

潮流が卓越する小鳴門海峡における潮位と高潮の特性

Characteristics of Tide and Storm Surge in Konaruto Channel with a Rapid Tidal Flow

木村剛士¹・中野 晋²・天羽誠二³・白川卓磨⁴

Takeshi KIMURA, Susumu NAKANO, Seiji AMOU and Takuma SHIRAKAWA

Konaruto Channel in the position that links Kii Channel to Seto inland sea shows peculiar tide characteristics, but long-term observations on tide level have not been performed in this channel. Therefore an accurate storm surge prediction was impossible because a tide level prediction was not possible. We carried out tide level observations in three harbors of this channel for one year and obtained tidal harmonic constants. We performed storm surge simulations using the obtained harmonic constants and were able to get good reproduction results. Furthermore, as a result of the reproductive storm surge calculation of typhoon 16 in 2004 when a large storm surge disaster occurred in Takamatsu City, it became clear that storm surge more than 2m above sea level occurred in the northern coast of Naruto City.

1. はじめに

2004年度に相次いで四国周辺を通過した台風によって徳島県沿岸部も大きな浸水被害を被った。その中でも播磨灘と紀伊水道を接続する小鳴門海峡周辺では複雑な地形特性と紀伊水道と播磨灘の両側から潮汐波と高潮が伝播するという特異性のため、高潮予測が困難であり、大きな浸水被害が発生したのに拘わらず、これまで住民への災害情報の提供は十分に行われていない。特に、気象庁などによる潮位観測が香川県引田港と徳島県小松島港の間で全く行われていないことから潮汐調和定数の評価も十分な精度では行えず、高潮の絶対評価ができない状況となっている。そこで、鳴門市北部沿岸において正確な高潮予測を提供できる体制を整えることを目的として、小鳴門海峡周辺3ヶ所で、約1年の潮位観測を実施し、この地域での長周期潮を含む潮汐調和定数を算出した。次いで、2006年台風13号の高潮について高潮再現計算の検証を行うとともに、2004年の台風16、18、23号台風を対象として高潮再現解析を行い、小鳴門海峡周辺での高潮の特性について考察する。

2. 小鳴門海峡沿岸における潮位特性

(1) 潮汐調和定数

小鳴門海峡周辺の粟田、北泊、堂浦の3漁港(図-1)内で2005年10月から2006年10月にかけて約1年間の潮位観測を行った。潮位測定には投込み式メモリー水圧計を用いた。サンプリング間隔は5分である。なお、気

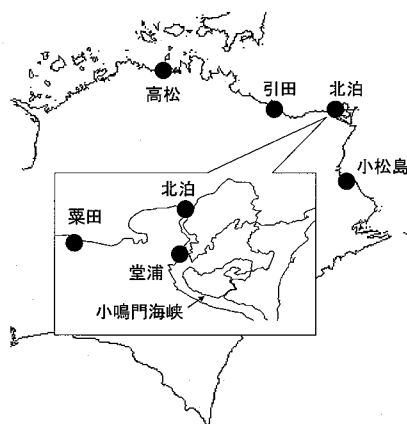


図-1 調査対象海域の位置図

圧計を北泊漁港に設置し、ここで得られた気圧データで、3ヶ所の潮位計の大気補正を行った。小鳴門海峡の南側部分は水道幅が比較的広く、小松島港の潮汐調和定数でも潮位が推算できることや港湾改修事業のために、潮位計の設置を検討しているという情報を得たため、調査対象から除外した。得られた実測潮位データ(355日間)を用いて60分潮の調和分解を行い、それぞれの地区において調和定数を求めた。60分潮のうち主要4分潮(M2, S2, K1, O1)とSA潮の振幅に関して、横軸を粟田からの沿岸距離を用いて比較したものが図-2である。さらに同様に遅角に関して比較したものが図-3である。

