

第7図 音波探査記録 (測線 i)

測線 i

泊発電所（1、2号炉）

地震地体構造について

昭和59年 2月20日

目 次

1. 地震地体構造の調査 1
2. 地震地体構造から想定される地震 2

1. 地震地体構造の調査

1) 宮村⁽¹⁾によれば、北海道の地震帯は北から南下する第三紀造山帯である日高-樺太弧地震帯と北東から進入している若島弧の地震帯に属する千島弧地震帯に代表される。(第1図)

日高-樺太弧地震帯は地震帯といわれるほど活動的なものではないが、千島弧地震帯は地震活動が非常に活発であり、大地震も多い。

2) 宇津⁽²⁾は、浅い地震の発生状況の検討から、北海道及びその周辺を第2図に示すような区域分けを行っており、敷地周辺は日本海海域のⅦ地区と陸域のⅤ及びⅥ地区に区域分けされている。

これらの地区に起り得る地震の大きさの上限をⅤ、Ⅵ地区では $M=6\frac{1}{2}$ 、Ⅶ地区では $M=7\frac{1}{2}$ としている。

3) 一方、北海道日本海側で起り得る地震の限界的な規模の上限は $M=7\frac{3}{4}$ という知見もある。(第3図)

4) 敷地周辺の地震発生状況を示した第4図によると、陸域については、敷地から65km付近には有珠山の火山活動に関連した地震、石狩から留萌にかけての日本海沿岸に地震の発生がみられ、これらの規模は $M=5.3\sim 6.4$ である。海域では、敷地から50~100kmの距離にある石狩湾に $M=6\sim 7$ の地震が発生しており、また、神威岬の

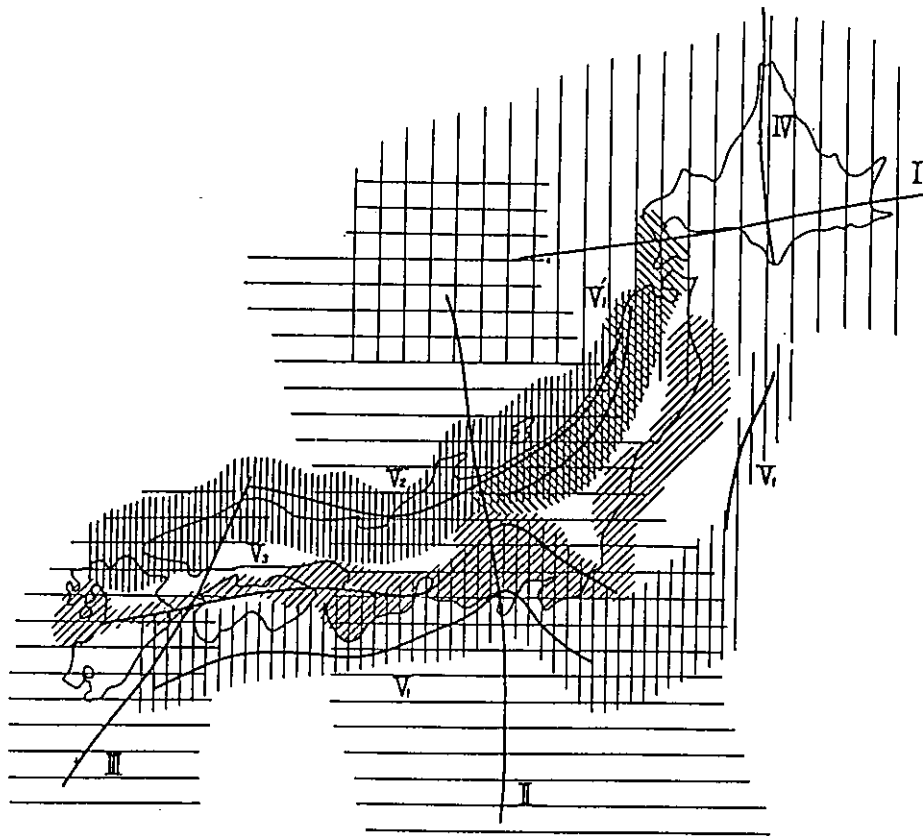
北西沖約140km付近に $M=7.0$ (その後気象庁の見直しでは7.5となっている。)の地震が発生している。

- 5) 気象庁資料⁽³⁾に基づく震源分布図(1926年~1980年 第5図~第7図)によると、次のような傾向が見られる。
- (a) 島弧と海溝の間の地域における浅発地震の発生が顕著で、内陸及び日本海側は極端に少なくなっている。
 - (b) 深発地震面の傾斜角は $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 程度であり、敷地周辺の深発地震面までの深さは約150kmである。
 - (c) 敷地から半径約40kmの半球内では地震の発生は見られない。

- 6) 調査結果に基づく敷地周辺の活断層と文献に記載されているこれら以外の活断層の分布を第8図に示す。また、これらの各断層について、断層規模から想定される地震の規模、断層の中央から敷地までの距離(Δ)を第1表に示す。

