

## 津波来襲時における船舶の漂流挙動時刻歴の可視化とその分析

Visualization and investigation of time history of tsunami-driven ship motions

名古屋大学 助教 浅井 竜也

### (研究計画ないし研究手法の概略)

#### 【研究の背景・目的】

過去の津波来襲時には多数の漂流物が確認されており<sup>1), 2)</sup>, その中でも比較的大型の船舶は衝突により建築物を崩壊に至らしめた事例が確認されている<sup>3)</sup> (図1, 図2)。しかしながら, 津波漂流物の衝突に対し, 現行の津波避難ビルの設計法<sup>4)</sup>は, 衝突による建築部材の損傷が建築物全体の崩壊を招かないよう配慮することを定めるにとどまっており, 衝突時の設計用外力やそれに対する定量的な安全検討手法は提示していない。津波避難ビルは津波来襲時において人命を積極的に預かる極めて重要な建築物であること, また, 2011年東北地方太平洋沖地震以降, 日本の沿岸部では全国的に津波避難ビルの建設・指定が増加しておりそれらの中には港湾に立地し近傍に船舶が停泊している事例が少なくないことを考慮すると, 船舶の衝突に対する建築物の安全検討手法の確立は急務である。以上の状況は米国においても概ね同様であり, 建築物に対する津波漂流船舶の衝突による設計用外力(すなわちどの程度の規模の船舶の衝突を考慮すべきか)について有効な手法を提示できていない<sup>5)</sup>。



図1 上屋と衝突した船舶



図2 船舶衝突により崩壊した上屋<sup>3)</sup>

船舶の衝突に対する建築物の安全性を検討するためには, 津波来襲時における建築物周辺の船舶の挙動を予測し, それらと建築物との衝突可能性を把握することが必要不可欠である。船舶の挙動を把握する有用な手法の一つとしては, 流体-個体連成系の数値シミュレーション解析<sup>例例えば 6)~8)</sup>が挙げられるが, 同手法には操舵といった人為的要因は一般的に反映されていない。津波来襲時には, 沖出しにより被害を逃れた事例も多く報告されており<sup>7)</sup>, そのような船舶が建築物との衝突に至る可能性は極めて低いと考えられる。そのため, 津波来襲時に建築物との衝突可能性が高い船舶を特定するためには, 操舵といった人為的要因を含めて津波来襲時における船舶の挙動を把握する必要がある。そのため著者ら

は 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波来襲時に記録された AIS (Automatic Identification System, 船舶の位置や速度等の情報を船舶局相互間および船舶局陸上局間でリアルタイムに送受信するシステム) データ等に基づき船舶の実挙動を把握し, その統計的な分析から, 総トン数 500 トン以上の船舶は津波来襲時に概ね港外避難し建築物との衝突可能性は低く, 一方で総トン数 500 トン未満の船舶は構内に係留され陸域にまで漂流する可能性が高いものの, 耐震・耐津波設計された建築物であればその衝突により崩壊に至る危険性は低いことを定量的に示した<sup>9)</sup>。しかし, 同知見は限られたデータに基づくため, さらに一般的な知見を得るためには, 船舶のより詳細な挙動の把握と, 漂流シミュレーション解析による挙動予測が欠かせない。漂流シミュレーション解析による結果は, 船舶の初期条件 (位置, 角度等) により大きく左右されることが指摘されているが<sup>8)</sup>, 実津波における漂流挙動データに基づくキャリブレーション事例は極めて少ない。

以上を踏まえ, 本研究では, 津波来襲時における船舶の実挙動を容易に把握可能にするとともに, 船舶の漂流シミュレーション解析の高度化に資する知見を得ることを目的に, 上記の AIS データおよび, 津波シミュレーション解析結果について, その時刻歴を併せて可視化し分析する。

