

係留された大型四角形浮体の現地動揺実験

今井 貫爾*・池谷 毅**・伊集院久光***・藤田 良一****

1. 序 論

浮体式海洋構造物の機能・安全性を考える上において、浮体の動揺特性や係留特性を知ることが重要である。係留された浮体の波による動揺現象については、理論的研究や室内研究により運動のメカニズムの解明、動揺量の評価法の開発がなされてきている。しかしながら、実機浮体の現地における動揺計測データが乏しいために、現地で実際に生じている現象の解明に、室内での研究成果が十分には反映されていない状況である。そこで、この点を補うために、本研究では現地動揺実験を行い、特に以下の2項目を検討することを研究目的としている。

① 表面歪計を用いた係留鎖張力計測手法により、係留鎖の復元力特性、浮体の動揺に伴う係留鎖張力の変動特性を明らかにする。

② 加速度計を用いた現地浮体動揺計測手法により実測データを得、これから浮体動揺解析手法の適用性を調べる。

2. 実験対象

現地実験に供した浮体は、図-1に示す6000t級フローティングドック（以下FD）である。FDは、長さ

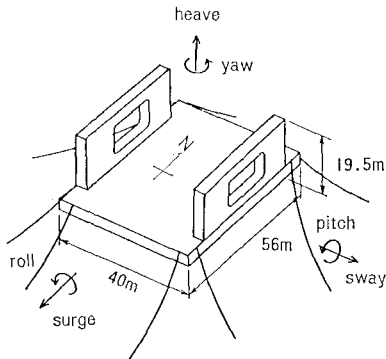


図-1 現地実験に供したフローティングドック (FD)

表-1 FDの浮体諸元

方 向	船 軸	船 側
喫 水 (m)	0.76	0.76
静水面からの重心高さ (m)	5.15	5.15
浮体の半分の長さ (m)	28.0	20.0
慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{m}$)	1.1972×10^7	4.5853×10^6
質 量 (kg/m)	4.24×10^4	3.03×10^4
メタセンター高さ (m)	350.0	175.8

56m、幅40m、深さ19.5mであり、喫水面下は四角形の浮体である。現地実験を実施したときの喫水は0.76mである。FDの浮体としての諸元を表-1に示す。

FDの係留は船首方向、船尾方向に58mmφの鎖各2本、左舷方向、右舷方向に73mmφの鎖各2本の合計8本の鉄鎖でなされている。係留鎖の長さはどれも165mであり、FDとコンクリート製のシンカーとの間の水平距離は156~158mである。

3. 現地条件

FD係留地点は、水深約23m、岸から約500mの湾内であり、FDは船首を北に向けて係留されている。海底面は東西方向にはほぼ水平、南北方向に約1/30の勾配がついており、北へいくほど水深が深い。シンカー設置地点の水深は、北側26m、南側15m、東側21m、西側25mである。FD係留地点の東側、南側約1kmには標高約200mの陸地が、西側には防波堤が存在するため、FDへの波の入射は北側からに限られる。また、FD係留地点の潮流速は0.5kt以下である。

4. 実験項目

現地実験では、強制変位実験と荒天時動揺実験を行った。強制変位実験では、波浪、風共に静穏なときに、図-2に示すように2隻のタグボートによりFDに力を作らせ、その際の係留鎖張力とFDの変位を測定し、係留鎖の復元力特性を調べるものである。また、荒天時動揺実験では、図-3に示すように荒天時を中心に海面変動、風向風速、動揺量、係留鎖張力の同時測定を行ない係留浮体の動揺特性、係留鎖張力の変動特性を調べるも

