

土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査結果報告書

令和 5 年 5 月

土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会

委員長 大村 智宏

委 員 楠川 量啓

委 員 真壁 朝敏

委 員 吉田 儀弘

目次

1. 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会について	・ ・ ・ ・ ・ 1
2. 土佐黒潮牧場の整備状況について	・ ・ ・ ・ ・ 3
3. 土佐黒潮牧場 15 号離脱事故の状況	・ ・ ・ ・ ・ 5
4. 離脱事故の発生原因に関する調査概要	・ ・ ・ ・ ・ 6
5. 離脱事故の発生原因に関する調査結果	・ ・ ・ ・ ・ 18
6. 土佐黒潮牧場 15 号の再設置に係る改善策の提言	・ ・ ・ ・ ・ 19

1. 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会について

令和 4 年 9 月 18 日に発生した高知県表層型浮魚礁土佐黒潮牧場（以下、「黒牧」という。）15 号の離脱事故に関し、発生原因と再設置の際の改善方法を検討するため、学識経験者で構成される土佐黒潮牧場離脱原因調査委員会を設置した（表 1-1）。

令和 5 年 2 月 3 日から 5 月 11 日までに 3 回の委員会を開催し（表 1-2）、設計及び施工方法、回収したブイ及びチェーンの状況、設置海域の海底地質、設置後に経験した気象海象状況、浮体の振れ回り状況、他県の事例等について調査し、離脱原因の推定と黒牧 15 号の再設置に係る改善策の提言を行った。

表 1-1 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会

所 属	役 職	氏 名
国立研究開発法人 水産研究教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部水産基盤グループ	主幹研究員	大村 智宏
高知工科大学 システム工学群	教授	楠川 量啓
琉球大学 工学部 工学科機械工学コース	名誉教授	真壁 朝敏
一般社団法人 マリノフォーラム 21	技術顧問	吉田 儀弘

表 1-2 土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会の開催概要

	日時・場所・出席者・審議内容
第 1 回	【日時】 令和 5 年 2 月 3 日（水）13:30～16:00 【場所】 高知県職員能力開発センター201（WEB 会議併用） 【出席者】 委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘 オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、中原修（浮魚礁メーカー兼設置回収業者） 事務局：津野健太郎、長岩理央、漆山明日美、池田博文、谷本直文、片岡 聡、池添 央 【審議内容】 （1）高知県の表層型浮魚礁の整備状況について （2）土佐黒潮牧場 15 号の諸元等について （3）土佐黒潮牧場 15 号の流出経緯及び回収状況について （4）原因推定にかかる諸データについて （5）本県及び他県の流出事例について （6）その他

第2回	【日時】 令和5年3月29日（水）13:00～14:30 【場所】 高知県海区漁業調整委員会室（WEB 会議併用） 【出席者】 委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘 オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、中原修（浮魚礁メーカー兼設置回収業者） 事務局：津野健太郎、長岩理央、池田博文、谷本直文、池添 央 【審議内容】 （1）第1回委員会の議事要点について （2）第1回委員会で提案された調査・確認事項への回答について （3）流出原因の推定（案）と改善の方向性に関する提言（案）について （4）その他
第3回	【日時】 令和5年5月11日（木）13:30～14:15 【場所】 高知県海区漁業調整委員会室（WEB 会議併用） 【出席者】 委員：大村智宏、楠川量啓、真壁朝敏、吉田儀弘 オブザーバー：桐山和晃、笠原宏紹、川井田斉（浮魚礁メーカー兼設置回収業者） 事務局：津野健太郎、井上久美賀、長岩理央、池田博文、谷本直文、片岡 聡、有田大晟 【審議内容】 （1）委員会とりまとめ資料の内容について （2）その他

2. 土佐黒潮牧場の整備状況について

高知県では、カツオやマグロ類等の回遊性魚類を対象とした漁場形成を目的に、昭和 59 年から表層型浮魚礁「土佐黒潮牧場（図 2-1）」の整備を開始した（表 2-1）。平成 22 年からは、土佐湾全域に配置した 15 基の黒牧について、耐用年数 10 年を経過したものから順次撤去・更新を行いながら 15 基体制を維持している（図 2-2）。

表 2-1 土佐黒潮牧場の設置実績

土佐黒潮牧場 号数	供用	設置年月	供用期間	設置水深 (m)	備考
1 号	—	昭和59年12月	2 年	550	昭和61年12月撤去
2 号	—	昭和62年 3 月	6 年 9 ヶ月	750	平成 5 年12月撤去
3 号	—	昭和63年 3 月	8 年11ヶ月	550	平成 9 年 2 月撤去
4 号	—	平成元年 3 月	7 年	750	平成 8 年 3 月撤去
5 号	—	平成 2 年 2 月	7 年 1 ヶ月	700	平成 9 年 3 月撤去
6 号	—	平成 4 年 2 月	14年	815	平成18年 2 月撤去
	—	平成18年 3 月	10年	820	平成28年 3 月撤去
	○	平成28年 3 月		820	
7 号	—	平成 5 年 2 月	5 年11ヶ月	750	平成11年 1 月撤去
8 号	—	平成 7 年 2 月	10年11ヶ月	325	平成18年 1 月撤去
	—	平成18年 1 月	10年 1 ヶ月	325	平成28年 2 月撤去
	○	平成28年 2 月		1,030	※設置位置変更
9 号	—	平成 7 年 2 月	9 年 9 ヶ月	760	平成16年11月撤去
	—	平成17年 2 月	10年 1 ヶ月	770	平成27年 3 月撤去
	○	平成27年 3 月		245	※設置位置変更
10 号	—	平成 8 年 3 月	5 年 3 ヶ月	750	平成13年 6 月離脱
	—	平成15年 3 月	9 年11ヶ月	750	平成25年 2 月撤去
	○	平成25年 3 月		775	
11 号	—	平成 8 年 2 月	8 年 8 ヶ月	760	平成16年10月離脱
	—	平成19年 2 月	10年 9 ヶ月	770	平成29年11月撤去
	○	平成29年12月		870	
12 号	—	平成 9 年 3 月	10年	560	平成19年 3 月撤去
	—	平成19年 4 月	9 年10ヶ月	595	平成29年 2 月撤去
	○	平成29年 3 月		590	
13 号	—	平成 9 年 3 月	5 年10ヶ月	710	平成15年 1 月離脱
	—	平成16年 4 月	9 年11ヶ月	730	平成26年 3 月撤去
	○	平成26年 3 月		730	
14 号	—	平成10年 3 月	10年 4 ヶ月	850	平成20年 7 月撤去
	—	平成20年 7 月	10年 8 ヶ月	850	平成31年 3 月撤去
	○	平成31年 3 月		850	
15 号	—	平成10年12月	1年 3 ヶ月	1,300	平成12年 3 月離脱
	—	平成13年 4 月	11年	1,300	平成24年 4 月撤去
	—	平成24年 5 月	10年 4 ヶ月	1,280	令和 4 年 9 月離脱
16 号	—	平成11年12月	8 年 3 ヶ月	750	平成20年 3 月離脱
	—	平成22年 3 月	11年	755	令和 3 年 3 月撤去
	○	令和 3 年 5 月		755	
17 号	—	平成11年12月	5 年 9 ヶ月	1,050	平成17年 9 月離脱
	—	平成20年 8 月	11年11ヶ月	1,055	令和 2 年 7 月撤去
	○	令和 2 年11月		1,050	
18 号	—	平成13年 3 月	10年 7 ヶ月	790	平成23年10月撤去
	○	平成23年11月		795	
19 号	—	平成23年 2 月	10年 3 ヶ月	1,160	令和 3 年 5 月撤去
	○	令和 3 年 5 月		1,160	
20 号	—	平成22年10月	11年 2 ヶ月	710	令和 3 年 12月撤去
	○	令和 4 年 1 月		710	
21 号	—	平成22年11月	11年 5 ヶ月	1,640	令和 4 年 4 月撤去
	○	令和 4 年 4 月		1,640	

