津波に対する島のレンズ効果

その 2. 1983 年日本海中部地震津波

日本歯科大学新潟短期大学* 阿 部 邦 昭

Focusing Effect of Islands on a Tsunami

Part 2. A Case of the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake Tsunami

Kuniaki ABE

Niigata Junior College, Nippon Dental University,
Hamaura-cho 1-8, Niigata, 951 Japan

(Received December 16, 1994; Accepted January 29, 1996)

Focusing effect of islands on the 1983 Nihonkai-chubu (central part of the Japan Sea) earthquake tsunami was identified at eight coasts facing to islands from peak formations of the maximum inundation heights. Defining parameters of the peak height (H) at a coastal focus, the background average height (H_0), the peak width (Wd), the coastal focus distance from the island (L) and the island size (L_0), we discussed relations among them. As the result peak width Wd is approximated as

$$Wd/L_0 = 0.43(L/L_0)^{1.0}.$$

Amplification ratio H/H_0 is about 1.5 for islands of epicentral distances smaller than 400 km and shows an increase with the epicentral distance for islands of epicentral distances larger than 400 km. These facts are explained as a focusing effect of islands on tsunamis, in which incident wave, refracted in a sloped region around the island after divided into two, superposes on each other in the back side. In islands distant from the source the incident wave is coherent and the amplification ratio increase. The amplification ratio and relative peak width are compared with those in the another focusing effect, previously found on the 1993 Hokkaido nansei-oki earthquake tsunami. The similar proportionality of peak width and amplification ratio between two tsunamis suggest that the amplification is caused by the same mechanism.

Key words: Nihonkai-chubu earthquake tsunami, Focusing effect of islands.

§1. はじめに

1993 年北海道南西沖地震津波の際に、島の対岸にあたる本州、北海道の海岸で津波が局地的に増幅され、島から遠い場所での水位に比べて 1.2 倍から 3.1 倍高い水位が記録された。これは島の裾野で屈折した波の重ねあわせとしてのレンズ効果として説明される [阿部 (1994), (1995)]。この時レンズ効果の決め手になったのは島と海岸焦点の間の相対的位置関係、高水位域の幅が島からの距離に比例して増加する事そして数値実験の結果から得られた短周期波の島の背後での増幅度 2 などであった。1983 年の日本海中部地震津波でも島や島の

背後での増幅が認められることからレンズ効果もあったのではないかと考えられる [ABE and ISHII (1987), 都司・他 (1984)]。

そこで 1983 年の日本海中部地震津波の水位を調べてみたところ、島の対岸での水位の増加が多く島の認められた。その性質を 1993 年北海道南西沖地震津波の場合 [阿部 (1996) 以下これを前報という] と同じ方法で調べ、その結果を 1993 年の場合と比較する。

§2. 水位分布の特徴

1983 年日本海中部地震津波は同年 5 月 26 日に秋田県北部沖の地震 ($M=7.7$) によって発生したもので、最大水位 13 m を記録した。この時の津波最大水位の分布

* 〒951 新潟市浜浦町 1-8

Fig. 1(a). Observed tsunami heights and parameters for Okusiri Island.

Fig. 1(c). Observed tsunami heights and parameters for Tobisima.

Fig. 1(b). Observed tsunami heights and parameters for Heizima and Murotusima.

Fig. 1(d). Observed tsunami heights and parameters for Awasisima.

はいくつかの報告書にまとめられている [八鍬・他 (1984), 首藤・他 (1984), 相田・他 (1984), 土屋・他 (1984), ABE and ISHII (1987)]. これらの報告書の中から島の対岸近くの海岸で測定されたものを選び、その分

布図を棒グラフにしたのが Fig. 1(a)–(h) である。このなかで、極大値点（海岸焦点と呼ぶ）とその水位 H 、島の対岸から遠く離れた場所での平均水位 H_0 、高水位域の幅としてピーク幅が島に向かって右側の幅 Wr と左側の

Fig. 1(e). Observed tsunami heights and parameters for Sado Island.

Fig. 1(g). Observed tsunami heights and parameters for Kanmurisima.

Fig. 1(f). Observed tsunami heights for Osima Island.

Fig. 1(h). Observed tsunami heights and parameters for Dogo (Oki Islands).

