

II-397 強弱2軸を持つ搭状構造物の水中での地震時応答特性

(株) 篠塚研究所 正員 中村孝明

1. はじめに

大水深域に建設される搭状構造物の多くは、石油、天然ガス等の生産プラットフォームである。この種の構造物は、機能的必要性から非対称で、柱断面も真円でない場合が多く、強弱2軸をもつ構造系として扱わなければならない。これまでの研究では、軸対称搭状構造物を対象とした応答計算手法が幾つか提案されているが、強弱2軸を持つ構造物の応答問題を扱った例はない。本報は、著者が開発した3次元に任意形状で且つ、流体との動的相互作用まで扱える汎用的な計算手法を用い、強弱2軸を持つ搭状構造物、特に四角柱の水中での応答特性を明かにする。

2. 計算手法の概要

図-1に示す様に、一定水深 h の海域にある構造物に対して、 x 軸から α なる角度をもって、振幅 a_0 、角振動数 ω の調和振動が作用した場合を想定する。流体は非粘性、非回転で圧縮性を考慮する。これにより、流体場の支配方程式は、3次元 Helmholtz 方程式となる。

$$\nabla^2 \phi + \frac{\omega^2}{c^2} \phi = 0 \quad (1)$$

ここに、 c は水中での音速 (1430m/s ; 15°C) を表わす。
又、各境界条件は次の様になる。

$$\phi = 0 \quad \text{on } z = 0 \quad (2)$$

$$\partial \phi / \partial z = 0 \quad \text{on } z = -h \quad (3)$$

$$\partial \phi / \partial n = V_n \quad \text{on } \Gamma_s \quad (4)$$

ここに、 V_n は構造物回りの法線速度成分、 n は構造物に向かって内向法線方向を表わす。上式に加え、無限遠方での Sommerfeld の放射条件が加わる。求めるべき速度ポテンシャルは、上述条件を満足する境界値問題の解となる。その際、境界積分法を適用し、支配方程式及び、構造物回り以外の境界条件を満足する Green 関数を用いる。これにより積分は、構造物回りだけとなる。構造物は、 x, y 方向及びねじりを含めた3自由度質点系にモデル化し、構造物回りの境界条件で、流体場と接続する。モデル化に際し、曲げ変形とせん断変形を加算して求められる等価せん断バネを使用する。これにより、各質点の自由度から“曲げ”を省くことができ、流体場との接続が容易となる。又、構造物回りの境界条件(4)式は、構造物の運動と流体との動的相互作用を含んだものとして与える。

次に、水中で運動する物体には、付加質量が加わるが、流体の圧縮性を考慮することで、付加質量に加え構造物の振動による圧縮性進行波成分が、流体場へ逸散する。これは、構造物に対し逸散減衰力として作用する。その発生は、以下に示す無次元振動数によって判定できる。

$$\Omega = 2\omega h / \pi c \quad (5)$$

$\Omega < 1.0$ の場合、逸散減衰力の影響は少なく、 $\Omega \geq 1.0$ でその影響が顕著になる。構造物に加わる x 方向の全流体力 F_{hx} は、構造物回りで圧力積分することで得られる。速度ポテンシャルで表現すると次の様になる。

$$F_{hx} = -i\omega\rho \int_{\Gamma_s} \phi n_x d\Gamma \quad (6)$$

ここに、 ρ は流体密度、 i は虚数単位、 n_x は法線方向と x 方向との方向余弦を表わす。 y 方向の全流体力

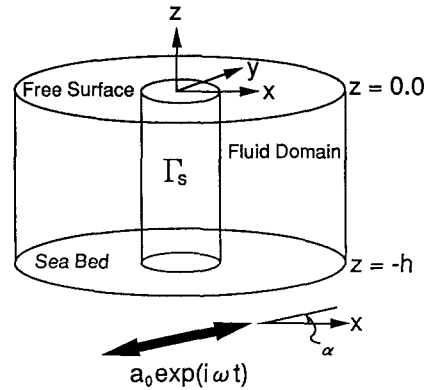


図-1 流体領域の定義

F_{by} は方向余弦を y 方向 n_y に変えることで得られる。

3. 四角柱の動的応答

図-2に示す様な、水深100.0mに設置された、強弱2軸をもつコンクリート製四角柱の地震応答を考える。コンクリートの単位質量及び、弾性係数は、 $\rho_c = 265.3 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ 、 $E = 3.4 \times 10^9 \text{ kgf}/\text{m}^2$ とし、構造減衰は考慮しない。離散化は、構造物を10質点のLumpd mass に理想化し、構造物回りを長辺を4要素、短辺を3要素に分割する。

