

草地の上の乱流特性の現場実験による検討

金沢大学工学部 正員 ○辻本 哲郎
建設省金沢工事事務所 正員 小俣 篤
金沢大学大学院 学生員 岡田 敏治

1. まえがき 梯川は石川県小松市を河口とする一級河川で、下流部は1/3000から1/5700程度の緩流河川である。計画高水に対し現在の流下能力は半分程度のところが多く、現在引き堤を中心とした河川改修が進行中である。従来の堤防は土堤に近く、堤防、河川敷には季節の草花（春のハマダイコン、秋のヒガンバナが代表的）が繁茂し市民に親しまれている。改修後の新堤でもこうした景観を確保することが望まれており、このたび建設省金沢工事事務所では現存の植生（特に典型的なものとしてハマダイコンに着目）が洪水時にどの程度の耐侵食性を示すか、現場実験（写真1）で検討することとなった。実験は1992年10月に実施され、実際の植生上の流れの乱流特性が検討できる精度良いデータが得られたので報告する。

2. 実験の概要 実験は梯川右岸1.9km地点（A）及び左岸4.0km地点（B）の河川敷に直接仮設された水路で行なった。A地点は春にはハマダイコンが密生する箇所、この時期（秋）も丈の低いものが散在しているがこの時期の主たる植生はエノコログサで背丈は30cmにも及んでいる。一方、B地点は芝地となっている。なお、B地点の実験では下流端近傍の一部に裸地部を設け、植生の有無による流れの構造の変化を確認した。A、B地点とも土質材料は細砂でそれぞれ中央粒径は0.05mm、0.1mmである。仮設水路は図1に示すような幅1.30m、長さ18mで河川敷に直接仮設したもので、側壁は10～20cm程度地盤に挿入しモルタルで簡易に固めている。下流端にはモルタルの帯工を設け、必要に応じて木材で5～10cmの堰を設けた。水路上流の水槽は幅2m、全長13mでその中に整流板、流量検定用全幅堰、水路部への漸縮区間（2m）を含んでいる。水槽にはポンプ10台によって河川水を毎秒最大1.0m³注水できるようにした。流速測定はL型プローブの小型電磁流速計で行ない¹⁾、水路中心での流下方向・鉛直方向の2成分同時計測で、20Hz、1024個のサンプリングとした。流速計のプローブは長さ2mのステンレスパイプと一体化され、水路両側の足場かけられたブリッジから鉛直方向に精度良く昇降できる。流速計の出力はデジタルレコーダーに記録され、後にパソコン処理した。電源にはポータブル発電機を用いた。なお、流速測定前後に河床、水面高さ及び植生高（K）を測定した。流量は各地点で1.0～2.0m/sを目安として数段階に設定し、植生の様子を観察しながら数時間以上の通水を行なった。通水中植生は倒伏し、A地点では8～12cm程度B地点では5～8cm程度の植生層を伴う流れになっていた。



写真1 植生層上流れの現地実験（梯川）

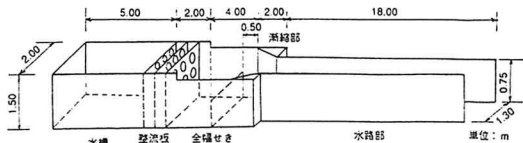


図1 実験水路

表1 実験条件表

Run No.	H(cm)	U (cm/s)	Q (m ³ /s)	I
KR4	23	76	0.23	0.0057
KR5	23	73	0.22	0.0057
KR6	32	63	0.26	0.0044
KR7	31	59	0.24	0.0041
KR8	34	86	0.38	0.0049
KR9	35	110	0.50	0.0068
KR10	38	111	0.54	0.0057
KR11	35	102	0.46	0.0073
SR2	19	120	0.30	0.0087
SR3	37	105	0.50	0.0026
SR4	44	118	0.67	0.0018
SR5	53	133	0.90	0.0023
SR7	41	144	0.76	0.0035
SR8	40	143	0.75	0.0036

3. 実験結果 実験の水利条件を表1に示す。KRシリーズはA地点、SRシリーズはB地点での実験である（SR2は裸地部での測定）。実験条件表の水深H、平均流速U、流量Qのいずれも概略値である。またエネルギー勾配Iは後述のように測定されたReynolds応力分布から推定された。実験で得られた時間平均流速（ $\bar{u}$ ）、乱れ強度の流下・鉛直方向成分（ $\bar{u}'_{mm}$ 、 $\bar{v}'_{mm}$ ）、Reynolds応力（ $-\overline{u'v'}$ ）の分布を図示したのが図2（KRシリーズの例）である。これより植生層の上では通常の粗面上流れの流速分布に近く、乱れ強度も植生境界から上方に指数関数的に減衰、Reynolds応力は三角形分布にしたがっている。また流速分布は植生境界で変曲点をもち、乱れ強度、Reynolds応力

