岩手大学工学部	学生員	工酵	长 瞬	学生員	安倍	音 徹
	正員	堺	茂樹	正員	小笠原	敏記

## 1.はじめに

国土の狭いわが国では、埋め立等による用地確保が行わ れてきたが、近年の環境への関心の高まりから、海域環境 への影響が少ない新たな手法の一つとしてメガフロートが 提案されている。しかし、その実現には未だ多くの問題が 残されており、特に、係留装置の破損は浮体の漂流につな がり、陸上施設に衝突した際の被害は計り知れず、地震大 国であるわが国においては津波襲来時における係留力の検 討が不可欠である。以上のような観点から、著者らは浮体 模型としてプラスチック板を用いた実験を行ってきたが、 想定される実機に比べ、喫水が深く、曲げ剛性が小さいも のであった。そこで、本研究では実機に対応する特性を有 する模型を作成し、あらためて係留力を検討した。

## 2.実験方法

実験は、図1に示すような長さ26m、幅0.8mの二次元造 波水路を用いて行った。模型浮体の作成は、曲げ剛性を確 保するためにアルミ板を、また浮力を持たせるために発泡 ポリエチレンを用い、これらを接着剤で張り合わせた。図 2は模型浮体の断面図であり、厚さ6mmのアルミ板とアル ミ角材(15mm×40mm)を組み合わせて用いているが、これ はより厚いアルミ板のみを用いると質量が過大となるため である。以上のような方法により、模型浮体全体としての 密度、曲げ剛性を実機に対応したものとした。模型浮体の 密度、曲げ剛性は、それぞれ368.9kg/m<sup>3</sup>、5150Nm<sup>2</sup>である。 浮体の長さは10m、8m、6mと変化させて実験を行った。



図1 実験装置

係留装置は図3のようなドルフィン係留方式を採用した。 水槽上部に固定されたステンレス棒の固定端より5cm下に 歪ゲージを取り付け、測定された曲げ歪から曲げモーメン トを算定し、力の作用点までの距離で割ることにより、係 留力を求めた。係留装置のバネ定数の影響を検討するため、 断面が 5mm × 10mm と、10mm × 10mm の二種類のステンレ ス棒を用いた。孤立波を津波の第 1 波と見立て、波高を 2cm ~6cm、水深を 30cm ~ 60cm、と変化させて実験を行った。



## 3.実験結果

まず、係留力の最大値に及ぼす孤立波の波高の影響につ いて検討した。図4に、異なる係留装置で計測した各水深 下での係留力の最大値と孤立波の波高との関係を示す。



各水深とも、波高の増加に伴って最大係留力は増加してい るが、その増加傾向は水深、係留装置ごとに異なっており、 最大係留力と水深及び係留装置特性(バネ定数)には線形 関係が認められない。

そこで、係留力を求める第一段階として、孤立波が浮体 に作用する力、流体力について検討した。浮体の水平方向 の運動方程式は以下のように表される。

$$F_w = m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx \cdots \cdots (1)$$

ここで、*F<sub>w</sub>* は流体力、*m* は浮体の質量、*x* は浮体の水平 方向の変位、*k* は係留装置のバネ定数である。式(1)を用い て、実験から得られた係留力の時系列から流体力の時系列 を求めた。図5は、2種類の係留装置で計測した係留力と

算定された流体力の時系列の例である。



図5 係留力と流体力の時間的変化

上段の図が示すように、係留力は係留装置のバネ定数に よって大きく異なるが、下段に示した流体力は係留装置の バネ定数によらずほぼ一致している。係留装置の特性にか かわらず、波が浮体に作用する流体力は同一であることを 考慮すると、式(1)による流体力の算定は妥当と言える。

次に、流体力の最大値について検討すると、流体力の最 大値と孤立波の波高には比例関係があり、また、水深およ び浮体の長さには依存しないことが分かった。そこで、流 体力の最大値を以下のように定義する。

 $F_{w \max} = m_u g H \cdots (2)$ 

ここで、 $m_u$ は浮体の単位長さ(波の進行方向)当たりの質量、gは重力加速度、Hは孤立波の波高である。図6は流体力の最大値と $m_u gH$ の関係を示したものである。多少ばらつきがあるものの、両者はほぼ一致しており、流体力の最大値は式(2)によって表現できる。



図6  $F_{w \max} \geq m_u g H$ の関係

さらに、式(2)中の*H* を孤立波の時間波形*η*(*t*) で置き 換えたのが式(3)である。

$$F_w(t) = m_u g \eta(t) \cdots (3)$$

ただし、 $\eta(t) = H \sec h^2(\alpha ct)$ 



図7  $F_w(t) \ge m_u g \eta(t)$ の時間的変化

実験から得られた流体力の時系列と $m_u g \eta(t)$ を比較した のが図7である。両者はほぼ一致することから、流体力の 時間波形は式(3)で表すことができる。よって式(1)は 式(4)に変換できる。

$$m_u gH \sec h^2(\alpha ct) = m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx(t) \cdots (4)$$

次に、式(4)を以下のように無次元表示する

sec 
$$h^2 t' = \beta^2 \frac{d^2 x^*}{dt'^2} + x^* \dots \dots (5)$$
  
たたし、  $t' = \alpha ct$   $x^* = \frac{kx}{m_u gH}$   $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 

$$\beta = \frac{\alpha}{\omega}$$

式(5)中の $\beta$ を変化させ、それぞれの $\beta$ での $x^*$ の最 大値を求めた。なお、 $x^*$ の最大値とは、流体力の最大値 に対する係留力の最大値の比率を意味する。 $x^*$ の最大値 と $\beta$ との関係を図8に示す。多少ばらつきがあるものの 実験値と計算値はほぼ一致しており、無次元量 $\beta$ により、 係留力に及ぼす波浪条件、浮体条件及び係留装置特性(バ ネ定数)の影響を統一的に表すことができる。



図9 
$$x^* \ge \beta$$
の関係

## 4.結論

孤立波を津波の第1波と見立て、大型弾性浮体の係留力 に関する模型実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1 . 津波による大型弾性浮体の水平移動及びそれによる係 留装置への作用力は、質点 - バネといった簡略なモデ ルで表現できる。
- 2.津波の流体力は、孤立波の波形に大型弾性浮体の単位 長さ当たりの質量を乗じたもので表現できる。
- 3.最大流体力に対する最大係留力の比は、波高、水深、 浮体質量、及び係留装置の剛性(バネ定数)の関数と して一義的に表現できる。