

大阪大学工学部 正員 榎本 亨
愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

1. まえがき： 著者らは¹⁾、既に円柱に作用する不規則波力を慣性力の卓越する場合について局部波力の立場よりとらへ、波と波力の確率分布の関係並びに波浪スペクトルと波力スペクトルの関係について検討してきた。そして、不規則波を有義波におきかえて波力算定を行なう有義波法処理による波力推算の妥当性についても触れた。本研究においては、円柱に作用する不規則波力をより実際の全体波力の立場よりとらへ、先の研究では明らかにできなかった抗力の効果を含めて波と波力の確率分布の関係、波スペクトルと波力スペクトルの関係について検討してみた。最後に、現在よく用いられている有義波法処理による波力の推算の妥当性について検討してみた。

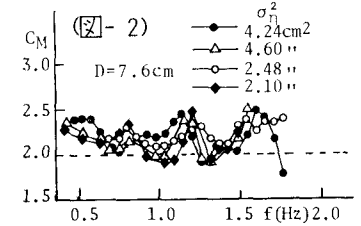
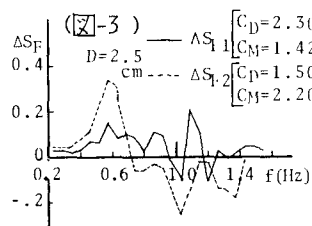
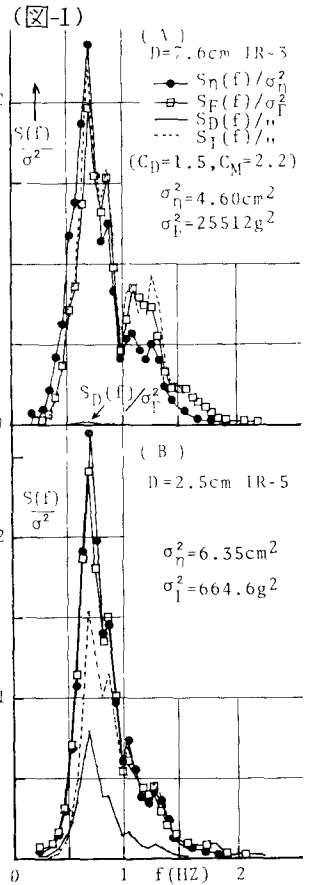
2. 波スペクトルと波力スペクトル： 波スペクトルと波力スペクトルとの理論的な関係は、線形波動理論およびMorisonの波力式を用いてBergman²⁾により導かれており、その1次近似的には(1)式で与えられる。

$$\begin{aligned} S_f(f) &= S_D(f) + S_I(f) \\ &= \left[\frac{8}{\pi} \left(\frac{1}{2} C_D \rho D \frac{2\pi f}{\sinh(kh)} \int_0^h \sigma_u(z) \cosh(kz) dz \right)^2 \right] S_\eta(f) \\ &\quad + \left[C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} \tanh(kh) \right]^2 S_{\dot{\eta}}(f) \quad \text{----- (1)} \end{aligned}$$

ここに、 $S_F(f)$ ： 波力のスペクトル、 $S_D(f)$ ： 抗力のスペクトル、 $S_I(f)$ ： 慣性力のスペクトル、 C_D ： 抗力係数、 C_M ： 慣性係数、 ρ ： 流体密度、 g ： 重力加速度、 f ： 周波数、 k ： 波数、 h ： 水深、 $S_\eta(f)$ ： 波のスペクトル、 $\sigma_u(z)$ ： 底面より z の位置における水粒子水平速度の分散で $S_\eta(f)$ を用いて理論的に与えられる。

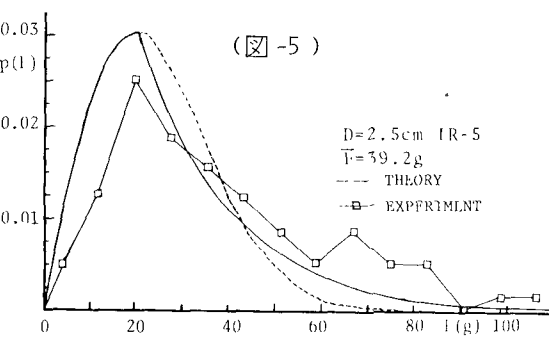
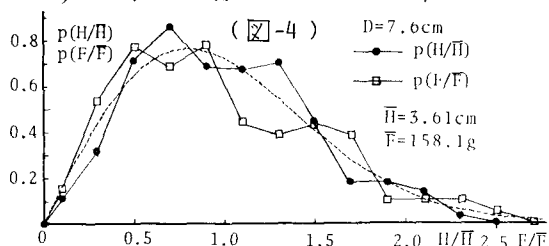
本実験で測定された波および、波力のスペクトルを、 $D=7.6\text{cm}$ 、 $D=2.5\text{cm}$ の各々について1例づつ示すのが図-1(A)(B)である。図-1(A)(B)には、(1)式の C_D 、 C_M に著者らの規則波における結果の平均的な値 $C_D=1.5$ 、 $C_M=2.2$ を仮定して実測の $S_\eta(f)$ を用いて求めた $S_D(f)$ 、 $S_I(f)$ をも示した。(B)慣性項の卓越する場合： $S_D(f)$ と $S_I(f)$ の大きさより図-1(A)の $D=7.6\text{cm}$ については、慣性力が完全に卓越しており抗力の影響を無視し得るものと考えられる。この場合、 C_M の値は測定された $S_F(f)$ と $S_\eta(f)$ より(1)式の $S_I(f)$ と $S_\eta(f)$ の関係より一意的に求められることになる。なお図-1(A)は、 $D=7.6\text{cm}$ のケースの中で $S_D(f)$ が最も大きくなるものについて示したものである。この方法により求めた C_M の値を示すのが図-2であり、 $D=7.6\text{cm}$ の他のケースについての C_M の値も示した。図-2より、 C_M の値は波のパワー σ_η^2 に関係なく平均的に2.2程度の値となっており、規則波における結果 $C_M=2.2$ にほぼ一致している。そしてこの場合、 $S_\eta(f)$ より $C_M=2.2$ として(1)式の $S_I(f)$ を求めれば、 $S_F(f)$ が推定されることになる。

