

植生を有する流れ場における掃流運動に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正員 村上 正吾
京都大学工学部 学生員 石橋 基之 阪神電気鉄道 ○正員 阪本 幹己

1. はじめに 近年、河川には治水・利水といった側面に加え、親水機能が積極的に求められ、その結果植生を伴う開水路流れの特性の把握が重要になってきている。実際にはこうした植生は単に景観向上、親水活動の補助・促進といったことのみならず“水制”としての効果も期待され、流れと植生内外での流砂運動の検討も進められなければならない。従来の研究は主に植生の流水抵抗に関するものがほとんどで、泉・池田¹⁾の植生を伴う流れの底面せん断応力に対応した側岸の安定形状の検討が挙げられる程度である。しかしながら植生を有する開水路流れは、本質的に横断方向のせん断乱流となっており、植生域内には掃流砂量が零となる点が存在する可能性がある。一方、流下方向には植生への流れの流入・流出があり、流れ自体も非平衡となっている区間がある。すなわち植生を伴う流れ場における掃流運動は、必然的に流下・横断方向に非平衡状態となっており、こうした点を考慮した検討を進める必要がある。本研究では、先ず非平衡な流れ場での掃流運動であることより、水路実験から流れの流下・横断方向変化の定式化を行い、次にこうした流れ場での個々の粒子の運動特性と掃流砂量分布についての実験的検討をおこなった。

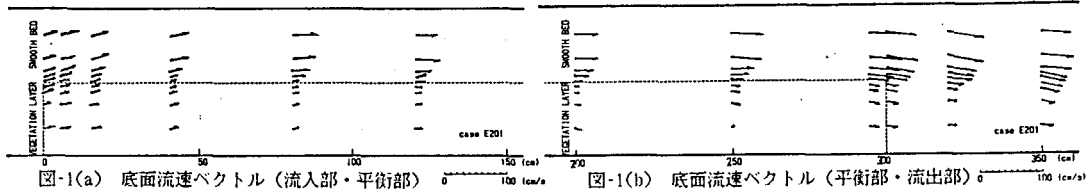
2. 実験概要 実験は、幅50[cm]、長さ12[m]の勾配可変型直線水路で行い、上流側2～5[m]と8.7～12[m]の区間の右岸側半断面に高さ41[mm]の植生を配置した。左岸側断面は滑面仕上げである。表-1に示す水

ケース名	路床勾配	水深 (cm)	流量 (l/sec)	平均流速 (cm/sec)	Fr	Re	U _*
E101	1/1000	3.35	4.00	23.9	0.417	6985	1.81
E201	1/200	3.10	5.00	32.3	0.586	10013	3.68

表-1 実験条件

理条件での流れの植生へ流入してから流出するまでの流下・横断方向の流速分布をhot-film流速計を用いて計測した。次に粒子運動の特徴の検討のため、ガラスビーズ(比重 2.6、粒径 4[mm])を植生部、滑面部とその境界付近に流し、ビデオカメラによってその軌跡を記録した。横断方向掃流砂量分布の流下方向変化は、1.0[cm]×1.0[cm]×1.5[cm]×36セルからなる横断方向採砂箱を流下方向に移動させることで測定した。実験条件は表-1中 E102と同一勾配、流量とした。使用した砂粒はシリカサンドG号(比重 2.65、粒径 2.6[mm])で移動床厚 1.5[cm]とした。

3. 実験結果及び考察 図-1は底面付近の流下方向流速Uと横断方向流速Wの流速ベクトルを示す。流入部付近で植生側から滑面側に流量の流入が顕著であり、次第に流入がなくなり植生側が低速化、滑面側が高速化して平衡状態となる。流出部においては流れの高速側から低速側への流量の移動が顕著となる。植生部へもこの影響は及び、流出部直上流の滑面側から植生側への流れが認められた。また横断方向乱れは、流量の移動が顕著である区間においては無視されるが、平衡区間では無視しえず、その方向に正負に交番



していることも確認された。図-2は水深方向に平均化されたU、Wの流下方向変化を示した例である。図中の実線は前述した流量の移動が流下方向に指数関数的に逓減することに着目して定式化した曲線である。図-3は実測された粒子軌跡の例である。流出部・流入部の境界面では底面流速方向への移動が見られる。平衡状態に達している植生中央部の植生と滑面の境界付近では、正負に交番するWによって揺動している

ことが分かる。定式化された U 、 W と粒子の運動方程式によって、軌跡の特徴は表現されるものと推測され

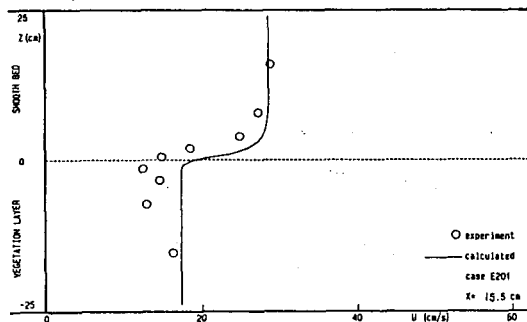


図-2(b) Wの計算値と実験値との比較

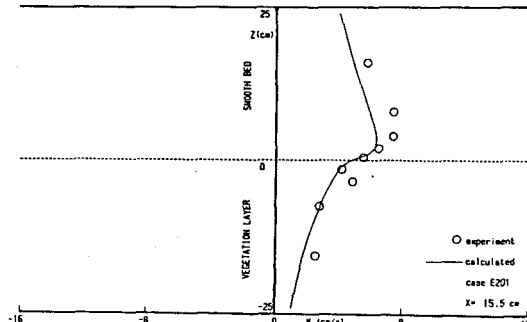


図-2(a) Uの計算値と実験値との比較

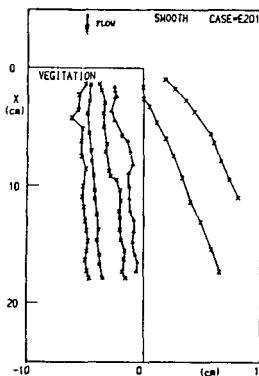


図-3(a) ガラスビーズの軌跡
(流入部)

