

大成建設(株) 正会要 ○ 田中 長弘  
 大成建設(株) " 勝井 秀博  
 日本大学 増田 光一

1 はじめに

最近、波浪中における浮遊式海洋構造物の動揺安定を確保する目的で、テンションレグ係留方式が開発され、設計概念や挙動解析の研究が行なわれている。しかし、実用機種の実績も少なく、スタフ荷重の解明など、システム全体としての安全性に関する問題点が残されている。本報告は、半潜式作業船「成1号」をモデルとして、係留方式を種々組合せた模型実験を行ない、係留方式・定常外力・初期張力などの影響を調べた。さらに、テンションレグ係留浮体の波浪力係数に関して、係留力と粘性減衰の非線形性を考慮した数値解析を行なった。

2 模型実験の概要

模型実験は、図-1に示すように縮尺スチール1/30のフルード相似則モデルにより、平面造波水槽を使用して行なった。測定項目は、波高(2変)、動揺(5変)、索張力(8変)とし、定常外力は、カウンターウェイトにより与えた。係留実験では、初期状態の設定が困難とされているが、本実験では水面上から索張力を微調整できる特殊巻取装置と、索張力をデジタル表示するマイコンシステムの応用により、初期状態の安定化を図ることができた。模型浮体は、フーチング付コラムタイプ半潜式構造で、その主要諸元の突換換算値を表-1に示す。実験の組合せとしては、表-2に示すように、実際の施工状態(新渡戸汽船(株)の工事)を想定して行ない、16ケースの波浪に対して全部で26シーズの実験を行なった。

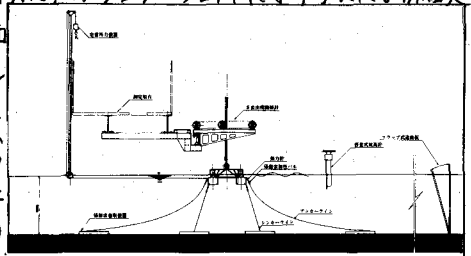


図-1 実験装置

表-1 模型の主要諸元

項目	突換換算値
コラム間隔 L	14.0 m
コラム径×高	Φ2.5 <sup>m</sup> ×4.5 <sup>m</sup>
フーチング径×高	Φ5.0 <sup>m</sup> ×3.5 <sup>m</sup>
フーチング水中重量 W	0.063 T/m
水深×フーチング径	30 <sup>m</sup> ×90 <sup>m</sup>
水深×フーチング径	30 <sup>m</sup> ×90 <sup>m</sup>
水バラスト W <sub>0</sub>	0 T 26 t
排水量 V	227 t 253 t
重心高さ KG	5.6 m 5.1 m
マゼンタ高 GM <sub>1/2</sub>	11.9 m 11.3 m
慣動半径 r <sub>x,y</sub>	7.7 m 7.8 m

表-2 実験の組合せ一覧

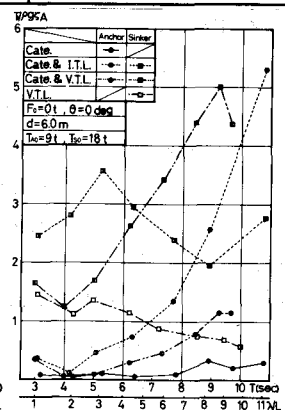
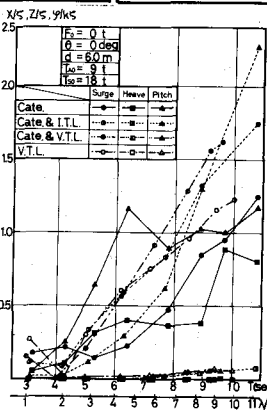
実験要因	実験レベル (突換換算)
(A) 係留方式	① 鉛直テンション ② カテナー & 鉛直テンション ③ カテナー係留 ④ カテナー & 傾斜テンション
(B) 波高 H (m)	① H=1 ② H=2
(C) 周期 T (sec)	① ~ ④ T=3~10
(D) 波浪入射角 θ (deg.)	① θ=0 ② θ=45
(E) 定常外力 F <sub>0</sub> (T/m)	① F <sub>0</sub> =0 ② F <sub>0</sub> =6.8
(F) 吃水 d (m)	① d=3.2 ② d=3.5 ③ d=4.0 ④ d=6.0
(G) フーチング初期張力 T <sub>0</sub> (t)	① T <sub>0</sub> =5.3 ② T <sub>0</sub> =9.0 ③ T <sub>0</sub> =12.8
(H) シンカーライン初期張力 T <sub>50</sub> (t)	① T <sub>50</sub> =5.0 ② T <sub>50</sub> =8.0 ③ T <sub>50</sub> =15.0 ④ T <sub>50</sub> =18.0
(I) 水バラスト W <sub>0</sub> (T/m)	① W <sub>0</sub> =0 ② W <sub>0</sub> =26

