

II-129 有限振幅砂州の発達と減衰に関する研究

大末建設 正員 町田 智之
 埼玉大学 正員 山坂 昌成
 福島県庁 星 丈男

1. はじめに： 一般に自然河川では、河床の形態に起因して、流れの集中、分散が生じる。このような流れを生じる河床形態の1つに交互砂州がある。交互砂州の波高は河岸への流れの集中の度合を示すものであるため、平衡波高を知ることは、河岸水衝位置およびその強度を予測する上できわめて重要である。しかし、現実の河川では、予め河床に振幅が付いている所へ、水理条件の異なる流れが起こることが多々有り、このような条件での河床変動を観ることも大切である。本研究では、まず実験水路での砂州発生領域区分を大まかに求めた上で、砂州発生条件と砂州非発生条件とで、初期振幅を何種類か与え、この時の平衡波高および河床形状の時間的変化を観るものとする。

2. 実験概要： 実験水路は、水路幅30cm、水路長15mのものを使用し、河床には $d_{50}=1.14\text{mm}$ の均一砂を用いた。実験は大きく二つに分け、実験①として勾配を1/115と1/160の二種類で、水深のみを変化させ砂州発生領域区分を求め、実験②では実験①の結果を基に、砂州発生、非発生条件の各々で、平衡波高の0, 0.5, 1, 2 倍程度の初期振幅を与えたときの、河床変動の違いを観るものとする。

実験①では、両勾配とも砂州発生限界の水深は2.3cmとなり、理論値ともほぼ一致している。また、砂州発生時（勾配1/115、水深1.73cm）の平衡波高は $H_b \approx 2.4\text{cm}$ で波長は $L=260\text{cm}$ であった。砂州非発生時（勾配1/160、水深2.56cm）では、河床に短対角角¹⁾が観られ、この時の波高は0.9cm、波長は107cmであった。

実験②では、砂州発生条件について、水深は $h_0=1.68\text{cm}$ 、初期河床形状は振幅が、0, 0.3, 0.6, 1.2, 2.0cm、波長は260cmとなるsine形状で与えた。非発生条件では水深 $h_0=2.56\text{cm}$ 、初期河床形状は振幅が0, 0.4, 1.0cmで波長は川幅の9倍の270cm、と振幅0.9cm、波長107cmのもので行った。

3. 実験結果および考察： 河床形状を観る場合、波高のみでみるのではなく、河床形状を以下の式のように表し、これをフーリエ解析することによって求めた成分によって観るものとする。

$$\eta = \sum \sum \left(a_{ij} \cos \frac{2\pi i}{2B} \cos \frac{2\pi j}{L} + b_{ij} \cos \frac{2\pi i}{2B} \sin \frac{2\pi j}{L} \right)$$

x ：右岸に沿って流下方向に取った軸 y ： x 軸に直行する軸

$$\alpha_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 + b_{ij}^2} / h_0$$

ここで α_{ij} は、横断方向に波数 $2\pi i/2B$ 、縦断方向に波数 $2\pi j/L$ をもつ河床形状の無次元振幅を表す。 i, j については最大をそれぞれ6, 5とすることによって、局所的に河床変化の激しい部分を除いては、ほぼ実測値を表現できる。また、砂州の主要成分は、 α_{11} 、 α_{20} 、 α_{31} 、であることが知られている。これらの成分のうち、 α_{11} は砂州の深掘れ部の大部分を、 α_{20} は砂州を縦断方向に平均した横断形状を、 α_{31} は砂州の前縁部を表しているものであり、 α_{31} という成分は砂州固有のものである。以下、河床形状については、この三つの成分のみ考えるので α_{11} は a_1 、 α_{20} は a_2 、 α_{31} は a_3 と表す。

発生条件での実験結果は、どんな初期振幅を与えても平衡波高はほぼ同じであり、卓越成分は a_1 、 a_2 、 a_3 であった。非発生条件では、初期振幅が0, 0.4cm、波長270cmおよび振幅0.9cm、波長107cmのとき卓越成分は a_1 のみで砂州は発生せず、初期振幅1.0cm、波長270cmで与えたとき a_1 、 a_2 、 a_3 が卓越し、このことから砂州発生とみなした。このとき a_3 の成分が、発生条件におけるものに比べてやや小さな値で、このことから砂州発生条件時の砂州に比べると前縁部が明瞭でないとえ、これは河床形状の比較からも観察された。

