

泊発電所 (1 . 2 号炉)

津波の検討について

昭和58年8月29日

原子力発電安全審査課

目 次

1. 検計目的	-----	1
2. 検計内容	-----	2
2.1 既存文献調査	-----	2
2.2 簡易式による検計	-----	4
2.3 数値シミュレーションによる検計	-----	6
3. 検計結果	-----	8
4. 審査意見	-----	9

1. 検討目的

津波により、原子炉施設の安全が脅かされることを確認するため、申請者が実施した津波の検討について、内容及び結果の検討を行う。

2. 検討内容

申請者は、敷地前面海域での津波の高さを既存文献調査、簡易式による計算及び数値シミュレーションにより検討している。

2.1 既存文献調査

北海道西岸に影響を及ぼした津波

北海道の日本海沿岸における津波記録は、1741年(寛保元年)の渡島西岸のものにはじまる。

第1表及び第1図は、宇佐美カタログ⁽¹⁾(1979)、Hatori⁽²⁾(1969)、羽鳥⁽³⁾(1972)、羽鳥・片山⁽⁴⁾(1977)及び阿部⁽⁵⁾(1981)

による北海道西岸に影響を及ぼした津波の概要である。

これらの地震津波のうち、北海道西岸に大きな被害をもたらした津波について述べると以下のとおりである。

(1) 渡島西岸の地震(1741年)

日本海沿岸で発生した津波の中で最大規模のものであった。

この津波は渡島半島西岸一帯から、津軽・佐渡に至る広い地域を襲い、多くの被害記録を残している。

(第2表参照)

羽鳥・片山(1977)⁽⁴⁾は、波高ならびに影響範囲からみて、津波マグニチュード(以下 m という)3に相当しているとした。しかし、津波の記録は波源の北側には見当らず、南側に限られていると述べている。

従って、積丹半島沿岸での津波記録は、見出されていない。

(2) 後志の地震(1792)

羽鳥・片山(1977)⁽⁴⁾は、この地震に伴い津波が発生し、石狩湾に面した積丹半島沿岸の忍路・古平・美国において流出被害があったとしている。

これらの被害記録から、波高は3m以上に達したであろうとしているが、積丹半島の西側における影響の記録はない。

(3) 神威岬沖の地震(1940)

積丹半島の北西沖約140kmに震央を有する日本海側では、まゆな大規模地震が発生した。

宇佐美(1975)⁽⁶⁾によると、この地震による被害はほとんどなかったが、地震に伴って津波が発生し、北海道の西海岸で相当な被害を生じ、全体で死者10、流出家屋20、船舶流出644、同破損612であったとしている。

また、「十勝沖震災誌」⁽⁷⁾によると、岩内町で板垣破損3件、煉瓦煙突倒壊2件、家財什器の被害あり、磯船40、帆船1流出と記載されている。

第3表は齋藤⁽⁸⁾(1941)による各地の津波記録の抜粋を示している。

岩内の津波の高さ2.7mについては、宮部⁽⁹⁾が検潮儀記録から1.7mとし、Hatori⁽¹⁰⁾(1969)も宮部の値を採用している。

以上の文献から、敷地付近の津波の高さは、泊で1.2m、神恵内で1.8m、岩内で1.7mとなっている。

(4) 日本海中部地震(1983)

この地震の規模は、 $M=7.7$ であり東北日本の日本海側に発生した地震としては大規模なものである。

第2図に、新聞報道等に基づいた各地の最大波高の分布を示す。

これによると、神恵内で1.5m、岩内で1.2m程度とされ、敷地はこの神恵内と岩内の中間に位置している。

2.2 簡易式による検討

敷地前面及び周辺海域において、設計用最強地震及び限界地震で考

慮した $F_s - 3$ 断層 ($M=6.6$ $\Delta=36$ km), $F_s - 6$ 断層 ($M=6.4$ $\Delta=22$ km), 神威岬西側海域の断層 ($M=7.7$ $\Delta=87$ km), 同断層に地震地体構造上 $M=7\frac{3}{4}$ を考慮した場合 ($M=7\frac{3}{4}$ $\Delta=87$ km) の活動により予想される津波の高さを検討する。第3図にこれらの断層の位置を示す。

(1) 飯田式による検討

今村 (1942)⁽¹¹⁾ 及び飯田 (1958)⁽¹²⁾ によると、 m のスケールは第4表のように定義されている。

また、飯田は地震マグニチュード M と m の関係として次式を示している。

$$m = 2.6M - 18.4$$

この式により津波の高さを推定すると、第5表に示すとおり約 2 ~ 4 m 程度となる。

(2) 阿部式による検討

Katsuyuki Abe (1981)⁽¹³⁾ は、地震マグニチュード M_t と震央距離 Δ の関係として次式を示している。

$$M_t = \log H + \log \Delta + 5.80$$

$$M_t = \log H_2 + \log \Delta + 5.55$$

ここに H は 最大片振幅 (m)

H_2 は 最大両振幅 (m)

この式より、 H 及び H_2 を求めた結果を第5表に示す。
これによると、最大津波の高さは $M=7\frac{3}{4}$ において1mであり両振幅で1.8mである。

2.3 数値シミュレーションによる検討

簡易式で検討した中で、敷地に最も影響を与えると推定される神威岬西側海域の断層位置に、地震地体構造上考慮した $M=7\frac{3}{4}$ の地震について、敷地で予想される津波の高さを数値シミュレーションにより検討している。

(1) 解析方法

第6表は数値シミュレーションに用いる断層モデルの決定法の流れを示す。

まずサイト近隣の岩内と忍路に検潮儀記録のある1940年神威岬沖地震($M=7.5$)の想定断層モデルで数値シミュレーションを行っている。

数値シミュレーションは、相田(1977)により作成したプログラムと、基本的に同じものを使用している。

なお、第7表には津波伝播の諸条件を、また第4図には計算領域(A~F領域)及び断層モデル位置を示す。

計算格子間隔は沖合で10kmとし、陸地へ近づくにつれて順次細分化し、敷地周辺の沿岸部で208mとしている。

この想定断層モデルで求めた津波の計算値と、検潮儀記録の比較では、幾何平均値 $K^{(14)}$ が0.94となり検潮儀記録との対応は良いが更に、想定モデルのすべり量(D)に K 値の補正を行って求めた修正モデルによる津波の計算を行っている。

この結果を第5図に示している。

以上のように、断層モデルの設定及び計算手法が確認されたので次に、 $M=7\frac{3}{4}$ の神威岬西側海域の断層モデルを求め津波のシミュレーションを行っている。

第8表に断層モデルの諸元を示している。

なお、数値シミュレーションは1940年神威岬沖地震のシミュレーション計算と同じ計算手法を用いて行っている。

(2) 数値シミュレーション結果

第6図に、敷地周辺(F領域)の計算格子点と計算結果の出力点を示している。

第7図に計算波形 第9表に津波の最大振幅(敷地付近NO.4, NO.5, NO.6)を示す。

その結果、敷地(NO.5湾内)における最大上昇波の振幅(H_c)及び最大引波の振幅(H_t)は、 $H_c = 3.46$ m
 $H_t = -2.55$ mとなっている。

