

河道内植生域での砂と粒状有機物の 輸送と堆積過程のモデル化

MODELING OF TRANSPORT AND DEPOSITION OF SAND AND PARTICULATE ORGANIC MATTERS ON VEGETATED AREA IN A RIVER

全 浩成¹・尾花まき子²・辻本哲郎³

Ho Seong JEON, Makiko OBANA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 M.Eng. 名古屋大学大学院博士後期課程 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 博(工) 名古屋大学大学院助教 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

³フェロー会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

Transport and deposition process of particulate organic matter (POM) on a sand bar is a key in river ecosystem. Recently, sediment transport and bed morphology are well described by using depth-averaged flow model. The authors conducted a basic experiment on POM transport and deposition with vegetation in a laboratory flume, and demonstrated that several issues still remain to be further investigated. In particular, the shear due to bed roughness in vegetated area and transport and deposition process of sand and POM with some interference are required to be described by proper modeling which will be introduced into a simulation model. In this paper, boundary layer due to bed roughness in vegetated area with dominant form drag is investigated to formulate a resistance law, and POM deposition promoted by ripple behavior is described by a conceptual model.

Key Words : Deposition and transport, sand, particulate organic matters, vegetation, river flow

1. まえがき

河道内植生域は、洪水時に減速域を提供するほか横断方向の混合作用を活性化し、流砂や粒状有機物(POM)の捕捉帯として機能する。POMは、河川生態系を支えるエネルギー源¹⁾として様々な形態で存在し、微生物の分解を受けて無機化され植生繁茂や物質循環のトリガーともなっているが、その供給過程に関わる流水による運動機構は未だ不十分である。本研究では、POMの運動機構を明らかにするという視点から、土粒子と比重は異なるが掃流砂として扱えるCPOM(粒径1mm以上)を対象を絞り、特に植生を伴う場での土砂との挙動特性の違いや干渉作用を明らかにしたうえで運動機構をモデル化していくことが今後の河川生態系の予測評価に必須であると考えた。

植生域への土砂堆積や分級、粒状有機物の捕捉を引き起こす流れの特徴としては、①河川流下方向への流れの低減と②側岸に植生を伴う時には植生域内の遅い流れと主流部の早い流れが干渉し合うことによる横断混合が挙げられるが、ここでは、河川流下方向への流れの低減が

土砂・POM堆積に与える影響に着目する^{2) 3)}。著者らは植生内流下方向への減速に着目した水路実験で、植生域内での砂とPOM(軽量粒子モデルを利用)の堆積挙動を観測した。その結果、1) 植生域に堆積した砂が砂漣を形成する。2) モデルCPOMは単独では植生域を掃流形式で通過したが、砂と混在させた場合にはCPOMは砂漣のトラフに捕捉され、砂漣とともに下流へゆっくり輸送される。一方砂漣の伝播速度や波高は低減することが見出された²⁾。

植生を伴う流れは、植生域に形状抵抗で付加して平面二次元流解析で良好に記述される。またそれによって推定される摩擦速度、流砂量を基にした河床変動解析がなされる⁴⁾。しかし植生域内における鉛直方向の流速分布は対数分布則から逸脱しているにもかかわらず床面粗度による抵抗(平均流速と摩擦速度の比)の見積もりには非植生域と同じものが使われており、河床変化の重要パラメータである摩擦速度が過小評価されている。先の実験でも砂・POMの輸送は植生域内で平均流から予測されるより活発であった。本論文ではこの点に着目して堆積過程の記述の精度向上を図る。

また、単独では植生域内を流下するPOMが、砂移動

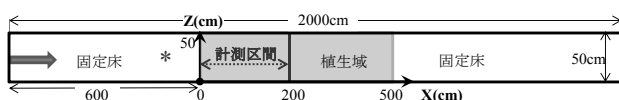


図-1 実験水路平面図

	d50 (mm)	Specific weight	w ₀ (cm/s)
Coarse sand	1.25	2.65	11.1
Fine sand	0.25	2.65	3.13
CPOM (using PVC)	1.50	1.26	5.5
FPOM (using PVC)	0.15	1.26	0.47

