

津波による船舶の漂流挙動解析 ～インドネシア・バンダアチェにおける事例～

東北大学大学院 学生会員 ○橋本 貴之
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. 序論

津波氾濫流の陸上遡上に伴って漂流物が陸上域を漂流することにより、津波の波力に加えて漂流物の衝突力が構造物に作用し被害を拡大することがある。特に、1993年北海道南西沖地震津波の奥尻島での被害や2004年スマトラ島沖地震津波による大災害では、漁船や大型船舶が陸上に打ち上げられていることが確認されており、漂流船舶による津波被害の拡大過程を予測することは、防災対策上きわめて重要となる。

そこで本研究では、漂流船舶の実例をもとに数値解析を行い、津波による船舶漂流のシミュレーションモデルを構築する。さらに、本モデルを用いて津波による被害を定量的・定性的に評価することが本研究の目的である。

2. 対象領域

本研究では、2004年スマトラ島沖地震により発生したインド洋津波を対象とし、インドネシア・バンダアチェにおける漂流船舶に関して解析を行う。

インドネシア・バンダアチェでは、津波によって2,500トンもの発電船が、海岸線から陸上へ約2.4 km流された事例が確認されている。漂流以前の座標、漂着地点の座標、船舶の主要目の既得データをもとに解析を行う。

3. シミュレーションモデル

(1) 津波の計算

津波の水平方向の流速分布は、水深方向に一様と仮定して次の浅水理論式で表す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x_0} + \frac{\partial N}{\partial y_0} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{\partial M^2}{\partial D} \right) + \frac{\partial}{\partial y_0} \left(\frac{\partial MN}{\partial D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x_0} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{\partial MN}{\partial D} \right) + \frac{\partial}{\partial y_0} \left(\frac{\partial N^2}{\partial D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y_0} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0 \quad (3)$$

ここで、 η : 静水面からの水位上昇, t : 時間, x_0, y_0 : 水平座標, h : 水深, D : 全水深($= \eta + h$), M, N : x_0, y_0 方向の流量フラックス, g : 重力加速度, ρ : 海水密度, τ_x, τ_y : x_0, y_0 方向の海底摩擦力である。

(2) 船舶漂流の計算

船舶の漂流運動はSurge, Sway, Yawのみで表せると仮定して、それぞれに運動方程式をたてる。ここで、船体を受ける前後力、左右力およびモーメント X, Y, N は、理論式と実験式がそれぞれ成立するため、両式をまとめると次のような式を導くことができる。

$$(m + m_x)\dot{u} - (m + m_y + X_{vr})vr - (u_{c0} \sin \psi - v_{c0} \cos \psi)(m_y - m_x + X_{vr})r = X_H \quad (4)$$

$$(m + m_y)\dot{v} - (m + m_x)ur - (u_{c0} \cos \psi + v_{c0} \sin \psi)(-m_y + m_x)r = Y_H \quad (5)$$

$$(I_{zz} + J_{zz})\dot{r} = N_H \quad (6)$$

ここで、 m, m_x, m_y : 船の質量、船の前後、左右方向の付加質量、 I_{zz}, J_{zz} : z 軸回りの慣性モーメント、付加慣性モーメント、 X_{vr} : 前後力係数、 r : z 軸回りの回頭角速度、 $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$: u, v, r の時間微分、 X_H, Y_H, N_H : 船体に作用する前後力、左右力、 z 軸回りモーメントである。津波の流れは船体近傍では一定方向からの流れで、 X_H, Y_H, N_H は流れによる抵抗を基本として表現できると仮定した。なお、 N_H は影響が比較的大きい回頭運動に関する項 $N(r)$ についても考慮した。

$$X_H = \frac{\rho}{2} L d U_c^2 C_{DX}(\theta_c) \quad (7)$$

$$Y_H = \frac{\rho}{2} L d U_c^2 C_{DY}(\theta_c, H/d) \quad (8)$$

$$N_H = \frac{\rho}{2} L^2 d U_c^2 C_{DN}(\theta_c, H/d) + N(r) \quad (9)$$

ここで L : 船長, d : 喫水, $U_c (= \sqrt{u_c^2 + v_c^2})$: 相対流速, θ_c : 相対流向, ρ : 海水密度, H : 全水深($= \eta + h$), C_{DX}, C_{DY}, C_{DN}

: 前後, 左右方向の抵抗係数および z 軸回りの抵抗モーメント係数である.

式(7)~(9)で示す U_c, θ_c, H が時間変化し, 逐次微分方程式を解くことにより時刻歴計算を行う. 求められた u, v, r を時間積分することで, 船舶の位置を決定する.

4. 計算条件

津波計算では, Koshimura et al. による波源モデルを初期条件として与える. また, 計算結果の十分な精度を確保するために, 計算領域のメッシュをネスティングし, インドネシア・バンダアチェでは23 mの分解能で浸水計算を実施する.

