

—緊張係留システムの実海域実験—

—TLP sea test

活用しさらに発展させるべく、緊張係留システムの実海域実験を実施することにした。またこのために、大型浮遊式海洋構造物の建設基礎技術に関し、模型試験や理論解析で得られた研究成果を厳しい自然環境下において検証することを目的に、実物に近い海洋構造物の係留実験を希望する運輸省船舶技術研究所と共同研究「浮体式海洋構造物による実海域実験」を実施した。

緊張係留システムの設置工事を海象の穏やかな夏季に実施できるよう、ハードウェアシステムの準備、工事手順の調整、許認可等の整備を終えて、昭和 61 年 7 月下旬から 8 月上旬にかけて緊張係留工事を行った。その後、給電ケーブルの布設・浮体との結合、計測機器・データ収録システムの調整を行い、9 月 3 日に実験開始式を地元由良で開催した。11 月初旬に緊張係留を解除するまでの約 2 カ月間、当初計画どおりの条件⁴⁾のもとに実験を順調に実施し、計測データを取得することができた。本論文は緊張係留システムの設置・調整に関する技術的検討および実海域実験で得られた成果をとりまとめたものである。

なお実海域実験の係留方式には、海洋科学技術センターが実施する緊張係留方式とは別に、船舶技術研究所が研究対象としている弛緩係留方式の 2 種類がある。設置工事の際に弛緩係留索の取り付けおよび調整を完了させ、緊張係留実験時には弛緩係留索の張り方を緩めて、その影響をできる限り減らすように措置している。

2 緊張係留システム

緊張係留システムは山形県鶴岡市由良漁港の北北西約 2.6km 沖合、水深約 41m の海域に設置された。設置位置および海域の概要を Fig.1 に、また緊張係留システムの全体概要図を Fig.2 に示す。緊張係留システムは浮体式海洋構造物、緊張係留索、シンカーおよびデータ計測のために搭載されている計測機器類から成ってい

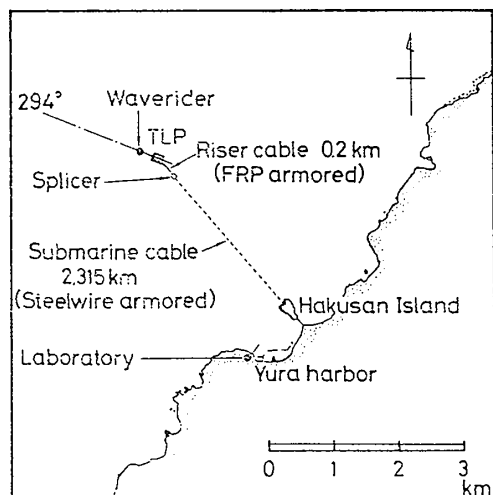


Fig.1 Outline of TLP installation site

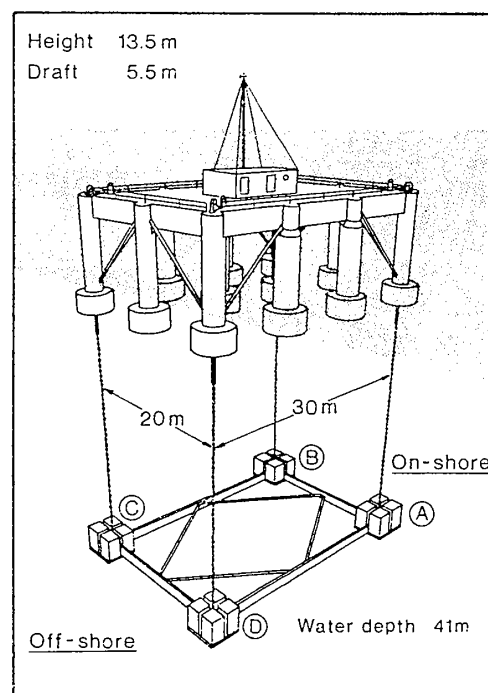


Fig.2 General view of the TLP

る。

2.1 浮体式海洋構造物

緊張係留の実海域実験に使用した海洋構造物は、科学技術振興調整費により運輸省船舶技術研究所が設計・建造したものである⁵⁾。この海洋構造物はフーティング型要素浮体 12 本にて上部構造物を支持する様式となっており、フーティング 1 カ所がコンクリート製であることを除けば、全体は鋼構造物であり、全長 34m、全幅 24m、高さ 13.5m、喫水 5.5m、総排水量 527ton である。また、上部構造物は長さ 30m、幅 20m、高さ 2.5m のボックスガーダー構造であり、これに支持浮体が結合されている。構造物に作用する波力および構造歪を検出し易くすること、さらに海中構造物材を極力少なくして維持管理を単純にすることを目的に、支持浮体間を海中で結合する水平ブレースが省略されているという特徴がある。ただし、コーナー部の 4 本の支持浮体は、下端で係留索からの横力を受けるので、大きな曲げモーメントが発生する可能性があり、安全のために斜めのブレースが各 2 本配置されている。

四隅のコラム（直径 2m）の内部には緊張係留索をとす内径 40cm のパイプが縦に貫通している。またこれらのコラム・フーティングはバラストタンクとなっており、緊張係留索に初期張力を設定するためのバラストをポンプにより注排水することができる。ただし、海洋構造物および装備品の総重量は結果的に約 390ton となっており、このため初期張力調整用のバラスト重量は海洋科学技術センターが当初計画していた 160ton を大幅に下回り、135ton となっていた。4 本の緊張係留索

にそれぞれ均等に 30ton の初期張力を設定するためには、チェーン重量を約 3ton とすると、基本バラスト重量 132ton 以外にバラスト調整用に各々 5ton 程度、したがって総計では最低 150ton 程度のバラスト重量が必要とされる。

