# 2018 年台風 21 号による高潮再現計算と暴風・高潮時における漂流物の挙 動予測モデルの開発〜関西国際空港連絡橋へ衝突した船舶を対象に〜 VERIFICATION OF STORM SURGE CALCULATION OF TYPHOON NO. 21 IN 2018 AND DEVELOPMENT OF A MODEL FOR DRIFTING DURING STORM SURGES

小園 裕司\*•桜庭 雅明\*\*•野島 和也\*\* Yuji KOZONO, Masaaki SAKURABA and Kazuya NOJIMA

In September 2018, Typhoon No. 21 caused damage of storm surge to the coastal area of Osaka Bay. In addition, tankers drifted and collided with an access bridge of Kansai International Airport. Our aim is to consider the effect of wind during storm surges. In this study, storm surges by the typhoon were calculated for verification. Based on it, we developed a drifting prediction model considering the effects of wind. After the track of tanker drifting was verified. The calculated results agree well with the observed pressure, wind speed and tide levels in Osaka Bay. By comparing the calculation track of the tanker and the record track, the calculated results were in good agreement. The proposed model was shown to be useful in predicting the behavior of drift during storm surges.

Keywords : storm surge, numerical simulation, drifting, wind effect, Osaka bay

# 1. はじめに

我が国では、気候変動に伴って海面上昇や台風外力の増 加が想定されており、水災害のリスクが高まっている。そのよう な状況のなか、2018年9月に台風21号が近畿地方に接近・ 上陸し、大きな高潮被害が発生した。関西国際空港(以下 「関西空港」という。)では最大風速 46.5m/s (最大瞬間風速 58.1m/s)、大阪潮位検潮所では、水位 329cm (潮位偏差 277cm)となるなど各地で既往最大を更新した。大阪湾沿岸 では浸水被害だけにとどまらず、災害がれきの散乱や火災の 発生も生じた。また、大阪湾では、高潮と暴風によって走錨 する船舶が複数確認されており、一部の船舶は、関西空港に 衝突するなどの被害も発生した。暴風・高潮による浸水被害 を予測するだけでは不十分であり、付随的に発生する漂流物 に対する被害予測を想定することも極めて重要な課題である。 高潮時の漂流物の挙動を評価することが可能になれば、事前 に台風進路予測などを用いて高潮予測と漂流予測を行い、漂 流影響範囲などの情報を提示することによって、船舶等の衝 突回避などに活用することができると考えられる。

漂流物の挙動を計算するモデルは、これまで各種研究機関で活発に開発されてきた<sup>1)~4)</sup>。後藤らは質点モデルに基

づいた流木漂流モデルを開発した。野島らは、後藤らのモデ ルを発展させ、広域で多種多様な漂流物を扱えるモデルを提 案した。許らは、剛体モデルによって漂流物の回転運動も含 めた解析を行っている。しかしながら、これらの挙動予測モデ ルは津波を対象とし、津波の流速を外力としたモデルとなって おり、高潮時を対象とした漂流計算モデルではない。高潮時 における漂流計算モデルとして STOC-DM に風を考慮したモ デルを富田ら<sup>5)</sup>が提案しており、三河港におけるコンテナの挙 動について再現計算を行い、風荷重の必要性を示している。 富田らが示す通り、高潮発生時、暴風・高潮時における漂流 物挙動計算では、風の影響を考慮する必要があると考えられ る。さらに、関西空港に衝突した船舶のような漂流物であれ ば、流水や風荷重に加え錨や鎖による抵抗等の各種の影響を 考慮する必要がある。

本研究は、高潮時における漂流物被害の評価を定量的に 行える手法の確立を最終目的としている。ここではその一環と して、高潮漂流物挙動予測モデルの開発を行い、2018年の 台風 21 号で関西空港に衝突した船舶を対象にモデルの妥当 性を検証した。また、高潮漂流物予測を行う際には、高潮の 気象(風場)や高潮(流況)の予測も重要である。台風 21 号による高潮再現計算も実施し精度検証を行った。

<sup>\*</sup> 技術本部 中央研究所 総合技術開発第1部

<sup>\*\*</sup> 技術本部 先端研究開発センター



図-1 高潮時における漂流物挙動解析モデルの概要 (船舶の場合)

