

平成 22 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2009

課題番号：18404010

研究課題名（和文）

バングラデシュにおける巨大沖積河川の河道安定化に関する現地適用型対策の調査研究

研究課題名（英文）

Channel stabilization using locally fitted measures in Bangladesh

研究代表者

中川 一 (NAKAGAWA HAJIME)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：80144393

研究成果の概要（和文）：バングラデシュ国を対象に、低コストでかつ現地で材料を調達でき、設置・修理等も現地の者が実施できるバンドル型水制の水理機能を水理模型実験・数値解析および現地での試験施工で明らかにした。また、当水制の設置により河岸侵食の防止のみならず河岸侵食で失った土地の回復に対して当水制が有効であることを明らかにした。従来、当水制は河川の航路維持のために渇水期に設置されてきたが、洪水期に設置することで河岸侵食が防止され、巨大沖積河川の河道安定化の可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：Research on channel stabilization in huge rivers in Bangladesh using locally fitted and low cost measures has been investigated. The functions of Bandal-like structures were clarified in view points of bank protection by carrying out the physical model experiments, numerical simulations and implementation to the actual rivers. Originally, the structures have been implemented for the purpose of making and maintaining the navigable channel in dry season, but it was found that the structures would be very effective for making the huge river stable by the protection of the riverbank when they are installed in flood season.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	5,300,000	0	5,300,000
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	10,800,000	1,650,000	12,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：水工水理学

キーワード：バングラデシュ、河岸侵食、河床変動、バンドル、安定河道、現地調査、水制、数値シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 沖積河川における河岸侵食機構は、種々の要因が営力となって作用するため極めて複雑である。河道の安定を持続的に維持するには、侵食に対して何らかの対策法を適用する前に河道変動および河岸侵食の将来の変動特性を知っておく必要がある。

(2) バングラデシュでは、ジャムナ川やブラマプトラ川といった巨大沖積河川の安定を図るため、水制や護岸といった河岸侵食防止

対策が導入されているが、各地でこれらが破壊されたり危険な状態になったりしている。一旦破壊されると修理に多額の経費がかかり、発展途上国が負担するのは困難な状況にある。

(3) そこで、低コストかつ現地で材料を容易に入手でき、維持管理も容易な現地適用型河岸侵食防止対策とこれによる巨大沖積河川の河道安定化が喫緊の課題となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では上記課題に関してこれまで緊密な連携をとって基礎的な研究を実施してきたメンバーが一致団結して（１）河道の安定化に関する土砂水理的調査研究、（２）河道の安定化に関する対策方法とその現地適用性の調査研究、（３）河道の安定化に関する数値シミュレーション手法の適用性の研究、（４）低コストで最適な現地適用型河道安定化工法の調査研究、を実施し、巨大沖積河川の河道安定化に関する現地適用型対策法を開発し、現地河川でその効果について調査研究を行うものである。

### 3. 研究の方法

（１）バングラデシュ工科大学（以下 BUET）の CP と協力してジャムナ川を対象として、現地調査、とくに地形変動と水理量に関する現地調査を実施した。

（２）バンダル型水制の設置による効果について調査するとともに新規設置（試験施工）について検討した。また、各種水制工の機能評価に関する水理模型実験を行い、河岸侵食防止ならびに河道安定化に関する対策法を検討した。

（３）非構造格子を用いた 2 次元および 3 次元流れの解析と地形変動に関する数値シミュレーション手法の開発とその妥当性について水理模型実験結果を用いて検討した。

（４）現地適用型河道安定化対策手法としてバンダル型水制を提案し、その水理機能について明らかにするとともに、現地に設置してその機能を検証した。

### 4. 研究成果

#### （１）現地調査に基づく河道変動の実態把握

Jamuna 川は、右岸では年間 84m、左岸では年間 100m の割合で川幅が広くなるという、流路変動規模の大きな河川である。図 1 は Sirajganj Hardpoint で 2009 年に発生した護岸の決壊の様子である。これは砂州の移動に伴う大規模な河道変動が原因で発生した。また、図 2 に示すように右岸沿いの流路であった場所が、約 1 年後には上流側が閉じて流れのない状況になったことが確認された。この状況



