

平成 26 年度（一財）港湾空港総合技術センター 研究開発助成 成果報告書

助成番号 ： 平成 26 年 1 月 27 日付 第 13—2 号

研究開発項目：（指定②）港湾、海岸及び空港における大規模災害
発生後の対応に関する研究

南海トラフの巨大地震等の大規模災害 発生後の港湾及び海岸保全施設の 速やかな復旧に向けた海上工事施工能力 の継続性確保に関する研究

平成 27 年 4 月 23 日

京都大学防災研究所

小野憲司

目 次

1. 研究開発の目的・意義	1
2. 研究開発の概要	2
3. 研究開発の方法	3
4. 研究成	5
①作業船の運用・係留の現状把握	5
②現行の AIS による作業船の動静捕捉状況の確認	7
③小型船舶用簡易型 AIS の技術開発	9
④作業船等の損壊・流出リスクの評価	19
⑤作業船等海上工事機材等の リアルタイム・モニタリングシステムの概念設計	23
⑥作業船マネジメント・システムのコンセプトの検討	27
5. 外部発表	29

1. 研究開発の目的・意義

東日本大震災時の教訓を踏まえると、今後また、南海トラフの巨大地震・津波のような大規模で広域的な災害が発生すると、被災地においては小型の作業船等脆弱性の高い機材が被災するとともに、情報通信網が遮断されたり、地方自治体においては災害復旧のための指揮命令系統が機能不全に陥るなどの事態が発生し、被災した港湾等の復旧のための海上工事体制の速やかな構築が困難となる恐れが高い。

上記に鑑み本研究では、国土交通省地方整備局が設置した AIS（船舶自動識別装置:Automatic Identification System）受信局を活用して、海上工事の実施に不可欠な各種作業用船舶、機材の所在、動向を常時より一体的にモニタリングし、把握するシステムを整備することによって、万一の巨大災害発生時にも迅速で円滑な復旧体制の構築を可能とすることを目指す。

2. 研究開発の概要

国直轄工事にかかる海上工事の安全性確保や開発保全航路の管理のため、3 大湾及び関門地区等の船舶航行輻輳区域において AIS を活用した航行・停泊船舶の位置・動向確認のために、国土交通省地方整備局及び国土技術政策総合研究所によって AIS 受信局の設置が進められてきた。

例えば、近畿整備局により六甲山上に設置された AIS 受信局は、播磨灘及び大阪湾並びに紀淡海峡をカバーする。これらの AIS 受信局は、AIS の設置が法律的に義務づけられた船舶（内貿船：500 総トン以上）について、リアルタイムで海域内の全ての船舶の位置情報、動静に加えて船舶の種類、大きさや積荷情報等の属性を把握することができる。

これまでも、このような AIS の受信データを活用して、港湾の航路や泊地の船舶輻輳度の分析、適切な航路・泊地の広さの評価や基準化等に関する研究とその実用化が行われてきた。特に、東日本大震災後においては、東京湾での船舶挙動が、久里浜及び千葉の AIS 受信局において網羅的に把握され、その分析結果により、船舶待避用の開発保全航路（泊地部分）の整備に繋がっている。巨大災害後においても、AIS が有効に機能した一例であると言える。

また、AIS の設置が義務づけされていない小型船舶（内貿船：500 総トン未満）に対しては、簡易で比較的安価な Class-B の AIS が開発されている。また、海上工事に際して、作業船等に対してポータブルタイプの AIS 装置を使用し、施工管理を行うシステムも開発されている。しかし、無人の土運船等に対して、AIS を用いて位置管理を行った例は見当たらない。

本研究では、

- 1 港湾分野におけるこれまでの AIS 活用のための技術開発成果に立脚するとともに、AIS 受信局等の既存のインフラのなお一層の活用を図ることによって、常時から作業船等海上工事機材等（無人を含む）の動静をリアルタイムで把握することが可能なモニタリングシステムの概略設計、及び
- 2 巨大災害による被災港湾等の緊急災害復旧に向けた海上工事体制の速やかな構築に向けた、既存の連絡調整網をバックアップし修正する機能を有する作業船等海上工事機材等（無人を含む）のマネジメント・システムの提案、を行う。

3. 研究開発の方法

本研究開発の実施の内容と手順は、図-1 のとおり。

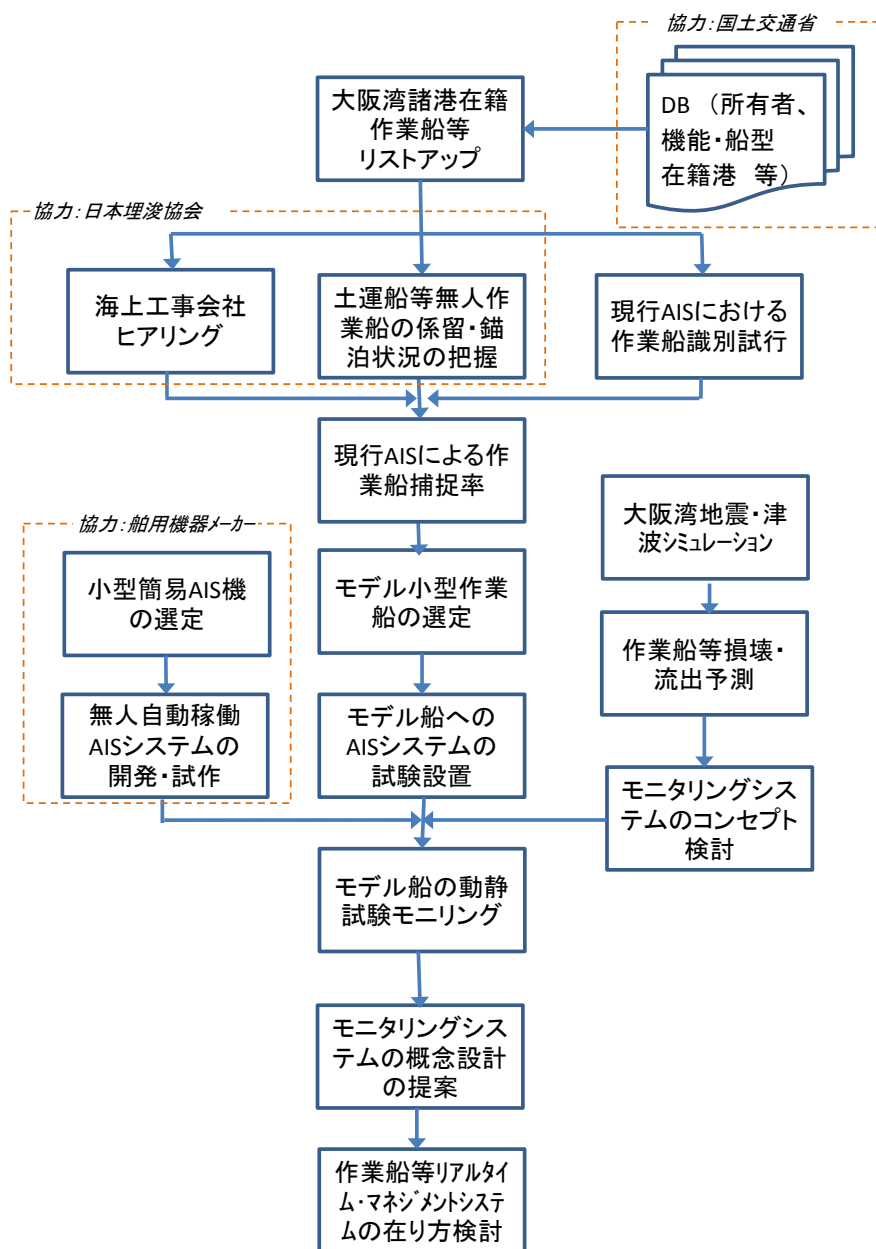


図-1 平成 26 年度研究開発の実施内容と手順

本研究では、大阪湾諸港及びその周辺海域（国土交通省近畿地方整備局が設置した六甲山 AIS 基地局のカバレッジの範囲）において、まず、①作業船の運用、係留の現状把握を行うとともに、②現行の AIS によるこれら作業船の動静捕捉の状況を確認する。

上記の作業を行うためには、ケーススタディ対象である大阪湾諸港及びその周辺海域に在籍する作業船を国土交通省データベース等に基づいてリストアップするとともに、これらの作業船の運用状況を確認することが必要であることから、日本

埋立浚渫協会近畿支部傘下の海上工事会社へのヒアリング、資料提供依頼を行う。特に、土運船等の小型作業船、非航船には、一般的に AIS が設置されていないことから、これらの係留・錨泊場所、停泊時管理方式については、地域を絞り込んで綿密な実態把握を行う。なお、現行 AIS が補足する大阪湾諸港の船舶の動静は六甲山での受信データで確認することができることから、これを使って京都大学防災研究所からその中に含まれる作業船関係データの抽出と捕捉状況の評価を行う。

次に、現行 AIS では補足が困難な小型の作業船、非航船（無人）の動静をモニタリングするために、③小型船舶に簡易型 AIS を設置するための技術開発を行う。開発にあたっては、現行の AIS 搭載義務（内航船：500 トン以上）のカバレッジ外にある土運船等の小型の非航船（無人）の中から所有者・運航者と協議の上モデル船を選定し、1 月以上の試験モニタリングを行うこととする。

設置する AIS 発信装置については、動力のない無人船において、自動的に稼働するものである必要がある。現時点では、太陽電池から動力を得て、アンテナを稼働させる案が第一候補である。その開発に当たっては、AIS システムの開発経験が豊富な事業者の協力を得て、適切な AIS 機器の選定、システムの開発及び試作を行う。その際、小型非航船（無人）に、無線従事者が不要な特定船舶局としての AIS 局を開局するうえでの、手続き上及び運用上、構造上の課題についても検討することとする。

