

## 第2回土佐黒潮牧場15号離脱原因調査委員会

### 会次第

日時：令和5年3月29日（水）  
13時00分～16時00分  
場所：高知海区漁業調整委員会室  
（WEB会議併用）

#### 1 開会

#### 2 あいさつ

#### 3 議事

- （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

#### 4 閉会

## 第2回土佐黒潮牧場15号離脱原因調査委員会出席者名簿

日時：令和5年3月29日（水）

13時00分～16時00分

場所：高知県海区漁業調整委員会室

職名	所属	役職	氏名
委員	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 (委員長) (Web 出席)
	高知工科大学 システム工学群 大学院工学研究科 基盤工学専攻 知能機械システム工学コース	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 (Web 出席)
	(一社) マリノフォーラム 21	技術顧問	吉田 儀弘 (Web 出席)
オブザーバー	日鉄エンジニアリング株式会社 都市インフラセクター 港湾・インフラ営業部 海洋港湾鋼構造営業室		桐山 和晃 (Web 出席)
	日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 技術部 設計・技術室		笠原 宏紹 (Web 出席)
	日鉄エンジニアリング株式会社 海洋本部 プロジェクト部 プロジェクト管理室		中原 修
事務局	高知県水産業振興課	課長	津野 健太郎
		課長補佐	土居 聡
		チーフ（構造改善担当）	長岩 理央
		主査	漆山 明日美
	高知県漁港漁場課	課長	池田 博文
		課長補佐	谷本 直文
		チーフ（整備担当）	片岡 聡
		主幹	池添 央

議題（１）

第 1 回委員会の議事要点について ※下線部は今回新たに追加した記載

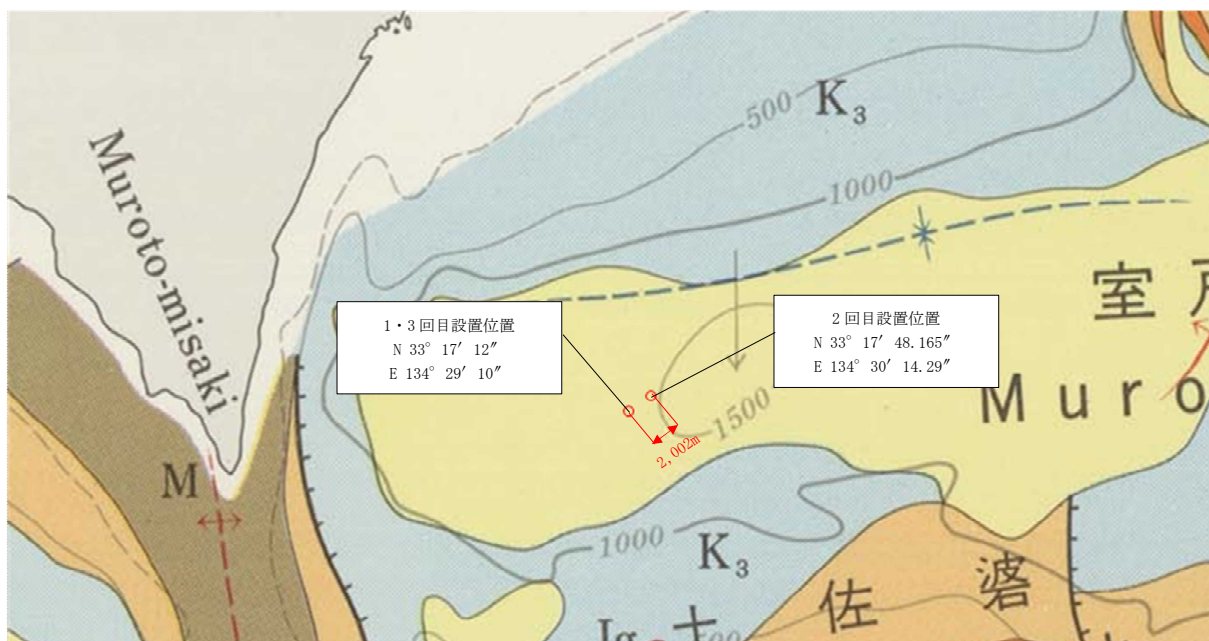
○議事 1 及び議事 2

（１）黒牧 15 号の設置履歴

設置回	設置年月日	設置位置 (WGS 84)	設置水深 (m)	魚礁形式 ・寸法	設置方法	回収（離脱） 年月日
1 回目	H10. 12. 11	33° 17' 12" 134° 29' 10"	1, 300	円形鋼製・ D=10m	舷側吊下 方式	H12. 3. 23 離脱
2 回目	H13. 4. 5	33° 17' 36" 134° 29' 24"	1, 300	円形鋼製・ D=10m	海上展張 方式	H24. 4. 28
3 回目	H24. 5. 25	33° 17' 12" 134° 29' 12"	1, 272	円形鋼製・ D=9. 5m	海上展張 方式	R4. 9. 18 離脱

※ 1 回目設置ブイの離脱原因はワイヤーロープのポリエチレン皮膜の損傷によるケーブルの腐食

・ 2 回目設置位置と 1 及び 3 回目設置位置は異なる（北東方向に 2, 002m のずれ）



（２）3 回目設置黒牧 15 号の詳細設計（抜粋）

1) 自然環境条件

水深：1, 280m

波：有義波高 ( $H_{1/3}$ ) 12. 5m、最大波高 ( $H_{max}$ ) 25. 0m

海水流速：深度 0m 2. 32m/sec (4. 51 kt)

海底勾配：1/140

底質：シルト

2) 係留索の摩耗量

- ・今回破断した下部補強鎖中部は、旧黒牧4号（現黒牧10号：室戸岬沖、H元年設置→H8年回収）の摩耗量58mmをもとに、係留索の最大発生張力に対して安全率3以上になるφ124mmを採用

3) 15号の基本形状及び諸元

- ・ブイ本体 全高：11.351m 浮体高：3.1m 浮体外径：9.5m  
全重量：462.8kN 全浮力：2067.9kN

- ・係留システム：1点緩係留方式

- ・係留索 鎖：電気溶接アンカーチェーン

上側鎖 25m (φ105mm)

下側鎖 670m (下記4種類の合計)

下部補強鎖上部 (φ97mm) 25m×1本

☆下部補強鎖中部 (φ124mm) 80m×1本 ※上部から約11mで破断

下部補強鎖下部 (φ92mm) 25m×1本

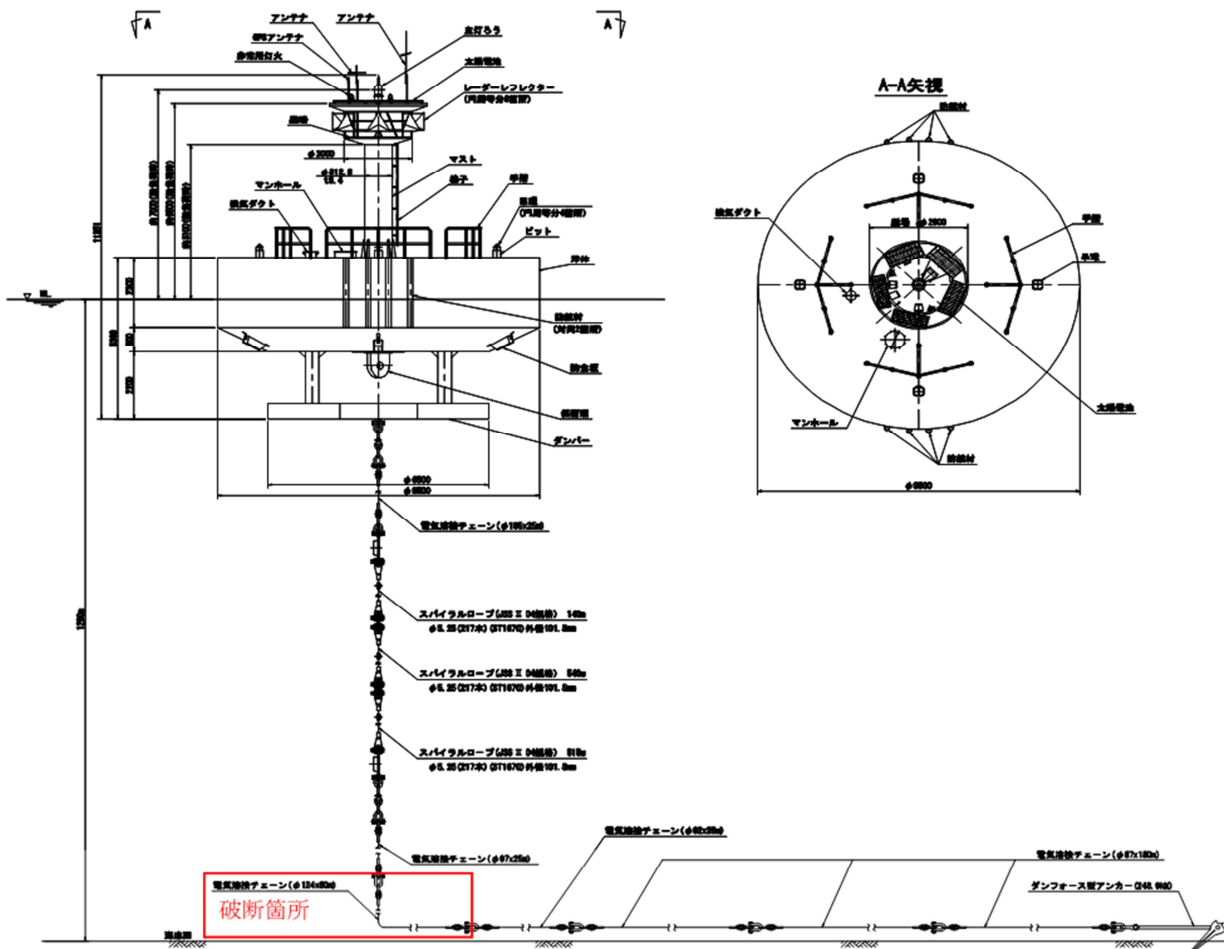
下部鎖一般部 (φ87mm) 180m×3本

ワイヤーロープ：スパイラルロープ ポリエチレン被覆（被覆層片側7mm）

外径101.5mm (87.5mm+7mm×2)

