

橋脚に衝突する洪水流動特性に関する自由表面流動解析

Free Surface Flow Simulation on Characteristics of Flood Flow Impinging Bridge Piers

- 平田 憲真, 東北大院, 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1,
石本 淳, 東北大, 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1, E-mail : ishimoto@alba.ifs.tohoku.ac.jp
落合 直哉, 東北大, 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1,
Kenshin Hirata, GSIS, Tohoku Univ., 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8579,japan
Jun Ishimoto, IFS, Tohoku Univ., 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577,japan
Naoya Ochiai, IFS, Tohoku Univ., 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577,japan

Due to global warming flood damage has occurred throughout Japan. It is the pier most damaged by the flood. However, what kind of fluid force acts on the piers due to the flood has not been clarified now. Therefore, in this study, LES-VOF was adopted to investigate the fluid behavior around the bridge piers during the flooding in detail. As a result, the simulation of the wall-jet-like bow-wave was successfully reproduced. Also The same numerical calculation was performed for the cylindrical and oval pier. it was confirmed that the shape of the pier gave a difference in the characteristics of flood collision flow.

1. 緒言

近年, 国内外で地球温暖化による自然災害が問題となっている。先日の台風 19 号などがその最たる例である。メディアなどでは堤防決壊による浸水被害が際立って報道されるが, 重要インフラである橋脚への, 河川流の洪水流衝撃力によるダメージが深刻な問題として顕在化している。洪水は重要インフラである橋梁に被害を及ぼし, 桁流出などの二次災害をもたらす。その後の復興活動にも多大な支障をきたす。しかし洪水と橋脚の衝突流動特性に関しては未解明な部分が多く残されており, 特に数値流体力学的検討を実施した例は極めて少ないのが現状である。より洪水に強い橋の設計のためには橋脚の衝突流動特性を明らかにする必要があると考える。そこで本研究では, まず直方体型橋脚に関する洪水衝突流動特性の特に跳水現象ならびに 2nd form(Wall-jet-like bow-flow) を数値解析で再現した。次に橋脚の断面形状が洪水衝突流動特性に与える影響を検討するために円柱型橋脚と橋脚に最もよく使用されている小判型橋脚に関する洪水衝突流動特性について直方体型橋脚のそれと比較検討を実施した。

2. 解析手法ならびに計算モデル

洪水と橋脚の衝突流動特性を詳細に再現するために, Navier-Stokes の式, 連続の式, VOF 移流方程式を基にした, 境界面の複雑な変形も計算可能な基礎方程式系を構築した。洪水衝突の計算モデルを図 1 と図 2 に示す⁽¹⁾。流れに垂直な方向の長さ $R = 6 \text{ mm}$, 流れに平行な方向の長さが 12 mm の直方体型橋脚まわりの流れを考える。初期時刻に, 水深 $h = 5.14 \text{ mm}$ の静水を仮定している。流入口からは, 一定の流速で $h = 5.14 \text{ mm}$ の水が流入する条件とした。側面壁は slip 境界を採用した。底面以外の流出口を含めた残りの境界は流入出条件を仮定した。直方体中央部には橋脚を模擬した構造物を設置し, $h/R = 0.86$ とした。ここで, R は流れ方向から見た構造物の幅である。また円柱型橋脚ならびに小判型橋脚の形状を図 3 に示す。円柱型橋脚は直径 6 mm の円柱を橋脚として採用した。小判型橋脚は前述した直方体型橋脚の前後に直径 6 mm の半円柱を取り付けた形状とした。その他の条件はすべて前述した直方体型橋脚と変更はない。すべてのケースにおいて R をそろえる点に注意した。

3. 直方体型橋脚の数値計算結果ならびに考察

本研究で再現した橋脚衝突流の数値計算結果を図 4 に示す。図 4 は z 軸方向から見た水面上の速度分布である。

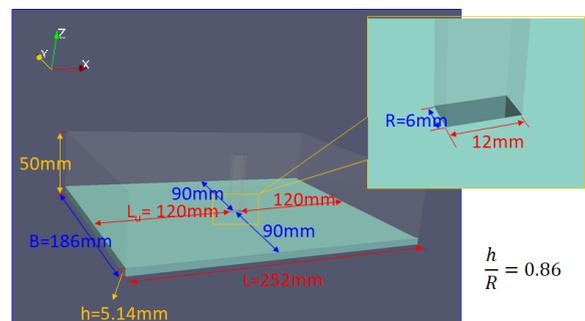


Fig. 1: Computational geometry of flood flow impingement

橋脚衝突流では, Froude 数の違い (本研究では入り口流速の違い) によって異なった現象がみられる。本解析手法においても, この流速による跳水現象の違いが見られ, 流速が遅い場合には, 図 4 左図のように, 橋脚前方の水面が高くなる 1st-form(Detached hydraulic jump) がみられる一方, 流速が大きくなると, 図 4 中央図のように, 橋脚から離れた位置でも水面が高くなる 2nd-form(Wall-jet-like bow wave) がみられるようになる。さらに流速を上げていくと, $U = 1.50 \text{ m/s}$ 付近で, lateral jet が最も発達し, 橋脚より下流側でぶつかることで碎波を形成していることがわかった。