上記と並行して、内閣府公表の南海トラフの巨大地震予測に基づいて近畿地方整備局等が行った大阪湾における津波の高さ、流速等情報を基礎データとして、大阪湾諸港及びその周辺海域における④作業船等の損壊・流出リスクの評価を行う。作業船等の損壊・流出リスクの評価においては、本研究において開発しようとするモニタリングシステムで重点を置くべき脆弱性の高い作業船を対象として分析を行う。

上記③及び④に基づいて、⑤作業船等海上工事機材等のリアルタイム・モニタリングシステムの概念設計を行い、海上工事会社等の実務面での活用に向けて提案を行う。

また、上記の作業船等海上工事機材等リアルタイム・モニタリングシステムの概念を拡大し、南海トラフの巨大地震・津波等の大災害時にあっても速やかな緊急災害復旧体制の構築が可能となり、かつ、平時においても活用可能な⑥作業船マネジメント・システムのコンセプトについて検討し、提案を行う。

4. 研究成果

①作業船の運用・係留の現状把握

作業船の運用及び係留の現状については、まず、日本埋立浚渫協会近畿支部（東洋建設株式会社）へヒアリングを行った。その結果の概要は以下のとおり。

- ✓ 海上工事の安全性確保のため、多くの海上工事においては、作業船の動静を AIS により、海上交通管理部署の AIS センター経由で管理するようになってきており、施工中においては、簡易型 Class-B AIS が搭載されている場合が多い。
- ✓ しかし、施工が終了すると、AIS を取り外し、別の作業船に移す場合も多いとのこと。また、作業船は自社船でない場合も多く、その場合は、現在位置を直接は把握していないとのこと。
- ✓ 現在、港湾 BCP において、災害直後に航路啓開が求められているが、施工中でない作業船の位置は把握していないため、速やかに航路啓開に入れるのかどうかに不安がある。遠隔に現在地が確認できるのであれば、大きな効果があるのではないか。

また、作業船を保有する寄神建設株式会社へのヒアリングでは、一部の港湾では、沖合係留されている作業船が、津波襲来時に陸地へ乗り上げる危険性が指摘されており、このような状況への対応も求められているとのことであった。

さらに、尼崎芦屋西宮港沖の作業船（無人土運船）について、現地確認を行った（写真-1～3）。関西国際空港の埋め立て工事等で使用された土運船約 50 隻が防波堤係留されていた。

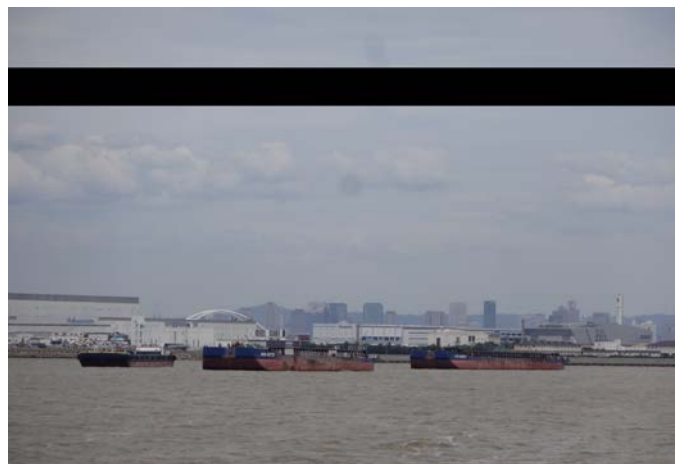


写真-1

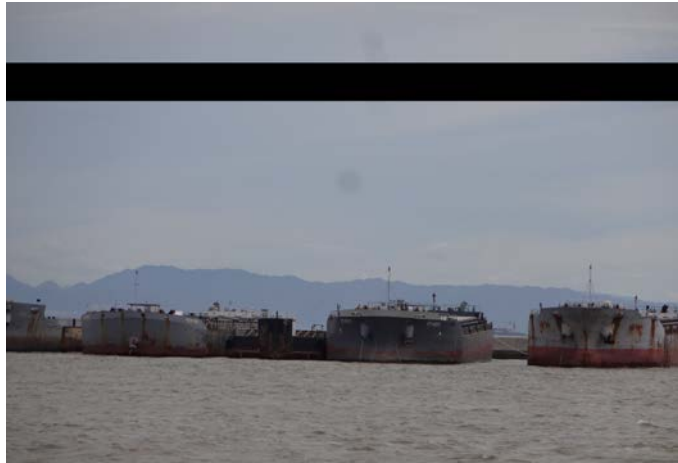


写真-2



写真-3

②現行の AIS による作業船の動静捕捉状況の確認

一般に、作業船は AIS 搭載義務がない（500 総トン未満）。さらに、市販されている商船の船舶データベースにも掲載されない。そのため、従来の AIS データ分析システムによって、その動静が分析された例は見当たらない。

表-1 に搭載が義務付けられている船舶用の Class-A と、義務のない船舶用の簡易な Class-B との比較を示すが、Class-B AIS は、Class-A AIS に比べて発信間隔が長く、出力も弱い。また、幅員海域においては、Class-A の信号が優先されるため、航跡を AIS データによって把握できるのかがどうか、一つの問題である。

表-1 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・錨泊	3 分	3kt 未満	3 分
	航走中	10～2 秒	3kt 以上	30 秒
無線従事者 免許	海上特殊無線技士 海上無線通信士		不要	
型式承認	国による承認が必要		不要	

そこで、日本埋立浚渫協会近畿支部（東洋建設株式会社）より、作業船の諸元と、同船に搭載されている Class-B AIS の MMSI 番号を提供いただき、これらの作業船について、AIS データにて航跡が追えるのかどうかを確認した。その結果が、図-2 及び図-3 である。この分析の結果、世界でも有数の船舶幅員海域である大阪湾でも、事後であれば、問題なく Class-B AIS によって作業船の挙動を追えることが確認できた。

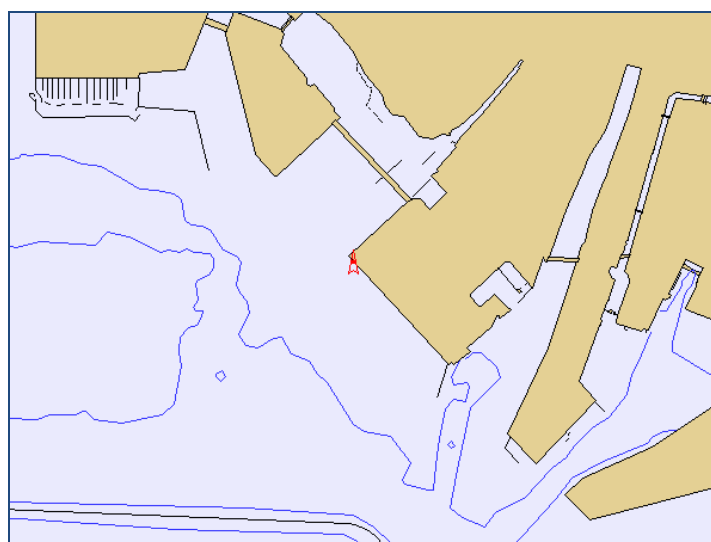


図-2 グラブ浚渫船兼多目的起重機船の動静（岸壁係留状態）

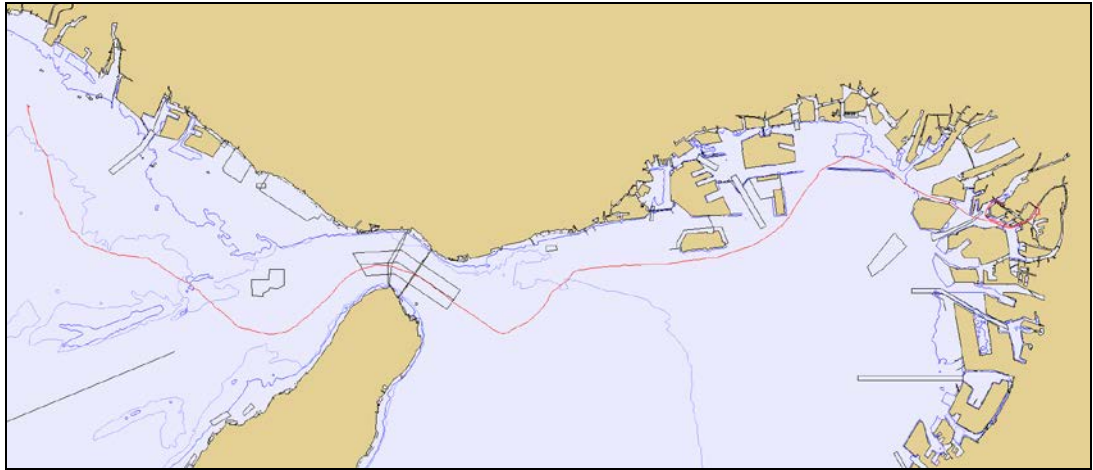


図-3 押船の動静（大阪港への回航）

③小型船舶用簡易型 AIS の技術開発

無人土運船に Class-B AIS を設置するためには、AIS 装置、アンテナの他に、電力を得るための太陽光発電パネル及びバッテリー、さらに、これらを波浪や降雨等から防ぐ容器が必要となる。

