

## 小判型橋脚周辺の洗堀機構の解明とその制御に関する研究

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○本廣 一輝  
 正会員 渡辺 勝利  
 正会員 宇根 拓孝

## 1. 目的

洪水時、河川を横断する橋梁を支える橋脚周辺には、局所的な洗堀が発生する恐れがある。過度な洗堀が基礎地盤まで到達すると、橋梁が沈下あるいは傾斜することで、甚大な人命被害や河川災害をもたらす。このため、河道内に設置された橋脚を計画する際には、橋脚周辺で発生する水理現象に関する知識や現象予測が必要になってくる。

本研究は、小判型橋脚を対象に、流れの可視化と流速計測、移動床実験によって、橋脚周辺に発生する洗堀現象の形成因を検討し、制御法の開発を試みることを目的とする。

## 2. 実験装置及び方法

図-1 には、本実験に使用した実験水路を示している。同図(a)は、可視化実験と流速計測を行った、長さ10m、幅60cm、高さ15cmの総アクリル製水路である。同図(b)は移動床実験に用いた水路であり、幅40cmで上流の3mの直線部と下流の蛇行部から構成されている。移動床実験は図中に赤破線で示すように直線部において実施された。図-2 にはその詳細が示されている。この区間に幅40cm、長さ1m、厚さ2cmの塩化ビニル樹脂板を上下流に1枚ずつ施設し、その間の1m区間に標準砂を充填した。

可視化、流速計測では、図-3(a)に示すような小判型橋脚模型を使用した。可視化実験では蛍光染料注入法を用いた。流速計測法にはPTV（Particle Tracking Velocimetry）を採用した。実験方法の詳細は文献1）に詳述されており、ここでは省略する。

移動床実験では図-4に示すような4種類の橋脚模型を用いた。(a)はプロトタイプの橋脚模型である。(b)は橋脚側面にフィンを1cmの間隔で取り付けている。(c)は、(b)のような連続的な取り付けではなく、河床部分に埋没するように橋脚最底部から1cm間隔2枚の取り付けしている。(d)は橋脚模型の前面に3つの三角形の板を3枚取り付けている。

これらの模型を標準砂が充填された領域に固定し、通水した。通水中には洗堀現象を詳しく観察した。通水後には、砂面の地形変形状況をレーザー変位計を用いて砂面形状を測定した。

表-1には本実験の実験条件を示している。

## 3. 実験結果および考察

## (1)可視化実験結果

小判型橋脚模型を用いて、模型周辺の流れの特徴を把握するために、流れの可視化法を用いて検討し

た。馬蹄形渦の観測を容易にするために、可視化実

験-5 には、小判型橋脚周辺の可視化実験から得られた、同図(a)全体視および(b)縦断面視の一例をしめしている。全体視においては、流れは左から右である。これより、小判型円柱の上流の壁面上には縦渦構造が形成されていることが認められる。また、橋脚周辺には赤破線で囲んで示したように縦渦構造が巻き付いて、全体として馬蹄形渦の様相を呈していることがわかる。同図(b)は橋脚中心位置 $z=0.0\text{cm}$ の縦断面視の一例である。流れは右から左である。橋脚模型の上流側には水色破線で囲んで示したように、縦渦構造の先端部の横渦形象が可視化されている。特に注目されるのは、赤破線で囲んで示した渦巻き形象である。これは時計方向の顕著な回転運動が観察された。これは、上流で形成された縦渦構造が橋脚模型を通過する際に渦軸が横断方向に向くことにより横断方向を軸とする回転運動が観察されると考えられる。この渦運動によって、橋脚模型の前面には顕著な洗堀が発生すると考えられる。

