

不規則波浪の伝播特性に関する研究

京都大学工学部 正員 岩垣雄一 鳥取大学工学部 正員 木村 晃
 建設省 正員 上総周平 京都大学大学院 田中 剛

1. はじめに 従来、不規則波浪は無限に多くの規則波の重なりあ、たものと考えられ、処理・解析もこの仮定に基づいて行われてきた。ところが最近、この基本的概念に基づいて不規則波浪の伝播特性を検討した二、三の研究が報告され、次のような点が明らかになった。i) スペクトルのピーク周波数付近では、上述の仮定に基づく成分波の波数と周波数は線形の分散関係をはば満足する。ii) それより高周波域の成分波は、分散関係式とかなり大きな差異が見られる。iii) 二点間の距離が増大すると、その相互のコヒーレンスの値が徐々に低下している。そこで、本研究はこれらの傾向を詳細に検討し、従来の概念では説明しにくい現象を解明するため、非定常スペクトル解析の手法を用いて不規則波浪の伝播特性を調べたものである。

2. 成分波の伝播特性 実験は、長さ27m幅50cm深さ75cmの両面ガラス張り水槽を用いて行った。不規則波浪はシミュレーションシステムを利用してPierson-Moskowitz型のスペクトルをシミュレートした。波高計は、ピーク周波数 $f_p=0.7\text{Hz}$ では1m間隔に、 $f_p=1.0\text{Hz}$ では0.75m間隔に、それぞれ12台設置した。図-1は、比較的コヒーレンスの変化の少ない成分波について、その波長 L_n が線形の分散関係式から求めた波長と等しいと仮定して、各波高計の間隔 l との比 l/L_n をとり、コヒーレンスとの関係を示したものである。図から、波高計間隔の増大とともにコヒーレンスの値がほぼ直線的に減少し、各成分波とも二波長ほど離れた二点間のコヒーレンスは0.8程度まで下がっていることがわかる。図-2は、同一点で測定した水位記録をもとに、時間差をつけて相互のコヒーレンスを求めたものである。図より、周波数による差は顕著でなく、いずれも15秒前後で0.2以下までコヒーレンスは減少していることがわかる。このようなコヒーレンスの低下の原因としては、方向分散性および非線形性の影響を考えなくてはならない。しかしながら、解析に用いた波は実験水槽中で機械的に発生させたものであり、方向分散は無視できる。また、図-2の解析ではある一点でのデータを用いており、水位記録に自由波と非線形特性による拘束波とが共存している場合でも、各成分波の位相が時間的に

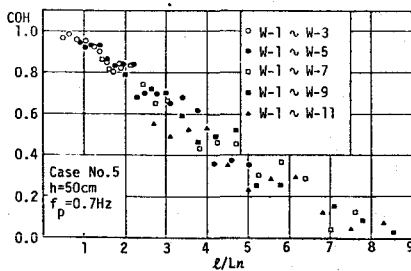
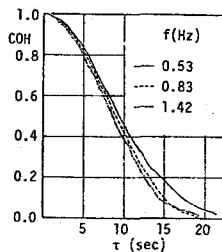
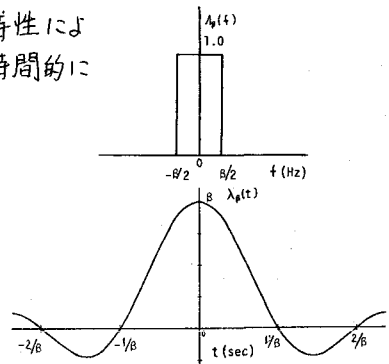
図-1 l/L_n とコヒーレンスの関係図-2 τ によるコヒーレンスの変化

図-3 矩形ウィンドー関数

不連続でなければ、time lag でによらずコヒーレンスは1となるはずである。

3. 非定常スペクトル解析 非定常スペクトルの定義には種々あるが、本研究では不規則波浪の比較的短い時間の伝播特性の検討に適すると思われる次式のMarkによる物理スペクトルを用いて解析を行った。

$$S(f, t) = \langle | \int_{-\infty}^{\infty} w(t-u) x(u) e^{-i2\pi f u} du |^2 \rangle / \int_{-\infty}^{\infty} [w(u)]^2 du$$

