

SPH 法を用いた河川内橋脚への洪水時の作用外力の評価に関する検討

山口大学大学院	正会員	○渡邊	学歩
山口大学大学院	正会員	赤松	良久
山口大学大学院		入江	貴博
鳥取大学大学院	正会員	小野	祐輔

1. 目的

河川内橋梁構造物の洗掘対策が進み洗掘に対する安全性が確保される一方で、ゲリラ豪雨時の洪水による外力により橋脚が倒壊する被害が頻発している。本研究では過去に発生した洪水災害で倒壊した事例について、再現解析をもとに橋脚の倒壊メカニズムと作用外力に関する検討を行ったので、これを報告する。

2. 粒子法を用いた河川内橋脚周りの流体解析

対象橋梁は、山口・島根豪雨災害において橋脚が倒壊した、山口県山口市の阿武川第六橋りょうと同程度の寸法の円柱橋脚とした。全体の解析モデルは図-1 のようになっている。解析で想定した勾配は、山間部の急峻な河川を想定し勾配を 1/100 としている。勾配のモデル化については、二方向の加速度を調整することで勾配のモデル化をしている。水深は 3m とし、下流方向に 3m/s, 5 m/s, 7 m/s および 10 m/s の初速度を与えることによって解析を行った。さらに、下流側に流れ込んだ水粒子を上流側から流入するように周期境界条件を与えた。

橋脚周りにかかる圧力を橋脚中心部にかかる圧力と考えることで作用力を算出する。圧力は直応力のみはき出されるため、これらをすべて流下方向成分へ変換し、それらの面積積分を行い橋脚への作用力を算出した。なお、橋脚周辺部の圧力は、高さ方向に 0.1m, 偏角 5 度で出力して断面力を算出した。図-2 には、初速度 5m/s の場合のせん断力および曲げモーメントの時刻歴を示すが、2 秒における各断面力は、 $Q=87.4 \text{ kN}$, $M=155.2 \text{ kNm}$ となり、Newton の抵抗法則に基づいて算出した断面力は $Q=39.6 \text{ kN}$, $M= 155.2 \text{ kNm}$ となり、粒子法による解析結果では Newton の抵抗法則に基づく流体力に比べて大きな断面力が発生していることがわかる。

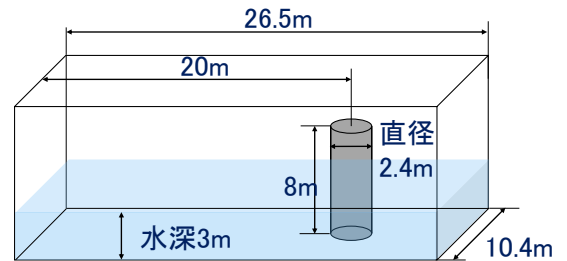
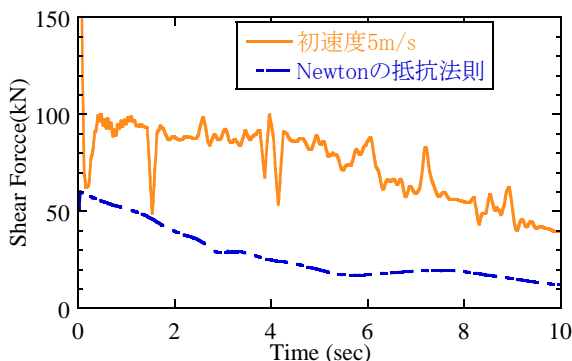
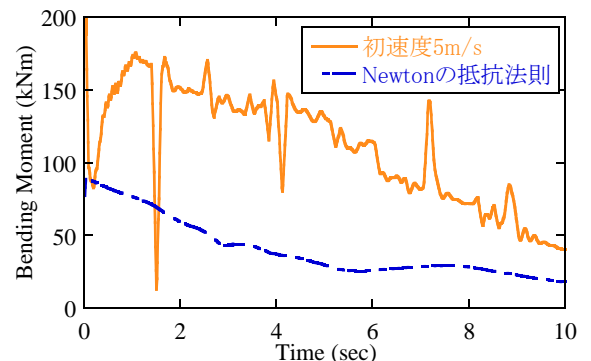


図-1 解析モデル



(a) せん断力の時刻歴



(b) 曲げモーメントの時刻歴

図-2 断面力の時刻歴

キーワード 粒子法, SPH 法, 洪水, 橋脚倒壊, 流体力

連絡先 〒755-8661 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL 0836-85-9360

