

高潮・潮汐・波浪の相互作用解析に基づく出現最大を想定した 高潮・高波のハザードマップの作成

滝 川 清*・田 淵 幹 修**

1. はじめに

1 昨年の台風 9918 号による衝撃的な高潮・高波災害が 1 つの警笛となり, 海岸防災の意識を高めるための情報として, また, 海岸行政の資料としても, 信頼性の高い高潮と波浪についてのハザードマップ作成の要望が急激に高まっている。しかしながら, 高潮と波浪のハザードマップ作成については, その考え方や作成方法は確立されておらず, 試行的に行われているのが現状である。このような状況下にあつて, 八代海沿岸や周防護沿岸に甚大な被害を与えた台風 9918 号は, 次のような大きな教訓を残した。まず, (1) 従来の既往最大あるいは生起確率に基づく考え方では不十分で, 想定し得る最悪の条件 (可能最大または予想最大) となる高潮・波浪を対象とすること, (2) 高潮, 波浪, 潮汐という海象の相互作用と地形 (海岸形状, 海底形状) の影響が無視できず, これらの影響を反映できる解析法を用いること, そして (3) 防災構造物等によるハード面のみの対策は不十分であり, 住民の避難のための情報や体制の強化などソフト面の対策が重要であることなどである。

本研究では, 筆者らが開発した高潮・潮汐・波浪の相互作用を考慮した高精度の解析法を用いて, ①相互作用の影響を定量的に検討し, ②ハザードマップの目的を含むその作成法の検討, ③出現最大の想定による八代海についてハザードマップの作成結果などについて報告する。

2. 高潮・潮汐・波浪の相互作用系の解析

2.1 浅水域の流体運動の解析法

今回の解析では, 潮汐や高潮などの浅水流体運動解析と風波の発達計算の 2 つが柱となる。ここでは, 浅水流体運動の解析法の概要を述べる。

潮汐と高潮の同時解析では, 新たに開発した平面 2 次元数値解析法を用いる。この解析法では, 流れ場に固定された格子網の各々のコントロールボリュームに対して, 質量と運動量保存則の概念を直接適用して導出した離散化方程式を用いている。座標系は直交座標で, 正方

格子を採用する。水理量はすべての格子上で定義し, 時間的にも空間的にもすべて中央差分として, 水理量の平均操作や風上差分は用いない。また, 空間的な離散化を施した部分を計算するとき, コントロールボリューム中心の値と境界上の 8 つの点, 併せて 9 つの点の値を用いる。これは境界上の水理量の分布を考慮したことになり, 計算の精度を上げ, また, コントロールボリュームの一部分が干出している場合の取り扱いも容易である。なお, 本解析法における差分スキームは時間的にも中央差分となっているが, 未知量を求めるときに用いる水理量は, 未知量に対してすべて時間的に後方値であり完全な陽形式である。詳細は田淵・滝川 (2001) を参照されたい。

2.2 高潮・潮汐・波浪の相互作用系への適用

高潮と潮汐は, 流れに作用する抵抗が流速の 2 乗に比例するので単純に足し合わせることはできない。今回の解析では, 高潮の計算の前に潮汐を再現できるように外海の開境界条件を決定し, これに高潮の吸上げ効果を加えたものを開境界条件とすることで, 高潮と潮汐の同時計算を行っている。波の流れに対する作用はラジェーション応力による起流力であり, 高潮と潮汐は水深変化と流速が波の進行や減衰などに関係する。ただし今回の解析では流れの波に対する影響は考慮していない。

図-1 に本計算の概念とフローを示す。本解析で考慮している項目は, i) マニングの粗度係数 $n=0.025$ を用いて水底摩擦項を考慮する。ii) 水面に働く風の接線応力は, 風速の 2 乗と剪断抵抗係数の積で表現し, 抵抗係数は本多・光易 (1980) の表現を用いる。iii) 波浪による運動量輸送は, radiation 応力項により評価する。iv) 水平方向のレイノルズ応力項は, 水深 10 m 以下では灘岡ら (1993) の SDS&2 DH モデルを, 10 m 以深では拡散型モデルを用いた。また, v) コリオリ力を考慮している。

