河道内の植生繁茂・自然裸地の縦断分布傾向の把握とその簡易推定指標に関する検討

ESTIMATION METHOD FOR LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF AREAS OF SUSTAINED AND NON-SUSTAINED VEGETATION ON RIVER SANDBARS

○和田孝志[1]・山田龍太朗[2]・深津義文[3]・梶川勇樹[1]・三輪　浩[1]

[1]鳥取大学学術研究院工学系部門　[2]八千代エンジニヤリング株式会社　[3]名古屋市役所

1.はじめに

◆**高水敷や砂州上での過剰な植生繁茂**

➡河積阻害等により治水面での悪影響

➡水辺の生物相にとって重要な生息場・繁殖場

➡河道内土砂動態の不活性化，砂州固定化や低水路の深掘れ

治水・生物環境・土砂環境を考慮した河道内植生の適切かつ恒常的な管理が求められている

天神川水系・小鴨川11.6kp左岸から下流を望む

★多摩川礫州上の草本植生(ツルヨシ)の破壊の程度と90%粒径程度の礫に対する**無次元掃流力τ_{*90}に正の相関**（1砂州対象，瀬崎ら,2000）

★植生密生度を考慮した抗力モーメントに係る指標（破断・倒伏・引抜等に係る指標）と底面せん断力に係る指標（植生生育基盤の流出に係る指標）を組み合せて用いることで洪水時植生流出の有無が概ね整理可能（1砂州対象，八木澤・田中,2007）

★鬼怒川の平成27年9月出水（既往最大規模）前後のオルソ画像と平面2次元浅水流解析結果から，草本類消失率と摩擦速度，木本消失率と曲げモーメントに縦断的に正の相関があることを指摘（100km区間内の13地点対象，飯村ら,2017）

天神川水系・小鴨川13.6kp右岸から上流を望む

鳥取県内一級河川の複数河道を対象に，縦断的に連続した範囲の河道内植生の効率的な管理の基礎資料と，平均年最大・既往最大規模出水時の植生繁茂しやすい領域と繁茂しにくい領域（自然裸地）の水理的特徴を出水後UAV写真（航空写真）と平面2次元河床変動計算から把握.

※把握の縦断単位は，治水安全度評価と一体となった河道管理を実現させるため，治水安全度（流下能力）の評価で使用されている200 mピッチを採用.

Phantom4

2.研究対象領域と研究手法

◆**鳥取県内一級水系の千代川・天神川水系の(a)～(e)領域**

➡(a)(c)(d)；セグメント1，(b)(e)；セグメント2-1　どうちも単列砂州～複列砂州の形成領域

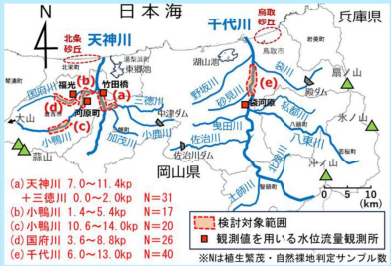
➡河口近傍の鳥取砂丘・北条砂丘の形成に寄与する土砂を上流部から運搬するほどの活発な土砂動態が見られたが，ダム・砂防堰堤・農業用取水堰により土砂動態が不活性

➡近年では，河道内の砂州固定化，砂州上の植生過剰繁茂が顕在化

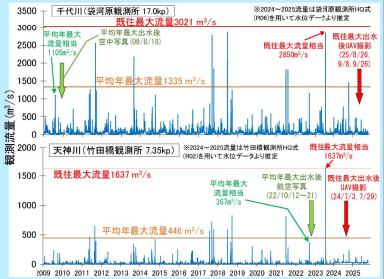
➡2023年8月に(a)(e)で既往最大規模相当の流量を観測

➡千代川(e)平均年最大流量は既往最大流量の44%，比流量換算で1.53 m³/s/km²

天神川(a)平均年最大流量が既往最大流量の27%，比流量換算で1.86 m³/s/km²



検討対象領域(a)～(e)位置図



対象出水と写真撮影時期

平均年最大・既往最大規模の出水後に河道内植生状況をUAVにより撮影（高度100 m，速度3 m/sで20分程度飛行，撮影間隔3秒，撮影写真のオーバーラップ率70%）　実施時期は右表参照➡

