

一般共同研究

2022G-05



京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute

Kyoto University

洪水時における多孔質水工構造物の変形機構 及び地形順応性に関する研究

Deformation mechanism and morphological adaptive response
of porous hydraulic structures during floods

令和 6 年 5 月

May 2024

研究代表者	張 浩
Coordinator	Hiroshi CHO

【報告書】

令和 6 年 5 月 30 日

該当する研究種目にチェックしてください。

- ☒ 一般共同研究
☐ 国際共同研究（一般、特定）
☐ 長期・短期滞在型共同研究
☐ 地域防災実践型共同研究（一般、特定）
☐ 萌芽的共同研究
☐ 重点推進型共同研究
(課題番号： 2022-G05)

京都大学防災研究所長 殿

[申請者（研究代表者）]

氏 名 : 張 浩
職 名 : 教授
所属機関名 : 熊本大学

下記のとおり、共同研究の実施結果について報告します。

記

課題名：洪水時における多孔質水工構造物の変形機構及び地形順応性に関する研究

研究代表者：張 浩

所属機関名：熊本大学

所内担当者名：竹林 洋史

研究（滞在）期間：令和 4 年 4 月 1 日 ～ 令和 6 年 3 月 31 日

研究（滞在）場所：宇治川オープンラボラトリー

共同研究参加者数：12 名（所外 8 名，所内 4 名）

研究及び教育への波及効果について

本研究から得られた予備的な成果に基づき、科研費基盤研究 B に応募したところ、無事に採択された。これにより、研究における更なる展開が期待される。また、熊本大学と京都大学から多くの学生が本研究に参加し、室内実験と現地観測技術を習得することができたのは、研究の大きな成果である。さらに、本研究は熊本大学工学部および大学院自然科学教育部の卒業研究および修論研究の一部となり、学生教育への大きな貢献があったと考えられる。

研究報告

(1) 目的・趣旨

令和 2 年の球磨川水害をはじめとする豪雨に起因した河川災害は毎年のように発生しており、従来の治水対策の限界が露呈されてきた。これを背景に、河川整備の方法は気候変動による降雨特性の変化を見据えた流域治水への転換が行われつつある。治水のパラダイムシフトに伴い、多様な治水手法の組み合わせやステークホルダー間での連携が強く求められている。これからはダムのような大規模な治水施設だけ

でなく、流域各所で利用可能な小規模で柔軟性と経済性の高い技術の開発も必要である。伝統的河川工法はこのような流域治水の理念に合致しており、技法の改良や近代的治水技術との融合による技術イノベーションが大いに期待される。

代表的伝統河川工法である伝統水制工は木・竹・石等の自然材料を活かした多孔質構造物であるため、洪水時に変形が生じ、コンクリート等を用いた近代的河川工法と異なる特徴を有する。また、構造物の変形が周りの流れと流砂に影響を与え、複雑なフィードバックプロセスが生じる。これらに関する科学的な知見が乏しく、伝統水制工法の機能を適切に評価する方法は確立されていない。本研究では、洪水時における代表的な多孔質水工構造物周辺の流れ・流砂とのインタラクションを基礎水理実験と現地調査により解明するとともに、河川地形に対する構造物の順応性を評価し、流域治水を支えるきめ細かなグリーンインフラ技術として、伝統水制工法を確かな治水技術として発展させることを目指す。

(2) 研究経過の概要

代表的河川工法である水制工法は、河岸から河道の中心に張り出し、水はね、流速低減、土砂堆積促進などの機能があり、古くから用いられてきた。日本の伝統水制工法である聖牛型水制工法は、木、竹、石等の自然材料を用い、地元住民による制作・維持管理が可能であるため、ローコストで自然環境にやさしい工法として知られている。丸太を三角錐や四角錐の形に組み上げ、足の部分に重りとなる蛇籠を置き、川底へと固定する聖牛型水制工法が古くから使用されてきた。聖牛型水制は河川の地形変動に順応し、多くの河川でその有効性が確認されてきた一方、長年の試行錯誤を経て確立された工法であるため、その効果の科学的な検討と改良が求められる。水制工に関しては、古くから数多く研究されてきたものの、水制構造物は水と土砂移動の境界条件として扱われ、構造物自体の変形やそれが流れ・河床変動に与える影響に関する研究は少ないのが現状である。蛇籠、そして、それを生かした聖牛型水制工等の伝統的河川工法は自然材料を用いた多孔質構造物であるため、洪水流や河床変動に伴い構造物の変形することが大きな特徴である。また、多孔質である石積や蛇籠構造物に関しては、地震応力に対する安定性に関する検討はあるものの、洪水流や河床変動による変形特性に関する研究はほとんどない。本研究では、洪水時における多孔質水工構造物の変形機構及び地形順応性の解明を目指し、聖牛型水制を代表する多孔質水工構造物周辺の流れと地形変化に着目し、研究を進めてきた。

