

自動係留装置の導入・運用に向けて ～全国初「自動係留装置導入ガイドライン(案)」策定～

北陸地方整備局	新潟港湾空港技術調査事務所	会員	〇一越	愛莉
北陸地方整備局	新潟港湾空港技術調査事務所	会員	羽田	広希
北陸地方整備局	新潟港湾空港技術調査事務所	会員	森橋	里菜
北陸地方整備局	新潟港湾空港技術調査事務所	会員	山下	裕之
北陸地方整備局	港湾空港部	会員	市川	千紘

1. はじめに

我が国の港湾政策における中長期的な方向性を示す「PORT2030」では、「次世代高規格ユニットロードターミナル」の形成が提唱されている。その実現に向けては、船舶の離着岸の迅速化と安全性向上が求められており、海外では実用化されている自動係留装置の導入により、離着岸作業の効率化および安全性向上が期待されている。一方で、福井県敦賀港は、関西・中京地域と北海道を結ぶ国内物流の結節点であり、内航フェリーおよびRORO船が就航し、内貿ユニットロード貨物が取り扱われている。

北陸地方整備局では、同港の鞠山南地区において、国内の公共岸壁で初めて自動係留装置を試験的に導入し、現地実証試験をふまえて導入効果の検証を行うとともに、自動係留装置導入ガイドライン（案）（以下「本ガイドライン」という。）を策定し、2025年10月に新潟港湾空港技術調査事務所のホームページにて公表した。

本稿では、敦賀港における現地実証試験および本ガイドラインの策定を通じて得られた知見をもとに、自動係留装置の導入効果と導入・運用時の主な留意点等を報告する。

2. 自動係留装置の概要

自動係留装置とは、船体を機械的に係留する装置である。本ガイドラインでは、吸着式、ワイヤー式およびその他の方式に分類している。

敦賀港では、当時世界的に普及していた吸着式（吸引式）の自動係留装置を採用した。

自動係留装置は船体に吸着後、アームの伸縮により船体を固定するとともに、風や波浪などにより生じる船体変位を抑制する。また、岸壁上から少人数で操作が可能である。（図-1、図-2）

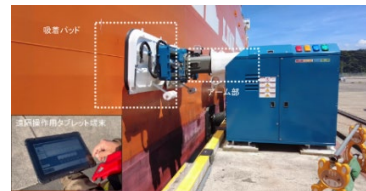


図-1 自動係留装置の構成

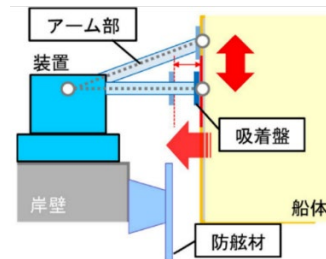


図-2 自動係留装置 係留機構図

3. 自動係留装置技術検討委員会の設置

国内の公共岸壁で初となる自動係留装置の導入に向け、2020年8月に「自動係留装置技術検討委員会」を設置した。同委員会では、2025年3月までに計10回の審議を行い、導入計画、現地実証試験および本ガイドラインの策定について検討した。

4. 敦賀港における現地実証試験概要

(1) 自動係留装置の所要基数と実施箇所

敦賀港における自動係留装置の所要基数は、風・潮流および波浪条件を考慮して6基とした。

現地実証試験は、図-3に示す敦賀港鞠山南地区A、B岸壁とし、対象船舶は敦賀港に就航する北海道航路および九州航路のRORO船2隻ならびにフェリー1隻とした。



図-3 現地実証試験実施箇所

(2) 2022～2023年度の現地実証試験方法

2022～2023年度は、非荷役作業時（空載時）のRORO船およびフェリーを対象に実施した。

係留方法をSTEP1（係留索のみ）、STEP2（係留索・自動係留装置併用）およびSTEP3（自動係留装置のみ：係留索を緩める）とし、各STEPにおける船体動揺量および係留作業時間を計測した。なお、船体動揺量はRTK-GNSSを用いて計測した。

