

島周辺での津波の挙動（日本海中部地震津波調査）

酒井哲郎*・石突寿啓**

1. まえがき

昨年5月に起きた日本海中部地震津波による被害は記憶に新しい。その後の調査で、今回の津波の特徴として、従来考えられていた津波の陸岸近くでの挙動とは異なる段波状の津波が陸岸に襲ったという点が挙げられているが、その他に、隠岐、佐渡ヶ島、奥尻島の3つの島での津波遡上高が高く、被害も大きかったことがある。とくに隠岐は、震源からはるかに離れているにもかかわらず大きな被害を受けた。

ここでは、隠岐および奥尻島における被害調査結果をもとに、島という形状による津波の変形を、島による長波のトラッピング現象とあわせて考え、数値計算によって島の周辺の海岸に沿う遡上高分布が説明しうるかどうかを検討する。さらに日本海という閉じた水域における津波の数値計算の問題、発達した陸棚による長波のトラッピング現象の数値計算による再現の可能性についても議論する。

2. 調査結果

(1) 隠岐

隠岐地方の津波被害調査は、昭和53年6月30日から7月2日にわたって行なった。図-1は、聞き込み調査による遡上高のうち、島後の分のみを示したものである（実線）。破線は、島根県漁港課による調査結果である。この図から明らかなように、遡上高の大きかったのは、島後の島の北東から北西と南である。

図-2は、島後の島の南西に位置する西郷湾の検潮記録の一部である。最大偏差はせいぜい0.5mである。卓越する振動周期は約7分である。西郷湾の固有周期を、Neumannの方法¹⁾で計算したところ約13~14分であったので、7分の卓越周期はこの湾の固有周期とは考えられない。

(2) 奥尻島

奥尻島に関して、最初に入手した遡上高の報告は、木下らの現地調査の報告²⁾である。その後、東海大学³⁾お

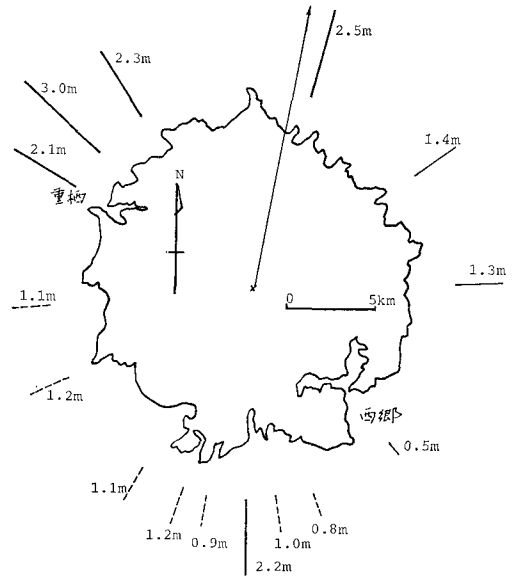


図-1 隠岐島後における津波遡上高の分布
(基準: 平均海面)

よび運輸省の報告⁴⁾もあり、図-3には、これら3つの報告による遡上高分布を示している。奥尻島の場合は、島の南から西と北東で遡上高が大きい。

3. 島による津波のトラッピング

奥尻島の海岸線は隠岐の島後に比べて平滑で、湾水振動やいわゆる水路幅の減少による波高増加の効果は考えられない。しかし、隠岐の島後については、遡上高の大きかった地点の中には、上述の局所的な効果が生じた可能性も考えられた。そこで局所的効果について調べてみたが、結果としては、重栖(図-1)を除いてそれらの効果は無視しうることがわかった。

奥尻島は、今回の地震の震源に隣接しており、遡上高が6mという結果は予想しうるが、隠岐は、震源から約700km離れており、そこで3mという遡上高は注目に値する。このことから考えつくことは、Longuet-Higgins⁵⁾が示した島による長波のトラッピングの現象である。

* 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 前田建設工業(株)

