流境界層厚として $\delta/\delta^* = 0.2$ となる点の流速 u を δ で除した値である。表より 開水路の方が小さな速度勾配で河床波が発生し、水深が小さいほどこの傾向は明らかである。

砂粒子とポリスチレン粒子を比較すると、砂粒子では河床波が発生する限界の速度勾配は非常に大きくなる。河床材料の比重と粒径の違いは河床波の発生限界に大きな影響を与える。

図-4において 破線より速度勾配の大きな領域が 管水路及び開水路の不安定領域となる。但し、ポリスチレン粒子には $(\partial u/\partial y)_c = 35.0(\%)$ 、 $U_c = 7.7(\text{cm/s})$ 、砂粒子には $(\partial u/\partial y)_c = 106$ 、 $U_c = 21.2(\text{cm/s})$ を用いた。図-4より 河床波は速度勾配が一定値以上になると発生すると思われる。

5. 河床安定理論と実験値 底面剪断力が振動成分を持つと仮定して、開水路の基礎式から河床波の発生の中立条件(④式)を求めた。

$$Fr = \frac{1}{1-C_b} \sqrt{1 + Tc \left\{ \tan \theta + \frac{A}{\alpha_1(P\alpha_2 - \beta_2)} \sec \theta \right\}} \quad \text{----- ①}$$

平均流速を U 、平均水深を H 、平均底面剪断力を T として①式の各パラメータは $Fr = U/\sqrt{gH}$ 、 $C_b = 1/\sigma(\beta_1/\alpha_1)$ 、 $Tc = T/\rho g H$ 、 $A = 1/6 \{ \rho g \beta_2 \alpha_2^2 / (\gamma - C_b) \}$ 、 $\theta = (\alpha_2 - \alpha_1)\alpha - (\beta_2 - \beta_1)\alpha$ 、 $P = \gamma/6$ 、 $\gamma = 1/\sigma$ である。

図-5に理論曲線と実験値を示す。ここに α_1 は河床じょう乱の波数であり、 α_2 は底面剪断力の波数である。 β_1 は河床じょう乱の角振動数であり、 β_2 は底面剪断力の角振動数である。 $\alpha_1 = \alpha_2$ は河床じょう乱の波長と底面剪断力の波長が等しいことを示す。実験値より ポリスチレン粒子と砂粒子では α_1 の値が異なることがわかる。従ってポリスチレン粒子と砂粒子ではこの理論を満足する状態が異なり、ポリスチレン粒子には $\beta_2 = 1.7\beta_1$ 、砂粒子には $\beta_2 = 2.1\beta_1$ が得られた。このことから α と β は河床材料の比重、粒径の変数ではないかと考えられる。今後これらについて河床材料を変化させ調査したい。

表-1 河床波の発生限界の速度こう配

ポリスチレン粒子	水深	管水路	開水路
	2 cm	$\partial U/\partial Y$ 41.65 U 7.44	32.8 7.13
3 cm	3 cm	$\partial U/\partial Y$ 37.73 U 7.92	33.1 7.62
	4 cm	$\partial U/\partial Y$ 36.25 U 8.14	34.95 7.95
砂粒子	9 cm	$\partial U/\partial Y$ U	106 21.2

単位 $dU/dY: 1/s$, $U: \text{cm/s}$

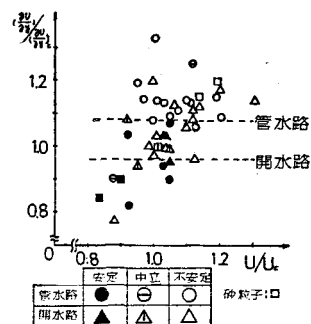


図-4 河床波の発生限界と速度こう配

河床材料: ポリスチレン粒子			河床材料: 砂粒子		
水深cm	Ave. α_1		水深cm	α_1	
4.0	0.376		8.7	0.76	
3.0	0.338		8.6	0.60	
2.0	0.418		9.1	0.64	
$\alpha_1 = \alpha_2$ $\beta_2 = 1.7\beta_1$			$\alpha_1 = \alpha_2$ $\beta_2 = 2.1\beta_1$		

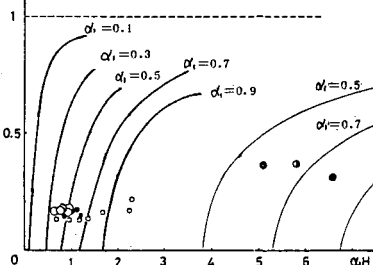


図-5 難波の理論曲線と本研究の実験値

《参考文献》(1)難波徹; 河床波の発生機構に関する研究, 神戸大学修士論文, 1985