3 実験の結果と考察

3-1 係留方式

図-2に4種類の

の係留方式に対応する動揺の結果を示す。カテナー係留(Cate.)の場合、ピッチ、ヒューともテンションレグ(T.L.)に比べ大きく、 $T=6\text{sec}$ ,  $T=10\text{sec}$ 付近でピークを持つ。これに対して、Cate.にV.T.L.を組合せた場合、浮力拘束による水平バネが増大して、サージが大きくなる。また、Cate.にI.T.L.を組合せると、シンカーラインの幾何形状により、サージに比例するピッチが生ずる。V.T.L.のみの場合、当然ピッチ、ヒューはなく、またCate.との組合せ係留に比べ水平バネが小さいのでサージが少ない。図-3に同じ係留方式に対応する索張力の結果を示す。アンカーラインの索張力は、サージ量に対応した値を示している。ただ、 $T=5\sim 6\text{sec}$ 以上の周期において、Cate. & I.T.L.の場合、シンカーラインの傾斜のため生ずるピッチング運動により、シンカーライン張力は減少し、かたりにアンカーライン張力が増大している。図-2 係留方式と動揺



3-2 アンカー初期張力の影響 定常外力  
 が大きい場合、定常変位をおさえるために、アンカー  
 初期張力 $T_{00}$ を大きくする必要がある。しかし、  
 図-4に示すように、 $T_{00}$ を $8t$ から $12t$ に増大すると $T=$   
 $6\text{sec}$ 付近でピークを持つようになり、変動外力に対し  
 て不利になるので、初期張力の設定に際しては、十分  
 注意を必要とする。

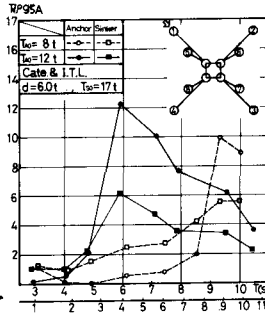


図-4 アンカー初期張力の影響

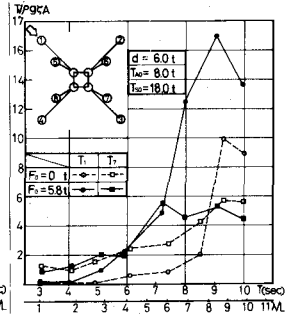


図-5 定常外力の影響

3-3 定常外力の影響 定常外力と同じ方  
 向から波浪変動外力を受けた場合、定常変位により、  
 水平バネが大きくなり、定常外力がない場  
 合に比べ、サージのピークが短周期側へ移  
 るために、索張力が増大する。