* 正会員 Ph.D. 鹿島建設(株) 技術研究所

** 正会員 工博 鹿島建設(株) 技術研究所

*** 鹿島建設(株) 九州支店

**** 正会員 工修 鹿島建設(株) 海洋開発室

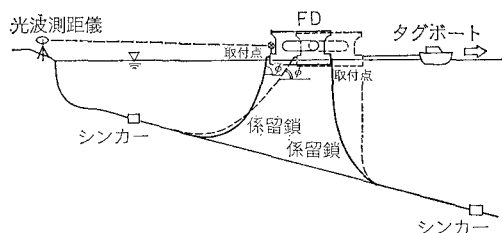


図-2 強制変位実験の概要

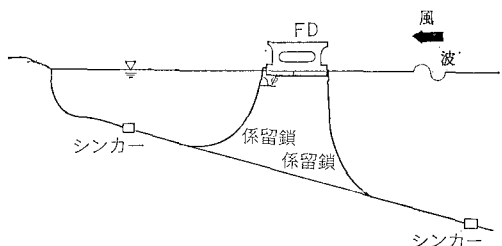


図-3 荒天時動揺実験の概要

のである。

5. 計測項目・方法

計測した項目は気象・海象条件として波高、風向風速を、係留浮体に関する情報として浮体上の重心回りの動揺量6成分、係留鎖に作用する張力である。

図-4 に計測システムの概要を示す。

(1) 波 浪

波浪観測はFD東側約150mの海域において行なった。海面変動の計測には超音波式波高計(海上電機社製MODEL-132B TU 33-B)を用いた。波向きについては、観測員がFD上計測室から16方位を目視により

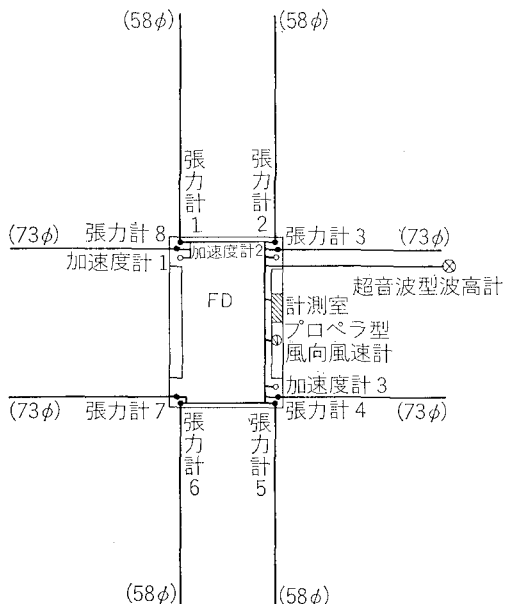


図-4 計測・記録システムの概要

観測した。

(2) 風向風速

風向風速の計測はFDキャビン上空の海面上約25mで行い、計測にはプロペラ式風向風速計(日本エレクトリックインスツルメント社製N-132B)を用いた。

(3) 重心回りの動揺量

浮体の重心回りの動揺量の測定には、浮体上の加速度計の出力から換算する方法¹⁾を用いた。加速度の計測は甲板上の3カ所で行い、各所で前後、左右、上下の3方向の加速度を計測した。計測にはサーボ式加速度計(東京測振社製SV 555)、シグナルコンディショナ(東京測振社製PCV-506)を用いた。

この換算方法では、浮体を剛体と仮定し、加速度計の出力から重力加速度の影響を差し引き、さらに時間に関して2度積分して動揺量を求めている。この方法は、長周期の動揺成分に対しては積分誤差のために精度が悪い。ここでは、高周波の雑音を除くことも考え、図-5に示すバンドパスフィルターを用いてデータ処理しているが、動揺量の長周期成分に対する信頼性は十分でない。

