

(Ⅱ-18) 河床波上の底面せん断応力の特性について

防衛大学校 研究科 学生員 植松 正伸
 防衛大学校 講師 正員 林 建二郎
 防衛大学校 教授 正員 重村 利幸

1. はじめに

底面せん断応力と底面形状との間に生ずる位相差が、河床波の成長を支配する要因となることが、既往の研究により指摘されている。しかし、位相差が河床波の成長にどのような影響を及ぼすかについては未だ十分に解明されていない。そこで本研究は、(1) 風洞実験により、固定床において波状断面上の底面せん断応力分布を詳細に測定し、更に、(2) 移動床実験を行なって、河床波の変動を調べ、両実験の成果を比較することにより、種々の水理条件下における河床波の発生及び発達機構について検討したものである。

2. 実験装置及び実験方法

実験には、幅40cm、高さ39cmの断面を持つ長さ5mの風洞を用いた。(1)の固定床実験では、風洞内に敷きならした豊浦産標準砂($d_{50}=0.2\text{mm}$)に、風速7.5m/sの風を通風してできた波長8.5cm、波高2.6mmの砂澱を参考にして表面が滑らかな波状模型を作り、これを風洞内に図1aに示すように設置した。波状断面

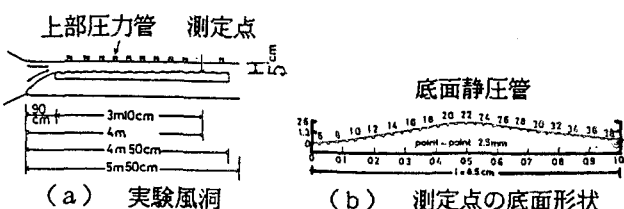


図1 実験装置の概要

上の底面せん断応力分布を測定した。底面せん断応力の測定には、プレストン管を用いた¹⁾。底面静圧管は、point-point縦断間隔2.5mmで、計44本取り付け付けた(図1b)。次いで、豊浦産標準砂($d_{50}=0.2\text{mm}$)、 $d_{50}=0.6\text{mm}$ の砂(0.42mm~0.84mm)、 $d_{50}=1.5\text{mm}$ の砂(1.2mm~1.7mm)を上記の波状模型上に貼りつけ波状床面が粗度を持つ場合の実験も行った。尚、後者における底面せん断応力の測定においては、プレストン管の底に小片(5mm×5mm×0.2mm)を取り付け、砂粒子によるウエークの影響を取り除いた²⁾³⁾。また、平均底面せん断応力は、上部圧力管の圧力差より足立による断面分割法⁴⁾を用いて算定した。(2)の移動床実験では、上記の砂粒子を風洞内に平坦に敷き詰め、砂澱の発生領域、形状を調べた。更に、(1)の実験に用いた波状模型と同程度の波長、波高を持つ初期形状を与え、初期形状からの粒径の違いによる、砂澱の発生及び発達を調べた。

3. 実験結果及び考察

(1) 底面せん断応力分布の特徴：図2は、位相差 ϕ と無次元波数 $\alpha_+ = 2\pi\nu/(LU_*)$ の関係を示す(ここに、 ν ；動粘性係数、 L ；波長、 U_* ；摩擦速度)。位相差は、底面せん断応力の分布にフーリエ解析を行ない、得られた基本モードのピーク値と、底面形状を比べる事により定めた。同図中、砂粒子を貼りつけない場合の位相差が、 $d_{50}=0.2\text{mm}$ の砂粒子を貼りつけた場合の位相差より大きい場合をA領域、砂粒子を貼りつけない場合の位相差

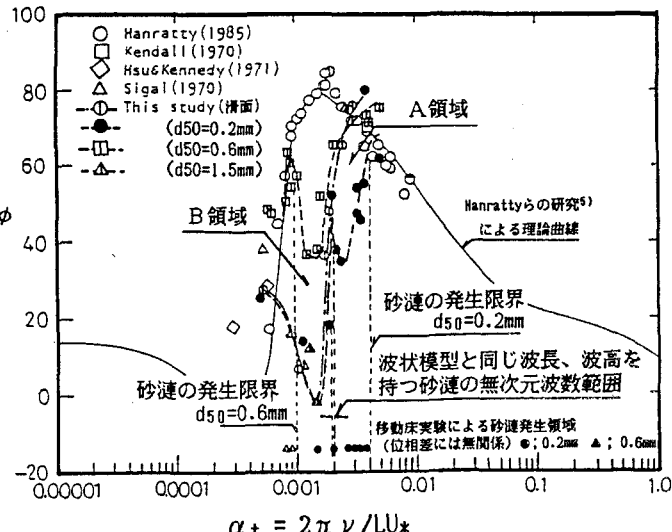


図2 無次元波数と位相差の関係(ν ；動粘性係数、 L ；底面形状の波長、 U_* ；摩擦速度、)

が、 $d_{50}=0.6\text{mm}$ の砂粒子を貼りつけた場合の位相差より小さい場合をB領域で示している。更に、Hanrattyによってまとめられた他の研究者らのデータ及びHanrattyらの理論曲線⁵⁾、並びに、今回行った移動床実験において、平坦床から発生した砂漣の発生領域を示す無次元波数範囲(位相差に無関係)をも記入している。

