

## VI-6

## 噴火湾におけるフローティング・ステーション構想

大成建設株式会社 正員 田中 良弘  
室蘭工業大学 正員 近藤 俊郎

## 1. はじめに

近年、遠洋漁業に対する国際的な制約などから、わが国沿岸域の重要性が増大し、魚礁や魚貝類の養殖、また海洋牧場など、水産資源の高度利用が叫ばれている。また、余暇時間の増大に伴い、海洋性レクリエーションに対する関心が高まりつつある。

一方、噴火湾沿岸域は、2000km<sup>2</sup> 余りの噴火湾、比較的温暖な気候、そして支笏・洞爺国立公園、大沼国立公園といった豊かな自然資源、さらに室蘭市に存在する技術的集約等の多様な資源を持っている。しかしながら、ホタテガイ養殖に関わる課題や漁船漁業の不振、また通過地としてのイメージしかない等の、噴火湾の持つ資源や産業が十分に活用されていないのが現状である。そのため、噴火湾域を含む沿岸域全体に対して、新たな発展の方向を見出す開発利用構想の策定が要請されている。

本論文は、噴火湾のほぼ中央部に一点係留の浮体方式人工島を設置することにより、常に静穏海域を維持できるフローティング・ステーションを形成して、海洋牧場の基地をはじめ、噴火湾モニタリング・ネットワークの拠点、マリン・レジャー基地、海洋研究の拠点等、噴火湾の総合的な利用構想を提案するものである。ここに示す一点係留のフローティング・ステーションは、沖合におけるハーバーを主な機能とするため係留設計が技術的に重要となるため、基本設計として係留解析を中心に述べる。

## 2. 構想の概要

## 2-1 利用構想

噴火湾は、図-1の深浅図に示す通り、直径約50kmの円形状の湾で、室蘭市地球岬から砂原町砂崎間の約28kmの湾口を持ち、中央部が最も深い盆地状の湾である。本構想の立地海域を、噴火湾域の広域的かつ総合的な開発構想という観点から、湾中央部に設定する。湾内の主波向は季節により変動し、夏期は南から南東の波が多く、冬期は西から北西で強い風波が発達しがちで波高2~2.5mに達することがある。

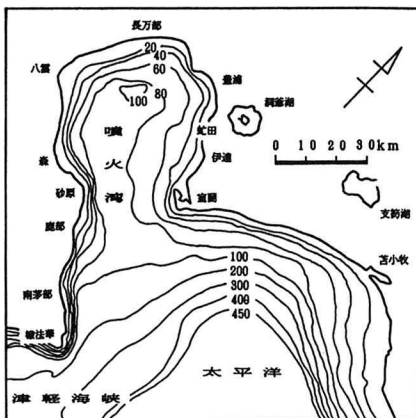


図-1 噴火湾周辺の深浅図

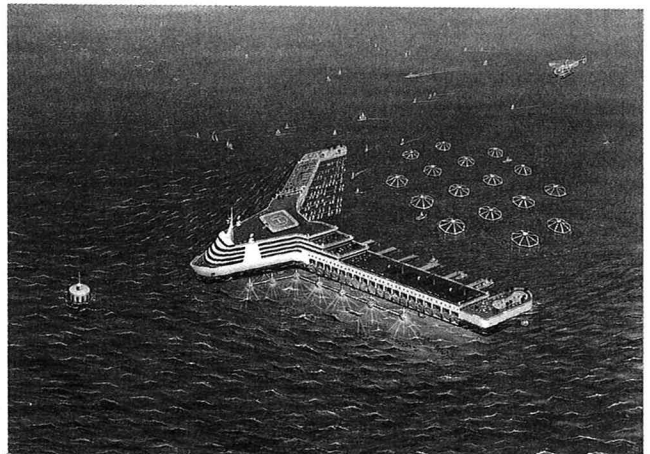


図-2 フローティング・ステーションの概念図

フローティング・ステーション構想は、噴火湾の持つ自然条件や資源、また産業構造を活用すべく考えられた構想であり、図-2にその概念図を示す。ここに示す海洋構造物は、基本的には浮遊式構造物であるが構造物の形状やその機能、さらに係留システムのいずれを取り上げても、従来の浮遊構造物には見られないユニークな特徴を有する。例えば、一点カテナリー係留システムで係留された、Y字型の特殊な平面形状の浮体は、その海域の波向きが変化しても浮体は係留シンカーのまわりを回転し、波向きに関係なく常に静穏海域を創出する。そのため構造物の背後は、船舶の停泊基地や沖合養殖施設、あるいはマリン・レジャー基地や海洋研究施設等、いわゆる、フローティング・ハーバーとしての機能を考えることができる。