# 2. 高潮時における漂流物予測モデルの構築

船舶の高潮漂流計算モデルの概要を図-1に示す。高潮 漂流物モデルは、野島ら<sup>2)</sup>と同様に質点モデルとした。外力 は、海水からの流速と空気の風速を用いた。また、錨鎖によ る係駐力(錨の把駐力と鎖の摩擦力)を考慮した。なお、船 舶に外力が働くと鎖に張力が発生し、懸垂部(カテナリーカー ブ)が生じる。本モデルでは、カテナリーの長さを考慮した鎖 の摩擦力を評価できるようモデル化を行った。

モデルの運動方程式を以下に示す。

$$\rho_d V_d \frac{d\boldsymbol{u}_d}{dt} = \mathbf{F}_{\rm cm} + \mathbf{F}_{\rm cdf} + \mathbf{F}_{\rm ada} + \mathbf{F}_{\rm anc} \tag{1}$$

$$\mathbf{F}_{\rm cm} = \rho_f \, V_d \frac{d\boldsymbol{u}_f}{dt} + \rho_f \left( C_{Mf} - 1 \right) V_d \left( \frac{d\boldsymbol{u}_f}{dt} - \frac{d\boldsymbol{u}_d}{dt} \right) \tag{2}$$

$$\mathbf{F}_{\text{cdf}} = -\frac{1}{2} \rho_f C_{df} A_d \left( \boldsymbol{u}_d - \boldsymbol{u}_f \right) \left| \boldsymbol{u}_d - \boldsymbol{u}_f \right|$$
(3)

$$\mathbf{F}_{cda} = -\frac{1}{2} \rho_a C_{da} A_a (\boldsymbol{u}_d - \boldsymbol{u}_a) |\boldsymbol{u}_d - \boldsymbol{u}_a|$$
(4)

ここで、ud、uf、ua は、高潮漂流物の移動速度(m/s)、水の 流速(m/s)、空気の風速(m/s)、pd、pf、pa は高潮漂流物、 水、空気の密度(kg/m<sup>3</sup>)、Va は高潮漂流物の没水部分の体 積(m<sup>3</sup>)、Aa は流水方向に対する高潮漂流物の没水部分の 投影面積(m<sup>2</sup>)、Aa は風向に対する高潮漂流物の非没水部分 の投影面積(m<sup>2</sup>)、CMf は付加質量係数、Cdf、Cda は水と空 気の抗力係数である。錨と鎖による抵抗力は参考文献<sup>6</sup>に倣 い、海底面での錨の把駐力と鎖の摩擦力で評価する。

$$\mathbf{F}_{\rm anc} = -\frac{\boldsymbol{u}_d}{|\boldsymbol{u}_d|} (W_{anc} \lambda_{anc} + W_{cha} \lambda_{cha} l)$$
(5)

ここで、λanc は錨の把駐係数、λcha は鎖の摩擦係数、Wanc は 錨の重量(t)、Wcha は鎖の単位長さ当たりの水中重量(t/m)、 1 は海底面に接する鎖の長さ(m)を示す。船舶に外力が作 用すると鎖に張力が発生し、カテナリーカーブが生じる。カテ ナリー長さを除いた海底面に接地する鎖の長さ1を算定する必 要があり、次式<sup>6)</sup>で評価した。

$$l = L - \sqrt{D^2 + 2\left(\frac{T_x}{W_{cha}}\right)D}$$
(6)

ここで、Lは、船舶から伸出している鎖の全長(m)、Dは全 水深と海面からベルマウスまでの長さの和(m)、Txは鎖に作 用する張力(kgf)を示す。式(5)、(6)を用いて船舶の限 界抵抗力を算定し、錨の把駐力と鎖の摩擦力の合力が船舶に 作用する外力より大きければ、船舶は停止とし、船舶に作用 する外力が抵抗力より大きくなれば、移動開始条件とする。一 度走錨を始め、さらに大きな外力が作用するとカテナリー部の 長さは大きくなり、そのうち鎖が伸び切った状態になる。また、 限界抵抗力と釣り合う外力未満となった場合は、鎖の自重に よって再び海底に接地することが考えられるが、このような錨や 鎖の複雑な挙動は解析的に求める必要がある。本研究では、 このような複雑な挙動を簡易的に扱うために、走錨を開始した 時点で、海底面に接する鎖の長さを1=0とし、錨の把駐力の みを考慮した。