長さ1,195m (140m×1本+540m×1本+515m×1本)

アンカー：ダンフォース型アンカー（重量248.9kN）



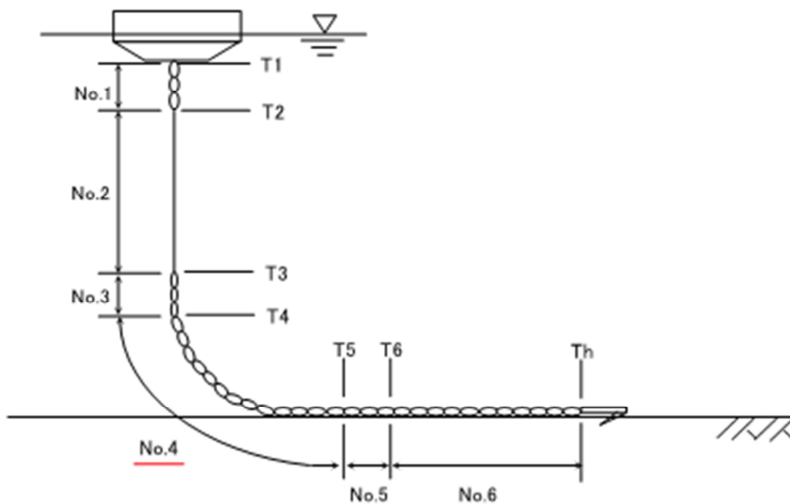
(3) 係留索の破断強度及び係留部材の強度検討結果

1) 下部補強鎖中部の破断強度は、10年後の残存強度として JIS F3303 の計算式で求めた以下の数値

No.	仕様鎖		摩耗代	相当径	摩耗後の長径 /短径	摩耗後の破断強度
	呼び径	実径				
4	φ 124	φ 124	58mm	85.1mm	124/66mm	<b>5,274 kN</b>

2) 下部補強鎖中部の強度の検討結果は下表のとおり

No.	位置	設計張力 (kN)			④破断強度 (kN)	安全率 ④/③	判定
		①Ti	②∠T	③T (①+②)			
4	上端接続 点	1350.1	370.2	1720.4	5274	<b>3.07</b>	<b>&gt;3.0</b>



(4) 設置海域の底質はシルト

(5) 係留チェーンは中国の Jiangsu Asian Star Anchor Chain が製作、SCOPE が JIS 規格相当であると証明したものを使用、材料試験の結果も問題なし

(6) 設置工事については、他工事でも実績のある海上展張方式により実施し、艀装・設置作業及び設置位置についても問題なし

### ○議事 3

#### (1) 離脱時の状況

- ・ 9月18日に離脱発生
- ・ 離脱発生日は、台風14号の高知県通過に伴う暴風波浪警報が発令中（離脱時である20時の有義波高は7.4m、風速は17.8m/s）

#### (2) 回収した浮体及び係留索の調査結果は下記のとおり

##### 1) 浮体

- ・ 塗装残存部の塗装膜厚は概ね設計値以上を確保
- ・ 斜底部のアルミ犠牲陽極の損耗率は13.9%
- ・ 機器室内及び機器の損傷はなく、室内も結露していなかった

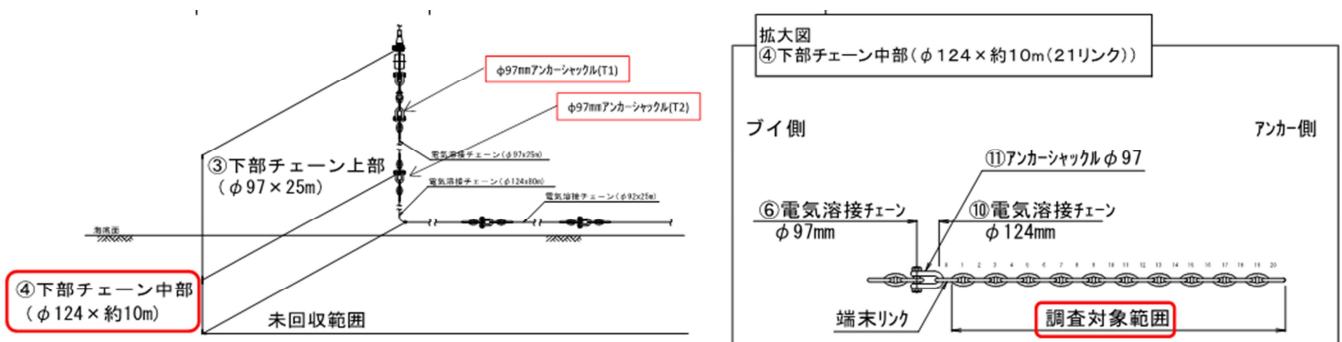
##### 2) 係留索

- ・ 係留環、上側鎖の特殊アンカーシャックルピン及び端末リンクの摩耗量は、下記のとおり、設計摩耗量以下であった

- 係留環（縁距離）：2.3mm/年（設計18.6mm/年）
- 特殊アンカーシャックルピン：1.2mm/年（設計10mm/年）
- 端末リンク：1.1mm/年（設計11.9mm/年）

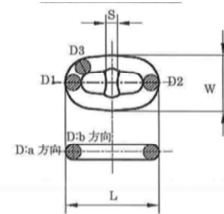
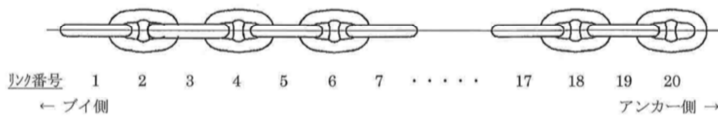
- ・ スパイラルロープに目立った損傷はなかった
- ・ 下部補強鎖上部（φ97×25m）は著しい摩耗はなくスタッド部の塗装は残っていた
- ・ 下部補強鎖中部（φ124×80m）の21リンク目を最終とし、以深のリンクは繋がっていないかった
- ・ 下部補強鎖中部（φ124×80m）の上部より10リンク目以降では、スタッド部も含めて完全に塗装がない状態であった
- ・ 回収した下部補強鎖中部（φ124×80m）21リンクの端末リンクを除く20リンク（下図）について調査を実施し、以下の結果を得た

- ①No.10～No.20のリンクのスタッド部に緩みがみられた
- ②リンクの外観形状については著しい変形はみられなかった
- ③外観摩耗はNo.11リンク目以降でリンク連結部に摩耗がみられた（測定結果は下表のとおり）



