

大阪大学工学部 正員○後野 正雄

大阪大学工学部 正員 榎木 亨

大成建設(株) 正員 柴原 信之

1.まえがき : 波によって海洋構造物に生じる変位としては水平面内の2次元並進運動とプラットフォームの重心に作用する回転モーメントによる水平面内のねじり運動とが考えられる。すでに著者らは4本脚柱型プラットフォームの2次元並進運動を取り扱いその算定方法を報告しているが、本研究ではねじり振動を取り上げ、簡単なモデルによるねじり振動の算定方法を提案し、ねじり振動におよぼす波および構造物の諸種のパラメータの影響について考察を加えプラットフォーム型海洋構造物の安全性を検討するものである。

2.ねじり振動の理論とその検討 : ここではプラットフォームの隅角部に脚柱を有する構造物を想定する。波の進行方向に設けた座標系(x-y)とプラットフォームに固定された座標系(X-Y)とを用いると波の入射角 α は両座標系の回転角と等しくなる。またプラットフォームの運動はX-Y方向と回転角 θ との各々独立な1自由度等価系によって表現することができる。今水深 z の各脚柱の微小部分に作用する直方向力、揚力をそれぞれ $F_{xi}(z), F_{yi}(z)$ とするとプラットフォームの運動に寄与するX-Y方向の等価外力 P_{xi}, P_{yi} はそれぞれ次のように示することができる。

$$\left. \begin{aligned} P_{xi} &= \int_{-h}^{\eta} F_{xi}(z) \xi(z) \cos \alpha \cdot dz + \int_{-h}^{\eta} F_{yi}(z) \xi(z) \sin \alpha \cdot dz \\ P_{yi} &= \int_{-h}^{\eta} F_{xi}(z) \xi(z) \sin \alpha \cdot dz + \int_{-h}^{\eta} F_{yi}(z) \xi(z) \cos \alpha \cdot dz \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

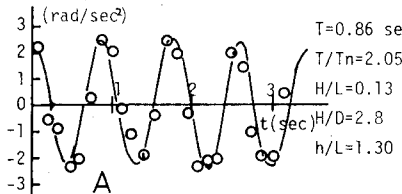
ここに i は脚柱を識別するための添字であり、 $\xi(z)$ は等価外力を求めるための影響係数である。これよりプラットフォーム重心に作用する等価回転モーメント(以下モーメントと略記)は次式のように表わされる。

$$M = \sum_{i=1}^N (P_{xi} \cdot l_{xi} + P_{yi} \cdot l_{yi}) \quad (2)$$

ここに l_{xi}, l_{yi} はモーメントの腕の長さ、 N は脚柱数で本研究では $N=4$ の正方形配列を想定している。また作用波力として直方向力はモリソン式、揚力は榎木中村の4成分揚力式を用いる。このモーメント M が作用した時のプラットフォームの運動は次の振動方程式で規定することができる。

$$I \ddot{\theta} + C \cdot r \dot{\theta} + K_{\theta} \cdot r^2 \theta = M \quad (3)$$

ここに I ; プラットフォームの慣性モーメント、 C ; 等価減衰係数、 K_{θ} ; 等価ねじりバネ定数、 r ; 回転半径である。ねじれ変位 θ に対する反力が脚柱のX-Y方向反力の合成によって生じるとすれば、 K_{θ} はX-Y方向のバネ定数 K_x, K_y



$$T=0.86 \text{ sec} \text{ により, } K_{\theta}^2 = (K_x^2 \bar{\zeta}_x^2 + K_y^2 \bar{\zeta}_y^2) / (\bar{\zeta}_x^2 + \bar{\zeta}_y^2) \quad (4)$$

と表わされる。ここに $\bar{\zeta}_x, \bar{\zeta}_y$ はそれぞれねじりのみが生じた時のプラットフォーム端部のX-Y方向の変位量である。図1は実験においてプラットフォーム端部及び中央部の加速度を測定し両者の差違を求めて端部のねじりによる角加速度を算出し、上記理論値との比較を行なったものである。

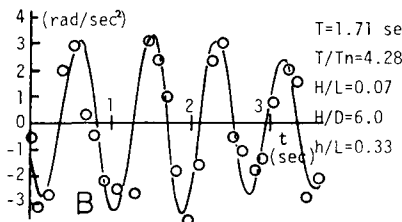


図1 A, Bは共に並進方向の共振状態における実験結果であるが理論値とよく一致している。また静水中における自由振動実験においても実験及び理論値の固有周期は3%以内の誤差で一致した。

3.ねじり変位に与える諸種のパラメータの影響 : 波によるプラットフォームのねじり変位 θ_d は次元解析によると次式に示すようなパラメータによって決定される。

$$\theta_d = f(H/L, H/D, h/L, \alpha, X_c/L, T/T_n, C/C_c, l/l_n) \quad (5)$$

ここに C/C_c , l/l_c は構造物特性により決定されるものでそれぞれ減衰率、水深脚柱長比である。 l/l_c は等価外力を決定する上で影響係数 β を支配する重要なパラメータであるが本研究では C/C_c とともに一定値をとるものとみなす。また波形勾配 H/L , 波高円柱径比 H/D , 比水深 h/L , 入射角 α , 脚柱間距離と波長の比 X/L は静的波力モーメント及び静的ねじり変位 θ_s を決定するパラメータであるため、ねじりの動的応答に対しては入射波周期と固有周期の比 T/T_n だけを考慮すればよいことになる。

