

令和元年6月17日現在

機関番号：54501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06524

研究課題名（和文）都市域河川における木杭列水制による河口砂州動態の制御と管理手法の体系化

研究課題名（英文）Systematization of control and management method of estuarine sand bar dynamic by tree pile row groins in urban area river

研究代表者

神田 佳一（KANDA, KEIICHI）

明石工業高等専門学校・都市システム工学科・教授

研究者番号：60214722

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、近隣の東播磨地域で産出される良質な間伐材を用いた木杭列水制による都市河川河口域の合理的な管理手法の構築・体系化と、その治水防災機能及び生態環境機能を評価することを目的とする。河口砂州による河口閉塞が顕著である都市河川において、洪水や波浪による河口地形の動態を現地モニタリングと模型実験及び数値解析により明らかにするとともに、木杭列水制を用いた合理的な河口砂州の制御手法を提案した。これにより、間伐材の有効利用を促進して健全な森林の維持と環境に優しい川づくりの創出を図りつつ、防災機能の向上と地域の活性化に繋げる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、木杭列による透過型水制を河口域に適用した場合の水理機能と水質や生態系に及ぼす環境機能を、移動床水理学及び河川生態学の両面から理論的・実験的に明らかにした。地域性の高い東播磨・淡路地域の中小河川における木杭列水制を対象としているが、研究成果の応用実績を流域面積や流量規模の異なる多くの水系で積み重ねることによって、より汎用化された設計指針が開発されるものと期待できる。さらに、河川管理者及び間伐材生産関連企業と連携し、水生生物の生息環境としての有効性を実証してその普及を推進し、健全な森林の維持と環境に優しい川づくりの創出を図り、地域の活性化に繋げることができる。

研究成果の概要（英文）：This study deals with systematization and evaluation of rational management method of urban river estuarine area by tree pile row groins using good quality thinning material produced in neighboring East Harima area. In urban rivers where estuarine blockage by estuarine sandbars is remarkable, dynamics of estuarine topography due to floods and waves were clarified by field monitoring, model experiments and numerical analysis. Furthermore, a rational estuary control method of estuary was proposed using wooden pile row groins. This promotes the effective use of thinning materials to maintain a healthy forest and create an environment-friendly river, while leading to the improvement of disaster prevention functions and regional revitalization.

研究分野：水工学

キーワード：河口砂州 木杭列水制 治水防災機能 生態環境機能 模型実験 現地モニタリング 数値解析

1. 研究開始当初の背景

潮汐作用の小さい我が国の河口域では、洪水時に河川から流出する土砂や海浜流に伴う漂砂によって河口砂州が発達し、河口閉塞が生じることが多い。特に、瀬戸内海沿岸の都市域中小河川では、平水流量が小さく、波浪の影響が大きい上に、近接する港湾施設などの人工構造物の影響を受け易い。このような砂州による河口閉塞は、近隣の明石川・瀬戸川・喜瀬川などの東播磨の中小河川でも顕著であって、洪水や波浪に伴う砂州地形の動態を把握するとともに、河口域の適正な管理・制御手法を確立することが工学上重要な課題となっている。

一方、東播磨地域では、健全な森林管理の面から杉や檜などの良質な間伐材が産出されており、造園芸用資材や公園等の遊具・橋梁材料としての利用が図られているが、防災上の強度不足や腐食などの維持管理上の問題から、河川での土木用構造資材としての利用実績は少なく、合理的な設計基準や管理手法も確立されているとはいえない。これらの間伐材が護岸や水制などの河川構造材料として有効利用されれば、河川流域の環境保全や林業による地域の活性化に繋がる。このため、間伐材を用いた河川構造物の治水防災機能及び環境機能を工学的に評価することは、間伐材の利用価値を高めるための緊急かつ重要な研究課題である。

2. 研究の目的

本研究では、近隣の東播磨地域で産出される良質な間伐材などを用いた木杭列透過型水制による河川整備を都市域の河川に適用することを目的とする。東播磨地域の県管理河川を対象とした現地実験と模型実験により、間伐材を用いた水制の治水防災機能及び水生生物に対する生態環境機能を工学的に評価するとともに、その有効利用を促進して健全な森林の維持と環境に優しい川づくりの創出を通して林業を中心とした地域の活性化を図る。

