

梯川河川敷での植生水理実験と植生による耐侵食性の評価

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎

金沢大学工学部

○三谷 武史

1. まえがき 梯川（石川県小松市を河口とする一級河川）では引堤工事に伴って新しい堤防・高水敷が造成されているが、もともと土堤でハマダイコン・ヒガンバナの咲き乱れる景観が親しまれてきた。これらあるいはその他花をつける草本層が高水敷・堤防法面の耐侵食性にどの程度効果があるかを評価し積極的に「植生堤防」を指向したい¹⁾との観点から、建設省金沢工事事務所で梯川河川敷の草地の上に水路を仮設し、そこに洪水時の流速を流しての侵食実験が実施された²⁾。その機会に当研究室（KHL）が担当した乱流測定結果に基づき、ここでは耐侵食性評価の方法を検討する。

2. 実験の概要 実験は梯川下流部（4～10km）でもとから生えている植生や株を移植し養生したく植生の上に長さ約10m、幅約1.5mの水路を仮設し（側壁と上流貯水・整流槽を仮設）、河川水をポンプアップして2m/s程度までの水流を導き、数時間以上通水した。実験で用いた植生は秋の雑草、芝（以上1992年秋）、ハマダイコン、パーベナ、ガーベラ（以上1993年夏）、シロツメグサ（以上1993年秋）で、流速測定は小型電磁流速計（KENEK201）を用いて行ない、20Hzで1,024個のサンプリングとしデジタルレコーダでフロッピーに記録した。主として、L型プローブを用いて流速分布とReynolds応力分布に着目した計測とした。本報ではパーベナを用いた実験結果をもとに議論する。

図1は流速分布、Reynolds応力分布の測定例で、図1(b)に示すように測定されたReynolds応力分布が表面流部（植生のない部分）で直線分布を呈することからその外挿で水面位置とエネルギー勾配 I_0 を推定、また植生境界でReynolds応力が極大値を示すことから植生層厚さを推定した。これらによって評価された植生頂部のせん断応力で定義された摩擦速度 (u_*) 無次元化した流速、乱れ強度、Reynolds応力分布はあまりがよく（図2に無次元表示された流速分布、Reynolds応力分布の例を示す）、室内水路での計測結果³⁾と同様で質の高いデータの得られていることがわかる（文献⁴⁾参照）。

3. 植生を伴う流れの計算 植生層内の流速分布およびその漸近値 u_{s0} から次式によって植生密度 λ を評価することができる。

$$\lambda = 2gI_0 / (C_D u_{s0}^2)$$

各植生について数ケースの水理条件（エネルギー勾配 I_0 ）での実験がされており、ここでは流量条

件に依存しない固有の植生層の特性値として密度の評価をすることとした。底面近傍流速は急激に減少しているので、ここではむしろ植生層内の平均的な流速変化勾配から評価した。ここでの議論に用いたパーベナでは $\lambda = 0.040 \text{ cm}^{-1}$ とした。この植生層に対して、位相流量 $q = \bar{U}H$ ($\bar{U}$: 水深平均流速, H : 水深) を与えて、著者らが提案した植生による抗力を空間平均で考慮しk-ε乱流モデルを用いた方法⁵⁾で数値計算を行なった。計算結果は図3に計測結果と比較して示してあるが（流速分布、Reynolds応力分布）、計算による流れ場の再現は良好と言える。

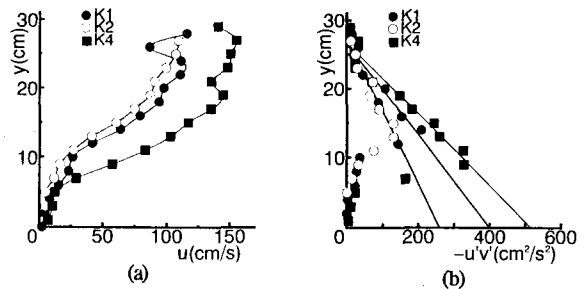


図1 流速分布とReynolds応力分布

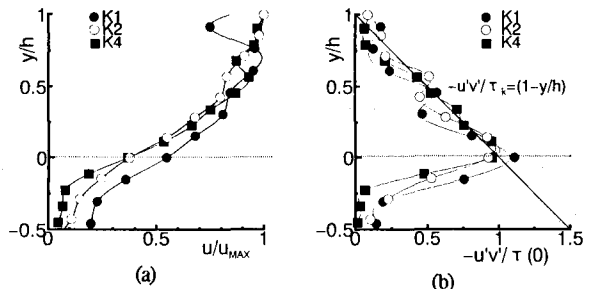


図2 無次元化された流速分布及びReynolds応力分布

次に、エネルギー勾配一定で流量が変化したときの流速分布、Reynolds応力分布の変化を予測する。k-ε乱流モデルを用いた方法⁵⁾では水深を仮定して計算せねばならず、ここでは次の手順で繰り返し計算を行なって水深を評価すると共に流れ構造の計算を行なった。

