

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 30 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560515

研究課題名（和文） 急流河川水衝部護岸のための水制の効果に関する研究

研究課題名（英文） Study on effects of groyne for bed protection in steep slope river

研究代表者

門田 章宏 (KADOTA AKIHIRO)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：80294784

研究成果の概要（和文）：従来造られてきた種々の水制の特性を活かして、流水および護岸や水制周辺の河床変動を制御し、洪水時の堤防の被災安全度を向上させことを目的として、愛媛県松山市を流れる急流河川である重信川を調査対象に、現地調査によって水衝部の護岸と水制の施工の実体を把握した。水制周辺の流速および河床変動状態を計測するために、これらの水制が、どのような水衝部護岸の役割を果たしているかを実験・解析により明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

To investigate the effects of groynes on the Shigenobu River in northwestern Ehime Prefecture, a field investigation was conducted to measure the sizes of groynes and the sizes of stones on the surface of the groynes as well as the bed morphology around the groynes. Numerical analyses of the three-dimensional flow and bed variation around the groynes were conducted. It was found that the bed variation around successive groynes was affected by the particular arrangement of groynes. The study proposes a simple arrangement of river structure for stable bed morphology

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	1,200,000	360,000	1,560,000
23年度	1,300,000	390,000	1,690,000
24年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水制，流れの可視化，河床変動解析実験

### 1. 研究開始当初の背景

愛媛県松山市を流れる一級河川重信川は急流河川であって、洪水時の水勢は激しく水衝部護岸の維持管理に苦勞をしている。重信川では古くから洪水時の局所洗掘深を測定するため、鉄リングを通したレール柱を水衝部に設置した実験を行っている。また、これ

らの結果に基づいて護岸の根元に松の木を用いた大規模な木工沈床を設置するなどの工夫がなされている。しかし、重信川のような急流河川では、一般に河床は石礫でできておりその大量の土砂移動によって低水河道が固定せず、水衝部も移動するため護岸の維持が困難となっている。そこで、現在の水衝

部護岸を点的あるいは線的に部分的に手当てしていくのではなく、河道を面的に制御することが重要となっている。そのため、本研究では、従来造られ、研究されてきた種々の水制の特性を活かして、水制を面的に配置することによって流水および護岸や水制周辺の河床変動を制御し、洪水時の堤防の被災安全度を向上させようとするものである。

## 2. 研究の目的

愛媛県松山市を流れる急流河川である重信川を調査対象に、まず現地調査によって水衝部の護岸と水制の施工の実体を把握する。また、水制周辺の乱流構造および河床変動状態を計測することによって、水制が実河道において常水路の固定化にどのような役割を果たしているかを明らかにする。最近の流れの可視化手法技術、3次元流れおよび局所洗掘も取り入れた河床変動の数値計算技術を駆使し、各種水制周辺の流速および河床変動の実験・数値解析を行い、水制の水刎ね効果および土砂制御機能を理論的に検討する。一方、連続透過型水制など急流河川で代表的な水制の規模や配置を変化させた室内実験により、水制群の護岸効果および土砂制御効果を明らかにする。以上のような、現地調査、数値解析および実験結果を総合して、急流河川の水衝部の護岸に効果的な水制の配置法および材質を提案する。

## 3. 研究の方法

本研究計画では、まず始めに急流河川における水制の資料収集および実態調査を行う。ここでは、四国北部にある代表的な急流河川である重信川を対象に、現存する水制の調査を行う。次に、この重信川急流部の地形や水制の形状・配置・材質を基本として実験条件を設定し、流れの可視化実験や河床変動実験・解析を行う。可視化実験では、水制周辺の現象が広域に亘って変化することから、この状況に適応できる流れの可視化計測手法を改良し適用する。一方、河床変動実験では、三次元形状の計測が可能なレーザ変位計を用いて、水制背後に発生する河床波形状の時間変化を的確に捉える技術を採用する。これらの実験・解析を通じて、常水路の固定化にどのような流れを制御すべきかについて、流れと河床変動状態との関係を考える。これらの研究成果に基づいて水衝部護岸のための水制群の効果的な配置・材質についての検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 水制の実態に関する資料収集