3. 研究の方法

- (1) 東播磨地域における間伐材の産出量及び使用実績に関する調査を行い、河川構造材料として利用する場合の有効性・経済効果について検討する。また、模型実験により流れに対する護岸材料の抵抗特性や周辺の河床変動に対する安定性の検討を行う。
- (2) 木杭の腐食耐久性について、水浸と乾燥の繰り返しによる腐食に対する木杭の耐久性について、材質や表面処理法の異なる数種の木杭材料を流水中に設置した実験を行い、腐食の程度や進行速度と木杭強度の関係性を明らかにする。
- (3) 河口域における木杭による透過性水制の機能評価について、木杭列水制周辺の流れと河床変動特性に関する模型実験を行い、水制の水撥ね効果と水制による河口砂州の変動特性について考察する。

- (4) 明石川や喜瀬川水系で施工されている木杭水制周辺の水質と生物分布調査を行い、環境水理機能評価と生物指標を用いた生物生息環境の機能評価を行う。

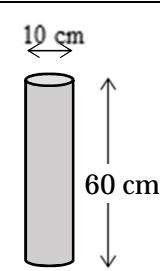
これらの成果を総合することにより、市街地の小河川という限られた制約条件の中で透過性水制の合理的設計手法とその評価法及び管理指針を提案する。

4. 研究成果

- (1) 河岸水制として活用するための木杭の腐食耐久性と施工方法に関する実験

(i) 実験概要：材質や表面処理法の異なる8種の木杭を用いた。木杭寸法は直径10cm、長さ60cmである。材質及び表面処理を表-1に示す。

表-1 材質及び表面処理法

寸法	樹種	表面処理
	スギ	なし
		傷
		皮付き
		焼き
		ヤシ油
	銅	
	ヒノキ	なし
	マツ	なし

表中の木杭をそれぞれ4本ずつ用意し、図-1に示す設置条件のもとで平成17年6月より観察した。ここで、設置条件(a)は高水敷上の木杭を想定したもので、容器内に砂を満たした後、容器高さの1/2の位置に穴を空け、水が容器の穴の高さまで溜まるよう設置した(1/2土中・1/4浸水状態)。設置条件(b)は低水路の水制として用いた場合を想定したもので、木杭上部は外気と接し、一部が水と空気に繰り返し接している。砂を容器内に半分、水を満杯入れた後、木杭を立てて設置した(1/4土中・1/2浸水状態)。また、設置条件(c)では容器内に木杭を横に倒して入れ、完全に浸水させた(完全浸水状態)。なお、容器内の砂は直径0.88mmの

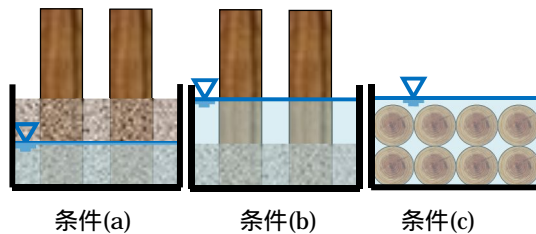


図-1 設置条件



図-2 木杭の設置状況

一様砂を使用した。月に一度、これらの水中・土中の温度を測定し、ひび割れの程度などを目視観測するとともに、木杭の腐朽の程度を図-3 に示す木材貫入量測定器を用いて相対的に測定した。これは、直径 2.5mm、長さ 60.2mm の針を 6[J] のエネルギーで貫入させた時の貫入量を測定するもので、図-4 に示すように、木杭中央部及び両端部から 10cm の位置の円周上 8 箇所所で測定した。



図-3 木材貫入量測定器

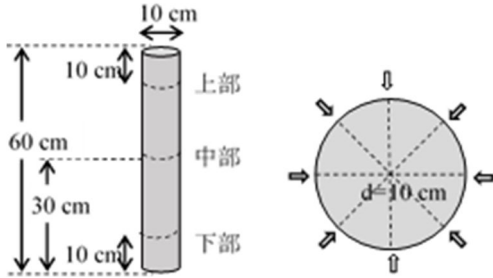


図-4 測定箇所

(ii) 実験結果及び考察：スギ、ヒノキ及びマツの上部位置の貫入量の平均値と標準偏差の推移を図-5 に示す。なお、ピロデインの貫入量の上限は 40 mm であるため、これを超える場合は 40 mm とした。すべての樹種の条件(a)と(b)で貫入量は顕著に増加している。これは太陽光の紫外線、乾燥割れ、また割れた部分に雨水が入り込み腐朽を促進させるなどの劣化外力が強かったためであると考えられる。

