

連続した河岸防護工による 砂州性河岸侵食の抑制に関する水理実験

EXPERIMENTAL STUDY ON THE PROTECTION FACILITY OF
BANK EROSION CAUSED BY ALTERNATE BARS

加藤千恵¹・清水義彦²・石原篤也³・須賀初音⁴・尾池真以子⁴
Chie KATO, Yoshihiko SHIMIZU, Atsuya ISHIHARA, Hatsune SUGA and Maiko OIKE

¹正会員 修 (工) 群馬大学大学院理工学府理工学専攻博士後期課程 (〒376-8515 桐生天神町1-5-1)

²正会員 博 (工) 群馬大学大学院理工学府環境創生部門・教授 (〒376-8515 桐生天神町1-5-1)

³群馬県庁 (〒371-8570 前橋市大手町1-1-1)

⁴群馬大学大学院理工学府理工学専攻博士前期課程 (〒376-8515 桐生天神町1-5-1)

Riverbank erosion is one of major problems in river management to cause serious damage of such as levee failure, especially for rapid flowing alluvial streams. Therefore it is very important to understand the bank erosion process and develop measures to protect it. As well known, bank erosion occurs with developing alternate bars, so in this paper, the hydraulic experiments were carried out to clarify the mutual relation between bank erosion and deformation of alternate bars, and to evaluate the erosion protection facility. It was found that suppression of alternate bar migration occurs due to development of bank erosion and this also influences bank erosion strongly, so they are related closely and mutually. The present study can also be employed to evaluate the efficacy of erosion protection facility like dikes, which is working successively under the suitable length of longitudinal arrangement.

Key Words : Bank erosion, alternate bars, suppression of alternate bars migration, longitudinal dikes, river management

1. 既往研究のレビューと本研究の問題設定

砂州の形成, 蛇行流路の発達による河岸侵食は高水敷侵食から堤防決壊に至ることもあって, その機構解明と対策は治水上きわめて重要な課題である. とくに交互砂州の発達と水衝部での河岸侵食, それに伴う蛇行流路の発生は, 例えば先駆的な研究として, 池田¹⁾, 藤田ら²⁾による侵食性側岸の水路実験での現象論から検討され, 河岸侵食モデルと河岸侵食過程での流砂の非平衡性を取り込んだ長田ら³⁾による数値計算結果からは砂州の移動特性と蛇行発達との関係が考察され, また, 寺本ら⁴⁾は同様な数値計算手法から砂州の移動, 停止による川幅拡大過程を検討している. 最近では平成23年9月出水による十勝川水系音更川での河岸侵食被災を事例とした研究が盛んに行われている^{5)~9)}. この音更川の事例では急流河川 (平均河床勾配1/160) での低水路満杯程度の中規模出水において洪水の継続時間が既往出水に比べて長く,

その間に交互砂州の発達が生じて横断方向への流れの偏倚が活発となり, 出水前の緩やかな低水路蛇行がその振幅を増大した結果 (河岸侵食の発生) と桑村ら⁹⁾は推定している. また, 永多ら⁸⁾も初期形状を単列砂州とした河床・河岸変動計算によって縦横断的に蛇行が発達する過程が音更川の河岸被災過程と指摘している.

ところで, 河上ら¹⁰⁾は直線水路の一部の区間に侵食性河岸区間を設け, 交互砂州がこの区間を侵食する過程を水理実験から検討した. その目的は, 縦断方向に周期性のある蛇行流路を作らないことで河岸侵食に及ぼす交互砂州の流水直接作用 (砂州由来の流れの偏向が河岸侵食に与える影響) のみを抽出し, 考察することにあると述べている.

図-1は平成28年台風10号による十勝川水系美生川下流区間の高水敷侵食被災を示したもので, 河岸侵食による低水路法線形の蛇行形状 (河岸侵食の縦断方向連続性) はなく, 単湾曲的な河岸侵食となっている. こうした状況は, 低水護岸の一部未設置区間等にしばしば見られる