2.3 風および風波の計算

風および風波の計算は, 井島・田淵 (1970) の方法を基本とする有義波法を用いており, 詳細は, 滝川・田淵 (2000) で報告したとおりである。砕波限界は合田の式により, 海底摩擦の検討は Bretschneider-Reid (1954) の式を用いた。有義波法では海岸線近くや島影の海域を進む波の方向分布関数のひずみによる波高変化を表現できな

* 正会員 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター

** 正会員 工博 熊本大学講師 工学部環境システム工学科

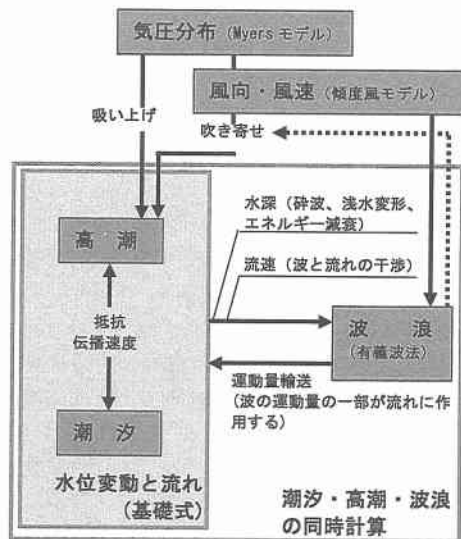


図-1 相互作用解析の概念と計算フロー

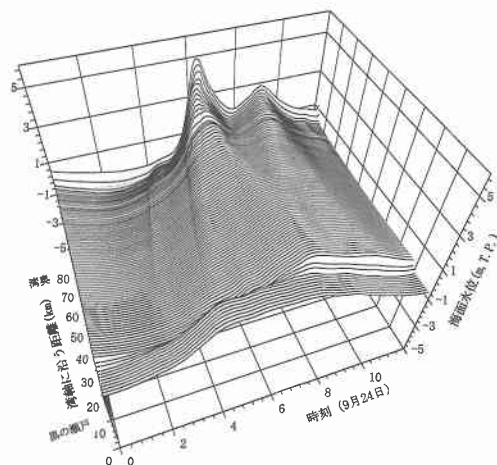


図-3 不知火海湾軸に沿う海面の時間変動

軸に沿う海面の時間変動を図示したものである。湾奥部に出現する第1のピークは、台風の吸い上げと吹き寄せ効果で高まった水面が台風の進行より遅れて伝播し、強風及びその風向と一致して生じたものである。また第2のピークは、不知火海の南北方向の湾振動で周期が約2時間のものであり、湾水振動も精度よく計算できている。

3. 出現最大を想定した高潮・高波のハザードマップの作成

3.1 高潮・潮汐・波浪の相互作用の定量的評価

本計算手法を用いて、台風9918号による八代海の高潮と波浪について、高潮、潮汐および波浪の相互作用を考慮する場合と考慮しない場合の相違を調べ、各要因の影響を定量的に検討した。

図-4は高潮計算において、潮汐との連成の考慮の有無による高潮偏差の相違を算定したものである。高潮偏差は潮汐と同時計算を行うことで、単独に高潮計算を行った場合に比べて小さくなっており、この傾向は湾奥の水深が小さい海域(手場、松合、桂原地区)で大きい。台風9918号の高潮は、水位上昇時の流れと潮流の流向が一致して流れの抵抗が大きくなったためと考えられる。桂原では引き潮時も同様の傾向がでているが、この地点は大野川の河口に近い水面勾配がついていたと考えられる(潮汐と同時計算では河川流と潮流が重なる)。