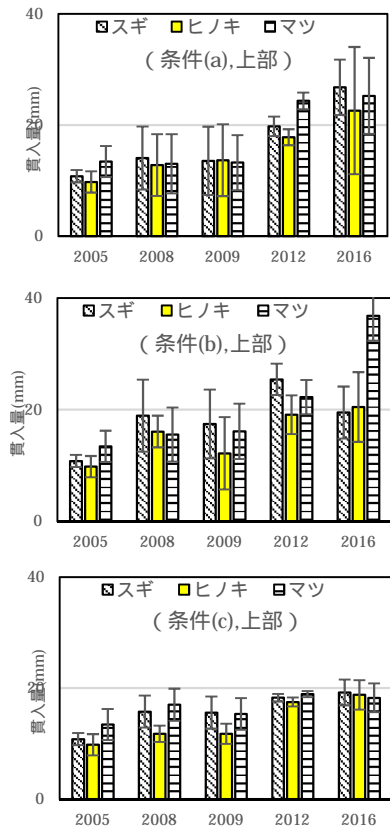


図-5 貫入量の経年変化(上部)

完全浸水の条件(c)における貫入量の増加割合は 2009 年以降、他の条件に比べ小さくなっている。特にヒノキは、2009 年頃まで貫入量が小さくスギ、マツに比べ腐朽していなかったが、7 年を経過した 2012 年以降は他の樹種と同程度となっている。また、いずれの設置条件においても水中に没している下部の貫入量は上部と中部に比べ比較的小さかった。

図-6 に貫入量と応力波伝播速度との関係を示す。貫入量の増加に伴い応力波伝播速度は減少する。応力波伝播速度応力波を用いた木材の非破壊廃棄腐朽診断に関しては、多くの報告があり、野口らによると健全木のヒノキの応力波伝播速度は 1.3~1.7 km/s であり、0.9 km/s より低くなると 100 % の正解率で樹幹断面の 30 % 以上が不朽していると判定できるとしている。また、マツについても、健全木の応力波伝播速度は 1.7~1.9 km/s にあり、樹幹断面の 30 % 以上が不朽していると判断できる応力波伝播速度を 1.4 km/s と報告している。実験に用いた木杭の半径は 50 mm で、貫入量 15 mm が 30 % に相当するので、貫入量が腐朽割合を示す指標と考えると、概ねヒノキ、マツとも野口らの報告に一致している。本研究で想定する河岸水制材料としての木杭は、ISO21887 (2007) 規格の使用区分 5 に該当し、紫外線や河川の流水による物理的な劣化や、木材腐朽菌・シロアリ等による生物劣化にさらされている使用状態により腐朽の進行度は大きく異なるため、利用目的に応じて、定期的な調査を行い、木杭保護処理法の検討、交換時期などの管理方法を定める必要がある。

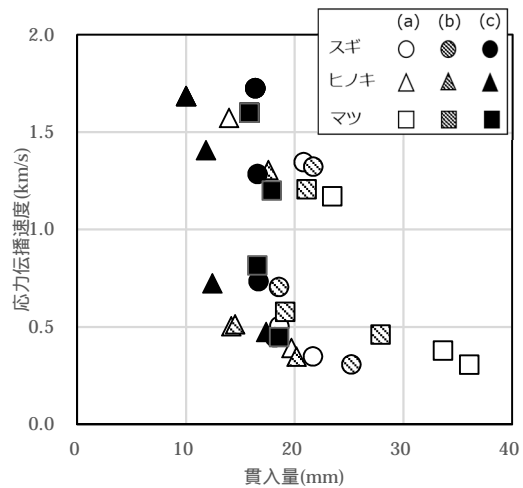


図-6 貫入量と応力波伝播速度の関係

(2) 木杭列水制による河口砂州の制御に関する模型実験及び数値解析

(i) 実験の概要：洪水に伴う河口砂州の詳細な変形特性及び砂州の制御法として砂州対岸に木杭列水制を設置した場合の砂州形状の変化について、都志川の現地河道を模した大型実験水路を用いた移動床実験を行った。

