

円柱に作用する不規則波力の統計的解析

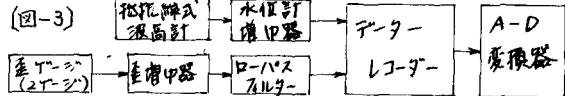
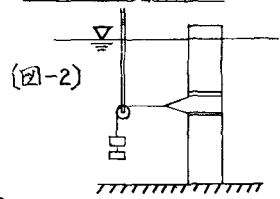
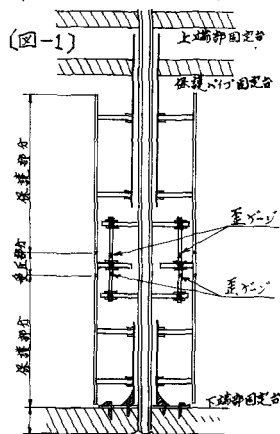
大阪大学工学部 正員 穂木 亨

大阪大学工学部 学生員 ○中村孝幸

1. まえがき 従来円柱パイプに作用する波力の算定には 主として規則波を対象にした研究にもとづく Morrison の波力算定式が用いられてきた。しかし、この算定式の中に含まれる定数 すなわち抵抗力係数 C_D 、慣性係数 C_M の評価は非定常流中においてはその確定的なものではなく、更に規則波により求まる C_D 、 C_M の値が、一般的な不規則波に適応できるかどうかも確証されていない。また、局部波力の測定値が少なく、この C_D 及び C_M の水深方向における変動も検証された例がほとんどない。このような観点から、本研究では、規則波及び不規則波を対象にして円柱パイプに作用する即応波力を測定して、その水深方向分布を求め、その波力測定値より Morrison の波力式、微小振動波理論を仮定して、規則波力の C_D 、 C_M 値、不規則波力については スペクトル解析を含む統計的解析により C_D 、 C_M 値を求めた。本報では、不規則波が円柱に作用した場合のうらとくに慣性力の支配的となる場合のみを取り扱い、水深方向における慣性係数の変動を明らかにすると共に Pruepe が行っている波のパワースペクトラムの大小による波力の非線形性について検討する。

2. 実験装置と実験方法 実験は、高さ 95cm、幅 70cm、長さ 30m の二次元水槽を用いて行なった。水槽の一端には ホソイトノイズを用いて不規則波を発生させる造波機が設置されており、他端には勾配 4% の消波工が設けられている。波力測定用円柱パイプは、造波機より 12m の位置で、水槽中央部に設置した。円柱パイプは、外径 28

cm と 4.2cm の幅ビパイプを用い、即応波力が測定できるように受圧部(長さ 5cm)と受圧部上下の保護部分から成っている。波力計の詳細を、図-1 に示す。この波力計の空中国有振動数(すなわち 22Hz 以上)であり、このことから十分に波力の測定が行なえるものと思われる。波力計のキャリブレーションは、図-2 に示すような装置を用いて水中において定荷重 22.2N の錘を 100mm まで漸進させて行ない、良好な直線性を得た。水深は 70cm に保持し、波力は受圧部中心が水深より 59cm、46cm、32.5cm の位置において測定し、受圧部は常に水面下にあるようにした。水面変動は、円柱パイプ中心位置真横 13cm の位置と中心位置沖 1m 付近で測定し、それらのスペクトルの形状、パワーが、1/3 近似していることから、波力との位相ずれがないパイプ横方向記録を用いて以下の解析を行なった。水面変動及び波力の測定系を図-3 に示す。ローパスフィルターのカット周波数は、5Hz にセフトしてあり、実験カット周波数は、10Hz で、圧電増器の高周波ノイズをカットし(図-3)