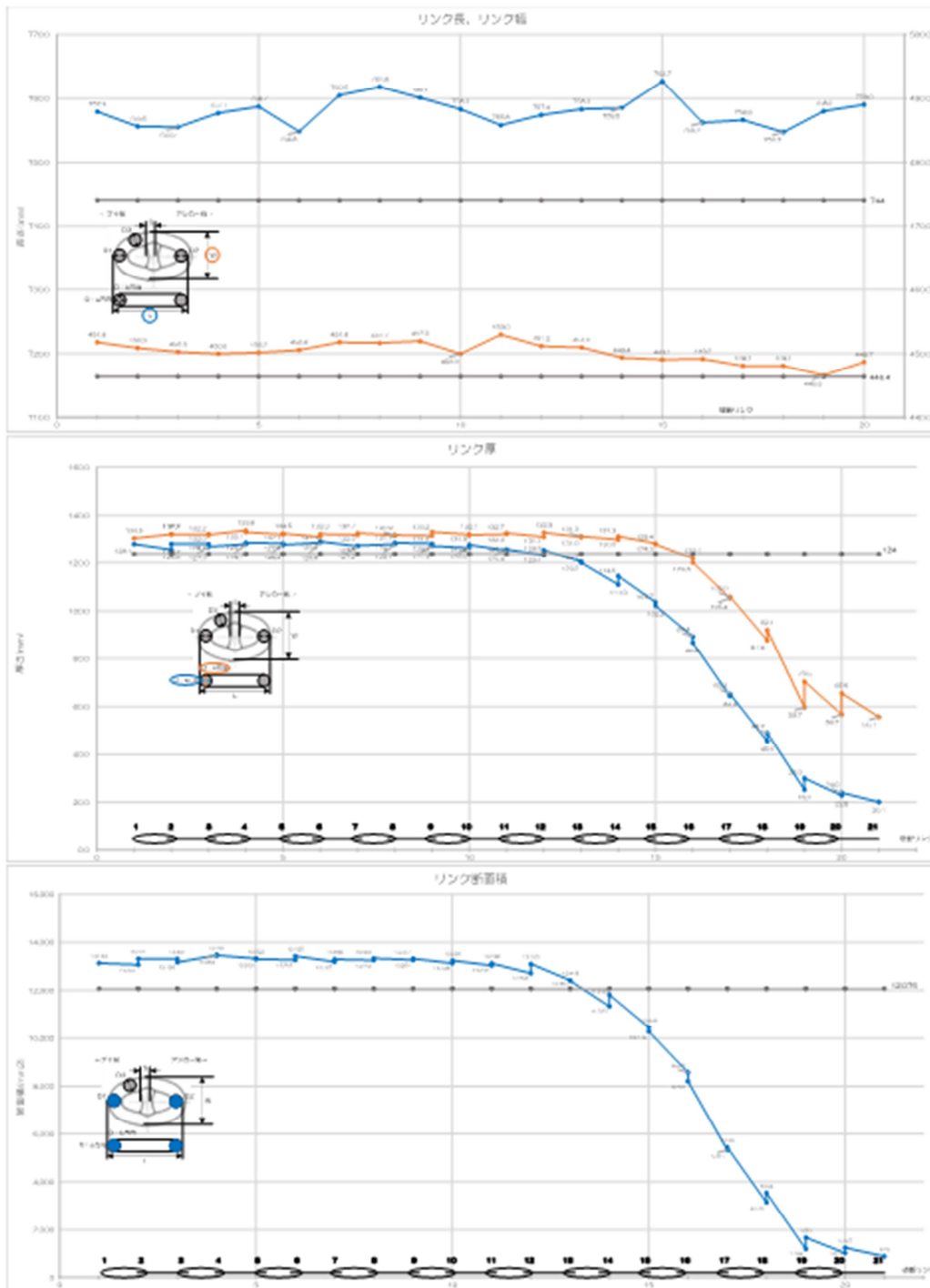
リンク 番号	径 (D1: ブイ側)		径 (D2: アンカー側)		径 (D3: ブイ側肩部)		外長 (L)		外幅 (W)		スタッド幅 (S)
	設計値の規格寸法 120.0~124.0~130.2		設計値の規格寸法 120.0~124.0~130.2		設計値の規格寸法 120.0~124.0~130.2		設計値の規格寸法 725.4~744.0~762.6		設計値の規格寸法 435.3~446.4~457.5		-
	計測値	設計差 (計測値-124.0)	計測値	設計差 (計測値-124.0)	計測値	設計差 (計測値-124.0)	計測値	設計差 (計測値-744.0)	計測値	設計差 (計測値-446.4)	計測値
1	129.3	5.3	129.0	5.0	127.9	3.9	757.9	13.9	451.8	5.4	100.0
2	130.2	6.2	130.2	6.2	130.5	6.5	755.6	11.6	450.9	4.5	101.8
3	129.5	5.5	131.0	7.0	128.8	4.8	755.5	11.5	450.3	3.9	102.2
4	130.9	6.9	130.3	6.3	129.6	5.6	757.7	13.7	450.0	3.6	101.6
5	130.2	6.2	130.0	6.0	129.4	5.4	758.7	14.7	450.2	3.8	103.0
6	130.8	6.8	129.6	5.6	129.7	5.7	754.8	10.8	450.6	4.2	99.9
7	130.1	6.1	129.9	5.9	130.0	6.0	760.5	16.5	451.8	5.4	100.4
8	130.3	6.3	130.0	6.0	129.6	5.6	761.8	17.8	451.7	5.3	102.1
9	130.3	6.3	129.3	5.3	129.8	5.8	760.1	16.1	452.0	5.6	100.4
10	129.9	5.9	128.9	4.9	130.0	6.0	758.3	14.3	450.0	3.6	99.0
11	129.3	5.3	127.3	3.3	129.1	5.1	755.8	11.8	453.0	6.6	94.8
12	129.2	5.2	125.9	1.9	128.9	4.9	757.4	13.4	451.2	4.8	93.8
13	125.8	1.8	120.5	-3.5	126.9	2.9	758.3	14.3	451.0	4.6	90.8
14	123.0	-1.1	116.1	-7.9	124.6	0.6	758.5	14.5	449.4	3.0	87.2
15	115.1	-8.9	105.8	-18.2	118.9	-5.1	762.7	18.7	449.1	2.7	84.8
16	103.6	-20.4	84.9	-39.1	107.2	-16.8	756.2	12.2	449.2	2.8	84.1
17	85.7	-38.3	66.7	-57.3	98.2	-25.8	756.6	12.6	448.1	1.7	82.0
18	70.6	-53.4	42.5	-81.5	85.6	-38.4	754.7	10.7	448.1	1.7	81.7
19	50.3	-73.7	39.8	-84.2	83.8	-40.2	758.0	14.0	446.6	0.2	80.7
20	44.8	-79.2	37.9	-86.1	72.0	-52.0	759.0	15.0	448.7	2.3	84.3

※計測値はa方向とb方向の平均値



④測定したリンク長、リンク幅、リンク厚、リンクの厚さから計算したリンクの断面積の No. 1～20 を順に並べた結果は下図のとおり

- ・リンク長は設計値 744mm に対して 754.7～762.7mm の範囲
- ・リンク幅は設計値 446.4mm に対して 446.6～453.0mm の範囲
- ・リンク厚は設計値 124mm に対して、a 方向は No. 13 ブイ側から設計値を下回り、b 方向は No. 16 ブイ側から下回っている
- ・断面積は基準値 12,076 平方 mm に対して、No. 13 アンカー側から下回っており、No. 13 以降、末端リンクに向かって摩耗が顕著になっている



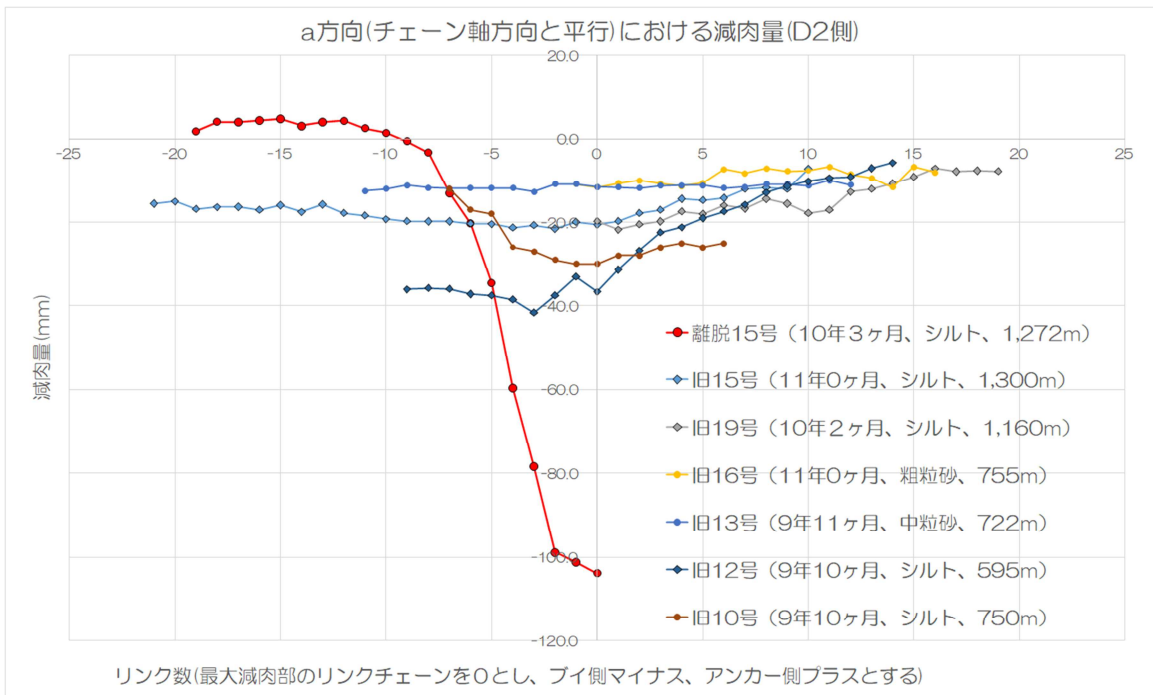
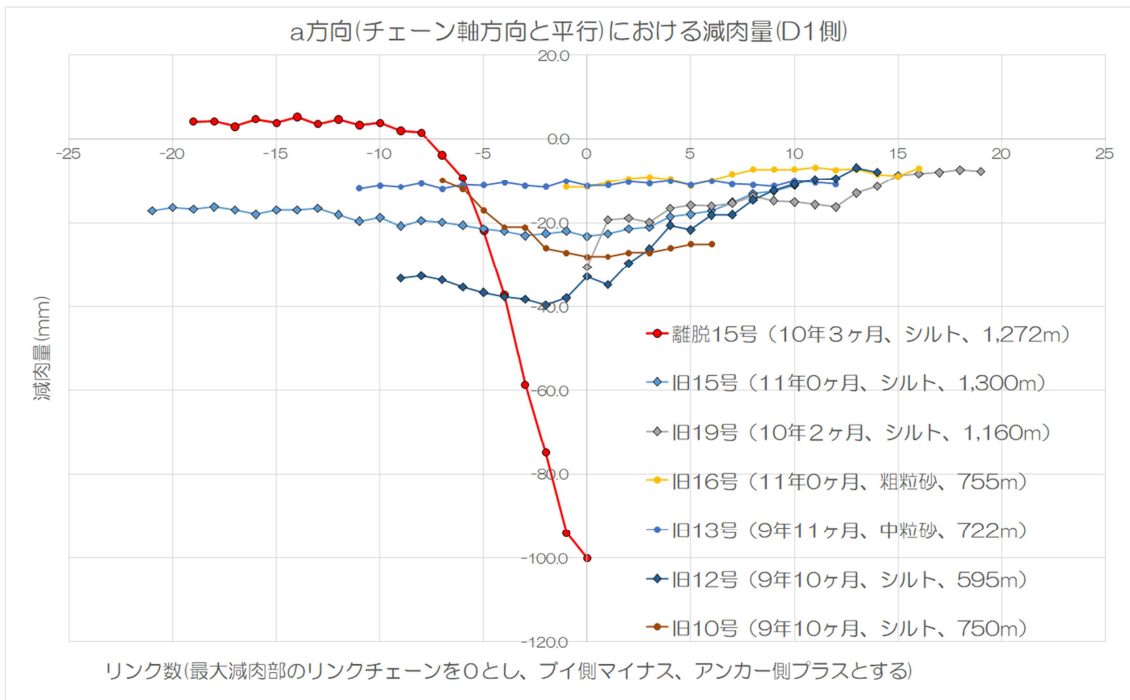


- ⑤リンク No. 1～3、No. 14～16、No. 18～20 について残存強度試験を実施したところ、No. 1～3は試験最大荷重の9,800kNでも破断しなかったが、No. 14～16は7,300kN、No. 18～20は680kNで破断

#### ○議事 4

##### (1) 他ブイとの摩耗実績の比較

- ・ 離脱 15 号の下部補強鎖中部の急激な摩耗は特異的な現象 (下図)



