

河床波特性とその抵抗則

鳥取大学工学部 正員 道上 正規

鳥取大学工学部 正員 鈴木 幸一

鳥取大学大学院○学生員 檀谷 治

1. はじめに 本研究は、河川における流水の疎通能力を左右する流水に対する河床の抵抗と河床形態特性との関係を実験的に検討したものである。具体的には、実験水路上に河床波とくに小規模河床形態の砂堆を形成させ、それらのデータから河床波の特性と抵抗則との関係を主に従来の抵抗則に関する種々の提案式の妥当性を検討することによって明らかにしようとした。

2. 実験の概要 実験水路は、長さ20m、断面が50cm×50cmの長方形断面水路であり、上流端に毎秒0から0.278cm³/sec-cmの間で任意に一定量の給砂が可能なエレベーター式給砂装置を有する。実験方法は、水路全体に平均粒径0.6mmの均一砂を15cm厚に均一に敷き、一定流量、一定給砂量のもとに、水面勾配と河床勾配および給砂量と流出砂量のどちら

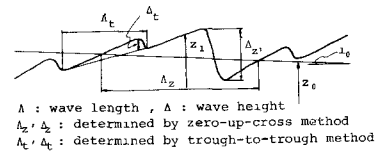


図-1 波高および波長の定義

も等しくなる定常状態が得られるまで通水を続け、その後水面形状および河床高の縦断形状を測定する。また、波高および波長は図-1に示すように基線を z_0 にするZero-up-cross法(Z-C法)と元の記録紙上で波の谷から谷を一つの波として連続した全ての波を読む方法(Trough-to-trough法)の両方によって求める。ここで、Trough-to-trough法(T-T法)は、砂州のような大きな変動を除外できるという特徴がある。

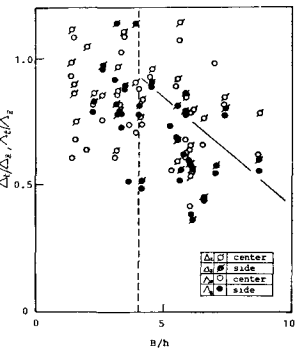


図-2 $\Delta_z/\lambda_z, \lambda_z/\lambda_t$ と B/λ_z との関係

3. 河床波の特性 図-2はZ-C法で求めた波高 Δ_z 、波長 λ_z とT-T法で求めた Δ_t, λ_t との比 $\Delta_t/\Delta_z, \lambda_t/\lambda_z$ と水路幅 B と水深 h との比 B/h との関係を示したものである。 $B/h < 4$ では $\Delta_t/\Delta_z, \lambda_t/\lambda_z$ は平均的に1に近いが、 $B/h > 4$ ではどちらも B/h の増加とともに減少する傾向にあることが認められる。このことは、 $B/h < 4$ では、砂州が生じていないが、砂州のスケールが砂堆のスケールより小さくなっているが、 $B/h > 4$ になると砂州が生じ、砂州と砂堆が共存している状態になってくことを示していると考えられる。

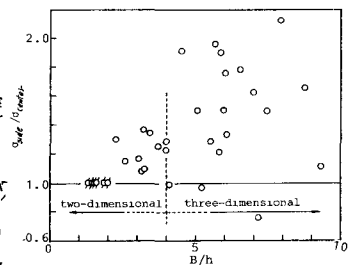


図-3 $\sigma_{side}/\sigma_{center}$ と B/h との関係

次に河床波の水路横断特性を検討したものが図-3である。この図は水路側壁近くでの河床高の標準偏差 σ_{side} を中央測線での σ_{center} で無次元化したものと、 B/h との関係を示したものである。 $B/h < 4$ では $\sigma_{side}/\sigma_{center}$ はほぼ1であるが、 $B/h > 4$ では多少のばらつきはあるものの $\sigma_{side}/\sigma_{center}$ はかなり大きくなっていて、2以上のものも認められる。このことから、 $B/h < 4$ では河床形態は二次元的に、 $B/h > 4$ では三次元性を呈してくる考えられる。

4. 河床波の抵抗則 従来の移動床水路における抵抗則の問題に関する研究は、大きく2つに分けられる。一つは、抵抗係数と次元解析等得られた種々の水量量との関係を明らかにするものと、もう一つは、全抵抗を河床波による形状抵抗と河床面の砂粒による摩擦抵抗とに分離して取り扱うもので、河床波形状を仮定し、その上の流れをモデル解析することによってエネルギー損失を算定するものである。本研究では、それぞれの場合について、従来の研究結果に対する実験データの適合性の比較検討を行なった。ここで、波高および波長は、Z-C法によって求めたものを使用した。また、波高および波長に關して中央測線の値だけでなく、中央測線の値と側壁近くの値との平均値($\bar{\Delta}, \bar{\lambda}$)も使用し、両者の適合性を比較した。

