

令和元年6月3日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06508

研究課題名(和文) ワンドおよび止水域の水理学的維持管理法に関する研究

研究課題名(英文) Hydraulic method for control and maintenance of embayment and dead water zone in rivers

研究代表者

富永 晃宏 (Tominaga, Akihiro)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60135530

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)：河川の側岸に存在するワンドや止水域を安定に維持管理する水理学的な手法について様々な観点から検討した。第一の観点は、出水時にワンドの土砂堆積の抑制を目的とし、導流工により堆積土砂を排出する手法であり、土砂堆積抑制に有効な導流工の設置法を流れ構造と土砂堆積の関係から明らかにした。第二の観点は、河岸における低速域の確保と土砂堆積の促進を目的とした流水制御法であり、植生も想定した杭群の設置方法及び水制先端形状が下流の流れ構造と土砂堆積促進に与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、河道側岸に存在する凹部であるワンドや止水域において、水理構造物を用いて流れと土砂の移動を制御する手法について幅広い条件の下で検討し、その効果を明らかにした点にある。これらの知見を元に、河岸凹部に求める目的に応じて必要とされる機能を安定して得られるようにする手法を選択できるようになる。

研究成果の社会的意義としては、現実的な境界条件のもとで流れ構造と土砂堆積の関係が明らかにされることで、現地の状態に応じた制御工法の提案が可能となり、希少魚類の生息環境改善やワンド域の継続的利用や水生生物の生息域改善を目的とした干潟の生成に寄与することができる。

研究成果の概要(英文)：Hydraulic methods were investigated from various point of view for controlling and maintaining stably the embayment and dead water zone existing in rivers. The first point is to reduce the sediment deposition by using training structure during flood event. The effective setting way of the training structure was made clear on the basis of the relation between flow structure and sediment transport. The second point is to keep low-speed zone and to promote the sediment deposition along riverside. The effects of pile group arrangement simulating vegetation and the shape of groin tip on downstream flow structure and sediment deposition were made clear.

研究分野：土木工学・水工水理学

キーワード：河岸凹部 ワンド 止水域 流れ構造 土砂堆積 植生 水制 導流工

1. 研究開始当初の背景

ワンド・止水域環境は希少な魚類の生息環境と関係が深く、低水時においては空隙が多い河岸・河床環境を必要とし、出水時においても低速域が確保されることが生息条件として重要であることが多い。このような生息環境が減少してきたことにより、生息数の減少、ひいては絶滅が危惧されている。この場合は、出水時に低速域を確保できることを要求される。

中流域においてはワンドの存在が重要な場合が多い。中流域ワンドでは、出水時におけるワンド周辺のせん断応力の大きさがある程度以下であることが要求される。また人間活動のための河岸の入り江においては、出水より土砂で埋没してしまうことが懸念される。この場合、低速域を確保しながら土砂で埋没しないための方策が要求される。また、流下能力の確保のための樹木群伐採がワンドに与える影響が懸念される。

逆に、自然再生を目的として、河岸に砂州や干潟を形成するために、水制群によって低速域を創成し土砂堆積を促すことを期待される場合もある。

このように、ワンドや止水域は目的が異なり、それに応じた維持管理方法を適用する必要がある。本研究では、実河川におけるこれらのワンド・止水域の実例が存在することと、これまで申請者が行ってきた水制とワンドにおける多くの実験で得られた水理学的知見とから、ワンド・止水域を維持管理するために、水理学的に何が重要かを明らかにし、周辺環境の整備方法や制御工法を提案するのに有益な情報を提供することができる。

2. 研究の目的

(1) 河岸凹部の土砂堆積を抑制する工法

出水による河岸凹部の土砂堆積を抑制、あるいは堆積土砂を排出する方法について検討した。これまでワンド内の流れ構造を制御する形状の影響やワンド上流に設置する水制の影響について検討してきたが、ワンド内の土砂堆積については十分検討していなかった。そこで、ワンド内の土砂堆積を抑制するために、水制のような制御構造物を設置する場合の最適な方法について明らかにすることを目的とした。

(2) ワンド・たまりの土砂堆積機構に及ぼす周辺植生の影響

ワンド・たまりを維持するための樹木管理方法を検討するために、ワンドを形成する高水敷または中水敷が冠水する場合を対象とし、ワンド周辺の粗度や樹木群の存在がワンド内の流れと土砂堆積に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ワンド・たまり周辺の植生の存在の環境的意義を考慮しながら、洪水時の疎通能を確保しつつ、ワンド・たまりが土砂で埋没しない条件を検討した。

