

河床変動計算における流路形状の影響

中電技術コンサルタント(株) ○杉原 成満, 倉本和正
九州大学大学院農学研究院 水野 秀明

1. はじめに

山地河川における降雨時の河道侵食・堆積を予測する手法として、一次元河床変動計算が多くの場合で用いられる。一次元河床変動計算は、河道の線形を直線とし、河道形状を矩形に近似することが多く、流れ方向に対してのみ計算を実施するため、単純であり扱い易いモデルといえる。しかしながら、山地河川において、多くの場合、河道は狭窄部や湾曲部、合流部等の流路形状を有しており、直線で近似しにくい。そのため、一次元河床変動計算は流路形状により生じるせき上げ背水や偏流等の局所的な水面の変化を考慮しきれていないとは言えない。

そこで、本研究は、まずは流路形状のうち湾曲部に着目し、流路の線形の変化が河床変動計算での水深の計算結果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。なお、計算は二次元の非構造格子を用いる。計算要素を円弧上に並べた場合と直線上に並べた場合の両方の計算を行い比較することで、水深を比べる。

2. 計算条件

二次元河床変動計算は、二次元浅水流方程式を有限体積法で離散化した数値モデル^{1),2)}を用いて行った。計算条件を以下に示す。

(1) 地形モデル

検討に用いる地形は、図-1 に示す一様勾配の縦断地形 (10° および 5°) とし、中心に湾曲部 (R150、100、50) を有する延長 500m、川幅 5m の河道とした。当該河道は、縦断方向に 50 分割 (約 10m 間隔) で生成した座標点群を用いた三角形要素でモデル化した (図-2)。また、比較のため、湾曲部を有さない直線流路 (一次元河床変動計算を想定したモデル) も同様の方法で作成した。

(2) 計算パラメータおよび検討ケース

検討に用いる計算パラメータを表-1 に示す。本研究では上流端に供給する水は一定量とすることで定常状態での比較を行う。なお、水の供給は、水深と流速で与えており、土砂は供給していない。

また、本研究における検討ケースは、地形モデルと流量規模の組み合わせにより設定し、流路形状を直線とするケースとの比較によって湾曲部の影響を考察する。

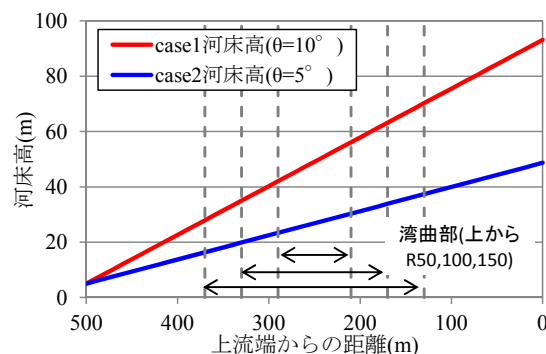


図-1 縦断地形

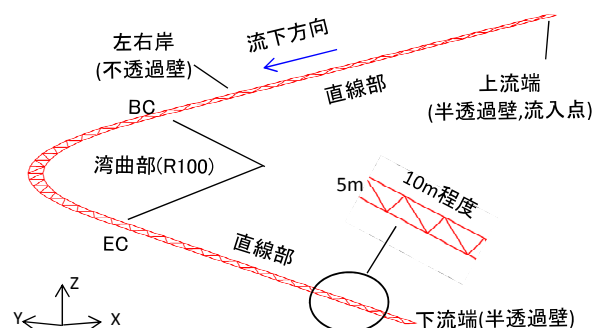


図-2 地形モデルの一例

表-1 計算パラメータ

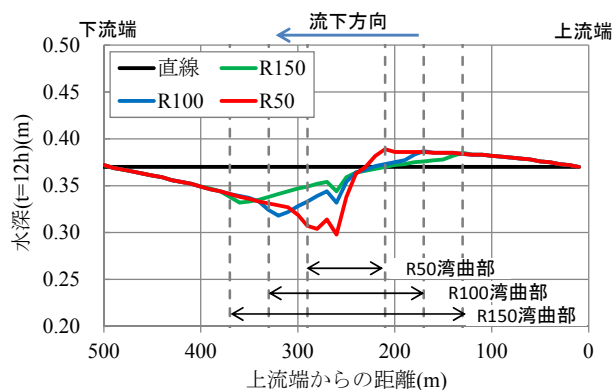
パラメータ	数値
計算時間	12時間
最大時間ステップ	10秒
CFL	0.1
重力加速度	9.81m/s ²
流体の密度	1,200kg/m ³
粗度係数	0.04
流量 (一定)	5, 10, 20, 100m ³ /s