図-1 H28年台風10号による美生川下流区間での高水敷侵食被災（国土地理院撮影写真に加筆）

典型的な被災形式であり，その上流側区間での河岸侵食が生じていないことが砂州の様な発達と流下を生むものと推測できる．また，河岸侵食が生じると砂州の特性にも大きな変化を与えることが十分考えられ，本研究では，図-1に見る河岸侵食の発生を，砂州と河岸侵食の相互の影響と捉え，水理実験からその解明を検討した．とくに，図-1の特徴として，弓状の高水敷侵食形状①と，侵食区間では砂州の堆積②，その対岸側に直線的な流路の形成③にも注目する．その現象を水理実験で扱うためには，前述した河上ら⁹⁾と類似な水路実験を行って，護岸（非侵食性境界）区間で発達した単列砂州が侵食性河岸区間に流下した際に，どの程度の横侵食が生じるかと言った実務的な側面に焦点を当てた．

一方，河岸防護対策としては，低水護岸と根固工の一連で防護することが多く，その場合，砂州形状に規定された蛇行流れによる水衝部では河床洗掘（縦侵食）が生じ，新たな根継ぎの必要性や護岸沿いに流路固定が起こるなどの問題が生じている¹¹⁾．また，護岸付近の縦侵食と対岸砂州との比高増大が顕著化することで砂州の固定化（樹林化）をもたらす要因の1つになっている．一方，自然河岸での河岸侵食によって低水路への土砂供給がなされるため，横断面内比高の拡大は生じにくい．このため，極端な横侵食の進行を抑えつつ，適度な横侵食の誘発から崩落土砂による埋め戻しによって河岸を守ることが望ましい河道管理の1つと考えられる．こうした機能を有する縦工¹²⁾や河岸の乱積み石礫工が現場で設置されているものの，その防護機能は，砂州、とくに単列交互砂州をもたらす河岸侵食過程や侵食に伴う砂州の変形過程とともに論じる必要があるものの，既往研究ではほとんど検討されていない．そこで本研究では，河岸侵食と

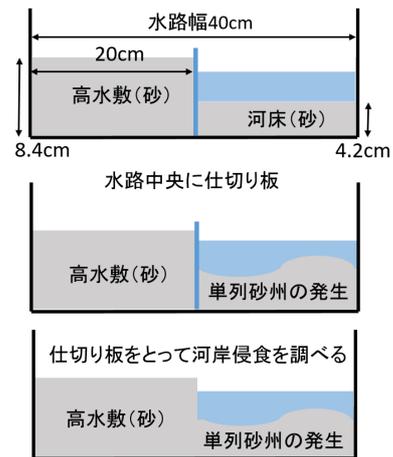


図-2 水路実験の手順

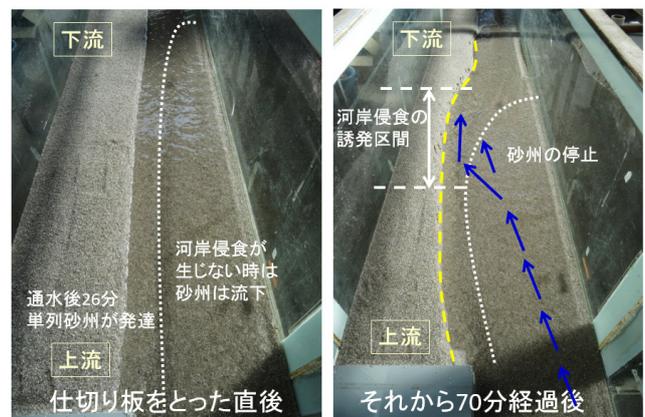


図-3 河岸侵食と砂州の形状

砂州の変形という移動床過程に着目して，連続した河岸防護工の効果も水理実験から検討した．

2. 単列砂州による河岸侵食の誘発と砂州の変形

(1) 水理実験の概要

縦断長12m，水路勾配1/100，水路幅40cmの直線水路において，上流端から6m下流までを流路幅20cm（非河岸侵食区間），6m～8mの区間を幅40cm（流路幅20cm＋高水敷20cmからなる河岸侵食区間），8mから水路下流端までの流路幅20cm（非河岸侵食区間）として，流路および高水敷に4号珪砂（60%粒径=0.657mm）を敷き詰めて平坦床を作成した．実験では単列砂州を発生させる水理条件において，図-2に示すように，はじめに，水路全体を流路幅20cmとして（6m～8mの高水敷区間では水路中央に仕切り板を入れておく），単列砂州を発生させる（図-2中段）．次に，6m～8mの高水敷区間と同様の仕切り板をとって，発生する河岸侵食と砂州の形状特性を観察した（図-2下段）．実験終了後に水を抜きレーザー変位計で河床形状を測定した．流量は約0.6ℓ/s、水深は1cm程度の条件とした．

