

報告

大規模津波に対応した作業船の リアルタイム漂流監視システムの開発 Development of Real-time Monitoring System against Drifting of Work Vessels due to Large-scale Tsunamis

赤倉 康寛*・小野 憲司**・西原 直***・平石 哲也****
Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO, Naoshi NISHIHARA and Tetsuya HIRAISHI

要旨: 大規模津波後においても港湾物流を継続させるためには、発災後の航路啓開・応急復旧のための作業船の確保が不可欠である。被災港湾では作業船の漂流可能性があるため、その使用可否の判断が作業船団の編成において大きな情報となる。このような状況を踏まえ、AISデータを活用し、大規模津波後に対応した作業船のリアルタイム漂流監視システムを開発した。具体的には、無人作業船用の自立電源式AIS装置を開発し、リアルタイムの漂流監視・警告システムを構築した。また、常時運用に対応した遠隔監視システムへの拡張の方向性も示した。

キーワード: AIS, 錨泊, 漂流, 走錨, 警告システム

1. 序論

大規模地震・津波後においても、港湾物流機能を継続できるように、全国の主要港湾において港湾BCPが策定された。その中で、発災後の航路啓開や施設の応急復旧においては、作業船が不可欠である。しかし、津波被災港では作業船が漂流している可能性があり、その状況が確認できない場合、被災していない港湾からの回航のみに依らざるを得ず、迅速な作業船団の編成において大きな障害となる。以上の状況を踏まえ、大規模津波後に対応した作業船のリアルタイム漂流監視システムを開発したので報告する。

東日本大震災では、津波被災港において、港湾に蔵置されていたコンテナ、車両、木材、漁具等

が航路に流出し、航路閉塞を引き起こした。津波警報・注意報解除後に、航路障害物を揚集する航路啓開が、全国から回航した作業船により実施されたが、例えば、仙台塩釜港・仙台港区では作業完了までに約2ヶ月を要した(合計揚集物:531点)。今後の大規模災害において、港湾BCPにおける機能復旧目標時期(例えば、大阪湾BCP¹⁾では堺泉北の基幹的広域防災拠点に至る航路を48時間で啓開するとしている)を達成するためには、迅速な作業船団の編成が不可欠である。また、各港湾に至る一般水域においては、国が航路啓開を行う緊急確保航路が、東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海で指定されており、その作業にも多くの作業船団が必要とされる状況にある。

* 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所(元京都大学), ** 正会員 阪神国際港湾株式会社(前京都大学), *** 寄神建設株式会社 技術研究所, **** 京都大学 防災研究所



写真1 航路啓開作業（東北地方整備局資料より）

また、作業船の津波等による漂流の危険性は、船舶管理の観点からも大きな問題である。尼崎西宮芦屋港では、関西国際空港埋立に使用された土運船約 50 隻が防波堤に無人係留されている（写真 2）。2004 年の台風襲来時にはその一部が防波堤に衝突しており、兵庫県議会や西宮市議会で津波・台風による陸上乗りあげが懸念されている。しかし、特に無人係留される作業船は、津波・台風時の沖合避難が困難であることから、対策は容易ではない。このような作業船を管理する観点からも、本稿で報告するリアルタイム漂流監視システムは非常に有効である。以降、2. にてシステムに活用した AIS データについて、3. にて無人作業船用の自立電源式 AIS 装置について、4. でリアルタイム監視システムについて述べ、5. にてとりまとめる。



写真2 尼崎西宮芦屋港の防波堤係留中の土運船

2. AIS データ

2.1 AIS の概要

本システムは、AIS (Automated Identification System: 自動船舶識別装置) のデータを活用して構築した。ここでは、その AIS の概要について述べる。

AIS は、9.11 米国同時多発テロを契機として、一定規模以上の船舶に登載が義務づけられた装置である。2002 年改正 SOLAS 条約 (Safety of Life at Sea: 海上安全人命条約) に位置付けられ、2008 年 7 月以降に全船への登載が義務化された。搭載義務船は、①300 総トン以上の国際航海船、②旅客船及び③500 総トン以上の貨物船である。