(3) 出水時に低速域が維持され土砂堆積を促す水制形状

当初は上流域での魚類生息環境の改善目的で出水時の低速域の維持機構を考えていたが、急勾配水路における実験が困難になったため方針を変更した。ここでは透過水制による河岸低速域の維持と、低速域の形成による土砂堆積の促進について検討した。河岸に低速域を形成でき、また土砂堆積を促すことのできる水制の設置方法を、透過型水制と越流型水制について明らかにすることを目的とした。

(4) 側岸の平面渦発生と深掘れ形成機構

当初はワンド境界に対する主流の角度および水面勾配ワンドの流れ構造と土砂堆積に及ぼす影響を明らかにしようとしたが、実験水路の制約から実験が困難となったことと、現地河川で大規模な深掘れが発生するという事態があったため、方針を転換して側岸の低速域と主流域の高速化に寄与する側岸平面渦の発生について検討した。側岸における低速域の発生という現象は本研究の総合的な目的とも合致している。

3. 研究の方法

研究は、現地観測、室内実験、数値シミュレーションを駆使して行った。ワンド域や制御構造物背後の止水域が重要となる現地の事例が存在することから、その中で特徴的な要素を抽出して境界条件を設定して室内実験を行い、境界条件の流れと土砂堆積に及ぼす影響を調べた。目的別に4つのケースを設定した。

(1) 現地観測では福井県の足羽川の人工ワンドの土砂堆積抑制工として木工沈床を設置した箇所において、流況と河床地形を計測した。室内実験では、ワンド上流側に導流工を設置した実験を行った。流れ構造についてはPIV実験を行い、土砂堆積については浮遊砂及び掃流砂を対象とした実験を行った。

(2) 実験水路に高水敷とワンドを設け、高水敷を越流して浮遊砂及び高水時に流砂が発生する条件で、高水敷上に植生モデルを設置した実験を行い、上流の高水敷植生の配置や分布状況がワンドに堆積する土砂量に与える影響を検討した。また同条件においてPIVによる流速計測を行った。

(3) 出水時に低速域を確保する方策として杭水制を考え、杭群背後の流れ及び土砂堆積について検討した。杭群の密度を変化させるとともに、平行配置した場合と千鳥状に配置した場合について検討した。また、木曽川における干潟再生を目的として、実験水路に水制模型を設置し、固定床で浮遊砂が卓越する粒径の砂を循環させ、水制間の砂堆積量を調べた。

(4) 河岸に発生する大規模平面渦の発生メカニズムと維持機構を解明するために、河岸凸部と鉛直断面における凹部である段落ちがある流れ場や段落ちの入口傾斜角度を変化させた流れ場において実験を行った。

4. 研究成果

4つの研究目的別に得られた主な成果を列挙する。

(1) 直線水路の側岸に設けられた凹部内に、流れを誘導する導流工の設置によって土砂堆積を抑制あるいは排除する方策について、導流工の長さ、設置角度、設置間隔を変化させて、誘導された凹部内の流れ構造と土砂堆積量の変化を調べた。流れ構造については、PIV計測と数値計算の結果の比較から、導流工により凹部へ導流される流れを数値予測することが可能であることが示された(図-1参照)。導流工によって凹部内へ導流された流れの掃流効果により、ほとんどの場合凹部内の堆積量が減少した(図-2, 図-3参照)。ただし、掃流砂が卓越する6号砂ではかえって増加する場合があることがわかった。流れ構造については、PIV計測の結果から、大まかに導流工によって誘導された流れが、凹部奥まで達するか達しないかの2パターンに分類され、凹部奥まで達する場合に堆積が大きく減少することが示された。凹部内の堆積量は、主に導流された流れの流入角度と流入速度に依存し、流入角度が大きくなるほど、また流入速度が大きくなるほど、堆積量は減少した。導流の流入速度と限界摩擦速度の比によって堆積量の予測がある程度可能となった。導流工を越流する流れの場合、非越流に比べて著しく堆積量が増大した(図-3下参照)。特に6号砂では導流工無しの場合からの増加が顕著であり、導流工設置には注意を要する。また、導流工が設置された現地の計測から、実験室と同様の渦構造が見られ、堆積土砂が排出されることが確認されたが、混合砂礫の場合に導流入口付近への礫の堆積が懸念された。