2.2 緊張係留索および検力システム

緊張係留索として、径 50mm の第 4 種チェーン（破断荷重 280ton）を使用した。1 本の緊張係留索を 3 分割して、海底側 30m と、構造物側 25m の中間 10m 部分を、ゴムを充填被覆したラバーチェーンとし、水面付近に配置してチェーンの腐食およびコラム下端部との接触による摩耗を防止することを目的とした。

4 本のラバーチェーンの寸法を Fig. 3 に、また荷重-伸び特性を Fig. 4 に示す。なお、ラバーチェーンの識別名 A, B, C, D は Fig. 2 に示す取付け位置と一致させ

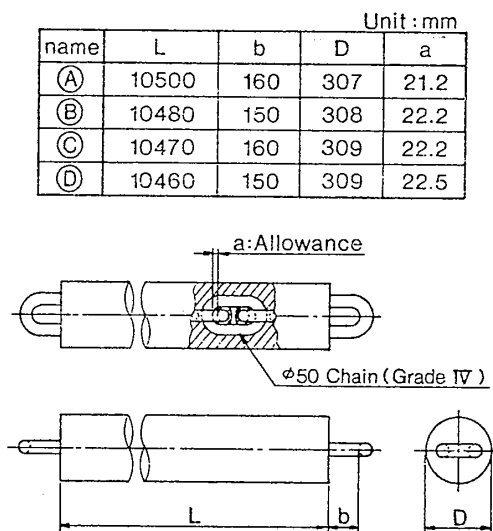


Fig. 3 The sizes of Rubber-Chain. The names A, B, C, D identify the location used on the tension leg

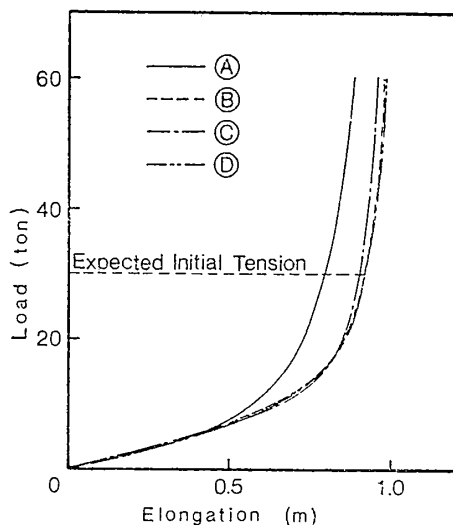


Fig. 4 The load-elongation characteristics of the Rubber-Chain

た呼称である。ラバーチェーンの長さ L は平均 10.48m, 余裕量 a は平均 22mm である。ゴムの硬度は、柔らかすぎると圧縮強度が低下し、逆に硬すぎると変形しにくくなるので、通常は硬度 50~70 程度の範囲が妥当とされているが、本研究ではラバーチェーンの衝撃吸収能力を高めるために硬度 50 のゴムを使用することにした³⁾。ラバーチェーンは初期張力 30ton のとき、平均 0.88m 伸びることが期待される。しかし、実際の初期張力は B, D では大きく、A, C では逆に小さくなったため、この位置における緊張係留索の軸剛性は少し弱くなっていたものと思われる。

緊張係留索は、上甲板上で Fig. 5 に示すチェーン車を介して制鎖器に固定される。チェーン車の回転軸の真下には圧縮型ロードセル（定格 45ton）を固定し、緊張係留索の張力 P を測定できるようにした。ロードセルには圧縮力 $R=0.28125P$ が発生している。なお、初期張力および変動張力を算出する場合には、圧縮荷重からチェーン車の自重 1.32ton, およびチェーンの自重 2.71ton $\times 0.28125 = 0.76$ ton を差し引いている。

緊張係留索は海底部ではシンカーに結合される。今回の緊張係留実験は比較的浅い海域で行われるので、接合

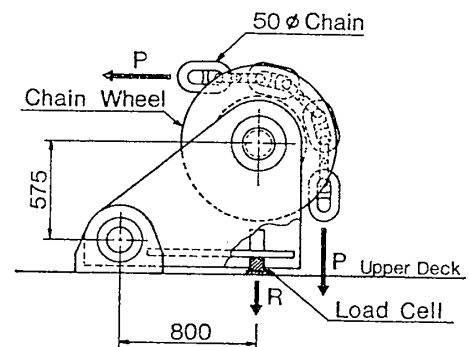


Fig. 5 Chain guide wheel and load cell measuring tension. $R=0.28125P$

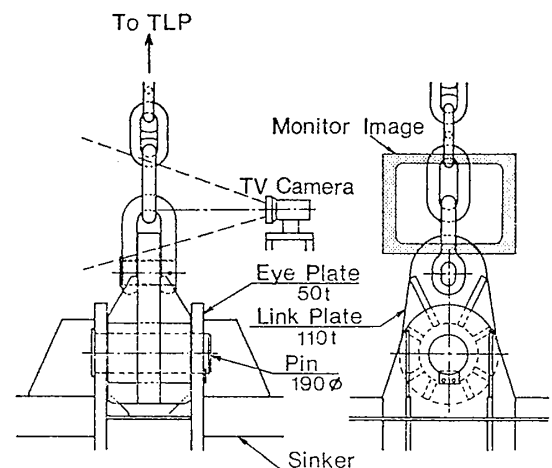


Fig. 6 Anchor connector. At location A, underwater TV camera monitors the behavior of endlink and anchor shackle

部に大きな曲げモーメントが発生したりまた漂砂などがチェーン・シンカーのコネクタ内部に侵入して接触部が激しく研磨されることにより、緊張係留索の破断事故に至るのを防ぐことが重要な課題であった。このためチェーンの根止め金物は Fig. 6 に示すように、構造部材の厚みを大きくし、またコネクタピンを太くして耐摩耗強度を十分大きくするとともに、水中 TV カメラを接続部の近くに配置し、この部分の挙動を常時モニターすることにより異常状態を早期に検出できるような対策を立てた。

