

水面の上下動を考慮した海洋プラットフォームの振動変位の理解論

石田 啓*・小村辰彦**・黒崎和保***

1. 結 論

信頼性の高い海洋構造物を合理的に設計するためには、波による海洋構造物の振動特性を容易にかつ正確に解明できる解析手法を確立することが重要となる。波によるプラットフォームの動力学特性は、波力を外力とする脚柱の横振動方程式を解くことにより求められるものであり、石田ら（1986, 1987, 1992）はすでに、従来の数値解析とは異なった理論解を提示している。しかし、この理論展開のうち、波峰から波谷までの水面が上下する領域の取り扱いについては、「等分布荷重に近似した波力が、静水面から波谷までの区間に定常的に作用する」とした仮定を設けており、その理論的根拠が希薄である。この欠点を改良するため、本論では時間的に変動する水面境界での接続条件にテラー展開近似を適用することにより、波力の作用領域が時間変化することを考慮した理論解を新たに提示する。次に現地海域におけるプラットフォームを対象として、従来の理論解と本理論解による両計算値を比較し、最後に模型実験値と新旧両理論解との三者の比較を行い、本理論解の妥当性を検証する。

2. 水面の上下動を考慮した理論解

(1) 柱体の振動変位

プラットフォームの諸元および座標系を図-1に示す。座標は水底を x 軸(波の進行方向を正)、静止時の脚柱 AB の中心軸を z 軸とし、時間を t とする。また、水深を h とし、波形を $\eta = a \cos(\sigma t - kx)$ で与えると、水面は $\xi = h + \eta$ で表される。ここに、 a は波の振幅、 σ は波の角周波数、 k は波の波数である。プラットフォームは脚柱長を l 、水底部埋込高を b 、脚柱間隔を l_h とし、脚柱の振動変位は ξ で表すが、(a) 水底から水面までの水中区間 ($0 \leq z \leq \xi$) の変位を ξ_w で、(b) 水面以上の空中区間 ($\xi \leq z$) の変位を ξ_a で表す。波力式としてモリソン公式を用い、微小振幅波理論を適用した場合の任意の位置 x における脚柱の振動変位の理論解は、石田ら（1986,

1987）により与えられるが、ここでは、水面の上下動に起因する基本振動周期の整数倍の振動を考慮し、 not ($n=1 \sim 3$) を含む解を仮定すると、脚柱径 D で除して無次元化した ξ_w' および ξ_a' は、次式のように表される。

(a) 水中区間

$$\xi_w'(z', t') = I_m \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Mwn}(z') e^{int'} \right\} + R_e \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Dwn}(z') e^{int'} \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{Mwn}(z') &= \sum_{j=1}^4 f_{wnj} e^{S_{wnj} z'} - e^{-ix'} G_{wi}(z') \\ Z_{Dwn}(z') &= \sum_{j=1}^4 r_{wnj} e^{S_{wnj} z'} - e^{-ix'} P_{wn}(z') \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(b) 空中区間

$$\xi_a'(z', t') = I_m \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Man}(z') e^{int'} \right\} + R_e \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Dan}(z') e^{int'} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{Man}(z') &= \sum_{j=1}^4 f_{anj} e^{S_{anj} z'} \\ Z_{Dan}(z') &= \sum_{j=1}^4 r_{anj} e^{S_{anj} z'} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $z' = kz$, $t' = \sigma t$, $x' = kx$ である。 S_{wnj} および S_{anj} は柱の諸量および波の諸元により定まる固有値であり、 G_{wi} および P_{wi} は柱の剛性係数 EI 、断面積 A 、密度 ρ 、減衰係数 c_0 、水深 h 、慣性係数 C_M および抗力係数 C_D を含む z の関数で、すでに石田ら（1987）により明示されている。 f_{wnj} , r_{wnj} , f_{anj} および r_{anj} は脚柱の境界条件から決定する複素積分定数である。