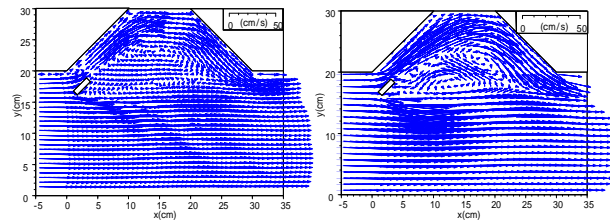


図-1 PIV計測と数値計算による流速ベクトル比較
(左: PIV計測, 右: 数値計算)

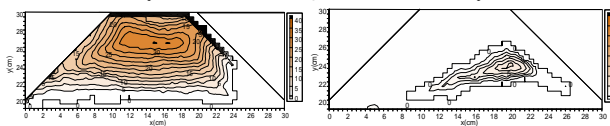


図-2 凹部内の土砂堆積形状(8号砂)
(左: Case NON, 右: Case L3A3-45)

(2) ワンドの上流部に植生の代替となる模型を配置し、高水敷を越流するような出水において、ワンド内の土砂堆積に及ぼす影響を実験的に検討した。また、ワンド内流れ構造をPIV法によって計測した。高水敷のワンドでは高水敷上の土砂輸送により、ワンド内には上流端に大きな堆積が発生するとともに、再付着流によりワンド中央付近に無堆積領域が発生する。ワンド上流の高水敷に植生模型を設置することにより、高水敷からの流砂量を抑制することから堆積高は減少した(図-4参照)。また、植生

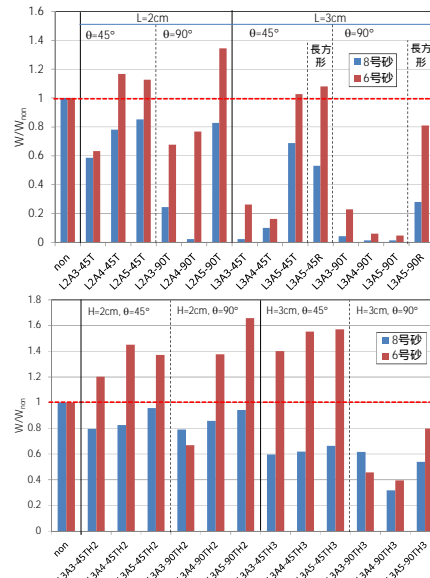


図-3 凹部内堆積量の比較
(上: 非越流, 下: 越流)

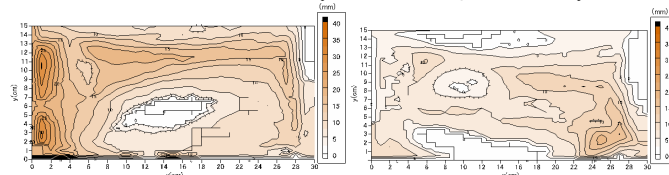


図-4 土砂堆積形状(左: 植生なし, 右: 植生あり)

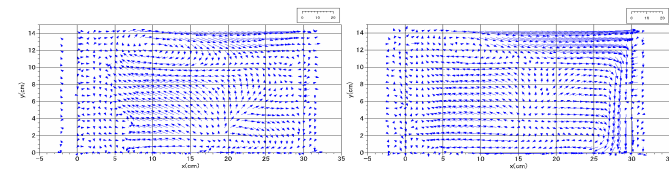


図-5 底面付近の流速ベクトル(左: 植生なし, 右: 植生あり)

の設置はワンド周辺の流れ構造を変化させて(図-5参照),その影響によりワンド内の無堆積領域が変化し全体の堆積形状も変化することが示された(図-4参照)。植生モデルの密度は土砂堆積に大きく影響していて,粗な植生の場合は主流域からの流入が増大してかえって堆積量が増大する場合もあり注意を要することが指摘された。たまりを想定した,ワンド開口部に遮蔽板を設置した場合,主流域からの掃流砂輸送が無くなり,高水敷上の掃流砂と浮遊砂のみの堆積となり,ワンド上流端にのみ堆積が発生した。この場合は植生の設置はワンド内の堆積を大きく減少させるが,植生の密度によって堆積量が変化した。

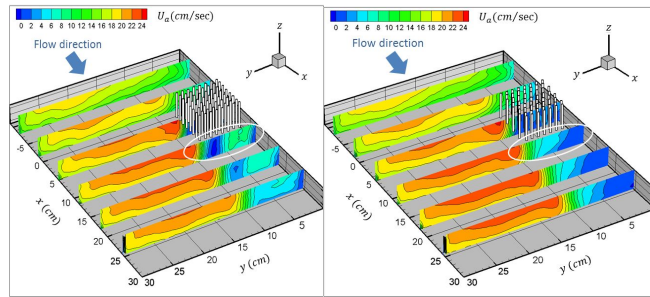


図-6 主流速横断面コンター(左:直列配列,右:千鳥配列)