る。解析方法およびその結果と考察

水面変動と波力Fのスペクトル密度 S_F , S_η は260秒の同時記録より、ラグタイム $1/60$ 秒、等価自由度2でB-T法により計算した。波力が慣性項が支配的となる場合には水面変動 η と波力Fは微小振動波理論が仮定されるから線形系となり、 S_η と S_F の間には(1)式が成立する。

$$S_F(f) = C_u^2 \cdot g \cdot \left[(\sin k(Z_L + B) - \sinh k Z_L) / \sinh k Z_L \right]^2 \cdot S_\eta(f) \\ = C_u^2 \cdot T_E(f) \cdot S_\eta(f) \text{ ----- (1)}$$

ここに、 f は周波数、 k は波数、 Z_L は水深より受圧部下端までの距離、 B は受圧部長さ、 g は重力加速度、 C_u は(2)式で与えられ、ここに C_u は慣性係数、 ρ は流体密度、 D はパイプ
 $C_u = C_M \cdot \rho \cdot \pi D^2 / 4 \text{ ----- (2)}$

径である。微小振動波理論を仮定した(1)式を用いると波力スペクトル及び水面変動スペクトルの実験値より C_u 値が求められる。

本報では、実験を行なった5ケースの中で、慣性項が支配的となる径78mmのケースのうちの代表的なケースの結果について検討を進めるが、図-4にこの $S_\eta(f)$ と $S_F(f)$ をそれぞれのパワースペクトラムで除したスペクトル密度を示す。この図より、受圧部が水面に近づく程、波力スペクトルのパワーが高周波側に移行していることが認められる。(1)式中の $T_E(f)$ の周波数変化を求めたのが図5であるが、この S_F の変化にともなう $T_E(f)$ のピークの変化が $S_F(f)$ のピーク移行となつてあらわれたと考えられる。すなわち、受圧部位置が下部にあるときは $T_E(f)$ のピークは、0.7Hz付近にあり、低周波側が鋭く立ち、高周波側で漸減している。また、中央部については、 $T_E(f)$ のピークは、1.0Hz付近にあり、本実験で用いた波

のスペクトルのピークとほぼ一致し、波力スペクトルではそれがより強調されることになる。上部にあるときは、 $T_E(f)$ のピークは1.5Hz付近にあり、波のスペクトルが高周波側に移行されることかわかる。つぎに(1)式より求めた C_u 値を高周波領域で示したものが、図-6であり C_u 値は、スペクトル密度の比較的大きな領域では、ほぼ水深位置において一定の値となり、1.9~2.4の範囲にある。低周波側、高周波側においては、密度推定値が小さくノイズなどによる影響を大きく受けやすく C_u 値は急増しているものと思える。このことからわかるように波のパワーによる C_u 値の変動は、水深位置とも見られず、波の非線形効果は本パイプの K_{pipe} の結果と同じく認められず、またスペクトル形状による変動も認められない。さらに水深方向における変動については、水面付近になる程その値は小さくなる傾向が認められ、 C_u 値は上部で1.9~2.1、中央部で2.0~2.2、下部で2.2~2.4に付いている。なお上記測定値が慣性項が支配的であることの検証は波力の確率分布及び極大波力の確率分布を調べて検証したことを付記しておく。

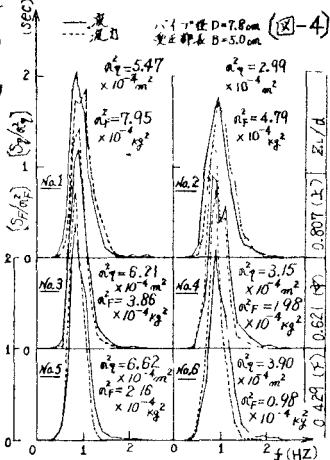


図-6: A line graph showing the variation of the coefficient C_u with frequency f (Hz) for six different cases (No. 1 to No. 6). The y-axis represents C_u and ranges from 1 to 3. The x-axis represents frequency f and ranges from 0.4 to 1.6 Hz. The data points show that C_u values are relatively constant in the mid-frequency range (around 1.9 to 2.4) and increase significantly at low and high frequencies.