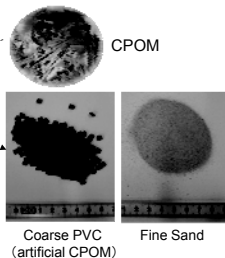


図-2 供給土砂とPOMモデル

との干渉で堆積する仕組みを植生域内での流れ・河床変動解析に取り込む工夫をする。従来の流砂量式（たとえば芦田・道上式⁵⁾）は粒径や相対密度の相違に適応できるよう誘導されており、また共存した輸送形態でも粒径による露出高さの違いによる限界掃流力の違い（たとえばEgiazaroff⁶⁾）の考慮まではできているが、著者らの実験で確認されたような砂漣のトラフに取り込まれ堆積するような干渉作用は考慮されておらず、本論文でモデル化を試みる。

2. 水路実験の要約

著者らは河道内の植生域による減速や植生帯を伴う流れの横断混合による土砂や粒状有機物の輸送・堆積機構についての水路実験を行いその結果は先に報告したところである²⁾が、本論文ではその結果に基づいて、こうした現象を記述・予測するという視点で必須なモデリングについて提案する。そのため本章では先の実験で得られた特徴的な結果を抽出・要約する。

実験は、長さ20m、幅0.5m、高さ0.3mの変勾配式循環水路で行った。植生には、水没しない直立性の植物であるツルヨシなどを想定した上で、直径0.25cm、高さ10cmの竹串を千鳥状に中心間隔2cmで路床に敷いたアクリル板に挿して円柱群植生モデルを作製し水路幅一杯に敷きつめた。河床は固定床、路床条件は滑面とした。実験水路を図-1に示す。供給材料は、図-2に示す4種類のうち、土砂は直径0.25mm、比重2.65の篩分砂を用い、POMモデルとしては直径1.50mm、比重1.26としたPVC粒子を選定し、植物種子や落葉・落枝の破片から構成される有機物の粗粒片であるCPOMに相当すると想定した。

実験水路の路床勾配 L_0 は1/150、非植生域流れのエネルギー勾配 I_{e0} は1/185、平均水深 h_0 は3.5cmであり、非植生域での摩擦速度は次式 $u_{*0}^2 = gh_0 I_{e0}$ により $u_{*0} = 4.3\text{cm/s}$ と推定された。一方の植生域での摩擦速度は、植生域内外で計測された路床近傍の局所流速と、非植生域でのそれと摩擦速度 u_{*0} の比から $u_* = 2.3\text{cm/s}$ と概略推定した。このように

表-1 植生域・非植生域での試料の移動形態

試料	非植生域	植生域
土砂	掃流	停止
CPOM	掃流	掃流

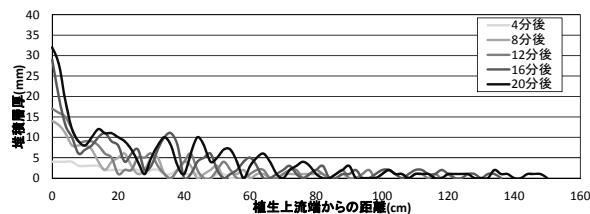


図-3 土砂の堆積層厚の時系列変化 (Case-1)

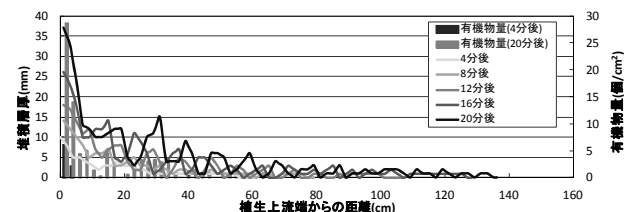


図-4 砂とCPOM堆積の時系列変化 (Case-2)

設定した水理条件での非植生域から植生域へ遷移する際の各試料の移動形態（停止、掃流、浮遊）の変化は、Shieldsダイアグラム（ $Re_* - \tau_*$ 図）により概略的に想定された（表-1参照）。砂とCPOMそれぞれの移動形態は植生域内外で変化しており、土砂は植生域内で停止、その他はいずれも移動限界を上回り掃流状態で流送するような条件である。実験ケースは、土砂のみを流した場合（Case-1）と土砂・CPOM両方を流した場合（Case-2）の2種類を準備した。土砂とCPOMはいずれも植生域上流端より1m上流から20分間連続的に一定濃度で土砂は7.5kg、CPOMは500gを供給し、それぞれの堆積特性を比較した。CPOMのみ流した場合は堆積せずに流れ去る。