AIS は、船舶の固有情報 (船名、IMO 番号、MMSI 番号 (AIS 装置の番号)、船種、寸法) や航海情報 (位置、船首方位、船速) 等を VHF 帯電波により自動発信する。航行中の船舶は、同海域の他船の情報を受信・確認することにより、衝突防止に役立てるものである。AIS 信号は、船舶だけでなく、同海域に設置された地上受信局や、上空の衛星においても受信可能である。

2.2 Class-B AIS

航行の安全を推進するため、搭載義務のない小型船舶用に、簡易型の Class-B AIS が開発されている。搭載義務型 (Class-A) と Class-B の性能等を比較したのが、表 1 である。Class-A と比較すると、Class-B の方が出力が弱く、また航走中の送信間隔も長い。また、幅狭海域において Class-A と Class-B が同じ時間スロットに送信予約をした場合、Class-A の送信が優先される。そこで、念のため、大阪湾において Class-B の AIS を搭載した作業船の航跡把握が可能かどうかを確認したところ、問題なく把握出来た。

なお、国土交通省では、搭載義務船の規模要件拡大を検討しているとの報道²⁾もある。

表1 AISのClass-AとClass-Bの比較

内容	Class-A		Class-B	
送信出力	12W		2W	
送信間隔	係留中	3分	3kt未満	3分
	航走中	10~2秒	3kt以上	30秒
型式承認	国による承認		不要	

3. 自立電源式 AIS 装置

3.1 装置の概要

作業船の中には、作業員が乗船せず、発電装置を持たない無人船もある。尼崎西宮芦屋港に係留されている土運船もこのタイプである。このような無人船に、Class-B AIS を登載・稼働させるため、自立電源式の AIS 装置を開発した。装置は、太陽光パネルとバッテリーを備え、電気機器は筐体に収納し、発電・蓄電の電圧を確認できるように2つの電圧計を配置した。また、夏季の高温多湿への対応として、クーラーを備えたタイプも作成した。内部配置と作業船への設置状況（いずれもクーラーなしタイプ）を、写真3に示す。筐体への直射日光を避けるため、太陽光パネルの下に筐体を配置して、船体に溶接した。

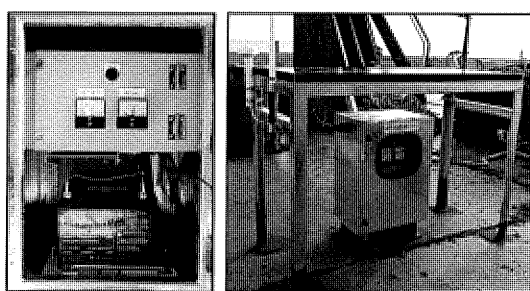


写真3 内部配置（左）と設置状況（右）

3.2 実海域実験

実海域において、自立電源式 AIS 装置の稼働状況を確認するため、2014年10月に、尼崎西宮芦屋港に係留されている無人士運船に装置を設置し、2015年2月までは実海域における機能を確認す

るための集中モニタリングとして、毎週1回の定期訪船調査と AIS データの連続モニタリングを実施した。その後は、長期的な劣化や機能低下の有無を見るための長期モニタリングとして、月1回程度の訪船調査と、AIS データの受信確認を行った。定期訪船調査では、実験船を訪問して外観を確認すると共に、電圧計データを記録した。

3.3 発電・蓄電電圧の確認結果

定期訪船調査における発電・蓄電電圧の確認結果を、図1に示す。クーラーありとクーラーなしの2台の平均値で示したが、両者はほぼ同じ数値であった。訪船時（昼間）の発電電圧は天候により大きく左右されるが、冬季・雨天時でも約13Vが確保できており、日中はバッテリーを消耗せずに稼働していたと推察される。また、蓄電電圧も13V前後で推移しており、長期利用による低下は見られなかった。

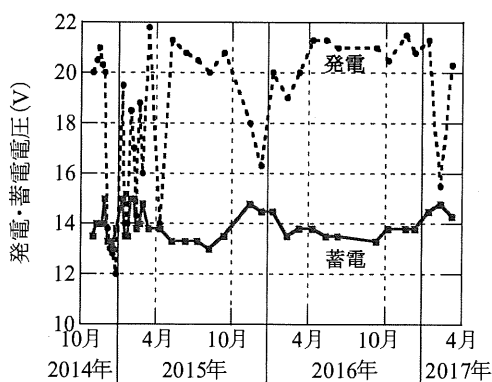


図1 発電電圧・蓄電電圧の推移

3.4 AIS データ確認

AIS データについては、装置より発信された AIS 信号を六甲山頂のアンテナにおいて受信し、インターネットを介してサーバーに保存した。連続モニタリングにおいては、その受信間隔を確認した。その結果が、図2である。表1にあるよう