3. 検討結果

敷地での津波の高さを既存文献調査、簡易式及び数値シミュレーションにより検討している。

この結果、敷地における津波の高さは、最大で4m程度と推定される。

仮に、朔望平均満潮時 (T.P. +0.04m) に起ったとしても、主要構造物の敷地標高は+10mとするので津波による潮位上昇は、安全上問題とならない。

4. 審査意見

津波による潮位の予測にあたって、既存の文献調査並びに設計用最強地震及び限界地震で考慮した地震により予測検討を行っている。

この結果、敷地における津波の高さは最大で4.0m程度と推定している。

これらの調査内容、方法及び結果について検討した結果、妥当なものとして判断する。

参 考 文 献

- 宇佐美龍夫, 昭和54年, 我国における歴史地震の研究, 東大震研彙報, Vol. 54.
- Hatori, T. 1969, Dimensions and Geographic Distribution of Tsunami Sources near Japan. Bull. Earthq Res Inst, 47, 185-214.
- 羽鳥徳太郎, 1972, 1971年9月6日サハリン南西沖の津波, 地震2, 25, 218-224.
- 羽鳥徳太郎・片山通子, 1977, 日本海沿岸における歴史津波の挙動とその波源域, 地震研究所彙報, 52, 49-70.
- 阿部勝征, 1981, 札幌市とその周辺の地震活動, 自然災害資料解析, 8, 1-9.
- 宇佐美龍夫, 1975, 資料・日本被害地震総覧, 東京大学出版会.
- 十勝沖震災誌 - 北海道における地震活動 北海道庁編 昭和28年.
- 斉藤博英, 1941, 北海道西岸を襲ひし津波, 北海道気象要報, 1, 107-125.
- 宮部直巳, 1941, 昭和15年8月2日日本海に起った津波, 地震研究所彙報, 19, 104-114.
- Hatori, T. 1969, A Study of the Wave Source of Tsunami generated off West Hokkaido on Aug 2, 1940, Bull Earthq Res Inst, 47, 1063-1072.
- 今村明恒 : 本邦津波年代表, 地震2-2-1, 1942.
- Iida, Kumizi : Magnitude and energy of earthquakes accompanied by tsunami and tsunami energy, J. of Earth Science, Nagoya University, 1958.
- Abe, Katsuyuki : Physical size of tsunamigenic earthquakes of the northwestern Pacific, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 27, 1981.
- 相田 勇, 昭和52年, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 地震研究所彙報, 52
- FUKAO, Y., and M. FURUMOTO. 1975, Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 25, 247-266.

第 1 表 北海道西岸に影響を及ぼした地震津波の表

年 月 日		震 火 地 名	震 火		M	h (km)	m	津 波			分 類
西 曆 (年. 月. 日)	日 本 曆 (年. 月. 日)		北 緯 (°N)	東 経 (°E)				L (km)	b (km)	S ($\times 10^3$ km ²)	
1741. 8. 28	寛保元. 7. 19	津 島 西 岸	41.6	139.4	6.9 7.5 ³⁾	—	3	100-150 ³⁾	—	—	A
1792. 6. 13	寛政 4. 4. 24	秋 志	43.5	140.6	6.9 7	—	2 1 ³⁾	80 ³⁾	—	—	A
1793. 2. 8	寛政 4. 12. 28	西 津 經	40.85	139.95	6.9	—	1	60 ³⁾	—	—	C
1833. 12. 7	天保 4. 10. 26	佐 波 羽 前	38.9	139.15	7.4 7.6 ³⁾	—	2 2.5 ³⁾	100 ³⁾	—	—	B
1834. 2. 9	天保 5. 1. 1	石 狩	43.3 43 1/4 ⁴⁾	141.4 141 1/4 ⁴⁾	6.4 6 3/4 ⁴⁾	—	1 ³⁾	50 ³⁾	—	—	C
1874. 2. 28	明治 7.	天 塩	43.9	141.6	5.9	—	—	—	—	—	C
1940. 8. 2	昭和15.	神 威 岬 沖	44.1	139.5	7.0 7.5 ³⁾	0-20	2	170 ^{1),3)}	70 ¹⁾	9.4 ¹⁾	A
1947. 11. 4	昭和22.	留 萌 西 方 沖	43.8	141.0	7.0 7.1 ³⁾	0-30 ¹⁾	1 0 ¹⁾	60 ^{1),3)}	40 ¹⁾	1.9 ¹⁾	B
1964. 5. 7	昭和39.	男 鹿 半 島 沖	40.3	139.0	6.9	0	-1	70 ¹⁾	50 ¹⁾	2.7 ¹⁾	B
1964. 6. 16	昭和39.	新潟県沖 (新潟地震)	38.4	139.2	7.5	40	2	90 ¹⁾	40 ¹⁾	2.8 ¹⁾	B
1983. 5. 26	昭和58	(日本海中部地震)	40.4	138.9	7.7	0-10	—	—	—	—	A

M : 地震の規模 (マグニチュード)

h : 震源の深さ

m : 津波の規模 (今村・飯田スケール)

L : 波源域を楕円としたときの長径の長さ

b : 波源域を楕円としたときの短径の長さ

S : 波源域の面積

分類 北海道西岸における津波の状況による分類

A : 大津波 (最大波高 2 m 以上で被害を伴ったもの)

B : 小津波 (最大波高 2 m 以下で被害のないもの、または被害の軽微なもの)

C : 不詳、あるいは疑わしいもの

1) : Hatori (1969)

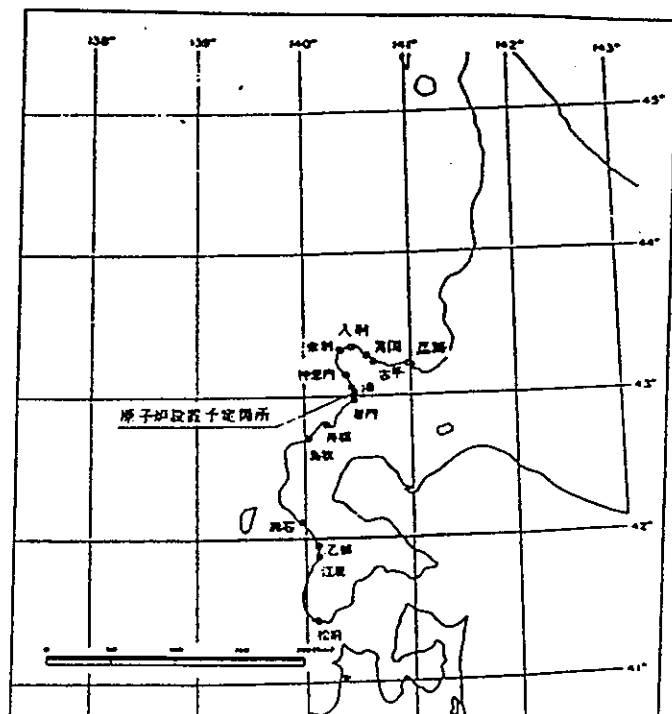
2) : 羽島 (1972)

3) : 羽島・片山 (1977)

4) : 阿部 (1981)

第 2 表 渡島西岸の地震による各地の津波の高さ(羽島・片山(1977))⁽⁴⁾

地名	記 事	津波の高さ (m)
北海道: 松前～熊石	19日明け方津波、流家729、潰家33、破船大小1,521、水死1,236。	
乙 部	家々すべて打ち流され、水死者多し(町内 B.M. 10.94 m)。	10～15
江 差	海底うず巻き、川上まで遡上、水死120、町内の寺院3箇所に津波供養碑あり(町内 B.M. 5.95 m)。	6～8
松 前	人家20軒余漂流し、人馬の死多し、達石に津波供養碑あり(町はずれの B.M. 4.89 m)。	6～8
津 経:		
三 厩	大浪打ちよせ、民家・田畑・草木・禽獣のこらずのみつくす。	4～6
市 浦	流家82、水死14。	4～5
田野沢・関ヶ沢	漂流82戸、水死8、漁網1,300余張、船53流失(関町内 B.M. 4.4 m)。	5～8
佐 波:		
相 川	津波家屋に打ちあげ、引き潮1町余(町はずれの B.M. 3.4 m)。	3～4
馬 崎	村中の過半の家流失、日付所も流れる。	4～5
両 津	加茂湖の北、海岸から800mの内陸に船上がる。	8?
江 津 (島根県)	江川河口を5～6町遡上、海岸20～30町干上がる。	1～2