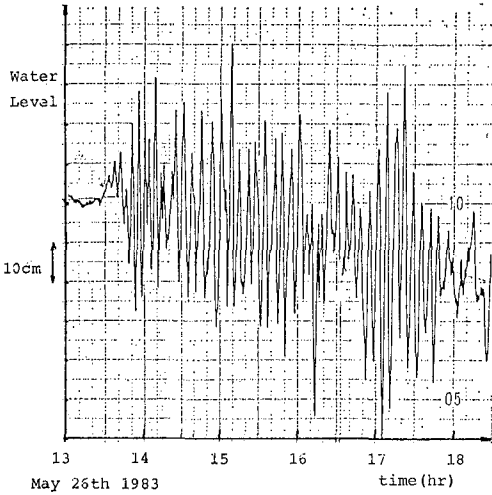


図-2 西郷の検潮記録の一部

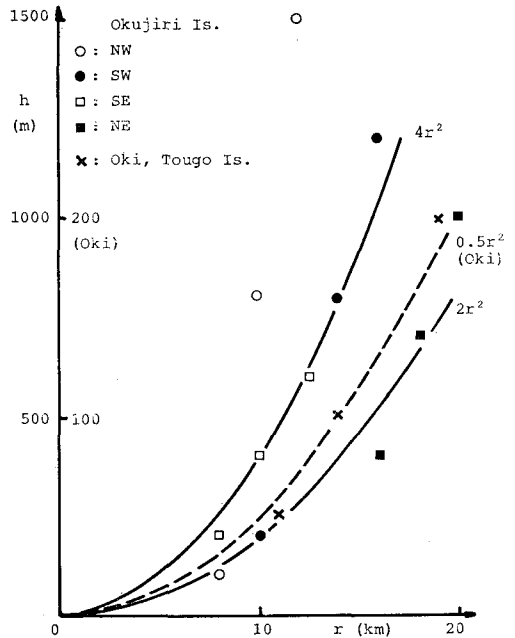


図-4 動径方向の水深増加の割合

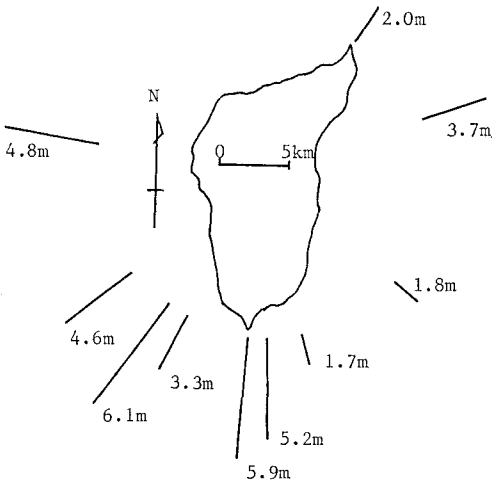


図-3 奥尻島における津波遡上高の分布^{2), 8), 4)}
(基準: 東京湾中等潮位)

4. 大陸陸岸からの反射と陸棚によるトラッピング

隠岐の西郷湾の検潮記録の 図-2 を見ると、天文潮位にのった津波は、午後 4 時半頃一度小さくなったのち、再び大きくなっているように見える。このことは、今回の津波の特徴の一つとして言われている。日本海という閉じた水域で、最初直接震源から津波がやって来た後、大陸の陸岸で反射された津波が到達したということも考えられないこともない。ただし、佐渡ヶ島の両津港の検潮記録⁴⁾ や韓国ウルルン島の検潮記録⁶⁾ には、このような傾向はない。

もう一つ考える必要のあることは、島による長波のトラッピングだけではなく、陸棚によるトラッピングである。隠岐は、山陰沿岸に発達した陸棚の上に存在している。一方奥尻島の方は、隠岐に比べればその周囲の陸棚はそれほど発達していない。

このように考えると、数値計算で今回の津波の隠岐、奥尻島での遡上高を説明するためには、日本海全域、あるいはすくなくともその周辺の陸棚を含めた計算をする必要がある。

表-1 は、隠岐の島後の他に西ノ島および中ノ島を含めて、最大津波高(偏差)および最大遡上高の発生時刻を示したものである。東海大学の調査結果³⁾ も含めている。最大津波高か最大遡上高かが不明な地点は両欄の中央に示している。津波高か遡上高かがわからない地点を

