

水理条件統一下における川幅水深比が 中規模河床形態にもたらす影響

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

中規模河床形態の領域区分は、川幅水深比、無次元掃流力、フルード数等の無次元量を指標とすることで可能であることが提案されてきた。これらの無次元量の中でも川幅水深比は中規模河床形態の決定において支配的な要因と言われ、川幅水深比に応答した河床形態が形成されると考えられている。このような河床形態と川幅水深比の一对の関係は理論¹⁾に基づいて説明されている。しかしながら、これまでの模型実験や数値実験においては、複列砂州のような高モード成分が卓越する水理条件を与えても、その河床形態が安定に維持されにくいことが報告されている。しかし、現状では最終的に形成される平衡河床形態の決定に川幅水深比が寄与するのかについて踏み込んだ議論はない。

本研究では川幅水深比と平衡河床形態の相関性について調べるため、河床形態に影響を与えることが予想されるその他の無次元量を統一した水理条件のもとで数値実験を行う。

2. 数値実験

(1) 計算条件

川幅水深比及びフルード数の両者は、それぞれ河床形態に影響を与えることが予想される。そのため、例えば川幅水深比の影響を調べる際には、フルード数が一定の条件下で実験を行う必要がある。そこで、数値実験ではフルード数を固定して川幅水深比を変化させた場合と、川幅水深比を固定してフルード数を変化させた場合の2パターンを実施した。川幅水深比は砂州の形成領域を議論する際にひとつの指標とされてきた黒木らの領域区分図における川幅水深比 $BI^{0.2}/h$ を用いた。ただし、 B は川幅、 I は河床勾配、 h は等流水深である。川幅水深比は単列砂州卓越領域となる 20、境界領域となる 30 と 40、複列砂州卓越領域となる 60 の 4 ケースを設定した。フルード数は 0.8、1.0、1.2、1.5 の 4 ケースを設定した。今回は無次元掃流力は一定条件で、川幅水深比とフルード数を組み合わせた計 16 ケースの数値実験を行った。

紙面の都合上、全 16 ケースのうちフルード数を 1.0 に固定して川幅水深比のみを変化させた実験条件について説明する。数値実験のスケールは室内実験を対象とし、流路長は 30m、河床材料粒径は 0.9mm となる。フルード数が 1.0 の条件下で統一した水理条件を表-1 に示す。 F_r はフルード数、 τ_* は無次元掃流力、 τ_{*c} は無次元限界掃流力を表す。既往の研究の多くは、川幅水深比を設定する際に川幅や流量のどちらか一方のみを変化させてき

表-1 統一した水理条件 ($F_r=1.0$ の場合)

F_r	I	$h(m)$	τ_*	τ_*/τ_{*c}
1.0	1/125	0.02	0.1	2.9

表-2 川幅水深比ごとの川幅と流量 ($F_r=1.0$ の場合)

$BI^{0.2}/h$	$B(m)$	$Q(l/sec)$
20	1.05	9
30	2.11	19
40	3.16	28
60	4.22	37

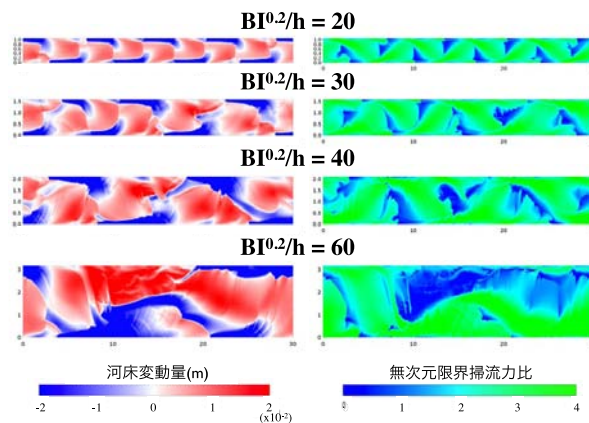


図-1 最終時刻における河床形状 ($F_r=1.0$)

たために、他の無次元量が条件ごとに異なる水理条件であった。本研究では、川幅水深比ごとにフルード数と無次元掃流力を統一するために、川幅 B と流量 Q を表-2 に示すように設定した。計算格子は格子サイズ 4cm × 4cm を用いて、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粒径程度の擾乱を与えた。計算時間は砂州形態が平衡状態に遷移したと判断した 30,000 秒までとし、計算の上流端と下流端の境界条件は周期境界条件とした。

(2) 数値解析モデル²⁾

河床変動計算には iRIC2.0 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。紙面の都合上、ソルバーの基礎式の掲載は省くが、流れの支配方程式は 2 次元浅水流方程式、河床変動量は流砂量に芦田・道上の式³⁾を用いて流砂の連続式から計算している。

