

徳島海陽沖GPS波浪計の再設置について

吉川 祐子

四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 工務課 (〒773-0001 小松島市小松島町字新港9-14)

GPS波浪計は、港湾整備に必要な沖合の波浪観測を目的に、全国的に整備が進められている。当事務所管内においても、平成22年1月より、徳島海陽沖GPS波浪計が1基稼働していたが、平成25年3月、係留索の破断により流出したため、直ちに回収作業を行った。

その後、早期にこれを復旧・再設置すべく、原因究明及び再発防止策を検討した。検討の結果、係留索チェーンの固定点化が原因で異常摩耗し、破断に至ったと考えられた。これを踏まえ、設置時のGPS波浪計ブイや係留索の挙動に着目して再発防止策を講じ、平成27年1月に再設置を行ったので報告する。

キーワード GPS波浪計、係留方索、異常摩耗、固定点化、設置方法

1. はじめに

国土交通省港湾局では、港湾事業に必要な波浪観測を行うために、平成27年6月現在、全国で18基のGPS波浪計を設置している。

徳島海陽沖GPS波浪計は、平成22年1月に徳島県阿波竹ヶ島沖合約20kmの海上に設置されたが、平成25年3月2日、流出判定システムが流出を検知したため、翌日、直ちに回収作業を行った。回収したGPS波浪計の係留索のチェーン部分は、特定箇所が異常摩耗し、破断していた。

本稿では、破断原因の究明及び再発防止策の検討と、再設置について報告するものである。



写真-1 徳島海陽沖GPS波浪計



図-1 流出経緯

2. 徳島海陽沖GPS波浪計の概要

徳島海陽沖GPS波浪計は、海底面に設置したアンカーと海面上のブイをチェーンとケーブルからなる係留索で連結している。(図-2参照)

本GPS波浪計は、水深430mという大水深に設置しており、これは、流出前の時点で、設置されているGPS波浪計の中で最も深い設置水深であった。さらに、設置海域付近は、黒潮本流が沖合を流れており、また、海陽沖沿岸部は西向きの潮流が流れているため、複雑な潮流が発生していることが確認されている。

3. 流出原因の検討

流出原因を解明すべく、有識者による検討会を立ち上げた。前例のない流出ということから、他のGPS波浪計との違いに着目し、係留索の状況、設置方法、移動軌跡等について考察の上、流出原因の検討を行った。

(1) 回収したGPS波浪計係留索の状況

回収したGPS波浪計の状況を確認したところ、すべてのチェーンリンクに腐食は見られなかったが、係留索φ11mmチェーンの上から77リンク目(No.77)が大きく摩耗し、破断していた。また、これより上部のNo.68～76にかけて摩耗が進行していた。この部分は、海面に向かって立ち上がる「立ち上がり部」に相当する。

立ち上がり部のチェーンの摩耗は、他のGPS波浪計同様、5mm/年で設計されており、3年(H22～H25)で破断したと考えられると、その摩耗は、111mm/3年=37mm/年となり、異常な摩耗状態であったと言える。

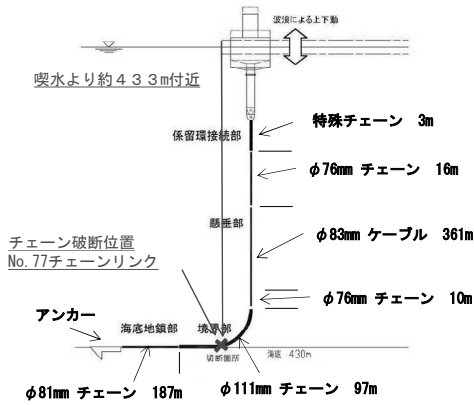


図-2 チェーンの破断位置



写真-2 破断したチェーンの状況 (No. 77リンク)

(2) 設置方法

図-3に現在設置されているGPS波浪計の設置方式を示す。また、表-1に各設置方式の施工手順を示す。

本GPS波浪計は、設置水深が430mあり、アンカー・チェーンの段階的な吊下しに時間を要することから、施工時の気象海象状況の変化によるリスクを考慮した方式(a)の自由落下方式を採用している。検討時点で、この設置方法を採用しているのは、設置水深が300mを超える徳島海陽沖と高知西部沖であった。

