

# 大きな川幅水深比における 中規模河床波の動的平衡状態について

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員○五十嵐 拓実  
新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田 浩保

## 1. はじめに

中規模河床波についての既往の研究の多くは、川幅水深比の大小に応じて単列ないしは複列砂州のいずれかの河床形状動的平衡状態として収束することを暗黙の前提としているようである<sup>1)</sup>。小さな川幅水深比を初期に与えた模型実験や数値実験では、平坦河床から単列砂州が発生して、その後も動的平衡状態の河床形状として単列砂州を形成することが知られている。一方で、複列砂州が発生するとされている大きな川幅水深比のもとでは、確かに通水初期に複列砂州が発生するものの、複列砂州が長時間にわたり維持されることは稀で、最終的には単列砂州とみなせる河床形状を形成することが報告されている<sup>2)</sup>。このことは、既往の研究における前提と大きく食い違うことを意味しており、現状においてもなお複列砂州の基本的な性質の理解が乏しいままであることを浮き彫りにしている。

本研究では、初期に大きな川幅水深比が与えられた時に複列砂州が安定に維持されるかどうかやどのような動的平衡状態としての河床形状に至るかを理解することを目的とした数値実験を実施した。さらに、大きな川幅水深比が与えられた時に形成される中規模河床波が動的平衡状態に至ったかどうかを判断する指標を提案し、その適用性について調べた。

## 2. 数値実験

本研究では単列砂州または複列砂州が発生するとされる大小様々な川幅水深比を初期に与え、動的平衡状態に到達したそれぞれの河床形状について調べた。その条件設定では、川幅水深比のみが変数となるように、河床形状に影響を与えるとされている無次元掃流力とFroude数を一定とした数値実験を行った。なお、河床変動計算にはiRIC2.0<sup>3)</sup>に同梱される平面2次元河床変動計算のソルバーであるNays-2D(V4.0)を用いた。

### (1) 水理条件と計算条件

数値実験で与えた川幅水深比は黒木らが領域区分図で採用している  $B_0 I_0^{0.2} / h_0 (= A_0)$  を用いることにし、図-1に示すように、この領域区分図において川幅水深比が単列砂州の領域となる10と20、遷移領域となる30、そして複列砂州の卓越領域となる40, 50, 60, 80の合計7ケースを与えることにした。無次元掃流力は0.1とし、Froude数は1.5にそれぞれ統一した。実験規模は

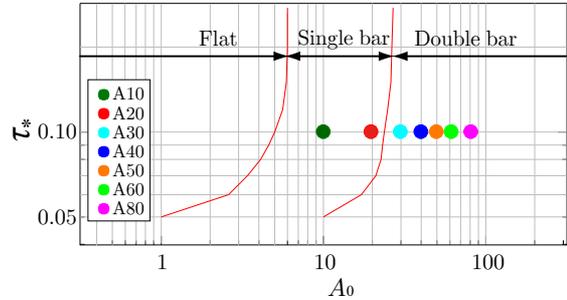


図-1 黒木ら<sup>1)</sup>による中規模河床形態の領域区分図上における本研究の水理条件

模型実験を対象とし、水路の全長は30 m、水路床勾配は1/38、河床材料の粒径は3.2 mmとした。また、初期の水深を2 cmに固定しているため、各条件毎に初期の川幅と流量はそれぞれ異なる。

計算の境界条件は、上・下流端の水理条件を一致させる周期境界条件とした。計算格子のサイズは、縦断方向と横断方向でいずれも4 cmの正方格子とした。初期河床には既往の研究と同様に河床全体に乱数により河床材料の粒径程度の擾乱を与え、数値解析の終了時刻は試行錯誤の結果、15000秒とした。