## (2)PTV計測結果

可視化実験で観察されたように、橋脚模型の前面では、顕著な渦運動が認められた。これを詳察するためにPTVにより瞬間流速分布の計測を行った。その結果を図-6に示す。同図(a)には流れ方向を正とした瞬間主流速分布( $u$ )を示している。これから、橋脚・河床部周辺は相対的に減速しており、黒破線で囲った部分には逆流領域が形成されていることが分かる。これは、可視化実験で観察された縦渦構造の回転運動によって誘起されたと考えられる。同図(b)は縦断面における瞬間鉛直流速分布( $v$ )を示す。流れが橋脚に衝突する白破線で囲った部分には、鉛直下向きの変流の形成が観測されている、これも縦渦構造により誘起されていると考えられる。図(c)には流れ方向における瞬間流速分布に流れ方向ベクトルを重ね合わせたものであり、これから、可視化実験で見られた時計方向の旋回流の形成が明らかに認められる。も下降流と馬蹄形渦の発生が示されていることが分かる。同図(d)には横断方向を軸とする瞬間渦度 $\omega_z$  ( $\partial v/\partial x - \partial u/\partial y$ )の分布を示している。本図において寒色は時計方向、暖色は反時計方向の渦度を示している。これより、橋脚前面には底壁面上に高い時計方向の渦度の分布が形成されていることが明瞭である。これは、上述の縦渦構造の時空間的集中によって引き起こされていると考えられる。

キーワード Oval type pier, fined pier, drugging phenomena, drugging control, longitudinal vortex

