

津波対策計画策定に向けた津波シミュレーション手法の考察

日本上下水道設計（株） 中井 博貴
 中山 義一
 ○ 館 紀昭

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。これを受けて、内閣府中央防災会議は南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループを設置し、平成 24 年に新たな被害想定を公表しており、太平洋沿岸部に位置する下水道施設の津波対策が喫緊の課題となっている。

本稿は、東北大学で開発され我が国の多くの津波解析で採用されている TUNAMI モデルを用いて、震源域から下水処理場までのシミュレーションを実施した作業及び結果に基づき、被害想定方法や津波対策計画策定にむけて留意すべき事項について考察を行ったものである。

2. 解析モデルの構築及び解析結果

津波浸水シミュレーションは、地形等の基礎データを構築して、震源域の地殻変動から計算された初期水位のもとで、外洋から沿岸への津波の伝播・到達、沿岸から陸上への津波の遡上を計算実施するもので、このシミュレーションによる計算結果から下水処理場等の対象施設の浸水深や波力を算定して、津波対策計画策定に活用する（図 1）。

(1) 地形データのモデル化

中央防災会議では被害想定結果だけでなく、解析に用いられた基礎データ（地形、粗度係数、堤防、初期水位）についても公開しており、これを活用した。なお、津波シミュレーションでは、図 2 に示すように外洋部の広大な範囲の計算では空間格子（メッシュ）を粗くして計算時間の短縮を図り、検討対象とする沿岸部に近づくにつれてメッシュを徐々に細かくして解析精度を高めるネスティン

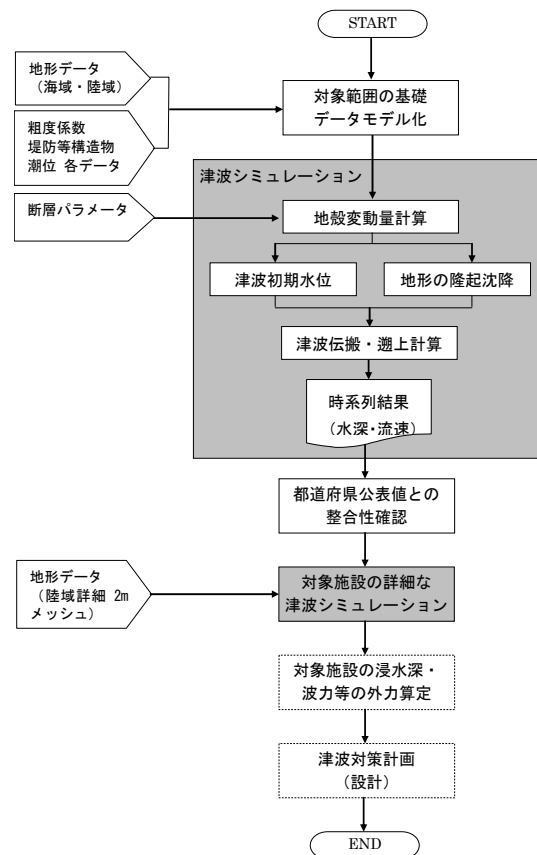


図 1 津波シミュレーションを活用した津波対策計画策定フロー

グ手法が用いられており、中央防災会議から公開されるデータは2,430mから10mメッシュ単位で入手することができる。

さらに、下水処理場等構造物の対策に主眼を置くために、下水処理場周辺については10mメッシュを更に細分化して2mメッシュで解析を行うものとし、国土地理院より航空レーザ測量データ(LPデータ)を入手して、2mメッシュ地形モデルを作成した。LPデータには、図3に示すような構造物等を含む地形データ(DSM:Digital Surface Model)と構造物等を含まない地形データ(DEM:Digital Elevation Model)のデータがあるが、構造物の形状を詳細にモデル化しているDSMデータを用いた。

