

元禄型関東地震による津波浸水深の不確実性評価

関東学院大学 学生会員 ○服部 龍
 関東学院大学 学生会員 川村 優成
 関東学院大学 正会員 福谷 陽

1. はじめに

神奈川県が公表する最大クラスの津波浸水想定区域図は、神奈川県の沿岸地域における津波高さまたは浸水域が最大となる3つの地震（相模トラフ海溝型地震、元禄型関東地震、慶長型地震）による津波浸水予測図をもとに、浸水域と浸水深が最大となるように重ね合わせた津波浸水想定図から作成されている¹⁾。津波浸水予測図のもととなっている地震の震源域の一部は陸域直下に及ぶものもあるため、陸域では非常に強い地震動が生じるとともに、沿岸域では大津波を伴う可能性がある²⁾。

しかし、必ずしも想定されているすべり量や断層深さの地震が発生するとは限らないため、本研究では、Mw 8.5 の元禄型関東地震を対象として、すべり量と断層の深さをそれぞれ5段階変化させ、計25パターンの津波浸水シミュレーションを実施した後、応答曲面を構築してモンテカルロ計算することで、津波浸水深の不確実性を評価することを目的とする。

2. 津波数値計算

地震の断層パラメータから計算された初期水位を用いて、外洋から沿岸への津波の伝播、陸への遡上は、以下の非線形長波方程式で計算する。その支配方程式は以下のとおりである。

【連続の式】

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

【X方向の運動方程式】

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

【Y方向の運動方程式】

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここで、 η は静水面からの水位変化量、 D は水底から水面までの全水深、 g は重力加速度、 n はマニングの粗度係数、 M, N は x, y 方向の全流量フラックスである。なお、運動方程式の第1項を局所項、第2項及び第3項を移流項（非線形項）、第4項を圧力項、第5項を底面摩擦項という³⁾。

3. 応答曲面の構築

元禄型関東地震の断層パラメータから、すべり量と断層の深さをそれぞれ5段階変化させ、計25パターンの津波浸水シミュレーションを式(1)(2)(3)を基に行った。ここで、すべり量は Mw が -0.10、-0.05、 ± 0 、+0.05、+0.10 である場合の5段階、深さは +5000 m、+2500 m、 ± 0 m、-500 m、-1000 m の5段階とした。本研究での評価対象は、横浜市に所在する海の公園の1地点（緯度：35.340819，経度：139.636105）とした。計算結果を表1に示す。

表1 対象地点の最大浸水深(m)

深さ(m)\Mw	-0.10	-0.05	± 0	+0.05	+0.10
+5000	0.92	1.25	1.61	2.02	2.49
+2500	0.87	1.19	1.59	2.07	2.53
± 0	0.81	1.14	1.54	2.02	2.49
-500	0.80	1.14	1.54	2.01	2.43
-1000	0.80	1.15	1.49	1.98	2.39

次に、表1の計算結果をもとに、以下の式(4)を用いて回帰分析を行い、回帰係数を決定する。

$$y = aS + bD + cDS + dS^2 + eD^2 + f \quad (4)$$

ここで、 y は浸水深、 S はすべり量、 D は断層の深さ、 $a \sim f$ は回帰係数である。回帰分析を行い AIC（赤池情報量規準）が低く適合度が高い上位5つのモデルの AIC の数値と回帰係数を以下の表2に示す。

表2 回帰分析結果

	AIC	a	b	c	d	e	f
Model1	-104.1395	3.3112	0.0439	-0.0130	-0.4574	-0.0037	-1.2984
Model2	-103.6908	3.2956	0.0305	0.0000	-0.4574	-0.0037	-1.2823
Model3	-99.7768	3.2956	0.0157	0.0000	-0.4574	0.0000	-1.2888
Model4	-99.6893	3.3112	0.0291	-0.0130	-0.4574	0.0000	-1.3049
Model5	-94.1310	3.2792	0.0000	0.0136	-0.4574	0.0000	-1.2700

キーワード 元禄型関東地震，津波浸水深，不確実性

連絡先 〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学理工学部 TEL: 045-786-7002 E-mail: f14K7041@kanto-gakuin.ac.jp