### (2) 計算結果

#### a) 平衡状態における河床形状

図-2に河床コンター図を示した。紙面の都合により、初期に与えた川幅水深比が10, 20, 30, 80の結果のみを掲載した。同図(a)に示したように、通水初期の時刻ではいずれの川幅水深比においても形成される河床波を構成する素波はほぼ同様で、川幅水深比が大きくなるほどこの構成素波の横断方向の波数は増える河床形状が見られ、黒木らの領域区分図に一致する河床形状となった。しかし、大きな川幅水深比が与えられた条件では、同図(b)に示したように、その後は複列砂州の河床形状は維持されず、川幅水深比が大きいほど周期性が弱く、単列砂州と見なせる河床形状となることが示された。

#### b) 無次元有効川幅による平衡状態の判定

中規模河床波の動的平衡状態の判断には波高が指標としてしばしば用いられてきた。初期の川幅水深比が10と20の単列砂州が形成される条件においては、図-2から、周期的な河床波が形成されるとともにおおむね初期の水面幅を維持し、初期の平坦床との違いは河床の高低差だけとなるため、波高を指標とした平衡状態の把握が

Key Words: 中規模河床波, 動的平衡状態, 無次元有効川幅, iRIC  
〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 TEL 025-262-7053

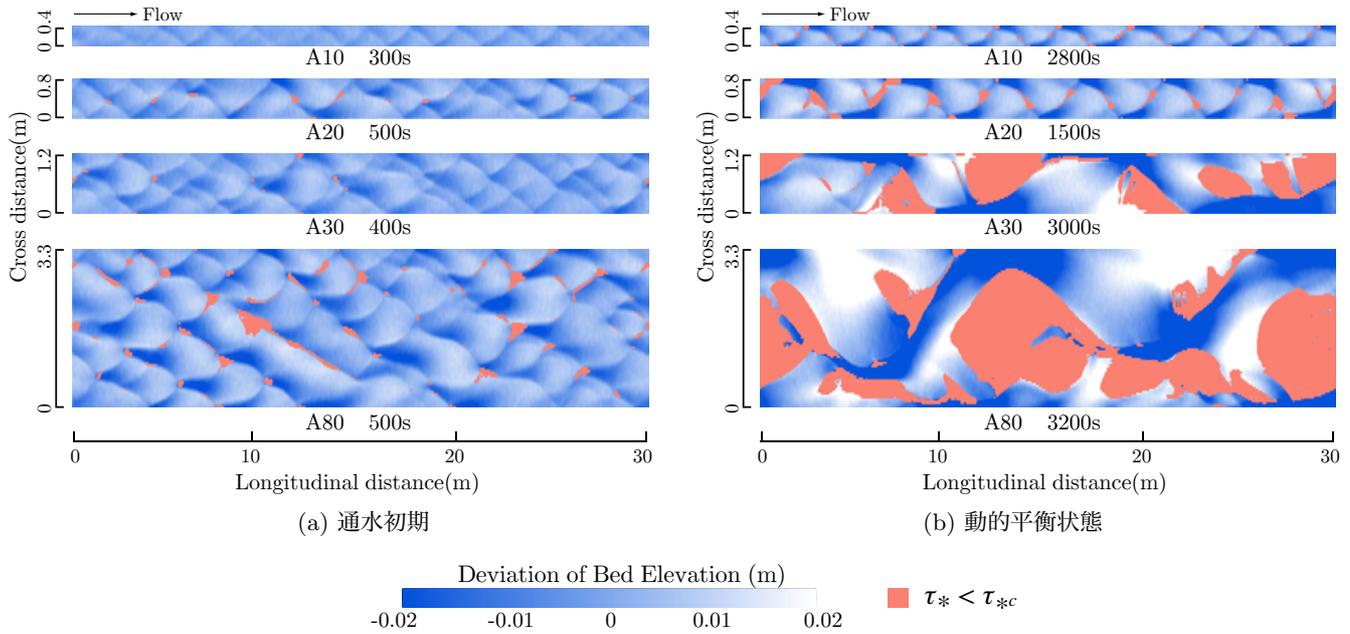


図-2 川幅水深比ごとの河床コンター図. 左図：通水初期，右図：動的平衡状態. 明茶色の着色箇所は無次元限界掃流力以下の部分.