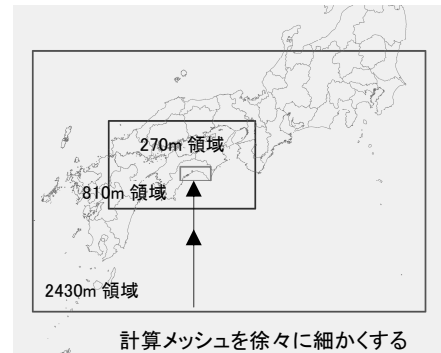


図2 ネスティング手法のイメージ

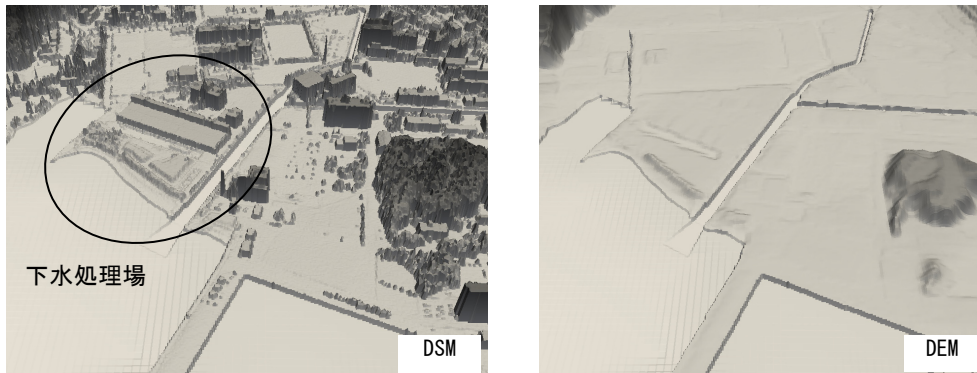


図3 地形データ 2mメッシュ (左:DSM、右:DEM)

(2) 地殻変動量・初期水位の計算

地殻変動量は、Okada (1985)、Okada (1992)の理論に基づき、表1に示すような断層長等の断層パラメータを入力して鉛直変位分布を計算し、図4のように複数のセグメントを設定して、すべり量の不均質な領域(アスペリティ)を表現した。

表1 断層パラメータ例

セグメント No.	緯度 N	経度 E	長さ km	幅 km	上端深さ km	走行度	傾斜角度	すべり角度	すべり量 m
1	40.168	144.507	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	10.00
2	39.300	144.200	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	20.00
3	38.424	143.939	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	35.00
4	37.547	143.682	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	10.00
5	36.730	143.070	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	7.50
6	40.367	143.394	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	1.00
7	39.496	143.100	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	3.00
8	38.620	142.853	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	4.00
9	37.744	142.609	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00
10	36.926	142.009	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00

津波の初期水位は、この海底地盤の鉛直変位分布に一致するものとして津波伝搬計算を開始する。また、初期水位と同時に、鉛直変位量(沈降・隆起)を陸域や海域の地形データの高さから差し引くものとした。ただし、陸域の隆起が想定される場合には、安全側の観点から隆起量を考慮しないものとした。

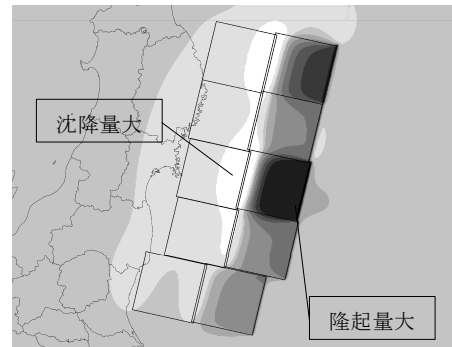


図4 地殻変動量設定例

表 2 計算条件

項目	設定条件
メッシュ構成	2430m→810→270→90→30→10m 中央防災会議データ→2m(建物あり) 航空レーザ測量データ
モデル方程式	2430～810m領域:線形長波理論 270～2m領域:非線形長波理論
数値解法	二次元 有限差分法(リーブフロッグ法)
初期条件	断層パラメータに基づいて海底地盤の鉛直変位量を算定し、初期水位分布と設定
境界条件	沖合:自由透過境界 海岸:2430～270m領域 完全反射境界 90～2m領域 移動境界(遡上)
潮位	朔望平均満潮位(初期水位として考慮)
地盤変位	初期条件として地震による地盤変位の隆起沈降分を反映
施設条件	河川堤防等を反映
計算時間	2時間 時間解像度:0.05sec
粗度条件	粗度係数:水域0.025、住宅地0.04～0.06、工場0.04、農地0.02、林地0.03 中央防災会議データ

