

流木が橋桁に作用する流体力と堰上げ効果に関する実験的研究

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○小木曾 雄平・岡田 裕仁

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 和田 清

1. はじめに

2014年8月飛騨高山を襲った集中豪雨により発生した洪水時には、流木など浮遊物が橋梁に集積する様子が確認されている。このように、洪水時には、流水による影響のみならず上流から流下してきた流木など衝突、集積するなど非定常な現象が被害を拡大させることが懸念されている。橋脚を対象とした従来の研究¹⁾により、流下する流木塊の形状やアスペクト比(流木長/橋脚スパン)が集積率に与える影響などが明らかにされている。一方、集中豪雨により流量が増大し、水位が上昇した河川において流木等が橋桁に直接または間接的に作用することで被害を拡大させる可能性も十分に考えられる。そこで本研究では、橋桁の透過状況などを対象とし、流木などの浮遊物が流下する際の衝撃的な流体力の増大のみならず、これら浮遊物がトリガーとして堰上げ効果を誘発する際の流体力の増大メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、幅 40cm、高さ 40cm で 1/85 勾配の開水路において、流量 28.82L/s、橋桁モデル前面の水深約 6.5cm の水理条件のもとで実験を行った。また、橋桁モデルは 1/50 スケールを想定した長さ 39cm、幅 10cm、高さ 4cm、透過率 0%、50%の鋼材を水路方向と直角になるように設置し、河床から橋桁モデルまでのクリアランスを 4.6cm、6.5cm とした。さらに、流木モデルには両端に鉄製のリングを付けた、直径 1cm、長さ 15cm、密度 0.79g/cm³ 円柱形木材を使用している。計測装置は、実験装置の配置を示した図-1 の通り、橋桁モデルに三分力計(日章電機製、LMC-3520A-50NWP)を取り付けた、上流側には水位計を設置した。そして、通水させた後、計測を開始するとともにタイマーをスタートさせ、50本の流木モデルを約 2m 上流から流下させることで、橋桁モデルに及ぼす流体力(F_x :抗力, F_z :揚力, M_y :モーメント)を計測した。なお、サンプリング周波数は 1000Hz で約 16s 間計測をしており、この時、ここで発生する現象を動的に考察するため、実験の様子のビデオ撮影も同時に行った。なお、本実験では、クリアランスや欄干の透過率を変えることで表-1 の通り 4つのケースを測定しそれぞれ 3回計測をしている。そして、この撮影した動画より 0.2s のインターバルで画像として切り出し、Move-tr/2D を利用することで、ここで得られた複数の画像をコマ送りしながら、橋桁モデル前面から上流に 4cm 及び 14cm の地点の水面を追跡、この 2点における水位変動を把握した。

3. 結果および考察

まず、case1, 2 では、橋桁モデル設置前の水深約 6.5cm に対し、クリアランスは 4.6cm と小さい値であったことから通水時には既に水面が橋桁モデルに到達し、堰上がることで透過率に依らず、完全越流状態となった。また、case4 では、水深とクリアランスがほぼ等しいものの、不透過のために、通水時のわずかな水面の変動により橋桁モデルに衝突した水は堰上げ状態となった。

図-2 は case3 において橋桁モデルに加わる F_x (流下方向が正)、 F_z (鉛直方向下向きが正)の時間変動について、移動平均を取ることでノイズ除去を行い、表示したものである。同図より、計測開始 5s 後に流木が通過した際には流下方向のベクトルをもつ流木が橋桁モデルに衝突することで、 F_x のみスパイク状になる様子が分かる。また、衝突後、 F_x , F_z ともに流体力は時間の経過に伴って徐々に増大している。ここで、橋桁モデル前面 2 地点の 0.2s ごとの水位変動を示した図-3 を見ると、上流側に 4cm, 14cm の 2 点での水位変動には、4cm の地点の水位上昇が早くに表れているが、これは橋桁前面で堰上がった後に上流側に伝播し、この堰上げ効果が拡大していくためである。このように、2 地点の水位変動には位相差があるものの、5s 以降に 2 地点ともに水深が徐々に増大することが確認される。これより、堰上げが発生することで、流れが作用する投影面積に比例する F_x が増大し、前面と背面の水位差が発生することで F_z の鉛直下向きの力が増大し、ここ

