

II-21 円柱に作用する波力の分布に関する研究

京都大学防災研究所 正会員 大屋 義人
京都大学防災研究所 正会員 山口 正隆

1. 緒言 円柱に作用する波力は、円柱の径が波長にくらべて小さい場合、円柱による波の変形を無視してMorison以来、抗力と質量力の線型和として表わされているが、円柱の径が大きくなって波長に比較しうる大きさになると、上述の仮定が不適当となり、波力を計算する場合、円柱による波の変形の影響を無視することができなくなる。この問題は、水の粘性を無視したポテンシャル理論で円柱による波の回折問題として取り扱われ、Lamb, Wiener, Mac CamyおよびFuchs, 田中, Reid, LairdさらにBonnetfilleおよびGermainなどにより計算が行われてきた。とくに、Mac CamyおよびFuchsは円柱に作用する波圧を積分し、全波力および全モーメントを計算し、さらにReidは全波力から質量係数を求め、 D/L (D : 円柱の直径, L : 波長)の比の増大とともに質量係数が減少することを示した。また、LairdならびにBonnetfilleとGermainは円柱周辺の水位変動、円柱に作用する波圧の分布および全波力についての実験と回折理論との若干の比較を行なっているが、理論の妥当性を十分には吟味できていないように思える。そこで、本研究では大口径の円柱に作用する波力の機構を解明するための第一段階として、円柱に作用する波圧に関する実験を行ない、回折理論の妥当性を検討しようとするものである。

2. 円柱による波の回折理論 円柱による回折作用をうけた円柱周辺の水位変動をおよび水中圧力 $P/\rho g$ は、図-1のような極座標表示をとると、第一近似解では入射波と回折波の和として、つぎのように表わされる。

$$\eta = (H_0/2) e^{-i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n i^n \{J_n(kr) + \alpha_n H_n^{(2)}(kr)\} \cos n\theta, \quad \epsilon_n = \begin{cases} 1 & (n=0) \\ 2 & (n \geq 1) \end{cases}$$

$$\alpha_0 = -J_1(ka)/H_1^{(2)}(ka), \quad \alpha_n = \{nJ_n(ka) - kaJ_{n+1}(ka)\} / \{nH_n^{(2)}(ka) - kaH_{n+1}^{(2)}(ka)\}, n \geq 1$$

$$P/\rho g = (H_0/2) \{ \cosh k(R+z) / \cosh kR \} e^{-i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n i^n \{J_n(kr) + \alpha_n H_n^{(2)}(kr)\} \cos n\theta - Z$$

ここに、 H_0 : 入射波高, $\omega = 2\pi/T$, T : 周期, $k = 2\pi/L$, L : 波長, a : 円柱の半径 ($= D/2$), Z : 静水面から鉛直上方向にのった座標, ρg : 水の単位体積重量, $i = \sqrt{-1}$, J_n : n 種 Bessel 関数, および $H_n^{(2)}$: n 種 Hankel 関数, である。

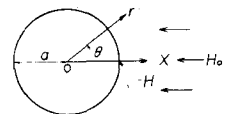


図-1 座標系

3. 実験装置および実験方法 実験は宇治川水理実験所内にある長さ20m, 幅3m, 深さ70cmのアランジャー式造波機を備えた波圧実験用水槽を用いて行なった。実験装置は図-2に示すように、造波機側の水槽端より約11mの地点に、波圧計ねじこみ用の穴のあいた直径40.6cmの円柱を取付け、また円柱周辺の水槽側壁

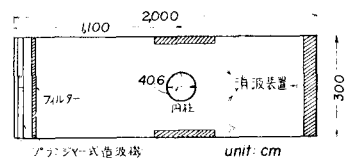
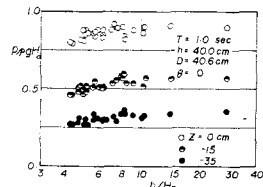


図-2 実験装置の概略図

および水槽の他端には反射波を防ぐため、消波装置を設置したものであり、圧力は円柱に取り付けた数個の波圧計により、また波高は道波機より約4mのところおよび円柱前面で電気抵抗線式水位計によって測定した。

4. 実験結果(予備的考察) 図-3は $\theta=0$ の位置で波の峰がきたときの各測定点での無次元波圧 $P/\rho g H_0$ の入射波高による変化を示したものである。各測定点での $P/\rho g H_0$ は実験データに多少のばらつきがあるが、 h/H_0 の値にかかわらず、ほぼ一定値をとっている。これは、 $P/\rho g H_0$ が波高に関係しないこと、すなわち波圧 P は H_0 の1乗のorderで関係