流れが平衡状態に達した植生域入口から2m区間にて、植生域内に堆積した土砂の堆積層厚とCPOMの堆積個数を4分ごとに計5回計測した。図-3, 4に、植生域内での縦断方向への堆積土砂厚さとCPOMの堆積個数の時系列変化を示す。植生域内で堆積した土砂は、いずれのケースでも縦断方向に波状に堆積した。その波長は8~11cm($L/d=320\sim440$)で、波高は0.4~0.6cm程度であり、時間とともに下流へ伝播する。それはShieldsダイアグラムにripplesとduneの区分を重ね合わせたYalinによる図から砂漣と判断された。

砂漣が安定的に発達していると判断した30~60cm区間に着目すると、砂とCPOM両方供給した場合のCase-2では、単独で流した時には堆積しなかったCPOMが、砂漣のトラフに取り込まれ、砂漣の進行とともに堆積していく様子が確認された（図-5参照）。砂漣の進行・発達とともにCPOMは捕捉・堆積され、全供給量のうちの77%が砂漣に取り込まれた。つまり、CPOMは砂との干渉により堆積する。また、砂漣の波長・波高・伝播速度は、表-2



図-5 砂の砂漣に捕捉されるCPOMの様子

表-2 砂漣の波長・波高・伝播速度の比較

	Case-1	Case-2
波長 L (cm)	9~11	8~10
波高 H (cm)	0.4~0.6	0.1~0.4
伝播速度 U_w (cm/s)	0.021	0.019

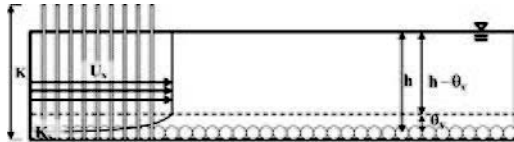


図-6 植生域での流速分布と水路の諸量

に示すように、いずれもCase-2で減少することが確認され、CPOMの混在が砂漣の発達に影響を与えていることが示唆された。

3. 植生域の粗度境界層の定式化

植生域での流れ・土砂輸送についての平面二次元解析では、円柱群とした植生モデルの形状抵抗を取り込んで流れ場を解き、そこで得られる摩擦速度を流砂量式に適用し、その結果の流砂量から質量保存則によって河床高変化を評価する。頻用される平面二次元解析では、植生域では植生の形状抵抗を付加するが、そこでも非植生域と同じ次式の平均流速・摩擦速度比が用いられている。

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{h}{k_s} \right) + B_s(R_{e*}) - \frac{1}{\kappa} \quad (1)$$

ここで、 κ : Karman定数, y : 水路床からの高さ, k_s : 価砂粗度, Re_* : 粗度Reynolds数, B_s : Nikuradseの実験による Re_* の関数である。

植生域内では、形状抵抗が卓越、底面摩擦は相対的に小さく、次式のように植生密度 λ とエネルギー勾配 I_e によって決まる固有流速 U_v を呈する。

$$U_v = [2gI_e / (\lambda C_D)]^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 g : 重力加速度, C_D : 植生の抗力係数である。図-6に示すように、植生内では水深のかなりの部分でこの固有流速を持ち、きわめて薄い路床近傍で床面摩擦による境界層が現れ（以下本論文では粗度境界層と呼ぶ）そこでは、植生域固有流速を外縁流速とする対数則を呈すると考えられる。植生内摩擦速度 u_* はこの粗度境界層での流速分布に支配される。植生内摩擦速度を推定するためには、まず植生密度に応じて変化する粗度