図 1 護岸の決壊事例（ジョムナ川のシラジガンジハードポイント、2009 年 7 月）



図 2 Jamuna 川右岸 Raghunathpur における河岸侵食状況（左：2008 年 3 月撮影、右 2009 年 3 月撮影）

は、衛星画像との比較から、右岸側にある大きな砂州を取り巻く形の水路の上流側が閉塞したことに対応している。

図 3 は Jamuna 川右岸に位置する Sirajganj Hardpoint における等深線図と河岸の変化を示したものである。護岸に沿って発達していた砂州が 1 年間で完全に消失していることがわかる。この結果が図 1 に示した護岸の決壊につながったものと考えられた。このように、各地で発生している大規模な河岸侵食は土地の流亡をきたし、ひいては貧困と洪水による被災危険性の高い場所での生活を強いることとなっている。

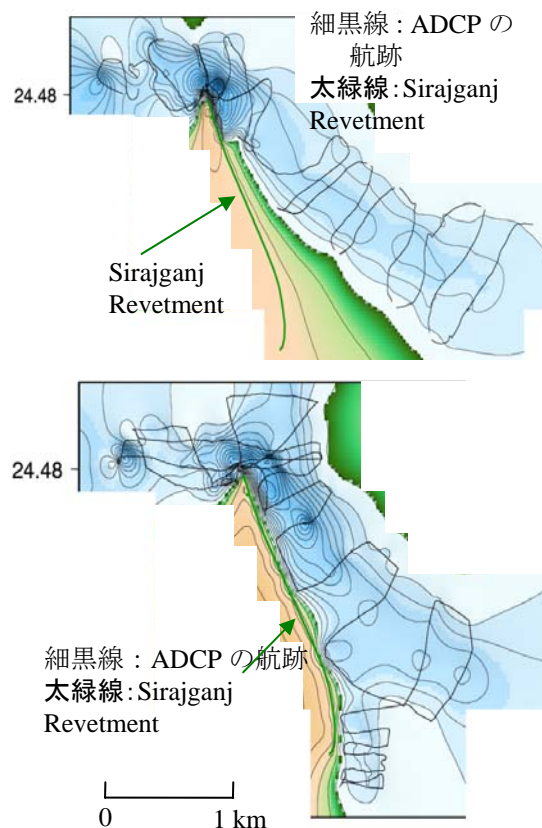


図 3 シラジガンジ・ハードポイントにおける ADCP 計測結果から推定された河道内等深線図と河岸侵食状況（上：2008 年 3 月、下：2009 年 3 月）

（２）各種水制工の機能評価  
本研究で提案するバンダル型水制の機能を検

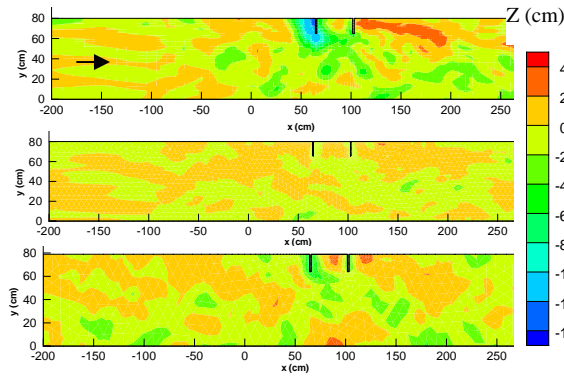


図4 水制の機能評価のための実験結果(上から不透過型水制、透過型水制、バンダル型水制(全て非没水))

討するために水理模型実験を実施した。その際、透過型および不透過型水制でも実験を行い、バンダル型水制との比較検討を行った。重要な視点は河岸浸食防止効果と航路維持のための水路中央部への水捌ねの効果である。図4は上から不透過、透過、バンダル型水制を2基左岸側に設置した場合の初期河床からの河床変動量を示した実験結果である。バンダル型水制は河岸浸食防止と航路維持のための水捌ねの両方の効果が認められ、河道安定のための有効な手段であることが分かる。