(1) 水深 H_i を仮定(添字 i は第 i 次近似であることを示す)、 $\bar{U}_i = q/H_i$ として数値計算を実行し、その結果として得られるエネルギー勾配 I_{ei} が条件として与えたエネルギー勾配 I_e に等しいかどうか判断する。

(2) 等しくなければManningの粗度係数を一定として流量が等しく勾配が I_e に等しい流れの等流水深を水深の第 $(i+1)$ 近似 H_{i+1} として(1)に戻す。すなわち、 $H_{i+1} = (I_{ei}/I_e)^{3/10} H_i$ で第 $(i+1)$ 近似水深を与える。

(3) エネルギー勾配が I_e に収束した時点で計算を終了、乱流特性量を整理する。

計算が収束して得られた流速分布、Reynolds応力分布の変化は図4に示される。とくに流量～水深関係をまとめたものが図5であり、図6にはReynolds応力の底面外挿値として得られる底面の掃流力の流量に対する変化を示した。植

生の存在は抵抗を大きくし流速を低減するが、その分による水深増加は著しい。ただし植生に覆われた砂面の掃流力は極めて小さくなり、たとえば単位幅流量で $4,000\text{m}^3/\text{s}$ のとき裸地では5mm程度の粗砂まで移動するが、植生に覆われると

0.2mm以下の細砂でないと動かないことになる。植生に覆われた表層の粒径に対し、移動限界を越す流量条件となるときには、上流からの土砂供給が妨げられた場合などは侵食が進行し、植生も安定を失うことになるが、その過程についてはさらに検討が必要である。

4. あとがき 本研究では、河川敷での実際の草地の上の流れを乱流計測し、その結果とk-ε乱流モデルによる流れの予測から、植生(草本類)の耐侵食能を評価する方法の検討を行なっている。数値計算と現場実験との対応がつかないと、今後はさらに代数応力モデルをも行いた断面計算から高水敷や堤防法面での植生被覆による耐侵食高をも評価できるようにと進めていく予定である。実験に当たっては小俣篤調査第一課長を始め建設省金沢工事事務所にいろいろ便宜を図っていただいた。謝意を表する。

参考文献: 1) 常田・小俣・安達: 梯川に関するアンケート調査, 土木学会第48回年講概要集, II-177, 1993. 2) 辻本・小俣・岡田: 草地の上の乱流特性の現場実験による検討, 土木学会第48回年講概要集, II-308, 1993. 3) 清水・辻本・中川・北村: 直立性植生層を伴う流れ場に関する実験的研究, 土木学会論文集, 447/II-19, 1991. 4) 辻本: 実河川での計測に基づく乱流構造に及ぼす粗度形態の影響に関する研究, 科研費一般(C)成果報告書, 1993. 5) 清水・辻本・中川: 直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究, 土木学会論文集, 447/II-19, 1992.

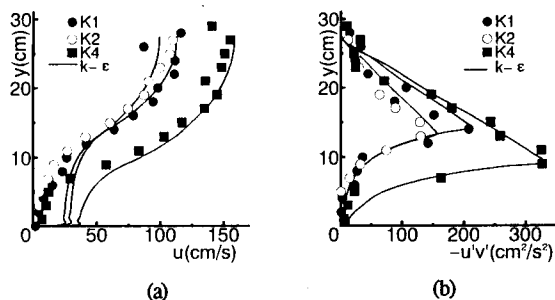


図3 計算結果と実測結果の比較

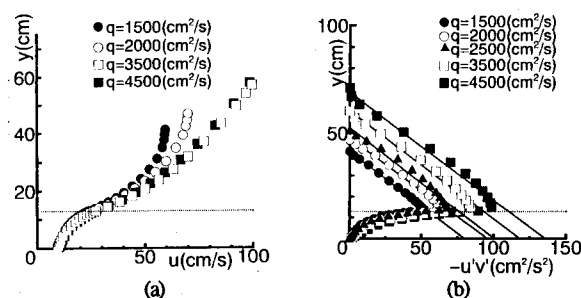


図4 流速、Reynolds応力分布の予測計算

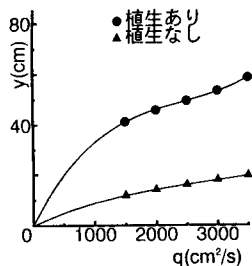


図5 流量～水深関係の予測

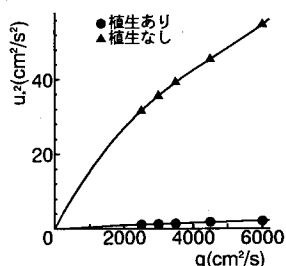


図6 砂面上に作用する「有効な」掃流力の変化