実験に用いた水路は、図-7 に示すような、全長 8.75m、幅 2.88m の水平床長方形断面水路である。低水槽からポンプアップされた流

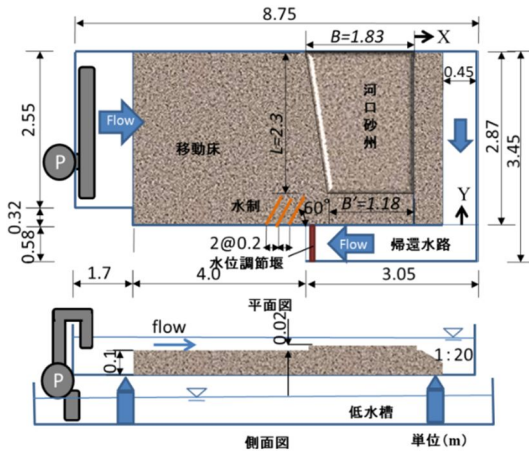


図-7 模型実験水路(単位:cm)

水は、水路を流下し、水路下流端の右岸に隣接する帰還水路を通して、低水槽に戻る。帰還水路の下流端には水路内の水位を調整するための、水位調節版が設置されている。

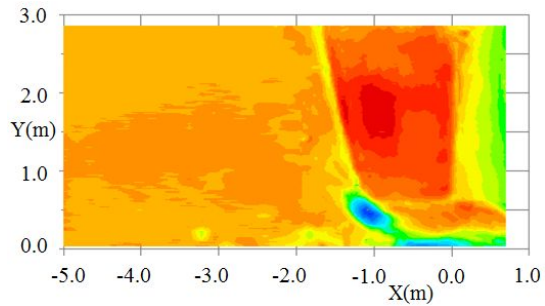
水路の上流端から 3~5m の左岸側には、現地測量結果に基づいて、その平面形状を台形として近似した河口砂州模型を設置した。砂州の高さは 0.02m で一定とし、砂州模型終端より下流端に向かって $i=1/20$ の海底斜面を設定している。河川部は水平床とし、その河床高さは 0.1m である。

河床材料には、小規模河床波が生じないように平均粒径 $d=1.3\text{mm}$ の石炭粉を用いた。岩垣の式より、限界摩擦速度を評価すると、 $U_{*c}=1.44\text{cm/s}$ となる。実験は、洪水時を想定して通水流量を $Q=10.8\text{l/s}$ とし、水制を設置しない場合と直径 0.02m の丸棒を 0.05m 間隔で並べた全長 0.3m 及び 0.6m の水制列を 3 列設置した場合(列間距離 0.20m, 設置角度は流下方向に対して 60°) について行った。

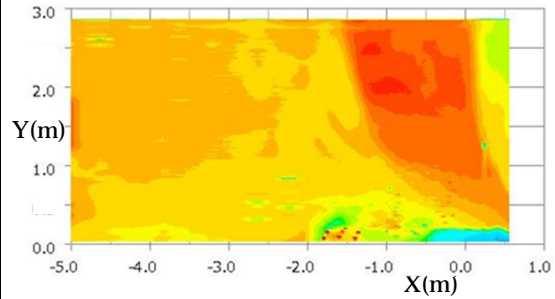
(ii) 実験結果及び考察：図-8 に通水 1 時間後の河口砂州周辺の河床位のコンター図を示す。水制を設置しない図-8(a) では、流れは砂州を完全に越流しているが、越流部の流れは緩慢で、砂州上では河床低下は見られない。砂州上流部では、右岸近傍から蛇行して砂州開口部に向かう流れが卓越し、蛇行流路が形成されるとともに、開口部では流れが集中して砂州先端部上流側で深掘れ地形が発達している。