第 3 表 神威山甲沖の地震による各地の震度津波の高さ(著藤(1941)による) (8)

地名	事	震度	津波の高さ(m)		
古	平	地震後約1時間位で海水が1.3m程度減水した。午前1時頃を第1回とし、約7~8分毎に襲来したが、高さの減少と共に漸次時刻差が少なくなった。干満の差は約2.4m。方向は北東より南西。午前1時30分頃高さ約1m。浸水区域は約15m。	1		
英	国	午前0時30分頃小規模の津波が襲来し1.5mのところまで浸水したが、直ちに減水して約1.0mのところまで下った。午前3時頃迄は約10分おきに増減し、その後増減の周期が長くなり、潮位差も少くなり、午前6時頃迄水面が上下した。	1.5		
入	舩	地震後3分位(入舩においては震動時間約3分あった)で、海水急激に小波と共に減少し、1分で約30mの幅にわたり、2.0m余りの減水があった。減水後間もなく物凄い潮鳴と共にところどころに大渦を巻きつつ2.0m以上の増水があった。午前5時頃迄反復した。方向は北で、浸水の最高は約2.7m(測定時刻午前1時)。浸水区域は海岸より10m余であった。	2.7		
余	別	地震後8分位で海水約2~3m引いた。海水の増加に止まり、地上人家に及ばないが、震後7~8分で来襲し、その後2.3m程度のが2~3回、その間の時間は5~10分位(平均7分)程度であった。その後徐々に平静になったが、正午頃迄継続した。碇舟その他の物件の流去状態を見ると、東方に向っているが、これは潮流のためかも知れない。浸水区域はなし。津波襲来の前にはバラスを掻きたてるような異常音響が聞え、また遠くゴーと風筒のような音があったとも言われる。	2.3		
神	恵	内	地震後20分位を経て海水が1m位減った。津波の来襲は約20回あり、午前1時40分頃第1回目、2時頃2回目、その後午前10時頃迄約10~30分毎に来襲。第1回の流速は緩かであったが、回を重ねるに従って急となり、第4、5回目に最も急となり、急流の河川のような状態で5~6回連続した。方向は北西より来て、同方向に去る。高さは1.8m位(午前4時10分頃)で、浸水区域はなかった(陸岸が高いため)	4	1.8
	泊	地震後約1時間30分位で潮が満ちた。津波の来襲及び引く時、何れも流速は早く、特に増す時には、引く時より急速であった。襲来は4回で、その間の時間は大体2分位。高さは1.2m位(2~3時の間)で、方向は南西。浸水区域は海岸一帯で、海岸より20m以内であった。	1.2		
岩	内	地震後約12分で海水1.5m位引く。波の周期は約20分で、午前6時頃迄数百回あり、徐々に満ち又引いた。浸水区域は6~10間程度。	2.7		
寿	島	地震後20分位で海水約1m増水する。これより午前中に約6回の来襲があり、減水なし。増水の状態は緩やかで、引く方向は北。又流木は寿島湾の北方約8kmの沖合で5本拾得された。浸水区域は約6m。海鳴あり。	3	1	
西	島	牧	最初の襲来は午前0時30~40分頃で、凡そ3~4分間に一度の来襲あり。襲来の高さは、最初より午前2時頃迄は約1m位、同2時40分頃には約1.2mとなり、その後漸次減少し、午前8時過ぎ迄継続した。減水の仕方最初は約1.2m、最大約1.5mで、流れの方向は北であった。浸水した最も高い箇所の高さは、午前2時40分頃の約1.5mであった。浸水区域は約8m。遠雷の如き海鳴あり。	1.2	

第4表 津波マグニチュード m のスケール

(今村・飯田による)

津波 マグニチュード m	沿 岸 で の 津 波
[-1]	波高 50 cm 以下, 無被害
[0]	波高 1 m 前後で, ごくわずかの被害がある。
[1]	波高 2 m 前後で, 沿岸沿いの家屋を損傷し, 船艇をさらう程度。
[2]	波高 4 ~ 6 m で, 家屋や人命の損失がある。
[3]	波高 10 ~ 20 m で, 400 km 以上にわたる海岸線に顕著な被害がある。
[4]	最大波高 30 m 以上で, 500 km 以上にわたる海岸線に顕著な被害がある。

第 5 表 簡易式による津波の推定値

飯田式による 検討	地震マグニ チュードM	津波マグニ チュードR	津波の段階	津波の高さの推定値 (m)
	Fs-6新編 6.4	-1.76	[-1]	0.5
	Fs-3新編 6.7	-0.98	[-1]~[0]	0.5~1
	神威岬 西側断層 7.7	1.62	[1]~[2]	2 ~ 4
	7 $\frac{3}{4}$	1.75	[1]~[2]	

阿部式による 検討	地震マグニ チュードM	英央距離 Δ (km)	最大片振幅 H (m)	最大両振幅 Hz (m)
	Fs-6新編 6.4	22	0.18	0.32
	Fs-3新編 6.7	36	0.22	0.39
	神威岬 西側断層 7.7	87	0.91	1.62
	7 $\frac{3}{4}$	87	1.02	1.82

第 6 表 数値シミュレーションに用いる断層モデルの決定法

	① 1940年神威岬沖地震の想定モデル	② 岩内、忍路の後測記録と想定モデル計算との比較	③ 1940年神威岬沖地震の②による修正モデル	④ $M=7\frac{2}{3}$ を神威岬西側海域の断層に相似したモデル
マグニチュード M	7.5		7.5	$7\frac{2}{3}$
地震モーメント M_0 (dyne · cm) $M_0=10^{15}M^3$	2.2×10^{27}	各観測点での第1半波 a_1 、第2半波 a_2 、第3半波 a_3 について、観測値と計算値の比 K_i を求め、幾何平均 K (モデルのナベリ量に乘ずる平均的な補正係数) を求める。 $\log K = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \log k_i$	2.1×10^{27}	5.31×10^{27}
応力降下量 $\Delta\sigma$ (bar) $\Delta\sigma = \frac{16\mu D}{3KW}$	70 (新断層を想定)		※ 66	66
断層の長さ L (Km) $L^3 = \frac{M_0}{0.14726\Delta\sigma}$	60		60	82
断層の傾 W (Km) $W = \frac{L}{2}$	30		30	41
剛性率 μ (dyne / cm ²)	4×10^{11}	x_i = 観測値 y_i = 計算値 $k_i = x_i / y_i$ n = 比較個数	4×10^{11}	4×10^{11}
ナベリ量 D (m) $D = \frac{M_0}{\mu LW}$	3.1	$\therefore K = 0.94$	2.91	3.97

※ $K=1.0$ にするため①モデルのDに補正を行い ($3.1 \times 0.94 = 2.91$)
①のL、W、 μ を一定にして $\Delta\sigma$ を求めた。

第7表 津波伝播の諸条件.

