

## 14 落差工間の河床低下に及ぼす植生繁茂の影響

金沢大学工学部 辻本哲郎  
 京都大学工学部 ○北村忠紀  
 京都大学大学院 川崎和俊

**1. まえがき** 落差工下流部では、上流からの流砂の連続性が断ち切られるために河床低下が生じるが、このとき、平水時における流路内での植生の繁茂を伴う場合がしばしばみられる。こうした植生の繁茂は、洪水時の流れのみお筋部への集中とそれに伴う局所洗掘といった治水面での問題の他、ハビタートの変化といった環境面からも重要な問題であり、その適切な管理が必要であると考えられる。本研究では、こうした植生の繁茂を伴って進行する河床低下現象を、水理学的手法によって、概略的にモデル化し、その基本特性の把握を試みる。

**2. 現象の特徴とそのモデル化** 洪水時における大流量の流れによって変形した河床に対応して、平水時の小流量では陸化する領域に植生が進出し、河川流量の変動によって、これらが繰り返される。ここでは、洪水～平水～洪水と引き続く河川流量の特徴を最も簡単にモデル化する。すなわち、平水時の流量 $Q_b$ をベースとして、同一時間間隔 $T_b$ ごとに同一規模の洪水流量 $Q_f$ が時間 $T_f$ だけやってくるものとし(図1)、洪水時を河床変動ステージ、平水時を植生繁茂ステージとして特徴づけ、これらの4つのパラメータによって現象がどのように進行するのかを調べてみる。図2のような延長 $L$ 、初期勾配 $i_{b0}$ 、幅 $2B_0$ の1ユニットの落差工間での現象を考える。ここで、上流端において土砂供給が完全に止められるものとし、下流端が河床変動の固定端であるとして扱う。このとき疑似等流状態が満足されていると、河床低下が河床勾配の減少となって現れる、いわゆる rotational degradationが生じる。さて、図3(a)のようにこの流路の側岸に初期状態として幅 $b_0$ の植生帯があるとす。この時、洪水時の主流速は図3(b)のように植生帯近傍では減速され、流量 $Q$ によっては植生帯近傍で限界掃流力以下となる領域が生じる。すなわち、この領域では河床低下は生じないので(図3(c))、洪水後の平水時の流量 $Q_b$ がある程度小さければ河床低下しなかった領域は陸化する可能性があり、そこには植生が侵入できる(図3(d))。このようにして植生域が拡大した後再び洪水を迎えると、流量がより流路中央部へ集中して流れるために、限界掃流力となる位置はより流路中央部に移動するとともに、河床低下がより深刻化するものと考えられる(図3(e)-(g))。

**3. 河床低下に関する Gessler モデルの拡張** このような過程における1回の洪水での河床低下量を Gessler の解析<sup>1)</sup>を用いて評価する。洪水時の河床低下ゾーンを特定し(後述)、河床低下ゾーンの河床勾配 $i_b$ の変化は、河床低下ゾーンの単位幅あたりの流砂量から計算される流路延長 $L$ 区間からの $\Delta t$ 時間内の総流出土砂量が、この区間での rotational degradation を仮定した河床低下により失われる $\Delta t$ 時間内の土