(3) 津波伝搬・遡上計算

初期水位の決定後に、津波伝搬計算を行い、浅水波理論に基づいて水位と流速を算出する際に、陸上遡上や引き波に伴うによる浸水や構造物への波力を計算するために、陸域では遡上計算を行うものとした。表2に示す計算条件により津波伝搬計算を行った結果は図5のとおりである。

(4) 都道府県公表値との整合性確認

中央防災会議の被害想定を踏まえて、各都道府県においても10mメッシュ精度の津波シミュレーションが防災部局において実施・公開されている。

A 県公表値と本構築モデルによる解析結果を比較すると、図6・7に示すように、浸水区域、津波波形・最大浸水深は概ね一致しており、本構築モデルの妥当性が確認できた。

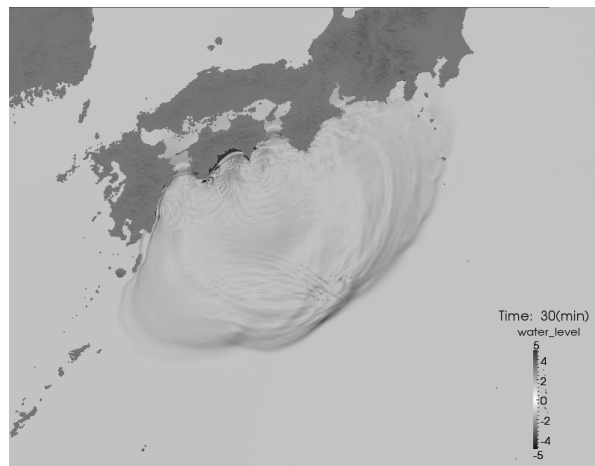


図5 津波伝搬計算結果(地震発生後30分)

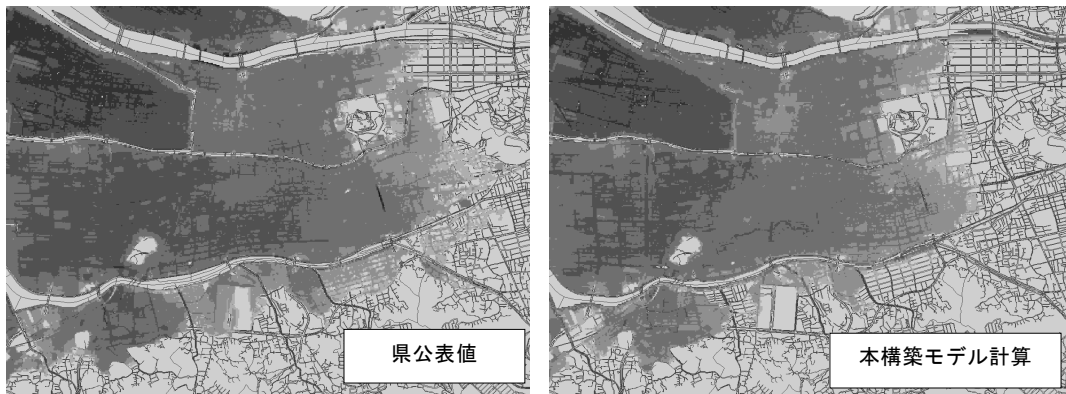


図6 浸水区域の比較(10mメッシュ)

