

風波とうねりの相互作用に関する研究 I

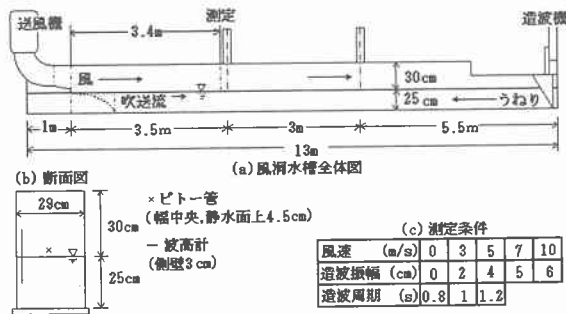
株式会社 ウエスコ 正会員 ○浜本 晃司
広島工業大学大学院 学生会員 徳市 匡圭
広島工業大学 正会員 水野 信二郎

1. はじめに

うねりの進行方向と逆向きに風が吹く場合、うねりは、逆風の効果によりエネルギーを失い、減衰する。逆風によるうねりの減衰は、波浪の数値予報の精度向上のため極めて重要な問題である。本研究は、うねりが進行中に会う逆風の影響に関して、風洞水槽を用いて水面上の静圧変動及び波高の同時測定を行った。結果、風に逆行するうねりが減衰する要因として、風圧がうねりを効果的に減衰させる働きを持つ実験事実を報告する。

2. 実験－静圧及び波高の同時測定－

図－1 は、使用した小型風洞水槽全体図及び、実験条件を示している。小型風洞水槽は、長さ 13m、幅 29cm、高さ 55cm（水深 25cm、通風路高さ 30cm）である。風洞水槽上流端には、水槽内に風を送る送風機、下流端には、うねりを再現する造波機が設置されている。吹出口から 3.4m に、ピトー管及び波高を取り付け測定を行った。ピトー管は、風路内中央、静水面上 4.5cm の位置に固定し、波高計は左側壁から 3cm の位置に固定した。測定条件は、風路内風速を 0～10(m/s) の 5 段階、造波振幅は 0～6(cm) の 5 段階、造波周期は 0.8～1.2 の 3 段階、計 65 ケースの測定を行った。ピトー管と波高計で得られた出力はデジタルレコーダ（TEAC DR-M3）を用いて記録した。なお、データのサンプリング周波数は 20Hz、1 ケースにつき 2048 個のデータを取得した。



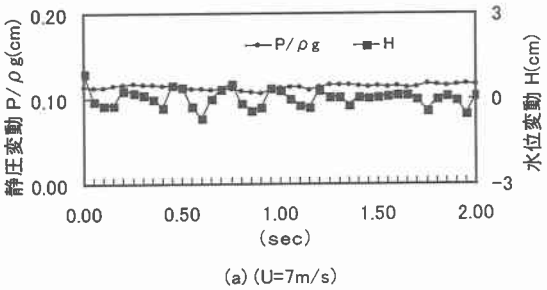
図－1 風洞水槽及び実験条件

3. 実験結果

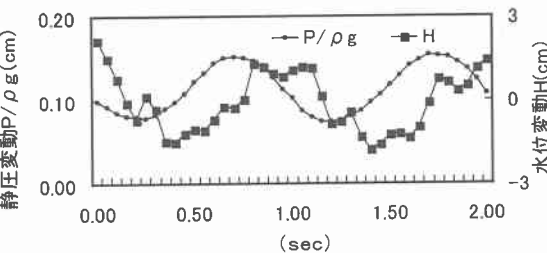
3.1 静圧変動及び水位変動の時系列グラフ

図－2 は、風の静圧変動と波の水位変動の時系列グラフである。図－2(a)は、うねりが存在しない、風速 7m/s の風を吹かせたのみのケースである。図－2(b)は、風速 7m/s に逆行するうねり（造波振幅 5cm、造波周期 1.0 s）が存在するケースである。(a)のグラフは、風の静圧変動と、風により発生した風波の間に殆ど相関は見られない。(b)のグラフは、風と逆向きに進行するうねりにより、静圧変動は、緩やかな正弦波形を示している。また、静圧変動と水位変動との間に、ほぼ 90° の位相差が確認出来る。これは、風の静圧変動が、うねりの波形勾配と同位相であることを示している。

静圧変動が、波形と同位相であれば、風圧は波に仕事をすることが出来る。うねりが風向きに進行する場合は、風圧は波を成長させる働きとなるが、図－2(b)のように、風に逆行するうねりの場合、風圧は波を減衰させるように働く。



(a) (U=7m/s)