に、Class-B AIS は、船速 3kt 未満では 3 分間隔で信号を発信する設定であるが、受信間隔が 3 分であったのは約 2/3 で、99% が 15 分以内であった。

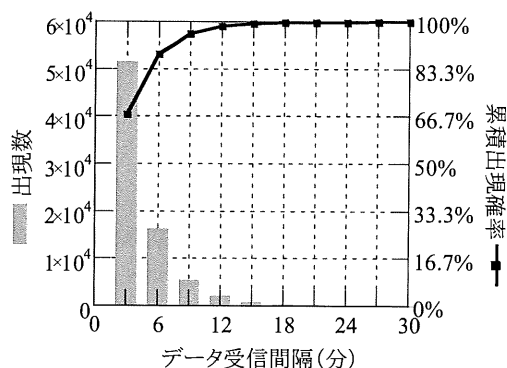


図2 AISデータの受信間隔

一部で受信間隔が長くなった原因については、①一時的な電力低下と、②AIS 信号送受信のエラーが想定される。①については追加で終日の電力調査を行ったが、発信が出来ないほどの電力低下は確認されなかった。②については、一般的には信号強度とスロット予約の衝突が考えられる³⁾が、信号強度はアンテナとの距離に変化はないことから想定されず、スロット予約についても他船接近時にも発信状況に異常が見られなく、明確な原因は確認できなかった。本装置に起因しない問題の可能性が想定される。なお、作業船を移動させた際には、Class-B AIS の設定 (表 1) どおり、30

秒間隔での信号受信が確認できた。

さらに、長期モニタリングにおいては、AIS 信号が受信出来ているかどうかを数日毎に行ったが、その結果 312 日の確認において、自立電源式 AIS 装置からの信号発信を確認できた。すなわち、劣化や高温多湿等による信号の発信停止はなく、正常に機能していた。

3.5 筐体の劣化等

筐体の腐食や劣化は、2 年半の間、実海域において使用した範囲においては確認されなかった。また、筐体の機密性は高く保たれており、稼働終了後においても内部は新品同様であった。また、クーラーの有無による性能の相違は認められなかったことから、クーラーは必須ではないと結論づけられた。なお、当初の定期訪船において、太陽光パネルに鳥の糞が付着していたため、鳥が降り立たないようにワイヤーを設置した。

4. リアルタイム漂流監視システム

4.1 システム概要

システムの構成は、図 3 の系統図のとおり。実海域における作業船の AIS 信号は地上受信局において受信され、国総研の AIS ネットワークを介してシステムサーバーに送付される。作業船の AIS は、無人船の場合、前章で述べた AIS 装置を想定している。ユーザーはインターネット経由でモニ

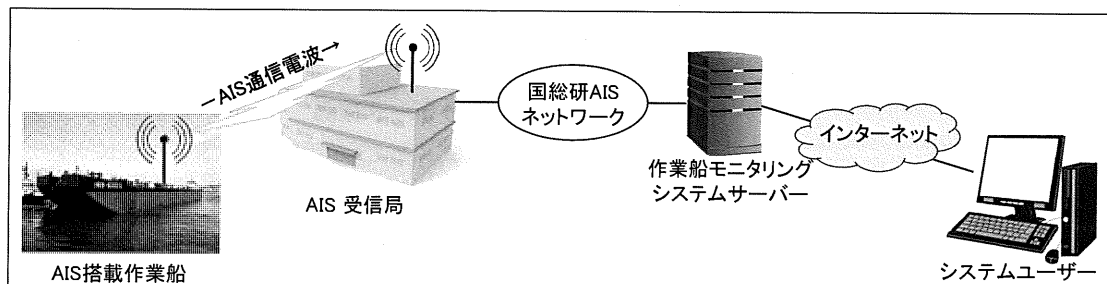


図3 システム系統図

タリング結果を確認する。ユーザーが利用するプログラムはサーバー上で動作するため (Remote Application Server), 多様なユーザー環境への適応性が高く, また, 専用のクライアントシステムが必要なため, セキュリティレベルも高い。

