

植生を有する河道における流砂の空間分布特性

SPATIAL DISTRIBUTION OF TRANSPORTED SEDIMENT IN CHANNELS WITH VEGETATION

竹林 洋史¹・江頭 進治²・永田 徹³・桑島 信⁴・加藤 陽平³・伊藤 太祐⁵
Hiroshi TAKEBAYASHI, Shinji EGASHIRA, Toru NAGATA, Shin KUWAJIMA,
Yohei KATO and Daisuke ITO

¹正会員 博士 (工学) 徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

²正会員 工博 立命館大学教授 理工学部土木工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

³正会員 修士 (工学) 日本建設コンサルタント株式会社 大阪支社河川グループ (〒553-0003 大阪市
福島区福島 7-20-1 (KM西梅田ビル))

⁴正会員 修士 (工学) 近畿技術コンサルタント河川環境部第 2 課 (〒540-0031 大阪市中央区北浜東 2-6)

⁵学生会員 学士 (工学) 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Spatial distribution of transported sediment in channels with vegetation was investigated with attention focused on sediment sorting via field observation at the Kizu River. Results are summarized as follows. (1) Cross-sectional averaged bed elevation has not been changed in Kizu River. On the other hand, cross-sectional bed geometry has been changed dramatically because of the change of spatial distribution of transported sediment. (2) Sediment deposition near the boundary between vegetated area and non-vegetated area is much and the deposited sediment is overpass load. (3) Sediment deposition at the center of vegetated area is few and the deposited sediment is wash load. (4) Bed deformation in non-vegetated are caused principally by overpass load. (5) Downstream-fining of sediment size was observed in vegetated area located near main flow.

Key words: *sediment sorting, vegetation, wash load, overpass load, field observation*

1. はじめに

現在, 世界中の多くの沖積河川において, 堤外地における異常な植生繁茂, 流路本数の減少, 流路の時空間的な変動の鈍化が発生している。これらの現象は, 水際の河床横断勾配を大きくするため, 河道内で最も動植物の生産量が大きい陸水の遷移域を減少させる。さらに, 砂州の冠水頻度が少なくなるため, 砂州域が陸域の動植物の生息空間となり, 時空間的に単調な空間のみが水辺空間として残されることとなる。このような場では動植物の多様性を保存・創生することが困難であるため, 単調化した物理空間に再び場の多様性を取り戻すことが重要となる。しかし, 植生を有する場の物理現象は複雑であるとともに, 流砂の分級現象に起因した地形の変形プロセスが卓越している場が多く, 現象の定量的な予測を行うに至っていないのが現状である。以下に, 植生を有する場の流砂の分級現象に関する既存の主要な研究について概要を示す。

植生を有する場の流砂の分級現象については, 水路実験及び数値解析によるいくつかの研究成果がある^{1,2,3)}。これらは, 現象のメカニズムの把握に非常に有効であるが, 水路実験施設の規模の制約のため, 粒度の広い河床材料による現象の把握に対しては, 十分な情報を提供するには至っていない。実河川においては, ウォッシュロードのような細粒土砂から数 10cm の礫までの広い粒度分布を有する土砂が輸送・分級され地形の変形に寄与しており, 実河川の現地調査における流砂特性の把握が急務である。植生を有する場の地形変動及び植生域の変動過程に関する現地調査も多く行われている^{4,5,6)}。これらによって, テラス地形の形成機構等が明らかにされているが, 粒度まで考慮した流砂の空間分布特性を議論できるだけの情報は得られていない。

本研究では, 流砂の分級現象に着目し, 植生を有する場における流砂の空間分布特性に関する知見を得ることを目的とし, 京都府木津川を対象として現地調査を行った結果を報告する。