# 3. 台風 21 号を対象とした高潮再現計算と船舶に作用した荷重の検討

# (1) 台風モデル (気象場) の作成

高潮は気圧の低下による吸い上げと風の吹き寄せによって生 じる。高潮計算には、気象場(気圧場、風速場)を作成する 必要がある。本検討では、台風 21 号の気象場を、経験台風 モデルの Myers の式を用いて作成した。

$$P_{(r)} = P_{\rm c} + \Delta P \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \tag{7}$$

ここで、rは台風中心からの距離、P(r)は地点における気圧、  $P_{c}$ は台風中心の気圧、 $\Delta P$ は台風の中心示度、 $r_{0}$ は台風半 径(最大旋衡風速半径)である。この式は、台風の気圧を入 力値とすることで、風速と気圧の分布を作成することができる。 台風経路および中心気圧は気象庁の公表データ<sup>71</sup>より設定した。 台風の大きさ(半径)は既往の推定式<sup>80</sup>を用いた。推定式は、 過去台風の実績から構築されており、台風の大きさを平均的に よく一致することができるものの、個々の台風でのばらつきは 生じる。そこで本検討では、今次発生した台風の観測値(気 圧、風向・風速)を再現できるように、算出された台風の大き さに補正係数を乗じた。補正係数は試行錯誤によって決定し、 最終的に 1.2 を採用した。また、台風の吹き込み角について も同様にチューニングを図り 40 度とした。Myers の式より得ら れた風速から海上風 10m への変換係数<sup>9)</sup> は 0.65 とした。

#### (2) 高潮再現の計算条件

高潮シミュレーションモデルは、非線形長波式にコリオリカ、 気圧による吸い上げ、風による海面摩擦、砕波に伴う Wave Set-up を考慮したモデルを用いた。式(8)~(10)に連続 式と運動方程式を示す。



図-2 計算領域・計算格子間隔および台風経路

項目	条件		
計算領域: 計算格子幅 (分割数)	領域 1: 2,430m (720×540)		
	領域 2: 810m (1496×986)		
	領域 3: 270m (686×656)		
	領域 4: 90m (896×806)		
	領域 5: 30m (1136×1196)		
基礎方程式	非線形長波式(コリオリカ、気圧吸い 上げ、吹き寄せ考慮)		
計算手法	リープフロッグ法、スタッガード格子		
水深条件	「南海トラフの巨大地震モデル検討 会」データ		
粗度係数	一律 0.025		
経路、気圧	気象庁 7)より整理		
台風半径	算定式 <sup>8)</sup> より推定		
潮位条件	T.P.+ 0.50m		

表一1 計算条件一覧



図-3 実績値と計算値の比較地点(各種観測所位置)

$$\frac{c\eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D}\right)$$

$$= fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_{xx} - \tau_{bx}) - \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right)$$
(9)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D}\right) \\ = -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} \left(\tau_{sy} - \tau_{by}\right) \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) \quad (10)$$

ここで、 $\eta$ は静水面からの水位変化量、gは重力加速度、 $\rho_w$ は 海水の密度、Pは海面での大気圧、fはコリオリ係数、Dは全 水深である。 $\tau_{sx}$ 、 $\tau_{sy}$ は海面せん断応力、 $\tau_{bx}$ 、 $\tau_{by}$ は底面せん断 応力、 $S_{xx}$ 、 $S_{xy}$ および $S_{yy}$ はラディエーションストレスである。 底面せん断応力はマニング則で評価し、海面せん断応力は本 多・光易による式<sup>9)</sup>で評価した。