システムの要件は, 次の2点である。①平常時: 港湾内の作業船が, 適切な位置に係留されていることを遠隔監視する。②大規模津波等発生時: 作業船の漂流・走錨を監視し, その危険性が危惧される場合に警告を発すると共に, 漂流・走錨作業船の現在位置を把握する。想定ユーザーは, 作業船保有会社及び港湾管理者, さらに, 機能②については, 発災後において対応を決定する国土交通省等の災害対策本部も含まれる。

既往の研究においては, AIS データを作業船の運航管理に活用するシステムの事例 (例えば4)~6) が見られるが, 災害時の活用は想定されていない。また, 長野ら⁷⁾は携帯電話網によって作業船の位置情報を把握するシステムを開発しているが, 災害時の活用方法の議論は見られない。

4.2 システムの機能

前節の2つのシステム要件を満たすために, 具体的に, 以下の3つの機能を実装させた。

①現在位置表示機能: 最新の AIS 信号に基づいて, 監視対象船等の位置を地図上に表示する。

②漂流・走錨アラート機能: 監視対象船が, 漂流・走錨している危険性がある場合, 指定された係留・錨泊地から脱出した場合及び進入禁止区域へ進入した場合に警告を発する。

③現在位置不明船の航跡表示機能: 監視対象船からの AIS 信号が一定時間以上途絶えた場合に, 最後に確認された位置座標とそこに至る航跡を表示する。

上記①現在位置及び③最終確認位置について, それぞれの船位シンボルの表示方法を, 図4に示

す。移動中の船舶は三角形により針路を明確に示し, 停泊中の船舶は円形で示し, 漂流・走錨判定結果による危険度を表示色で表現した。また, 現在位置不明船は, 最終確認からの経過時間によりシンボルを変えることとした。

4.3 漂流・走錨判定

漂流・走錨発生の自動検知と危険度の判定が, 本システムの中核となる機能である。判定基準を, 表2に示す。

表2 漂流・走錨判定と危険度基準

条件	判定	事前の移動申請	
		あり	なし
1	可動圏外に移動	異常なし	危険度-低
2	安全区域外に移動	異常なし	危険度-中
3	速度3kt以上で移動	異常なし	危険度-高
4	保護区域内に進入	危険度-低	危険度-高

表中の区域等は, 以下のとおり。

可動圏: 船舶が通常の停泊中に動く範囲であり, 船舶毎に作業船保有会社が設定する。

安全区域: 船舶の停泊に供される海域であり, 漂流・走錨しても他船舶の航行には支障のない範囲で, 港湾管理者が設定する。

保護区域: 沿岸施設保護等のために, 船舶の進入を許してはならない範囲で, 港湾管理者が設定する。

事前の移動申請がない場合における, 可動圏外への移動は漂流・走錨の危険性があり, 安全区域からの脱出, 保護区域への侵入により, 他船や沿岸への影響が危惧されることとなる。安全区域及び保護区域の設定イメージを, 図5に示す。

漂流・走錨判定結果を示すシステム画面のイメージが, 図6である。漂流・走錨の発生を検知した場合には, 画面左上に「漂流警報発令中」とのフリッカーが表示され, 画面左の漂流船リストに

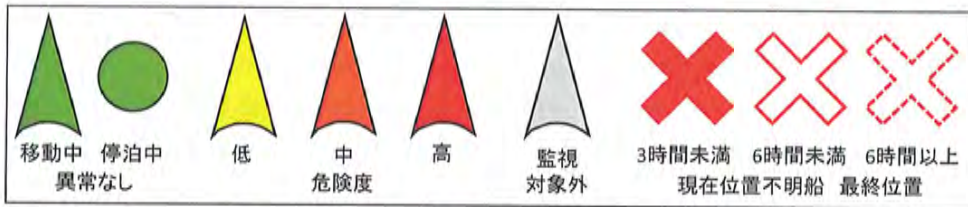


図4 船位シンボルの表示



図5 安全区域及び保護区域の設定イメージ

船名が追加される。さらに、漂流・走錨中と判定された船舶は、判定後の航跡が赤線で表示される(画面右)。また、漂流・走錨を自動検知すると、予め登録されたアドレスへメール通知する。

