計算科学技術部会セッション「外部ハザード評価のための数値解析」

(2) マルチスケール粒子法による構造物に作用する津波力評価

(2) Evaluation of Fluid Force Acted on Structure by using Multi-scale Particle Method

*浅井 光輝」

1九大

1. マルチスケール粒子法の概要

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により,沿岸地域の多くの土木構造物に甚大な被害 が発生した.現在,南海トラフ地震をはじめとする今後危惧される巨大地震に伴う津波に対して,沿岸地 域の防災・減災が積極的に議論されており,構造物の津波被害を予測することのできる大規模津波シミュ レーションの開発は重要である.

このような背景を受け、広範囲かつ高精度な津波解析を効率的に行うため、津波波源から沿岸域の計算 は差分法などによる平面 2 次元津波解析、遡上後などの局所的な領域はナビエ・ストークス方程式に準じ た 3 次元流体解析を粒子法にて行うマルチスケール粒子法による津波被害予測ツールを開発している. 3 次元解析手法として粒子法を採用することで、建物群を含む複雑な地形モデルの作成が容易になるといっ たプリプロセスの簡略化に加え、建物周辺における砕波を含んだ激しい流れに伴う自由表面流れの変化を 柔軟に再現できるといったソルバーの堅牢さを有することが利点となる. これまでに筆者らは、事前に解 析した広域の 2 次元解析結果、あるいは観測データなどの情報から流入境界を設定し、3 次元粒子法による 閉領域の解析を可能とするマトリックスアレイ状の仮想造波板境界処理法を開発した. この手法は、閉じ た領域で 3 次元解析を実施する際、境界部に設置する仮想造波板粒子を制御することで事前に評価した流 速と圧力の時系列データを境界条件として設定できるため、押し波引き波に関わらず事前解析の結果をス ムーズに受け渡すことができる. また、一旦、粒子法で解析した結果をズーミングすることも可能であり、 さらなる高解像度・高精度解析へと発展させることも可能となる.

本報では、粒子法そのものの流体力評価の精度の検証・妥当性確認の現状をまとめると同時に、上記マ ルチスケール粒子法による津波被害予測ツールの現状について報告する.



図-1 マルチスケール粒子法による津波被害予測ツール

2. マトリックスアレイ状仮想造波板の概要

多段階のマルチスケール粒子解析を実施するには、各スケール間を連結することを可能とするマトリックスアレイ状の仮想造波板が有効となる. 図-2 には、各種造波板の概念図を示す.実験では、造板波のすべての速度を同じとする一様な造波板を用いるが、数値解析では深さ方向だけでなく水平方向に変動する

2016年秋の大会

非一様な造波板により波を生成でき、さらにはマトリックス上に設置したセルをすべて独立した動きをさ せるマトリックスアレイ状の造波板によれば3次元性を有する波まで生成できる.さらには水粒子を流入 量に合わせて自由に生成あるいは消去可能な仮想造波板へと発展させることで、事前に計算した波のデー タを流入あるいは流出条件に設定することができ(図-3参照),押し波だけでなく引き波までがこの造波板 で再現可能となる.



a)全方向一様 b)深さ方向変動 c)水平方向変動 d)マトリックスアレイ状

図-2 仮想造波板のイメージ



図-3 境界における流入・流出

図-4には、上記ツールにより、2次元津波伝搬解析(レベル0解析)と粒子法による3次元津波遡上解析(レベル1解析)を連成した事例[1]の解析モデル図を示す.同図に示す通り、解析領域(2.4km×2.7km)の湾の入り口付近に流入領域を設定し、同一で観測されたレベル0解析の結果を入力条件として、レベル1解析を実施した.解析結果を図—5に示す.同図上に粒子法により得られた速度コンターを示し、下は境界条件として付与した速度を示している.



図-4 歌津地区解析領域と流入境界

図−5 マルチスケール津波遡上解析例

3. マルチフィジックス解析による津波時流体力評価事例

先の仮想造波板を用いれば、段階的なマルチスケール解析が可能となり、最終的には構造物に作用する 流体力の評価の際に必要な解像度まで到達することができる.またラグランジュ記述に基づく粒子法を解 析手法として選択したメリットとして、先に示した津波遡上解析などのように複雑な幾何形状を有する問 題の入力モデル作成の省力化のほかにも、構造解析との連成解析の親和性も期待できる.ここでは、津波 時に発生する漂流物が構造物に衝突する解析事例を紹介する.

漂流物と構造物は図-6に示すように剛体を仮定し、各剛体も津波解析領域と同様に、粒子で離散化する ことで剛体運動を追跡することにした.まずは剛体表面で計測された圧力を積分することで、剛体として モデル化した構造に作用する流体力を評価し、あとは剛体の運動方程式を解くことで剛体の並進運動・回 転運動の両者を適切に再現できる.図-7に解析モデルの概観を、図-8には漂流物モデルの詳細を示す.解 析結果を図-9に示す.図に示す通り構造物としては1階部分をピロティ構造とした場合の解析事例のみこ こでは示す.津波は1階部分の隙間に流れ込み、漂流物もそれに伴って流され、そのままビルに衝突した 結果となった.他にも条件を変えて、津波力に加えて漂流物の衝突荷重の推定を試みている.







図-9 圧力測定の様子

4. 現状と今後

マルチスケール粒子法による津波被害予測解析ツールの枠組みは完成し、ようやく実現象に即した3次 元解析が可能となりつつある.また実験との比較検証を通して、数値解析結果の妥当性確認を併行して行 っており、解析精度についても担保している.あとは東日本大震災時の津波被害の再現を試み、実規模の 被害分布がどの程度の精度で解析できているかを詳細に比較したうえで、今後危惧される巨大地震時の被 害予測へと発展させる予定である.

参考文献

[1] Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Nur'Ain Idris, Abdul Muhari, Fumihiko Imamura, Coupled tsunami simulation based on a 2D shallow-water equation-based finite difference method and 3D incompressible smoothed particle hydrodynamics, Journal of Earthquake & Tsunami, accepted

*Mitsuteru Asai²

¹Kyushu Univ.