図-2, 3からわかるように、播磨灘の粟田-北泊間、小鳴門海峡中央部から紀伊水道に至る堂浦-小松島間では変化は小さいが、狭隘な水道が続く北泊-堂浦間では近傍にも拘わらず、振幅、遅角が大きく変化しており、この間で潮汐特性が大きく変化することがわかる。また、

1 正会員 修(工) 須賀工業㈱大阪支社設計部
2 正会員 博(工) 徳島大学准教授環境防災研究センター
3 正会員 工修 四国建設コンサルタント㈱
4 国土交通省四国地方整備局野村ダム管理所

年周潮である SA 潮は平均潮位の経年変化を示すもので、海水温変化と密接な関係がある。従って、近接地点ではほとんど変化しないのが一般的であるが、北泊の値が他の地区に比べて大きな値を示している。これは平均潮位の経年変化に海水温変化とは異なる要因が含まれるためではないかと考えられる。

(2) 潮位偏差と潮流との関係

小鳴門海峡の北部は大潮時に高速な潮流と波浪の相互作用が顕著である。潮流が潮位変動に及ぼす影響を調べるために、対象地区の潮位偏差と潮流との関係について検討した。主な検討内容としては、上げ潮最強時と下げ潮最強時の潮位偏差を抽出し、地点ごとに整理した。上げ潮と下げ潮の最強時の判別方法としては 5 分間隔の潮位データを基に、式 (1)、(2) を満たす時刻として定義した。

$$\left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \right] . \text{and} . \left[\frac{\partial \eta}{\partial t} > 0 \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$\left[\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \right] . \text{and} . \left[\frac{\partial \eta}{\partial t} < 0 \right] \dots \dots \dots (2)$$

つまり式 (1) の状態が上げ潮最強時、式 (2) の状態が下げ潮最強時とした。

図-4 は結果の 1 例であるが、下げ潮（南流）時には潮位偏差が＋、上げ潮（北流）時に－の傾向が見られる。これは北泊港が小鳴門海峡北端外側に位置するため、海峡への流入（南流）時に堰上げ効果が生じ、流出（北流）時はその逆になっていることなども影響しているほか、急流と波の相互干渉などの非線形的な影響もあるものと考えられる。

3. 小鳴門海峡周辺での高潮解析と高潮の特性

(1) 対象地区の潮和定数を用いた高潮解析

2. で求めた潮汐調和定数を用いて高潮解析を行った。本研究で用いた高潮解析手法は村上ら (1985) が提案した ADI 手法であり、台風モデルには Myers モデルを用いている。近畿から九州までの気象観測所 22ヶ所のデータを基に最適な最大台風半径、気圧深度、台風の進行速度などを与えて解析している。計算領域は四国を囲む北緯 32.5°～34.7°、東経 130.7°～135.5°の範囲の太平洋、紀伊水道、瀬戸内海および播磨灘海域とし、2 km メッシュを標準とし、小鳴門海峡付近は 666.6 m メッシュと細分化した。なお、小鳴門海峡の地形を再現するにはさらに細分化する必要があるが、この分解能に留まっている。小鳴門海峡部分の解析メッシュ図を図-5 に示す。図中、濃灰色に着色した部分を海域として解析している。