(2) 水面における境界条件のテラー展開近似

ξ , h , η および a に k を乗じて無次元化したものを ξ' ,

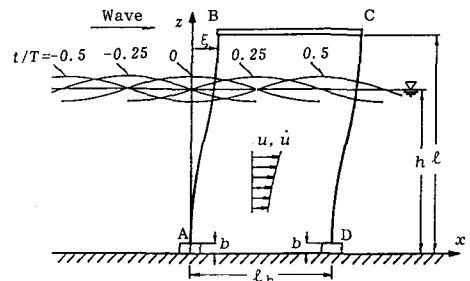


図-1 プラットフォームの座標系

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科

** 正会員 工博 東京コンサルタンツ株式会社

*** 正会員 工修 株式会社 間組 技術研究所

h' , η' および a' と表すが, 柱体の水中区間と空中区間の境界, すなわち水面 $\xi' = h' + \eta' = h' + a' \cos(t' - x')$ において, 柱体の変位, 変位角, 曲げモーメントおよびせん断力が連続するという境界条件が常に成立する. これらの境界条件式は ξ_w' および $\xi_{a'}$ を用いると,

$$\left. \begin{aligned} \xi_w'(\zeta', t') &= \xi_a'(\zeta', t') & \xi_{wx}'(\zeta', t') &= \xi_{ax}'(\zeta', t') \\ \xi_{wz}'(\zeta', t') &= \xi_{az}'(\zeta', t') & \xi_{wz}'(\zeta', t') &= \xi_{az}'(\zeta', t') \\ &\dots\dots\dots (5) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

のように表される. しかし, 式(5)の ζ' は t' の関数であり, 式(5)は t' について非線形である. そこで式(5)の変位に関する条件式に式(2)および式(4)を代入すると,

$$\begin{aligned} I_m \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Mwn}(\zeta') e^{int'} \right\} + R_e \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Dwn}(\zeta') e^{int'} \right\} \\ = I_m \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Man}(\zeta') e^{int'} \right\} + R_e \left\{ \sum_{n=1}^3 Z_{Dan}(\zeta') e^{int'} \right\} \dots (6) \end{aligned}$$

と表される. ここで, $Z_{Mwn}(\zeta')$, $Z_{Dwn}(\zeta')$, $Z_{Man}(\zeta')$ および $Z_{Dan}(\zeta')$ を平均水面 h' のまわりでテーラー展開し, η' の2次オーダーまでを考慮して, z' に関する項から t' を除去することにより, 時間にかかわらずに成立する式に変形する. 境界条件が時間にかかわらずに成立する場合, 式(6)中の虚部で与えられる慣性力に関する項と実部で与えられる抗力に関する項は, それぞれ各項ごとに条件式が成立することから, 各項ごとに理論展開を行う.

式(6)の慣性力の項をテーラー展開近似すると,

$$\begin{aligned} I_m \left[\sum_{n=1}^3 \left\{ Z_{Mwn}(h') + \eta' Z_{Mwnz}(h') + \frac{1}{2} \eta'^2 Z_{Mwnzz}(h') \right\} e^{int'} \right] \\ = I_m \left[\sum_{n=1}^3 \left\{ Z_{Man}(h') + \eta' Z_{Manz}(h') \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} \eta'^2 Z_{Manzz}(h') \right\} e^{int'} \right] \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

となる. 次に, 式(7)の $e^{int'}$ を正弦波および余弦波で表示し, $\eta' = \cos(t' - x')$ を代入して, 各時間項 (nt' ; $n = 1, 2, 3$) ごとにまとめると,

$$\begin{aligned} R_e[A_{M1}(h')] \sin t' + I_m[A_{M1}(h')] \cos t' \\ + I_m[A_{M2}(h') e^{2it'}] + I_m[A_{M3}(h') e^{3it'}] = 0 \dots\dots (8) \end{aligned}$$