松山河川国道事務所から頂いた2004年に作成された水制に関する資料を整理するこ

とで水制の詳細を把握し、これをもとに現地調査を行った。対象区間である河口から17kmまでに配置された水制を水制番号、設置岸(右岸, 左岸), 配置位置(緯度, 経度), 形状(I型, L型), 材質(盛土, 石張, コンクリート張, ブロック張), サイズ(高さ, 幅, 長さ)の項目に分け整理した。資料によると, 2004年の段階で区間内の水制は全部で43基あることが分かった。松山河川国道事務所から頂いた2004年に作成された水制に関する資料を整理することで水制の詳細を把握し, これをもとに現地調査を行った。対象区間である河口から17kmまでに配置された水制を水制番号, 設置岸(右岸, 左岸), 配置位置(緯度, 経度), 形状(I型, L型), 材質(盛土, 石張, コンクリート張, ブロック張), サイズ(高さ, 幅, 長さ)の項目に分け整理した。資料によると, 2004年の段階で区間内の水制は全部で43基あることが分かった。

### (2) 現地調査

現地調査では、まず資料に掲載された水制が現存しているか否かの確認を行った。同時にGPS測定器(GPSMAP 62SJ)を用いて水制の付け根中央の位置で緯度、経度の測定し、水制全体図の撮影を行った。調査の際、資料に掲載されていない水制を確認した場合は、同様に緯度、経度の測定、全体図の撮影、写真4-2に示したレーザ距離計(LYTE SPEED ELITE1600)を用いて形状(高さ, 幅, 長さ)の測定、材質の調査を行った。調査した水制の配置場所全体図を表した。下流よりも勾配が大きく流れが急な上流側に水制が多く配置されていることがわかる。水制は全部で43基あり、材質は盛土, 石張, コンクリート張, ブロック張+コンクリート張, 石張+コンクリート張の5種類、形状は1基のみL型で、その他は全てI型水制であった。

資料に掲載されている水制の中で、現地調査により現存が確認できなかったものが石張+コンクリート張水制2基、石張水制3基の全5基であった。これら5基の水制は2004年以降に撤去されたものと考えられ、これらの水制に共通している点は全てが材質に石を用いられていることである。石張水制は他の材質と比較すると、脆く形状の維持が難しい特徴があるために形が崩れ、撤去されたものと考えられる。また、現地調査から、新しく追加した水制は盛土水制4基、石張水制1基の計5基である。これらの水制に共通して言えることは、全て水制上部が歩道のようになっていることである。全43基の中で最も大きな水制は河口にある盛土水制であり、水制長は川幅約300mに対して約1/4の長さの74mである。逆に最も短い水制は上流にあるコンクリート張水制で、川幅約420mに対して1/70の長さの6mしかなく非常に短い水

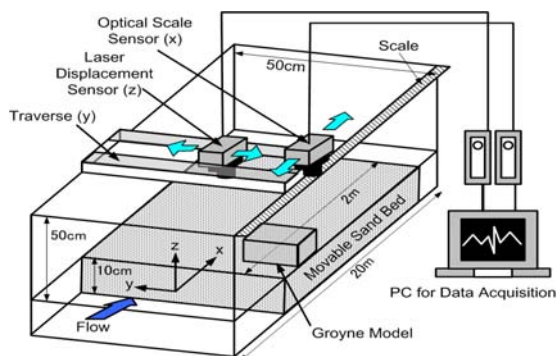


図-1 河床変動実験水路の概要

制である。このように、重信川には材質や形状が大きく異なる水制が多く配置されていることが明らかになった。

### (3) 各種水制形状周辺の河床変動実験

前述した様に重信川を含めて全国の主要河川では様々な形状や材質をもつ水制群が存在している。これら水制形状の違いによる効果を検討するために形状および材質を変化させた基礎実験を行った。実験は、図-1に示す水路長 20m、水路幅 0.5m、水路勾配 1/400 の循環式水路を用いて行った。この水路は上流部に流量が調節できる三角堰が、下流端には水深を調節できる可変式の堰が設けてある。水路中央部に 2m のサンドボックスを設置し、この区間を移動床とし、平均粒径  $d_{50}=0.03\text{cm}$  の均一砂を厚さ 10cm 敷き詰めた。この移動床の上流から 30cm の右岸側に水制を設置した。水制の模型として、厚さ 1cm の塩化ビニール板製で水制長  $L_g=10\text{cm}$  の I 型、水制長(横断方向長)  $L_s=10\text{cm}$ 、流下方向長  $L_f=10\text{cm}$  の T 型、L(上流)型、L(下流)型の 4 種類の非越流型不透水制を用いた。なお、通水時間はそれぞれ 10 分、30 分、60 分、90 分、120 分に設定し 20 ケースの実験を行った。また、砂の供給がある動的河床においては、水制および水制周辺の局所洗掘に起因する河床波以外の河床変動が発生した場合に区別が困難であるため、砂の供給のない静的洗掘状態で実験を行った。また、本研究では、各種形状の水制による河床形態の形成過程に着目したため、流量  $Q=10\text{ l/s}$ 、水深  $h=10\text{ cm}$  の一定にした。

