

平面2次元移動床解析による河岸侵食のシミュレーション

日本工営(株)中央研究所 正員 金 海生¹
日本工営(株)札幌支店 佐々木成人²、山田裕康²

1. はじめに 河岸侵食による破堤などの災害が発生する事例は過去に多数観察されている。洪水時の河岸侵食は、移動床現象の一つで、砂州や局所洗掘に起因して発生する低水路の侵食、決壊であり、低水路の横断面・平面形状の変化を伴うことに特徴がある。侵食と堆積は互いに対をなすものとして関係している。侵食によって川幅が拡幅すると掃流力の低下による河床堆積が生じる。河川管理・計画においては、河川の被災原因を把握すると共に、被災可能性予測、河道内対策、堤防の質的強化対策、破堤時において被害を最小化するような氾濫原対策を検討するために、平常時における災害リスク管理技術の高度化を求められている。本研究では、自然河川の河岸侵食を予測することを目的に、境界適合直交曲線格子の平面2次元移動床解析モデルに加えて河岸侵食をモデル化し、河床勾配約1/100の急流河川C川に適用した。

2. 河岸侵食のモデル化 河岸の後退量を決定するものは、河岸近傍河床の低下量であると考えられる。従来、侵食過程にある河岸形状が相似性を保つことは、Ikeda¹⁾が流路変動実験により指摘している。自然河川でも、このような特徴を有する。そこで、長田ら²⁾はこの形状を関数で近似することによって表現し、河岸侵食による供給土砂量とそれによる洗掘域の埋め戻し量が等しくなるように河岸後退量を算出することで側岸侵食過程をモデル化している。河岸形状を表現する指数関数形は次式で表す。

$$h = h_{\max} [1 - \exp(-\frac{l}{\Delta})] \quad (1)$$

ここに、 h ：水際より距離 l 離れた地点の水深、 h_{\max} ：最大水深である。 h_{\max}/Δ を河岸側面勾配に関するパラメータとみなし、 $h_{\max}/\Delta = 4.0$ とした。洪水時の河床低下量を予測することで、河岸の侵食幅を予測する。よって、河岸崩落1回ごとの侵食量を正確に見積もれなくても、河岸近傍河床の低下量が精度良く計算できれば、河岸後退量を計算することができる。しかし、(1)式による計算では、 h_{\max}/Δ を一定値としたため、すべての河川において同様の河岸側面勾配をもつ結果となる恐れがある。実際、自然河川の河岸勾配はさまざまである。

そこで、本研究では、河岸勾配を当該地点の計算開始時刻の初期勾配に保ったまま河岸を後退させることとした。側岸侵食モデル化のイメージをFig.1に示す。計算の手順としては以下である：平面2次元移動床モデルによる流れ及び河床変動解析を行う；河岸沿いの河床変動量を算出する；河床位が初期河床より低下した場合には（河床洗掘、Fig.1a）、この洗掘域の埋め戻し量（Fig.1b、ボリュームB）を計算する；河岸侵食による供給土砂量（Fig.1b、ボリュームA）が洗掘域の埋め戻す量（ボリュームB）に等しくように河岸勾配を初期の一定勾配に保ったまま河岸の後退幅を算出する；以上の手順を繰り返して解析を進める。

