

II-283

空気クッション浮体の鉛直加振応答特性に関する実験的研究

大成建設機技術研究所 正員 田中 剛、 正員 勝井 秀博
正員 小山 哲、 正員 中塚 健司

1. はじめに

近年、陸域での都市空間、プラント等の立地難に対して、海洋空間の利用が注目され人工島、海上都市、洋上原子力発電所等の構想が掲げられている。これらの構造形式として各種案が考えられているが、浮体式の構造物は、ユニット化ができて設計の標準化が図れる、建設工期が短縮できる、また地震に対する免震性が期待できる等のメリットをもつため、前記の各種構想に供し得るような大型浮体が経済的に建設できれば、その利用価値は高いと考えられる。特に浮揚式原子力発電所は、数多くの重要機器を収納するので、免震性という観点から浮体式によるメリットが大きいと考えられる。ところで通常の浮体（空気室なし浮体）は、水平震度に対する免震性はある¹⁾が、鉛直震度に対しては免震効果がないといわれている。浮体の下部に空気室を設けることによって、地盤の鉛直震動による動水圧が空気クッションを経て浮体に伝達されるため、鉛直方向の免震性が得られると考えられる。本研究では、模型実験によって、まず空気室なし浮体が鉛直方向の免震性をもたないことを確認し、空気室浮体の鉛直加振に対する加速度応答特性に関する考察を行った。空気クッション浮体は、空気室の大きさによって振動応答特性が変化し、適当な大きさの空気室を選定することによって、鉛直方向の免震性が得られることを示した。

2. 実験方法

(1) 振動台； 型式G-8130型、
テーブル寸法 600×600mm、
最大加速度 1 G (50kgf 負荷時)

(2) 模型形状；図-1に示す3種の
模型（アクリル製）による比
較を行った。浮体の重量調整に

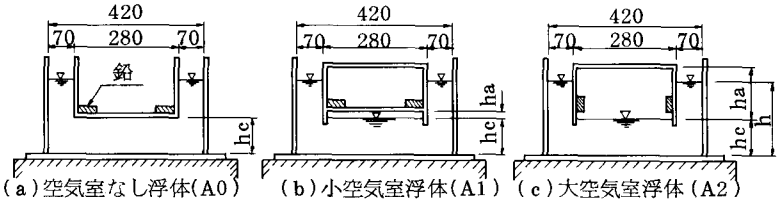


図-1 模型形状

は鉛を用いた。模型は、平面2軸対称の3次元模型である。

(3) 計測方法；加振中の振動台テーブルの加速度 (α_0) と浮体の加速度 (α) を小型加速度計 (AS-2C型) で計測した。浮体の加速度応答倍率は、 α / α_0 で定義する。

(4) 実験ケース；表-1 に示す模型タイプ、水深、入力加速度の組合わせで実験した。

表-1 実験ケース

空気室高 h_a (模型タイプ)	0, 1.8, 14.0cm (A0), (A1), (A2)
水深 h (クリアランス h_c)	12.5, 15.0, 20.0cm (2.5) (5.0) (10.0)cm
鉛直入力加速度	$\alpha_0 = 50, 100, 200 \text{ gal}$ (正弦波)
入力周波数	$f = 5 \sim 100 \text{ Hz}$

3. 実験結果と考察

(1) 空気室の大きさによる応答の変化； 実験結果の例を図-2に示す。図より明らかなように、空気なし浮体 (A0) と空気クッション浮体 (A1, A2) では鉛直方向の応答特性が異なる。A0 では全周波数域にわたって $\alpha / \alpha_0 \approx 1.0$ で、応答の増幅・減衰はみられない。すなわち通常の空気室なし浮体は、鉛直震動に対して 1:1 対応を示し、免震性はないことが確認された。一方、A1, A2 では空気バネによる共振がみられる。その共振点は空気室の大きさによって移動し、空気室を大きくすると空気バネ係数 (K_a) が小さくなり低周波数側へ移動する。これは、一質点系の共振周波数を求める次式によって説明される。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_0 + M_a}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 f_0 ：共振周波数、 K ：振動系のバネ係数、 M_0 ：浮体の質量、 M_a ：水の付加質量

図-2では A1, A2 の共振点は、それぞれ 50, 20Hz である。A1 と A2 の空気室体積の比は、約 1/7.4 である。空気バネ係数は空気室の大きさにほぼ反比例すると考えてよく（断熱変化の線形仮定）、 $\frac{20}{50} \approx \sqrt{\frac{1}{7.4}}$ である