具体的には、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーにある 50cm 幅流砂基礎実験水路と熊本大学工学部水理実験棟にある 40cm 幅基礎水理実験水路を利用して、固定床と移動床の水理実験を実施した。実験では、聖牛型水制工の水理機能を解明するため、代表的な伝統河川工法である石積み水制、石かご水制、杭出し水制、バンダル型水制と聖牛型水制の 5 種類の水制について、時間平均流速、乱れエネルギー、レイノルズ応力、局所水面勾配の 4 項目に着目し、洪水時の水理特性を系統的に考察した。また、移動床水理実験を実施し、聖牛型水制工周辺の地形変動特性と水制工の変形特性を考察した。加えて、河川漂流物の付着による聖牛型水制工の水理機能の変化に関する基礎実験を行い、聖牛型水制工の土砂捕捉機能や成長特性について考察した。さらに、京都府木津川に実験施工された聖牛型水制群周辺の過去数年間の地形および構造物の変形モニタリング結果を整理し、ドローンを用いた聖牛周辺の環境調査およびサンプリング等による水生生物調査を実施した。

(3) 研究成果の概要

基礎水理実験と現地調査の結果より、多孔質水工構造物の代表である聖牛型水制工の水理機能が明らかになった。その主な成果は以下の通りである。

代表的伝統水制工である石積み水制、石かご水制、杭出し水制、バンダル型水制と聖牛型水制の 5 種類の水制周辺の 3 次元流れ構造を実験的に検討した結果、流れ場における共通した特徴と各構造物固有の特性が明らかになった。1) すべての水制で堰き止め効果による水制域縦断流速の低減、水制天端部で水制

越流に伴う流速の増加と主流域縮幅による流速の増加がみられた。また、水はねによる横断流速の発生がみられた。各水制の特性としては、石積み水制と石かご水制の後方では大規模な背後渦の形成がみられ、バンドル型水制は、シートの影響により流れが二つに分かれた。聖牛型水制では、水制内部で下降流、水制後方で上昇流が発生していることがわかった。2) 水制周辺の乱れエネルギー分布は水制の種類によって異なった。全体的に、石積み水制周辺の乱れエネルギーの値が最も大きく、次に石かご水制という結果になった。また、水制上流よりも水制直下流、さらに水制から離れた下流の乱れエネルギーが大きい結果となった。水制の影響により、水深方向の乱れエネルギーの最大値は水路床より高いところにあることが分かった。一方、バンドル水制の不透過なシートの背後には強い乱れが生じ、石積み水制よりも乱れエネルギーが大きかった。3) レイノルズ応力の分布について、水路壁近くの縦断面と水制本体中心を通る縦断面は類似しているが、主流部を通る縦断面はレイノルズ応力の値が比較的小さくなる結果となった。石積み水制と石かご水制では背後渦の影響で、水制後方に広範囲なレイノルズ応力分布のプラス区域とマイナス区域が現れた。バンドル型水制では不透過なシートの影響により、水制直後方でレイノルズ応力分布のプラス区域とマイナス区域が形成された。このような分布から鉛直方向の活発な運動量交換が予想される。4) 縦断方向では、水制直上流の水面低下と下流部の水面上昇が見られた。横断方向では、上下流の水面勾配に異なる特性が現れた。全体を通して水位変動が最も大きかったのは石積み水制だが、水位変動が発生する場所に違いが出る結果となった。

上記研究結果から、聖牛型水制工の独特な水理特性を明らかにした。また、京都府木津川での現地調査により、聖牛型水制工の土砂捕捉機能と環境再生機能の実用性が確認された。一方で、聖牛型水制工の機能評価と維持管理に関する科学的な知見はまだ不足しており、特に流木などの漂流物の付着により透水性が低下し、聖牛型水制工本来の機能に影響を及ぼす可能性が示唆されている。そこで、流木の付着が聖牛型水制工周辺の地形変動特性に与える影響に関する実験をさらに実施し、付着場所の違いと付着による前面の透過率変化に着目しながら、洗掘・堆積形状、縦横断河床形状、最大洗掘深・堆積高、洗掘・堆積ボリュームなどについて比較検討を行うとともに、実験前後の水制工移動量と地形変動との関係を明らかにした。1) 流木を鉛直方向・水平方向に均等配置したパターンAおよびパターンBでは、洗掘・堆積形状は類似しており、流木の方角による違いは見られない。それぞれ透過率25%において、広い堆積範囲が形成された。低い透過率において急激に地形変動が活発化することが予想され、透過率25%未満についてはさらなる検討が必要である。流木が聖牛型水制工上部に付着することを想定したパターンCでは、聖牛下部に洗掘が生じ、他のパターンよりも堆積範囲は広く形成された。流木が聖牛型水制工下部に付着することを想定したパターンDでは、聖牛型水制工前面において最大洗掘深を持ち、堆積はパターンCよりも狭い範囲に生じた。パターンCおよびパターンDでは、透過率低下により、洗掘・堆積形状が変化することが分かった。2) 洗掘孔内の局所河床勾配について、各パターンで形成された洗掘孔には違いが見られ、洗掘孔内の渦構造の影響はパターンDが大きくなる傾向を示した。3) 最大洗掘深・堆積高および洗掘・堆積ボリュームについて、パターンCおよびパターンDにおいて透過率低下による増加傾向が見られた。特に、パターンCでは、透過率75%において、他パターンより大きい値を示した。4) 通水前後の聖牛型水制工の移動量について、縦断方向には、パターンCおよびパターンDでは透過率低下に伴い、聖牛型水制工は前傾することが分かった。横断方向には、パターンCが主流側への移動量が大きく、聖牛型水制工が主流側へ落ち込むように傾斜することが予想される。鉛直方向には、パターンCが下方への移動量が大きく、聖牛型水制工下部の河床が洗掘され、沈む傾向にあることが分かった。以上の結果から、流木の付着していない聖牛型水制工では、透水性の低い蛇籠の影響が強く、顕著な地形変動は蛇籠付近に限られる。一方で、流木が付着することにより、付着場所や透過率に関係なく、地形変動が活発化した。特に流木が聖牛型水制工上部に付着した場合、高い透過率においても洗掘・堆積効果が促進され、後方に広い堆積範囲が形成された。流木の付着が周辺地形に与える影響は、付着場所が大きな要因となっていることがわかった。

