

豊橋技術科学大学 ○中野博文
 豊橋技術科学大学 吉川弘晃
 豊橋技術科学大学 正会員 青木伸一
 豊橋技術科学大学 正会員 加藤 茂

1 はじめに

我が国は、太平洋プレートとフィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートという4つのプレートが重なり合う境界に位置しているため世界有数の地震大国である。そして今後30年間に南海地震が発生する確率は40%、東南海地震（ここでは和歌山県潮岬～静岡県浜名湖付近に発生する地震のこと）が発生する確率は50%であり、地震のマグニチュードはそれぞれ8.4および8.1、同時発生では8.5と2001年に政府の地震調査委員会が予想している。

今、中央防災会議などで検討されている津波の遡上高は、線形および非線形長波理論を差分法や、有限要素法によって求められたものである。そして、これらから求められた沿岸域での津波波高に関しては約80%の精度で再現可能なことが知られている。しかし、砕波、分裂を伴う場合、従来の方法ではさまざまな問題点があると思われる。そして近年では波の分裂、砕波を考慮した非線形分散長波式を用いた研究がされている。

本研究では、遡上範囲のより細かな数値計算を行うことを目的に、砕波減衰の影響を考慮した非線形長波理論による1次元場での数値解析を行い、水路実験による結果を基に、伝播と遡上過程に関する数値計算精度の比較検討を行った。

2 支配方程式

本研究では、非線形長波理論を基に、砕波モデル¹⁾を導入した次式を支配方程式とした。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M}{D^{7/3}} |M| = \nu_b \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (2)$$

ここに x : 空間座標、 t : 時間座標、 η : 水位変動、 h : 静水深、 g : 重力加速度、 M : x 方向の線流量、 $D=h+\eta$ 、 n : マニングの粗度係数 ν_b : 砕波減衰項の渦

動粘性係数である。今回、マニングの粗度係数は0.011とした。

砕波の条件は、流速波速比 u_s/c が0.50を超えたときとし、波全体に砕波減衰をかけた。表面流速 u_s は次式で表せる。

$$u_s = \bar{u} - \frac{D^2}{3} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\bar{u} = M/D$$

ここに、 $\bar{u}$: 断面平均流速のことである。

次に、砕波減衰項の渦動粘性係数であるが次式で表される。

$$\nu_b = b\sqrt{gD\eta} \quad (4)$$

ここに、 b は定数であり、0.25とした。

また、数値解の安定はかるため、運動方程式の解法には4段4次のRunge-Kutta法を用いた。

3 実験方法

実験の造波法はタンク内を負圧にすることで水位差を作り、それを開放することで孤立波を発生させた。水路深部の水深は38cmであった。容量式波高計を汀線から1.30m (point3)、3.10m (point2)、5.10m (point1) の位置に取り付け、時間波形を計測を行った。

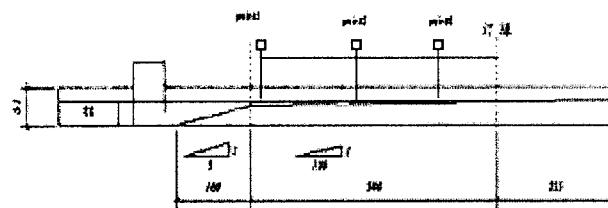


図1: 波高計位置

4 実験結果および解析結果

波の伝播および遡上に関して、表1に示す実験および計算条件（2ケース）において、実験結果と今回の数値解析モデルによる数値計算結果の比較を行った。

表 1 : 入射波条件および実験遡上高

	H0(m)	$\beta 1$	$\beta 2$	dt(s)	遡上高(m)
case1	0.0388	2.843	1.421	0.01	0.024
case2	0.0296	4.331	0.866	0.01	0.022

