

京都大学大学院 学生員 篠田成郎
 京都大学防災研究所 正員 土屋義人
 岐阜大学工学部 正員 安田孝志

1. 緒言 海の波には様々な外的要因が外力として作用しており、それらすべての要因を力学的に確定した現象として評価することは不可能に近い。このため、海の波を不規則波として取扱う場合には、力学理論によって波の素励起を定義し、これに対して確率の概念を導入するのがよいと思われる。すなわち、海の波の素励起に基づき、現在得られている知識あるいは情報を適切に評価することのできる確率モデルを用い、海の波の表示を行うことが必要になる。そこで本研究では、非線形不規則波浪の素励起に関する確率モデルを提案し、これによってうねり性の海岸波浪の特性が予測可能となることを示唆する。

2. 確率モデルの概念 海岸波浪を無数のソリトンの連なりと見る場合、その状態は各ソリトンの固有値および位相によって確定できる。しかしながら、深海域から浅海域へのモードの遷移機構が未解明であることに加え、ソリトンモードの励起が偶然外力下で行われることから、その初期状態を決定する固有値と位相を力学的に定めることが困難となる。このようにソリトン群として波浪が形成されていると考える以上、個々のソリトンは独立な粒子として伝播するはずであるが、現実の波浪には波群が存在することが確かめられている。つまり、ソリトン群の初期状態において波群束縛は力学的に存在し得ないが、ソリトン構造を形成するに至る過程において波浪はいくつかの波群束縛を履歴として持っており、その影響を無視することは波群の存在を無視することになってしまう。そこでここでは、ソリトン群が本来有する粒子性と現地波浪において存在の認められている波群性という相反する2つの性質について、次のように考えることとする。波群構造は搬送波に対する束縛によって形成されるものであり、搬送波がソリトン化し独立粒子として伝播するようになれば、当然崩壊して行くものと思われる。したがって、ソリトン構造を持つうねりにみられる波群は包絡ソリトンの残影に過ぎず、非線形性と伝播距離の増大に伴ってソリトン構造の粒子性が顕在化していくものと考えられる。以上の観点より、ソリトン群の初期状態を表示する確率モデルは、固有値と位相に対してソリトン群の粒子性と波浪の持つ過去の波群束縛の影響を取込んだ扱いとして考えられることになる。

3. 確率変数ベクトルの分布 ソリトン群の配列を考慮して海岸波浪を表示するために、次式で定義される確率過程を考える。

$$\mathbf{u}_{j+1} = \mathbf{r}_j - \mathbf{u}_j, \quad \mathbf{u}_j = (a_j, \varepsilon_j), \quad \mathbf{r}_j = (X_j, Y_j), \quad j=1, \dots, N-1 \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{u}$ および $\mathbf{r}$ は、図-1に示すように規準化された固有値 a および確率誤差項 $\varepsilon (= \tau - a, \tau$: 規準化されたソリトン間隔) によって作られる $a - \varepsilon$ 確率変数平面上における確率変数ベクトルであり、また N : ソリトンの個数である。式(1)の確率モデルは、ソリトン群の配列を規定する確率変数ベクトルが確率変数ベクトル $\mathbf{r}$ の関数として表されており、各ソリ

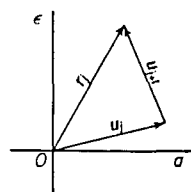


図-1 $a - \varepsilon$ 確率変数平面と確率変数ベクトルの定義

トンがこの確率過程の結果として生起することを意味している。これより、確率変数ベクトル $\mathbf{r}$ の確率分布を求めることによって、固有値および間隔の時系列特性まで評価することが可能となろう。ただし、間隔に関しては、その時系列特性を考える意味が不明であり、さらに現地波浪においても顕著な時系列特性が見られないことより、以下では、固有値の時系列特性を評価するにとどめる。また、 a と ε が独立であるとした場合には、確率変数 X と Y も統計的に独立となり、 $\mathbf{r}$ の確率密度関数は次式で求められることになる。

$$f(\mathbf{r}) = f(X, Y) = f_X(X) f_Y(Y) \quad (2)$$

ここに、 $f_X(X)$ および $f_Y(Y)$ はそれぞれ確率変数 X および Y の確率密度関数である。すなわち、これらを求めることによって、式(2)は具体的に決定される。確率変数 a および ε の確率密度関数は、それぞれ次式で

表される¹⁾

$$f_A(a) = \sum_k p(k) \delta(a - \alpha_k),$$

$$f_E(\varepsilon) = \{4\pi(1-\rho)\}^{-\frac{1}{2}} \exp\{-\varepsilon^2/4(1-\rho)\} \quad (3)$$