以上の様な実験結果を三次の非線形項まで考慮した、振幅増加率の式²⁾で考えてみる。

$$da_1/dT = (Q_1 + Q_2 \cdot a_1^2) \cdot a_1 \quad \dots\dots (1)$$

ここで 時間 t は $T = q_{gr} \cdot t / \{(1-\lambda)/h_0^2\}$ により無次元化されている。この式中の Q_1 、 Q_2 の正負による、振幅と振幅増加率の関係を図1に示す。このうち発生条件は (a) に当り、これは、どの様な初期振幅を与えたときでも、すべて同じ平衡波高に至ると言う事を表し、実験結果と一致している。また、非発生条件は (c) に当り、どの様な初期振幅を与えても、すべて平坦床に至ってしまうと言う事を表し、実験結果と異なっている。

このため、以下に示すような振幅増加率の式に a_2 の影響まで考慮した式²⁾ で考えてみる。

$$\begin{aligned} da_1/dT &= Q_1 \cdot a_1 + Q_2 \cdot a_1^2 + Q_3 \cdot a_1 \cdot a_2 \\ da_2/dT &= R_1 \cdot a_1^2 + R_2 \cdot a_2 + R_3 \cdot a_1^2 + R_4 \cdot a_1^2 \cdot a_2 \end{aligned} \quad \dots\dots (2)$$

実験で与えた初期条件のもとに、上式にルンゲ・クッ

タ法を適用し、 a_1 、 a_2 を数値解析により求める。その結果の一例を図2に示す。(a) は、発生条件で初期振幅が0.6cmのもの、(b) は、非発生条件で初期振幅が1.0cmのものである。これを観ると、式(1)と式(2)にはほとんど違いがないことがわかる。また、発生条件については a_2 は多少実験値の方が大きくなっているものの、 a_1 については、その時間的变化、平衡時の値は共に実験値とほぼ一致している。非発生条件については、 a_1 、 a_2 は共に

0になってしまうので、実験結果とは異なっている。

4. 結論： 砂州発生条件では、三次の非線形項まで考慮した振幅増加率の式で、十分波高の時間的变化、および平衡波高を推定することが出来る。しかし、砂州非発生条件においては、ある程度以上の初期振幅を与えると、砂州は発生するという実験結果は、三次の非線形項まで考慮した振幅増加率の式を用いても説明できない。これは、河床形状モードに a_1 、 a_2 のみしか

考えていないためであり、この現象を説明するためには a_3 以上の変動モードを考慮したさらに高次の解析を必要とする。

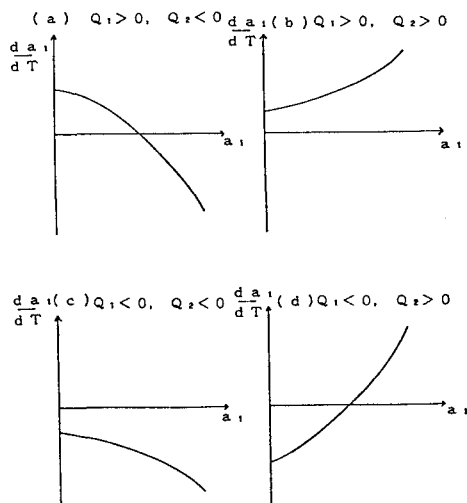


図1 Q_1 、 Q_2 の正負による振幅増加率と振幅の関係

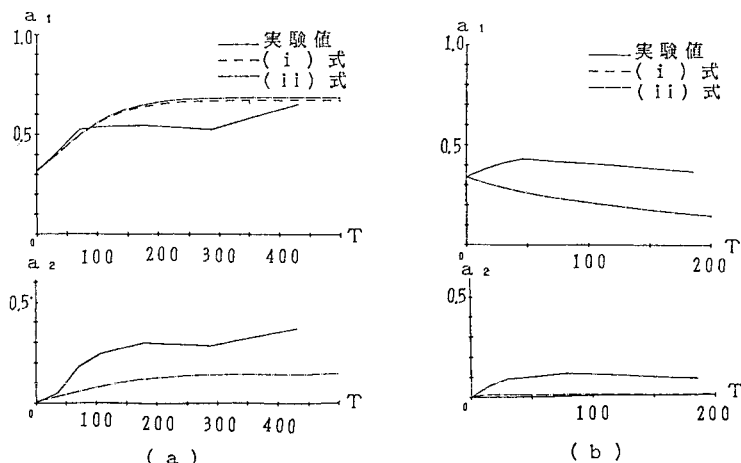


図2 T と a_1 、 a_2

参考文献 1) 藤田裕一郎：沖積河川の流路変動に関する基礎的研究、京都大学学位論文、1980。

2) 福岡捷二・山坂昌成：河床形状・流れ・流砂量の非線形関係を考慮した交互砂州の平衡波高の理論、土木学会論文集、No.357、pp.45-54、1985。