

氾濫シミュレーションモデル (xpswmm) による震源断層域からの津波解析

日本水工設計 (株) ○山田 龍男・小林 岳文・牛原 正詞
(株) フォーラムエイト 羽田 誠

1. はじめに

平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波により、人命、財産、地域に未曾有の被害が生じ、下水道施設も甚大な被害を受け、多くの自治体で下水道機能が停止した。また、平成 24 年度に内閣府により公表された南海トラフ巨大地震の被害想定において、科学的知見に基づく最大クラスの地震による大規模な津波被害が想定されており、下水道施設においても対策の立案が喫緊の課題となっている。

下水道施設の津波被害は、施設ごとに発生状況が異なることから、対策立案にあたっては下水道施設の立地状況や津波被害の特性等を考慮して実施していく必要があるため、シミュレーションの活用が有効と考えられる。

これまでの津波解析では、東北大学で開発され我が国の多くの津波解析に適用されている TUNAMI モデルを用いて震源断層域から解析されるのが一般的であった。

本稿では、下水道施設に対する津波の影響等について、浸水深だけでなく、より詳細に把握するため、解析結果を分かりやすく表示するアニメーション機能等を有したモデルで容易に解析を行うことを目的に氾濫シミュレーションモデル (xpswmm : 以下、二次元解析を xpswmm2D と記す) を用いた解析について報告する。

2. 一般的な解析手法について

震源断層域からの津波解析では、解析範囲が広範囲になることから、一般的には、図-1 に示すように、外洋部は格子サイズを粗くし、検討対象施設のある陸域に向けて徐々に格子サイズを細かくしていく手法、つまり、サイズの異なる複数の構造格子を直角格子でネスティングし、有限差分法にて伝播及び遡上計算を行う。

しかし、境界部において格子点数が数倍変わることに起因するネスティング境界部の反射の影響が課題であり、複雑な地形、急激な変化点等では、計算が安定しない傾向があることから、メッシュの取り方等に留意する必要がある。

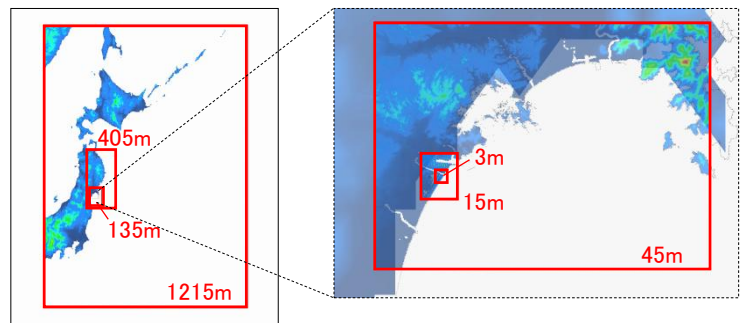


図-1 解析領域と対応する格子サイズ
(ネスティング) の例

3. 氾濫シミュレーションモデル (xpswmm) による解析

前項で示した課題を解決するため、非構造格子を採用し、アニメーション機能を有する xpswmm を用いて解析を行った。この xpswmm2D の支配方程式は、TUNAMI モデルと同じ非線形浅水長波方程式を採用しており、図-2 に示すように解析領域を不規則な三辺形及び四辺形で構成する非構造格子で設定 (フレキシブルメッシュモデルという) することができ、有限体積法により津波の伝播及び遡上計算を行うものである。

表-1 に xpswmm2D と TUNAMI モデルの違いを示す。

xpswmm2D の有限体積法スキームでは、粘性項や外力項、コリオリ力の項、摩擦項等を考慮した非線形浅水長波方程式を扱い、保存則を表す積分形式でこの基礎方程式を表した上で、非構造格子の場合には、対象領域において不規則な三辺形及び四辺形で構成された非構造格子での格子点未知数に関する代数方程式を作る、いわゆる離散化を行う。

このフレキシブルメッシュモデルは、任意サイズの格子を任意の境界形状で組合せることから、有限差分法で困難であったリアス式海岸線や湾地形、蛇行河川、広域解析での変化に富んだ海底地形、急激な流況の変化等の複雑な境界形状への適応性、高い計算精度及び計算効率が期待される。

津波解析においては、一般に浅海部や陸上部では水深に対して地形の変化が大きいため、複雑な地形や流況の変化に対して過剰な数値拡散が発生せず、空間離散化の精緻化を行うことなく、比較的短い波を安定的に解けることが有用な性能の一つとなる。

この有限体積法スキームでは、勾配拡散型の渦粘性表現であるスマゴリンスキーモデル又は非等方性のエルダー拡散モデルを扱っているため乱流もある程度再現され、跳水のような不連続流れ、衝撃波や射流、水際線の解法に適しているため、海域での津波伝播に加え、陸域での遡上解析への適用性が期待される。

