

AIS データを用いた大津波時の船舶の避難状況解析

—2011年東北地方太平洋沖地震大津波時の事例—

正会員 牧野秀成 正会員 小林英一*
正会員 長谷川和彦**

Analysis of Ship Evacuation in Tsunami Using AIS Data
-In case of The 2011 East Japan Great Earthquake and Tsunami-
by Hidenari Makino, Member Eiichi Kobayashi, Member
Kazuhiko Hasegawa, Member

Key Words: Tsunami, AIS, Ship Evacuation

1. 緒言

地震や津波が多発する日本の沿岸域においては、外洋から湾内へ進入した津波が海底地形の影響を受け巨大な波となり、航行中及び停泊中の船舶に甚大な被害と環境破壊をもたらすことがある⁽¹⁾。2011年3月11日、東北および関東地方に、1000年に一度とも言われる巨大地震が発生した。それに伴い、太平洋沿岸の全域に大津波警報、津波警報及び注意報が次々と発令された。一般的に、港内に係留されている船舶にとって、津波到達時における係留状態は非常に危険であるために、沖出し、離岸して港内で錨泊、あるいは岸壁で増しもやいによる船固めを行って対処することが通例である。しかし、実際には津波時に各船舶がどのように対応しているかの詳細について、港湾レベルでの総体的な検証はほとんどされていない。著者らはこれまでに、近年、大型船舶への搭載が義務化され、小型船舶にも順次搭載が促進されてきている船舶自動識別装置(Automatic Identification System, 以後、AIS とする)から送信されるデータを用いた津波災害時の船舶の行動調査研究を行ってきた⁽²⁾⁽³⁾。本論文では、2011年3月11日に発生した大地震に伴い誘発された大津波時において、大津波警報が発令された福島県いわき市小名浜港における船舶の避難行動解析を行った結果を報告する。

2. 東北地方太平洋沖地震による津波と小名浜港周辺の状況

2011年3月11日14時46分、三陸沖を震源地とするマグニチュード9.0の大地震が発生した。それに伴い、北海道や東北地方を中心として太平洋沿岸に大津波が観測された。津波は、場所により10mをはるかに超える高さに達した。岩手、宮城、福島県の沿岸には地震発生から3分後の14時49分に大津波警報が発令された。さらに、地震発生から44分後の15時32分には太平洋沿岸全域に大津波警報や津波警報、津波注意報が次々と発令された⁽⁴⁾。

Fig.1に示す調査対象の福島県いわき市小名浜港は震源から約250kmに位置しており、14時46分の地震発生からわずか3分後の14時49分に大津波警報が発令された。

* 神戸大学大学院海事科学研究科

** 大阪大学工学研究科 地球総合工学専攻

原稿受付 平成25年4月12日

春季講演会において講演 平成25年5月27,28日

©日本船舶海洋工学会

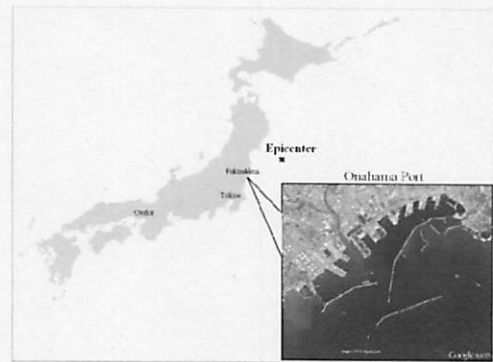


Fig. 1 Target area of this research (Onahama Port).

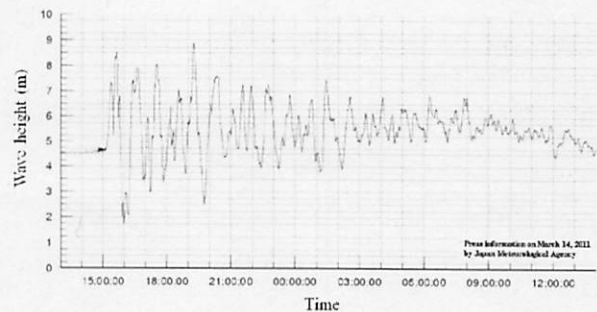


Fig. 2 Tsunami observation data at Onahama Port by JMA.