となる. ここに,

$$\begin{aligned} R_e[A_{M1}] &= R_e \left[\{ Z_{Mw1}(h') - Z_{Ma1}(h') \} \right. \\ &\quad + \frac{a'^2}{8} (2 - e^{2ix'}) \{ Z_{Mw1z}(h') - Z_{Ma1z}(h') \} \\ &\quad + \frac{a'}{2} \{ Z_{Mx2z}(h') - Z_{Ma2z}(h') \} e^{ix'} \\ &\quad \left. + \frac{a'^2}{8} \{ Z_{Mw3z}(h') - Z_{Ma3z}(h') \} e^{2ix'} \right] \\ &\dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_m[A_{M1}] &= I_m \left[\{ Z_{Mw1}(h') - Z_{Ma1}(h') \} \right. \\ &\quad + \frac{a'^2}{8} (2 + e^{2ix'}) \{ Z_{Mw1z}(h') - Z_{Ma1z}(h') \} \\ &\quad + \frac{a'}{2} \{ Z_{Mx2z}(h') - Z_{Ma2z}(h') \} e^{ix'} \\ &\quad \left. + \frac{a'^2}{8} \{ Z_{Mw3z}(h') - Z_{Ma3z}(h') \} e^{2ix'} \right] \\ &\dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{M2} &= \frac{a'}{2} \{ Z_{Mw1z}(h') - Z_{Ma1z}(h') \} e^{-ix'} \\ &\quad + \{ Z_{Mw2}(h') - Z_{Ma2}(h') \} \\ &\quad + \frac{a'^2}{4} \{ Z_{Mx2z}(h') - Z_{Ma2z}(h') \} \\ &\quad + \frac{a'}{2} \{ Z_{Mw3z}(h') - Z_{Ma3z}(h') \} e^{2ix'} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{M3} &= \frac{a'^2}{8} \{ Z_{Mw1z}(h') - Z_{Ma1z}(h') \} e^{-2ix'} \\ &\quad + \frac{a'}{2} \{ Z_{Mx2z}(h') - Z_{Ma2z}(h') \} e^{-ix'} \\ &\quad + \{ Z_{Mw3}(h') - Z_{Ma3}(h') \} + \frac{a'^2}{4} \{ Z_{Mw3z}(h') \\ &\quad - Z_{Ma3z}(h') \} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

である. この展開に際し, $n > 3$ の項および定常項 ($n = 0$) が生じるが, 式(1)および式(3)で $n = 1, 2, 3$ を対象としていることから, $n = 1, 2, 3$ 以外の項は無視する. また, 時間にかかわらずに境界条件が成立することから, 式(9)~式(12)の A_{Mn} はそれぞれゼロとなる. なお, 変位角, 曲げモーメントおよびせん断力の境界条件式についても, 同様な理論演算により, 式(9)~式(12)を z' について1階, 2階および3階微分した式で与えられる.

式(9)および式(10)の $n = 1$ の条件式中に $n = 2$ および $n = 3$ に関する項が含まれ, 式(11)の $n = 2$ の条件式中に $n = 1$ および $n = 3$ に関する項が含まれ, また, 式(11)の $n = 3$ の条件式中に $n = 1$ および $n = 2$ に関する項が含まれるが, 変位, 変位角, 曲げモーメントおよびせん断力の連続性に関する境界条件式を, 水面において成立する連立方程式として, $n = 1$ の条件式中の $n = 2$ および $n = 3$ に関する項と $n = 2$ の条件式中の $n = 3$ に関する項を消去し, 式(2)および式(4)を代入すると, 式(9)~式(12)の変位の境界条件式は,

$$\begin{aligned} R_e \left[\sum_{j=1}^4 \left\{ \left(1 - \frac{a'^2}{8} S_{w1j}^2 e^{2ix'} \right) f_{w1j} e^{S_{w1jh'}} \right. \right. \\ \left. \left. - \left(1 - \frac{a'^2}{8} S_{a1j}^2 e^{2ix'} \right) f_{a1j} e^{S_{a1jh'}} \right\} \right] \\ = R_e \left[\left(1 - \frac{a'^2}{8} e^{2ix'} \right) e^{-ix'} G_{w1}(h') \right] \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$I_m \left[\sum_{j=1}^4 \left\{ \left(1 - \frac{a'^2}{8} S_{w1j}^2 e^{2ix'} \right) f_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - \left(1 + \frac{a'^2}{8} S_{a1j}^2 e^{2ix'} \right) f_{a1j} e^{S_{a1jh'}} \right\} \right] \\ = I_m \left[\left(1 + \frac{a'^2}{8} e^{2ix'} \right) e^{-ix'} G_{w1}(h') \right] \dots \dots \dots (14)$$

$$\sum_{j=1}^4 (f_{w2j} e^{S_{w2jh'}} - f_{a2j} e^{S_{a2jh'}}) \\ = \frac{a'}{2} \left\{ G_{w1}(h') e^{-2ix'} - \sum_{j=1}^4 [S_{w1j} f_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - S_{a1j} f_{a1j} e^{S_{a1jh'}}] e^{-ix'} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

$$\sum_{j=1}^4 \left[\left(1 + \frac{a'^2}{4} S_{w3j}^2 \right) f_{w3j} e^{S_{w3jh'}} - \left(1 + \frac{a'^2}{4} S_{a3j}^2 \right) f_{a3j} e^{S_{a3jh'}} \right] \\ = \frac{a'^2}{8} e^{-2ix'} \left\{ G_{w1}(h') e^{-ix'} - \sum_{j=1}^4 [S_{w1j} f_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - S_{a1j} f_{a1j} e^{S_{a1jh'}}] \right\} \\ - \frac{a'}{2} e^{-ix'} \sum_{j=1}^4 [S_{w2j} f_{w2j} e^{S_{w2jh'}} - S_{a2j} f_{a2j} e^{S_{a2jh'}}] \dots \dots \dots (16)$$

