

## 3次元測量を踏まえた特徴的な治水施設の水利的評価

八千代エンジニアリング(株) ○ 松浦 祐樹  
八千代エンジニアリング(株) 竹村 仁志  
八千代エンジニアリング(株) 田中 俊介

### 論文要旨

兵庫県姫路市を流れる市川の改修計画検討にあたり、江戸時代から引き継がれている治水施設の機能を評価した。UAV測量などから得られた3次元測量データにより河道および構造物の形状を詳細に把握し、3次元流体モデルにより、施設の機能を評価した。特徴的な治水施設のなかでも明治時代に設置された水制工は、水制工直下流に位置する堤防や樋門への洪水流の直撃を防止し、姫路市街地を洪水被害から守るために重要な施設であることを水理解析により明らかにした。

キーワード：河道改修、水制工群、3次元流体モデル、3次元測量データ

### まえがき

姫路市内を流れる二級河川市川は平成22年3月に河川整備計画<sup>1)</sup>が策定され、下流区間から順次改修が進められている。平成28年度から砥堀工区の改修に着手するにあたり、具体的な改修計画の検討が必要であった。

また、砥堀工区には江戸時代から明治時代にかけて設置された斜め堰・樋門・水制工などの治水・利水に関する伝統技術を有する特徴的な施設が存在する。そこで、本業務ではこれらの施設が有する治水・利水機能を最新の技術による評価し、施設の機能・効果を考慮した合理的かつ持続可能な河川改修計画を検討した。

なお、本論文では、砥堀工区における河道改修計画の検討において機能を評価した特徴的な治水施設のうち、水制工群の機能評価について述べる。

### 1. 砥堀工区の概要

市川は、その源を兵庫県朝来市生野町の青倉山(標高811m)に発し、神河町で小田原川、越智川、市川町で岡部川等の支川をあわせ、姫路市飾磨区において播磨灘に注ぐ、流域面積506km<sup>2</sup>、本川の法河川延長約78kmの二級河川である。砥堀工区は下流部の高木橋周辺から生野橋周辺の延長約3kmの区間である(図-1)。

姫路城史<sup>2)</sup>によると、寛延二年(1749)の洪水では砥堀工区にある飾磨樋門が決壊し、姫路城や姫路城下一帯に大きな被害を及ぼした記録が残っている。このことから現在の姫路市中心部を市川の洪水被害から守るために重要な箇所である。

また、現況の流下能力は市川水系河川整備計画で定められた目標流下能力2400m<sup>3</sup>/sに対して、現況の堤防高から所

定の余裕高を考慮した高さでは安全に流下させることができない状況であり、流下能力が不足する区間である。

流下能力が不足する区間であること、姫路市街地を水害から守る重要箇所であること、また、江戸時代から明治時代に造られた施設であるため老朽化が進んでいること、昨今の集中豪雨の頻発などを踏まえると、河道改修の早期着手が必要な工区であると言える。



図-1 市川流域図<sup>1)</sup>

## 2. 市川砥堀工区の特徴的な施設

市川砥堀工区には、図-2 に示すような、斜め堰や水制工、樋門など特徴的な施設が存在する。本論文の対象施設である水制工群は、洪水時の主流を右岸側堤防から左岸の山付部に向け、右岸堤防と飾磨樋門を洪水流から守るために、明治 33 年に石積みによる 5 基の突堤が設けられたといわれている。

