

東京工業大学大学院 学生会員 山坂 昌成
東京工業大学工学部 正会員 福岡 捷二

1. はじめに 本研究は、交互砂州上の流れを理論的に求めるとともに、
流砂運動までもを統一的に取り扱ひ、交互砂州の発達過程を理論的に説
明し、平衡波高を得ることを目的とする。

2. 解析 交互砂州の発達過程の解析の流れを図2に示す。交互砂州
の形状を卓越した2つのモードの和として(1)式で与える(step 1)。
図3に(1)式で表現される河床形状の1例を示す。(1)式は、河床高さの
高いところをほぼ平坦で、側岸付近が深掘れする実際の交互砂州の横
断形状を良く表現している。(1)式の第2項は、縦断方向に1波長平均
した河床の横断形状であり、藤田ら^{1),2)}の薄鋒型形状に対応する。この
ような河床形状が発達する機構は、既に著者ら³⁾が理論的に明らかに
している。交互砂州上の流れを平面的二次元流解析により求める(
step 2)。交互砂州の安定解析では、一般に流れは線形解を用いる。
しかし、河床形状に対して流れおよび流砂量が線形であれば、流れが
河床形状を発達させる効果と減衰させる効果の比は波高が増大しても
変化しないため、微小擾乱により発生した交互砂州の波高は常に発達
し続け、波高は時間的に発散してしまうことになる。交互砂州の発達
がやみ、平衡波高に至る主な原因は、波高の発達とともに河床の
形状が変化し、この河床形状に対して、流れおよび流砂量が非線形になるためであると考えられる。そこで、パ
ーターベイション法により流速の非線形解を求める。ここでは、(1)式で $a_1 < 1$ を仮定し、さらに実験的に⁴⁾ a_2 は
 a_1 のオーダーであることより、流速変動量、水位変動量を a_2 で振動展開して、各オーダーごとの線形微分方程
式より、流速の変動量 $u_1, u_2, u_3, v_1, v_2, v_3$ および水位変動量 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ を求める。河床に作用するせん断力
は(5),(6)式のように流速の二乗に比例すると仮定している。交互砂州のように、砂粒子の平均移動距離に比し波
長が十分長の河床形状上の流砂量は平衡流砂量で近似できる⁵⁾ため、交互砂州上の流砂量分布は著者らの平衡流砂
量式³⁾より求める(step 3)。つぎに流砂の連続式より、単位時間あたりの河床高さの変化を求める(step 4)。河
床形状に対する流れの非線形性および河床せん断力に対する流砂量の非線形性のために、(1)式で与えたモード以
外の河床形状が現われくる。しかし、実験的に得られた交互砂州の縦・横断形状は、(1)式でほぼ表現し得るこ
とを考慮して他のモードの項を省略すると、河床形状(1)式と、流砂量(7),(8)式が流砂の連続式(9)を満足する
ための条件より、交互砂州の発達速度、移動速度が得られる(step 5)。(1)式の河床形状の2つのモードの発達速
度がゼロとなったとき、交互砂州は一定形状を保ちながら移動するようになる。このときの交互砂州形状を安定
形状と呼び、波高を平衡波高と呼ぶ(step 6)。藤田らの定義に従うと、(1)式で表わされる交互砂州の波高は次式と
なる。 $a_1 \geq 4a_2$ のとき $\zeta_B = 2h_0 a_1$ (13)、 $a_1 < 4a_2$ のとき $\zeta_B = h_0 \{ a_1 + 2a_2 + a_1^2 / (8a_2) \} \dots (14)$

3. 解析結果および考察 (13) あるいは(14)式より求める交互砂州の平衡波高と実験結果との対応を図4に示す。
与えた波長では理論的に交互砂州が発生しないもの、および安定形状が存在しないものは除外してプロットした。
図中の破線は、計算で得られた a_2 をもとに描いたデータの区分別である。この図によると a_2 の発達率がぐやわむ
のはは実測の波高をよく説明し得ることになる。理論的に得られた安定形状は、一部のものを除いて $a_1 > 4a_2$

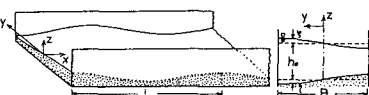


図-1 記号の説明

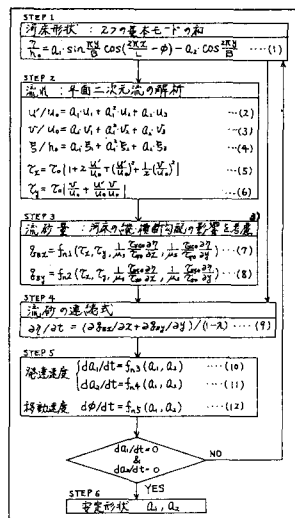


図-2 解析の流れ図

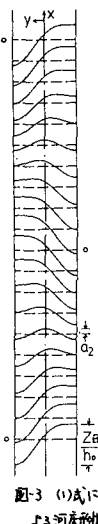


図-3 (1)式に
よる河床形状

を満足しているため、理論波高は Q_1 の大きさを示している。理論では Q_1 が大き
いほど安定形状に至ったときの Q_1 の値が実際の波高より大きくなる。これ
は、 Q_2 が表現される河床形状による流れが Q_1 を過大に発達させているため
である。