- ・離脱した黒牧 15 号の海底地質はシルトである一方、同様に海底地質をシルトとするブイ（下表）は顕著な摩耗が起きていない

	設置水深 (m)	堆積層	表層堆積物
離脱15号	1,272	未固結堆積物	シルト
旧15号	1,300	未固結堆積物	シルト
旧19号	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16号	755	半固結堆積物・堆積岩	粗粒砂
旧13号	722	未固結堆積物	中粒砂
旧12号	595	半固結堆積物・堆積岩	シルト
旧10号	750	未固結堆積物	シルト

- ・黒牧監視システムのGPSデータに基づき、アンカー設置位置からの浮体の振れ回りを表した頻度散布図を作成した結果、離脱 15 号と旧 19 号（15 号の近隣に設置、設置時期もほぼ同時期）は振れ回りの範囲が離脱 15 号は2つ、旧 19 号は3つのかたまりに分かれていた（図 1）

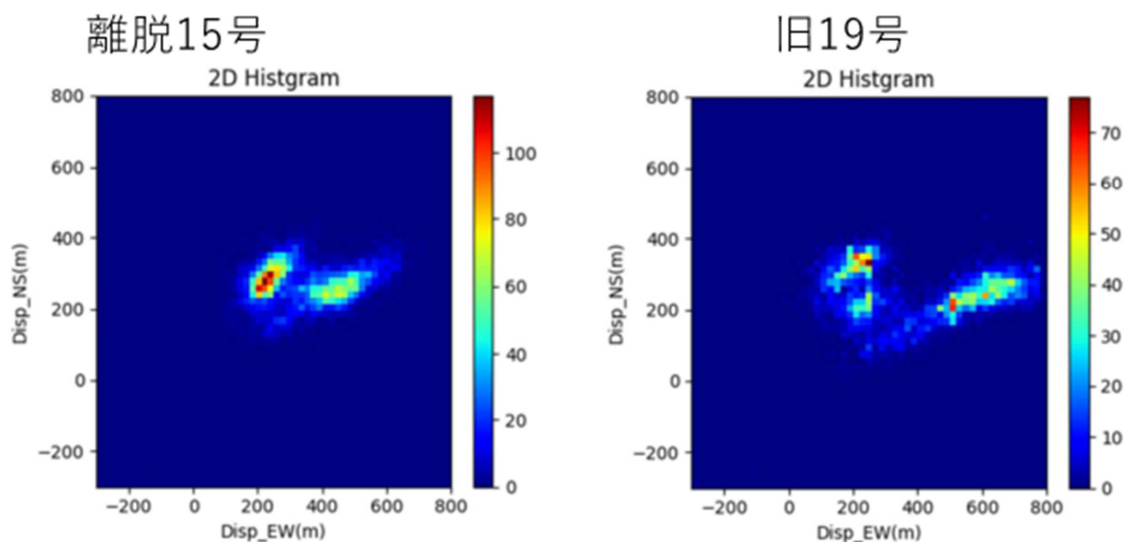


図 1 浮体位置の頻度散布図

- ・浮体位置の時間的推移から両ブイの振れ回り範囲の東西方向及び南北方向の移動を整理
- 【東西方向】**：両ブイとも 2014 年夏～秋に東方向、2017 年夏～秋に西方向、2018 年夏～秋にさらに西方向に移動。2018 年夏～秋以降は、離脱 15 号がほとんど東西位置が変わらないのに対し、旧 19 号には東西位置の変化が見られる（図 2）

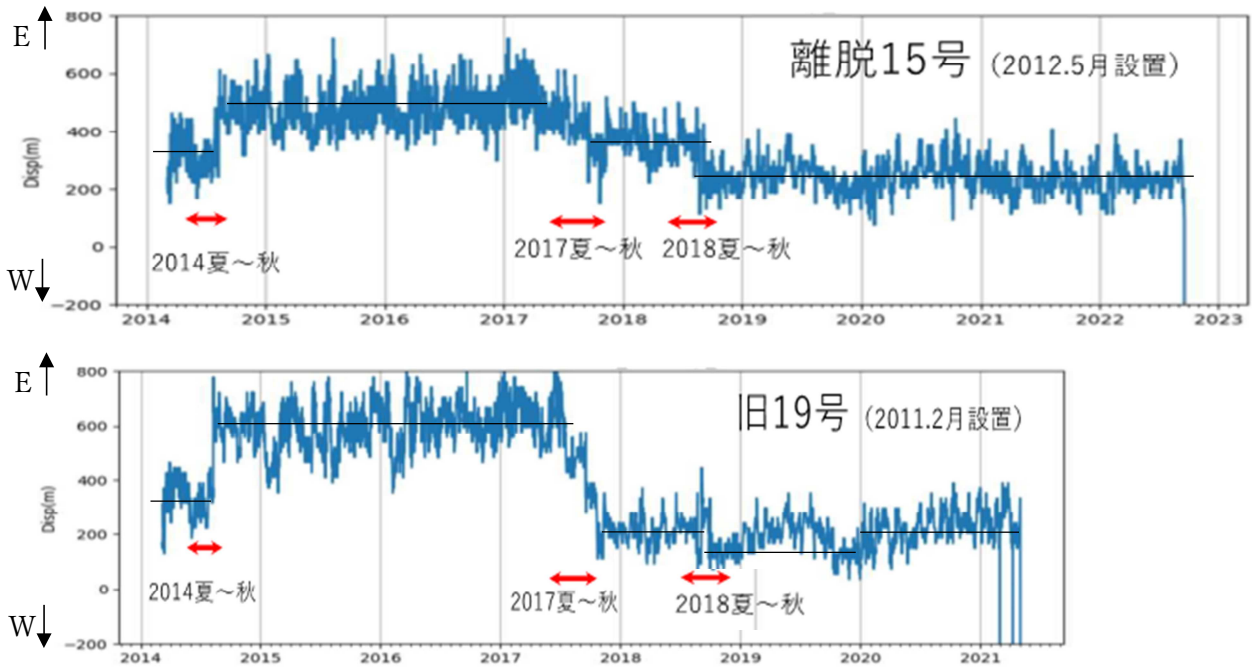


図 2 浮体位置の時間的推移（東西方向）

- 【南北方向】**：両ブイとも 2014 年夏～秋に北方向に移動。離脱 15 号は大まかな位置にその後変化がないが、旧 19 号は 2017 年夏～秋に南方向、2018 年夏～秋に北方向、2020 年秋に南方向に移動（図 3）

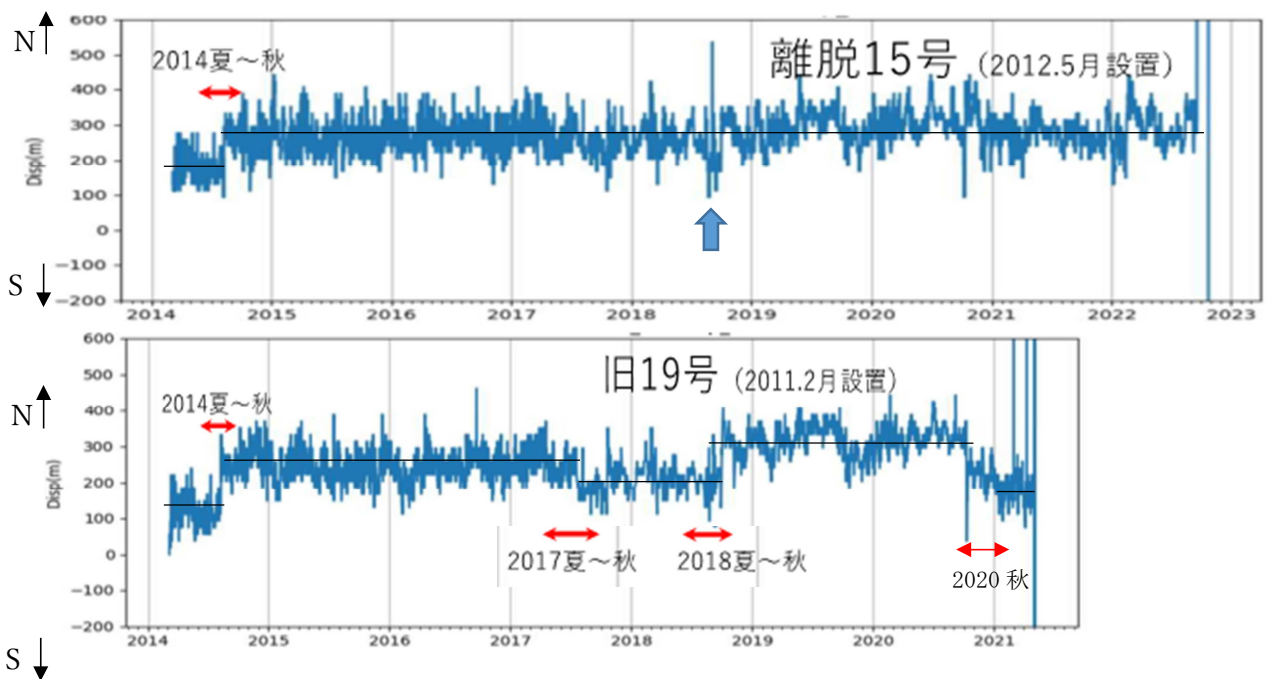


図 3 浮体位置の時間的推移（南北方向）

※第 1 回資料からの変更：旧 19 号に 2017 夏～秋、2018 夏～秋を追加

- 2018年8月末を境として浮体位置の東西方向のヒストグラムを作成した結果、2018年8月末以降はそれ以前に比べて設置位置に近づくとともに、ヒストグラム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の形は旧15号と類似していた（図4）

