

津波による大型船舶の被害軽減行動の検証と漂流挙動解析の確率的評価

東北大学大学院

学生会員 ○菅 裕介

東北大学災害科学国際研究所

正 会 員 越村 俊一

神戸大学大学院

非 会 員 小林 英一

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波(以下2011年津波)では多数の漁船や大型船舶が漂流・座礁し、船舶自体の損壊、周辺構造物への衝突、大規模延焼火災といった複合的な被害をもたらした。一方、国土交通省海事局によって2011年津波に遭遇した船舶の船長を対象に行われたアンケートでは沖合への避難をすべきか船舶を係留した上での陸上避難をすべきかの判断が困難であったという意見が見られた。以上のような状況は東海・東南海・南海地震に伴う津波においても発生する事態であり、津波発生時に船舶が行う被害軽減行動の適正化を行うとともに、船舶が漂流してしまった際の漂流挙動を予測し、被害軽減のための対策を立てることは臨海部における防災対策上、極めて重要である。

本研究では、宮城県気仙沼湾を対象に2011年津波の数値計算を実施し、漂流船舶の諸元に基づいて沖合避難海域の検証と津波数値計算の結果を用いた、船舶の漂流シミュレーションを行い、実際の座礁位置との比較検証する。

2. 津波数値計算

(1) 船舶漂流モデル

解析の対象領域に選定した宮城県気仙沼湾周辺の津波数値計算を行い、その再現性の検証を行った。計算には非線形長波式を用いて、Staggered Leap-frog法によって計算を行った。計算は第1領域から第4領域(450m, 150m, 50m, 16.67m)まで接続計算を行い、津波の初期水位分布は今村ら(2011)で提案されている断層パラメータより求めた。数値計算の再現性については菅ら(2012)において浸水範囲と津波浸水深の時間変化を良好に再現できることが確認されている。

3. 避難海域の検証

(1) 操舵限界流速と船速の算出

津波流速によって船舶が操舵不能となる操舵限界流速

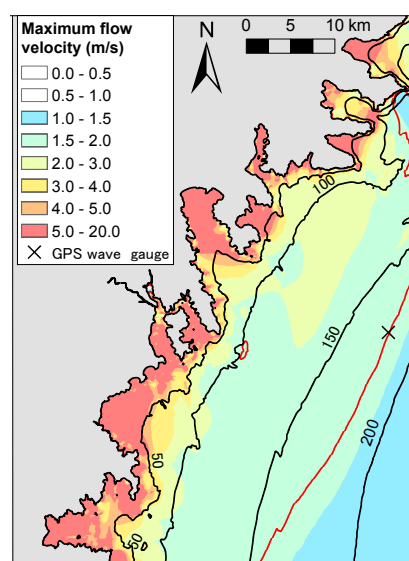


図-1 気仙沼湾周辺の流速分布と水深(黒色のコンター:水深(m), 赤色のコンター:限界流速(1.6m/s))

に関して、一般的貨物船(500t程度)において船速が津波流速の5倍以上であれば、斜め12度の流向に対して保船可能であると報告されており、本研究ではこの基準を参考に操舵限界流速を算定する。また、対象としている船舶の最高速力は、以下に示す日本小型船舶検査機構による速度の簡易式により求める。

$$v = 0.755 \sqrt{l \times (ps/G.T.)^{0.623}} \quad (1)$$

ここで、 v : 船速、 l : 船の全長、 $G.T.$: 総トン数、 ps : 馬力である。本研究では気仙沼湾で行った現地調査で食料を行った船舶の諸量を用いることで、船速の算出を行い、概ね8m/sという結果を得た。得られた値を5で除した1.6m/sを操舵限界流速とする。

(2) 避難海域水深の設定と津波最大流速

既往の研究において、船舶の沖合避難海域は水深にも基づき決定されている。

本研究では、より詳細に船舶の避難海域を検討するために、操舵限界流速と津波数値計算から得られた最大流速分布、海域の水深分布を比較することで、避難海域水深の目安を検証する。図-1から水深150m以深に操舵限界流速が分布していることが確認できた。また図中に示す

GPS波浪計に第1波が到達したのが地震発生からおよそ30分後であったことから、この海域において、港内から避難安全な避難海域への避難は非常に困難であったことが確認された。

4. 船舶の漂流計算

(1) 漂流船舶に関する運動方程式

小林ら(2005)、橋本ら(2010)の船舶漂流モデルに基づき、漂流船舶の数値解析を実施する。船舶漂流モデルにおける座標系は空間固定座標系 (x_0, y_0) ではなく、船体と共に移動する船体重心を原点とする船体移動座標系 (x, y) を用いる。 (x, y) 座標方向に変換した津波流速成分 (u_c, v_c) は津波数値計算で求められた津波流速成分 (u_{c0}, v_{c0}) を用いて式(2)のように表せる。

$$\begin{cases} u_c = u_{c0} \cos \psi + v_{c0} \sin \psi \\ v_c = -u_{c0} \sin \psi + v_{c0} \cos \psi \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 ψ は回頭角である。また、船速 (u, v) との相対速度 (u_s, v_s) は $u_s = u - u_c$ 、 $v_s = v - v_c$ となる。漂流船舶の運動方程式は式(3)で表記され、左辺は理論式で右辺は小林ら(2005)が既往の研究、実験に基づき提案した船舶に作用する力を表す実験式である。