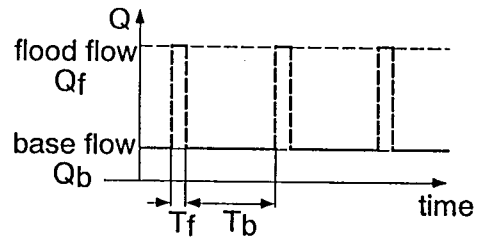


図1 河川流量変動のモデル化

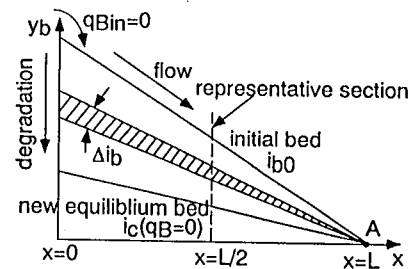


図2 rotational degradation

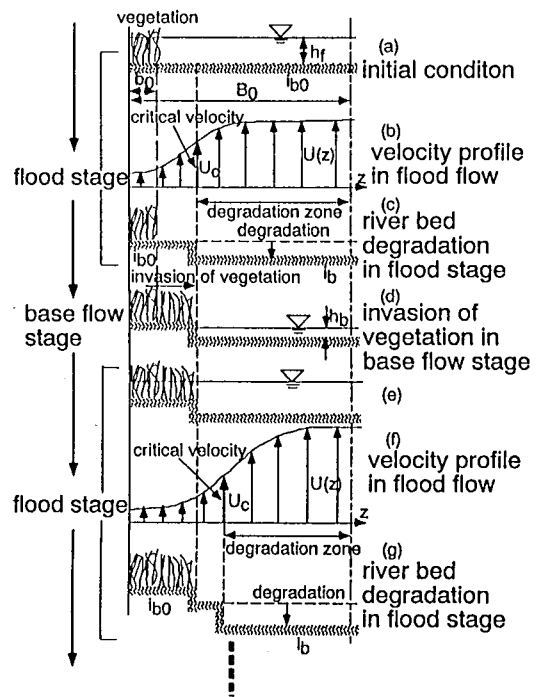


図3 河床低下と植生の繁茂

砂量に等しいとし、なおかつ、流砂量が流量と河床勾配の積で表されるものとして取り扱えば、結局、第 $n$ 回目の洪水後の河床勾配 $i_b(n)$ が次式のように得られる。

$$i_b(n) = i_c(n) + A(n)\{i_b(n-1) - i_c(n)\} \quad (1) : \quad A(n) = \exp\{-3T_f/T_{deg}(n)\} \quad (2)$$

ここで、 $T_{deg}(n) = 3L^2/q(n)$  :  $n$  回目の洪水時における degradation の時間スケールであり、 $n$  回目の洪水時における平衡河床勾配 $i_c(n)$ への遷移が95%達成される時間である。 $i_c(n)$ は、無次元限界掃流力を0.05とすると、河床砂粒径 $d$ 、河床抵抗係数 $C_f$ 、河床低下ゾーンにおける単位幅流量 $q$ を用いて次のように書ける。

$$i_c(n) = 0.024g^{0.5}d^{1.5} / \{C_f(n)^{0.5}q(n)\} \quad (3)$$

ここで、 $g$  : 重力加速度であり、河床抵抗係数 $C_f$ については、Keuleganの式を用いれば、

$$C_f(n) = \left[ (1/\kappa) \ln \{h(n)/d\} + 6.0 \right]^2 \quad (4)$$

である。ここで、 $h(n)$  :  $n$  回目の洪水時における水深、 $\kappa$  : カルマン定数である。もともとのGesslerの解析では、植生域の拡大がないため、 $q$ 、 $C_f$ が洪水ごとに変化せず、したがって $i_c$ 、 $T_{deg}$ は一定となるが、本解析では、植生域が洪水と洪水の間に変化することにより、これらは洪水ごとに変化することになる。

**4. 植生侵入モデル** 本研究では、植生の成長時間スケール $T_g$ が、平水時の時間スケール $T_b$ よりも十分に短い場合 ( $T_g \ll T_b$ ) を考える。すなわち、洪水後に陸化した領域においては、植生が完全に成長するものとする。さらに、簡単のために、植生の侵入領域を考えるのは流路延長の半分の位置 ( $x=L/2$ ) の断面での諸量を基準とするものとし、平水流量に対するこの断面での等流水深を求め、このとき、この断面で陸化している領域に流下方向に一樣に植生が繁茂するものと近似する。これは、植生帯幅が流下方向にほぼ一樣でない解析の大前提である疑似等流の仮定が満足されなくなるからである(概略的な傾向を知りたいという本研究の目的からは、このような近似も許されるものとする)。