そこで、本研究では、特に夏季の温度上昇を考慮し、クーラーを装備したタイプ（太陽光発電パネル 2 枚、バッテリー 2 機搭載）とクーラーを装備しないタイプ（太陽光発電パネル 1 枚、バッテリー 1 機搭載）の 2 タイプを作成することとした。図-4 にその設計図（クーラーありタイプ）を、写真-4 にクーラーなしタイプの筐体外観・内部、写真-5 にクーラーありタイプの筐体外観・内部を、写真-6 に太陽光発電パネルの様子を示す。

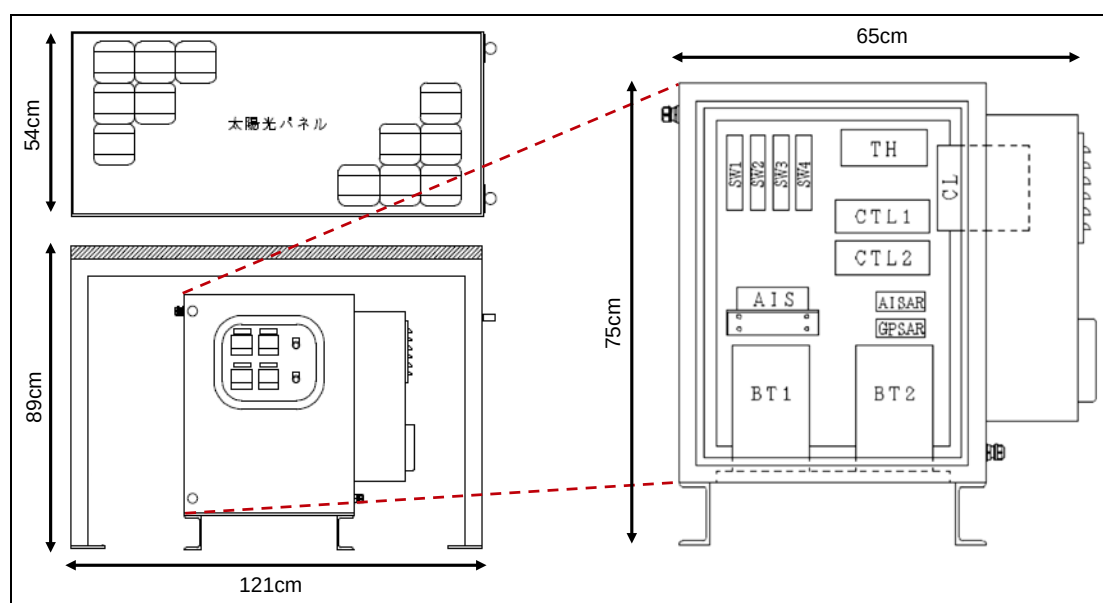


図-4 作成中の AIS システムの概要（クーラーありタイプ）



写真-4 筐体外観及び内部（クーラーなしタイプ）



写真-5 筐体外観及び内部（クーラーありタイプ）



写真-6 太陽光発電パネル

8 月より装置の製作を開始し、9 月中には筐体が完成、その後、防錆メッキ及び塗装をし、配線等を行って、10 月に初期の作動確認を行った。

なお、実験においては作業船への搭載等にご協力いただく必要があることから、押土協協会会員の寄神建設株式会社と京大防災研で共同研究契約を結び（平成 26 年 8 月 1 日締結）、同社が尼崎芦屋西宮港沖で係留している 2 隻（海域錨泊及び防波堤係留を 1 隻ずつ）の土運船を使用した。当該土運船を、写真-7 に示す。



写真-7 実験船：神 B-6003（奥がもう一隻の実験船：神 B-6005）

実験に先立ち、尼崎芦屋西宮港の港湾管理者である兵庫県尼崎港管理事務所には港湾水域（公共空地）占有許可申請書及び土運船係留施設使用許可申請書を提出し、

許可を得た。前者は海域に錨泊するための申請であり，後者は防波堤係留をするための申請である。また，海上保安庁（阪神港長）へも港内作業届けを提出した。併せて，Class-B AIS の無線局免許も取得した。

平成 26 年 10 月 23 日に，無人 AIS 装置を，押船の船上クレーンを使用して実験船へ積み込み，船尾部中央に溶接し，モニタリングを開始した。港湾における押船への積み込み状況を写真-8 に，実験船への積み込み状況を写真-9 に，設置終了時の様子を写真-10 に示す。なお，後程，太陽光パネル上に鳥よけワイヤーを設置した。



写真-8 港湾における押船への積み込み状況



写真-9 実験船（神 B-6005）への積み込み状況



写真-10 実験船（神 B-6005）に設置した自立電源式 AIS 装置（クーラー付き）

実海域モニタリング実験は、表-2 のスケジュールとなっており、集中モニタリング期間である第 1 期と、その後のシステム開発を伴う第 2 期（平成 27 年度予定）に分けられる。

表-2 実海域モニタリング実験スケジュール

	第 1 期	第 2 期
期間	2014 年 10 月～2015 年 2 月	2015 年 3 月～2015 年 12 月
AIS データ	国土交通省神戸港湾事務所受信データによる連続モニタリング及び記録	
定期訪船確認	毎週 1 回実施	毎月 1 回実施
目的	自立電源式 AIS 装置の稼働確認	リアルタイム・モニタリングシステム開発

第 1 期は、i) 定期訪船調査（週 1 回）と、ii) AIS 連続モニタリング調査の 2 種類を実施した。i) 定期訪船調査では、実験船を訪問し、外観を確認すると共に、電圧メーターを読み取った。定期訪船の記録用書式を図-5 に、定期訪船調査の全体結果を表-3 に示す。結果を整理すると、以下のとおり。

- ✓ 冬季は、日照時間が短いため、発電量が最低となる季節であるが、雨天・曇天時でも、正午前後に 13V 前後の発電電圧が得られており、蓄電池を消耗せずに稼働していたと推測される。
- ✓ 晴天時では、早朝でも発電電圧が 14V を超えており、日中に晴天が続けば夜間に消耗した蓄電池の充電に専念することができていたと推測される。
- ✓ 装置筐体には腐食等は発生していない

AIS 装置状況確認報告書

No. 〇-1

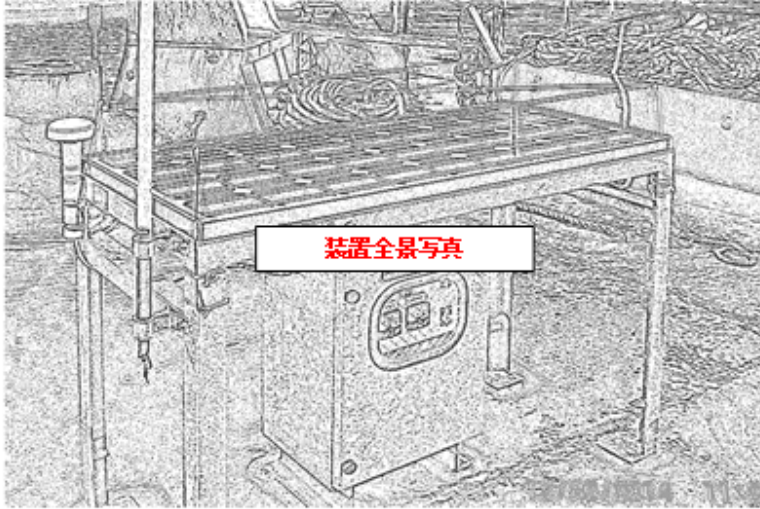
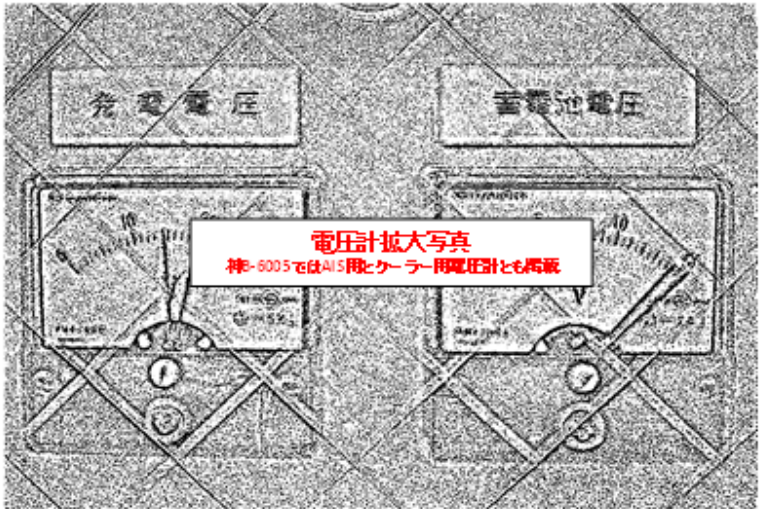
確認日	〇〇年 〇月 〇日	時刻	〇〇:〇〇	天候	〇〇	気温	〇℃
場所	神B-6003 (または 6005)			確認者	〇山 △郎		
写 真							
装置全体							
電圧計							
特記事項	特 記 事 項 ※ 装置不動作、異常動作音、装置損傷/発熱、太陽光発電パネル表面汚損等 ※ 平時とは異なる状況を認識した場合に記載						