しかしこの現象が顕著になるためには、かなり長い時間にわたって入射波が持続する必要がある、この現象がそれほど顕著に現われるとは思えない。ここでは、トラッピング現象が生じるための必要条件としての次式を調べてみる。

$$h \geq \text{const.} \times r^2$$

ここで、 h は水深、 r は島の中心からの動径方向の距離である。図-4 は、その結果を示す。隠岐の島後の場合は、図-1 の細い実線で示した方向の水深を示している。他の方向では、さらに水深増加の割合が小さい。この図からわかるように、隠岐の島後ではその北の方向で、また奥尻島ではすべての方向で、長波のトラッピングの条件は満たしている。

表一 隠岐における最大の津波高(偏差)と遡上高の発生時刻

地点	著者らの調査		東海大学による調査 ³⁾	
	津波高	遡上高	津波高	遡上高
島後 加茂	1:40	~1:50	2:00 (4波目)	3:30
西郷	5:20	3:10 (検潮記録より)	---	---
布施		3:40	---	---
中村		2:00	---	1:50
久見		2:00 (4波目)	---	---
西ノ島 船越		3:30 ~ 4:00	---	---
中ノ島 菱浦	1:50 (2波目)	2:30	---	---

(西郷湾への第1波目の到達時間は午後1時33分。津波周期は7分と仮定。)

含めると、津波の第1波が1時半頃に来たとして、それから約半時間つまり2時まで最大になった地点は、島後での遡上高が2m以上の地点では3地点、一方約1時間半後の3時以降の地点は、遡上高が2m以上の地点では東海大学の調査で1地点ある。

図一2を見ると、午後5時20分頃に再び潮位偏差が大きくなっているが、天文潮位が3時頃より低いため水位そのものは3時頃の方が高い。遡上高が最大になった時刻が津波の第1波が到達してから約半時間後の地点が多いのは、たまたま天文潮位が第1波到達の頃に最大であったからかもしれない。

約半時間後までに遡上高が最大になった点に着目すれば、津波の周期が約7分(図一2参照)として4~5波目となり、日本海の大津陸岸からの反射や陸棚による津波のトラッピング現象は、少なくとも最大遡上高の生じた時刻における最大偏差を考える場合には考慮する必要はないと推測される。

奥尻島に関しても、その調査^{2),3)}によれば津波は最初の2,3波が大きく、周期は10分程度であった。以上のことからすれば、隠岐の島後、および奥尻島の島の海岸に沿う特徴的な津波の遡上高の分布は、島を囲む領域を通過する津波の変形計算によって説明出来る可能性がある。

5. 数値計算

(1) 計算方法

以上の観点から、数値計算によって、島の周辺の津波遡上高の分布を説明することを試みた。数値計算は、水深方向に積分した、移流項および摩擦項を含む長波の運動方程式と連続式である。計算手法および境界条件は、数値波動解析法⁷⁾に基づいた。

隠岐の計算領域は、40km×80kmの長方形領域である。長手方向は、あらかじめ行った震源と隠岐を含む幾何光学的屈折計算の結果得られた隠岐への津波の到達方向(ほぼ北東から南西方向)に一致させた。この領域を1kmメッシュの格子で分割し、計算の時間ステップを12秒とした。入射波は振幅1mの正弦波とし、その周期を5分から10分まで1分おきに与えた。

奥尻島の場合も、その計算領域は40km×80kmで、その長手方向は、調査結果³⁾に基づいて南北方向に一致させた。格子間隔は、隠岐に比べて水深が深いため2kmとし、時間ステップは6秒とした。入射波については、隠岐の場合と同じである。

島の海岸に沿っては完全反射の境界条件、入射側を除く3辺では無反射の境界条件、入射側の境界では、反射波が自由に通過する条件を用いた。島の海岸に沿う境界条件から、津波波高の計算結果には、定量的な精度は期待出来ない。

(2) 計算結果

図一5は、隠岐島後の計算結果を示している。図では5波目までの波の峰高の最大値を相対的に示している。すでに述べたように、値そのものにはあまり意味がないため、あるレベル以上の結果のみを示している。ここでは、入射波の周期が、5, 7, 9分の場合を示している。

図一6は、同様に奥尻島の場合である。

図一1で示したように、隠岐の島後での遡上高分布は、北東から北西と南で大きい。周期5分の計算結果はこの傾向と明らかに異なる。示していない周期6分の結果も調査結果と異なる。一方周期9および10分の結果(10分の結果は9分の結果と類似)も調査結果と異なる。波の入射方向と考えられる東側を除けば、周期7分およびここでは示していない8分の結果がもっとも調査結果に近い。