フローティング・ハーバーの機能を持つ大型浮体を噴火湾中央に設置することにより、現在、噴火湾で必要とされる4つの戦略プロジェクト（海洋牧場、モニタリング・ネットワーク、マリン・レジャー、海洋研究）のステーション（基地、拠点）とすることができる。このステーション構想を模式的に、図-3の利用構想図に示す。4つの戦略プロジェクトとも言える利用分野は、相互の密接な絡み合いがあり、これを1つのステーションで機能させることにより、相乗の利用効果を発揮させることができる。例えば、海洋牧場とマリン・レジャーとでは、何れも静穏海域を必要とする。また洋上ホテルへ沖合養殖で得られる活魚の提供や、逆に養殖施設の見学を取り入れた観光ルートの設定等が考えられる。あるいは、海洋研究と海洋牧場とでは、相互に必要とする高度技術を研究し、実践する場が与えられる。モニタリング・ネットワークでは、海洋牧場に必要とされる情報を提供するばかりでなく、マリン・レジャーのための安全に関する情報も提供できる。

このように、フローティング・ステーション構想は、多目的に利用する基地を一か所に集約して、施設の高度化利用と合理的な海洋空間の利用を推進させようとするものである。そのため、浮遊式構造物の基本設計にあたっては、構造上の安全性や経済性のみならず、機能上の諸条件も考慮する必要がある。

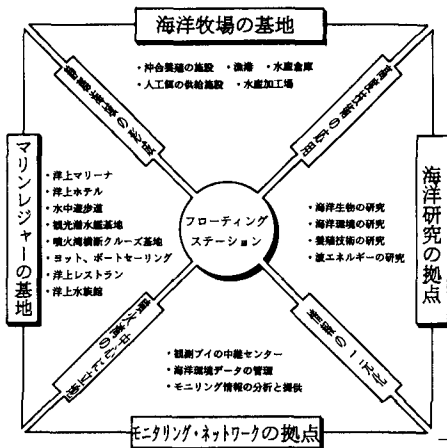


図-3 利用構想図

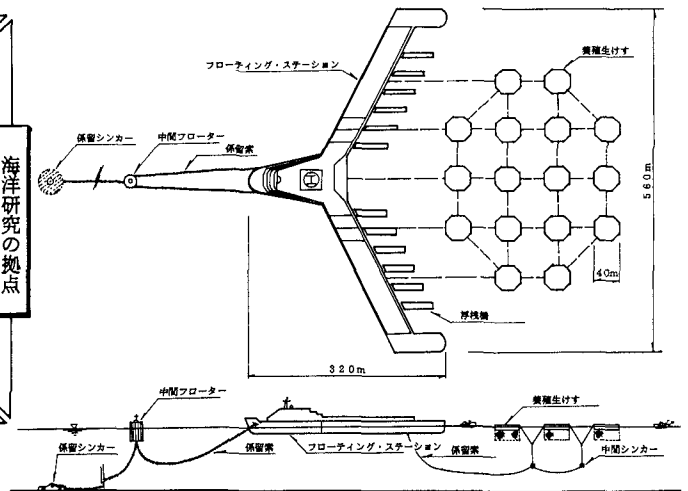


図-4 フローティング・ステーションの全体図

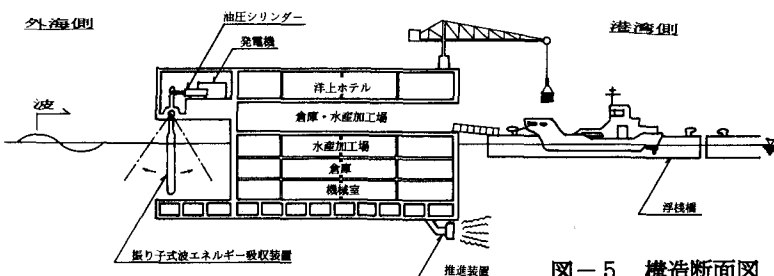


図-5 構造断面図

## 2-2 機能上の特徴

フローティング・ステーションは、図-4の全体図に示すように、長さ320m、幅560m、高さ30mのY字型の平面形状を持つ浮体で、中間フローターを有する一点カテナリー係留されている。ステーションの背後には、漁船やヨット、クルーザー等の停泊や荷役作業ができるような、浮桟橋が設けられている。また背後の静穏海域には、直径40mの沖合養殖用生けすが中間シンカーを介して係留されている。このステーションの1つの特徴は、これらの施設全体が設置海域の波向きが変化すると、係留シンカーのまわりで回転して、常に背後に静穏海域を創り出すことである。