数値解析での入射波は point1 で採取した時間波形を入射波として取り扱う (図 2)。しかし、実験結果はきれいな孤立波とは限らず実際そのままの結果を利用して数値解析することは困難である。そのため実験波形を次式によって波の全部と後部で近似した。

$$\eta = H_0 \sec h^2 \beta t \quad (5)$$

ここに、H0:入射波高である。

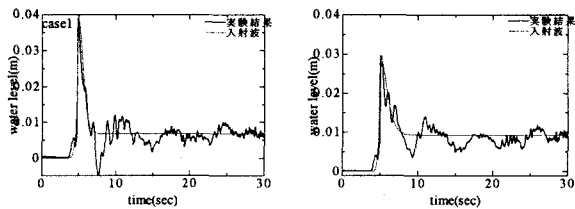


図 2 : 入射波形

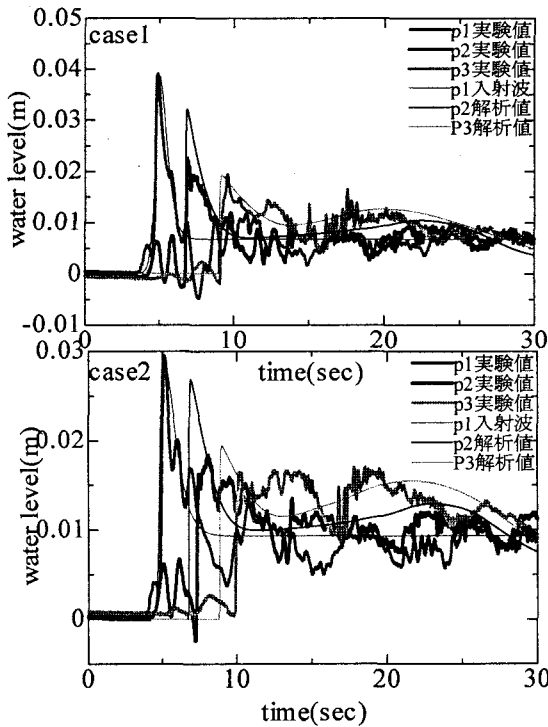


図 3 : 時間波形の比較

ここで、孤立波の後ろ側の水位が上昇しているのは、造波時に水を吸い上げていたためである。図 3 は時間波形に関する計算結果と実験結果の比較を示している。実験結果の細かな波形は再現で

きないが、case1 では平均的な水位変動の様子はかなり良く再現できていることが確認できた。

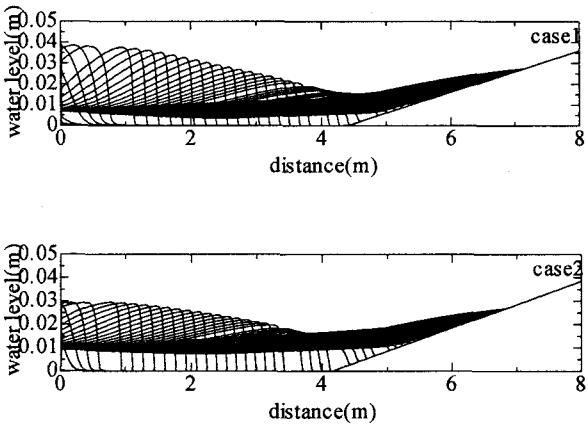


図 4 : 遡上過程

図 4 は、波の伝播の様子を 0.2 秒刻みで表示したものである。数値解析出の遡上高は静水深が 38cm での汀線位置からそれぞれ 0.021m と 0.019m であった。実験結果は 0.024m と 0.022m であり、計算結果は実験結果よりも少ないが、実験による遡上高は目視によって確認しており、また、実験水路の中央部が若干のたわんでいるため、実験結果自体にも若干の誤差が含まれている。さらに、実験による遡上高には平面的な影響が若干含まれるものと考えられ実際より大きく遡上していると思われる。

5 まとめ

今回本研究では碎波減衰を考慮した、長波の数値解析を行った。実験による結果と比較したところ、遡上高に関しては今回比較した 2 ケースとも 15% 以内の精度で表現できており十分なものであった。また、case1 においては、point2 における、最大波高に差はあるものの、大まかな波形はほぼ一致している。しかし case2 において碎波による波高減衰が十分に表現できず、波速もそれによって早くなっているためにほとんど一致しなかった。また、初期波形の設定の仕方や、入射位置での水深が少ないため波高が高いと数値的に不安定になりやすい、などいろいろと問題が残っておりこれからの課題である。

参考文献

1) 佐藤慎司(1995):波の分裂と碎波を考慮した津波の数値計算、海岸工学論文集、第 42 巻、pp. 376-380