合理的であることが理解できる. これに対し，初期の川幅水深比が 30 と 80 の複列砂州が形成される条件においては，図-2(b) に示した通り，明茶色が広く散在している上，寒色系で示される河床高の高低差が川幅水深比が小さいときに比べて大きいことが分かる. これらのことは，形成された河床形状の不規則性が強く，特に初期と比べて川幅が大幅に減少していることを示している. 大きな川幅水深比が初期に与えられて形成される中規模河床波の動的平衡状態は，波高だけからの判断は難しく，川幅ないしは川幅と波高の組み合わせによる判断が望ましいと考えられる.

本研究では，同一横断面において無次元限界掃流力を上回る無次元掃流力が作用している川幅を無次元有効川幅と定義し，これが中規模河床波の動的平衡状態を判断する指標として適当かどうかを調べる. 無次元有効川幅の算出式は

$$\tilde{B}_e(t) = \frac{1}{B} \frac{1}{i_{end}} \sum_{i=1}^{i_{end}} B_e(i) \quad (1)$$

断面数である. となる. ここで， $\tilde{B}_e(t)$  は縦断方向に平均化された無次元有効川幅， $B_e(i)$  は各断面における有効川幅， $i_{end}$  は縦断面数である.

図-3 に川幅水深比ごとの無次元有効川幅の時系列的な変化を示した. 計算開始から 1000 秒後まではいずれの川幅水深比においても無次元有効川幅の変化率は同程度である. その後は，その変化は次第に緩やかになり，最終的には 30 以上の川幅水深比における無次元有効川幅は初期の水面幅の 0.6 倍程度にいずれとも収束することが分かった. 図-2 に示した河床コンター図と無次元有効川幅を照らし合わせてみると，無次元有効川幅が概

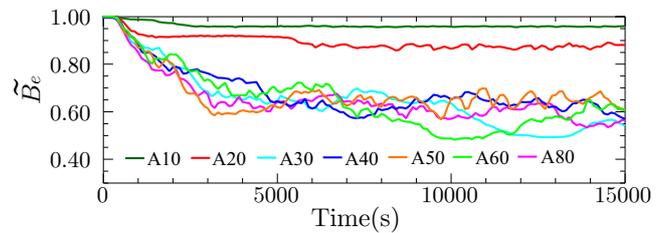


図-3 川幅水深比ごとの無次元有効川幅  $\tilde{B}_e$  の時間発展図.

ね一定値を取り始める時刻では河床形状が単列砂州と見なせる形状となり，しかも河床高の時間的な変動が小さくなる. つまり，本研究において導入された無次元有効川幅は初期に大きな川幅水深比が与えられて形成された中規模河床波の動的平衡状態の判断指標として有効であると考えられる.

### 3. おわりに

大きな川幅水深比が初期に与えられた時に形成される中規模河床波の動的平衡状態を把握するための数値実験を行うとともにその判定指標を提案した. その結果，初期に大きな川幅水深比が与えられると，少なくとも直線水路においては最終的に単列砂州と見なせる河床形状に至り，無次元限界掃流力を上回る無次元掃流力が作用する川幅は初期の水面幅の 0.6 倍程度に収束することを明らかにした. さらに，無次元有効川幅を用いた動的平衡状態の判定手法が有効であることを示した.

### 参考文献

- 1) 例えば 黒木幹男, 岸力, 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, Vol.342, 87-96, 1984.
- 2) 例えば 渡邊康玄, 桑村貴志, 複列砂州のモード減少過程に関する水理実験, 水工学論文集, Vol.48, pp.997-1002, 2004.2.
- 3) 河川シミュレーションソフト iRIC, <http://i-ric.org/>