2.3 シンカー

浮体式海洋構造物を緊張係留し、実海域の厳しい海象・気象条件下で安定に保持しておくために、海底にシンカーを設置した。4本の緊張係留索の初期張力の合計が約 130ton であり、さらに波浪によって生じる変動張力が初期張力と同程度で加算されても、シンカーが持ち上ったり、移動したりしないようにするためにシンカー水中重量を約 500ton と定めた。

シンカーの構造様式は製作・進水・設置の容易性・経済性、および据付方位の正確性を考慮して Fig. 7 に示すような設計とした。全体枠組は鋼溶接構造 (SS 41) とし、シンカーとしての安定性を得るための重量はコンクリートブロックにて確保することにした。コンクリートブロックは $2.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 3.6\text{m}$ (水中重量 28.3ton) を 16 個製作し、シンカー鋼構造を据付けた後、現地に

において四隅のマッドマット上に各 4 個ずつ搭載固定する方式である。シンカーの総水中重量は 536ton となった。

本シンカーを設置する海域の土質物性は、内部摩擦角 32° 、単位体積重量 1.85ton/m^3 、粘着力 1.2ton/m^2 を標準値として参考にし、シンカーの沈下量を約 30cm 程度と推定し⁶⁾、マッドマットの高さを 41cm とした。ただし、この海域の底質は砂まじり粘土であり、予想以上に締まって固くなっていたため、シンカー設置後ダイバー調査によりほとんど沈下していないことが判明したが、この場合でも設計上は実験期間中におけるシンカーの横すべりが発生しないだけの安全性を確保している。当初計画ではむしろ、潮流 (最大 1kt) によって洗掘が起こり、シンカーが不等沈下する場合の対策が重要な課題と考えられていたが、実際には安全側で実験を遂行することができた。

2.4 データ伝送システム

海洋構造物は海・気象が穏やかな時に、機器などの調整作業をする場合以外は無人運転であり、緊張係留システムの安全監視および計測データの取得のために、Fig. 8 に示すデータ伝送システムを構築した。海洋構造物上で計測したデータは、二つのテレメータシステムにより、また、Waverider による入射波浪データは独自の無線装置により陸上基地に伝送することができる。なお、二つのテレメータシステムのうち一つは海明実験で使用してきた 400MHz 帯のものであり、0~1V のアナログデータを FM 変調により送信する方式である。

緊張係留実験のために新たに開発した簡易データ伝送システム (RETRAS) は 50GHz のマイクロ波を使用するものである。空中線電力 15mW・伝搬距離最大 10km となっているので、見通し間通信しかできないが、無線従事者が不要なため簡便であること、パソコンデータ通信および画像情報伝送が可能という特長がある。ただし、マイクロ波は降雨、浮体動揺、あるいは海面反射などの攪乱に弱く、電波状況が悪化すると通信不能となるので、ソフトウェアでカバーするシステムとした。本システムの構成は以下のとおりである。

(1) 計測制御装置

センサーからの信号をデジタル化して取得する (サンプリング・タイム 0.5 秒、計測時間 25 分)。5 分間の計測休止時間内にデータを一括して送信制御装置に転送する。

(2) 送信制御装置

簡易無線装置 (PASOLINK 50) を介して、計測データを陸上側の受信制御装置に伝送する。モデムによりアナログ信号に変調して伝送する方式としたので、伝送速度は 9.6kb/s である。なお、本装置は通信不能時にデ

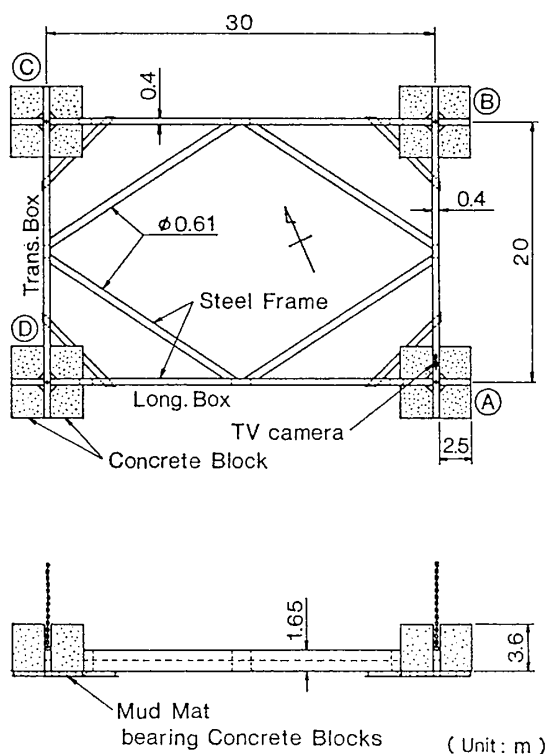


Fig. 7 The sinker consists of steel frame (84.2 ton) and 16 concrete blocks (825.4ton). Resulting weight is 536ton in water