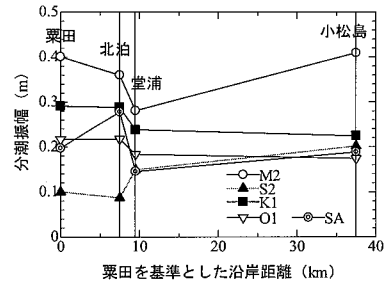


図-2 主要 4 分潮と SA 潮の振幅

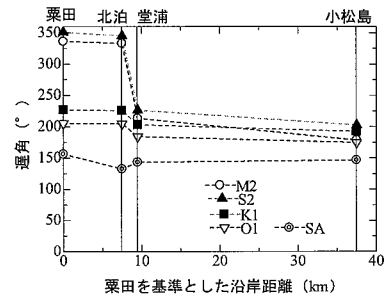


図-3 主要 4 分潮と SA 潮の遅角

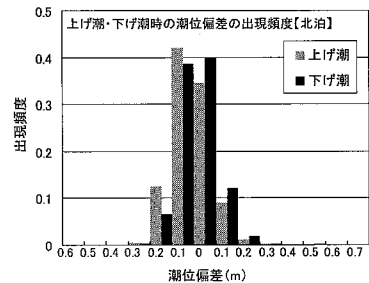


図-4 上げ潮・下げ潮最強時と潮位偏差の関係

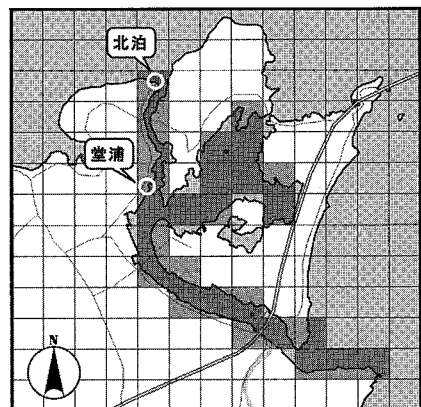


図-5 小鳴門海峡付近の計算格子

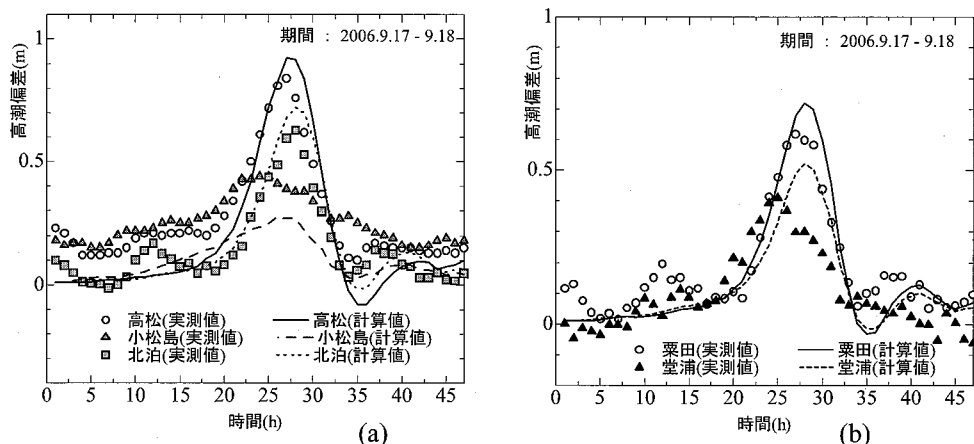


図-6 高潮偏差についての再現結果 (a) 高松, 小松島, 北泊 (b) 粟田, 堂浦

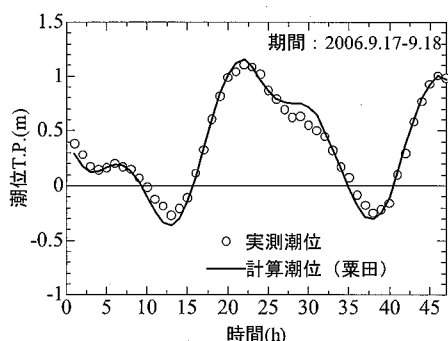


図-7 潮位の再現結果 (粟田)

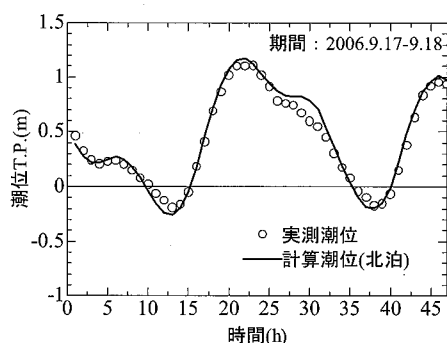


図-8 潮位の再現結果 (北泊)