(3) 河数值シミュレーション手法の適用性  
図5はバンダル型水制周辺の流速に関する水理実験の結果と数值シミュレーションの結果

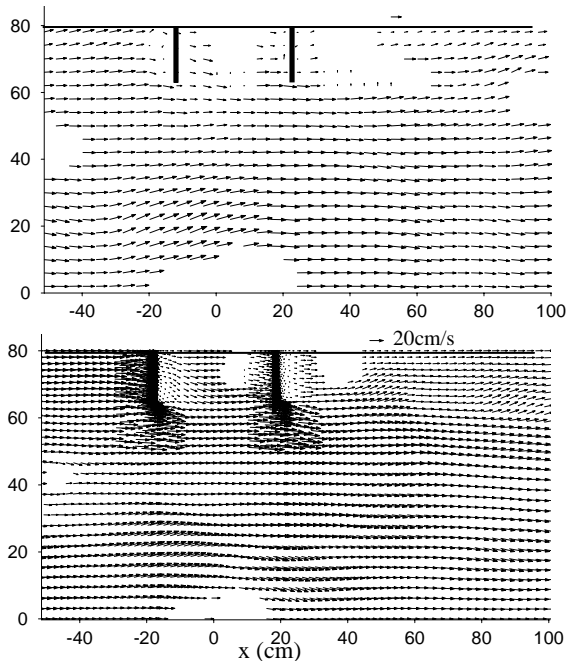


図5 バンダル型水制周辺の流速に関する水理実験結果と数值シミュレーション結果との比較(上:水理実験、下:数值計算)

とを比較したものである(元河床から2cm上部の水平面流速)。これより、非構造格子を用いた有限堆積法による3次元流れの数值解析

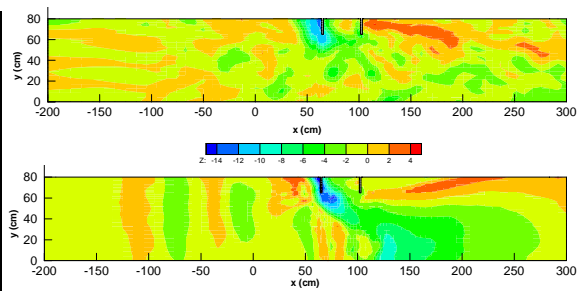


図6 不透過型水制周辺の河床変動に関する実験結果と計算結果との比較(上:実験値、下:計算値)

により比較的良好に実験結果が再現されていることが分かる。

図6は不透過型水制を配置した場合の河床変動に関する水理実験結果と数值シミュレーション結果とを比較したものである(掃流砂のみを対象)。非構造格子を用いた有限堆積法による3次元流れの解析に基づく河床変動計算結果は比較的良好に実験結果を再現していることが分かる。

#### (4) 現地適用型対策法の提案

水理模型実験からバンダル型水制の有効性が認められたことと、材料として竹がこれまで洪水時の航路維持用に用いられてきたことから、洪水時にバンダル型水制を現地で設置し、現地適用性を検討した。BUETのほか、BWDB (Bangladesh Water Development Board) にも協力を仰いだ。

図7はJamuna橋上流2~3km上流左岸に平成21年7月27日に設置中されたバンダル水制である。骨組みだけは完成していて、水捌ね用のフェンス部分(上部)はこの後取り付けられた。図8は平成22年1月30日に同一場所で撮影されたバンダル水制の様子である。雨季の洪水によりフェンス部分は流失してい



図7 Jamuna川でのバンダル水制の設置(洪水前の平成21年7月撮影)



図8 Jamuna川でのバンダル水制の設置(洪水後の平成22年1月撮影)

