

流量変化履歴による河川橋桁越流状況変化に関する実験的検討

東京理科大学大学院 学生会員 ○上田 翔, 井上 隆
東京理科大学 正会員 柏田仁, 二瓶泰雄

1. はじめに

河川周辺の社会インフラ施設は、一般的なインフラと同様に、維持管理や長寿命化に加えて、災害対策が最重要課題となっている。特に、河川橋梁に関しては、気候変動に伴う豪雨災害の激甚化により、毎年のように全国のどこかで被災しており、その数も増加傾向となっている。具体的には、令和2年7月豪雨における球磨川水害では、広範囲の超過洪水により17の橋梁流失が発生した。そのような橋桁流失が顕著になった要因は、河川水位が大きく上昇して橋桁を越流したためである。このように、河川橋桁における越流がどのような流量において発生するかは極めて重要であるが、橋桁周辺における縦断水面形に焦点を当てた研究は多くなく、越流発生時の流量は不明な点が多い。

本研究では、様々な流量条件下における橋桁周辺の水面形や越流発生条件を明らかにするため、小型模型実験を実施した。その中で、実験時における流量変化の履歴により、同一流量でも橋桁周辺の縦断水面形が一致せず、橋桁の越流・非越流状況すら異なることが判明した。そこで本報では、小型模型実験を通じて、流量変化の履歴が河川橋桁の越流発生有無や縦断水面形に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 実験水路と橋桁模型：本実験では、図-1 に示すように、本学所有の大型水平開水路（長さ20m、幅1.0m、高さ1.8m）内において傾斜水路床（長さ5.0m、幅1m、高さ0.50m、勾配1/400）を設置した。また、単位幅流量を大きくするべく、水路幅を1.0mから0.5mに減らすための仕切り壁を、傾斜水路床の区間に設置した。

用いた模型橋桁としては、上記の令和2年7月豪雨で橋桁一径間が流失した球磨川・西瀬橋（河口から59.4kp）を参考とした。具体的には、橋桁のみに着目し、橋桁を矩形形状と単純化し、1/20スケール（流下方向長さ0.33m、横断幅0.50m、橋桁厚さ0.0525m）の橋桁模型を木材で作成した。実際の西瀬橋はトラス橋であり、橋桁上に柵があり、流木も捕捉していたが¹⁾、今回は簡単のためそれらを省いて実験を実施した。この橋桁模型の上流側を傾斜水路床の上流端から3.6m、水路底面から0.15mの位置に設置した（図-1）。

(2) 流量条件の設定：本実験における流量条件を表-1に示す。ここでは、流量 Q 、単位幅流量 q 、橋桁の有無が表示されている。まずCase1では、橋桁の有無による水面形変化を把握するために、橋桁有と無において、流量を $0.10\text{m}^3/\text{s}$ から $0.24\text{m}^3/\text{s}$ まで増加させた実験を行った。この条件時における橋桁無の場合では、 $Fr=1.1\sim1.6$ であったので射流となっていた。Case1にて橋桁越流が始まった流量（ $=0.124\text{m}^3/\text{s}$ ）を参考に、越流していない流量から増加させたCase2-1と、越流が見られた流量から減少させたCase2-2を行った。これら3ケースの結果を用いて、流量増加・減少の履歴影響を調べた。

流量は水路上流端の電磁流量計で測定し、水位縦断分布はDVカメラ3台（HC-WX990M, Panasonic製）で撮影された画像より、算出した。合わせて、動画データより、各ケースの流況を把握した。