(3) 2024年度の現地実証試験方法

2024年度は、RORO船を対象に実施した。

STEP1（係留索のみ）とSTEP2（係留索・自動係留装置併用）における船体動揺量を計測し、自動係留装置による動揺量低減効果を検証した。

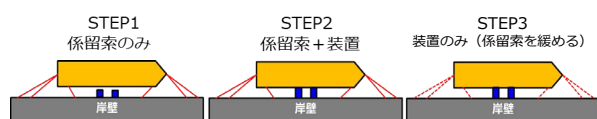


図4 船体動揺量計測時の係留方法

5. 係留作業効率化効果の検証

現地実証試験の結果、風・波浪が静穏な条件下では、フェリーを対象に低速で接岸することで、係留索を使用せず、自動係留装置のみによる係留が可能であることを確認した。（図-5）

また、船舶が十分な操船能力を有し、船体位置の微調整が比較的容易なL型岸壁などの岸壁形状であれば、自動係留装置および防舷材のみによる離着岸が可能であることが明らかとなった。

将来的に係留索を使用せず自動係留装置のみで離着岸が可能となった場合、係留作業に伴う船員・作業員の負担軽減や係留索切断等による死傷リスクの低減が期待される。

特に離岸時には、網外し作業時間が2～3分程度削減される可能性があり、非常時における迅速な離岸（クイックリリース）にも有効と考えられる。

一方、船種や岸壁利用条件によっては、係留索による位置調整が必要となるため、着岸時の係留作業効率化効果が限定的となる場合も確認された。

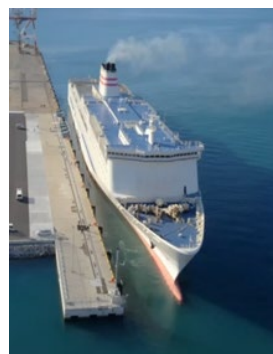


図-5 フェリーによる自動係留装置離着岸状況

6. 動揺量低減効果の検証

(1) 非荷役作業時（空載時）の動揺量低減効果

2022～2023年度の現地実証試験において、非荷役作業時（空載時）の船体動揺量を比較した結果、STEP1（係留索のみ）と比べて、STEP2（係留索・自動係留装置併用）およびSTEP3（自動係留装置のみ）では、SurgeおよびSway成分が減少した。特に事例1ではSurgeが約7～8割、Swayが約3～4割低減した。また、Roll成分についても約3～6割低減した。

一方、HeaveおよびPitch成分は約1～3割増加する傾向がみられた。以上より、自動係留装置はSurge、SwayおよびRoll成分に対して動揺量低減効果を有することを確認した。

(2) 荷役作業時（積載時）の動揺量低減効果

2024年度の現地実証試験において、荷役作業時（積載時）の船体動揺量を比較した結果、STEP1（係留索のみ）に対してSTEP2（係留索・自動係留装置併用）では、Surgeが約0～5割、Swayが約4～6割、Rollが約2～6割減少した。

以上より、荷役作業時においても自動係留装置による動揺量低減効果を確認した。また、港湾事業者へのヒアリングでは、車両運転が行いやすくなったとの意見も得られており、荷役作業時の安全性および作業効率の向上が期待される。

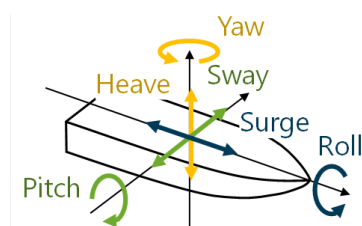


図-6 船体動揺量成分

表-1 非荷役作業時の実験条件

項目	事例1 (2022/11/14)		事例2 (2023/12/18)	
船舶	RORO 船		RORO 船	
岸壁	鞆山南 A 岸壁		鞆山南 B 岸壁	
係留方法	STEP1	STEP3	STEP1	STEP3
係留索/装置	6 本	6 基	8 本	5 基
平均風向	NNW	NNW	NNW	N
平均風速	7.7m/s	6.2m/s	3.5m/s	5.2m/s
有義波高	0.19m	0.17m	0.16m	0.19m
ピーク周期	10.4s	10.7s	10.3s	10.7s

