

高潮と津波の重畳現象の被害に関する信頼性の検討

中央大学 学生会員 ○由井 将徳 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

わが国は世界的な地震大国であり、近年では想定を上回る津波を起こすような地震が多発している。また、将来に発生すると予測されている地震も多くあり、中でも大きな懸念を抱かれるのは南海トラフ巨大地震である。この地震は太平洋沖を震源とし、甚大な津波や被害が想定されている。

また、甚大な被害が想定される地域のうち、図-1のように三重県では過去10年間の総高潮被害額が全国平均を上回る。

このような地域では津波に加え、高潮の被害についても考慮すべきだと考える。高潮と津波がそれぞれ単独で発生する場合が高頻度であり得る中で、両者の影響が重なりあう場合も考え得る。しかし、これまでに津波と高潮の複合作用を考慮した研究は少ない。

以上より、高潮被害を考慮した津波被害の検討の必要性は高いと思われる。

2. 研究目的

本研究では、想定する地震と台風の下で、高潮と津波の相互作用時に卓越する作用を調べる。さらに、その結果をもとに防波堤の信頼性を評価する。さらに浸水範囲のシミュレーションから被害額を算出し、必要となる工事費に基づき防波堤の優先補強箇所を選定する。

3. 対象

対象地域は、南海トラフ巨大地震で甚大な津波被害が想定され、かつ過去10年間の総高潮被害額が全国平均を上回る地域とする。すなわち、三重県の尾鷲市と鳥羽市、熊野市とする。また、対象構造物は対象3県それぞれの「海岸保全基本計画」により整備された沿岸部の防波堤とする。これは当計画の対象台風以上の高潮被害が近年に発生したためである。また、想定地震は近年に発生しかつ大きな津波被害をもたらすと予想されている南海トラフ巨大地震とする。対象台風は過去に三重県などへ大きな高潮被害をもたらした、2018年に発生した台風第24号とする。

4. 研究手法

手順としては、等価コンター図作成、1次ガウス近似法による設計点の設定、 $R-S$ モデルによる防波堤の信頼性評価といった順番で行う。

	H30	H29	H28	H27	H26
静岡県	336	629	0	0	0
三重県	4189	15753	0	0	0
和歌山県	133569	0	0	0	0
高知県	97112	0	0	0	0
宮崎県	0	0	0	0	0
全国平均	250663	38962	11745	20997	26249

H25	H24	H23	H22	H21	合計
0	12577	32613	0	1265	47420
0	870011	7093	0	0	897046
0	0	0	0	0	133569
0	0	0	0	0	97112
5403	0	0	0	0	5403
17510	52181	187861	16035	37332	659535

(単位：千円)

図-1 年度別高潮被害額

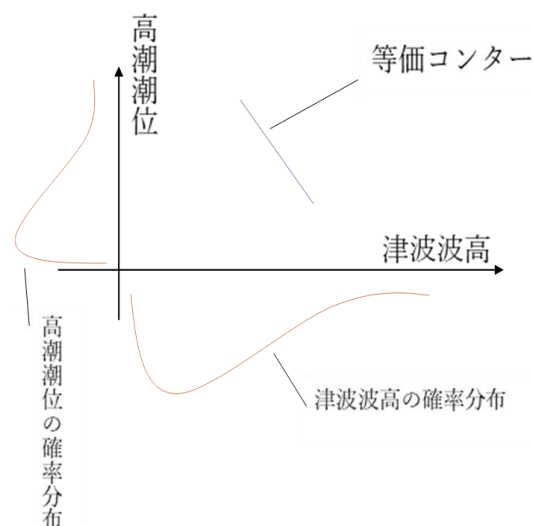


図-2 相互作用時の等価コンター

5. 等価コンター図

第一に、波高に関する等価コンター図を作成する。そのイメージ図を図-2に示す。これにより、津波と高潮の相互作用時に、波高に対して双方がどう影響するのかを把握する。ここで、津波と高潮それぞれの波高のばらつきは、既往研究から確率分布関数に近似できるものとする。高潮波高の確率分布は、山口ら¹⁾の既往研究から3母数Weibull分布に従うとされている。また、津波波高の確率分布は、泉宮ら²⁾の既往研究からGauss分布に従うとされている。

実際に、等価コンターは図-2のように直線になった（「 $\eta_1 + \eta_2 = const$ 」）。その理由は以下の3つである。1つ目は、波同士の相互作用が速度ポテンシャルの足し合わせ（「 $\phi_1 + \phi_2 = const$ 」）で表現できること、2つ目は、高潮では速度ポテンシャルと波高が1次のオーダーで比例すること、3つ目は、津波でも同様に速度ポテンシャルと波高が1次のオーダーで比例することである。

