

II - 9

砕波を考慮した津波数値計算モデルの検討

東北大学大学院 学生員 ○中田健嗣

東北大学大学院 正会員 今村文彦

1. はじめに

津波は長波であるため、沖で砕波することはないが、浅海域では地形条件などにより砕波現象が起こる場合もある。実際、1983 年日本海中部地震津波では、ビデオや写真で先端波形がくずれた津波の様子が記録されている。砕波が起こるとエネルギーが減衰し、陸上での遡上高さに影響されることが指摘されている。このような砕波現象を考えることは、津波数値計算で正確な遡上高さを算定する上で重要である。砕波現象は、浅海での分散効果も含めて議論する必要があるが、本研究では、このような現象の基礎検討を行うことを目的とする。

2. 実験と計算の比較検討

2.1 実験の概要

砕波の数値計算を検討するにあたって、実験値との比較をする必要がある。砕波に関する既存の実験として、原田（1998）の行った実験結果があり、これと比較する。水理実験装置を Fig.1 に示す。

実験は、ゼロアップ・ゼロダウクロス間平均 5.5 秒、最大波高平均 12.4cm の孤立波を 1 波発生させている。波は 1/5 勾配において前傾化し、分裂が始まり、高水路部において砕波に至る。これを $X=0\text{m}$ から順に 1m 間隔で計測されている。本研究では、このうち $X=0\sim 20$ 地点のデータを参照した。

2.2 計算方法

浅水理論を Staggered Leap-frog 差分法で計算する。格子間隔 0.1m、時間間隔 0.01 秒、格子数を伝播方向 200、幅方向 15 とし、拡張性を考えて 2 次元プログラムを用いて、実験水槽内での距離 20m を 1 次元伝播計算した。ここで、境界条件は $X=0$ で実験波形の水位、流量を強制入力とし、もう一方を自由透過、水路両岸を鉛直壁とした。

2.3 計算結果

幅方向の軸を J として、壁面の影響の少ない中央の $J=7$ での時間波形を採用し、水理実験との比較を行った。この結果を Fig.2 に示す。

この結果を見ると、数値計算において波先端における波形勾配の増加や、段波、海底摩擦の表現によ

る波高の減衰は現れている。しかし、予想されたとおり分散性や、 $X=7\text{m}$ 付近にかけて実験で起きたとされる砕波は表現できていない。その結果として、波高の大きな増大、減少が起きず、少しずつ減少していく。また、空間波形についても同様である。

3. 砕波地点の決定について

3.1 決定方法

砕波減衰を、まず砕波地点を知り、その先に減衰項を入れることを考える。砕波地点の与え方には、波高水深比と位相速度に対する表面水粒子速度 u_s/C （ここで、 u_s :表面水粒子速度、 C :位相速度である）の大きく 2 つがあるが、このどちらも合田（1973）の砕波指標を元にしたものがよく用いられている。前者は、沖波の条件で決められるため波が沿岸近くで複雑に変形する場合には適用できない。津波もこれと同様であると考えられるので、ここでは後者を用いる。

3.2 結果

計算で考えているのは浅水理論なので長波近似を用いているが、砕波を考えるので表面水粒子速度をよりよく表す意味で、ブーシネスク方程式の近似を考える。それぞれ、長波理論では(1)、(2)式、ブーシネスク近似度では(3)、(4)式を用いて求めることができる。これらの結果を空間波形とともに Fig.3 に示す。

$$\begin{cases} u_s = \bar{u} \\ C = \sqrt{g(h + \eta)} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} u_s = \bar{u} - \left(\frac{D^2}{2} - \frac{h^2}{6} \right) \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \\ C = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3\eta}{4h} + \frac{h^2}{6\eta} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 u_s :表面水粒子速度、 $\bar{u}$:平均断面流速、 D :全水深、 h :水深、 η :水位、 C :位相速度（波速）、 g :重力加速度である。

Fig.3 を見ると u_s/C は長波のものでは空間波形に対応した値となっており、一方ブーシネスク近似度のものは波の先端近くで値が大きくなっている。これは波が前傾化されている効果と思われる。また、

後者の結果を各時間での空間最大値を Fig.4 に示した。片山・佐藤（1993）を参考に u_b/C が 0.6~0.7 である時間を見ると、砕波はほぼ 5 秒で生じており、実験の 7 秒弱のものと一致しない。

浅水理論を用いた数値計算結果を利用して、簡易的な砕波指標の提案を試みたが、(1), (2)式を用いた場合過小評価であり、(3), (4)式を用いた場合過大評価であることが分かった。特に、(1), (2)式を用いた場合、 u_b/C が砕波地点に近づいても増加しない傾向があり、砕波地点の推定が難しいことが分かった。

