

(株) 神戸製鋼所 正会員 ◯福元 裕彦
 " " 中西 宏
 " " 波田 凱夫

1. はじめに 海洋開発に関連して、現在数多くの海洋構造物が建造されており、さらに深水域へと開発の目が向けられている。海洋構造物の中でもガイドタワーは深水域であっても設計が可能であると言われているものの、波など流体力による動揺が大きいことが知られており、波浪応答等の詳細な検討が必要である。一般にガイドタワーの波浪応答解析では、ガイラインは線形バネに置換され、その流体力も無視されることが多いように見受けられる。著者は既報¹⁾で曲線要素を用いた有限要素法による波浪応答解析法を示した。本報では、曲げ材に対する同様の解析法を示すと同時に、ガイドタワー全体の波浪応答量に及ぼすガイラインの流体力の影響について数値的に検討した。

2. 計算方法

2.1 >1 適合式 時刻 t での節変位ベクトル Δx に関するつり合い式は次式で表わされる。

$$(M + M_a) \ddot{\Delta x} + C \dot{\Delta x} + K^t \Delta x = F^{t+at} - R^{t+at} \quad (1)$$

ここに、 M : 構造の質量行列、 M_a : 付加質量行列、 C : 構造減衰の係数行列、 K^t : 時刻 t での剛性行列、 F^{t+at} : 時刻 $t+at$ での流体力ベクトル、 R^{t+at} : 時刻 $t+at$ での部材応力に基づく節変位ベクトル、 $\ddot{\Delta x}$ および $\dot{\Delta x}$ はそれぞれ時刻 $t+at$ での節変位加速度および速度ベクトル、また $\Delta x = \Delta x^{t+at} - \Delta x^t$ である。曲線要素の付加質量等は既報¹⁾で報告済みであるため、ここではフレーム要素の流体力および付加質量行列を具体的に示す。

2.2 分布流体力に基づく節変位ベクトル 部材の径が波の波長に比べ、非常に小さいと仮定し、モリソン式に基づき流体力を求める。まず、図1に示すフレーム要素の変形速度および加速度が次に示す補間関数 BF を用いて、節点ごとのそれぞれの値で補間されると仮定する。

$$BF = \begin{bmatrix} 1-\xi & 0 & 0 & 0 & 0 & \xi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-3\xi^2+2\xi^3 & 0 & 0 & 0 & (\xi-2\xi^2+\xi^3)L & 0 & 3\xi^2-2\xi^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-3\xi^2+2\xi^3 & 0 & -(\xi-2\xi^2+\xi^3)L & 0 & 0 & 0 & 3\xi^2-2\xi^3 & 0 & (\xi^2-\xi^3)L \end{bmatrix} \quad (2)$$

フレーム要素の分布流体力に基づく節変位ベクトル F_e は、

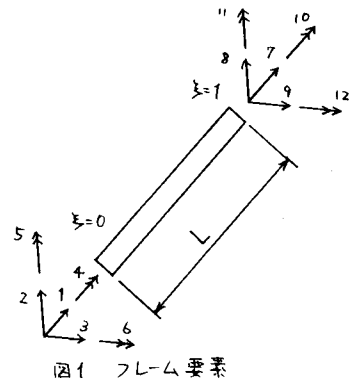
$$F_e = \frac{1}{2} \rho C_D D L \int_0^L |BF^T \bar{u}_m| \bar{u}_m d\xi + \rho C_M \frac{\pi}{4} D^2 L \int_0^L |BF^T \bar{u}_m| d\xi \quad (3)$$

ここに、 ρ : 流体密度、 D : 部材外径、 C_D : 抗力係数、 C_M : 慣性力係数、 IR : 座標変換行列、 \bar{u}_m および \bar{u}_m : それぞれ要素と流体粒子の相対速度および相対加速度の部材法線方向成分である。

2.3 付加質量行列

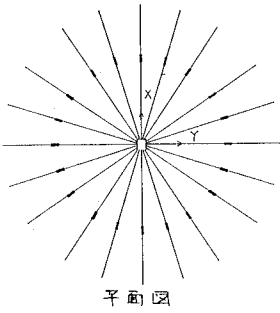
要素の付加質量行列を M_{ae} とすると、 M_{ae} は次式で表わされる。

$$M_{ae} = \frac{\pi}{4} \rho C_M D^2 L R^T \left(\int_0^L |BF^T| |BF^T| d\xi \right) IR$$



3. 数値計算

計算に用いたガイドタワーの概要を図2に示す。タワーを1本のフレームに置換し、8要素のフレーム要素で表わす。またガイラインはそれぞれ2つの曲線要素で表わす。それぞれの諸元を表1および2に示す。計算モデルとして、ガイラインの流体力を考慮したモデルをタイプ1、無視したものをタイプ2とした。タワーおよびガイラインの流体力係数は海洋鋼構造物設計指針(案)²⁾より、それぞれ表1, 2に示す値を併用した。