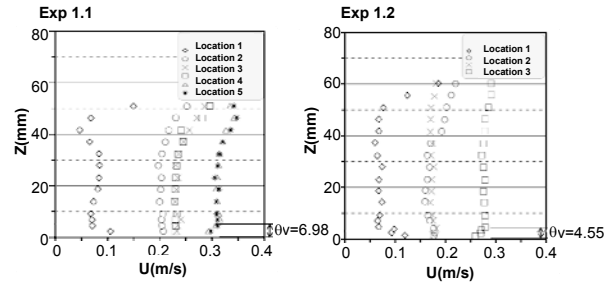


図-7 Liu らの実験による植生内流速分布結果の一例

表-3 Liuらの実験結果

	λ	D (mm)	θ (mm)	h (mm)	U_v (m/s)
Exp.1.1	1.9×10^{-4}	6.35	6.98	60	0.33
Exp.1.2	3.9×10^{-4}	6.35	4.55	71	0.29
Exp.1.3	9.7×10^{-5}	6.35	9.35	55	0.29
Exp.2.1	5.0×10^{-4}	6.35	2.42	65	0.25

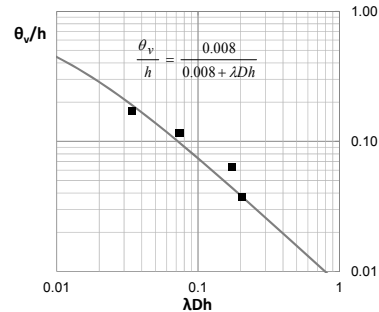


図-8 植生域での底面境界層厚さ

境界層厚 θ を見積る必要がある。

Liuら⁷⁾は、円柱群とした植生モデルを実験水路に敷き詰め、植生密度を変化させることによる鉛直方向流速分布の特徴を詳細に捉える実験を行っている。植生密度を変化させた4ケース（Exp.1.1, 1.2, 1.3, 2.1）の鉛直流速分布の実験結果を用いて、植生内の粗度境界層厚 θ と固有流速 U_v を整理した。図-7に流速分布結果の一例と表-3にそれぞれの結果を示す。

植生域での粗度境界層厚を支配する要素として植生密度 λ と植生直径 D を考え、Liuら⁷⁾の実験結果を整理すると図-8のようになり、以下のような関係式を提案した（著者ら³⁾は先に θ_v/h と λDh の反比例関係を定式化した（ここではさらに $\lambda Dh \rightarrow 0$ で $\theta_v/h \rightarrow 1.0$ を考慮した）。

$$\frac{\theta_v}{h} = \frac{0.008}{0.008 + \lambda Dh} \quad (3)$$

植生域内の粗度境界層内で対数則の成立を認めると境界層厚さと外縁流速（植生層内固有流速）についての次式によって、植生域内摩擦速度を求めることができる。

$$\frac{U_v}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{\theta_v}{k_s} \right) + B_s(R_{e*}) \quad (4)$$

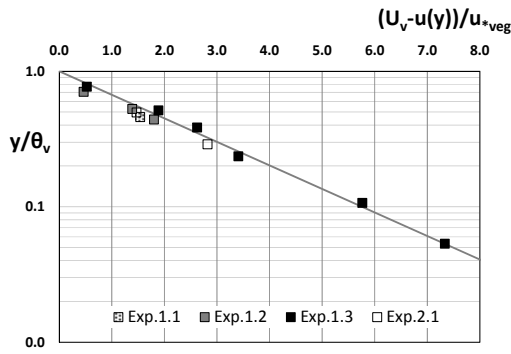


図-9 植生域での底面境界層内流速分布の検証

あるいは対数則を仮定して粗度境界層内の数点の測定値から摩擦速度を推定することも可能である。Liu らの実験での路床条件は滑面であるので、式(4)は次のように書ける。

$$\frac{U_v}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{9.0 \cdot \theta_v \cdot u_*}{\nu} \right) \quad (5)$$

境界層内流速が1点しか計測されていない場合は、上式左辺と右辺の未知数がいずれも u_* であるので、 u_* を変化させたそれぞれのグラフの交点から摩擦速度を求めた。流速が2点以上計測されている場合は、各路床高さ y とその高さでの流速 $u(y)$ を片対数用紙にプロットし、Karman 定数を考慮して推定した。

このようにして推定された摩擦速度、粗度境界層厚さを用いて摩擦速度で無次元化された欠速度 $((U-u)/u_*)$ を粗度境界層内相対高さ (y/θ_v) に対してプロットしたのが図-9である。図では以下に示す欠速度表示された対数則と良好に一致し、粗度境界層内で流速分布を対数則で表わすことができ、個別には極めて少ないデータ数であるが欠速度表示することによって十分なデータ数で確認されることになった。

$$\frac{U_v - u(y)}{u_*} = -\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{\theta_v} \right) \quad (6)$$

