

宿毛湾内の津波高の数値計算

武田寅彦*・寺尾克彦*・木村 勲*

A Numerical Computation of Tsunami in the Sukumo Bay

Torahiko TAKEDA, Katsuhiko TERA0 and Isao KIMURA

(Received May 13, 1996 : Accepted March 1, 1997)

Abstract

Sukumo city faces an open bay having many shallows and inlets. History holds that this city was frequently damaged by major tsunamis, e.g. Hoei (1707/10/04 M8.4), Ansei-Nankai (1854/12/24 M8.4), and Nankai (1946/12/21 M8.0).

In particular, in the Hoei-Earthquake-Tsunami, the tsunami had a run-up height of 8.5m and wave destroyed Sukumo city. In this study, we simulated the growth of tsunami waves as they traveled toward the seashore of Sukumo city.

We approximate the bay using 51,000 lattice grid points, and applied Green's a $H_2/H_1=(h_1/h_2)^{1/4}$ (b_1/b_2) for the calculation of tsunami growth.

Based on the simulation, we tried to reproduce the tsunami height caused by the Hoei Earthquake.

We obtained results showing that the tsunami wave traveled deep into the bay, growing 5-8 times larger than that outside the bay. It becomes clear that the tsunami run-up height exceeded 8 m height at the deadly Hoei Earthquake.

§ 1. はじめに

宿毛湾は、高知県の西部に位置し湾奥の宿毛市は過去に南海道沖を震源とする宝永地震(1707年10月4日 M=8.4)、安政南海地震(1854年12月24日 M=8.4)、南海地震(1946年12月21日 M=8.0)等の地震と津波によって大きな被害を受けている。宿毛湾内には浅瀬が点在して、さらに多くの入り江があって等水深線がくさび状に入り込んでいる所が多い。このように複雑な地形になっていることが、過去の津波による大きな被害の一因であると言われている。

南海地震津波の被害は、宿毛湾についていえば小筑紫、新田付近の田畑は一面海となったほか、520戸以上が浸水した。そのうち片島、大島については、津波の高さは約1.9mで、防波堤3ヶ所を破壊して、約200戸が浸水した。

宿毛市史*によると、特に宝永地震津波では湾内の栄喜、小筑紫、湊、内外ノ浦、田ノ浦、宿毛、大島、小深浦、宇須々木、藻津では、大津波が山まで達して、人家は全戸(約11,000軒)流出して、死者は1,800人以上に

のぼり壊滅状態になった。しかし、このときの津波の高さは、大島の東岸で約8.5mであったとの記録が残っているだけで、湾内の他の地域での津波の高さは不明である。

そこで、宿毛湾に進入した津波が、地形効果でどれだけ増大して湾の奥の海岸線に達するのかを調べるとともに、宝永の大津波によって壊滅状態となった大島東岸以外の地域における、津波の高さを調べたいと考えた。そのために、湾内を多くの格子に区切って、その格子ごとに数値計算を行い、湾内に進入した津波の一般的な傾向を調べた。その結果、宿毛湾内での津波の一般的傾向が分った。また宝永の津波で壊滅した地域の津波の高さをある程度推定できた。

§ 2. 計算方法

津波や高潮のような浅海長波の伝播には、高さや水深等に関してGreenの法則が成立する。Greenの法則は第1図のように2本の波線と2本の波向線の中の領域について

$$H_1 \times h_1^{1/4} \times b_1^{1/2} = H_2 \times h_2^{1/4} \times b_2^{1/2}$$