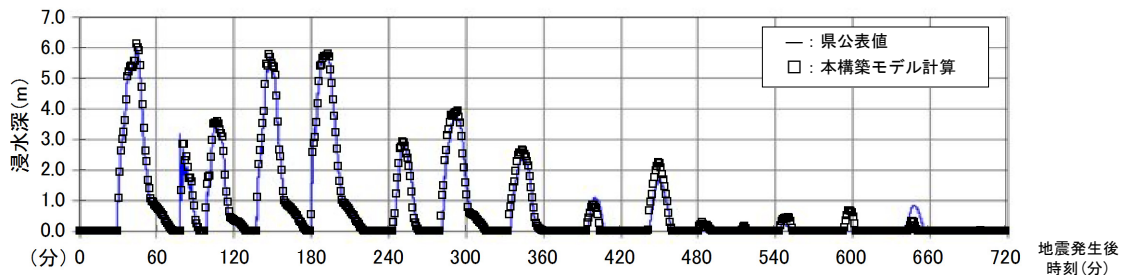


図7 津波波形と最大浸水深の比較(10mメッシュ)

(5) 詳細な解析結果

下水処理場等の構造物を含む、DSM データを用いた 2m メッシュ精度の計算の例は図 8 のとおりで、道路上や構造物の間を流れる状況が確認できた。さらに、解析結果として浸水深のみでなく、流速や流向についても空間的に時系列で表現することができ、流速や流向から各構造物の壁面に働く波圧算定式の低減係数の検討が可能となった。また、流向が判明することで、漂流物の浸入方向等の概略検討にも活用可能である。

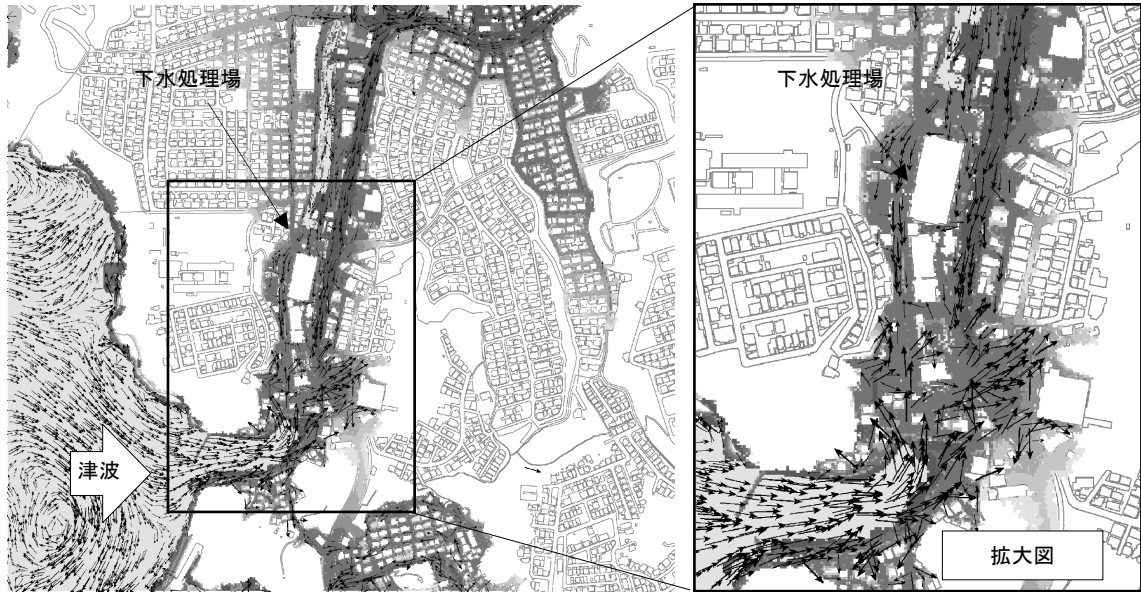


図 8 詳細な計算結果(2m メッシュ)

3. DSM 地形モデルを用いたシミュレーションにおける粗度係数の評価

(1) 津波シミュレーションにおける現状

津波シミュレーションにおける粗度係数は、「津波浸水想定の設定の手引き ver2.00」(以下、「手引き」)において、表 3 の設定例が示されている。この粗度係数は、津波が海底・地表面から受ける抵抗を、土地利用状況に応じて設定するものであり、構造物が地形として表される DSM ではなく、構造物を除いた DEM を用いたシミュレーションを想定しているといえる。

