

河岸抵抗による砂堆の横断変化と流れの解析

広島大学
広島大学
広島大学

学生会員
正会員
フェロー会員

○中島奈桜
内田龍彦
河原能久

1. 序論

河道では水理条件により河床に周期的な河床形態が生じる。その一種である砂堆は河床の抵抗となり、洪水時の水位を上昇させる。そのため、砂堆の抵抗予測が必要である。現在までにいくつかの砂堆の数値解析法¹⁾が提案されているが、これらは狭い実験水路での鉛直二次元場での再現に留まり、実河川規模の三次元河床波に適応するには課題が多い。例えば、実河川では構造物や植生などの河岸の抵抗により小規模河床形態が横断方向に変化する²⁾。このような河岸抵抗と砂堆の関係性には未解明な部分が多く、既往の研究が少ない。

本研究では河岸抵抗と砂堆の関係を明らかにすることを目的とし、現地実験データと室内実験から砂堆の横断分布特性を調べるとともに、河岸抵抗がある場合の砂堆を有する流れの解析法を検討する。

2. 千代田実験水路における砂堆の横断分布特性

現地実験は北海道十勝川に設置された千代田実験水路で行われた河床変動実験²⁾を対象とした。千代田実験水路を図-1に示す。上流端から400m地点から左岸側に矢板、右岸には護岸ブロックが設置されている。この実験で得られた十分発達した河床波の波長の横断分布を図-2に示す。波長は矢板側に近づくにつれて小さくなる傾向に見える。次に底面の抵抗特性と波高について調べる。相当粗度 k_s は実験の流速データ(縦断距離610m)を用いて、式(1)から算出した。

$$u = 8.5u_* + 5.75u_* \cdot \log_{10} \left\{ (z - z_0) / k_s \right\} \quad (1)$$

u : 流速, u^* : 摩擦速度である。相当粗度 k_s の特徴の検討に先立ちその妥当性を検証する。式(1)から算出される摩擦速度 u^* からせん断応力 τ を求め、それを横断積分した計算値は 35.2 N/m^2 であった。一方、実験値の水面勾配を用い等流と仮定すると、 30.0 N/m^2 であった。

$$\tau = \rho g h i \quad (2)$$

τ : せん断応力, g : 重力加速度, h : 水深である。計算値がと概ね一致しており、相当粗度 k_s は式(1)を用いて

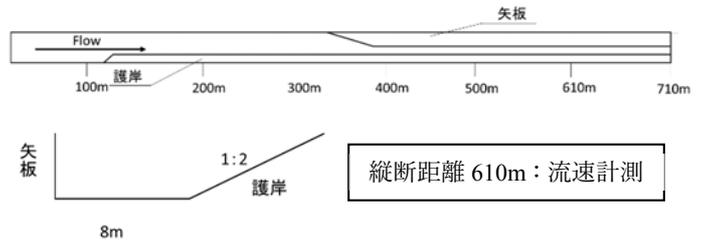


図-1 千代田実験水路図

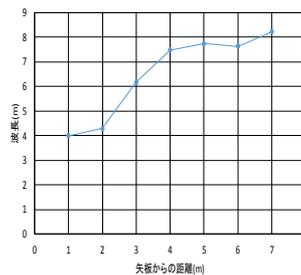


図-2 波長横断分布

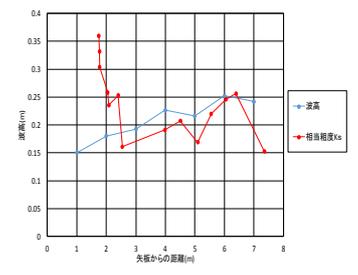


図-3 波高と相当粗度の横断分布

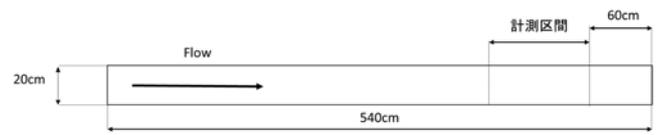


図-4 室内実験水路図

算出できるといえる。図-3は十分発達した河床波の波高と相当粗度 k_s の横断分布を示す。矢板近傍では側方せん断応力が流速の鉛直分布に影響するため、底面の相当粗度 k_s が正しく見積もれていないと考えられるが、河床波の波高と相当粗度 k_s は、波長と同様に矢板に近づくにつれて減少する傾向がみられる。このことから矢板側の抵抗により、河床波の波長、波高ともに発達が抑制されていると考えられる。

3. 河岸抵抗のある実験水路における砂堆の横断変化

河岸抵抗と小規模河床波形態の関係を調べるため室内実験を行った。図-4に実験水路図を示す。実験条件は無次元せん断応力 ($\tau_* = 0.17$) と Fr 数 ($Fr = 0.48$) が千代田実験水路と同じになるよう、流量 Q を $6.78 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{s}$, 勾配 S を $1/200$ とした。河床材料は 0.8 mm の一様砂を使用した。なお、通水時間は砂堆が十分発達する 30 分