[illegible]

3. 土佐黒潮牧場 15 号離脱事故の状況

3-1. 離脱の経過

令和4年9月18日20時に離脱判定距離（半径2マイル）を0.05マイル逸脱したことから、黒牧監視システムから離脱警報が発信され、その後も北西方向への浮体の移動が継続し、設置位置からの距離が2.79マイルに拡大したことから離脱と判断した。

その後、離脱距離は3.71マイルまで拡大したものの、翌19日14時以降はほとんど位置が変わらなくなり、浮体の漂流は停止した。停滞していた浮体は、10月4日に北東方向に再び漂流を開始し、翌5日に停止した。

3-2. 離脱事故当日の気象状況

離脱当日は台風14号が高知県に接近しており（図3-1）、離脱警報が発信された20時時点の有義波高は740cm、風速は17.8m/sであった（図3-2）。

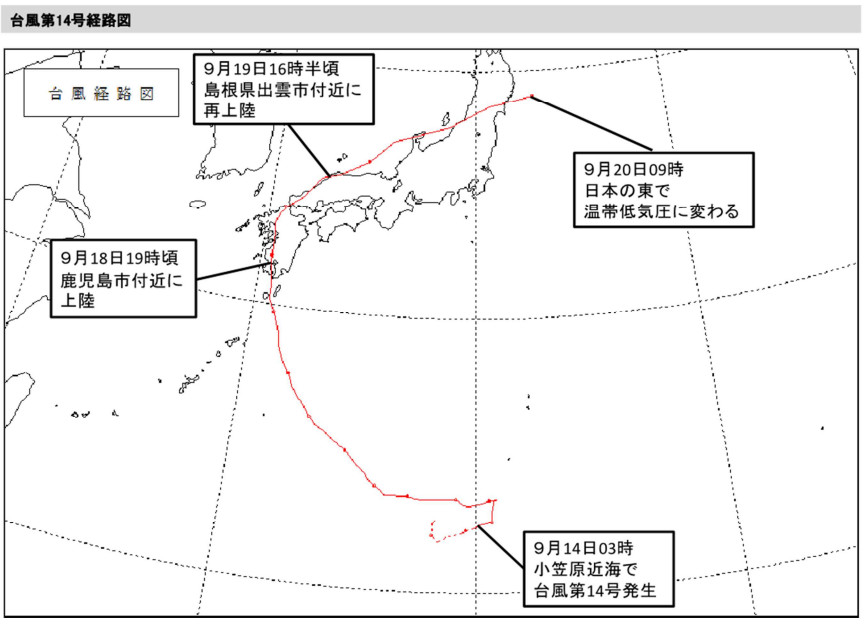


図 3-1 台風 14 号の経路
(出典：気象庁)

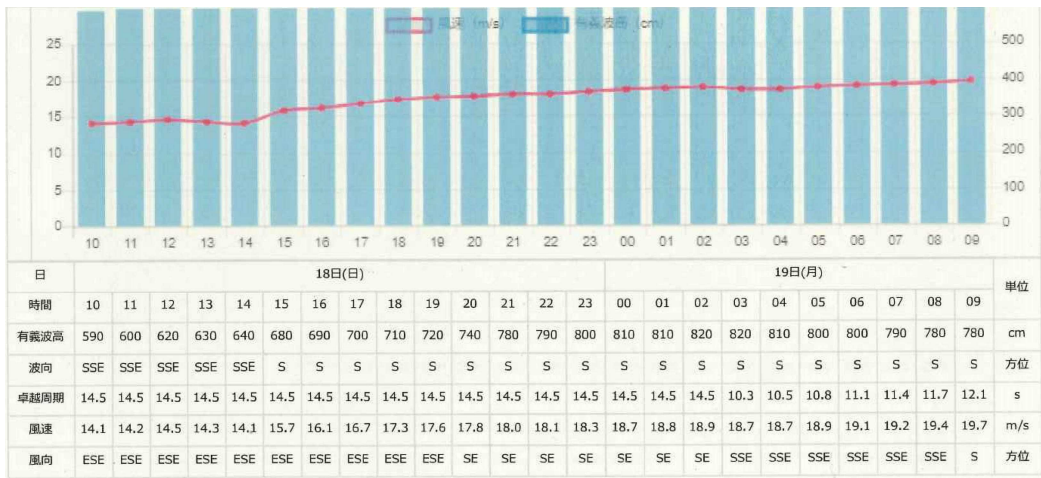


図 3-2 黒牧 15 号離脱前後の有義波高及び風速（出典：高知県作業船位置・回航情報システム）

3-3. 回収の経過

10月23日に浮体及び残存係留索の回収工事を実施し、浮体及び係留索のうち下部補強鎖中部（φ124mm、長さ80m）の21リンク目までを回収した（※21リンク目以深は回収できなかった）。回収したものについては、同月31日に係留索を門司港、浮体を北九州市若松港に陸揚げした。

4. 離脱事故の発生原因に関する調査概要

4-1. 土佐黒潮牧場15号の設計自然環境条件及び諸元

離脱した黒牧15号は平成24年5月25日に室戸岬の東方沖合（北緯33度17分12秒、東経134度29分10秒）に設置されたものである。

設計にあたっては、風速（ U_{10} ）60.0m/s、有義波高（ $H_{1/3}$ ）12.5m、最大波高（ H_{max} ）25.0mなどを自然環境条件に採用しており（表4-1）、これらの値は他の黒牧の設計自然環境条件と同じである。なお、自然環境条件については、黒牧の耐用年数が10年であることから、再現期間（一定の強度を持った自然現象が再び発生するまでの期間）は30年（MF21浮魚礁設計・施工技術基準（平成4年3月）に準じて算出）を適用している。

表4-1 黒牧15号の設計自然環境条件

項目		値
水深		1,280m
風速	U10	60.0m/s
	U60	57.0m/s
波	有義波高（ $H_{1/3}$ ）	12.5m
	最大波高（ H_{max} ）	25.0m
	周期	16.0sec
海水流速	深度0m	2.32m/s
	深度700m	0.00m/s
吹送流速	表面流速（ブイ用）深度0m	1.71m/s
	表面流速（係留索用）深度0m	1.02m/s
	深度50m以深	0.00m/s
海底勾配		1/140
底質		シルト

黒牧15号の基本形状及び諸元を表4-2に示す。設計は本県に設置している他の浮魚礁と同じ手法で行っており、今回破断した下部補強鎖中部も含めた係留索の呼び径は、過去の本県浮魚礁の回収品の調査結果に基づいて、本県の他の浮魚礁と同様、摩耗後の破断強度（10年後の残存強度）が係留索の最大発生張力に対して安全率3以上となるように設計されており（表4-3）、設計上の問題は認められない。