表-2 非荷役作業時の船体動揺量の比較

計測日	係留方法	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
事例1	STEP1	0.10m	0.04m	0.04m	0.82°	0.07°	0.12°
	STEP2	0.03m	0.03m	0.05m	0.58°	0.07°	0.10°
	STEP3	0.02m	0.03m	0.06m	0.51°	0.08°	0.09°
	STEP2/STEP1	24%	64%	124%	70%	106%	84%
	STEP3/STEP1	22%	62%	131%	62%	109%	74%
計測日	係留方法	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
事例2	STEP1	0.05m	0.03m	0.02m	0.68°	0.06°	0.09°
	STEP2	0.03m	0.03m	0.02m	0.26°	0.06°	0.11°
	STEP3	0.02m	0.03m	0.02m	0.40°	0.07°	0.07°
	STEP2/STEP1	63%	88%	88%	37%	113%	119%
	STEP3/STEP1	41%	94%	100%	58%	122%	80%

表-3 荷役作業時の実験条件

調査番号	実施日時	風向	平均風速 (m/s)	最大瞬間風速 (m/s)	有義波高 (m)	ピーク周期 (s)
①	2024/12/21	W	5.8~9.6	9.1~18.5	0.20	9.7~10.7
②	2025/1/15	N	3.2~7.4	5.3~12.4	0.20	9.8
③	2025/2/9	WSW	2.5~6.3	5.4~9.6	0.10	9.8
④	2025/2/18	NNW	11.3~13.8	15.8~22.0	0.40	9.8~10.0
⑤	2025/2/21	S	1.5~2.3	2.3~3.4	0.05	8.5

表4 荷役作業時における船体動揺量の比較

調査項目	係留状態	係留索本数 装置基数	動揺量有義値					
			Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Roll (°)	Pitch (°)	Yaw (°)
①	係留索	10本	0.062	0.040	0.035	0.943	0.087	0.079
	係留索+装置	〃 + 5基	0.028	0.020	0.039	0.703	0.080	0.065
	動揺量比		45%	50%	111%	75%	92%	82%
②	係留索	8本	0.037	0.038	0.034	0.565	0.090	0.052
	係留索+装置	〃 + 5基	0.024	0.014	0.032	0.359	0.089	0.052
	動揺量比		65%	37%	94%	64%	99%	100%
③	係留索	8本	0.036	0.029	0.024	0.452	0.067	0.040
	係留索+装置	〃 + 5基	0.032	0.013	0.025	0.339	0.061	0.044
	動揺量比		89%	45%	104%	75%	91%	110%
④	係留索	10本	0.032	0.039	0.037	0.592	0.094	0.060
	係留索+装置	〃 + 5基	0.032	0.021	0.040	0.356	0.112	0.037
	動揺量比		100%	54%	108%	60%	119%	62%
⑤	係留索	8本	0.044	0.024	0.024	0.525	0.071	0.071
	係留索+装置	〃 + 5基	0.020	0.009	0.017	0.179	0.052	0.030
	動揺量比		46%	38%	71%	34%	73%	42%

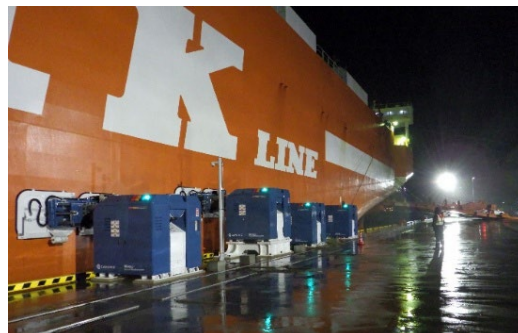


図-7 2024年度現地実証試験の様子

7. 自動係留装置導入・運用時の留意点等

敦賀港における現地実証試験結果を踏まえ、本ガイドラインで整理した自動係留装置の導入・運用時における主な留意点を報告する。

(1) 自動係留装置必要性の判断

まず、自動係留装置の導入にあたっては、対象施設において、通常時の船舶係留および荷役作業時の課題を検討する必要がある。

自動係留装置導入を検討する対象施設・船舶において、係留作業の担い手不足等により係留作業の省力化が望まれているかを事前に把握する必要がある。また、省力化が望まれている場合でも、自動係留装置導入効果が小さい場合も考えられる。

例えば、作業員が係留作業と荷役作業を連続して行っており、係留作業のみを省力化できたとしても全体の拘束時間が変化しない場合もある。また、荷役作業の運用実態によっては、定まった位置での係留が必要となり、現状の操船能力により、係留索による係留を選択する場合もある。