から、(1)式より共振点の移動は明らかに空気室の大きさによっている。ここで、A2を例にとって(1)式による計算値と実験値との照合を行うと、 $Ka=74,300\text{gf/cm}$ 、 $Mo=8.165\text{gf}\cdot\text{s}/(\alpha/\alpha_0)\text{cm}$ であるから $Ma=0$ としても15.1Hzと計算される。これは、実験値20Hzよりやや小さい。(1)式の未知数は Ma であるので、計算値を実験値に合致させるためには $Ma<0$ すなわち負の付加質量を採らなければならない。今回報告では、詳細な考察まで至らなかったが、今後、負の付加質量の問題も含めて、空気クッション浮体の運動機構の解明が必要である。

図-2をみると、共振点より低周波数側での応答倍率は1以上であるが、共振点の約1.5～2.0倍の周波数の応答倍率は0.5程度となり加振周波数の増加につれて漸減する。すなわち空気クッション浮体は、この漸減領域を鉛直地震動の支配的な周波数域になるように空気室の大きさを設計すれば、鉛直方向の免震効果が得られる。

なお自由振動実験による固有周期は、A0、A1、A2いずれも約1secで変化が少なく、図-2のA1、A2の共振周期と大きくかけ離れている。これは、空気クッション浮体が浮力による復元力係数(Ku)と空気バネ係数(Ka)を合せもっていることを示している。 Ka は Ku よりはるかに大きいので、空気クッション浮体は、波浪など長周期の外力に対しては Ku によって応答する。一方、地震動など短周期の外力に対しては Ka による共振が発生する。すなわち空気クッション浮体は、長周期の外力と短周期の外力とでその応答機構が異なっている。

(2) 水深（浮体底面、空気室水面と水槽底面とのクリアランス； hc ）による応答の変化；表-2に各実験ケースの共振周波数を示す。 $f=5\sim100\text{Hz}$ の範囲では、空気室なし浮体の応答の変化はほとんどみられず、 hc によらず $\alpha/\alpha_0=1$ であった。空気クッション浮体の場合、 hc による共振点の変化は小さいが hc 増につれて共振周波数は漸増する。これは、 hc 増につれて水の付加質量が減少することによると考えられる。

(3) 入力加速度（ α_0 ）による応答の変化；いずれのケースも α_0 による応答曲線の変化はほとんどみられず、今回実験の範囲では α_0 に対する浮体の応答は、線形とみなせる。

4. 結論および今後の課題

空気クッション浮体の鉛直加振に対する応答特性について、小型模型実験を行った。通常の空気なし浮体では鉛直加振に対する応答減衰はみられないが、空気クッション浮体では浮体の復元力による共振周期と空気バネによる共振周期をもち、鉛直加振に対する応答が減衰する周波数の領域がみられ、適当な大きさの空気室を設ければ水底地盤の鉛直地震加速度に対して免震効果が得られることを確認した。

今後の課題として、下記の項目について検討を進めて行く必要がある。

- ① スケール効果の確認： 今回の実験模型は、想定している実機浮体の1/300～1/500程度に相当し、縮尺率が小さいので、浮体（剛体）と水および空気との相互作用におけるスケール効果の確認が必要である。
- ② 浮力による復元力と空気バネをもつ空気クッション浮体の運動機構の解明、
- ③ 数値計算法の確立、
- ④ 空気クッションの実機浮体への適用の検討

謝辞：本実験研究に当たっては、名古屋大学岩田好一朗教授および電力中央研究所萩原豊氏に有益な助言を賜った。ここに謝意を表する。

<参考文献>1. 小山 哲・他：境界要素法による浮揚式海洋構造物の耐震性の検討、第41回年講Ⅱ、1986

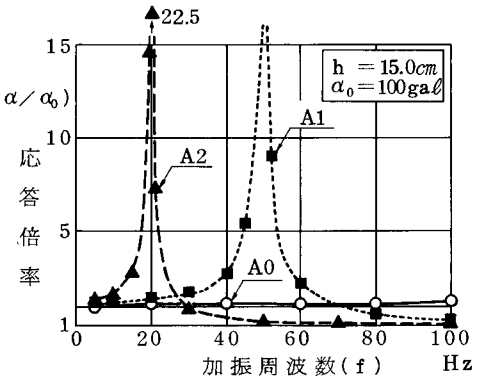


図-2 鉛直加振加速度応答倍率

表-2 共振周波数

水深h \ 模型	A 0	A 1	A 2
12.5 cm (hc=2.5cm)	—	45.3Hz	18.3Hz
15.0 (5.0)	—	50.0	19.8
20.0 (10.0)	—	52.5	20.4