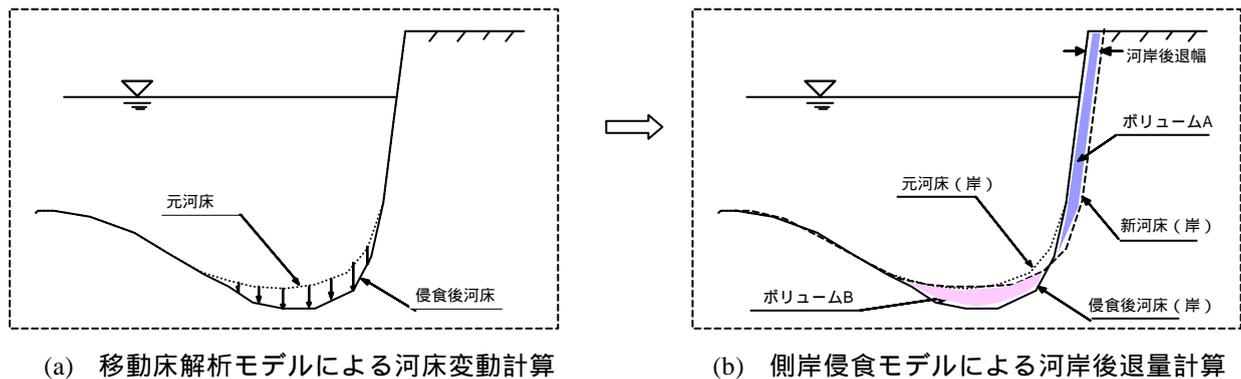


Fig.1 側岸侵食モデル化のイメージ

流れおよび河床変動は境界適合直交曲線格子の平面2次元移動床モデルで解析する^{3),4)}。流れの支配方程式は植生などの影響を考慮した水深平均 Reynolds 方程式である。流砂の連続式により、混合砂礫の掃流砂のみを対象に河床変動計算を行う。流砂量は、局所的な河床勾配及び流線湾曲による二次流の影響を考慮し、芦田・道上式に準じて求める。

3. 適用例 C川では、低水路平均水深は1mないし1.5m程度、河床勾配は約1/100、河床に概ね粒径0.075mm～150mmの砂・礫が混在し、河床材料の平均粒径は約40mmである。河川平面は概ね直線的であり、活発な中州の移動による流れの偏りを呈し、多くの水衝部が形成され、河床・河岸の洗掘災害が多発している。上記

Keywords: Bank erosion, bed deformation, local scour, numerical simulation, boundary-fitted coordinates

¹ 〒300-1259 茨城県稲敷郡苅崎町稲荷原2304 Tel.: 0298-71-2039 Fax: 0298-71-2022 E-mail: a5313@n-koei.co.jp

² 〒060-0005 札幌市中央区北5条西6-2 Tel.: 011-205-5521 Fax: 011-252-0343 E-mail: a3222@n-koei.co.jp

河岸侵食を考慮した平面 2 次元移動床モデルを用い、この河川に適用した。直交曲線格子のサイズは横断方向約 1~5m、縦断（流下）方向約 25m である。代表区間において、初期河床からの河床高変動量に応じた色分け図を Fig.2 に示す。寒（青）色は河床の侵食（河床高変動量はマイナス）を、暖（赤）色は河床の堆積（変動量はプラス）を表す。図中赤と緑線に囲まれる箇所は護岸工事である。検討対象の洪水ピーク流量は $740\text{m}^3/\text{s}$ で、河床および河岸の激しい侵食または堆積を呈している。河岸が護岸工事により防護されていることも判る。洪水ピーク時の流速ベクトルを Fig.3 に示す。全体的に流れが速く、主流流れの蛇行・偏り・乱れなどが見られ、護岸位置に水衝部が形成されている。それに対応し、河床変動が生じる（Fig.2）。代表断面の河床高の変化を Fig.4 に示す。断面 A の左岸沿い、断面 B の右岸沿いにおいて、河床の深掘れが生じ、護岸工が沈下する恐れがあることを示している。断面 B の左岸においては、大幅な河岸侵食が生じることを示している。

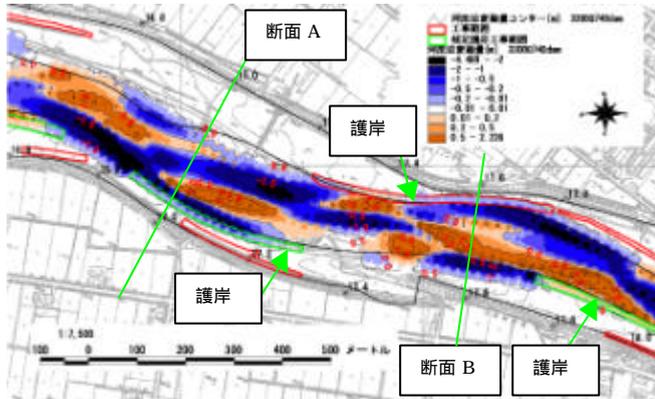
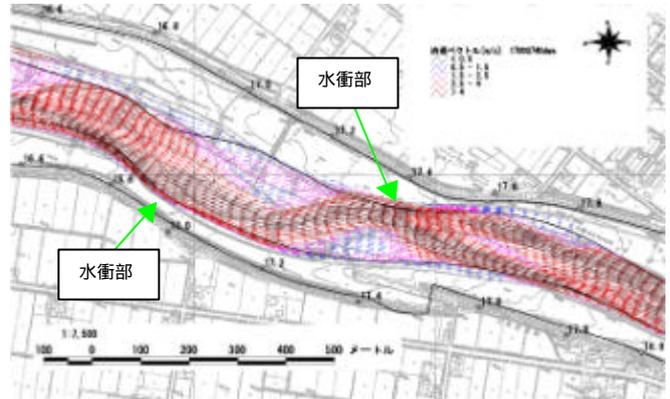
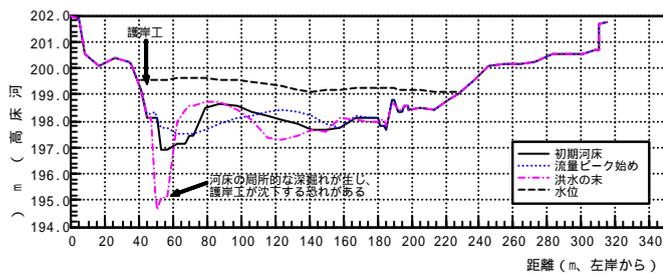
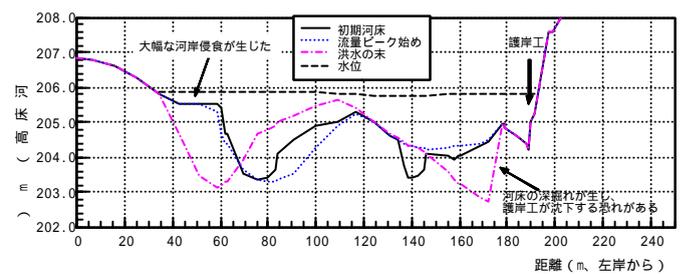