本研究の結果は、聖牛型水制工の設計、機能評価及び維持管理に役立つ重要な情報を提供することが期待される。本研究では、自然材料から成る聖牛型水制工の設置、流れや流砂の制御、その後の自然復元までの経年変化を『聖牛の成長』と捉え、この『成長』に伴う水理機能の変化について初期的な知見が得られた。今後は、聖牛型水制工周辺の地形変動に伴う3次元流れ構造について流速計測を実施する予定である。また、得られた知見を踏まえ、実務における聖牛型水制工の土砂制御機能と順応性の評価を行う必要がある。

(4) 研究成果の公表

1. 張 浩、植原捺月、竹林洋史、竹門康弘、石田裕子、洪水時における伝統水制工周辺の流れ構造に関する研究、令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2023年2月21日、宇治市
2. 張 浩、植原捺月、竹林洋史、竹門康弘、石田裕子、伝統的河川工法「聖牛」周りの3次元水理乱流特性に関する研究、第26回応用力学シンポジウム、2023年5月27-28日、東京都
3. Zhang, H., Uehara, N., Takebayashi, H., Takemon, Y. and Ishida, Y., Characteristics of Turbulent Flow around Traditional Spur Dykes under Submerged Conditions, The 9th International Conference on Water and Flood Management (ICWFM 2023), Oct. 14-16, 2023, Dhaka, Bangladesh

P41

洪水時における伝統水制工周辺の流れ構造に関する研究 Flood Flow Structure around Traditional Spur Dykes

○張 浩・植原捺月・竹林洋史・竹門康弘・石田裕子

○Hao ZHANG, Natsuki UEHARA, Hiroshi TAKEBAYASHI, Yasuhiro TAKEMON, Yuko ISHIDA

Traditional spur dykes made of natural materials such as rocks, woods and bamboos have been widely implemented in alluvial rivers for water and flood management since ancient times. They provide certain controls of river flows and sediment transport with relatively low costs by taking full uses of local resources and natural energies. Traditional spur dykes are environmentally friendly and are developed with long histories and experiences. There is a high potential for their further applications in sustainable river management after revitalization. In this study, the local flow structures around typical traditional spur dykes under flood scenarios have been investigated experimentally, including a masonry spur dyke, a gabion spur dyke, a pile-group dyke, a Bandal-like spur dyke and a crib spur dyke (Seigyu). Based on the research results, both the mean flows and the turbulences are characterized, and their implications on the transport of sediment and nutrients are clarified.

1. はじめに

河川と共生する長い歴史の中で、人類が地域に根ざした特有の知識と技術に基づき、様々な伝統的河川工法を生み出してきた。伝統的河川工法は木、竹、石等の自然材料を最大限に生かし、地元住民による制作・維持管理が可能であるため、ローコスト・環境にやさしい工法としてよく知られている。加えて、数多くの河川でその実用性が確認されている。一方、経験や地域に依存する部分が多く、河川整備においては、試験施工の位置づけの域を出ていない。特に、洪水時における伝統工法の有用性がボトルネックと指摘され、科学的な知見に基づいた適切な機能評価が求められる。

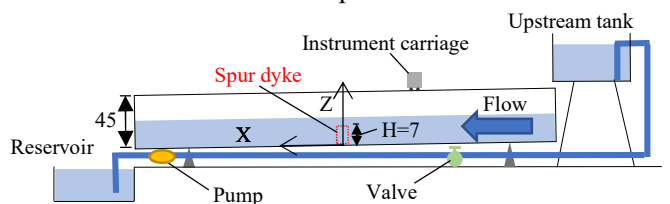
代表的な河川工法である水制は、河岸から河道の中心に張り出し、水はね、流速低減、土砂堆積促進などの機能があり、古くから世界的に用いられた。伝統的水制工は、経験的に把握された洪水流と土砂移動特性を踏まえて、小規模なもので大きなスケールの治水効果を発揮できる治水工法である。本研究では、様々な伝統的水制工周辺の流れの構造に着目し、伝統工法の水理特性と機能を実験結果に基づいて考察する。

2. 実験の概要

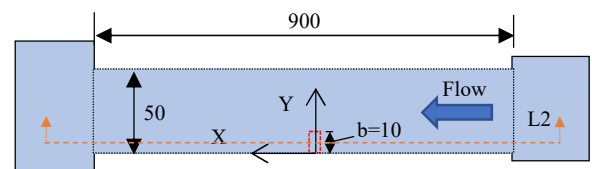
本研究は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーに設置された長さ 9.0m、幅 50cm、深さ 45cm の直線矩形水路を用いた(写真 1 と図 1)。