となる一種のエネルギー保存則である。

第2図の様な様な津波と単純な湾に対しては

*宿毛測候所

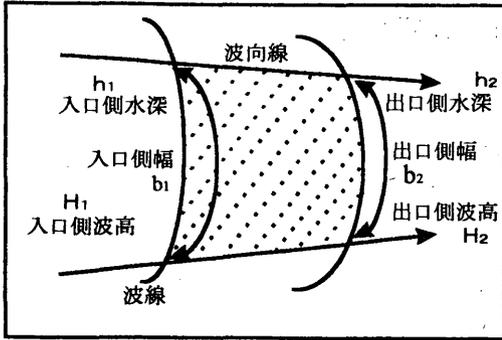


Fig. 1 Green's Law

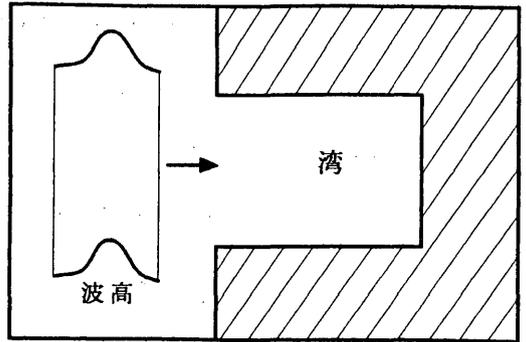


Fig. 2 Applying the Green's Law to simple bay

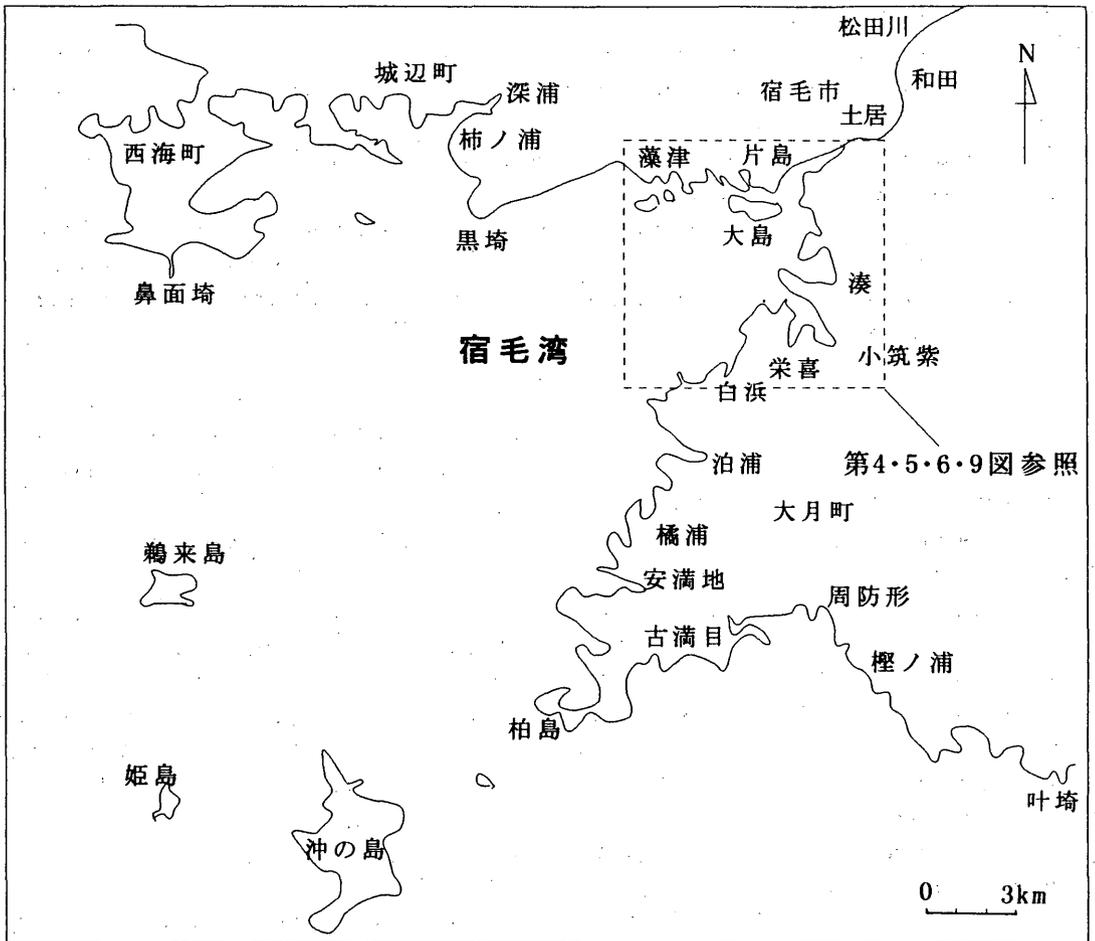


Fig. 3 Location of Sukumo city and Sukumo Bay

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

H_1 : 湾の入口側の波高 H_2 : 湾の奥側の波高
 h_1 : 湾の入口側的水深 h_2 : 湾の奥側的水深

b_1 : 湾の入口側の湾幅 b_2 : 湾の奥側の湾幅
 が成立するが、宿毛湾の様に複雑な湾に対しては、湾内で複雑な屈折を起こすため、このままGreenの法則を適用することはできない。しかし津波の場合は深いところ

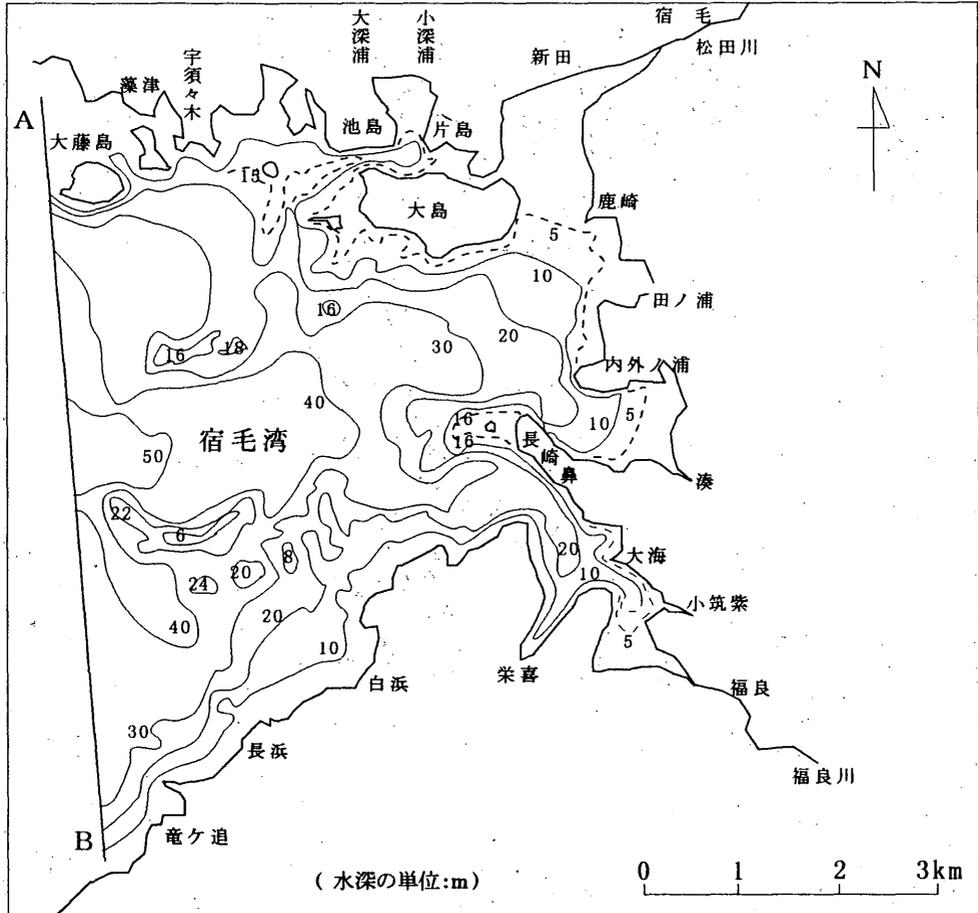


Fig. 4 Depth of Sukumo Bay

から浅いところへ向かって屈折すること、狭い水道の様な小湾では奥に向かって一方向に進む性質があることから、津波の進入方向を想定して各格子ごとにGreenの法則をあてはめて計算を進めると、海岸の津波の高さを見積もることができる。この計算方法は、津波の波動としての性質、特に屈折の効果を海底地形の特徴からおおまかに想定しているので、高精度な解析はできないが、宿毛湾内の一般的な津波のふるまいを見積もる目的には十分な結果が期待できる。

宿毛湾全体は第3図に示すようにV字型に南西の方向に開いている。詳細な水深図が入手できなかったため、第4図の直線A-Bより奥の部分についてのみ宿毛湾港湾計画図（高知県発行）に基づいて、50m間隔で約51,000格子に区切った。格子を50m間隔にしたのは、水深図があまり詳しくなかったことにもよるが、地形を表現するのに必要十分な格子サイズとして50mとした。そ

の格子ごとに水深と湾幅のデータを読み取った。湾幅については、第5図のように概ね進入方向に直角な方向の幅を採用した。次に第4図の直線A-B上の165個の各格子に西南西方向から高さ1mの波を与えた。そして第6図の様に想定した進入方向にできるだけ添うように進めて、1格子手前の波高、水深、湾幅のデータを参照しながら各格子での波高を計算した。

そのうち、津波の初期値と格子の入り口側の波高については、最初は（武田、寺尾、1995）、津波の初期値として2mの高さを与えた。また入り口側の波高は、1格子手前の1つの格子の値のみを採用して計算して行ったため、津波の進入方向と海岸線の方向がほぼ同じようになるような海岸線では、水深の読み取り誤差で大きな波高となった場合、後に続く格子が次々とその値を引き継ぐため、計算値が異常に高くなり15mを超えるところがあるなど問題点があった。