4. 円柱型橋脚に関する洪水流動特性

円柱型橋脚に関する橋脚衝突流の数値計算結果を図 5 に示す。直方体型橋脚と類似した橋脚衝突流が確認できた。速度が比較的遅い時は 1st form のような跳水現象を確認できるが, 速度が速くなると直方体型橋脚の時のように lateral jet が二股に形成されることはなく, 橋脚の後方で一つになる様子が確認できた。

5. 小判型橋脚に関する洪水流動特性

小判型橋脚に関する橋脚衝突流の数値計算結果を図 6 に示す。直方体型橋脚で見られた jump, bow wave の形成が見られないことが分かる。またランダムな方向に橋脚前面から上流に向かい水が跳ねかえる reverse spillage

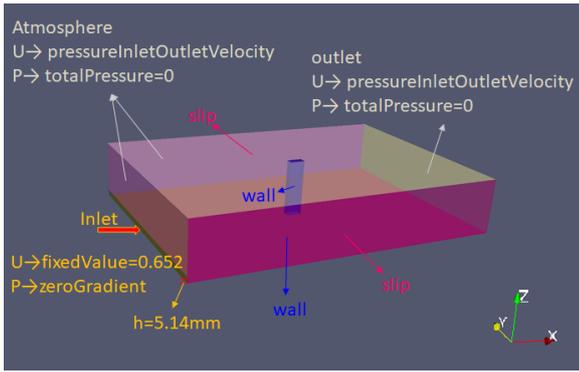


Fig. 2: Boundary condition and computational domain of flood flow analysis

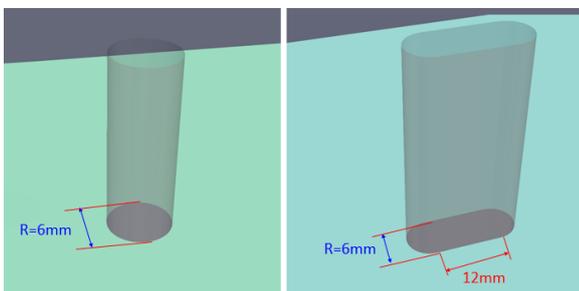


Fig. 3: Details of cylinder type and oval type pier

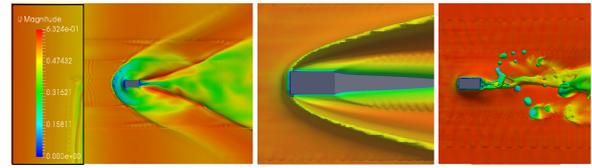
が形成され続けていることが判明した。以上のように本計算手法で橋脚形状による自由表面を伴う衝突流動特性の違いを再現することができた。

6. 結論

LES-VOF 法を用い橋脚衝突流のシミュレーションを行い、既存の研究では数値計算において再現がなされていなかった跳水現象ならびに 2nd form(Wall-jet-like bow-wave) を再現することに成功した。また円柱型橋脚と小判型橋脚における橋脚衝突流のシミュレーションを行い、橋脚形状により洪水衝突流動特性、特に跳水現象に差異が生じることを明らかにした。

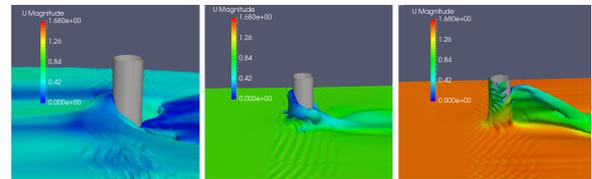
参考文献

- (1) N. Riviere; G. Vouaillat; G. Launay; and E. Mignot, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 143 Issue 7, (2017), 04017011



(a) $U=0.625$ m/s (b) $U=1.50$ m/s (c) $U=2.00$ m/s

Fig. 4: Behavior of flood flow impinge to the bridge pier



(a) $U=0.625$ m/s (b) $U=1$ m/s (c) $U=1.5$ m/s

Fig. 5: Behavior of flood flow impinge to the cylinder bridge pier

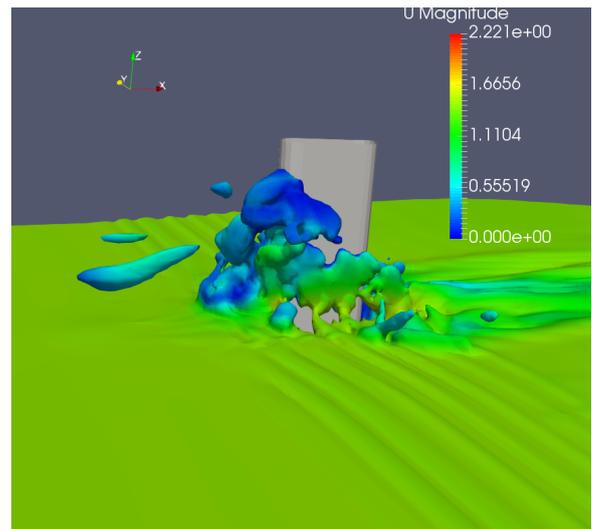


Fig. 6: Behavior of flood flow impinge to the oval bridge pier