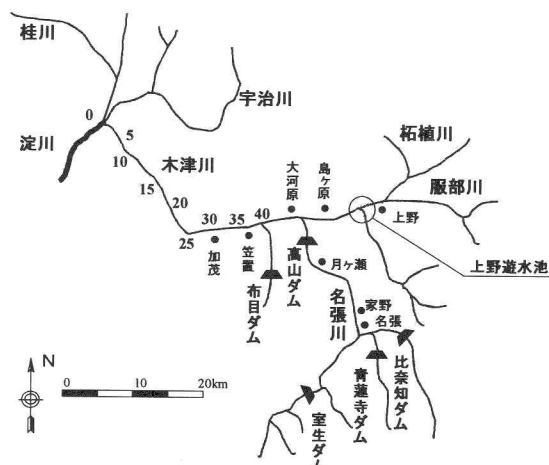


図1 木津川水系

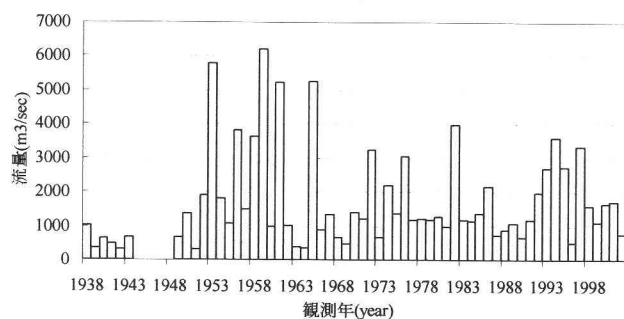


図2 加茂地点における時間平均流量の年最大値

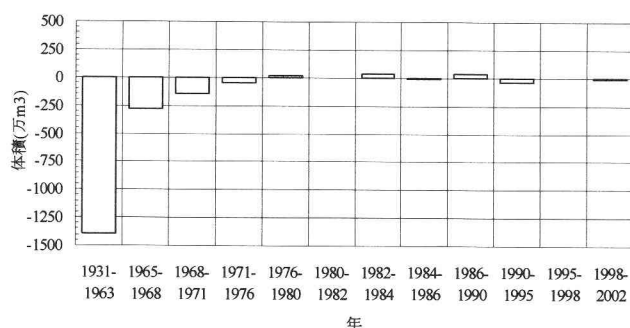


図3 淀川との合流点から 37.2km の区間の河床変動量の経年変化

2. 対象河道の流砂特性と土砂収支

本研究で対象とした河川は、京都府を流れる木津川である。図1に木津川の概要を示す。木津川は、鈴鹿、布引山脈に源を発し、上野盆地において柘植川、服部川を合流して西へ流れて岩倉峠を通る。さらに、名張川を合流して笠置渓谷に至り、加茂から4kmほど下流において山付区間から沖積地河川の性状へ変わり、枚方地点において宇治川および桂川と合流して淀川となる。木津川の流域面積は、枚方地点において約1650km²（笠置地点約1300km²）である。流域の平均年降水量は約1600mm程度であり、我国の平均値にほぼ等しい。図2は淀川合流地点から約30km上流に位置する加茂地点における時間平均流量の年最大値である。これによると、1960年代後半からは、4000m³/s以上の洪水は発生していな

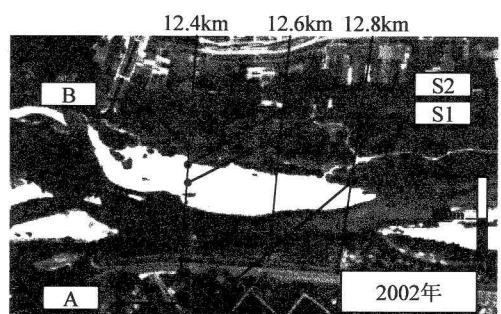
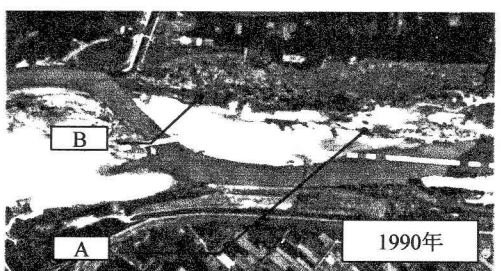
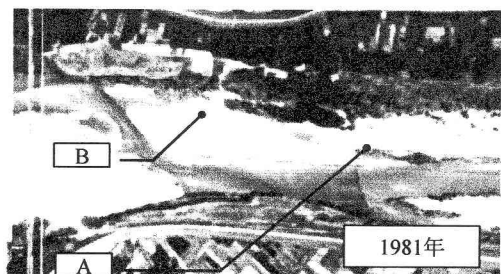
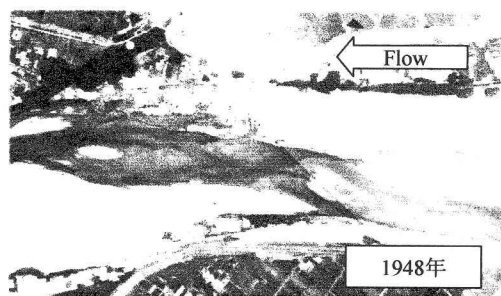