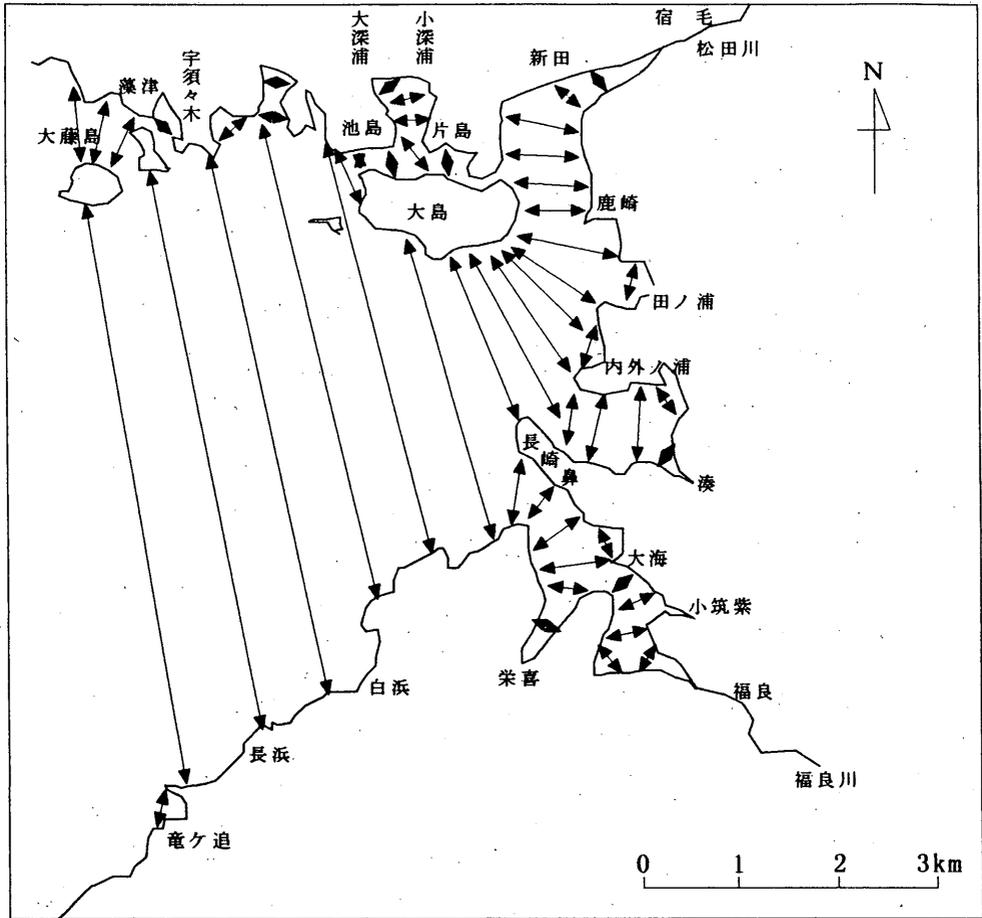


Fig. 5 Width of lines applied to compute tsunami growth

そこで今回は、問題点を解消するために、入り口側の波高は第7図に示すように格子によってそのとり方を変えている。おもに3個の格子点の平均値を採用するなど計算方法の一部見直しをした。また津波の初期値については、各格子での高さが初期値の何倍となるかを明確にするために1mとした。

このような数値計算では、プログラムを組んで計算するのが通常の手法であり、各格子ごとの湾幅の入力に非常に多くの手間と時間が必要となる。しかし表計算ソフトを使えば、各格子ごとの湾幅は、画面上で格子の個数を読みとって簡単に入力できるうえに、随時グラフを画面表示できるため入力ミスを発見しやすい。そのうえ表計算ソフトやパソコンの性能が向上したこともあって、比較的簡単に計算できると考えた。計算にはパーソナルコンピュータ（DOS/V CPU486DX2 66MHz メモリ8Mb）及びPC-9821 CPU486DX2

66MHz メモリ8Mb）と、Windows95用の表計算ソフトMicrosoft Excelを使用した。水深図からの水深データの読み取り及び入力は、1日2時間程度の作業で約2ヶ月、計算式に湾幅を入力するのに約1ヶ月程かかった。計算と立体図等のグラフ表示にかかる時間は約2分である。なお、具体的な計算例とその説明を第8図に示す。

§ 3. 計算結果と考察

陸上と海上の境界の格子については、水深が急激に浅くなる所では水深図の水深線が混んでおり、水深の読み取り誤差があるために、計算誤差が大きくなるおそれがある。したがって海岸線での津波の高さは、海岸線から海側に向かって2列目の格子上の高さを採用した。計算結果より抜粋したものを第9図に示す。湾内で浅瀬となっている所や湾奥の海岸線は、津波の高さは2～4m

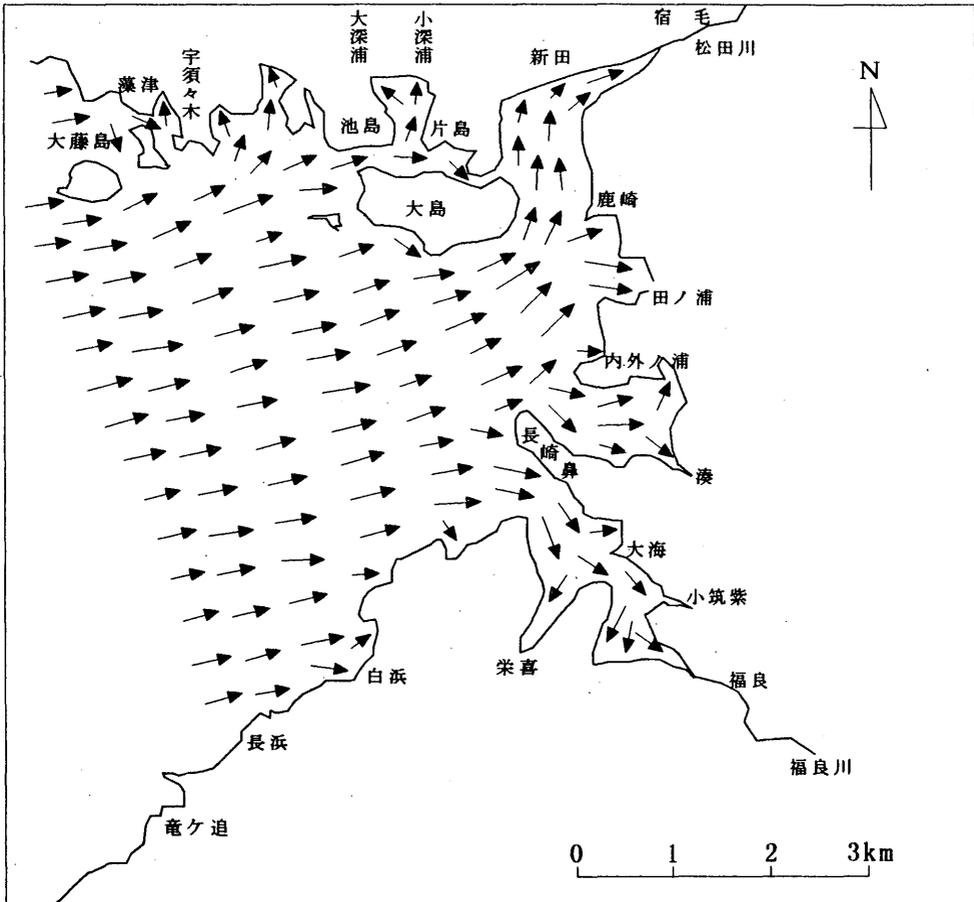


Fig. 6 Directions of tsunami travel. We can safely say that the tsunami flow was generally in Sukumo Bay

