

橋脚形状による橋脚の衝突からなる衝撃波の影響の違い

Effect of Pier Shape on Shockwave Formation due to Impingement into Pier

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 〇石塚 舜基

1. はじめに

砂防管理区間で洪水が発生すると、土砂流出と同時に流木が流出し、橋脚に流木が衝突・堆積することがある¹⁾。この場合、橋梁の上流側の水位が上昇してしまい、河川が氾濫する。この影響により、人家や橋などの流出・崩壊など甚大な被害が発生している。従来の橋脚形状として、円柱型、長楕円柱型がある。橋脚形状の選定には、流量変化を考慮した河道内の流れに基づくことが多い。両者の橋脚形状において、洪水時には、橋脚に衝突した流木が堆積しやすく、橋脚の上流側の水位が上昇することにより河川が氾濫し、人家や橋などの流出・崩壊など甚大な被害が発生している²⁾。その一方、橋脚に衝突したことによって形成される衝撃波の形成に着目した例が少なく、橋脚直下流側で生じる洗堀の形成要因が不明である。河川環境と防災とのバランスを考慮するために、橋脚周辺の流れを制御することが重要である。ここでは、橋脚上流部を三角円柱とした台形円柱型の橋脚を提案し、洪水流が橋脚に衝突することによって形成される衝撃波による影響を検討した。また、橋脚設置区間にホロースケアタイプのブロックを設置し、上・下流側には1 cm 内外の礫を設置して、同一の流量のもとで、長楕円柱と台形円柱の橋脚周辺の水面形、流速分布、洗堀状態の比較検討を行い、橋脚形状の違いによる影響を考察する。

2. 実験方法および実験条件

実験では水路幅 $B=0.8$ m、高さ 0.6 m、長さ 15 m を有する長方形断面水路を用いた。また、水路横断方向の中心となる位置に、高さ 47.5 cm、 $d=10$ cm 径、流下方向の長さ 45 cm の長楕円柱または高さ 47.5 cm、 $d=10$ cm 径の円柱に厚さ 1mm 塩ビ板で傾斜角度 45° の三角形部材（空間には木材で補強）と一体化した台形円柱の橋脚模型を設置した（写真-1）。また、橋脚両側の局所洗堀防止として、曾澤高圧コンクリート株式会社製のホロースケアタイプのブロック模型を橋脚の両側に流下方向には5個、横断方向には片側3個設置した。その一方、ブロック前後の局所洗堀の影響を検討するため、橋脚上下流側には1 cm 内外の礫を深さ 4 cm 程度まで設置した。実験は15分の1縮尺を想定し、フルードの相似則に従い、表-1に示す実験条件の下で行った。橋脚周辺の水面形および流速場を検討するため、流速測定には、KENEK 社製のプロペラ流速計（計測時間 30 秒）を用いた。また、水深測定には、ポイントゲージ（0.1 mm 判読可能）を用いた。さらに、デジタルカメラで流況記録を行った。なお、流量は水路下流に設置された全幅刃形せき（JIS 規格）で測定した越流水深から流量公式を用いて測定した。

3. 橋脚周辺の流況

台形円柱と長楕円柱周辺の流況について、写真-1に示されるように、橋脚形状によって橋脚に衝突したことによって形成される衝撃波の影響が異なる。長楕円柱の場合、衝撃波の影響が大きく側壁側で波立つ水面となっている。台形円柱の場合、衝撃波の影響が小さくなる。これは衝突面を 45° に傾かせることによって、橋脚への衝突位置が水深方向に異なり、衝撃波の影響が小さくなったものと考えられる。なお、流量規模が小さくなると衝撃波の影響が小さくなり、台形円柱と長楕円柱との違いは小さい。

4. 橋脚周辺の水面形

Case 2 を対象とした台形円柱および長楕円柱周辺の水面形を図-1に示し、Case 3 を対象とした場合を図-2に示す。図中の座標の単位は cm である。また、 Fr はフルード数、 y は水路中央からの横断方向の座標である。図-1に示されるように、 $y/(B/2) = 0.175$ では下に凸の曲面が橋脚上部で見られる。また、流量規模が大きくなると、下に凸の極値となる位置が下流側に移動する。図-2に示されるように、Case 3 の場合、流量規模が大きくなるため、衝撃波の影響が大きく、長楕円柱の方が橋脚下流の水面が波立つ。 $y/(B/2) = 0.962$ では、長楕円柱の方が橋脚下流の波状水面の凹凸が大きく、下流側遠方まで続く。なお、橋脚の際 $y/(B/2) = 0.15$ 付近では、台形円柱と長楕円柱を比較すると、橋脚下流の水面形に違いは認められない。