表 4-2 黒牧 15 号の基本形状及び諸元

項目			諸元
ブイ本体	全高		11.351m
	浮体高		3.1m
	浮体外径		9.5m
	全重量		462.8 kN
	全浮力		2067.9 kN
係留システム	係留システム		1 点緩係留方式
	鎖	上側鎖 (No. 1※)	長さ 25m、呼び径 ϕ 105mm
		下部補強鎖上部 (No. 3)	長さ 25m、呼び径 ϕ 97mm
		下部補強鎖中部 (No. 4)	長さ 80m、呼び径 ϕ 124mm
		下部補強鎖下部 (No. 5)	長さ 25m、呼び径 ϕ 92mm
		下部鎖一般部 (No. 6)	長さ 540m、呼び径 ϕ 87mm
	ワイヤーロープ	スパイラルロープ (No. 2)	長さ 140m + 540m + 515m, 外径 101.5mm
	アンカー	ダンフォース型アンカー	重量 248.9 kN

※表中の No. は図 4-1 の No. に対応

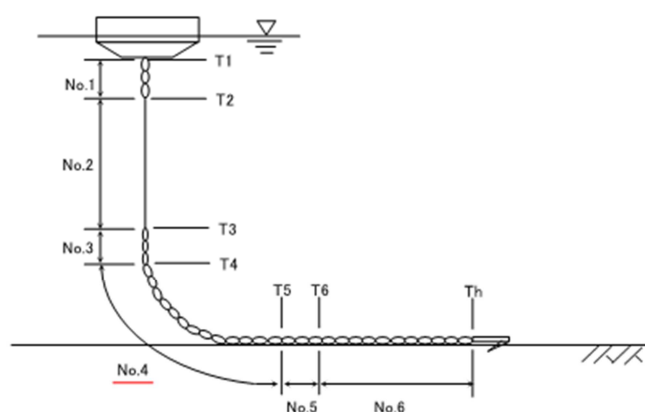


図 4-1 黒牧 15 号係留システムの概略
(No. 4 の上から約 10m の部分で破断)

表 4-3 係留鎖の破断強度

鎖名称	呼び径 (mm)	摩耗代 (mm)	摩耗後の長径 /短径 (mm)	相当径 (mm)	摩耗後の破断強度 (kN)	安全率
下部補強鎖上部	ϕ 97	20	97/77	85.5	5,323	3.04
下部補強鎖中部	ϕ 124	58	124/66	85.1	5,274	3.07
下部補強鎖下部	ϕ 92	20	92/72	80.4	4,761	3.05
下部鎖一般部	ϕ 87	10	87/77	81.6	4,888	3.19

また、黒牧 15 号の設置工事では海上展張方式を採用しているが、本県では、かつては舷側吊下方式（ワインディング方式）で黒牧を設置していたが、この施工方法を原因とする係留索のキンクによる離脱事故が相次いで発生したため、平成 13 年の黒牧 18 号の設置工事から海上展張方式を採用しており、施工方法の変更以降、今回まで離脱事故は発生していないことから、施工方法に問題があった可能性は低いと判断される。

4－2．回収した浮体及び係留索の状況

浮体は、過去に発生した船舶衝突の痕跡が残っていたものの、新しい衝突痕は確認されず、機器室内及び機器の損傷もなかったことから、本事故が船舶の衝突によるものである可能性は低いと考えられる。

係留索は、係留環、上側鎖の摩耗量は設計摩耗量以下（係留環（実績、設計）：2.3mm/年、18.6mm/年；上側鎖端末リンク（係留環（実績、設計）：1.1mm/年、11.9mm/年）であり、スパイラルロープにも目立った損傷はなく、下部補強鎖上部にも著しい摩耗は認められなかった。

一方、下部補強鎖中部は浮体側から 21 リンク目を最終としてそれ以降のリンクは繋がっておらず、21 リンク目のアンカー側は破断していなかったことから（図 4-2）、21 リンク目以降のリンクが破断して流出に至ったものと考えられる。

回収した下部補強鎖中部を詳細に調査したところ、リンク連結部のリンク厚は No. 12 リンク目から、リンク断面積は No. 14 リンク目から摩耗が確認され、No. 17 以降は安全率 3 以下、No. 19 以降は安全率 1 以下となっており（図 4-3）、黒牧 15 号の下部補強鎖中部は No. 17～21 の 5 リンクに想定を超える異常な摩耗が発生していた。また、残存強度試験の結果、No. 18～20 のリンクは試験荷重 680kN で破断した。