4. 植生域内の砂・CPOMの輸送

水流による土砂輸送は流砂量式で表現されることが多い。その代表例として次式で書ける芦田・道上式⁹⁾が挙げられる。

$$q_{B*} \equiv \frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (7)$$

ここで、 q_B ：掃流砂量、 τ_* ：無次元掃流力、 τ_{*c} ：無次元限界掃流力である。この式は無次元化されており、粒径や相対密度 (σ/ρ) の異なるものにも適用の可能性がある。ただし、相対密度の大きく異なる飛砂では粒状体運動の流れへのフィードバック（運動量交換）が考慮でき

ていないなどの問題を抱えているが、POM程度の比重を持つ粒状体の輸送過程への適用にはさほど本質的な問題は無いだろう。また、浮遊砂については浮遊限界（たとえば、沈降速度と摩擦速度の比で判断）によって運動様式を判断すれば流砂研究の知見が適用できる。

芦田・道上式は、実は掃流運動の2つの要素についての評価式から構成されている。ひとつは運動状態にある砂粒密度 ν_g 、もうひとつは移動粒子の運動速度 u_g で、それらの推定式は下記のように書かれている⁸⁾。

$$\nu_g d^2 = \frac{1}{A_3 \mu_R} (\tau_* - \tau_{*c}) \quad (8)$$

$$\frac{u_g}{u_*} = \phi_d \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (9)$$

掃流砂量はこれらと以下の関係にある。

$$q_B = \nu_g u_g A_3 d^3 \quad (10)$$

ここに、 A_3 ：砂の次元形状係数、 μ_R ：砂の動摩擦係数（=0.4）、 $\phi_d=6.8$ （定数）である。

ところで、粒子速度は粒子数密度で大きく変化しないが（相対比重が大きいと粒子運動に奪われる流体の運動量が大きく流体によって加速される粒子の速度は小さくなる）、運動状態の粒子数密度は、式(8)で平衡値が与えられているのであって、これより過剰な供給状態では堆積し、過剰な供給状態では堆積しないで流下する。すなわち第2章に示したような実験で、堆積を生じるか堆積しないで流れ去るかは供給砂量が式(8)で与えられる平衡値より多いか少ないかに依存するのである。

一方、異なる粒子の共存については、芦田・道上は露出高さによる限界掃流力の違いを考慮したEgiazaroffの方法⁶⁾を採用（若干修正）して粒径別流砂量式を提案し⁸⁾、その適用性は比較的高い。しかし、そこではこうした異質粒子共存での輸送では群同士の干渉作用が起きる。表層粒度構成の変化も粒子群の運動中の一種の干渉作用で、平野の交換層厚の概念¹⁰⁾を用いると、通常の混合砂の表層粒度構成の変化を伴う現象には適用性は高い。しかし著者らの実験²⁾では砂とCPOMの共存状態では砂漣の形成と伝播に駆動される干渉が顕著であることが見てとれた。砂漣にCPOMが取り込まれる状況は砂漣波高を交換層厚と見なせるものの、通常の混合砂では個々の群の運動は定常的・平均的であるのに対して、本現象では砂はCPOMにほとんど影響されずに運動するが、CPOMは形成される砂漣クレスト背後の渦域に捕捉され、砂漣の移動で覆われ、また一波長移動後に露出する（図-5参照）という特殊性状を呈し、こうした運動過程の「干渉」は現時点では表現できていない。

実験での観察よりCPOMは砂漣の背面を堆積することなく移動し、背後で剥離渦に取りこまれて堆積する。上流端の砂漣のクレスト背後にΔ時間の間に運ばれてくるCPOM粒子は供給数密度 ν_g 、粒子速度 u_g 、捕捉率 ψ の積

