高解像度地形モデルを用いた ISPH 法による津波遡上解析

啓介	藤本	\bigcirc	学生会員	九州大学大学院
光輝	浅井		正会員	九州大学大学院
正晴	一色		正会員	愛媛大学
寛	館澤		正会員	(株)防災技術コンサルタント
勉	三上		正会員	(株)防災技術コンサルタント

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波により,橋梁・堤防・海岸保全施設などの多く の土木構造物が被災した.今後危惧されている巨大津波が発生する前に,津波被害を事前にできるだけ精緻に想定 可能な数値解析手法の開発が望まれている.これまでの津波氾濫解析では,広範囲の領域を低計算コストで解析す ることを目的とし,浅水長波の仮定を用いて平面2次元問題へと簡略化し,これを差分法で解くことが一般的であっ た.そのため,3次元効果の高い現象,たとえば津波が河川へと遡上する,堤防を越流するなどの再現は困難であり, また同時に構造物に働く流体力までを予測することは不可能であった.そこで本研究では,複雑な地形状を3次元問 題としてモデル化し,かつ激しく変動する自由表面を的確に追跡するために,メッシュフリーな粒子型解法の1つで あるSmoothed Particle Hydrodynamics (以下, SPH法) に着目し,航空測量あるいは深浅測量などの地表面・海底面 の計測データから3次元津波解析を実施するまでの一連の手順の構築を試みた.

2. 解析手法の概要

本手法では,SPH 法の中でも非圧縮性流体解法と提案された Incompressive SPH 法(ISPH 法)に対して,著者ら がさらに改良を加えた非圧縮条件緩和型 ISPH 法を用いており,構造物に作用する流体力の評価の精度等について は事前に検証済みである.詳細は文献[1]に委ねる.

3. 航空測量・深浅測量からの粒子モデルの作成手順と岩手県宮古市田老地区への適用例

3.1 解析モデル

津波遡上解析を実施するにあたり,解析対象となる水域だけでなく,地表面および地上構造物を固定した粒子で モデル化する方針とした.図-1に示す岩手県宮古市田老地区

を対象とした.ここには、日本最大規模のX字の堤防(赤線) が構築されていたが、東日本大震災時には、北側にある第 一線堤(赤点線部)がほぼ全壊し、町のほぼ全体が浸水し た、今回、この地域を例に挙げた.

DEMデータなどの市販の数値地図データでは,海岸保全施設などの構造物の情報を含んだ詳細な3次元地形データまでを入手することは困難であるため,航空測量(地上)と深浅測量(海底)による測量の基データ(レーザプロファイラ)を用いて,高解像度な粒子解析モデルを構築した.

解像度の高いモデルを構築するには、細かな構造格子で 定義した高さ情報を用いる必要がある.今回,使用する PC などの環境によるメモリ不足などの理由から、部分的に詳 細な地形データが必要な領域(たとえば図-2(a)の赤枠部) のみ細かな構造格子で高さ情報を定義し、それ以外の場所 は粗い格子を使用した多解像度の構造格子データを用いた.

(異なる解像度の結合部の詳細を図-2(b)に示す.)



(a) X字の堤防の位置(b) 津波により崩壊した堤防図-1 岩手県宮古市田老地区



(a)多解像度の地形データ (b)異なる解像度の結合部図-2 STL データの詳細

3.2 解析条件

津波遡上解析において,流入条件は慎重に検討する必要 がある.ここでは仮に,高さ3m,速度10m/sの水が解析モ デルの右方向から常時流入するものとした.また,地表面 データ(STLファイル)は1m間隔の表面データを構築した ものの,解析時間の制約上,解析モデルの解像度(=初期 粒子間隔)を4mに設定した.このとき,粒子間隔から設定 される安定性の条件から時間増分∠tを0.01sとし,実時間5 分の解析を行った.

本解析は、京都大学学術情報メディアセンターのスーパ ーコンピュータ(CRAY XE6, 128ノード, 4096コア)を利 用して実施し、総粒子数約2000万,実時間5分の解析に約3 日を要した.

3.3 解析結果

図-3では東日本大震災における岩手県宮古市田老地区の 浸水域と比較しながら,解析開始直後,津波入力から2分30 秒,5分後の結果を示している.同図に示す解析結果では, レイトレーシング法を用いて粒子レンダリングしている¹⁴.

流入をはじめてから5分後の結果と同図中の被害調査図 (2011 津波遡上範囲,日本地理学会 津波被災マップ[2]よ り引用)を比較すると,類似した浸水域が再現できている ことが確認できる.

図-4(a)には東西方向への流速コンターを示す. 津波が湾 内に進行し始めた際,海中にある防波堤により直進方向の 流速が減衰している. また,先端の形状がX字の堤防と一 致していることから, X字の堤防により一旦は水が堰き止 められており,その後に越流が始まったことが確認できる.

図-4(b)は北向き速度,西向き速度をそれぞれ示した.カ ラーコンターの範囲は0m/s(青)~10m/s(赤)とした.被害調 査の結果では,北側にある1線堤のみが大きく崩壊していた が,この流速の比較からは若干であるが西向き速度より北 向き速度が多少大きくなっている.しかし,流入条件が簡 易的であるため,北側の一線堤が崩壊した要因については さらに慎重な議論が必要であろう.



図-3 解析結果と実際の浸水域





(b) 北向き・西向き速度図-4 解析結果の考察

4. おわりに

解析結果と被害調査の比較検討から、3次元解析を実施したことで自然と堤防による堰止め効果あるいは越流現 象を再現できており、定性的には妥当な津波遡上現象が表現していた.しかしながら、破堤した北側の第一線堤の 破壊までは再現しておらず、まだ被害調査と定量的な一致が得られるまでの解析結果は得られていない.また、現 時点では簡易的な流入条件を用いているため、解析の入力条件の再検討も必要である.

参考文献

[1] Mitsuteru ASAI, Abdelraheem M. ALY, Yoshimi SONODA, Yuzuru SAKAI : A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariant condition, Journal of Applied Mathematics, Volume 2012 (2012), Article ID 139583, 24 pages, 2012

[2] 日本地理学会ホームページ:http://www.ajg.or.jp/ (25年1月9日閲覧)