$$\begin{cases} m(\dot{u} - vr) = -m_x \dot{u}_s + m_y v_s r + X_{vr} v_s r + X_H + X_F \\ m(\dot{v} + ur) = -m_y \dot{v}_s - m_x u_s r + Y_H + Y_F \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} = N_D + N_R \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 m, m_x, m_y ：船の質量、船の前後方向、および左右方向の付加質量、 I_{zz} ：慣性モーメント、 J_{zz} ：付加慣性モーメント、 r ：重心回りの回転角速度、 X_{vr} ：前後力補正係数、 X_H, Y_H ：流体力、 X_F, Y_F ：海底摩擦力、 N_D ：回頭モーメント、 N_R ：船体の回転による抵抗モーメントである。

(2) 気仙沼市への適用

気仙沼湾において津波来襲時に撮影されていたビデオ映像から判読した船舶の初期位置等をもとに実際に2011年津波によって漂流した船舶を対象に船舶漂流計算を行った。その際、初期位置と船首角の違いによって、シミュレーション結果に違いが大きく現れた(図-2)。船舶の漂流挙動を再現する際には図-2に見られる様な不確実性が認められるため、本研究では初期条件を変更しながら、複数回行った計算結果を集計し、その漂流傾向を確率的に評価することで、今後の防災・減災対策に活用する事ができると考える。図-3に250回計算を行い集計した例を示す。図-3の解析結果では、実際に船舶の座礁が集中した

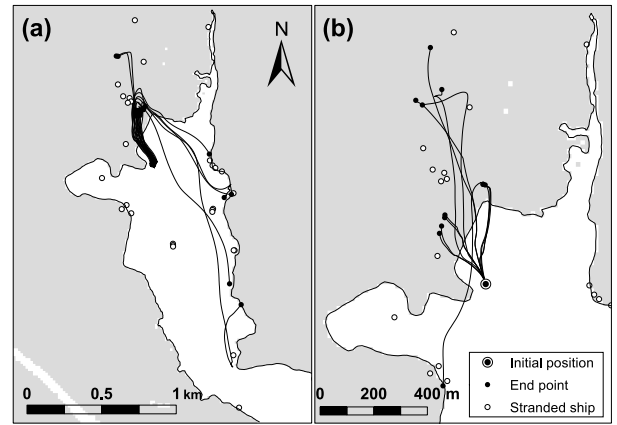


図-2 (a)初期位置の違いによるばらつき(10m間隔,合計20ケース)、(b)船首角の違いによるばらつき(30°間隔,合計12ケース)

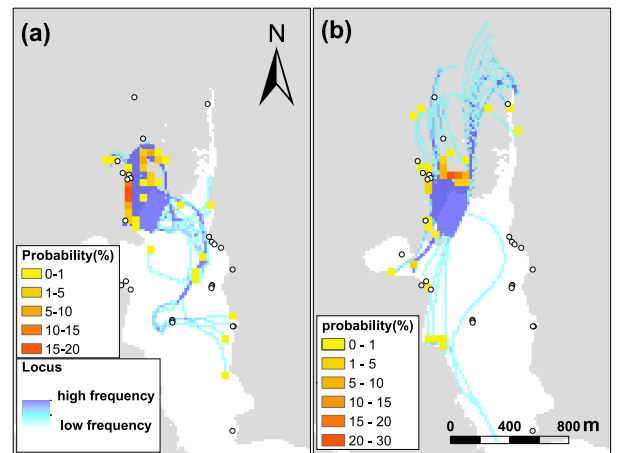


図-3 初期位置を複数設置して座礁位置を確率で評価した例 ((a):岸壁に横付け,(b):岸壁に縦付け,標本数は(a),(b)ともに250ケース)

箇所を評価できていることが確認でき、海岸から600m近く内陸に漂流した船舶についても漂流計算の軌跡によって網羅することができている。このように今後の津波被害想定に船舶漂流シミュレーションを用いる場合は、ミクロ的なシナリオ決定ではなく、複数のシナリオを統計処理することで検討することが適切であると言える。

参 考 文 献

- 今村文彦,越村俊一,大家隆行,馬淵幸雄,村嶋陽一(2011):東北地方太平洋沖地震津波を対象とした津波シミュレーションの実施 東北大学モデル(version1.0)
- 小林英一,越村俊一,久保雅義(2005):津波による船舶の漂流に関する基礎研究,関西造船協会論文集,第243号,pp.49-56.
- 橋本貴之,越村俊一,小林英一,藤井直樹,高尾誠(2010):津波来襲時における船舶漂流・座礁モデルを用いた臨海都市域危険度マップの開発,土木学会論文集B2(海岸工学),第66巻,pp.236-240.
- 菅裕介,越村俊一,小林英一(2012):2011年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾における大型船舶の漂流・座礁の解析,土木学会論文集B2(海岸工学),Vol.68, No.2, pp.I.251-I.255