Photo 1 Experimental flume



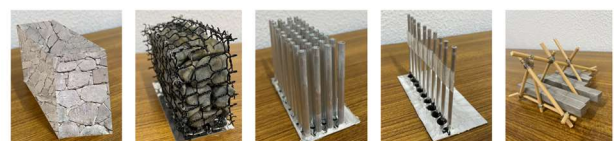
(a) Side view



(b) Plan view

(Unit: cm)

Figure 1 Experimental setup



Mansory

Gabion

Pile-group

Bandal-like

Seigyu

Photo 2 Spur dyke models

各実験ケースにおいては、水路勾配を 1/1000 に設定し、水路左岸側に伝統的水制工模型 1 基を設置した。石積み水制、石かご水制、杭出し水制、バンダル型水制と聖牛型水制の 5 種類の水制工について実験を行った（写真 2）。石積み水制、石かご水制と杭出し水制は世界の多くの地域で用いられてきた水制である一方、バンダル型水制はインド・バングラデシュを中心に設置されてきた水制である¹⁾。上部は竹や木を編んで作った水を通さないシートからなり、下部は竹や木を杭として河床に埋め込んだ透過構造となる。バンダル型水制は主に乾季の舟運改善を目的として用いられてきたが、近年、その河岸浸食防止や堆積促進効果も注目されるようになった。また、聖牛型水制は、丸太を三角錐や四角錐の形に組み上げ、足の部分に錘となる蛇籠を置き、川底へ設置する日本古来の工法である²⁾。聖牛型水制は河川の地形変動に順応し、数多くの急流河川でその有効性が確認された。

本実験は洪水流を想定し、水没した水制工周辺の 3 次元流速分布と水面形状を中心に、電磁流速計とポイントゲージを用いた詳細な計測を行った。実験の水理条件を表 1 に示す。

Table 1 Hydraulic conditions

流量 Q (l/s)	15.9	水路勾配 I	1/1000
等流水深 h (cm)	10.2	平均流速 U_0 (cm/s)	31.5
レイノルズ数 Re	31,800	フルード数 Fr	0.31

3. 結果と考察

本研究では、計測データに基づき、代表的な横断面と縦断面における流れ特性に関する解析とケース間の比較を行った。特に、実験結果から各ケースにおける平均流速、乱れ強度及びレイノルズ応力の分布を算出し、異なる伝統水制工の水理特性を明らかにした。

図 2 では一例として、代表的縦断面（L2）における平均流速ベクトル ($U/U_0, W/U_0$) 及び主流速 (U/U_0) コンターを示す。なお、 U_0 は断面平均流速、 U は縦断方向流速、 W は鉛直方向流速である。横軸と縦軸は、水制長さ b と等流水深 h にてそれぞれ無次元化したものである。全てのケースにおいて、水制直上流と直下流における主流速の低減と越流部における主流速の増加が確認された。一方、石積み水制、石かご水制と杭出し水制の実験結果から、水制構造物透過率の増加に伴い、背後渦が

弱くなることが確認された。また、バンダル型水制と聖牛型水制では、不透過なシート部や牛枠の影響により複雑な流れ場が形成された。

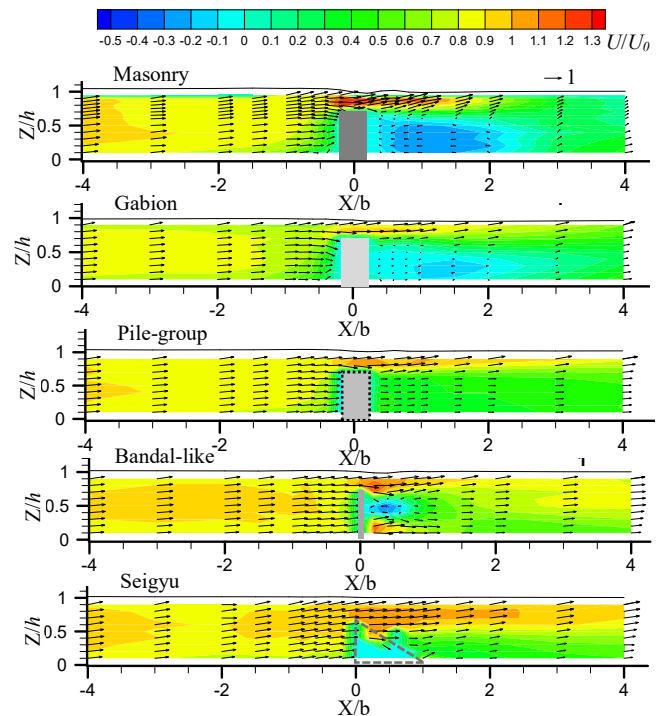


Figure 2 Dimensionless flow velocity along typical longitudinal cross-sections (L2 shown in Fig.1)