長さ 0.3m の水制列を設置した場合(図-8(b)) では、水制による水刎ね効果によって、河岸に沿って開口部に向かう流れが緩和される一方、砂州先端部の流速が増大するため、砂州先端部上流側の侵食量は、水制が無い場合(図-8(a)) に比べて大きくなり、砂州上流部の開口幅も増大している。

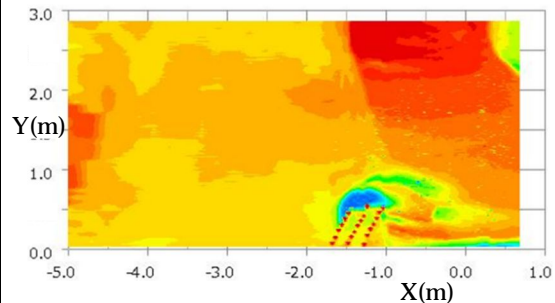
さらに水制列長を大きくした図-8(c) (0.6m) では、水制によって河岸から砂州部に向かう流れがより卓越し、砂州先端部が侵食されるとともに、砂州中央部に流路が形成され、河床低下が生じていることが分かる。これに伴い、砂州を迂回して開口部に向かう流れは減衰し、砂州開口部の洗掘深は小さくなってお



(a) 水制を設置しない場合



(b) 長さ 0.3m の水制列群を設置した場合



(c) 長さ 0.6m の水制列群を設置した場合



図-8 水制による砂州近傍の河床形状

り、水制の設置による砂州抑制の効果が認められる。

(iii) 数値解析の概要：現地における流量規模と砂州の侵食規模の関係を検討するとともに、移動床模型実験の結果を検証するために、iRIC 研究会による河川流解析のための汎用ソフトウェア Nays2D を用いて河床変動計算を行った。解析に用いた基礎式は平面二次元の連続式と運動方程式及び流砂の連続式である。移流項の離散化には CIP 法、乱流場はゼロ方程式モデルを適用し、掃流砂量式には x 方向は芦田・道上式、y 方向は長谷川の式を用いている。なお、現地河道の計算では、砂州および河床の砂は観測結果から平均粒径 0.3mm の一様砂とした。一方、模型実験の計算では、実験に用いた平均粒径 1.3mm、比重 1.47 を用いた。

(iv) 数値解析の結果：移動床実験と同一の条件下で数値解析を行った。ただし、水制は不透過としている。図-9 にその結果を示す。なお、図中のベクトルは水深平均流速を示す。

まず、水制のない場合は、砂州の開口部に流れが集中し、局所的な洗掘が大きくなっていることがわかる。また、砂州を迂回する流路となっているために、砂州の侵食は小さい。

次に0.3m(図-9(b))の水制列を設置した場合について、水制により、砂州の対岸では流れが砂州側へ向いていることがわかる。そのため、水制を設置しない場合に比べて、砂州前面部では河床位が低下し、開口幅が大きくなっている。

水制の長さを0.6mにした場合(図-9(c))には、水制長0.3mの場合(図-9(b))よりも砂州前面の侵食がより顕著であって、流失した砂が下流側において砂嘴状に堆積していることがわかる。また、開口幅が増大したことにより、開口部の侵食は抑制されている。

実験結果と比較すると、砂州および水制を迂回する流れは概ね再現できており、開口部における洗掘深が水制長の増大とともに減少することも実験と近い結果であった。しかしながら、実験(図-8(c))では、砂州を越流した流れによって砂州中央部が大きく侵食されて流路が形成されているのに対して、数値解析(図-9(c))では砂州上を流れる流速は小さく、砂州前面部以外での目立った侵食は見られない。これについては、水制の透過条件の相違によるものと考えられる。