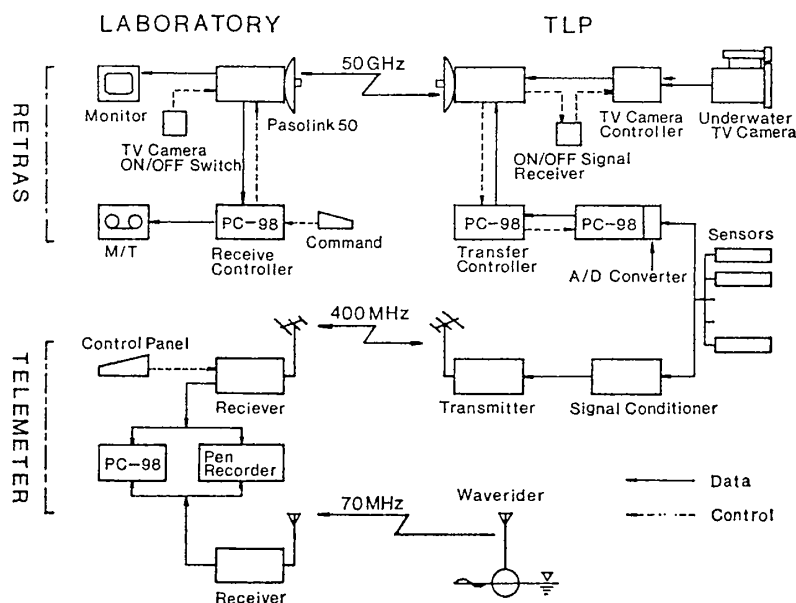


Fig. 8 Monitoring and data acquisition system

ータを保存できる機能がある。

(3) 受信制御装置

受信データをエラー検定した後、M/Tに収録する。送受信装置間はBSC伝送制御手順により、同期調整、誤り制御を行っている。なお、本システムにおけるデータ取得および伝送条件は本装置により陸上から変更可能である。

(4) 水中TVカメラ

本システムは画像情報を伝送できるので、海底付近に設置した水中TVカメラにより、緊張係留索・シンカー接続部を陸上基地において常時監視することができる (Fig. 6)。水中TVカメラは陸上からON/OFF制御することができる。

緊張係留実験期間中に、簡易データ伝送システムのデバッグを行い、開発を完了した。信号を正しく受信するためには入力電界が70dBm (AGC電圧1V) 以上が必要であるが、緊張係留時にはAGC電圧が最大3.25V、変動幅0.25V程度で安定していた。なお、緊張係留解除後は浮体の動揺が大きくなったため、受信レベルの最大値は低下し変動も大きくなったが、計測データの受信不良やデータ欠落は少なく、本システムは概ね良好に作動することを確認した。

3 緊張係留工事

昭和61年は例年になく梅雨明けが遅れたため (明治24年観測開始以来第2位) 緊張係留工事の開始は当初計画より一週間ほど遅れた。緊張係留工事の全体工程は、Fig. 9に示す通りであった。

3.1 TLP用シンカーの沈設

シンカー鋼構造は山形県酒田市で建造され、7月27

		1986																
Operation	Date	July					August											
		27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sinker installation																		
Launching・Towing																		
Positioning																		
Concrete block setting																		
TLP connection																		
(Towing platform)																		
Mooring TLP																		
(Catenary chain)																		
Power cable																		
Adjusting tensions																		

Fig. 9 Operation history of the TLP installation. The operations designated in parentheses were performed by SRI

日に進水、同日のうちに現地まで約40kmを海上曳航され、翌日には3台のクレーン船にてあらかじめ選定された海底面が平坦な地点に沈設することができた。

冬季の実験海域における入射波浪の卓越方向はWNW (292.5°) である。浮体式海洋構造物の船首方向がこの方位となるように設置し、またこれを基準として弛緩係留索のアンカー打ちを行うためには、シンカーの据付け精度を確保する必要があった。このため海岸のポイントにトランシットを設置し、クレーン船を誘導しながら沈設した。なお、全工事終了後設置方位を確認したところ294°となっており、満足できる結果であった (Fig. 1)。シンカー鋼構造沈設後、3日間で16個のコンクリートブロックを据付けた。

3.2 浮体式海洋構造物の緊張係留

徳島県鳴門市で建造され艤装工事を終えた浮体構造物は下関経由日本海回りで曳航され、現地には7月29日到着したが、シンカー工事が完了していなかったため、仮係留しておいた。緊張係留工事は8月1日に開始さ

れ、一担緊張係留索を張合わせた後、弛緩係留用チェーンの取付・調整作業および給電ケーブル取付作業を先行させ、すべての重量物を取り込んでから最終的な初期張力調整を行った。

緊張係留索に初期張力を設定する場合、基本的には二つの異なった作業がある。一つはバラストの注排水であり、他は緊張係留索の長さの調整である。工事内容については、4本の緊張係留索の初期張力の平均値が30ton程度でしかもバラツキが小さいこと、および浮体の計画喫水が確保され水平となっていること、という互に関連してはいるが相反する条件を満足しなければならない。しかもできるかぎり少ない作業量で実現する必要がある。

緊張係留索の長さの調整ではチェーン1リンク分20cmが最少単位である。しかし2リンク分を修正する場合には簡単に巻き締め・繰り出すだけでよいが、1リンク分の場合にはチェーンを90° 振る必要があるため、チェーン車に掛け直さなければならない。また係留チェーン巻き締め、繰り出し用の電動ウインチは定格10ton、2m/minが1台しかなく、初期張力が作用している状態ではウインチによる作業はできないので、索長の調整はバラスト水を注入して、初期張力を0としなければならない。したがって初期張力の設定は以下の手順により実行した。

1) 索長を計算により推定し、チェーンを制鎖器に固定して全バラスト水を排出する。これにより得られた喫水状態および初期張力を計測する。

2) 計画喫水および初期張力条件が満足されるよう、修正すべき緊張係留索のチェーンリンク数を決定して、全バラスト水の注入、索長の調整、全バラスト水の排出を行う。

2回の調整作業により設定された最終的な初期張力はTable 1に示すように、平均31tonであるが、位置A、

Cの索は平均より24%小さく、B、Dの索では逆に24%大きくなっている。余分のバラスト水があれば、これを移動させることにより微調整を行い、初期張力のバラツキを小さくすることも可能であるが、2.1節にも述べたように、バラストの調整代は完全になくなっている。実海域実験は安全に実行できると判断し、この状態で緊張係留実験を行うことにした。

