Slump Block の影響を考慮した

自由蛇行の発達過程に関する数値解析

Numerical computation of free meandering process of rivers considering the effect of slump block in outer bank region

北海道大学大学院工学研究科 学生員 小林健介 (Kensuke Kobayashi)
北海道大学大学院工学研究科教授 正会員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
University of Illinois Dept. of Civil and Environment Engineering and Dept. of Geology Gary Parker

1.はじめに

河川の河道形状を定量的に予測することは工学上重要 な課題である.そのため河川の自由蛇行に関する研究は, 従来,数値計算や実験などを様々な手法で行われてきた. 清水ら¹⁾や長田ら²⁾³⁾は河床変動モデルと河岸浸食モデ ルを組み合わせて,砂質材料の河岸・河道を有する蛇行 河道の河床・平面形状の変化を追跡するモデルの提案を 行っている.また,長谷川⁴⁾は流路蛇行の支配要因につ いて理論的に説明し,実験によって検証している.しか しながら,それらの研究の多くは,河岸の浸食の速度に 比べて内側の河岸の土砂の堆積速度が遅いため時間の経 過とともに拡幅が生じる傾向がある.実河川においては 川幅をほぼ一定に保ったまま自由蛇行が発達していく河 川(図-1)が存在するが,このような蛇行河川の発達 を扱った研究はまだあまり行われていない.そこで,本 研究では河岸の粘性層の影響を考慮した数値計算モデル を構築し,川幅一定で発達する河川の自由蛇行の様子を 再現した.河岸は非粘性層の上に粘性層が覆いかぶさっ ている構成で,非粘性層が浸食されると上の粘着層から 土砂の塊(Slump blocks)が落下してきて河岸を armoring



図 - 1 自由蛇行河川の航空写真

する.armoring により河岸浸食が抑えられている間に土 砂の堆積が進み川幅がほぼ一定に保たれると仮定した (図-2[C]).

本モデルを用いて初期平面形状として平坦床の sinegenerated curve の蛇行水路を与え計算を行い,河岸浸食 と土砂堆積による平面形状の変化の特性について考察を 行った.

2.計算モデル

2.1 流れと河床変動の計算

河岸浸食により時間の経過とともに計算領域が移動・ 変形するため,移動一般座標系における流れと河床変動 の基礎式を用いた.移動一般座標系における流れと河床 変動計算については清水⁵⁾によって提案されたモデルを 用いている.ただし,このとき流砂は掃流砂のみを扱っ ている.

2.2 河岸浸食と河道平面形状の計算

本研究では図 - 2[A]および[C]に示すように,河岸 浸食と平面形状の計算法として清水⁵⁾が提案した河岸浸 食モデルに Slump Block の影響を加えたモデルを用いた. 河床変動計算により河岸近傍の河床が低下し,河岸の角 度が限界角以上になった場合には限界角を超える部分が 瞬間的に崩落すると仮定し,その浸食量に等しい量の SlumpBlock が洗掘部に供給され,河岸を armoring する. 外側の河岸の移動速度と Slump Block による armoring の関係は以下の式で表される.

$$\frac{\partial n_o}{\partial t} = \frac{1}{S_{os} + S_{tbo}} \left| \frac{1}{(1 - \lambda)B_{os}} \frac{1 + Cn_o}{1 + C\overline{n}_o} Kq_{osu} + \frac{\partial \eta_b}{\partial t} \right|_{n = n_o} \right| (1)$$

$$\frac{dA_{chunk}}{dt} = \left(1 + Cn_o\right)\frac{dn_o}{dt}H_c - \frac{A_{chunk}}{T_{chunk}}$$
(2)

$$K = \begin{cases} 1 - \left(\frac{A_{chunk}}{D_{chunk}B_{os}}\right), & 0 < \frac{A_{chunk}}{D_{chunk}B_{os}} < 1 \\ 0 & , & \frac{A_{chunk}}{D_{chunk}B_{os}} > 1 \\ & \overline{n}_{o} = \frac{1}{2} \left(n_{o} + n_{oo}\right) \end{cases}$$
(3)



また,本研究では上述のように計算領域の拡大・縮小 を行う際に,境界部分が乱れてしまうのを防ぐために平 滑化の処理を行っている(図 4).平滑化は河岸の計 算点において,毎時間ステップごとに河岸の移動量に関 して隣接した前後3点ずつ計7点の移動平均をとった.