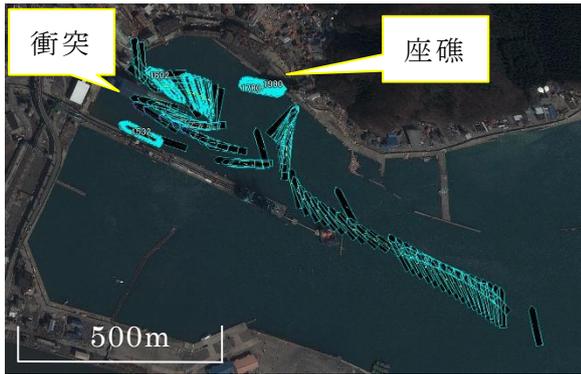
## 【研究方法】

本研究において可視化を行う対象は, 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波と, その際に漂流した船舶 (図 1) である。可視化には GIS ソフトウェアの ArcGIS を用いた。入力した津波データは, 上記津波を対象に港湾空港技術研究所が実施した解析結果である (解析は同所が開発している津波高潮シミュレータ STOC により実施された。解析格子は 10 m, 解析時間刻みは 5 s である)。船舶の AIS データは海上保安庁より提供いただいた。入力にあたり, csv ファイル形式である各データを, 多次元データの取り扱いに適した NetCDF (ネットワーク共通データ形式) に変換した。それを上記ソフトウェアに入力し, 津波データのうち浸水深はコンター図により, 流速はベクトルによりそれぞれ表現し, 船舶データのうち位置座標 (緯度, 経度), 船舶規模 (船長, 幅, 型深) および船首方位はポリゴンにより, 速度はベクトルにより, それぞれ表現した。なお, AIS データの計測時間間隔は船舶速度に依存し一定ではないため, その取得時刻と津波解析出力時刻とは必ずしも整合しない。そのため, 時刻歴を表す動画作成時には一定時間間隔の津波解析時刻を用い, その各時刻における AIS データは前後のデータにより内挿した。

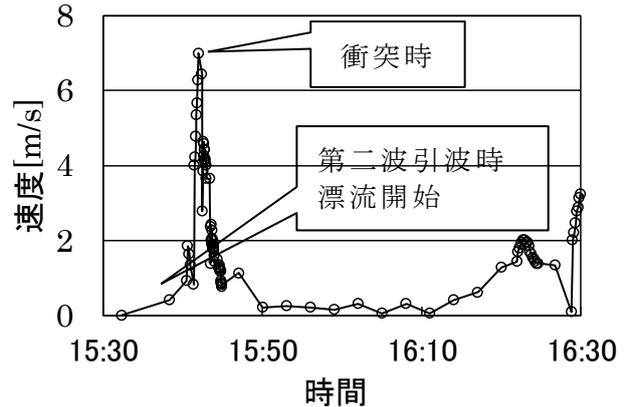
以上より, 各時刻における漂流船舶データおよび津波解析データを表現した 2 次元画像を作成し, それを連続再生することで動画を作成し, 津波来襲時における船舶実挙動および津波シミュレーション結果の時刻歴を可視化した。

## (実験調査によって得られた新しい知見)

以上の手法により, 本研究期間においては, 釜石港を対象に, 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波来襲時に取得された AIS データ (図 3) と, 同津波のシミュレーション結果を併せて動画化した。図 4 にそのキャプションの一部を示す。なお, 本対象船舶は, 地震により陸上側が停電し荷役設備の切り離しができなくなったため港外避難を断念しており, そのため船員は津波来襲前に陸上建物に避難した。同船舶は第一波の押し波には係留索により耐えたものの, 引き波時に船体高度が下がることで係留索への引張力が増大し,

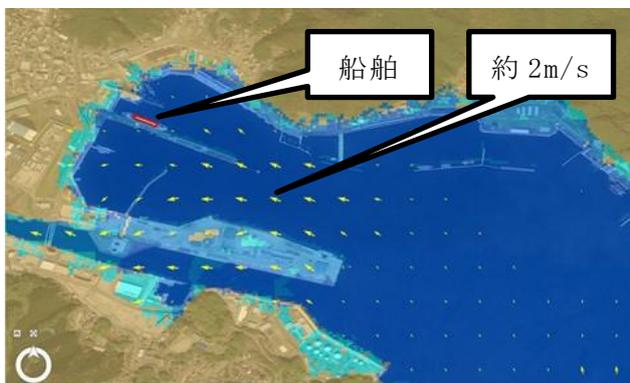


(a) 船舶挙動 (GoogleEarth)