表-1 実験条件

長楕円柱	模型流量	原型単位幅流量	下流水深 at $x=300-330$	原型換算 下流水深
Case	$Q(m^3/s)$	$qp(m^2/s)$	$hd(cm)$	$hdp(m)$
1	0.0469	3.41	10.20	1.53
2	0.0947	6.88	19.94	2.99
3	0.1239	8.99	22.20	3.33
4	0.1527	11.09	24.10	3.62
台形円柱	模型流量	原型単位幅流量	下流水深 at $x=300-330$	原型換算 下流水深
Case	$Q(m^3/s)$	$qp(m^2/s)$	$hd(cm)$	$hdp(m)$
1	0.0469	3.41	10.40	1.56
2	0.0947	6.88	20.25	3.04
3	0.1239	8.99	22.45	3.37
4	0.1527	11.09	24.70	3.71



a) 長楕円柱型橋脚の場合

b) 台形円柱型橋脚の場合

写真-1 Case 1 における橋脚周辺の流況の比較

キーワード 橋脚形状、局所流、衝撃波、局所洗堀、洪水流

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail : yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

5. 橋脚周辺の流速分布

Case 2 を対象とした橋脚区間およびその直下流側の流下方向成分の時間平均流速の鉛直分布について、長楕円柱と台形円柱との比較を図-3 に示す。図に示されるように、衝撃波の形成が側壁に衝突し、3 次元的な流れが形成されるため、橋脚の際よりも側壁側の流速が大きくなる。また、長楕円柱の方がその傾向が大きく、底面近くの流速が速い。長楕円柱の Case 4 を対象とした時間平均流速の鉛直分布を図-4 に示す。図に示されるように、衝撃波の影響が下流側まで伝わっていることが分かる。なお、台形円柱型橋脚では、衝撃波の影響が抑制され、主流が上昇する傾向になる。すなわち、橋脚下流側で衝撃波の衝突から生じる 3 次元な流れによって洗掘されやすくなるため、橋脚形状を台形円柱型に変更する有効性が認められる。なお、長楕円柱の Case 4 では、通水後の移動床の形状から局所洗掘の痕跡が確認された。

6. まとめ

橋脚形状による橋脚周辺の水面形および流速分布を検討した結果、台形円柱型の橋脚形状にすることによって、橋脚に衝突する影響を軽減することを確認した。特に、水深に対して相対的に幅が小さい場合に生じる 3 次元的な流れによる局所洗掘の軽減につながることを水面形および時間平均流速の鉛直分布から推定することができた。

参考文献

- 1) 岡本, 集中豪雨時の橋梁閉塞と河岸浸食対策に関する実験的研究, 平成 29 年度研究報告書, 前田記念工学振興財団, 土木分野 No.5, 2017, 6 pages.
- 2) 橋脚基礎の洗掘への対応事例 国土交通省国土技術政策総合研究所 (以下 URL2021 年 2 月 1 日閲覧)
<https://www.pwri.go.jp/caesar/profile/pdf/6.pdf>

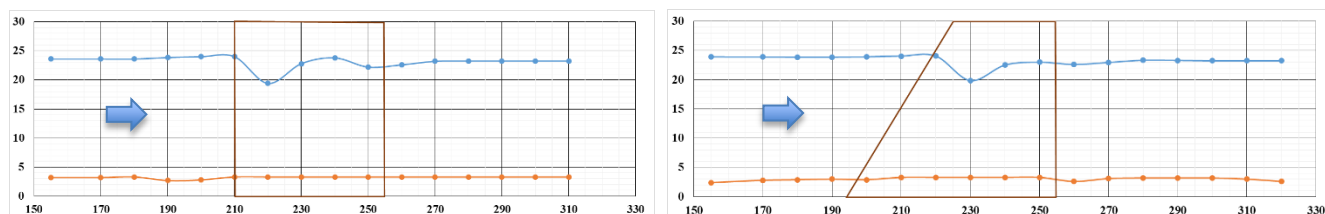


図-1 Case 2 における橋脚周辺の水面形の比較 ($y/(B/2)=0.175$, $Fr=0.401\sim0.407$ at 150cm)