Fig.2 初期河床に対する河床高変動量

Fig.3 洪水ピークの流速ベクトル（流量 $740\text{m}^3/\text{s}$ ）

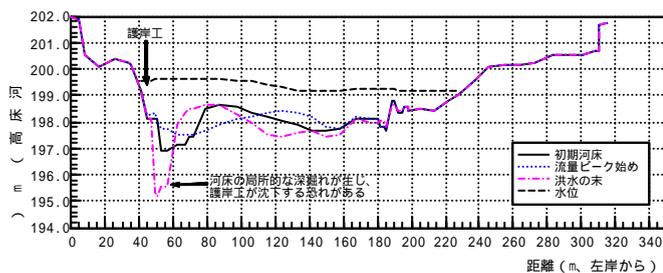
(a) 断面 A



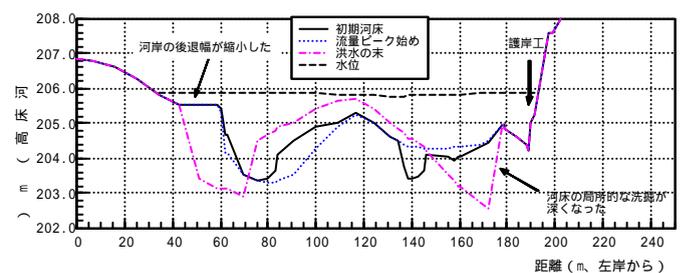
(b) 断面 B

Fig.4 代表断面において洪水期間中の河床変動

側岸侵食を考慮しない場合の河床変動の解析結果を Fig.5 に示す。断面 B 右岸の洗掘は深くなり、左岸の河岸侵食幅は縮小したことが判る。よって、本研究の側岸侵食モデルを適用できると考えられる。



(a) 断面 A



(b) 断面 B

Fig.5 側岸侵食を考慮しない場合、代表断面の河床変動の解析結果

4. おわりに 河岸勾配を初期勾配に保ったまま河岸を河岸沿いの局所洗掘ボリュームに見合った分で後退させることで、側岸侵食をモデル化した。このモデルを境界適合直交曲線格子の平面 2 次元移動床解析モデルに加え、河床勾配約 1/100 の急流河川 C 川において河床・河岸変動のシミュレーションを実施した。その結果、護岸位置で河床の深掘れ、自然河岸において側岸侵食などが予測され、本モデルの適用性を示した。

なお、本研究にあたり種々の御協力・御助言を戴いた社内、社外の関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献 1) Ikeda, S.: Self-formed Straight Channels in Sandy Beds, Proc. ASCE, Vol.107, HY4, pp.389-406, 1981. 2) 長田信寿、細田 尚、村本嘉雄：バングラデシュ国・メグナ川における河道変動問題への数値解析手法の適用、水工学論文集、Vol.42、pp.985-990、1998. 3) Egashira, S., Jin, H.S., and Nakagawa, H.: Numerical Model for River Mouth Sand-bar Flushing, Proc. Theme B, the 27th Congress of IAHR, San Francisco, pp.719-724, Aug.10-15, 1997. 4) 金 海生、江頭進治、芦田和男：植生が繁茂した木津川中流部の河床変動解析と河状、土木学会第 53 回年次講演会、Vol.53()、pp.470-471、1998.