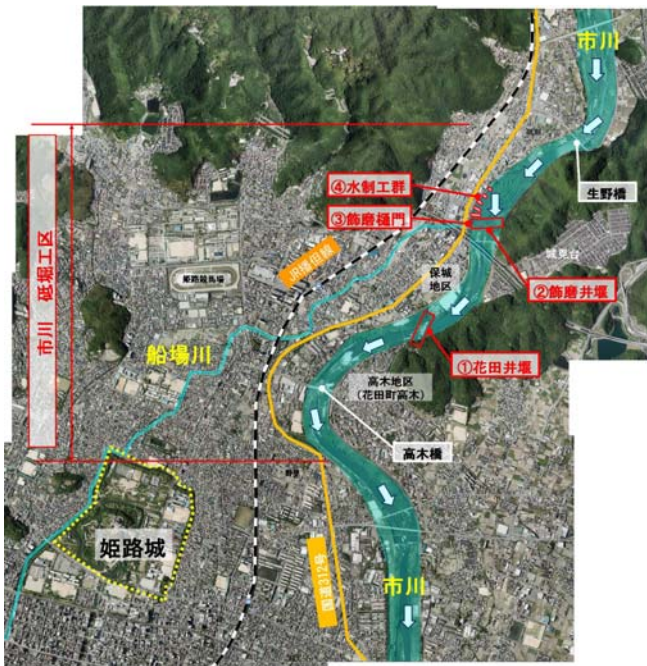


図-2 市川砥堀工区の伝統的技術を有する特徴的な施設



図-3 水制工群周辺の空中写真

## 3. 最新の河道形状の把握

市川砥堀工区の最新の河道形状を把握するために、UAV レーザ測量やラジコンボート深淺測量などを組み合わせた三次元測量を実施し(図-4)、三次元モデルデータ、点群データ、オルソ画像、河床高データを取得した。

水制工群周辺の河床は水制工間で河道中央部の河床高よりも局所的に低く、水制工群が淵・深みの形成に寄与していることが示唆された。

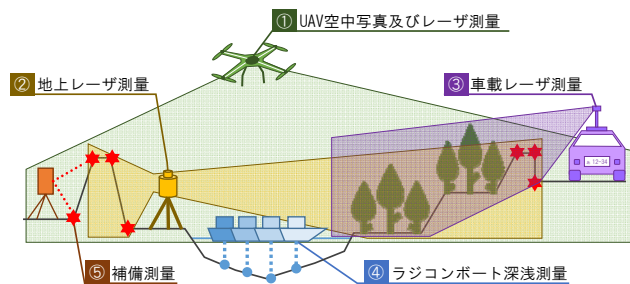


図-4 各測量の作業イメージ

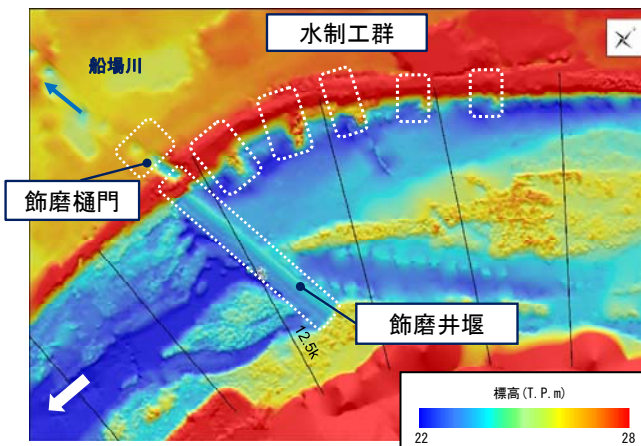


図-5 水制工群周辺の地盤高コンター

## 4. 水理解析モデルの構築

水制工群を含む市川砥堀工区内の特徴的な施設の機能を評価するために、構造物周辺で発生する複雑な流れを精度よく再現することが可能な三次元流体モデルによる水理解析を行った。

### (1) 三次元流体モデルの概要

本業務ではオープンソースとして無償で公開され、多くの利用者によって性能テストが行われている代表的な流体解析プログラムである「OpenFOAM」を採用した。

「OpenFOAM」は多相流や燃焼、磁場などの用途に応じた各種ソルバを有しているが、そのうち等温、非圧縮、不混和流体の2相流(水・空気)を対象とした interFOAM ソルバを使用した。

### (2) 解析モデルの構築

三次元測量データに基づき、三次元地形モデルを構築した。

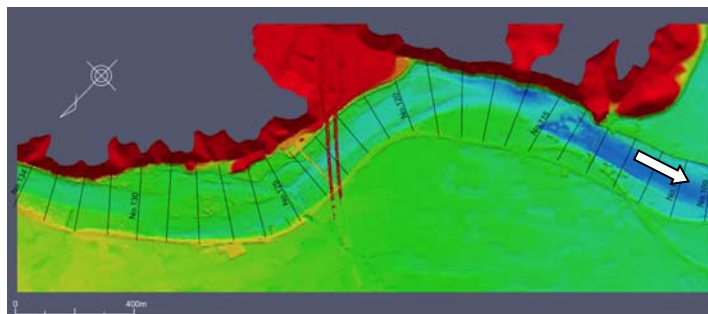


図-5 砥堀工区における解析地形モデル

### (3) 三次元流体モデルの精度検証

近年、痕跡水位調査および流量観測が実施された平成23年台風12号出水(砥堀観測所ピーク流量2790m<sup>3</sup>/s)を対象に三次元流体モデルの精度を検証した。