使用UAV；Phantom 4 RTK（DJI社）

距離標杭地点にD-RTK2を据え，D-RTK2の既知座標に対するUAV撮影写真の相対的な座標を取得

撮影写真は，写真測量ソフトMetaShape（Agisoft社）により合成

UAV・航空写真(a)～(e)位置図

領域	対象流量規模	撮影時期
(a)	平均年最大相当 (22/9/20，367 m³/s)	既存航空写真※1 22/10/12～21
	既往最大相当 (23/8/15, 1637 m³/s)	24/7/3，7/29
(b)	平均年最大相当 (23/8/15, 248 m³/s)	23/8/26
(c)	平均年最大相当 (23/8/15. 248 m³/s)	23/9/11
(d)	平均年最大相当 (23/8/15, 246 m³/s)	23/11/16
(e)	平均年最大相当 (09/8/10, 1105 m³/s)	既存空中写真※2 09/8/18
	既往最大相当 (23/8/15, 2850 m³/s)	25/8/26，9/8，9/26

※1：国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所より提供

※2：国土地理院：地理院タイル，年度別空中写真（2007年以降）

3. 数値計算の概要

(1) 使用計算モデル

Kajikawa and Hinokidani (2013)が開発した混合砂礫対象の平面2次元河床変動計算モデル

Kajikawa, Y. and Hinokidani, O., Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu, China, A11452, 2013

◆**掃流砂**：芦田・道上1972の掃流砂量式

芦田和男，道上正規：移動河床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，206号，pp.59-69，1972

◆**浮遊砂**：拡散方程式による浮遊砂輸送

浮遊砂浮上量式は芦田・岡部・藤田式

芦田和男，岡部健士，藤田正治：粒子の浮遊限界と浮遊砂量に関する研究，京都大学防災研年報，Vol.25(B-2)，pp.401–416，1982.

◆**混合砂礫床の移動限界**：２峰性混合砂礫河床における礫・砂の移動限界式(Miwa･Parker式)

・Miwa, H. and Parker, G.: Effects of sand content on initial gravel motion in gravel-bed rivers. Earth Surface Processes and Landforms, 42, pp.1355-1364, 2017

・小林亮太，河原光佑，和田孝志，三輪 浩：二粒径混合砂礫床における砂の移動限界と粒径比の影響，第72回土木学会中国支部研究発表会講演概要集，pp.127-128，2020

◆**混合砂礫河床粗度係数**：Manning-Strickler式

◆混合粒径材料を8～9粒径階に分割し，これらの粒径階を砂成分（粒径2 mm未満），礫成分（粒径2 mm以上）にグループ化して扱う.

(2) 解析条件

・河床内部は層厚2mの層を5段設け，交換層厚は最大粒径相当の0.10mとした．初期堆積厚は一律10m.

・計算格子：$\Delta x=\Delta y=5$m の正方格子．境界条件は上流端で供給実績ハイドロ(平衡給砂条件)，下流端は自由越流条件.

・計算時間間隔は$\Delta t=0.05$秒とし，流れの計算開始から2時間後に河床変動計算を開始．通水時間は6時間（平均年最大流量を上回る時間の平均）

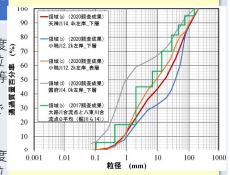
・領域内の固定堰に該当する計算メッシュをに固定床として考慮

・領域内の橋脚は考慮していない

・(a)～(e)各領域の初期地形データ，対象流量，初期粒度分布は下表のとおり.

(a)～(e)における平面2次元河床変動計算の主な設定条件

領域	計算初期地形元データ	対象流量（m³/s）※3 平均年最大	既往最大	初期河床材料
(a)	2023年3月LP測量成果	446.2 (竹田橋)	1637.5 (竹田橋)	右図の粒度分布を8粒径階に均等割合(12.5%)で設定
(b)	2009年6月LP測量成果	242.1 (河原町)	721.6 (河原町)	
(c)	2009年6月LP測量成果	242.1 (河原町)	721.6 (河原町)	
(d)	2009年6月LP測量成果	141.3 (福光)	451.0 (福光)	
(e)	2019年9月LP測量成果	1335.7 (袋河原)	3020.9 (袋河原)	右図の粒度分布を9粒径階で設定