4.4 実証実験

システムの実用性を評価し、改善項目を洗い出すために、実証実験を実施した。対象港湾は阪神港とし、港内に停泊する作業船が、津波や台風等により意図せず漂流・走錨したと仮定し、その情報がユーザーである作業船保有会社や港湾管理者に対して、正確かつ迅速に伝わるかどうかを実験した。ただし、実際の漂流・走錨の発生を待つことは出来ないので、港内に停泊中の一般船舶を作業船と見立て、これらの船舶の本来の予定に基づく移動を漂流・走錨とみなし、システムから適切に警報が発せられるかどうかを確認した。実験日は2016年2月8日～10日、漂流・走錨判定に使用する可動圏は、将来的には津波時の船舶挙動⁸⁾

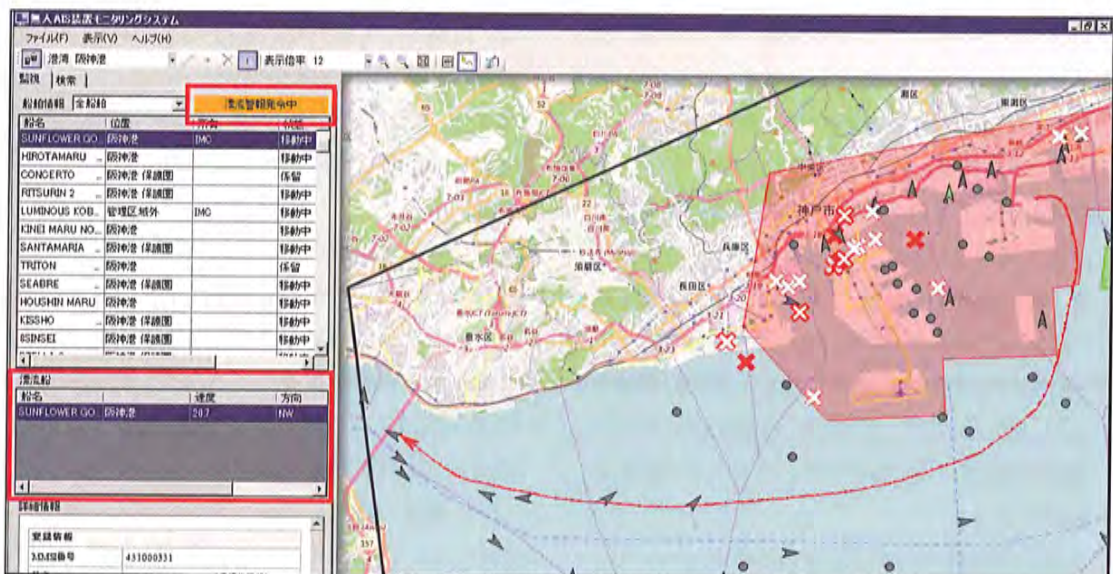


図6 漂流・走錨を検知した場合のシステム画面のイメージ

を踏まえて船舶の大きさに応じて設定していく予定であるが、実験においては簡易な設定として、当該船舶の初期係留位置から半径 50m とした。保護区域は、進入船舶が必要であることから、図 5 とは異なり、沖側に設定した。実験結果の評価は、①漂流・走錨判定のシステム上での通知漏れや誤報がないか、②警告メールの通知遅れがないか及び③使い勝手の 3 点とした。

①の判定のシステム上での通知については、対象 17 隻、107 件に対して、通知漏れや誤報はなかった。②警告メールについて、漂流・走錨検知からメール受信までの所要時間を確認した結果が、図 7 である。基本的に、2~4 分で受信できたが、1 件だけ 10 分となった。この遅れは、メールサーバーに起因する遅延と想定された。③使い勝手については、作業船保有会社の立場からは、監視対象とする自社船と、その他の船舶の表示をもっと明確に区別した方がよい等各ユーザーが必要とする情報と、あまり重要ではない情報の表示をより明確に区分すべきとの問題が提起された。例えば、監視対象船のみを表示するモードを用意する方法や、ズームアウトした状態では監視対象船のみ表示する方法等を検討している。