その結果、表-1 および図-6 に示す通り、痕跡水位と計算水位はほぼ1:1の関係があり、再現性が良好であると判断された。

表-1 痕跡水位と計算水位の比較

| 距離標    | 痕跡水位(T.P.m) |       | 計算水位(T.P.m) |
|--------|-------------|-------|-------------|
|        | 左岸          | 右岸    | (河道中心線上)    |
| No.125 | 27.13       | 27.38 | 27.56       |
| No.124 | 27.22       | 27.07 | 26.97       |
| No.122 | 26.47       | -     | 25.77       |
| No.118 | -           | 25.30 | 25.07       |
| No.112 | 23.17       | 22.91 | 22.64       |

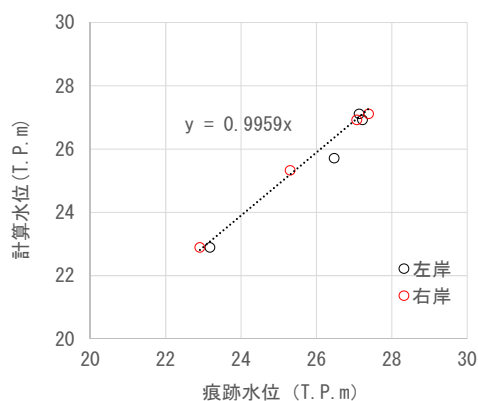


図-6 痕跡水位と計算水位の比較

## 5. 水制工群の効果検証

飾磨樋門上流側に設置されている5基の水制工群について、3次元流体モデルにより、砥堀工区の整備計画目標流量(2,400m<sup>3</sup>/s)流下時の流速低減効果および流向制御効果を確認した。

### (1) 検討ケースの設定

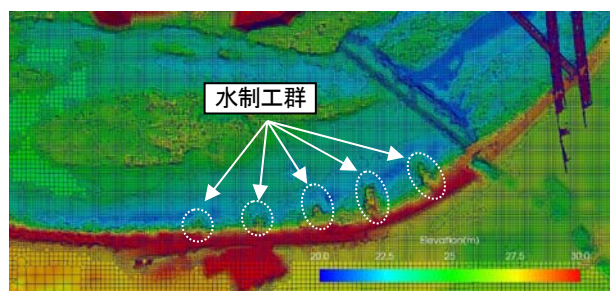
水制工群の効果については3次元測量データから河道形状を再現した「ケース1:水制工あり」と、水制工群の形状を除去した「ケース2:水制工なし」を設定し、これらの2ケースの流況を比較することにより、水制工群の効果を検討することとした。

### (2) 水制工群の効果検証

水制工群の有無による2ケースを比較することにより、明らかになった水制工群の効果は以下の通りである。

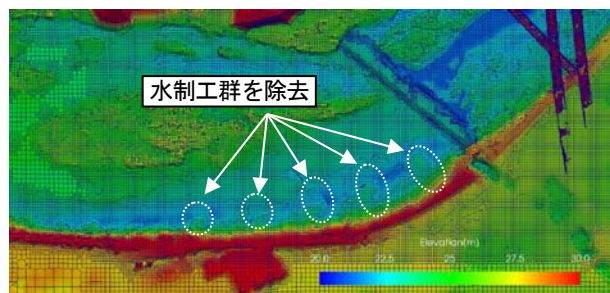
#### ①流速分布

ケース2:水制工なしの場合は、右岸堤防付近まで流速6m/s程度の速い流れが生じているが、ケース1:水制工ありの場合は、水制工より河道中央部の範囲では6m/s程度の速い流れが確認されるものの、水制工が存在する堤防付近の流れは遅くなっている。