図4 調査が行われた砂州の経年変化
いことがわかる。ここで調査対象地域の砂州の冠水流量は、約300m³/sである。

図3に、淀川との合流点から37.2kmの区間の河床変動量の経年変化を示す。これは、国土交通省による定期横断測量の結果により計算されている。木津川下流域は1931年から1971年までの河床位の低下が著しく、約1800万m³の土砂が河道から失われている。流域の主要なダム建設が1969年以降であることを考えると、1971年までの木津川の河床低下は砂利採取による影響を強く受けたものと考えられる。しかし、1971年以降は、淀川の河床掘削に起因する合流点付近の河床低下を除き、顕著な河床の低下及び上昇は見られない。つまり、現在の木津川下流域は、土砂の供給と流出の差が非常に小さくなっていると考えられる。

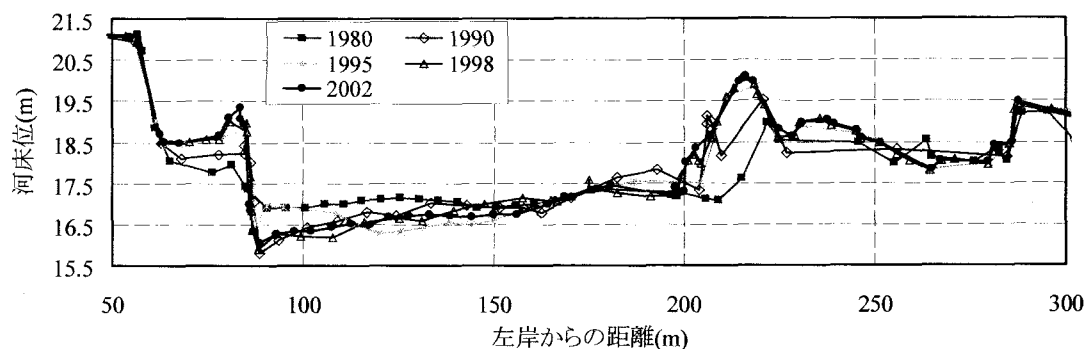


図5 12.8km断面の地形の1980年以降の経年変化

図4は、淀川との合流点から12km～14kmの右岸側に位置する砂州の航空写真である。土砂の供給と流出の差が非常に小さくなっている一方で、植生域が年々広がるとともに、流路の幅が狭まり、河相が大きく変化していることがわかる。また、流路位置も1981年以降変化していない。図5は、図4の砂州を含む12.8km断面の地形横断形状の1980年以降の経年変化を示している。これによると、主流路内の河床位は年々低下しているが、左岸から200m～250mの植生域においては、河床は上昇し続け、段丘が明確化してテラス地形が形成されていることがわかる。つまり、土砂の供給と流出の差が1971年以前よりも小さくなり、断面平均河床位の変化は小さくなっているが、流砂の空間分布特性の変化によって地形が大きく変化している。そこで、江頭ら⁷⁾と同様の一次元河床変動解析法に浮遊砂とウオッシュロードを加えた解析を行い、流砂形態ごとの土砂収支を調べた。ここで、浮遊砂の巻き上げ量の算定には、板倉・岸式⁸⁾を用いるとともに、浮遊砂濃度の輸送方程式を解いている。また、ウオッシュロードは浮遊砂と同様に取り扱い、便宜的に、0.2mm以下の粒径階をウオッシュロードとしている。ウオッシュロードの供給量は、国土交通省淀川河川事務所により得られた実測データをもとに決定した。河床材料の粒度は、1998年に実測されたデータ⁷⁾を与えた。図6に淀川合流点から36kmの区間の1971年以降の土砂収支量を示す。これによると、土砂の流入量は流出量よりも少ないが、各年の流入量と流出量との差は3万m³程度と1971年以前に比べて非常に少なく、断面平均河床位の変化が少なくなっていることが理解できる。この結果は、図3とほぼ同様である。流砂は掃流砂が卓越しているが、浮遊砂とウオッシュロードも10～20%程度含まれている。図5のような地形横断形状の変化を理解するには、これらの各流砂形態の空間的な分布特性を把握する必要がある。

