

海岸波浪の基準モードとソリトンモード表示の適用性について

岐阜大学 正員 篠田成郎・安田孝志 学生員 ○野村達哉・石原貴司

1. 緒言 著者らはこれまで、浅海におけるうねり性波浪に対してソリトンモード表示を適用することにより海岸波浪の力学的および統計的特性の評価を試みてきたが、その適用限界についての検討は主に波形に対するものであり、波速の評価に関しては不明な点が若干残されている。そこで本研究では、海岸波浪の支配方程式をK-d V方程式とする立場から、その数値シミュレーションを通じて、このような問題の一つである波の伝播速度に及ぼす波峰間の相互干渉の影響を検討し、ソリトンモード表示の適用性を明らかにする。

2. 現地波浪の伝播シミュレーション 図-1は現地波浪(文献¹⁾のデータ番号TP20, P4)の観測波形を初期波形として、一様水深場をK-d V方程式に基づき数値的に伝播させた時の各波峰位置の空間的变化曲線(軌道曲線)と無次元伝播距離 ξ における伝播波形とを示したものであり、横軸は無次元時間である。また、図-2は、図-1の結果より得られる各波峰の峰高 $\tilde{A}$ と伝播速度 c との関係を示したものである。このときの初期波形としての観測波形がソリトン化しているならば、その振幅 A と波速 c との間には次の関係が成り立つ。

$$c = 1 + A/2 - (3/2)\eta_0.$$

ここに、 η_0 は波谷面の高さを表す。図-2における峰高 $\tilde{A}$ は、 $A - \eta_0$ と考えられるので、式(1)より、

$$c = \tilde{A}/2 - (1 - \eta_0)$$

の関係がソリトン列に対しては成立するはずである。図中の直線は、 c に対する $\tilde{A}$ の傾きを1/2としたときの回帰分析から得られる式(2)を示している。この結果から、K-d V方程式を支配方程式としているにも拘らず、必ずしも式(1)は満足されておらず、このときの波浪がソリトン列として伝播しているのかは明らかではない。そこで以下では、このような相連の生じる原因について検討を行なう。

3. K-d V方程式に支配される波浪の伝播特性 ここでは、K-d V方程式に基づく波浪の伝播シミュレーションを行なうことにより、波浪の伝播特性に及ぼす波峰間の相互干渉の影響に関して検討を行なう。なお、シミュレーションでは、前述の現地波浪との対応から、sin型の下非対称な包絡波形を伴うソリトン型波列を初期波として与えた。表-1は、そのCase番号とソリトン型波列の振幅の平均値(括弧内)を示す。図-3は、これらのシミュレーション結果の例を示したものである。前述の図-1では、各波の軌道曲線ほぼ平行になっており、各波峰がソリトン的に独立に伝播しているか否かの区別を付け難いが、図-3のCase020においても同様な傾向が見られる。一方、Case215では、軌

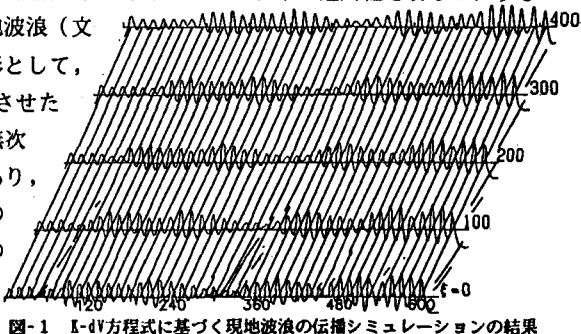


図-1 K-d V方程式に基づく現地波浪の伝播シミュレーションの結果

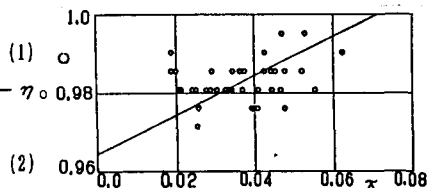


図-2 シミュレーションによる個々波の伝播速度と峰高との関係

表-1 計算機実験の条件とケース番号

包絡波形 の振幅	平均波峰間隔		
	10.14	15.14	20.14
0.05		(0.0346)	(0.029)
0.10	(0.0888)	(0.0891)	(0.0892)
0.20	(0.1377)	(0.1382)	(0.1385)
0.30	(0.2065)	(0.2074)	
0.40	(0.2753)		

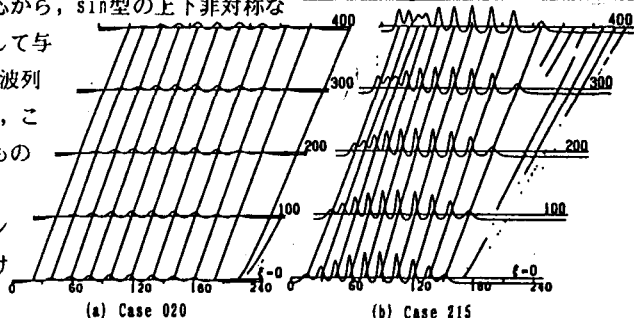


図-3 K-d V方程式に基づく計算機実験の結果

道曲線は平行にはならず、各波峰がソリトンの挙動を示しているように見える。図-4は、図-3の結果より得られる伝播速度 $\hat{c}$ と初期波としてのソリトンの振幅 A との関係を示したものであり、図中の直線は回帰直線である。図-3から予測できるように、Case215では式(1)による波速の表示がほぼ妥当であるのに対し、Case020では若干のばらつきを伴っている。図-5は、Ursell数 Ur と次式で定義した波速の表示誤差 ε との関係を示したものである。