3. 計算結果

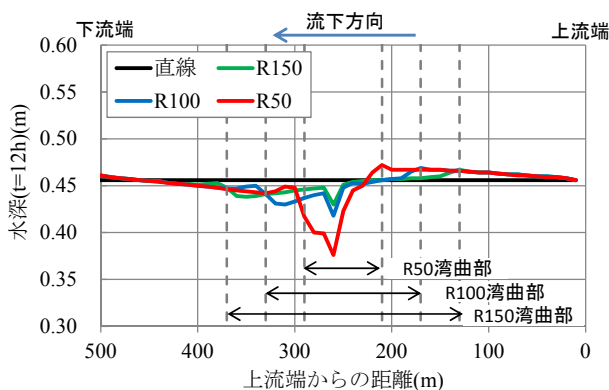
(1) 湾曲部の形状による影響

図-3は各地形モデルに10m³/sの水を供給したケースについて、12時間経過時の水深を比較した結果である。ここで、曲線部においては外側において水深が高くなることから、図中に記載の水深は内外2要素の平均値としている。なお、当該水深は11時間経過時の水深との差が十分小さいため、定常状態の水面と考えられる。

図-3より、湾曲部を有さない直線流路とした場合、水深は全区間で一定となるが、流路形状に湾曲部を反映した場合、水深は湾曲部の前後で次のとおり傾



(a) 河床勾配 10°



(b) 河床勾配 5°

図-3 12 時間経過時の水深

向が異なっている。

- ・上流端から湾曲部の起点に向かっては、水深が上昇している。これは、湾曲部で流れが阻害され、上流側でせき上げ背水が生じ、その影響が上流端に向かって伝搬しているものと考えられる。
- ・湾曲部では下流に向かっては、水深が低下している。これは、上流側でせき上げ背水が生じることによって湾曲部との水位差が大きくなり、下流側の流速が早くなったことに起因するものと考えられる。
- ・湾曲部の終点から下流端に向かっては、水位が上昇する。これは、湾曲部の以降は流路形状が直線であるため、直線流路の水深にすりつくように上昇するものと考えられる。

湾曲部を有する流路では、これらの影響によって直線流路との水深差が生じているが、湾曲部の影響は径が小さいほど大きい。また、溪床勾配は急なほど水深差が大きく、影響範囲も広がっている。

(2) 流量規模による影響の差異

図-4は河床勾配 10° の縦断地形において R50 の湾曲部を有する流路について、12 時間経過時における直線流路との水深差 (R50 流路-直線流路) を整理したものである。

図より、上流端から湾曲部までの区間では、流量を大きくした場合であっても明瞭な差は生じていない。ただし、湾曲部における水深の低下量は流量が大きいケースほど大きく、湾曲部終点付近の水深差は 100m³/s を供給したケースで 0.2m 程度となっている。湾曲部を抜けた後の水深は、5, 10, 20m³/s を供給したケースでは緩やかに上昇しているが、100m³/s を供給したケースでは湾曲部を抜けた直後に水深差 0.1m 程度のせき上げ背水が生じた後、直線流路の水深にすりつくよう低下している。

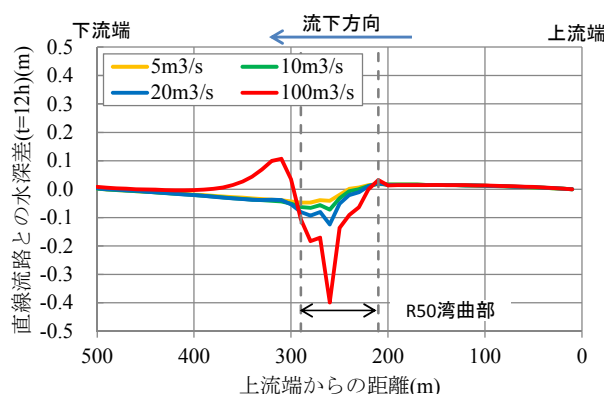


図-4 12 時間経過時における直線流路との水深差
(河床勾配 10°、湾曲部 R50)

4. まとめと今後の課題

本研究では、湾曲部が河床変動計算の水深の計算結果に及ぼす影響を明らかにした。その結果、湾曲部を考慮した場合の水深の計算結果は、考慮しない場合のものと比べて、湾曲部の上流区間で深く、中央部で浅く、下流部で深くなることが分かった。湾曲部の曲率半径が小さいほど、この傾向は顕著となった。このことから、山地河川においては湾曲部の影響を考慮することが望ましいと考えられる。今回は、水のみ供給しており、土砂の侵食・堆積にどのような影響を与えるかまでは確認できていない。そのため、今後は土砂の侵食・堆積に与える影響について検討を行っていく必要がある。

参考文献：1) Ankai T., Mizuno H. and Sekine T.: Numerical analysis of blockage in a channel work by stony debris flow, The 5th International Workshop on Multimodal Sediment Disaster, p.49-56, 2014, 2) 水野秀明, 関根 敬, 江藤稚佳子, 倉本和正: 静水状態を考慮できる有限体積法による段波の再現, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol.8, No.1, p.13-20, 2016