図7は、江頭ら⁷⁾により得られた木津川流路内の河床材料平均粒径の縦断分布である。これによれば、河床材料は、平均粒径2mm～4mm程度の細粒分と平均粒径10mm～60mmの粗粒分の二極性を有して

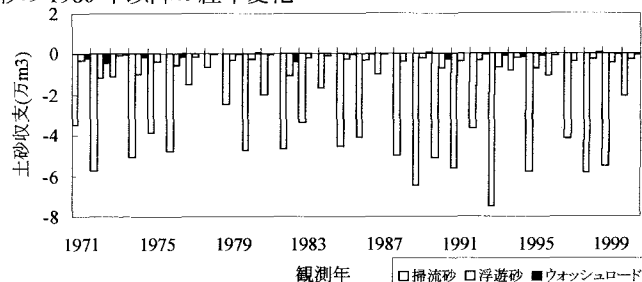


図6 一次元河床変動解析により得られた流入・流出土砂量の差

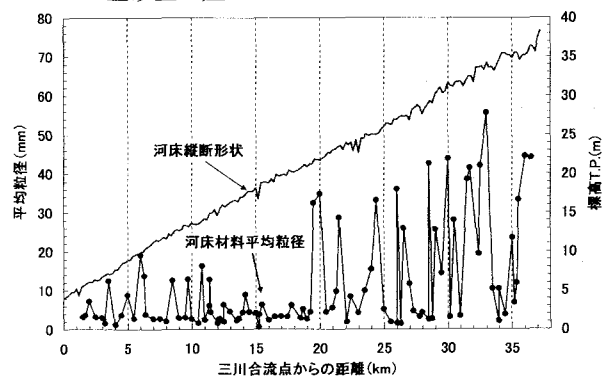


図7 河床材料平均粒径の縦断分布⁷⁾

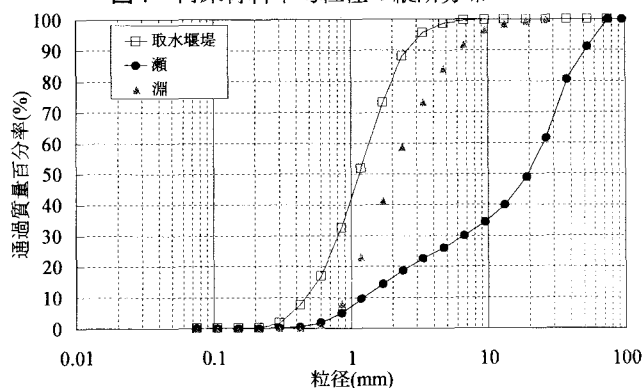


図8 瀬、淵および大河原取水堰堤内の河床材料の平均粒度分布

いることがわかる。これらはちょうど、流路内の淵と瀬の河床材料にそれぞれ該当している。ここで興味深い点は、粗粒分については、よく見られるように下流に進むにつれ粒径が小さくなっているが、細粒分は、全区間を通して粒径に変化が無いということである。ここで供給土砂について考える。図1に示すように、1969年に高山ダム、1992年に布目ダ