となる。ここに、テーラー展開近似で η' の 2 次オーダーまでを取り扱ったことから、変数 z' の 2 階微分項までを考慮した、式(15)の $n=2$ の条件式中に $n=1$ の積分定数が含まれるが、この積分定数には $n=1$ の境界条件から決定する値を既知量として与える。また、式(16)の $n=3$ の条件式中の $n=1$ および $n=2$ の積分定数も同様に既知量を与える。変位角、曲げモーメントおよびせん断力の境界条件式は、式(13)～式(16)を変数 z' について 1 階、2 階および 3 階微分した式で与えられる。

式(6)中の抗力に関する項についても同様に、テーラー展開近似を行うと、 $n=1 \sim 3$ の各時間項に対する変位の境界条件式は、

$$I_m \left[\sum_{j=1}^4 \left\{ \left(1 - \frac{a'^2}{8} S_{w1j}^2 e^{-2ix'} \right) r_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - \left(1 - \frac{a'^2}{8} S_{a1j}^2 e^{-2ix'} \right) r_{a1j} e^{S_{a1jh'}} \right\} \right] \\ = I_m \left[\left\{ P_{w1}(h') - \frac{a'^2}{8} e^{-2ix'} P_{w1z'}(h') \right\} e^{-ix'} \right] \dots (17)$$

$$R_e \left[\sum_{j=1}^4 \left\{ \left(1 + \frac{a'^2}{8} S_{w1j}^2 e^{-2ix'} \right) r_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - \left(1 + \frac{a'^2}{8} S_{a1j}^2 e^{-2ix'} \right) r_{a1j} e^{S_{a1jh'}} \right\} \right] \\ = R_e \left[\left\{ P_{w1}(h') + \frac{a'^2}{8} e^{-2ix'} P_{w1z'}(h') \right\} e^{-ix'} \right] \dots (18)$$

$$\sum_{j=1}^4 (r_{w2j} e^{S_{w2jh'}} - r_{a2j} e^{S_{a2jh'}}) = \frac{a'}{2} \left\{ P_{w1z'}(h') - \sum_{j=1}^4 [S_{w1j} r_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - S_{a1j} r_{a1j} e^{S_{a1jh'}}] e^{ix'} \right\} \dots \dots \dots (19)$$

$$\sum_{j=1}^4 \left[\left(1 + \frac{a'^2}{4} S_{w3j}^2 \right) r_{w3j} e^{S_{w3jh'}} - \left(1 + \frac{a'^2}{4} S_{a3j}^2 \right) r_{a3j} e^{S_{a3jh'}} \right] \\ = \frac{a'^2}{8} e^{-ix'} P_{w1z'}(h') + \left\{ P_{w3}(h') + \frac{a'^2}{4} P_{w3z'}(h') \right\} e^{-3ix'} \\ - \frac{a'^2}{8} e^{2ix'} \sum_{j=1}^4 [S_{w1j}^2 r_{w1j} e^{S_{w1jh'}} - S_{a1j}^2 r_{a1j} e^{S_{a1jh'}}] \\ - \frac{a'}{2} e^{ix'} \sum_{j=1}^4 [S_{w2j} r_{w2j} e^{S_{w2jh'}} - S_{a2j} r_{a2j} e^{S_{a2jh'}}] \dots \dots \dots (20)$$

で与えられる。ここでも、式(19)の $n=2$ の条件式中に $n=1$ の積分定数が含まれるが、この積分定数は $n=1$ の境界条件から決定する値を既知量として与え、式(20)の $n=3$ の条件式中の $n=1$ および $n=2$ の積分定数も同様に既知量を与える。また、変位角、曲げモーメントおよびせん断力の境界条件式は、式(17)～式(20)を変数 z' について 1 階、2 階および 3 階微分した式で与えられる。