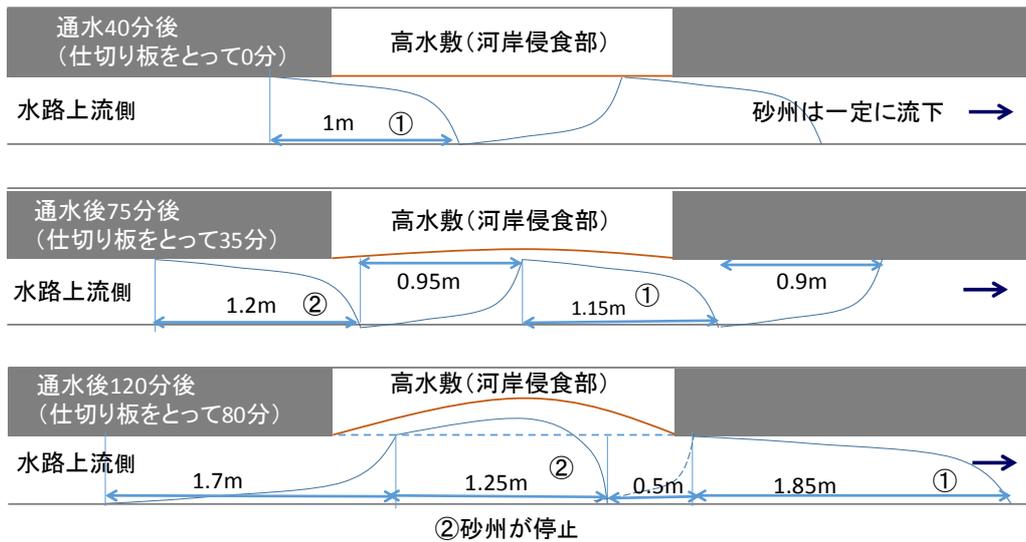


図-4 砂州波長の時間変化

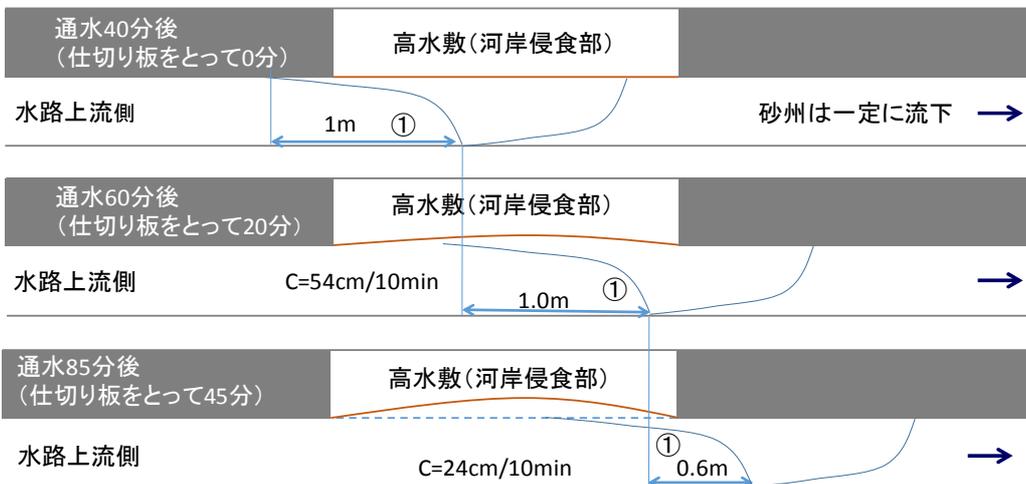


図-5 砂州の流下速度の時間変化

(2) 実験結果とその考察

図-3は河岸侵食区間（高水敷区間）を下流に向かって撮った写真であり、砂州は河岸侵食が進まない時点では下流に流下する。しかし、砂州前縁線（図-3の点線）を越えて河岸（左岸）に向かう流れを生む砂州（河岸攻撃砂州）が流下し、砂州固有の蛇行流（図-3の右岸から左岸に向かう矢印）によって、砂州先端付近から下流にかけて河岸侵食が生じる区間（以後、河岸侵食誘発区間とよぶ）が生じる。この侵食区間長は約50cmで、単列砂州の半波長の約1/2となる。図-4に砂州の半波長、図-5に砂州の流下速度の時間変化の状況をまとめた。図-4より仕切り板をとって高水敷の侵食を許した時点から35分経過では、砂州①、②は約1m程度の半波長を維持して流下していく。河岸侵食域は砂州の流下によって、流下方向と流路横方向に拡大していく。そのため、高水敷は弓状の侵食形状が生じる。河岸侵食が進むと、砂州の流下速度は低下する（図-5）。これは侵食による流路幅の