表-1 xpswmm2D と TUNAMI モデルの比較

		xpswmm2D	TUNAMI モデル
支配方程式		非線形浅水長波方程式： 質量保存則 運動方程式	非線形浅水長波方程式： 質量保存則 運動方程式
数値解析手法		有限差分法/有限体積法	有限差分法
地震の断層モデル		なし	地殻変動量計算プログラム
計算格子		構造格子・非構造格子 の両方に対応	構造格子
遡上 解析	陸上	可能	可能
	河川・水路	可能	可能
	下水道管渠	可能	不可能
結果表示機能		2D・3D・アニメーション で表示可能	汎用ソフトにより結果分 析・可視化を行う必要あり

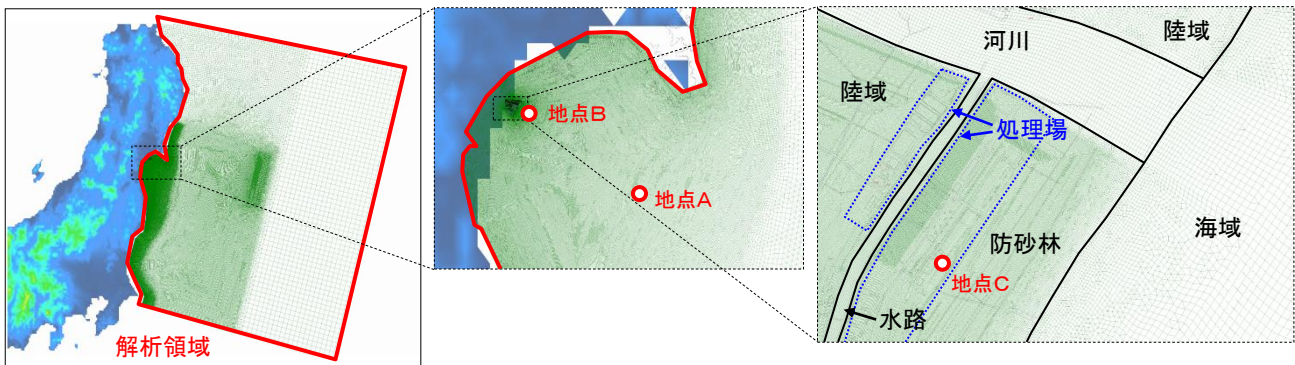


図-2 xpswmm における非構造格子の設定

4. 氾濫シミュレーションモデル (xpswmm) の適用性(結論)

TUNAMI モデル及び xpswmm2D での震源断層域からの解析を行い、両者の比較検証により xpswmm2D の適用性について評価を行った。解析条件を表-2 に示す。

計算結果は、図-2 に示した水深 50m 地点 (地点 A)、水深 20m 地点 (地点 B)、処理場内 (地点 C) の 3 地点で津波の到達時刻、波形、水位の比較を行った。

いずれも TUNAMI モデルと xpswmm2D の計算結果は概ね一致している。また、この他、最大津波浸水範囲、最大津波浸水位、津波到達時間、最大流速等についても検証を実施し、計算結果については概ね一致していることが確認できた。これらの結果より、xpswmm2D は TUNAMI モデルと同等の津波解析性能を有していることが確認できた。

なお、xpswmm では、構造格子を用いた有限差分法による計算も可能であるため、地形や解析条件等により適切な使い分けが望まれる。

表-2 解析条件

		xpswmm2D	TUNAMI モデル
計算格子	非構造格子	1215m メッシュ ～3m メッシュに相当	構造格子 1215m、405m、135m、 45m、15m、3m
	粗度係数	陸域 0.020、水域 0.025	同左
初期条件		TUNAMI モデルで計算した 初期海面変動量 (同左)	地殻変動量計算プログラム による初期海面変動量