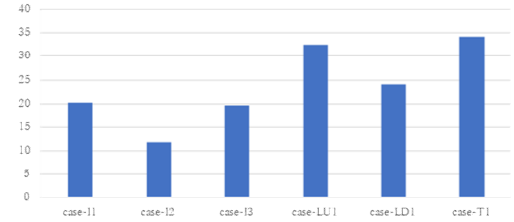


図-7 水制間に堆積土砂の平均高さ

(3) 植生に見立てた杭群背後の流れ

れ及び土砂堆積について検討した。杭群を平行配置した場合と千鳥状に配置した場合で,背後の流れに大きな違いが現れた。平行配置では杭群と主流境界付近で減速し,側岸付近に向かって流速が増大するのに対し,千鳥配置では側岸付近で流速が最小となり,主流域境界に向かって増大する(図-6参照)。千鳥状配置の場合,平行配列に比べて少ない杭本数で下流側の減速が得られ,背後に大きな土砂堆積量を得られることが示された。

次に,固定床で浮遊砂が卓越する粒径の砂を循環させ,水制間の砂堆積量を調べた。水制間隔については,水制長の3倍では凹部への主流の流れ込みが大きくなり,これが砂の排出をもたらす堆積量が減少した。水制先端形状については,上流向きにL型及びT型で堆積量が増大した(図-7参照)。これは上流に突き出した平行工が凹部への流入を促進し,砂の凹部内への輸送を増加させたものと考えられる。

(4) ワンドの形態とは異なるが,木曽川に見られる大規模深掘れ周辺で発生する大規模平面渦に関する研究を行った。側岸付近に周辺より深い部分があると安定な平面渦が発生して,深い水深が維持されるメカニズムは,ワンドの維持にとっても重要な要因となることから関連が深い。河床に設置した ADCP による流速観測から,小規模出水時にも鉛直渦の発生により,底層付近でも表層と同程度の流速が発生していることが明らかとなった。現地の深掘れ形状を再現した模型実験においても,鉛直渦の発生が確認された。これらの結果から,木曽川に見られるような大規模な深掘れの発達要因として,鉛直渦構造の発生が大きく寄与していることが示された。鉛直渦は深掘れ部の底層付近に比較的高速な流れを誘導するメカニズムを持っており,砂河床では浮遊砂輸送を活性化し,深掘れを維持しているものと推察される。

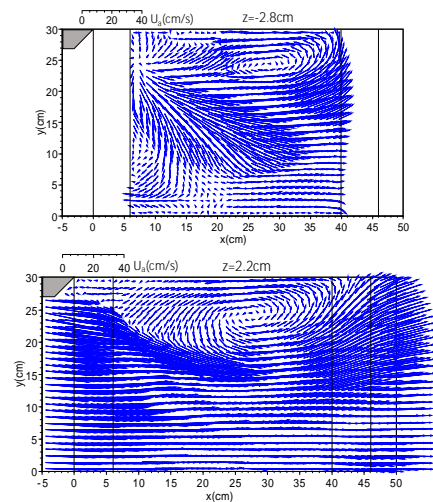


図-8 平面流速ベクトル(上:底面近傍,下:水面近傍)

大規模平面渦の発生原因として,鉛直断面における凹部である段落ちと側壁の存在が考えられ,段落ちの入口傾斜角度と大規模平面渦の発生について検討し,傾斜角度が1/5程度になると水路中央へ向かう偏流と側岸に沿う平面渦が形成されることを示した。さらに,河岸凸部下流で河床が低くなる条件では,凸部の水はねによる偏流が下流の深い水深に入ること著しく増幅され,強い大規模な平面渦を形成することが確認できた(図-8参照)。

以上,様々な角度から河川の側岸に存在するワンドや止水域において,水理構造物を用いて流れと土砂の移動を制御する手法について幅広い条件の下で検討し,これらの流れと河床変動に

与える影響を明らかにしてきた。ただし、研究を進めるうちに幅広い現象の存在と現場からの要求が表出したことと、実際の実験の困難さから研究内容を変更せざるを得ない部分があった。そのため、ワンドや止水域の水理学的維持管理法として総括的な議論にまで至らなかったが、多様な場における研究成果を提供したことから、これらの知見を元に、河岸凹部に求める目的に応じて必要とされる機能を安定して得られるようにする手法を選択できるようになると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Obaidullah Safie And Akihiro Tominaga, Effect of Pile Arrangement on Flow Characteristics Around Pile-group Dike, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A2 (Applied Mechanics), Vol. 74, No. 2, I_439-I_448, 2018 (査読有)。

