

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挙動解析

東北大学大学院 学生会員 ○菅 裕介

東北大学大学院 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

一般に、津波氾濫流に伴って漂流物が発生し、構造物等に衝突することによって被害が拡大する。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波では多数の漁船や大型船舶が陸上に打ち上げられ、陸上の構造物への被害を拡大させたことが確認されている。また、2004年スマトラ島沖地震津波や1993年北海道南西沖地震津波、1983年日本海中部地震津波などの過去の津波災害においても船舶が陸上に打ち上げられ、被害をもたらしたことが確認されている。こうしたことから防災対策上、漂流船舶による津波被害の拡大過程を予測することは非常に重要であると言える。

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震津波によって宮城県気仙沼市気仙沼湾周辺で発生した漂流船舶を対象として数値計算を行い、実際の座礁位置と比較する事で数値計算の再現性を検証した。

2. 船舶の漂流計算

本研究では小林ら(2005)、橋本ら(2009)の船舶漂流モデルをもとに解析を行う。船舶の漂流運動に関する運動方程式は、津波の流れが比較的緩やかな変化で波の傾斜による影響が小さく、漂流船舶の運動が水平方向に卓越し、6自由度のうち主たる運動が前後(Surge)、左右(Sway)、鉛直軸回りの回転(Yaw)のみと仮定することによって導出する。

津波の流況計算で求められた津波流速成分(u_c, v_c)を空間固定座標系(x_0, y_0)から船体重心を原点とする船体移動座標系(x, y)での津波流速(u_c, v_c)に座標変換を行い、船速(u, v)との相対速度は $u_s = u - u_c, v_s = v - v_c$ と表す。

(1) 漂流船舶に関する運動方程式

漂流船舶の運動方程式は式(1)で表記され、左辺は理論式であり、右辺は小林ら(2005)が提案した実験式である。

$$\begin{cases} m(\dot{u} - vr) = -m_x \dot{u}_s + m_y v_s r + X_{vr} v_s r + X_H + X_F \\ m(\dot{v} + ur) = -m_y \dot{v}_s - m_x u_s r + Y_H + Y_F \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} = N_D + N_R \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 m, m_x, m_y : 船の質量、船の前後方向、及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) 漂流船舶に働く作用力

津波が船体近傍では一定方向の流れであると仮定すると、粘性摩擦抵抗により船体に作用する力 X_H, Y_H はモリソン式に基づき、抗力と慣性力を考慮して式(2)で表される。

$$\begin{cases} X_H = \frac{\rho}{2} L d U_c^2 C_{DX}(\theta_c) + C_{MX} \rho \dot{u} V \\ Y_H = \frac{\rho}{2} L d U_c^2 C_{DY}(\theta_c, H/d) + C_{MY} \rho \dot{v} V \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 ρ : 海水密度、 L : 船体の長さ、 d : 船の喫水、 U_c : 進行方向における津波流速と船速との相対速度($\sqrt{u_s^2 + v_s^2}$)、 θ_c : 船体に対する津波の入射角度、 C_{DX}, C_{DY} : 船体抵抗係数、 C_{MX}, C_{MY} : 慣性力係数、 V : 船体の浸水体積である。

(3) 船体着底による海底摩擦力

船体位置の全水深が喫水よりも小さい場合、船底が地面に接触することで海底面からの摩擦力が働く。海底摩擦力 F_f は $F_f = (m - \rho V) g \mu$ で表し、 x, y 方向の各成分 X_F, Y_F に分けられる。ここで、 V : 船の体積、 g : 重力加速度、 μ : 摩擦係数である。

(4) 漂流船舶に働く作用モーメント

船長などの船体スケールが計算の空間格子間隔よりも大きい場合に、橋本ら(2010)に基づき、船舶の回頭運動を表現するために船体を複数のセグメントに分割し、各セグメントに働く流体力及び海底摩擦力から N_D を算定する。

船体の回頭運動によって生じる抵抗モーメント N_R は、小林ら(2005)より実験的に求められた回頭モーメント係数と船側方向の平均的な抵抗係数を用いて算定する。

3. 計算条件

(1) 津波の流況計算

津波の流況の計算には非線形長波理論(浅水理論)式を用い、Staggered Leap-frog有限差分法で差分化した。断層モデルは東北大学モデルversion1.0を用い、計算は時間格