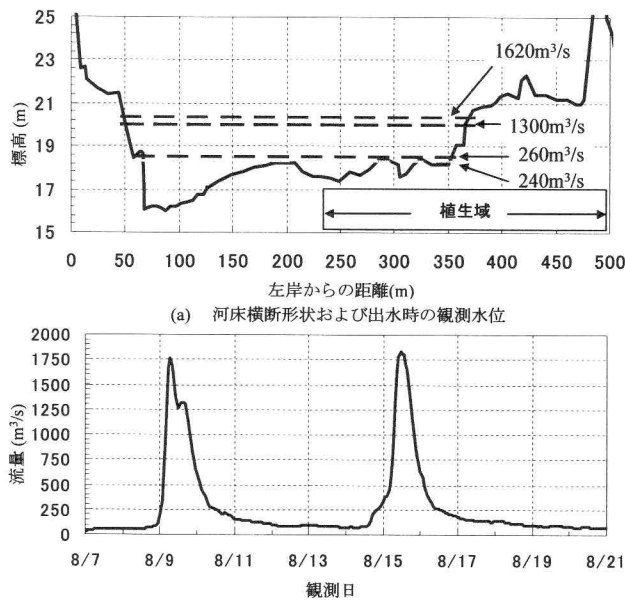


図9 12.5km断面での観測水位と観測期間中（2003年7

月23日～8月26日）の出水のハイドログラムが建設されており、現在の木津川下流域への土砂供給は、柘植川、服部川を含む木津川本川のみからとなっている。図8に、図7の瀬と淵の河床材料と大河原取水堰堤内の河床材料の粒度分布を示す。大河原取水堰堤は、名張川と木津川本川との合流点直上流の木津川本川内に位置するため、堰堤内で採取された土砂にウオッシュロードを加えた土砂が、現在の木津川の供給土砂と考えられる。これを見ると、堰堤内の河床材料は細かく、淵の材料に近い分布となっている。これは、瀬の材料のような粗砂は下流域へ供給されていないことも意味する。つまり、現在の木津川の平均河床位の変化が非常に少ないことを考えると、ウオッシュロードを除いた現在の木津川の流砂は、淵に比較的近い粒度の河床材料が掃流砂および浮遊砂として供給され、それらが瀬を通過しながら淀川へ流下していると考えられ、江頭ら⁷⁾がオーバーパスロードと呼んでいる流砂特性となっていることがわかる。ここで、オーバーパスロードとは、通常、ベッドマテリアルロードとして扱われる粒径0.2mm以上の土砂の内、瀬の材料のような粗砂上を、あたかも固定床上を流れるように輸送される細砂のことである。

3. 流砂の空間分布

(1) 調査方法

調査項目は、調査目的ごとにまとめると以下のようである。

a) 植生域内の堆積土砂粒度の経年変化

植生域内の堆積土砂粒度の経年変化を把握することを目的としており、植生の進入によって土砂が堆積し続けている場所の河床を掘削して調べた。調査された堆積土砂は、1980年以降の土砂であり、