2005年10月～2006年10月の間で唯一高潮を記録した2006年13号台風について、検証計算を行った。図-6 (a), (b)は高潮偏差について、高松、小松島、北泊、粟田、堂浦の5港について実測値 (= 実測潮位 - 推算天文潮位) と計算値を比較したものである。高松、小松島は気象庁データである。なお、横軸の時間は2006年9月17日0時を基準にした時刻を表す。高松、小松島ではforerunnerの潮位が15 cm程度ずれているが、高潮偏差の経時変化は概ね一致している。また粟田、北泊では絶対値で最大10 cm程度の誤差があるが、ピーク時刻は良く一致している。一方、堂浦は高潮波形が実際より高松や北泊に近い方向にずれて、ピーク時刻が遅れる傾向がある。これは図-5からもわかるように実際の地形より北泊～堂浦間の海峡幅が大きく設定されたためであると考えられる。次に図-7は粟田、図-8は北泊での高潮潮位の再現結果である。最高潮位の値や出現時刻は正確に求められており、現地調査より評価された潮汐調和定数を利用して高潮解析を行うことで、実用上十分な精度で高潮潮位を解析できることがわかる。



写真-1 2004年台風16号による高潮浸水被害 (2004年8月31日, 鳴門市瀬戸町堂浦字日出, 路面上0.6m)

(2) 小鳴門海峡周辺での高潮特性

ここでは、瀬戸内海を中心に大きな高潮被害をもたらした2004年の台風16, 18, 23号の高潮再現計算を行い、この地域での高潮特性について考察する。

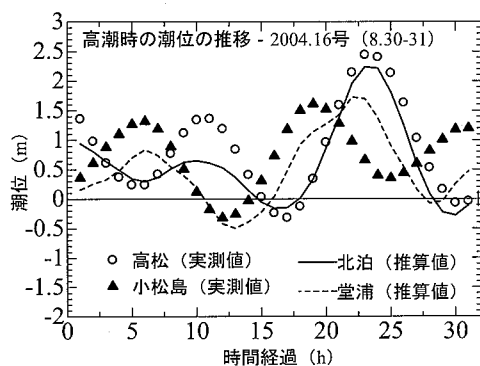


図-9 高潮再現計算 (2004 年台風 16 号)

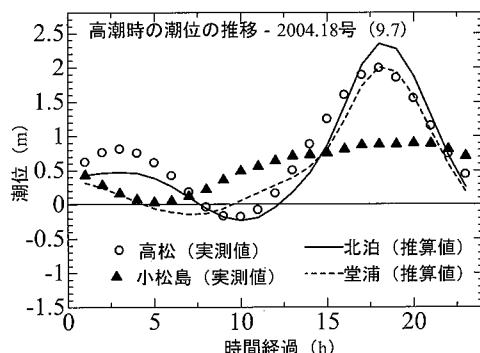


図-10 高潮再現計算 (2004 年台風 18 号)

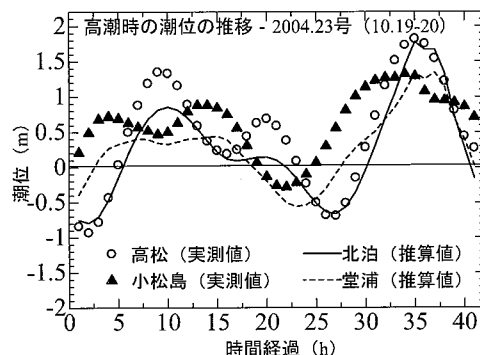


図-11 高潮再現計算 (2004 年台風 23 号)

2004 年の台風 16 号では鳴門市北部沿岸を中心に高潮浸水被害を受けた。写真-1 は 20 棟で床上浸水が発生した鳴門市瀬戸町(播磨灘側)での浸水被害調査の状況を示す。2 名の死者を出した高松市とは異なり、徳島県では若干名の軽傷者を出した以外に人的被害はなかった。この時点では鳴門市沿岸で潮位観測が行われていなかったため、鳴門市瀬戸町周辺での潮位は不明であったが、図-9 より、北泊では最高潮位 2.2 m (平均海面上) 程