2. 地震地体構造から想定される地震

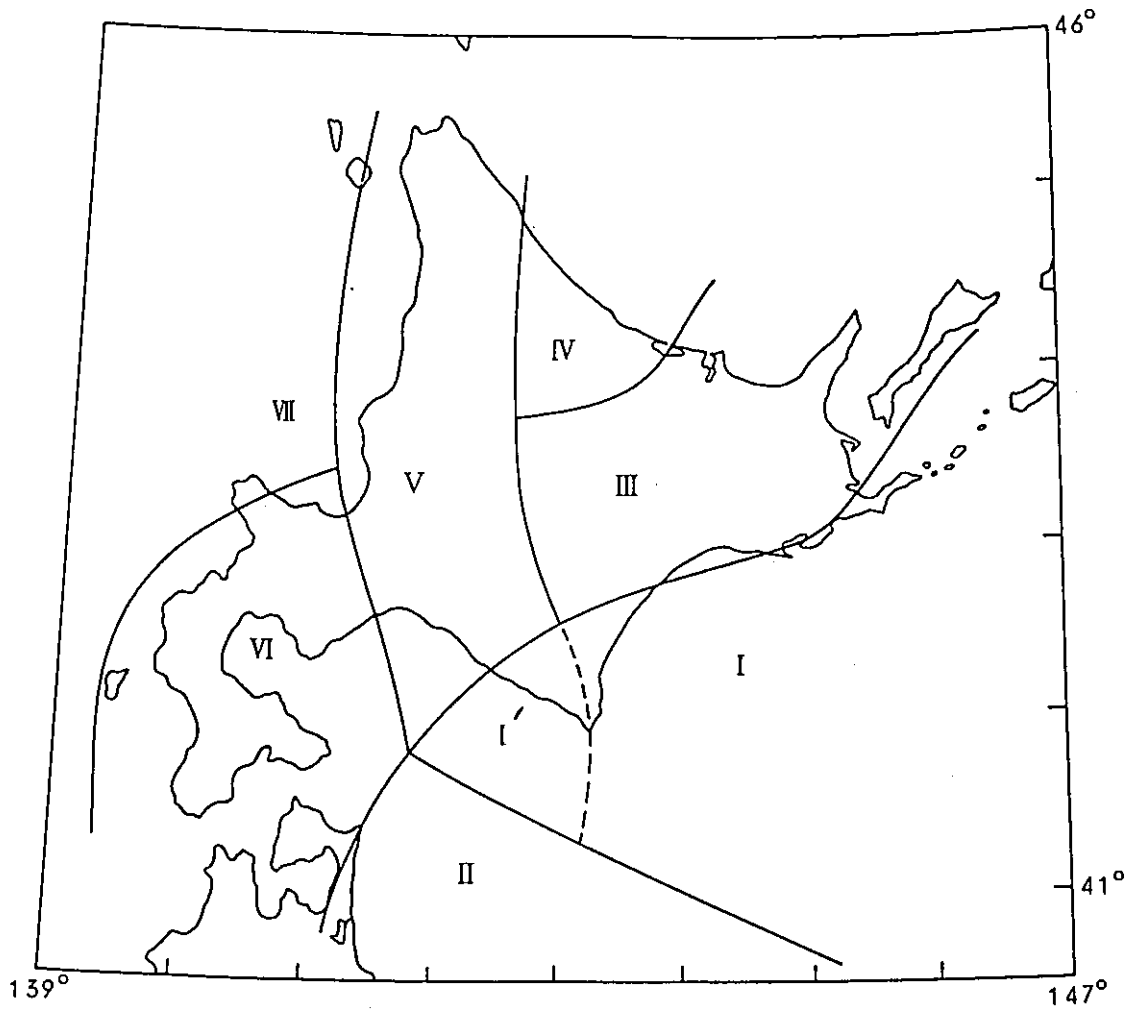
以上のことより、敷地周辺における地震地体構造の見地から設計用限界地震を想定すると、地震規模の上限は $M=7\frac{3}{4}$ とされており、これに見合う規模の活断層は神威岬西側断層($L=50\text{km}$, $M=7.7$)であるので、この断層の中央の位置($\Delta=87\text{km}$)に $M=7\frac{3}{4}$ の地震を想定している。



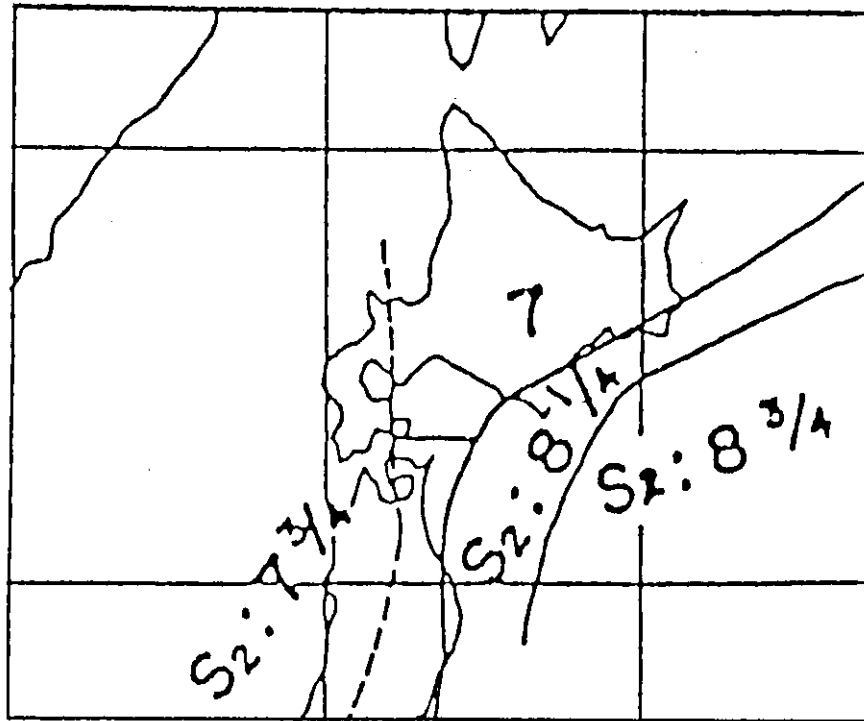
1. 2. 若島孤の地震帯
 (I : 千島孤地震帯、II : 伊豆-小笠原孤地震帯、
 III : 九州-琉球孤地震帯)
3. 4. 第三紀造山帯の地震帯
 (IV : 日高-樺太孤地震帯、V_i : 本州外側地震帯、
 V_i' : 羽越地震帯)
5. 6. 地塊運動を示す地震帯
 (V₂ : 本州内側地震帯、V₃ : 本州中央地震帯)

