

**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の
高性能・高機能化**

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： 片桐 名古屋大学・情報基盤センター

共同研究者： 荻野正雄 大同大学

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。

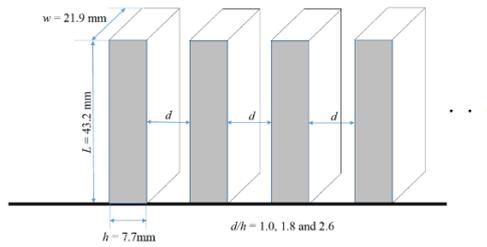
このように、道路橋や津波避難ビルなど沿岸構造物の健全性評価を進めてきたが、平成 23 年 3 月東日本大震災で発生した福島第一原子力発電所の水密扉破壊や平成 29 年 7 月九州北部豪雨で発生した JR 久大本線鉄橋流失のように、流体により浮遊する瓦礫間の接触を含む流体構造連成解析が必要となる。本研究では、特に固体間の接触解析の精度向上を図り、エネルギー保存型力積法を導入した高精度かつ安定に解く流体構造連成解析手法を開発した。

研究成果

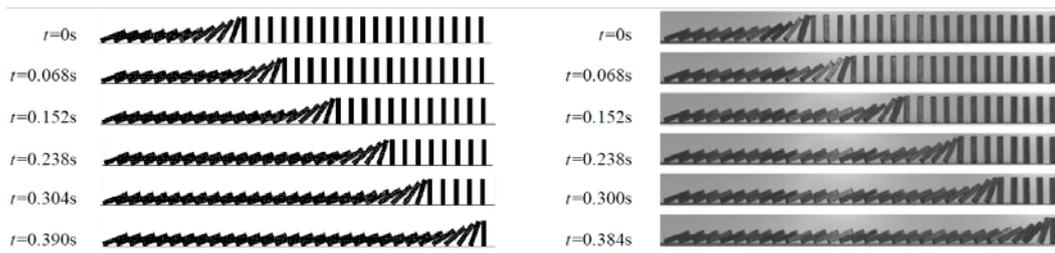
1) ドミノによる実験との比較による ETI の精度検証

流体構造連成解析への適用の前に文献[1]に掲載されていたドミノの実験結果を再現し、エネルギー保存型力積法の精度検証を行った。この詳細な比較結果は文献[2]にて確認していただきたい。ここではその一部を要約する。

ドミノの実験は、幅 $w=21.9$ mm, 高さ $L=43.2$ mm, 厚さ $h=7.7$ mm のドミノを使い、ドミノの設置間隔を 3 種類に変えた実験であった。この文献ではドミノの反発係数および摩擦係数が与えられていたので、その値をそのまま与えた数値実験を行った(図-1)。図-2 には、 $d/h=1$ の計算結果と実験結果を示しているが、各ドミノの衝突時間、衝突の様子が高精度に再現されており、また従来の接触解析手法 (ペナルティ法) となっていた仮想的なバネ剛性などのパラメータの調節がなく、安定して高精度に計算できることを確認した。



図一1 ドミノの設定

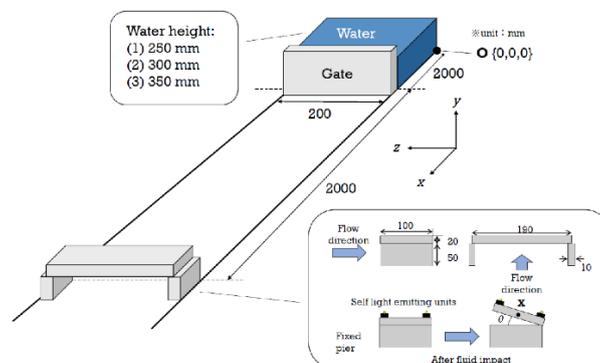


図一2 d/h=1 時の数値解析結果(左)と実験結果(右)