【ケース1:水制工群ありにおける河道内地形】

図-7 水制工群効果検証における河道内地形



【ケース2:水制工群なしにおける河道内地形】

図-8 水制工群効果検証における河道内地形

表-2 水制工群効果検証における解析条件

| 項目     | 解析条件                             |
|--------|----------------------------------|
| 解析対象範囲 | No.109(高木橋上流側)~No.134(生野橋下流側)    |
| 上流端流量  | 整備計画目標流量2400m <sup>3</sup> /s 定常 |
| 下流端水位  | T.P.22.6m(別途実施した不等流計算水位)         |
| 計算時間   | 600秒(流況が安定するまでの時間)               |

#### ②流向(流速ベクトル)

飾磨樋門前面では、ケース1:水制工ありの場合の方が、流れが遅い範囲が存在することで河道中央部での流速が速くなっているが、その流れの向きは下流側に向かっており、水制工の流向制御効果により飾磨樋門を避けた流れが生じている。ケース2:水制工なしの場合は、堤防及び飾磨樋門際まで速い流れが生じ、その流向は右岸堤防や飾磨樋門に向う流れであるため、堤防及び飾磨樋門の安全性はケース1:水制工群ありに比べ低下すると考えられる。

#### ③まとめ

ケース2:水制工群なしでは右岸堤防近傍流速が2m/s以上で河岸浸食の可能性が高まるため、護岸等による防御が不可欠となる。一方で、ケース1:水制工群ありでは水制工群の流速低減効果及び流向制御効果より、右岸堤防及び飾磨樋門周辺の流速が流速2m/s以下となり、河岸浸食からの防護する効果と、右岸堤防や飾磨樋門へ洪水流の直撃を避ける効果を確認した。

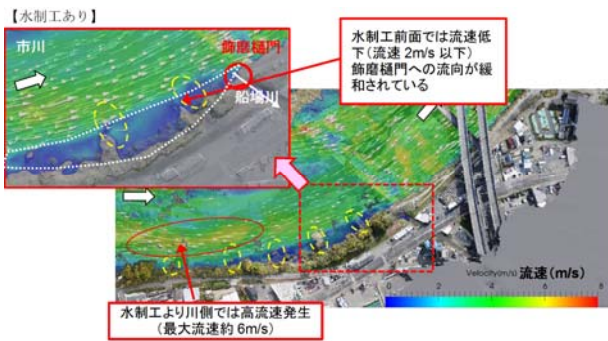


図-9 ケース1：水制工群ありにおける流速・流向分布

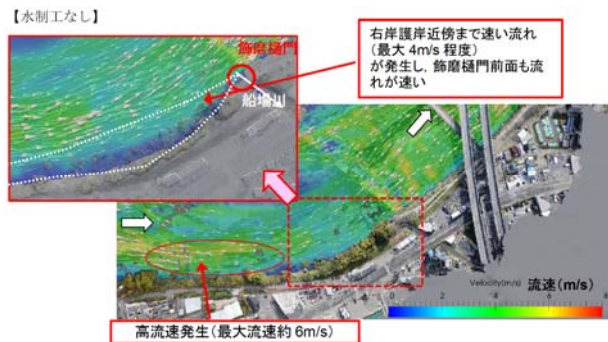


図-10 ケース2：水制工群なしにおける流速・流向分布

## あ と が き

本業務では市川砥堀工区に現存する特徴的な治水・利水の機能を評価し、施設の機能・効果を考慮した合理的かつ持続可能な河道改修計画を検討したが、検討結果に基づく河道改修計画は、学識者、地元住民、行政で構成される委員会<sup>3)</sup>においても検討された。

また、水制工や斜め堰といった伝統技術が現存する河川も多く、これから具体的な河道改修計画を検討する必要がある河川においても、本業務で実施した検討と同様に、現在の施設の機能・効果を定量的に把握し、それらの伝統技術を将来に引き継ぐことが可能かという観点を持った河道改修計画の検討を進めていくことが望ましい。

本論文は、受託業務成果の一部を抜粋・追記して取りまとめたものであり、業務実施にあたり、兵庫県姫路土木事務所河川砂防課をはじめ、多大なるご指導、ご協力を頂きました関係者の方々に深くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 市川水系河川整備計画：兵庫県，H. 22. 3. (一部加筆)
- 2) 橋本政次：新訂姫路城史 中巻，臨川書店，S22. 7. 15
- 3) 市川砥堀工区河道計画検討委員会：兵庫県，  
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/chk10/ichikawaiinnkai.html>