

## 橋脚周りの動的洗掘が局所洗掘孔の形成に及ぼす影響

香川大学大学院 学生会員 ○高橋良輔 正会員 岡崎慎一郎  
 四国旅客鉄道株式会社 非会員 加藤 聖  
 阿南工業高等専門学校 正会員 角野拓真

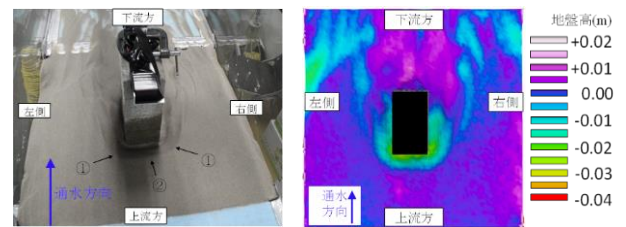
## 1. はじめに

近年激甚化する豪雨災害の一つとして、橋脚周りの局所洗掘による災害が日本各地で頻発している(例えば 1)。著者らは、河川水位の上昇や下降の繰り返し作用といった水理履歴に着目した実験的な検討から、水理履歴の影響を受けることにより、橋脚上流方の局所洗掘延長が、局所洗掘深さと河床材料の水中安息角より求まる理論値よりも増加することを明らかにしている 2)。一方で、その影響を現象論的なモデル等を用いた手法により解明するには至っておらず、局所洗掘現象をより正しく理解するには、それらの影響を定量的に把握することが求められる。そこで、本研究では、水理履歴の中で繰り返される動的洗掘と静的洗掘に着目し、3次元の数値流体解析と河床変動解析により、動的洗掘が局所洗掘孔の形成に及ぼす影響に関する検討を行った。

## 2. 解析概要

本研究では、iRIC NaysCUBE ver3.43.60 を解析ソルバーとして用いた。解析は、表-1 に示す計算条件を基本とし、著者らが実施した既往の実験結果 3) を再現する河床変動係数および限界掃流力の係数を設定することとした。著者らは、開水路の途中に W500 mm×L500 mm ×H180 mm の土層を設け、土層の中心に供試体を配置し、通水を行う実験を実施した。供試体は、短辺 76.3 mm×長辺 136.3 mm×高さ 198.8 mm の矩形形状とし、モルタルで作製している。通水流量は約 0.003 m<sup>3</sup>/s で供給し、下流方の堰を操作することで通水位を調整した。図-1 に実験時の局所洗掘性状と地盤高の計測結果を示す 3)。

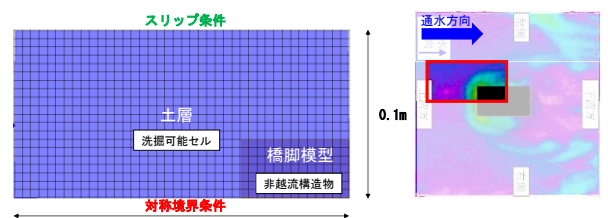
解析モデルを図-2 に示す。数値解析の範囲は、実験の開水路の内、図-2 (b) に示す赤枠内の範囲とし、計算格子は 0.005m とした。解析範囲は橋脚の中心から上流方の部分とし、土層部分は洗掘セル、供試体部分は非越流構造物とし、その寸法は 0.035 m×0.065 m に設定した。境界条件は上流方を背にして左岸をスリップ条件、右岸を対称境界条件とした。数値解析では、実験と同様の通水条件とするために、通水開始から 60 秒までは流量 0.0006 m<sup>3</sup>/s、水位 0.0181 m で通水し、60 秒後以降は 180 秒かけて通水流 0m<sup>3</sup>/s、通水位 0m になるように設定した。河床変動係数を 1.0、限界掃流力の係数を 1.5 とした解析結果を図-3 に示す。図-3 は、図-1 (b) に示す、実験時の局所洗掘深さと局所洗掘範囲を概ね再現できていると考え、河床変動係数を 1.0、限界掃流力の係数を 1.5 に設定し、検討を行うこととした。



(a) 局所洗掘性状 (b) 地盤高の計測結果  
 図-1 検証例題の実験結果 3)

表-1 解析の計算条件

項目	内容
乱流モデル	二次元非線形k-εモデル
掃流砂量モデル	Meyer Peter Mullerモデル
河床材料の平均粒径	0.11mm
河床材料の密度	2,650kg/m <sup>3</sup>
河床材料の水中安息角	26.1°
河床材料の粗度係数	0.02



(a) 計算格子 (b) 再現範囲

図-2 解析モデル (検証例題)

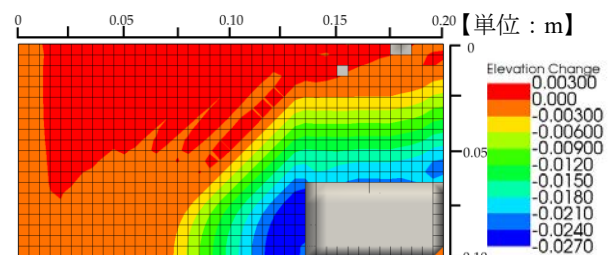


図-3 解析結果 (河床変動量)