第 1 図 地体構造と関連づけた地震帯の分類

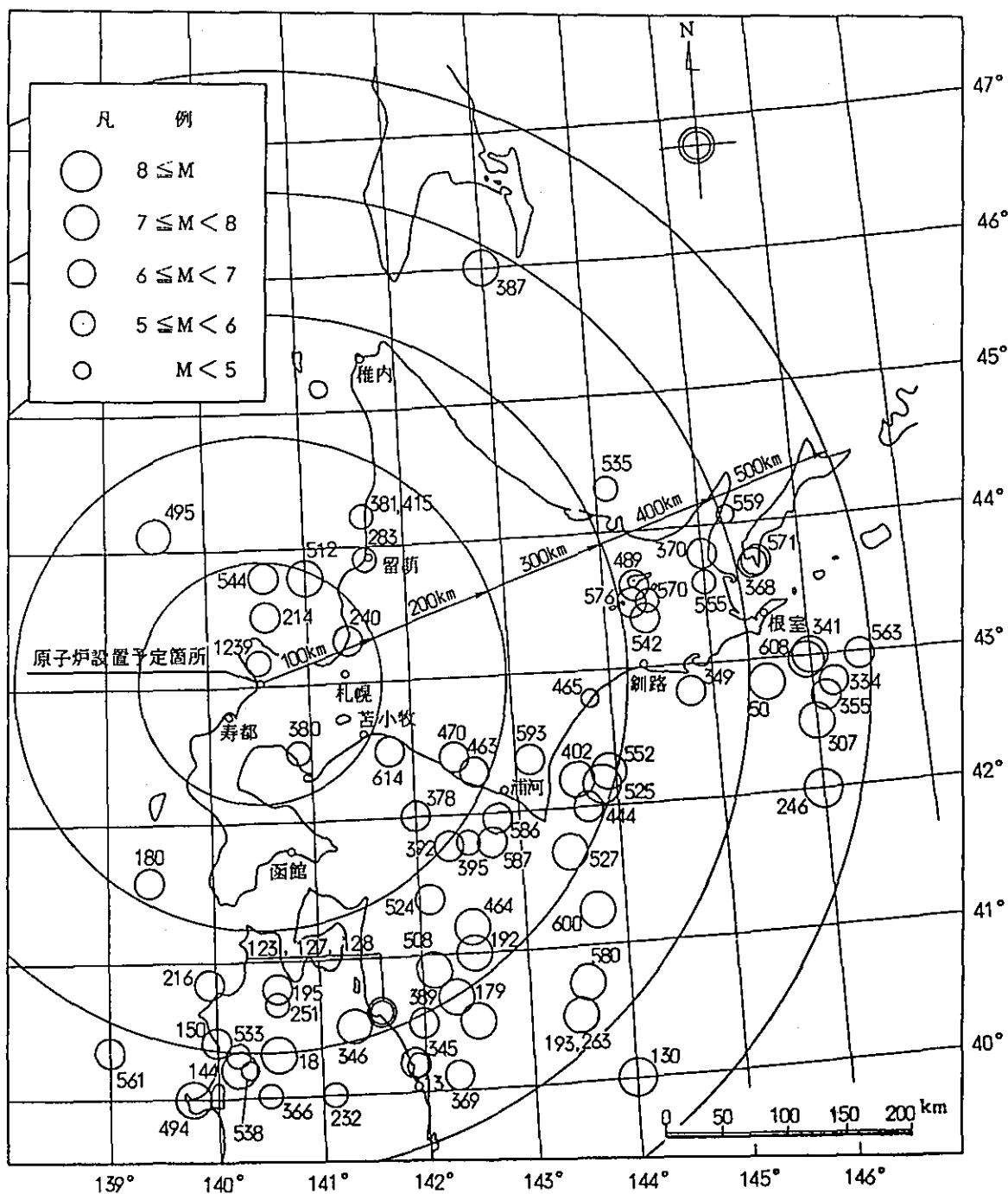
(宮村「地震活動と地体構造」による。)



