

CS 139

自由表面を考慮した没水型構造物に対する振動解析

ハザマ技術研究所

正員○三原 陽治

ハザマ技術研究所

正員 黒崎 和保

大阪大学溶接工学研究所

村川 英一

1. はじめに

近年来、海洋空間が広い範囲にわたって開発され、多くの種類の大型海洋構造物が建設されている。例えば、TLP（テゾソルグ・プラットフォーム）に代表される緊張係留式構造物、剛着底式海洋構造物、軟着底式海洋構造物などが挙げられる。その中でも特に、緊張係留式構造物に働く流体力について検討を行うことにする。緊張係留式構造物に働く流体力としては、波力・潮流力・風力によるものと海底が振動することによって発生する水平・上下方向への振動流が及ぼす力によるものがある。本研究では、構造物に働く流体力の中でも波浪についてはよく検討されているため鉛直方向地震を対象とした。没水型構造物に対する上下方向振動流発生時の応答振動問題において、その構造物の受ける流体力を付加質量係数 C_A 及び減衰係数 h によって評価することで、その運動の特性を明らかにすることを本研究の目的とする。本報告では第一段階として、構造物に強制変位を与えて自由振動させる問題について解析を実施した。解析手法としては境界要素法（BEM）を用いた。

2. 境界要素法（BEM）による定式化

本解析において取り扱う流体は2次元の完全流体とし、ポテンシャル問題として定式化を行う。2次元のポテンシャル問題は次の（1）式によって支配されている。 ϕ は速度ポテンシャルを表している。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (in \Omega) \quad (1)$$

グリーンの公式より、領域 Ω の境界 Γ 上では、次の境界積分方程式が成立する。

$$\int_{\Gamma} \phi \frac{\partial \phi^*}{\partial n} d\Gamma = \int_{\Gamma} \frac{\partial \phi}{\partial n} \phi^* d\Gamma \quad (2)$$

ϕ^* はラプラスの方程式を満足するものであり、本解析では基本解として次式を用いる。

$$\phi^* = \frac{1}{2\pi} \ln \left(\frac{1}{r} \right) \quad (3)$$

また、時間更新法として、Newmarkの β 法を用いる。すなわち、 $t=n\Delta t$ 秒後の ϕ が既知とすると、 $t=(n+1)\Delta t$ 秒後の ϕ の増分 $\Delta \phi_{n+1}$ の時間微分 $\Delta \dot{\phi}_{n+1}$ 、 $\Delta \phi_{n+1}$ は $\Delta \phi_n$ を用いて次式で与えられる。

$$\Delta \ddot{\phi}_{n+1} = \left(1 - \frac{1}{2\beta}\right) \Delta \ddot{\phi}_n - \frac{1}{\beta \Delta t} \Delta \dot{\phi}_n + \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta \phi_n \quad (4)$$

$$\Delta \dot{\phi}_{n+1} = \left(1 - \frac{\delta}{\beta}\right) \Delta \dot{\phi}_n + \left(1 - \frac{\delta}{2\beta}\right) \Delta t \Delta \ddot{\phi}_n + \frac{\delta}{\beta \Delta t} \Delta \phi_n \quad (5)$$

本研究においては、 $\delta=1/2$ 、 $\beta=1/4$ を選んでおり、 $\beta=1/4$ のときは特に定加速度法と呼ばれている。没水型構造物に対しては、次式の1次元のバネ質点系の運動方程式で運動を記述することにする。

$$M \ddot{z} = -Kz - Ff \quad (6)$$

但し Ff は、没水型構造物に働く動水圧の積分値である。以上の方法にて、没水型構造物に対する強制変位による振動解析を行った。

3. 解析結果と考察

図-1に示すような、計算領域で解析を行った。境界条件は、壁を想定した境界 Γ_1 いわゆる流体が壁を通り抜けて流れない条件、自由表面 Γ_2 については（7）式により境界条件が与えられる。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