4. おわりに

本研究は、洪水時における代表的な伝統水制工周辺の 3 次元流れ構造を実験的に検討した。実験結果から、代表的な伝統水制工周辺の流れ場における共通点と構造物ごとの特徴が明らかとなった。伝統水制工の機能評価に向けて、流れが流砂・河床変動に与える影響やそれらの相互作用について研究を進める予定である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費（19KK0118）および京都大学防災研究所一般共同研究（2022-G05）の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Zhang, H., Nakagawa, H., Baba, Y., Kawaike, K., Rahman, M. M. and Uddin, M. N.: Hydraulic and morphological consequences of bank protection measures along the Jamuna River, Bangladesh, *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, No.54B, pp. 477-496, 2011
- 2) 田住真史・角哲也・竹門康弘：伝統的河川工法「聖牛」に関する知見の整理と木津川における試験施工, *京都大学防災研究所年報*, 第 61 号 B, pp.748-755, 2018

伝統河川工法「聖牛」周りの3次元水理乱流特性に関する研究（シンポジウム講演概要）

Characteristics of Three-dimensional Turbulent Flow around Traditional Crib Spur Dyke

(Proceedings of Symposium on Applied Mechanics)

張 浩（熊本大） 植原 捺月（熊本大） 竹林 洋史（京都大） 竹門 康弘（京都大） 石田 裕子（摂南大）

Hao ZHANG, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University

Natsuki UEHARA, Faculty of Engineering, Kumamoto University

Hiroshi TAKEBAYASHI, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Yasuhiro TAKEMON, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Yuko ISHIDA, Faculty of Science and Technology, Setsunan University

E-mail: hzhang@kumamoto-u.ac.jp Tel & Fax: 096-342-3579

This paper presented an experimental study on the three-dimensional mean flow and turbulence characteristics around a traditional Japanese crib spur dyke (Seigyū) under flood scenarios. In particular, this research focused on the time-averaged mean flow structures, the local water surface profiles, the turbulence kinetic energies and the Reynolds stresses. The results showed that the flow accelerated due to spur dyke overtopping and mainstream narrowing, the velocity reduced in the wake zone of the spur dyke and the flow separated due to the intensification of lateral flow. Due to the unique shape of the spur dyke, local downward and upward flows as well as complex distributions of turbulence kinetic energies and Reynolds stresses were observed in the vicinity of the spur dyke. The results demonstrate that the crib spur dyke enhances flow diversities and promotes exchanges of mass and momentum in both the vertical and the lateral directions.

1. はじめに

令和2年7月熊本県球磨川水害をはじめとする激甚河川災害をきっかけに、気候変動を見据えた流域治水への転換が全国的に広がるようになった。流域治水の実施においては、多様な治水手法の組合せや様々なステークホルダー間の連携が強く求められる。一方、自然材料と自然営力を活かした伝統河川工法は、経験的に把握された洪水流と土砂移動特性を踏まえて、小規模な対策で大きなスケールの治水を発揮できる住民参加型治水工法である。伝統河川工法は流域治水の理念に合致しており、技法の改良や近代的治水技術との融合による技術イノベーションが期待される¹⁾。

伝統河川工法「聖牛」は丸太を三角錐の形に組み上げ、足の部分に鍾となる蛇籠を置き、川底へ設置する日本古来の工法である。聖牛は木、竹、石等の自然材料を最大限に活かし、地元住民による制作・維持管理が可能であるため、ローコスト・環境にやさしい工法としてよく知られている。加えて、聖牛は流れに対する安定性と地形順応性を兼ね備えた工法であり、富士川、大井川や木津川等数多くの河川でその実用性が確認されている^{2), 3), 4)}。一方、経験や地域に依存する部分が多く、聖牛に関する基礎研究が不足し、科学的な知見に基づいた適切な機能評価が求められる。その結果、河川整備においては、試験施工の位置づけの域を出ていない。本研究では、洪水時における聖牛の水理機能に着目し、強い3次元局所流構造と乱れ特性について実験によって検討を行った。

2. 実験概要

京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーに設置された長さ9.0m、幅50cm、深さ45cmの直線矩形水路を用いて基礎水理実験を行った（写真1と図1）。聖牛模型は、長さ7cmの木棒1本、長さ8.6cmの木棒6本、長さ10cmの木棒1本、長さ15cmの木棒2本と長さ16cmの木棒1本の計11本の木棒を三角錐型に組み上げ牛杵を作成した（図2）。また、幅と高さ1cm、長さ10cmの金属棒3本、幅と高さ1cm、長さ4cmの金属棒3本を鍾として用いた。実験は洪水流を想定し、水没した聖牛周辺の代表地点における流速と水位計測を行った。実験の水理条件を表1に示す。

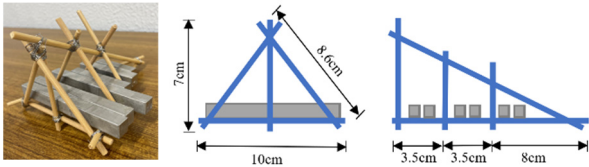
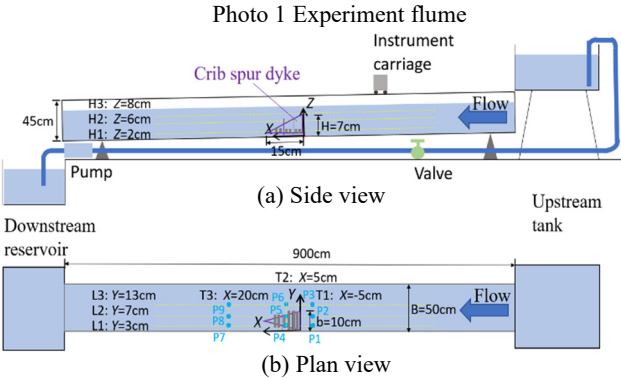


