

数値解析による河川の河床上昇・低下を含めた川幅変動

金沢大学大学院 学生員 ○大野 修
名古屋大学大学院 正 員 辻本哲郎

1.はじめに 河床変動数値解析を操作中、横断河床形状が河床材料の安息角に強く支配されることに興味をひかれた。顕著な例が移動床側岸部であり、本論文では河床材料の安息角を絡めた河川の川幅変動について、数値計算結果から考察を加える。河川においては生態環境配慮へと指向されつつあり、移動床が第一条件である現在、その仕組みの一環について理解を深めることは有益であろう。実現象を簡略化して表現する数値解析は、正確なその再現に至らないことも多いが、現象解析の一手段としては十分な効果を発揮することに間違いはない。

2.数値解析モデル 流れ場の計算には水深平均による平面二次元解析を行うこととし、 $k-\epsilon$ 乱流モデルを採用する。流砂は掃流砂運搬のみを扱い、平衡流砂量式に芦田・道上式を用いる。流砂の方向を流れの方向と河床横断勾配により求め、流砂量の連続式により河床変動を評価する。これらの方程式を計算領域内での有限個の格子点において取り扱う離散化法であることも付記しておく。

3.計算条件 初期設定値とする代表的な河床横断形状の入力方法については、種々の方法が考えられるであろう。著者らは、実際の河川での水際では植生が存在したり、凹凸などの地形上の変化に富んでいることを考慮して、滑面である側壁に植生をイメージした、空間平均された均質な形状抵抗を敷き、河床変動計算を行ったことがある。その際に得られた地形の一つが初期河床横断形状

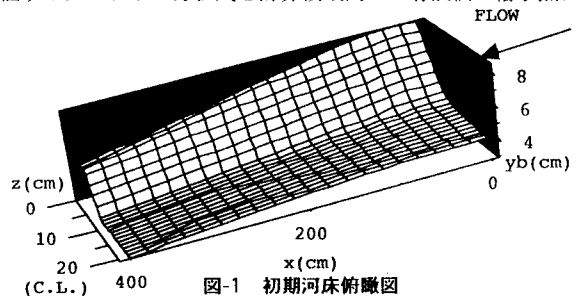


図-1 初期河床俯瞰図

として好ましいと判断される。これを俯瞰図にして図-1に示す。スケールは室内実験を睨んでおり、規模が狭いので精度は期待できないが、幾何縮率を同値としたフルードの相似則による実河川との比較から砂粒径は 0.08cm とし、さらに初期河床縦断勾配は約 $1/200$ となっている。なお、今回の計算における河床は一様砂粒径で構成されている。川幅を変化させる要因としては流量、河床勾配、砂粒径、流入土砂量などが絡み合っているが、実際の現象を想定するに流量の差異によるものが妥当である。計算流量には川幅にほぼ変化が見られなかった $500\text{cm}^3/\text{s}$ を選び、他に比較として $400\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $1000\text{cm}^3/\text{s}$ を流した。通水時間は各流量に応じて河床変動が識別できるよう設定した。

4.結果と考察 流量 $500\text{cm}^3/\text{s}$ の横断方向河床形状変化、図-2を見ると、横断面において同量ずつの河床低下が確認され川幅は初期のままである。掲載河道横断面には、これ以後も含め全て上流端より流下方向距離 290cm のものを選定した。側岸では河床横断勾配が直線を示しているが、これは安息角の条件を課しているためである。河床材料の安息角を 26.5 度に設定することによって、河床横断形状がこれより急勾配になろうとした場合、砂粒子は傾斜に沿って下方へ滑り落ちることになる。図を眺めるに移動床は、側岸のほとんど全部が安息角による傾きで構成されており、これと川底における流砂の方向などによって決定される横断方向河床形状曲線が滑らかに連結したもの

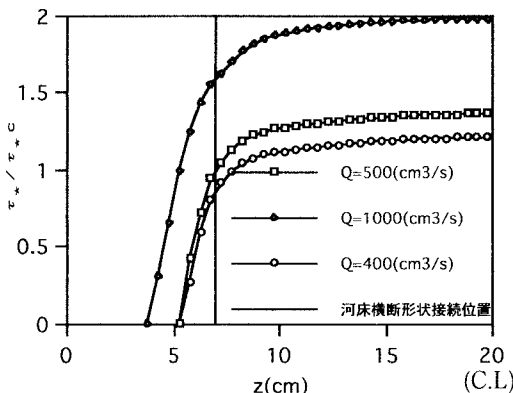
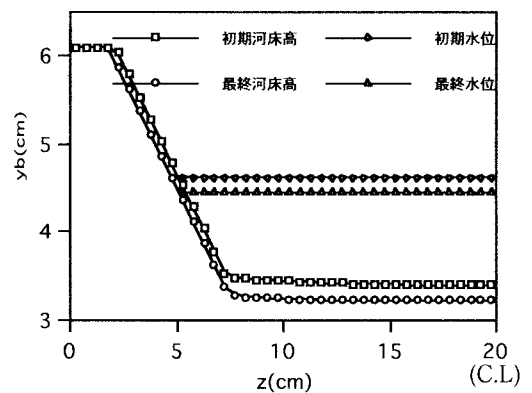