度であったことがわかる。これは高松港で記録した 2.48 m に比べて 0.3 m 下回る程度である。一方、小鳴門海峡内部の堂浦では 1.7 m 程度である。ただし、堂浦では紀伊水道側からの高潮のピークが過ぎた後に、瀬戸内海側の高潮がピークとなるため、高潮位が長時間続く傾向がある。これは直後に行った住民からのヒヤリング結果とも良く一致している。

台風 16 号に続いて来襲した台風 18 号(図-10)では広島県や愛媛県で大きな高潮被害をもたらしている。この台風でも北泊の最高潮位は 2.3 m であり、高松を上回る潮位を記録した可能性がある。同様に堂浦でも 2.0 m と高潮位を記録している。台風 18 号は台風であり、雨量はそれほど多くなかったが、鳴門市内では再び小鳴門海峡周辺で高潮による浸水被害が発生した。

最後の 2004 年 23 号に対する高潮解析結果(図-11)でも、10 月 20 日 11 時に高松とほぼ同じ 1.8 m の最高潮位を記録している。この台風は兵庫県丹山川で大洪水を起こすなど全国で大きな爪痕を残したが、鳴門市周辺でも降雨、波浪ともにこの日の 10～15 時にかけて既往最高値を記録しており、広範囲で浸水災害が発生した。

4. あとがき

本研究は、これまで長期的な潮位記録が収集されていなかった徳島県北部の小鳴門海峡周辺において実用的な高潮予測を実施することを目標として、潮位の現地観測、高潮再現計算を行ったものである。本研究で得られた結果をまとめると以下のようなものである。

- 1) 鳴門市北部の栗田、北泊、堂浦の 3 漁港において約 1 年間の潮位観測を実施し、年周潮を含む 60 分潮の潮汐調和定数を評価した。その結果、小鳴門海峡の北端部に位置する北泊と堂浦の間で潮汐調和定数が急変することが明らかになった。
- 2) 現地観測から得られた潮汐調和定数を利用して、小鳴門海峡周辺の高潮解析を行った。潮位観測期間に発生した 2006 年 13 号の高潮を対象に検証計算を行った結果、実用上は十分な精度で小鳴門海峡周辺の高潮潮位が計算できることが確認された。しかし、幅の狭い小鳴門海峡を正確に表現するためには今回の解析より解像度の高いメッシュサイズが必要である。
- 3) 2004 年の台風 16 号、18 号、23 号について高潮再現計算を行った結果、北泊ではそれぞれの台風で最高潮位 2.2 m、2.3 m、1.8 m 程度の高潮が発生していた可能性があることがわかった。この値は甚大な高潮被害を被った高松港潮位に匹敵するものであり、鳴門市北部海岸は高潮の危険性が高い地域であることがわかった。こうした事実は潮汐調和定数が求められ、天文推算潮位がこの地域で算出可能になったことで判明

しており、長期の潮位観測が高潮防災上極めて重要であることが改めて示された。

謝辞：本研究は鳴門市との共同研究の一環として実施された。また、潮位計設置には鳴門市北灘漁協、同北泊漁協、同堂浦漁協のご協力を得た。また、高松港、小松島港での実測潮位はいずれも気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jp/choi/>) 掲載のデータをダウンロードして利用した。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 天羽誠二・中野 晋(2006)：数年規模の洪水・高潮の同時生起による大規模氾濫現象の解析，河川技術論文集，Vol. 12，pp. 109-114.
- 中野猿人(1975)：潮汐学（復刻版），生産技術センター新社，528p.
- 中野 晋・小野 悟・富永数男・富野佳孝(2005)：鳴門市での高潮災害調査，平成 16 年台風災害に関する学術調査，徳島大学教育研究プロジェクト推進費調査成果報告書，pp. 49-54.
- 村上和男・森川雅行・堀江 毅(1985)：ADI 法による高潮の数値計算法，港湾技研資料，No. 529，pp. 1-35.
-