図 4-2 回収した下部補強鎖中部の末端（写真左が浮体側、右がアンカー側、写真一番右が 21 リンク目）

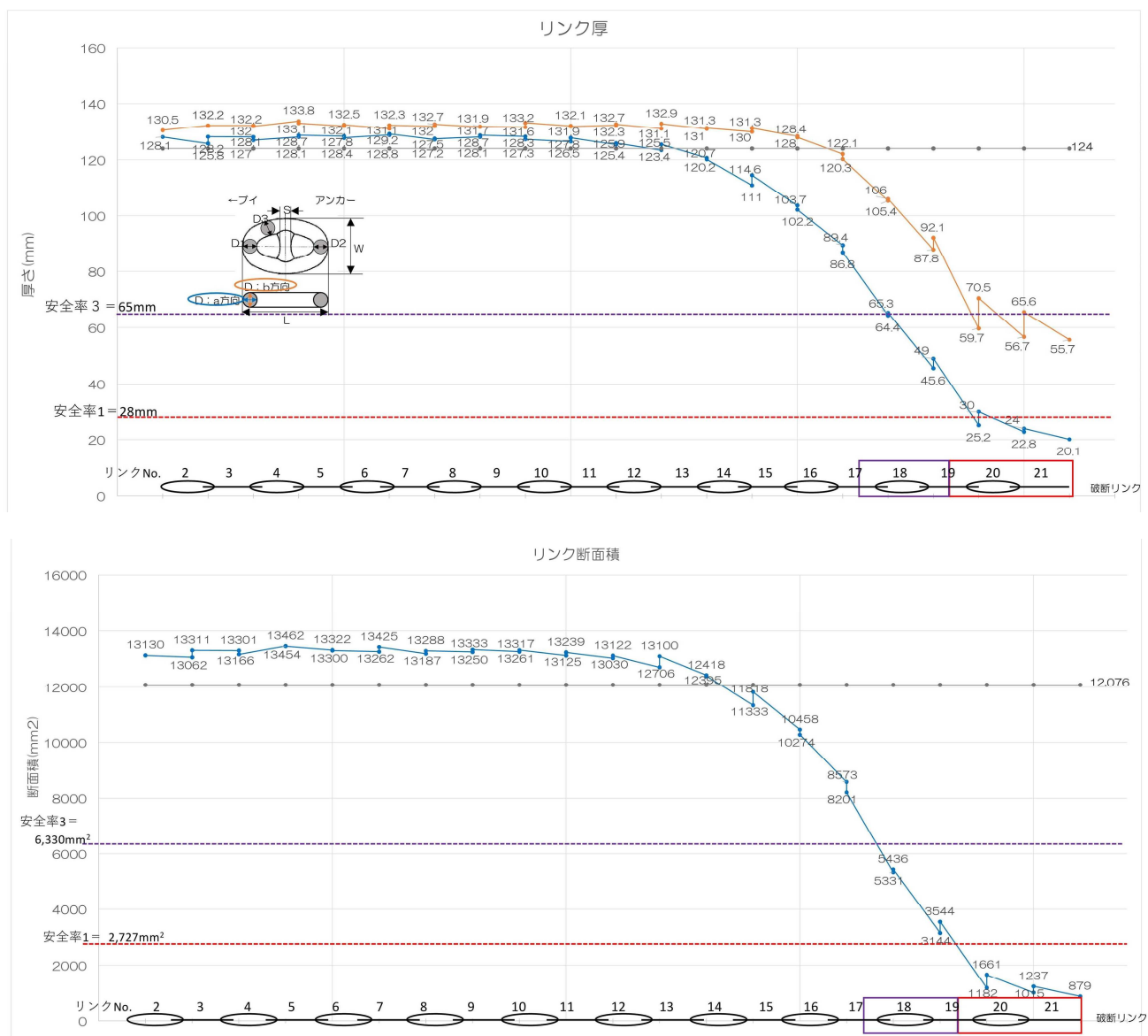


図 4-3 黒牧 15 号の下部補強鎖中部のリンク厚及び断面積

4-3. 他の黒牧との摩耗実績及び海底地形の比較

これまでに回収したいくつかの他黒牧のチェーンの摩耗実績と比較しても、離脱した黒牧 15 号の下部補強鎖中部の急激な摩耗は特異的であった（図 4-4）。また、これまでに回収調査を行った黒牧 17 基のうち、下部補強鎖中部の摩耗量が設計摩耗量 58mm を上回った事例は、今回の事例を除いて 1 例もなかった（図 4-5）。なお、下部補強鎖中部の摩耗量と海底地質に関連性は認められなかった（表 4-4）。

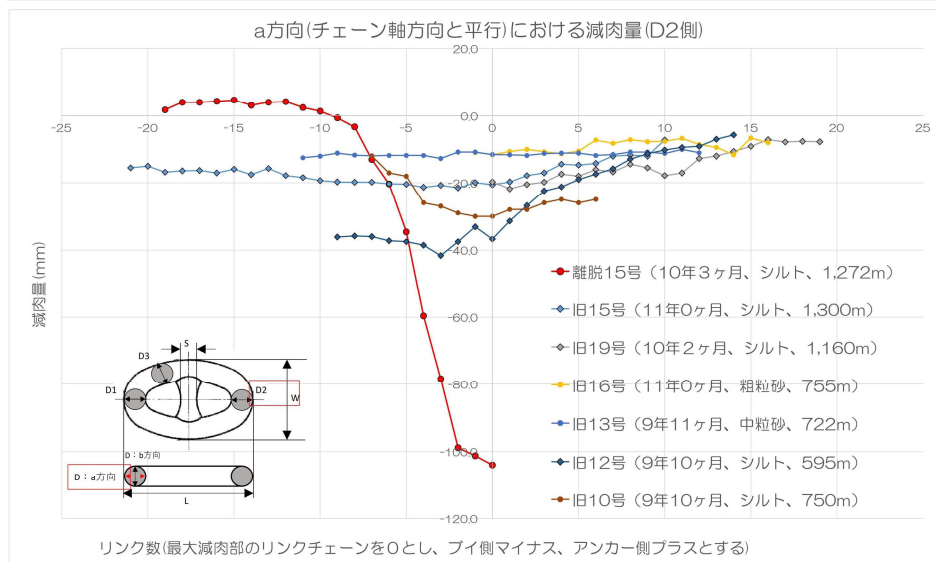
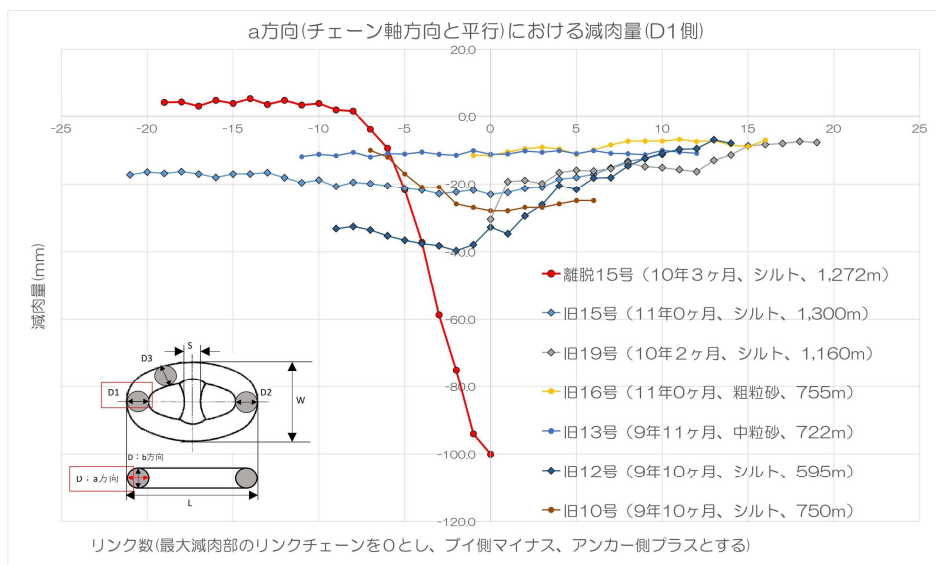


図 4-4 離脱した黒牧 15 号と他黒牧 6 基のチェーン摩耗量の比較

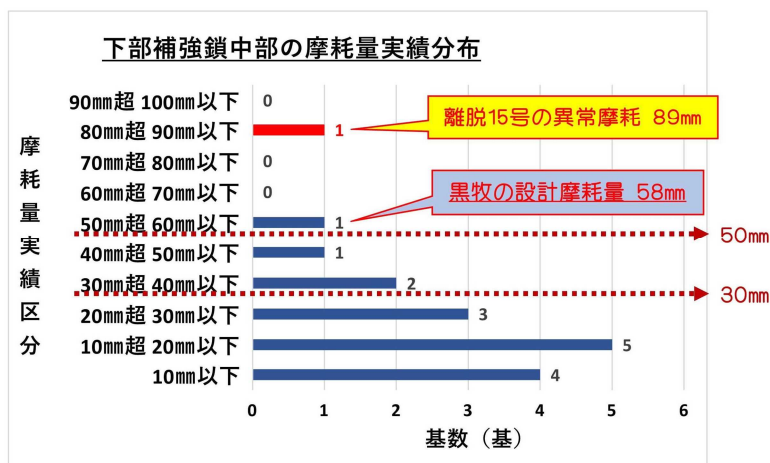


図 4-5 下部補強鎖中部の摩耗量実績分布(摩耗量は a 方向と b 方向の平均)

補足 1) 水産庁所管 表層型浮魚礁の海底立上り部チェーンの参考摩耗量= 2~3mm/年(10 年で 20~30mm)

※「MP21 浮魚礁設計・施工技術基準」(平成 4 年 3 月:(社)マリノフォーラム 21)による海底との摩擦の可能性のあるチェーンの腐食・摩耗代の追跡調査報告事例