になっている。この図の中で線で囲んだ4つのエリアについては、計算結果をそのまま第10図から第13図に示す。

以下に宿毛湾の南岸の長浜から反時計回りに、各地域における津波の高さの特徴を述べる。

- (1) 長浜から白浜の北東にかけての海岸線近く(第9図, 第10図)では2m以上になっており、特に急に浅くなっているところでは3.5mと高くなっている。
- (2) 長崎鼻付近(第9図, 第11図)についてみると、長崎鼻の西側では、水深が40mから16mと急に浅くなっているため、1.2mから2.6m以上と急に高くなっている。また長崎鼻の南ではさらに水深が浅くなっているため4m前後となっている。
- (3) 宿毛湾の奥で深い入り江となっている小筑紫、栄喜付近(第9図, 第11図)についてみると、長崎鼻の南で4m前後の高い津波が入り江に進入すると、

湾幅の広がりもあるため次第に低くなっていくが、大海、小筑紫や栄喜まで進入すると再び湾幅が狭く水深が浅くなるため3.5m前後と高くなる。

- (4) 内外ノ浦付近は(第9図, 第11図), 入り江の入り口付近での幅が急に狭くなっているのと、水深が急に浅くなるため4.1mとなっており、奥の方でも3m以上となっている所が多い。
- (5) 田ノ浦付近については(第9図, 第12図), 宿毛湾を全体的に見ると、入り江の入り口付近が、V字湾の一番奥の部分となっているため3m前後と高くなる。さらに津波が入り江の奥の方まで進入すると、水深が約2mと浅いために4.8mとなっている。この4.8mは宿毛湾内で最も大きい値であった。
- (6) 大島の東側から鹿崎にかけては(第9図, 第12図), 2.9mと高くなっているが、片島と新田付近ま

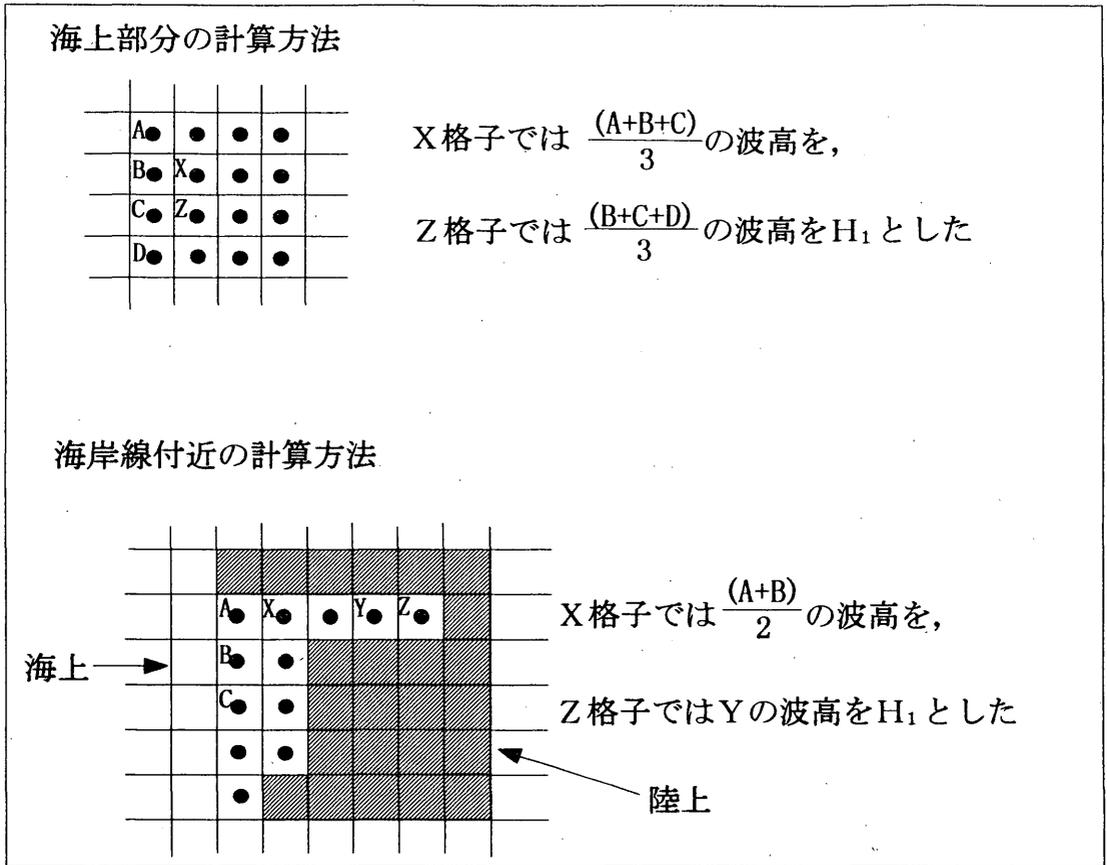


Fig. 7 Algorithm between lattice point values.