計算に用いる地形データ等の条件は次の通りに設定した。大 阪湾における計算領域、計算格子間隔は内閣府の「南海トラフ の巨大地震モデル検討会」の水深メッシュデータに基づいて 設定した。外洋では2,430mの計算格子間隔を設定し、810m (日本列島周辺)、270m (瀬戸内海周辺)、90m (大阪湾周辺)、 30m (関西国際空港周辺) というように 1/3 ずつ計算格子の小 さくした計算領域を設定した。各領域間は流量と水位で接続 (ネスティング) し高潮計算を行った。計算領域、水深データ の一例を図-2に示す。図中には台風経路と中心気圧も合わ せて示している。沖合は自由透過条件、陸域は完全反射境界 とし、海域の粗度係数は0.025とした。初期潮位は台風が関 西空港に最接近した時刻における潮位 T.P.+0.50m(淡輪検 潮所における9月4日14時の天文潮位)とした。計算開始 時刻は、台風が関西空港に最接近した9月4日14時から41 時間前の9月2日21時とした。その他計算条件の一覧は表ー 1に示す通りである。計算結果は、図-3に示す各種気象台、 検潮所における、気圧、風速、潮位偏差の実測値と比較した。



# (3) 台風モデル(気象場)の検証

図-4に気圧と風速の経時変化について実測値と比較した結 果を示す。大阪気象台における気圧の経時変化については、 台風通過後の9月4日20時以降では過大評価となっている が、接近からピーク時直後までは良好に一致している。関空島 における風速の比較では、実測値に対して計算結果ではピー ク値が5m/s程度過少評価となっている。本検討では、台風 の大きさや風速をMyersの式で簡易推定しており、山地の風 向風速変化を考慮していない為、観測値と誤差が生じていると 考えられる。しかしながら全体の波形は概ね再現していること が確認できた。これらの結果より大阪湾周辺における気象状況 は概ね再現されており、高潮計算に用いる外力として適切に設 定されていることを確認した。

#### (4) 高潮再現計算の検証

図-5に本計算結果より得られた各時刻における高潮による 潮位偏差分布の一例を示す。大阪湾に接近する台風(13時 30分)は、吸い上げ効果により80cm程度の潮位上昇が生じ ている。大阪湾に位置する頃(14時00分)には、風の吹き 寄せによって大阪湾内の湾央から湾奥にかけて潮位が上昇して いる。台風が大阪湾を通過した後(14時30分)も、風の吹 き寄せ効果によって水位上昇が続き最大潮位となることが確認 された。

図-6に大阪湾内に位置する検潮所の潮位偏差の経時変化

について比較した結果を示す。実績値では、どの検潮所でも、 台風の接近により9月4日12時まで緩やかに潮位が上昇して いる。台風接近に伴い気圧が低下することによって潮位が上昇 しているためだと考えられる。12時以降は急激に立ち上がって おり、強い風による吹き寄せの効果によるものと考えられる。本 計算結果は、このような傾向を実績値と同様に示しており、波 形を良好に再現している。ピーク値においては、実績では淡 輪、大阪、神戸、洲本でそれぞれ 124cm、277cm、181cm、 124cmとなっており、計算結果では、126cm、285cm、186cm、 104cm となり全体として再現性は高い。洲本については、他 の検潮所と比較して精度が劣る。Myers の式で台風の形状を 正円として仮定していることと、山地による風向風速の影響が 考慮されていない為であると考えられる。しかしながら、本検討 は、高潮漂流計算の外力として用いる関西空港周辺の水位や 流速の変化を推定することを重視しており、淡輪から大阪にか けての再現は十分であると判断できる。

以上の結果から、本計算結果が大阪湾において、台風21号 通過時における気象や潮位変化を概ね再現できていることが 確認された。

#### (5) 船舶に作用した潮位・流速および荷重の影響

図-7に再現計算より得られた関西空港周辺の潮位・流速 の経時変化を示す。9月4日13時ごろに急激に潮位偏差が 大きくなりピーク時には150cm程度であったと推定した。流速 についても潮位と同様となっており、13時頃に立ち上がり始め て、ピーク時には0.9m/s程度(14時10分)となっている。 また、潮位のピーク時間は、流速のピーク時間よりも遅れてき ていることが確認された。