**5. 解析結果と考察** 洪水時の横断方向流速分布は、植生の形状抵抗を考慮した水深平均乱流モデル<sup>2)</sup>を用い、植生を伴う流れが十分に発達した疑似等流状態の流れ場を推定し、これにより、洪水時の河床低下ゾーンとその領域での単位幅流量を求め、洪水時間 $T_f$ 間の河床低下量を3節のモデルにより求めた後、4節のモデルに従って平水時の植生繁茂領域を求め、再び洪水時の横断方向流速分布を計算し、これらを繰り返す。図4は、こうして何回かの洪水後に達成される平衡状態での河床勾配 $i_b(n \rightarrow \infty)$ 、植生帯幅の増加率 $b_f/b_0(n \rightarrow \infty)$ の洪水流量 $Q_f$ 、平水流量 $Q_b$ による違いを示した例である。ここで、流路条件は、 $L=1000\text{m}$ 、 $2B_0=50\text{m}$ 、 $i_{b0}=0.002$ 、 $d=0.01\text{m}$ 、 $b_0=2\text{m}$ 、植生密度 $C_p\lambda=0.5\text{m}^{-1}$ 、植生高さ $l=2\text{m}$ とし、洪水時間 $T_f=0.1T_{deg0}$ としている。ここで、 $T_{deg0}=3L^2/(Q_f/2B_0)$  : 植生繁茂がないとした場合の degradation の時間スケールで、今の場合、例えば $Q_f=100\text{m}^3/\text{s}$ では $T_{deg0}=417\text{hour}$ である。図より、植生帯幅は平水流量 $Q_b$ が少ないほど、ある $Q_f$ をピークにしてより広く拡大することが分かる。これは、 $Q_f$ が少ないと河床低下自体が進まないこと、多すぎるとより植生帯近くまで河床低下が生じ、平水時に陸化する領域がせまくなるからである。河床勾配については、 $Q_f$ が多い方が小さくなり、また $Q_b$ が小さい方がわずかながら河床低下がより進行するようである。これらより、植生が最も繁茂しやすい、あるいは繁茂できない流量変動条件が存在し、さらにそれを推定できようである。

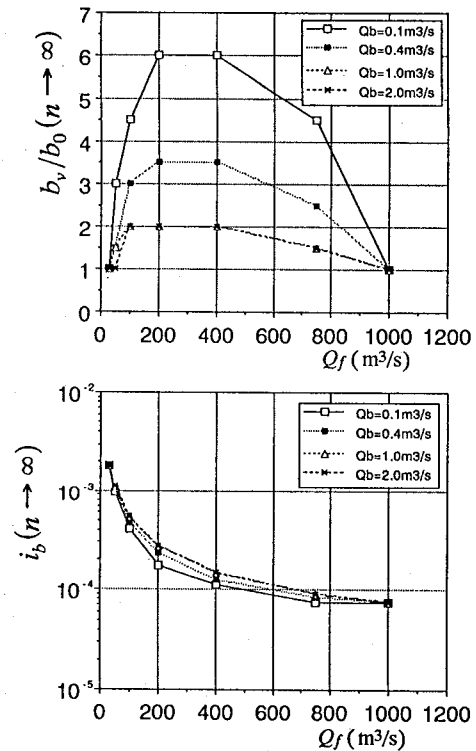


図4 計算結果例

**6. あとがき** 本研究では、植生の繁茂を伴って進行する河床低下現象の簡単なモデル化からその概略的な把握を試みた。解析にあたっては、疑似等流を仮定し、さらに、平水時には陸化した領域に植生が完全に繁茂するものとして取り扱った。今後は、植生の成長時間スケール、洪水時の植生の破壊をも考慮して解析すること、さらに、様々な河床形態と植生繁茂の関係についても検討していきたい。

**参考文献** 1)中川・辻本：移動床流れの水理，第12章，技報堂出版，1986。2)清水・辻本：水工学論文集，第39巻，pp.513-518，1995。3)辻本・北村：水工学論文集，第40巻，pp.199-204，1996。