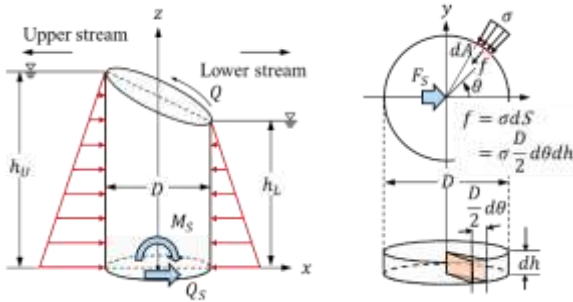


図-3 上下流間の表面水位差の発生に伴う円柱橋脚への作用力

3. 上下流間の表面水位差の発生に伴う橋脚への作用力について

河川内に架設された橋梁構造物では、図-3 に示す様に橋脚による堰上げと背水低下により、上流側と下流側で水位差（以後、この水位差を表面水位差という）が発生する。表面水位差が生じると、静水圧の分布が非対称となることから、橋脚には下流側に水平力 F_S が作用し、橋脚基部にはせん断 Q_S および曲げモーメント M_S の断面力が生じる。橋脚壁面に作用する静水圧は任意の水位を h （河床を $h=0$ ）、表面水位を h_w とするとき、次式で求められる。

$$\sigma_s = \rho g(h_w - h)$$

円柱橋脚の場合には、表面水位 h_w が図-3 に示すように位置（偏角 θ ）によって変化することから、 $dS=D/2 \cdot d\theta dh$ の変数変換を行うと、柱基部位置での断面力（せん断力）は以下の通りとなる。

$$Q_S = \rho g \int_S (h_w - h) \cdot dS$$

ここで、円柱周りの表面水位は、上下流間で水位差が発生する場合に、点 Q の鉛直方向高さとして表されるため、次式の通りとなる。

$$h_w = h_{ave} - \frac{\Delta h}{2} \cos \theta$$

これを、式(2)に代入すると次式の通りとなる。

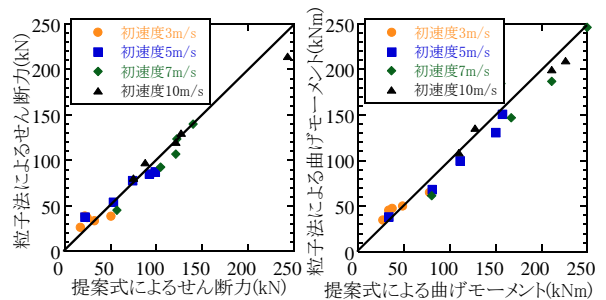
$$Q_S = \frac{\rho g \pi D}{4} \cdot h_{ave} \cdot \Delta h$$

同様に、柱基部に作用する曲げモーメントを求めると次式の通りとなる。

$$M_S = \frac{\rho g \pi D}{8} \left(h_{ave}^2 + \frac{\Delta h^2}{32} \right) \Delta h$$

ここで、 h_{ave} および Δh はそれぞれ、橋脚上下流間の平均水位および水位差を表す。

これを基に 2, 4, 6, 8, 10 秒時の各ケースの粒子法によって算出した断面力と提案式によって算出した断面力を図-4 に示す。粒子法による断面力と、提案式によって求めた評価値が非常に高い一致度であり、提案式による評価値の妥当性が確認できた。この、流体力による断面力の評価式には、橋脚の直径、平均水位、および表面水位差が必要となる。前二者においては設計図面や、河川の形状と予測降水量の流量を参考に計算が可能となる。



(a)せん断力 (b) 曲げモーメント

図-4 粒子法と提案式によって算出した断面力

4. 結論

洪水時を想定した橋脚周りの流体の挙動について、粒子法による数値解析を行った。以下に本研究で得られた結論を示す。

- 1) 洪水時には、河川内橋脚周辺の表面水位に上下流間で水位差が生じる。これにより、静水圧分布の非対称性による橋脚への作用力が生じる。このため、Newton の抵抗法則により、求められる橋脚への作用断面力は過小評価となる恐れがある。
- 2) 表面水位差を元にした橋脚への作用断面力に関する評価式を提案するとともに、洪水時の作用外力にたいして妥当性を検証した。