

京都大学防災研究所 正会員 上屋 義 入
山口 正 隆

1. まえがき: 著者らはすでに大口径円柱に作用する波力の特性を明らかにするため, 円柱周囲の波圧分布および水位変動特性について実験を行ない, 回折理論との比較を試みたが, 本文ではひきつづき, 線型回折理論およびそれを若干変形した理論によつて円柱の質量係数について考察を加えるとともに, 全波力に関する実験を実施し, 実験結果と理論曲線との比較より波力に及ぼす口径の効果について検討しようとするものである。

2. 回折理論に基づく質量係数に関する考察: 円柱に作用する全波力は一般に次式で与えられる。

$$F = \int_0^{2\pi} \int_0^h p a \cos \theta \, d\theta \, dz \quad (1)$$

ここに, F : 全波力, a : 円柱の半径, h : 水深, η : 円柱周囲の水位変動, p : 円柱周囲の波圧強度, θ : 円柱中心よりの角度, z : 静水面より鉛直上方にとつた座標, である。いま, p として線型回折理論で与えられるものを用い, $\eta = 0$ として(1)式を積分すれば, 円柱に作用する全波力は次式になる。

$$F/p g D^3 = (1/2)(H_0/D) \tanh k h / \{ (k a)^2 \sqrt{J_1^2 + Y_1^2} \} \cos(\sigma t - \beta), \quad \beta = \tan^{-1}(J_1'/Y_1') \quad (2)$$

ここに, H_0 : 入射波高, D : 円柱の直径, $k = 2\pi/L$, L : 波長, $\sigma = 2\pi/T$, T : 周期, $p g$: 流体の単位体積重量, J_1' および Y_1' : オノ種およびオノ2種 Bessel 関数の無次元座標 kr に関する微係数, である。また, Morisonらの微小振動波理論に基づく波力算定式において, 抗力を無視し, 質量力のみを考慮した全波力式の最大値と(2)式の最大値とを等置すれば, 質量係数 C_M は同次の次式になる。

$$C_M = 4 / \{ (k a)^2 \sqrt{J_1^2 + Y_1^2} \} \quad (3)$$

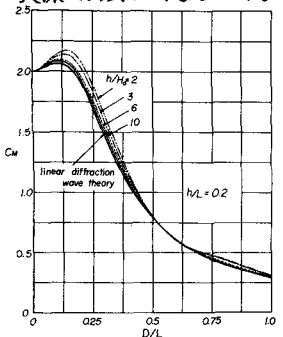
つぎに, 波力算定式に水面の効果を導入するため, (1)式の計算の場合に η として線型回折理論によるものを用い, その自乗の項まで考慮すれば, 全波力は次式であらわされる。

$$F/p g D^3 = (1/2)(H_0/D) \tanh k h / \{ (k a)^2 \sqrt{J_1^2 + Y_1^2} \} \{ Y_1' \cos \sigma t + J_1' \sin \sigma t \} + (1/4)(H_0/D)^2 / \{ \pi (k a)^2 \} \{ \{ a_0 a_1 + b_0 b_1 + (1/2) \sum_{n=1}^{\infty} (a_n a_{n+1} + b_n b_{n+1}) \} + \{ b_0 b_1 - a_0 a_1 + (1/2) \sum_{n=1}^{\infty} (b_n b_{n+1} - a_n a_{n+1}) \} \cos 2\sigma t - \{ a_0 b_1 + a_1 b_0 + (1/2) \sum_{n=1}^{\infty} (a_n b_{n+1} + a_{n+1} b_n) \sin 2\sigma t \} \}, \quad a_0 = J_0' / (J_0^2 + Y_0^2), \quad b_0 = -Y_0' / (J_0^2 + Y_0^2), \quad a_{2m} = 2 J_{2m}' (-1)^m / (J_{2m}^2 + Y_{2m}^2), \quad a_{2m+1} = -2 Y_{2m+1}' (-1)^m / (J_{2m+1}^2 + Y_{2m+1}^2), \quad b_{2m} = 2 Y_{2m}' (-1)^m / (J_{2m}^2 + Y_{2m}^2), \quad b_{2m+1} = 2 J_{2m+1}' (-1)^m / (J_{2m+1}^2 + Y_{2m+1}^2) \quad (4)$$

(4)式においてオノ1項はもちろん(2)式と一致し, オノ2項は水面の波力に対する効果を示すものである。

(4)式を用いて質量係数を算出するには, Morisonらの波力算定式においても水面の効果をもその2次の次数まで考慮した式の極値と(4)式のそれを等置すればよい。しかし, この計算は解析的に行なうのが困難であるので, 数値計算で求める必要がある。その結果の1例を示すのが図-1であり, 図中の太い実線は(3)式によるものである。質量係数は(4)式によれば明らかのように, 一般に D/L ばかりでなく, h/L