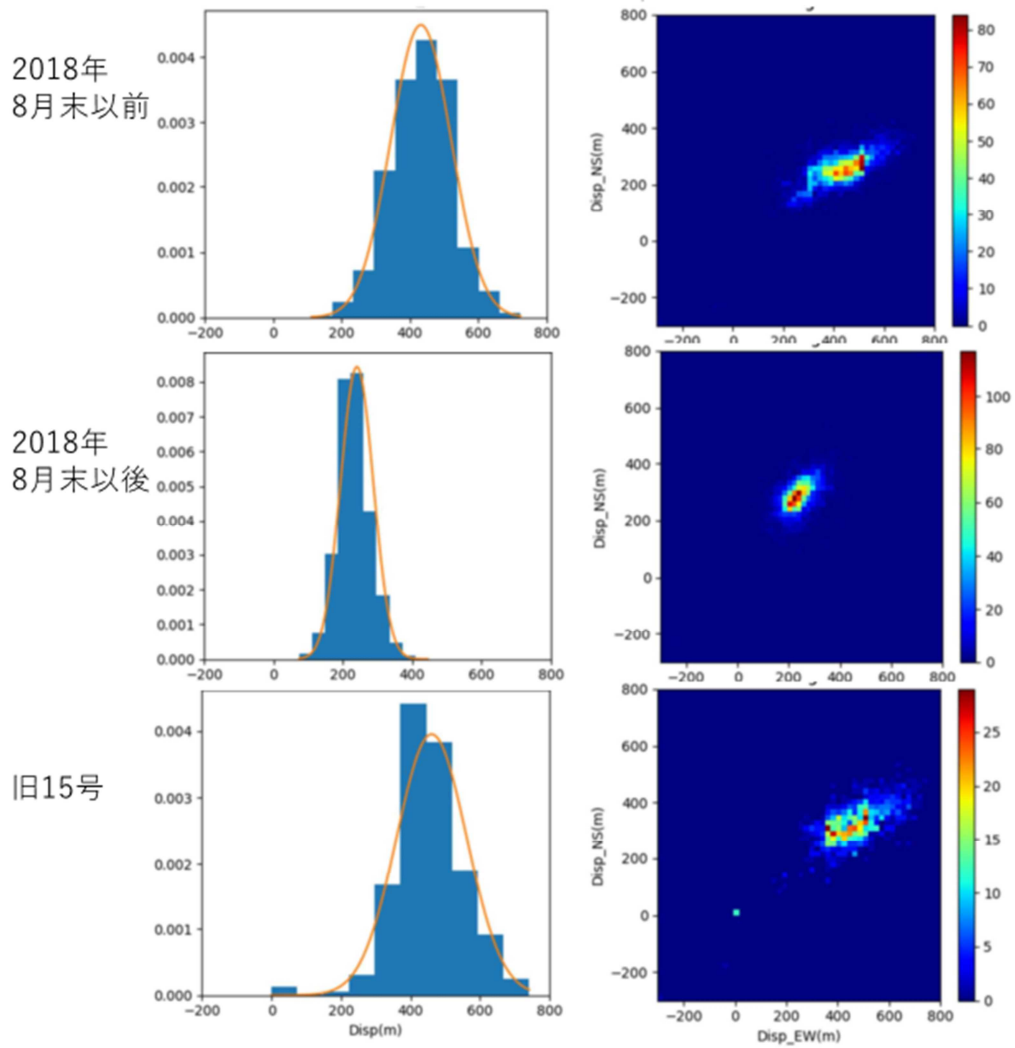


図4 2018年8月31日を境とした離脱15号の位置の変化

(2) 離脱 15 号設置期間中の台風等低気圧の接近実績

- ・離脱 15 号の設計有義波高 12.5m を超える最大有義波高を記録した台風が、2018 年 (H30) 8 月 (台風 20 号)、同年 9 月 (台風 21 号及び 24 号) に高知県に上陸 (室戸岬沖 GPS 波浪計の最大有義波高は、それぞれ 13.15m、13.66m、13.9m)
- ・気象庁観測データでも、上記台風接近時の有義波高が 12 m を超えていることを観測

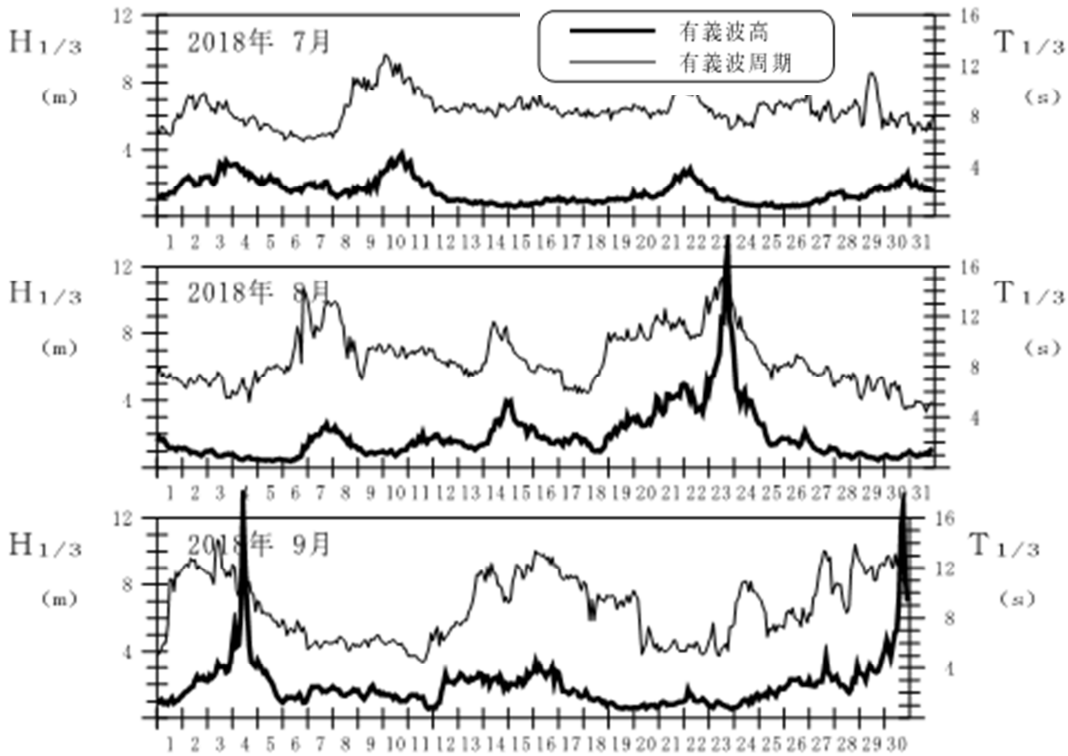
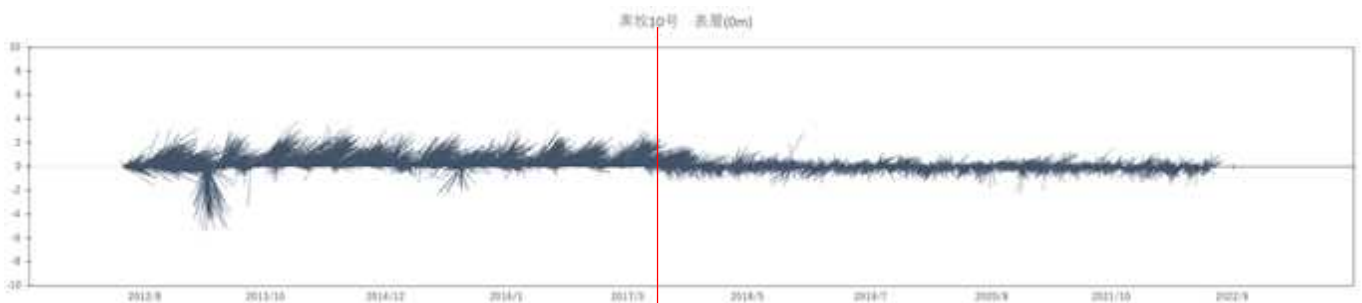


図 5 2018 年 7～9 月の高知室戸岬沖の有義波高及び有義波周期の経時変化 (出典：気象庁)

(3) 離脱 15 号設置期間中の潮流の流向・流速の推移

- ・室戸岬沖 (黒牧 10 号) の潮流の流向及び流速は、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 2～3kt の北東向きの流れが弱まり、それ以降、卓越方位のない弱い流れが継続



## ○議事 5

### (1) 本県及び他県の流出事例

- ・本県において下部補強鎖中部の破断による流出は初
- ・下部補強鎖中部の破断は、宮崎県の浮魚礁（R3）、国土交通省の徳島海陽沖 GPS 波浪計（H25, H30）で発生

### (2) 宮崎県浮魚礁の流出原因

- ・下部係留索立ち上がり付近の特定箇所に負荷が集中することによる異常摩耗及びそれに伴う係留索の強度低下
- ・特定箇所に負荷が集中した要因は、黒潮大蛇行の影響で周辺の潮流が長期間にわたって弱い状況にあったこと、下部係留索の摩耗度を大きく取ったことで他のブイよりも下部係留索が重くなっていたことと推定

### (3) 徳島海陽沖 GPS 波浪計の流出原因

- ・(H25 年流出)：自由落下方式による設置の際に予想に反して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の状態となったことにより、チェーンに想定した余裕がなく、過剰な引っ張り力が働き、潮位変動等による摺動で異常な摩耗が発生し破断
- ・海底地盤に接する境界部において、波浪等によるブイ本体の上下動によりチェーンと海底地盤の接触が繰り返され、海底質の泥砂が原因とみられる異常摩耗が生じ破断

### (4) 宮城中部沖の GPS 波浪計（設置 10 年）の引き揚げ結果（畠山ら，2019）

- ・海底立ち上がり部の係留鎖（φ111mm）のブイ側から 40 番目～44 番目の 5 つのリンクに局所的な摩耗（最大摩耗量 75mm、設計摩耗量 58mm）とスタッドの欠損及び浮きを確認
- ・ブイ座標記録を見ると、振れ回り領域が一部に集中
- ・振れ回り円が比較的小さく、領域が複数でない場合は、離底部に摩耗が集中すると考えられる