なお、強制変位実験においては、光波測距儀を用いてFDの変位を計測している。

(4) 係留鎖張力

8本の係留鎖張力の計測は係留鎖の浮体への取付部にあるエンドリンクで行った(図-6参照)。図-7に示す

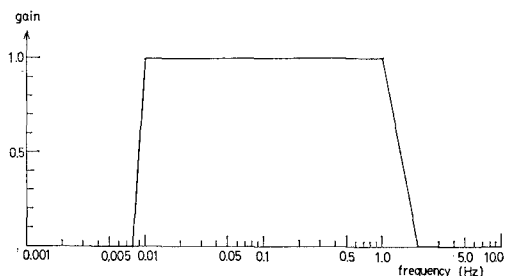


図-5 動揺量の算定に用いたバンドパスフィルター

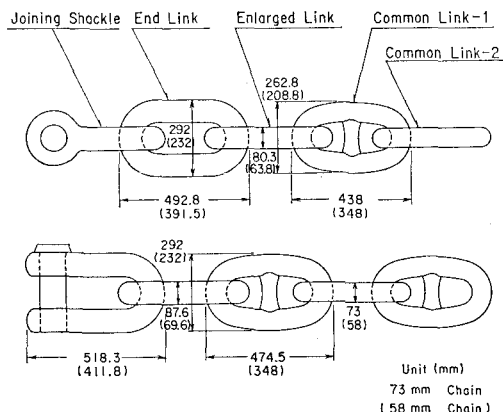


図-6 取付部の係留鎖の概要

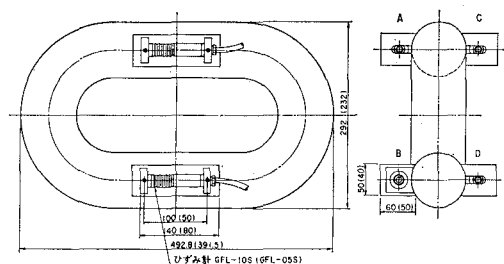


図-7 係留鎖張力計測システム

ようにエンドリンク上に表面歪計(NMB製GFL-105, GFL-055)を4台設置し,これらの出力の平均を係留鎖の伸び歪と考えた。係留鎖張力(T)の算定は,伸び歪(ϵ)を用いて,次式より求めた。

$$T = EA\epsilon$$

ここに, E : 弾性係数, A : 鎖の母材断面積である。

(5) データ記録

上記のセンサーからの出力を,すべてケーブルによりFDキャビン内の計測室に設置した2台のアナログデータレコーダ(TEAC社製14chオープンテープ,7chカセットテープ)に記録した。

強制変位実験,荒天時動揺実験ともデータの記録はすべて観測員が行った。荒天時動揺実験の一回の計測時間は10から20分程度である。

6. データ解析方法

アナログテープに保存されたデータは陸上に輸送され,AD変換,物理量への変換,2台のデータレコーダからのデータの同期を行った後,統計処理,スペクトル解析等の処理がなされた。

7. 強制変位実験結果

(1) FDの変位

強制変位実験では,FDにタグボートにより東西南北の4方向にそれぞれ3通りの強さで力をかけた。光波測距儀により計測した結果,FDの最大変位は東西方向に5m,南北方向には8m程度の値を示している。

(2) 係留鎖張力

計測された係留鎖張力-変位関係の例として西側,及び南側の鎖のデータを図-8,9に示す。図中の3本の線はカテナリー理論による解析結果である。実線は海底面の勾配を考慮した場合,破線はシンカー位置の水深で一定とした場合,一点鎖線はFD位置の水深で一定とした場合である。これを見ると,海底面の傾斜の大きな南側の鎖については海底面の傾斜の考慮の有無により復元力特性がかなり異なることがわかる。また,実測されたデータは多少ばらつきが大きいもののほぼ計算値と類似の傾向を示すことがわかる。

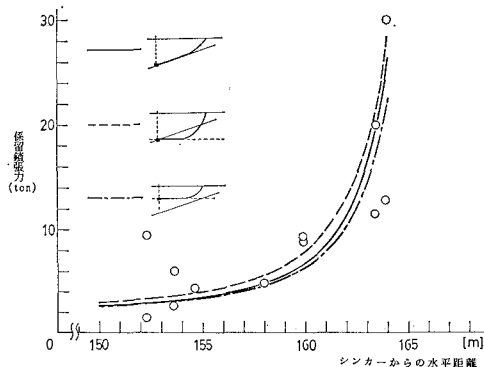


図-8 係留鎖張力変位関係(西側の鎖)

