

II-276

フローティング・ステーション‘ジョナサン’の係留特性

室蘭工業大学

正会員 近藤 俊郎

大成建設株式会社

正会員 田中 良弘

1. はじめに

近年、海洋牧場など水産資源の高度利用が叫ばれ、また余暇時間の増大に伴い、海洋レジャーに対する関心が高まりつつある。著者らは、図-1に示すカモメのような大きな翼を持つ、一点係留の浮体式人工島、フローティング・ステーション‘ジョナサン’を提案する。ジョナサンは、その海域の波向きや風向きが変化しても、施設全体が波の来る方向に回転して、両翼の裏側はいつも波が穏やかな状態になるという特徴を持つ。本研究の目的は、ジョナサンの利用構想を述べると共に浮体構造物としての係留特性を明らかにすることにある。

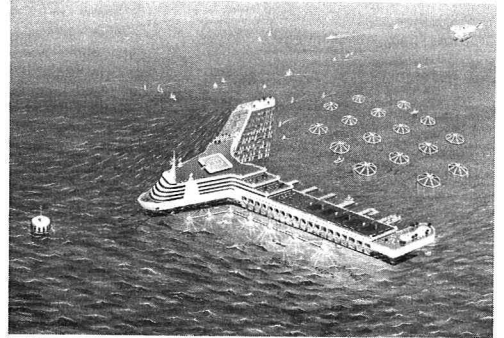


図-1 ジョナサンの概念図

表-1 設計条件一覧

海象条件 再現期間 R=100年	設計最高波高	H _{max} = 8.9 m
	設計波周期	T _{max} = 1.0 sec
	潮流	U _t = 1.5 ノット
	潮位	HHWL = +2.39 m
		LLWL = -0.39 m
気象条件	設計風速	U = 4.0 m/sec (水面上10m, 1分平均)
地質条件	地盤特性	海底地質は砂 N値>50
	海底地形	ほぼ平坦 水深h=-100m

2. ‘ジョナサン’の概要

ジョナサンは、長さ320m、両翼に相当する幅560m、高さ30mの巨大な浮体構造物で、これまであまり活用されていなかった沖合いの海洋空間を拡大しようとする構造物である。ジョナサンの両翼の裏側には、養殖用のイケス(φ40m×15m×16基)が設置され、海洋牧場の基地として利用される。また、ヨットハーバー(150隻停泊)やホテル(客室1000室)、コンベンション施設などのリゾート基地、海洋環境のモニター拠点、あるいは海洋研究施設と多分野のステーション機能を持つ。

ジョナサンの前面には、振子式の波エネルギー吸収発電装置が設けられていて、浮体に入射する波エネルギーを吸収する。波エネルギーは発電機を介して電力に変換され、推進装置を駆動して、潮流力や風力、波漂流力に抵抗する。

北海道・噴火湾でのケース・スタディで実現の可能性を検討した。ジョナサンの規模は、総延床面積で17万m²(水面上5階、水面下3階)という巨大なものであるが、施工にはプレハブ工法、洋上ジョイント工法を採用することで、約3年の工期と、約700億円の建設コストが見込まれる。

3. 一点係留の静的動揺

噴火湾の中央、水深100mの海域に設置することを想定し、設計条件の一覧を表-1に示す。ジョナサンの係留システムは、中間フローターを有する一点カテナリー係留である。索の弾性変形を考慮したカテナリー理論により定常外力P_sと浮体の水平変位xの静的係留特性を図-2に示す。使用した係留索はφ165mmの第3種電気溶接アンカーチェーン・スタット付2本である。図-2より、定常外力P_s=400~600tf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、水平バネが大きく立ち上がってしまい、浮体の波浪動揺に対する索変動張力を増大させる。

表-1の設計条件に対する定常外力を求めると、風、及び潮流に対してP_w=480tf、及びP_t=180tf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⁽¹⁾により求め、P_d=632tfを得た。本係留システムでは、総定常外力1295tfのうち、700tfを推進装置により負担すると考える。すなわち、1基当たりBHP=5000psの駆動力を有する、全旋回推進装置を浮体底部に全部で11基配置する。

