

浅海域における弾性浮体の鉛直方向付加質量

中電技術コンサルタント(株) フェロー会員 ○日下 理
鳥取大学工学部 フェロー会員 上田 茂
中電技術コンサルタント(株) 正会員 大輝 聡
三菱重工業(株) 正会員 池末俊一

1. はじめに

浮体構造物を大型化して、その上に旅客ターミナルや防災施設を設置する場合、鉛直方向地震応答解析において構造物剛性の影響を無視できない。本研究では、弾性浮体の鉛直方向地震応答における鉛直方向付加質量を数値解析で明らかにする。

2. 想定する浅海域浮体構造物と解析モデル

想定する浅海域浮体構造物¹⁾は、図-1に示すセミサブ方式で、浮力を十分活用して長手方向において2点で支持するものである。表-1に主な構造諸元を示す。解析においては、図-2に示すような2次元状態を設定した。

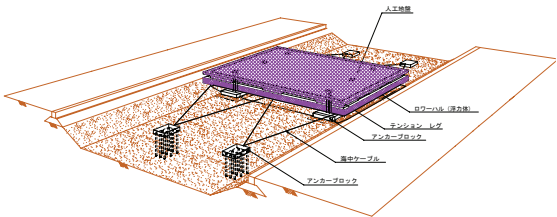


図-1 想定する浅海域浮体構造物の概念図

3. 鉛直方向の正弦波入力に対する応答

(1) 解析の方法

構造物の鉛直方向変位を u 、流体の圧力を p 、自由表面の鉛直方向変位を η としたとき、構造と流体の連成方程式は式(1)～式(3)で表すことができる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} + [Q]\{P\} + \{F_0\} = 0 \quad (1)$$

$$[T]\{\ddot{\eta}\} + [K_p]\{P\} - [Q]\{\ddot{u}\} = 0 \quad (2)$$

$$[K]\{\eta\} - [T]\{P\} = 0 \quad (3)$$

ここで、 F_0 ：外力、 $[K]$ ：剛性マトリックス、 $[M]$ ：質量マトリックス、 $[Q]$ ：連成マトリックス、 $[T]$ ：自由表面要素のマトリックスである。計算には汎用応答解析コード(FLIP)を使用した。

表-1 浮体構造物の構造諸元

項目	構造諸元
浮体構造物	長さ 160.0m×幅 120.0m×高さ 5.5m
全体質量	$9.67 \times 10^7 \text{ kg}$
浮体の剛性	$8.232 \times 10^9 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$

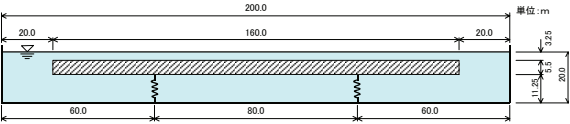


図-2 解析モデル (2次元)

(2) 正弦波による応答

水底から鉛直方向の正弦波を入力し、ばねに作用する荷重合力(F_p kN)を図-3に示す。図-3の細線は弾性体の場合の応答曲線、図-3の太線は剛性が高い場合の応答曲線である。なお、後述するように剛性が高い場合は浮体の変形が少ないことから、ほぼ剛体とみなすことができる。ここで、 a_g ：地震の加速度(m/s^2)、 E ：浮体構造物材質の弾性係数(kN/m^2)、 I ：断面2次モーメント(m^4)、 k ：ばね定数(kN/m/m)、 g ：重力の加速度(m/s^2)、 W_w ：水中重量(kN)である。

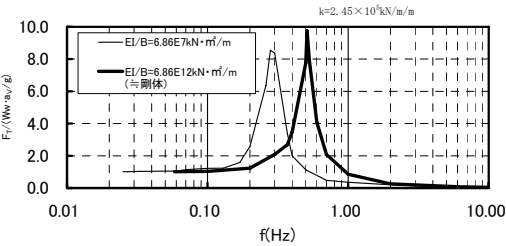


図-3 周波数と支持脚作用荷重の関係

(3) 共振振動数から求める付加質量

剛性浮体の付加質量も弾性浮体の付加質量も統一的に扱えるものとして、ここでは付加質量を式(4)で定義した。

キーワード 付加質量、弾性浮体、浮体構造物、浅海域、地震応答

連絡先 〒734-8510 広島県広島市南区出汐 2-3-30 中電技術コンサルタント(株) 道路・臨海本部 TEL 082-256-3353

$$(M + M_a) = \left\{ 1 / (2\pi f_0) \right\}^2 nk \quad (4)$$

ここで、 f_0 : 図-3における共振振動数(Hz), M : 質量(kg), M_a : 付加質量(kg), n : ばねの本数である. 図-3の共振振動数を式(4)に代入すると, 付加質量係数($M_a/(\rho V)$)は, 図-2の形状の剛性浮体では51.8, 弾性浮体では174.0となる. ここで、 ρ : 流体の密度(Ns^2/m), V : 浮体の排水体積(m^3)である. 弾性浮体の付加質量は剛性浮体より大きくなるが, これは, 水中振動の共振振動数が空中振動の共振振動数より小さいことに起因する. 図-4は鉛直方向変位を示したものであるが, 剛性浮体に変形しないのに対し, 弾性浮体では浮体端部に変形が見られ, そのため水中振動の共振振動数が小さくなる. 一方, 図-5に示す動水圧分布には, 大きな相違は見られない.