風と海水の影響評価を行うため、式(3)、(4)の抗力式を 用いて船体に作用した荷重を試算した。船体の速度は0.0m/s と仮定し、当時の気温や気圧から空気の密度1.20kg/m<sup>3</sup>、海 水の密度1025.00kg/m<sup>3</sup>とした。最大風速45m/s、最大流速 0.9m/s、抗力係数*Cdf、Cda*をそれぞれ1.0とすると、当時船 舶に作用した荷重は、単位面積当たりで風による荷重が1.20 kN/m<sup>2</sup>、海水による流体力は0.41kN/m<sup>2</sup>となった。当時の状 況においては風の影響は海水の約3倍程度あったものと推定 された。

以上の検討により、船舶に作用した流速、潮位変化を推定 した。さらに、船舶に作用した荷重の影響について明らかにし た。これらの結果を踏まえて、高潮漂流計算モデルの構築と 漂流物計算を実施した。

#### 4. 船舶の高潮漂流計算の検討

#### (1) 高潮漂流計算の条件

高潮漂流計算の対象とした船舶の諸元は、運輸安全委員会の報告書<sup>10)</sup>(以下「経過報告書」という。)に基づき船の重量 2,591t、全長 89.95m、幅 15.80mとし、喫水は船首側と船

 $\eta(m)$ 



13:30

図-5 潮位偏差分布の経時変化

14:00





14:30



尾側の平均値である3.3mとした。海面より上部の空気の受圧 面積は船舶の写真より判読して整理した。図-8にタンカーの モデル化図を示す。船舶を矩形でモデル化しているが、水面 上の形状は2つに分けて矩形モデル化した。抗力算定に用 いる荷重受圧面積は、記録されている船体の向きと、計算に 用いる外力の風向・流向の関係から算定した。錨の重量は経 過報告書に基づき2,460kgとし、鎖の全長は210mとした。 関西空港周辺の海底は泥質であるため、参考文献<sup>60</sup>を参考 に静止時および走錨中の錨の把駐係数は3.0と1.5とし、鎖 の摩擦係数は1.0とした。水の密度、空気の密度、抗力係数 *Cdf、Cda*は「3.(3)船舶に作用した潮位・流速および荷重の 影響」の検討条件と同じ値であり、計算時刻は9月4日12時 ~14時までとし、初期位置は経過報告書に記載されている







図-8 タンカーのモデル化



AIS 記録に基づき設定した。高潮漂流物は陸上または関西空 港の連絡橋に到達した段階で停止条件とした。

高潮漂流計算の外力には、関空島の実績風速と高潮再現計 算で得られた関西空港周辺の流速データを用いた。図-9に 流速、風速およびそれぞれの向き経時変化を示す。カテナリー カーブを求める際の全水深は、再現計算より得られた潮位偏差 の経時変化を与えた。本検討では、流速、風速、錨鎖の抵抗 が漂流物の挙動に与える影響等を比較するため、表-2に示 すケースを実施した。ケース1は津波漂流物計算モデルと同様 に、海水による荷重、ケース2は海水と風の荷重を考慮した。 いずれのケースも錨鎖を考慮していないケースである。ケース 3、4はケース1、2の荷重条件と同様であり錨鎖を考慮した場 合のケースになる。

# 表-2 船舶の漂流計算の検討ケース

ケース	流速	風速	錨鎖の抵抗
1	考慮	なし	なし
2	考慮	考慮	なし
3	考慮	なし	考慮
4	考慮	考慮	考慮

# (2) 検討結果

図-10に本計算結果から得られた各ケースにおける船舶の 挙動の比較結果を示す。赤矢印が実際の走錨経路を示してい る。図-9より、関西空港に台風が最接近する13時00分 ごろまでは、南西向き流速、風速が発生していた。流速につ いては、0.0~0.2m/s 程度、風速は 20m/s 程度であった。 そのため、錨鎖の抵抗を考慮していないケース1(緑色)、 2(青色)は、解析開始直後に小さい流速、風速でも動き始 め、この向きの風速と流速に合わせて移動した。最接近後の 12時50分以降、風向・流向の変化(北東方向)に伴い、 船舶は北東方向に経路を変更しながら移動した。流速のみと 錨鎖の抵抗を考慮したケース3(紫色)では船舶は初期位置 から動かない結果となった。「(5) 船舶に作用した潮位・流速 の影響」でも示した通り、風荷重に比べて流速による荷重は 小さいためであると考えられる。風速・流速および錨鎖のすべ てを考慮したケース4(黒色)では、実際の経路と最終位置が 概ね一致した。