これは主に次のような原因による。平面二次元流
の解析では、流体に作用するせん断力は河床によって規定され、流体間の横断
方向の相互摩擦は無視できるとしている。したがって、 Q_2 の河床形状に起因す
る流速の変動量は、図5に示すように Q_2 の約半分にもなる。この流速分布と Q_1
の河床形状に起因する流れは、側岸付近の河床せん断力の流下方向変化を増大
させる作用をするため、 Q_1 が大きくなるほど Q_1 の発達が促進されることになる。
しかし、現実には、 Q_1 が大きくなるにしたがって流体間に働くせん断力が大き
くなる。このため、河床高さの場所的な変化に対する流速変化の比は理論で求
まるものよりも小さくなる。この効果を解析の中に取り入れることができれば、交互砂
州の安定波高をより正確に表現できると考えられる。図6は、藤田ら²⁾のRun C-1
に対応する交互砂州の発達過程の解析結果である。横軸の時間 T は、平均流砂量、平均水
深で無次元化している。交互砂州の発達段階はおおむね説明できるが、この実験につ
いては上記の理由により、平衡波高までは説明できない。図7は交互砂州上の変動流速
ベクトル図で、図中の (a) は図6で発達過程にある $T=150$ に対応するもの、 (b) は藤田
らのRun 25と同じ水理条件で計算された平衡状態に至った後の変動流速のベ
クトル図である。 (a) 、 (b) を比較すると、流れのパターンはほぼ同じように見
える。両者とも、流砂量を大きく変配する縦断方向流速の大きな所で流速ベ
クトルが流路の中央向き、逆に縦断方向流速の小さな所で側岸向きとなり、流れ
は Q_2 の河床形状を発達させる作用をしている。Run 25で Q_2 の発達がやんでいる
のは、この流れによるせん断力が Q_2 を発達させる効果と、河床に横断勾配
があることにより砂粒子が斜面をこうがり落ちて Q_2 を減衰させる効果と
が釣り合っているためである。横断勾配をもつことによる波高の減衰効
果は無次元掃流力比 τ_b/τ_{bc} が大きいほど小さくなる。 (a) 図では、縦
断方向流速の大きな場所が流速ベクトルの偏角が、 (b) 図の場合よりも
若干大きくなっている。このことに加え、C-1の τ_b/τ_{bc} はRun 25のそれより大
きいため、 Q_2 の形状は発達を続ける。 Q_2 の河床形状が発達すると、先に
述べた理由により Q_1 の河床形状も発達することになり、安定形状に至る
ことができない。しかし、任意に与えた河床形状上の流速ベクトル (c)
は、平衡に至ったときの流速ベクトル (b) と著しく異なるのに対して、
時間的な変化過程を考慮した (a) では、平衡状態が存在しないのにもか
かわらず、自ら河床形状を変化させながら (b) の平衡状態の流れのパタ
ーンに近づいて行く。したがって、 Q_2 の河床形状に起因する流れが Q_1
の河床形状を発達させる効果を適切に評価できれば、より広い範囲の実
験データに対し平衡波高を理論的に算定し得ると考えられる。

【参考文献】 1) 藤田：京大、学位論文。 2) 藤田・村本：第26回水講。

3) 福岡・山坂：第27回水講。 4) 長谷川・山岡：第24回水講。 5) 福岡・内島：第27回水講。

6) 土木学会水理委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究

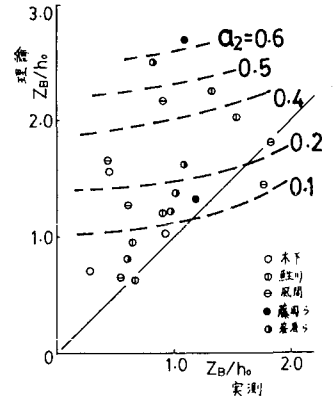


図-4 交互砂州の平衡波高

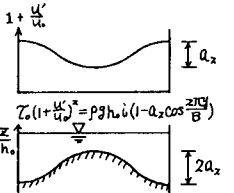


図-5 Q_2 形状による流れ

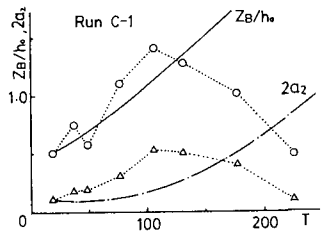


図-6 交互砂州の発達過程

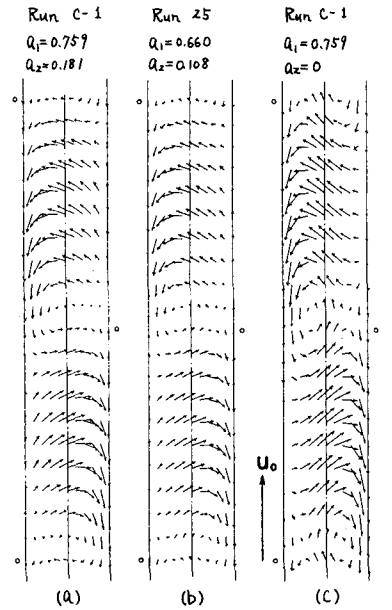


図-7 変動流速のベクトル