第2図 宇津による北海道およびその周辺の区域分け

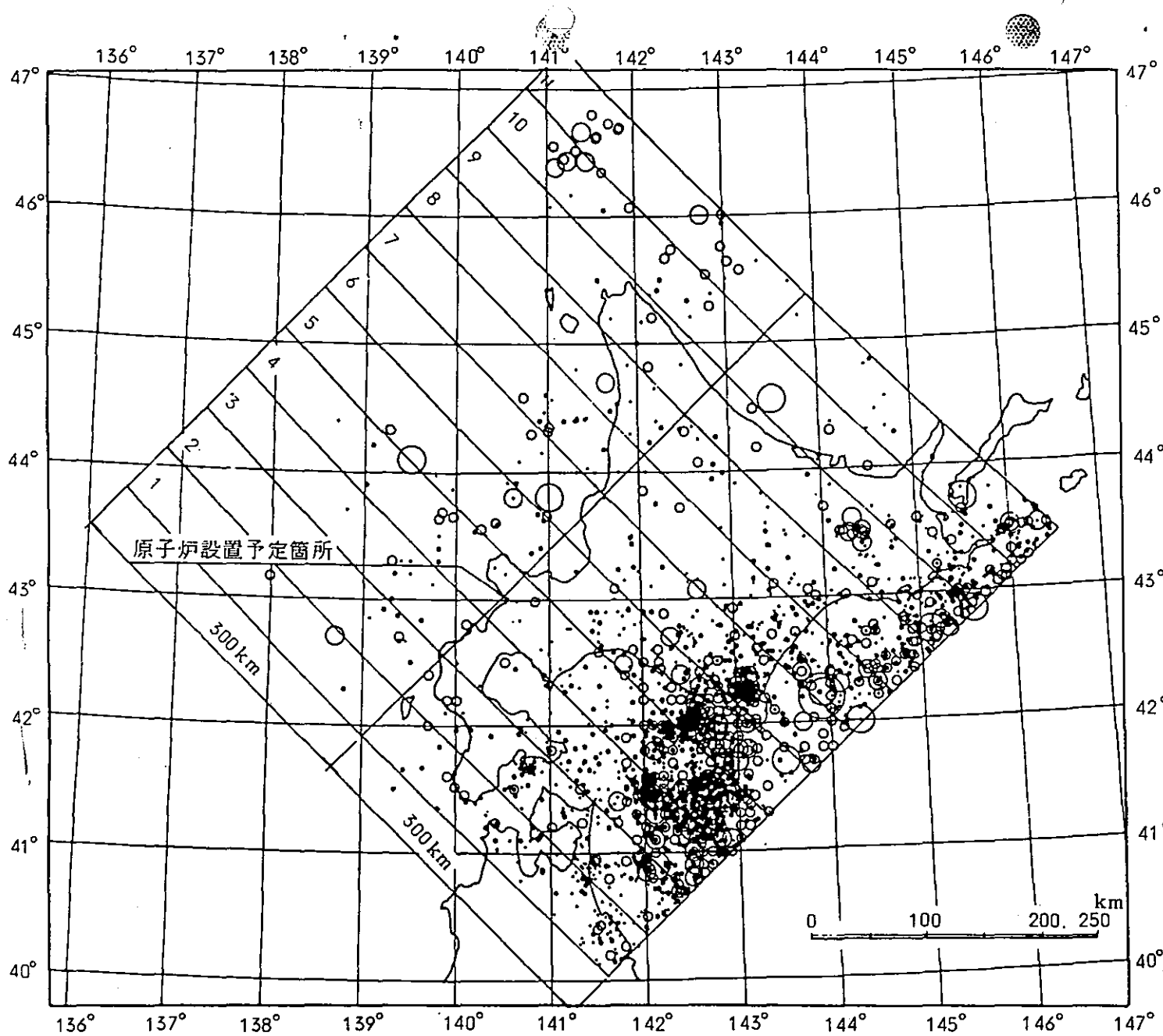


第3図 (4) 表・他 による各地域の限界地震のマグニチュード



(「宇佐美カタログ(1979)」及び「気象庁カタログ」等より作成、
番号は地震番号を示す。)

第4図 北海道周辺の地震の震央分布図

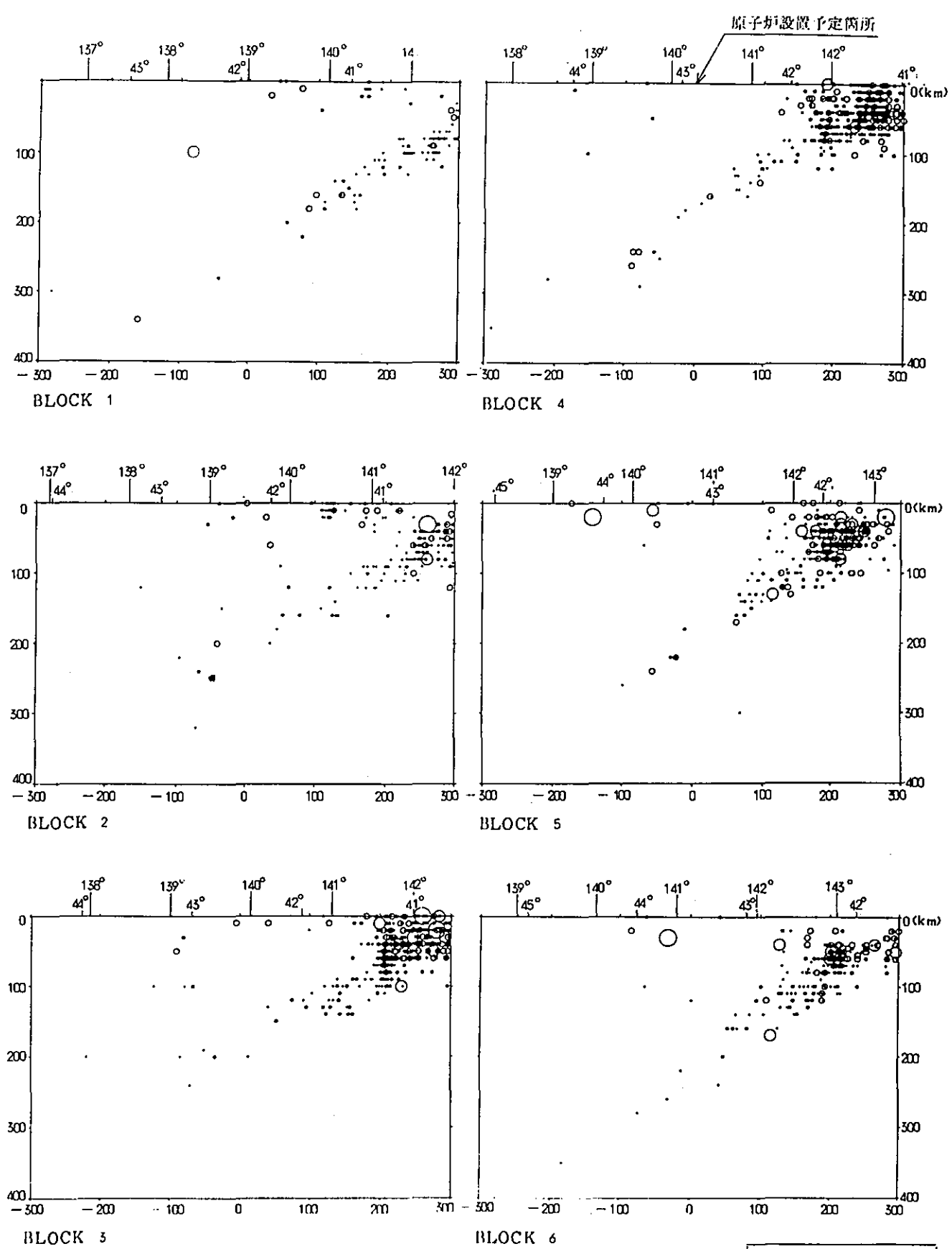


- 凡 例
- $8.0 \leq M$
 - $7.0 \leq M \leq 7.9$
 - $6.0 \leq M \leq 6.9$
 - $5.0 \leq M \leq 5.9$
 - $4.0 \leq M \leq 4.9$
 - $0 \leq M \leq 3.9, M$ 不明