Fig. 2 Details of the crib spur dyke

Table 1 Hydraulic conditions in the experiment

流量 Q (l/s)	15.9	水路勾配 I	1/1000
等流水深 h (cm)	10.2	平均流速 U_0 (cm/s)	31.5
レイノルズ数 Re	31,800	フルード数 Fr	0.31

3. 結果と考察

実験データに基づき、代表断面や代表地点における水面形状、時間平均流速、乱れエネルギー及びレイノルズ応力を算出し、各水理量の変化と分布特性に重点を置き、聖牛の水理機能を考察する。ここでは、代表的縦断面 ($L1, L2, L3$) と横断面 ($T1, T2, T3$) における平均流速及び代表地点 ($P1-P9$) における乱れエネルギーの水深方向の分布を図3と図4に示し、その特徴を簡単に述べる。なお、 U_0 は断面平均流速、 U は縦断方向 (X) 流速、 V は横断方向 (Y) 流速、 W は鉛直方向 (Z) 流速、 k は乱れエネルギー、 u_* は摩擦速度である。また、横軸と縦軸は、聖牛長さ b と等流水深 h にてそれぞれ無次元化したものである。

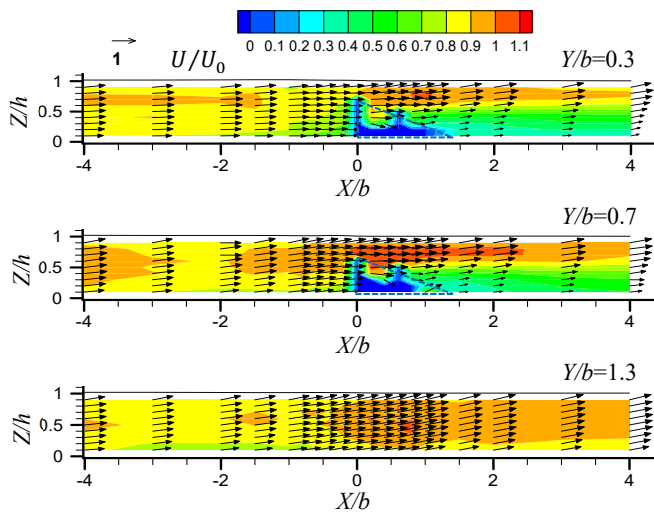


Fig. 3 Velocity vectors (U/U_0 , V/U_0) in the typical longitudinal cross-sections

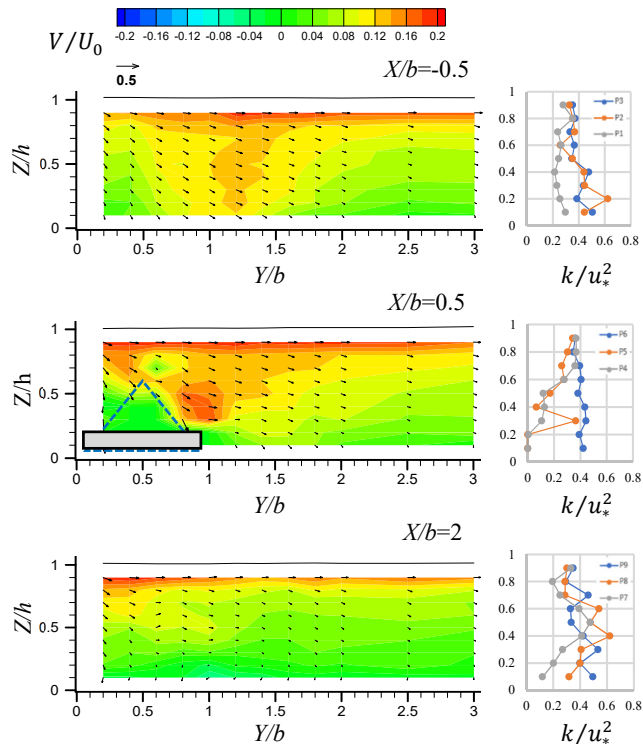


Fig. 4 Velocity vectors (V/U_0 , W/U_0) in the typical transverse cross-sections (left) and distribution of turbulence kinetic energy k/u_*^2 at typical locations (right)

聖牛本体を通る縦断面 $L1$ ($Y/b=0.3$) と $L2$ ($Y/b=0.7$) においては、流れが聖牛を直撃し、流速が低下するとともに、底面に向かう下降流が生じた。水面付近では天端越流に伴い、急激な流速増加が広範囲に見られ、その結果、聖牛背後水域の上層と下層では大きな速度勾配を生じた。この区域では鉛直方向の強い流れ混合が推測される。また、聖牛本体の枠内に生じる下降流と対照的に、聖牛下流では上昇流が確認された。一方、主流域寄り縦断面 $L3$ ($Y/b=1.3$) では、聖牛の縮幅効果で聖牛下流には縦断方向流速の増加が確認された。

