

名古屋工業大学	正員	細井正延
(株)ユニック	正員	長谷川賢一
(株)ユニック	正員	稲垣和男
名古屋工業大学	学生員	○中根 誠

1. はじめに

一般に、津波が港内に来襲して来た場合、その挙動は、局所的な地形効果に左右され、かなり複雑となる。港内津波の挙動を再現し、その特性を把握する方法としては、実験によるものと、数値計算によるものの2つが挙げられるが、本文においては、数値計算による手法で数値実験を試みた。港内の局所的な法線形が津波に与える影響を考慮するにあたって、本報告では、特に、隅角部での津波波高について、モデル港を用い検討した。手順として、まず、津波を表現するのに必要な要素分割の程度を決定し、その結果を踏まえて、モデル港の隅角部での津波の挙動について検討した。なお数値計算の手法としては、有限要素法を用いた。

2. 基礎方程式

図1に示すような座標系で考えて、各々、 x 軸、 y 軸方向の流速成分を u 、 v 、水深を h 、水位変動量を η 、重力加速度を g で表わせば、2次元での運動方程式及び、連続の式は次の通りである。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) = 0 \quad (H = h + \eta)$$

(海底摩擦による項、及び粘性項は考慮していない)

前記の方程式の離散化には、ガレルキン法を用い、重みつき

残差変分方程式を導き、空間において、1次の内挿関数を用いることにより有限要素方程式を得る。また、時間においては、得られた有限要素方程式の初期値問題に対して、2段階のLax-Wendroff法を用いることにより、流速及び、水位変動量を求めた。

3. 数値計算例

数値計算を行なうにあたって、津波現象を十分表現できる要素分割を行なわなければならない。そこで、波長(L)と分割間隔(Δx)との比($L/\Delta x$)に注目して津波を表現するための要素分割の指針を求めた。解析領域のモデルとして、一様傾斜の長方形水路を用いた。入力波は、要素分割を同じとして、周期が10分、7.5分、5分の3種類、振幅は、いずれも1.0mの正弦波とした。要素分割は、計算の安定化のため、CFL条件($\Delta t < \Delta x / \sqrt{gh}$; Δt は解析時間間隔)を満たすように行なった。解析領域を1360要素に分割し、現象時間は60分とした。図2に解析領域と水深図を示す。図2のa.b.c.d.e点における波高の計算結果を表1に示す。表1において、「理論値波高」とあるのは、入力地点での波高を H_0 、水深 h_0 とし水深 h_a での波高を H_a とすれば、 $H_a = (h_0/h_a)^{1/2} \times H_0$ であるグリーンの法則による波高を示す。

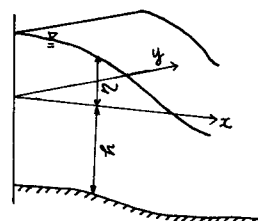


図1 座標

($L/\lambda x$)が40の時湾奥において、理論値の95%程度の波高が再現されているので、一応津波の挙動は見きめられると思われる。 $(L/\lambda x)$ が20及び10では湾奥へ行くと87%、63%分しか再現されていない。そこで、次のモデルでは、要素分割には($L/\lambda x$)=40を用いて行なった。

湾奥が隅角をもつ形状をしていれば、津波の来襲時には、当然その隅角部では、波高の増幅が考えられる。そこで、解析領域として図3に示すようなモデルを考えた。ここで港内の形状は、矩形モデル港が図3に示す湾奥の隅角 θ として、 $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ を有する6ケースとした。水深は、40mで一定とし、入力波は、周期10分、振幅1.0mの正弦波とした。図3におけるA、Bの波高の計算結果を図4に示す。図4より、隅角部の形状が湾奥の波高の増幅に影響を与えることがわかる。隅角が 60° より大きい場合、波高は、 $\theta=60^\circ$ で4.29m(岸壁があるため重複波になっている)で、単なる矩形のときの波高3.95mに対し、1割程度の増加であるが、 $\theta=30^\circ$ のときは波高が6.11mとなり、5割以上の増加が認められる。このように $\theta=30^\circ$ のときの波高が $\theta=60^\circ$ の波高に比べて先端A点で大きくなっているのは、B点での波高に注目すれば、 30° においては波高1.91mで重複しておらず、波の流れが湾奥方向へ向かっているためであると思われる。ちなみに、隅角部内の流速は、 $\theta=30^\circ$ で70 cm/sec、 $\theta=60^\circ$ では10 cm/secで、 $\theta=30^\circ$ の方が相当大きな流速をもっている。このように、波は、隅角 θ が小さくなると、隅角部先端での波高の増幅は、かなり大きくなることわかる。

4. おわりに

本報告では、有限要素法を用いた場合における要素分割の行ない方について検討し、目安を得た。この結果を用いて、モデル港の隅角部での津波挙動の解析を行ない、波高の増幅のパターンを求めた。なお、今回はモデルケースの解析しか行っていないが、今後は、この結果を考慮し、実際の港湾について検討を加えていきたい。

参考文献

- 1) Mutsuto Kawahara, Shohei Nakazawa, Shunsuke Ohmori, Kenich Hasegawa;
TSUNAMI WAVE PROPAGATION ANALYSIS BY THE FINITE ELEMENT METHOD;
2nd International Conference on FINITE ELEMENT IN WATER RESOURCE

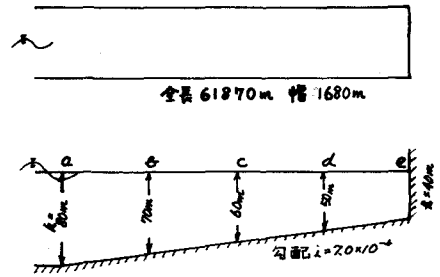


図2. 解析領域及び水深図

水深 (m)	理論値 波高	$L/\lambda x=40$ 計算波高 (m)	再現率 (%)	$L/\lambda x=20$ 計算波高 (m)	再現率 (%)	$L/\lambda x=10$ 計算波高 (m)	再現率 (%)
80 a	2.000	1.98	98.9	1.97	98.5	1.94	97.0
70 b	2.067	2.01	97.2	1.97	95.2	1.86	89.9
60 c	2.149	2.03	94.5	1.99	92.6	1.76	82.0
50 d	2.249	2.11	93.8	2.03	90.3	1.62	72.8
40 e	2.378	2.25	94.6	2.07	87.0	1.44	62.7

*) B点での計算波高は完全重複しているのみなし
数値計算で得られた波高の1/2としている

表 1

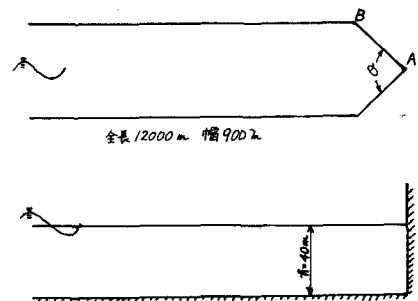


図3. 解析領域及び水深図

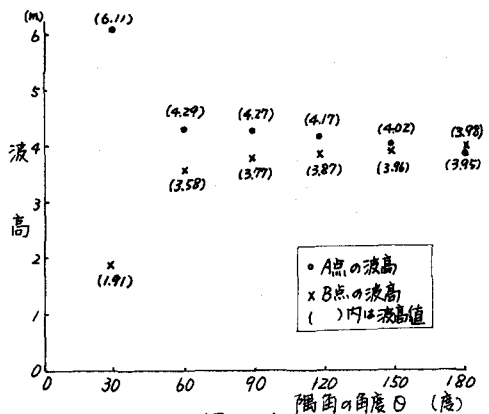


図 4