40° 図中の数字は垂直分布図作成時の
ブロック番号 (幅 50 km)

(気象庁「地震月報及び同別冊」より作成)

第 5 図 北海道周辺の地震の震央分布図 (1926年~1980年)

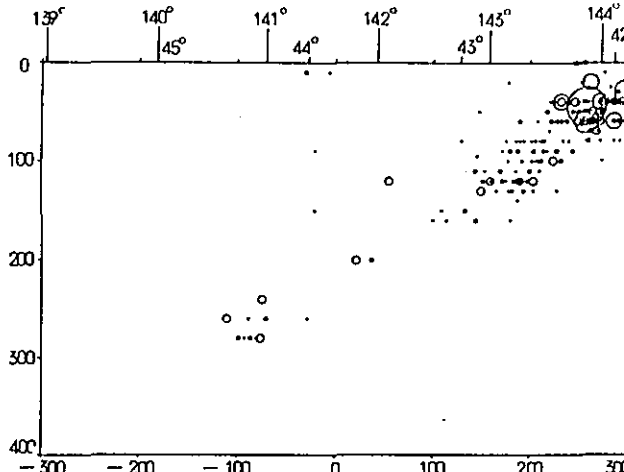


凡例

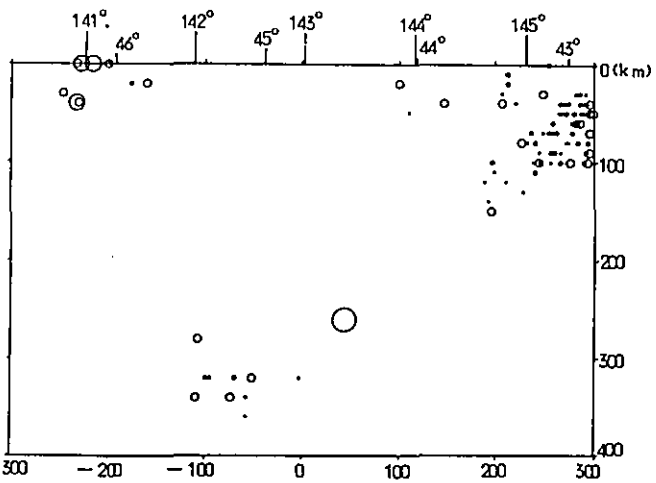
○ (largest)	8.0 ≧ M
○ (medium-large)	7.0 ≧ M ≧ 7.9
○ (medium)	6.0 ≧ M ≧ 6.9
○ (small-medium)	5.0 ≧ M ≧ 5.9
○ (small)	4.0 ≧ M ≧ 4.9
○ (smallest)	0 ≧ M ≧ 3.9, M不明

(気象庁「地震月報及び同別冊」より作成)

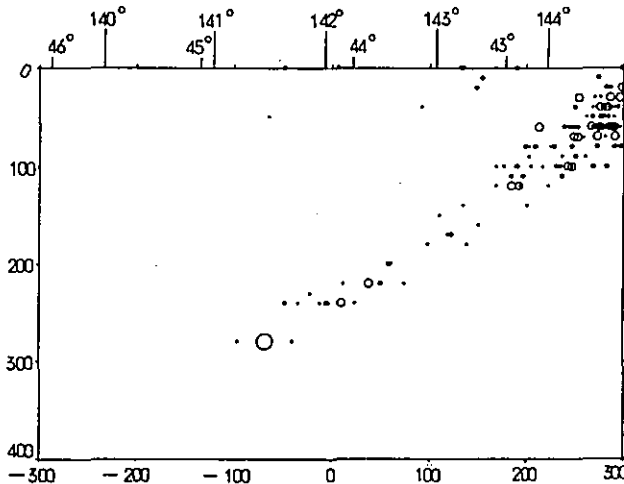
第6図 北海道周辺の地震の垂直分布図(1)