4 給電ケーブル

浮体式海洋構造物の実海域実験を長期にわたって実施するためには、計測機器、灯標その他の機器類に電力を供給する必要がある。

浮体式海洋構造物に陸上から電力を供給するため、海底ケーブルと浮体を海中懸垂ケーブルを用いて接続することにしたが、実海域実験における浮体の係留方式には緊張係留および弛緩係留の2方式があり、弛緩係留時には、浮体は波浪、潮流、風などの外力の影響により動揺し海面を振れ回るため、この運動に対応できる有効な海中懸垂ケーブル布設方式を採用する必要がある⁷⁾。

4.1 ケーブル布設形状の検討

ケーブル布設形状の検討資料としては、浮体の運動が大きい弛緩係留を対象とし、ケーブルガイド管出口の移動量として、水平方向については直径30mの円内、上下方向については±7m以内と推定したデータを用いて⁸⁾、2次元挙動解析による検討を行った。

Fig. 10には今回採用した海中懸垂ケーブルシステムを示す。この方式は比較的浅い水深で浮体の大きな移動量を吸収するのに適した中間ブイを有するダブル・カタナリー方式である。

中間ブイB点に関する釣合い条件式は次式で表わされる⁹⁾。

$$\begin{aligned} T_1 \cos(\theta_1 - \alpha) - S_1 \sin(\theta_1 - \alpha) \\ - T_2 \cos(\theta_2 - \alpha) + S_2 \sin(\theta_2 - \alpha) \end{aligned}$$

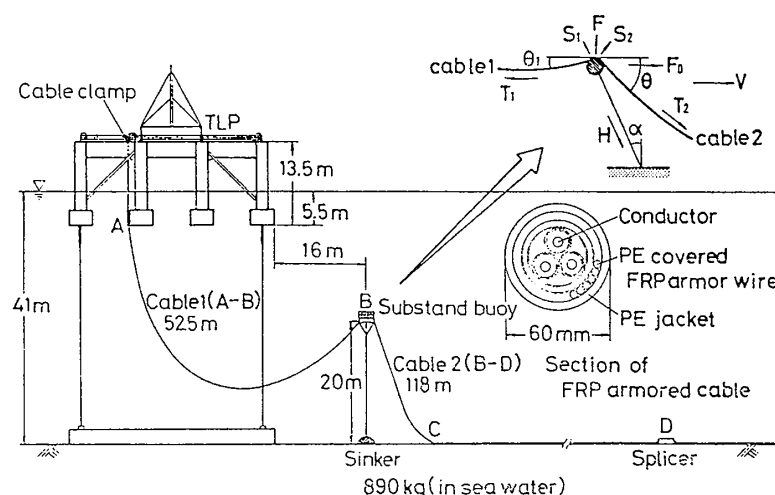


Fig. 10 Riser cable system

$$-(F_D \cos \alpha + F \sin \alpha) = 0$$

ただし, Fig. 10 および式中の記号は, F : 中間ブイ浮力, F_D : 中間ブイ抗力, H : 中間ブイ係留索の張力, T_1, T_2 : ケーブル張力, S_1, S_2 : ケーブルせん断力, V : 潮流速度である。

ケーブル 1 (A-B) の長さを与え上式を解くことにより, ケーブル 2 (B-C) の長さを求めることができる。使用するケーブルの総長 200m 以内および中間ブイの安定性などを考慮して検討した結果, Fig. 10 に示す中間ブイの高さを 20m とした布設形状を採用した。

4.2 海中懸垂ケーブルの構造

海中に懸垂されるケーブルの問題点は, 浮体の動揺による苛酷な繰返し荷重と変形であり, このため懸垂部に使用するケーブルは長期間にわたりこれに耐える機械的強度と耐屈曲疲労性, 耐キンク性さらにケーブル自体の軽量化が必要とされる。

実海域実験には, 懸垂ケーブルとして Fig. 10 に断面図を示すような FRP 鎧装ケーブルを使用した。FRP は軽量で比強度に優れており, 実験に使用した外径 60mm の FRP 鎧装ケーブルの水中重量は 0.52kg/m であり, 同径の鉄線鎧装ケーブルの約 1/9 の重量となる。また曲げ疲労特性についても金属材料よりも優れている。

4.3 海中懸垂ケーブルシステム

浮体甲板上でのケーブルの引き留は, 二重の円錐状筒金具の空隙部にステンレススリーブを圧着した FRP 鎧装線を挿入し, 金具をボルト締めして把持する構造とした。上甲板より浮体の内側コラムに沿って取り付けられたケーブルガイド管を通し海中に懸垂され, 水深 32m 付近で第 1 カテナリーを形成し, 水深 21m の中間ブイへと立ち上がる。

中間ブイは, 浮力を一つのフロートに持たせず直径 346mm の小型フロート 15 個の集合体として危険の分散を図り, たとえこのうちいくつかが破損しても十分な浮力を持ち, またフロート交換を行う場合でも破損したもののみ交換すれば良い設計とした。また中間ブイ取り付け部のケーブルは許容曲げ半径 (0.6mR) から直線状に近い範囲まで曲率が大きく変化することが予想されるため, これに適した FRP 製折れ曲り防止装置 (Bend restrictor) を製作し中間ブイと一体構造にした。一体構造の中間ブイの浮力は 185kg であり, 外径 14mm の鋼製ワイヤー 2 本によって水中重量 890kg のシンカーに結ばれている。

中間ブイで立ち上げられたケーブルは再び海底へ向かい第 2 カテナリーを形成し, 浮体の運動に追従するための着底長を取り, 海底ケーブルと接続箱を介して接続される。