<p>・境界条件.</p>	<p>海岸線及び防波堤では、それに直角方向の流量を零とする(完全反射) 沖側へは自由流出とする。</p>
<p>・初期条件.</p>	<p>地震断層による海底面変位を立上り時間60秒で海面に与える。 (計算基準面を T.P. +0m に設定)</p>
<p>・断層面上縁の深さ</p>	<p>断層の破壊が海底(表面)まで及んだものととして 0. Km とする。</p>
<p>・計算格子間隔 (ΔS)</p>	<p>10Km ~ 208m とする。</p>
<p>・計算時間間隔 (Δt)</p>	<p>10秒. 但し $\Delta S = 208m$ では 3.3秒. Δt を設定する際に計算を安定に実行するための条件: $\Delta S / \Delta t > \sqrt{2g \cdot D_{max}}$ $\therefore D_{max}$: 計算領域での最大水深. を用いる。</p>

第 8 表 断層モデルの諸元

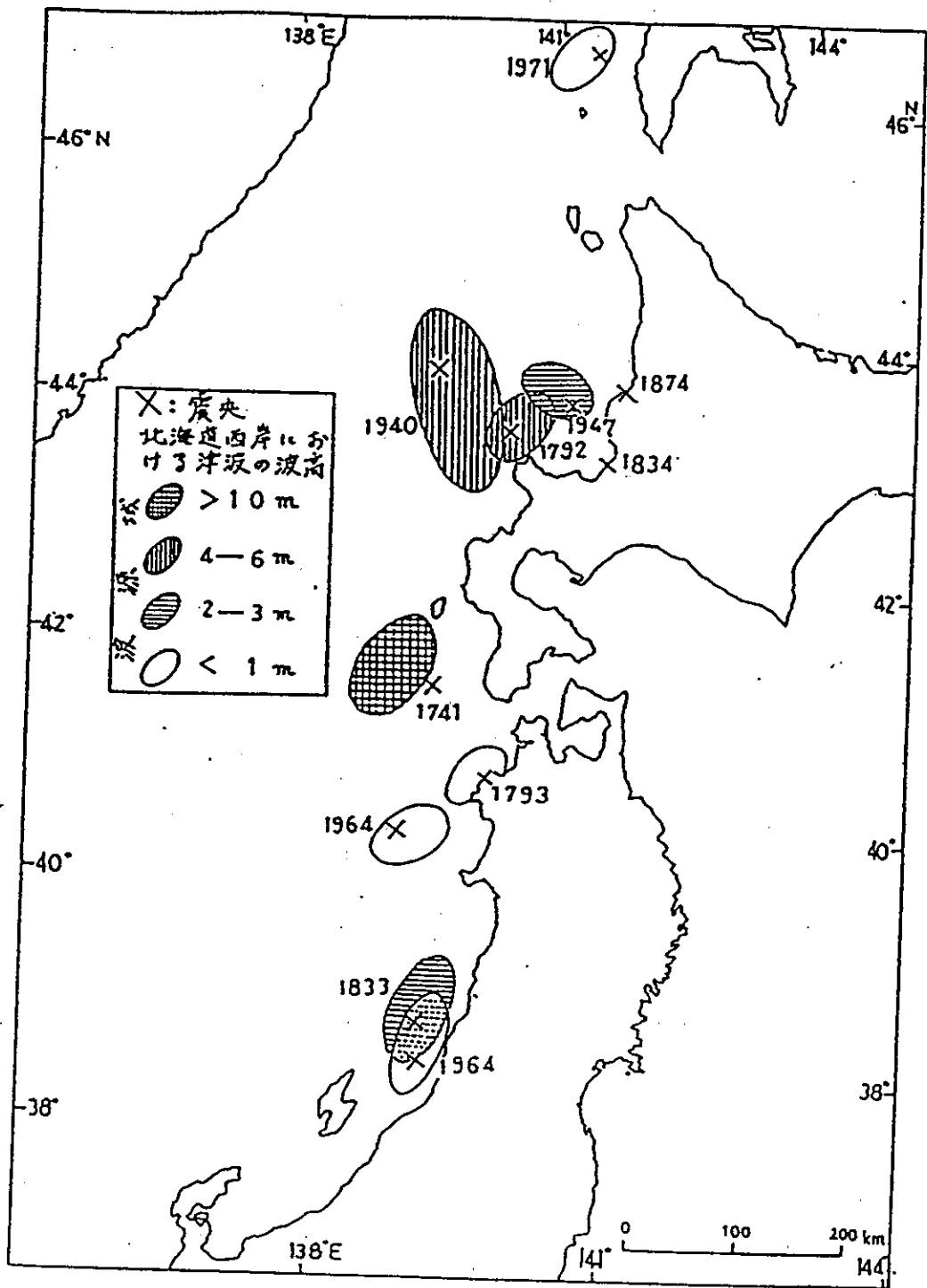
断層モデル	断層の形態	地震マグニチュードM	断層の長さL (km)	断層の幅W (km)	ナベリ量D (m)	傾斜方向と北方向のなす角 θ (°)	傾斜角 δ (°)
1940年神威岬沖地震のモデル	逆断層	7.5	60	30	2.91	110	45
神威岬西側海域のモデル	逆断層	7 $\frac{3}{4}$	82	41	3.97	90	45

※は、深尾、古本 (1975) による。

第 9 表 津波の最大振幅

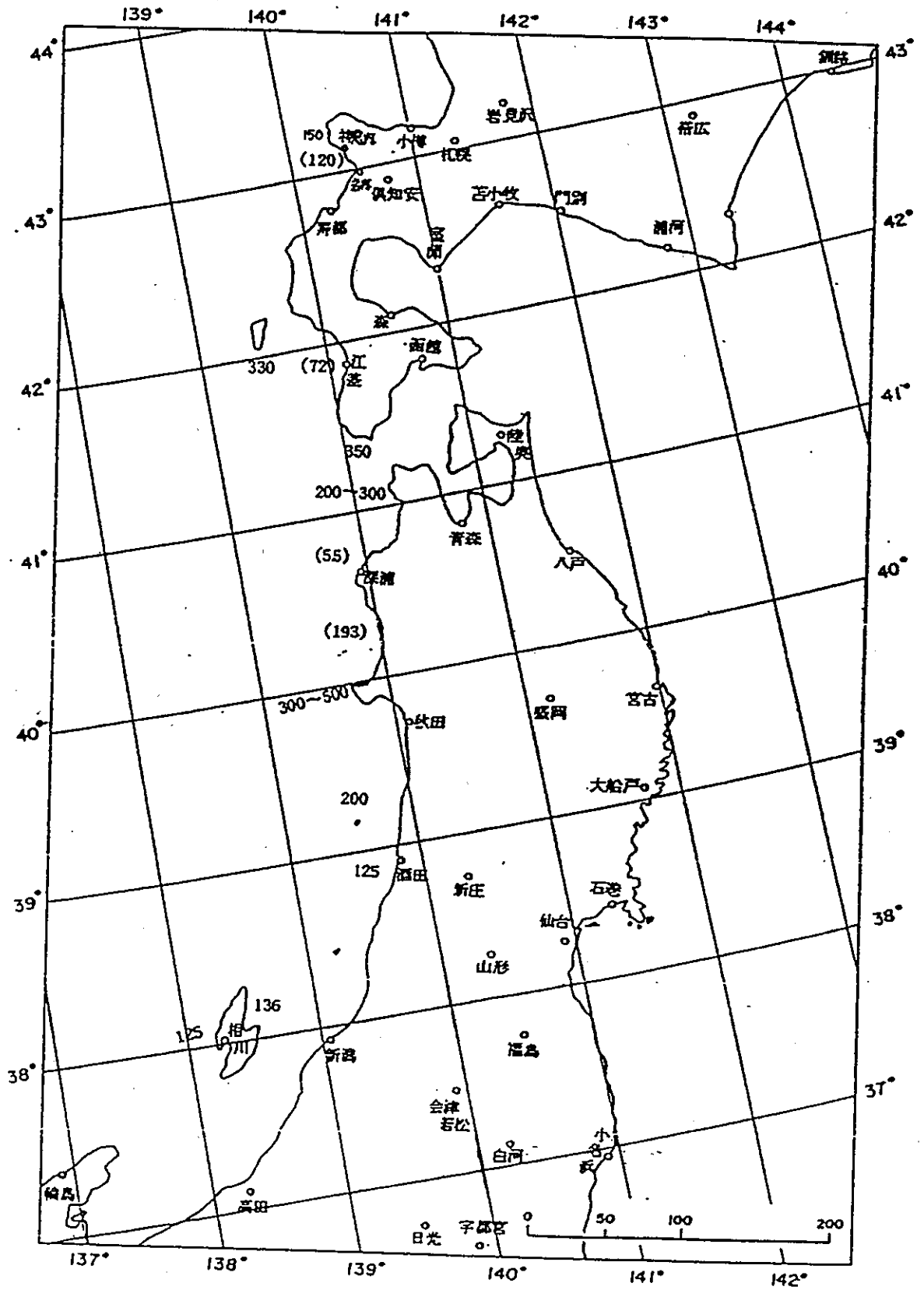
(m)