図-5は高潮計算において、波浪との連成の考慮の有無による水位差を算定したものである。波による高潮偏差の増大も湾奥の浅海域で顕著である。

図-6は波浪の計算において、高潮・潮汐との連成の考慮の有無による波高の差を算定したものである。潮流および高潮と波浪を連成した計算では、波浪計算を単独に

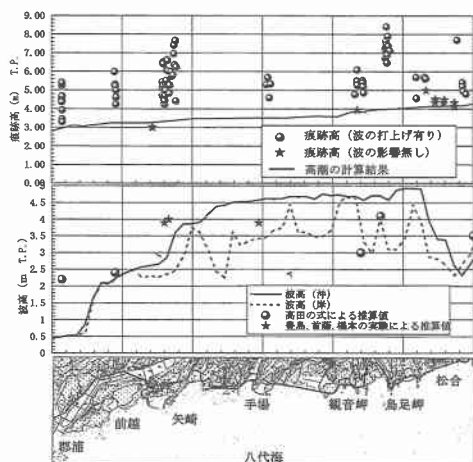


図-2 潮位および波高の痕跡高比較

い。今回の解析では、海岸線から1 km 以内を進む波はその距離に応じた減衰を、また、島影では方向分散を考慮している。

2.4 計算結果の検証

本研究の解析手法による高潮・高波の計算精度については実測結果との比較を行って既に検証している(滝川・田淵, 2000)が、さらに土宇半島不知火海岸沿いの水位と波高の計算結果を痕跡高と比較して図-2に示す。熊本大学の調査による波浪と高潮の痕跡高を図中に示しているが、高潮および波高の計算結果は、実測値および高田(1970)、豊島ら(1964, 1965)の推算式による結果とよく一致しており本計算の精度が再確認できる。

図-3は本解析手法による計算結果で、不知火海の湾

行った場合に比べ、時刻と場所によっては波高は2mも大きくなっている。

3.2 出現最大を想定したハザードマップの作成

台風9918号による高潮によって不知火町松合地区では、水位は既往最大の水位をはるかに2.2mも超え(滝川, 2000)であり、この異常な潮位と高波出現の要因は、

この地域の地形形状と台風の気圧深度と暴風半径などの規模、台風の進行コース、台風の通過時間と潮汐の満潮時間との関係等がこの地域にとって最悪の状態であった事が検証されている(滝川・田淵, 2000)。従ってハザードマップが危機意識の持続・高揚とハード・ソフト対策のための1つの基準概念という観点からすると、従来の構想物による防災のための既往最大もしくは生起確率に基づくハザードマップ作成では不十分で、想定し得る最悪の条件を考慮する事が重要であり、本研究では、出現最大を想定したハザードマップの作成を試みた。

本計算において、まず、潮汐は台風9918号来襲時の秋の大潮を対象とした。また、台風は東進・東北進・北進の3ケース(台風5915(伊勢湾)、台風9119(リンゴ)、台風9918(BART))のモデル台風を考え、台風規模は各モデル台風のものを採用し、また、コースは、各3ケースごとに数種の平行コースを設定した。計算に際して、今回は湾奥部(松合地区)で満潮時刻と最大水位の時刻とが一致するように予備計算を行い、その後、本計算を行った。このようにしてモデル台風ごとに設定したコー