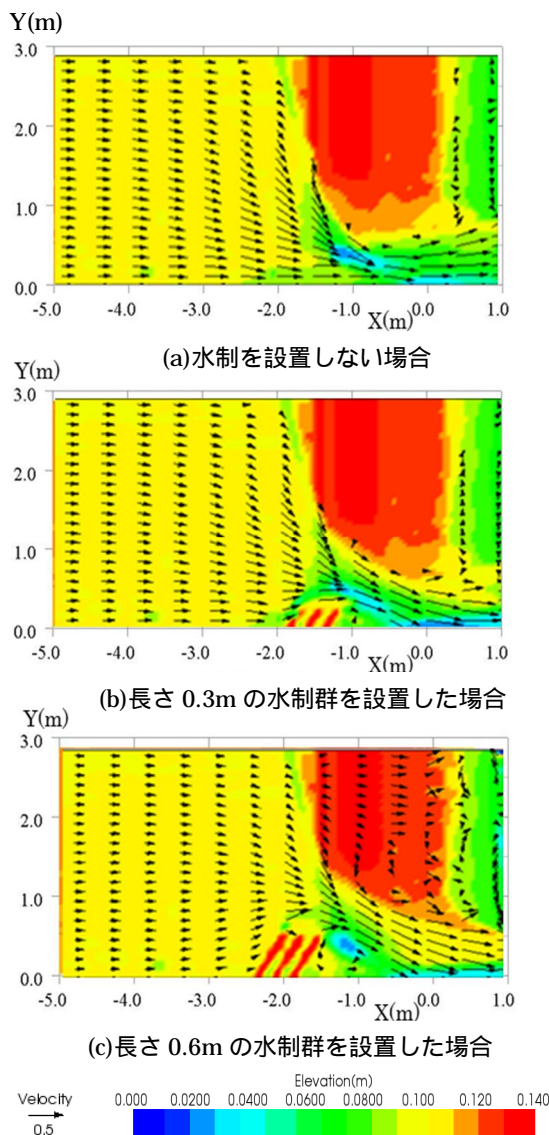


図-9 数値解析結果

(3)まとめ

本研究は、近隣の播磨地域で産出される間伐材を用いた木杭列水制による河川砂州の制御法を都市域の小河川に適用することを目的とし、その構造設計指針及び維持管理手法の開発を目指すものである。研究成果の概要は以下の通りである。

(i)木杭の腐食耐久性について、材質や表面処理法の異なる数種の木杭材料を流水中に設置した実験を行い、腐食の程度や進行速度と木杭強度の関係を明らかにした。

(ii)木杭列水制の水理機能と河床変動特性に関する模型実験及び数値解析を行い、河口域における透過型木杭列水制の減勢効果と砂州制御効果について考察した。

(iii)明石川・喜瀬川水系の河口部における水質及び水生生物の生態に関する現地調査を行い、水制を構成する間伐材や石礫が魚類などの水生生物の生息環境に与える要因を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

中村文則・井野裕輝・神田佳一・下村匠, 消波ブロックが設置された海岸における飛来塩分の現地観測とその影響評価, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.75, No.2, 2019, CD-ROM

Yoshihiro Okamoto, Junta Nishio, Keiichi Kanda, Fuminori Nakamura, Study on Bed Variation Management by using Groins at a River Confluence Combined with the Meander, Proceedings of International Seminar of Environmental Sustainability, Disaster Prevention and Reduction, Gifu, Japan, Refereed, Vol.3, 2019, 36-48

Kohji Michioku, Yuki Osawa and Keiichi Kanda, Performance of a groin in controlling flow, sediment and morphology around a tributary confluence, Proceedings of the 9th International Conference on Fluvial Hydraulics, Lyon, France, Refereed, Vol.9, 2018, CD-ROM

木村直裕, 渡部守義, 神田佳一, 護岸材料に用いるための間伐木杭腐朽特性に関する研究, 明石工業高等専門学校研究紀要, 査読有, 第61号, 2018, 9-14

中村文則・大原涼平・井野裕輝・下村匠, 地形・波浪条件による飛来塩分の発生・輸送過程への影響評価とその数値実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, 2018, 1345-1350

K. Michioku, K. Kanda, S. Kometani, Y. Irie and C. Sakamoto, Experimental verification of two-layer model for analyzing hydrodynamics of submerged vegetation, Proceedings of International Symposium of Shallow Flows, Eindhoven University Technology, Netherlands., 2017, CD-ROM

H. Kubo, S. Takata, Y. Okamoto, K. Kanda and K. Michioku, Study on Bed Variation at a River Confluence Associated with the Barrage Water, Proceedings of the of The 10th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Padova, Italy, Refereed, 2017, CD-ROM