モデル 出力点No. L×W (km)	最大上昇波の振幅(Hc)			最大引き波の振幅(Ht)		
	4	5	6	4	5	6
82×41	2.25	3.46	4.55	2.48	2.55	2.80

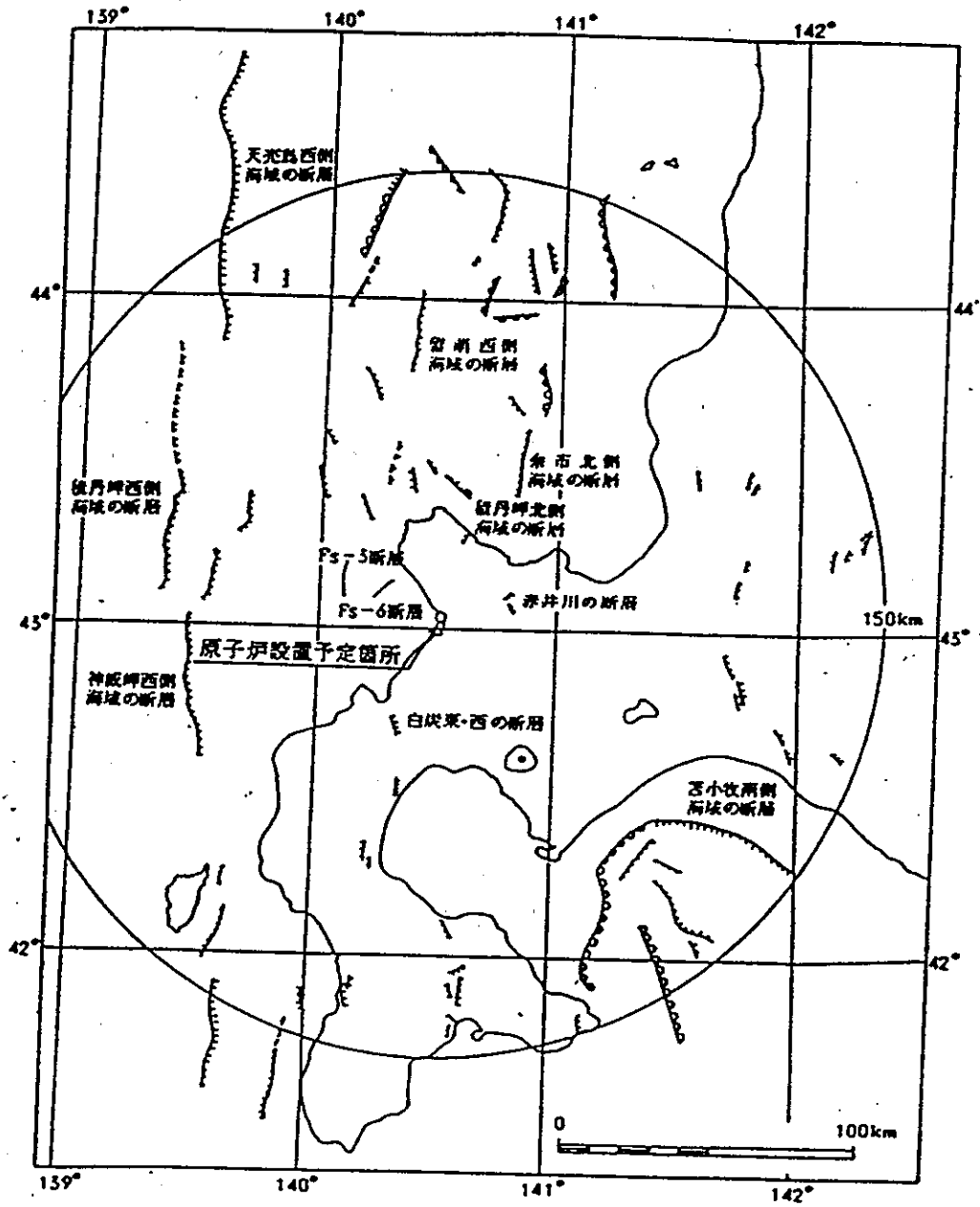


第 1 図 北海道西岸に影響を及ぼした地震津波の地震の震央および津波の波源域の分布。
波源域は、北海道西岸における津波の最大波高によって分類されている。

(羽鳥・片山(1977)による)