フローティング・ステーションの前面には、図-5の断面構造図に示すような振子式の波エネルギー吸収装置が設けられている。この装置は、浮体に入射する波のエネルギーを吸収するため、浮体からの反射波高や透過波高を低減することができる。また、浮体の前面を通過する船舶も安全に航行できる。さらに、ここで吸収された波エネルギーは、発電機を介して電気エネルギーに変換され、推進装置を駆動し、漂流力や潮流、風等の定常外力により浮体の水平変位が大きくならないように制御する。そのため、一点係留の係留索に生ずる張力を低減することができる。また、波エネルギーを吸収するということは、波により生ずる漂流力を低減することになり、さらに係留システムのコスト低減に寄与することになる。

フローティング・ステーションの左側は、海洋牧場のための施設が、右側にはマリン・レジャーのための施設が、また、中央部は海洋研究やモニタリング・ネットワークのための施設がそれぞれ設けられている。図-5の断面図は、これらのうちの左側の海洋牧場のための施設を示している。港湾側に設けられた浮桟橋に漁船が係留され、荷役作業を行っている。ステーションの内部は、洋上ホテルや水産加工場、水産倉庫、沖合養殖の人工餌供給施設等が設けられている。

## 3. 係留解析

### 3-1 設計条件

フローティング・ステーションが波浪などの自然環境の中にあつて、一番問題となるのは係留システムに対する安全性であろう。係留システムの基本設計を、表-1の設計条件により実施した。波浪については、波浪観測記録、及び風向、風速データよりの推算波高資料から、極値統計解析を行い再現期間  $R=100$  年の確率波を求めた。<sup>(1)</sup>

表-1 設計条件一覧

|                           |        |                                |
|---------------------------|--------|--------------------------------|
| 海象条件<br>再現期間<br>$R=100$ 年 | 設計最高波高 | $H_{max}=8.9$ m                |
|                           | 設計波周期  | $T_{max}=10$ sec               |
|                           | 潮流     | $U_t=1.5$ ノット                  |
|                           | 潮位     | HHWL = +2.39m<br>LLWL = -0.39m |
| 気象条件                      | 設計風速   | $U=40$ m/sec<br>(水面上10m、1分平均)  |
| 地質条件                      | 地盤特性   | 海底地質は砂<br>$N$ 値 $> 50$         |
|                           | 海底地形   | ほぼ平坦 水深 $h=-100$ m             |

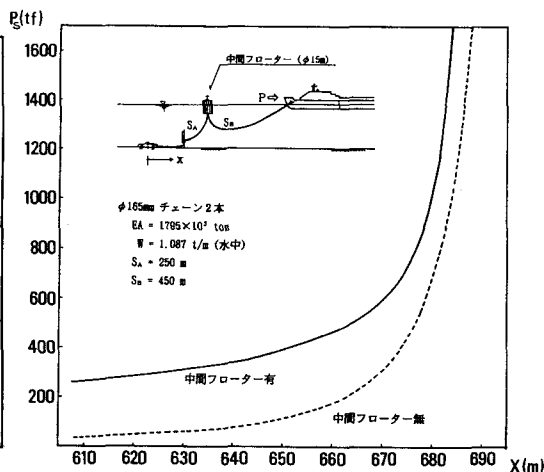


図-6 係留特性図

### 3-2 係留システムの静的特性

中間フローターを有する一点カテナリー係留における定常外力と浮体の水平変位の静的特性を、索の弾性変形を考慮したカテナリー理論により求める。中間フローターは、直径15m、高さ20mの円柱で、初期喫水を10mとする。図-6に中間フローターがある場合、及びない場合の、定常外力 $P_s$ と浮体の水平変位 $x$ との関係を示す。使用した係留索は $\phi 165\text{mm}$ の第3種電気溶接アンカーチェーン・スタット付（耐力荷重1198tf、破断荷重1806tf）を2本用いた。中間フローターがある場合は水平変位 $x$ が小さい状態で、中間フローターのない場合に比べ大きな定常外力に抵抗できる。従って、定常外力 $P_s=400\sim 600\text{tf}$ に対して、中間フローターがある場合には、水平バネが小さいのに対し、中間フローターがない場合には、水平バネが立ち上ってしまい波浪動揺に対する、索変動張力を増大させる。