るが、骨組みは残存している。重要な点は、河岸における土砂堆積の状況である。たった1回の洪水を経験しただけで、著しい河岸近傍での土砂堆積により、以前流失してしまった土地が一部回復し、農民たちは図9のようにいち早く自分の土地であることを主張して麦を植えていた。なお、最上流に配置したバンダル水制は骨組みも破壊されたとのことであり、最上流部については、別途、捨石等

防護することが必要である。

このように、バンダル水制は河岸浸食防止といった消極的な対策ではなく、流亡した河岸（土地）を取り戻すという積極的な意味での対策方法として有効であり、流路を安定化させるという可能性が現地でもほぼ実証されたといえる。



図9 河岸に堆積した土砂の上に植えられた麦。以前、河岸浸食により流亡した土地が取り戻せたと農民は喜んでいましたが、自分の土地であることを主張する必要がある。

#### 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 28 件)

1. Zhang, H., Nakagawa, H. & Mizutani, H. : Non-uniform sediment transport around a spur dyke, Proc. of the International Symposium on Water and Sediment Disasters in East Asia, 査読無, 2010, pp.96-107.
2. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y. & Zhang, H. : Impact of flood control structures on channel morphology, Proc. of the International Symposium on Water and Sediment Disasters in East Asia, 査読無, 2010, pp.86-95.
3. Zhang, H., Nakagawa, H., Baba, Y., Kawaike, K. and Teraguchi, H. : Three-dimensional flow , around Bandal-like structures, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.54, 査読有, 2010, pp.175-180 (CD-ROM).
4. 水谷英朗・中川 一・川池健司・馬場康之・張 浩: 混合砂礫床における水制周辺の局所洗掘および粒度変化に関する研究, 土木学会, 水工学論文集, 第 54 巻, 査読有, 2010, pp.805-810 (CD-ROM).
5. Nakagawa, H., Utsumi, T., Kawaike, K., Baba, Y., Zhang, H. & Awal, R. : Erosion of unsaturated river embankment due to overtopping, Proc. of the 17<sup>th</sup> Congress of the APD-IAHR, 査読有, 2010, printed in USB Memory.
6. Zhang, H., Nakagawa, H. & Mizutani H. : Bed variation around spur dyke under non-uniform sediment transport, Proc. of the 17<sup>th</sup> Congress of the APD-IAHR, 査読有, 2010, printed in USB Memory.
7. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y. & Kanda, K., Numerical simulation of bed evolution process due to weir reconstruction, Proc. of the 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, BC, Canada, CD-ROM, No.10424, ISBN: 978-94-90365-01-1, 査読有, 2009.
8. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y. & Kanda, K. : Flow field and bed deformation caused by river-crossing structure, Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Water and Flood Management, Vol.1, 査読無, 2009, pp.109-116.
9. Baba, Y., Nakagawa, H., Zhang, H. & Kawaike, K. : Field observations on velocity distribution around Sirajganj Hardpoint and Jamuna Bridge in Jamuna River, Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Water and Flood Management, Vol.1, 査読無, 2009, pp.125-116.
10. Baba, Y., Nakagawa, H., Zhang, H. & Kawaike, K., Field observations on velocity distribution around Sirajganj Hardpoint and Jamuna Bridge in Jamuna River, Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Water and Flood Management, 査読無, 2009, pp. 125-131.
11. Zhang, H., Nakagawa, H., Kawaike, K. & Baba, Y.: Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke, International Journal of Sediment Research, Vol.24, No.1, 査読有, 2009, pp.33-45.
12. Zhang, H. & Nakagawa, H., Characteristics of local flow and bed deformation at impermeable and permeable spur dykes, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.53, 査読有, 2009, pp.145-150.
13. Kanda, K., Samoto, Y., Muto, Y., Zhang, H., Nakagawa, H. & Nanbu Y., A study on morphological response of river channel due to falling works improvement, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.53, 査読有, 2009, pp. 757-762.
14. Zhang, H. & Nakagawa, H.: Investigation on morphological consequences of spur dyke with experimental and numerical methods, Proc. of the Advances in Hydro-Science and Engineering, Vol.VIII, 査読有, 2008, CD-ROM.