で進入すると2.3m前後と低くなっている。これは、大島と鹿崎の間は湾幅が狭くなっている、水深も2mまで浅くなっているために高くなるのに対して、そこから新田付近までは水深が変わらず、また湾幅も少し広がっているためである。

- (7) 大島と池島付近については(第9図、第13図)、大島の南西沖で浅瀬となっている所では2m以上と高くなっている。また大島と池島の間は急に狭くなっているが、入り口付近では1.6m前後とあまり高くない。これは、水深が16mもあるからと思われる。しかし、そこから東に進入すると水深が浅くなっているため3.6mと急に高くなっている。

§ 4. おわりに

津波の高さの初期値の入力場所は、入手できた水深図の都合で湾の中央付近になってしまったが、本来ならば宿毛湾の入り口にすべきである。第9図の直線A-Bか

ら約15km沖合にある第3図の柏島、鼻面崎付近を宿毛湾の入り口とすると、この付近は水深が約100m、湾幅が約20kmで、ここからA-B間にかけては次第に水深は浅くなり、湾幅は約8kmまで狭くなる。このため、この入り口に波高の初期値を与えて進入させると、直線A-B間では概算で高さは2倍前後になる。実際の津波の場合に、湾の入り口での津波の高さを予測するのは難しく、一様な波高でくるとは考えられないが、仮に湾の入り口を1mの津波が進入すると、直線A-B間の各格子では、2mを超える所がかなりあると推測される。さらに湾の奥に進入すると、長崎鼻付近で約8m、栄喜付近で約7m、内外ノ浦付近で約8m、田ノ浦付近で約10m、大島と片島の間では約7mとなり、その他は大島の東岸も含めてほとんどの海岸線で5m以上になると推測できる。この数値計算では、共振現象、海底摩擦などの影響を考慮しないことや、波高の初期値の入力ポイントおよび湾幅の取り方等多くの問題点もある。また、波の進行方向

具体的な計算例

(1格子を50m間隔とした場合)

$$H2 = \left(\frac{h1}{h2}\right)^{\frac{1}{4}} \times \left(\frac{b1}{b2}\right)^{\frac{1}{2}} \times H1$$

$$=(ABS(Sheet1!A4)/ABS(Sheet1!B4))^{1/4}*(700/550)^{1/2}*((A3+A4+A5)/3)$$

$$=(ABS(Sheet1!B7)/ABS(Sheet1!C7))^{1/4}*(550/500)^{1/2}*((B6+B7+B8)/3)$$

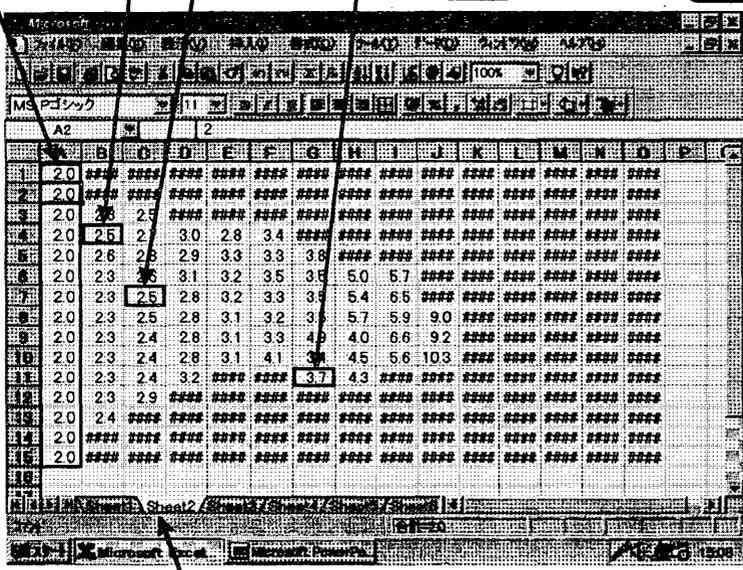
$$=(ABS(Sheet1!F10)/ABS(Sheet1!G11))^{1/4}*(350/350)^{1/2}*((F10*G10)/2)$$

この列に初期値の波高を入力

水深

湾幅

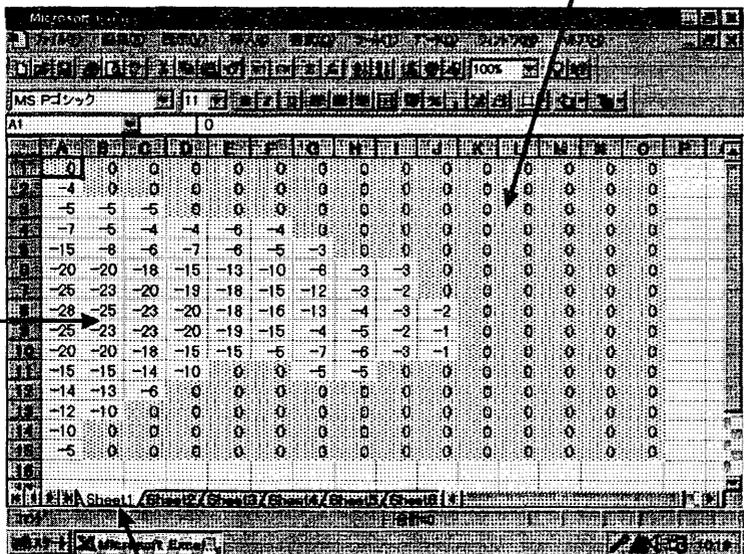
入口側の波高



Sheet2 に計算式を入力

陸上部分には0を代入

海図等より読みとった水深データを入力



Sheet1 に水深データを入力

Fig. 8 Computations using Microsoft Excel, above is tsunami growth and below correction depth data.

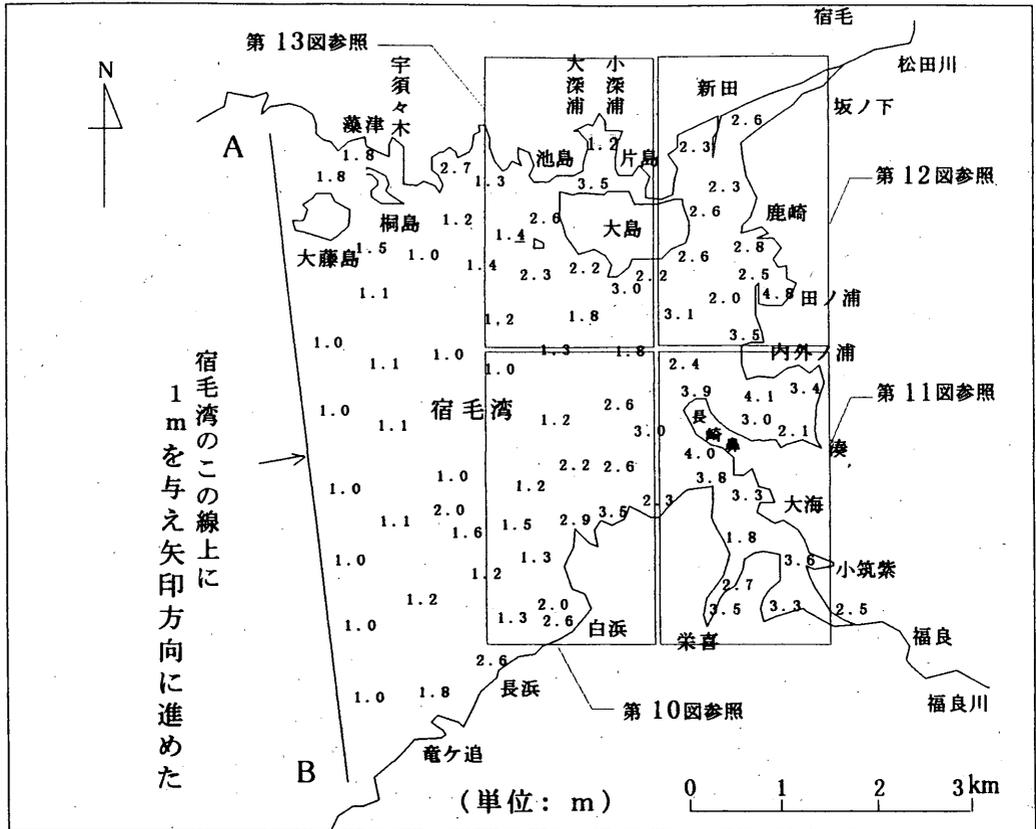


Fig. 9 Tsunami heights calculated when a 1 m tsunami acrosses the A-B line, Wave growth is shown.