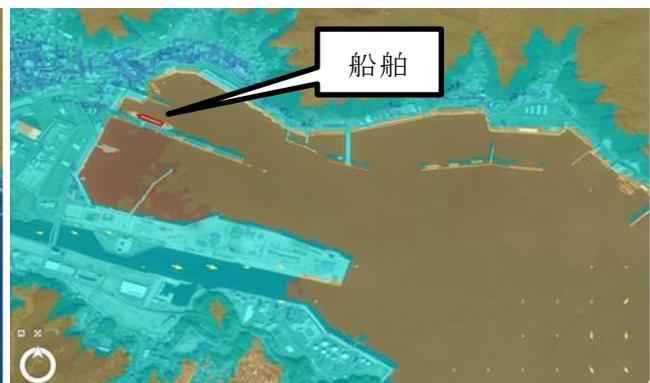


(b) 船舶速度の時間推移

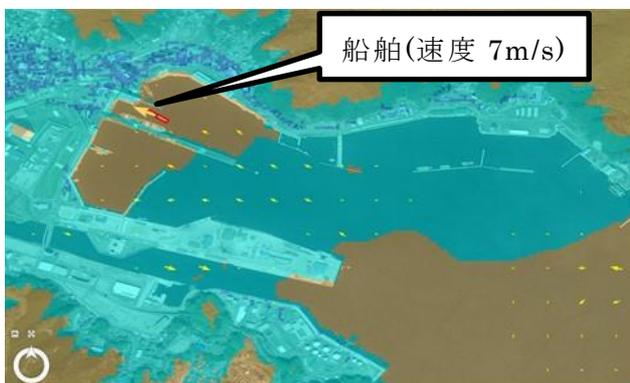
図 3 AIS データのプロット



(a) 第一波来襲時 (T=2120s)



(b) 船舶漂流開始時 (T=3115s)



(c) 船舶と建屋衝突時 (T=3335s)



※ 1 括弧内は地震発生 (解析開始) からの経過時間を示す。

※ 2 0.5 m/s 以下の流速はプロットしていない。

図 4 津波および漂流船舶データのプロット (ArcGIS)

その切断を機に漂流を開始した<sup>10)</sup>。その後第二波来襲時には速度 7 m/s 程度で上屋に衝突し、第三波の押し波時に岸壁に座礁した (図 3)。同船舶の喫水は、津波来襲時の記録映像より 3.5 m 程度と推定される。

図 4(a)は、第一波来襲時のキャプションである。この前後の様子から、流速が比較的大きい時には陸域の浸水深は小さく、一方でその浸水深が増大したときには流速が低下している様子がわかり、そのため仮に船舶が漂流を開始しても、比較的大規模 (喫水が比較的大きい) 船舶であれば高い速度で建築物に衝突することは生じにくいと考えられる。また、船舶が位置する岸壁近傍では比較的流速が小さいことが、第一波押し波時に係留索が切断されなかったことの一因と考えられる。

図 4(b)は、第一波の引き波により船舶が漂流を開始した時のキャプションである。この時の船舶位置での津波高は-1.8 m 程度、流速はほぼ 0 m/s であり、船舶速度が漂流開始後しばらく低く推移していたこと（図 3(b)）、流体力ではなく船体高度の低下により係留索が切断されたという証言（上述）、と整合している。

図 4(c)は、船舶が建屋と衝突する時を示している。この時の船舶位置での津波高は-0.6 m、流速は 1.5 m/s 程度である。船舶の実速度は最大 7 m/s 程度に達しており（図 3(b)）、流速の解析結果との乖離があることがわかる。この要因としては、局所的・三次元的な流況の影響、第二波のため正確な再現が比較的困難なこと、が考えられる。ただし、津波高については津波来襲時の記録映像と概ね整合しており、第二波においても、第一波（上述）と同様に、高い流速時には船舶が陸域に遡上するほどの浸水深には達していないことがわかる。

以上、釜石港を対象に船舶挙動と津波解析結果の時刻歴を可視化し、その分析を行った。今後、他港についても同様に可視化を行い、それらデータに基づきより詳細な分析を実施する予定である。

#### 【参考文献】

- 1) インド洋地震津波災害調査研究グループ：The 2004 Indian Ocean Tsunami Disaster Survey Report, 2004 年
- 2) 日本経済新聞：日本経済新聞電子版, 2011 年 3 月 12 日
- 3) 港湾空港技術研究所：2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No.1231, 2011 年
- 4) 国土交通省：東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針, 2011 年
- 5) ASCE/American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute : “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures,” ASCE/SEI 7-16, 2017.
- 6) 藤井直樹, 大森政則, 池谷毅, 朝倉良介, 武田智吉, 柳沢賢：港湾における津波漂流物の数値解析, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.296-300, 2005 年
- 7) 富田孝史, 丹羽竜也：八戸港における東北地方太平洋沖地震津波の再現計算, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp. I\_236- I\_240, 2013 年
- 8) 菅裕介, 越村俊一, 小林英一：2011 年東北地方太平洋沖地震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, 2012 年
- 9) 浅井竜也：津波漂流船舶の衝突時における衝撃外力が建築物の応答に与える影響評価に関する研究, 東京大学博士論文, 2017 年
- 10) 日本海難防止協会：2012 年度大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究 報告書, 2013 年

#### ( 発 表 論 文 )

なし