増大ともなっており、とくに砂州河床の高い所での掃流力が低下することによって考えられる。やがて、80分後には砂州②が停止し、侵食が大きく高水敷まで入り込んだ形状となる（図-4の下段）。この時点で、河岸侵食誘発区間が固定化され、横方向の侵食のみが進んでいく。こうした一連の過程は侵食河岸の曲頂部位置に着目した河上らの研究⁹⁾に対応しており、単列砂州による河岸侵食が砂州形状、移動特性に与える影響を通して、河岸侵食の特性を変化させていることが抽出された。図-4より、砂州②が停止するとその下流の砂州波長が長くなるようで、これは砂州②の固定化によりその下流の流砂量が低下するものと考えられる。また、砂州①と砂州②の間にある砂州は単列砂州が短縮したように見える。この砂州は、高水敷河岸侵食によって供給された砂が堆積し、砂州の比高を高めた結果停止し、砂州②の流下に伴って短縮したものと推測される。

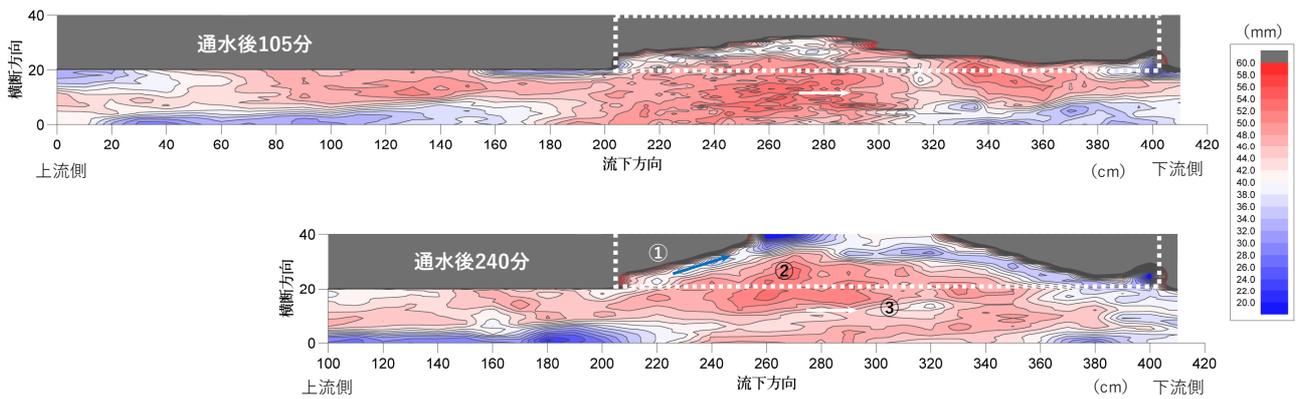


図-6 通水後105分, 240分の河床高コンター図

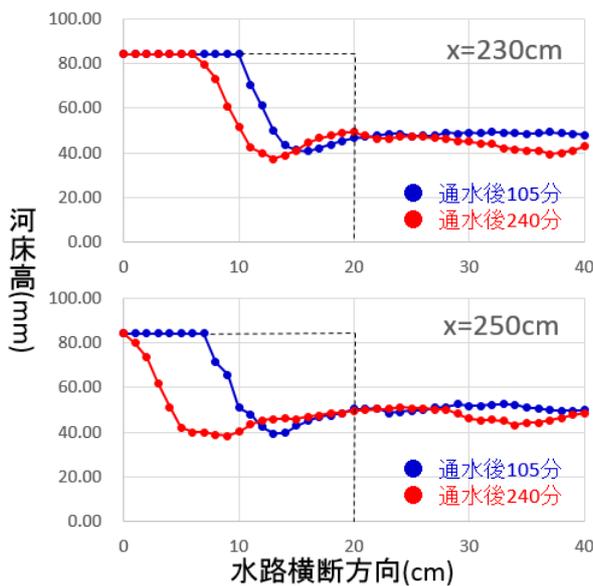


図-7 高水敷侵食区間の代表的な横断形状

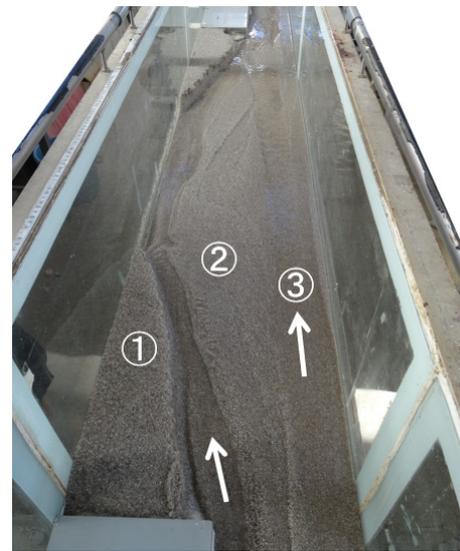


図-8 通水後240分の侵食と砂州の形状 (図-1との類似性)