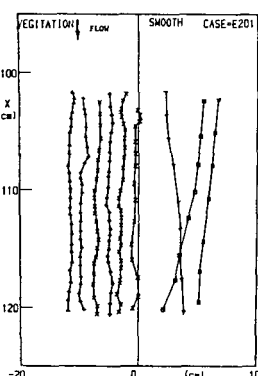


図-3(b) ガラスビーズの軌跡
(平衡部)

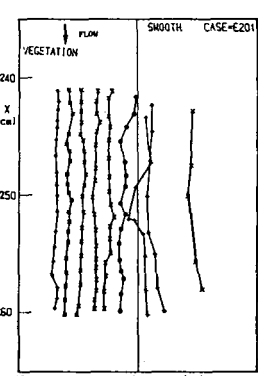


図-3(c) ガラスビーズの軌跡
(平衡部)

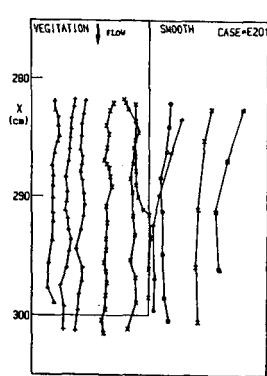


図-3(d) ガラスビーズの軌跡
(流出部)

る。図-4は採砂箱によって測定された掃流砂量の横断方向分布の流下方向変化で、植生と滑面との境界面での掃流砂量で除して無次元化してある。植生側では流速の遅減にともない流入部から掃流砂量は減少し、限界掃流力に対応している地点より内部では零となっている。流入部付近では流量の移動により掃流砂量が多く、これは流れが平衡に移行するとともに減少、滑面側の流れの平衡への移行と掃流砂の非平衡への緩和によって横断方向掃流砂量分布の平衡が達せられる様子がわかる。これらは、 U 、 W の変化過程とも定性的に合致している。

4. おわりに 本研究では、流速の流下横断方向の変化過程と、非平衡掃流砂量分布との関係を考実験的に検討した。今後、定式化した U 、 W と粒子運動にもとづく2次元場での非平衡掃流モデルの構成を図るとともに、掃流実験的な検討も並行して進める予定である。

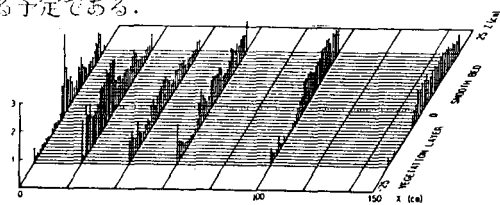


図4 掃流砂量の水路横断方向分布の流下方向変化

参考文献 1) 泉典洋・池田駿介:土木学会論文集, No. 411, 1984

滑面域	$U(z) = \sqrt{U_1^2 + (U_1^2 - U_{1,eq}^2) \cdot \exp(-A \cdot (z-25))}$
	$W(z) = U(z) \cdot \alpha \cdot \exp((z-25)/LZA) \cdot \exp(-x/LXA)$
植生域	$U(z) = \sqrt{U_2^2 + (U_1^2 - U_2^2) \cdot \exp(-B \cdot (z-25))}$
	$W(z) = U(z) \cdot \alpha \cdot \exp((z-25)/LZB) \cdot \exp(-x/LXB)$
但し、	$U_1(x) = U_1 + (U_1(\infty) - U_1) \cdot (1 - e^{-x/L_1})$
	$U_2(x) = U_2 + (U_2(\infty) - U_2) \cdot (1 - e^{-x/L_2})$
	$U_{1,eq}(x) = U_1 + (U_2 - U_1) \cdot (1 - e^{-x/L_1})$
	$U_{2,eq}(x) = U_2 + (U_1 - U_2) \cdot (1 - e^{-x/L_2})$
	$A = 3/(L_1 \cdot (1 - e^{-x/L_1}))$
	$B = 3/(L_2 \cdot (1 - e^{-x/L_2}))$
U_1 : 流入流速, $U_1(\infty)$: 滑面平衡流速, $U_2(\infty)$: 植生域平衡流速, $U_{1,eq}(\infty)$: 境界面平衡流速, L_1 : $U_1(x)$ 緩和距離, L_2 : $U_2(x)$ 緩和距離, LXA : 滑面 $W(x)$ 緩和距離, LXB : 植生域 $W(x)$ 緩和距離, LZA : 滑面 $W(z)$ 緩和距離, LZB : 植生域 $W(z)$ 緩和距離, $\alpha = W(0)/U(0)$, L_1 : 滑面 $U(z)$ 緩和距離, L_2 : 植生域 $U(z)$ 緩和距離 LA : 流速が平衡に達したときの $U_{1,eq}$ から U_1 に達するまでの距離, LB : 同様に $U_{2,eq}$ から U_2 に達するまでの距離 実験値 $L_1=20.8$, $U_1(\infty)=15$, $U_2(\infty)=10$, $U_{1,eq}(\infty)=15$, $L_2=10$, $LXA=120$, $LXB=80$, $LZA=40$, $LZB=40$ $\alpha=0.305$, $L_1=16$, $L_2=1.1$, $A=10$, $LB=40$	

表-2 U、Wの近似式