6. 確率分布のパラメータ推定

1次ガウス近似法を用いる上で必要な確率分布のパラメータ推定を行った。津波波高が従う Gauss 分布のパラメータである平均値と標準偏差は、各対象地点における南海トラフ巨大地震の津波波高予測データから得られた。一方、高潮波高が従う3母数 Weibull 分布のパラメータである形状母数 a 、尺度母数 b 、位置母数 c は推定する必要があるため、各対象地点の台風第24号潮位観測データを用いて推定した。その結果を表-1に示す。ここで、3母数 Weibull 分布の関数形は以下のように表される。

$$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x-c}{b} \right)^a \right\}$$

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x-c}{b} \right)^{a-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x-c}{b} \right)^a \right\}$$

$F(x)$ は確率分布関数、 $f(x)$ は確率密度関数を表す。

7. 1次ガウス近似法（FORM法）による設計点探索

高潮と津波の相互作用時、片方のみの作用が卓越するのか、あるいは両方の作用を考慮すべきかを決定する上で1次ガウス近似法を用いる。手順は、まず等価コンターの関係式（「 $\eta_1 + \eta_2 = const$ 」）の確率変数 η_1 、 η_2 を正規分布に従う変数へ近似する。次に、近似した関数をテーラー展開し1次のオーダーで打ち切ることによって線形化する。最後に、安全性指標 β を収束計算し設計点を決定する。

設計点探索の結果を図-3、図-4、図-5に示す。設計点は赤色で表している。

8. 設計点に関する考察

各対象地点において設計点を探索した結果、すべての地点で、設計点は津波波高を表す横軸に沿うように配置していることがわかった。これはすなわち、全対象地点で津波の影響が卓越していることを示す。このことから、高潮と津波の相互作用を考える上では津波の影響を中心とした作用力を考慮すればよいことがわかった。

	a	b	c
尾鷲	2.76	168	-100
鳥羽	1.76	140	-77.3
熊野	2.83	163	-96.0

表-1 地点別母数推定結果

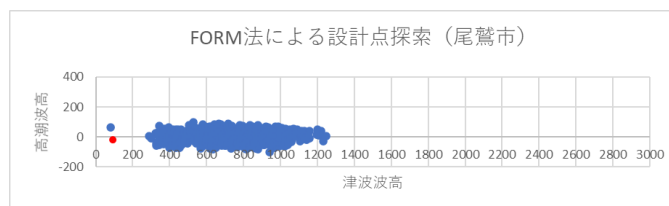


図-3 設計点（尾鷲市）

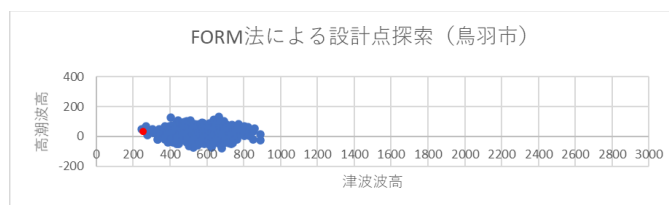


図-4 設計点（鳥羽市）

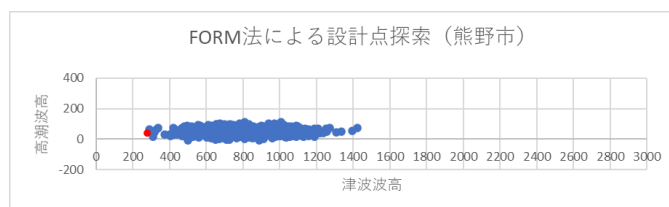


図-5 設計点（熊野市）

9. おわりに

本研究では等価コンター図を作成した後、対象地点別で確率分布のパラメータ推定を行い、その結果をもとに1次ガウス近似法により設計点探索を行うことで、高潮と津波の相互作用時に卓越する作用を調べた。この結果をもとに、今後は各対象地点の防波堤の信頼性評価や浸水シミュレーションによる被害想定を進めていく。

参考文献

- 1) 山口正隆, 畑田佳男, 花山格章: わが国太平洋岸における高潮の極値の推定, 海岸工学論文集, 41巻, p.281-285, 1994.
- 2) 泉宮尊司, 吉田裕一, 石橋邦彦: 津波波力および建物耐力の確率分布を考慮した被害確率分布の評価法に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 71巻, 2号, p.1_931-1_936, 2015.
- 3) 田中道七, 酒井達雄: 3母数ワイブル分布の母数推定について (疲労寿命分布の母数推定に関連して), 材料, 28巻, 304号, p.13-19, 1979.