$$\varepsilon = (c - \hat{c}) / c = \Delta c / (\Delta c + \xi) \quad (3)$$

ここに、 Δ は空間 ξ だけ $\hat{c}$ で伝播したときに生じる無次元時間軸上の波峰位置のずれを表わし、図中には、 $\xi=50$ 、 $\Delta < 1$ のときの許容誤差の曲線を実線で示してある。また、○、□および△印はそれぞれソリトン間隔 d が10.14、15.14および20.14のときのCaseを表わし、×印は前述の現地波浪とほぼ同一の統計的特性を有する単一波群を伴うソリトン型波列を初期波形として与えたときの結果である。なお、このシミュレーションでは、与えたはずの波峰が伝播過程においてその次の波峰に隠れてしまい、伝播速度を算出できないCaseが存在したため、図-5では、そうしたCaseに上向きの矢印を付けて区別をしている。こうした矢印付きのCaseでは、ソリトン間の相互干渉に伴うphase shift²⁾により、実際には式(1)とはかなり異なる速度で伝播していることが考えられるが、この点を考慮すれば、全体的に破線の曲線で示す傾向が存在することがわかる。すなわち、この図より、 $Ur > 15$ の非線形性の強い波では式(1)による波速の表示誤差はほとんど無視できる程度であるが、 $Ur < 10$ になるとその表示精度が飛躍的に悪くなる

ことがわかる。図-6は、2つのソリトン間の接近限界間隔³⁾ D でソリトン間隔 d を規準化したものの平均 d/D と式(3)の波速の表示誤差 ε との関係を示したものであり、図中の記号は図-5と同様である。 D は

$$D = -(B_1 + B_2) / (2 B_1 B_2) \ln |(B_1 - B_2) / (B_1 + B_2)|^2, B_i = \sqrt{3 A_i} \quad (4)$$

で定義され、 A_1 と A_2 は隣り合うソリトンの振幅を表わす。理論的には、ソリトン間隔 d が接近限界 D よりも小さくなるとソリトン間にphase shiftが生じ、式(1)の波速の表示は成り立たなくなる。この図からもわかるように、表示誤差 ε が飛躍的に増大するCaseは、波浪の全体にわたり $d > D$ の条件が満足されていない場合に相当しており、こうした波浪に対しては、波速に関する漸近ソリトン解表示の適用性が低下すると判断できる。なお、前述の現地波浪のUrsell数が8.39であったことから考えると、図-3におけるずれはこうした相互干渉に起因していたと思われる。

4. 結 語 以上、ソリトン間の相互干渉が漸近ソリトン解表示に及ぼす影響を $K-d$ 方程式に基づき検討し、ソリトン間隔がその接近限界よりも小さい場合には波速の表示精度が大きく低下することを示すと同時に、このような場合となるのが $Ur < 10$ の非線形性の比較的弱い波であることを明らかにした。

<参考文献>

- 1) 篠田・安田・川口・石原・土屋, 第35回海講論文集, pp103-107, 1988.
- 2) 土屋・安田・篠田, 第31回海講論文集, pp. 178-182, 1984.
- 3) 安田・上田, 土木学会中部支部講演概要集, 1985.

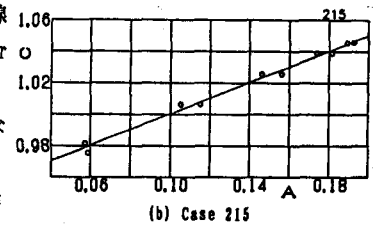
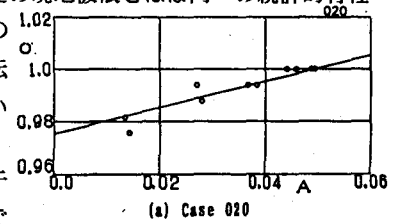


図-4 シミュレーションによる個々波の伝播速度と振幅との関係

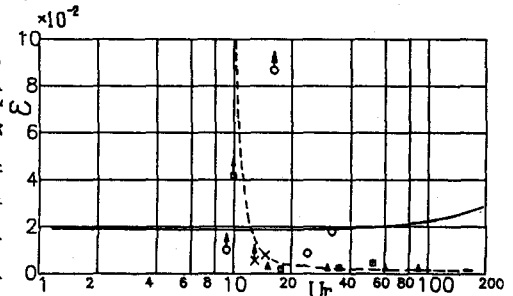


図-5 波浪のUrsell数と波速の表示誤差との関係

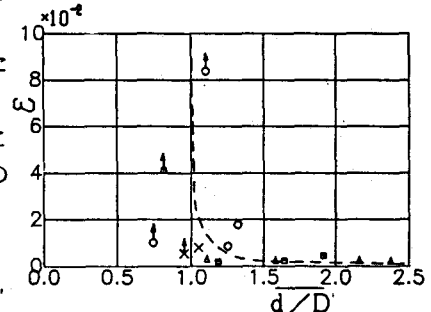


図-6 規準化された波峰間隔と波速の表示誤差との関係