

浅海における波群とソリトンモードの関係

岐阜大学 正員 篠田成郎・安田孝志 学生員 ○川口智也・石原貴司

1. 緒言 海の波は力学に基づいた自然現象であるため、力学理論を用いてその巨視的特性を評価することができる。本研究では、海岸波浪を不規則ソリトン列として表示することにより、波浪の巨視的特性として最近問題になってきている時系列特性の空間的变化を数値シミュレーションを用いて検討すると同時に、ソリトン列としての初期状態と波群性との関係を明らかにする。なお、不規則ソリトン列の初期状態は、本来ならば力学理論に基づき厳密に定義されるべきであるが、ここでは時系列特性の空間的变化を検討するのが目的であるため、ソリトン列と見なし得る最も沖側の地点における波浪をその初期状態と考えることにする。

2. 不規則ソリトン列の伝播に関する計算機実験 上述の研究目的を達成するには、初期状態において様々な巨視的特性を持つ理想化された不規則ソリトン列の伝播過程を巨視的に検討することが必要となる。ところが、このような観測記録を得ることは困難であるため、ここでは、初期状態において任意の巨視的特性を有する不規則ソリトン列を自己同帰モデル¹⁾に基づいたモンテカルロ法を用いて生成し、これを数値的に伝播²⁾させることにする。表-1は、計算機実験の条件を示したものであり、ケース番号の整数部分上位および下位2桁は、それぞれ期待されるソリトンの振幅の平均および隣り合うソリトンの振幅相互の相関係数 γ の小数2桁分を表す(例えば、 $\mu_n=0.14$, $\gamma=0.20$ の場合はR1420となる)。また、表中 μ_n および γ の欄は、ソリトン列生成シミュレーションによって得られた結果を示す。なお、シミュレーションの対象としたソリトン数はいずれの場合も1000であり、ソリトンの振幅分布としてはRayleigh分布を与えた。さらに全ケースに対して、ソリトンの振幅と間隔の相関係数、間隔の平均および分散の期待値は、それぞれ0.6, 10.0および36.0とした。図-1は、生成シミュレーションにおいて期待されたソリトンの振幅の分布とその結果得られたものの比較を示しており、ほぼ期待通りのRayleigh分布となっていることが確認できる。

表-1 計算機実験の条件

Case No.	μ_n	γ
R1410	0.1396	0.1184
R1420	0.1398	0.2168
R1430	0.1407	0.3131
R1440	0.1414	0.4072
R1450	0.1418	0.5083
R1460	0.1429	0.6036
R1470	0.1441	0.7016
R1480	0.1439	0.8033
R1490	0.1425	0.8958
R0250	0.0202	0.5089
R0450	0.0405	0.5081
R0650	0.0607	0.5081
R0850	0.0809	0.5081
R1050	0.1011	0.5081
R1250	0.1214	0.5082
R1650	0.1618	0.5084
R1850	0.1821	0.5084
R2050	0.2023	0.5084
R2250	0.2225	0.5083
R2450	0.2428	0.5083
R2650	0.2630	0.5083
R2850	0.2832	0.5081
R3050	0.3034	0.5081

3. 波群統計量の空間的变化特性 不規則ソリトン列に関する時系列特性は、隣り合うソリトンの振幅相互の相関係数 γ (以下、簡単に相関係数 γ と呼ぶ)によって表される。そこでここでは、この相関係数 γ を波浪の波群統計量と考え、その空間的变化を検討する。

図-2は、前述のモンテカルロ法において与える擬似乱数の系列を5通りに変えてソリトンの伝播シミュレーションを行って得られた相関係数 γ の空間的变化を比較したものであり、横軸Xは無次元伝播距離を表すこれより、初期位置 $X=0$ における相関係数 $\gamma|_{X=0}$ が若干異なるために、空間的变化は上下にずれているものの、その低下傾向は全体的にほとんど同じであり、波群統計量としての γ の空間的变化特性は微視的な意味でのソリトンの時系列には依存しないことがわかる。ただし、ここでの伝播シミュレーションは不規則ソリトン列に関して閉じた系²⁾の下で行われているために、1000個のソリトン列の両端部における影響がXの増大に伴い顕著となり、 $X>200$ において統計量としての変動が現れている。したがって、現実の波浪のような開放系を扱おうとするならば、無次元伝播距離Xが0から150程度までの領域における相関係数 γ の

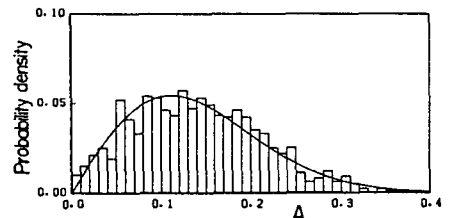


図-1 ソリトンの振幅分布に関する期待値とシミュレーション結果との比較 (Case No. R1450)

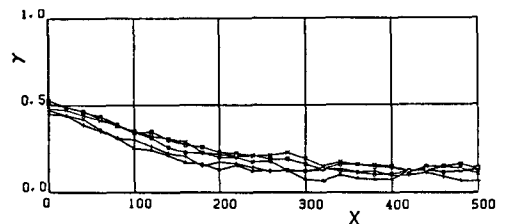


図-2 時系列データ(乱数列)の相連による相関係数 γ の空間的变化の比較 (Case No. R1450)