津波に関しては、14時52分に第1波が小名浜港内で観測された。また、最大波は15時39分に波高3.3mが観測された。Fig.2は気象庁が発表したいわき市小名浜換潮所における津波の観測結果を示す⁽⁵⁾。

3. AIS データを用いた船舶の避難状況分析

AIS は、放送型自動従属監視の一種で、船名、呼び出し符号等の船舶の識別に役立つ情報、船舶の位置、速度、針路等の動きを知らせる情報および目的地、積荷等の情報を、周囲の船舶などに自動的に送信する装置である。IMO(International Maritime Organization)により、対象船舶(国際航海では旅客船と300総トン以上、国際航海以外では500総トン以上)への順次搭載が義務化されている⁽⁶⁾。

本研究では、取得したAISデータを基に時々刻々と変化するAIS搭載船舶の移動の様子を可視化した。さらに、その中から津波の影響を避けるために避泊した船舶を抽出し、それらの船舶の避難状況について分析した。

3.1 分析結果①—避難状況の概要—

Fig.3 は大津波警報発令時の小名浜港周辺において AIS データから得られた船舶情報に基づき各船舶の緊急避航状況を表示した一例を示す。図中の矢印は各船舶（赤：タンカー、黄色：貨物船、緑：タグボート）を示す。白の破線は船舶の航跡を示す。また、白の実線は等水深線を示す。無事に避難した船舶は、大津波警報発令から40分後の15時29分には、図中の赤円で示す海域（小名浜港の沖合約4.5マイル（約7.2km）、水深約40～50m）に緊急避泊を開始した。

小名浜港では、大津波警報発令からわずか3分後には津波の第一波がすでに到達していたにもかかわらず、各船舶が適宜迅速な対応をとり大津波警報発令から30分以内には港外へ避難し、40分程度で避泊を完了したことがわかった。しかし、小名浜港の特徴として、港外退避の際に3つの防波堤から形成される挟水域を通過する必要があり、状況によっては衝突事故などの危険性を含んでいたことも分析結果から確認された。また、迅速な港外避難を実行できた船舶は、荷役作業等を行っていなかったが、荷役作業中の船舶は作業停止までに少なくとも15分以上は要するために避難が遅れ、津波の影響を受けながら港外避難を行った船舶や、津波の影響により座礁した船舶も確認された。

3.2 分析結果②—避難状況の比較—

(1) 津波の影響を受けることなく避難した船舶

Fig.4 は、津波の影響をほとんど受けることなく港外避難を完了した貨物船A（L:81m, B:14m, GT:2100t）の航跡図である。この船舶の避難開始から港外避難までの船速、船首方位、対地方位、津波の波高の変移の時系列を Fig.5 に示す。図中の赤の縦線は Fig.4 中の通過検出線の通過時刻を表す。この船舶は大津波警報発令から9分後の14時58分に避難を開始した。検出線通過時の船速は7.5ノットと平時に比べ若干船速を上げて挟水域を通過した。しかし、自船の船首方位と対地方位の差が $\pm 5^\circ$ 以内であり、ほぼ操船者の思い通りの航行であったことが推測される。また、津波に関しては、第一波はすでに港内に到来しているが操船に深刻な影響を及ぼすほどではなかったことがわかる。



Fig. 3 40 min after the issuance of Tsunami warning.

(2) 津波の影響を受けながら避難した船舶

Fig.6 は、津波の影響を受けながら港外避難を完了した貨物船B（L:83m, B:13m, GT:1597t）の航跡図である。この船舶の避難開始から港外避難までの船速、船首方位、対地方位、津波の波高の変移の時系列を Fig.7 に示す。図中の赤の縦線は Fig.6 中の通過検出線の通過時刻を表す。この船舶は大津波警報発令から17分後の15時06分に避難を開始した。検出線通過時の船速は12ノットと平時の倍程度の船速で、なおかつ、船首方位と対地方位の差が 60° 以上もあり、速度過剰なドリフト状態で挟水域を通過していたことが確認された。この原因として、すでに小名浜港に流入した津波が15時20分頃に引き波（波高-1.5m程度）に変わり、その影響を受けたことが推測される。速度のグラフにもその影響は表れており、15時26分以降の急速な船速の上昇が確認できる。さらに、挟水域を出た後も、次の津波の到来による押し波と引き波とが交じり合う乱流となり、相当困難な操船を強いられたことが航跡から確認できる。また、グラフからも船首方位と対地方位の差が 45° 以上で連続的にその符号（+、-）が入れ替わる状態が続いたことが確認できる。この時に遭遇した津波は小名浜港で観測された最大波の押し波であったため、船速は急激に落ち、さらに、左右にドリフトしながら航行するという極めて危険な状態での避難であったことも確認された。

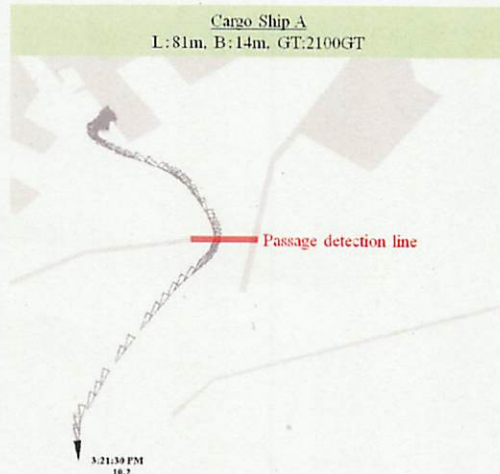


Fig. 4 Trajectory of a safety evacuated ship.

