

II-40

円柱脚に作用する波力

鹿児島大学 正員 吉原進

学生員 堀川義一, 峯松麻成, 鍋倉敬一

1. はじめに

海底で固定された海洋構造物の波浪に対する動的応答に関する研究の一環として、円柱構造物に作用する波力を取りあげる。構造物は、極めて単純化した円柱1本のみからなる場合と、4本からなる場合を考え、それらの固有周期が波の周期に近く、たわみやすいものとした。このようなたわみやすい構造物の波力を評価することは簡単ではないが、ここでは、構造物を等価な一自由度振動系に置換することによって行った。以下、規則波実験の結果より波力を求め、これを用いて、不規則波による応答を算出し、その妥当性を検討した。

2. 円柱構造物の運動方程式

円柱の運動性状を方程式化するにあたり、次の仮定をおく。(I)円柱の下部は、海底に固定されているものとする。(II)柱頭は、一脚柱の場合自由端、四脚柱の場合固定端とみなし、形状関数を決める。(III)波力は、モリソン式を用いるが、たわむことにより水から受ける流体抵抗力は、次式の C_m 項・ C_d 項として取り入れる。(IV)円柱の質量は、柱頭部のおもりの質量に比べ十分小さいので無視する。(V)柱頭の変位で、構造物の運動を表現する。以上の仮定に基き、ここではFig.1で表わされるような四脚柱構造物について、柱頭変位 x_t に着目した一自由度運動方程式を導くと、次のようになる。但し、 $A_j(y, S_j, t)$ は水粒子加速度、 $V_j(y, S_j, t)$ は水粒子速度、 C は構造物の減衰係数である。また、 S_j は各柱間の波の進行方向の相対距離を表わす。

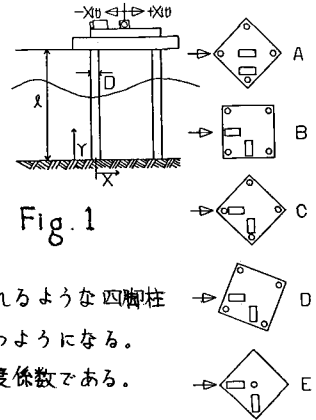


Fig. 1

$$\left\{ m + C_m \frac{\pi D^2 l}{4} \right\} \ddot{x}_t + C \dot{x}_t + \left\{ C_d \frac{\pi D}{2} l \left(-\frac{4}{5} \alpha^2 + 4 \alpha^2 - \frac{27}{4} \alpha^2 + \frac{27}{7} \alpha^2 \right) \times 4 \right\} \ddot{x}_t + \left\{ \frac{12EI}{l^3} \times 4 - \frac{6}{5} \frac{m g}{l} \right\} x_t = \sum_{j=1}^4 \left(C_m \frac{\pi D^2 l}{4} \frac{1}{l^3} \int_0^{h_m} A_j(y, S_j, t) y^2 (3l - 2y) dy + C_d \frac{\pi D}{2} \frac{1}{l^3} \int_0^{h_m} V_j(y, S_j, t) y^2 (3l - 2y) dy \right) \quad (1)$$

3. 規則波実験の結果と考察

規則波による構造物頭部の波の進行方向と直角方向の応答加速度を求めて得た共振曲線と、波に対する円柱の位相曲線の一例をFig. 2に示す。なお位相曲線について、四脚柱の場合は、前方の柱の結果のみ示す。実験を行った波の振動数の範囲では、共振曲線は、固有振動数付近においてのみ大きく振動する一自由度振動系の特徴を示している。よって、揚力等の影響はないと考えられる。直角方向の振動は、必ずしも無視できる程度ではない。しかし、Fig. 1の(A)のように加速度計を設置し、ねじれ振動を検出する実験を行、たところ、ほとんど生じていないことが確かめられた。よって、両方向の振動は独立と考え、以下の解析は、進行方向のみ着目する。また、四脚柱の場合、Fig. 1の(B)~(D)のように波浪の入射角を変化させて応答加速度曲線を求めたところ、同様の応答共振曲線が得られ、また、これらにもねじれ振動は含まれていない。

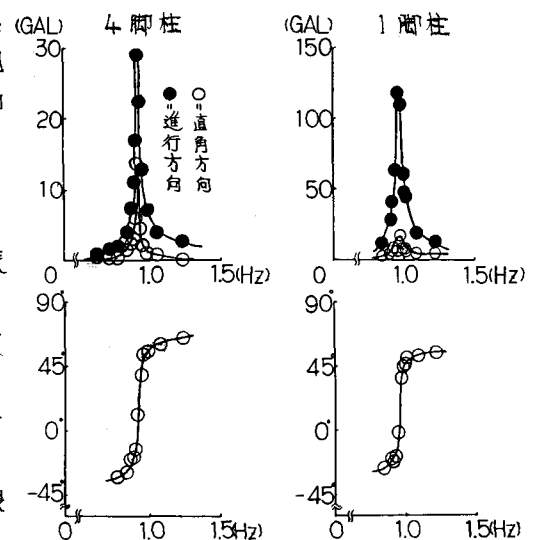


Fig. 2 加速度応答共振曲線・位相曲線

規則波の波高をH、柱頭の変位振幅を x_t 、柱頭変位の水面変動からの位相差を ϕ 、また四脚柱の場合、各柱間の波の進行方向の相対距離による水面変動の位相差を $\phi_{1,2,3}$ とし、

$$\eta = H/2 e^{i\omega t}, \quad x_t = X e^{i(\omega t - \phi)}, \quad \eta_{1,2,3} = H/2 e^{i(\omega t - \phi_{1,2,3})}$$