この図より、以下の事が明らかになった。(a) 0.2mm の砂粒子を貼りつけた場合には、位相差のピーク($\alpha=0.004$)は、移動床実験($d_{50}=0.2\text{mm}$)結果において現われる砂漣の発生限界付近に相当している。また、固定床実験に用いた波状模型とほぼ同じ波長、波高を持つ砂漣の無次元波数範囲($\alpha=0.002$)において砂を貼りつけない場合と位相差が一致している。更に、波状模型と同じ波長、波高を持つ初期形状を与えた移動床実験($d_{50}=0.2\text{mm}$)結果より、A領域では、初期形状の上に砂漣は発生せず、初期形状を維持した。

(b) $d_{50}=0.6\text{mm}$ の砂粒子を貼りつけた場合には、位相差のピークが2つ現われている。無次元波数 $\alpha=0.003$ で生じている第1ピーク値は、砂粒子を貼りつけない場合とほぼ等しい。第2ピーク($\alpha=0.001$)は、移動床実験($d_{50}=0.6\text{mm}$)結果において現われる砂漣の発生限界付近に相当している。また、無次元波数 $\alpha=0.002$ 付近において、位相差が砂を貼りつけていない場合と分岐している。更に、波状模型と同じ波長、波高を持つ初期形状を与えた移動床実験($d_{50}=0.6\text{mm}$)結果より、B領域では、初期形状は、一担平坦化し再び波長 18cm の砂漣が発生した。

(c) 完全粗面となる $d_{50}=1.5\text{mm}$ の砂を貼りつけた場合は、位相差がほとんど現われない。移動床実験($d_{50}=1.5\text{mm}$)では、砂漣は発生しなかった。

(2) 摩擦損失係数とレイノルズ数の関係；図3は、摩擦損失係数とレイノルズ数の関係を示す。図中の ks/D の実線は、Nikuraseの人工粗度による実験結果である。(a) 砂粒子を貼りつけない場合、相対粗度は 0.002 程度である。この場合、本実験では、管径 $D=10\text{cm}$ に相当することから相当粗度 ks は、 0.2mm 程度である。(b) 砂粒子を貼りつけた場合、相当粗度は貼りつけた砂の粒径程度である。ここで、興味あることは、 $d_{50}=0.6\text{mm}$ の砂粒子を貼りつけた場合、粗滑遷移領域においてNikuraseの実験結果と異なっていることである。この領域は、図2における2つの位相差のピーク値の間($0.001<\alpha<0.004$)に相当する。今後、更に実験ケースを増やして、より詳細な検討を行う予定である。

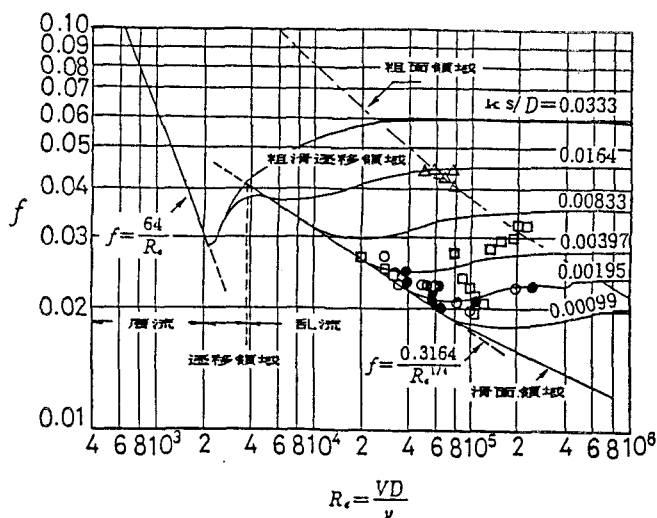


図3 摩擦損失係数とレイノルズ数との関係

○；滑面，●； $d_{50}=0.2\text{mm}$
□； $d_{50}=0.6\text{mm}$ ，△； $d_{50}=1.5\text{mm}$

合、相当粗度は貼りつけた砂の粒径程度である。ここで、興味あることは、 $d_{50}=0.6\text{mm}$ の砂粒子を貼りつけた場合、粗滑遷移領域においてNikuraseの実験結果と異なっていることである。この領域は、図2における2つの位相差のピーク値の間($0.001<\alpha<0.004$)に相当する。今後、更に実験ケースを増やして、より詳細な検討を行う予定である。

<謝辞> 本研究にあたり、種々御指導、御助言を頂いた北海道大学助教授山田正先生に謝意を表します。

<参考文献>； 1) PRESTON, J.H: The determination of turbulent skin friction by means of pitot tubes, Journal of the royal aeronautical society, vol.58, pp.109-121, 1954.

2) Hang, L.S and Laursen, E.M: Shear measurement technique for rough surfaces, ASCE, vol.89, No. HY2, pp.19-37, 1963. 3) Malcolm, H: Boundary shear stress measurement by preston tube, ASCE, vol.94, No. HY7, pp. 1053-1057, 1976.

4) 足立昭平：長方形断面水路の側壁効果に関する研究、土木学会論文集第81号、pp.17-24, 1962.

5) HANRATTY, T.S: Relaxation effects observed for turbulent flow over a wavy surface, J. Fluid Mech, vol 151, pp.443-445, 1985.