船舶漂流の計算における船舶の主要目はTable 1に, 船舶の初期位置はFig.1 (★印) に示す.

Table 1 Principal dimension of the ship.

Length	63 m
Breadth	19 m
Draft	2.6 m
Displacement	2,500 t

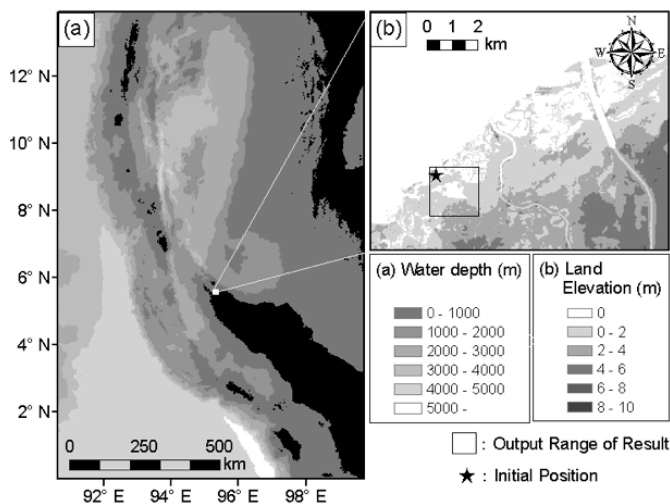
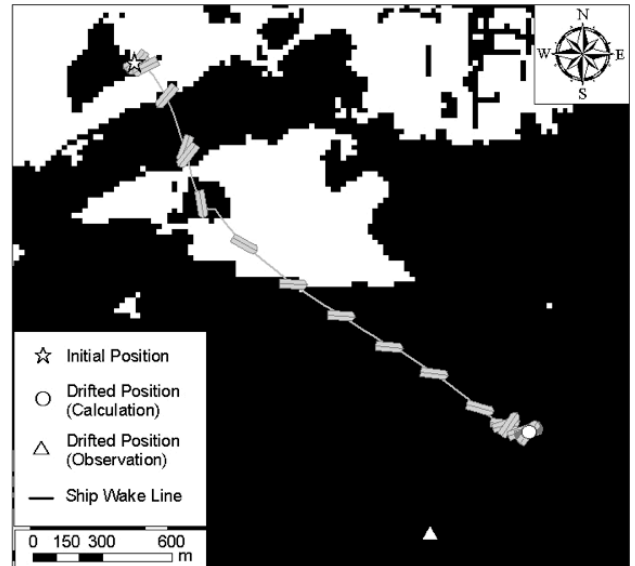


Fig. 1 Calculation area.

5. 計算結果および考察

本解析の結果として, Fig.-2に船舶の漂流航跡を示す. 地震発生後, 津波の第一波の到達により船舶は陸側(南東方向)へ流され, 陸上に座礁しながら漂流したことが分かる. 最終的な計算による座礁位置は, 実際の座礁位置よりも約600 m離れているが, その漂流距離は整合している.

船舶が陸上域を漂流中, 船底が海底地盤に接地した状態を詳細に再現する必要があるが, 船体に作用している摩擦力については一定の摩擦係数で表現している. また, 家屋や構造物等との接触・衝突による漂流の方向および



※ 船型の大きさ: 実際の2倍, 船型の出力間隔: 1分

Fig. 2 Ship locus by tsunami attack.

挙動の変化は考慮していない. 船底に作用する海底摩擦力の考え方や家屋や構造物等による抵抗力および接触・衝突現象をどのようにモデル化するかが課題となろう.

6. 結論

2004年スマトラ島沖地震津波におけるインドネシア・バンダアチェの漂流船舶を対象に, 津波による船舶の漂流挙動解析を行った. 本解析による研究成果を次にまとめる.

- 船舶の漂流計算結果は, 最終的な座礁位置が実際と比べて離れた状態(約600 m)となった. したがって, 以下のようにモデルを改善・改良し, 再現性を向上させる必要がある.
- 座礁時の船体に働く海底摩擦力の算定では, 実地形を考慮して摩擦係数を適切に設定する.
- 船舶の漂流挙動に対する家屋や構造物等との接触・衝突による影響を検討する.

参考文献

- 小林英一, 越村俊一, 久保雅義(2007): 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.
- 藤井直樹, 大森政則, 池谷毅, 朝倉良介, 武田智吉, 柳沢賢(2005): 港湾における津波漂流物の解析, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 296-300.
- Kubo, M., Cho, I., Sakakibara, S., Kobayashi, E., Koshimura, S., "The Influence of Tsunamis on Moored Ships and Ports," International Journal of Navigation and Port Research Vol. 29 No. 4 (2005), pp. 319-325.
- Koshimura, S., Oie, T., Yanagisawa, H., Imamura, F., "Developing fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia," Coastal Engineering Journal, JSCE, Accepted.