

# 汎用物理シミュレータによるインフラストラクチャーの倒壊過程の追跡

香川大学 賛助会員 ○我部山喜弘 藤村素直 正会員 岡崎慎一郎

## 1. はじめに

我が国において、地震による津波や、豪雨に伴う高潮の影響により橋梁が崩壊する事例が頻発している。この要因は、想定を遥かに超えた外力が発生したことや、橋梁部材の経年劣化などの影響による。平成 30 年 7 月に発生した西日本豪雨では、JR 四国管内でも多くの被災が確認された。このような被害が起こることは、計算や解析によって注意が喚起されているが、河川の流れをシミュレーションすることは流体力学的にも取り扱いが難しいとされている。それは複雑な領域を持つ自由表面をシミュレーションする難しさに加えて、河川流が土砂を運ぶことによる河床の変動まで考慮しなければならないからである。

本研究では橋梁の橋脚部の洗掘による河床の低下とそれに伴う上部工の大変形といった実際の事故例を対象に、河川における橋梁の洗掘倒壊モデルを作成することを目的とした。現在多く行われているような個々の部材に対する計算だけでは不十分であり、地盤等の周辺環境の挙動についても、包括的に考慮する必要がある。このような負荷が大きい地盤-流体-構造連成問題を低コストで比較的短時間に解く試みを、汎用物理シミュレータを用いて行った。

## 2. シミュレート方法

本研究では汎用物理シミュレータ「Blender」によって行った。Blender には Bullet と呼ばれる物理エンジンが搭載されており、このソフトでは 3 次元的なシミュレーションを高速で行うことができる。本研究では、SPH 法に基づいて行ったが、Particle などのパラメータの設定が、一般の数値解析における設定値と大きく異なっている。したがって、シミュレーションを行うためには、粒子群として再現された流体が、水として振る舞うことの妥当性や、そのときのパラメータ値を決定することが必要であり、詳細に検討を実施した。

### 1) DAM BREAK 問題

DAM BREAK は自由表面の流れの場をシミュレートする代表的な問題のひとつである。Blender の 3 次元空間内でダムブレイク実験を行う装置 (50mm×100mm×60mm) を作成して (図 1)、Particle の挙動を

追跡し、実験により得られている水の挙動との比較を行った。

表 1 に示す値が本シミュレーションにおける Particle の設定であり、Size と Rest Density が与える影響が大きく、これを基準としてその他の数値を設定した。図 2 より、0.6 時点で流体が大きく跳ね上がってはいないが、その他の時点においては概ね実験と同様な挙動を示した。以下のシミュレーションではこの値を適用した。

表 1 DAM BREAK から得た流体のパラメータ値

| 流体           |       |           |     |
|--------------|-------|-----------|-----|
| particles    | 7000  | Mass      | 4.0 |
| Size         | 0.011 | Stiffness | 4.0 |
| Rest Density | 0.5   | Viscosity | 1.4 |

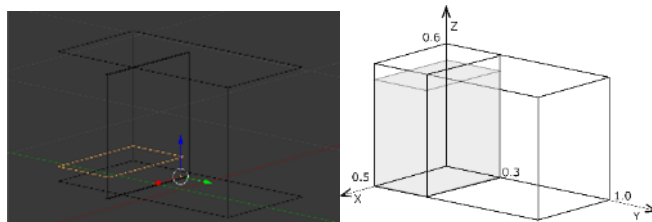


図 1 DAM BREAK メッシュフレームモデル詳細

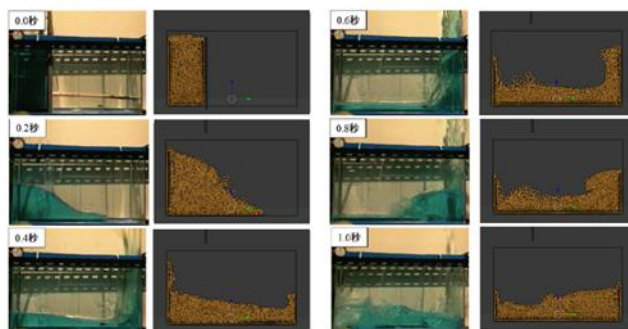


図 2 DAM BREAK 実験とシミュレーションの比較

### 2) 洪水シミュレーション

地形データを作成し、表 1 で決定した流体を河川上に流入し、洪水のシミュレーションを行った。その結果を 1 sec 毎にレンダリングしたものを図 3 に示す。結果として洪水時の水位を確認することができた。また平常時の河川には水のなかった地上部においても浸水する様子もシミュレートできた。