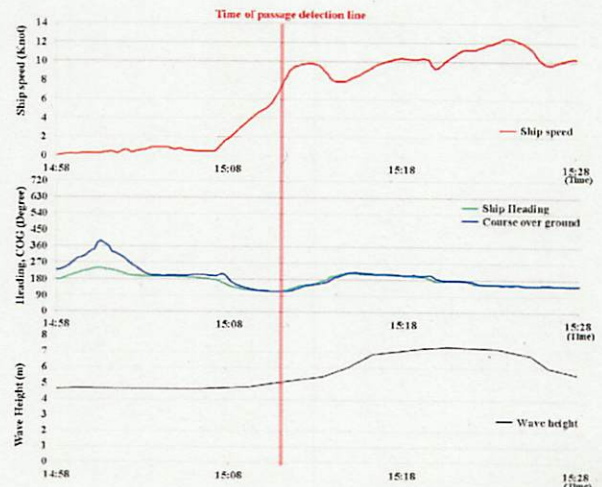


Fig. 5 Status of a safety evacuated ship.

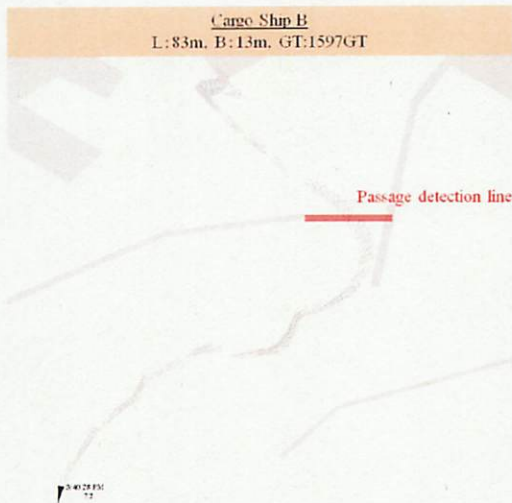


Fig. 6 Trajectory of an evacuated ship during tsunami.

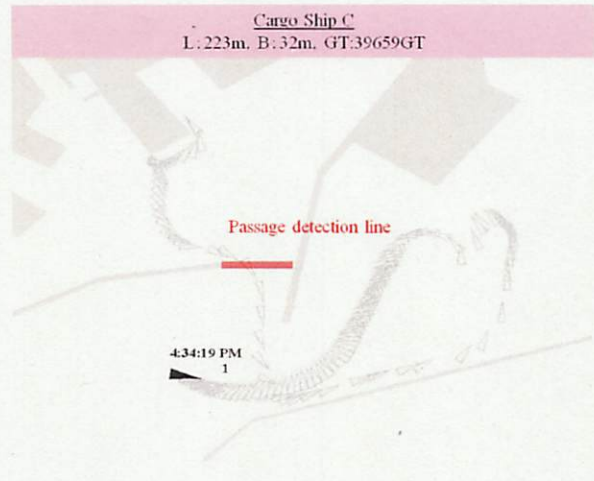


Fig. 8 Trajectory of a grounded ship during tsunami.

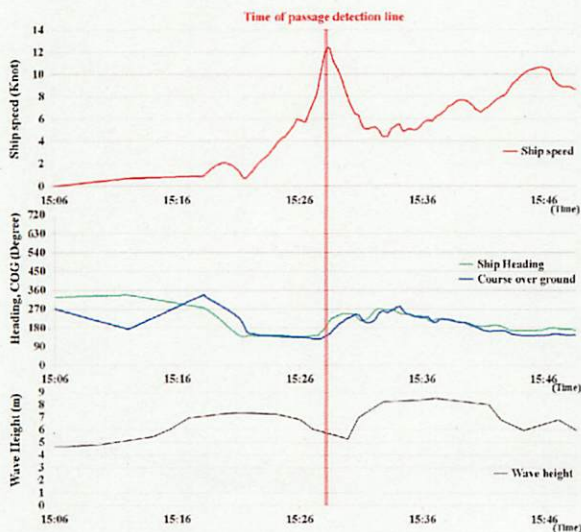


Fig. 7 Status of an evacuated ship during tsunami.