連絡先 〒745-0000 山口県周南市学園台

T E L 090-3170-0132

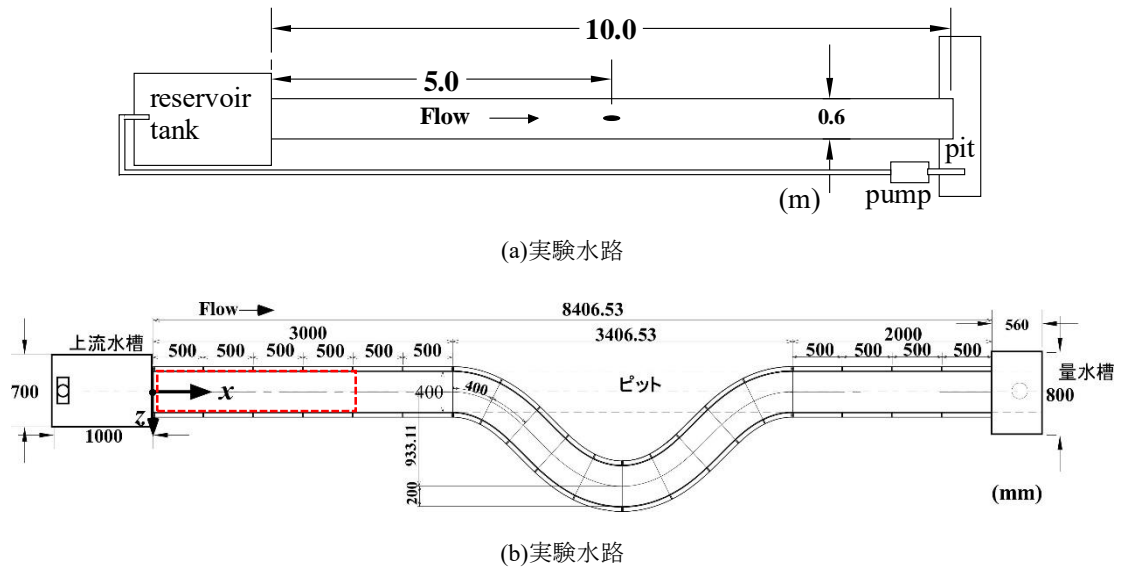


図-1 実験水路

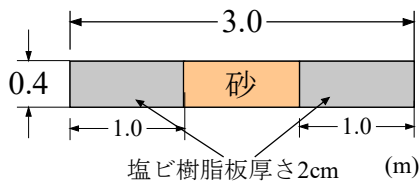


図-2 移動床部

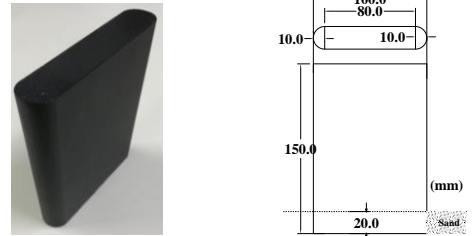
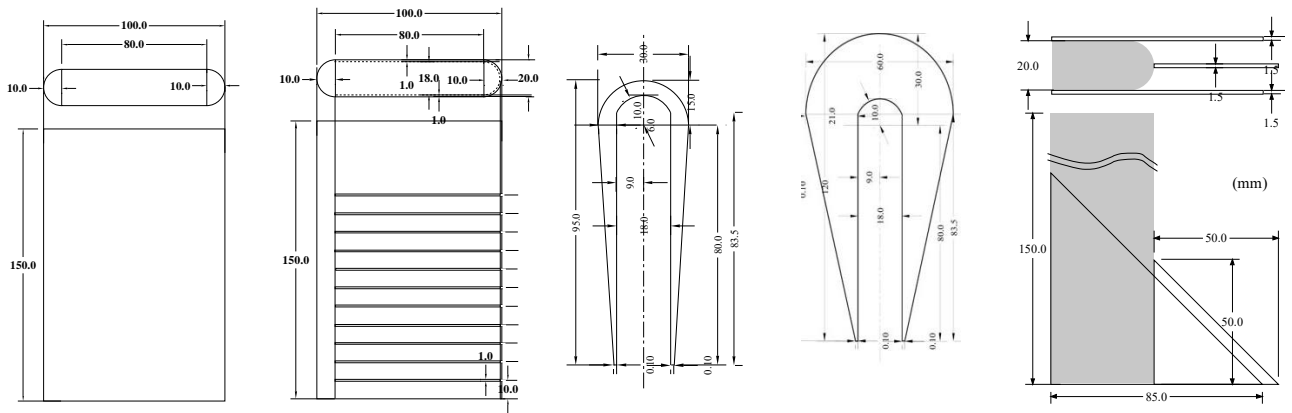


図-3 橋脚模型（流れの可視化，流速計測）



(a)プロトタイプ模型

(b)小型翼型フィン模型

(c)大型翼型フィン模型

(d)三角形フィン模型

図-4 移動床実験用橋脚模型

表-1 実験条件

| 各種実験 | 流量                        | 水深             | 平均流速                      | 粘性係数                        | レイノルズ数          | フルード数                       | 適用      |
|------|---------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|---------|
| Case | $Q[\text{cm}^3/\text{s}]$ | $H[\text{cm}]$ | $U_m[\text{cm}/\text{s}]$ | $\mu[\text{cm}^2/\text{s}]$ | $Re[U_m H/\mu]$ | $Fr[U_m/(\text{g}H)^{0.5}]$ |         |
| A    | 2987.67                   | 8.10           | 6.147                     | 0.00872                     | 5709.72         | 0.069                       | 可視化     |
| B    | 3055.7                    | 8.00           | 6.366                     | 0.00874                     | 6009.95         | 0.072                       | PTV     |
| C    | 10511.80                  | 10.90          | 24.110                    | 0.01180                     | 22261.90        | 0.233                       | フィン無し   |
| D    | 9986.20                   | 10.90          | 22.904                    | 0.01220                     | 20370.50        | 0.222                       | 翼型フィン   |
| E    | 8423.29                   | 9.50           | 22.167                    | 0.09100                     | 15427.27        | 0.230                       | 大型翼型フィン |
| F    | 9213.76                   | 9.80           | 23.504                    | 0.01230                     | 12457.69        | 0.240                       | 三角フィン   |

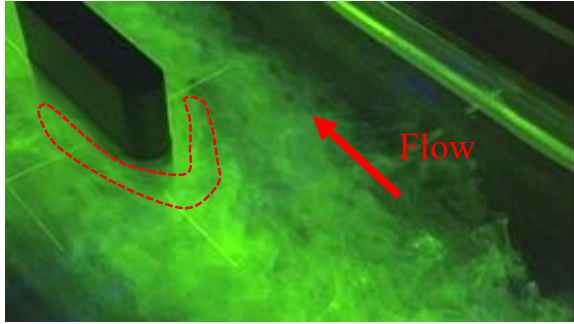
(3) 移動床実験結果

本研究では、これまでの検討結果を踏まえて、移動床実験を行い、橋脚模型周辺に発生する洗堀を軽減可能とする手法を検討した。

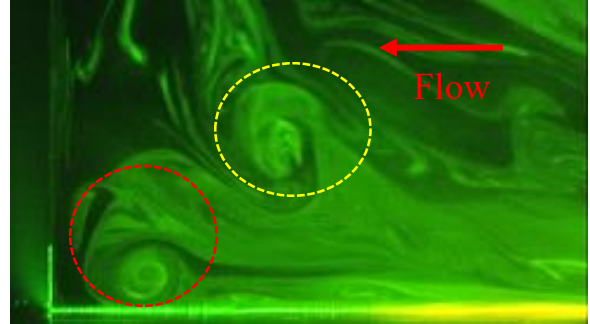
図-7、図-8 に移動床実験の示す。図-7(a)のプロトタイプ橋脚模型では、通水時間約5分で、前面ならびに周辺が洗堀され、模型前面は水路床が出現している。洗堀された砂は模型後方に堆積していることが図-8(a)からも明らかである。図-7(b)では橋脚模型の周囲に小型翼型フィンを取り付けた。これは、

