

没水した浮体構造物の鉛直方向の付加質量

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
(株)リョーセンエンジニアズ 正会員 山本利弘

1. はじめに

静穏海域や軟弱地盤海域では海洋空間の有効利用のためには、浮体式人工地盤を活用することも有効なひとつである。この人工地盤として、潮位変動の小さいセミサブ式浮体構造物を採用することがあるので、本報告では、没水した浮体構造物の鉛直方向の付加質量を数値解析で明らかにする。

2. 検討対象の浮体式人工地盤

対象とする浮体式人工地盤¹⁾²⁾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。セミサブ式は潮位変動の影響が小さいという特長を有する。表-1に構造諸元を示す。本研究においては鉛直方向地震応答について検討する。

3. 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。具体的な計算には、汎用応力解析コード (FLIP)³⁾ を使用した。

(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た場合の支持脚に作用する荷重合力 (F_p kN) を図-2に示す。図-2(a)は剛体相当の正弦波応答、図-2(b)は弾性体の正弦波応答である。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 ：支持脚の合成ばね定数 (kN/m)、 g ：重力の加速度 (m/s^2)、 W_w ：水中重量 (kN) である。低振動数帯において、全ての応答値が1.0である。これは、入力地震の a_g の加速度場においては、浮体への作用力は水中重量 (W_w) $\times$ 震度 (a_g/g) になることを意味し、水平方向に対する震度法の考え方と同一である。

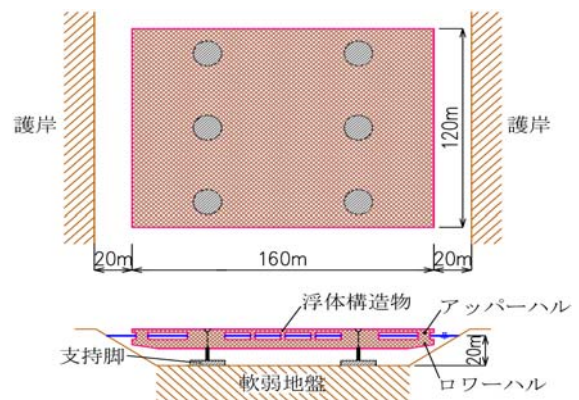


図-1 浮体式人工地盤の概念図

表-1 浮体構造物の構造諸元

項 目	構造諸元
浮体構造物	160m × 120m, 鋼製 (ローハル高 5.5m)
全 体 質 量	9.67×10^7 kg
浮体構造物の剛性	8.232×10^9 kN・m ²
支 持 脚	構造物長手方向2点支持
水 深	20m
護 岸	鉛直護岸(固定境界)

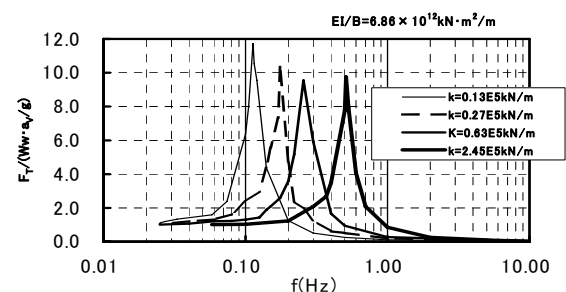


図-2(a) 剛体における正弦波応答

キーワード 浮体構造物, 人工地盤, 付加質量, 強制動揺

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

4. 鉛直方向の付加質量

(1) 共振振動数から求める付加質量

図-3 は、ばね定数と付加質量 (M_a , kg) の関係を示したものである。ここでの付加質量とは、

$$(M + M_a) = \left\{ 1 / (2\pi f_{z0}) \right\}^2 k \quad (4)$$

と定義した。ここで、 f_{z0} : 図-2 における共振振動数 (Hz), M : 質量 (kg) である。図-3 において、剛体の付加質量は一定であるが、弾性体の付加質量は浮体剛性と支持脚ばね定数に依存している。なお、この付加質量は、水中で振動させた場合、水中の共振振動数が空中の共振振動数より小さくなることに相当する換算の質量の意味合いである。

(2) 強制動揺から求める付加質量

図-3 に示す付加質量の妥当性を検討するために、強制動揺から求める付加質量と比較する。この付加質量には、浮体を加振した場合と水底を加振した場合の2 ケースがある。図-4 の模式図では、力の釣合い方程式は式 (5) で与えられる。

$$M (\ddot{u}_1 + \ddot{u}_z) + k u_z - p = 0 \quad (5)$$

ここで、 u_1 : 水底加振または浮体加振の変位 (m), u_z : 浮体の相対変位 (m) である。

$$u_1 = U_1 e^{i\omega t}, u_z = U_z e^{i\omega t}, p = P e^{i\omega t} \text{ とすれば,}$$