図-1のプラットフォームでは、脚柱 AB の振動変位は、式(1)および式(3)の x をゼロとしたものとなり、脚柱 CD の振動変位は、式(1)および式(3)の x を l_h としたものとなる。また、プラットフォームの境界条件は、式(2)で与えられる水面での変位、変位角および内部応力の連続条件の他に、水底部およびデッキ接合部における境界条件が与えられる。これらの境界条件式から決定する積分定数を式(1)および式(3)に適用することにより、プラットフォームの振動変位が算出される。

3. 理論計算結果

写真-1 は、北海油田に使用されているプラットフォーム (Lucas, 1974) であり、その寸法を図-2 に示すが、デッキの寸法は $68 \text{ m} \times 68 \text{ m} \times 6.6 \text{ m}$ であり、脚柱は長さ $l=178 \text{ m}$ で、外径が $D=8.8 \text{ m}$ であり、内径は $D_i=6.8 \sim 7.9 \text{ m}$ の範囲で漸次変化している。また、脚柱の固定端高は $D_i=68 \text{ m}$ であり、脚柱間隔は $l_h=43.67 \text{ m}$ である。また、プラットフォームの設置水深は $h=160 \text{ m}$ である。この現地プラットフォームを対象として、従来の理論解 (石田ら, 1987) と本理論解による両計算値を比較するが、計算に際し、脚柱は鉄筋コンクリート製と見

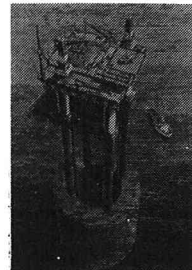


写真-1 現地プラットフォーム

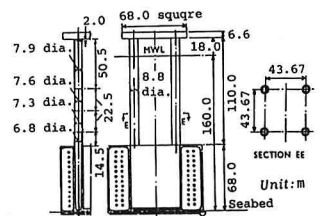


図-2 現地プラットフォームの寸法

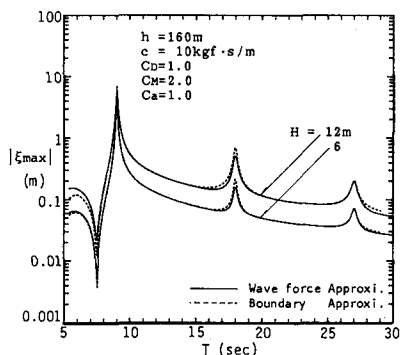
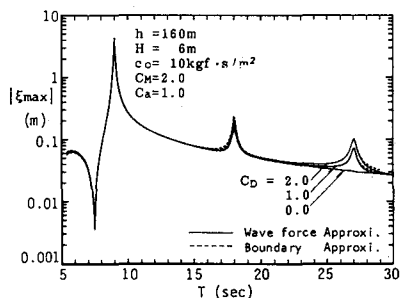
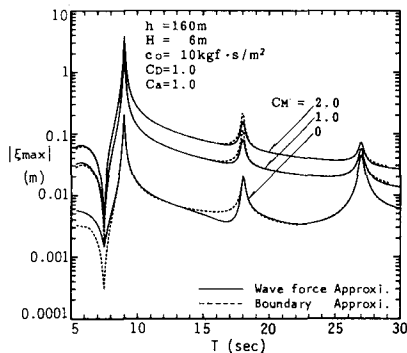


図-3 波高変化による共振曲線の変化

図-4 抗力係数 C_D の変化による共振曲線の変化図-5 慣性係数 C_M の変化による共振曲線の変化

なし、比重 2.5、ヤング係数 $E_c = 3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ($2.94 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$) を用いたが、デッキ部重量はこれを鋼製と見なすと、 235000 tf ($2.30 \times 10^6 \text{ kN}$) となる。脚柱の内径は、簡単のため、 $D_i = 7.8 \text{ m}$ と仮定した。ここでは、各係数は $C_D = 1.0$ 、 $C_M = 2.0$ 、 $C_a = 1.0$ および $c_0 = 10 \text{ kgf·s/m}^2$ (98 kN·s/m^2) を用い、波高は $H = 6 \text{ m}$ を用いた。

図-3、図-4 および図-5 は、横軸に波の周期 T をとり、縦軸にデッキ変位の 1 周期間の最大値 $|\xi_{\max}|$ をとることにより、両理論解による共振曲線の相違を示す。図中、実線は従来の理論計算値であり、点線は本理論計算