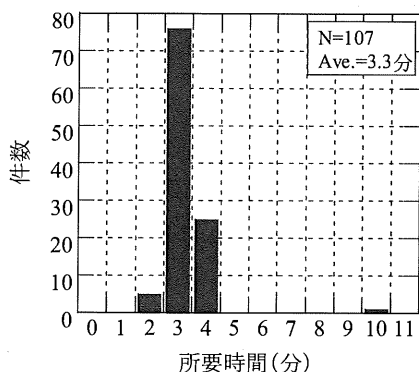


図 7 検知からメール受信までの所要時間

また、実証実験において、危険度が低下した場

合の解除やメール通知方法の設定がないことも確認された。さらに、学会において現地における確認情報を随時更新できるようにした方がよいとのご意見を頂いており、これらの機能改善も検討中である。

4.5 常時運用のためのシステム改善

災害時を対象としたシステムは、常日頃より使用し習熟していないと、実際に機能しない危険性が高い。そのため、本システムを常時の船舶管理に利用可能とすることを検討した。ここで、表 2 に示したとおり、漂流・走錨について、事前の移動申請の有無により危険度の判定結果は大きく異なる。実際の運用において、航行の度に移動申請を行うことは煩雑である一方、移動申請の無い状態では警告が頻繁に発せられ、結果としてシステムの信頼度の低下を招く。

漂流・走錨は、津波だけでなく、突発的な強風や強い流れ、台風や高潮でも発生し得るため、日常的な漂流・走錨監視が必要であり、有効である。この点を踏まえ、夜間停泊や無人係留をする場合、台風・高潮等で危険性が想定される場合等必要な時に、随時監視を実施するシステムに改善することを検討している。具体的な運用手順は、以下のとおり。

- ①漂流・走錨監視が必要な場合に、船長もしくは運航部局において、監視をオンにする。
- ②監視期間中に漂流・走錨の危険性が検知された場合、自動的に警告メールが発せられる。
- ③監視する必要がなくなった場合、船長もしくは運航部局において、監視をオフにする。

上記手順でシステムを使用するためには、リアルタイム監視のオン・オフを遠隔地から容易に可能とする必要がある。今後、船長や運航部局へのヒアリングを行い、実運用のためのシステムに改善していく予定である。なお、この運用方法の導

入により、大規模津波に対しては、地震発生もしくは津波警報・注意報をトリガーとして自動的に監視をオンにするよう、併せて変更する必要がある。

また、作業船の位置情報は、海上工事の積算、工事海域への回航や港湾区域外への避泊実績の整理においても有効活用が見込まれる。この目的のため（一財）港湾空港総合技術センターでは作業船在港情報システム（LORIS）を運用しているが、同情報は作業船保有会社からの郵送等による申請により更新されていることから、AIS データによるリアルタイム位置情報を活用することにより、格段の精度・利便性向上が見込まれる。発注機関を想定した基本的な作業船検索システムは試作済みであり、対象港湾、船種、能力等から検索可能となっている。今後は、ユーザーの意向等を踏まえつつ、活用内容・方法の検討を深めていきたい。

5. 結論

本稿は、大規模津波後に対応した作業船のリアルタイム漂流監視システムの開発について報告したものである。無人作業船用の自立電源式 AIS 装置を開発し、AIS データによるリアルタイムの漂流検知を行い、警告を発するシステムを構築した。また、夜間や無人の係留、台風・高潮等を想定した常時の遠隔監視に対応するとともに、位置情報を工事積算等において活用することへのシステム拡張の方向性も示した。

