## 偏流に伴う河岸侵食について

徳島大学大学院 学生会員 〇山本隼也 徳島大学大学院 正会員 武藤裕則

徳島大学大学院 正会員 田村隆雄

1. 研究の背景と目的: 平成 26 年 8 月, 台風 12 号, 続く 11 号に よってもたらされた洪水が吉野川左岸 37k 付近の西原箇所におい て約 50m の河岸侵食を発生させた(図 1). 西原箇所では,河道地 形や植生の影響により、偏流という河岸に衝突するような流れが 発生している.この偏流により、二次流が強くなりその河岸を直 接洗掘する鉛直方向のせん断力が大きくなったため、河岸近傍に おいて局所的な洗掘が発生している(図 2).しかし、従来の河岸 侵食モデルでは、河床変動計算による河岸近傍の河床低下により、



河岸侵食発生地点 図 1

34

河岸の水中安息角を超える部分が土砂崩落し、その侵食量に等しい土砂量を河岸近傍に 埋め戻すという仮定をとっている. そのため, 河岸近傍がより深く洗掘するという結果 は得られないとされている. 本研究では、二次流の影響を考慮した河岸侵食モデルを構 築し、西原箇所における河岸侵食を抑制させる河道地形及び植生配置の組み合わせにつ いて検討を行う.

2. 解析手法:本研究で用いた解析モデルは、一般座標系で表される流れの基礎式と流砂 の基礎式からなる.流れの基礎式として連続式及び運動方程式を(1)~(3)に、流砂の基礎 式として連続式及び掃流砂量式を(4)~(6)に示す.掃流砂量式は,流線方向に芦田・道上 の式(5)、流線と直交する方向に長谷川の式(6)を用いる.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{Vh}{J} \right) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{M}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UM}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VM}{J}\right) = -gh\left(\frac{\xi_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \eta}\right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} - \frac{F_x}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J}\frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'}^2h\right) + \frac{\xi_y}{J}\frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'}v'h\right) + \frac{\eta_x}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}^2h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}v'h\right) = -gh\left(\frac{\xi_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \eta}\right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} - \frac{F_x}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J}\frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'}v'h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}^2h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}v'h\right) = -gh\left(\frac{\xi_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J}\frac{\partial z_s}{\partial \eta}\right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} - \frac{F_x}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J}\frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'}v'h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}^2h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'}v'h\right) + \frac{\eta_y}{J}\frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{N}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UN}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VN}{J}\right) = -gh\left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta}\right) - \frac{\tau_{by}}{\rho J} - \frac{F_y}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'}h\right) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{v'^2}h\right) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'v'}h\right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{v'^2}h\right)$$
(3)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J}\right) + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q^{\xi}}{J}\right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q^{\eta}}{J}\right)\right] = 0 \qquad (4) , \quad q_{BS} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \sqrt{sgd_m^3}$$

3. 二次流の影響を考慮した河岸侵食モデル:西原箇所におけ る河岸侵食をモデル化するためには、二次流によって大きく なる鉛直方向のせん断力による洗掘量の増加と水中安息角 に土砂崩落をあまり発生させないために河岸の粘着力を考 慮する必要がある.そこで、河岸侵食モデルの構築について は、①河岸の粘着力を考慮した水中安息角による河岸崩落② 鉛直方向のせん断力による直接洗掘(図3)③河岸侵食に伴う



河岸直下の洗掘(図4)の3つの要素を加えた.①では、粘着力を持たせるために一般的な砂質土の水中安息 角 30°よりも大きい値になるように限界角βを調節した.②では、偏流時に発生する鉛直方向のせん断力τ<sub>z</sub>を 流下方向のせん断力 $\tau_x$  に係数 $\alpha$  を掛ける形で評価した. ③では,河岸直下の洗掘量 $D_e$  を河岸侵食によって移 動した河岸の横断方向への移動量We に係数γ を掛ける形で評価した. 西原箇所における河岸侵食を再現でき るように、これらの $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  の3つのパラメータを調節した.

る横断形状

(6)

4. 西原箇所への適用:提案した河岸侵食モデルを西原 箇所へ適用し,再現性を確認した.計算条件として, 水理条件に平成26年台風12号・11号洪水を与え,河 床条件として,平成23年の横断測量データを内挿補間 したものを使用した.河床材料は一様砂を仮定し,距 離標40.0kにおける代表粒径D<sub>60</sub>の33mmを使用した. 36.4k断面における解析結果を図5に示す.図5より, 従来モデルである水中安息角30°で崩落する河岸侵 食モデルにおいて横断方向への侵食量の誤差は40m, 河岸近傍の深掘れの絶対誤差は1.4mとなった.また, 今回提案した河岸侵食モデルでは,横断方向への侵食 量の誤差は10m,河岸近傍の深掘れの絶対誤差は0.7m となった.このことから,実測値との誤差はまだ残る が,侵食量が大幅に真値に近づいたことがわかる.