図-3 無次元境界掃流力に対する無次元掃流力の比

図-2 河床横断形状変化 $Q=500(\text{cm}^3/\text{s})$, $t=3(\text{hr})$

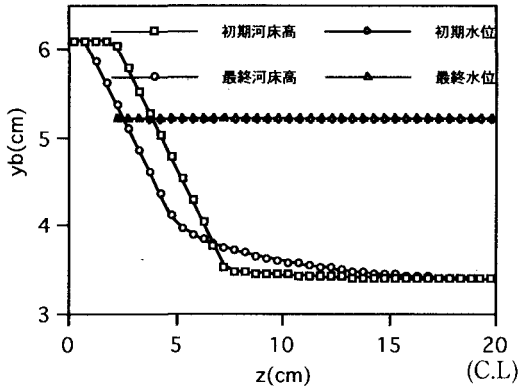


図-4 河床横断形状変化 $Q=1000(\text{cm}^3/\text{s}), t=15(\text{min})$

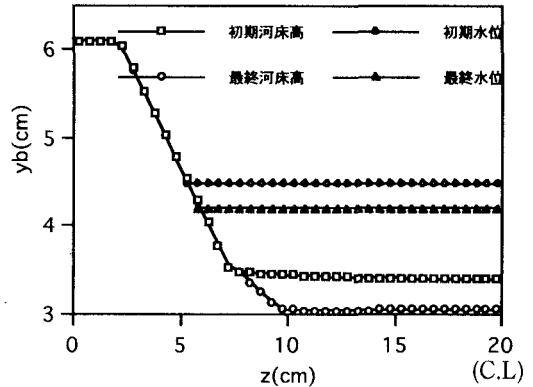


図-5 河床横断形状変化 $Q=400(\text{cm}^3/\text{s}), t=12(\text{hr})$

であると考えられる。図-3は無次元限界掃流力に対する無次元掃流力の比を表しているが、先の二種類の河床横断形状による連結位置に限界掃流力点が一致している。図-4, 5を併示すると、安息角による領域に河床材料の移動限界が存在すれば（流量 $1000\text{cm}^3/\text{s}$ ）河川の拡幅、一方それより流路主流部側にあった場合は（流量 $400\text{cm}^3/\text{s}$ ）河床低下に伴う縮幅が生じることが具体的に明示される。川幅の変動具合は横断方向における流砂の移動限界存在位置によるが、これは流砂によって河床が侵食され、残りの領域が安息角によって調整される機構を基礎としている。拡幅ではその仕組みによって主として川岸が崩れ落ち、縮幅の場合は川底が削られている。流砂の移動限界は川幅変化とともにその位置を変えながら、いずれ各流量に対応した河床横断形状接続位置と一致することが予想される。

5. 流入土砂量による影響 川幅が一定とみなせた流量 $500\text{cm}^3/\text{s}$ のケースに上流端より給砂量を $0.007\text{cm}^2/\text{s}$ 程度与える。図-6が通水後の水位と河床高を表しているが、拡幅が生じていることが理解できる。その理由は、河床縦断勾配が急になるために関連して流速、掃流力が増し、限界掃流力の存在位置が側岸に達しその侵食が始まることによる。これ以上に河川への給砂が多くなれば流路への土砂堆積により河床上昇が起これ、側岸の侵食に加えて、河道の幾何形状からも流れが横断方向に広がることを推測される。先に述べた河床低下による縮幅と同様に、川岸の勾配が $1/2$ であることより、水面に着目するとその低下・上昇量の4倍分水面幅が変化することになる。

図-7に河道中央での縦断方向河床変動量をまとめた。今回のケースでは、上流での土砂によるエネルギー勾配増大にもかかわらず、その下流では逆に川底が僅かではあるが洗掘されている。これは、上流端からの流砂伝達の時間差に起因するものと考えられるが、数値解析と異なり河道特性にむらのある実際の河川では、特に洪水時多量の土砂が流入する場合においても局所洗掘による被害が生じる可能性があることを示唆している。また、土砂供給により護岸侵食の危険性が強まることが結論づけられた。

6. おわりに 河床材料の安息角、河床低下を取り入れることによって、掃流砂のみを扱った一様砂粒径河川における川幅変動を以上に数値解析結果より理論的に説明できた。今後は実験を併用して、混合砂、浮遊砂、土砂の粘着性や浸透の効果を徐々に検討したい。

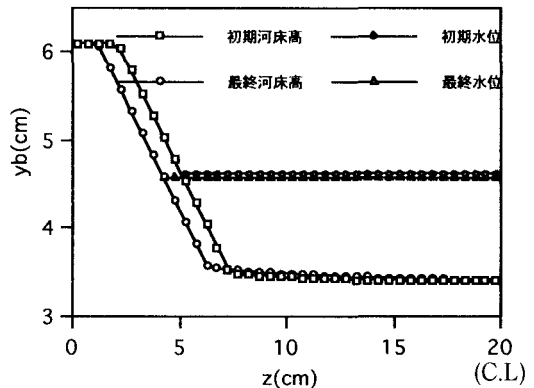


図-6 河床横断形状変化 $Q=500(\text{cm}^3/\text{s}), t=2(\text{hr})$
 $q_{Bx0}=0.007(\text{cm}^2/\text{s})$

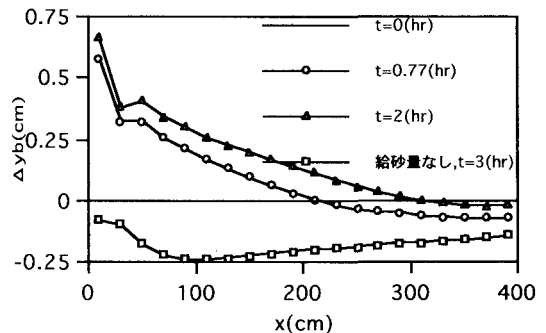


図-7 流路中央における縦断河床変動量
 $Q=500(\text{cm}^3/\text{s}), q_{Bx0}=0.007(\text{cm}^2/\text{s})$