Akihiro Tominaga, Naohiko Sassa, Yuji Hara and Yuka Kuno, Three dimensional flow structures around a deep scour hole, River Flow 2018, E3S Web of Conferences 40, 03015, 2018 (査読有)。

久野由雅, 佐々直彦, 富永晃宏, 河岸凸部と河床段落ちが存在する河道の3次元流れ構造と洗掘特性, 土木学会論文集 B1(水工学), vol.74, No.5, I_793-I_798, 2018(査読有)。

佐々直彦, 富永晃宏, 久野由雅, 深掘れ部を有する河道の3次元流れ構造, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 74, No. 2, I_475-I_484, 2018 (査読有)。

富永晃宏, 斉藤俊貴, 庄建治朗, 東芦谷謙, 河岸凹部の土砂堆積抑制に対する導流工の効果, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, I_655-I_660, 2018 (査読有)。

佐々直彦・富永晃宏, 木曾川における局所洗掘進行過程に関する考察, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, I_709-I_714, 2018 (査読有)。

富永晃宏, 佐々直彦, 原悠二, 久野由雅, 木曾川における大規模深掘れ周辺の3次元流れ構造, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_643-I_648, 2018(査読有)。

Takeshi Ito and Akihiro Tominaga, A study on generation of scour due to stream s around large-scale groins under tidal effect, Journal of JSCE, Vol.6, 24-31, 2018 (査読有)。

富永晃宏・佐藤理佳子, 停滞した流れ場において連続スリット壁により創出される流れ構造, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 73, No. 2, I_563-I_570, 2017 (査読有)。

富永晃宏・加藤智道・庄建治朗, 導流工を用いた河岸凹部の土砂堆積制御, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, I_691-I_696, 2017 (査読有)。

Yuji Hara, Akihiro Tominaga, Yuka Kuno & Naohiko Sassa, Generation mechanism of deep scour around a narrowed section in rivers, Proceedings of the 37th IAHR World Congress, vol.1.37, 719-725, 2017 (査読有)。

[学会発表](計 14 件)

山田義樹, 富永晃宏, 干潟の再生を目指した水制群間の土砂堆積に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2019年3月1日, 豊田市

香村拓希, 富永晃宏, ハイブリッド水制の機能に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2019年3月1日, 豊田市

中野優, 富永晃宏, 斜め段落ち部における平面渦の発生に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2019年3月1日, 豊田市

大柿貴利, 富永晃宏, 杭群の配置が背後の流れ構造に及ぼす影響に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 2018年8月29日, 札幌

本間友貴, 富永晃宏, ワンドの土砂堆積に及ぼす周辺植生の影響に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 2018年8月29日, 札幌

大柿貴利, 富永晃宏, 透過部を有する水制背後の流れ構造に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2018年3月2日, 名古屋

本間友貴, 富永晃宏, ワンドの土砂堆積に及ぼす周辺植生の影響に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会, 2018年3月2日, 名古屋

斉藤俊貴, 富永晃宏, 導流工による河岸凹部の流れ構造の変化と土砂堆積制御, 土木学会年

次学術講演会，2017年9月12日，福岡
久野由雅，冨永晃宏，原悠二，佐々直彦，河川狭窄部における局所的深掘れの形成過程に関する研究，土木学会年次学術講演会，2017年9月12日，福岡
Yuji Hara, Akihiro Tominaga, Yuka Kuno & Naohiko Sassa, Generation mechanism of deep scour around a narrowed section in rivers, Proceedings of the 37th IAHR World Congress, vol.37, 719-725, 2017, Den Haag, The Netherland
斉藤俊貴，冨永晃宏，導流工を用いたわんどの土砂堆積制御法について，土木学会中部支部研究発表会，2017年3月3日，金沢
Akihiro Tominaga and Sayed Hashmat Sadat, Combination of permeable and impermeable spur dikes to reduce local scour and to create diverse river bed, International Symposium on River Sedimentation, 450-456, 2016.9, Stuttgart, Germany
Akihiro Tominaga, Naoki Kojima, Tomomichi Kato, Effects of upstream spur dike on sand deposition in a riverside concavity, Proc. of 20th IAHR-APD Congress, 2016.9, Colombo, Srilanka
東芦谷謙，加藤智道，冨永晃宏，水制設置による台形ワンドの土砂堆積制御に関する研究，土木学会年次学術講演会，2016年9月7日，仙台