表-1に示す波浪、潮流、風の設計条件に対する定常外力を求めた。風、及び潮流による定常外力として、 $P_w=480\text{tf}$ 、及び $P_t=180\text{tf}$ を得た。規則波中の定常漂流力については、運動量理論に基づく丸尾の理論<sup>(2)</sup>により求め、 $P_d=632\text{tf}$ を得た。

総定常外力1295tfのうち、700tfを推進装置により負担する。全部で7基の推進装置を設定し、設計条件時において6基が利用できるものとする、1基当り BHP=8000PSの駆動力を必要とする。

### 3-3 浮体の流体力特性

浮体の波浪中動揺を求めるため、線形ポテンシャル理論に基づき流体特性を計算する。浮体は剛体とし、6自由度の運動複素振幅 $X_j$  ( $j=1$ : Surge,  $j=2$ : Sway,  $j=3$ : Heave,  $j=4$ : Roll,  $j=5$ : Pitch,  $j=6$ : Yaw) を考えると係留浮体の運動方程式は、次式で与えられる。

$$\left[ \{m_{kj}\} + \{M_{kj}\} \right] \frac{d^2}{dt^2} \{X_j e^{i\omega t}\} + \{N_{kj}\} \frac{d}{dt} \{X_j e^{i\omega t}\} + \left[ \{K_{kj}\} + \{\bar{K}_{kj}\} \right] \{X_j e^{i\omega t}\} = \{e_k e^{i\omega t}\} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $\{m_{kj}\}$  ; 質量マトリックス  
 $\{M_{kj}\}$  ; 付加質量マトリックス  
 $\{N_{kj}\}$  ; 造波減衰マトリックス  
 $\{K_{kj}\}$  ; 係留バネマトリックス  
 $\{\bar{K}_{kj}\}$  ; 復元力マトリックス  
 $\{e_k e^{i\omega t}\}$  ; 波強制力ベクトル  
 $e_k = \rho g \zeta_a \iint (\phi_\theta + \phi_\tau) n_k ds$   
 $\phi_\theta$  ; 入射波ポテンシャル  
 $\phi_\tau$  ; diffractionポテンシャル  
 $\zeta_a$  ; 入射波振幅

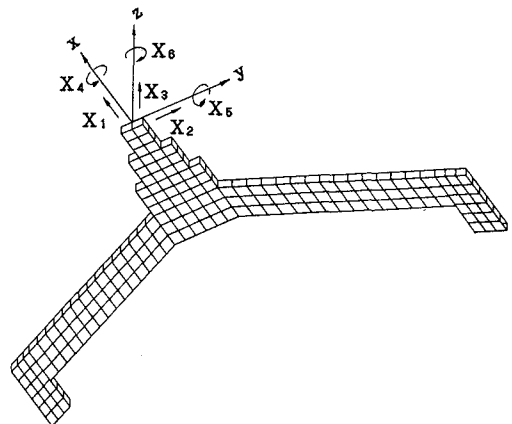


図-7 浮体のメッシュモデル図

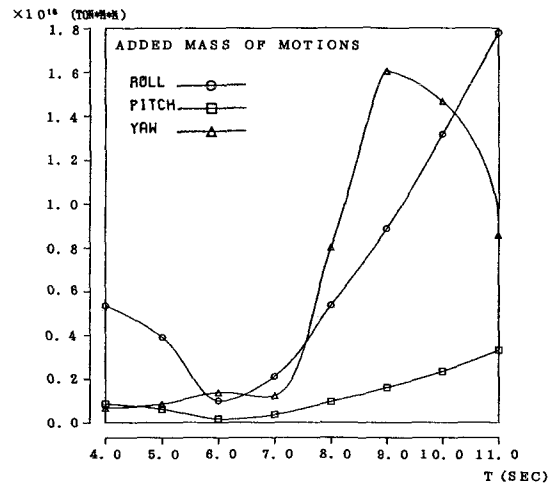
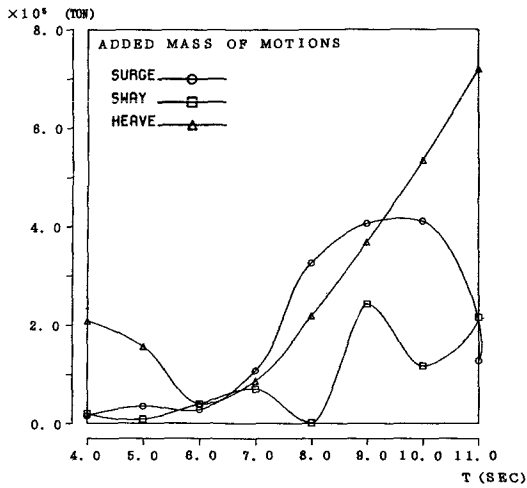