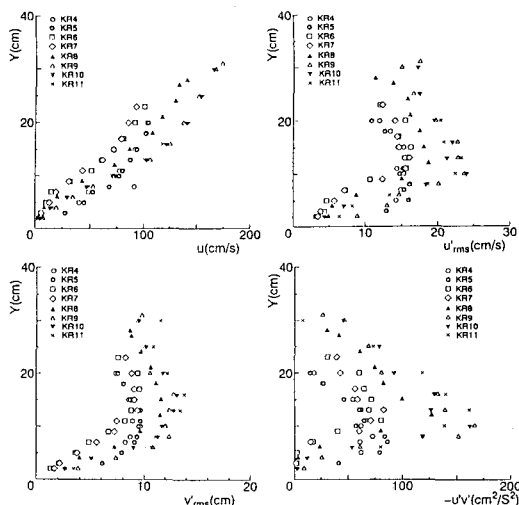


図3 流速、乱れ強度及びReynolds応力分布の例

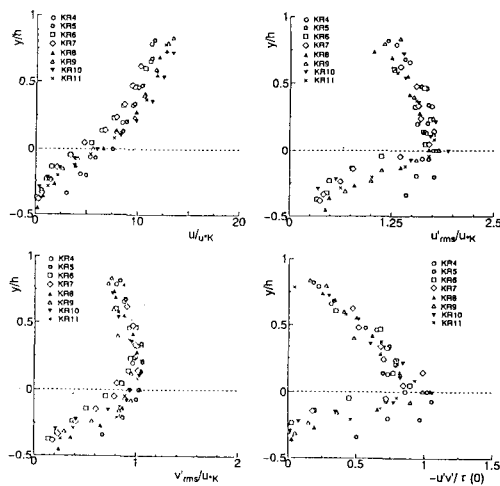


図5 無次元化された流速、乱れ強度及びReynolds応力分布

も極大を示す。流速、乱れ強度、Reynolds応力とも、植生層内では表面流から離れるにつれて急激に減衰する。表面流領域ではReynolds応力が三角形分布することを利用し、図3に例を示すようにReynolds応力の実験値の極大値に着目して植生高を特定し、直線回帰で水面高（よって水深）を評価できる。こうして得られた水深 H と植生高さ K の差（被り水深 $h=H-K$ ）を用いて得られる植生境界でのせん断応力 $\tau_k = \rho g h I$ （ I : エネルギー勾配）、あるいはこれによって義される摩擦速度 u_{*k} （ $\tau_k = \rho u_{*k}^2$ ）が流れ場を規定するパラメータになる。上述のようにして評価された摩擦速度 u_{*k} と被り水深

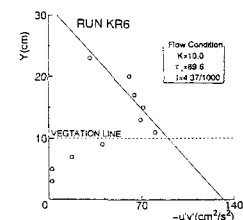


図4 Reynolds応力の外挿

h を用いて無次元化された平均流速、乱れ強度、Reynolds応力の分布を図4に示す。このような無次元化で各シリーズ毎に統一的に表現され、とくに乱れ強度、Reynolds応力分布は共通となる。なお表面流の流速分布を欠損則表示すると対数則型流速分布（ $\kappa=0.4$, κ : Karman定数）が認められ、一方植生層内はReynolds応力分布、流速分布とも指数関数的な変化をしており、基礎実験や数値解析結果と定性的に一致している。パラメータや両域での分布の接続条件については今後の検討課題とされた。図7はReynolds応力の4象限分割法によって乱流構造を調べたもので、 RS_i は第 i 象限の条件つき平均のReynolds応力に対する比、 T_i は第 i 象限時間占有率である。乱流による運動量輸送に貢献するのは第2, 4象限で、それぞれejection, sweepを表す。壁乱流ではejectionの強度が強くその時間占有率は小さく、burstingを形成する。砂面上の流れであるRun SR2では底面付近でこの傾向が認められる。これに対し、植生層を伴う流れでは植生境界の少し上より下方では第2象限と第4象限の役割が逆転し、速い表面流の流体塊が間欠的に植生層内へもぐりこみ、植生層内の遅い流体塊がゆったりと上昇するという構造を呈していることがわかる。

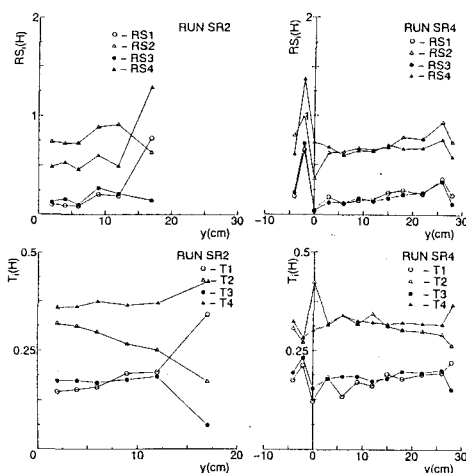


図7 Reynolds応力の4象限分割方解析

4. あとがき 梯川の河川敷に直接水路を仮設することによって実物の草本を用いて植生層上の流れの実測を行った結果、著者らが実験水路で円柱群など単純な植生モデルで詳細に検討してきた性質がReynolds数で1オーダー大きい流れで確認された。参考文献： 1) 辻本ら：水工学論文集, 34, 1990, 2) 清水ら：土木学会論文集, 438/II-17, 1991