図-6に砂州②がほぼ停止する通水後105分と、さらに時間経過した240分後の河岸侵食の進行と砂州形状を示す河床高コンターを示す。また、図-7には代表的な横断面形状の変化を示す。図-7より河岸侵食面角度は変化せず平行に移動しており、この時点では砂州は固定化し、横侵食が一樣に進むことによる。また、河岸侵食による堆積砂が中州状の微高地を作り、流路が分岐して対岸側には水みちの形成が見られる。図-6、図-8の240分後の侵食・砂州形状は弓状の高水敷侵食形状 (①)、侵食区間では砂州の堆積 (②)、その対岸側に直線的な流路の形成 (③) と、図-1の美生川の河岸侵食事例と酷似しており、本研究で得た「単列砂州と河岸侵食との相互の影響」が実河川でも生じたものと結論できる。

3. 河岸防護工による砂州性河岸侵食の抑制効果

(1) 水理実験の概要

前述の直線水路において、6m-8mを幅40cm (流路幅20cm+高水敷20cm) の河岸侵食区間 (以下、高水敷区間とよぶ) に防護工の模型を一定の間隔で設置した。防護工の模型は、縦7.5cm×横7.5cm×高さ6.0cmのブロックの2段積みとし、防護工の流下方向の設置間隔は表-1に示のように、防護工幅の2倍、5倍、11倍とした。単列砂州を発生させる水理条件において (前節での水理条件とほぼ同様)、図-9に示すように、はじめに、水路幅20cmのもとに6m-8mの高水敷区間では水路中央に仕切り板を入れておく)、単列砂州を発生させ、その後、仕切り板をとって、発生する高水敷区間での河岸侵食に対する防護工の効果を観察した。