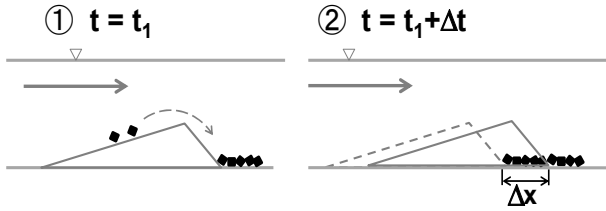


図-10 砂漣の進行に伴い埋没するCPOM

で与えられる。これらは Δt 時間の間では個数ベースで $\psi v_g u_g \Delta t$ のCPOMがトラフに捕捉され、砂漣が進む距離 Δx 内に埋没する(図-10参照)。このようにして、CPOMは砂漣のトラフを結ぶラインに薄く堆積して層を形成する。砂の堆積とともに砂漣が速やかに上流から形成されて下流に伝播するとすれば、1波長分移動する時間 ΔT ごとに下流に向かって砂漣個数が増加し($t_k = kL/U_w = k\Delta T$, k :砂漣個数)、砂漣のトラフラインにCPOMが薄い層を成して堆積する。この時間ステップごとに植生域の代表点($x_j = jL$ ($j=1-k$))でのCPOMの堆積量の時間変化が算定できる。原点 x_1 から x_j での時刻 t_k までの累積堆積量(個数ベース) N_{kj} は次のようにして算定される。

砂漣が1つ形成されたとき($t=t_1$)は代表点は x_1 のみで、 $N_{11}=\psi$ である($N^*=N/[v_g(u_g U_w)]$)。

$k=2$ では砂漣は2つ形成され、砂漣移動に伴う再露出時の巻上げ(残留率 β)と上流からの新規供給分のトラップで $N_{21}=\psi(1+\beta)$ 。下流側の砂漣では上流の砂漣を超えてきた粒子だけなので $N_{22}=\psi(1-\psi\beta)$ である。

$k=3$ では砂漣は3つ形成され、最も上流側では再露出による巻上げのロスを考慮して $N_{31}=\psi(1+\beta+\beta^2)$ 。2番目の砂漣では上流の砂漣を通過したものからの捕捉と再露出による喪失、 Δt 前に上流側に存在した砂漣の移動による再露出・巻上げ分流出を捕捉することになるので、 $N_{32}=\psi(1-\psi\beta^2)$ である。なお、3番目の砂漣では2つの上流の砂漣を越してきたものの捕捉に、直上流の砂漣の移動に伴う再露出分からの捕捉を考えればよいので、 $N_{33}=\psi[(1-\psi)^2+(1-\beta)(\psi-\psi^2\beta)]$ となる。

以上のように、逐次計算することによって、砂漣と干渉した挙動を呈するPOM粒子の堆積個数の時空間分布を求めることができる。

5. 本研究で提案したモデルの適用

まず、第3章の成果を平面二次元流れ解析に基づく河床変動解析(NHSED-2D¹¹⁾)に適用した³⁾。基礎式中の運動量保存則において摩擦抵抗、形状抵抗に以下の式を用いた。

$$\tau_{bx} = \rho C_f U \sqrt{U^2 + V^2}, \tau_{by} = \rho C_f V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (11)$$

$$F_x = \frac{1}{2} C_d \lambda U \sqrt{U^2 + V^2}, F_y = \frac{1}{2} C_d \lambda V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (12)$$