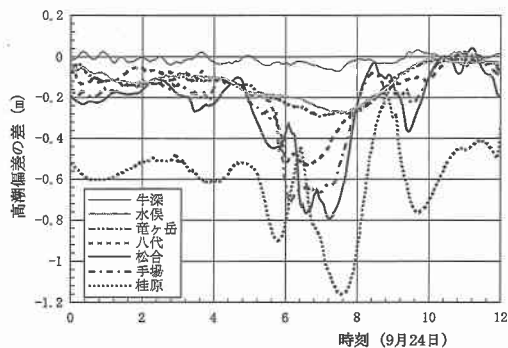


図-4 高潮一潮汐の連成の有無による高潮偏差への影響

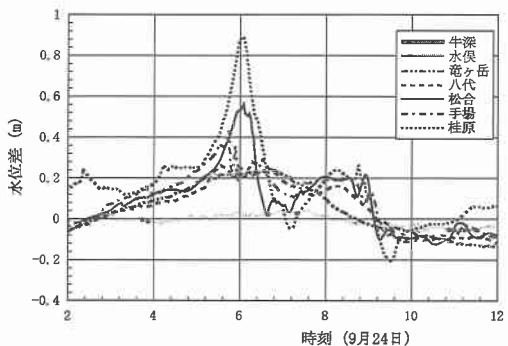


図-5 高潮一波の連成の有無による高潮水位への影響

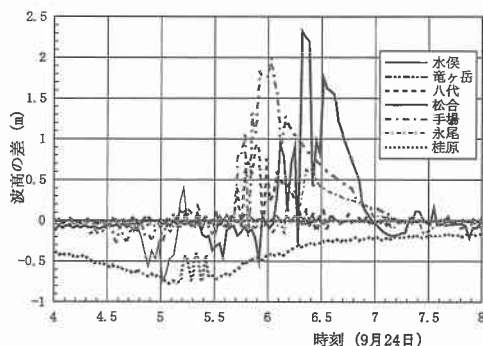
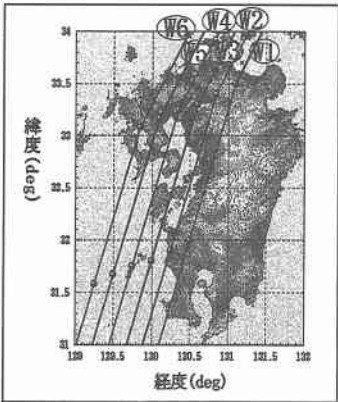
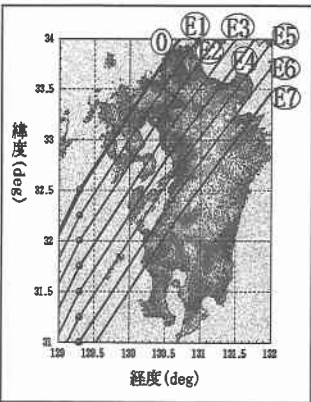


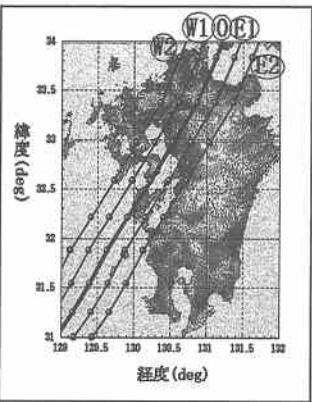
図-6 波一高潮の連成の有無による波高への影響



(a) 台風5915号モデル

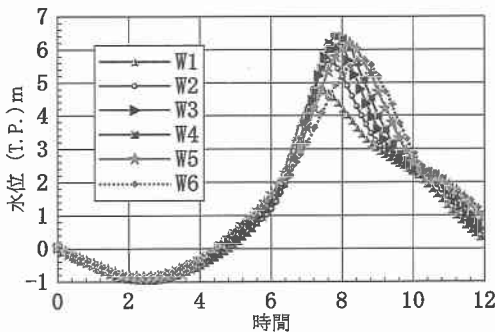


(b) 台風9119号モデル

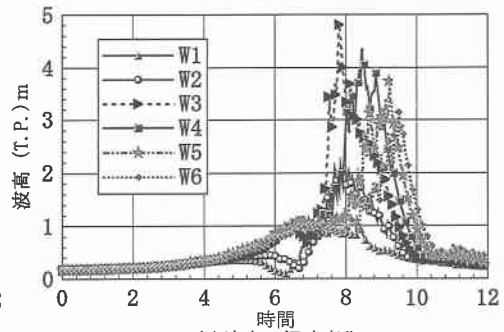


(c) 台風9918号モデル

図-7 モデル台風と想定コース

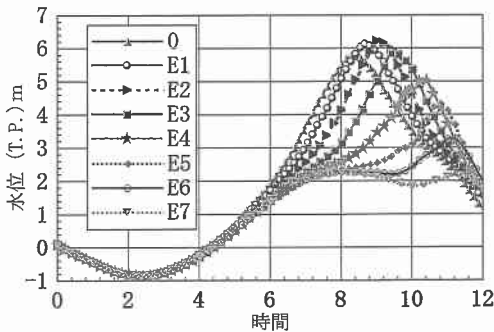


(a) 水位変動の経時変化 (松合, 9/24)