キーワード 局所洗掘, 動的洗掘, 水理履歴, 局所洗掘延長

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学創造工学部 TEL087-864-2000

### 3. 動的洗掘と静的洗掘に着目した解析的検討

解析に用いた計算モデルを図-5に示す。数値解析の範囲は、図-2と同様とし、供試体はφ60mmの円形橋脚模型を模擬した。解析時の流量は0.0003 m<sup>3</sup>/sとし、一定の通水位で1000秒の通水を行った。なお、通水位は0.009mから0.001mずつ増加させ0.030mの場合までを想定し、全22ケースの解析を実施した。摩擦速度  $u^*$  が限界摩擦速度  $u^*_{c}$  を上回る場合が動的洗掘であり、本解析の条件下では、通水位が0.0215m以下の場合に動的洗掘条件となる。

図-5に、通水位0.009mの1000秒後の河床変動量を示す。黒枠で囲む局所洗掘孔の上流方外縁部分が浅く洗掘され、局所洗掘延長が増加していることが分かる。これは、水理履歴の影響を考慮した実験時の局所洗掘延長の増加の様子<sup>2)</sup>と同様の傾向であった。

図-6に  $u^*/u^*_{c}$  と局所洗掘延長の関係を示す。図の縦軸は橋脚上流方の局所洗掘延長を橋脚直径で除した値である。なお、橋脚上流方の局所洗掘延長は、橋脚上流方の端部から、上流方に向かって河床変動量が0.000mとなるまでの距離とした。また、横軸  $u^*/u^*_{c}$  は、摩擦速度を限界摩擦速度で除した値であり、この値が1より大きくなる場合に静的洗掘から動的洗掘に移行する。図-6より、局所洗掘延長は、静的洗掘時には線形に増加する傾向であることが分かる。また、動的洗掘条件下の内、 $u^*/u^*_{c}$  の値が1から2程度の範囲では、静的洗掘時より緩やかな勾配で線形に増加するが、 $u^*/u^*_{c}$  の値が2以上の範囲では、局所洗掘延長が急激に増加する傾向であることが分かる。これらの結果から、水位の上昇と下降の繰り返し作用による水理履歴の影響を受ける場合、動的洗掘条件を繰り返すことによって、橋脚上流方の局所洗掘延長が増加する可能性があることが分かった。

### 4. まとめ

本研究では、水理履歴の中で繰り返される動的洗掘と静的洗掘に着目し解析的な検討を行った。その結果、水位の上昇と下降の繰り返し作用による水理履歴の影響を受ける場合、動的洗掘条件を繰り返すことによって、橋脚上流方の局所洗掘延長が増加する可能性があることが分かった。

### 謝辞

本研究は、内閣府・戦略的イノベーション創造プログラム「防災・減災機能強化」（代表・金田義行）により実施された。ここに記して、謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 角野拓真ら：洗掘により橋脚が傾斜した橋りょうの復旧計画と評価，土木学会四国支部令和元年度自然災害フォーラム論文集，pp.19-24，2019。
- 2) T. Kadono et al. : Effects of Dynamical Change in Water Level on Local Scouring around Bridge Piers Based on In-Situ Experiments, Water, Vol.13, No.21, 3015, 2021.
- 3) T. Kadono et al. : Effect of Angle between Pier and Center of River Flow in Local Scouring around the Bridge Pier, Water, Vol.12, No.11, 3192, 2020.

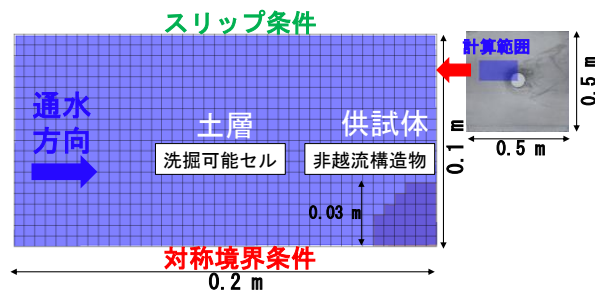


図-4 計算モデル

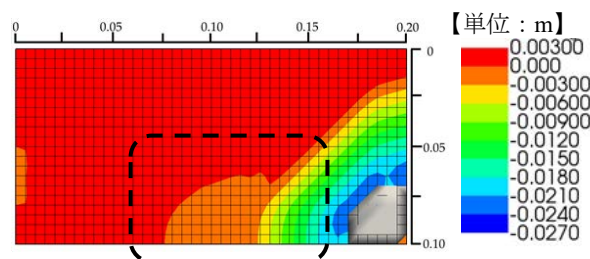


図-5 河床変動量

(通水位 0.009m, 1000 秒後)

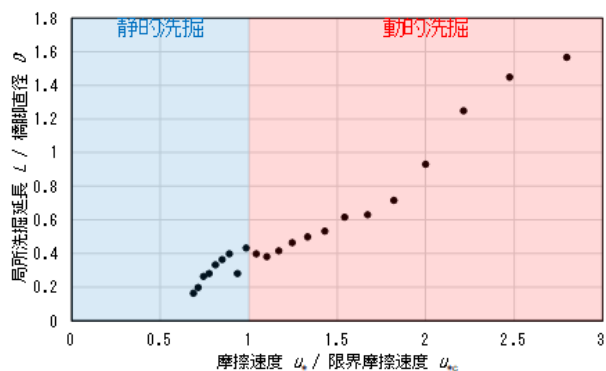


図-6  $u^*/u^*_{c}$  と局所洗掘延長の関係