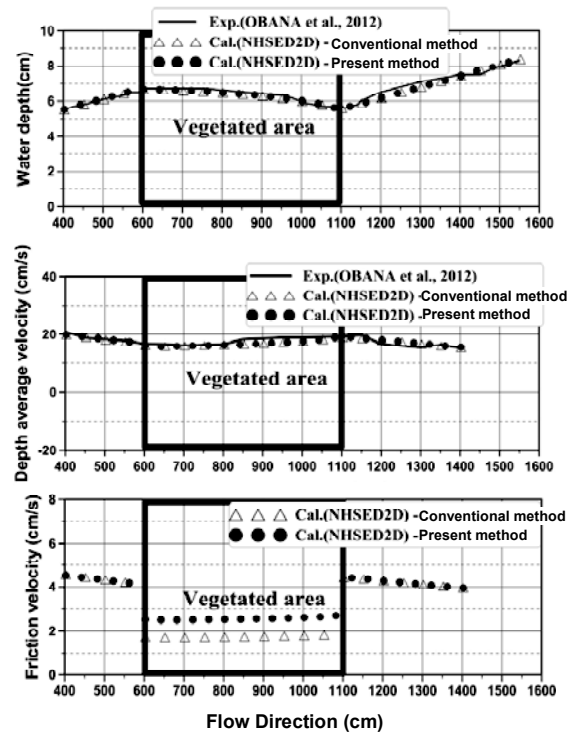


図-11 水深、平均流速、摩擦速度の縦断方向変化

ここでは水没植生を対象とした。ここに、 U , V , τ_{bx} , τ_{by} : x , y 方向の水深平均された流速成分および底面摩擦力、 C_f : 摩擦抵抗係数 ($C_f = (U/u_*^2)$) である。摩擦抵抗については非植生域では水深全体にわたる対数則を用いた。式(1)が用いられる。従来はこれが植生域にも援用されたが本論文の第3章では、植生域について植生域の粗度境界層厚を考慮した式(3), (4)を提案した。これら抵抗則を以下に再掲する。

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{h}{k_s} \right) + B_s(R_{e*}) - \frac{1}{\kappa} \quad (\text{非植生域})$$

$$\frac{U_v}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{\theta_v}{k_s} \right) + B_s(R_{e*}), \frac{\theta_v}{h} = \frac{0.008}{0.008 + \lambda Dh} \quad (\text{植生域})$$

第2章に要約した著者らの実験結果に平面二次元解析を適用すると、図-11に示すように、水深平均流速、水深の縦断方向変化は非植生域の抵抗則を援用(従来手法)しても誤差は小さくとも実験結果とよい一致を見せる。しかし、摩擦速度の縦断方向変化では、非植生域抵抗則の援用(従来手法)は植生域で過小評価していることが推定される。第2章の実験においては限られた粗度近傍局所流速から摩擦速度を推定したが、非植生域($u_{*0}=4.3\text{cm/s}$)、植生域($u_{*v}=2.3\text{cm/s}$)ともこの計算結果とよく一致している。摩擦速度の評価の精度は水深平均の流れ特性には鈍感であっても、流砂量、河床変動には敏感なはずである。そこで、著者らの実験で植生域に砂を供給した実験での堆積形状について適用性を見た。

解析は上述の流れ解析で得られた摩擦速度を芦田・道

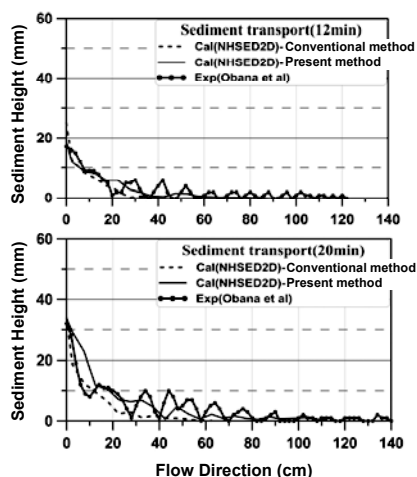


図-12 植生域での砂の堆積形状

上式 (式(7)) に代入して掃流砂量を求め、流砂の連続式から河床高変化を計算するもので、プログラムはNHSED-2D¹¹⁾を用いた。図-12は、植生域での堆積形状の時間的变化について、実験結果、非植生域を援用する従来型の計算、第3章で提案した植生域抵抗則を適用した計算結果を比較したものである。提案した方法では植生域で摩擦速度を過小評価しないため、上流から供給される砂が植生域内に入り込み堆積形状を形成するとともにすばやく下流へ伝播する性状が記述できた。ただし現在の河床変動に関する数値解析では流砂の基礎式に不安定をもたらす遅れ機構をモデルに内在させていないため砂漣形成は記述できない。ここでは、先に述べたように砂漣の形成が期待されるので、そのスケールと伝播特性(表-2より $L=10\text{cm}$, $U_w=0.02\text{cm/s}$)を計算結果に重ね合わせることによって、前章で記載した砂漣との干渉によるCPOM粒子の堆積を評価した(図-13参照)。計算に当っては $\nu=0.9$, $\beta=0.5$ と仮定して N^* の時間変化を示した。モデルでは500s程度ごとに砂漣が形成され下流に伝播し、1500s後では上流から3個近い砂漣が形成されている。なお、実験後(1200s)に観測された N の値を、実験での概略値 $U_w=0.02\text{cm/s}$, $u_g=5\text{cm/s}$ (式(9)より推定), $\nu_g=0.06/\text{cm}^2$ (投入量の個数換算値と u_g から算出)を考慮して N^* 表示したものが図中に×印で示され、本モデルで実験結果を概ね説明できるものと判断した。