下降流と模型前面の馬蹄形渦の回転運動を軽減させ、洗堀現象を減少させることを試みたものである。しかし、その結果は、プロトタイプとほぼ同じ通水時間で図-8(b)に示すように、プロトタイプ模型よりも洗堀領域が拡大する結果となった。

同図(c)は、小型翼型フィンでは効果を得られなかった馬蹄形渦の回転運動の受け止めに目的とし、大型の翼型フィンを取り付けた結果である。本図より結果として、小型フィンと同一の通水時間でフィンの淵に沿って底面まで洗堀されていることが明ら

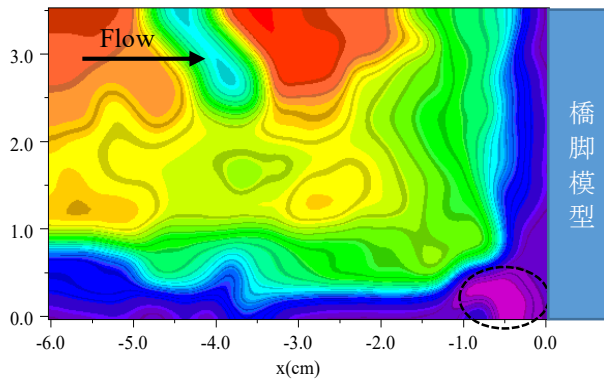


(a)全体視の一例

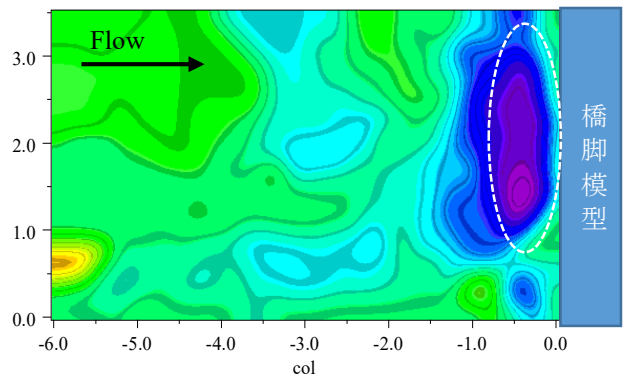


(b)縦断面視の一例

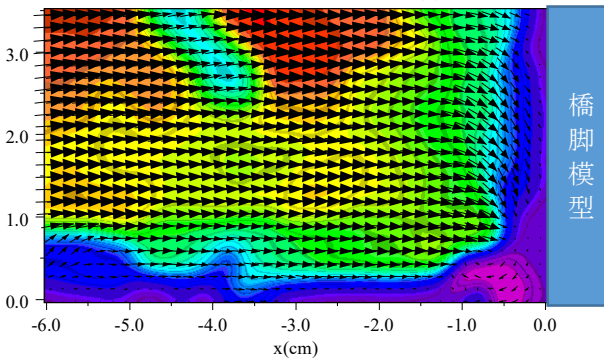
図-5 可視化実験結果



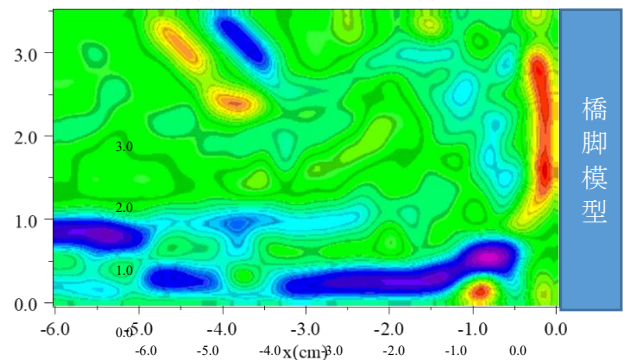
(a)主流速瞬間流速(u)分布



(b)鉛直方向瞬間流速(v)分布



(c)瞬間流速ベクトル分布(u,v)