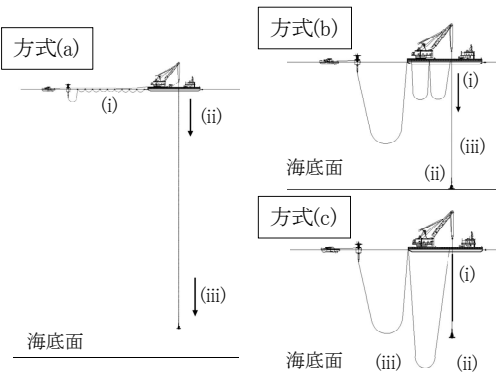


図-3 GPS波浪計の設置方式

表-1 GPS波浪計の設置方式と施工手順

設置方式	施工手順	設置実績 (設置水深)
(a)	(i) チェーンを起重機船側面に設置し、水面上にブイ・ケーブルを展開	288~430m
	(ii) 水面からアンカーを投入	
	(iii) (ii)によりチェーン・ケーブルが落下	
(b)	(i) アンカー・チェーンを段階的に吊下し	90~201m
	(ii) アンカー着底	
	(iii) チェーン切離し	
(c)	(i) アンカー・チェーンを段階的に吊下し	87~210m
	(ii) アンカー投入	
	(iii) (ii)によりチェーンが落下	

(3) 移動軌跡の比較

移動軌跡の範囲は、海域の波浪、潮流、風速などの海象条件によって変化するものである。そこで、ほぼ同等の海象条件である高知西部沖GPS波浪計と比較した。

図-4に各移動軌跡図を示す。一般的に、移動軌跡の範囲は、設置水深が深いほど大きくなるものであるが、徳島海陽沖(設置水深430m)の移動軌跡は、高知西部沖(設置水深309m)のものより小さくなっていった。これは、何らかの事象により、チェーンが十分に展張されておらず、チェーンが短い状態のためと推測された。

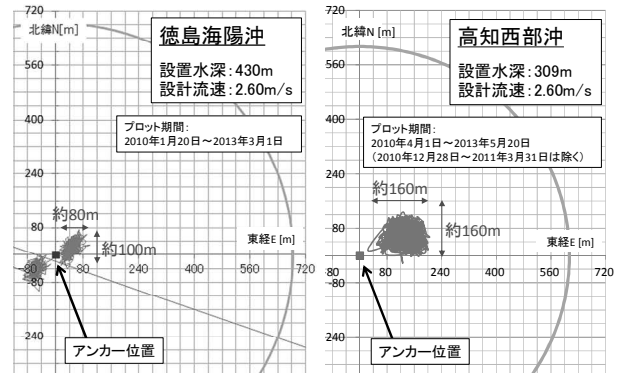


図-4 移動軌跡の比較

(4) 海底に残存しているチェーン及びアンカーの状況

遠隔操作無人探査機 (ROV) により、海底に残存しているチェーン及びアンカーの状況確認を行った。図-5に、ROVによる調査結果を示す。確認できた海底部の残存チェーンは、アンカーの位置から直線距離で20m程度しかなく(計算上は約250m)、チェーンが複雑に絡み合った状態であることが推測された。

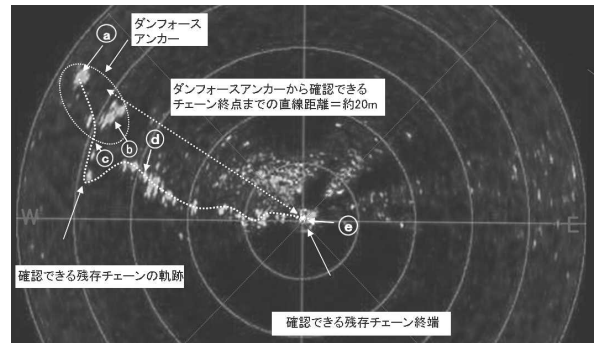


図-5 ROVによる調査結果

(5) 流出原因について

以上の検討結果を踏まえ、流出原因は次の通りと考えられる。

本GPS波浪計は、設置水深が430mと深く、自由落下方式による設置を行ったが、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に至った。これにより、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、潮位変動や潮流による摺動で異常な摩耗が発生し、破断に至ったものと考えられる。図-6に流出原因概念図を示す。