幅 Wl の和 Wd として求められる。その決め方は前報に同じである。この中で能登半島大島の対岸 [Fig. 1(f)] でははっきりした極大値点が決められないので以下の議論から除く事にする。また奥尻島 [Fig. 1(a)], 佐渡島 [Fig. 1(e)] や隠岐島後 [Fig. 1(h)] のように海岸焦点の近くにもう一つ別の極大値がでていたようなケースもある。このような場合どちらを焦点とするべきか迷うところであるが、海岸の張り出しによるもの（奥尻、隠岐島後）や、

エッジ波による高まり（佐渡）[ABE and ISHII (1987)] とと思われるものは除いて選んだ。求まった海岸焦点に対して、前報同様に海岸焦点ベクトルを求め、その方向 θ を島の位置で示したのが Fig. 2 である。その結果、焦点ベクトルの向きは波源に近い程波源域の反対方向に近くなっていて、波源域から放射された波が極大水位の形成に寄与したことを示している。この性質は前報で指摘したように 1993 年北海道南西沖地震津波の場合でも見ら

Fig. 2. Coastal focuses and azimuthes of the focal vectors observed in the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake Tsunami. Epicenter (solid star) and tsunami source area (dotted line) after ABE and ISHII (1987).

れたものである。また能登半島でははっきりした焦点は現れなかったが、これは能登半島外海側海岸では、半島先端の地形効果などの要因が強すぎた事などが考えられる。手売島の効果はデータ不足で議論には加えられない。結局えられたパラメータは Table 1 にまとめたものになる。

そこで島の震央距離 Δ を横軸に、平均水位と焦点極大値を縦軸にとってプロットしたのが Fig. 3 である。これをみると 400 km 以遠の 2 点の水位の増加が著しいが、それより近い点では増加は少ない。平均水位が 400 km まで減衰し、それ以後減衰が止まっている事から 400 km を境に変化している様にみえる。同じ傾向は前報でも報告されている。400 km には能登半島が突き出ている、海岸沿いまたは海岸に斜めに伝わる波をそれ以遠の海岸に対してブロックしたことがこのような結果をもたらしたものであろう。次に島のサイズ L_0 による

Fig. 3. Tsunami average heights (open rectangles) and the increase at the coastal focuses (solid half circles) for epicentral distances of islands.

Fig. 4. Variation of peak width W_d versus island size L_0 . Solid circles for small sized islands ($L_0 < 1$ km), solid squares for middle sized ones ($1 \leq L_0 < 10$ km) and solid triangles for large sized ones ($L_0 \geq 10$ km).

ピーク幅 W_d の変化をみると Fig. 4 が得られる。図には前報同様に島のサイズを 0.1, 1.0, 10 km のオーダー

Table 1. Parameter list. Epicentral distance (Δ) is defined to a center of island. Underlined value for W_r or W_l is a repetition of the opposite side because of data lacking.

islands	島	Δ (km)	L (km)	L_0 (km)	θ (deg)	H (m)	H_0 (m)	W_r (km)	W_l (km)	W_d (km)
Okusiri	奥尻島	180	36	13	51	1.8	1.36	5.0	5.0	10
Heizima	平島	180	0.7	0.1	42	6.5	4.4	0.2	0.2	0.4
Murotusima	室津島	160	6	0.45	3	6.5	4.3	0.8	1.2	2
Tobisima	飛島	170	33	3.3	130	2.64	1.53	16.0	16.0	32
Awasima	粟島	250	28	7.1	138	2.48	1.67	8.4	8.4	17
Sado	佐渡島	300	78	35	169	1.38	0.9	17.0	16.0	33
Kanmuri Is.	冠島	640	13	0.5	184	2.5	1.3	1.4	2.6	4
Oki-Dogo	隠岐島後	750	76	18	180	2.65	0.8	11.0	11.0	22
Ullung-Do	鬱陵島	780	135	12	72	4	1	65	76	141

Fig. 5. Variation of peak width Wd versus coastal focus distance L . Classification of islands by the size is the same as in Fig. 4.

Fig. 6. Dependence of amplification ratio H/H_0 on coastal focus distance L .