一方、地形データに構造物が含まれる DSM を用いたシミュレーションにおいて、表 3 に示す粗度係数を用いた場合、津波の陸域遡上時に、土地利用から設定した粗度係数と地形の起伏による抵抗の両方を受けることとなり、DEM を用いた解析結果と大きく違う結果となる可能性がある。

DSM を用いたシミュレーションにおける粗度係数について「手引き」では、「大規模な線の構造物や建築物を粗度係数ではなく地形データとして扱う場合には、粗度係数を「その他(空地、緑地)」とするなどその整合に留意する必要がある」の記述があるが、明確な指

表 3 粗度係数の設定例

土地利用	粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot s$)
住宅地(高密度)	0.080
住宅地(中密度)	0.060
住宅地(低密度)	0.040
工場地等	0.040
農地	0.020
林地	0.030
水域	0.025
その他(空地、緑地)	0.025

「津波浸水想定の設定の手引き ver2.00」より

針が無いのが現状である。

そこで、粗度係数や地形モデルについて様々なケースを想定してシミュレーションを行い、浸水深の変化を把握して、DSM 地形モデルを用いたシミュレーションにおける留意点を取りまとめた。

(2) 検討内容

検討区域は、図9に示すK県のK浄化センター周辺を対象とした。K浄化センターは海岸から約1kmの距離にあり、浄化センターと海岸の間には住宅地が広がる地形である。検討区域に対してDSMを用いてシミュレーションを行った場合、地形として表現されている住宅地が、津波の遡上に影響を及ぼすことが想定される。

このK浄化センター周辺を対象に、表4に示す検討ケースを設定し、DEM・DSM地形の違いと、粗度係数の変化による浸水深の違いの検証を行った。なお、K浄化センターは、県から公表されている津波浸水想定図では約11.5mの浸水深が想定されている。

(3) シミュレーション結果

対象区域に対して、海岸沿い～浄化センターを結ぶ線上に4つの計測ポイントを設け、各ケースにおける最大浸水深を比較した(図10参照)。海岸沿いのCKP1では、DSM地形解析のほうが高くなる一方、海岸から遠ざかるにつれてDEM解析浸水深が低くなる傾向がみられる。DSM地形では、海岸と浄化センターの間にある住宅密集地が地形の起伏としてデータ化されており、津波遡上がこれらの起伏に阻害されることで、①住宅地の奥に位置する浄化センター周辺での浸水深が低下し、②陸域への遡上が阻害されることで、海岸沿いの浸水深が上昇するといった現象が発生していると考えられる。



図9 対象区域地盤高図 (上: DSM、下: DEM)

表4 検討ケース

検討ケース	地形モデル	粗度係数
Case1	DEM	中央防災会議公表値 (0.020~0.040)
Case2	DSM	
Case3		対象区域一律0.020

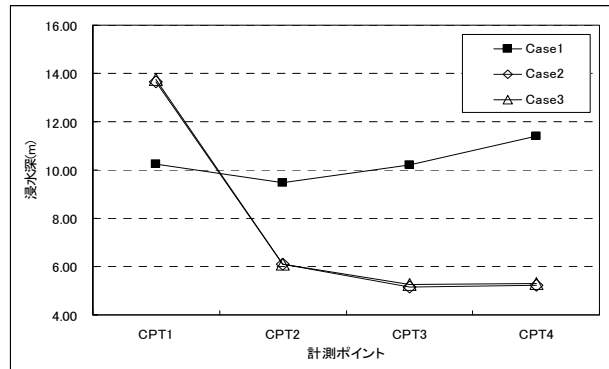
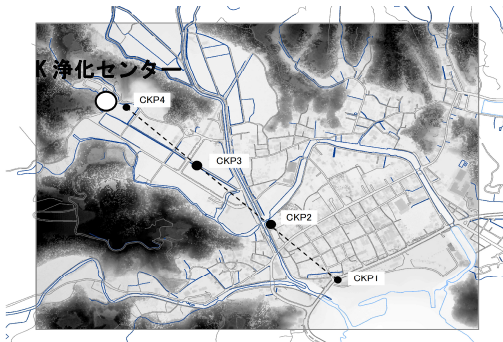