ここに、 $p(k)$ ；ソリトンの固有値分布、 α_k ； $p(k)$ の k 番目の階級値および ρ ；固有値と間隔の相関係数である。固有値の連特性に対応した隣り合うソリトンの固有値相互の相関関係を考慮して式(3)の特性関数を用いれば、 X および Y の確率密度関数が得られる。

$$f_X(X) = (4\pi\gamma)^{-\frac{1}{2}} \sum_{k_1} \sum_{k_2} p(k_1)p(k_2) \exp\{-(X - \alpha_{k_1} - \alpha_{k_2})^2/4\gamma\} \quad (4)$$

$$f_Y(Y) = \{8\pi(1-\rho)\}^{-\frac{1}{2}} \exp\{-Y^2/8(1-\rho)\} \quad (5)$$

ここに、 γ ；隣り合う固有値の相関係数であり、 $\gamma \rightarrow 0$ の場合、式(4)は次式となる。

$$f_X(X) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} p(k_1)p(k_2) \delta(X - \alpha_{k_1} - \alpha_{k_2}) \quad (6)$$

また、式(3)の第2式は平均値0および分散 $2(1-\rho)$ の正規分布を表すので、確率変数 Y は、正規分布をなす2つの確率変数の和として式(5)の平均値0および分散 $4(1-\rho)$ の正規分布に従うことになる。

図-2は、京都大学防災研究所附属大渦波浪観測所およびコストリカのカルデラ港において得られたうねり性の現地波浪（以下、これらをそれぞれOG72およびCR22として表す²⁾）に対して、式(4)の適用性を検討したものである。固有値相互の相関係数の大小にかかわらず、標本分布と理論分布の対応は良好であり、式(1)に基づく確率モデルの妥当性が検証される。

図-3は、確率変数 Y の現地波浪に関する標本分布と式(5)で表される理論分布とを比較したものである。CR22において、両者の間にわずかな相違が見られるものの全体的にはほぼ一致しており、ここでは、確率変数 Y は正規分布に従うと判断する。

4. 結 語 以上、海岸波浪を特色づけているものはその非線形性と不規則性であると考え、波群が存在する場合を考慮したソリトン群の確率モデルを提案し、これによって海岸波浪を表示することができることを示した。また、前述の表示からも明らかなように、このモデルを海岸波浪のシミュレーションに適用することも可能であり、今後、現地波浪のソリトン表示を確立するに当り有用となろう。

最後に、コストリカの観測資料は、運輸省港湾技術研究所合田良実次長からお貸りしたものであり、ここに記して深謝の意を表わす。

<参考文献>

- 1) 土屋・安田・篠田：ソリトンスペクトル理論による海岸波浪の統計的特性，第30回海講論文集，pp.69-73,1983。
- 2) 土屋・安田・篠田：うねりのソリトンモードと波群構造，第31回海講論文集，pp.188-192,1984。

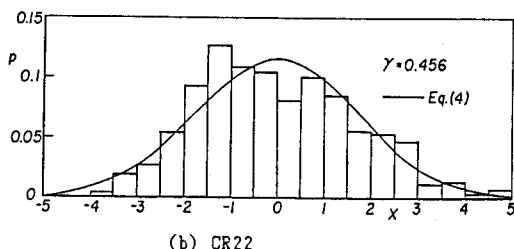
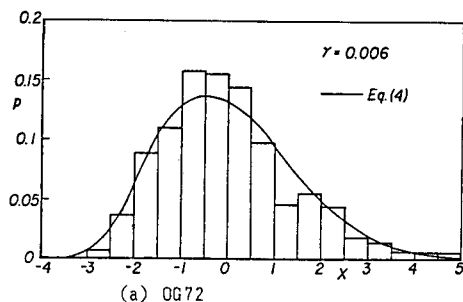


図-2 確率変数 X の標本分布と理論分布の比較

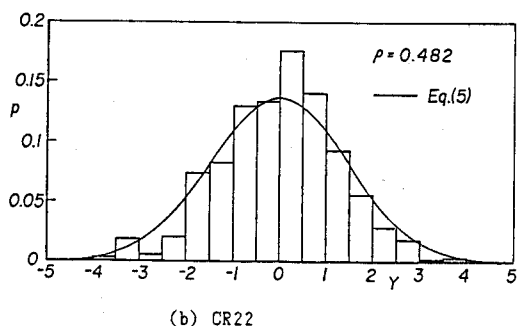
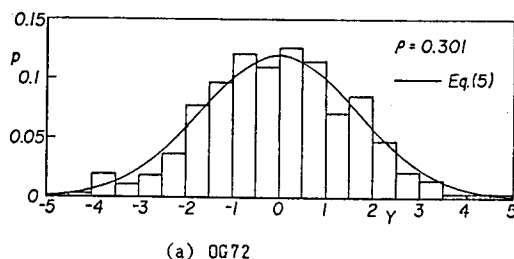


図-3 確率変数 Y の標本分布と理論分布の比較