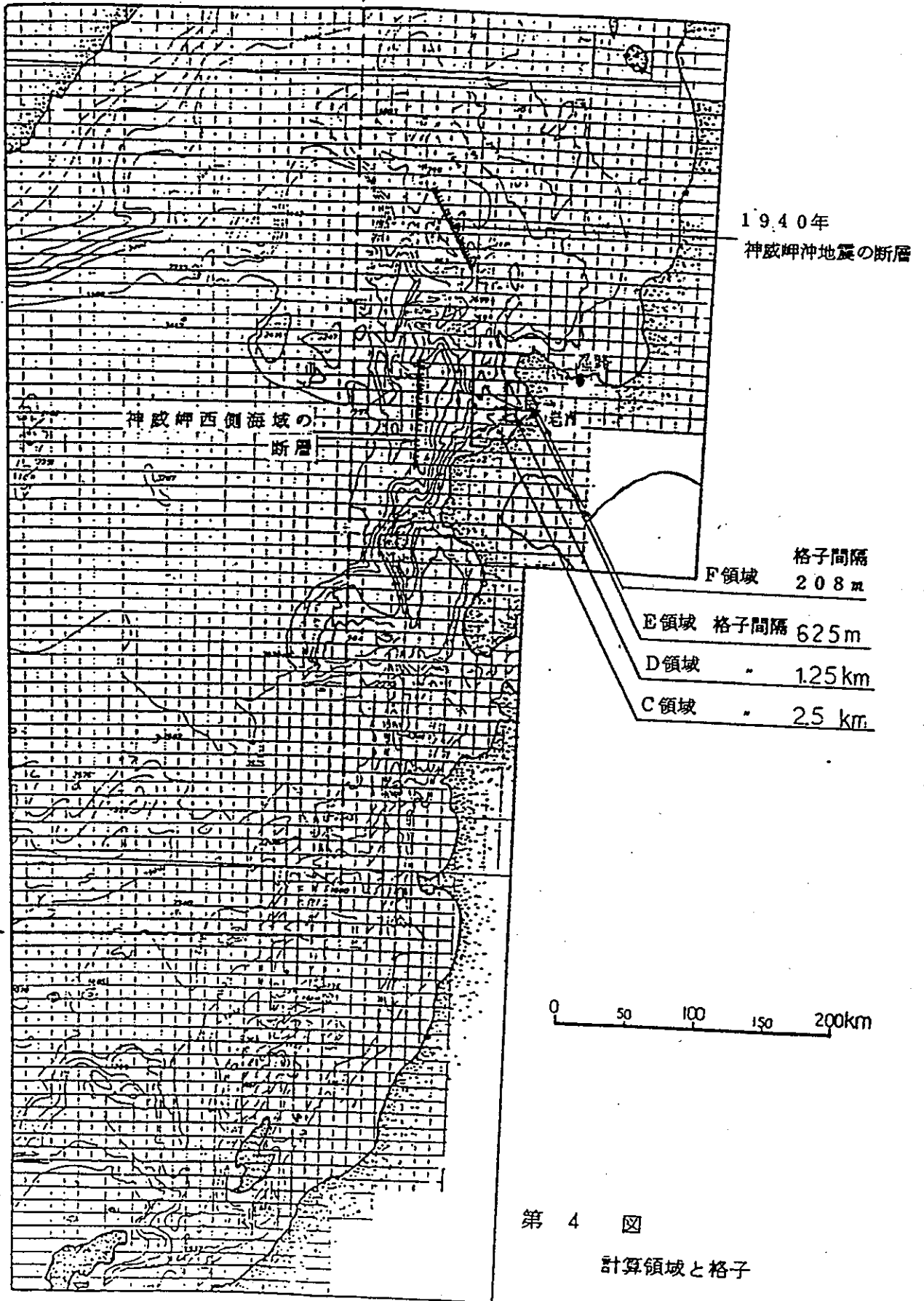


第2図 日本海中部地震による各地の津波最大波高 (cm)
 () で示した値は検潮儀によるもの。
 神内内の記録は役場漁協調べによる。

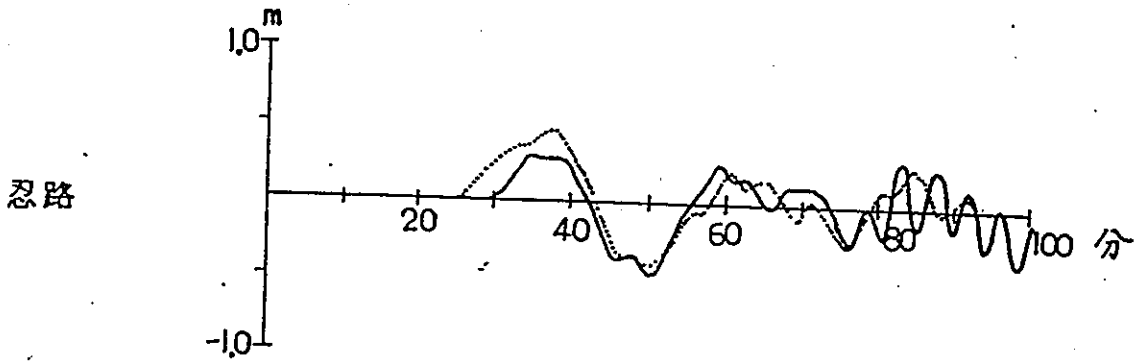
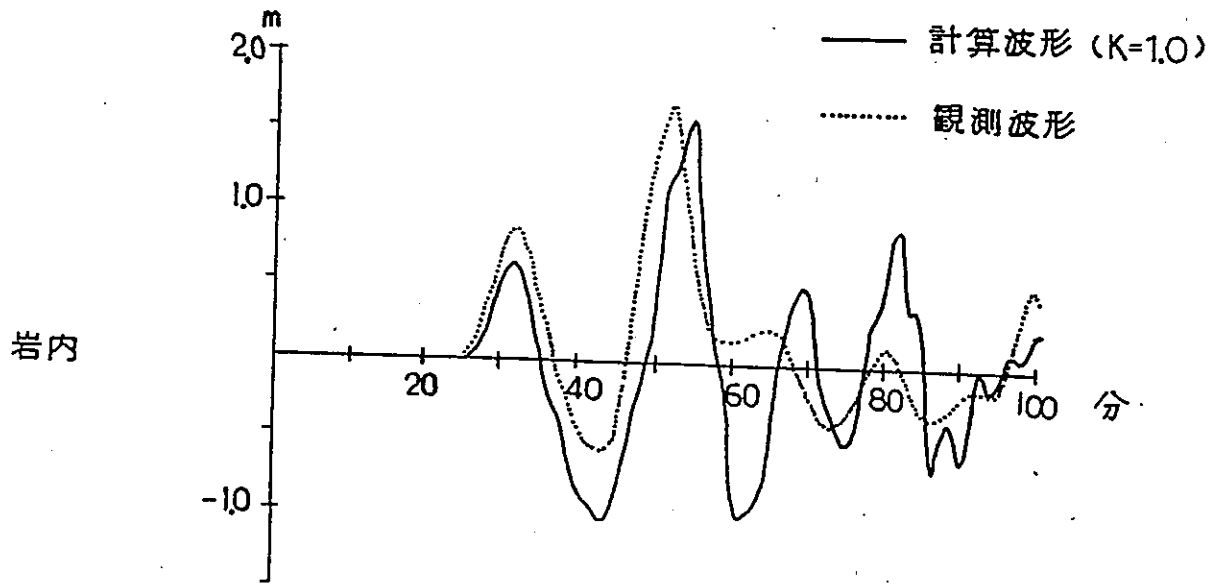


