

東京大学工学部 正 員 中井正則
 芝浦工業大学大学院 学生員 入月 智
 芝浦工業大学 有賀広人 木田和彦

1. まえがき 側岸付近に植生が存在する河道においては、植生領域では床面せん断力が低下し、河床からの砂の巻き上げや掃流作用が抑制され、一方河道の中央付近の非植生領域では相対的に大きな流速となり、河床からの砂の浮遊率が高くなる。また、このような横断方向に流速差が存在する場合には植生領域と非植生領域との境界付近に大規模な渦が形成され、それにより非植生領域で巻き上げられた砂が植生領域へと横断方向に輸送される。その結果、非植生領域では河床の先掘が、植生領域では浮遊砂の堆積が生じ、横断方向の河床高変化が生じる。本研究では、上述のような側岸に植生を伴う河道における土砂輸送の非定常過程について実験的に詳しく調べた。なお、ここで対象としている植生は樹木群である。

2. 実験 実験には、長さ25m、幅1m、高さ60cmの変勾配直線水路を用いた。植生域は水路の兩岸に20cm幅で設け、流下方向には3.4-6.0m(実験ケースによって異なる)にわたっている。植生域の樹木の模型には直径 $d=2.8\text{mm}$ の釘を用い、配列は格子状とし、間隔 L は2cmと4cmの2通りとした(図1参照)。

固定床実験において、流下方向流速を直径3mmの超小型プロベラ流速計により計測し、時間平均流速を求めた。移動床実験では、中央粒径 $D_{50}=0.15\text{mm}$ のケイ砂を非植生域に約2.5cmの厚さで敷き、初期の河床高さは横断方向に一定とした。通水時間は4-5時間であり、非定常過程を調べるために途中で数回通水を止めて計測を行った。各時刻における計測項目は非植生域の河床形状と洗掘深、植生域の浮遊砂の堆積位置と堆積率であり、また、浮遊砂の濃度は通水中にサイフォンで取水して測定した。なお、実験条件は表1に示してある。

3. 結果と考察 図2にRUN A-1とB-1の水深平均した流下方向流速の分布を示す。なお、以下で用いる座標の定義は図1に示してある。植生域と非植生域との境界付近に強い速度勾配をもつせん断層が現れており、大規模渦の存在が示唆される。また、RUN B-1において $y=-2, -6\text{cm}$ で流速が落ち込んでいるが、これは樹木の真後の点であるからである。ちなみに、山崎ら¹⁾の方法で渦動粘性係数 ν_t を求めると表2のようになる。同表より、この2ケースではともに $\nu_t/u_*H=0.1$ 程度(u_* :摩擦速度, H :水深)であることがわかる。

つぎに、非植生域の洗掘過程についての結果を示す。図3にRUN A-1の断面内河床形状の時間変化を示す。なお、図中に破線で示してあるのは断面内平均洗掘深である。最初、植生域と非植生域との境界に近いところから洗掘され始めるが($t=16\text{分}$)、 $t=81\text{分}$ には中央付近も洗掘されてふた瘤状になり、十分時間が経過した $t=240\text{分}$ には境界付近がなだらかに変化し、中央付近はほぼ一定の洗掘深となっていく。同様な傾向は他のケースにおいても確認され、側岸に樹木群が存在するときの河床形成の一般的な特性と思われる。参考までに、図4に各ケースの断面内平均洗掘深 D_m の時間変化を示しておく。

植生域での浮遊砂の堆積については以下のである。図5にRUN A-1とB-1の砂の堆積状況の写真を示す。同図より、通水直後((a),(b))には、RUN A-1、B-1ともに $y=-2\text{cm}$ 付近に砂が堆積しており、この点では大差ない結果といえる。しかし、やや詳しくみると、RUN B-1では $y=-2\text{cm}$ を中心にして点在しており、また横

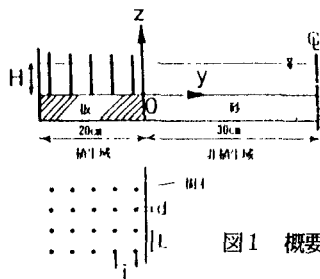


図1 概要

表1 実験条件

RUN	流量 Q (l/s)	樹木間隔 L (cm)	水深 H (cm)	樹木密度 d/L^2 (cm^{-1})
A-1	8.09	2.0	3.67	0.070
A-2	3.95	2.0	2.51	0.070
B-1	8.09	4.0	3.45	0.018
B-2	3.95	4.0	2.44	0.018

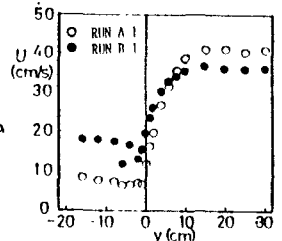
水路床勾配 $I = 1/500$ 

図2 流速分布

表2 渦動粘性係数

RUN	ν_t (cm^2/s)	ν_t/u_*H
A-1	0.649	0.103
B-1	0.831	0.092

断方向の拡がり幅も広い。これに対してRUN A-1の結果は $y=-2\text{cm}$ 付近に集中的に砂が堆積しており、流下方向にも堆積の切れ目がない。これより、樹木群密度が大きい方が浮遊砂の堆積はより集中的に生じるものと考えられる。一方、図5(c)はRUN A-1の通水から2時間後の結果であるが浮遊砂の堆積位置は横断方向に拡がっており、堆積の中心位置も植生域の奥側へと移動している。