河床形状計測は、平面位置  $(x, y)$  を水路壁及び測定台車に設置したスケールと光センサーで計測し、河床高  $(z)$  をレーザ変位センサーで計測した。

### (4) 重信川水制周辺の流れの可視化実験

水制周辺の流れの可視化実験では、循環式の直線開水路、高速 CCD カメラを 2 台、画像取得・解析用 PC 等の計測装置を用いた。また、可視化実験でのトレーサー粒子としてポリプロピレン粒子(比重 0.98)を用いた。本実

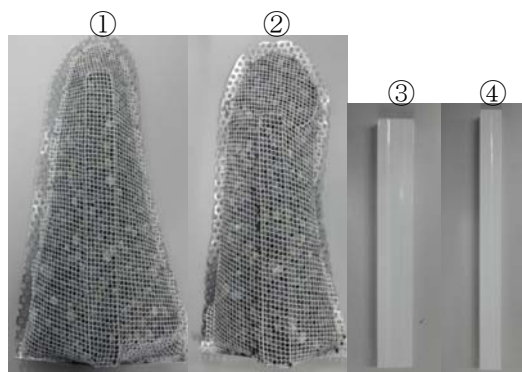


図-2 水制模型

験で対象とした水制は河口から 14.8km 付近左岸にある左岸上流から 2 基の石張水制、2 基のコンクリート水制の計 4 基の連続水制である。水制本体と石張水制の石に関しては、前述した観測の結果をもとに、1/40 に縮尺して模型を作成した。これらの水制模型(図-2)は上流から順に石張り水制二基、コンクリート水制二基を配置した。上流の 2 つの石張水制は、針金で枠を作り、網には 5mm のポリエステル製のネットを用いて中に直径が約 6mm の石を詰めて作成した。実験条件として、流量  $5.0\text{ liter/s}$  で一定とした。水深は二つの石張水制が非越流状態となるような水深  $3.0\text{ cm}$  と設定した。これらの実験条件の設定にあたっては、平成 13 年 6 月の洪水流量が約  $250\text{ m}^3/\text{s}$ 、水制付近の水位が堤防の余裕高付近の約  $1.2\text{ m}$  と想定しフルード数を一致させた。実験手順は、まず水制模型を設置した後、撮影区間上部にカメラを設置し、カメラの校正を行う。撮影周波数は  $100\text{ Hz}$  とし、撮影は解像度を保ったまま、2 台のカメラを用いることで広範囲を撮影できるようにした。1 台のカメラの撮影領域は  $640 \times 480\text{ pixel}$  ( $1\text{ pixel}=0.0245\text{ cm}$ ) であり、2 台のカメラで同じ領域をオーバーラップさせて撮影し、その 2 枚の画像を結合させた 1 枚の画像で水制模型周辺の領域を撮影した。撮影は 20 秒間行い、2403 枚の画像を取得した。取得された粒子画像は独自に開発した PTV 法によって解析を行い各種乱流統計量を評価した。

### (5) 三次元流況・河床変動解析

三次元流況・河床変動解析では、三次元  $k-\epsilon$  乱流モデルを用いて流れを計算した後、流砂量式と河床変動の連続式から水制周辺の変化を捉える。三次元乱流の解析には、ノルウェー工科大学の Olsen による標準型  $k-\epsilon$  モデルによる解析コード SSIIM に、以下に示す流砂量式を適用した。この解析コードは、水制周辺の河床変動解析や橋脚周辺の局所洗掘現象の解析にも適している。幾つかの掃流砂の移動の場所的非平衡性を考慮した掃流砂量に関する式の中で Van Rijn の式を採