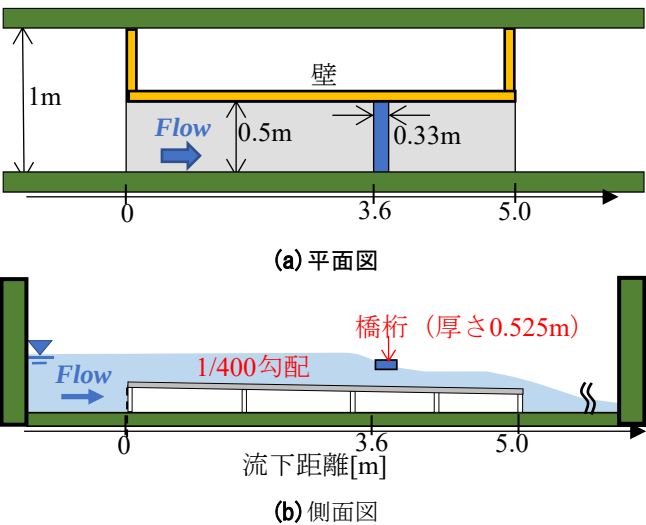


図-1 実験水路と模型橋桁の設置状況

表-1 流量条件の設定

ケース名	流量 $Q[\text{m}^3/\text{s}]$	単位幅流量 $q[\text{m}^2/\text{s}]$	橋桁
Case1	0.10→0.240 (増加)	0.20→0.48 (増加)	有と無
Case2-1	0.120→0.122 (増加)	0.240→0.244 (増加)	有のみ
Case2-2	0.122→0.112 (減少)	0.244→0.224 (減少)	

キーワード：河川橋梁、豪雨災害、橋桁流失、越流、流量履歴

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 5 号館 3 階水理研究室 TEL：04-7124-1501（内線 4069）

3. 実験結果と考察

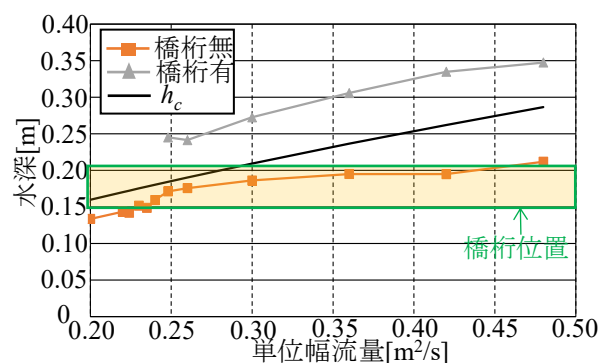
(1) 単位幅流量と水深の相関関係：各ケースにおける実験結果の全体像を掴むために、各ケースの単位幅流量 q と水深 ($X=3.6\text{m}$) の相関図を図-2 に示す。ここで、Case1 (同図(a)) では橋桁の有と無の比較を行い、Case2-1, 2-2 (同図(b)) では橋桁有において流量増加・減少時の結果を比較する。なお、限界水深 h_c と単位幅流量の関係も比較のために図示する。また、Case1 では基本的に流量増加条件で行ったため、その結果の一部も同図(b)に記載している。同図(a)より、橋桁無では常に限界水深を下回り、橋桁有では常に限界水深を上回っており、それぞれ射流、常流となっている。また、橋桁下端高さは 0.15m であり、その高さに平均水深が到達するのが、単位幅流量 $q=0.24[\text{m}^2/\text{s}]$ 前後であり、この流量を超えてから、橋桁の越流が発生していた。今回の設定条件では、橋桁の影響がない流況は射流であったが、橋桁下端高さに水面が到達する流量になると橋桁上流側で堰上げが起り常流へと変化していることが明らかとなった。

次に、橋桁有において流量を増加・減少させたときの結果 (同図(b)) に着目すると、流量増加時 (図中赤線) と減少時 (同青線) では同一流量でも水深が異なっており、橋桁上流側の水深が流量変化の履歴を受けて変化する水深と単位幅流量の間のヒステリシスが見られた。水深と橋桁上・下端高さ比べると、流量増加時の水深は橋桁下端よりやや小さいか橋桁と接する程度であり、一定程度の単位幅流量に達すると (本ケースでは $q=0.244[\text{m}^2/\text{s}]$)、急激に水深が上昇し、橋桁上端を上回り越流が発生した。その後の流量減少時には、越流状態を維持しており、 $q=0.222[\text{m}^2/\text{s}]$ に達したときに水深が急減し、非越流状況となった。このように、一端越流を開始すると、流量を小さくしても越流状況をキープするという流量変化の履歴影響が明らかとなった。また、水深が急増・急減する流量条件では、該当流量をセットして速やかに水深が変わるわけではなく、流量が一定の状況でも水深が急減していることが確認された。