値である。図-3 は、 $H = 6 \text{ m}$ および 12 m の場合について示す。まず、いずれの計算値とも、 $T = 7.2 \text{ s}$ で、波長が脚柱間隔 $\ell_h = 43.67 \text{ m}$ のほぼ 2 倍となる際に生じる変位の相殺が見られる。共振は、両者とも、 $T = T_n = 9.0 \text{ s}$ で基本共振が生じ、その 2 倍および 3 倍の周期である $T = 2T_n = 18.0 \text{ s}$ および $T = 3T_n = 27.0 \text{ s}$ でも共振が生じる。両理論値は波高の大きさにかかわらずよく一致するが、 $2T_n$ で本理論解による共振変位が従来の理論解のものより若干大きくなるのがわかる。図-4 は、抗力係数 C_D を変化させた時の $|\xi_{\max}|$ の変化を調べたものであるが、 C_D の増加に対し、全体的に $|\xi_{\max}|$ は変化しないが、 $3T_n$ の共振変位は増加する。なお、両理論解は全体的によく一致している。図-5 は、慣性係数 C_M を変化させた場合の $|\xi_{\max}|$ の変化を調べたものであるが、 C_M の増加に伴い、 $|\xi_{\max}|$ は全周期を通じて増大することがわかる。また、両理論解は全体的にほぼ一致するが、 C_M がゼロより大きい時、 $2T_n$ で本理論解による共振変位が従来の理論解のものより若干大きくなるのがわかる。

4. 実験

(1) 実験装置および方法

実験は、福岡高专土木工学科に設置された長さ 26 m 、幅 60 cm 、深さ 80 cm の造波水槽を用い、その中央に図-6 に示すプラットフォームを設置した。これは、比重が 7.7 の鋼製デッキを、外径が $D = 2 \text{ cm}$ で、肉厚が $t = 3.6 \text{ mm}$ の塩化ビニル製円柱 4 本で支持する形式であり、非接触型変位計を用いて、B 点のデッキの振動変位を測定した。脚柱は、比重が 1.37、ヤング係数 E が 28700 kgf/cm^2 (281 kN/cm^2)、固定端の高さ b が 6 cm 、デッキ結合部までの高さ l が 86.6 cm である。脚柱間隔 ℓ_h は 80 cm で、デッキ重量は、 17.5 kgf (171.5 N) および 21.6 kgf (211.7 N) の 2 種類を用いた。実験時の水深は $h = 60 \text{ cm}$ であり、使用した波は、波高 H が 6 cm で、周期が $T = 0.63 \sim 2.40 \text{ s}$ である。

理論計算では、抗力係数 C_D 、慣性係数 C_M および付加質量係数 C_a は、最も広く使用されている値である $C_D =$

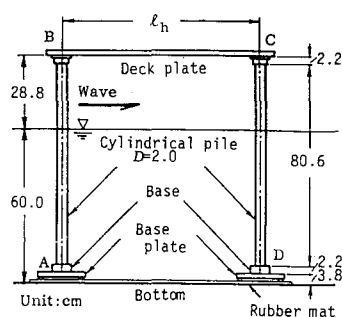


図-6 プラットフォームの模型

1.0 、 $C_M = 2.0$ および $C_a = 1.0$ を用い、減衰係数 c_0 については、プラットフォームを空中で自由振動させた時の減衰曲線から求めた値を用いた。

(2) 結果および考察

図-7は、横軸に波の周期 T をとり、縦軸に波の進行方向側の変位の最大値 $\xi_{\max}$ をとって、共振曲線を示し、両理論値と実験値を比較したものである。図中、●は実験値であり、実線および点線は新たな理論および従来の理論を用いた計算値である。この実験でのデッキ重量は17.5 kgfである。両理論値および実験値ともに、波長が脚柱間隔の2倍となる波の周期 $T_{c1/2}=1.04$ sで変位の相殺が生じており、基本共振は $T_n=0.87$ sで生じ、その時の共振変位は $\xi_{\max}=5$ mmである。また、2倍周期の共振が $2T_n=1.73$ sで生じている。両理論値とも実験値とよく一致している。特に、 $2T_n$ では、本理論値の方が従来の理論値より実験値に一致する傾向にある。