最後に、浮遊砂の堆積率と浮遊砂濃度分布の結果をRUN A-1についてのみ示す。図6は植生域での堆積率 q_d （単位時間・単位面積あたりの堆積量）の分布である。同図より、時間の経過にしたがって堆積率は小さくなっていくことがわかる。また、いずれの時刻においても堆積率の絶対値は境界付近で大きい。時間の経過とともに $y=-5\sim-10\text{cm}$ での堆積率の値が相対的に大きくなっている。これより、浮遊砂が植生域のより奥側にまで輸送されていると判断でき、先の図5(a)→(c)の変化と一致する傾向を示している。図7に $z=0.6\text{cm}$ （河床から 0.6cm の位置）の浮遊砂濃度 C の分布を示す。ただし、 $t=216\text{分}$ の非植生域の結果は、河床の洗掘を考慮して $z=-0.9\text{cm}$ の位置の値をプロットしてある。浮遊砂濃度は時間とともに全体的に小さくなっていき、また時刻によって少しずつ分布形が違っているようである。すなわち、非植生域では、 $t=10\text{分}$ に $y=10, 20\text{cm}$ の2箇所でピークを示し、とりわけ $y=10\text{cm}$ でのピーク値が他の分布形と比較して特徴的である。また、 $t=61\text{分}$ では $y=20\text{cm}$ のみピークを示す。これらのピーク値が現れる位置は図2において当該時刻の洗掘が激しい位置とほぼ対応している。また、 $t=216\text{分}$ では、非植生域において明瞭なピークは示さないようである。一方、植生域では、浮遊砂濃度のピークは $t=10\text{分} \rightarrow 61\text{分} \rightarrow 216\text{分}$ と時間の経過とともに $y=0\text{cm}$ （図中矢印1）→ -2cm （矢印2）→ -8cm （矢印3）へと植生域の奥側へ移動していく。この結果も図5(a)→(c)の結果と矛盾しない。

4. まとめ 非植生域から巻き上げられた砂は、初期には植生域内の境界付近に集中的に堆積する。また、時間とともに、非植生域の河床は洗掘され、次第に「複断面化」していく。それとともに、河床からの砂の浮遊率は低下し、流水中の浮遊砂濃度ならびに植生域での砂の堆積率も減少する。しかし、境界から遠い位置での浮遊砂の堆積率は相対的に大きくなり、砂は植生領域のより奥側まで輸送される。以上のように、植生は河床形状を変化させ、また河床形状の変化は浮遊砂輸送に大きな影響を与えることが明かとなった。

参考文献 1) 山崎ら：第39回年講概要集第2部，pp.473-474，1984。

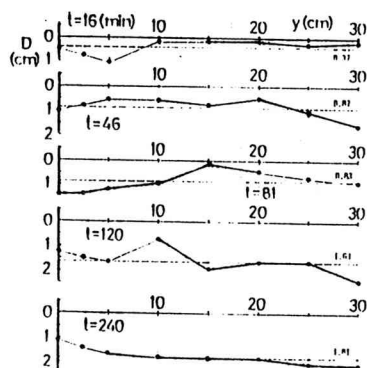


図3 河床の洗掘形状

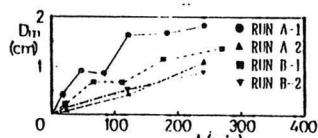


図4 河床洗掘深

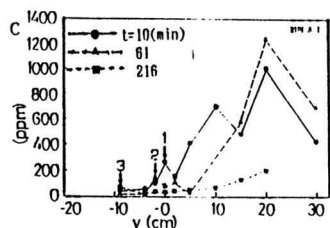


図7 浮遊砂の濃度分布

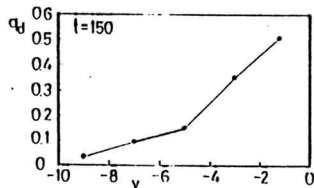
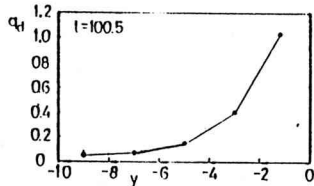
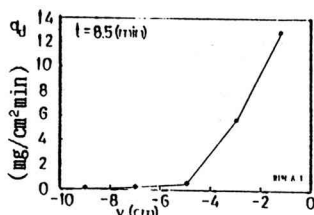


図6 浮遊砂の堆積率

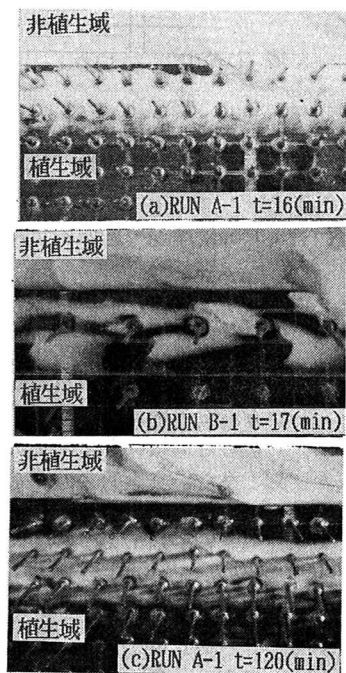


図5 浮遊砂の堆積状況