図-8 付加質量力特性図

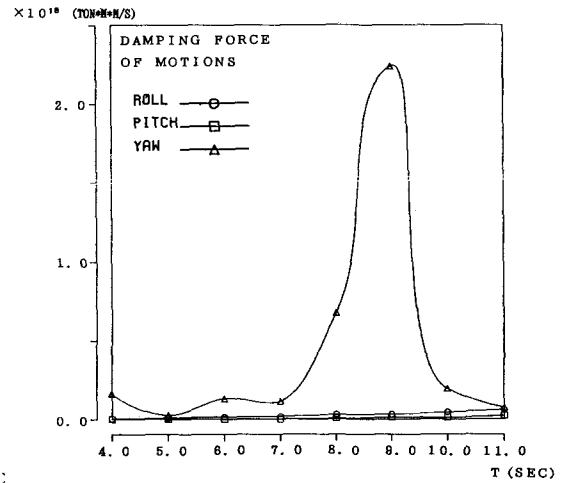
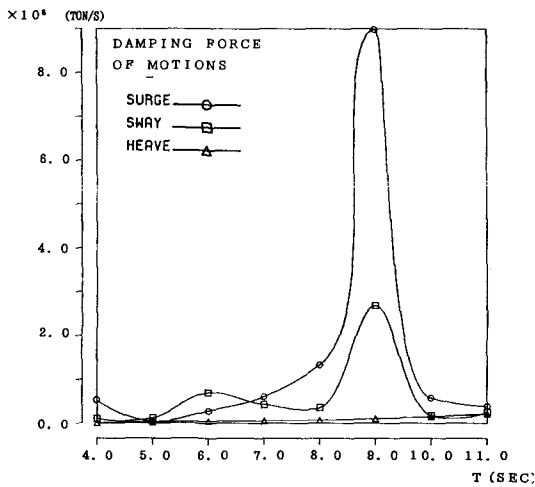


図-9 造波減衰力特性図

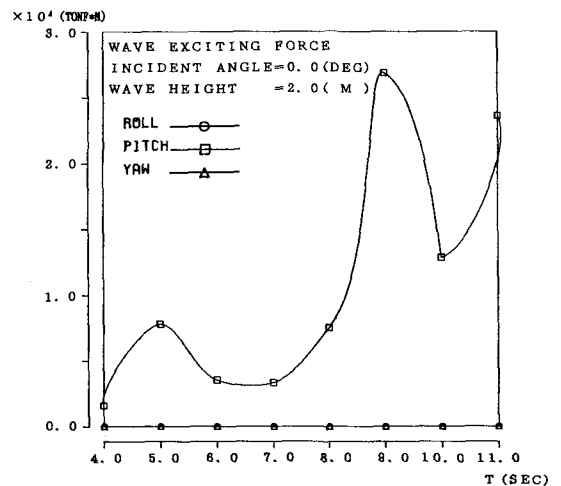
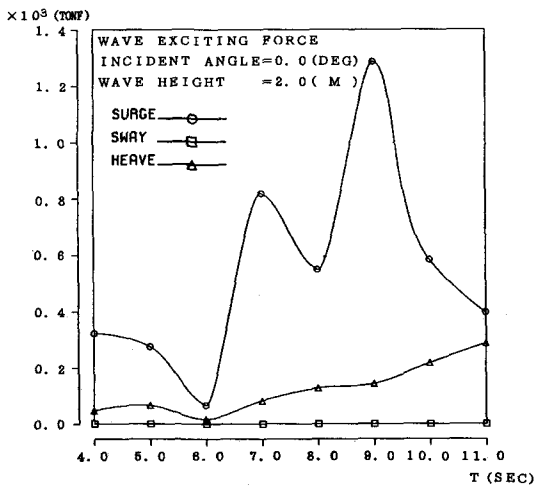