ここに、 $w(u)$ はウィンドー関数であり、本研究では図-3に示す矩形ウィンドー関数を用いた。また、10秒前後の不規則波浪の伝播の様子を調べることを目的としているので、ウィンドーのパラメータ β は0.2 Hzとした。図-4は、物理スペクトルの等エネルギー線を時間-周波数平面で描いたものである。各波高計位置によって等エネルギー線の形状、ピーク値等の若干の差異は見られるが、比較的大きなエネルギー密度の山の形状はよく保たれて伝播してゆく様子がわかる。図-5は、比較的大きなピークの各波高計での出現時刻をプロットしたものである。図中の実線は、ピークの周波数をもとに微小振幅波理論から算定した波速の伝播距離と時間の関係を示すものであり、破線は群速度のそれを示すものである。プロットした点に若干のばらつきはあるが、波速よりも群速度との対応の方が良いように思われる。

4. 波群モデル 以上の解析より、不規則波浪の伝播は、成分波が個々の特性で進行してゆくと考えられる。成分波が個々の特性で進行してゆくと考える線形重ね合わせ理論よりも、次の波群のモデルの方が種類の現象をよく説明できると思われる。すなわち、周期のよく似た数波の波が一つの群をなし、その群が周期に応じた群速度で伝播し、前後の波群に相関はないというものである。したがって、図-1のコヒーレンスの低下現象は、 L の長さが平均的な波群の長さ以内であればコヒーレンスは1に近い値をとり、 L が大きくなり波群の長さを越えると相互の波群に位相の連続性がないため、コヒーレンスは徐々に低下してゆくためと考えられる。

また、図-2の現象は、time lag で、波群がその波高計を通過するに要する時間内であれば、コヒーレンスは比較的1に近い値を示すが、 τ がそれより大きくなると、やはり前後の波群に位相の連続性がないためコヒーレンスは次第に小さくなり、 τ がゆくとめと考えられる。本研究は、非定常スペクトル解析の手法を用いて不規則波浪の伝播特性を検討したものであるが、その定義法等に任意性がありやや問題がある。今後、いっそうの研究が必要であろう。

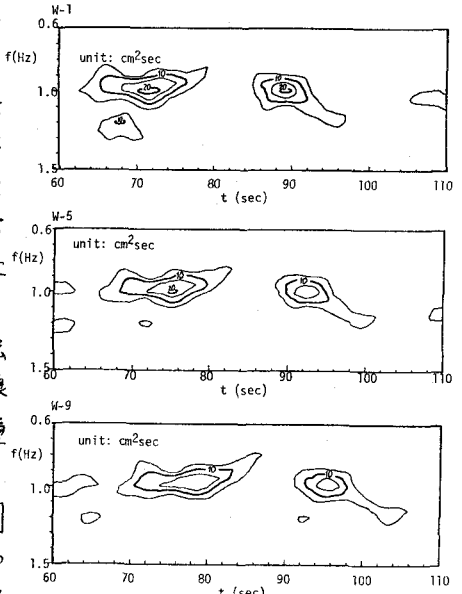


図-4 物理スペクトルの等エネルギー線 ($\Delta p = 1.0 \text{ Hz}$)

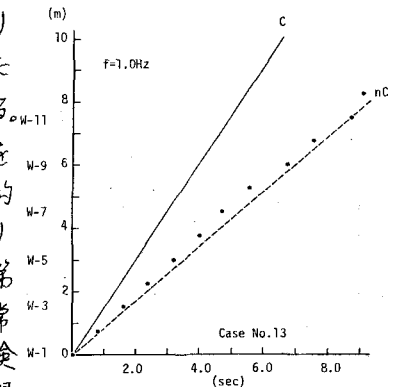


図-5 物理スペクトルにおけるエネルギーピークの伝播