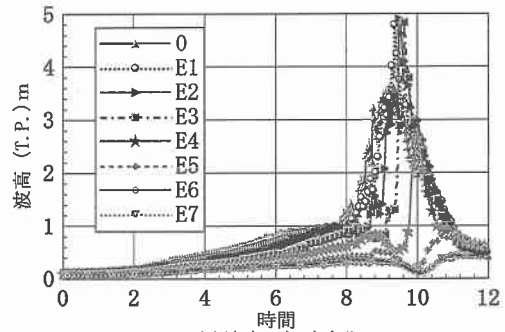


(a) 波高の経時変化

図-8 台風 5915 号モデルによる松合地区の水位・波高の経時変化

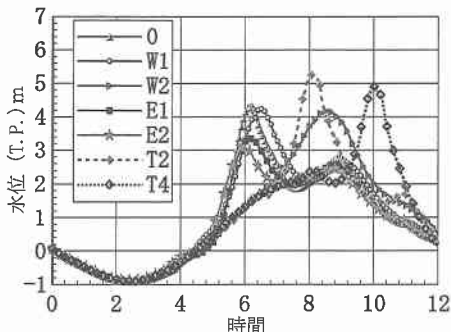


(a) 水位の経時変化

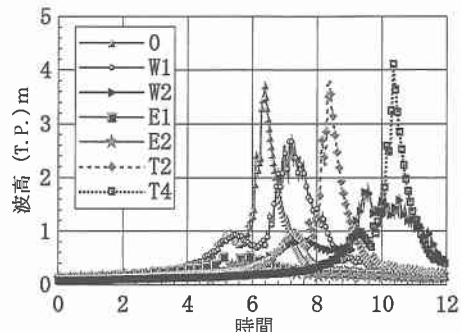


(a) 波高の経時変化

図-9 台風 9119 号モデルによる松合地区の水位・波高の経時変化



(a) 水位の経時変化



(a) 波高の経時変化

図-10 台風 9918 号モデルによる松合地区の水位・波高の経時変化

ス上を, 台風が進んだ時の高潮の水位および波浪の最大値等を調べた。

図-7 は 3 つのモデル台風と, それを平行移動して設定したコースである。台風 5915 モデルは実際の通過コースから経度を -5.0 度, 経度を -1.5 度ずつ平行移動したケース (図-7(a) の図中 W1) を基準に, 経度を -0.25 度, 緯度を -0.1 度ずつ平行移動した (図中記号の W1 ~ W6)。台風 9119 は実際の通過コース (図-7(b) の図中 0) を基準として経度は 0 度, 緯度は -0.25 度ずつ平

行移動し (図中記号の 0 ~ E7), 台風 9918 号は実際の通過コース (図-7(c) の図中 0) を基準として経度は ± 0.25 度, 緯度は 0 度ずつ平行移動した (図中記号の W2 ~ E2)。

図-8, 9, 10 は計算結果の 1 例で, 松合地区における水位と波高の経時変化を 3 つのモデル台風について, 想定したコースごとに示したものである。台風 5915 号や台風 9119 号クラスの台風が満潮時に来襲すると, 水位 (T.P.) で約 6 m 弱, 波高で約 5 m にも達すると計算される。なお, 図-10 の台風 9918 号の場合, 図中の T2, T4