で小さなものから丸 (●), 四角 (■), 三角 (▲) でプロットしてある。これは前報と類似の結果になっている。ピーク幅 Wd に対して、海岸焦点距離 L による変化を見ると両変数を島のサイズ L_0 で規格化してプロットしたのが Fig. 5 である。両者には直線関係が認められるので最少自乗法をあてはめて両者の関係を式で表わすと

$$Wd/L_0 = 0.43(L/L_0)^{1.0}$$

が得られる。これはピーク幅 Wd が海岸焦点距離 L に比例し、 $L=L_0$ のとき $Wd=0.43L_0$ になることを表わしている。

増幅度 H/H_0 の海岸焦点距離 L による変化をみたのが Fig. 6 である。これから増幅度はピーク幅 Wd と違いほとんど距離 L によらないで約 1.5 と一定である事がわかる。

§3. 1993 年北海道南西沖地震津波との比較

3.1 焦点ベクトルの方向

1983 年日本海中部地震津波の焦点ベクトルは Fig. 2 に示されている。これを 1993 年北海道南西沖地震津波の場合と比較してみる。そのために方位角の差を 1983 年日本海中部地震津波を基準に取ってみる。平島は 63° (北海道南西沖-日本海中部沖)、飛島から佐渡にかけては -25° から -21° 、若狭湾の冠島 $+4^\circ$ と隠岐島後 $+13^\circ$ などとなる。この差は波源の方向の差に対応していて、震央距離が大きくなるにつれて小さくなる傾向にある。向きの変化する方向は波源の向きの方向と大きく矛盾し

Fig. 7. Correlation between peak width relative to island size Wd/L_0 and coastal focus distance relative to island size L/L_0 for both tsunamis. Open circles for 1993 tsunami and solid triangles for 1983 tsunami and a case of Ullung Do, South Korea is additionally plotted in the parentheses.

Fig. 8. Observed tsunami heights and parameters for Ullung Do, South Korea.

Fig. 9. Variation of amplification ratio H/H_0 to peak width relative to island size L/L_0 for both tsunamis.

Fig. 10. Amplification ratios H/H_0 plotted for epicentral distance of island Δ for both tsunamis.

ない。焦点ベクトルの方向は最大水位をもたらした波の到来方向であるとするは妥当である。

3.2 相対ピーク幅、増幅度の性質

つぎに両津波における相対ピーク幅、増幅度の性質を比較してみよう。相対ピーク幅の相対距離による変化を1993年北海道南西沖の場合とともに示したのが Fig. 7 である。1993年北海道南西沖の場合は

$$Wd/L_0 = 0.47(L/L_0)^{0.99}$$

であらわされたので、係数、指数はその差がそれぞれ7%、1%という小さい値であって、データの誤差を考えると両者は一致しているといえる。データのばら付きは1993年の場合にくらべ少ない。同じ図に都司・他(1984)による韓国の鬱陵島の水位分布 (Fig. 8) からえた値を使って求めた結果をかっこに入れて示した。なお鬱陵島の値は $H=4.0$ m, $H_0=1.0$ m, $L=135$ km, $L_0=12$ km, $Wr=65$ km, $Wl=76$ km, $Wd=141$ km とした。増幅度の相対ピーク幅との関係は Fig. 9 である。これを見ると両者の間ではっきりした違いは指摘できない。増幅度を震央距離に対してとってプロットしてみると、Fig. 10 が得られる。これを見ると両者ともに同じ震央距離依存性を示していることがわかる。600 km 以遠の点は両者ともに能登半島以遠の点でこれよりも震央距離が大きくなると増幅度が増加している。このことはすでに指摘したように、斜め方向からの入射波が能登半島でブ

Fig. 11. Correlation of amplification ratio H/H_0 (Upper) and of peak width relative to island size Wd/L_0 (Lower) between both tsunamis.

ロックされて600 km 以遠には伝わらず、垂直方向からの入射波によって増幅度が増すことを示唆している。鬱陵島は日本の隠岐ノ島より更に斜め方向からの入射波が少ない方向になっていることから考えて、さらに増幅度が大きくなる。

3.3 増幅度、相対ピーク幅の両津波間の相関関係

最後に両津波で観測値が得られた8地点で増幅度、相対幅をくらべたのが Fig. 11 である。両者とも相関関係があることを示し、相関係数を求めるとそれぞれ、0.83、0.92 がえられる。両津波でほぼ等しい増幅度を得られた事はその地点のレンズ効果が普遍的な性質を示すものと考えてよいであろう。