5. 侵食が抑制される河道地形・植生配置の検討:西原 箇所における河道地形及び植生配置は河岸侵食を助長 させた要因として考えられている.これら2つの要因 を変化させることにより、河岸侵食を抑制させる河道 地形及び植生配置の組み合わせについて検討を行った. 計算条件として、水理条件は平成26年台風12号洪水 を与え、初期地形及び河床材料は再現計算の際に使用 した条件を使用した.また,計算ケースを表1に示す. 河道地形は、現況の地形を Model A とし、図6に示す ポイントを平成7年地形になるよう掘削を行った.植 生配置は、図7に示す36.8k~39.0kにおける左岸側の樹 木と中洲の樹木の伐採を行った. 左岸側の樹木につい ては樹木の密生度を100%、50%、30%と変化させた3 ケース, 中洲の樹木についてはすべて伐採する場合, 伐採しない場合の2ケースを考えた.解析結果として, 表2に Case A-100Pを基準とした36.4 断面における河 岸侵食率を示す. 河岸侵食率は各ケースにおける河岸 侵食面積の Case A-100P における河岸侵食面積に対す る増加率を示す.抑制されたケースは河岸侵食が発生 した箇所の対岸の砂州を掘削した Model B におけるケ ースであった. その中でも, 左岸側の樹木及び中洲の



図 5 36.4k 断面における解析結果

表1 計算ケース											
	<b>左岸側樹木100%</b> 計算 λ <sub>veg</sub> =0.020m <sup>-1</sup>		左岸側樹木50% λ <sub>veg</sub> =0.010m <sup>-1</sup>		左岸側樹木30% λ <sub>veg</sub> =0.007 m <sup>-1</sup>						
計算											
ケース	中洲樹木	中洲樹木	中洲樹木	中洲樹木	中洲樹木	中洲樹木					
	有	無	有	無	有	無					
Model A	A-100P	A-100A	A-50P	A-50A	A-30P	A-30A					
Model B	B-100P	B-100A	B-50P	B-50A	B-30P	B-30A					
Model C	C-100P	C-100A	C-50P	C-50A	C-30P	C-30A					
Model D	D-100P	D-100A	D-50P	D-50A	D-30P	D-30A					
Model E	E-100P	E-100A	E-50P	E-50A	E-30P	E-30A					



図 6 河道地形の掘削ポイント (平成 23 年-平成 7 年河床高差分コンター)



図7 西原箇所における植生分布

表 2 36.4 断面における河岸侵食率											
河岸侵 食率(%)	左岸 <b>側樹木100%</b> λ <sub>veg</sub> =0.020m <sup>-1</sup>		左岸 <b>側樹木50%</b> λ <sub>veg</sub> =0.010 m <sup>-1</sup>		左岸 <b>側樹木30%</b> λ <sub>veg</sub> =0.007 m <sup>-1</sup>						
	中洲樹木 有	中洲樹木 無	中洲樹木 有	中洲樹木 無	中洲樹木 有	中洲樹木 無					
Model A	0.0	+0.2	+0.6	+10.0	+5.1	+13.1					
Model B	-93.3	-89.5	-88.2	-85.5	-85.2	-82.8					
Model C	+1.0	+4.8	+2.3	+7.1	+10.9	+13.1					
Model D	+0.4	+2.6	+1.4	+11.9	+5.8	+16.8					
Model E	+6.0	+13.9	+6.9	+14.4	+15.3	+18.5					

樹木を伐採しないケースである Case B-100P が河岸侵食率-93.3%と最も河岸侵食が抑制されたケースとなった. 6. まとめ:本研究では、二次流の影響を考慮した河岸侵食モデルを構築し、西原箇所における河岸侵食を抑制 させる河道地形・植生配置の組み合わせについて検討を行った.提案した河岸侵食モデルを西原箇所へ適用し た結果、従来モデルより横断方向への侵食量と河岸近傍の深掘れについて大きく改善することができた. この モデルを基に、河岸侵食が抑制される河道地形及び植生配置の検討を行った結果、河岸侵食が発生した箇所の 対岸の砂州を掘削した場合に河岸侵食を抑制することができることを示した. また、左岸側の樹木及び中洲の 樹木は、河岸侵食を抑制する働きがあることを示した.