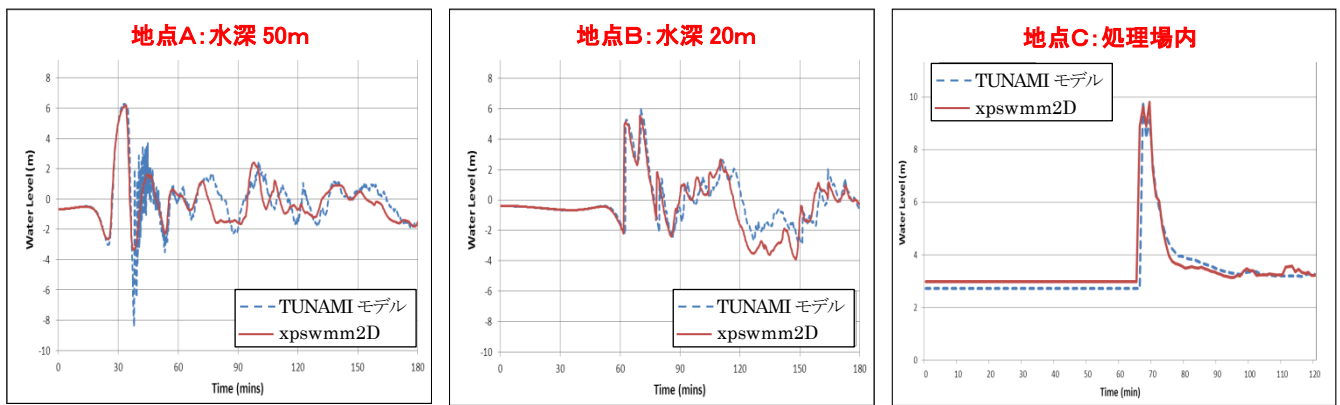


図-3 解析結果の比較（各地点の水位変動量）

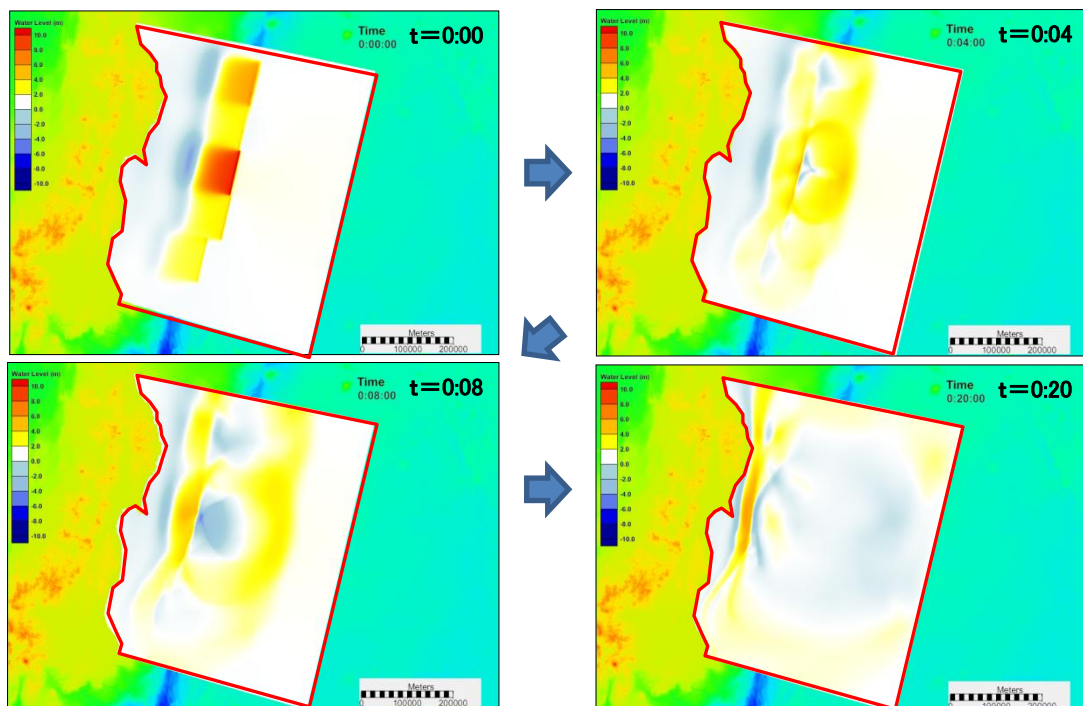


図-4 xpswmm2D 解析結果（広域津波伝搬状況）

5. 謝辞

本稿の内容は、(公財)日本下水道新技術機構（以下、下水道機構）と筆者らを含むメンバーによる「津波シミュレーションモデル利活用マニュアル」策定に係る共同研究の成果に基づいている。ご協力いただいた防衛大学の藤間教授、下水道機構研究 1 部の方々、並びにコンサルタント各社に感謝の意を表します。また、xpswmm のフレキシブルメッシュモデルを用いた計算は、開発元である BMT WBM 社の Phillip Ryan 氏の協力のもと実施したことから、併せて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Makoto HADA et al.: The Next Generation Tsunami Hazard Map, Floods : From Risk to Opportunity, IAHS Publ. 357 (2013), pp.392-404

【問合せ先】 日本水工設計株式会社 東京支社 下水道一部 山田龍男
〒104-0054 東京都港区勝どき 3-12-1 フォアフロントタワー
TEL : 03-3534-5512 E-mail : t-yamada2@n-suiko.co.jp