補足 2) 国土交通省所管 GPS 波浪計の海底立上り部チェーンの設計摩耗量= 5mm/年(10 年で 50mm)

表 4-4 黒牧 7 基の下部補強鎖中部の摩耗量と海底地質

	摩耗量実績 (mm)	設置水深 (m)	堆積物	表層堆積物
離脱黒牧 15 号	89	1, 272	未固結堆積物	シルト
旧黒牧 15 号	15	1, 300	未固結堆積物	シルト
旧黒牧 19 号	17	1, 160	未固結堆積物	シルト・表層堆積物に覆われた強粘性泥
旧黒牧 16 号	6	755	未固結堆積物・堆積岩	粗粒砂
旧黒牧 13 号	5	722	未固結堆積物	中粒砂
旧黒牧 12 号	25	595	未固結堆積物・堆積岩	シルト
旧黒牧 10 号	16	750	未固結堆積物	シルト

4-4. 黒牧 15 号設置後の気象海象状況

黒牧 15 号の設計有義波高 12.5m (30 年確率波) を超える有義波高を記録した台風が、2018 年 8 月 (台風 20 号)、同年 9 月 (台風 21 号及び 24 号) に徳島県南部などに上陸しており、室戸岬沖 GPS 波浪計で観測した最大有義波高はそれぞれ 13.15m、13.66m、13.90m であった (表 4-5、図 4-6、4-7)。

特に、台風 21 号については、最高波高も 24m を超えるとともに、「非常に強い (最大風速が 44m/s 以上 54m/s 未満)」勢力を保ったまま徳島県南部に上陸し、室戸岬では最大瞬間風速 55.3m/s を観測し、最大風速も 48.2m/s と観測史上第 5 位 (観測開始 1920 年 7 月) の暴風を記録している。また、台風の進行方向の右手に位置する気象庁の和歌山観測所 (観測開始 1940 年 1 月) や関空島観測所 (観測開始 2003 年 1 月) でも最大瞬間風速が観測史上第 1 位の暴風を記録 (それぞれ 57.4m/s、58.1m/s) するなど、この 50 年間に観測された台風では最大級の勢力であった。

黒牧 15 号の近隣に設置されている室戸岬沖の黒牧 10 号で測定している潮流をみると、2017 年 8 月に発生した黒潮大蛇行を境として、これまで卓越していた 2～3 ノットの北東向きの流れが弱まり、それ以降、卓越方向のない弱い流れが離脱事故発生時まで継続していた (図 4-8)。

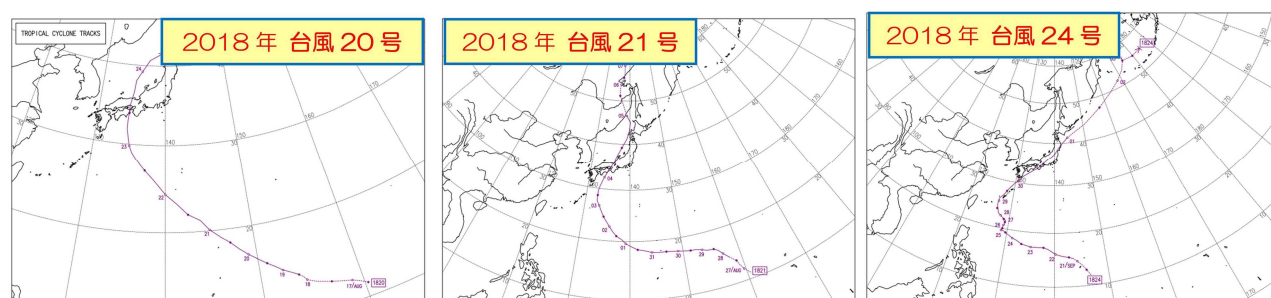


図 4-6 2018 年台風 20, 21, 24 号の進路

表 4-5 黒牧 15 号設置以降に台風が四国に上陸・接近した際の室戸岬沖 G P S 波浪計データ

年	波浪原因 [台風等]	波浪観測地点 【GPS波浪計】	年月日時	時間	最大有義波		
					有義波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 T_0 (s)	波向 (度)
2012(H24)	台風4号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2012/6/19	18:40	9.10	14.3	182
2013(H25)	台風26号(接近)		2013/10/15		～欠測～		
2014(H26)	台風11号(上陸)		2014/8/8		～欠測～		
	台風18号(上陸)		2014/10/5		～欠測～		
	台風19号(上陸)		2014/10/12		～欠測～		
2015(H27)	台風11号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2015/7/16	17:00	10.24	13.1	138
			2015/7/16	18:40	10.73	13.8	147
2016(H28)	台風16号(上陸)		2016/9/20	10:40	8.18	10.6	212
2017(H29)	低気圧		2017/4/11	7:20	7.96	11.2	88
	台風5号(上陸)		2017/8/7	7:40	7.87	10.8	204
	台風18号(上陸)		2017/9/17	19:20	9.74	11.3	210
2018(H30)	台風20号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2018/8/23	18:00	13.15	14.9	129
			2018/8/23	19:20	12.39	14.6	136
	台風21号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2018/9/4	10:20	13.66	14.6	180
			2018/9/4	11:00	14.46	14.6	188
				11:00～	以降欠測		
	台風24号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2018/9/30	17:00	13.90	15.0	200
2019(R1)	台風10号(上陸)	高知室戸岬沖	2019/8/15	1:20	9.13	12.2	160
	台風19号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2019/10/12	3:20	10.85	17.2	121
			2019/10/11		～欠測～		
2020(R2)	低気圧(1月豪雨)		2020/1/27	20:40	8.39	11.4	102
	台風10号(接近)		2020/9/7	3:20	8.59	13.5	188
	台風14号(接近)		2020/10/9	9:40	9.31	12.7	91
2021(R3)	台風9号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2021/8/9	5:40	7.87	10.9	204
			2021/8/9	8:00	8.12	11.6	204
2022(R4)	台風14号(上陸)	高知室戸岬沖 【参考】 徳島海陽沖	2022/9/18		～欠測～		
			2022/9/18	18:40	8.92	13.2	184

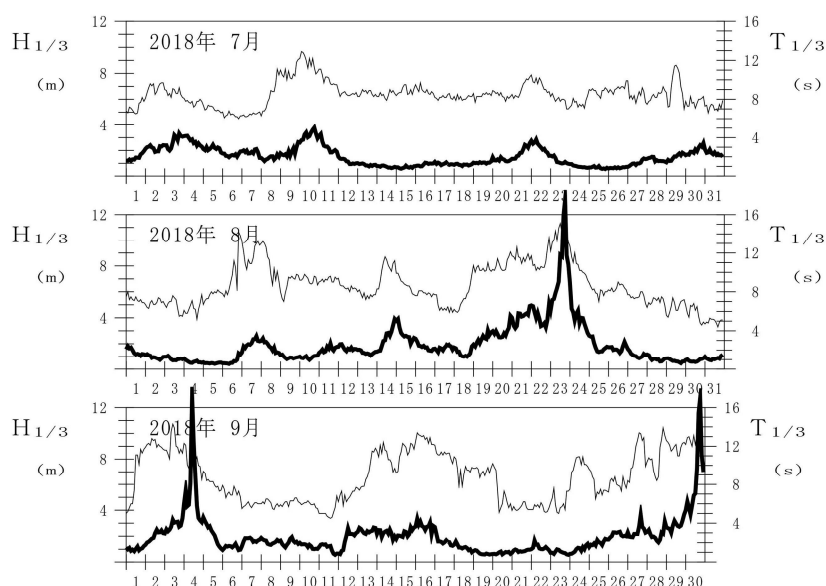


図 4-7 2018 年 7 ～ 9 月の室戸岬沖の有義波高及び有義波周期の経時変化（出典：国土交通省港湾局が観測、港湾空港技術研究所がデータ処理したものを利用）