(B)抗力項の無視し得ない場合： 図-1(B)よりわかるように $D=2.5\text{cm}$ については $S_D(f)$ は $S_I(f)$ に比し無視できない大きさであり、 $S_\eta(f)$ より $S_F(f)$ を推定するには、 C_D 、 C_M の両者の値が必要となる。従来、Bergmanに



より示された C_D , C_M の推定法は、測定波力のスペクトルと測定波スペクトルを用い、(1)式を介して最小2乗法により C_D , C_M を決定する方法である。この方法により求めた図-1(四)の場合の C_D と C_M の値は、それぞれ2.3, 1.92であり、 $D=7.6\text{cm}$ の場合に得られた C_M の値よりかなり小さくなっている。これらの C_D , C_M の値ならびに実測の $S_H(f)$ を用いて(1)式より求めた $S_H(f)$ と実測の $S_H(f)$ の差 ΔS_H1 並びに C_D , C_M の値を1.5, 2.2とした場合に求まる $S_H(f)$ と実測の $S_H(f)$ の差 ΔS_H2 について図-3に示した。 ΔS_H1 は ΔS_H2 に比し全体的に小さくなっているが、 ΔS_H1 と ΔS_H2 の有意な差異は認め難い。一方 $D=2.5\text{cm}$ の他のケースについて最小2乗法により求めた C_D , C_M の値にはかなりのばらつきがみられ、このような単なる算術的な方法による C_D , C_M の算定には検討されるべき点が多く残されているものと考えられる。

3. 波高分布と波力分布: $D=7.6\text{cm}$ の場合の波高と極大波力の確率分布を図-4に示す。この場合、前述したように慣性力が卓越していることから、極大波力と波高の間には線形関係が成立し、波力の確率分布は、波高のそれと同一になる。図中の点線は、理論的なRayleigh分布を示す。図-4より実測値は、波高、波力共にRayleigh分布に類似した形状を示すことがわかる。また、この場合も実測した波高と極大波力の統計量より C_M 値を推定することができる。波高と極大波力の平均値を用いて求めた C_M の値は、2.05~2.2程度の範囲にあり2.で求めた C_M 値にはほぼ一致していた。 $D=2.5\text{cm}$ の場合の波力分布を示すのが、図-5である。この場合、抗力の効果は無視できず極大波力と波高との関係は、非線形となる。このような条件下における波高と極大波力の確率分布の関係についても理論的にBorgman³⁾などにより導かれており、 C_D , C_M 値の統計的な推定法についても言及されている。本研究では、2.で用いた $C_D=1.5$, $C_M=2.2$ を適用し、波浪の確率分布にRayleigh分布を仮定したとき $D=2.5\text{cm}$ のケースについてどのような波力の確率分布が得られるかについて調べてみた。これを示すのが、図中の理論分布であり、波力 F の値が小さいときには、Rayleigh分布に、 F の値が大きくなるとは指数分布となっている。実測値の分布は、理論分布の傾向に類似しているが、 F の値の大きい所で理論分布に比しより大きな確率密度を示すことなどの相違点が見られる。



4. 有義波法処理による波力推算について: 不規則波力の統計処理により得られる有義極大波力 $F_{IR}(T)$ と不規則波の統計処理により有義波を求め、この有義波の特性を有する規則波を実験的に円柱に作用させて得られる波力 F_R との比 $k_n = F_{IR}(T)/F_R(T)$ を、 $n=1, \frac{2}{3}, 1$ について求めてみた。 $n=\frac{1}{3}$ の場合について示すのが図-6である。図-6は、横軸に各有義波を用いて求めたrmsK-C値をとっている。図-6より、 k は抗力、慣性力の卓越に関係なく0.95~1.1の範囲にあり、平均的に1.0程度の値となっていることがわかる。したがって、有義波法処理により、ほぼ有義波力 $F_{IR}(T)$ の推算が可能であり、不規則波であるがゆえの効果は認め難い。

本報においては、円柱に作用する波力の中で波の進行方向に作用する波力についてのみ報告した。本研究ではこれに加え波の進行方向に直角に作用する波力(揚力)についても解析を行ない検討しているので後日の機会に発表したい。〈参考文献〉1. 榎本, 中村「円柱に作用する不規則波力の特性」第20回河内講演文集1973, 2. Borgman, L. E.: SPECTRAL ANALYSIS OF OCEAN WAVE FORCES ON PILING, Proc. ASCE, Vol. 1.93, No. WW2, 1967. 3. Borgman, L. E.: WAVE FORCES ON PILING FOR NARROW-BAND SPECTRA, Proc. ASCE, Vol. 91, No. WW3, 1965.