高田翔也, 神田佳一, 道奥康治, 久保裕基, 岡本吉弘, 上流の河道形状と堰湛水の影響を受ける合流部の河床変動とその制御に関する研究, 水工学論文集, 査読有, 第 61 巻, 2017, CD-ROM

H. Kubo, S. Takata, K. Kanda, Y. Okamoto and K. Michioku, Study on Bed Variation and Its Control at a River Confluence Associated with the Upstream River Topography and Release of the Barrage, Proceedings of the of International Symposium of River Basin Studies, Gifu, Japan, Refereed, 2017, CD-ROM

高田翔也, 神田佳一, 道奥康治, 久保裕基, 岡本吉弘, 上流の河道形状と堰湛水の影響を受ける合流部の河床変動とその制御に関する研究, 土木学会論文集 B1, 査読有, 第 73 巻, 2017, 865-870

高見徹, 神田佳一, 渡部守義, 竹炭を利用した都市河川の水質改善に関する実験的検討, 土木学会論文集 G (環境), 査読有, 第 73 巻, 2016, 35-42

H. Miwa, K. Kanda, T. Ochi, H. Kawaguchi, Dynamic state of river-mouth bar in the Yuragawa River and its control under flood flow conditions, Proceedings of International Symposium on River Sedimentation 2016, Stuttgart, Germany, Gifu, Japan, Refereed, 2016, CD-ROM

K. Michioku, K. Kanda, S. Kometani, Y. Irie, Field measurement and numerical analysis on tree breakage modes during floods in a middle-stream reach, Proceedings of the 8th International Conference on Fluvial Hydraulics, St. Louis, USA, 2016, CD-ROM

〔学会発表〕(計 10 件)

西尾潤太・久保裕基・岡本吉弘・神田佳一, 河川合流部における水制形状による河床変動制御に関する影響の研究, 平成 30 年度土木学会関西支部次学術講演会, 2018

岡本吉弘, 西尾潤太, 神田佳一, 道奥康治, 水制形状による河川合流部での流れ及び河床変動特性の変化に関する研究, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018

Yoshihiro Okamoto, Junta Nishio, Keiichi Kanda and Fuminori Nakamura, Study on Bed Variation Management by groin at a River Confluence Associated with the Barrage Water, International Conference of Science of Technology Innovation, 2018

西尾潤太, 岡本吉弘, 神田佳一, 不透過水制による河川合流部の流れ及び河床変動制御に関する研究, 日本高専学会第 24 回年会講演会, 2018

佐々木拓登, 堀彩夏, 神田佳一, 消波ブロックを用いた護床工の中詰め材の流失特性に関する実験的研究, 日本高専学会第 24 回年会講演会, 2018

垣尾勇樹, 光長俊一郎, 神田佳一, 波向きの異なる波浪による河口砂洲の発達特性に関する研究, 日本高専学会第 23 回年会講演会, 2017

岡本吉弘, 高田翔也, 久保裕基, 神田佳一, 水制による加古川・美嚙川合流部の砂州形状の制御に関する研究, 平成 29 年度土木学会関西支部次学術講演会, 2017

越智尊晴, 神田佳一, 三輪浩, 川口はな, 河岸水制による砂州制御に関する移動床模型実験, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2016

越智尊晴, 川口はな, 三輪浩, 神田佳一, 河岸水制による河口砂州の制御効果に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016

Hiroshi Miwa, Keiichi Kanda, Takaharu Ochi, Hana Kawaguchi, Field measurement and numerical analysis on tree breakage modes during floods in a middle-stream reach, The 8th International Conference on Fluvial Hydraulics, 2016

〔図書〕(計 1 件)

神田佳一, 中村文則, 他 9 名, 水理学, 実教出版, 2016

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.akashi.ac.jp/contents/Civil/staff/kanda/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神田佳一 (KANDA, Keiichi)

明石工業高等専門学校・都市システム工学科・教授

研究者番号: 60214722

(2) 研究分担者

渡部守義 (WATANABE, Moriyoshi)

明石工業高等専門学校・都市システム工学科・教授

研究者番号: 00390477

(3) 研究分担者

中村文則 (NAKAMURA, Fuminori)

長岡技術科学大学・工学研究科・助教

研究者番号: 70707786