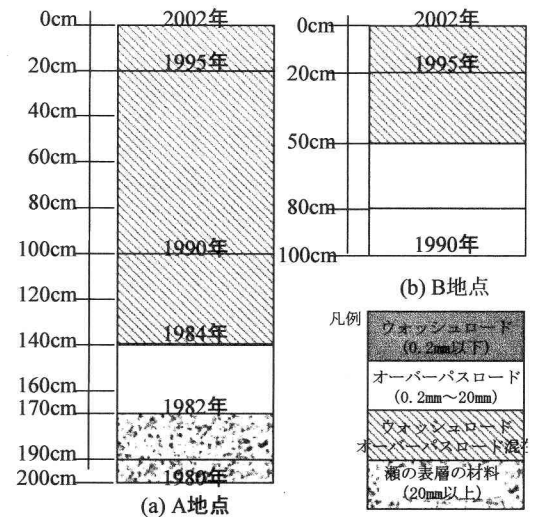


図10 河床掘削調査によって得られた2002年河床面以下の土砂の柱状図

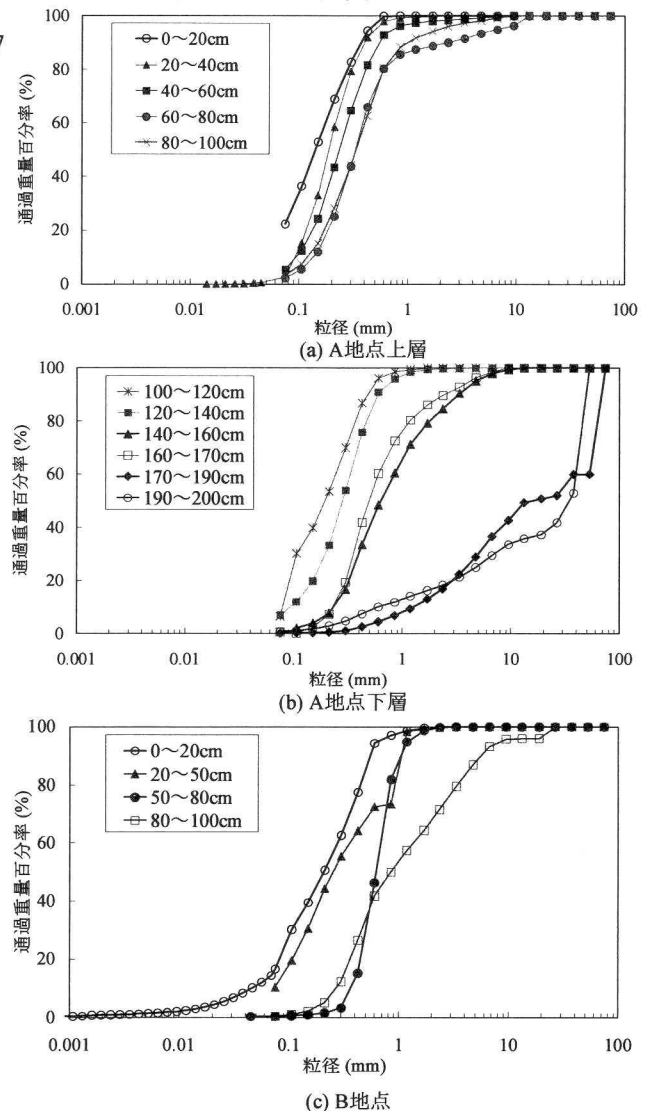


図11 各層の土砂の粒径加積曲線

この期間は、調査された砂州において、植生が大きく破壊されるような出水は発生していない。

b) 洪水時の流砂の空間分布特性

洪水時の流砂の質と量の空間分布特性を把握す

ることを目的としており、裸地域と植生域とに分けて実施した。調査期間は、2003年7月23日～8月26日の約1ヶ月の間であり、この間に図9に示すようなピーク流量 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水が2回発生している。これらは、1970年以降の年最大流量の平均値程度である。裸地域では、河床を50cm掘削し、掘削土とほぼ同一粒径の河床材料を着色して掘削孔に埋め戻すことにより、洪水時の最大洗掘深を把握する。さらに、減水時に埋め戻された土砂の粒度を採取することにより、出水中の流砂の粒度を把握した。一方、植生域では堆積現象のみが発生することが期待できるため、堆積土砂のみを採取することを考えた。つまり、出水前に植生域内の河床にアルミ製プレートを設置し、洪水後にプレート上に堆積した土砂を調べた。ここで、本調査期間中の出水では、プレート周辺の植生が流出するような出水は発生しておらず、調査対象地域の植生域において、河床の浸食は全くと言って良いほど発生していない。

(2) 調査結果

図10は、図4のA地点とB地点での河床掘削調査によって得られた河床面以下の土砂の柱状図である。柱状図は、調査時に認められた土層の境目によって区分され、図中に、掘削地を含む横断面の地形測量結果をもとに得られた年代を併記している。各層の土砂の粒径加積曲線を図11に示す。

図4より、A地点は1948年には流路の中であり、1981年ごろは分岐した小流路内に位置しており、1990年ごろには砂州上に位置しており、2002年には完全に植生域に入っていることがわかる。

これらと柱状図を見比べる。定期横断測量結果より、2002年河床からちょうど200cm掘削したところが1980年河床になっているのがわかる。170cm～200cmの粒度は、瀬の河床材料の粒度とほぼ同様である。これは、当時、掘削地点が流路分岐位置、つまり瀬に位置していたため、河床材料が粗くなっていると推察される。図4によると、1982年～1990年の間、A地点は植生域と裸地との境界に位置している。一方、柱状図からは、1990年から1995年までの河床上昇量が大きいことがわかる。また、図11(a)と(b)より、この時期に堆積した土砂は、瀬の河床材料を含まず、淵の河床材料を含むオーバーパスロードと呼ばれるものであることがわかる。1995年～2002年には、堆積量は少なく、0.2mm以下のウオッシュロードを含んだ比較的細かい河床材料が堆積している。ここで図2を見ると、1990年～1995年の出水が1995年～2002年の出水に比べて特に多い様子はない。