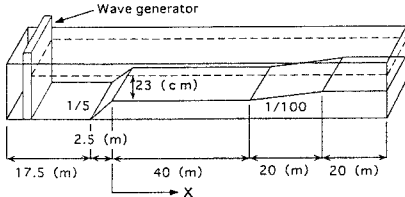


Fig.1 水理実験装置

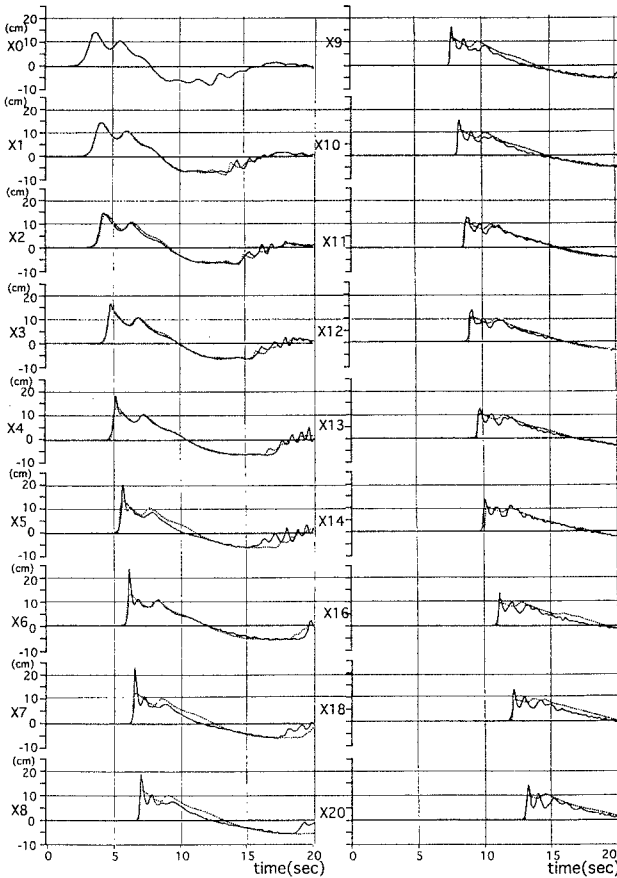


Fig.2 各地点での時間波形の比較
(実線：実験値、点線：計算値)

4. おわりに

今回、浅水理論を用いた計算での砕波指標の検討を行った。今後は、砕波減衰項の導入とブーシネスク方程式で同様の検討を行う予定である。

—参考文献—

- 1) 原田賢治（1998）：波状段波の砕波前後における水理特性に関する実験, 東北大学卒業論文, p.40.
- 2) 合田良実（1973）：防波堤の設計波圧に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第3号, pp.31-69.
- 3) 片山・佐藤（1993）：Boussinesq 方程式を用いた不規則波の浅水・砕波変形の計算法, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.16-20.

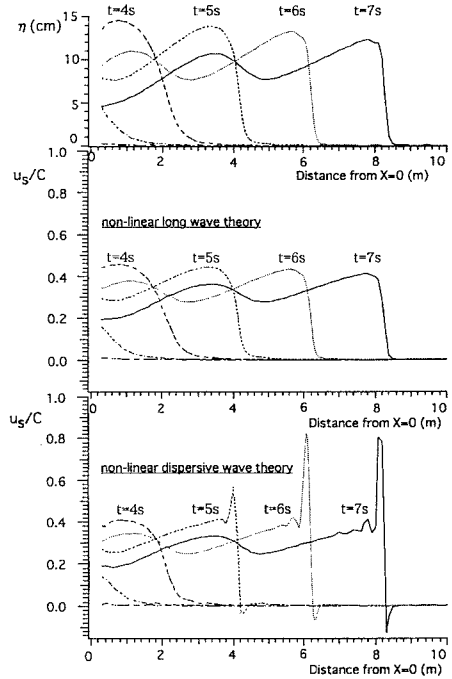


Fig.3 (左から順に) $t=2\sim7$ 秒の空間波形と u_b/C (上から水位、長波理論による u_b/C 、ブーシネスク近似による u_b/C)

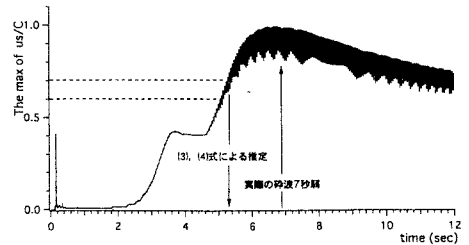


Fig.4 ブーシネスク近似による u_b/C の各時間での空間最大値