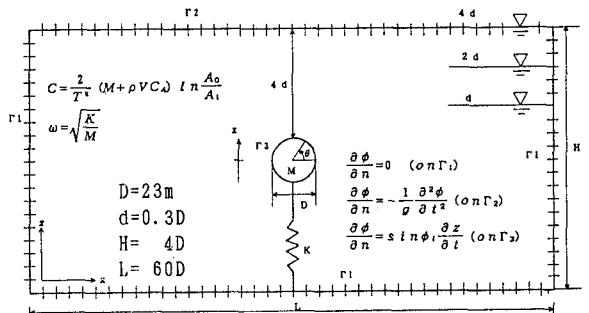


図-1 計算領域

これは自由表面の満足すべきポテンシャルの条件である。また、構造物の周りの Γ_3 では流体と構造物の Γ_3 に垂直方向の速度が等しいという条件をとっている。本解析においては、構造物は上下方向の運動のみ考慮して、自由表面条件によって引き起こされる水面変動による節点の変動は、変位が微小であるとしているので、メッシュの切り直しは行っていない。係留用バネのヤング率を変化させて種々の固有周波数を与えたときの解析結果を表-1, 2, 3に示す。表-1～表-3の相違は没水深によるものである。また、図-2には無次元化周波数 ν ($=\omega^2 D/g$) と付加質量係数 C_A 、図-3には無次元化周波数 ν と減衰係数 $h(=C/2\omega(M+\rho V C_A))$ の関係を示す。また、図-4には2.0sec後の没水深4 d、dの自由表面の水面変動分布を示す。本解析結果から、没水深が浅くなってくると付加質量係数が小さくなる傾向を示している。付加質量係数は没水深の影響を受けていることが解析から確かめられる。減衰係数については、没水深が浅くなることで大きくなる傾向にある。水面変動の分布から判断して、没水深が浅いと波の成長が早く、水面変動量の最大値も大きくなる傾向を示している。このことから、構造物の減衰は造波が影響すると考えられる。

4. まとめ

造波による減衰の影響が大きいことから、没水型構造物といえども自由表面変動を取り扱うことは、重要であると考えられる。今回は構造物に強制変位を与えて自由振動させた解析を行ったが、今後は海底で地盤が変動することで発生した海底波により構造物が振動する問題へと解析を発展させる方針である。本方法は時系列ですべての未知数が解かれるため、非定常な振動問題に有効な方法である。更なる展開として、波の影響を考慮した複合的な検討も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) Yukio Ueda, Hidekazu Murakawa and Dianxiang Xiang: Effect of fluid force acting on the colliding body upon the elastic-plastic response of an offshore structure, Proc. of ISOPE, pp.148～155, 1991
- 2) C.A. ブレビア: 境界要素法入門, 培風館, pp.39～94, 1982
- 3) Gin-show Liou et al.: Response of tension-leg platforms to vertical seismic excitations, Report No. UCB/EERC-85/14, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, pp.4～9, 1985

表-1 境界要素法による解析結果(4d)

ν	C_A	h (%)	Δt
0.42	1.09	1.9	0.05
0.53	1.19	2.0	0.05
0.70	1.08	1.9	0.05
0.89	0.98	1.8	0.05
1.16	1.02	1.6	0.02
2.22	1.05	0.7	0.02
4.73	1.04	0.3	0.01
8.41	1.08	0.1	0.01
20.48	1.09	0.1	0.01

表-2 境界要素法による解析結果(2d)

ν	C_A	h (%)	Δt
0.5	1.32	5.5	0.05
0.7	1.08	5.7	0.05
0.89	0.98	5.8	0.05
1.23	0.92	4.8	0.02
2.34	0.95	2.5	0.02
4.92	0.97	0.9	0.01
8.86	0.99	0.4	0.01
20.48	1.02	0.3	0.01

表-3 境界要素法による解析結果(d)

ν	C_A	h (%)	Δt
0.47	1.45	9.9	0.05
0.65	0.22	12.2	0.05
0.82	1.13	13.9	0.05
1.28	0.85	12.5	0.02
2.61	0.77	6.2	0.02
5.33	0.84	2.1	0.01
9.35	0.90	0.9	0.01
22.22	0.95	0.3	0.01

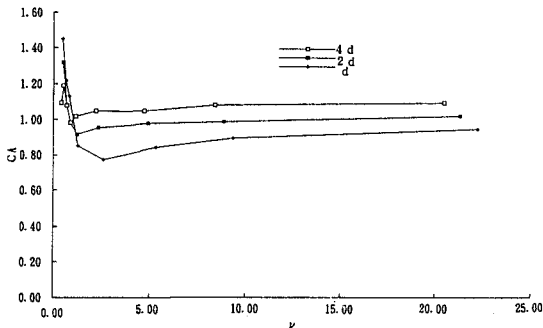


図-2 無次元化周波数による C_A の変動

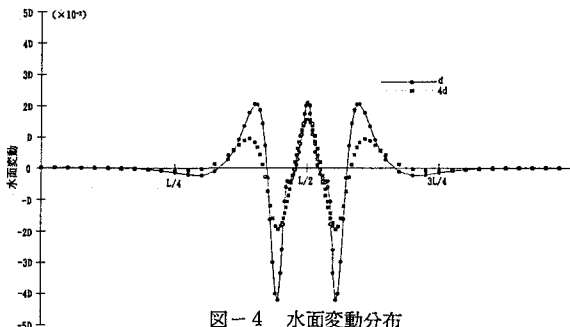


図-4 水面変動分布

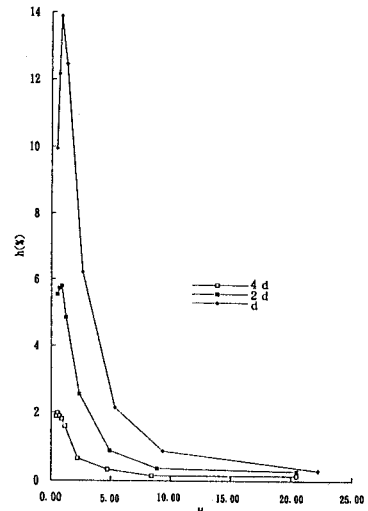


図-3 無次元化周波数による h の変動