## 議事（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

#### 【調査・確認事項】

- （１）海底の熱水鉱床、メタンハイドレート等、鉄が腐食する酸性状況にあったかどうか
- （２）Jiangsu Asian Star Anchor Chain 製作チェーンの国内浮魚礁での実績
- （３）２回目設置 15 号（旧 15 号）と 3 回目設置 15 号（離脱 15 号）の設置位置、礁体、係留索（チェーンの径、材質、製作メーカー、スタッド溶接の仕様等）の相違点の整理
- （４）摩耗しているリンクが後ろからどこまで異常性があったかについての整理
- （５）19 号と 15 号の振れ回り範囲の変化が類似することと摩耗の状況が異なることについての整理
- （６）ランプド・マス法による動的なインパクトフォースの調査
- （７）研磨剤となり得る岩石・堆積物に関する情報の整理

(1) 黒牧 15 号の設置位置海底付近が、海底熱水鉱床、メタンハイドレート等、鉄が腐食するような酸性状況になかったどうか

- ・日本周辺の主要な海底熱水鉱床は図 1（出典：荒井ら, 2013）のとおりであり、高知県沖合域には分布していない

### 日本周辺の主要な海底熱水鉱床分布図

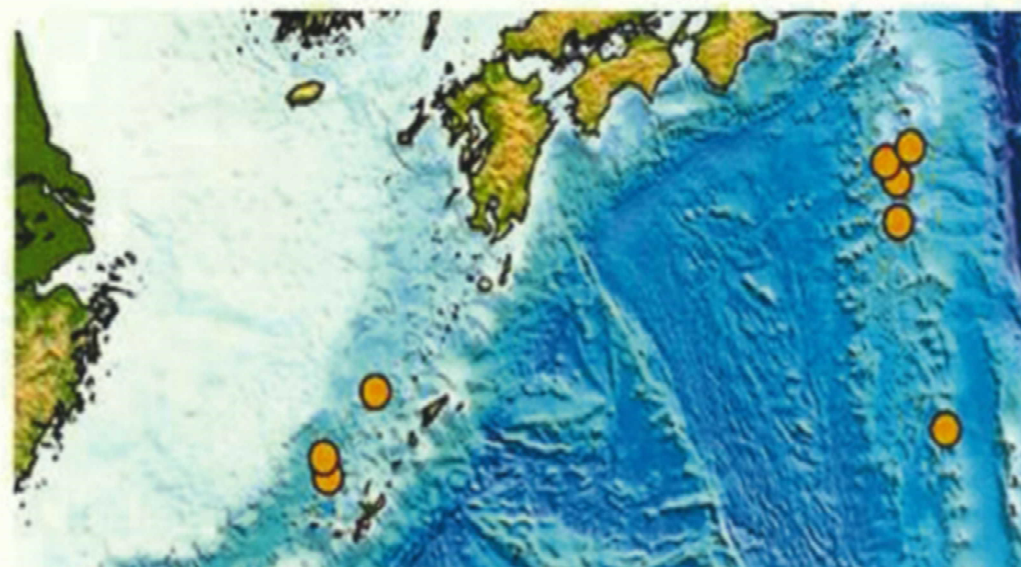


図 1

- ・メタンハイドレートは高知県沖に濃密埋蔵帯がある可能性が高いことが指摘されているが、高知県沖のメタンハイドレートは海底面下数百mの砂質堆積層内にある砂層型メタンハイドレートであると言われており、海底直上の環境に影響を及ぼす可能性は低い
- ・回収した離脱 15 号、旧 15 号、旧 19 号のチェーンに腐食した形跡は認められていない（離脱 15 号は図 2 を参照）

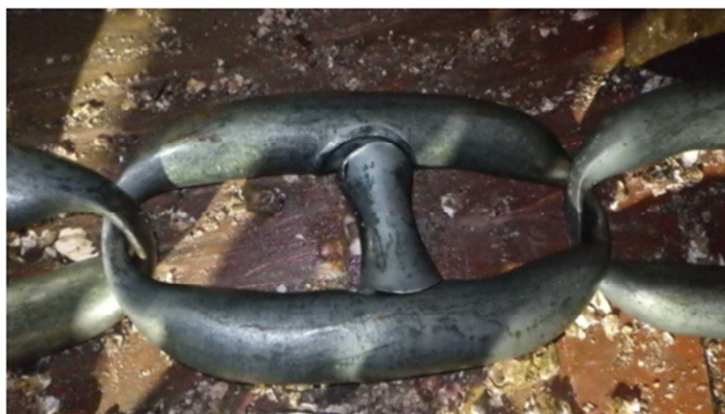


図 2

→以上のことから、15 号設置位置の海底は酸性状況ではなかったものと考えられる



(2) Jiangsu Asian Star Anchor Chain が製作したチェーンの国内浮魚礁での採用実績

・高知県の実績は下表のとおり

名称	設置年月	チェーン製作会社
黒牧15号	平成13年 4月	Kettenfabrik Master
黒牧18号	平成23年 1 1月	濱中製鎖工業 (株)
黒牧15号	平成24年 5月	Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co.,LTD.
黒牧10号	平成25年 3月	濱中製鎖工業 (株)
黒牧 9 号	平成27年 3月	江蘇奥海船舶配件有限公司
黒牧 8 号	平成28年 2月	江蘇奥海船舶配件有限公司
黒牧 6 号	平成28年 3月	Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co.,LTD.
黒牧12号	平成29年 4月	Zibo Anchor ChainCo.,LTD
黒牧11号	平成29年 1 2月	Zibo Anchor ChainCo.,LTD
黒牧14号	平成31年 3月	Zibo Anchor ChainCo.,LTD
黒牧17号	令和 2 年 1 1月	Zibo Anchor ChainCo.,LTD
黒牧16号	令和 3 年 5月	Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co.,LTD.
黒牧19号	令和 3 年 5月	Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co.,LTD.
うみさち 6 号	平成26年 2月	濱中製鎖工業 (株)

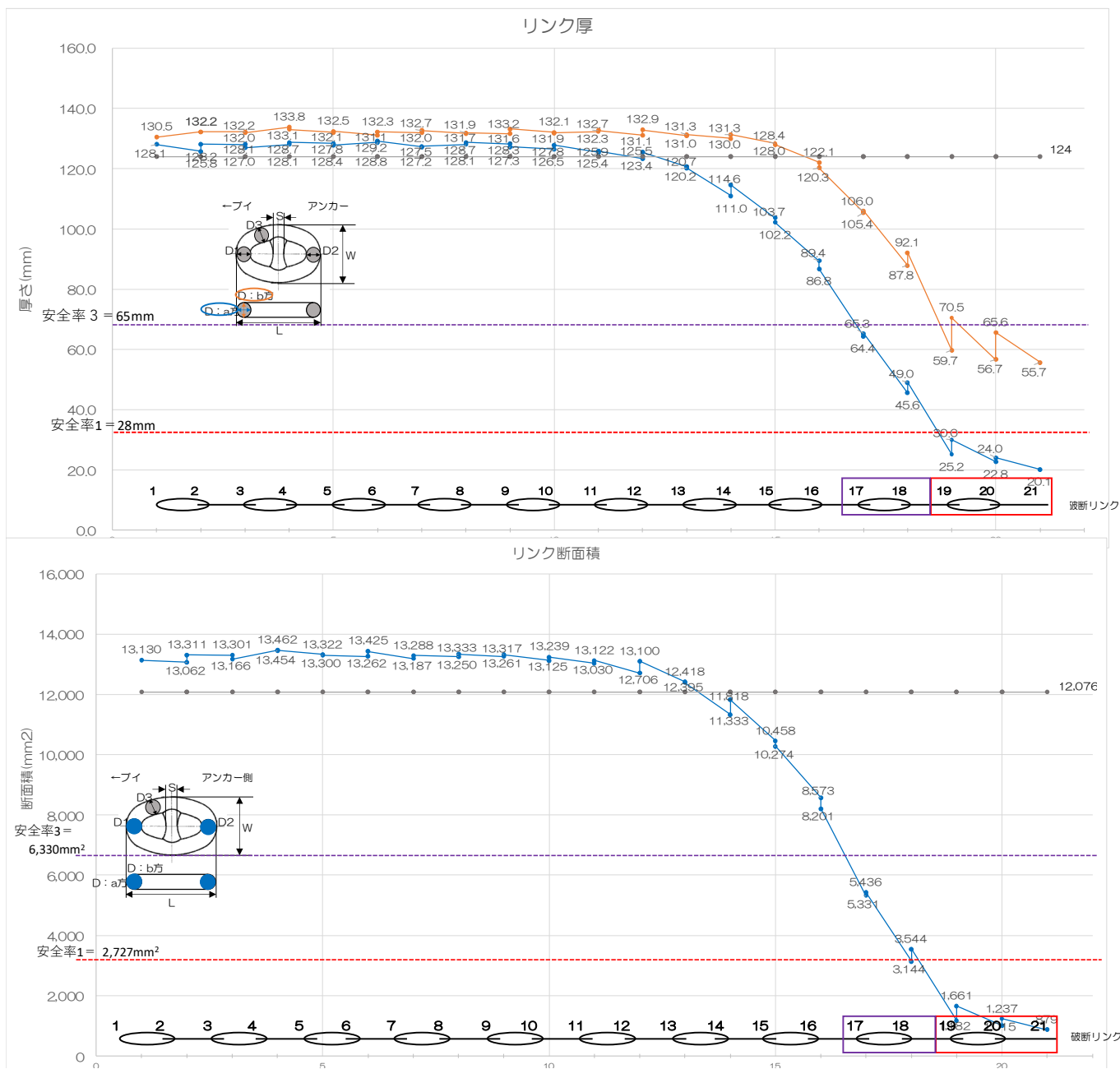
・他県で Zibo Anchor Chain Co.,LTD. の施工実績が 3 件あり (現在、供用中)