付加質量 M_a , 造波減衰力 N は次式で求められる。

$$M_a = \frac{-\operatorname{Re}(P)}{\omega^2 (U_1 + U_z)}, \quad N = \frac{\operatorname{Im}(P)}{\omega} \quad (6)$$

付加質量係数: Ma/M

造波減衰係数: $N/(\omega M)$

なお、式 (6) から得られるのは、剛体の場合のみである。水底加振の場合は、付加質量は U_1 の他に U_z が関係する。浮体加振と水底加振の付加質量を図-5 に示す。浮体加振の場合には、浮体底と水底の水圧が高くなるので、付加質量係数が水底加振の付加質量係数よりかなり大きくなる。負の付加質量とは、浮体の質量そのものが減ずるのではなく、水底の加振方向と流体圧の方向が同じになることである。式 (4) で定義した剛体の付加質量が、浮体加振の付加質量に近いものになっているのは、浮体の挙動によっては浮体加振が水底加振の付加質量になるが、全体としては付加質量係数のより大きい浮体加振に近いものになっていると考える。

5. おわりに

浮体が剛体の場合には、付加質量は支持脚ばね定数に無関係で一定である。一方、浮体が弾性体の場合には、式 (4) で定義する付加質量は浮体剛性と支持脚ばね定数に依存し、剛体の付加質量より大きくなる。

参考文献

- 1) 日下理, 山崎陽一郎, 上田茂: 浅海域浮体式人工地盤の剛性と鉛直地震応答, 土木学会年次学術講演会講演概要集第1部, vol.62, pp.343-344, 2007.

- 2) 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.
- 3) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990.

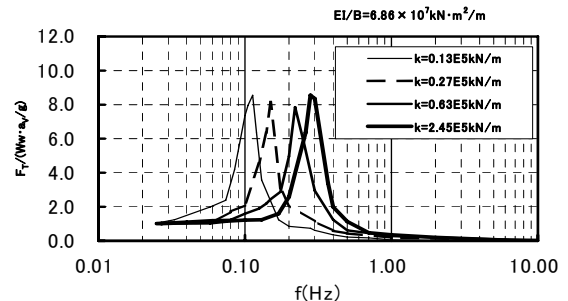


図-2(a) 弾性体における正弦波応答

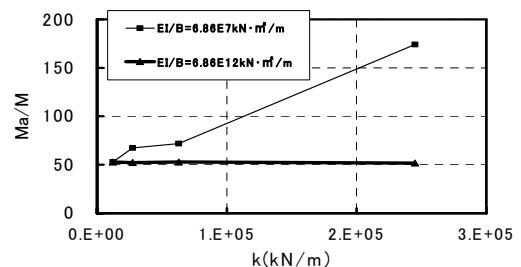


図-3 支持脚ばね定数と付加質量係数の関係

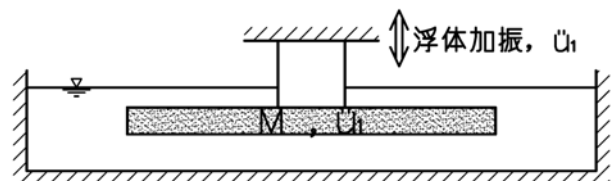


図-4(a) 浮体加振の場合の模式図

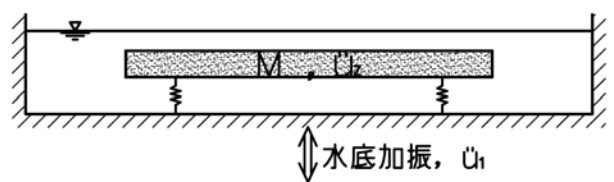


図-4(b) 水底加振の場合の模式図

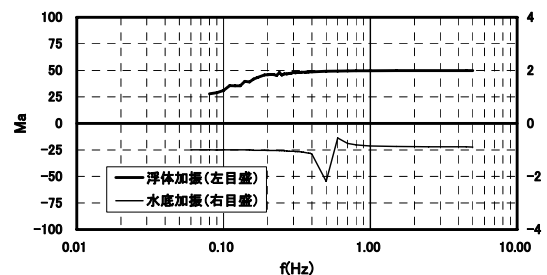


図-5 強制動揺による剛体の付加質量係数