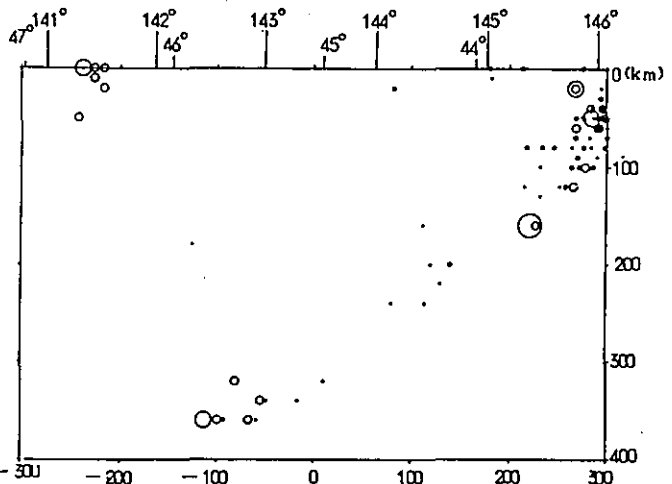
BLOCK 7



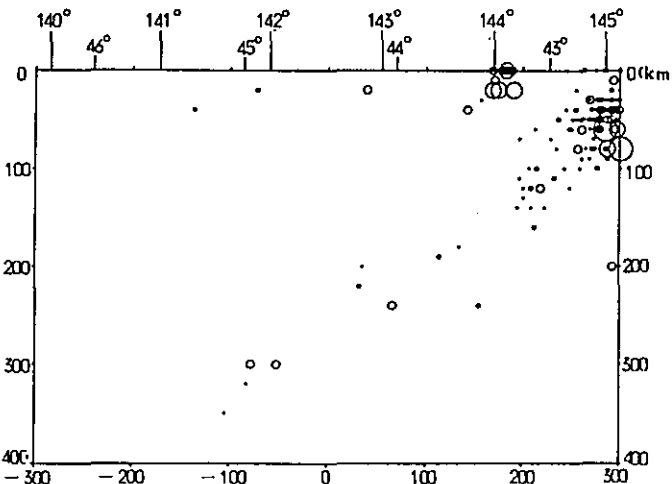
BLOCK 10



BLOCK 8



BLOCK 11

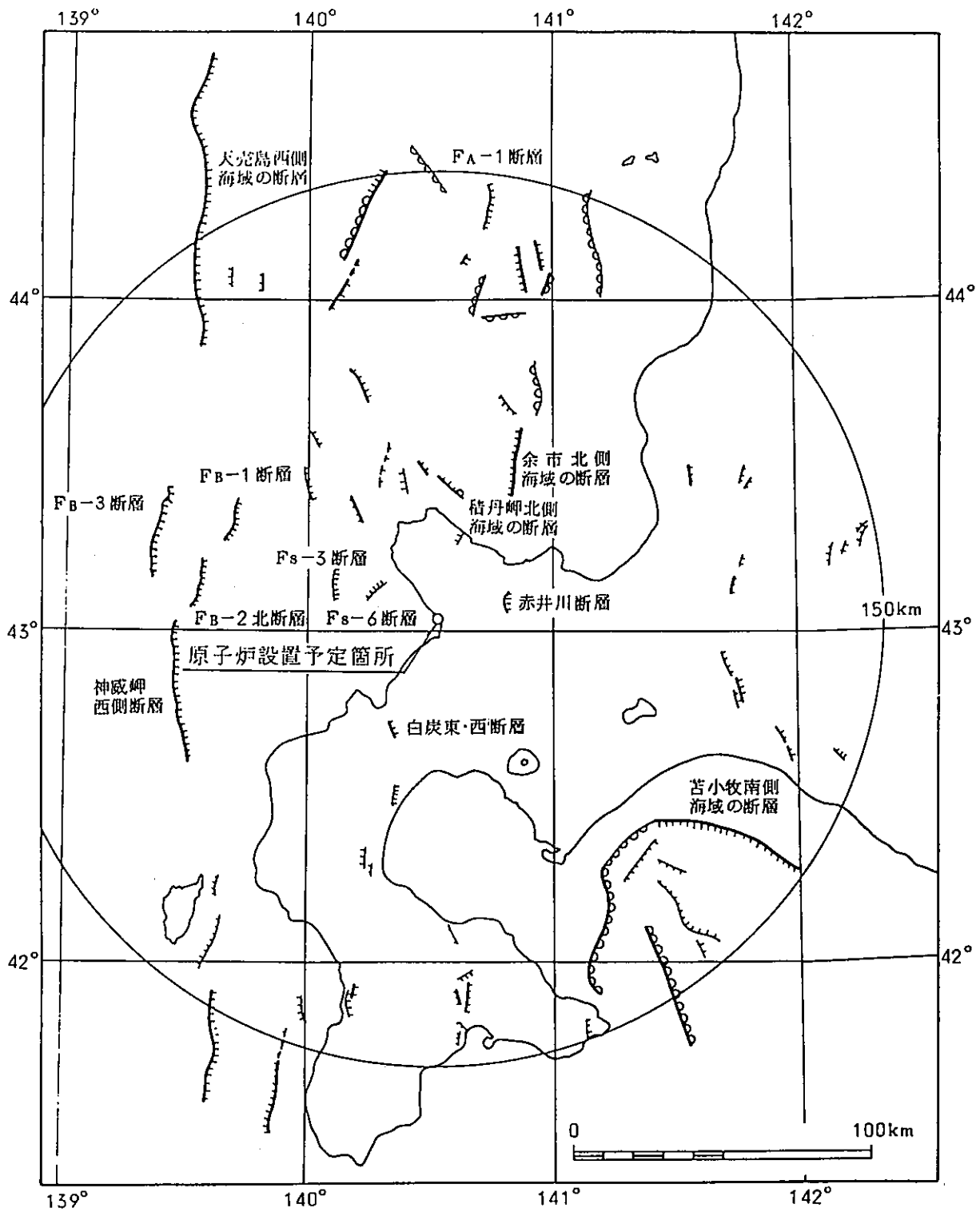


BLOCK 9

凡例	
○ (largest)	8.0 ≦ M
○ (medium-large)	7.0 ≦ M < 7.9
○ (medium)	6.0 ≦ M < 6.9
○ (small-medium)	5.0 ≦ M < 5.9
● (small)	4.0 ≦ M < 4.9
● (smallest)	0 ≦ M < 3.9, M不明

(気象庁「地震月報及び同別冊」より作成)

第7図 北海道周辺の地震の垂直分布図(2)



第8図 敷地周辺の活断層分布

第1表 敷地周辺における活断層から想定される地震

番号	断 層 名	L (km)	M	△ (km)
1	天売島西側海域の断層	60	7 $\frac{3}{4}$	160
2	余市北側海域の断層	24	7.1	61
3	積丹岬北側海域の断層	12	6.6	47
4	FB-3断層	30	7.3	97
5	神威岬西側断層	50	7.7	87
6	FB-1断層	18	6.9	77
7	FB-2北断層	14	6.7	80
8	苫小牧南側海域の断層	52	7.7	122
9	FA-1断層	13	6.7	137
10	Fs-3断層	13	6.7	36
11	Fs-6断層	9	6.4	22
12	赤井川断層	4	5.8	23
13	白炭東・西断層	8	6.3	41