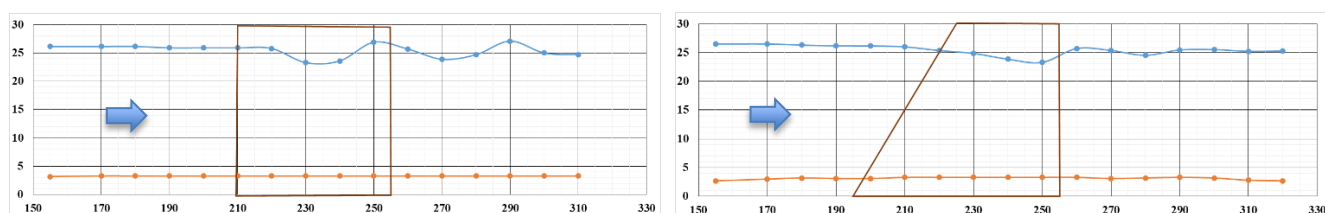
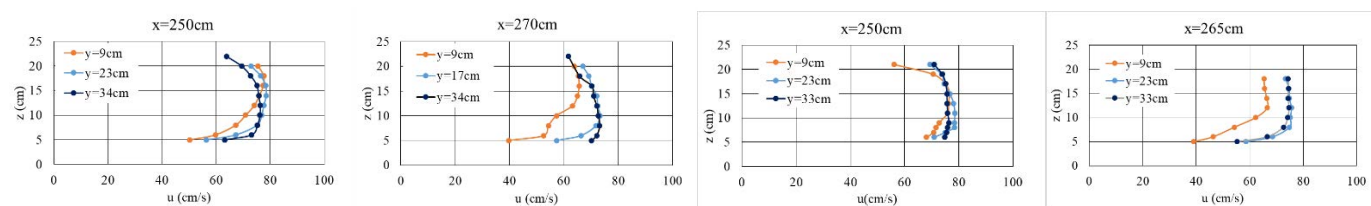


図-2 Case 3 における橋脚周辺の水面形の比較 ($y/(B/2)=0.962$, $Fr=0.426\sim0.435$ at 150cm)



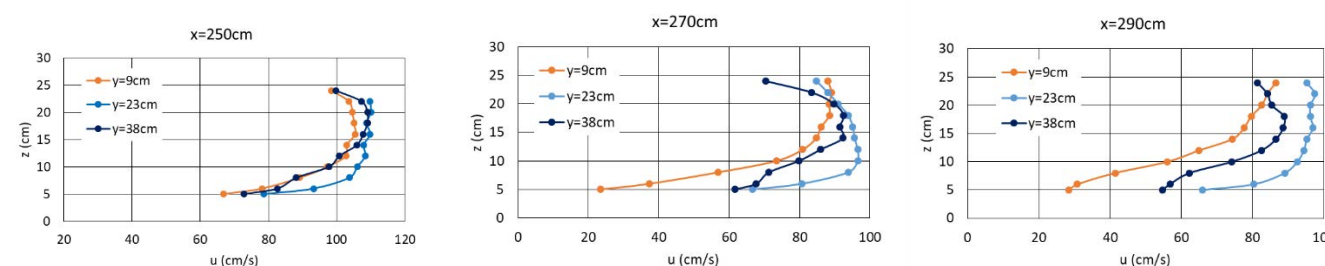
a)長楕円柱($X/d=-0.5$)

b)長楕円柱($X/d=1.5$)

c)台形円柱($X/d=-0.5$)

d)台形円柱($X/d=1.0$)

図-3 Case 2 の橋脚周辺の時間平均流速の鉛直分布 (d:橋脚径, X:橋脚下流端からの距離,z:水路底面からの高さ)



a)長楕円柱($X/d=-0.5$)

b)長楕円柱($X/d=1.5$)

c)長楕円柱($X/d=3.5$)

図-4 Case 4 の長楕円柱型の橋脚周辺の時間平均流速の鉛直分布