図一2の西郷湾での潮位記録では、周期7分程度の振動が卓越している。また運輸省の港湾技術研究所のスペクトル解析でも7分のピークが報告されている⁴⁾。このように潮位記録に見られる卓越周期を有する正弦波を入射波とした計算結果がもっとも調査結果を説明している。しかし、この結果は、たまたま津波の第1波到達時が天文潮位の最高時に近く、最大遡上高が数波目で生じ、日本海全体としての振動や陸棚および島による長波のトラッピングが無視しえたためと考えられる。

一方奥尻島は、図一3で示したように、南から西と北東で遡上高が大きくなっている。計算結果のうち周期5分とここで示していない6分の結果はこの傾向と全く異なり、7分および示していない8分の結果もかなり異なる。周期9分と示していない10分の結果が最も調査結果に近い。この場合も調査結果^{3),4)}で示されている周期10分および9分の計算結果が、遡上高分布の傾向を最も

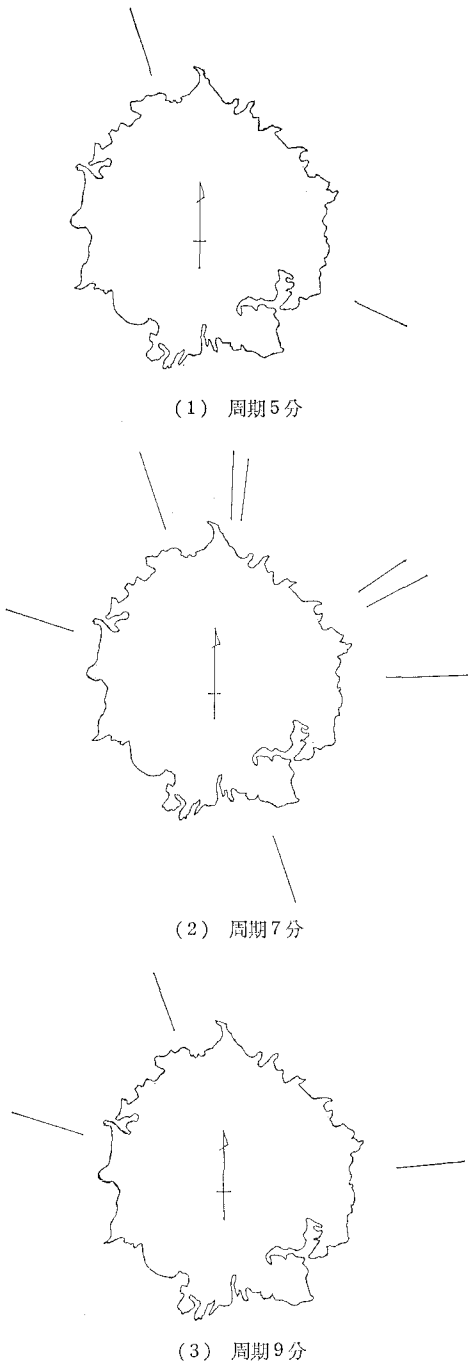


図-5 隠岐島後の海岸に沿う津波高の数値計算結果

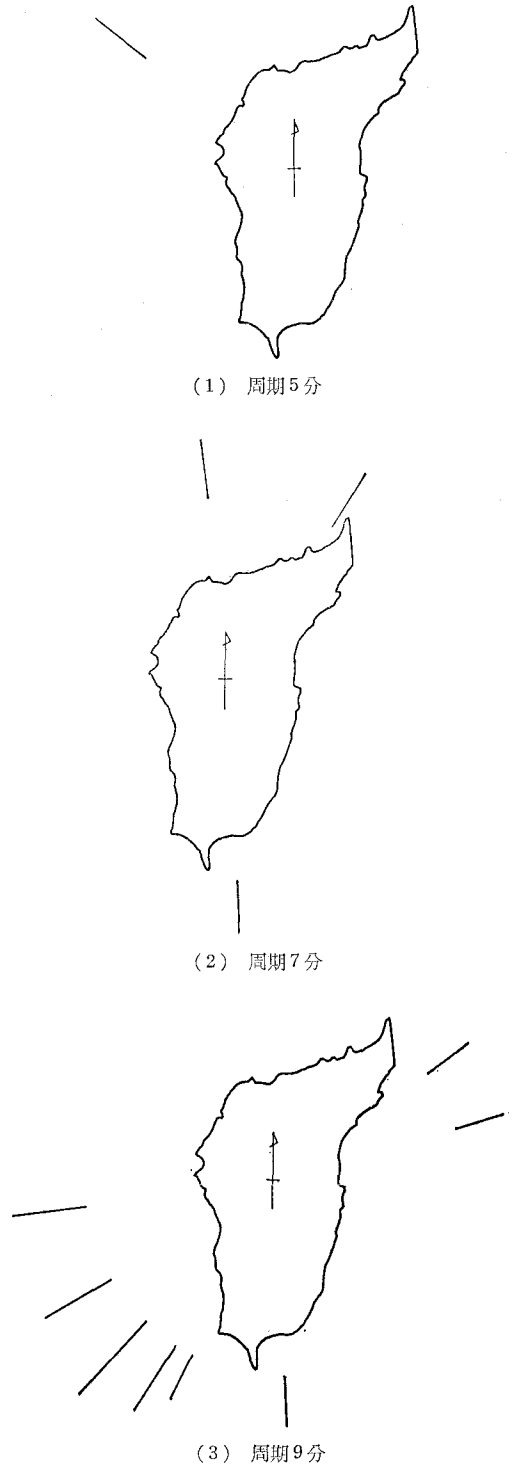


図-6 奥尻島の海岸に沿う津波高の数値計算結果

よく説明している。なお、奥尻島については、津波と天文潮位との位相関係を議論しうる潮位記録がない。

6. あとがき

以上、昨年（昭和58年）の日本海中部地震津波の隠岐と奥尻島での遡上高の調査結果に基づいて、その島に沿う

分布が、日本海全体としての振動（大陸陸岸からの反射）、陸棚や島によるトラッピングを無視した、島を囲む狭い領域での長波の変形の数値計算によって、定性的

には説明しうることを示した。ただし、このことは一般的に上述の効果が無視しうることを意味しない。