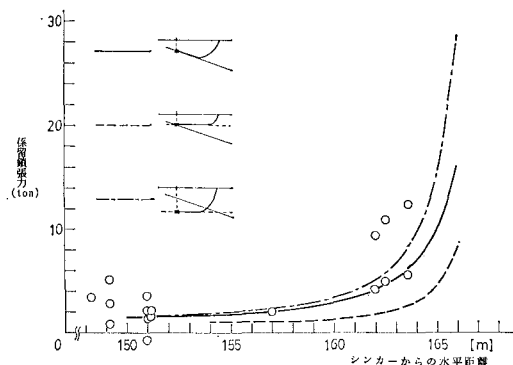


図-9 係留鎖張力変位関係(南側の鎖)

8. 荒天時動揺実験結果

(1) 時系列データ

荒天時動揺実験では,荒天時を中心に合計74回のデータ取得を行った。ここでは,計測データの中から動揺量の大きかった2種類のデータ(Aデータ,Bデータ)につき検討する。Aデータは有義波高60cm,平均風速8m/sのデータであり,波,風共に強かったときのものである。Bデータは有義波高20cm,平均風速7m/sのデータであり,波は小さいものの,風が強かったときのものである。両データとも波向きは北から,風向は北西である。両データの動揺量6成分,係留鎖張力,風向風速,海面変動の時系列を図-10,図-11に示す。

同図をみるとAデータではヒープ,ピッチ成分に周期約8秒の単周期の動揺成分が見られるが,Bデータにはこれがないことがわかる。Aデータは波高が大きいこと,波向きが北から,すなわち船首方向からであることを考えれば,単周期の動揺成分は波浪による動揺であると考えられる。また,係留鎖張力の変動は,西側の鎖が大きい。これは,風向きが北西から吹いていることと,東西方向への投影面積が大きいことのために西側の鎖の張力が大きくなり,同じ大きさの動揺量に対しても,張力変動が大きくなったものと考えられる。同図におい