図-5 定期訪船確認における記録様式

表-3 定期訪船調査の結果

回数	訪船日時	天候	神 B-6003				神 B-6005						
			AIS 装置			装置 外観	AIS 装置			冷却装置			装置 外観
			発電	蓄電	稼働		発電	蓄電	稼働	発電	蓄電	稼働	
1	10月30日12時	晴	20.0 V	13.5 V	○	良好	—	—	—	20.0 V	14.0 V	○	良好
2	11月7日12時	晴	20.5 V	14.0 V	○	良好	20.5 V	14.0 V	○	20.5 V	14.0 V	○	良好
3	11月14日11時	晴	21.0 V	14.0 V	○	良好	21.0 V	14.0 V	○	21.0 V	14.0 V	○	良好
4	11月21日11時	晴	20.5 V	14.0 V	○	良好	20.0 V	14.0 V	○	20.5 V	14.0 V	○	良好
5	11月27日11時	晴	20.0 V	15.0 V	○	良好	20.0 V	15.0 V	○	21.0 V	15.0 V	○	良好
6	12月4日11時	雨	14.0 V	13.5 V	○	良好	13.5 V	13.0 V	○	13.5 V	14.0 V	○	良好
7	12月11日11時	曇	14.0 V	13.5 V	○	良好	12.0 V	13.0 V	○	15.0 V	15.0 V	○	良好
8	12月16日11時	雨	12.5 V	13.0 V	○	良好	13.0 V	13.0 V	○	19.0 V	15.0 V	○	良好
9	12月25日12時	曇	12.0 V	13.5 V	○	良好	12.0 V	14.0 V	○	20.0 V	15.0 V	○	良好
10	1月9日12時	曇	19.5 V	15.0 V	○	良好	19.5 V	15.0 V	○	21.0 V	14.0 V	○	良好
11	1月16日12時	曇	14.0 V	13.5 V	○	良好	14.0 V	13.5 V	○	15.5 V	15.0 V	○	良好
12	1月22日11時	雨	14.0 V	13.5 V	○	良好	14.0 V	13.5 V	○	19.5 V	15.0 V	○	良好
13	1月29日11時	曇	17.0 V	15.0 V	○	良好	20.0 V	15.0 V	○	21.0 V	15.0 V	○	良好
14	2月6日12時	曇	17.0 V	15.0 V	○	良好	17.0 V	15.0 V	○	20.5 V	15.0 V	○	良好
15	2月12日8時	晴	14.0 V	13.5 V	○	良好	14.5 V	14.0 V	○	17.0 V	15.0 V	○	良好
16	2月19日11時	曇時々晴	18.0 V	14.0 V	○	良好	19.5 V	14.0 V	○	20.5 V	15.0 V	○	良好
17	2月26日15時	雨	16.0 V	15.0 V	○	良好	16.0 V	14.5 V	○	20.0 V	15.0 V	○	良好

ii) AIS 連続モニタリング調査では、時々刻々発信される AIS データを、国土交通省近畿地方整備局神戸港湾事務所の六甲山アンテナにて受信し、これを国土技術政策総合研究所のサーバーを経由して把握した。両船の AIS 信号を Google Earth 上に表示したのが、図-6 である。錨泊船は、潮流により楕円形を描いている一方、防波堤係留では一点から動きがなかった。



図-6 AIS 信号の表示結果（黄色点、左：錨泊、右：防波堤係留）

この AIS 信号の受信間隔について整理したのが、図-7 及び表-4 である。AIS 連続モニタリング調査の結果を整理すると、以下のとおり。

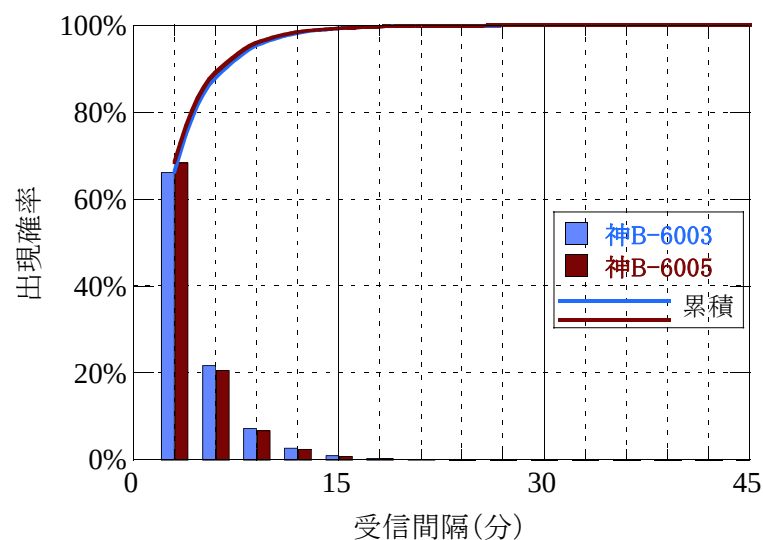


図-7 AIS 信号受信間隔

表-4 データ受信間隔の出現頻度

受信間隔 (分)	神 B-6003			神 B-6005		
	データ 数	出現 頻度	累積	データ 数	出現 頻度	累積
3 分	24925	66.3%	66.3%	26504	68.5%	68.5%
6 分	8208	21.8%	88.1%	8000	20.7%	89.1%
9 分	2768	7.4%	95.4%	2641	6.8%	96.0%
12 分	1065	2.8%	98.3%	966	2.5%	98.5%
15 分	382	1.0%	99.3%	331	0.9%	99.3%
18 分	157	0.4%	99.7%	147	0.4%	99.7%
21 分	65	0.2%	99.9%	72	0.2%	99.9%
24 分	23	0.1%	99.9%	24	0.1%	100.0%
27 分	16	0.0%	100.0%	11	0.0%	100.0%
30 分	6	0.0%	100.0%	4	0.0%	100.0%
33 分	4	0.0%	100.0%	2	0.0%	100.0%
36 分	3	0.0%	100.0%	1	0.0%	100.0%
39 分	0	0.0%	100.0%	1	0.0%	100.0%
42 分	0	0.0%	100.0%	0	0.0%	100.0%
45 分	0	0.0%	100.0%	0	0.0%	100.0%
45 分以上	0	0.0%	100.0%	0	0.0%	100.0%

- ✓ Class-B AIS は、船速 3kt 未満では 3 分間隔で信号を発信している（表-1）は
ずであるが、受信間隔が 3 分であったのは約 2/3 であり、15 分以内の間隔が
99%であった。
- ✓ 受信間隔が 30 分以上となったのが、2 隻合計で 21 回観測された（表-5）。時
間帯は早朝もしくは夜間に集中しており、蓄電池消耗が何らかの影響を与え
ている可能性がある。一方、Class-A AIS との信号輻輳や、送信出力が弱いこ
とによりアンテナでの受信において Class-A AIS の信号にかき消されている
可能性も考えられる。

後述の受信間隔が大きく開いてしまう現象については、作業船のリアルタイム・
モニタリングに支障を来す可能性が否定できないため、平成 27 年度において、i) 電
力実態調査と ii) 近傍での AIS 受信調査の 2 種類の追加実験を検討中である。i) 電
力実態調査は、AIS 装置への給電電圧を時系列に把握し、受信データとの比較によ
り、電圧低下が、受信間隔が大きく開いてしまう原因であるかどうかを探るもので
ある。ii) 近傍での AIS 受信調査については、2 隻の実験船のうち、片方において、
相手方の AIS 信号を受信し、これを、神戸港湾事務所の六甲山アンテナで受信した
データと比較するものであり、Class-B AIS が Class-A AIS にかき消される可能性を
検証する。また、併せて、寄神建設が所有する他の Class-B AIS 搭載船の AIS 発信
間隔についても分析を行う予定である。

表-5 信号受信間隔が 30 分以上の発生時期と回数

船名	No.	観測間隔 30 分以上の期間 自 至	間隔	時間帯
神 B-6003	1	11/19 21:48 → 11/19 22:18	30 分	夜間
	2	12/15 07:36 → 12/15 08:06	30 分	早朝
	3	12/15 11:15 → 12/15 11:51	36 分	日中
	4	12/22 03:33 → 12/22 04:06	33 分	夜間
	5	12/22 11:51 → 12/22 12:27	36 分	日中
	6	12/26 01:24 → 12/26 01:57	33 分	夜間
	7	12/26 03:06 → 12/26 03:36	30 分	夜間
	8	01/08 22:21 → 01/08 22:54	33 分	夜間
	9	01/16 06:00 → 01/16 06:30	30 分	早朝
	10	01/28 08:15 → 01/28 08:45	30 分	早朝
	11	02/02 04:33 → 02/02 05:09	36 分	夜間
	12	02/07 05:18 → 02/07 05:48	30 分	夜間
	13	02/10 07:56 → 02/10 08:29	33 分	早朝
神 B-6005	1	11/13 06:23 → 11/13 06:53	30 分	早朝
	2	11/19 05:54 → 11/19 06:30	36 分	早朝
	3	12/04 07:28 → 12/04 07:58	30 分	早朝
	4	12/09 07:43 → 12/09 08:13	30 分	早朝
	5	12/13 05:11 → 12/13 05:44	33 分	夜間
	6	12/22 21:46 → 12/22 22:25	39 分	夜間
	7	01/20 00:25 → 01/20 00:55	30 分	夜間
	8	01/21 00:49 → 01/21 01:22	33 分	夜間

④作業船等の損壊・流出リスクの評価

前述したとおり、尼崎西宮芦屋港の沖合防波堤には、約 50 隻の土運船が係留されている。これらの土運船は、関西国際空港の埋め立て工事等に使用されたものであり、かつては海域係留されていたが、平成 16 年の台風により漂流し、防波堤に衝突・破損したことから、安全性を向上させるための処置として防波堤係留が選択されている。しかし、南海トラフ巨大地震等による津波襲来時に、土運船が漂流し、臨海部の住宅団地に乗り上げる危険性が危惧されており、西宮市議会や兵庫県議会でも議員質問が度々なされている。例えば、最近の兵庫県議会での会議録（抜粋）は以下のとおり。