接続箱から陸側の海底ケーブルは Fig. 1 に示すよう

に布設されており, 白山島側 290m, 接続箱側 260m を除いては深さ 0.6m の埋設が施されている。なお, この海底ケーブルは波力発電装置「海明」の送電ケーブルとして使用したものを引き続き使用したものである。

白山島に立ち上げられたケーブルは, 陸上受電設備に接続され浮体への給電系統を形成する。

浮体への給電は一般給電線により 6.6kV で陸上受電設備に供給された後, 布設されたケーブルを経由し浮体へ送電され, 浮体上の高圧受電盤内の変圧器により 200V に降圧され使用される。

懸垂ケーブルの布設作業は 85ton 吊りクレーン船を使用して行われた。クレーン船上に海底ケーブルを引き揚げて接続箱を介し懸垂ケーブルと接続し, さらに中間ブイ, シンカー, ケーブル保護用防舷材などをケーブルの所定位置に取り付けた後, 接続箱, シンカー, 中間ブイの順番で布設された。

浮体側へ引き揚げるケーブル端末はダイバーによりケーブルガイド管に導かれた後, 必要長を甲板上へ引き揚げて引き留め作業を行った。

作業終了後, 耐圧試験を行いケーブルに異常のないことを確認した上で, 浮体上の高圧受電盤に接続された。なお, 実海域実験における弛緩係留ラインは, ケーブル布設形状の検討時よりもそのカテナリー形状をさらに張った状態へと設計変更された。これにより外力による浮体の運動は小さくなるため, 懸垂ケーブルはより安全な状態におかれている。

5 緊張係留システムの動的応答

緊張係留実験における計測項目は, 入射波高 (wave-rider), 緊張係留索の変動張力, 浮体の動揺 (pitch, roll, yaw), および浮体前後の相対波高である。このうち入射波高と変動張力は順調に計測することができた。

浮体の動揺に関しては, 動揺自体が小さかったことと計測器の分解能が小さいために S/N 比が小さく, 信頼できる精度のよいデータを得ることはできなかった。また相対波高を計測するために, 浮体前後中央部のコラムに沿わせて容量式波高計を取り付けたが, 計測中にセンサーワイヤーが破断してしまい, 長期間にわたる信頼できるデータは得られなかった。この原因としては, 計測精度を向上させるためにセンサーワイヤを細くしたこと ($\phi 2.3\text{mm}$, テフロン厚 0.6mm), センサーワイヤをコラムの近くに配置したこと (距離 10cm), コラムの水面近くにはフジツボが付着したことにより, センサーワイヤーが振れるとコラムと接触し, テフロンコーティングが破れ, さらに心線が腐食して破断したものと思われる。

Fig. 11 に, 比較的海象の穏やかな 10 月 15~16 日の

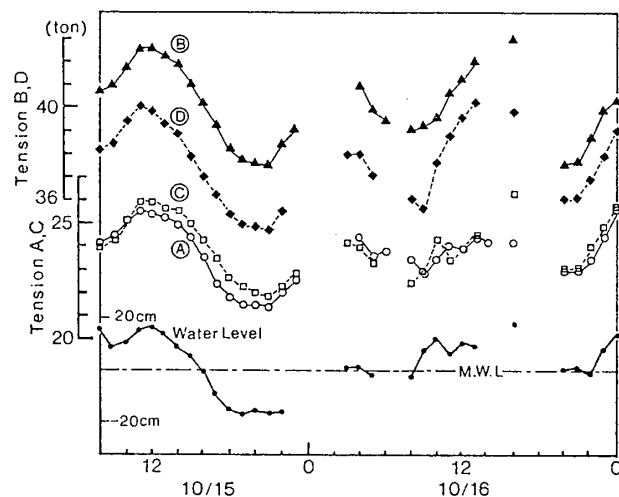


Fig. 11 Variations of the mean tension correspond well with the tidal waterlevel change

Table 1. Initial tensions of tension legs

Location	Initial Tension (ton)
(A)	23.62
(B)	39.82
(C)	23.81
(D)	37.32
Total	124.57

平均水面および張力の平均値の推移を示す。平均水面は計測することができた相対波高の平均値を表わしており、緊張係留索の平均張力の変動は潮汐による水面変動に対応していることが分かる。なお、各緊張係留索の初期張力に関しては、設置工事時に概略値を把握しているが、この図より潮汐変動分を取り除いた値を Table 1 のように推定した。

入射波および変動張力の日変化 (10 月 15~24 日) を Fig. 12, 13 に示す。1 日 3 回 (1 時, 9 時, 17 時) に各 18 分間計測したデータからゼロクロス統計処理した結果である。Fig. 12 は最大波高および有義波高である。緊張係留実験においては、9 月初から 11 月初にかけて約 2 カ月間計測データを取得したが、この間有義波高が 4m 程度となった時期は 10 月 17~18 日, 10 月 22~23 日の 2 回だけである。いずれも日本海の低気圧が東方海上に抜けるとともに、冬型の気圧配置に変わった時期である。最大波高はどちらも 7.3m が観測されている。Fig. 13 は Fig. 12 に対応する変動張力の有義値である。全般的に張力は陸側 (A, B) では大きく、沖側 (特に C) では逆に小さくなっている。沖側の変動張力が陸側よりも小さくなることは水槽試験でも確認されているが、荒天時には緊張係留索 C の変動張力が他よりも目立って小さくなる傾向がある。弛緩係留用の索は沖側

