

第 I 部門

渡月橋に設置されている流木止め周りの流況に関する一考察

立命館大学理工学部 正会員 ○野阪 克義

立命館大学理工学部 非会員 石井 雄大

1. 緒論

わが国は国土の多くを山々が占めており、近年の過疎化に伴って森林管理が困難になり、山地荒廃が拡大している。台風などにより大量の倒木が産出され、豪雨によって土砂とともに流木として河川に流出、橋脚などに衝突、流れを堰き止めることにより、橋梁の破壊、急激な水位上昇、堤内地への氾濫など様々な災害を引き起こす原因となっている。このような漂流物から橋梁を守る仕組みとしては流木止めがあり、いくつかの橋梁で利用されている。流木止めの効果に関する研究もあるが、具体的な水流の変化に関する研究は少ないものと思われる。

このような背景を踏まえ、本研究では、流木止めによる水流の変化に着目、数値解析により水流の変化を可視化し、考察することとした。

2. 解析概要

解析には汎用解析ソフトウェア OpenFOAM を用いた。

京都市にある渡月橋を参考に解析モデルを作成、流木止めなし、およびあり 3 種類 (0 および A, B, C モデル) の 4 つのモデルを作成した。図-1 に、流木止めありのモデルにおいて、流木止めの位置関係が分かるように図を重ねて示している。なお、本稿では紙面の都合上 A モデルのみについて考察している。



図-1 解析モデル概略図

解析モデルは橋脚をひとつだけ含み、橋長方向に橋脚と橋脚の中央 (支間中央) までとした。流木止めについては、資料を参考にモデル化した。対象をモデル化するにあたっては、プリ・ポストプロセッサ **Mentat** を使用し作成したモデルを取り込み、橋梁モデル周辺のみ自動的にメッシュを作成する機能を用いて詳細なメッシュを作成した。

解析領域および境界条件を図-2 に示す。水は左から右に流れるものとし、左端の流入境界では、水位と流速を任意に設定できるようにした。河床面および橋梁部材においては壁境界、上面は流出・流入が自由である大気境界、右端は流出境界とした。

図中の軸設定は、**x 軸**=水の流下方向 (図-1 右方向: 正), **y 軸**=水底からの高さ方向 (図-1 上方向: 正), **z 軸**=幅方向 (図-1 手前方向: 正) としている。

本研究では、乱流モデルとして **kEpsilon** モデルを用いることとし、乱流エネルギー **k** と乱流エネルギー散逸率 **ε** の初期値を、それぞれ **k=0.000676**, **ε=2.5e-05** と設定した。また解析時の時間間隔は自動的に設定されており、解析結果は 0.1 秒間隔で出力されるよう設定した。初期水位は 3.0m に設定し、流入境界から、表-2 に示す水位と流速で水を流入させ、一定時間経った時点での流況を確認した。その他の解析条件を表-1 に示す。

表-1 解析条件

モデル	水位 (m)	流速 (m/s)	橋脚と流木止めの距離 (m)	解析時間 (s)
0	3.5	3.0	なし	15.0
A	3.5	3.0	2.9	15.0
B	3.5	3.0	4.9	15.0
C	3.5	3.0	0.9	15.0

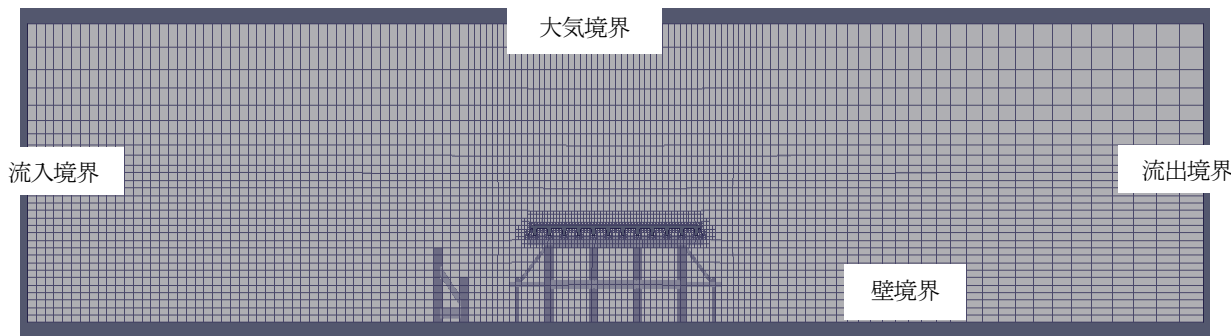


図-2 解析領域および境界条件

3. 解析結果および考察

図-3 に、A モデルでの流線を示す。0 モデルでは水が直線状に流れていたが、A モデルでは水が流木止めを避けるように弧を描いて流れていることが確認できた。水深による水流の変化を知るために、図-4 に A モデルにおける x 方向 0~10m（橋桁の端部から上流側 10m）における、 $z=4.4\text{m}$ （ほぼ流木止めと橋脚を結ぶ直線上）での z 軸方向流速分布を示す。図中、緑丸は流木止めの 2 本の柱の位置（ $x=2.85\text{m}$, 4.55m ）を示し、正の流速は図-3 において z 軸正の方向の流れである。