海上工事の様々な面において、AIS データ活用の可能性は非常に高いと考えており、引き続き、可能性を現実とするためのシステム開発を進めていきたい。

謝辞

本研究では、京都大学防災研究所において（一財）港湾空港総合技術センターの研究助成（平成

26～27 年度）を受けました。また、研究の実施にあたっては、国土交通省神戸港湾事務所及び東洋建設株式会社のご協力を頂くとともに、東播建機株式会社の細川直登代表取締役社長（前寄神建設）及び株式会社 IMC の柴田勝規 IT システム部長のご助力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 大阪湾港湾機能継続計画推進協議会：海溝型地震時の大阪湾 BCP（案），2014.
- 2) 読売新聞社：船の位置や針路送受信装置，搭載義務拡大を検討，YOMIURI ONLINE，2016 年 6 月 20 日付記事，2016.
- 3) 長谷川和彦・角田泰彬：AIS 運用の実態調査と受信エラーの分析，第 128 回日本航海学会講演予稿集，Vol.1，No.1，pp.47-50，2013.
- 4) 若築建設株式会社・株式会社アカサカテック：作業船運航支援・施工管理支援システム（WIT-MVS），NETIS（新技術情報提供システム），No.KTK-090002-V，2009.
- 5) 田中伸彦・高橋渉・檜原秀隆・武田茂之：簡易 AIS を活用した工事作業船の安全航行管理手法に関する施工事例について，土木学会中国支部研究発表会講演概要集，IV-1，2011.
- 6) 東亜建設工業株式会社・信幸建設株式会社・株式会社ジャストプランニング・システム：ハイブリッド型運航監視システム「COS-NET」，NETIS（新技術情報提供システム），No.CBK-120001-VE，2012.
- 7) 長野晋平・和田雅昭・田中修一・中田稔・阿部幸樹・田原正之・長野章：漁港湾工事における作業船の位置・回航情報システムの構築と運用 システムの構築と運用，第 42 回海洋開発シンポジウム講演集，CD-ROM，2017.
- 8) 赤倉康寛，高橋重直，安部智久，小野憲司：

東北地方太平洋沖地震津波襲来時の船舶の
錨泊挙動の分析, 沿岸域学会誌, Vol.27, No.2,
pp.49-60, 2014.

著者紹介

赤倉 康寛 (正会員)

国土交通省国土技術政策総合研究所 (横須賀市長瀬 3-1-1),
平成 7 年 3 月東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修了,
同年 4 月運輸省入省, 平成 24 年 6 月京都大学防災研究所
准教授, 平成 28 年 4 月より国土技術政策総合研究所港湾
システム研究室長, 博士 (工学), 土木学会・日本物流学
会・International Society for Integrated Disaster Risk
Management 会員.

E-mail: akakura-y83ab@mlit.go.jp

小野 憲司 (正会員)

阪神国際港湾株式会社 (神戸市中央区御幸通 8-1-6 神戸国
際会館 20 階), 昭和 55 年 3 月京都大学大学院工学研究科
土木工学専攻修了, 同年 4 月運輸省入省, 平成 24 年 6 月

京都大学防災研究所教授, 平成 29 年 7 月より阪神国際港
湾株式会社取締役副社長, 博士 (学術), 土木学会・日本
港湾経済学会・日本物流学会・East Asia Society for
Transportation Studies・International Society for Integrated
Disaster Risk Management 会員.

E-mail: k-ono@hanshinport.co.jp

西原 直 (非会員)

寄神建設株式会社 (神戸市兵庫区七宮町 2-1-1), 昭和 56
年 3 月長崎総合科学大学船舶工学科卒業, 同年 4 月寄神建
設株式会社入社, 平成 28 年 7 月同社技術研究所部長, 平
成 28 年 10 月より同社技術研究所長.

E-mail: n-nishia@yorigami.co.jp

平石 哲也 (非会員)

京都大学防災研究所 (京都市伏見区横大路下三栖), 昭和
57 年 3 月京都大学大学院工学研究科交通土木工学専攻修了,
同年 4 月運輸省入省, 平成 20 年 4 月より京都大学防災研
究所教授, 博士 (工学), 土木学会・自然災害学会・国際
海洋極地工学会会員.

E-mail: hiraishi.tetsuya.2c@kyoto-u.ac.jp

Development of Real-time Monitoring System against Drifting of Work Vessels due to Large-scale Tsunamis

Yasuhiro AKAKURA, Kenji ONO, Naoshi NISHIHARA and Tetsuya HIRAISHI

ABSTRACT : To continue the port logistic functions after large-scale tsunamis, the securing of work vessels for elimination of navigation obstacles and emergency restoration of port facilities is indispensable. The judgement of the usability of work vessels at disaster-stricken ports is the cornerstone for formation of work vessel convoys, because these vessels might be drifted. Based on this background, real-time monitoring system against drifting of work vessels was developed by using AIS data. AIS device of independence power supply type for unmanned work vessels was built, and warning system against drifting was developed. In addition, the expansion policy to remote monitoring system during normal operation was indicated.

KEYWORDS : AIS, anchoring, drifting, dragging anchor, warning system