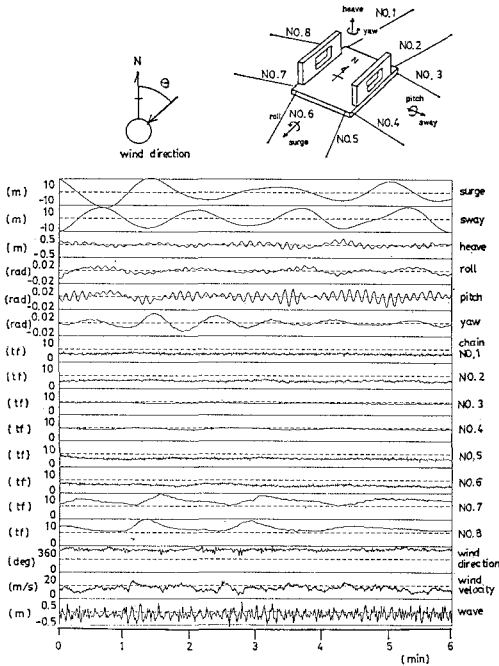


図-10 Aデータの時系列波形

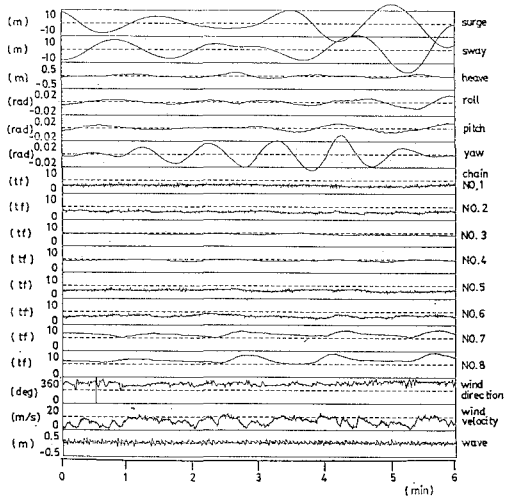


図-11 Bデータの時系列波形

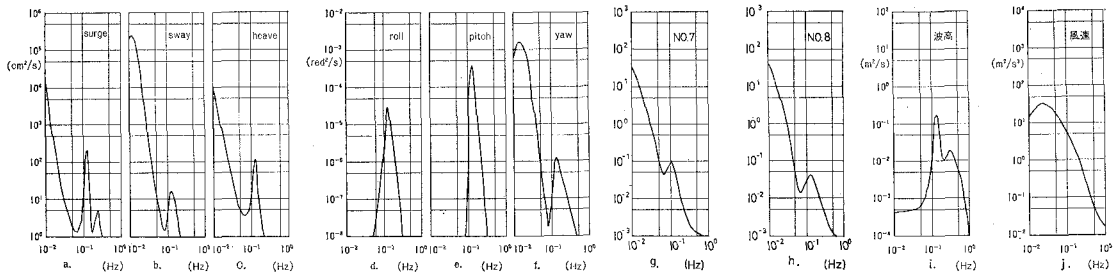


図-12 スペクトル解析結果

a: サージ, b: スウェイ, c: ヒープ, d: ロール, e: ピッチ, f: ヨウ,
g: 西側係留鎖張力 (No. 7), h: 西側係留鎖張力 (No. 8), i: 水面変動, j: 風速

て、サージ、スウェイについては、長周期成分が卓越している。しかし、動揺量の計測法で述べたようにデータの信頼性は十分でない。

(2) スペクトル解析結果

Aデータに対するスペクトル解析結果を図-12に示す。サージ、スウェイ、ヨウ及び変動係留鎖張力に関しては周期100秒以上の風によると考えられる長周期成分が卓越するのにに対しロール、ピッチに対しては、8秒程度の動揺が卓越していることがわかる。海面変動の卓越周期は8秒であるから、ロール、ピッチ、ヒープに見られる単周期の動揺は波によるものであることが確認される。

(3) 浮体動揺解析結果との比較

上述の解析により、今回取得されたデータは、風による長周期の動揺に対しては不十分であるが、波浪による動揺データはAデータにおいて精度良く取得されていると考えられる。そこで、波浪による浮体の動揺応答関数に対して、実測値と従来考案されている浮体動揺解析結果とを比較した。波は北から入射するものと仮定し、サージ、スウェイ、ヒープ、の3成分に対して比較を行った。

実測値は、測定された動揺量のパワースペクトルを水面変動のパワースペクトルで除して求めた。

浮体応答解析としては、ポテンシャル接続法による2次元解析²⁾と、境界要素法による3次元解析³⁾を用いている。境界要素法による解析では、対称性からFD左舷側の半分に対して解析している。解析に用いたメッシュを図-13に示す。両解析において係留鎖による復元力は今回の係留システムに対しては小さいとして無視し自由浮体として解析している。

結果を図-14に示す。同図の横軸は入射波周期、縦軸は単位片振幅の波に対する動揺応答値である。これを見ると、サージに関しては定量的な一致がやや悪いものの、ヒープ、ピッチについては測定値と計算値とは良好な一致を示している。サージの一致が悪いのは、対象としたFDの喫水が0.76mと極めて浅いために十分細かいメッシュ分割ができなかったこと、波によるサージ成分が小さかったため測定誤差が大きくなったことが原

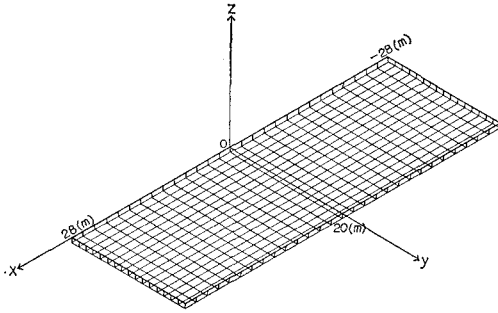


図-13 境界要素法による浮体動揺解析に用いたメッシュ

因であると考えられる。

9. 結論及び今後の課題

今回の現地実験を通して以下の事項が明らかになった。

① 表面歪計を用いて係留鎖張力を測定する方法を用いて、約3カ月にわたり安定した張力出力をえた。測定されたデータをカタナリー理論と比較し定性的な一致をえた。

② 9台の加速度計による動揺量計測システムを用いて、波浪に対する動揺を精度良く計測することができた。計測されたデータを浮体動揺解析結果と比較し良好な一致をえた。

また、今回の現地実験を通して今後の残された課題として以下の項目があげられる。

① 今回の測定データは比較的波高の小さな、一方向波に近い波浪に対するものであった。今後、より波高の大きな波浪、多方向不規則波浪に対する浮体の動揺応答のデータを取得解析する必要があると考えられる。