で、各脚における水面変動 η と柱頭変位 x_t を表す。これを運動方程式(1)の両辺に代入し、実数部・虚数部を比較して C_d と C_m が算出できる。この実験結果の一例をFig.3に示した。 C_d は C_m に比べ、全結果については、ばらつきが大きく表われた。しかし、一脚柱と四脚柱の違いや、円柱脚の直径の違い(3.2・2.6cm)にかかわらず、 C_m ・ C_d は、それぞれ1.4付近を中心にばらついている結果が得られた。

形状関数は、静的なたわみ曲線に等しいと考え、一脚柱と四脚柱それぞれ定めた。そこで、形状関数の C_d ・ C_m に対する影響を調べるために、一脚柱の形状関数に四脚柱で用いた形状関数を使、て C_d ・ C_m を求めると、それぞれ2倍程になるとがわかった。

4. 不規則波実験の結果と考察

不規則な波痕に対する応答を求める方法として、大別すると、

応答を周波数領域で取り扱うものと、時間領域で取り扱うものとがある。ここでは、波痕の時系列が実験によって得られることもあって、後者の方法によることとした。まず、不規則な水面変動をフーリエ変換して成分波に分解した。次に、振幅の大きないくつかの成分波に対し、微小振幅波理論を適用して、水粒子速度および加速度を求めた。そして、成分波ごとについて

波力を算出し、再度重ね合わせることとした。このようにして不規則波の波力を評価し、Newmarkの β 法によって運動方程式を解き、柱頭における応答を求めた。Fig.4-(A)(B)は、このような計算の応答加速度と実測加速度の、時系列とパワースペクトルの一例である。パワースペクトルのピーク値や時系列の最大加速度については、全結果にわたり計算結果の方が幾分小さくなっている。理由としては、 C_d ・ C_m をばらつきがある中で、 $C_d=1.4$ 、 $C_m=1.4$ の一定値に決定したからである。この結果からすると、 C_d ・ C_m を小さく見積、たとと推察できる。Fig.5は、四脚柱の各柱間の波の位相差の影響を考えるため、位相差を考慮した場合と考慮しない場合の解析加速度のパワースペクトルを表す。位相差を考慮しない場合は、考慮した場合に比べて大きな値を示す。このことから、位相差を考慮しない場合は、応答を大きく見積、ると考えられる。

5. あとがき

今回用いたモデルについては、一脚柱・四脚柱共に構造物の応答特性が、十分、一自由度振動系で抽象されうることがわかった。規則波による実験から求めた波の係数は、ばらつきが大きい場合もあるが、 C_m はほぼ一定と見なせる。これを用いて不規則波による応答を求めたところ、別に行った実験結果とよく対応していた。以上のことから、本研究のような方法で、たわみ易い構造物の波力を推定することは、妥当であろう。しかし、小さく・単純な模型による実験のみの考察であるので、更に幅広い実験による検証が必要であるとは言うまでもない。

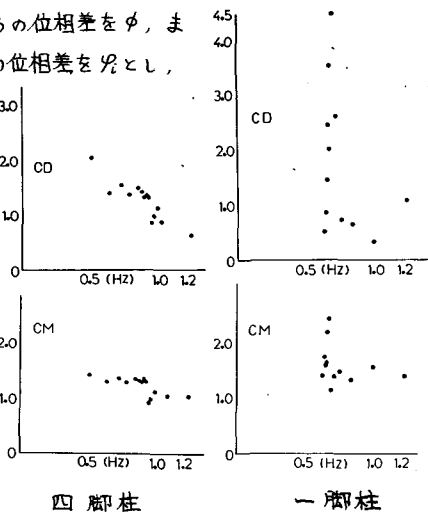


Fig.3 抗力係数 C_d 、質量力係数 C_m

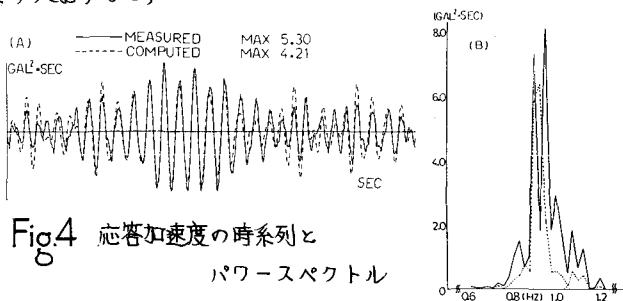


Fig.4 応答加速度の時系列とパワースペクトル

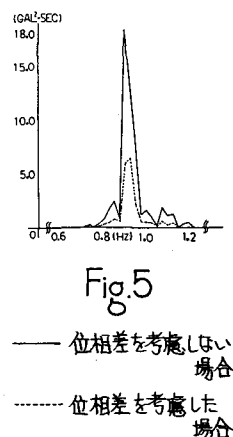


Fig.5