低下を検討するべきであろう。図-3は、初期位置における相関係数 $\gamma|_{x=0}$ の相異による相関係数 γ の空間的変化を比較したものである。これより、 $\gamma|_{x=0}$ の値によってその低下傾向が異なり、特に $X < 150$ の範囲では、 $\gamma|_{x=0}$ の値が小さいほど低下傾向が強くなるのがわかる。図-4は、閉じた系の影響を除外してこの点をより詳細に検討するために、図-3における $\gamma|_{x=0}=0.6, 0.4$ および 0.2 の折れ線を右に平行移動し、 $\gamma|_{x=0}=0.8, 0.6$ および 0.4 にそれぞれ接続して示したものであり、実線は変化の全体的傾向を示すものである。逆に言えば、図-4の曲線の一部を抜き出して描けば、図-3が得られることになる。これより、図-3と同様な結果が得られるのは勿論のことであるが、相関係数 γ の低下傾向は空間軸 X に関する変化率として表示可能であると判断できる。このため以下では、 $-d\gamma/dX$ を時系列特性の空間的変化を表すパラメータと考えることにする。

4. ソリトン列の初期状態と波群の崩壊 まず、相関係数 γ の空間的変化率 $-d\gamma/dX$ が近似的に $-\Delta\gamma/\Delta X$ で表されるものと仮定する。ただし、 ΔX の大きさは

γ の差分値 $-\Delta\gamma/\Delta X$ が図-4に示した曲線の接線と一致するように決めることとし、若干の検討の結果、ほぼ $\Delta X=40$ とすれば良いことが判明した。図-5は、このようにして定義された $-\Delta\gamma/\Delta X$ と初期位置における相関係数 $\gamma|_{x=0}$ との関係を示したものであり、図中の曲線は全体的傾向を示す。これより、初期位置における相関が高い程、波群統計量としての相関係数 γ の空間的変化は小さいことがわかる。すなわち、波浪がソリトン化して互いに独立に伝播していても、初期状態における不規則ソリトン列に強い見かけ上の波群性³⁾としての時系列特性が存在していたならば、その特性は空間的にほとんど変化しないと考えられる。このような傾向は現地波浪においても見られ³⁾、この結果はかなりの普遍性を有するものと思われる。さらに、図中の曲線を直線で近似できるものとすれば、 X の関数としての相関係数 γ の空間的変化率は次式で与えられることになる。

$$-d\gamma/dX \cong -\Delta\gamma/\Delta X = k(\gamma - 1) \quad (1)$$

ここに、 k ；負の比例定数である。式(1)を境界条件 $\gamma|_{x=0} = \gamma_0$ (γ_0 ；初期状態における相関係数であり、 $\gamma_0 < 1$)の下で解けば次式が得られる。

$$\gamma(X) = (1 - \gamma_0) \exp(kX) + 1 \quad (2)$$

なお、図-5において $\gamma|_{x=0}=0.1$ における $-\Delta\gamma/\Delta X$ が小さな値となっているのは、相関のないソリトン列を伝播させても相関はゼロのままであるためと考えられる。また、この傾向は図-3および4にも見られる。

5. 結 語 以上、不規則ソリトン列の伝播に関する計算機実験を行い、見かけ上の波群としての時系列特性の空間的変化特性が初期状態におけるソリトン列の統計量によって一意的に決定されることを明らかにした。今後は、水理実験および現地観測記録を用いて、本研究の適用性を検討していくつもりである。

（参考文献）

- 1) 篠田・安田・川口・石原：浅海における不規則ソリトン波列の時系列モデルに関する研究，昭62年度土木学会中部支部講演概要集，1988。
- 2) 土屋・安田・篠田：ソリトンモードに基づく不規則波浪の統計量の保存性，第31回海講論文集，1984，PP.178-182。
- 3) 篠田・安田・川口・土屋：海岸波浪の時系列特性とソリトンモード，第34回海講論文集，1987，PP.141-145。

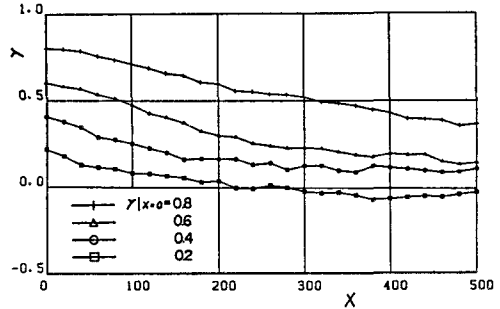


図-3 初期地点における相関係数 $\gamma|_{x=0}$ の相異による相関係数 γ の空間的変化の比較

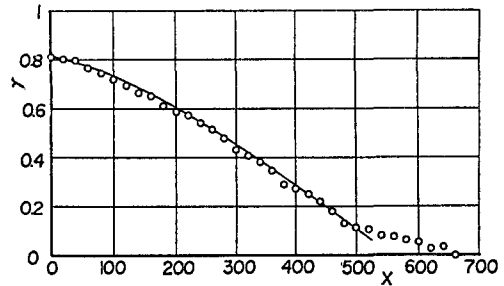


図-4 相関係数 γ の空間的変化

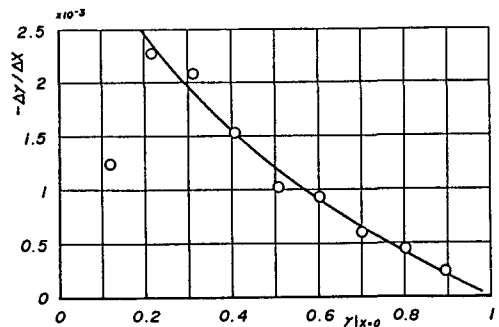


図-5 相関係数 γ の空間的変化率 $-\Delta\gamma/\Delta X$ と初期地点における相関係数 $\gamma|_{x=0}$ との関係