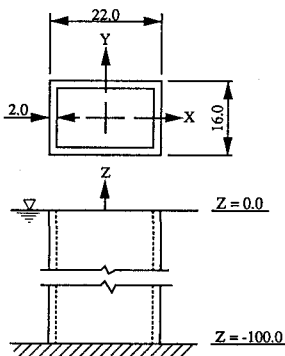


図-2 計算モデル (単位m)

図-3に、頂部の変位 d_x, d_y を加振振幅で無次元化した変位応答倍率と位相を示す。図中横軸の■、▲は、強軸、弱軸方向の気中での固有振動数を表す。付加質量の影響により、応答ピークが低振動数側へ移動している。又、 $\Omega \geq 1.0$ では、水の圧縮性による逸散減衰の効果が、位相曲線の傾斜として現われている。図-4に、頂部の1周期間の運動軌跡を、気中の場合と水中の場合とで比較して示す。図中▲は加振方向を表す。又、無次元振動数は $\Omega = 1.6$ と 1.9 である。特徴的なことは、水中では逸散減衰の影響により、位相ずれが生じ、図の様に楕円軌道を描くことである。計算では、構造減衰を考慮していないが、実際には、構造減衰、逸散減衰、双方の影響により応答が決定する。構造減衰は、構造物固有のものであるが、逸散減衰は、水深、流体密度、水温、海底地形等、設置環境に依存する。従って、応答を予測するには、流場を含めた全体系として扱う必要がある。図-5に、四角柱に加わる全流体力 F_{hx}, F_{hy} を無次元化したものを示す。無次元化に際し、 V は構造物の水中体積を表す。図-3と比較すると、それぞれの応答曲線は類似しており、構造物の弾性的応答特性が、流体力へ直接影響していることが分かる。

4. 結論

1) 強弱2軸をもつ搭状構造物の応答特性を予測する際、本手法は有効である。2) 水中では逸散減衰の影響により位相ずれが生じ、楕円軌道を描く。3) 流体力は、構造物の弾性的応答特性や設置環境に依存する。従って、流体力を予測するには、流場を含めた全体系として扱う必要がある。

参考文献

- 1) 沖見芳秀・松本喬 (1986) : 水-地盤-円柱の連成振動解析、第33回海岸工学講演会論文集、pp. 516-520.
- 2) Tanaka, Y. and R. T. Hudspeth (1988) : Restoring forces on vertical circular cylinders forced by earthquakes. J. Earthquake Engng. and Struct. Dyn., 16 (1), pp. 99-119.
- 3) Williams, A. N. (1986) : Earthquake response of submerged circular cylinder. J. Ocean Engng., 13 (6), pp. 569-585.
- 4) 中村孝明・田中良弘・元良勇太郎 (1992) : 3次元任意形状海洋構造物の地震時応答解析、海岸工学論文集、第39巻、pp. 701-705.

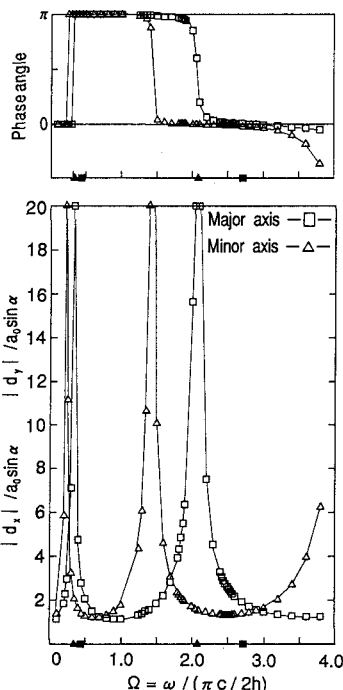


図-3 変位応答倍率と位相

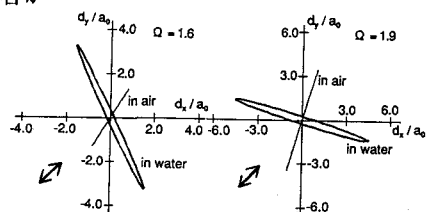


図-4 頂部の応答軌跡

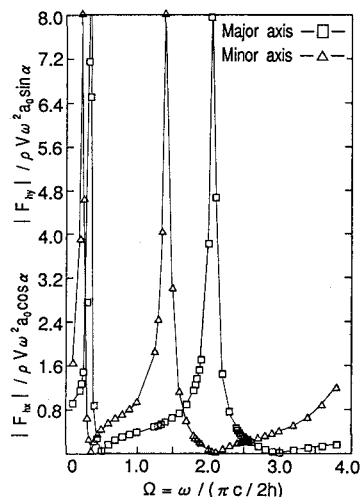


図-5 全流体力