兵庫県議会 平成 26 年度予算特別委員会（第 8 日、3 月 11 日）

大前はるよ委員：

先日、西宮市長から井戸知事に改めて津波対策強化についての要望書が出された。その中で、今お答えいただいたもののほかに、広域避難計画などもあるが、西宮市沖の土運船の係留強化もあった。先ほど部長がお答えいただいた中で、地域特性というお話もあったが、今のご答弁をお聞きして、この西宮市沖の土運船の係留強化について、現在の対策とこれから考えられている対策についてお伺いしたい。

港湾課長（平井住夫）：

土運船対策であるが、津波による船舶の漂流対策として、海上保安庁と連携して今まで取り組んできている。津波対策委員会が海上保安庁で設置されており、いろいろ議論しているが、津波による船舶の漂流対策として、現在係留している西宮沖防波堤の係留柱の改良などの係留強化を推進することとしている。また、避難対策であるが、漂流船舶の安全対策については、船舶の港外退避など具体的な対応に関して、西宮市とともに引き続き所管の神戸海上保安部と調整をしながら、具体的な対策について今後も共有していきたいと考えている。

このように、西宮港沖の防波堤係留の土運船について、津波での漂流が、地元において危惧されていることから、本研究では、西宮港海域実験に使用した防波堤係留中の土運船について、大規模津波による漂流リスクの簡易評価を行った。まず、津波越流高 η (m) は、津波高 H (m) と防波堤天端高 h (m) より、(1)式で算定される。

$$\eta = H - h \quad (1)$$

越流した水塊による津波力 F は、(2)式となる。

$$F = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho g \cdot \eta \cdot A \quad (2)$$

ここに、 C_D ：抗力係数、 ρg ：海水の単位堆積重量 (tf/m³)、 A ：船舶の横断方向投影面積 (m²)。これに抵抗する係留索の最大張力 R は、(3)式となる。

$$R = N_S \cdot T_{\max} \quad (3)$$

ここに、 N_s ：係留索の本数の 1/2 (1/2 は船舶が振れ回することを考慮した低減係数)， T_{max} ：係留索の許容最大引張強さ (tf)．津波力 F と係留索張力 R の関係は，図-8 のとおり．

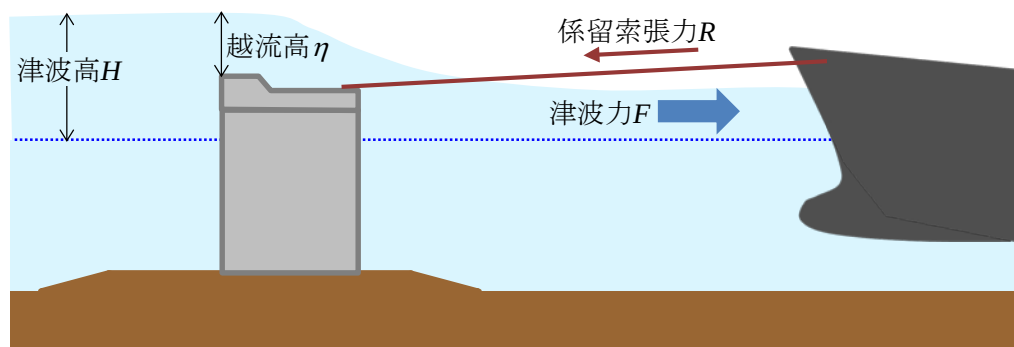


図-8 津波力と係留索張力との関係

ここで，土運船の防波堤係留状況を，図-9 及び写真-11 に示す．係留索の最大張力は，107 (t) が 2 本であるため，結局， $R=107$ (tf) となる．なお，当該土運船に対して，台風等荒天時には， $\varnothing 80\text{mm}$ CE コンパウンドクロスロープ (最大張力：96.3tf) により増し取りを行っているが，津波襲来時の増し取りは想定できないため，ここでは考慮に入れない．

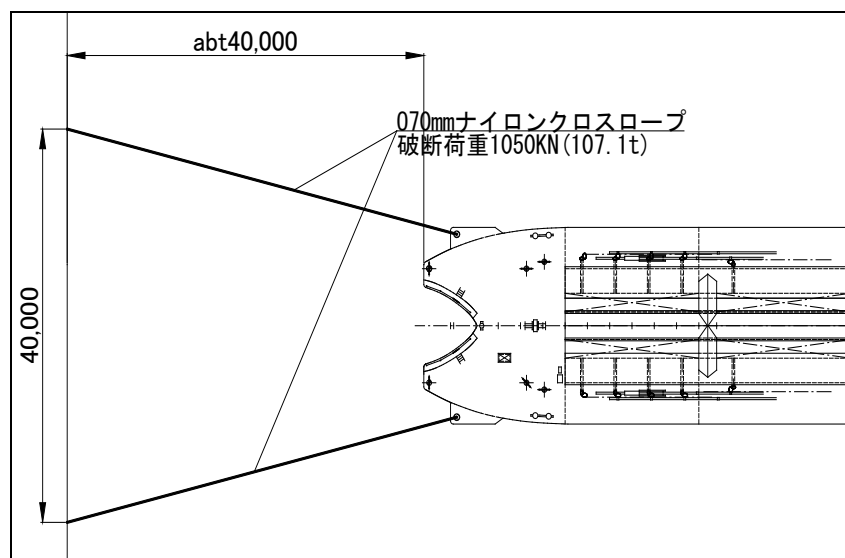


図-9 係留索による防波堤係留の模式図

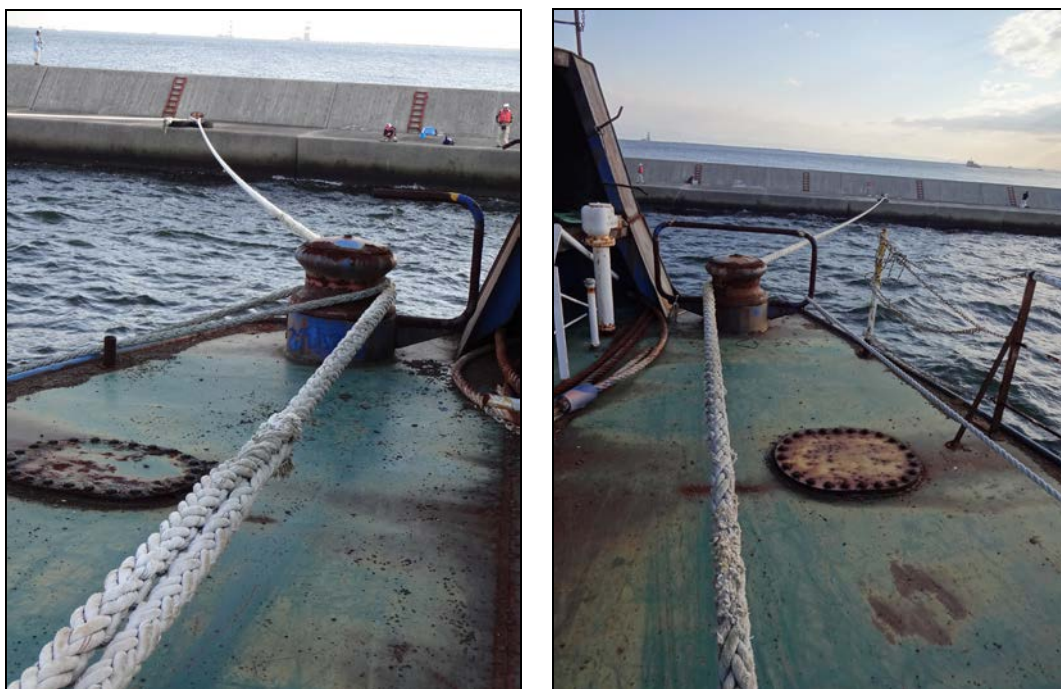


写真-11 係留索による防波堤係留の様子

一方、津波力 F は、越流高 η の関数となる。また、横断方向の投影面積 A も、越流高に比例して大きくなる。越流高と、横断投影面積及び津波力の関係を、図-10 に示す。津波力は、越流高の 2 乗に比例して大きくなる。

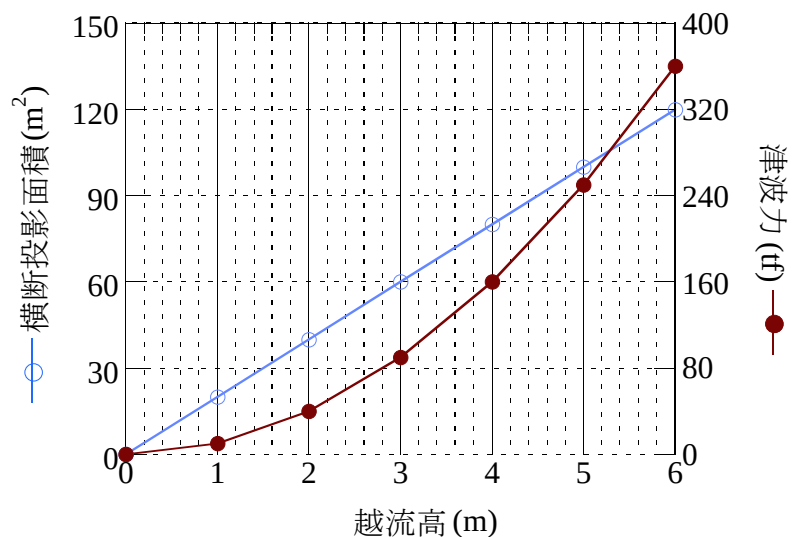


図-10 越流高と断面積及び津波力の関係

図-10 の津波力から、係留索の最大張力を超える越流高を求めると、 $\eta=3.3$ (m) となる。ここで、(1)式により、津波高を求めるには、防波堤の天端高が必要となる。現地防波堤の天端高データは入手できていないため、有義波高が概ね 3 (m) と仮定し、港湾の施設の技術上の基準・同解説において小型船舶用泊地で越波を極力抑

