

不規則波浪の非線形浅水変形の予測に関する研究

京都大学工学部 正会員 ○ 間 瀬 肇
JR西日本 栗 林 賢一

1. はじめに

本研究は、任意海底地形に対する KdV 方程式を用いて、不規則波浪の浅水変形に伴うスペクトル変化を求める予測式を導きその妥当性を検討するものである。

2. 予測モデル

任意海底地形に対する KdV 方程式は次式で表される。

$$\zeta_t + c\zeta_x + \frac{ch}{4h}\zeta + \frac{3c}{2h}\zeta\zeta_x - \frac{h^2}{6c^2}\zeta_{xxx} = 0, \dots\dots\dots (1)$$

波は基本周波数 ω_1 に対して周期的であると仮定し、その調和成分の重ね合わせとして、次のように Fourier 級数表示する。

$$\zeta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} A_n e^{i(k_n x - \omega_n t)} + c.c. \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ω_n は $n\omega_1$, k_n は波数で $\omega_n^2 = g k_n^2 h$ の分散関係を満たす。したがって、波数の基本成分を k_1 とすると k_n は $n k_1$ で与えられる。複素振幅 A_n は水深 h の変化と同程度にゆっくり変化するものとし、式 (2) を式 (1) に代入して整理すると次式を得る。

$$A_{nx} + \frac{h_x}{4h} A_n - i n^3 k_1 \frac{(k_1 h)^2}{6} A_n + \frac{3 i n k_1}{8h} \left[\sum_{l=1}^{n-1} A_l A_{n-l} + 2 \sum_{l=1}^{N-n} A_l A_{n+l} \right] = 0 \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) の左辺第 2 項は浅水変形、第 3 項は波の分散性、第 4 項は波の非線形干渉を表すものである。これは、Freilich and Guza (1984) によって導かれた consistent shoaling model と等価である。ただし、Freilich and Guza (1984) は複素振幅表示を用いなかったため実数の振幅と位相のそれぞれに対する mode-coupling 方程式を得たが、ここでは複素振幅に対する mode-coupling 方程式となっている。式 (3) によるスペクトルの計算結果と水理実験結果を比較した例を図-1 に示す。この図によると計算結果は、実測結果と同様、水深 15cm の地点で 2 倍調和周波数成分のエネルギーピークが現われ、水深が浅くなるにつれてピーク周波数周辺のエネルギーが減少し、高周波数成分のエネルギーが増加している様子が見られる。すなわち、各周波数成分同士の相互干渉により、エネルギーの遷移が生じる。浅水領域において計算結果は実験結果に比べてやや過大評価になっているが、これは浅水変形項が Green の法則に基づいているためである。また、より水深が浅くなると理論式には碎波によるエネルギー減衰が考慮されていないため実験結果と合わなくなる。

3. 修正予測式

2. の予測式は KdV 方程式の適用条件内（長波領域）において厳密である。予測式の適用性を広げるためには有限水深に対する波動理論に基づいてこのような mode-coupling 方程式を誘導しなければならないが、ここでは、式 (3) を修正し適用範囲を広げる。これは浅水変形項と分散項を修正するものであり、非線形項はそのままにしており波動理論に厳密に基づくものではない。その式は次のように表される。

$$A_{nx} + \frac{c_{g0x}}{2c_{g0}} A_n - i n k_1 \left(\sqrt{\frac{n k_1 h}{\tan k_1 h}} - 1 \right) A_n + \frac{3 i n k_1}{8h} \left[\sum_{l=1}^{n-1} A_l A_{n-l} + 2 \sum_{l=1}^{N-n} A_l A_{n+l} \right] = 0 \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) を用いて得られる計算結果と実験結果を比較した例を図-2 に示す。この図-2 と図-1 を比べると、修正式を用

Hajime Mase and Ken-ichi Kuribayashi

いた計算結果の方が実験結果に近づいているのがわかる。特に、高周波成分においてその影響が明らかである。実験結果と計算結果の対応は水深が 10cm まで良好であるが、実際にはこの地点は 1/10 最大波高、有義波高および平均波高が減少し始めた所でありエネルギーの減少が生じているので、実測値は計算値に比べて若干小さくはなっている。したがって、これより水深が小さくなるとエネルギー減衰項を導入する必要がある。

4. あとがき 今回は実験結果と計算結果の波形の比較は行なわなかったが、砕波によるエネルギー減衰は振幅変化のみに影響するのか、あるいは位相にも影響するのかを考慮して理論式にエネルギー減衰項の導入を試みる。

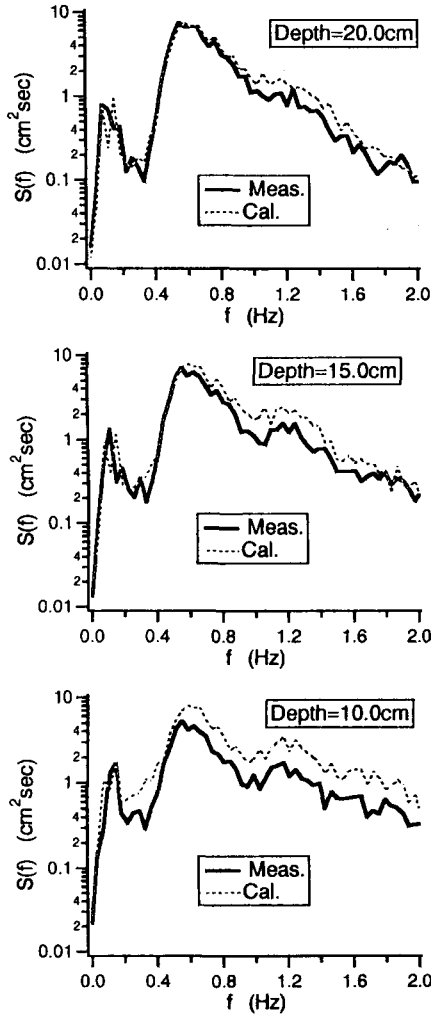


図-1 実験結果と予測モデルによる計算結果との比較

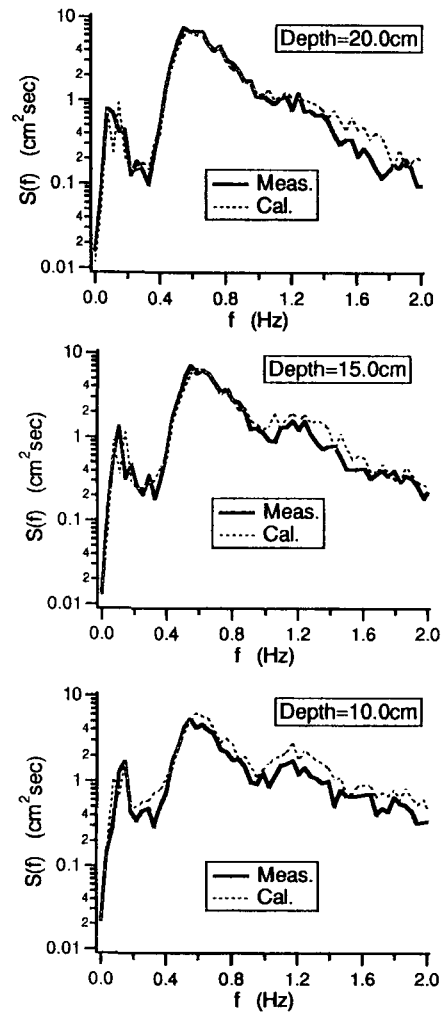


図-2 実験結果と修正予測式による計算結果との比較