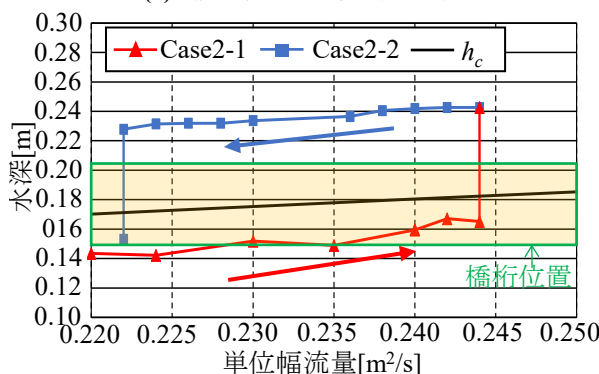
(2) 各ケースにおける縦断水面形の特徴：上記の結果を詳細に把握するために、各ケースの縦断水面形を図-3 に示す。ここでは、Case1 として単位幅流量 $q=0.26, 0.48[\text{m}^2/\text{s}]$ における橋桁有無の結果を図-3(a) に図示する。また、Case2-1, 2 では、 $q=0.23[\text{m}^2/\text{s}]$ を例として、流量増加・減少時の結果を図-3(b) に表示する。両図には各単位幅流量に応じた h_c も示す。Case1 では、橋桁有の場合には橋桁上で水位が上昇し、その影響が上流側に伝播していることが分かる。また、橋桁下流側では、水深が急減し、橋桁無の水位と同程度となっている。このように橋桁越流時における橋桁の直下流では、越流に伴う下向きの鉛直流が顕著な様子が伺える。Case2の結果については、流量増加・減少時は越流無と有に相当しており、Case1 と比べると、それぞれ橋桁の有、無の水面形パターンと対応している。このように、橋桁の影響がわずかな流量変化で水面形の大きな差を生じていること、これに対して流量変化の履歴が大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。

謝辞：本研究の一部は、科研費 (課題番号：21H04577) によって実施された。ここに記して、謝意を表す。

参考文献：1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：令和2年 (2020年) 7月豪雨 道路災害調査報告, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn1151.htm> (閲覧日2023年4月5日)

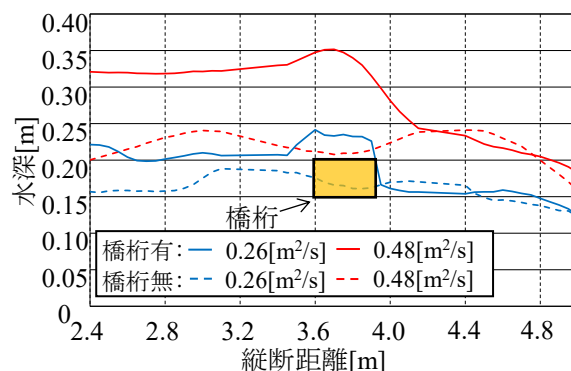


(a) 橋桁有無の比較 (Case1)

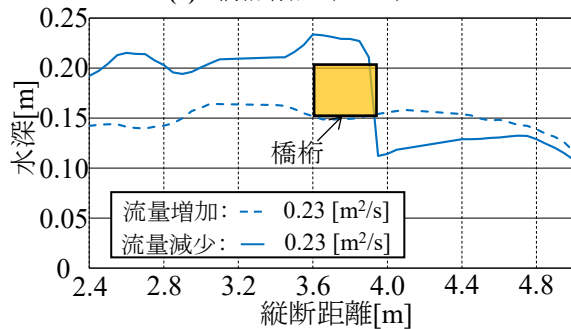


(b) 流量増加・減少時の比較 (Case2-1, 2-2)

図-2 平均水深と単位幅流量 q の関係



(a) 橋桁有無 (Case1)



(b) 流量増加・減少時 (Case2-1, 2-2)

図-3 各ケースにおける縦断水面形