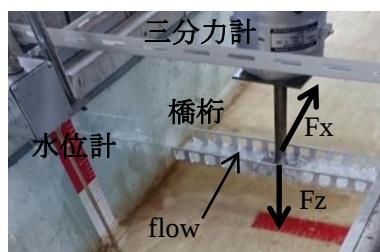


図-1 実験装置の配置

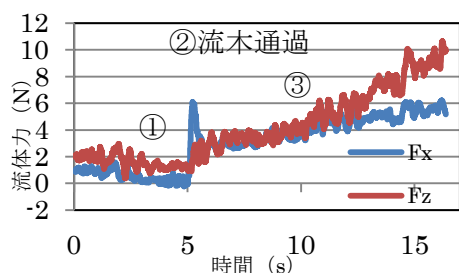


図-2 橋桁モデルに加わる流体力

表-1 実験ケース

	case			
	1	2	3	4
クリアランス	4.6cm		6.5cm	
透過	○		○	
不透過		○		○
流木	○	○	○	○

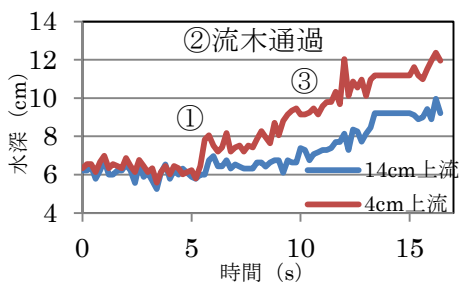


図-3 橋桁モデル前面の水位変動

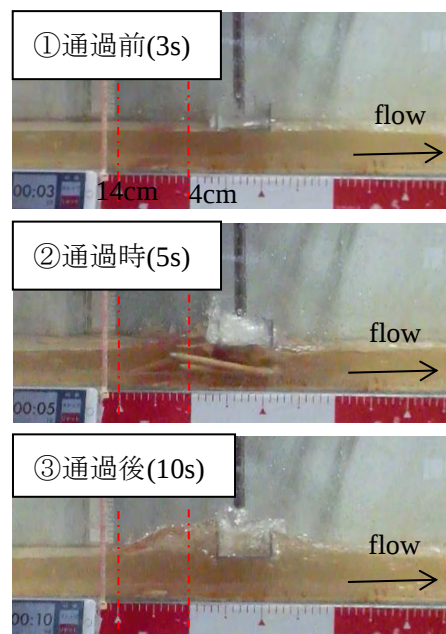


図-4 流木の通過による堰上げの様子

で見られた流体力の増大は橋桁モデル前面における堰上げに起因していると考えられる。さらに、図-4 は流木通過前後の橋桁モデル周辺の様子である。①の流木通過前においては写真の通り、橋桁モデル内部への流入はほとんど見られなかった。しかし、②の通過時の写真を見ると橋桁モデル内部に水が浸入し、内部で複雑に入り乱れている様子が確認できる。そして、流木通過後、徐々に堰上げが増大することで③の写真の様に堰上げが鉛直上向き及び上流側に拡大している。

これより、流木の通過が堰上げや流体力の増大に発展したメカニズムとしては、流木が橋桁の下部を通過、衝突することで、橋桁前面の水位がわずかに上昇する。この水位上昇により橋桁内部に流入した水は橋桁前面および背面の欄干への衝突や流入時に分離された流水同士が互いに衝突し合うことで、橋桁内部において流速を大きく減衰させ、流入水に対して流出水が少なくなることで、橋桁モデル前面において堰上げが発生し、流体力の増大へと発展するものと考えられる。また、時間の経過とともに堰上げ、流体力はさらに増大していったものと考えられる。さらに、実河川では、この流体力の増大のみならず、堤防の高さや橋桁のクリアランスなどによって、流木の通過後のような越流状態に移移する過程で、橋梁部における堰上げに起因する外水氾濫へと発達することが示唆される。

4. おわりに

本研究により、集中豪雨などによる増水の影響で橋桁のクリアランスと水深がほぼ等しくなる際に、複数の流木が橋桁を通過、衝突することで、水位が上昇し、流れ方向の抗力と鉛直下向きの揚力が徐々に増大することが確認された。また、このような現象が発生するメカニズムとしては、流木の通過により水位が上昇し、橋桁内部に水が流れ込み、越流状態に起因したと考えられる。

また、フロートを流下させこの軌道を追跡し、ベクトルを求めることで、橋桁モデル周辺の流れや、橋桁内部における流速の減衰などを可視化し、投影面積や流速をもとに抗力係数及び揚力係数についても検討する。さらに、本研究で確認された流木の通過、衝突を原因とする橋桁前面の堰上げの発生には流木の量が大きく影響していると考えられるため、今後は流木の本数などを変化させ、これらが堰上げや流体力の増大に与える影響について検討する予定である。

参考文献

- 1) 松本 健作ほか：流木塊の橋脚への堆積に関する研究，水工学論文集，第 45 巻，2001.2