(4) 浮体長と付加質量の関係

図-6は浮体長と付加質量係数の関係を示したものである. 浮体長100.0mについて, 高村ら²⁾の解析結果があるが, 剛性が高い場合の付加質量係数の計算値とほぼ一致する. 上田ら³⁾は細長い浮体の付加質量に関するT. E. Stelsonの実験結果に考察を加えているので, 水深影響を補正した上で比較したところ, 図-6に示す剛性が高い場合の付加質量係数とほぼ一致することを確認した. なお, 付加質量の計算結果が大きい値を示すのは, 半無限の幅を有する二次元浮体であるためである.

図-2に示す浮体構造物の運動方程式は式(5)のように表示されるので, 図-6に示す付加質量を用いれば, 式(5)を解くことで浮体構造物の概略挙動を把握できる. これは, 構造のみの解析になるので, 3.(1)に示す構造・流体の連成解析より簡素化できる.

$$(M + M_a)\ddot{u} + N\dot{u} + nku = (\rho V - M)a_v \quad (5)$$

ここで、 N : 造波減衰(Ns/m).

(5) 表面浮体の付加質量と没水浮体の付加質量

表-2のケースについて, 表面浮体の付加質量と没水浮体の付加質量を図-7に比較した. その結果, 付加質量係数は, 水深が浅く没水状態の方が大きくなる. これは, 浮体周辺の流体の影響がTypeA, TypeB, TypeCの順に大きくなるためと考えられる.

5. おわりに

鉛直方向の付加質量は, 弾性浮体の場合の方が剛性浮体より大きいことを明らかにした. ただし, ここでいう弾性浮体の付加質量は, 運動する浮体の周囲に付加される質量というよりは, 水中振動の共振振動数が空中振動の場合より小さくなることに相当する換算の質量との概念である.

参考文献

- 1) 日下理, 上田茂, 大輝聡, 池末俊一: 浅海域浮体構造物における剛性と鉛直地震応答について, 海洋開発論文集, Vol.24, 2008.

- 2) 高村浩彰, 増田光一, 前田久明, 別所正明: 超大型浮体式海洋構造物における海震時における応答推定法(第3報), 海岸工学論文集, Vol.47, 2000.
- 3) 上田茂, 大井栄二郎: 港湾の係留施設における防衛工の設計について, 港湾技研資料, No.596, 1987.

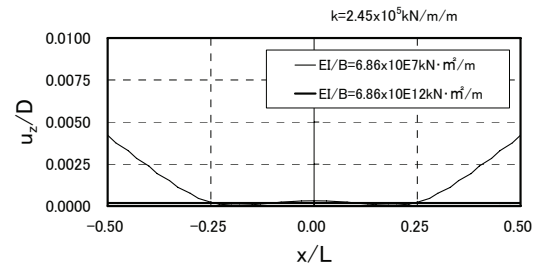


図-4 鉛直方向変位の長さ方向分布

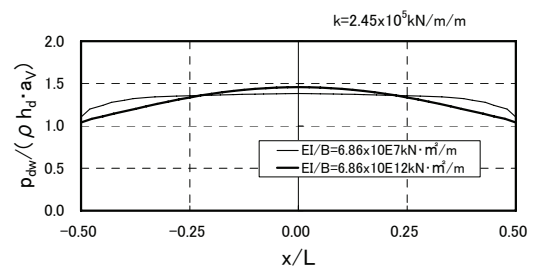


図-5 動水圧の長さ方向分布

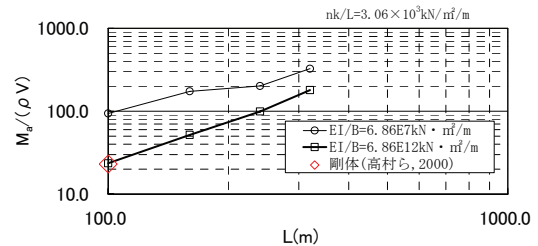


図-6 浮体長と付加質量係数の関係

表-2 表面浮体と没水浮体に関する検討ケース

項目	Type A	Type B	Type C
概略図			
浮体形状 ばねの配置	図-2と同じ		
水深 h	20.00 m	16.75 m	20.00 m
水面から浮体上面 までの距離 h_D	0.00 m	0.00 m	3.25 m
浮体底面から水底 までの距離 h_E	14.50 m	11.25 m	11.25 m

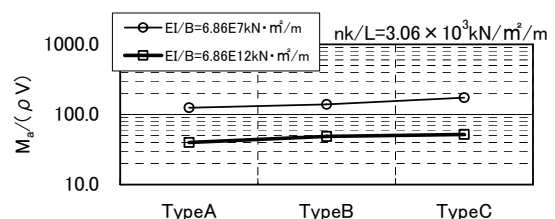


図-7 付加質量に関する表面浮体と没水浮体の比較