

SPH 法シミュレーションによる河川氾濫時の橋梁上部構造の流失被害予測

九州大学 学生会員 ○初田宗一郎

九州大学 正会員 浅井光輝

1. はじめに

2020 年 7 月豪雨では、九州南部に線状降水帯が発生し、球磨川では鉄道橋 4 橋を含む 15 橋梁の上部構造が流失する甚大な被害をもたらした。橋梁設計時には、上部構造に直接氾濫水による外力が働くことは想定されておらず、上部構造の流失危険性が評価できていない。今後、同程度の豪雨災害が発生する危険性は避けられず、今後の既設橋梁の対策を検討するためにも、河川氾濫時の橋梁流失メカニズムを明確にする必要がある。本研究では、橋梁上部構造にかかる氾濫水による外力を数値解析により評価し、支承の耐力と比較し流失に至るまでの流体力を評価することを目的とする。解析手法には、自由表面形状の変形表現が容易な SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を用いた。

2. 解析手法および解析モデル

2-1. 解析手法

SPH 法は空間的な格子分割を行わない粒子法で、対象粒子の物理量を影響半径内の近傍粒子の物理量の重み付き平均を用いて決定する。

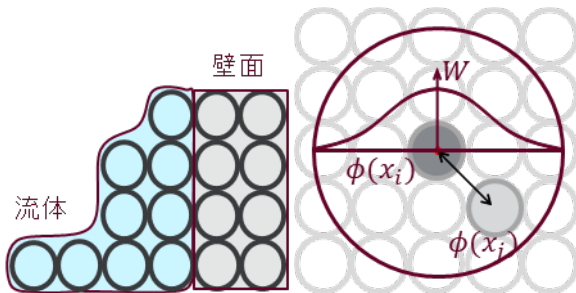


図-1 空間離散化 (左) 近傍粒子と影響半径 (右)
評価対象とする粒子 \$x_i\$ とその近傍粒子 \$x_j\$ との距離 \$r_{ij}\$ および、影響半径 \$h\$ の関数である重み関数 \$W\$ を用いて物理量を近似する。

$$\phi(x_i, t) \approx \langle \phi_i \rangle = \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} W(r_{ij}, h) \phi_j(x_j, t) \quad (1)$$

ここで、粒子が代表する質量を \$m_j\$、物質の密度を \$\rho_j\$ とする。本研究では、非圧縮性流体解析に適した

ISPH(Incompressible SPH)法に安定化項を加えた安定化 ISPH 法⁽¹⁾を用いている。

2-2. 解析モデル

対象橋梁として、熊本県人吉市にあった橋長 179.5m の沖鶴橋を参考にした。橋桁裏面の構造および高欄等の構造モデル化に必要な粒径は 10 cm で、総粒子数が 1 億を超える。解析コスト削減のため、橋桁断面を幅 6.5m、高さ 3.5m の長方形に簡略化した。また、粒径を 50 cm にすることで約 300 万粒子に削減が可能となった。氾濫する河川の準定常状態を再現するために図-2 のように循環型の水路とし、モデル左側のタンクの初期水位を変更し橋桁前面の水位を操作した。

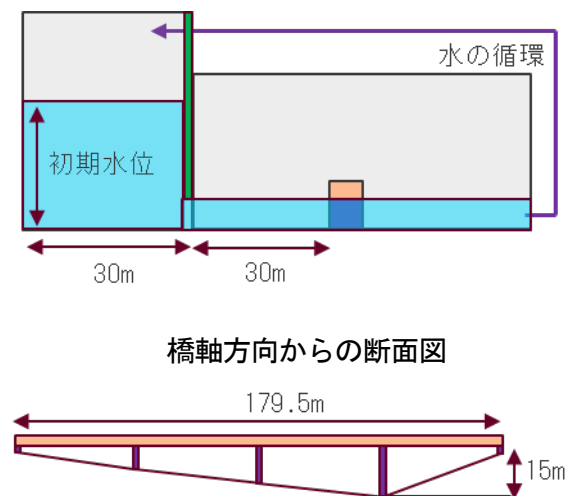


図-2 解析モデル

本研究では橋桁前面に当たる水位の違いによる流体力の検討を行うため、初期水位を 20m, 25m, 30m とし、図-3 に示すように準定常状態で橋桁下端付近に水面があるものと橋桁上端付近まで水面があるもの、橋桁を覆う水位のものの 3 パターンを計算した。境界条件は河床抵抗を考慮し、完全非滑り条件とした。また、流体力は橋桁表面粒子の圧力を合計している。