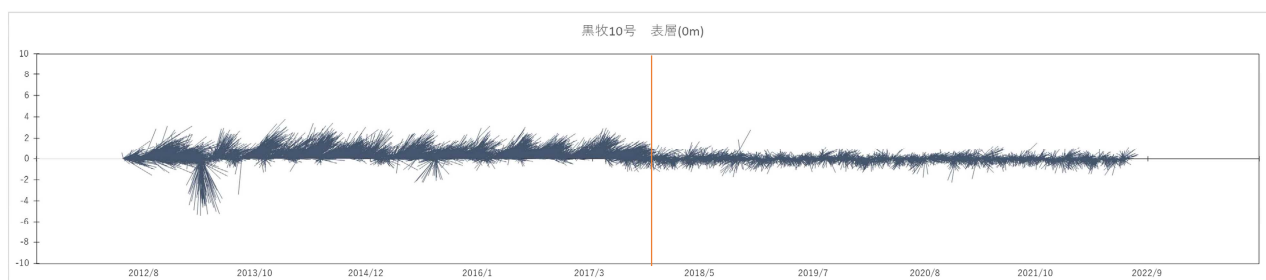


図 4-8 黒牧 10 号表層の流向及び流速の推移

4-5. 設置後の浮体位置

台風の日（表 4-5 参照）を基準として、その前後の期間の浮体平均位置をそれぞれ地図上にプロットしたところ、黒牧 15 号の浮体の振れ回り位置は、2018 年 8 月から 9 月の台風 20、21、24 号接近の際に大きく南方向に移動した後すぐに北方向に移動し、その後 2018 年末から 2022 年の離脱事故発生までの 4 年間はほとんど変化がなかった（図 4-9）。このことは、2018 年 8 月末以後の浮体位置のヒストグラム（東西方向）及び頻度散布図にも示されており（図 4-10）、2018 年 8 月末以降は、それ以前に比べて振れ回りの範囲が狭くなっていた。また、2018 年 8 月末以前のヒストグラムは、供用期間 10 年を満了して回収した旧黒牧 15 号のヒストグラムと類似していた。これらのことから、2018 年 8 月及び 9 月の台風をきっかけとして、黒牧 15 号は浮体が振れ回りにくい状態になってしまっていたと推察される。

また、黒牧 15 号の近隣に設置されていた旧黒牧 19 号の振れ回りの位置は、概ね黒牧 15 号と同じような傾向で移動しているが、2018 年 8 月から 9 月の台風接近の際の南方向への移動が小さく、台風以降も振れ回り位置に大きな変化があるという違いが認められた（図 4-11）。このことが、黒牧 15 号と類似した場所及び時期に設置された旧黒牧 19 号で下部補強鎖中部の摩耗が少なかったこと（表 4-4、図 4-4）に関係しているものと推察される。

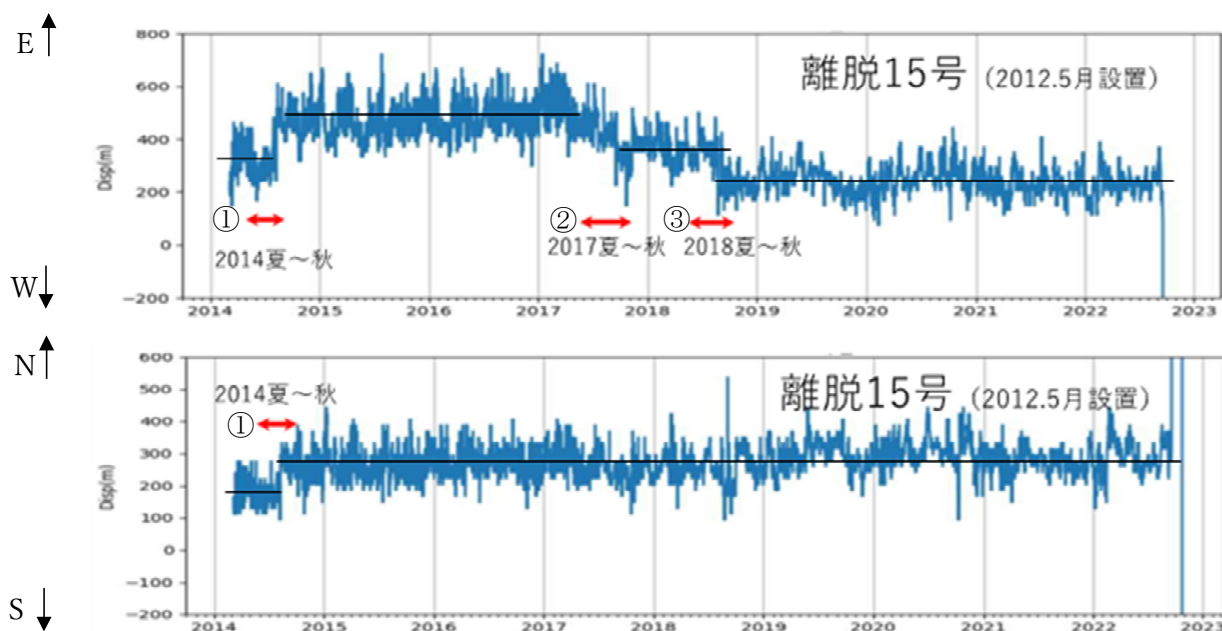
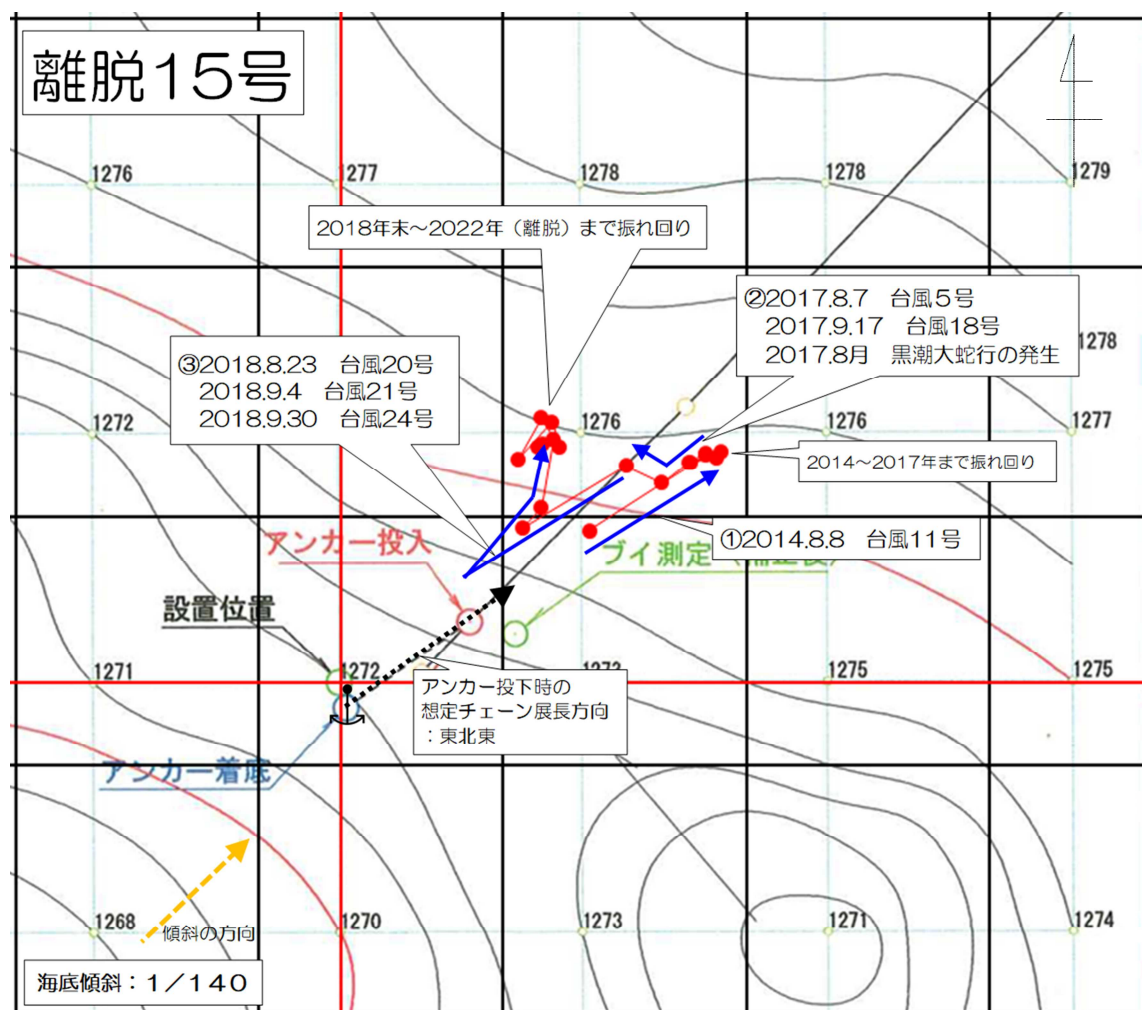


