

京都大学大学院 学生員 ○吉澤 直 京都大学工学研究科 フェロー 渡邊英一
京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

1. 研究目的

浮体橋の係留系は非線形の復元力特性を持っているため、それを正確に考慮して応答解析を行うには時刻歴応答解析法によらなければならない。一方で、流体力係数が周波数依存性を有するためこれを正しく考慮する必要がある。つまり、流体力のメモリー－影響を考慮した上で応答シミュレーションを行う必要がある。最終目標は任意形状の浮体基礎に対応し、浮体上部工の弾性変形も考慮した動揺解析を行うことであるが、その初期段階として円筒浮体に関しての応答解を求めることは有効であると考えられる。本研究は、円筒浮体に関する時刻歴応答解析法について行うこととする。

2. 解析手法

流体力のメモリー－効果を考慮したメモリー－影響関数と動揺加速度との畳み込み積分を用いて表される次式が、高木・新井ら(1996)¹⁾によって示されている。本研究ではこの運動方程式を用いて解析を行う。

$$\sum_{j=1}^6 \left[\{m_{ij} + \mu_{ij}(\infty)\} \ddot{\xi}_j + \int_0^t L_{ij}(\tau) \dot{\xi}_j(t-\tau) d\tau + C_{ij} \dot{\xi}_j \right] = F_i(t) \quad (i = 1, 2, \dots, 6)$$

ここで、 m_{ij} : 質量、 C_{ij} : 静的復元力、 $F_i(t)$: 外力、 $\mu_{ij}(\infty)$: 周波数無限大における付加質量、 $L_{ij}(t)$: メモリー－影響関数である。メモリー－影響は、浮体の過去の運動によって自由表面に生じた波の影響で、流体力係数が動揺の周波数によって変化することに起因している。メモリー－影響関数は次式により計算することができる。

$$L_{ij}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \sin \omega t \frac{\lambda_{ij}(\omega)}{\omega} d\omega$$

周波数無限大における付加質量 $\mu_{ij}(\infty)$ には次の性質があることが知られている。

$$\mu_{ij}(\omega_1) - \mu_{ij}(\infty) = -\frac{2}{\pi} \int_0^\infty \lambda_{ij}(\omega') \frac{d\omega'}{\omega_1^2 - \omega'^2}$$

ここで、 $\mu_{ij}(\omega)$: 付加質量係数、 $\lambda_{ij}(\omega)$: 造波減衰係数である。

$L_{ij}(t)$, $\mu_{ij}(\infty)$ の値については、付加質量係数、造波減衰係数の値を周波数領域計算により算出し、上の関係式により求めることとする。応答解析のプログラムには Newmark- β 法($\beta=0.25$)を用いる。Newman(1985)²⁾により、円筒浮体についての1自由度系(Heave 運動)としての自由振動の時刻歴応答解析は行われているので、まずそのプログラムを作成し Newman(1985)²⁾と比較し検証を行う。次に、そのプログラムを拡張し、1自由度系及び3自由度系(Surge, Heave, Pitch の各運動)としての円筒浮体の時刻歴波浪応答解析を行い、周波数領域での応答解と比較し検証する。解析モデルは Fig.1 に表す円筒浮体とする。ただし、3自由度系としての解析を行う際は、Fig.1 の円筒浮体に浮面心から Surge 方向に線形パネを取り付けたモデルについて考える。水深は、1自由度系としての自由振動の応答解析、3自由度系としての波浪応答解析については無限水深、1自由度系としての波浪応答解析については水深 $h/a=10$ とする。

3. 検証及び解析結果

1自由度系としての自由振動の解析結果を Newman(1985)²⁾と比較し検証した結果を Fig.2 に示す。Fig.2 より、2つのグラフは一致しているといえる。

1自由度系としての規則波による強制波力を与えた際の解析を行い、過渡応答が十分に減衰した後の時刻歴応答の振幅は周波数応答の振幅(定常応答解)と一致することを利用して解析結果の検証を行った。ここでは、規則波として正弦波を用いた。時刻歴応答の振幅については、異なる周波数の正弦波を5通り与えそれぞれについて求めることと