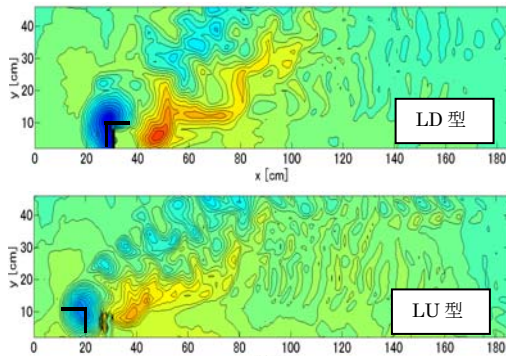


図-3 河床形状の変化

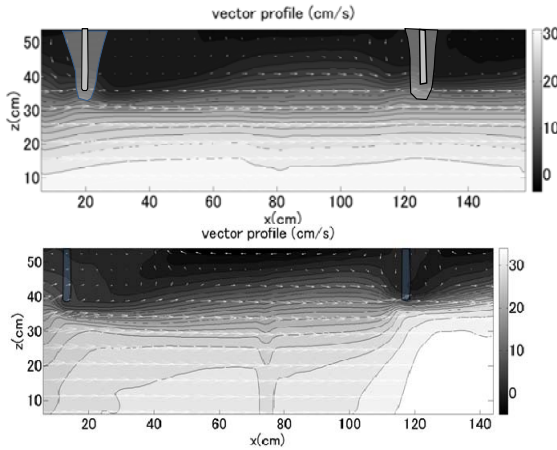


図-4 主流方向平均流速ベクトル

用した。

#### (6) 実験・解析結果

図-3 に示す各種水制形状周辺の河床変動に関する基礎実験の結果から、下流側に突き出しがある場合(LD型水制)は、局所洗掘が大きくなり局所堆積が右岸側に現れることが明らかになった。また、重信川にも現存する上流に突き出しがある場合(LU型水制)は、洗掘孔の形状に変化が見られ、河床波がより右岸側に発達することが明らかになった。

一方、図-4 に示した河口から 14.8km 付近左岸にある連続水制周辺の流れについて、河岸付近の流速は大きく減少し、淀み領域が拡大している。このことからこの水制が護岸の役割を果たしていると考えられる。二つのコンクリート水制間の流速差も同様な傾向を示しているが、石張り水制における淀み領域と主流部との流速差と比較すると、約 10cm/s 程度その差が大きくなっている。また、水衝部護岸の水制としての主な役割は水制先端からの水刃効果であり、特に下流側のコンクリートからその特徴が観られる。一方、上流側の石張り水制は水制先端がやや低めに造られているためその効果はあまり観られないが、他の役割である流速低減効果が確認できる。

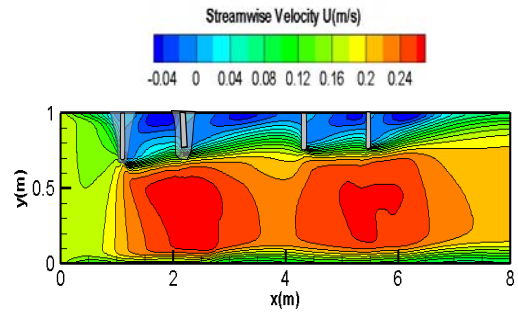


図-5(a) 主流方向平均流速(水制 4 基)

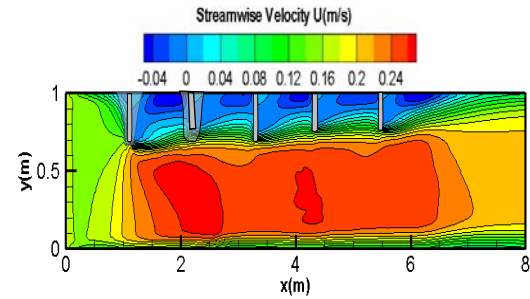


図-5(b) 主流方向平均流速(水制 5 基)

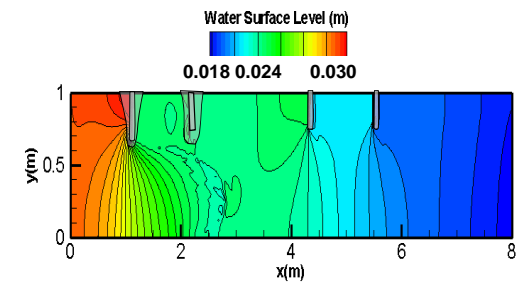


図-6(a) 水位分布 (水制 4 基)