最も適合度が高いモデルは式(5)となった。また、津波数値計算の結果(青色の点)とモデル式による曲面(赤色の曲面)を図2に示す。この曲面を応答曲面と呼ぶ。

$$y = 3.3112S + 0.0439D - 0.0130DS - 0.4574S^2 - 0.0037D^2 - 1.2984 \quad (5)$$

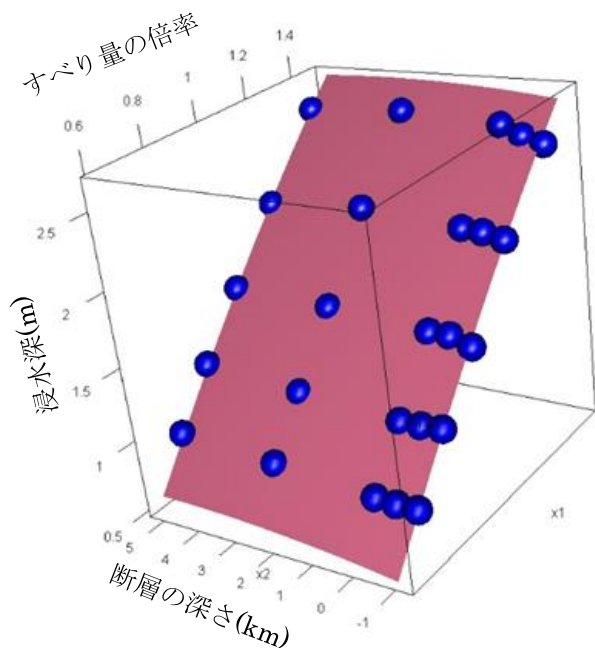


図2 構築した応答曲面

図2を見ると、構築した応答曲面は、津波数値計算の結果を良く説明できていることが分かる。また、評価対象地点では、断層の深さの変化よりも、マグニチュード(すべり量)の変化が浸水深に与える影響が大きいことが分かる。さらに、すべり量が大きくなるにつれ、また、断層の深さが深くなるにつれて浸水深が大きくなる傾向のあることが確認できる。

4. 浸水深の頻度分布の生成

ここで、すべり量 S と断層の深さ D の不確かさを確率分布で設定する。設定値を表3に示す。

表3 すべり量と断層深さのばらつきの設定

変数	平均	標準偏差	分布形状	ばらつきの根拠
すべり量 S (倍率)	1.00	0.10	正規分布	断層面積の同じ既往地震を考慮すると ± 0.1 程度 ⁴⁾
断層深さ D (km)	0.12 (対数平均)	0.65 (対数標準偏差)	対数正規分布	断層深さの観測誤差 ⁵⁾

すべり量については、原子力土木委員会津波評価部会が、断層面積の同じ既往地震を考慮すると、 M_w が ± 0.1 程度はばらつく可能性のあることを示唆している。これは、すべり量の倍率で考えると、標準偏差は

0.10程度となる。断層深さについては、気象庁が公表する地震の観測誤差のデータを用いて、対数正規分布により誤差を定量評価した。今回は、2016年10月から2017年10月の1年分のデータを用いて計算し、対数標準偏差は0.65となった。これらの確率分布と式(5)を用いて、10000回分のモンテカルロ計算を実施して作成した浸水深の頻度分布を図3に示す。

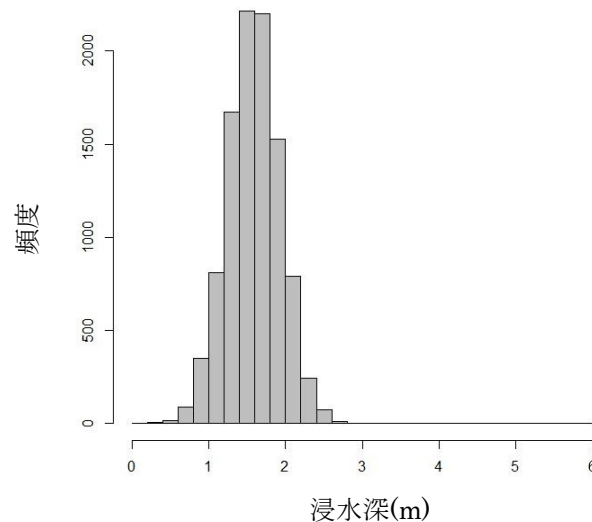


図3 浸水深の頻度分布

5. まとめ

応答曲面を構築し、変数に確率分布を設定しモンテカルロ計算を行うことで、津波浸水深の不確実性を評価した。本手法は、津波リスクを知るうえで有用な手法になると考えられる。

参考文献

- 1) 津波浸水想定 神奈川県ホームページ, 2016
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f532320/>
(2017年5月15日閲覧)
- 2) 内閣府 防災情報のページ, 2017
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/> (2017年5月22日閲覧)
- 3) 津波浸水想定の設定の手引き, 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
- 4) 原子力土木委員会津波評価部会, 2016
<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/> (2018年1月7日閲覧)
- 5) 気象庁一元化処理震源リスト, 2017
https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/JMA/jma_list.php?LANG=ja (2017年10月11日閲覧)