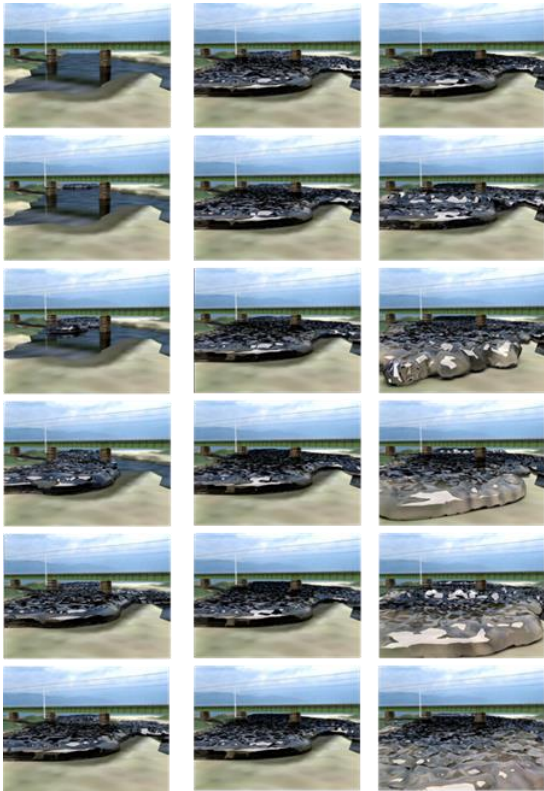


図3 洪水シミュレーション

3) 洗掘シミュレーション

洗掘現象のシミュレーションでは流体、地盤基礎、橋脚構造の3種類のParticleを設定し、SPH法に基づいて地盤-流体-構造連成問題を解くこととした。ここでは基礎と橋脚を表現するために、Particleの設定として新たに Activate Particle linking における New linking(% linking)を利用した(表2)。検討対象の概要を図4に示す。

シミュレーション結果を図5に示す。流れてきた水により基礎が削られ、橋脚が傾斜する様子が確認でき、洗掘現象をシミュレートできている。

表2 Activate Particle linking 設定

| 基礎            |      | 橋脚            |       |
|---------------|------|---------------|-------|
| search length | 1.7  | search length | 4.0   |
| Max links     | 2    | Max links     | 16    |
| broken        | 5.0  | broken        | 100.0 |
| % linking     | 0.06 | % linking     | 0.0   |

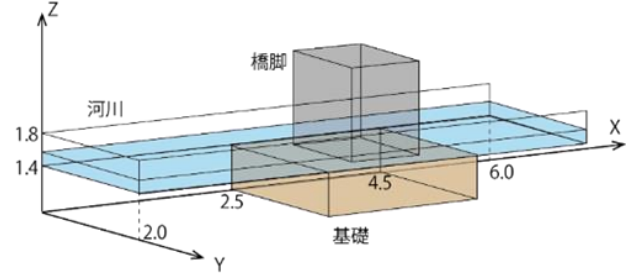


図4 洗掘メッシュフレームモデル詳細

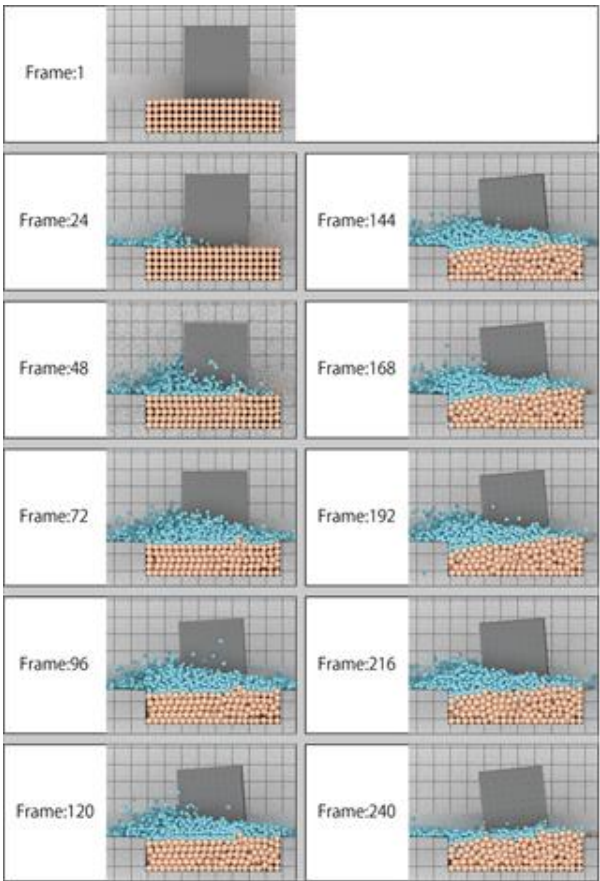


図5 洗掘シミュレーション

3. まとめ

1) DAM BREAK 問題より流体の挙動を妥当に説明できるパラメータを得たが、流体が跳ね上がる挙動を再現することができなかった。そのため、その原因の特定と流体に関するパラメータどうしの影響を調べる必要がある。

2) 洪水をアニメーションとしてシミュレーションの結果を示すことで、被害状況を見た目にわかりやすく表示することができた。今後は本モデルにおいて洗掘シミュレーションを行うことを目標とする。

3) 洗掘シミュレーションでは、汎用的な物理シミュレータにより、自然現象を再現することができた。今後はより精度の良いシミュレーションを行うために、現在より細分化したデータ作成をすることで、計算結果に残る実際の挙動との不一致を軽減することを目指す。またこの細分化によってシミュレート結果がどのように変化するかを、経験的に学ぶ必要がある。

参考文献：藤堂++ (2015) 『Blender 2.7 マスターブック スカルプト&シミュレーション編』株式会社カットシステム