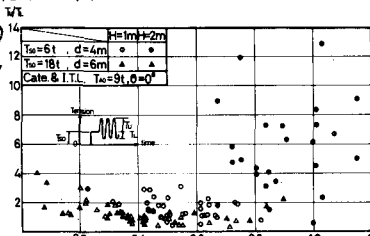


図-6 スタッブ荷重限界表

3-4 スタッブ荷重 図-6は、  
 シンカーラインの張力がどのようなときに、  
 スタッブ荷重が発生するかという限界点を  
 示した。 $T_{50} = 6t$ では $T_L/T_{50} = 0.75$ 、  
 また $T_{50} = 18t$ では $T_L/T_{50} = 0.92$ で、シンカーラインが  
 弛緩状態となる。またそのときの索張力の最大値を図7  
 に示す。これより、スタッブ時の最大索張力は、約3~  
 5倍にも達するので、設計・施工時においては、 $T_{50}$ を  
 十分検討する必要がある。

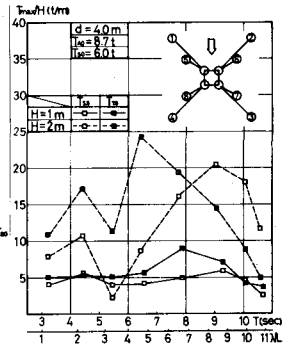


図-7 シンカー張力とスタッブ荷重

## 4. 理論計算

4-1 静的3次元カタナリー解析 カタナリー  
 ラインで係留された浮体に静的外力が作用したときの、  
 浮体の変位と索張力の変動は、係留ラインが線形バネでないと  
 ニューワに示す。従って、係留索における反力をカタナリー理論で求め、  
 浮体の重心まわりでの釣合  
 い方程式を収束するまで計算し、応答変位を求めた。また、鉛直テンション・レグ  
 の状態は、上下動に関しては索の弾性バネであるが、水平動に関しては、

図-8 サージと復原力

$$K_{xx} = n \cdot T_{50} / \sqrt{l^2 - x^2} + n A \gamma (l / \sqrt{l^2 - x^2} - 1) \quad \dots (1)$$

(但し  $n$ : トラム本数,  $l$ : シンカーライン長さ,  $x$ : 水平変位,  $A$ : 水線面積,  $T_{50}$ : シンカー初期張力)

4-2 テンション・レグ係留浮体の非線形運動 テンション・レグの場合、サージバネの大部分は  
 ので、サージに注目した。以下の非線形運動方程式を、ニューワの $\beta$ 法により時間積分して数値的に求めた。

$$(M + M_a)\ddot{X} + N\dot{X} + C|X|\dot{X} + Q(X) = F \cos(\omega t + \epsilon) + F_0$$

但し  $M$ : 浮体の質量,  $M_a$ : 付加質量,  $N$ : 造波減衰係数,  $C$ : 非線形減衰係数

$Q(X)$ : 浮体、係留索の復原力,  $F$ : 波浪強制力,  $F_0$ : 定常外力,  $\epsilon$ : 波に対する波浪強制力の位相遅れ  
 浮体、係留索の復原力 $Q(X)$ として、図-8に示す計算値を用いて、応答計算を行なった結果と、図-9に示す。流体力  
 係数については、強制運動実験より求めた他の文献より引用し、また非線形減衰係数は1.0を用いた。

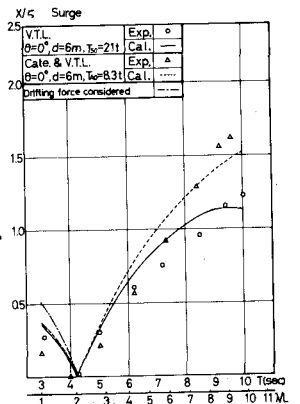


図-9 サージ応答計算

おやはり、本実験に際しては、日本道路公団、日本大学、東京湾中央地庫ポ-127Jマの方々に、いろいろ御協  
 力をいただいた。ここに、謝意を表わします。なお、水槽は、日本大学理工学部の平面水槽を使用した。

参考文献) 庄司邦昭: 係留浮体の運動と係留索の張力変動研究, 吉田宏一郎, 石川邦照; 三次元浮遊管柱構造の周期応答。