図10 最大浸水深比較地点(左)とケース別最大浸水深(右)

(4) シミュレーション結果に対する考察

DSM 地形モデルによるシミュレーションでは、構造物を含む対象施設内の地盤高を詳細に把握することで津波の浸入方向や波力の算定が可能となるが、浸入方向に家屋等の地形として表される構造物が密集している場合は、津波遡上が大きく阻害されることが判明した。また、DSM 地形による遡上阻害は、粗度係数による損失を大きく上回り、津波浸水深を DEM 解析時の半分以下にするケースがあることが示された。

一方、高さ数メートルとなる津波では、家屋等の建築物は津波により倒壊し一体となって遡上することが想定される。シミュレーションの実施においては、対象としている施設周辺の土地利用や想定される津波浸水深を考慮し、それに対応した地形モデルを構築することが求められる。

本研究で対象とした K 浄化センターについては、最終的に海岸～対象施設間の地形:DEM、対象施設周辺:DSM で地形をモデル化することにより、県想定 of 津波浸水深を再現するとともに、対象施設に作用する波力の算定を行った (図 11 参照)。

4. おわりに

下水処理場等の津波対策計画策定に向けた津波シミュレーションを実施するにあたっての留意点と、津波対策策定において検討可能な項目について下記に記す。

- ①地形データの構築と断層パラメータを適正に設定すれば、都道府県が公表する解析結果と整合させることができる。
- ②詳細なシミュレーション (2m メッシュ精度) により下水処理場内の詳細な水深や流速を計算でき、津波対策計画に必要な波力等の外力を得ることが期待される。
- ③DSM 地形モデルを用いたシミュレーションでは、地形により津波遡上が阻害される場合があることから、土地利用や津波浸水深を考慮した地形モデルの構築が求められる。

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) とともに実施した共同研究の検討作業成果に基づいており、シミュレーションの操作方法・計算結果についてご教授を賜った防衛大学校/藤間教授・嶋原助教、下水道機構研究第一部並びに高知県自治体の関係各位のご協力に感謝いたします。

[参考文献等] ・内閣府中央防災会議 <http://www.bousai.go.jp/jishin/index.html>

・Okada, Y. : Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 75, 1985

・津波浸水想定の設定の手引き ver2.00 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 平成 24 年 10 月

[問合せ先] 日本上下水道設計 (株) 河川事業本部河川部 館 紀昭

〒460-0022 名古屋市中区金山一丁目 14 番 18 号 TEL : (052) 217-8612

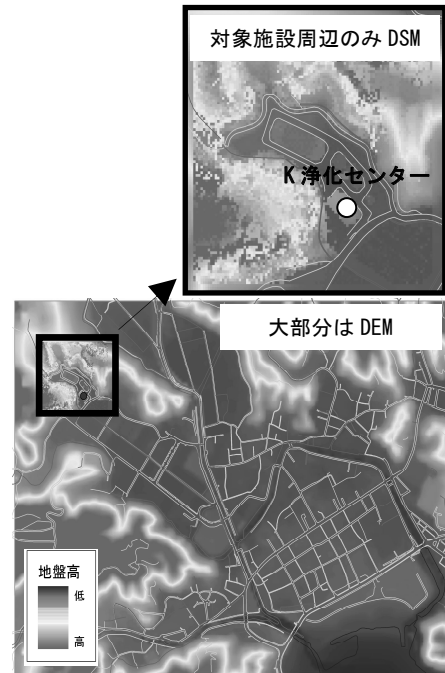


図 11 DEM 地形内に DSM 地形を組み込んだ例