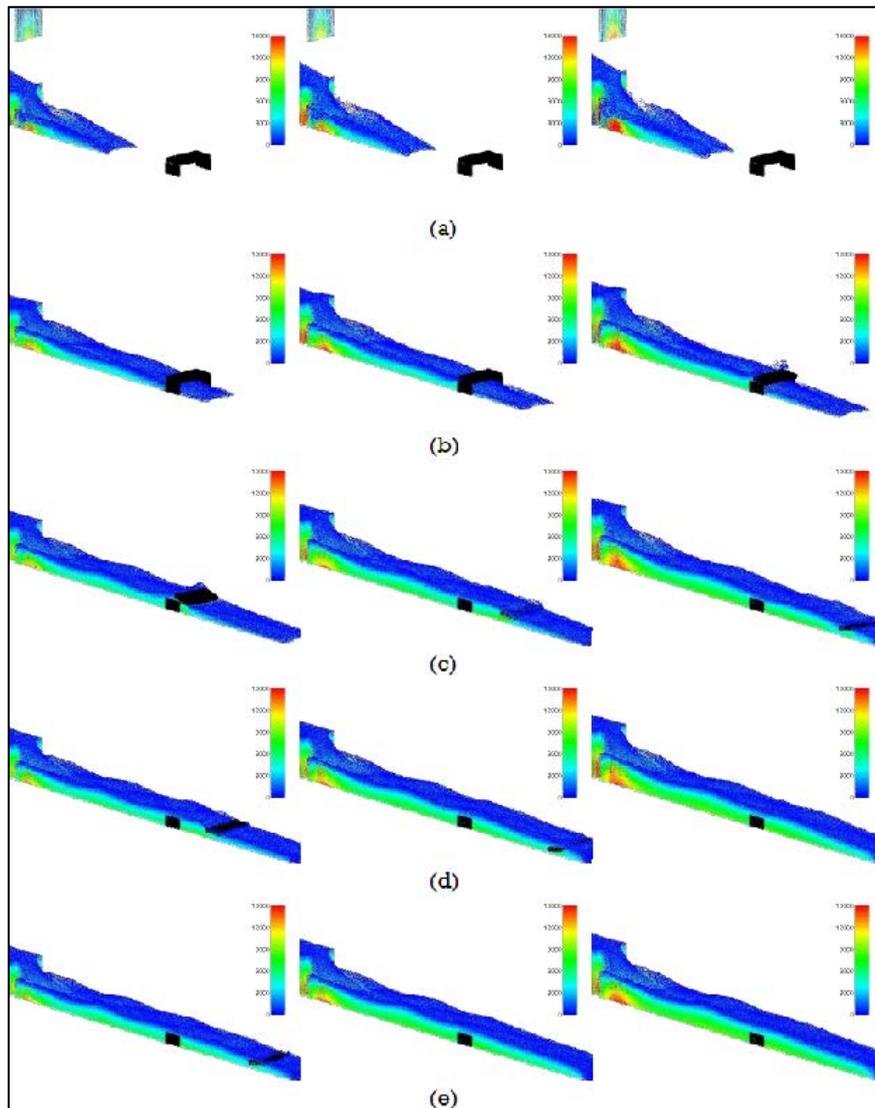
2) 橋梁流失実験による流体構造連成問題における ETI の検証例

ドミノの実験により検証されたエネルギー保存型力積法を使い、これを粒子法による流体解析と連成した流体剛体連成解析を実施した。この実験は、立命館大学が所有する水路で実験し、橋梁を模擬した直方体のブロックを、橋脚を模擬した支柱の上に設置し、ダムブレイクにより橋梁流失を模擬した実験を行った(図一3 参照)。この流出過程を Nobby Tech 社の VENUS 3-D によるリアルタイム物体計測装置を使った 3次元位置計測を行った。この際、同社が開発した水耐性マーカー煌を直方体ブロックの上に配置し、マーカーの一を計測し、並進方向の運動だけでなく、回転運動までを 3次元計測した。

図一5 に解析より得られた流体の圧力分布と、剛体模型(黒色表示)の流失過程を図化した。橋梁模型の水平方向変位、鉛直変位、そして回転変位の 3つの計測結果を解析結果と比較した。3次元位置計測の精度もまだ乱れており、不十分な点もあるが、3次元変位のすべての成分が実験結果と同様な結果が得られた。ここで紹介したエネルギー保存型力積法は特に次に示す例題のような多体接触問題において特に利点がある方法である。



図一4 橋梁流失の模型実験



図—5 橋梁流失の解析結果

参考文献

- [1] Lu G, Third JR, Müller CR (2014) Effect of particle shape on domino wave propagation: a perspective from 3d, anisotropic discrete element simulations. *Granul Matter* 16(1):107–114
- [2] Li Yi, Mitsuteru Asai, Bodhinanda Chandra, Masaharu Isshiki, Energy-tracking impulse method for particle-discretized rigid-body simulations with frictional contact, *Computational Particle Mechanics*, 2020, <https://doi.org/10.1007/s40571-020-00326-5>