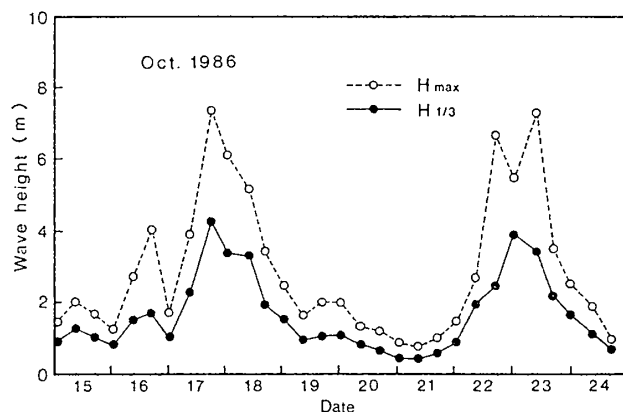


Fig. 12 Daily alterations of maximum and significant wave heights measured by the Waverider (10/15-10/24, 1986)

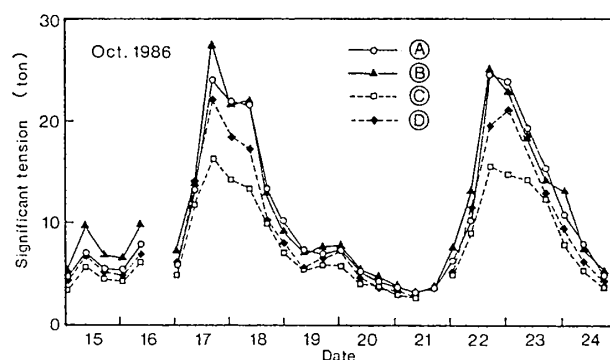


Fig. 13 Daily alterations of significant tensions

に 4 条, 陸側に 2 条取り付けてあり、緊張係留実験時には計画よりも緩めてあるが、何らかの理由で C の張力を小さくする原因となっていたのかもしれない。

10 月 17 日には実験限界に近い海象条件となっているが、スナッフ荷重は発生していなかった。同日 17 時から 120 秒間の観測波形の例を Fig. 14 に示す。また Table 2 に、入射波および変動張力に関するゼロクロスの最大値, 有義値を一覧にして示す。この実験海域においては、最大波高は有義波高の 1.5~1.8 倍となることが分かっているが²⁾、今の例でも 1.73 倍となっている。ただし張力の場合にはこれより小さく、最大値は有義値の 1.5 倍程度になるものと思われる。

上と同じ計測データに対するパワースペクトルの FFT 解析結果を Fig. 15, 16 に示す。この浮体は 0.125 Hz 近傍で上下揺の波浪強制力が小さくなる特性を有しており、これより周期が長いほど変動張力の応答関数は大きくなるので、入射波スペクトルのピーク周期 9.06 秒に対して、張力のピーク周期は少し長くなっている。スペクトルの面積から推定した有義値 (H_{m0} および F_{m0}) はゼロクロス統計解析から得られる有義値より 1 割程度大きくなっている。これは実際のスペクトルが有限バンド幅を有しており、真に狭帯域ではないことによる¹⁰⁾。陸側の緊張係留索の張力スペクトルは入射

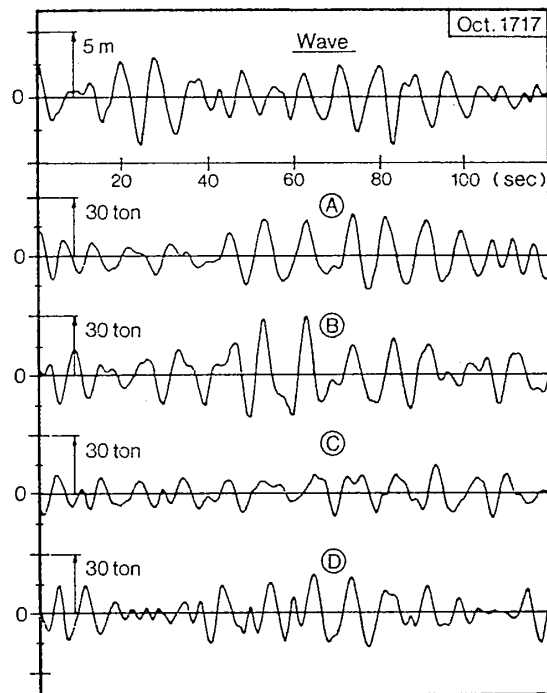


Fig. 14 Time histories of incident wave and 4 tensions measured at 17:00, 17th Oct. (data No. Oct. 1717)

Table 2 List of significant and maximum values in data No. Oct. 1717

Wave	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)
	4.27	7.88	7.37	7.77
Tension	$F_{1/3}$ (ton)	$T_{1/3}$ (sec)	F_{max} (ton)	T_{max} (sec)
(A)	26.3	8.12	38.5	8.03
(B)	30.5	8.46	44.7	9.99
(C)	18.5	7.45	23.5	7.74
(D)	24.9	7.00	35.8	6.16