(3) 旧15号と離脱15号の諸元（設置位置、礁体、チェーン径・材質・製作メーカー・スタッド溶接の仕様）の比較表の作成

項目		旧15号	離脱15号
設置位置	緯度	33° 17' 36"	33° 17' 12"
	経度	134° 29' 24"	134° 29' 12"
浮体	全高 (m)	10.76	11.351
	浮体高 (m)	2.5	3.1
	浮体外径 (m)	10	9.5
	全重量 (kN)	441	462.8
	全浮力 (kN)	1849.3	2067.9
下部係留索 (中部)	リンク径 (mm)	117	124
	リンク長 (mm)	702	744
	リンク幅 (mm)	421	446
	製造メーカー	Kettenfabrik Mester	Jiangsu Asian Star Anchor Chain Co., LTD.
	リンク材質・規格	鋳鋼品 Grade U3 (=JIS F 3303)	鋳鋼品 Grade 3 (=JIS F 3303)
	リンク降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	410 <	410 <
	リンク引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	690 <	690 <
	伸長率 (%)	17	17
	耐力荷重 (kN)	6,510	7,200
	切断荷重 (kN)	9,300	10,280
	スタッド溶接	片側全周溶接	片側全周溶接
	チェーン長 (m)	70	80
	チェーン重量 (t)	21,317	27,323

(4) 摩耗しているリンクが、アンカー側からどこまで異常性があったかについての整理

- ・ 124mm チェーンの安全率 1 及び 3 となる相当径から摩耗後の短径を計算
- ・ 安全率 3 以下となったのは 17~21 の 5 リンク、1 以下は 19~21 の 3 リンク



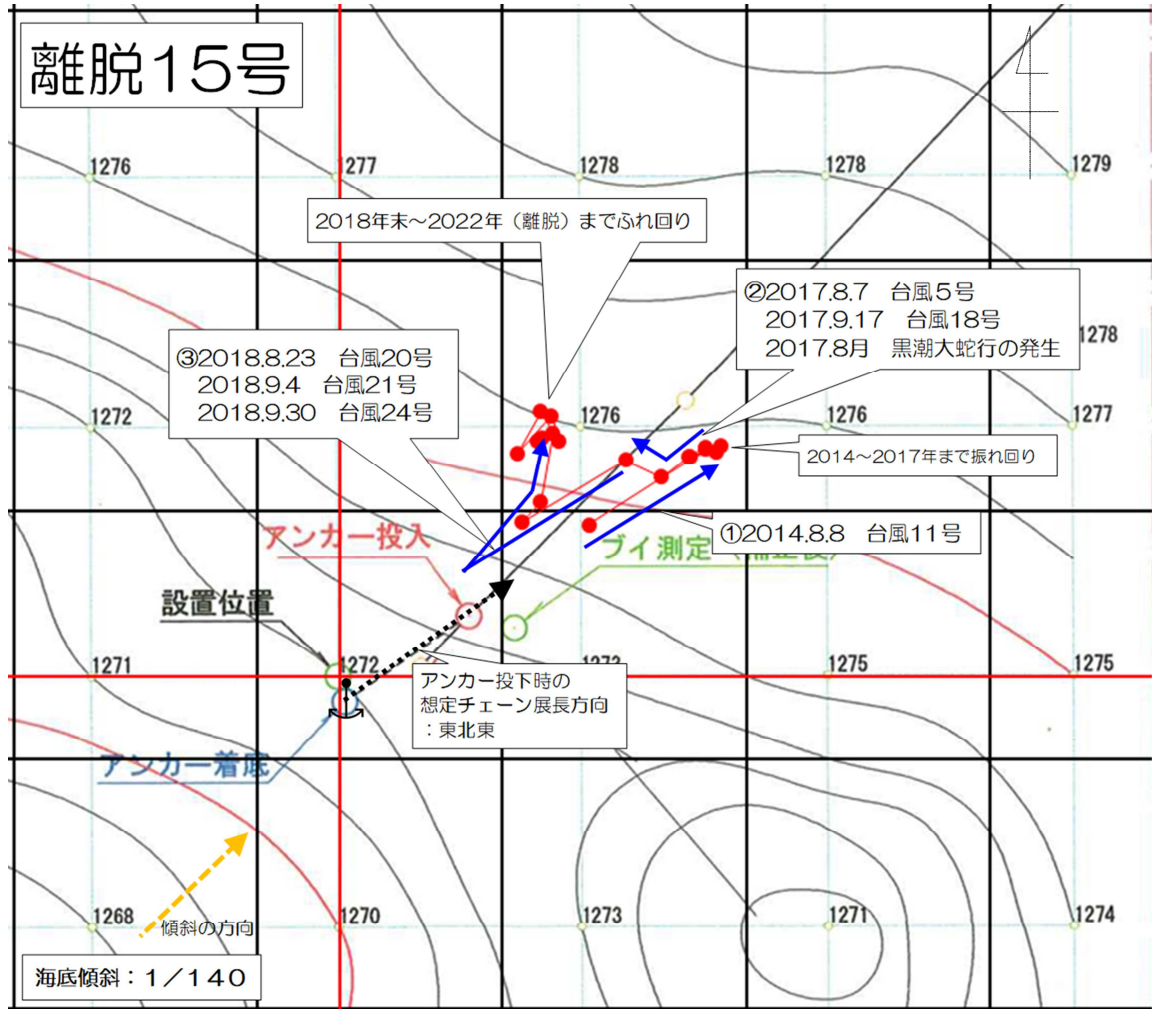
(5) 離脱 15 号と旧 19 号の振れ回り範囲の変化が類似することと摩耗の状況が異なることについての整理

1) 離脱 15 号と旧 19 号の諸元の比較

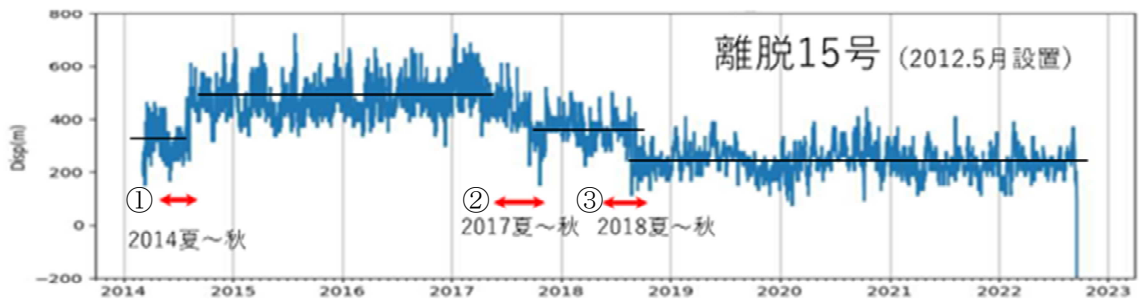
項目	離脱15号	旧19号
水深	1,272	1,160
<b>海底傾斜</b>	<b>1/140</b>	<b>1/20</b>
底質	シルト	シルトー強粘性泥
下部補強鎖（上）径（mm）	97	92
下部補強鎖（上）延長（m）	25	25
下部補強鎖（上）水中重量（N/m）	1,755	1,686
下部補強鎖（中部）径（mm）	124	117
下部補強鎖（中部）延長（m）	80	80
下部補強鎖（中部）水中重量（N/m）	2,867	2,726
下部補強鎖（下）径（mm）	92	92
下部補強鎖（下）延長（m）	25	25
下部補強鎖（下）水中重量（N/m）	1,579	1,686
下部チェーン径（mm）	87	76
下部チェーン延長（m）	180	90
下部チェーン本数	3	4
下部チェーン径（mm）	-	76
下部チェーン延長（m）	-	95
下部チェーン本数	-	1

## 2) 振れ回り範囲に関する詳細分析

- ・ 離脱 15 号と旧 19 号の振れ回り範囲の変化を図示 (台風前後の GPS データの平均位置をプロット)
- ・ 離脱 15 号は 2018 年夏～秋の台風接近の際に、大きく南方向に動いたあと北方向に移動し、それ以降の 4 年間は振れ回り位置に変化がない