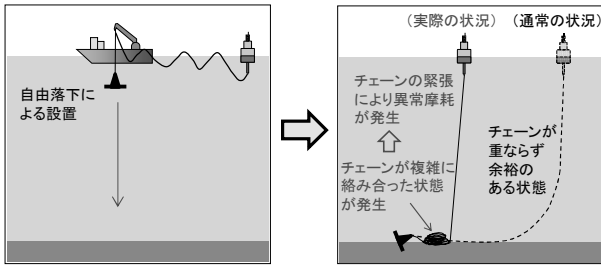


図-6 流出原因概念図

4. 再発防止策

(1) 設置方法の検討

チェーンを固定点化させないためには、新たな設置方法を確立する必要がある。アンカー着底後、係留索が順次展開された状態で落下することが重要である。

大水深であるため、当初設置時と同様に自由落下方式とするが、アンカー着底後、チェーン上部が落下するように、チェーンを95m延長することとした。(図-8参照)

また、①チェーン落下時の速度を低減し、十分チェーンが展張できるような方法として、図-3 (b),(c)に示すような「チェーンの事前吊り下ろし」、②係留索落下時にケーブルが引き込まれず、チェーンをより長く展張することを目的として、シーアンカーと呼ばれるパラシュートのようなものを設置することを考えた。また、設置水深は、430m→350mに変更した。

(a) 水理模型実験による設置方法の検討

上記の各効果について、水理模型実験による確認を行った。図-7に水理模型実験の概念図を示す。実験ケースは、4ケース行い、実験スケールは1/100で行った。

アンカーから立ち上がり位置までの長さを「展開長」とし、この展開長が短いと、チェーンが重なり合っている状態であると考え、展開長を主な判断基準とした。

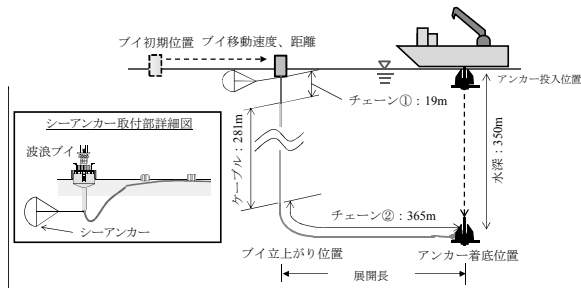


図-7 水理模型実験概念図(数値は現地スケール)

(b) 実験結果

各ケースの展開長を表-2に示す。各ケースの比較より、シーアンカーによる展開長増加が支配的である。なお、全ケースで立ち上がり部でチェーンが重なり合うことはなく、立ち上がり部付近での展開状態に有意な差はなかった。

表-2 実験結果

	内容	展開長 (実験値)
Case1	標準案(チェーン延長のみ)	82 cm
Case2	チェーンの事前吊り下ろし	84 cm
Case3	シーアンカー設置	98 cm
Case4	チェーンの事前吊り下ろし+シーアンカー設置	99 cm

(c) 最適な設置方法

水理模型実験より、チェーンの展開長については、Case4が最大値となるが、Case3と比較すると、効果は小さい。事前吊り下ろしを行う場合、作業手順が複雑になるため、安全性を考慮し、Case3のシーアンカーを用いた設置方法とした。図-8に施工イメージ図を、図-9にシーアンカー設置イメージ図を示す。

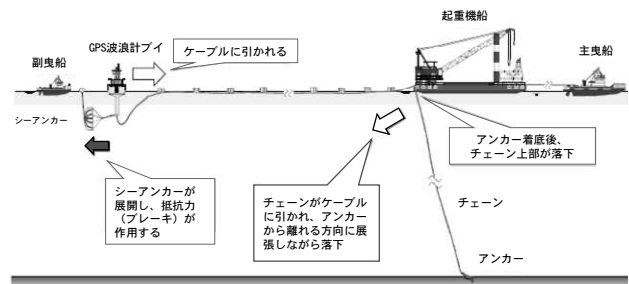


図-8 施工イメージ図

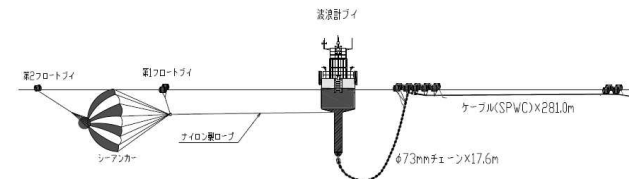


図-9 シーアンカー設置イメージ図

(2) チェーン強度等

不測の事態においても破断に至ることを回避するため、海底部からの立ち上がり部において、チェーンの規格を強度の高いものに変更した。また、落下速度を落とし、チェーンをゆっくりと展張させるため、各チェーンの重量を見直し、全体で約2tの軽量化を図った。図-10に再発防止策を踏まえたGPS波浪計の構造図を示す。