および h/H_0 の関数となるが, この図からその値は線型理論で与えられるものより若干大きくなり, しかもその傾向は h/L および H_0/h の値の大きいときほど著しいことがわかる。ただし, その影響は D/L の値によってかなり異なっている。しかし, 図-1はそれぞれの波力の最大値を等置して求めた結果であり, 最小値を等置した場合には逆の傾向になる。このことは全波力の計算において水面の効果のみを考慮して非線型項を無視していることによるものと考えられる。さらに Morison式において全波力を求める場合, 円柱の中心での波の位相における水位を用いているため, 円柱の径や波高が増大したときに, 円柱の浸没体積も過大にあるいは過小



に評価していると考えられる。そこで、Morison 式において円柱の水没体積と近似的に(5)式があらわされるもの
と考へ、質量係数の補正計算を行なったが、その影響はせいぜい3%程度であった。

$$V = (\pi D^2 h / 4) \left[1 + \left\{ H_0 J_1(k a) / k a + (H_0 / 2) \right\} \cos \sigma t \right] \quad (5)$$

3. 実験装置および実験方法: 実験装置および波力測定装置は以前に発表したものとはほぼ同様であるので省略する。実験に使用した波力測定系の水中固有振動数は5~5.5 cps であった。また実験に際し、入射波高の測定位置が実験装置の制約上あまり造波機に近すぎたり、円柱設置位置での波高と若干異なっていたので、あらかじめ求めておいた入射波高測定位置での波高と円柱設置位置での波高との関係から入射波高の補正を行なった。表-1 は実験条件を示したものである。

表-1 実験条件

T sec	h cm	D cm	D/L
0.60	30.0	50.0	0.893
0.70	40.0	50.0	0.656
0.80	40.0	50.0	0.507
1.00	40.0	50.0	0.342
1.20	40.0	50.0	0.258
1.00	40.0	30.0	0.205
1.20	40.0	30.0	0.155

4. 実験結果および考察: 図-2 は Morison らの波力公式において微小振幅波理論を用いて実験値より求めた質量係数 C_M の D/L による変化を示すものである。図中の曲線は(3)式によるものであり、矢印は実験値の範囲をあらわしている。この図によれば、実験値は、質量係数が D/L の値の増加とともに急激に減少する理論曲線の傾向とよく一致しているが、定量的には実験値の方が若干大きな値を与えている。また D/L の値が大きい場合には与えた実験条件のため、波圧強度の場合と同様に、双峰型の波力波形が出現するので、最大値より求めた質量係数の方が最小値より求めたものより小さくなる傾向がある。図-2 に示した質量係数の波の特性および円柱の直径による変化をさらに詳しく検討するために、 D/L および h/L の値を一定にした場合の質量係数と h/H_0 との関係を示したのが図-3 である。中村らの実験によれば、質量係数は波高の増加とともに減少する傾向にあるのに対し、本実験では実験値はばらついてはいるけれども、質量係数はほとんど一定値をとるようになって、 D/L の値の大きな場合にはむしろ h/H_0 の値の減少とともに増加する傾向がある。

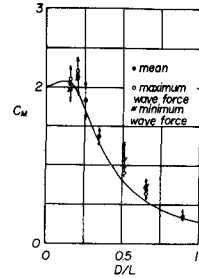


図-2 質量係数と D/L との関係

図-4 は無次元波力の最大値の理論値と実験値とを比較したものであり、図中の●印および○印はそれぞれ(2)式および(4)式によるものである。この図から両者は定性的にはよく一致しているが、定量的には実験値の方が平均して約10%程度理論値より大きいことおよび水面の効果はそれほど大きくないことがわかる。つぎに波力の時間波形について比較したのが図-5 であるが、実験値の方が最大値および最小値付近において理論値より若干大きくなっている。また、水面の効果を入れた理論曲線は線型理論よりも最大値付近では実験値に近い値を与えるが、最小値付近では逆にそのへだたりが大きくなっている。以上のように円柱に作用する波力は回折理論で与えられるように、 D/L の値の増加とともに急激に減少することが実験的に明らかになったが、その値は水面の効果を含めても理論値に比べて大きくなる。この原因としては、波高および波力の測定誤差、反射波、湾力の变化および抗力の影響さらに波力測定系の固有振動数が入射波のそれに比べて小さいことなどが考えられるがこのうち湾力の変化は測定値を小さくする方向に作用するために除外され、また抗力の影響はほとんど無視しうると考えられ、明確なことは不明である。

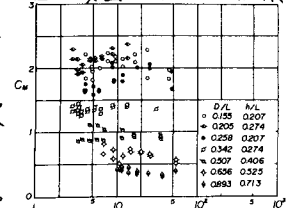


図-3 質量係数と h/H_0 との関係

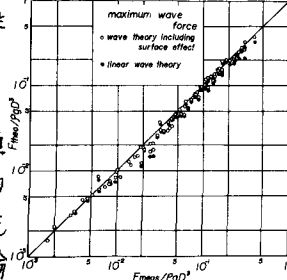


図-4 波力の最大値の比較

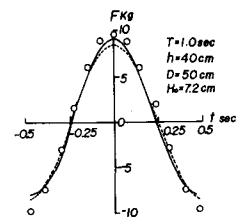


図-5 波力の時間波形

最後に、本研究は文部省科学研究所費奨励研究によるものであることを明記して謝意を表するしだいである。