図-4 より、手前の柱（ $x=2.85\text{m}$ ）付近では y 軸によらず流木止めを避けるように負の方向の流れとなり、柱を過ぎた直後に z 軸方向の流れが小さくなり、反転している。しかし、2 本目の柱からその直後（ $x=5\text{m}$ ）付近では、 $y=4.5\text{m}$ における流れと $y=2.7\text{m}$ の流れが異なっている。これは、2 本目の柱の高さが 1 本目の柱よりも低いことが原因と考えられ、鉛直方向の流れが生じている事が推測できる。すなわち、水深が浅い位置の流れは、深い位置の流れの影響を受けていると言える。

以上の考察を確認するために、異なる水深での z 軸方向の流速分布を可視化し、図-5 に示す。検討する位置は、河床から $y=2.2$, 2.7 , 4.5 , 5.0m （ほぼ水面）とし、各断面で z 軸方向の流速を色で表現している。z 軸方向正（図中で下向き）は赤色、負（図中で上向き）は青色であり、黒は流速がゼロに近いことになる。

図より、水面に近いほど流木止めによる水の広がりが大きく

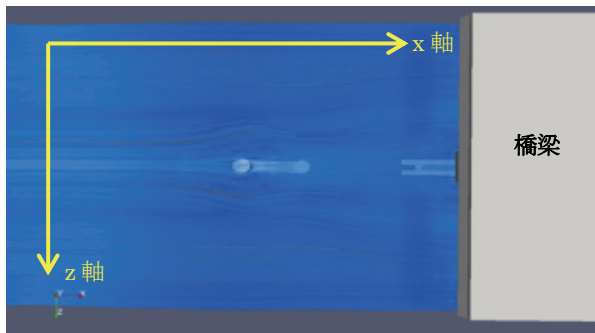


図-3 流木止めありにおける流線

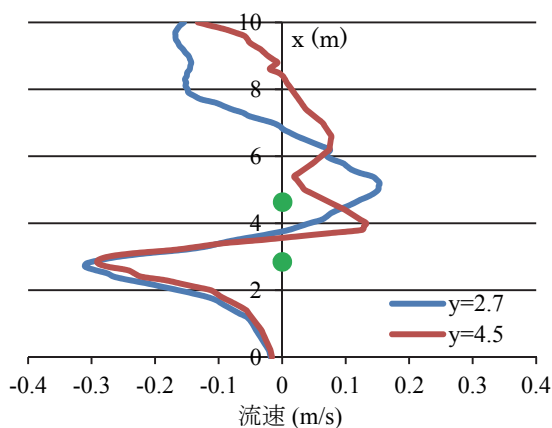


図-4 z 軸方向（橋軸方向と平行）の流速分布の比較

なることが確認できた。2.2m~2.7m に比べて 4.5m~5.0m を比較した場合の方が明らかに水の広がりが大きくなっており、2 本の柱の高さの違いが影響していることが分かる。

次に、流木止め付近の鉛直方向の水の動きを知るために、xy 平面内における y 軸（鉛直）方向の水の流れを同様に可視化し、図-6 に示す。y 軸方向の流速は上向きが正（赤色）であり、下向きが負（青色）である。

図-6 より、流木止めの背の高い柱から低い柱のへと伸びている部材の直上では水が下から上へ流れていることが確認できた。すなわち、本研究で検討した流木止めの形状では、流木止めの 2 本の柱の間で水が下から押し上げられる形で広がりながら流れていると考えられる。その結果、ひとつ目の柱にぶつかった水が左右に広がり、内側に戻ってくることなく、流木などが橋脚に衝突しないよう下流へ流れるのを促進させる効果があると考えられる。

4. 結論

渡月橋に設置されている流木止め周りの流況を解析的に検討した結果、流木止めは、流木などが直接橋脚に衝突しないようにすることに加えて、流木などが橋脚側に戻ってこないような流れを促進させることができる形状になっている事が分かった。

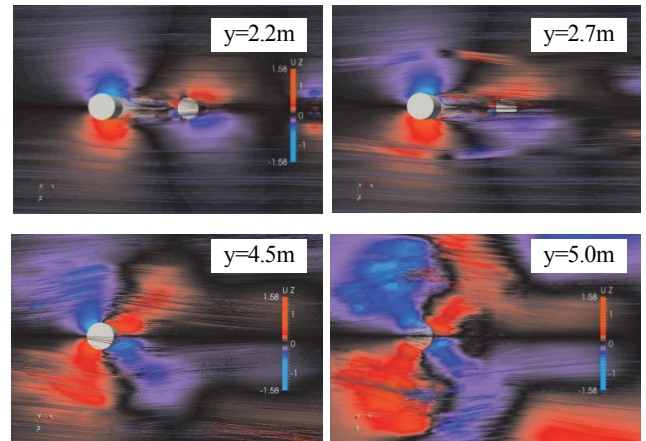


図-5 z 軸方向流速分布の比較

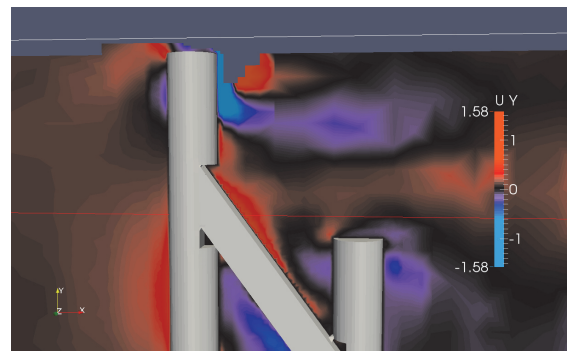


図-6 y 軸方向の流速分布