図-11にケース4における計算結果と実績の速度の経時変 化を示す。実績では緩やかに走錨速度が上がっていったが、 計算結果では移動開始時間が遅い。また、走錨開始とともに 実測値を上回る速度で上昇していることが確認された。これは、 走錨直後に鎖の摩擦力を0と仮定しているためであると考えら れる。今後、この点については、流速や加速度の関数として 表現するなどの改善が必要であると考えられる。衝突時の速度 や停止時間については、計算結果と実測値は概ね一致してい ることを確認した。

以上の計算結果から、本論文は高潮時における漂流物の挙



図-10 各ケースの高潮漂流物の経路



動を正確に把握するためには、風の影響と錨鎖などの抵抗力 を正しく評価する必要があることを明らかにした。開発したモデ ルは、改善の余地があるものの実際の船舶の挙動を再現した。 台風接近・高潮発生時に船舶の漂流挙動を予測することが可 能であり、衝突回避などで有用性があることを明らかにした。

## 5. おわりに

本検討では、風と錨鎖の影響を考慮した高潮漂流計算モデ ルを開発した。また、2018年台風21号の大阪湾における高 潮再現計算を実施し、再現性の確認を行った。さらに船舶を 対象に再現計算とケーススタディを実施しモデルの検証を行っ た。その結果、以下の知見が得られた。

- 大阪湾の気象および高潮を概ね再現することを確認した。
- 船舶に作用した海水による力と風による力を評価し、高 潮時には風の影響に加えて錨鎖の抵抗力を考慮する必 要があることを示した。
- 提案したモデルは、実績の挙動を概ね再現可能である ことを示した。高潮予測と組み合わせることでどの程度 漂流するのか定量的な情報を発していくことが可能であ り有用性は高いと考えられる。

本検討では、風と錨鎖の抵抗力に着目して検証を進めた。 また、大阪湾内では波の影響が少なかったことからモデル化を 省略した。今後は、外力に波の影響を考慮することや、カテナ リー部の錨鎖の挙動の改善、船舶の回転等を考慮したモデル の開発を行っていく予定である。さらに、気象庁などが発信す る台風情報と連携して高潮予測と漂流予測を行い、漂流影響 範囲などの具体的な防災情報を、港湾事業者や沿岸自治体に 提示できるように開発を行っていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 後藤智明:津波による木材の流出に関する計算、海岸工学講演 会論文集、vol.30、pp.594-597、1983
- 野島和也、櫻庭雅明、小園裕司:水没を考慮した実務的な津波 漂流物による被害リスク算定、土木学会論文集 B2(海岸工学)、 Vol.70、No.2、pp.I\_261-I\_265、2014
- 許松、鴫原良典、多田毅、林建二郎:津波による船舶群の漂流・ 座礁に関する水理実験と数値モデルの検証、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.71、No.2、pp.I\_277-I\_282、2015
- 4) 小園裕司、高橋智幸、桜庭雅明、野島和也:複数の移動形態を 考慮した災害がれきの発生・移動予測モデルの開発、土木学会論 文集 B2(海岸工学)、Vol.72、No.2、pp.I\_439·I\_444、2016
- 5) 富田孝史、廉慶善:風応力を考慮した漂流物モデル、土木学会 論文集 B2 (海岸工学)、Vol.67、No.2、pp.I\_316-I\_320、2011
- 6) 本田啓之輔:操船通論、成山堂書籍、pp.103-130、1998
- 7) 気象庁、台風第 21 号による暴風・高潮等平成 30 年(2018 年)
   9 月 3 日~9月 5 日(速報) https://www.data.jma.go.jp/ obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/jyun\_sokuji
   20180903-0905.pdf.、参照2019-03-01
- 8) 加藤史訓:高潮危険度評価に関する研究、国総研資料、第275
   号、10p、2005
- 9) 本多忠夫、光易恒:水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究、 海岸工学論文集、第27巻、pp.90-93、1980
- 運輸安全委員会、船舶事故調査の経過報告について(2019年 04月25日以降最終報告公表の為、閲覧不可)、https://jtsb. mlit.go.jp/jtsb/ship/detail.php?id=10871、参照2018-12-20