聖牛直上流横断面 $T1$ ($X/b=-0.5$) と直下流横断面 $T2$ ($X/b=0.5$) の流速ベクトル図より、聖牛域から主流域に向かう横断流れと河床に向かう下降流の発生が共通な特徴であることが分かる。一方、聖牛から離れる下流横断面 $T3$ ($X/b=2$) において、河床の近くでは、主流域から聖牛域に向かう流れが見られた。また、聖牛本体を通る横断面 $T2$ では、河床近傍だけでなく、全水深において、聖牛の枠と鍾の影響を強く受け、局所的には大きな値が見られた。

代表地点 ($P1-P9$) における乱れエネルギー分布図から、聖牛背後水域 ($P4$ と $P5$) の値が最も小さいことが確認された。また、この水域では、水深の増加に伴い乱れエネルギーが小さくなる傾向が見られるものの、聖牛の特殊な枠構造で局所的に高い値が聖牛の枠内で生じたと考えられる。

4. 結論

日本の伝統河川工法「聖牛」周辺の3次元洪水流構造について、基礎水理実験を用いて調べた。その結果、聖牛背後では広範囲にわたる低流速域の形成、天端越流や主流域縮幅による主流速の著しい増加、水はねによる横断流速の加速等が見られた。また、聖牛の特殊な枠構造と下部鍾によって、局所的な下降流と上昇流等複雑な流れが生じ、乱れエネルギーも場所によって大きく異なることが確認された。聖牛は流れの多様性を創出するだけでなく、背後水域上下層間の鉛直混合と聖牛域・主流域間の横断混合を促すことが期待される。今後は、移動床水理実験を実施し、流れ・土砂輸送と河床変動との関係を一層解明するとともに、聖牛の防災と環境機能を体系的に評価する予定である。

5. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (19KK0118) および京都大学防災研究所一般共同研究 (2022-G05) の助成を受けたものである。実験施設や実験機材のご協力いただいた京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー関係者の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 張浩, 植原捺月, 竹林洋史, 竹門康弘, 石田裕子, 洪水時における伝統水制工周辺の流れ構造に関する研究, 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P41, 京都府宇治市, 2023.
- 2) 和田一範, 有田茂, 後藤知子, わが国の聖牛の発祥に関する考察—近世地方書にみる記述を中心として—, 土木史研究論文集第24巻, 2005.
- 3) 田住真史, 角哲也, 竹門康弘, 伝統的河川工法「聖牛」に関する知見の整理と木津川における試験施工, 京都大学防災研究所年報, 第61号B, pp.748-755, 2018.
- 4) 富永晃宏, 庄建治朗, 内藤健, 松本大三, 伝統的河川工法「聖牛」の水理機能と河床洗掘防止効果に関する実験的研究, 水工学論文集第49巻, pp.1009-1014, 2005.

CHARACTERISTICS OF TURBULENT FLOW AROUND TRADITIONAL SPUR DYKES UNDER SUBMERGED CONDITIONS

H. Zhang^{1*}, N. Uehara², H. Takebayashi³, Y. Takemon⁴ and Y. Ishida⁵

¹ Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University,
Kumamoto 860-8555, Japan, e-mail: hzhang@kumamoto-u.ac.jp

² Fujita Corporation,
Tokyo 151-8570, Japan, e-mail: natuki.uehara@fujita.co.jp

³ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,
Kyoto 612-8235, Japan, e-mail: takebayashi.hiroshi.6s@kyoto-u.ac.jp

⁴ Faculty of Liberal Arts, Sciences and Global Education, Osaka Metropolitan University,
Sakai City, Osaka 599-8531, Japan, e-mail: takemon.yasuhiro.5e@gmail.com

⁵ Faculty of Science and Engineering, Setsunan University,
Neyagawa City, Osaka 572-8508, Japan, e-mail: ishida@civ.setsunan.ac.jp

1. INTRODUCTION

Spur dykes are a kind of man-made hydraulic structure protruding from a river bank into a river course. They alter the river flow in terms of both the magnitude and the direction, and are widely used in the world for water and flood management (Zhang and Nakagawa, 2008). Historically, spur dykes were made of natural materials such as rocks, woods and bamboos, although they have been largely replaced by modern construction materials such as concretes in many alluvial rivers over the decades. Traditional spur dykes are capable of controlling the river flow and sediment transport with a relatively low cost by taking full uses of local resources and natural river energies. They are considered as environmentally friendly technologies in river management and show a high potential for further applications nowadays with the increasing of public environmental concerns.

In general, traditional spur dykes are developed with long histories and experiences by local people and communities. A specific structure may be successfully implemented in a specific river, but the applicability to other rivers rather than its origin is unknown due to limited scientific evidences on its performance. There is a pressing demand for the clarification of the working principles of traditional spur dykes. Moreover, failures of traditional spur dykes in flood seasons occurred in many rivers such as the Jamuna River in Bangladesh and the Kizu River in western Japan, according to the authors' field surveys in the past two decades. It is hence important to properly assess their performances under flood conditions. In this study, the local turbulent flow structures around typical traditional spur dykes are investigated under submerged flow conditions with experimental methods. In particular, the three-dimensional mean flow structures and the turbulence characteristics, as well as their implications on sediment transport are emphasized.