Oct.1717

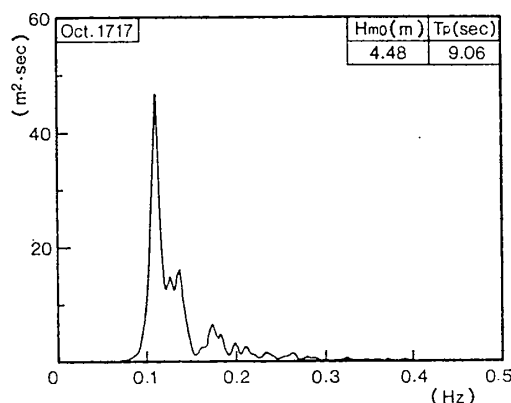


Fig. 15 Observed wave spectrum. Significant value is estimated by $4\sqrt{m_0}$

波と同程度の帯域幅であり、特にBでは入射波と同様の鋭いピーク値を有しているが、沖側では広帯域となる傾向を示している。なお変動張力におけるこのような特徴

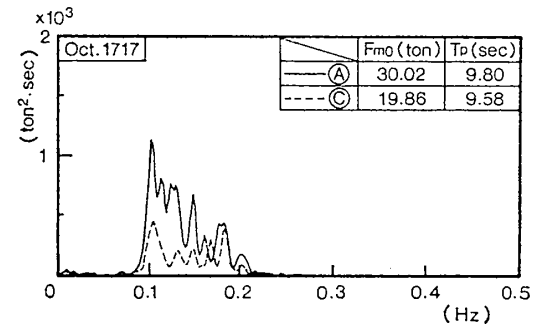


Fig. 16 (a) Observed tension spectra of tension legs A, C

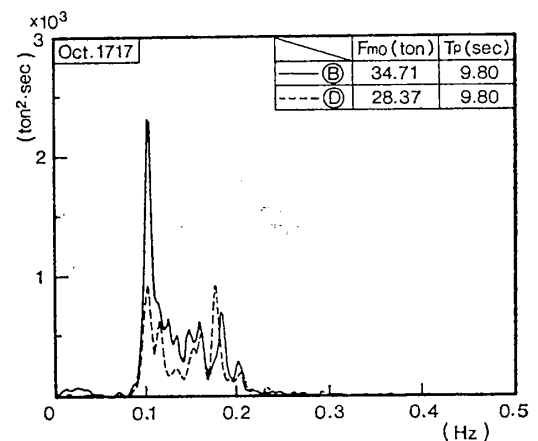


Fig. 16 (b) Observed tension spectra of tension legs B, D

は、本論文に例示したもの以外でも一般的に観測されている。

6 結 言

海洋構造物の緊張係留方式は新しく、魅力的な係留法として注目されているものである。海洋科学技術センターは緊張係留技術の実用化を目指して研究開発しているところであるが、その第一段階として実海域における実証研究を実施した。実海域実験を安全に遂行すべく、緊張係留システムの設計および水槽実験による検討を行ってきたが、これらの成果については前報までに紹介してきたので、本論文では緊張係留実海域実験の実施に関連する技術、あるいは手法について述べた。

緊張係留実験は当初計画どおり、順調に遂行でき、緊張係留システムの安全性、各種計測システムの作動を確認し、昭和 61 年 11 月初旬に緊張係留を解除し、第 I 期実験を無事に完了させることができた。

第 I 期の実験では、実海域実験を実施できるようにすること自体が主要な目標となり、このため作業計画および工程管理が厳しく、しかもデータ計測システムの構築が同時並行的に進行したので、データ計測体制の確立およびセンサー類の整備が不十分なままとなっていた。昭和 62 年度に第 II 期の緊張係留実験を実施する計画であ

り、第 I 期で確立したシステムおよびノウハウを十分に生かし、さらに動揺計などのセンサー類を整備して、より充実した実海域実験を実施する所存である。なお、本論文では実験データの一部を紹介してあるが、詳細に分析した結果については次報で述べる予定である。

最後に、本研究は海洋科学技術センターが科学技術振興調整費研究「緊張係留方式の実海域実証研究」を科学技術庁より委託を受け実施したものであること、また、50GHz 簡易無線データ伝送システムは、昭和 61 年度日本自転車振興会補助金を得て製作したものであることを付記して関係各位に感謝の意を表します。緊張係留の実海域実験は運輸省船舶技術研究所との共同研究「浮体式海洋構造物による実海域実験」によって実現できたものであり、海洋開発工学部安藤定雄部長ほか多くの研究者行政官の方々に厚くお礼申し上げます。さらに、山形県鶴岡市由良の波電促進協議会会長佐藤兵一氏はじめ会員の方々に深く感謝いたします。なお、緊張係留用シンカーの設計・製作・据付工事ならびに緊張係留工事には三井造船（株）金網正夫課長、給電ケーブルの布設には古河電工（株）石井健一課代、簡易データ伝送システムの構築には日立造船情報システム（株）村上延夫課長のご協力をいただきました。緊張係留実験を成功させるためにご協力いただいた多くの方々に心より感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 工藤君明, 木下 篤, 生駒信康, 西野好生: 浮体

- 式海洋構造物の緊張係留に関する研究, 日本造船学会論文集, 第 157 号 (1985).
- 2) 工藤君明, 木下 篤, 生駒信康, 西野好生, 山川賢次: 浮体式海洋構造物の緊張係留に関する研究 (第 2 報), 日本造船学会論文集, 第 158 号 (1985).
- 3) 工藤君明, 生駒信康, 荒川 仁: 浮体式海洋構造物の緊張係留に関する研究 (第 3 報) — 複合係留索ラバーチェーンの設計, 日本造船学会論文集, 第 159 号 (1986).
- 4) 工藤君明, 木下 篤, 生駒信康, 荒川 仁: 浮体式海洋構造物の緊張係留に関する研究 (第 4 報) — 緊張係留実海域実験の安全性について, 日本造船学会論文集, 第 160 号 (1986).
- 5) 安藤定雄: 浮遊式海洋構造物による実海域実験, (1) 実海域実験の概要, 昭和 61 年度秋期 (第 48 回) 船舶技術研究所研究発表会講演集, (1986).
- 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計基準・同解説.
- 7) 鷲尾幸久, 宮崎武晃, 堀田 平, 益田善雄, 石井健一, 橋 直人: 浮体式海洋構造物用送電ケーブルの海中懸垂システムの開発, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第 17 号 (1986).
- 8) 運輸省船舶技術研究所, 海洋開発工学部: 係留システムの決定, 浮体式海洋構造物による実海域実験実行委員会資料 (1986).
- 9) K. Ishii, T. Okamoto, N. Tachibana, T. Miyazaki and Y. Washio: Development of a Flexible Marine Riser System, OTC 5164, Offshore Technology Conference (1986).
- 10) Longuet-Higgins, M. S., On the distribution of the heights of sea waves: some effects of nonlinearity and finite band width, Journal of Geophysical Research, 85 (1980).