図2は h/L による(1)式における F, P に対する影響を示したものである。この図より直方向力、揚力及びそれぞれの等価外力 P_x, P_y とともに $h/L > 0.3$ においては一定値をとり大水深域では比水深の影響のないことがわかる。図3は $H/D=4.0, X/L=0.2$ の場合の波の入射角 α のモーメントに対する効果について調べたものである。揚力の作用方向は一義的には定まらないのでここでは入射角の影響が大きいと思われる作用方向の組合せを選んで検討し、図中に各脚柱に波の峯が作用した場合の作用方向を示した。図より揚力の作用方向の組合せによってモーメントに及ぼす入射角の影響が異なり、作用方向の組合せがねじりに大きな影響を持つことがわかる。なおモーメントは pgD^2l で無次元化してある。図4には動的応答を支配する T/T_n の影響を見るために $H/L=0.07, H/D=5.0, \alpha=33.75^\circ$ の場合のねじり変位の共振曲線を示してある。この図より $T/T_n=1$ よりも $T/T_n=2-3$ の付近で応答の増幅率が大きく揚力の二倍三倍周波数成分がねじり変位に大きな役割を果たしていることがわかる。並進方向の共振曲線と比較すると増幅率そのものは全体的に小さいが T/T_n の整数倍以外の領域においてもねじり変位が大きくなることが指摘できる。これはモーメント M が種々の周波数・位相を持つ波力成分から構成されているためと考えられるが、これらの特性は不規則波に対するねじり振動を考える際に個々の成分波に対する増幅率が小さいからといってねじりの動的応答を無視できないことを示すものであろう。

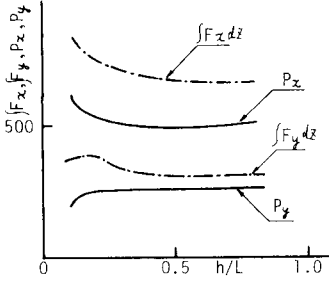


図2 F及びPに対する比水深の効果

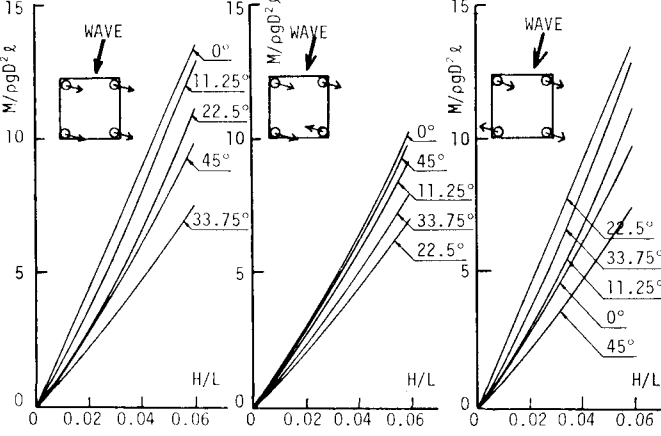


図3 モーメントに対する波の入射角 α の影響

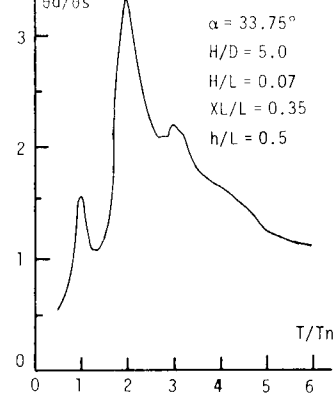


図4 ねじり変位の共振曲線

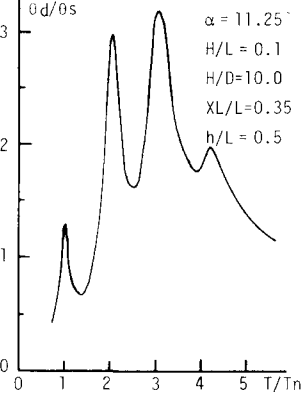


図5 暴風時のねじり変位の共振曲線

モーメント M が種々の周波数・位相を持つ波力成分から構成されているためと考えられるが、これらの特性は不規則波に対するねじり振動を考える際に個々の成分波に対する増幅率が小さいからといってねじりの動的応答を無視できないことを示すものであろう。揚力の算定式として用いている樫木中村の4成分揚力式は $K \cdot C$ 数が20以下において実験的に求められたものであるので $K \cdot C$ 数が20以上の場合は適用には疑問があるが、 $K \cdot C$ 数が11以上では揚力係数は減少し20以上ではほとんど無視できる結果が得られている。この事実は Szepkaya の研究においても示摘されている。このことより図5は静水面位置での $K \cdot C$ 数が20以上になる暴風時 ($H/D=10.0, H/L=0.10$) のねじりの共振曲線を直方向力のみで算定した結果であるが、波力算定には微小振幅理論を用いているにもかかわらず波力積分領域が水表面までであること、抗力項が大きくなることなどより図4と同様 $T/T_n=2-3$ の増幅率が大きくなっていることは注目しなければならない。

参考文献：後野正雄・樫木亨；プラットフォーム型海洋構造物の振動応答について、第34回年講。