えたい防波堤では天端高を有義波高の 1.25 倍と示されていることから、天端高を 3.8m と仮置きすると、津波高 $H=7.1$ (m) と算定される。これは、津波が満潮時に襲来したとの最悪の状態での算定であり、潮位によっては、許容される津波高がさらに高くなる。

第五管区海上保安本部による南海トラフ地震の津波高の予測では、図-11 のとおり、当該海域の津波高は 2.5～2.9 (m) となっている。この予測通りであれば、防波堤天端高を超えず、算定上、土運船は安全に係留されていることになる。しかし、予測を超える津波高に至る可能性は否定できないため、防波堤係留の安全性を向上させると共に、万が一漂流した場合への対策を備えておく必要がある。⑤の作業船リアルタイム・モニタリングシステムは、このような要請に応え得るものとして開発を目指している。

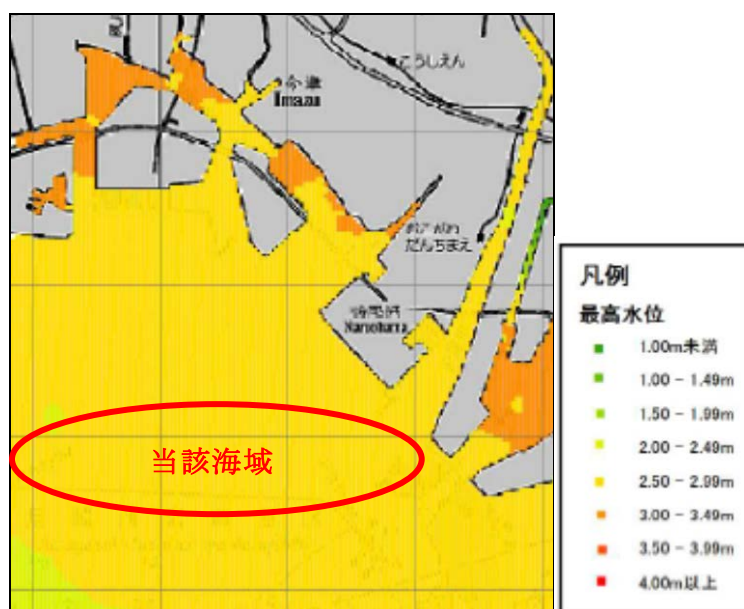


図-11 第五管区海上保安本部による南海トラフ地震の津波高の予測

⑤作業船等海上工事機材等のリアルタイム・モニタリングシステムの概念設計

西宮港沖の海域実験（③にて前述）により，非常に希に受信間隔が大きく開いてしまう問題はあるものの，無人 AIS 装置にて，作業船の現在位置等をリアルタイム・モニタリングが可能であることが確認された．この情報を用いることにより，作業船の位置情報を，リアルタイムで監視し，問題が予想される場合には，警告 Mail 等により伝えるリアルタイム・モニタリングシステムの開発が可能であると考えられる．図-12 にシステムの全体構成図を示す．AIS 受信局により受信された AIS データをネットワークを通してシステムサーバーに自動的に蓄積し，ユーザーはインターネットを経由して，いつでも，どこでも，情報を確認できる．

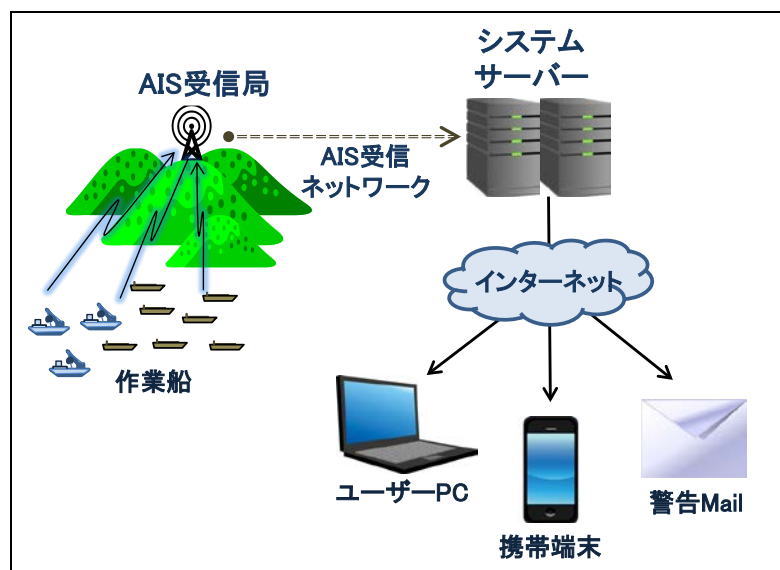


図-12 リアルタイム・モニタリングシステムの全体構成図

一方で，データ管理には十分な配慮が必要なため，本システムを利用するユーザーには，個別にログイン ID とパスワードを発行し，システムはログイン ID によって使用中のユーザーを特定し，当該ユーザーに許可されたシステムを起動（許可されたシステムの起動用アイコンのみを表示）するものとする．また，一定回数（例えば 3 回）ログインに失敗した場合は，不正アクセスの恐れがあるものと考え，システムを終了するとともに，一定時間アクセスを禁止する等の措置を講じることを考えている．

また，さらにセキュリティを向上させる方法として，RAS（Remote Application Server）を利用する方法も考えられる．RAS とは，システムサーバー上において，アクセスしてきた各ユーザー専用の仮想デスクトップ（仮想のパソコン環境）を一時的に生成し，ユーザーのパソコン上から仮想デスクトップを遠隔操作する技術である．ここで動作するプログラムはあくまでもシステムサーバー上で動作しており，各ユーザーのパソコンにはその画面が転送されてくる．各ユーザーは転送されてくる画面を見ながら，手元のキーボードとマウスによって操作を行うので，ユーザーには自分のパソコン上でプログラムが動作しているように見える．当然ローカル環

境のプリンター等も利用可能である。この RAS の優れた点は、動作しているプログラムは通常の Windows アプリケーションで良いため、機能や操作上の制約がなく使い勝手の良いシステムにできる事に加えて、OS の種類やバージョンの違いのみならず、RAS が利用できる環境であれば、いずれのタブレット PC やスマートフォンでも利用できることである。RAS を利用するための環境 (RAS クライアントソフト) は、既に RAS メーカーから各種環境 (OS) 用のものがリリースされている。一方で、RAS を用いるためには、全てをシステムサーバー上で処理するため、高性能なサーバーが必要とされ、各ユーザーは予め PC 等に RAS クライアントソフトをインストールする必要がある。

作業船リアルタイム・モニタリングシステムの画面構成案を、図-13 に示す。作業船が所定の係留・錨泊地を離れた場合や、異常な速度により移動している場合を、自動的に検知し、警告を発するものである。このシステムは、基本的に、作業船を所有する会社での利用を想定している。現在位置が把握できなくなった場合には、最後に信号が確認された位置を表示させることができ、所有会社において、津波襲来後の位置・状況の確認を、迅速に行うことが可能となる。

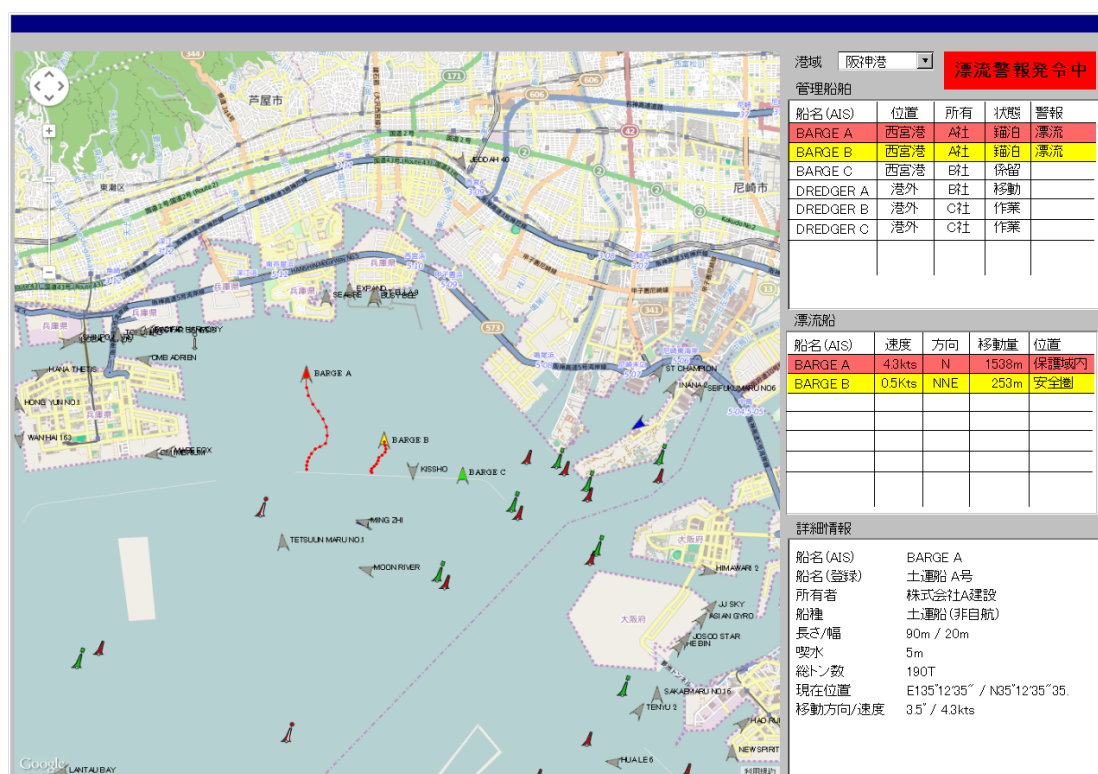


図-13 作業船リアルタイム・モニタリングシステムの画面構成案

船位シンボルの色分け表示案を図-14 に示す。△は移動中の船舶、○は停泊・係留・錨泊中の船舶を示す。漂流が予想される船舶であっても、現在位置によって、色分け表示で危険度を示すことで、特に大規模震災時などの指揮系統の混乱が予想される場面で、優先的に対処すべき船舶が視覚的に認識することができ、より適切