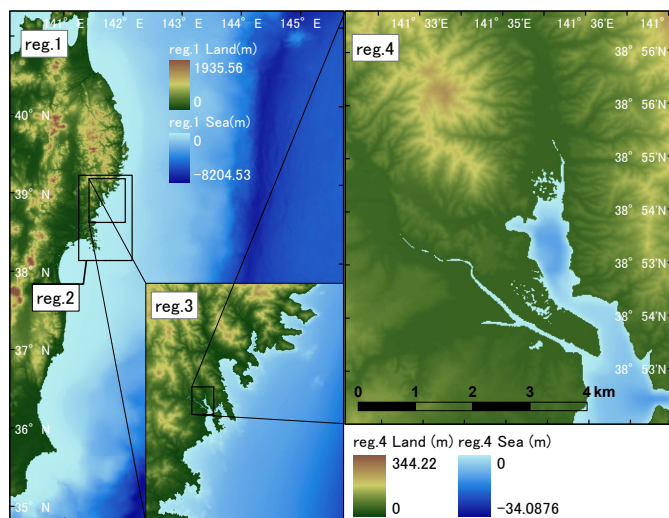


図-1 計算領域

表-1 解析における主要目

船長[m]	船幅[m]	喫水[m]	ブロック係数
50.0	8.1	2.5～3.0	0.550

子間隔を0.20秒に設定し、4領域(図-1)の接続計算を行った。各空間格子間隔は広領域から順に450m, 150m, 50m, 16.667mである。

(2) 研究対象領域と対象とする船舶について

解析対象領域である宮城県気仙沼市の気仙沼湾周辺では東北地方太平洋沖地震津波によって50隻近くの漂流船舶(20トン以上)が発生した。本研究ではこれらの船舶の平均的な船体スケールを船舶の主要目(表1)として解析に用いた。また、津波来襲時に撮影されていた漂流船舶の映像をもとに喫水は2.5mから3.0mに設定した。

津波が来襲した際に、各船舶がどのように停泊または係留されていたのか判断ができなため、本研究では計算において初期位置は気仙沼港周辺に任意で複数設定し、初期船首角については0° または90° (北向きを0° とする) に設定し計算を行った。

4. 計算結果及び考察

初期位置を固定して喫水及び初期船首角の設定を変えた際の計算結果を図-2に示す。喫水の違いで内陸への漂流距離に違いが生じ、最終的に座礁する位置の決定に影響を与えることが確認できた。また、初期船首角を変更した際には漂流する方向の傾向が大きく変化することが確認でき、初期位置の変更に関しても同様の傾向が見ら

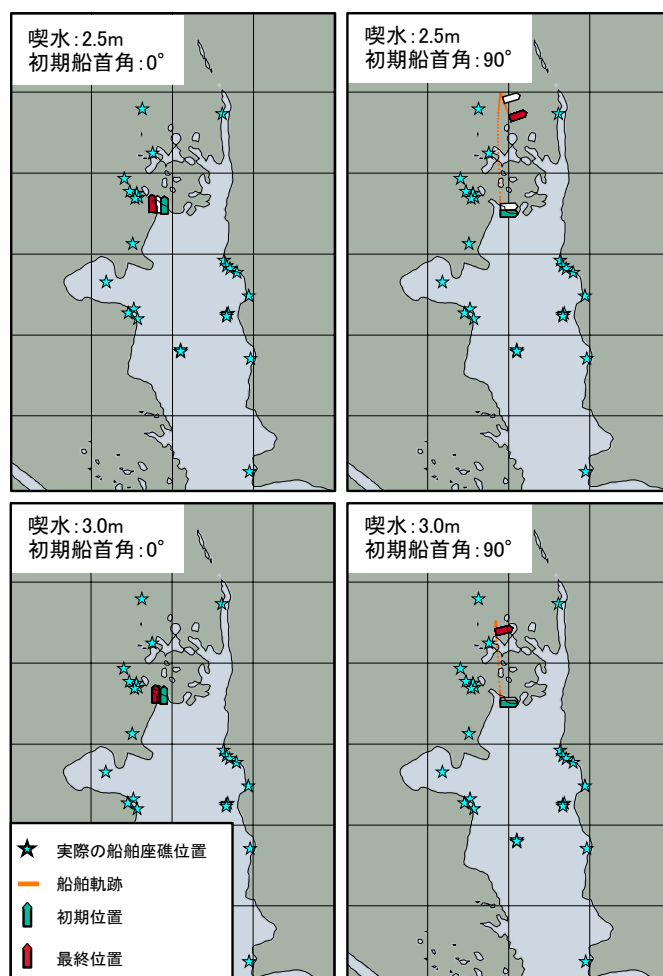


図-2 計算結果 (初期位置固定)

れた。まとめると計算結果から以下のことが確認された。

- ・喫水は内陸への漂流距離、座礁する位置の決定に影響
- ・初期船首角及び初期位置は漂流の方向に影響

図2のように、計算結果が実際の船舶座礁位置と正確には一致していないが、漂流によって向かう方向の傾向は実際の座礁位置と整合性を持っている事が確認できたので、再現性の向上を考える上では喫水の選定が重要になると考えられる。また、今後の被害予測を行う上では、初期位置と初期船首角のパラメータスタディにより座礁する可能性のある箇所を予測し、喫水により内陸への漂流距離を予測することができると考えられる。

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, pp236-240