図-8は、デッキ重量を21.6 kgfに増大し、基本共振点を変位の相殺点 $T_{c1/2}=1.04$ sに近似して、共振変位を抑制させた場合であるが、基本共振変位が $\xi_{\max}=0.8$ mmに減少している。ここでも、両理論値は実験値とよく一致し、両理論値は共振点と相殺点を一致させることによる共振の抑制効果を十分に評価しているといえる。

図-9(a), (b)および(c)は、図-7の基本共振点 $T_n=0.87$ s、相殺点 $T_{c1/2}=1.04$ secおよび2倍共振点 $2T_n=1.73$ sにおける変位の位相変化の実験値と理論値の比較を示す。図中、実線および破線は、それぞれ新たな理論解と従来の理論解を用いた計算値で、点線は実験値である。縦軸は、それぞれの変位 ξ を、新たな理論解による計算値の1周期間の最大値 $|\xi_{\max}|$ で除した値であり、横軸は波の位相 t/T である。(a)の基本共振点では、両理論値は同じ値を示すが、理論値と実験値とは若干の位相のずれがあり、理論値の方が実験値よりやや大きい。与えた減衰係数 c_0 の値が過小であることが懸念される。しかし、共振という極めて変化の激しい点であることを考慮すると、両理論値は比較的良好な結果を与えているといえる。(b)の相殺点では、実験値と両理論値との位相はよく一致するが、変位に若干の差異が生じ、新たな理論解は実験値および従来の理論解よりも変位が小さい。しかし、変位が極めて小さいことを考慮すると、理論値は現象をよく表しているといえる。(c)の2倍共振点では、2倍成分の振動の混入が著しく、従来の理論解より新たな理論解の方が実験値とよく一致している。

5. 結 論

本研究の結果を要約すると以下のとおりである。

1) 時間的に変動する水面の境界条件にテラー展開を適用する方法により、水面の上下動を考慮した新たな理論解を提示した。

2) 新たな理論解を現地プラットフォームを対象に、従来の理論解と比較した結果、両理論値はほぼ一致した。

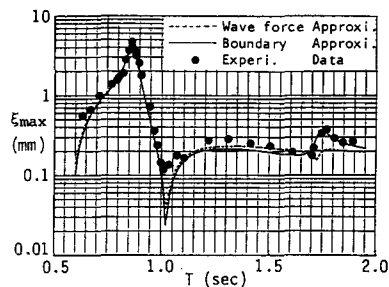


図-7 基本共振曲線

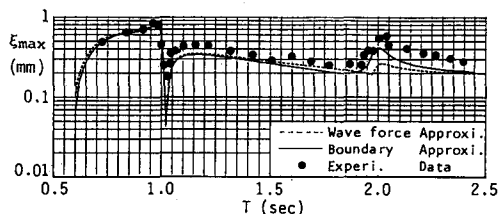


図-8 共振抑制

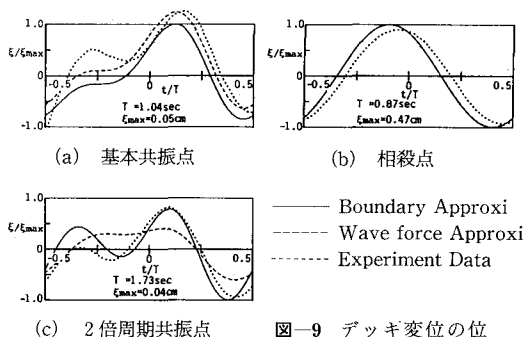


図-9 デッキ変位の位相変化

3) 模型実験を行い、実測値と両理論値を比較した結果、全体的に両理論値は実験値と一致するが、特に、本理論解を用いた場合に、基本共振点の2倍共振を的確に表現できることがわかった。

4) 本理論解は従来の理論解に比べ、境界条件が少なく、積分定数の決定における行列演算が容易である。

参 考 文 献

- 石田 啓 (1986): 微小振幅波による小口径柱体の振動に関する理論解, 土木学会論文集, 第369号/II-5, pp. 161-170.
- 石田 啓・加島 卓・上野 彰 (1987): ストックス波による海洋プラットフォームの振動に関する理論解とその応用, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp. 121-130.
- Ishida, H., Kurosaki, K. and Komura, T. (1993): Dynamic Analysis of Offshore Platform due to Periodic Waves, ISOPE-93, Proc. Vol. I, pp. 468-474.
- Lucas, G. S. (1974): Discussion of Concrete Structures, Proc. of Confer. on Off-Shore Structures, The Institution of Civil Engineers, London, 89 p.