図 4-9 離脱した黒牧 15 号の振れ回り位置の変化

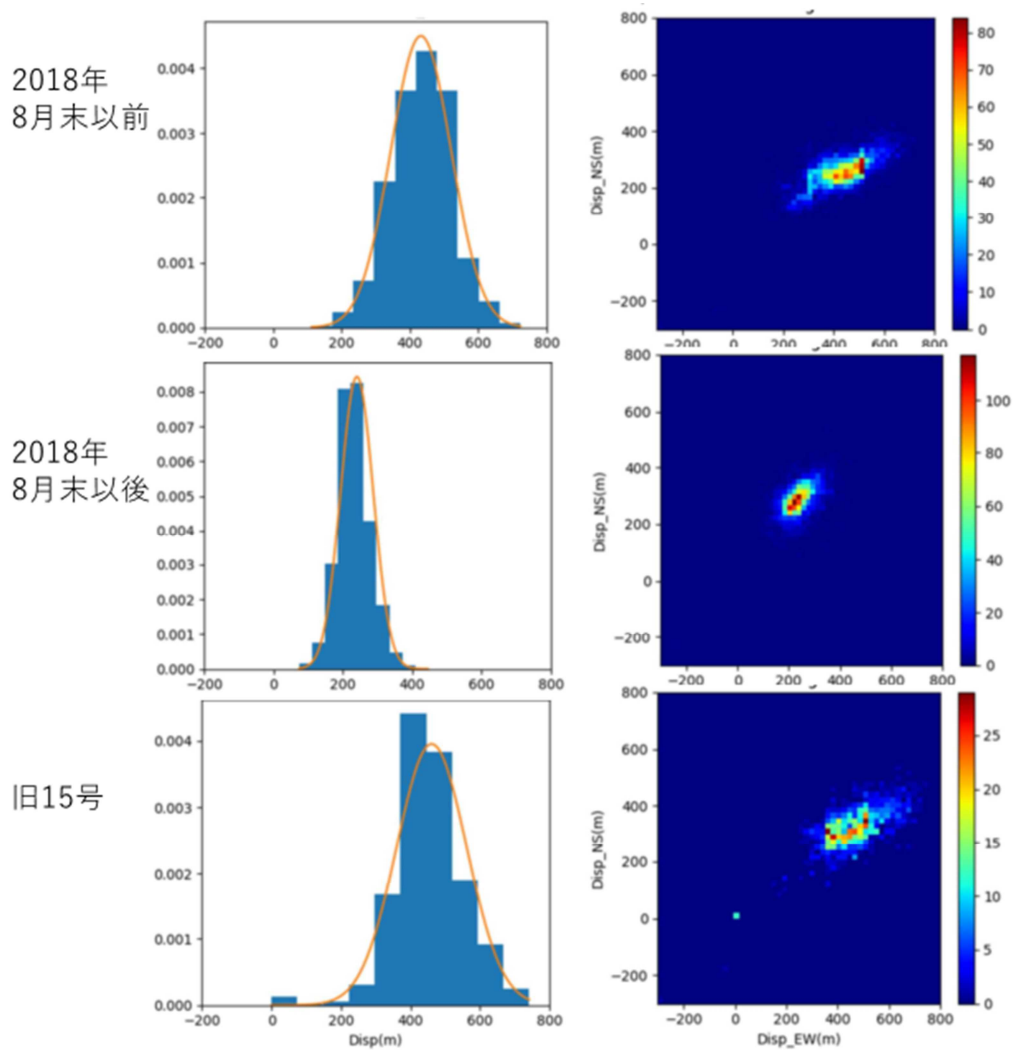


図 4-10 2018 年 8 月末以前及び以後の黒牧 15 号浮体位置のヒストグラム（東西方向）及び頻度散布図

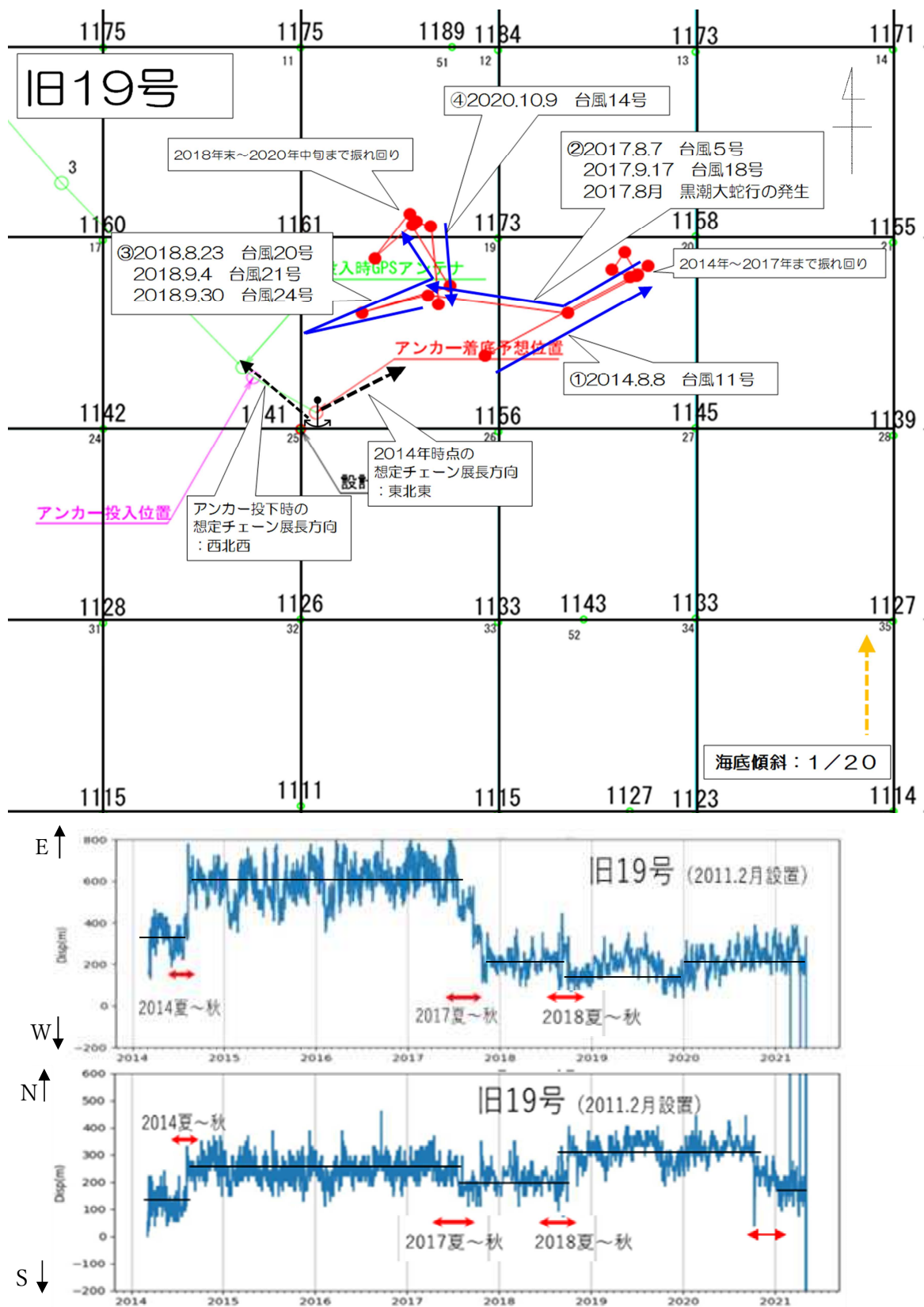


図 4-11 旧黒牧 19 号の振れ回り位置の変化

4－6．他の離脱事故事例について

黒牧 15 号と同様に、下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近のリンク破断を原因としたブイの流出事故は、これまでに宮崎県の表層型浮魚礁（2021 年）、国土交通省の徳島海陽沖 G P S 波浪計（2013 年及び 2018 年）で発生している。このうち、宮崎県及び 2013 年の徳島海陽沖 G P S 波浪計の事例では、海底立ち上がり部付近の特定箇所に負荷が集中することでリンクの異常摩耗が発生したと推察されており、徳島海陽沖 G P S 波浪計の場合には、設置の際にチェーンが複雑に絡み合い、海底立ち上がり部で固定点化状態となったことが異常摩耗の原因とされている（吉川，2015）。

また、国土交通省の宮城中部沖 G P S 波浪計の耐用年数満了・引き揚げ後の経年劣化調査では、海底立ち上がり部の 5 つのリンクに局所的な異常摩耗（設計摩耗量 58mm に対して最大摩耗量 75mm）が発生しており、ブイの振れ回り領域が一部に集中していたことが原因と推察されている（畠山，2019）。

出典：吉川 祐子（2015）．徳島海陽沖 GPS 波浪計の再設置について，四国地方整備局
(<https://www.skr.mlit.go.jp/kikaku/kenkyu/h27/pdf/02.pdf>)

畠山貴之・川村 浩・佐々木武・百澤康雄（2019）．GPS 波浪計経年劣化の検証について，沿岸技術研究センター論文集, No. 19.

5. 離脱事故の発生原因に関する調査結果

- (1) 今回の離脱事故は、下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近のリンクが想定を大きく超えて異常に摩耗し、著しく強度が低下していた状況において、令和4年9月18日に本県に接近した台風14号の高波や強風による過剰な引っ張りで当該リンクが破断したことによって発生したものと考えられる。
- (2) 下部補強鎖中部の海底立ち上がり部付近リンクの異常な摩耗は、主に次の2つの要因によって生じたものと推察される。