15. Teraguchi, H., Nakagawa, H. & Zhang, H.: Study on flow and bed deformation around impermeable and permeable groins, Proc. of the Advances in Hydro-Science and Engineering, Vol.VIII, Spt., 査読有, 2008, CD-ROM.
  16. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Baba, Y. & Zhang, H. : Effects of Groins on the Flow and Bed Deformation in Non-Submerged Conditions, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., No.51 B, 査読無, 2008, pp.625-632.
  17. Teraguchi, H., Nakagawa, H., Muto, Y. Baba, Y. & Zhang, H. : Flow and sediment transport around impermeable or permeable groins, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.52, 査読有, 2008, pp.175-180 (CD-ROM).
  18. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Muramoto, Y. & Nakanishi, A. : Impact of flood event on channel morphologies around river restoration structures, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.52, 査読有, 2008, pp.181-186 (CD-ROM).
  19. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Muramoto, Y. & Nakanishi, A. : Study on bed deformation around spur dykes during flood and its application in urban stream restoration, International Symposium on Flood Disasters and Countermeasures against Them, 査読無, 2007, pp.70-77.
  20. Nakagawa, H., Zhang, H., Muto, Y. & Muramoto, Y., Flow and bed deformation around river hydraulic structures: large-scale physical model experiment and numerical simulation, Proc. of the 10th International Symposium on River Sedimentation, 査読有, 2007, Vol. VI, pp.224 -233.
  21. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y. & Muramoto, Y., : Numerical study on the bed evolution process of channels with complex geometries, Proc. of the 32nd International Congress of IAHR, 査読有, 2007, CD-ROM.
  22. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Muramoto, Y., Touchi, D. & Nanbu Y.: Morphodynamics of channels with groins and its application in river restoration, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., No.50 B, 査読無, 2007, pp.635-651.
  23. Zhang, H., Nakagawa, H. & Muto, Y. : Numerical analysis tools for sediment management in river restoration, Pre-conference paper volume of International Conference on Water and Flood Management (ICWFM-2007), 査読無, 2007, pp.819-826.
  24. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Muramoto, Y. & Touchi, T. : Bed deformation around groins in a river restoration project, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.51, 査読有, 2007, pp. 127-132 (CD-ROM).
  25. Rasheduzzaman, M., Nakagawa, H., Zhang, H., Rahman, Md. M. & Muto Y. : Flow and sediment transport around bandals under live-bed scour condition, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.51, 査読有, 2007, pp.145-150(CD-ROM).
  26. Nakagawa, H., Zhang, H. & Muto, Y. : Analysis of Flow and Bed Evolution in Channels with Hydraulic Structures by FVM using Unstructured Meshes -toward Sediment Management for River Restoration-, Proc. of the 6th Japan-Taiwan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, 査読無, 2006, CD-ROM.
  27. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Baba, Y. & Ishigaki, T.: Numerical simulation of flow and local scour around hydraulic structures, River Flow 2006, Ferreira, Alves, Leal & Cardoso (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-40815-6, 査読有, 2006, pp.1683-1693.
  28. Zhang, H., Nakagawa, H., Muto, Y., Touchi, D. & Muramoto, Y.: 2D numerical model for river flow and bed deformation based on unstructured mesh, Journal of Applied Mechanics, JSCE, Vol.9, 査読有, 2006, pp.783-794.
- [学会発表] (計 21 件)
1. Zhang, H., Hydraulic and Morphological Consequences of Bank Protection Measures along the Jamuna River, Bangladesh, 平成 21 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2010 年 2 月 24 日, 京都大学きはだホール.
  2. Teraguchi, H., Morphological Changes Induced by River Training Structures: Bandal-Like Structures and Groins, 平成 21 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2010 年 2 月 24 日, 京都大学きはだホール.
  3. 馬場康之, Jamuna 川右岸の河岸浸食およびその経年変化に関する現地調査, 第 28 回日本自然災害学会学術講演会, 2009 年 9 月 30 日, 京大会館.
  4. 水谷英朗, 混合砂河床を用いた水制周辺の局所洗掘に関する研究, 第 28 回日本自然災害学会学術講演会, 2009 年 9 月 29 日, 京大会館.
  5. Teraguchi, H., Effects of Impermeable and Permeable Groins on Flow and Sediment Transport, 第 28 回日本自然災害学会学術講演会, 2009 年 9 月 29 日, 京大会館.
  6. Teraguchi, H., Experimental Study on Morphological Changes induced by Groins,