第 3 図 敷地周辺の活断層分布

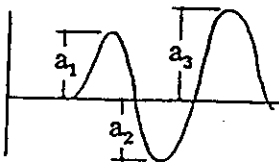
A領域 格子間隔 10km
 B領域 格子間隔 5km



第 4 図
 計算領域と格子

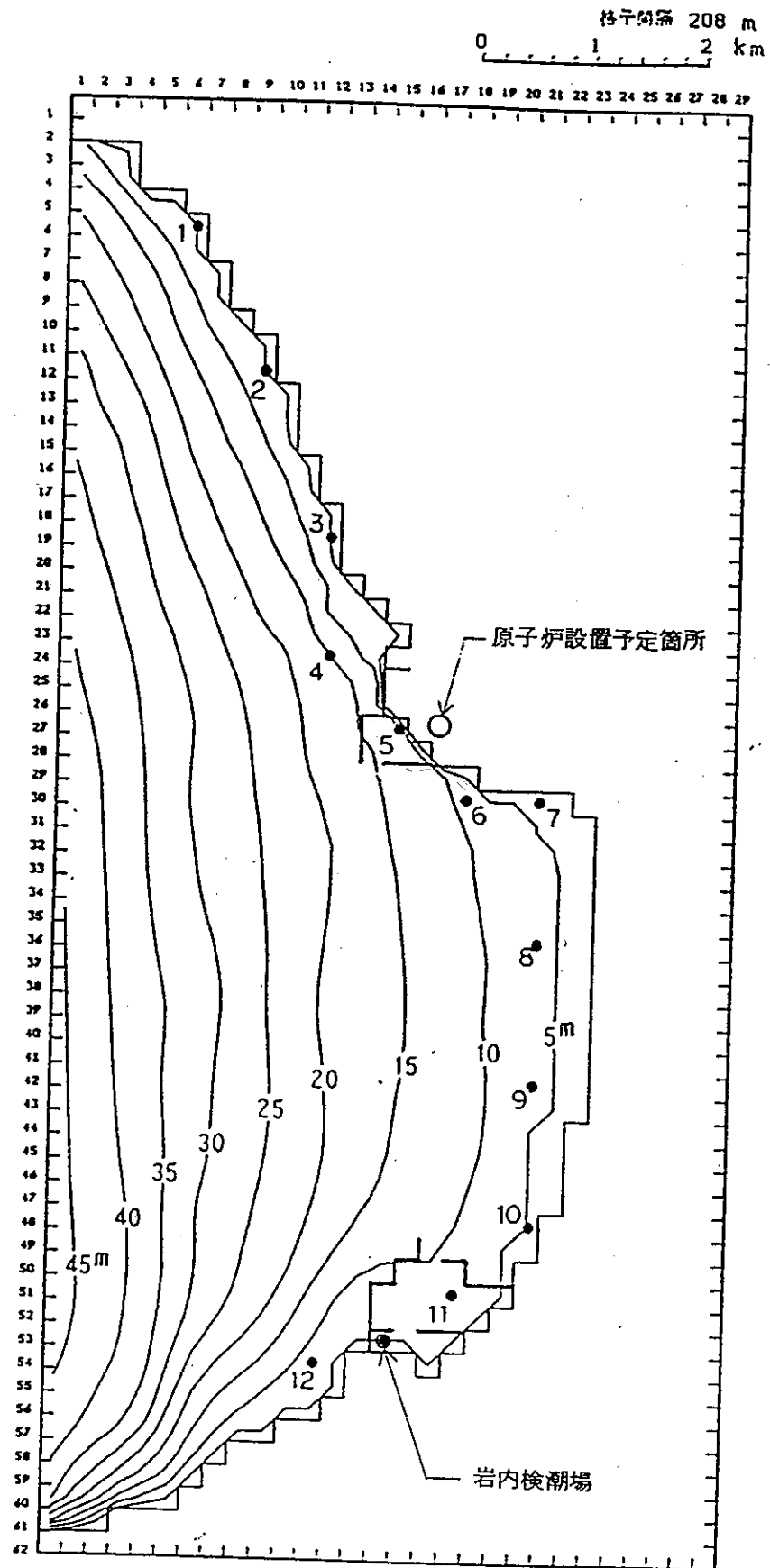


凡例

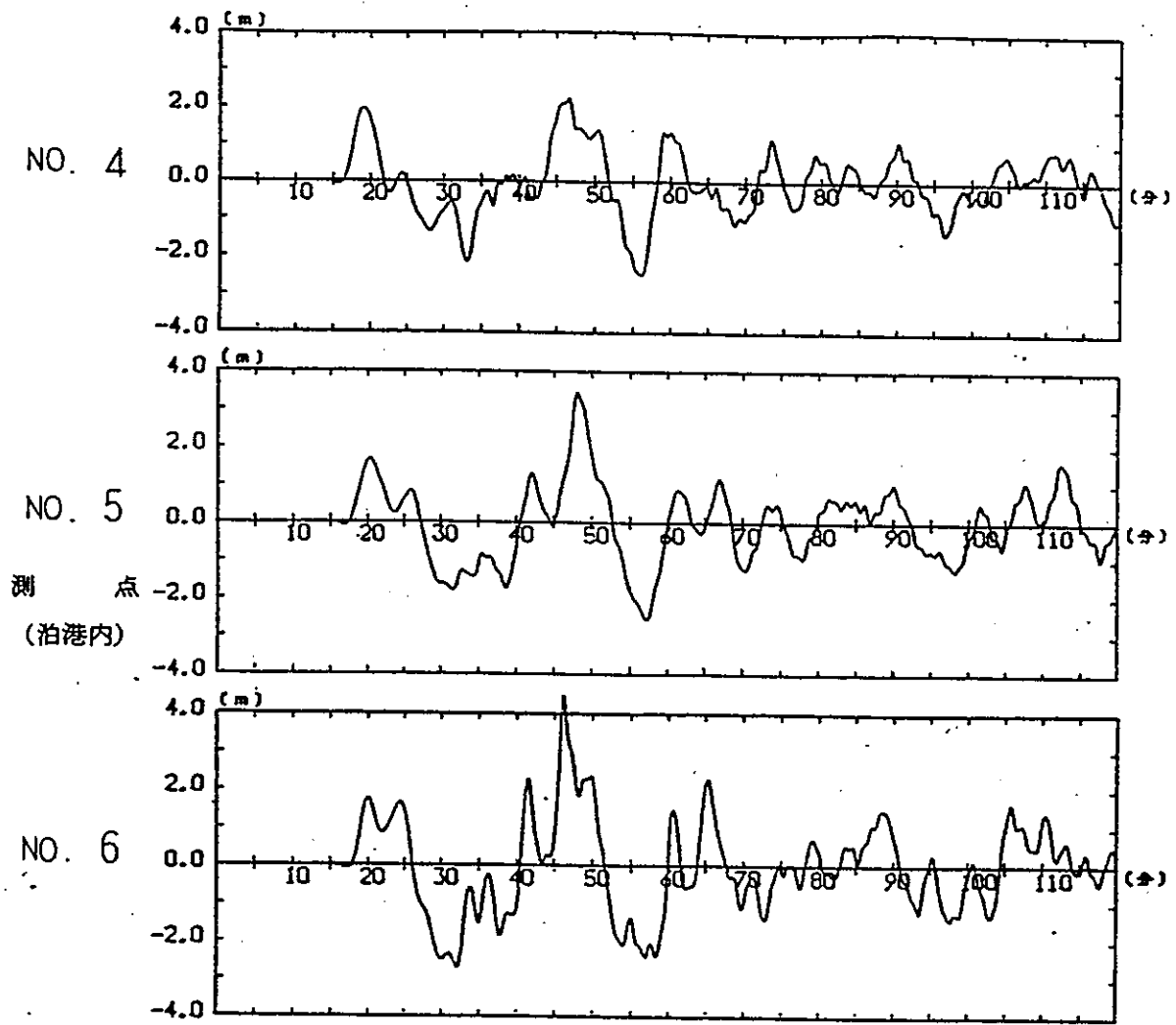


	岩 内			忍 路		
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₁	a ₂	a ₃
検潮儀観測値	85	-59	170	48	-39	21
モデル計算値 幾何平均値 K = 0.94	65.2	-108.5	166.7	31.4	-52.4	25.8
モデル計算値 幾何平均値 K = 1.0	61.4	-102.1	156.6	29.5	-49.2	24.2

第 5 図 津波の観測波形と計算波形との比較



第 6 図 計算格子と結果の出力点 (F 領域)