図-14 船位シンボルの色分け表示案

な判断を、より短時間で下すことが可能となる。また、現在位置を見失っている（AIS 信号の受信が一定時間以上途絶えている）船舶については、最後に観測された位置を図-15 に示すシンボルで表す。このような船舶は、港湾や沿岸域に対して脅威となり得るものであり、特に津波や台風などの災害時で、かつ対象船の漂流が予想されるような場合においては、その迅速な発見が非常に重要である。よって、現在位置不明船が対象海域内で発生していることを認識させるとともに、当該船舶の発見と現在位置把握を支援するため、最終観測位置も海図上に表すことは有効である。ただし、このシンボルは他のシンボルと異なり現在位置を表すものではないため、各船現在位置を表すシンボルとは異なる形状とする必要がある。また、見失ってからの時間が経過するにつれて、最後に観測された位置から遠く移動してしまい、実際の現在位置との関係が弱くなっていく可能性が高いので、経過時間に応じてシンボルの表示方法を変えることが望ましいと考えられる。



図-15 現在位置不明船の最終観測位置を示すシンボル案

本システムで中核となる機能が、漂流発生の自動検出と危険度の判定である。本システムにおいて漂流が発生したと判定する基準、および危険度の基準案を表-6 に示す。

表-6 漂流発生の判定基準及び危険度基準案

判定条件	事前の移動情報	
	あり	なし
安全圏外に移動	異常なし	危険度：中
速度 3kt 以上で 1 分以上移動	異常なし	危険度：高
保護圏内に進入	危険度：低	危険度：高

危険度の判定は、事前の移動情報の有無によって異なる。移動情報がある場合は、予定行動であって異常ではないが、通常、港湾内または沿岸域保護のために船舶の侵入を許してはならない範囲として事前に設定した保護圏に進入した場合には、注

意喚起を行う。移動情報がない場合は、当然観測された移動は予定外の行動であるので、漂流の可能性が高いと判断する。この基本判断を基に、移動速度と位置による判断を加えて、危険度を決定する。安全圏とは、係留または錨泊状態において、作業船が通常動く範囲であって、他船の航行に支障とならない範囲である。

⑥作業船マネジメント・システムのコンセプトの検討

作業船マネジメント・システムとは、⑤作業船リアルタイム・モニタリングシステムの概念を拡大し、南海トラフの巨大地震・津波等の大災害時にあっても速やかな緊急災害復旧体制の構築を可能とするものである。すなわち、大災害発災後に使用可能な作業船を検索し、航路啓開等の緊急手配を速やかに実施可能とするとのコンセプトである。しかし、このコンセプトの実現のためには、災害時にシステムが有効に機能することが不可欠であるが、災害時にのみ必要とされるシステムは、通常、訓練時以外に使用されることがないため、往々にして、災害時に有効的に機能しない。この点が非常に重要であると捉え、本研究では、大規模津波等襲来後において使用可能な作業船の位置を確認するシステムを、平常時にも使用可能とすることを想定する。すなわち、工事予定に合った作業船の位置等を検索するシステムである。その画面構成案を、図-16 に示す。

条件を指定してください。

船種: サンドコンバクション船 [詳細条件] 期間: 2015/10/10 ~ 2015/12/15

地区: 新潟県 [地図で指定] 所有者: ○○○建設株式会社 [検索]

① 第100丸	○○建設
② □□3号	□□海洋土木
③ △△-100	△△工業
④ SC10	××建設

船名: SC10
所有: ××建設
建造: 1999年10月25日

仕様
全長: 38m
全幅: 25m
喫水: 5m
トン数: 500t
方式: VF方式

図-16 作業船検索システムの画面構成案

このシステムでは、船種、能力、検索地域、期間、所有者等の条件に合致する作業船を検索することができる。これは、国や港湾管理者等海上工事の発注者側においては、発注の基礎情報として活用できる他、海上工事の受注者側においても、入札予定の工事に合致した作業船を検索することが可能である。現在、港湾空港総合技術センターが「作業船情報提供サービス」を運用しているが、基本的に、データの更新は月1回の紙提出であり、また、情報を提供していない作業船所有会社もあると聞く。これに対して、AISデータにより自動的に情報更新が行えるようになれば、情報の有用性が大きく向上することが期待される。

一方で、このような情報を提供するためには、図-17 に示すように、最低でも、作業船所有各社による作業船の船名、船種、能力、要目、MMSI 番号（AIS 装置の登録番号）等を網羅した作業船 DB が必要である。また、使用したい作業船が重なることも想定すれば、発注者側による工事予定を網羅した DB があれば、さらに効果的である。すなわち、自社の作業船のモニタリングのみを想定した⑤リアルタイム・モニタリングシステムに比べて、関係者間で広く活用するための情報が必要となる。ここで、情報共有を嫌う会社も想定されることや、ヒアリングによれば工事中に AIS を搭載するが、工事が終了すれば他船に積み替える場合もあることから、作業船の現在情報を網羅することができるのかどうかには、課題もある。また、⑤リアルタイム・モニタリングシステムでも記載したように、ユーザーID とパスワードによるセキュリティ管理や、さらに、RAS 導入によるセキュリティの向上は、より多くの関係者がアクセスする本システムにおいては、さらに重要である。

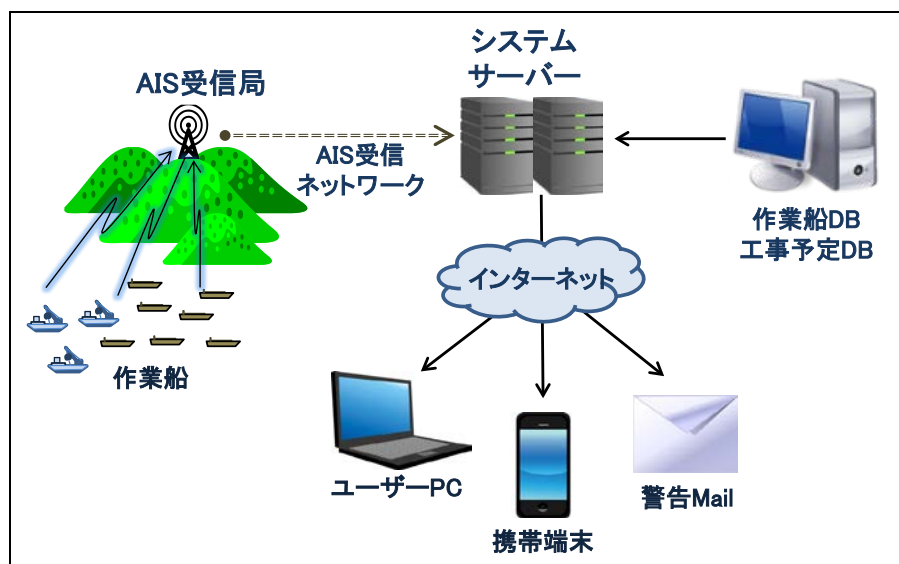


図-17 作業船検索システムの全体構成図

この作業船検索システムを用い、前述の⑤作業船リアルタイム・モニタリングシステムの情報を活用することにより、津波襲来後において各港湾で利用可能な作業船を検索することが可能となる。これが、作業船マネジメント・システムとなる。この情報は、各港湾の航路啓開方針を決定する上で非常に重要であり、方針を決定する国土交通省や港湾管理者、作業船団の要請を受ける日本埋立浚渫協会等においての活用が期待される。

本システムの開発にあたっては、平成 27 年度において、国土交通省や日本埋立浚渫協会近畿支部（東洋建設株式会社）や、作業船を保有する寄神建設株式会社へのヒアリングを行い、その結果をシステムに反映させ、広く活用されるシステムの開発を目指す。

5. 外部発表

本研究の内容について、平成 26 年 9 月 20～21 日に東北大学にて開催された第 9 回防災計画研究発表会にて発表し、議論を深めた。発表内容は、以下のとおり。

大規模津波後の海上工事施工能力確保に関する研究

赤倉康寛(京都大学防災研究所)
小野憲司(")
平石哲也(")
細川直登(寄神建設株式会社)

2014年9月21日
第9回防災計画研究発表会

大震災後の港湾機能の復旧

■ 東日本大震災では、東北地方の太平洋側港湾の施設に甚大な被害が発生し、その復旧には長い期間を要した。



仙台塩釜港・高砂CTの被災状況

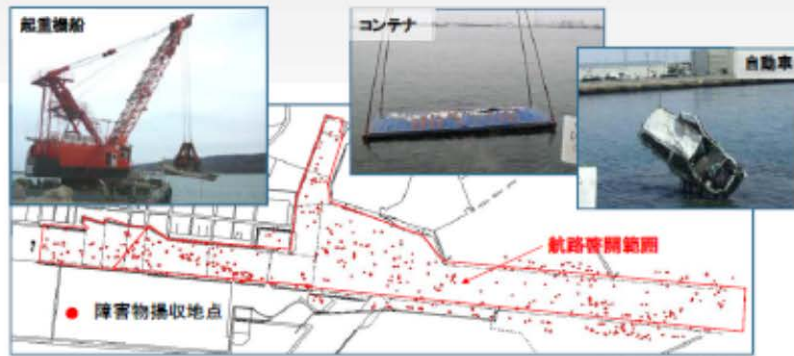
3/11	地震発生(14:56)
3/13	津波警報・注意報解除(17:58)
3/14	航路啓開開始
3/18	緊急物資輸送船の受入開始
3/21	石油タンカーの受入開始
4/8	自動車運搬船の入港再開
4/11	フェリーの入港再開
5/27	石炭輸送船の入港再開
6/8	内貿コンテナ船の入港再開
9/11	外貿コンテナ船の入港再開