堆積土砂の粒度の鉛直変化を見ると、表面に近い層ほど粒度は細粒化していることがわかる。これら

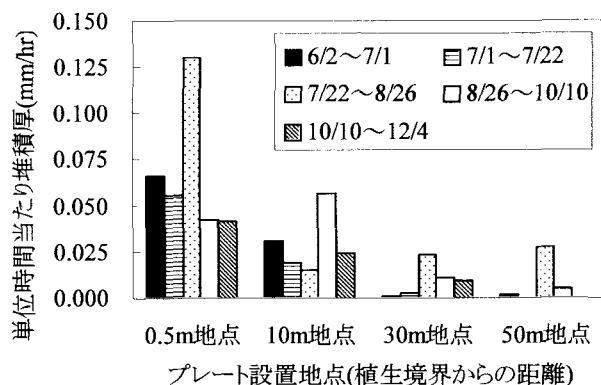


図12 12.5km断面の植生域における単位時間当たりの土砂堆積厚

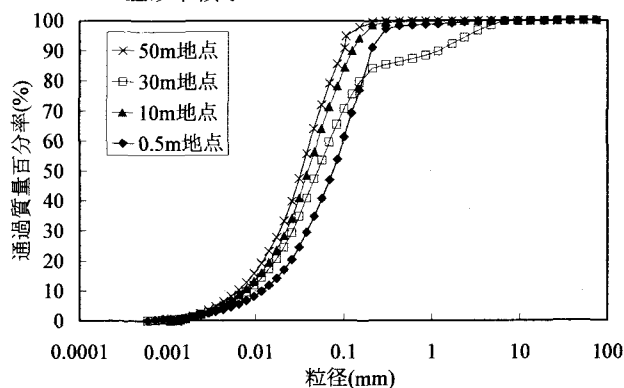
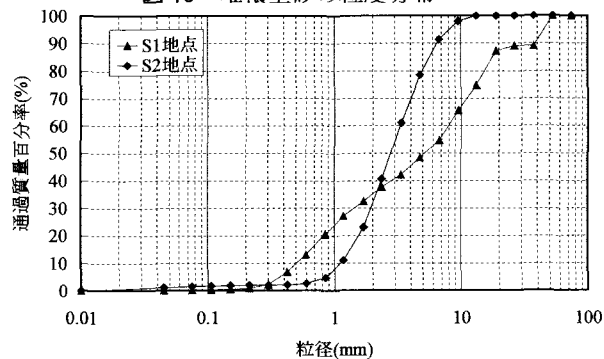
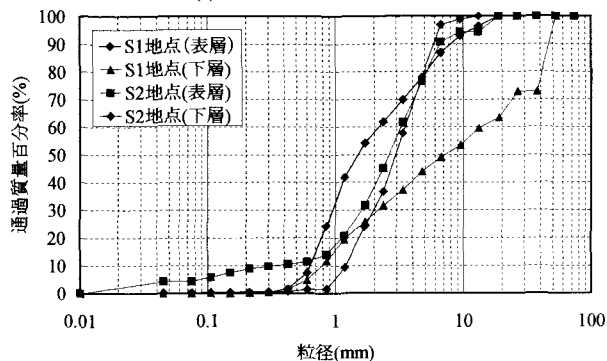


図13 堆積土砂の粒度分布



(a) 掘削抗形成時の掘削土砂



(b) 出水により堆積した土砂

図14 出水により埋め戻された土砂の粒度分布 (2003年7月23日～8月26日、調査地点は図4に記載)

のことから、植生の存在による土砂の堆積は、植生域と裸地域との境界付近で活発であり、その主要なものはオーバーパスロードとして輸送されたもの

であり、河床位が高くなるにつれウオッシュロードを含むようになり、粒度が細かくなることがわかる。

B 地点においても同様の傾向が得られた。B 地点では、1990 年以降の堆積土砂が測定された。これによると、1990 年～1995 年にかけて約 80cm 程度堆積し、その後は堆積量が減り、1998 年から 2002 年までは数 cm 程度である。さらに、堆積量の多い時期の土砂は、オーバーパスロードが主であり、表面に近くなるにつれ、粒径が細かくなっている。