② 今回実験に供したFDの動揺や係留鎖に働く張力には、風による寄与がかなりみられた。風による動揺解析を試みたが必ずしも十分な精度は得られなかった。風速、風向の変動を考慮した風による浮体の動揺解析技術の開発・改良が必要であると考えられる。

<謝 辞>

本研究を行うに当たり、東京大学工学部磯部雅彦助教にご指導・助言を頂いた。ここに、記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 今井貫爾・藤田良一・池谷 毅: 係留された大型四角形浮体の動揺測定, 土木学会第42回年次学術講演会, II-286, pp. 602~603, 1987.
- 2) 井島武士・田淵幹修・湯村やす: 有限水深の波による矩形浮体の運動と波の変形, 土木学会論文集, 第202号, pp. 33~48, 1972.
- 3) Garrison, C. J.: Hydrodynamic loading of large offshore structures; Three dimensional source distribution method, Numerical Methods in Offshore Engineering,

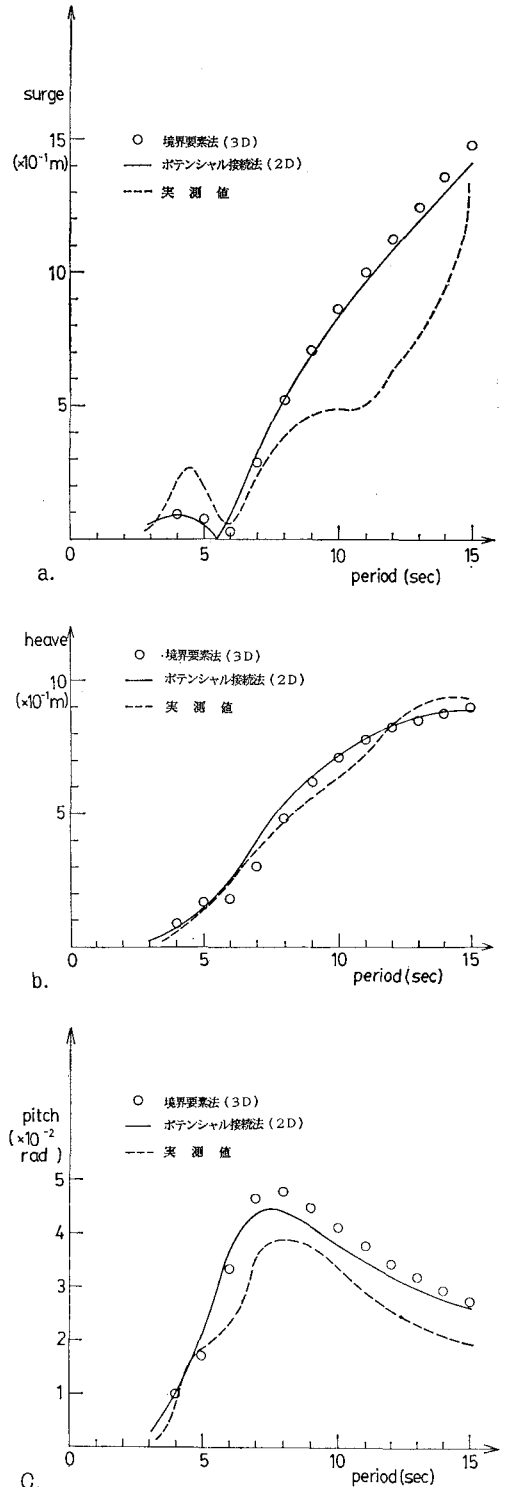


図-14 応答関数の実測値と計算値

a: サージ, b: ヒープ, c: ピッチ