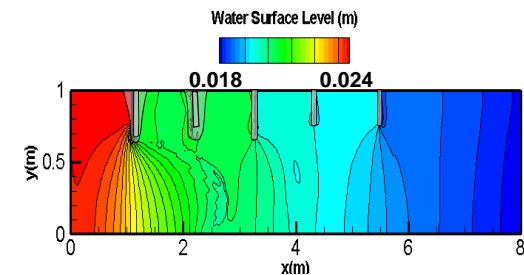


図-6(b) 水位分布 (水制 5 基)

上述の河床変動・流れの可視化実験を踏まえて、図-2 で示した重信川水制群の配置について検討を三次元流況・河床変動解析手法を用いて検討を行った。

図-5、図-6 および図-7 は、それぞれ、上述した流れの可視化実験と同様な条件の下、前節で述べた流況解析および河床変動解析手法によって得られた 4 基の連続水制周辺の平均流速の主流方向成分、水位の分布および河床変動結果を示したものである。

図-5(a) より、二つの石張り水制の間の平均流速の分布は図-4 に示した可視化実験結果と同様な傾向が観られ、その下流側にある二つ

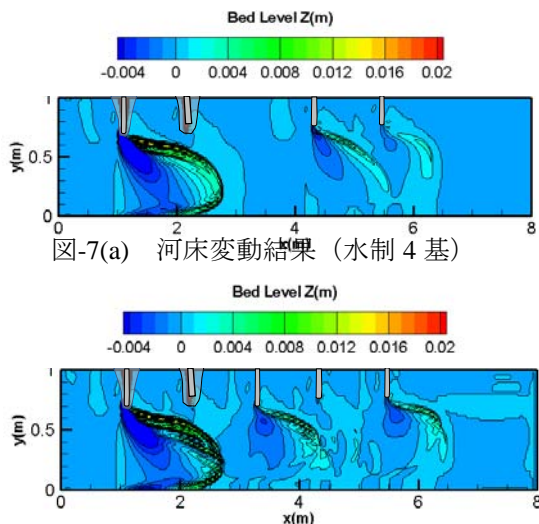


図-7(a) 河床変動結果 (水制 4 基)

図-7(b) 河床変動結果 (水制 5 基)

のコンクリート水制にも同様な淀み領域と主流部の流速差が現れている。また、図-6(a)に示した水位分布の変化とともに流速分布の水制周辺の急激な変化が観られる。図-7(a)の河床変動結果から、上流側石張り水制の先端から大きな洗堀・堆積傾向が観られ、また間隔が離れた上流側コンクリート水制の先端からも同様な傾向が現れている。流路の固定化を図る上でもこの様な場所ごとに異なる局所的に大きな変動は、主流部における流路変動にも大きく影響を及ぼすために、なるべく均等に变化させる必要があると考えられる。そこで、最も簡易な対策として、水制間の間隔が離れている下流側石張り水制と上流側コンクリート水制の間に、全ての水制が等間隔に配置されるように、コンクリート水制 1 基を設置して、同様な条件下、流況・河床変動解析を行ったところ、図-5(b)、図-6(b)および図-7(b)のような結果を得た。これら二つの水制周辺にある流速分布および水位の分布は低減し上下流間であまり変化のない流速分布を示していることが分かる。この様な配置にすることで主に主流部の流況や水位の変化を均等に变化させることは、均等で安定した河床を形成させることに繋がると考える。図-7(b)の河床変動傾向を観ても僅かであるが、上流側石張り水制の先端からの河床変動が減少し、新たに設置した水制と最下流にある水制からの河床が、均等な変動傾向を示していることが分かる。上流にある石張り水制先端の最大洗堀深は 4 基の場合実河川スケールで約 90cm であったのに対し、5 基設置の場合は約 70cm 程度まで減少していた。この様に、古来より設置されている水制としての機能を見直し、近年の河床変動傾向から、なるべく簡易な手法で河道の均等化を行うといった河川改修を考えることが重要であると考えられる。

## (7)まとめ

本研究課題では、従来造られた種々の水制の特性を活かして水制を面的に配置することによって流水および護岸や水制周辺の河床変動を制御し、洪水時の堤防の被災安全度を向上させることが重要であると考えた。重信川に現存する一つの水制群を対象に調査しその効果を流れの可視化手法および流況・河床変動解析によって検討を行った。今後、本研究グループで行っている様々な形状や透過性を変化した水制工の検討も含めて、簡易的な手法でも可能な河川改修について考え今後提案していくことが必要と考える。