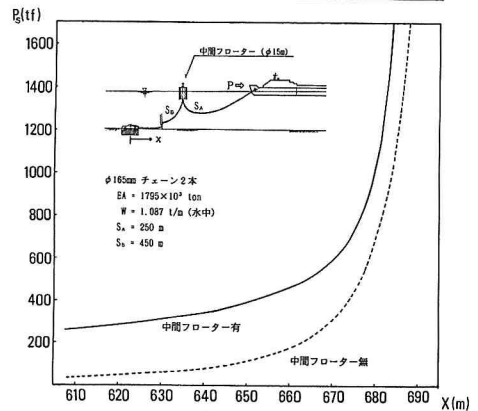


図-2 係留特性図

4. 浮体の流体力・動揺特性

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自由度の運動要素振幅 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。

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

$[m_{kj}]$: 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
 $e_k = \rho g \xi_a \int \int (\phi_a + \phi_r) n_k ds$, ϕ_a : 入射波ポテンシャル
 ϕ_r : diffractionポテンシャル, ξ_a : 入射波振幅

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⁽²⁾によった。Radiation 流体力である付加質量力、及び造波減衰力を、図-3、4に示す。また波強制力を図-5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。

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-2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-6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 ± 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に、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-2の特性図を用いて、係留索の最大張力710tfが得られた。また、図-7に $H=2$ m, $T=10$ secの場合の動水圧分布を示す。

5. おわりに

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、望月定教授、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) Maruo H.: The drift of a body floating on waves, J. Ship Res., Vol.4, No3, pp.1~10, 1960
- (2) 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

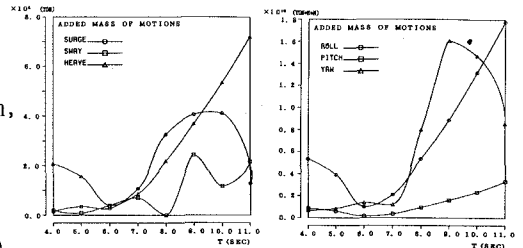


図-3 付加質量力特性図

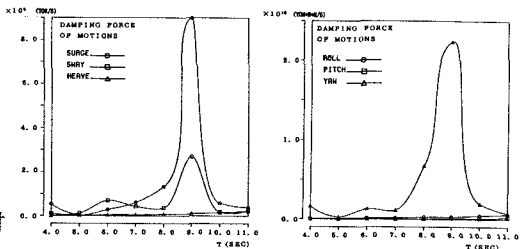


図-4 造波減衰力特性図

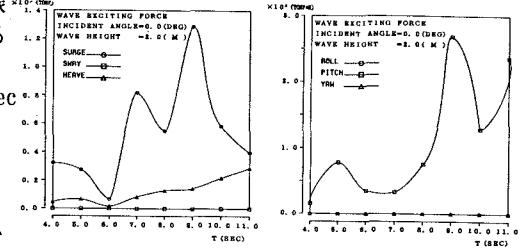


図-5 波強制力特性図

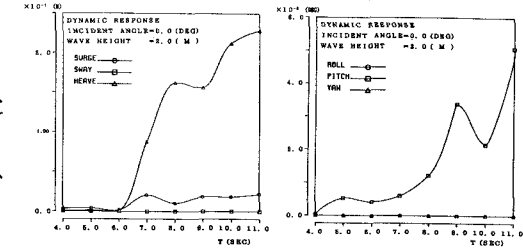


図-6 波浪中の動揺応答

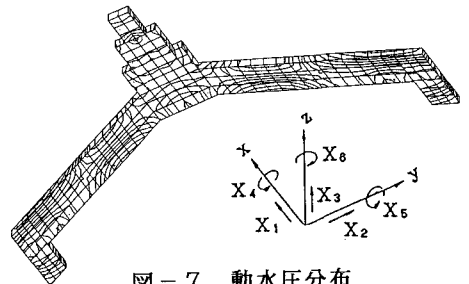


図-7 動水圧分布