も前もって仮定している。しかしある程度湾内の津波の状況を見積もることができていると思われる。

つぎに、宝永の大津波で、壊滅状態になった地域の津波の高さを推測してみた。唯一記録が残っている大島東岸を基準にすると、記録の8.5mは計算結果の2.6mの約3.3倍になるので、各地における計算結果を3.3倍すると、宝永の時の津波の高さを推測できる。計算結果のうち、前述の地域とその付近の海岸線の値を3.3倍したものを第14図に示す。これを見ると、8.5mより高い地域が多く、もっとも高いところは田ノ浦の約16mである。この数値をそのまま採用することはできないにしても、大島東岸以外の多くの地域でも8m以上で、場所によっては15mに近い津波に襲われた地域もあったと推測される。先に述べたように、宿毛湾に面したほとんどの地域で、多くの死者や流失軒数をだして、壊滅状態になったのもうなずける結果となった。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、査読者から数々の貴重なご指導、ご助言を頂きました。深く感謝致します。

参考文献

合田良實・佐藤昭二 (1995) 海岸・港湾 P P 153-154
 宿毛市 (1977) 宿毛市史 P P 496-508
 水村和正 (1992) 海岸海洋工学 P P 108-115
 武田寅彦・寺尾克彦 大阪管区府県気象研究会誌 (1995) P P 452-453

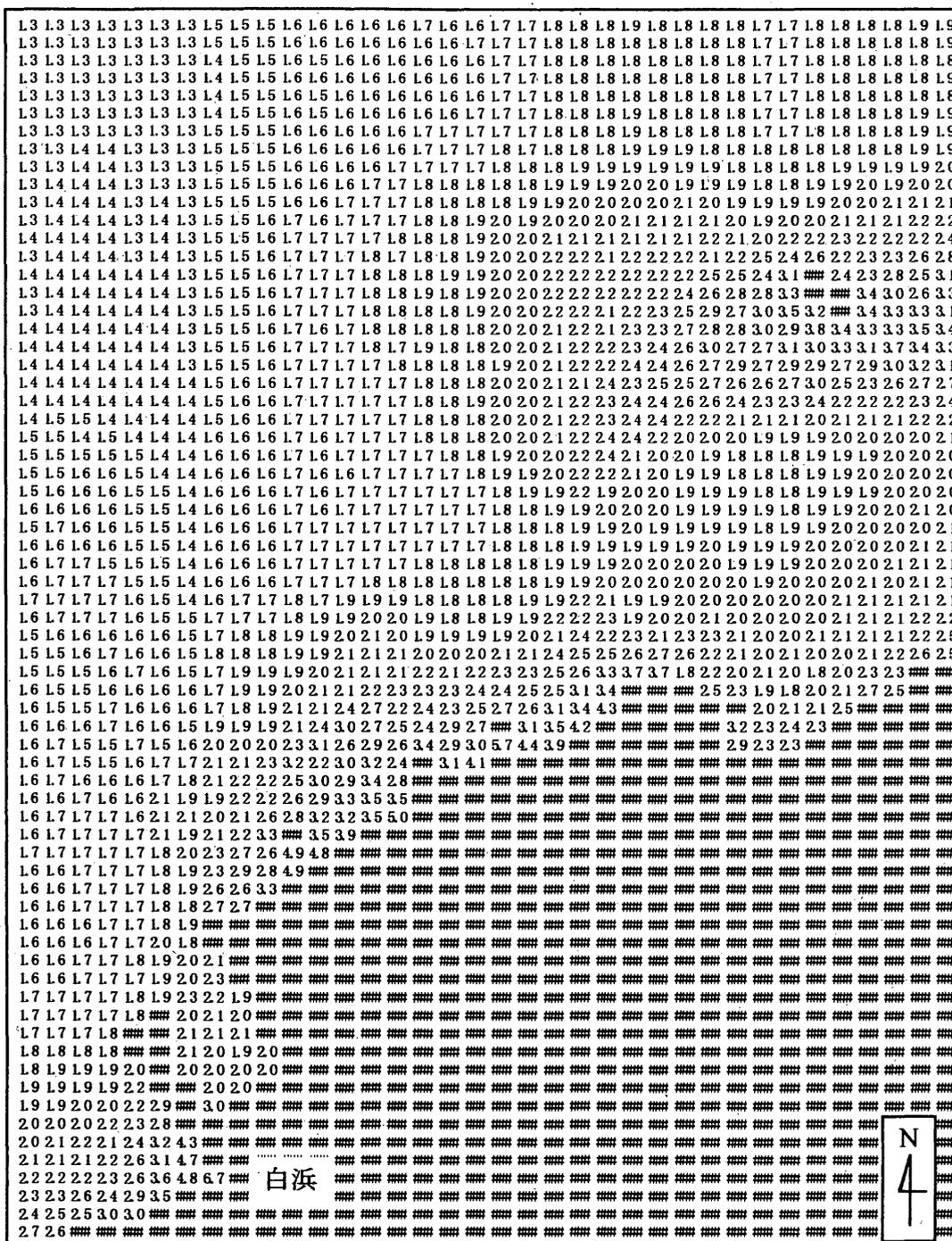


Fig. 10 Tsunami height at lattice points in the Shirahama area.