※3：( )は水位流量観測所名．平均年最大流量・既往最大流量は水文水質データベースから算定

4.結果と考察

➡平均年最大規模程度であれば経験出水回数に依らず植生繁茂・自然裸地の分布傾向は大きく変化しない

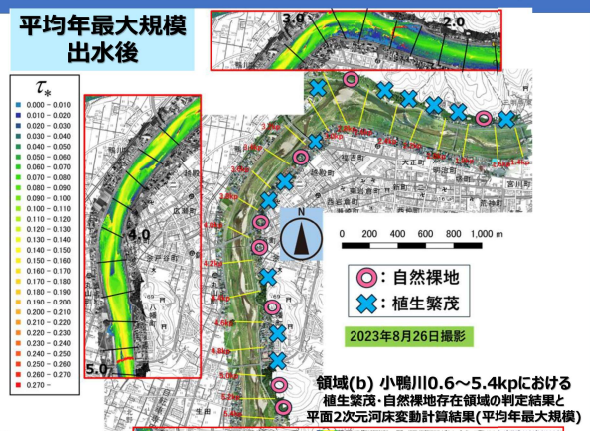
➡大きなτ_*とhが横断方向に広く分布する領域に自然裸地が多い

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{sgd_m} = \frac{hI_e}{sd_m}$$

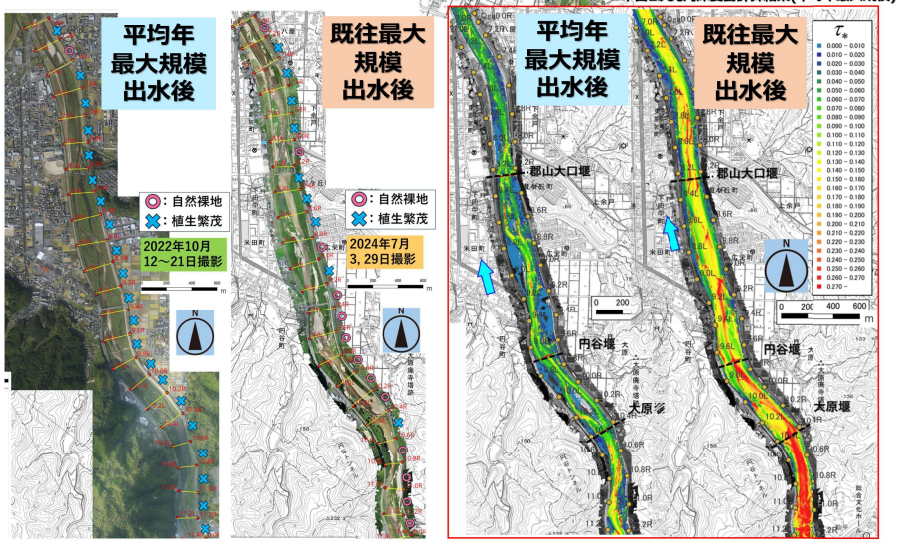
u_*：各メッシュの摩擦速度，s：砂礫の水中比重（=1.65），g：重力加速度(= 9.8 m/s²)，d_m：各メッシュの平均表層粒径（粒径階i番目の粒径d_i×表層存在割合f_iの総和），h：各メッシュの水深，I_e：各メッシュのエネルギー勾配

➡平均年最大規模の出水では大きな砂州変化までは誘発しにくく，植生繁茂への影響が小さい.

抗力モーメントと底面せん断力に係る指標と植生繁茂阻害（自然裸地化）の相関がある．←既往研究成果と同様



領域(b) 小鴨川0.6～5.4kpにおける植生繁茂・自然裸地存在領域の判定結果と平面2次元河床変動計算結果(平均年最大規模)



領域(a) 天神川7.0～11.4kpにおける植生繁茂・自然裸地存在領域の判定結果と平面2次元河床変動計算結果(平均年最大・既往最大規模)

200m縦断区間ごとの洪水水理量と植生繁茂傾向の関係

➡(図A)$\overline{\tau_*}$(200m縦断区間平均無次元掃流力)≧0.10～0.11：自然裸地領域が増加☜砂州上の掃流力増大に伴う植生の生育基盤（砂州表層）の撹乱，国総研成果(2004)とも合致．一方，小鴨川では$\overline{\tau_*}$≦0.04の範囲でも自然裸地存在する傾向☜土砂堆積に伴う植生埋没，澪筋変動による砂州侵食，砂州冠水頻度上昇によると推察