仙台塩釜港復旧の経緯

1

航路啓開作業

- 港湾機能を復旧するために、最初に必要となるのが航路啓開作業。そのためには、起重機船等の作業船団が不可欠。

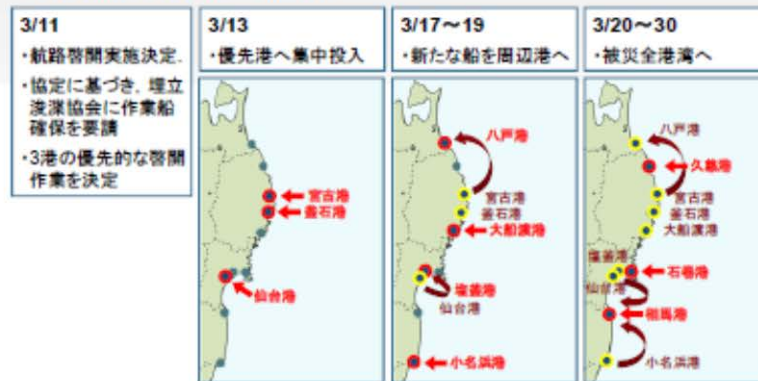


仙台塩釜港での航路障害物の状況

※東北整備局資料より 2

限られた作業船団の活用

- 東日本大震災後には、まず優先啓開港へ集中投入を実施し、その後確保出来た作業船団を周辺港へ派遣した。



3

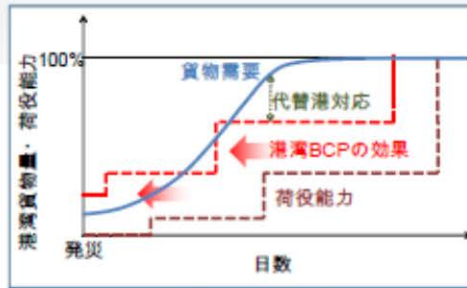
港湾BCP—重要資源

- 南海トラフ地震や首都直下地震への対応として、国土強靱化計画のアクションプラン2014に基づき、各港湾にて港湾BCPの策定が進んでいる。

- 港湾BCPでは、災害後に荷主・船社をつなぎ止めるため、

- 港湾施設の耐震強化等による強靱性強化、
- 早期復旧体制の事前準備による復旧の迅速化、
- 代替港湾の確保による物流容量の継続的確保

を行う。作業船は、そのための**重要資源**の一つ。



港湾BCPの概念図

4

本研究の目的

大阪湾BCP(南海トラフ地震)の例

■ 緊急物資輸送活動

- 遅くとも**48時間以内**に、堺泉北港基幹的広域防災拠点に接続する航路泊地等を啓開
- 遅くとも**3日間以内**に各府県1経路、遅くとも**7日間以内**に各港1経路、遅くとも**2週間以内**に全緊急物資用岸壁関連水域の航路を啓開

■ 国際コンテナ物流活動

- 遅くとも**7日間以内**に、神戸港、大阪港の国際コンテナ物流活動用の航路泊地を啓開（緊急物資輸送の航路と同時に啓開を実施）
- 遅くとも**2週間以内**に堺泉北港のコンテナ・エネルギー関連の航路泊地を啓開



目的

- 本研究は、大規模津波後の海上工事施工能力の確保を目的として、作業船等の自動モニタリング・システムの開発を目指している。

5

AIS(船舶自動識別装置)

- 9.11テロを契機に、一定規模(内航船:500t)以上の船舶に搭載義務。
- 位置、針路、速度、IMO番号等をVHF帯電波で**自動的に送信**することにより、船舶の衝突を防止する。地上受信局や衛星での受信も可能。

AISの送信内容

動的情報	位置、針路、速度、船首方位等
静的情報	IMO番号、船名、全長、幅、総噸等
航海関連情報	喫水、危険貨物、目的地



6

Class-B AIS

- 搭載義務のない船舶を対象に、小型で安価なClass-B AISが開発されている。
- Class-B AISはClass-A(搭載義務型)より信号発信間隔が長い。さらに、輻輳海域ではClass-Aの信号が優先される。

AIS信号発信間隔の比較

船速	Class-A	Class-B
2kt以下	3分	3分
14kt以下	10秒	30秒
23kt以下	6秒	30秒/15秒
23kt以上	2秒	30秒/5秒

※船務省資料より作成



作業船Class-B AISの航跡例

7

システム概念

- 作業船にClass-B AISを搭載し、自動モニタリングを行い、大規模津波後においても現在位置を確認できるようにする。



システム概念図

8

海域実験

- 無人の土運船にClass-B AISを搭載し、その挙動をモニタリングする海域実験を、西宮港にて実施予定。



西宮港沖防波堤の土運船

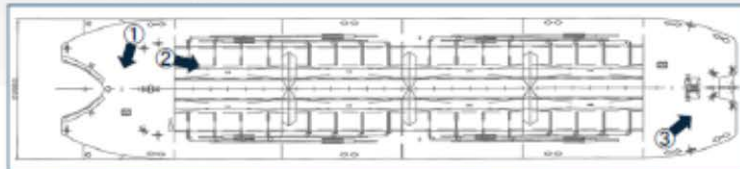


実験予定の土運船

9

無人土運船

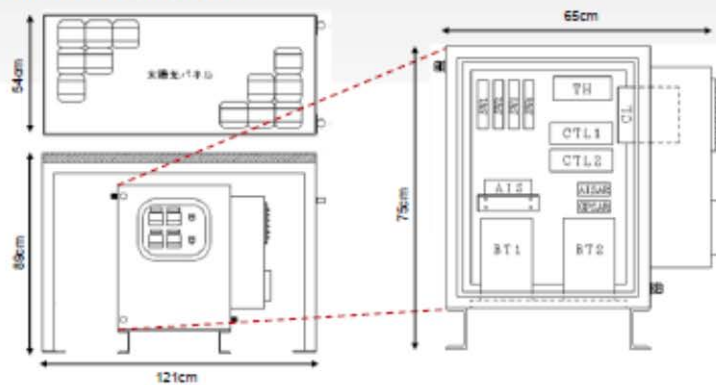
- 実験予定の土運船は、防波堤係留及び海域錨泊を1隻ずつ設定する。AISは土運船の船尾部に設置予定。



10

AISシステム

- 無人船には電源がない。そのため、太陽電池、バッテリーを含めたシステムを作成し、無人船に搭載する。



11

AISシステムの現状

- 現在, AISシステムを作成中.



L×W×H: 11.6×11.5×3.7cm

Class-B AIS (e-chart B100)



作成中の筐体(防錆メッキ・塗装前)

12

海域実験の目的

- 集中モニタリング(当初3ヶ月)
 - 初期の作動確認
 - AIS信号の発信状況の確認 ⇒ 船舶の挙動を追えているかどうか
 - バッテリー残量 ⇒ バッテリー容量が適切かどうか
 - 太陽光パネルの状況 ⇒ 塩水及び鳥の糞
- 作動確認(集中モニタリング後の9ヶ月)
 - 夏季における温度上昇に対する耐久性確認 ⇒ クーラーの必要性の有無
 - 荒天時における作動確認 ⇒ 浸水しないことの確認
 - 長期間での耐久性確認 ⇒ 塩害, 腐食への耐久性

13

臨海部への乗り上げ対策の観点

- 西宮市では、大規模津波襲来時の、土運船の臨海部へ乗り上げを危惧している。本研究のシステムがあれば、住民への警報等にも応用可能である。

西宮市議会だより

西宮港の土運船は、大規模津波襲来時に、西宮港の臨海部へ乗り上げを危惧している。本研究のシステムがあれば、住民への警報等にも応用可能である。



西宮港の土運船

西宮港の土運船は、大規模津波襲来時に、西宮港の臨海部へ乗り上げを危惧している。本研究のシステムがあれば、住民への警報等にも応用可能である。

西宮港から土運船の撤去を

西宮港の土運船は、大規模津波襲来時に、西宮港の臨海部へ乗り上げを危惧している。本研究のシステムがあれば、住民への警報等にも応用可能である。

システム応用案

- 大規模津波襲来により土運船が流され始める
- AIS信号でのリアルタイム追跡により、陸地まで一定距離に近づいたことを判定
- 自動的に市対策本部等へ連絡（⇒住民等への警報）

14

まとめ

- 大規模津波後において、港湾BCPに基づき、速やかに航路啓開等の海上工事を実施するためには、作業船の確保が非常に重要である。
- AISを活用して、大規模津波後の作業船の位置を自動的に確認するモニタリング・システムを開発中である。その中で、西宮港沖の無人土運船にAISシステムを搭載する海域実験を実施予定である。

15

Thank You for Your Kind Attention!

（一財）港湾空港総合技術センターの平成26年度研究
開発助成をいただいています。

国土交通省神戸港湾事務所，株式会社IMC及び東洋建設
株式会社のご協力をいただいています。