第 7 図 計 算 波 形

付録. 日本海中部地震による津波の波高分布について

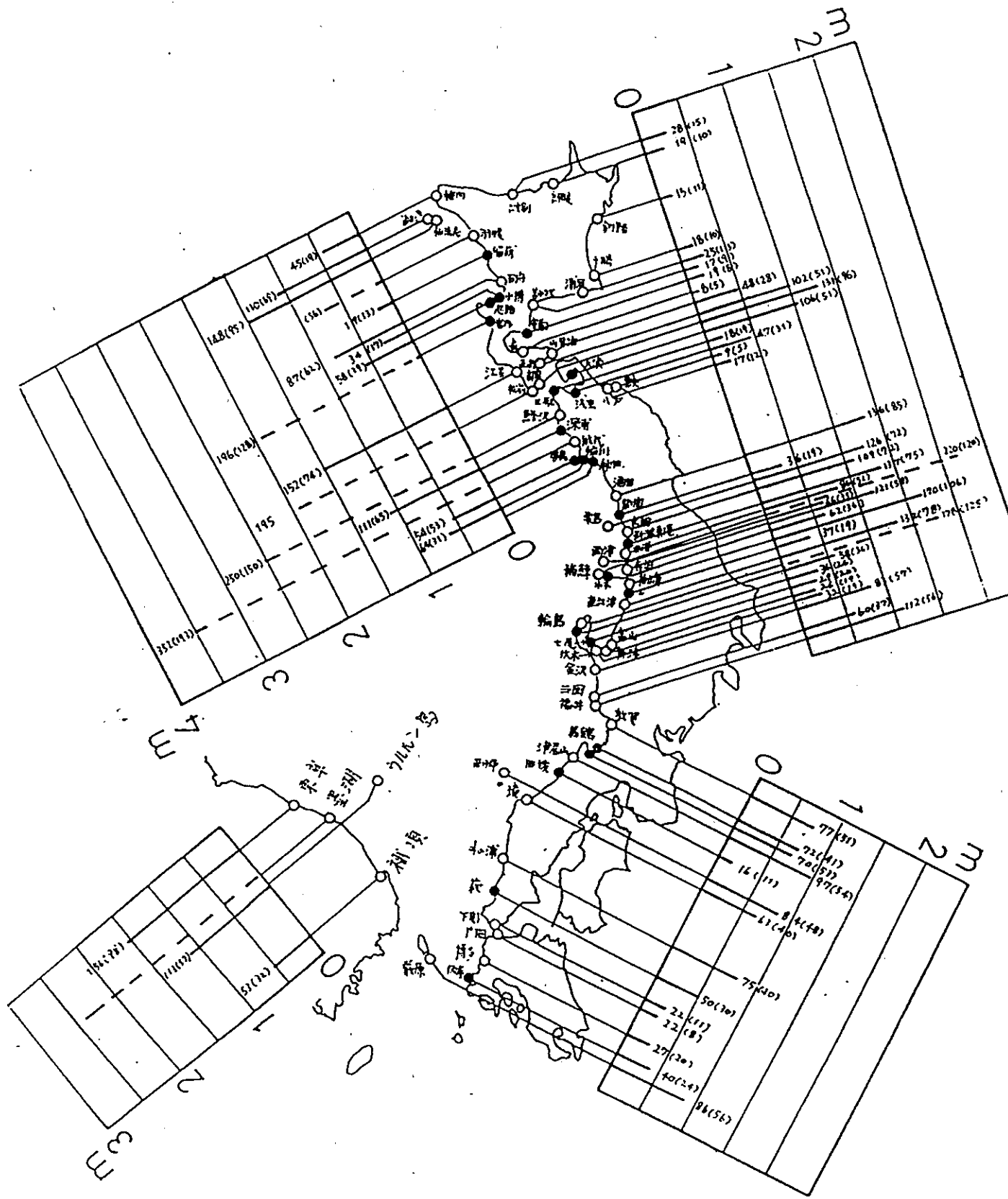
一次審査後に地震学会(昭和58年度秋季大会)で発表された各地の最大波高分布図を示す。

付1図は換潮儀記録による各地の最大波高分布図である。

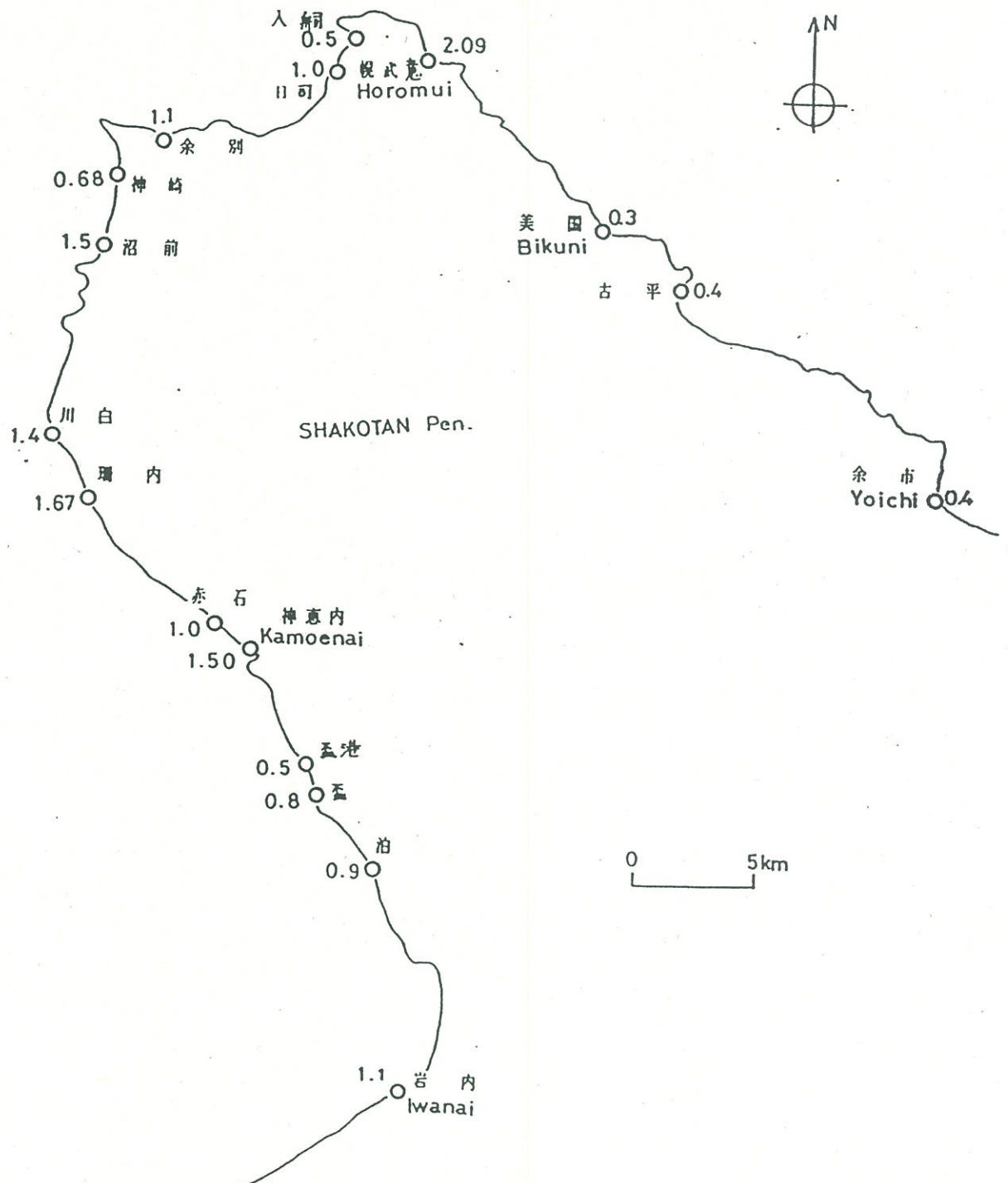
[岡田正実(気象研究所)]

付2図は証言、痕跡に基づく積丹半島での津波高を示す。

[都司嘉宣他(国立防災科学技術センター)]



付 1 図 昭和 58 年日本海中部地震津波の各地の最大波高分布図



付 2 図. 積丹半島の津波高 (m)