§4. 考 察

相対ピーク幅 Wd/L_0 の相対海岸焦点距離 L/L_0 による変化式で係数が 0.43 で傾き 1.0 であるとするときピーク幅は島からの距離に比例して直線的に増加し、係数 0.43 はその傾きを与える事になる。したがってこれを上から見れば島の中心を基点に海岸焦点ベクトルを中心線として、頂角 24 度の 2 等辺三角形で近似される。この結果は前報で指摘したように、島に入射した平面波が島の周囲の傾斜した海底にさしかかって屈折させられた後直進するモデルで説明される。島の両側で互いに中心方向に屈折させられるために中心軸上では重ねあわせで水位が増加し、重なる部分は島からの距離に比例して増加するのである。重ねあわせで水位が高くなるには入射波が平面波に近い程つまりコヒーレントである程有利であると考えられる。震央距離が大きい程増幅度が大いのはこのような条件が震央距離が大きいところで良く満たされていることを示している。

韓国鬱陵島の対岸での結果は Figs. 7-10 にみるように、日本でみられたレンズ効果と類似する結果を示している。このことから鬱陵島の背後での水位の増加は島のレンズ効果であると結論することができる。しかし増幅度、相対ピーク幅がともに大きいという日本の島では見られなかった特徴も持っている。増幅度が大きかった理由はコヒーレントな波に加えて周囲のゆるやかな海底勾配と海岸焦点距離が 135 km と長いことがそれを支えているものと見られる。島の周囲の海底地形勾配が小さい程増幅度を大きくすることが前報で確かめられている。

1993 年北海道南西沖地震津波の島によるレンズ効果と比較した。その結果ピーク幅の広がり方がほとんど同じ式で表わされ、増幅度も類似の値になっていることがわかった。このことから 2 つの津波に対して見つかった島の対岸での水位の増加は同じメカニズムで発生していることが確かめられた。したがって第 3 の津波が発生した場合再びこれと同じ現象が起こることが指摘できる。津波打ち上げ高の調査においては島の対岸の極大値点付近ではその断面を正確に知るために十分細かく測定を行いさらに精度の良いデータを得ることが望まれる。

§5. 結 論

1983 年日本海中部地震津波において、日本の島の対岸で観測された極大水位の性質を、増幅度、ピーク幅、島のサイズ、島と海岸焦点間の距離をもとに調べた。そ

の結果つぎのような結論が得られる。

1. 増幅度は震央距離に対して 400 km を境にそれより近くでは一定 (約 1.5) で、それ以外では増加する傾向を示す。波源と島の位置関係からみて波が海岸に対する入射角が小さいときに増幅度が大い。

2. ピーク幅 Wd は島と海岸焦点間の距離を L 、島のサイズを L_0 として

$$Wd/L_0 = 0.43(L/L_0)^{1.0}$$

で表わされる。

3. 増幅度と相対ピーク幅の間には相関関係が見られない。

4. 1, 2 は 1993 年北海道南西沖地震津波の場合とほぼ同じ結果である。3 の結果は 1993 年の場合と比べて無相関の度合がより強い。

5. 相対幅の距離変化におけるばらつきは 1993 年北海道南西沖地震津波の場合と比べて小さい。

6. 韓国鬱陵島の対岸における極大水位、ピーク幅ともレンズ効果で説明できる。

謝 辞

査読者によるコメントは内容の改善に役立ちました。記して感謝いたします。

文 献

- 相田 勇・磯部雅彦・阿部邦昭, 1984, 新潟・富山県沿岸地方の津波痕跡高, 1983 年日本海中部地震による災害の調査研究, 102-106.
- 阿部邦昭, 1994, 北海道南西沖地震津波に対する島のレンズ効果, 月刊海洋, 7, 185-191.
- 阿部邦昭, 1996, 津波に対する島のレンズ効果, その 1. 1993 年北海道南西沖地震津波, 地震 2, 49, 1-9.
- ABE, Ku. and H. ISHII, 1987, Distribution of maximum water levels due to the Japan Sea Tsunami on 26 May 1983, J. Oceanogr. Soc. Jpn., 43, 169-182.
- 首藤伸夫・岩崎敏夫・中村武弘・後藤智明・小川由信・力石国男・堺 茂樹・浅田 宏・石井千万太郎・松富英夫, 1984, 東北地方の津波痕跡高, 1984 年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 90-101.
- 土屋義人・中村重久・河田恵昭・芝野照夫・吉岡 洋・山下隆男・酒井哲郎・島田富美男, 1984, 西部地区の津波痕跡高, 1983 年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 110-127.
- 都司嘉宣・白 雲雙・秋 教昇・安 希朱, 1984, 韓国東海岸を襲った地震海溢, 月刊海洋, 9, 527-537.
- 八鍬 功・高橋 将・佐伯 浩・近藤叔郎・阿部勝征, 1984, 北海道地方の津波痕跡高, 1983 年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, 77-89.