し、 H_0 の2乗以上の非線型の効果の小さいことを示している。しかし、入射波高が大きくなって、 h/H_0 の値が小さくなると、 $P/\rho g H_0$ の値が若干小さくなりはじめ、 H_0 の1次の項ばかりでなく、2次以上の項も波圧 P に影響することがわかる。図-4は図-3に示したデータのうち、2点をとって、 $\theta=0$ で波の峰がきたときの同時波圧の鉛直分布を示すものであり、図中 $P/\rho g H_0$ の零点は水位記録より読みとったものである。この図によると、波圧強度 $P/\rho g H_0$ は静水面付近で大きく、周期が短かいため測定の水深の増大とともに急激に減少し、底付近ではきわめて小さくなっている。また波高による $P/\rho g H_0$ の変化は、上の議論のように、静水面以下では小さいが、静水面上では大きい。図-5は

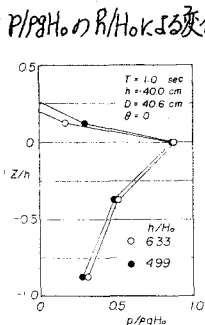


図-4 波圧の鉛直分布

図-5は $\theta=0$ の点で波の峰がきたときの $Z=-10$ cmにおける水平同時波圧分布を示すものである。図には3つの波高の場合が示されているが、これらのいずれもが同じ傾向を示し、 $\theta=0$ で $P/\rho g H_0$ が最大となり、 θ がしだいに増大するにつれて、急激に減少し、 $\theta=3/4\pi$ では負になっている。また観察によると、これらは円柱周囲の水位変動にほぼ対応しているように思えるが、円柱周囲の水位変動を測定していなかったため、詳細は不明である。図-6は θ のいろいろな場所での波圧時間記録の中で、波圧がそれぞれピークをとる位相での同時波圧の鉛直分布を示すものであり、 $\theta=0$ の場所では図-3および4と同じ場合に相当する。この場合の圧力分布は水位変動の振幅が最大である $\theta=0$ が最も大きく、 θ の値の増加とともにその値がしだいに減少するが、 $\theta=\pi$ では $\theta=3\pi/4$ の場合にくらべ増

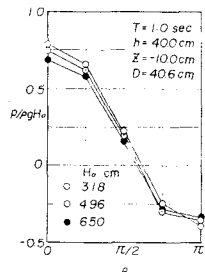


図-5 波圧の水平分布

加している。これはそれぞれの場所における水位変動の振幅の大小により決まるものであろう。つぎに、図-7は $T=1$ secの場合に若干見られた双峰型波圧の出現を確認するため、 $T=0.72$ secの場合に行なった実験結果であり、円柱に作用する波圧の場合にも重複波の場合と同様に、波高が大きくなれば、双峰型の圧力波形が出現することがわかる。最後に、今回の報告では提示できなかった円柱周囲の水位変動、波圧と水位変動との対応、さらにこれらの実験結果と円析理論との比較については講演時に発表したい。なお実験の遂行にあたっては関西大学学生佐々間隆君に多大の助力をいただいたので、ここに謝意を表明する。

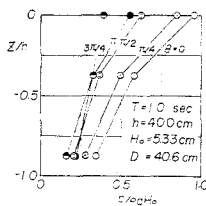


図-6 位相によるピーク

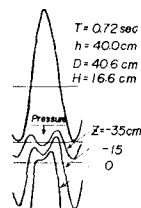


図-7 双峰型波圧の出現

圧力の変化 図-7 双峰型波圧の出現の振幅の大小により決まるものであろう。つぎに、図-7は $T=1$ secの場合に若干見られた双峰型波圧の出現を確認するため、 $T=0.72$ secの場合に行なった実験結果であり、円柱に作用する波圧の場合にも重複波の場合と同様に、波高が大きくなれば、双峰型の圧力波形が出現することがわかる。最後に、今回の報告では提示できなかった円柱周囲の水位変動、波圧と水位変動との対応、さらにこれらの実験結果と円析理論との比較については講演時に発表したい。なお実験の遂行にあたっては関西大学学生佐々間隆君に多大の助力をいただいたので、ここに謝意を表明する。