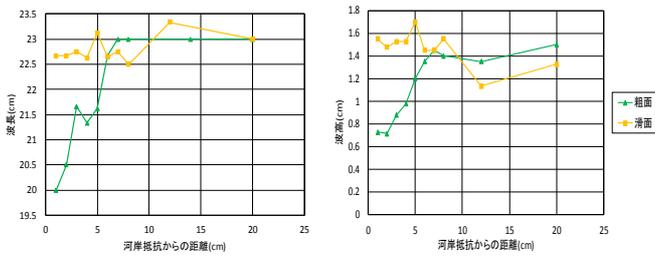


図-5 波長横断分布

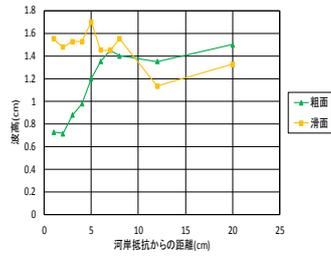


図-6 波高横断分布

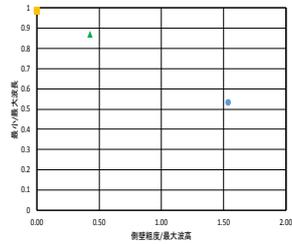


図-7 側壁粗度と波長の比較

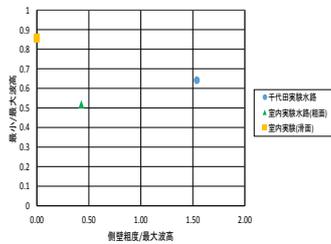


図-8 側壁粗度と波高の比較

とし、水路左岸側に人工芝を取り付け粗面とした場合と取り付けない場合(滑面)を比較する。河床高は 60 cm から 160 cm の 100cm 間を 10cm 間隔で超音波河床計測機器を用いて測定した。ただし、河床波形成時は河床波のクレスト部とトラフ

部は別途計測した。図-5, 6 に波長, 波高の横断分布を示す。どちらも、側壁が滑面の場合には横断変化は見られないが、粗面の場合には抵抗に近づくにつれて波高, 波長どちらも減少している。図-7, 8 は側壁の粗度と波長, 波高それぞれについて、室内実験水路と千代田実験水路の結果を比較したものである。ここでは簡単のため側壁粗度は粗度の凹凸の高さ(千代田実験水路 36cm, 室内実験水路 0.6cm)としている。図-7 より側壁の抵抗が大きくなるにつれて波長は小さくなる。しかし、図-8 の波高から千代田実験水路は抵抗の大きさに対して波高の減少が小さいように見える。側壁粗度の評価法に課題があるものの、その理由の一つとして、千代田実験水路の河床材料は粒度分布を持っており、混合粒径の効果によって、小規模河床形態の波高が一樣粒径と比べ小さくなったと考えられる。

4. 流れの数値解析

側面に粗度を有する水路に小規模河床波のある流れの解析法を検討する。基礎式には 2 次元の浅水方程式を用い、河床は平坦として河床波の影響は底面粗度で評価する。相当粗度は実験データから得られた図-3 から与える。解析の範囲は図-1, 解析条件は表-1 に示す。数値計算により算出された水面形と水深平均流速

表-1 解析条件

格子間隔(m)	dx=5, dy=1(100m-400m) dx=1, dy=1(400m-710m)
dt(sec)	0.01
境界条件	流量: 70 m ³ /s, 下流端水深: 3 m
相当粗度(m)	0.23 (0m-4m) 0.27 (4m-8m) 0.14 (護岸ブロック)

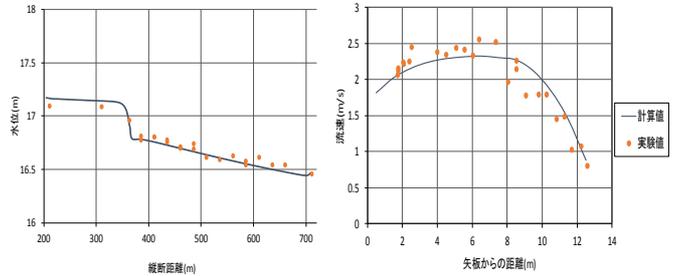


図-9 水面形の比較

図-10 平均流速横断分布 (縦断距離 610m)

の横断分布の実験結果との比較を図-9 と図-10 に示す。水面形では解析結果が良好な結果を示している。ただし、200m から 300m 地点では図-1 に示すように数値解析では側壁の設置に伴う河床洗堀による断面拡大を考慮していないため実験値よりも水位が高く計算されたと考えられる。側壁の抵抗範囲では水深平均流速では解析結果と実験測定値が同じ傾向を示している。

5. 結論

千代田実験水路で行われた現地実験と室内実験の結果から河岸抵抗による河床形態の発達抑制が見られた。また、河岸抵抗が大きくなるにつれて波長の減少が見られた。波高は多粒径による河床形状特性により現地実験で波高の減少が小さくなったと考えられるが、概ね波長同様に側壁粗度が大きくなるほど減少すると考えられる。解析では河床形状を考慮した相当粗度 k_s の横断分布を用いて行ったところ河岸抵抗を有する範囲では水面形, 水深平均流速の横断分布ともに良好な結果を得た。

参考文献

- 1) 内田龍彦, 福岡捷二: 浅水流の仮定を用いない水深積分モデルによる種々な小規模河床形態の統一的解析法の構築, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 69, No. 4, Volume 49, Issue 9 I_1135-I_1140, 2013.
- 2) 柿沼孝治, 井上卓也, 赤堀良介, 武田淳史: 千代田実験水路の移動床抵抗に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 69, No. 4 p. I_1087-I_1092, 2013