

風波の発達に関する二、三の実験

京都大学防災研究所 正員 土屋 義人
 京都大学大学院 学生員 ○ 吉岡 茂

1. 緒言 風波の発生および発達の現象は古くから研究されてきたが、いまだ説明されていない現象が多い。そこで本報において著者らは、風波と風との相互作用を次元解析的に考察し、風波の発達特性としてとくに、風から波に伝達されるエネルギーフラックスの成長について、実験結果と Miles の理論との比較検討を行なった。

2. 実験の概要 本実験で使用した風洞水槽は、全長 40 m、中 80 cm および水深 150 cm の水槽部分と 80 cm × 80 cm なる正方形断面をもった風路部分とから成っており、こう配約 4° の消波用斜面が取り付けられたものである。Reference Velocity $U_r = 11.9, 13.5, 14.8$ および 16.4 m/sec の各風速に対して、Fetch = 1.90, 3.77, 5.63, 7.40 および 9.37 m の 5 点での波高と風速分布を測定した。

3. 実験結果とその考察

3.1 風波の波高分布および粗度特性 実際の海で得られる波高が Rayleigh 分布に従うことはよく知られているが、今回の実験で得られた風波についても、図-1 より波高の 2 乗の分布が Gauss 分布に、したがって波高分布が Rayleigh 分布によく一致することがわかる。このことから、実際の海の風波と実験室で得られる風波とは、不規則性という点に関して同じ傾向をもつといえよう。つぎに、上述したような不規則性をもつ風波の粗度特性、とくに粗度示数 Z_0 について考察する。一般に、粗度示数を支配する物理量として

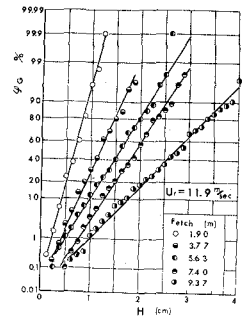


図-1 波高分布

空気の動粘性係数 ν_a 、風による摩擦速度 u_* 、重力の加速度 g 、粗度に影響する波高たとえば平均波高 H_m 、および波長 L が考えられ、これらを用いて次元解析を行なうと、 $Z_0/H_m = f(H_m/L, u_* H_m/\nu_a, g H_m/u_*^2)$ となる。図-2 には、 Z_0/H_m と $g H_m/u_*^2$ との関係が示されており、この図から Z_0/H_m は $g H_m/u_*^2$ の何乗かに逆比例して減少する傾向が見られる。

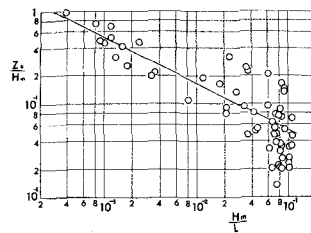
図-3 Z_0/H_m と H_m/L との関係

図-3 には、 Z_0/H_m と H_m/L との関係について、波形勾配の比較的広い範囲をもつ国司の実験結果が示されている。この図より、波形勾配 Z_0/H_m と $g H_m/u_*^2$ が 0.02 より小さい範囲では、 Z_0/H_m は H_m/L の増大にともなって u_*^2 との関係減少する傾向がみられる。しかし H_m/L が 0.02 より大きくなると、 Z_0/H_m に与える波形勾配の影響は非常に小さくなる。なお本実験はいわゆる水理学的に粗面と考えられる範囲で行なわれたので、 $u_* H_m/\nu_a$ が Z_0/H_m に対して与える影響は全くみられず、実験値を

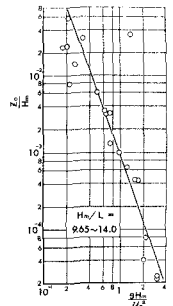


図-2

ロットしてみたが何らの傾向もみられなかった。

3.2 風波の発達特性 Miles の理論によれば、風波の初期の発達段階において、各周波数成分波のエネルギー密度 $\Phi(m, t)$ は、 $F(m, t) = (e^{2mt} - 1) / 2m$ の割合で増大する。一方、Phillips によれば、風波のスペクトル図の平衡領域においてエネルギー密度は周波数の⁻⁵乗に比例する。この2つの理論を用いて、Fetch=1.90 m において得られたスペクトル密度のその後の発達を近似的に計算した。すなわち、風波の発達を代表するパラメーター m は、 $2mt = (\rho_a / \rho_w) \cdot \beta \cdot (u_* / \kappa C)^2 \cdot (g / C) \cdot t$ と表わされ、 β, C, u_*, Z_0 のような Fetch にともなって変化する物理量の関数であり、したがって m も Fetch とともに変化するはずである。しかし計算の煩雑を避けるため、 β, C, u_*, Z_0 をすべての Fetch にわたって平均化し、 m を Fetch に対して一定値とした。またエネルギー密度は、Phillips のいう平衡領域に達するまで、指数増大の割合を変えないものとした。以上のような近似計算を行なって得られた各 Fetch に対するスペクトル図から、エネルギーフラックス $\bar{W} = (g / 4\pi) \int_0^\infty (\Phi / f) \cdot df$ を求め、その結果が図-5に示されている。また、図-4は周波数分析器によって求めたスペクトル図の一例であり、その平衡領域において Phillips の f^{-5} 則とよい一致を示している。このスペクトル図から計算したエネルギーフラックスの値が実験値として図-5中の点で示されており、同図の曲線は上述した方法によって求めた各風速に対する理論値である。なお、図-4および図-5において、その縦軸は arbitrary unit で示されているが、Longuet-Higgins による $H/3 = 2.832\sqrt{E}$ の関係式を用いて計算した係数 0.0303 を縦軸に乗ずることによって、その概算値が推定できる。図-5より、 $U_t = 11.9, 13.6, \text{および } 16.4 \text{ m/sec}$ の場合、 $\bar{W}$ の増加の割合に関して実験値と理論値との間で非常によい一致が見られる。しかし、 $U_t = 14.8 \text{ m/sec}$ の場合、 $\bar{W}$ の増加の割合は両者の間でかなりの差異がみられるが、これは理論曲線を算出する際、Fetch = 1.90 m のスペクトル図をもとにしているため、そのスペクトル図、とくに低周波数領域における値に、周波数分析器による好ましくない影響が現われたものと思われる。したがって、今後風波の発達を論ずる場合、電子計算機の使用によって、より正確なエネルギー密度の計算が必要であろうし、また風波の発達示数 m については、空気と波の相互作用を考慮に入れて近似の程度を高めなければならぬであろう。なお、図-5の Fetch = 9.37 m における実験値は理論値よりもかなり大きな値となっているが、これは Miles の理論が初期の発達段階に関するものであるもので、この Fetch まで論ずることは無理であろう。

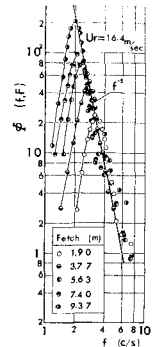


図-4
スペクトル図

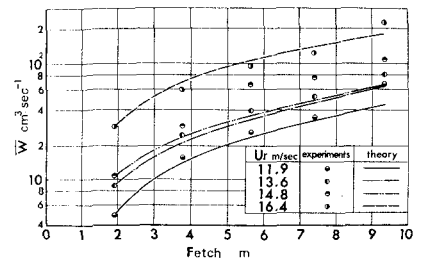


図-5 $\bar{W}$ の Fetch による変化