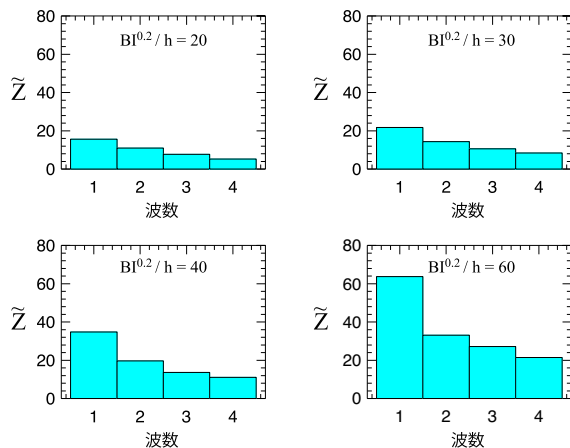


図-2 最終時刻における無次元波高 ($Fr=1.0$)

3. 計算結果と考察

(1) 川幅水深比と中規模河床形態の相関性

a) 河床形態と無次元限界掃流力比

図-1 に計算最終時刻の河床形状と無次元限界掃流力比のコンター図を示す。無次元限界掃流力比は、無次元掃流力を無次元限界掃流力で除した無次元量であり、土砂を輸送する駆動力の規模を判断する指標と言える。なお、無次元限界掃流力は粒径の大小から求まる岩垣らの式⁴⁾を用いた。河床コンター図から平衡河床形態に到達する時刻は川幅水深比ごとに異なるものの、いずれの条件においても平衡時には流路が1本に集中する河床形態となることがわかる。無次元限界掃流力比のコンター図を見ても駆動力を有する場所が1本の流路に集中している。フルード数が1.0以外の条件においても、砂州の発達時間はフルード数ごとに異なったが、川幅水深比の大小に関わらず同様の平衡河床形態となることが確認された。この結果は、既往の模型実験で確認されている複列砂州のモード減少と同様の結果⁵⁾である。

b) 無次元波高

コンター図による評価だけでは定量性に乏しいため、河床の波数解析を行うことで河床形態の定量的な評価を行った。具体的には河床の横断面形状を離散フーリエ変換し、中規模河床形態の横断方向の波数成分を算出した。各横断面ごとに離散フーリエ変換で求めた各波数の波高を水路全区間で平均化し、粒径で除すことで河床波の波高の無次元化を行った。算出した横断方向の波数成分から代表的な成分と判断した波数4以下の最終時刻における無次元波高 $\tilde{Z}$ を図-2 示す。なお、紙面の都合上省くが、波数1から4以下の成分で離散逆フーリエ変換すると、横断面形状の特徴的な形状が再現されることを確認している。川幅水深比が大きくなるに比例してどの波数においても無次元波高が大きくなる。波数に着目すると、平衡時には波数1の成分が他の波数に比べて卓越していることが共通している。川幅水深比によらず波数1の成分が卓越する傾向は、河床形状のコンター図の結果と同様である。また、他のフルード数の条件において

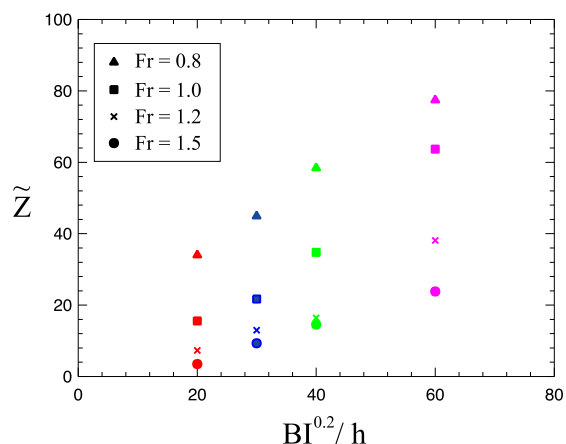


図-3 川幅水深比とフルード数と無次元波高 (波数1) の関係

も同じ傾向が見られた。

(2) 波高に対する川幅水深比とフルード数の相関性

ここでは平衡時において卓越する波数1の無次元波高をフルード数ごとに比較した。平衡河床形態における無次元波高をフルード数ごとに記号で区別した結果を図-3 に示す。川幅水深比が大きくなるに比例して、無次元波高が大きくなる傾向となる。一方で、川幅水深比が同じ水理条件においてもフルード数が小さくなるにつれて、無次元波高が大きくなることがわかる。川幅水深比とフルード数の両者が河床波の波高に影響を及ぼすことが確認された。

(3) 考察

図-1 に示した河床平面図の結果から、砂州形成初期には川幅水深比ごとに異なる河床形態が形成されるものの、平衡時には不明瞭な交互砂州が形成されたことに共通性が伺える。このことから、川幅水深比は最終的に形成される平衡河床形態の決定に寄与しないことがわかる。また、波数解析の結果から、川幅水深比とフルード数の両者が同程度の規模で平衡河床形態における波高に影響をもたらすことが確認された。

4. おわりに

統一した水理条件下において川幅水深比が中規模河床形態に与える影響について調べた。その結果、川幅水深比は平衡時の河床形態の決定には寄与しないが、河床形状との相関性があることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 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) 河川シミュレーションソフト iRIC, <http://i-ric.org/>
- 3) 芦田和男, 道上直規, 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第206号, 59-69, 1972.
- 4) 岩垣雄一, 限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, 1-21, 1956.
- 5) 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.