

**研究課題名： 大規模 FEM-SPH 連成解析における自然災害時の沿岸構造物の安全性評価**

研究課題代表者： 浅井光輝 九州大学工学研究院社会基盤部門

副代表者： 荻野正雄 当時・名古屋大学・情報基盤センター

共同研究者： 塩谷隆二 東洋大学総合情報学部

**研究目的**

地震・津波などの自然災害が高層建築物や道路橋などのインフラに及ぼす影響を正確かつ迅速に評価するため、本研究グループでは、津波が河川・地上へと遡上し、構造物が崩壊する過程までを予測可能とする高性能・高信頼性マルチフィジックスシミュレータの構築を目指している。特に、津波を含む自由表面流れ解析には粒子型解法である SPH 法、構造物解析には有限要素法（FEM）を用いたシステム開発と数値実験を行ってきた。これまでに、SPH 法による流体-構造（剛体）連成解析と橋桁流失問題への応用、SPH-FEM による流体-構造片方向連成解析、流体-構造（剛体）連成解析の V&V などに成功してきた。

このように、道路橋や津波避難ビルなど沿岸構造物の健全性評価を進めてきたが、平成 23 年 3 月東日本大震災で発生した福島第一原子力発電所の水密扉破壊や平成 29 年 7 月九州北部豪雨で発生した JR 久大本線鉄橋流失のように、構造物の大変形・破壊と流体の相互作用を考慮するためには、双方向での流体構造連成解析が必要となる。そこで本研究では、分離型解法による SPH-FEM 弱連成解析システムを開発し、流体構造連成解析を実施することで、津波や河川増水が沿岸や河川区域の重要構造物の安全性に与える影響について評価することが本研究の目的である。

**研究成果**

これまでの成果として、損傷後の変形解析が可能となるように大変形 FEM を採用し、さらに連成解析手法としては分離型解法の 1 つである逐次時差解法を採用することで双方向連成解析を実施してきた。平成 30 年度のプロダクションランでは、福島第一原子力発電所における水密扉への動的津波荷重の影響評価、JR 久大本線花月川橋梁への河川増水の影響評価などの実用的な計算を実施するためには、平成 30 年度では特に（瓦礫のモデル化のため）多数固体の同時接触解析を含む流体と構造の連成解析手法の開発を行った。

固体接触の数値解析においては、固体間での貫入を防ぐため、仮想のバネを使ったペナルティ法を用いた解析手法を用いることが多い。このペナルティ法では仮想バネのバネ係数により時間増分が支配的になり、一般的には時間増分を小さく設定する必要がある。今回の計算対象は流体固体の連成解析であり、固体接触解析と比べ流体計算の計算コストが高く、ペナルティ法による計算時間増分のまま逐次時差解法により双方向連成を実施することは困難となる。そこで本研究では、固体間で作用すべき撃力を直接計算するインパルス法に着

目し、その改良を行うことで、流体と固体の接触解析が同じ時間増分で解析できる手法へと発展させた。固体を粒子から形成される剛体としてモデル化し、ISPH 法による非圧縮性流体解析と連成させた手法を参考文献[1]にてすでに論文発表した。このインパルス法による接触解析は1対1の剛体接触問題においては完全に理論解を再現できるものの、複数剛体が同時接触を解析する際にはアルゴリズムが煩雑となり、また解析精度も低下する。このため、次のステップとして、剛体間の反発時のエネルギー収支をより正確に扱え、また複数剛体の同時接触までを高精度に解析可能な Energy Tracking Impulse 法を採用し、これと ISPH 法による流体解析と組み合わせた新たな手法を提案することで、複雑な形状の物体が同時接触しながら、またさらに流体力による駆動力により移動する物体の解析がロバストに計算できることを示した。本成果は現在、計算物理の分野でのトップジャーナルの一つである Journal of Computational Physics へと投稿中である。その計算例を図1に示す。提案手法により瓦礫などの複雑な形状の物体が大量に流体により流される構造物に衝突するような現象までを解析する目途が立った。

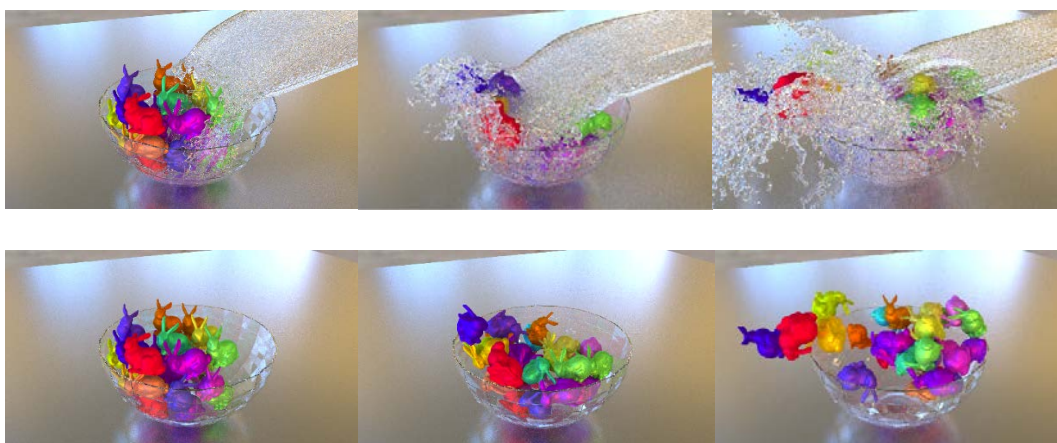


図1 ETI による固体間での接触解析と ISPH 法による流体構造連成解析  
(上段：固体・水の同時表示，下段：固体のみ表示)

#### 参考文献

- [1] Li Yi, Mitsuteru ASAI, Fluid-rigid body interaction simulation based on a stabilized ISPH method incorporated with the impulse-based rigid body dynamics, 日本計算工学論文集, 2018,p.20182010