- DPRI Annual meeting of the 2008 year, Feb. 25, 2009, 京都テルサ.
7. Zhang, H., Field Investigation of Bank Protection Measures along the Jamuna River in Bangladesh, DPRI Annual meeting of the 2008 year, Feb. 25, 2009, 京都テルサ.
  8. Zhang, H., Local scour around bank protection spur dykes on the Brahmaputra-Jamuna River, The 27<sup>th</sup> Annual Meeting of the Japan Society for Natural Disaster Science, Sept. 25, 2008, Kyushu University.
  9. Zhang, H., Investigation on morphological consequences of spur dyke with experimental and numerical methods, The 8<sup>th</sup> International Conference on Hydro-Science and Engineering, Sept. 10, 2008, Nagoya University.
  10. Teraguchi, H., On the influence to the flow and bed deformation of impermeable or permeable groins, Japan-Brazil Memorial Symposium on Science and Technology for the Celebration of 100 years, June 2, 2008, Sao Paulo University, Brazil.
  11. Teraguchi, H., Effects of groins on flow and bed deformation under non-submerged and submerged conditions, 平成 19 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2008 年 2 月 29 日, 京都テルサ.
  12. Zhang, H., Scour around spur dyke –recent advances and future researches-, 平成 19 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2008 年 2 月 29 日, 京都テルサ.
  13. 中川 一, 越流による河川堤防裏法面の侵食特性について, 平成 19 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2008 年 2 月 29 日, 京都テルサ.
  14. Zhang, H., Study on bed deformation around spur dykes during flood and its application in urban stream restoration, International Symposium on Flood Disasters and Countermeasures against Them, Aug. 27, 2007, 中国水利水電科学研究院.
  15. Nakagawa, H., Flow and bed deformation around river hydraulic structures: large-scale physical model experiment and numerical simulation, The 10th International Symposium on River Sedimentation (WASER), Aug. 3, 2007, Moscow State University.
  16. Zhang, H., Numerical study on the bed evolution process of channels with complex geometries, 32nd International Congress of IAHR, July 4, 2007, Venice Congress Centre, Italy.
  17. Zhang, H., Numerical analysis tools for sediment management in river restoration, International Conference on Water and Flood Management (ICWFM-2007), March 14, 2007, Dhaka, Bangladesh.
  18. Zhang, H., Flow and sediment transport around bandals under live-bed scour condition, Annual Meeting of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE, March 8, 2007, Hosei Univ., Koganei Campus.
  19. Zhang, H., Morphodynamics of channels with groins and its application in river restoration, 平成 18 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2007 年 3 月 6 日, 京都テルサ.
  20. Nakagawa, H., Analysis of Flow and Bed Evolution in Channels with Hydraulic Structures by FVM using Unstructured Meshes -toward Sediment Management for River Restoration-, The 6th Japan-Taiwan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, Oct. 10, 2006, Kyodai Kaikan.
  21. Zhang, H., Numerical simulation of flow and local scour around hydraulic structures, River Flow 2006, Sep. 7, 2006, LNEC Congress Centre, Lisbon, Portugal.
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
中川 一 (NAKAGAWA HAJIME)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：80144393
- (2)研究分担者  
川池 健司 (KAWAIKE KENJI)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号：10346934  
馬場 康之 (BABA YASUYUKI)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：30283675  
張 浩 (Zhang Hao)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：90452325