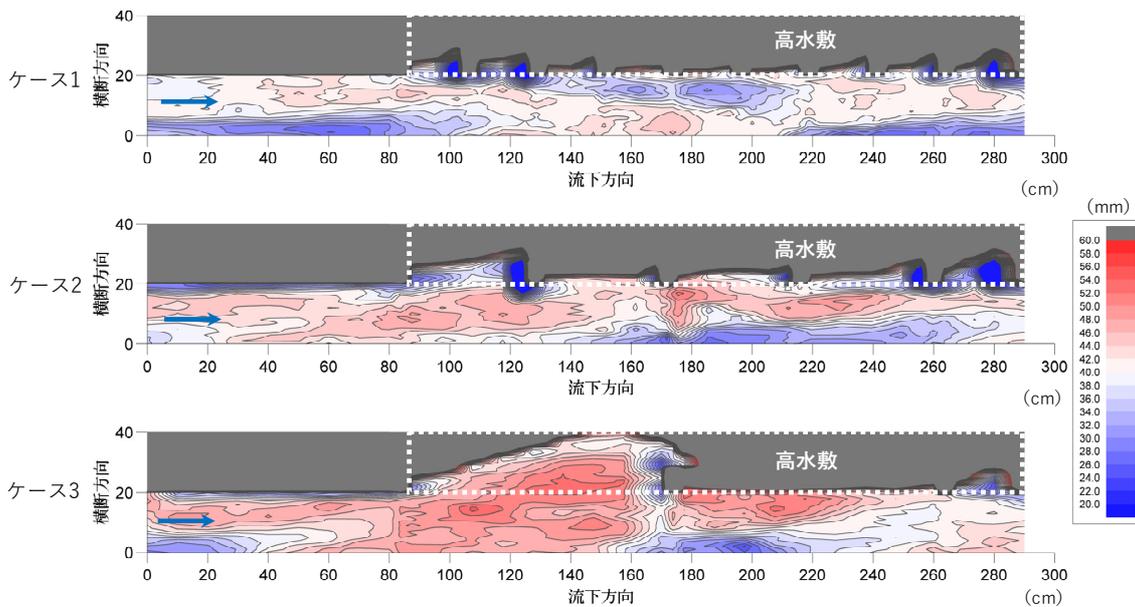


図-11 各ケースの通水終了後の河床高コンター

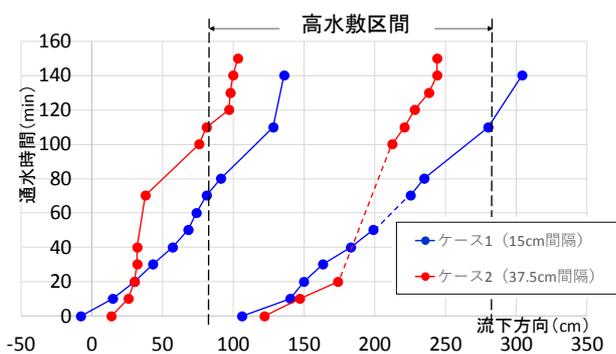


図-12 ケース1, 2の砂州先端部位置の時間変化

言える。すなわち、前節の結果より、本実験条件では侵食区間長は約50cm（単列砂州の半波長の約1/2）であるため、ケース1,2 ではその効果が認められた。

4. まとめ

単列砂州の蛇行流れは河岸侵食を誘発するが、その結果生じる河岸侵食も単列砂州の特性に大きな影響を与えていることが理解された。河岸侵食防護工の検討においても、この単列砂州と河岸侵食との相互作用を明らかにすることが重要である。こうした観点から水理実験を行い、河岸侵食防護工が機能するためには、単列砂州の固定化が生じないこと、河岸攻撃砂州の河岸侵食誘発区間長よりも防護工間隔が短いことが必要である。今後は数値解析を行い、より定量的な評価について検討したい。

参考文献

- 1) 池田宏：実験水路における砂礫堆とその形成条件，地理学評論，46-7, 435-451, 1973
- 2) 藤田裕一郎：蛇行流路の形成過程に関する実験的研究，京都大学防災研究所年報，第18号B, 551-564, 1975.
- 3) 長田信寿・細田尚・村本嘉雄・Md. M. Rahman：交互砂州の発達に伴う河岸侵食の進行過程，京都大学防災研究所年報，第40号B-2, 333-342, 1997.
- 4) 寺本敦子・辻本哲郎：砂州を伴う河道の低水路河岸侵食に関する数値解析による研究，水工学論文集，第47巻，649-654, 2003.
- 5) 柿沼孝治・渡邊康玄・泉典洋・永多朋紀・桑村貴志：急流河川における蛇行発達メカニズムと堤防防御対策について，河川技術論文集，第18巻，251-256, 2012.
- 6) 渡邊康玄・福岡将太：河岸侵食に及ぼす河床形状の影響，河川技術論文集，第18巻，269-274, 2012.
- 7) 旭一岳・泉典洋・渡邊康玄・永多朋紀・桑村貴志・川村治：音更川における濬筋部の蛇行形状の発達と河岸侵食評価，河川技術論文集，第19巻，205-210, 2013.
- 8) 永多朋紀・渡邊康玄・安田浩保・伊藤丹：砂州地形に誘発された蛇行発達，土木学会論文集B1（水工学），Vol.69, No.4, I_1099-I_1104, 2013.
- 9) 桑村貴志・渡邊康玄：出水時の河岸侵食を伴う流路変動の発達要因，河川技術論文集，第22巻，163-168, 2016.
- 10) 河上将尊・渡邊康玄：河岸侵食に及ぼす交互砂州の影響に関する水理実験，土木学会論文集A2（応用力学），Vol.72, I_593-I_600, 2016.
- 11) 長田健吾・安部友則・福岡捷二：急流礫床河川における低水路護岸沿いの深掘れ流路形成とその特性，河川技術論文集，第13巻，321-326, 2007
- 12) 鎌田照章・土屋進・中平善平・高島和夫：黒部川縦工計画と中小洪水に対する縦工の河岸侵食防止効果，水工学論文集，第45巻，787-792, 2001.

(2017. 4. 3受付)