6. あとがき

本論文では植生砂州での粒状有機物の捕捉作用が植生繁茂や物質循環など河川生態系解明に必須であると考え、とくに平面二次元解析を利用するに当たって検討が不十分な植生域での摩擦速度の算定、相対密度の異なる粒状有機物の流砂と干渉した運動のモデル化について研究した。

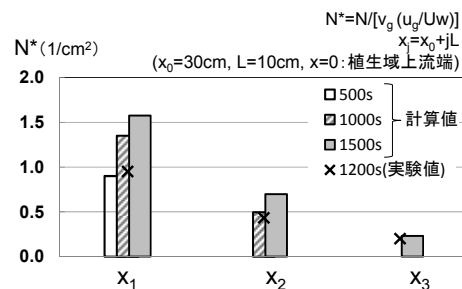


図-13 CPOMの堆積

これまで平面二次元解析では、植生域で形状抵抗を付加するものの粗度による摩擦抵抗については非植生域での抵抗則を援用していたため、流れの計算精度は確保されるものの摩擦速度は過小評価しそのため河床変動を精度良く記述できない難点があった。本論文では植生層内境界層厚についての議論を行い、欠速度則表示を用いることによって個別には少ない流速計測データを巧みに使って植生域で精度良く摩擦速度を評価できるようにした。

次に、粒状有機物の輸送・堆積過程については、先に基礎実験によって注目した流砂、特に砂漣の挙動と干渉する仕組みについて考察、それをモデル化した。モデルは現時点で漸化式的な表現にとどまっているが、より簡潔な数式表現も可能と考えられ、今後より巧みに土砂移動・地形変化を含めた解析に適用が可能と考えている。

なお、本研究では懸案のモデル化を優先して非植生域から植生域への減速過程に限った議論をしたが、砂州を対象とすればもうひとつの側面である横断混合の絡む現象に発展させることが次の課題であると考えている。

参考文献

- 1) 吉村千洋・谷田一三・古米弘明・中島典明: 河川生態系を支える多様な粒状有機物, 応用生態工学, 9巻1号, pp.85-101, 2006.
- 2) 尾花まき子・内田考洋・辻本哲郎: 河道内植生域での土砂堆積と粒状有機物捕捉について, 河川技術論文集, 第18巻, pp.47-52, 2012.
- 3) Jeon, H.S., M. Obana and T. Tsujimoto : Transport and deposition of sand and particulate organic matters on vegetated area in a river, *Proc. Multiphase Flow Sym.*, Jap. Soc. Multiphase Flow, 2013.
- 4) Tsujimoto, T. : Fluvial processes in streams with vegetation, *Jour. Hydraulic Research*, IAHR, Vol.37, No.6, pp.789-803, 1997
- 5) 芦田和男・道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 6) Egiazaroff, I. V. : Calculation of nonuniform sediment concentrations, *Jour. Hydraul. Div.*, ASCE, Vol.91, HY4, pp.225-247, 1965.
- 7) Liu, D., P. Diplas, J. Fairbanks and C. Hodges : An experimental study of flow through rigid vegetation, *Jour. Geophysical Research*, 113, F04015, 2008.
- 8) 土木学会 : 4.2 掃流砂量式, 河川編, 水理公式集 (平成11年版) p.163, 1999.
- 9) 芦田和男・道上正規: 混合砂れきの流砂量と河床変動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, No.14B, pp.259-273, 1971.
- 10) 平野宗夫 : Armoringをとまなう河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp.55-65, 1971.
- 11) Goto, T., T. Tsujimoto and T. Kitamura : Numerical model for simulating channelization and its validation, *Advances in Fluid Modeling & Turbulence Measurements*, Edited by H. Ninokata et al., World Scientific, pp.127-134, 2002.

(2014. 4. 3受付)