次に、洪水時の流砂の空間分布特性の調査結果を見る。図 12 は 2003 年に複数回採取された 12.5km 断面の土砂の堆積厚である。それぞれの測定期間と出水規模は異なるが、植生の内部に進むにつれて土砂の堆積厚が薄くなることがわかる。堆積土砂の粒度の一例として、2003 年 7 月 23 日～8 月 26 日の約 1 ヶ月の間に受けた出水により堆積した土砂の粒度を図 13 に示す。図 9 に示すように、この間にピーク流量 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水が 2 回発生している。これによると、堆積土砂は 0.2mm 以下のウオッシュロードとなっていることがわかる。つまり、オーバーパスロード等の 0.2mm 以上の成分は植生域と裸地域との境界近傍までしか植生域に進入できず、植生域深部まで輸送される土砂はウオッシュロードであり、これらが植生深部での河床変動に寄与していることがわかる。ここで、30m 地点は、旧流路付近に位置しており、流下方向に直線的に植生が少ないため、若干の砂が混ざっているようである。

一方、裸地域では、オーバーパスロードが主として河床変動に寄与している。図 14 は図 9 に示す 2003 年 7 月 23 日～8 月 26 日の約 1 ヶ月の間に受けた出水により埋め戻された土砂の粒度と掘削抗形成時に掘削された土砂の粒度である。調査地点は図 4 に示す S1 と S2 の 2 地点であり、これらの標高は 18m である。別の時期にさらに 20 点程度調査を行っているが、ほぼ同様の結果が得られている。これらによると、一部の例外はあるが、埋め戻された土砂も掘削土もほぼオーバーパスロードと同様の粒度となっていることがわかる。ここで、この調査期間中の河床変動量は比較的大きく、12.2km 断面では 80cm 以上の土砂の堆積も確認されている。

4. 結論

本論文では、流砂の分級現象に着目し、植生を有する場における流砂の空間分布特性を明らかにすることを目的とし、京都府木津川を対象として現地調査を行った結果を述べた。本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1) 現在の木津川は、土砂の流入と流出の差が小さく、断面平均河床位は経年的にほとんど変化していない。しかし、流砂の空間分布が大きく変

化し、それぞれの断面では、流路内の河床低下と植生域の河床上昇が発生している。

- (2) 木津川の河床材料には数 10cm の礫も含まれるが、ダム等によりこれらの供給が抑制されている。その結果、現在の木津川には、ウオッシュロードとともに、淵の粒度に近い材料が掃流砂・浮遊砂として供給され、瀬を通過しながら流下するオーバーパスロードとなっている。
- (3) 植生域の土砂の堆積は、裸地域と植生域との境界付近で多く、木津川においては、堆積する土砂はオーバーパスロードが主である。さらに、植生域内の堆積土砂の粒度は、堆積による河床の上昇につれて細粒化する。
- (4) 植生域の土砂堆積量は、裸地域と植生域との境界から植生内部に進むにつれて少なくなる。また、植生域深部の堆積土砂は、ウオッシュロードが主である。
- (5) 裸地域の河床変動には、ウオッシュロードはほとんど寄与せず、オーバーパスロードが寄与している。

謝辞：本研究は、平成 16 年度科学研究費補助金若手研究 (B) (研究代表者：竹林洋史) の助成を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 辻本哲郎, 北村忠紀, 中川博次: 側岸部植生群落周辺の掃流過程と分級, 土木学会論文集, No. 503/II-29, pp.99-108, 1994.
- 2) 辻本哲郎, 辻倉裕喜, 村上陽子: 植生周辺の微細地形と表層粒度構成, 河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, No.4, pp.123-128, 1998.
- 3) Tsujimoto T.: Morphological dynamics around vegetated area in sand rivers, Proc. IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, 1999.
- 4) 李参熙, 藤田光一, 塚原隆夫, 渡辺敏, 山本晃一, 望月達也: 礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割, 水工学論文集, 第 42 巻, pp.433-438, 1998.
- 5) 李参熙, 藤田光一, 山本晃一: 礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ, 水工学論文集, 第 43 巻, pp.977-982, 1999.
- 6) 清水義彦, 小葉竹重機, 岡田理志: ハリエンジュによる動的河道内樹林化について, 水工学論文集, 第 45 巻, pp.1099-1104, 2001.
- 7) 江頭進治, 金海生, 竹林洋史, 池田晶, 永田徹: 木津川下流域の河床変動と土砂収支, 水工学論文集, 第 44 巻, pp. 777-782, 2000.
- 8) Itakura, T. and Kishi, T.: Open channel flow with suspended sediments, Journal of Hyd. Div., ASCE, Vol.106, HY8, pp.1325-1343, 1980.

(2004.9.30 受付)