図-10 波強制力特性図

流体力の算定は、無限水深を満足するグリーン関数を用いた3次元の特異点分布法<sup>(3)</sup>によった。この方法は、境界値問題をわき出し関数に関する積分方程式に帰着し、数値的に解く方法である。図-7に、微小要素の離散化モデル、及び運動の定義を示す。

Radiation 流体力である付加質量力、及び造波減衰力を、図-8、9に示す。また波強制力を図-10に示す。これより、Surgeの付加質量力は周期により振動し、またHeaveとRollの付加質量は周期の増加に伴い増加することがわかる。またSurge, Sway, Yawの造波減衰力は、周期 $T=9$  secで卓越している。Surgeの波強制力は、周期 $T=7, 9$  secで増大する特性を示している。

### 3-4 浮体の動揺特性

定常外力が船首方向より作用し、定常変位した状態で、入射角0度の波を入射させ、動揺量を計算する。つまり、図-6において $P_s=600$ tfにおける線形の水平バネ $k_h=20$ t/mをもとに、係留バネマトリックスを作成し、式(1)の定常解を得る。図-11は入射波高 $H=2$  mの場合の動揺応答である。

係留索の変動張力に最も寄与するSurgeの動揺は、非常に小さく、設計波に対して $\pm 9$  cmの応答量である。これは水平バネが小さく質量が大きいため、Surgeの固有周期が長くなるためと考えられる。得られた動揺量より、図-6の特性図を用いて、係留索の最大張力710tfが得られた。この値は、チェーンの耐力荷重に対して、安全率3.4である。

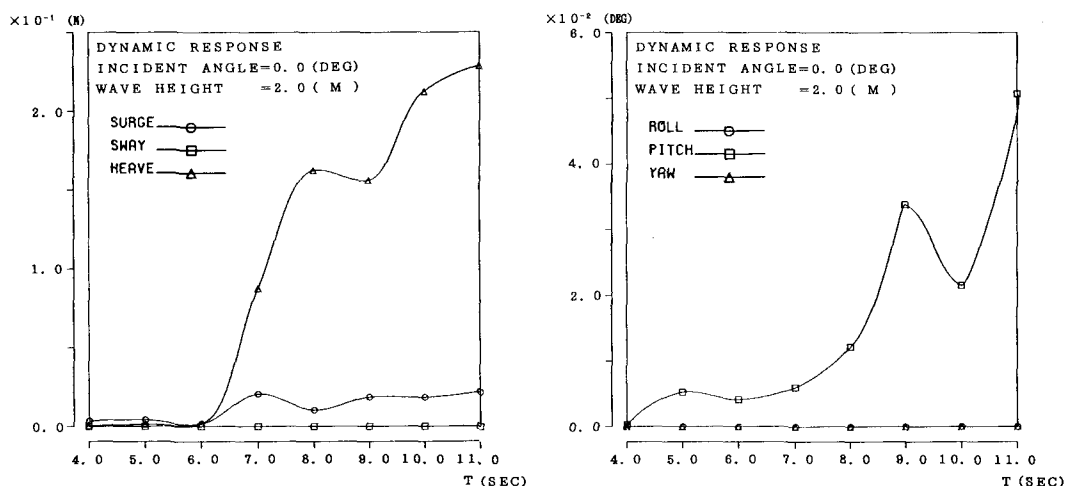


図-11 波浪中の動揺応答

### 5. おわりに

フローティング・ステーション構想は、4つの異なるプロジェクトを1つのステーションで機能させ相乗効果を期待するものであり、多方面からの検討と協力が必要と考えられる。

本論文は浮体構造物としての技術的側面から、その可能性について論じた。係留解析に当たっては、長周期漂流力や係留索の運動、また浮体前面の反射率等が考慮されておらず、今後の課題である。

なお、本研究は、室蘭工業大学・地域共同研究開発センターにおける客員教授プロジェクト「噴火湾の沿岸海洋環境と空間開発に関する基礎的研究」(S63年度～H元年度)の一部として行われたものであり、同センター・濱口由和所長、望月定助教授、土木工学科・三浦清一助教授のご協力を頂き、深く感謝する。

#### <参考文献>

- (1) 松山隆弘: 噴火湾の設計波・潮位の極値統計的推定, 室蘭工業大学卒業論文, 1989
- (2) Maruo H.: The drift of a body floating on waves, J. Ship Res., Vol. 4, No. 3, pp. 1~10, 1960
- (3) Garrison C.J.: Hydrodynamics of large objects in the sea, Part II- motions of free floating bodies, J. Hydronautics, Vol. 9, pp. 58-63, 1975