最後にこの研究を行なうに当りお世話になった多くの方々に御礼を言いたい。隠岐の調査に関しては、当時運輸省第3港湾建設局境港工事事務所の橋間元徳所長、島根県西郷土木建築事務所の服部豊主幹はじめ多くの方にお世話になった。また京都大学工学部の岩垣雄一教授、東京大学地震研究所の梶浦欣二郎教授、京都大学防災研究所の土屋義人教授、東北大学工学部の首藤伸夫教授には種々の有益な御助言をいただいた。さらにこの研究の全過程において、阿南工専の島田富美男講師（当時京都大学内地研究員）にお手伝いをお願いした。最後にこの研究の一部は昭和58年度文部省科学研究費自然災害特別研究（代表秋田大学鉾山学部乗富一雄教授）によった。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 土木学会編：水理公式集，昭和46年改訂版，pp. 564～565, 1971.
- 2) 木下武雄・つじよしのぶ・小西達男・沼野夏生・阿部 修：昭和58年日本海中部地震の津波の現地調査，1983年度日本海洋学会秋季大会プログラム概要集，pp. 331～332, 1983.
- 3) 東海大学海洋学部海洋土木工学科：昭和58年日本海中部地震の津波痕跡記録把握調査報告書，1983.
- 4) 谷本勝利・高山知司・村上和男・村田 繁・鶴谷広一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野 晋・平石哲也：1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察，運輸省港湾技術研究所資料，No. 470, 1983.
- 5) M. S. Longuet-Higgins: On the trapping of wave energy round islands, *Jour. of Fluid Mechanics*, Vol. 29, pp. 781～821, 1967.
- 6) 東京大学地震研究所梶浦欣二郎教授の好意により入手した資料.
- 7) 谷本勝利・小舟浩治・小松和彦：数値波動解析法による港内波高分布の計算，運輸省港湾技術研究所報告，第14巻，第3号，pp. 35～58, 1975.