L:断層の長さ
M:地震規模
△:断層の中央から敷地までの距離

参考文献

(1) 「地震活動と地体構造」

宮村撰三、地震第2輯第15巻第1号、昭和37年

(2) 「北海道およびその周辺の地震活動」

宇津徳治、北大地球物理学研究報告、19、1968年

(3) 「地震月報」

気象庁、1926～1980年

(4) 「 JAPANESE PRACTICE FOR ESTIMATING THE EXPECTED
MAXIMUM EARTHQUAKE FORCE AT A NUCLEAR POWER
PLANT SITE 」

表俊一郎、大崎順彦、垣見俊弘、松田時彦、1980年

泊発電所（1、2号炉）

基準地震動について

昭和59年 2月20日

目 次

1. 考慮する地震	1
1.1 設計用最強地震	1
1.2 設計用限界地震	3
2. 地震動特性	5
2.1 最大振幅	5
2.2 軟地地盤の振動特性	6
2.3 周波数特性	8
2.4 継続時間及び振幅包絡線の経時的変化	8
3. 基準地震動	9
3.1 応答スペクトル	9
3.2 模擬地震波	10

1. 考慮する地震

1.1 設計用最強地震

(1) 過去の地震

第1図に示す主な地震について、マグニチュード、震央距離及び敷地で想定される気象庁震度階級（以下「震度」という。）との関係を第2図に示す。この図によると震度Ⅴ（強震）以上を敷地に与えたとは推定される地震はなく、震度Ⅳ（中震）程度を与えたとは推定される地震として

1792年後志の地震

（マグニチュード（ M ）=6.9、震央距離（ Δ ）=52 km）

1905年神威岬沖の地震

（ $M=5.8$ 、 $\Delta=15$ km）

1940年神威岬沖の地震

（ $M=7.0$ 、 $\Delta=144$ km）

1947年留萌西方沖の地震

（ $M=7.0$ 、 $\Delta=94$ km）

がある。

これらの4個の地震のうち、敷地に最も大きな影響を与えたとは推定される1792年後志の地震及び1905年神威岬沖の地震を設計用最強地震として考慮している。

(2) 活断層

文献調査及び現地調査に基づく敷地周辺の活断層を第3図に、断層規模から想定される地震の規模、断層の中央から敷地までの距離(Δ)及び敷地で想定される震度との関係を第4図に示す。

これらの断層のうち、Fs-3断層(長さ約13km)の南側約11kmの活動度が高いと判断されることから、この断層による地震($M=6.6$ 、 $\Delta=36$ km)を設計用最強地震として考慮している。

1.2 設計用限界地震

(1) 活断層

第3図に示される活断層のうち設計用限界地震として考慮しているものは以下のとおりである。

- 1) 神威岬西側断層は長さ約50kmの活断層とし、その活動が第四紀後期まで続いていることから、この断層による地震 ($M=7.7$, $\Delta=87\text{km}$) を設計用限界地震として考慮している。
- 2) Fs-6断層は長さ約9kmの活断層とし、その活動が第四紀後期まで続いていることから、この断層による地震 ($M=6.4$, $\Delta=22\text{km}$) を設計用限界地震として考慮している。
- 3) 赤井川断層は長さ約4kmの活断層とし、第四紀後期の活動性が否定できないことから、この断層による地震 ($M=5.8$, $\Delta=23\text{km}$) を設計用限界地震として考慮している。

なお、Fs-3断層の全長約13kmについては、その地震動を評価しても第5図に示すように、神威岬西側断層及びFs-6断層から敷地にもたらされる地震動による影響に比べて小さい。

(2) 地震地体構造

敷地周辺における地震地体構造の見地から設計用限界地震を想定すると、地震規模の上限は $M=7\frac{3}{4}$ とされており、これに見合う規模の断層は、神威岬西側断層であるので、この断層の中央の位置 ($\Delta=87\text{km}$) に $M=7\frac{3}{4}$ の地震を想定している。

(3) 直下地震

直下地震として、震源距離10kmの位置に $M=6.5$ の地震を想定し、設計用限界地震に考慮している。

2. 地震動特性

2.1 最大振幅

地震動の最大振幅は、地震エネルギーの放出中心から敷地までの距離を震源距離として、下記の金井式⁽¹⁾により求められている。

$$V_{\max} = 10^{0.61M - P \log X - Q}$$

ここに、 V_{\max} : 解放基盤表面における最大速度振幅 (Kine)

M : 地震のマグニチュード

X : 震源距離 (km)

P : $1.66 + 3.60/X$

Q : $0.631 + 1.83/X$

なお、震源深さは下式⁽¹⁾によっている。

$$D = 10^{0.353M - 1.435}$$

ここに、 D : 震源深さ (km)

M : 地震のマグニチュード

基準地震動に考慮する地震の最大速度振幅を第1表に示す。

2.2 敷地地盤の振動特性

(1) 弾性波速度

原子炉基礎岩盤における弾性波平均速度値は、P波が約2.5~2.8 km/s、S波が約1.3~1.5 km/sであり、この岩盤は地質調査の結果、相当の広範囲にわたり基盤を構成しているとしている。

(2) 常時微動測定

地盤の振動特性を解明するため、第6図に示す試掘坑で常時微動測定を実施している。この周期頻度曲線及びパワースペクトルを第7図に示す。

これらによると短周期側には特に顕著な卓越周期はみられず、1秒以上のやや長周期の微動の卓越がみられるが、岩盤固有の周期は認められないとしている。

(3) 地震観測

敷地地盤の振動特性を調査するため、第6図に示すように、地表付近、原子炉基礎底盤位置付近の岩盤及び岩盤深部の3点に地震計を設置して地震観測を行っている。

観測した地震の概要を第2表に示す。

第8図は、岩盤内に設置されている観測点(EL-11.2m、EL-0.4m)における記録の応答スペクトルを示したものである。これによると、番号①~⑤の地震で0.2~0.3秒付近にやや卓越する傾向がみられるが、観測した地震は規模がM5.4