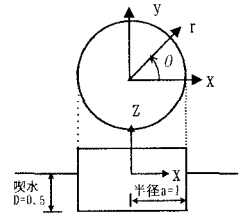


Fig.1 円筒浮体

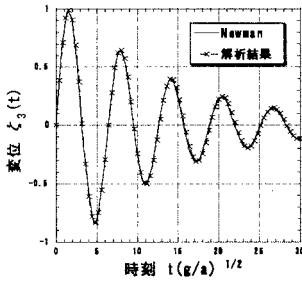


Fig.2 自由振動の応答解析の検証
(Heave 方向)

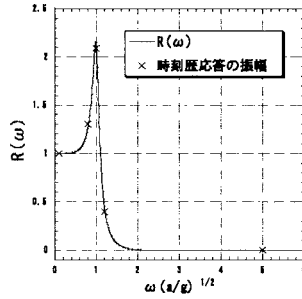


Fig.3 規則波を与えた時の応答解析
の検証(Heave 方向)

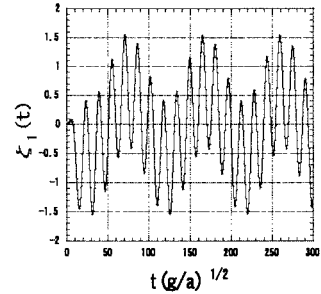


Fig.4 規則波を与えた時の Surge 方向
の応答解析結果($k_{11}/\rho ga^2=0.01$)

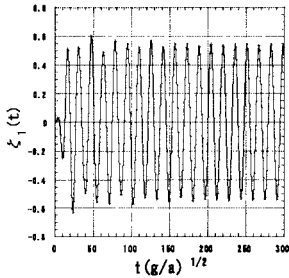


Fig.5 規則波を与えた時の Surge 方向
の応答解析結果($k_{11}/\rho ga^2=1.0$)

Table 1 不規則波を与えた時の応答解析の検証

	波のスペクトル $S_1(\omega)$	波のスペクトル $S_2(\omega)$	波のスペクトル $S_3(\omega)$
時刻歴応答解 の分散 σ_t^2	0.665	0.470	0.103
周波数応答解 の分散 σ_ω^2	0.617	0.433	0.101
誤差	7.76×10^{-2}	8.40×10^{-2}	2.56×10^{-2}

した。これを Fig.3 に示す。ここで、 $R(\omega)$ は周波数 ω の正弦波の波高に対する周波数応答の振幅である。Fig.3 より、時刻歴応答の振幅と周波数応答の振幅は一致していることがわかる。

不規則な変動外力は多数の周波数成分がランダムな位相で重なり合ったものであると考え、波力のパワースペクトルから不規則変動の時系列を作成する方法を用いて不規則波を発生させ、1 自由度系としての不規則波による強制波力を与えた際の解析を行った。解析結果は、時刻歴応答解の分散の値と周波数応答解の分散の値が等しくなることを利用し、統計処理を行って検証した。異なったスペクトル $S(\omega)$ を持つ 3 通りの不規則波を与えた場合について検証した。これを Table 1 に示す。Table 1 より、3 通りの波のスペクトルに対する時刻歴応答解の分散 σ_t^2 と周波数応答解の分散 σ_ω^2 は、いずれの場合も両者の値はほぼ一致しているといえる。

3 自由度系としての規則波(正弦波)による強制波力を与えた際の解析を行い、1 自由度系の時と同様の方法で検証した。その結果、時刻歴応答の振幅と周波数応答の振幅は Surge, Heave, Pitch のいずれの方向においても一致しているといえた。このプログラムを用いて、線形バネのバネ係数 k_{11} の値を変えた時、応答がどのように変化するかをみた。 $k_{11}/\rho ga^2=0.01, 1.0$ とした時の Surge 方向の解析結果をそれぞれ Fig.4, Fig.5 に示す。Fig.4, Fig.5 より、バネ係数が小さい場合には、緩係留浮体において実際に観測される水平方向の固有周期に対応した長周期動揺が過渡応答として得られることがわかる。この様な長周期動揺は周波数領域の解析では再現が難しく、時間領域における解析の有効性が明らかである。

4. 結論及び今後の課題

検証を行った以上の場合については、作成したプログラムによって時刻歴応答解析を正しく行うことができると考えられる。今後、浮体橋の時刻歴応答解析を行えるよう本研究で作成したプログラムの拡張を行う必要がある。

(参考文献)

- 1)高木又男, 新井信一: 船舶・海洋構造物の耐波理論. 成山堂, 1996, pp 567-575
- 2)J.N. Newman: Transient axisymmetric motion of a floating cylinder. *J. Fluid Mech.*, 157, 1985, pp 17-33