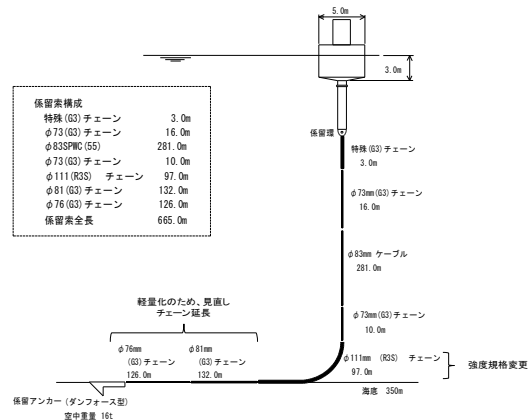


図-10 徳島海陽沖GPS波浪計 構造図

5. 再設置工事

(1) 設置位置

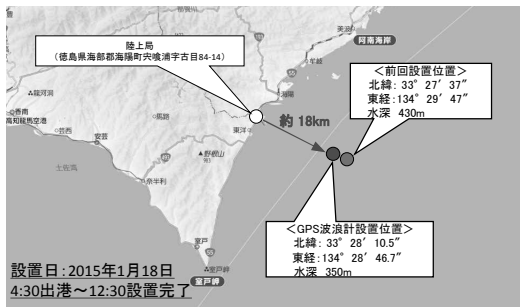


図-11 徳島海陽沖GPS波浪計 設置位置図

(2) 係留設備積み込み

係留索を起重機船内に積み込み、左舷側の固縛ワイヤーにて吊り下げた。曳航時のチェーン落下防止対策として、チェーン下端は喫水面より1m上とし、曳航時に水の抵抗を受けないようにした。固縛したチェーンの落下防止として、一定の割合で、落下防止ワイヤを取付けた。なお、落下防止ワイヤーは、アンカー投入前に取り外すこととした。



写真-3 チェーン吊り下げ状況

(3) GPS波浪計着水～ケーブル展張

設置位置の約1,000m手前にてGPS波浪計ブイを着水させ、曳船にてケーブルの展張を行った。ケーブルを十分展張させておくため、30～40m間隔で俵ブイを取り付け、沈まないように配慮した。



写真-4 GPS波浪計ブイ着水状況

(4) シーアンカー設置～アンカー投入

GPS波浪計に、シーアンカーを取り付け、その後、GNSSにより起重機船を投入位置に誘導し、起重機船左舷側に吊下げられたアンカーを切離し装置により切り離

した。アンカーの落下により吊下げたチェーンの固縛ワイヤーが順次切断されることで、チェーンを海中へ落下させた。



写真-5 固縛ワイヤー切断状況



写真-6 設置完了

(5) 設置状況の確認

遠隔無人探査機 (ROV) を使用して、アンカーの位置及びチェーン展張状況の確認を行った。アンカーの位置については、計画設置位置に対し、北へ27m 東へ6m、水深349mの位置にあり、ほぼ計画通りの位置であった。

また、写真-7にチェーン展張状況を示す。アンカー付近においては、海底土砂中に埋もれているものの、伸びて展張されているのを確認した。懸念箇所であった立ち上がり部においても、伸びた状態であり、固定点化していないことを確認した。



写真-7 チェーン展張状況

6. まとめ

今回、GPS波浪計流出の原因究明に際し、水深430mもの海底で起こった事象を解明することは容易ではなく、検討に当たっては、有識者より多くの意見を頂いた。

再設置については、再発防止策としてシーアンカーを設置し、チェーン自体にも工夫を施した。また、沖合18kmの海上での作業となり、多くの危険が伴う中、緻密な施工計画と安全対策を講じることで、無事再設置することができた。

徳島海陽沖GPS波浪計の再設置より数ヶ月経った現在、順調に観測を行っている。今後、GPS波浪計の移動軌跡を注視しつつ、観測を継続していきたい。