4-1. 抵抗係数と水理量との関係 図4は流速係数 u/u_* と無次元掃流力 τ_* との関係を示したものである。ここに、 u :¹⁾平均流速、 u_* :²⁾摩擦速度である。また、図中の実線および破線は、芦田道上および岸黒木の提案曲線 $R/d=100$ を示している。ここで、 R は径深、 d は平均粒径である。図4より、芦田道上の提案曲線の方が、岸黒木のものよりもデータの適合性が高いということが認められる。また、 $B/d \sim 4$ の○印のデータは比較的良好に適合しているが、 $B/d < 4$ では全体的に u/u_* が提案値よりも大きな値をとっており、 $B/d < 4$ では抵抗が小さくなっていると思われる。

次に平均波高 Δ と開水路流れの平均流速 U の式

$$\frac{U}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log \frac{R}{R_s}$$

で定義される相当粗度 R_s との関係を示したものが図5である。ここに、 R は径深あるいは水深である。この図によると、バラツキは大きいものの、ほぼ式のような関係にあることが認められる。

$$R_s = 0.4 \Delta^{2.0}$$

4-2. 河床形状特性と抵抗則との関係 従来、この関係に関して、田中³⁾、Yalin⁴⁾、吉川・石川⁵⁾、Tanoni and Hwang⁶⁾ および岸⁷⁾が研究を行なっている。本研究では、それぞれの提案式と実験データの適合性を検討したのであるが、吉川・石川の提案式が比較的良好に適合するという結果を得た。吉川・石川の場合の結果を示したものが図6である。この図は u/u_* に関して実測値と計算値を比較したものである。また、この章の始めで述べた、波高および波長に関して、中央測線だけの値を用いた場合と中央測線の値と側壁近くの測線の値を平均して用いた場合の比較を行なったものが図7と図8であり、前者を図7に、後者を図8に示した。またここで用いた提案式は、田中³⁾のものである。両図を見ると、図7よりも図8の方が比較的良好に適合していることがわかる。つまり、波高・波長は中央測線の値と側壁近くの測線の値との平均値を用いた方がよいということであるが、これは前章で述べたように、水路横断方向に河床形態が三次元的になっており、中央測線だけの値で全体の波高、波長を表現しえないことからくるものと考えられる。

5. おわりに 以上が検討結果であるが、全体的に $B/d < 4$ のデータを従来の提案式はあまりよく説明しえないという結果が出た。このことは従来の実験が $B/d \sim 4$ であったためと考えられるが、 B/d によって河床形態が二次元的、三次元的と異なることと、抵抗特性が変化することが明らかになったので、今後、河床形態を二次元的、三次元的という観点からも検討する必要があると思われる。

(参考文献) 1) 芦田道上: 土木学会論文報告集, 第206号, 1972. 2) 岸・黒木: 北大工学部研究報, 1972.

3) 田中: 京都大学博士論文, 1972. 4) Yalin, M. S.: La Houille Blanche No.1, 1964.

5) 吉川・石川: 土木学会論文報告集, 第281号, 1979. 6) Tanoni and Hwang: Proc. ASCE, Vol. 93 No. HY-3, 1967. 7) 岸: 第26回土木学会年次学術講演会講演集, 1971

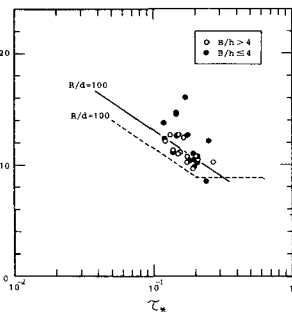


図4 u/u_* と τ_* との関係

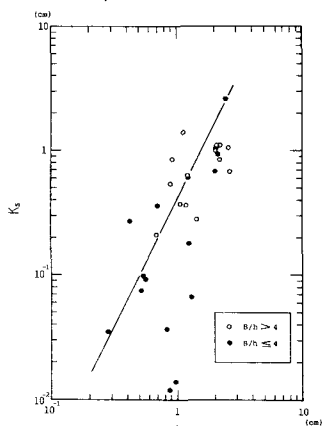


図5 R_s と Δ との関係

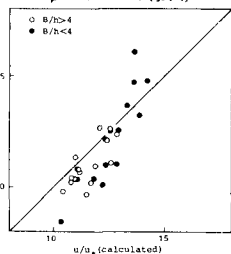


図6 u/u_* に関する実測値と計算値の比較

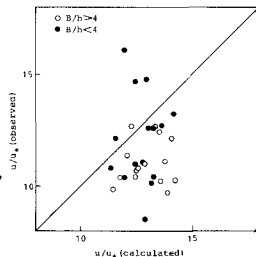


図7 u/u_* に関する実測値と計算値の比較(田中)

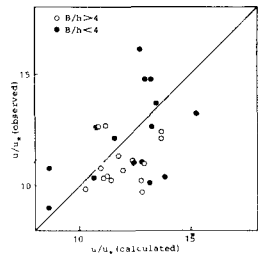


図8 u/u_* に関する実測値と計算値の比較(岸)