従って、自動係留装置導入にあたっては、係留および荷役作業の運用実態を踏まえて、自動係留装置導入による効果が十分に期待されるかや、導入に際し必要となる費用等について、事前に関係者間で十分に協議を行った上で決定する必要がある。

自動係留装置の導入効果は、対象施設や船舶の条件によって異なるため、事前評価が重要となる。

(2) 船体条件の把握

自動係留装置を用いて係留する船舶に対して、自動係留装置が吸着するためには、水面から上に出ている船体側面（乾舷）が十分に確保されている必要がある。

また、自動係留装置の吸着に障害が生じないように、船体表面は平板であり、突起物が存在しないことも必要である。

排水口、船体防舷材、通用口等の突起物がある場合には、自動係留装置の配置見直しや架台による嵩上げなど、自動係留装置の吸着範囲を検討する必要がある。

(3) 係留施設条件の把握

対象施設については、係船曲柱、防舷材、車止め、クレーンレール等の附帯設備や、係留索との位置関係、電源供給方法を事前に把握しておく必要がある。

吸着式の場合は、防舷材や受衝板と吸着アームが干渉しないように配置する必要がある。

また、荒天時に係留索との併用を想定する場合は、係留索破断時のスナップバックゾーンを避けて配置することが望ましい。

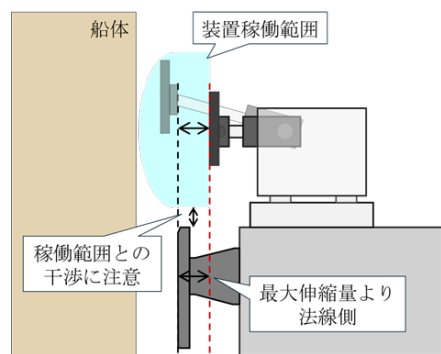


図-8 自動係留装置と防舷材の位置関係

(4) 自動係留装置の運用方法

自動係留装置は機械製品であり、定期的な部品交換等を行いながら、故障・部材劣化等に対する計画的かつ適切な点検診断・維持補修を実施することにより、供用期間中は自動係留装置の係留性能を十分に確保する必要がある。

敦賀港に導入された自動係留装置の事例では、自動係留装置メーカーとのメンテナンスサービス契約や消耗部品の交換は年に1回程度、その他の定期点検は5年毎、自動係留装置導入から10年後にオーバーホール点検を行い、計画的な部品交換が必要である。

また、自動係留装置を稼働させるための電気代や予備品の保管費用なども必要となる。

(5) 費用対効果の事前確認

自動係留装置の導入により、係留作業効率化や動揺量低減効果が期待される一方、維持管理費用が継続的に発生する。このため、導入による便益と供用期間中の費用を比較し、十分な費用対効果が得られるか事前に確認する必要がある。

(6) 地震・津波などの災害発生時の対応

地震・津波などの災害により停電が発生した場合でも、敦賀港に導入された自動係留装置は、吸着パッドの真空状態が維持される限り、一定時間係留状態を継続できるとされている。船舶漂流のリスクを防止するため、無停電電源装置による電源供給時間は、対象船舶のエンジン稼働や係留索展開に要する時間より長く確保する必要がある。

緊急離脱時には、対象施設上からの操作や本体の真空開放バルブ操作により比較的短時間で切り離しが可能である。

そのため、停電訓練等を実施し、緊急時の対応手順をあらかじめ確認しておく必要がある。

8. 最後に

本ガイドラインは、敦賀港における技術的検討および実証試験で得られた知見をとりまとめたものである。

今後、本ガイドラインが敦賀港のみならず、全国の港湾における自動係留装置の導入検討に活用されることで、本技術の普及・発展が進み、港湾物流の省力化、安全性向上および生産性向上に寄与することが期待される。また、本実証試験で得られた知見が自動係留装置の全国展開に向けた一助となり、将来的には係留作業の標準技術として定着し、PORT2030が目指すSmart Portの実現に貢献することを期待する。

謝辞：現地実証試験にあたり、近海郵船株式会社、新日本海フェリー株式会社、敦賀海陸運輸株式会社には、船舶運航および離着岸作業にご協力いただいた。さらに、自動係留装置導入効果の取りまとめおよび本ガイドラインの策定に際し、自動係留装置技術検討委員会の委員の方々より貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表す。