平面図

表1 タワー 諸元

断面積 (m ²)	3.9
断面2次モーメント (m ⁴)	518
ヤング率 (t/m ²)	2.1 × 10 ⁷
単位面積当り密度 (t s ² /m ⁴)	0.7
抗力係数	1.0
抗力計算のための単位長さ当りの部材外径 (m)	51.2
慣性力係数	2.0
慣性力計算のための単位長さ当りの部材体積 (m ³)	20.5

表2 ガイライン 諸元

径 (m)	0.1
断面積 (m ²)	7.85 × 10 ³
ヤング率 (t/m ²)	1.6 × 10 ⁷
単位面積当り密度 (t s ² /m ⁴)	0.612
抗力係数	1.0
慣性力係数	2.0
重錘の重さ (t)	180

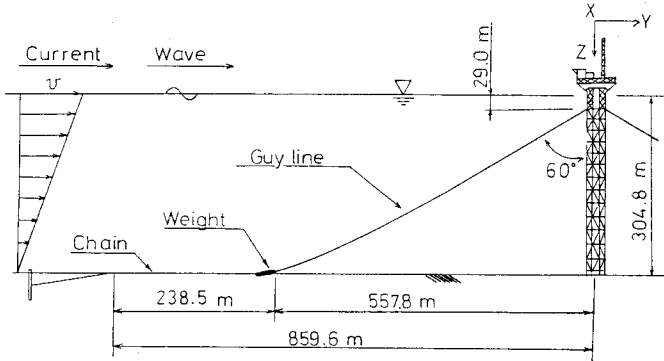


図2. ガイドタワー 概要

まず、図2に示す海面で速度 v 、海底で速度ゼロの線形分布潮流による塔頂水平変位を図3に示す。タワーとガイラインの受圧面積の差が大きい

ため、それぞれのモデルでの差は約0.1%と非常に小さく、ガイラインの流体力の影響はほとんどみられなかった。図4に固有値の計算結果を示す。ここに、1次モードの固有周期の差はガイラインの付加質量によるものと思われる。次に表3に示す波(規則波)による波浪応答計算結果を図5に示す。波は北海道の波浪統計データに基づいて海象を8つの規則波で代表させたもので、それぞれ深海波として計算も行った。

図5は波周期と塔頂水平変位の面振幅 δr との関係を示したものである。タイプ2では1次の固有周期付近に大きな応答がみられるのに対し、タイプ1にはそれがみられない。これは流体による生ずるガイラインの減衰力によるものと思われる。

参考文献

- 1) 福元, 中西, 波田; "海中ケーブルの非線形波浪応答解析", 第39回土木学会講演発表概要集 II-138
- 2) 日本土木学会; "海洋鋼構造物設計指針(案)", 1973

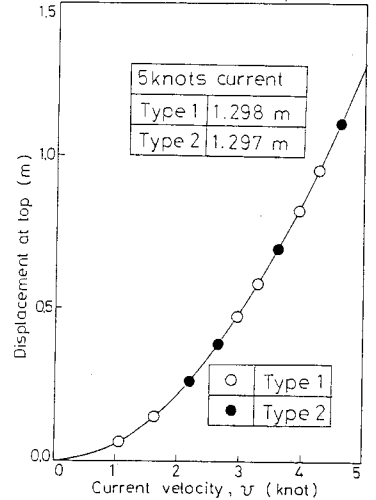


図3 潮流と塔頂水平変位

表3 波

波高 (m)	波周期 (s)
2	6
4	8
6	9
11	11
15	12
18	13
21	14
28	15

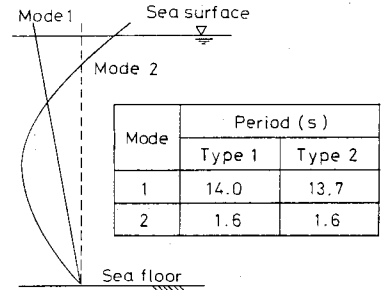


図4. 固有値

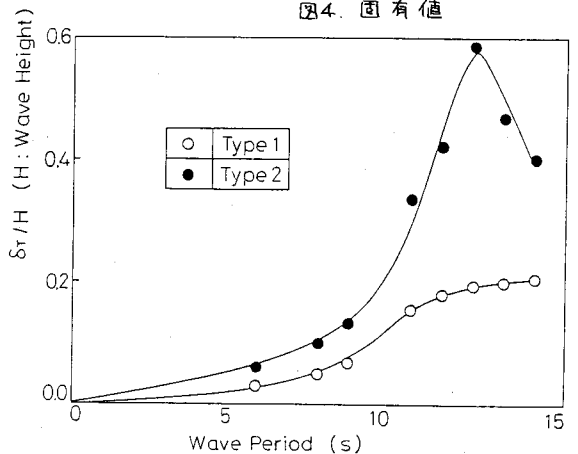


図5. 波周期と塔頂水平変位の関係