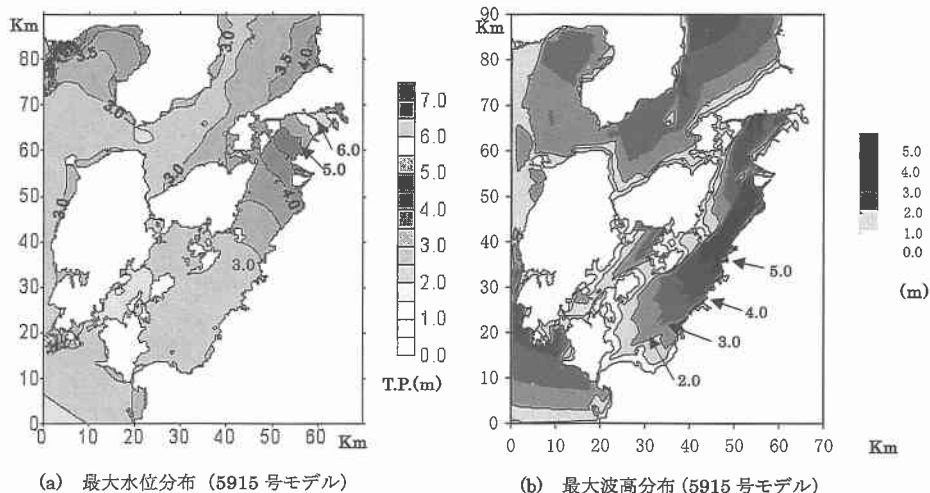


図-11 台風5915モデルによる高潮・高波のハザードマップ

のケースは、実際の通過コース（記号0）から時間が2時間および4時間遅れた場合であるが、もし通過時間帯が遅れ満潮時刻と一致していたら、さらに潮位が約1mも大きくなっていくことになる。

図-11は台風5915号をモデル台風とした場合、各コースの計算結果から最大の潮位および波高の分布を示したものである。八代海域を中心に台風の規模とコース別に作成した高潮・高波のハザードマップの一例である。

4. 結 論

(1) 新しい解析法による結果は、実用上十分な精度がある。湾振動特性も表現される。

(2) 高潮・潮汐・波浪の相互作用は、遠浅の海域で特に大きく無視できない。例えば、八代海北部では、波浪の影響で高潮偏差が3割以上も大きくなり、波高も高潮による水深変化を考慮すると無視した場合より2mも大きくなる。水深の大きい海域では、強風の風下側に口を持つ入江または小湾でやや影響があるが、直線上の海岸では相互作用は小さく、高潮、波浪、潮汐を個別に調べて加え合わせても不都合はない。

(3) ハザードマップは、台風の規模（強風域の半径の大きさ）とコース別に作ることで、高潮予想にも用いることができ利用し易いと思われる。このような考えによるマップを作成した。

(4) 台風9918号は、八代海北部にとってもっとも大きな高潮を生じる最悪のコースを通っていた。潮汐との関係は、台風があと2時間遅れていたら、湾奥部の高潮水位はさらに約1m大きくなっていった。また、伊勢湾台風クラスであると、更に約2mの潮位上昇が起こるものと

計算される。

(5) ここで作成した出現最大を想定したハザードマップは、従来型のハード対応のみによる防災構造物を設置するための基準値を示すものではない。高潮災害の危機意識を高揚し、ハードとソフト対策を合わせた、“減災”を意識した総合的防災体制づくりのための“目安”として提供したものである。地域特性を考慮した、沿岸地域の“災害に強い町づくり”の一助となることを期待する。

参 考 文 献

- 井島武士・田淵幹修 (1970): 数値計算による台風域内の波の分布について (II), 第17回海岸工学講演会論文集, pp. 27-33.
- 高田 彰 (1970): 波の遡上, 越波および反射の関連性について, 土木学会論文報告集, 第182号, pp. 19-30.
- 滝川 清 (2000): 台風9918号による不知火海高潮災害 — その残したもの —, 土木学会誌, Vol. 85, pp. 41-45.
- 滝川 清・田淵幹修 (2000): 台風9918号による不知火海の高潮と波浪特性, 海岸工学論文集, 47(1), pp. 291-295.
- 田淵幹修・滝川 清 (2001): 運動量保存則の直接離散化による浅水流体運動の数値解析法, 熊大工学部研究報告 (投稿中)
- 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏 (1964): 海岸堤防への波のうちあげ高一海底勾配1/30一, 第11回海岸工学講演会論文集, pp. 260-265.
- 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏 (1965): 海岸堤防への波のうちあげ高一海底勾配1/20一, 第12回海岸工学講演会論文集, pp. 180-185.
- 灘岡和夫・八木 宏 (1993): 浅い水域の乱流場に関する数値計算モデルの開発と沿岸流場への適用, 土木学会論文集, No. 473, pp. 25-34.
- 本多忠夫・光易 恒 (1980): 水面に及ぼす風的作用に関する実験的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 90-93.
- Bretschneider, C. L. and R. O. Reid, (1954): Modification of wave height to bottom friction, Percolation, and Refraction, Tech. No. 45, B.E.B.