## 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 9 件)

- ① Akihiro Kadota and Chiharu Asayama, EXPERIMENTAL STUDY ON LOCAL SCOUR AND DEVELOPMENT OF SAND WAVE AROUND A PERMEABLE GROUPE OF STONE GABION, Proc. of 9th International Symposium on Ecohydraulics, 査読有, 9 巻, 2012, USB, ID:14179
- ② Akihiro Kadota, Chiharu Asayama & Koichi Suzuki, LOCAL SCOUR AND SAND WAVE DEVELOPMENT AROUND A PERMEABLE GROUPE OF STONE GABION, Proc. of 2nd IAHR Europe Congress, 査読有, 2 巻, 2012, USB, No. C-10
- ③ 河端知佳・門田章宏・重松和恵, 急流河川水衝部護岸のための水制の効果に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), 査読有, 68 巻 No. 4, 2012, pp. I\_829-I\_834
- ④ A. Kadota and K. Suzuki Development of Large Scale Vortex around T-type and L-type Groynes, Proceedings of the 34th IAHR World Congress, 査読有, 34 巻, 2011, pp. 2476-2483
- ⑤ A. Kadota and C. Asayama, Mean and Coherent Structures around T-type and L-type Groynes, Proceedings of VII International Symposium on Stratified Flows, 査読有, 7 巻, 2011, Paper no. 1160
- ⑥ A. Kadota and K. Suzuki Local Scour and Development of Sand Wave around T-Type and L-Type Groynes, Proc. of 5th International Conference on Scour and Erosion, 査読有, 5 巻, 2010, pp. 707-714
- ⑦ A. Kadota, K. Suzuki & E. Kojima, Flow Visualization of Mean and Coherent Flow Structures around T-type and

L-type groynes, Proc. of the International Conference on Fluvial Hydraulics, 査読有, 2010, pp. 203-210

- ⑧ A. Kadota & K. Suzuki, Local scour and development of sand wave around a permeable groyne of stone gabion, Proc. of 6th International, Symposium on Environmental Hydraulics, 査読有, 6巻, 2010, pp. 807-812.
- ⑨ A. Kadota & K. Suzuki, Mean flow structure and advection of instantaneous coherent-flow pattern around T-type and L-type groynes, Proc. of 6th International, Symposium on Environmental Hydraulics, 査読有, 6巻, 2010, pp. 81-86.

[学会発表] (計 8 件)

- ① Akihiro Kadota, EXPERIMENTAL STUDY ON LOCAL SCOUR AND DEVELOPMENT OF SAND WAVE AROUND A PERMEABLE GROUYNE OF STONE GABION, 9th International Symposium on Ecohydraulics, 2012 年 9 月 18 日, University of Natural Resources and Life Sciences, Wien
- ② Akihiro Kadota, LOCAL SCOUR AND SAND WAVE DEVELOPMENT AROUND A PERMEABLE GROUYNE OF STONE GABION, 2nd IAHR Europe Congress, 2012 年 6 月 27 日, Technical University of Munich
- ③ 門田章宏, 急流河川水衝部護岸のための水制の効果に関する研究, 第 56 回水工学講演会, 2012 年 3 月 8 日, 愛媛大学・城北キャンパス
- ④ A. Kadota, Development of Large Scale Vortex around T-type and L-type Groynes, The 34th IAHR World Congress, 2011 年 6 月 28 日, Brisbane Convention & Exhibition Centre, Australia
- ⑤ A. Kadota, Mean and Coherent Structures around T-type and L-type Groynes, VII International Symposium on Stratified Flows, 2011 年 8 月 23 日, Sangallo Cloister, Engineering Faculty, Rome
- ⑥ A. Kadota, Flow Visualization of Mean and Coherent Flow Structures around T-type and L-type groynes, International Conference on Fluvial Hydraulics, 2010 年 9 月 9 日, Technical University of Braunschweig, Germany
- ⑦ A. Kadota, Local scour and development of sand wave around a permeable groyne of stone gabion, 6th International, Symposium on Environmental Hydraulics,

2010 年 6 月 25 日, Divani Caravel Hotel, Athens, Greece

- ⑧ A. Kadota, Mean flow structure and advection of instantaneous coherent-flow pattern around T-type and L-type groynes, 6th International, Symposium on Environmental Hydraulics, 2010 年 6 月 23 日, Divani Caravel Hotel, Athens, Greece

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

門田 章宏 (KADOTA AKIHIRO)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 80294784