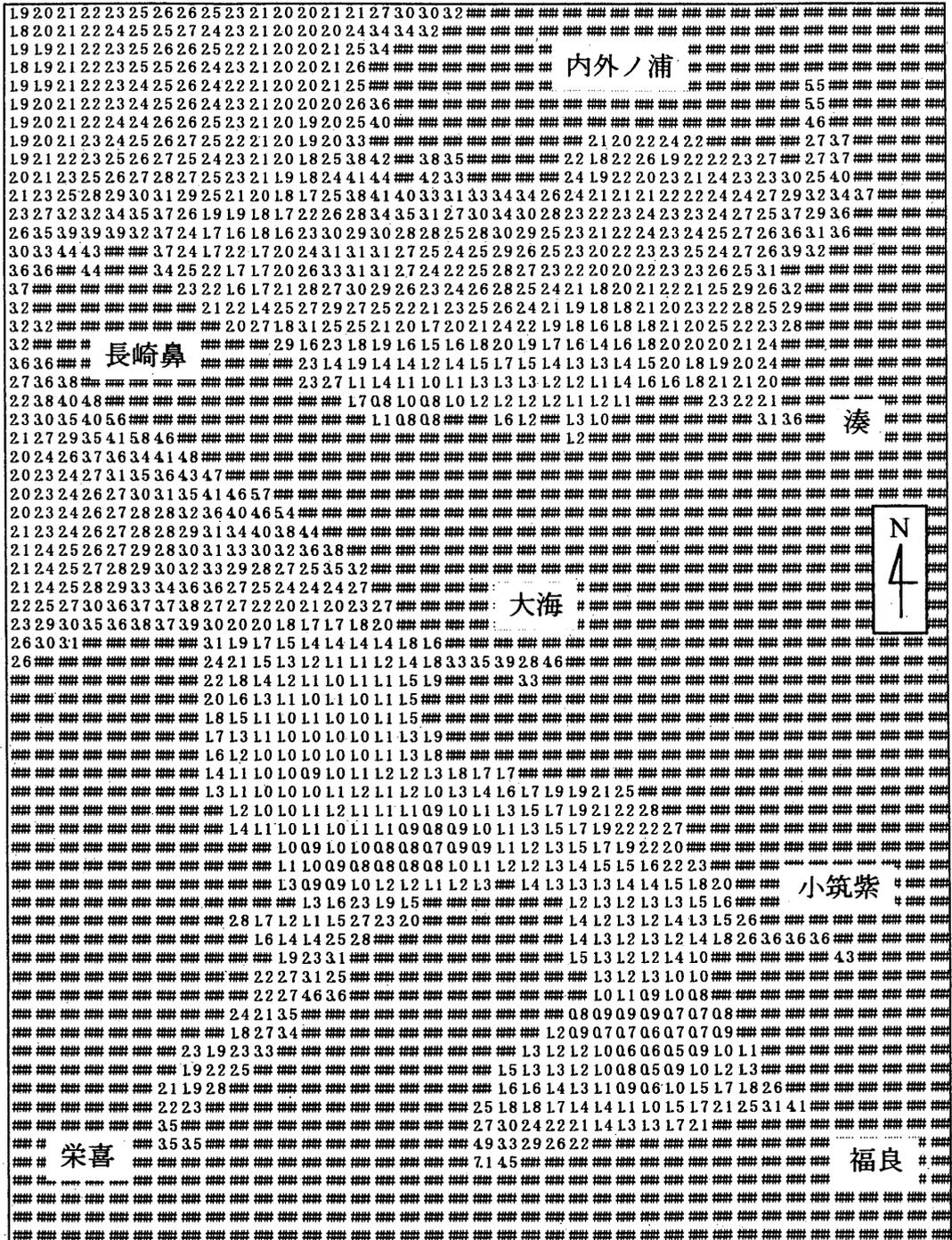


Fig. 11 Tsunami height at lattice points in Sakaki, Kodukushi, Nagasakihana, and Naigainoura.

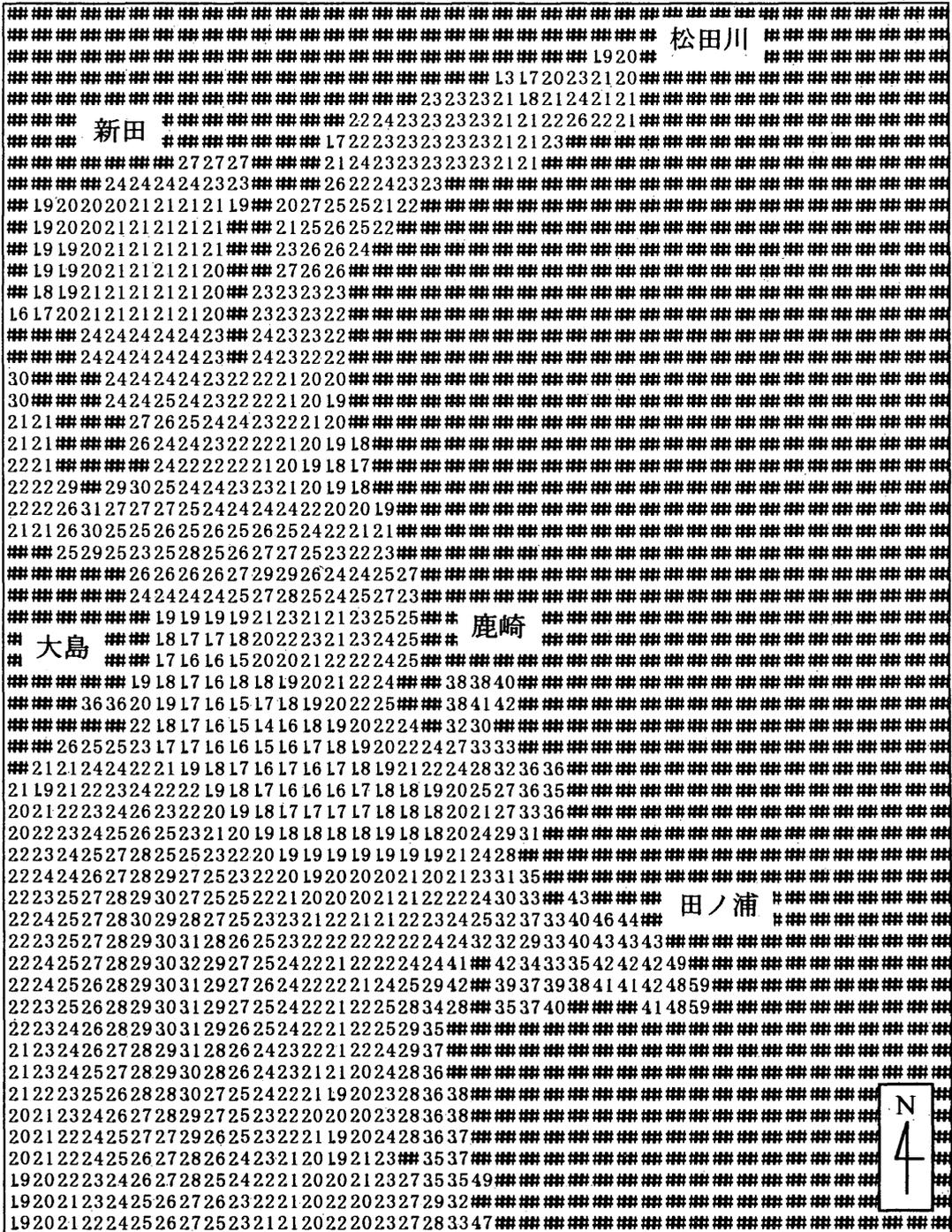


Fig. 12 Tsunami height in the Tanoura, Matsudagawa, Shiden area.