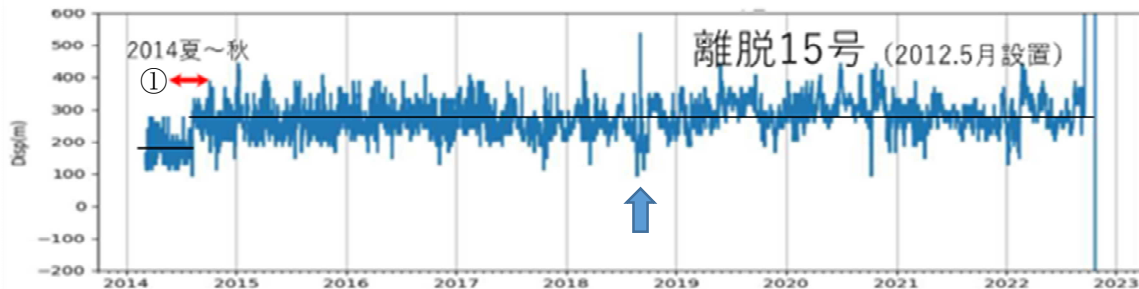


E ↑



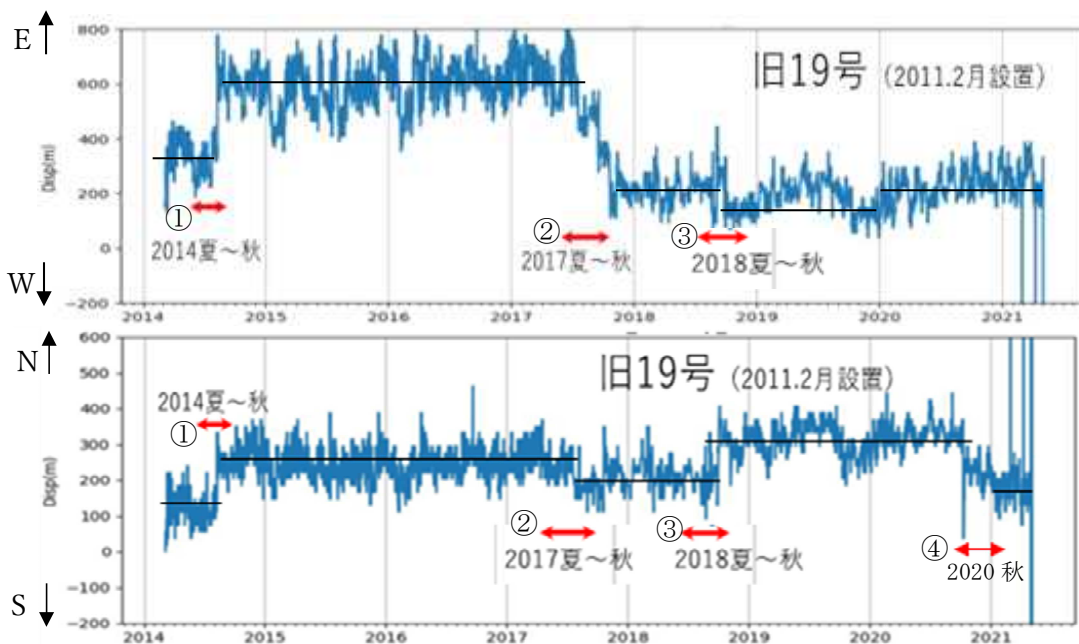
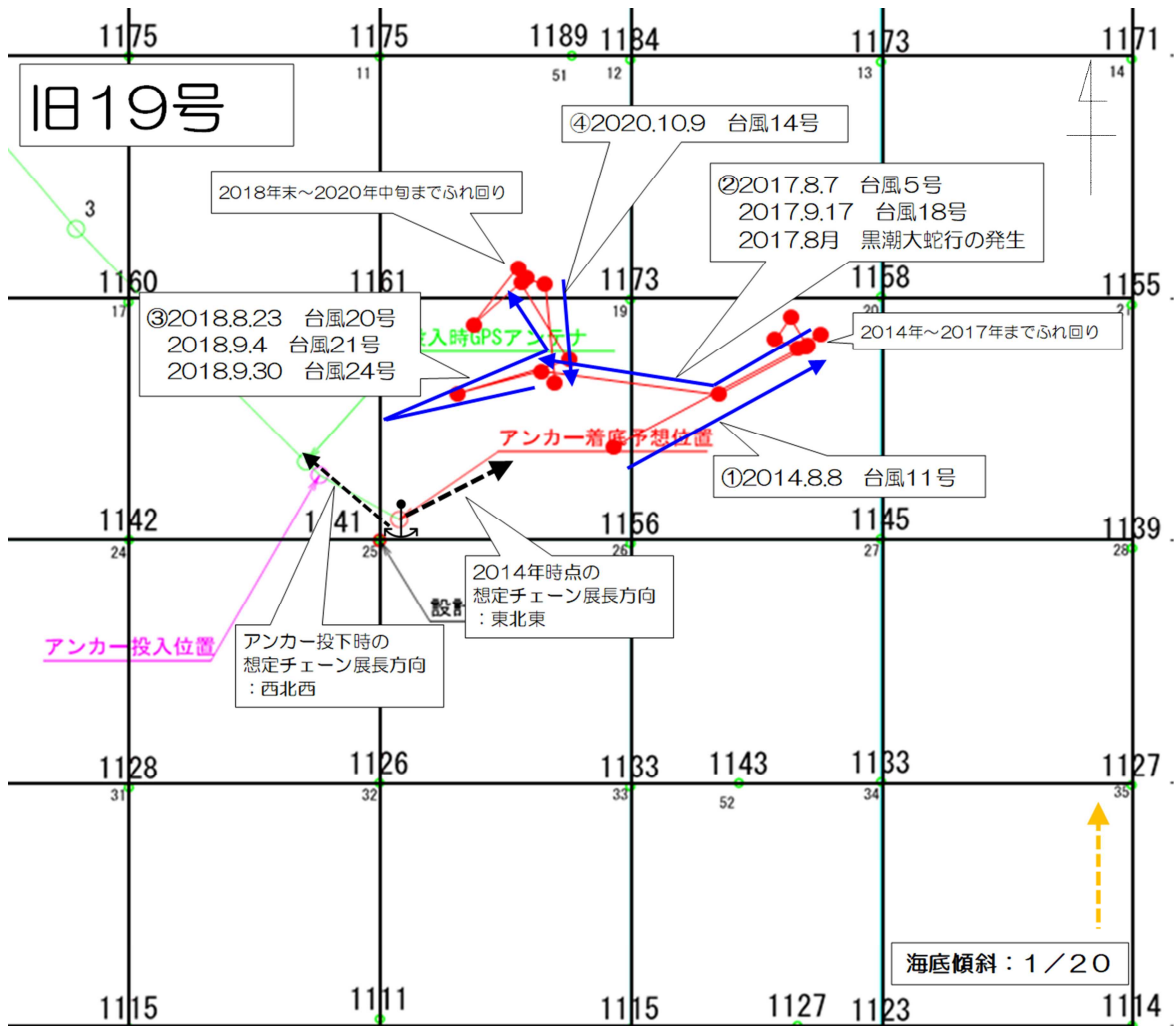
W ↓

N ↑



S ↓

- ・旧19号は2018年夏～秋の台風接近の際の南北への移動傾向は離脱15号と同じだが、南方向への変化が少なく、それ以降も振れ回り位置に大きな変化が認められる



(6) ランプド・マス法による動的なインパクトフォースの調査

- ・現時点で動的な検討は行っておらず、改めての検討も困難（日鉄）

(7) 研磨材となり得る岩石・堆積物に関する情報の整理

- ・金属の研磨剤となり得る岩石・堆積物としては、珪藻土（神笠，2002）、泥砂（海田ら，2021）
- ・離脱 15 号と 10 号、12 号、旧 15 号は海底地質がシルトで共通しており、今回の離脱 15 号の特異的な摩耗は海底地質の特異性では説明できないと考えられる

※神笠（2002）：珪藻土はモース硬度が 6～7 程度のソフトな研磨剤として自動車ツヤ出し剤に使用される。四国沿岸に主要な鉱床はない。

※海田ら（2021）：徳島海陽沖 GPS 波浪計は、水深-350m という大水深に 設置しており、設置地点の海底質は泥砂である。係留索はチェーンとアンカーで構成された一点係留方式（図-1）で設置されたが、海底地盤に接する境界部において、波浪等によるブイ本体の上下動によりチェーンと海底地盤の接触が繰り返され、海底質の泥砂が原因とみられる異常磨耗が生じた。

## 黒牧 15 号の離脱原因の推定（案）と改善の方向性に関する提言（案）について

### 【黒牧 15 号の離脱原因の推定（案）】

#### ○直接的な原因

1. 離脱した黒牧 15 号（以下、「本ブイ」という。）の浮体及び係留索の回収状況から、船舶の衝突等による可能性は低く、また、設置地点は水深 1,272m 地点と深い場所であることから、人為的切断の可能性も低い
2. 回収できた係留索（下部補強鎖中部の 21 リンク目まで）の調査の結果、下部補強鎖中部（海底立ち上がり部付近）は、末端部に向かって特異的に摩耗が進行し断面積が著しく減少していた
3. 下部補強鎖中部リンクの単位面積あたりの応力が大きくなっている状況で、台風 14 号接近に伴う高波や強風による過剰な引っ張り力がかかって破断した

#### ○特異的な摩耗が発生した原因

1. 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、下部係留索は過去の本県浮魚礁の回収品の調査結果を元に、本県の他の浮魚礁と同様、安全率 3 としており、設計に問題はない
2. 下部係留索の品質は、製作過程において検査等が適切に行われており、問題があった可能性は低い
3. アンカー及び浮体の設置は、本県の他の浮魚礁と同様、海上展張方式で行っており、2018 年の秋までは、本ブイと近接し、摩耗も進んでいなかった旧 19 号と浮体の移動軌跡が類似していたことから、設置の施工方法に問題があった可能性は低い
4. 浮体の座標観測記録を他の黒牧と比較したところ、本ブイの振れ回り位置は、台風 20、21、24 号によって、設計有義波高 12.5m を超える有義波高を受けたと推定される 2018 年夏～秋を境として、アンカー設置位置に近づき、かつ振れ回り範囲が狭くなっていた
5. なお、黒牧 19 号と海底勾配に差異があるが、このことが 2018 年夏～秋以降の本ブイと 19 号の振れ回り位置の変化の傾向が相違すること、摩耗の状況が異なることと関連するかは不明

上記のことから、黒牧 15 号の離脱原因は以下のとおりと推定する。

- (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による想定以上のブイの上下動や急激な振れ回りによって、下部補強鎖中部（海底立ち上がり部付近）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) そのため下部補強鎖中部の特定の部位に負荷が集中する状況となり、潮位変動や潮流による摺動によって想定を大きく超える異常な摩耗が進行し、下部補強鎖中部リンクの強度が著しく低下した
- (3) 強度が低下した下部補強鎖中部リンクは、最終的に 2022 年 9 月 18 日の台風 14 号による高波等の引っ張りによって破断に至った



### 【改善の方向性（案）】

- ・今回の事例は、短期間に3回設計を超える有義波高を受ける、かつ、下部補強鎖中部（海底立ち上がり部付近）の重なり合い等によって固定点化が生じるという、極めて特異的な事象が発生し、それによって潮位変動や潮流による摺動で特定部位の摩耗が急激に進んだことが原因であることから、今後、類似する事象が再度発生するとは考えにくい
- ・そのため、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（今回の事例も含む）において全く問題が起きていない海上展張方式による設置については現状のままで良いものと考えられる
- ・ただし、特異的な状況が発生した際の異常摩耗の対応として、立ち上がり部リンクの素材の変更（強度の高い規格への変更）については検討を行う