(d)瞬間渦度分布図 $\omega_z$

図-6 PTV計測結果(z=0.0cm部分)

かである。

同図(d)には三角状の3つのフィンを取り付けた橋脚の手法を示す。本手法では、模型前面に三角形の薄板を3枚設置した形状を呈している。この薄板は、模型前面における馬蹄形渦を鉛直方向に分断すること目的としている。通水時間は12分であり、他の模型よりも長時間である。本図より、模型前面および側面の洗堀はかなり軽減されていると思われる。また、この手法を実際の橋脚に適用した際のメリットとして、通常時には、橋脚前面に土砂が堆積すると考えられ、それが洪水時に掃流されることから、洗堀に対する危険性は低下すると推測される。

#### 4. 結論

本研究では、小判型橋脚周辺の流れの構造を可視化および流速計測を行うことにより、その特徴を検討した。その知見を踏まえ、移動床における洗堀現象を軽減する手法を提案し、その効果を検討した。以下に本研究によって得られた結論を示す。

(1) 小判型橋脚模型の周辺には、縦渦構造が時空間的

に集中し、馬蹄形渦が形成される。その形成領域は2つの速度せん断が共存する領域に相当する。また、馬蹄形渦は模型前面における旋回流、模型側面における下降流の形成に寄与する。

(2) 翼型フィン・大型翼型フィンによる洗堀現象の軽減を試みたが、十分な効果を得ることができなかった。また、フィンの取り付け間隔を変えずに取り付け方を変更しても影響はなかった。

(3) 小判型橋脚模型前面に三角形を呈する3枚の薄板を流れ方向に設置することによって、洗堀現象の軽減が試みられ、馬蹄形渦を縦断方向に分断することにより、その効果が認められた。

#### 参考文献

- 1) 渡辺 勝利, 佐賀 孝徳, 國弘 栄司: 底壁面に縦棧粗度を設置した開水路乱流に形成された並列らせん流の内部構造, 土木学会論文集B, Vol. 62, No. 2, pp.186-200, 2006.



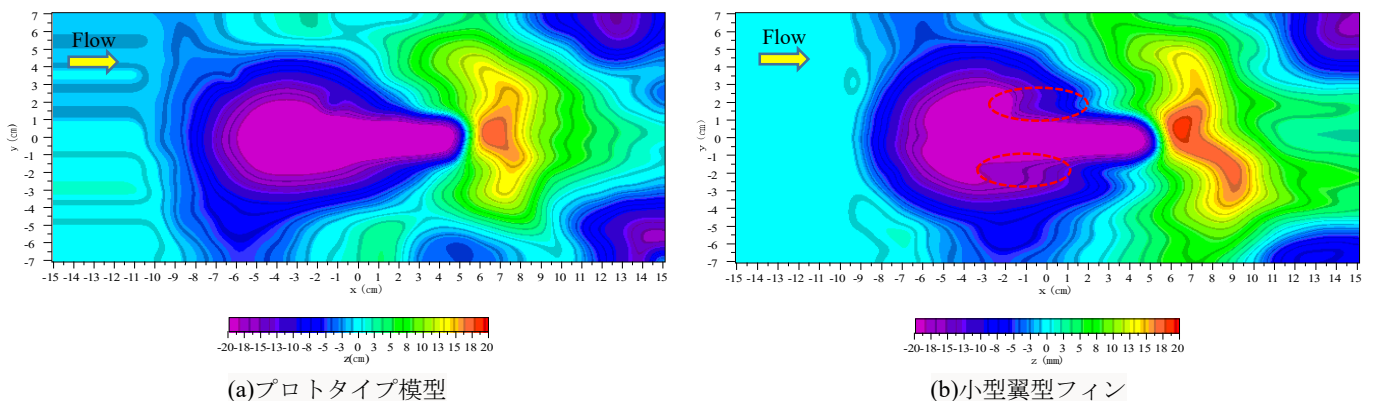
(a)フィンなし橋脚

(b)小型翼型フィン模型

(c)大型翼型フィン模型

(d)三角フィン模型

図-7 移動床実験結果



(a)プロトタイプ模型

(b)小型翼型フィン

図-8 通水後の砂面地形鳥瞰図