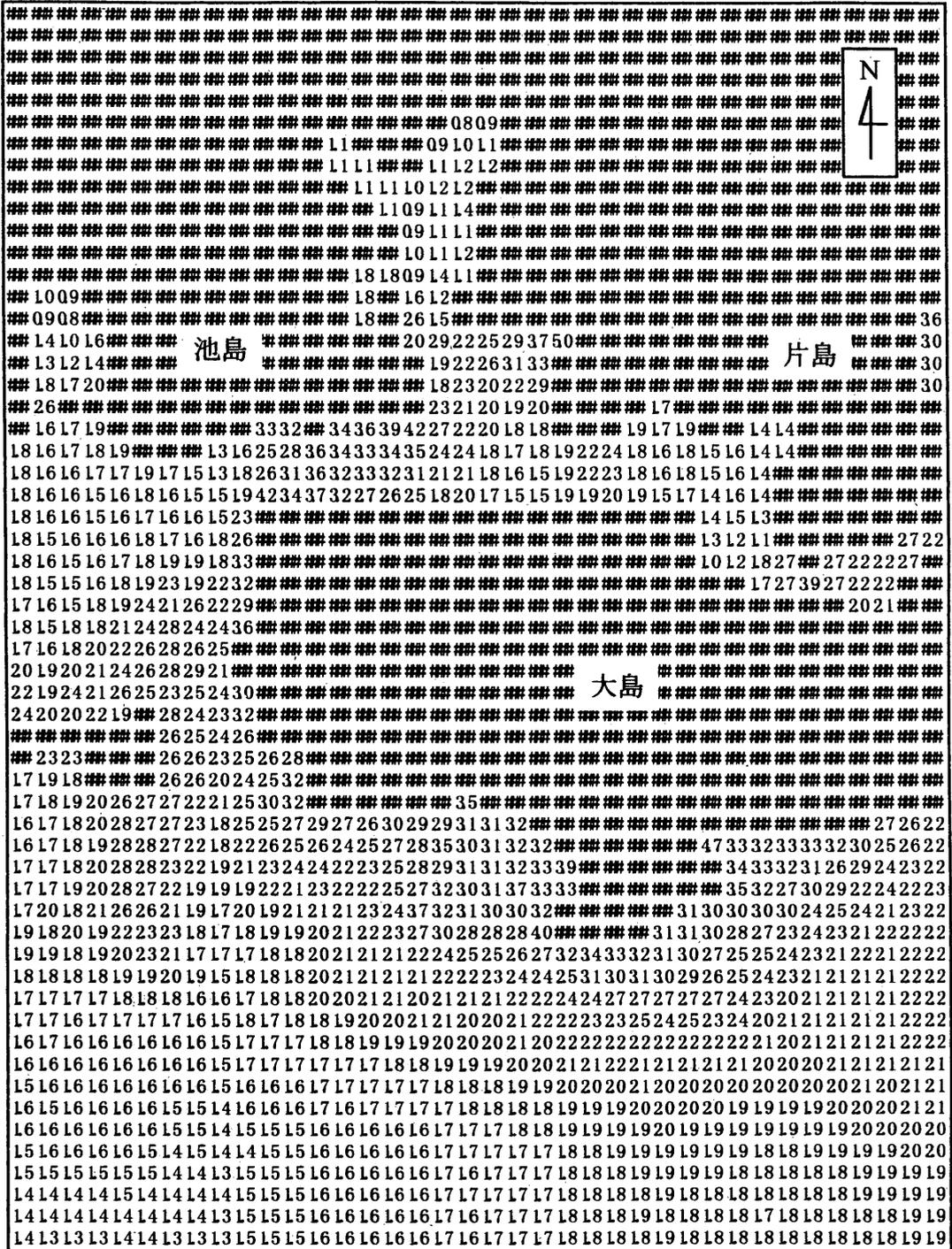


Fig. 13 Tsunami height in the Oshima area (The distance of each lattice points is 50m in figure 11~13)

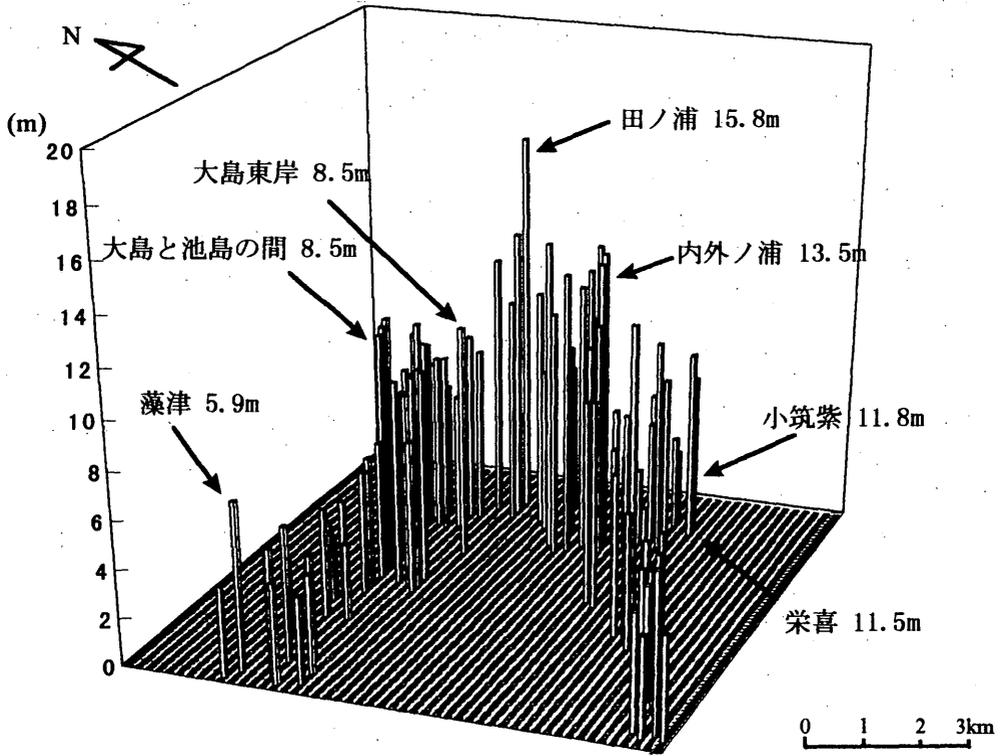


Fig. 14 In the Hōei Earthquake, the tsunami run-up height is shown. Especially in the Tanoura area, it may have reached 16m in height.