2.3 計算条件

初期平面形状として sine-generated curve の蛇行水路を 設定した.蛇行水路は起点蛇行角:28.6°,蛇行波長: 4.71m,水路幅:0.3m,初期河床勾配:1/161である. 主な水理条件としては,河床材料の粒径:0.56mm,砂 粒子の水中比重:1.65を用いた.計算格子は流下方向に 1波長あたり28分割,横断方向に14分割した. また,PIZZUTO⁶¹による報告から,川幅の拡大・縮小 は流量変動に影響されると考え,図-5のように流量に

図-4 平滑化の概略図

ここで、 は河床材料の空隙率、 A_{chunk} は SlumpBlock が armoring する単位面積あたりの体積、 T_{chunk} は Slump Block が崩壊するまでに要する時間、 D_{chunk} は Slump Block の直径、Hc は粘性層の厚さである。その他のパ ラメーターについては図 - 3 に示す通りである。 Armoring により外側の河岸が移動していない場合には (2)式よりは A_{chunk} 減少する。そのとき(3)式よりKが増 大することになるので、外側の河岸から河床への土砂の 供給量である Kq_{osu} も増大する。この結果(1)式よ り外側の河岸が移動し、再び Slump Block が生産され浸 食を妨げるように作用する。



図-6 河床コンターと流速ベクトル図



図-7 河道の平面形状の変化

変化をつけて計算を行った.Slump Block に関するパラ メーターとしては *T*_{chunk}:10000 秒,*D*_{chunk}:3cm,*H*_c: 3cm を用いた.

3. 計算結果と考察

図 - 5 に河床コンターと流速ベクトルの計算結果を示 す.4時間後,8時間後および12時間後の結果を見ると, 川幅が大きく変化することなく自由蛇行が発達している のがわかる.流量増加時にあたる0時間~1時間後,4 時間後~5時間後および8時間後~9時間後においては, 浸食が堆積を上回り拡幅が起きているが,流量減少時に あたる1時間後~4時間後,5時間後~8時間後および9 時間後~12 時間後においては川幅が縮小するため全体 として川幅がほぼ一定に保たれている.流速ベクトルの 図を見ると,流量減少時には土砂の堆積が顕著な部分で 流速が0となっていることから浮き州ができているのが わかる.このように流量減少時には浮き州が顕著になり 内側の河岸に近い部分からが順に陸地化し,さらに河岸 浸食が Slump Block の影響で抑えられているため川幅が 縮小する傾向が見られた.また,流量増加時には浮き州 はあまり見られなくなり,河岸浸食のみが進行する結果 となっている.

河岸の移動の様子をより明確に把握するために,各時 間での河道の平面形状を図-7に示す.なお,上流側の 1波長については移動の状況が明確ではないので,下流 側2波長分の結果を示すこととする.流量減少時にあた る5時間後~8時間後および9時間後~12時間後におい ては陸地化により川幅が縮小している様子がはっきりと 見てとれる.川幅は流量の増加時に河岸浸食による増大, 流量減少時に陸地化による縮小を繰り返すという傾向が あり,その繰り返しにより自由蛇行が発達していってい る.また,以上の数値計算により,自由蛇行の発達過程 においては外側の河岸と内側の河岸は互いに独立して移 動することが示された.

以上の結果は,実河川においては,洪水や融雪などの 流量増加時における河岸浸食による Slump Block の生成 と,平常時における洪水時に堆積した土砂の陸地化を繰 り返すことで自由蛇行が発達してきたのではないかとい うことを示唆している.

4. まとめ

本研究では Slump Block と流量変動の影響を考慮した 自由蛇行の発達過程に関する数値解析モデルを構築した. その結果,外側の河岸と内側の河岸が別々に移動するこ とで川幅をほぼ一定に保ったまま自由蛇行が発達してい く様子を示すことができた.この結果は,PIZZUTO に よる報告とも一致している.したがって,拡幅を生じる ことなく自由蛇行の発達している河川においては,流量 変動と粘性層の影響によって河岸侵食と陸地化が起こり, 河岸の移動のバランスが保たれているのではないかと推 察される.

ただし, Slump Block の影響の定量的な評価にはまだ 至っておらず, A_{chunk}, T_{chunk}, D_{chunk} およびH_c等のパ ラメーターについてもどの程度の値を用いればよいのか 課題が残る.また,陸地化したと見なす時間についても 本研究で用いた値が適切であるかは不明である.

本研究では自由蛇行の発達過程について一例を示すこ とができたが,今後更に計算例を増やし,実験や現地観 測などと比較することで計算結果の妥当性を検討する必 要がある.

参考文献

1)清水康行,平野道夫,渡邊康玄:河岸浸食と自由蛇 行の数値計算,水工学論文集第 40 巻,pp.921-926, 1996.

2)長田信寿,細田尚,村本嘉雄,M.,Rahman:移動一 般座標系による側岸浸食を伴う河道変動の数値解析,水 工学論文集第40巻,pp.927-932,1996.

3)長田信寿,細田尚,村本嘉雄,M.,Rahman:河岸浸 食過程における流砂の非平衡性を考慮した流路変動の数 値解析,水工学論文集第41巻,pp.921-926,1997.

4) 長谷川和義:沖積蛇行の平面および河床形状と流れ に関する水理学的研究,北海道大学学位論文,1983.

5)清水康行:河道平面形状の形成における河床・河岸の変動特性の相互関係について,水工学論文集第47巻, pp.643-648,2003.

6) JAMES E. PIZZUTO : Channel adjustments to changing discharges, Powder River, Montana, Geological Society of America Bulletin, 1994