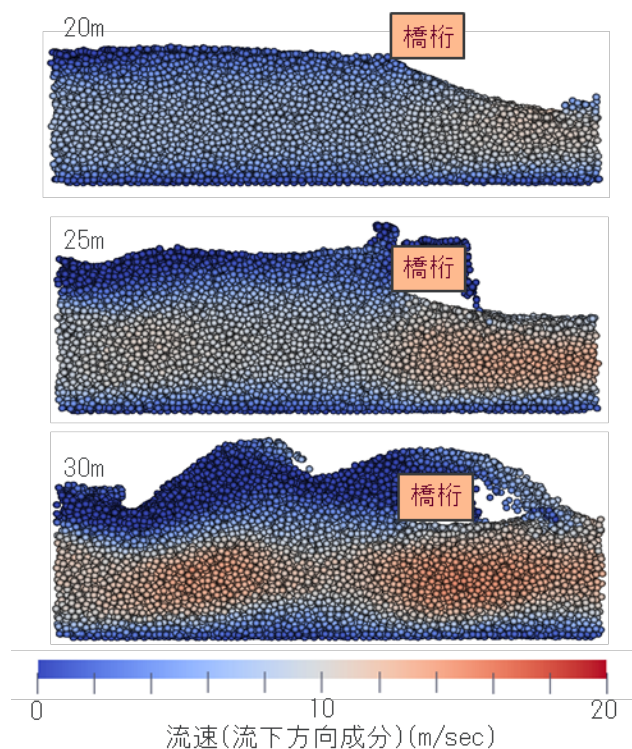


図-3 初期水位の違いによる
桁部の水位(準定常状態)

3. 流速・流体力の検討

図-4 は初期水位 25m モデルの橋桁全体にかかる水平流体力と流速であり、水路の形状特性より 11 秒後からを氾濫時の準定常状態とし、桁にかかる流体力の算出に用いた。

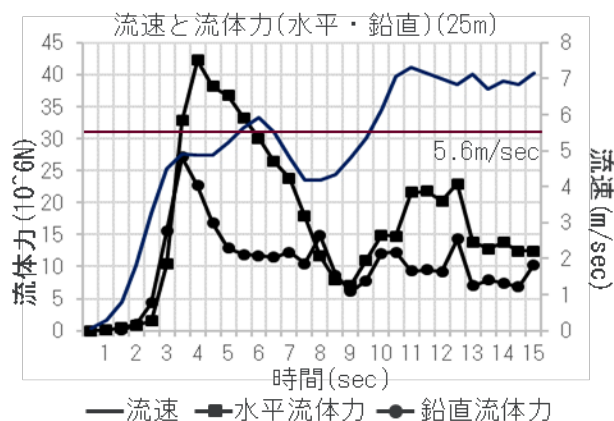


図-4 初期水位 25m における流速と流体力

2005 年宮崎水害では、高千穂鉄道橋流失時の流速が 5.6m/sec⁽²⁾とされており、図-4 に示す通り、今回の結果の方が大きな流速となった。要因としては、橋梁形状・河床形状が単純で摩擦が少なかったことや流木の集積を考慮していないことなどが考え

られる。対象とした沖鶴橋の支承部の水平耐力は JIS 規格による棒鋼耐力を用いると 1 スパン当たり約 2300kN である。橋桁自重 5120kN による摩擦を考慮しても、表-1 のように上部構造を覆う水位では流体力が上回る結果となった。

表-1 1 スパンあたりの流体力と支承耐力

初期水位 (m)	水平流体力 (kN)	支承耐力 (kN)
20	710	2300
25	2880	
30	4300	

4. 結論

本研究では氾濫河川の水位変化による橋梁上部構造の流失危険性を評価するために、循環型水路モデルを用いて、水位変化に伴う橋梁上部構造への流体力計算を安定化 ISPH 法により実施した。モデル粒径による計算精度・災害時の河床状態と流速については今後も議論が必要であるが、概ね桁橋においては、上部構造を覆う水位状態で、支承耐力に対する上部構造流失の危険性が高まる結果が得られた。今後は、骨組み構造進行性崩壊解析が可能な有限要素解析の一種である ASI-Gauss 法⁽³⁾との連成を行いトラス構造の橋梁にも対応できる一般化シミュタへと拡張する予定である。

謝辞

株式会社九州エンジニアリングに沖鶴橋の補修図面を提供していただきました。

参考文献

- (1) Asai, M., Aly, A.M., Sonoda, Y. and Sakai, Y.: A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariance condition, Journal of Applied Mathematics, 2012.
- (2) 石野 和男, バンダラ ナワラトナ, 橋丸 大史, 玉井 信行; 集中豪雨による橋梁の被災原因調査解析と対策工-豪雨災害の現地調査結果とレーダ雨量データ等に基づく考察-, 大成建設技術センター報, 第 39 号, 2006.
- (3) Daigoro Isobe: Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications, 2017.