2. METHODOLOGY

A series of laboratory experiments were conducted in a straight tilting flume in the Ujigawa Open Laboratory of Kyoto University (Fig.1). The flume is 9m in length, 50cm in width and 45cm in depth, with an inlet tank attached upstream and a receiving reservoir downstream. The channel slope is adjusted to 1/1000 and a model spur dyke is installed on the left side of the flume. Typical traditional spur dykes under flood scenarios have been investigated, including a masonry spur dyke, a gabion spur dyke, a pile-group dyke, a Bandal spur dyke and a crib spur dyke as shown in Fig.1. The former three are commonly constructed in many rivers even nowadays, while the latter two are relatively unique. The Bandal spur dyke is a kind of traditional spur dyke used mostly in the Indian subcontinent for domestic navigation enhancement in low water periods. It physically appears as a vertical screen mounted on a frame. The upper part of the Bandal is closed with bamboo thatch to

divert flows to the mainstream, while the lower part is left open allowing flows to pass the structure with reduced velocities. The Bandal spur dyke is effective not only in deepening navigation channels but also in promoting sediment deposition along river banks (Zhang and Nakagawa, 2018). The crib spur dyke has been used in Japan for channel stabilization since ancient times, placing on riverbeds and consisting of logs and gabions (Tazumi et al, 2018). The logs are assembled in the shape of a cone or a pyramid, and gabions are placed on the base of the crib as weights. The crib spur dyke is called Seigyū in Japan and works well in many rivers, showing structural stability against floods and morphological flexibility. The hydraulic conditions of the experiments are shown in Tab.1. In the experiments, the water levels and the 3D velocity components in typical cross-sections are measured with a point gauge and an electromagnetic velocimetry, respectively.

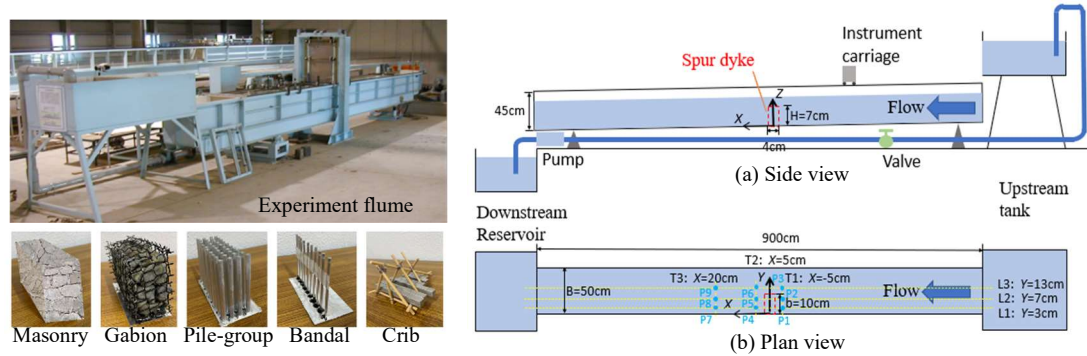


Figure 1: Photos and sketches of the experiment setup

Table 1: Hydraulic conditions

Flow discharge Q (l/s)	Channel slope I	Water depth h (cm)	Flow velocity U_0 (cm/s)	Reynolds number Re	Froude number Fr
15.9	1/1000	10.2	31.5	31,800	0.31

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The temporal mean velocity, the turbulence energy, the Reynolds stress and the local water surface slope in all experimental cases were analyzed and compared with each other. As a result, the flow acceleration, flow reduction and flow separation effects have been found in all spur dyke cases. In general, it was found that the masonry spur dyke has the greatest effect on the mean flow and the turbulence. The porosity of the gabion spur dyke and the pile-group, the bamboo thatch of the Bandal spur dyke and the unique shape of the crib spur dyke play important roles in the hydraulic functions of traditional spur dykes.

4. CONCLUSIONS

An experimental study was presented on the characteristics of the turbulent flow around different traditional spur dykes. The common features and the uniqueness of each spur dyke are characterized. The research work provides important information for the vitalization of traditional technology.

Acknowledgements: This research is financially supported by JSPS Kakenhi (Grant No. 19KK0118) and DPRI collaborative Research Fund of Kyoto University (Grant No. 2022-G05).

5. REFERENCES

Zhang, H. & Nakagawa, H. (2008). Scour around spur dyke: recent advances and future researches, *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, No. 51B, 633-652.

Zhang, H. & Nakagawa, H. (2018). Validation of indigenous knowledge for disaster resilience against river flooding and bank erosion, In: *Science and Technology in Disaster Risk Reduction in Asia: Potentials and Challenges* (R. Shaw, K. Shiwaoku & T. Izumi eds.), Elsevier, 57-76.

Tazumi, M., Sumi, T. & Takemon, Y. (2018). A review of Japanese traditional river works Seigyū and an experimental trial in the Kizu River. *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, No. 61B, 748-755. (in Japanese)