 - 1) 2018年夏～秋に本県に接近した台風で設計有義波高以上の有義波高を受けたことで想定以上のブイの上下動や急激な振れ回りが発生し、そのことによって下部補強鎖中部チェーンが重なり合う等して海底立ち上がり部が固定点化の状態となった。
 - 2) 海底立ち上がり部が固定点化の状態となったことで、チェーンに想定した余裕がなくなり、潮位変動や潮流、波浪、風による浮体運動に伴って、下部補強鎖中部の特定部分に過剰な負荷が集中する状況となった。

6. 土佐黒潮牧場 15 号の再設置に係る改善策の提言

前章において、今回の離脱事故は、設計有義波高を超える有義波高を短期間に3回受け、そのことによって下部補強鎖中部（海底立ち上がり部付近）のチェーンが重なり合う等によって固定点化してしまい、潮位変動や潮流、波浪、風による浮体運動に伴って、特定部分のリンクが異常摩耗したことが原因であると推察した。

設計有義波高は30年に1度発生する可能性のある波高であること（30年確率波）、土佐黒潮牧場の整備開始から今回の事故までの39年間にチェーンの固定点化によるリンクの異常摩耗及び離脱事故は一度も発生していないことから、本離脱事故は極めて特異的な事象によって引き起こされたと考えるのが妥当であり、今後、同様の事象が再度発生する確率は低いと言える。このことから総合的に判断し、今後、黒牧15号を再設置する際の改善策として以下を提言する。

- （1）摩耗代を十分考慮した現在の設計及びこれまでのブイ整備において全く問題が起きていない海上展張方式による施工については現状のとおりとする。
- （2）新設の黒牧15号を現設計位置に設置すると、海底に残された離脱黒牧15号の係留索（下部補強鎖中部からダンフォースアンカーまでの634m）と干渉する可能性があるため、新設の黒牧15号の設置位置は、上記と干渉しない位置に変更する。
- （3）特異的な事象による固定点化もしくは異常摩耗への対応として、係留システムのバランスやチェーンの軽量化等による負荷軽減に関する工夫を検討するとともに、他の事例や実績を参考にしながら、海底立ち上がり部リンクの強度の高い規格への変更についても検討を行う。

《お問い合わせ先》

土佐黒潮牧場 15 号離脱原因調査委員会

**事務局：高知県 水産振興部 水産業振興課
漁港漁場課**

〒780-0850

高知市丸ノ内 1 丁目 7 番 52 号

電話：088-821-4613

FAX：088-821-4528

E メール：040401@ken.pref.kochi.lg.jp