(b) Case2(U=7m/s, a=5cm, T=1.0s)

図－2 時系列グラフ

3.2 Jeffreysの遮蔽理論

図2-(b)の静圧変動と水位変動との間の位相差は、風に逆行するうねりにより水面付近の空気の平均流線が、波峰の形に対応して偏った為であると考えられる。この偏りは、正弦波に対して不对称な形となり、波峰に対して不对称な圧力分布が作用する。よって、圧力分布は、図-3に示すように逆行するうねりが平均水面を横切る際、風上側で押し下げ、風下側で吸い上げるような形となり、継続的にうねりを減衰させる働きを持つと考えられる。

図-3のような、風速 U と位相速度 C の風に逆行する正弦波 $\eta(x,t)$ を考える。Jeffreys²⁾によると、風が波に対して行う仕事は、水面波形勾配 $\partial\eta/\partial x$ と風速の2乗の積に比例した圧力成分だけであるとし、次式で与えられるとしている。

$$P_s = s\rho_a(U+C)^2 \frac{\partial\eta}{\partial x} = s\rho_a ak(U+C)^2 \quad (1)$$

ρ_a は空気密度、 U は風速、 s は定数で遮蔽係数 (sheltering coefficient) と呼び、Jeffreys は風向きに進行する正弦波の場合これを0.27と推定した。

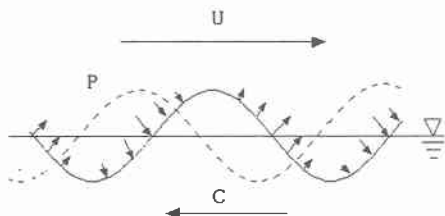


図-3 圧力分布

3.3 静圧変動の強度と位相差

図-4は実験結果を(1)式と比較したものである。実験では、うねりによって閉鎖された風路内の断面積が圧縮・膨張し、圧力が強く現れるため、ベンチュリ管と同様な理論で圧力に補正を行うと、

(1)式の左辺は、 $P_s/(1+kh)$ となる。実験から得られた遮蔽係数 s は、造波周期 $T=0.8$ sのデータでは、Jeffreysが推定値した0.27に近い値を示す結果となっているが、造波周期 $T=1.0$ と 1.2 sのデータでは、Jeffreysの推定値の約2倍高い値を示す結果となっている。何故、うねりの周期によって遮蔽係数 s に差が生じるのか、現在の所、不明である。図-5はうねりと静圧変動の間の位相差を表したグラフである。Phase(deg.)は、計測した $T=0.8\sim 1.2$ sの範囲では $80^\circ\sim 110^\circ$ の位相差があり、うねり

の周期と共に増加傾向にある。しかし、 $T=0.8$ sのデータで $U=10$ m/sの場合はこの傾向から外れている。その理由としては、計測点でうねりの振幅が弱く、データの信頼度に問題があると考えられる。

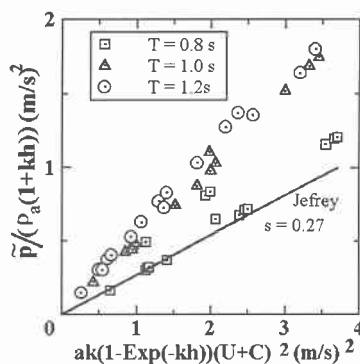


図-4 静圧変動の強度

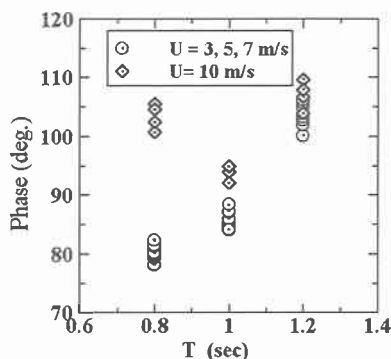


図-5 静圧変動とうねりの間の位相差

4. 結論

実験により、うねりの進行方向に逆風が存在する場合、風の静圧変動と水位変動の位相差がほぼ 90° となることが確認され、静圧変動がJeffreysによって提案された(1)式に従い、風圧がうねりを効果的に減衰させる働きを持つことが実証された。

また、Turuya³⁾は大型の実験水槽を用いた測定結果、うねりの減衰は静圧変動による効果が支配的で全体の約90%であることを見出しており、本実験結果はそれを支持する結果となった。

5. 参考文献

- 1) 宇野木早苗(1993)沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会: pp198-208.
- 2) 井島武士(1970): 海岸工学, 朝倉書店: pp197-204.
- 3) 光易恒(1994): 海洋波の物理: pp43-68.