➡(図A)$\overline{I_b}$(200m縦断区間河床勾配)，$B_w/\overline{h}$(200m縦断区間平均水面幅・水深比)，Fr (200m平均フルード数)と植生繁茂傾向との関係は不明瞭

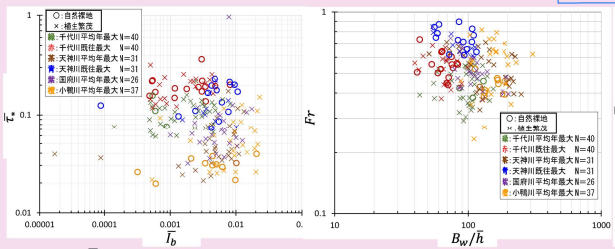
➡(図C)黒木・岸(1984)の単列砂州卓越領域に自然裸地領域が多く分布(小鴨川では複列砂州領域でも一部白然裸地領域あり)

洪水時流体力と中規模河床形態特性を組み合わせた導入指標P($B_w/\overline{h}$に応じた無次元化された倒伏モーメントのような指標，フルード数Fr，水深植生高比$\overline{h_v}/h_v$，植生高植生幅比h_v/b_v，水深水面幅比$B_w/\overline{h}$，200m縦断区間平均勾配の逆数$1/\overline{I_b}$と正の相関を持つ，以下参照)と$\overline{\tau_*}$により河道内の継続的な植生繁茂・自然裸地傾向が推定できる可能性あり（図D）

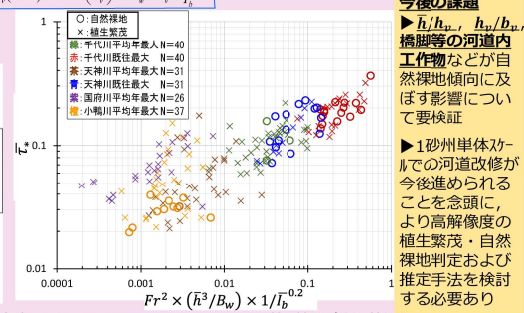
$$P=\frac{\rho A C_D \frac{\overline{U}^2}{2}}{\mu_v \sigma_v V g}\times\frac{\overline{h}}{B_w \overline{I_b}^{0.2}}=\frac{\rho(\overline{h}b_v)C_D}{2\mu_v\sigma_v(\pi h_v b_v^2/4)}\times\frac{\overline{U}^2}{g\overline{h}}\times\frac{\overline{h}^2}{B_w \overline{I_b}^{0.2}}=\frac{\rho C_D}{2\mu_v\sigma_v(\pi/4)}\times Fr^2\times\left(\frac{\overline{h}}{h_v}\right)^2\times\frac{\overline{h}}{B_w}\times\frac{h_v}{b_v}\times\frac{1}{\overline{I_b}^{0.2}}$$

$$=kFr^2\times\left(\frac{\overline{h}}{h_v}\right)^2\times\frac{\overline{h}}{B_w}\times\frac{h_v}{b_v}\times\frac{1}{I_b^{0.2}}$$

ρ：水の質量密度，A：植生投影面積（= $\overline{h}\cdot b_v$），C_D：抗力係数，μ_v：流体力に対する植生の抵抗係数，σ_v：植生の質量密度，V：植生を高さh_v，直径b_vとしたときの体積（=$\pi h_v b_v^2/4$），k：定数



図A：$\overline{I_b}$と$\overline{\tau_*}$と植生繁茂・自然裸地傾向　図B：Frと$B_w/\overline{h}$と植生繁茂・自然裸地傾向　図C：黒木・岸の中規模河床形成区分と植生繁茂・自然裸地傾向



図D：$\overline{\tau_*}$とP(便宜的にk=1，h_v=b_v=1)と植生繁茂・自然裸地傾向

今後の課題

▶$\overline{h_v}/h_v$，h_v/b_v，**橋脚等の河道内工作物**などが自然裸地傾向に及ぼす影響について要検証

▶1砂州単体スケールでの河道改修が今後進められることを念頭に，より高解像度の植生繁茂・自然裸地判定および推定手法を検討する必要あり