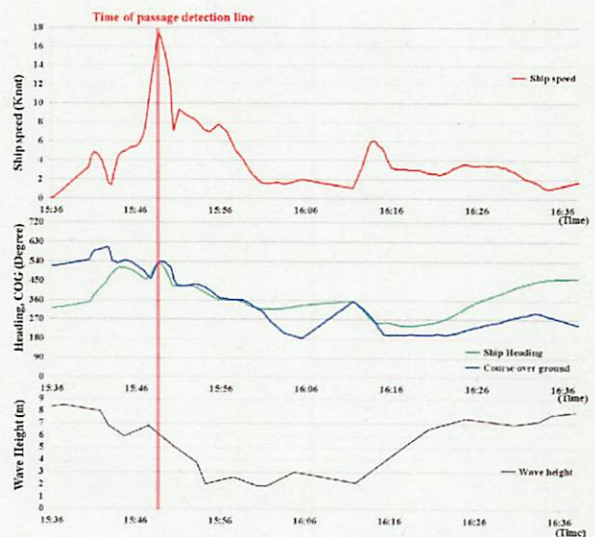


Fig. 9 Status of a grounded ship during tsunami.

(3) 津波の影響を受けて座礁した船舶

Fig. 8 は、津波の影響を受けて座礁した貨物船 C (L:223m, B:32m, GT:39659t) の航跡図である。この船舶の避難開始後の船速、船首方位、対地方位、津波の波高の変移の時系列を Fig. 9 に示す。図中の赤の縦線は Fig. 8 中の通過検出線の通過時刻を表す。この船舶は大津波警報発令から 47 分後の 15 時 36 分に緊急避難を開始した。通常、このような大型船舶は出港時にタグボートの支援により港外に出航する。また、3m 程度の津波時には大型船舶は係留強化により港内待機が通例とされている。実際に、この時に小名浜港にはこの船舶の他に 3 隻の大型船舶が港内待機により津波をしのいだ。しかし、この船舶は、15 時 33 分に港内に流入した津波 (最大波高 3.3m) の引き波により係留索が切断されたために余儀なく緊急出航した。この船舶は出航後もさらなる引き波の影響により船速が急激に上昇し、検出線通過時の船速は 17 ノットと平時の約 3 倍であったことがわかる。さらに、船首方位と対地方位の差が $\pm 20^\circ$ 以上で連続的に繰り返す速度過剰なドリフト状態であった。この時点でこの船舶は思い通りの操船は困難となり、その状態のまま挟水域を通過後に正面の防波堤に衝突した。その後は、その後

も次々と押し寄せる津波の押し波と引き波の流れに影響され港内を漂流した。このように、避難の際に航行不能状態に陥れば、船舶自身が巨大な漂流物と化し、他船や港湾建造物などへの損害のみならず、最悪は人命をも奪いかねない 2 次、3 次被害の引き金にも成りかねない。

4. 結言

本報告では船舶自動識別装置 (AIS) の取得データを用いて、大津波警報発令時における小名浜港周辺の AIS 搭載船舶の避航状況解析を行った。その結果、港内にいたほとんどの船舶は大津波警報発令後約 10 分後には避航動作を開始し、40 分後には沖合で避泊していたことを確認した。さらに、津波の影響を受けずに避難した船舶、津波の影響を受けながら避難した船舶、さらに、津波の影響により座礁した船舶に関して避難開始からの詳細解析を行った。その結果、津波の引き波が船舶に危険な影響を及ぼすことが判明した。特に、操船中に後方からの引き波を受けると船体に予せぬ状況を招くために操船困難に陥りやすく非常に危険であることが確認された。

今後の研究課題として、これまでの通例とされている津波時の船舶の対応を再検討する必要がある。つまり、

津波時の沖出しや大型船舶の係留強化による港内停泊は、座礁や岸壁、防波堤への衝突などの予期せぬ 2 次災害を招きかねない。実際に今回の解析結果においても、通例に従えば港内待機をとるのが妥当と思われる船舶が、予期せぬ状況により緊急出航し最終的に座礁した事象を確認した。また、沖出しについても出航のタイミングや港内の状況によっては多重衝突事故を起こしたり、今回の小名浜港の場合では港外退避の際に通過しなければならない狭水域が事故船で通航できなくなり、他の船舶が港外避難自体ができなくなる危険性がある。そのため、今後は各港に適した災害時の避難指針を早急に検討・作成する必要がある。

参考文献

- 1) 久郷良夫:東北地区水先区の被災状況, 東日本大震災検討会講演資料集, 2011, pp.49-56.
- 2) 牧野秀成他:津波警報発令時における湾内の船舶の避航・避泊行動に関する調査研究, 日本航海学会論文集, 第 125 号, 2011, pp.191-197.
- 3) H. Makino 他: Analysing Subject Ship Behaviour Recorded by AIS to Extract Tsunami Effect - In Case of The 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami -, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 14 号, 2012, pp.27-30.
- 4) 気象庁:津波情報, <http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/>, 2011.
- 5) 気象庁:報道発表資料, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/14c/honbun.pdf>, 2011.
- 6) International Maritime Organization: Guidelines for The Installation of A Shipborne Automatic Identification System (AIS), <http://www.imo.org/OurWork/Safety/Navigation/Documents/227.pdf>, 2003.