以下の遠距離地震であり、岩盤の卓越というよりはむしろ地震動の特性によるものとしている。

なお、番号⑥の地震については、規模が大きく遠距離地震であることから、卓越周期が長周期側にシフトする一般的な地震動特性を示しているとしている。

第9図は、1981年4月19日の空知支庁北部の地震 ($M=4.5$, $\Delta=165$ km) について、地盤の各深さにおける応答スペクトルを示したものであり、これによると、特定の周期における著しい増幅は認められないとしている。

以上のことから、軟地地盤は一般的な岩盤としての振動特性を示しているとしている。

2.3 周波数特性

軟地基盤は、地震観測、常時微動測定等の結果から、一般的な硬質地盤としての振動特性を示しているの²⁾、基準地震動の周波数特性は、第3表に示す大崎⁽²⁾が提案している標準応答スペクトルに基づいて定めている。

2.4 継続時間及び振幅包絡線の経時的変化

地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化は、大崎⁽²⁾が提案している第12図によるものとしている。

3. 基準地震動

3.1 応答スペクトル

基準地震動 S_1 の設計用応答スペクトルは、第10図に示すように設計用最強地震の応答スペクトルのすべを包絡し、歴史の浅いこと及び施設の耐震性等を考慮して、最大速度振幅を10.5kineとした設計用応答スペクトル(SK_1)で与えるものとしている。

基準地震動 S_2 の設計用応答スペクトルは、第11図に示すように直下地震以外の設計用限界地震の応答スペクトルのすべを包絡し、最大速度振幅を15.3kineとした設計用応答スペクトル(SK_2)と、最大速度振幅が13.5kineの直下地震による設計用応答スペクトル(SN)で与えるものとしている。

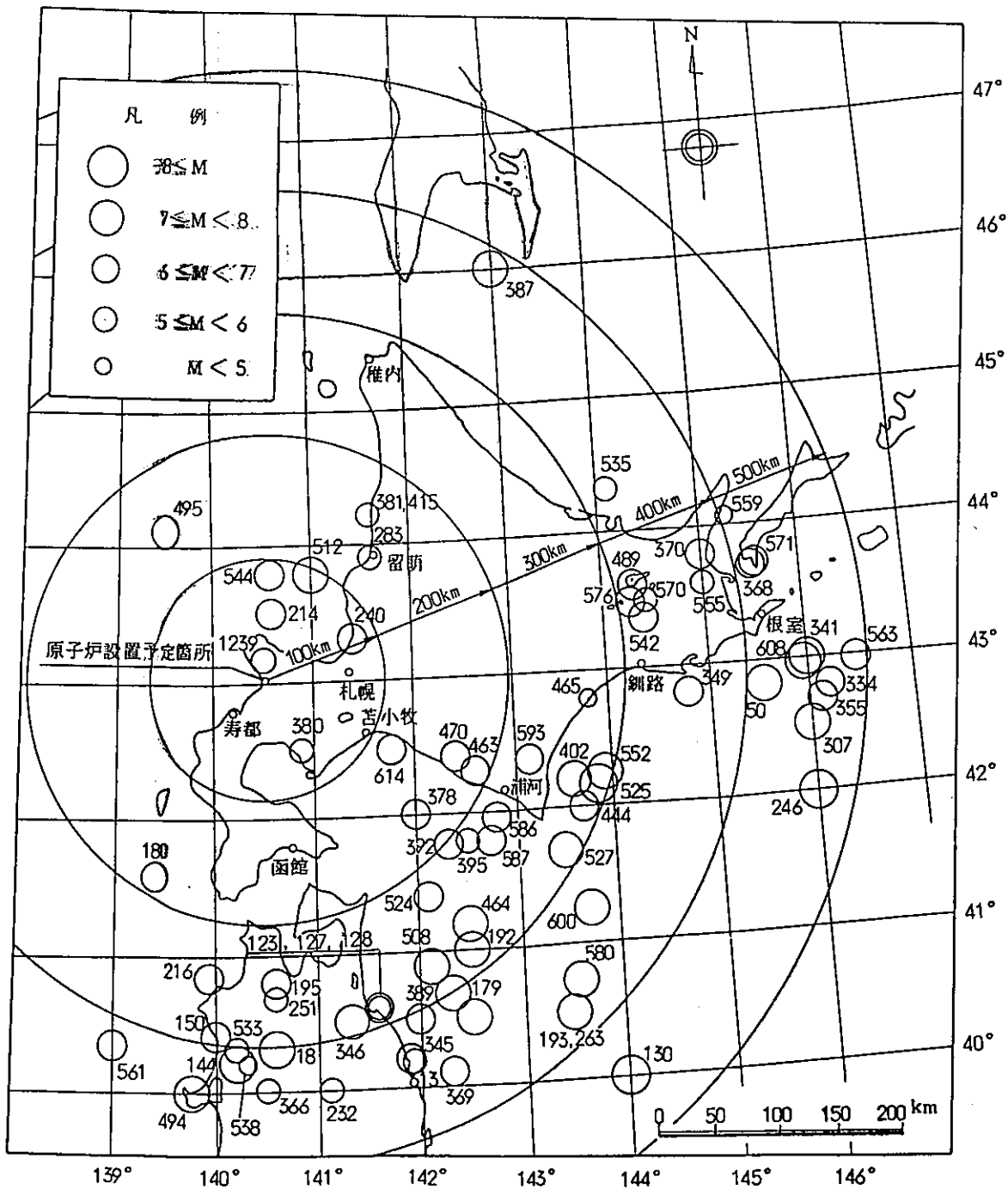
これらの速度応答スペクトル値を第4表に示す。

3.2 模擬地震波

基準地震動の継続時間と振幅包絡線の経時的変化(第5表)の条件に基づいて、基準地震動 S_1 及び S_2 の設計用応答スペクトル SK_1, SK_2 及び SN のそれぞれに適合するように、乱数の位相をもつ正弦波の重ね合せによって模擬地震波を作成している。その結果を第13図及び第14図に示す。

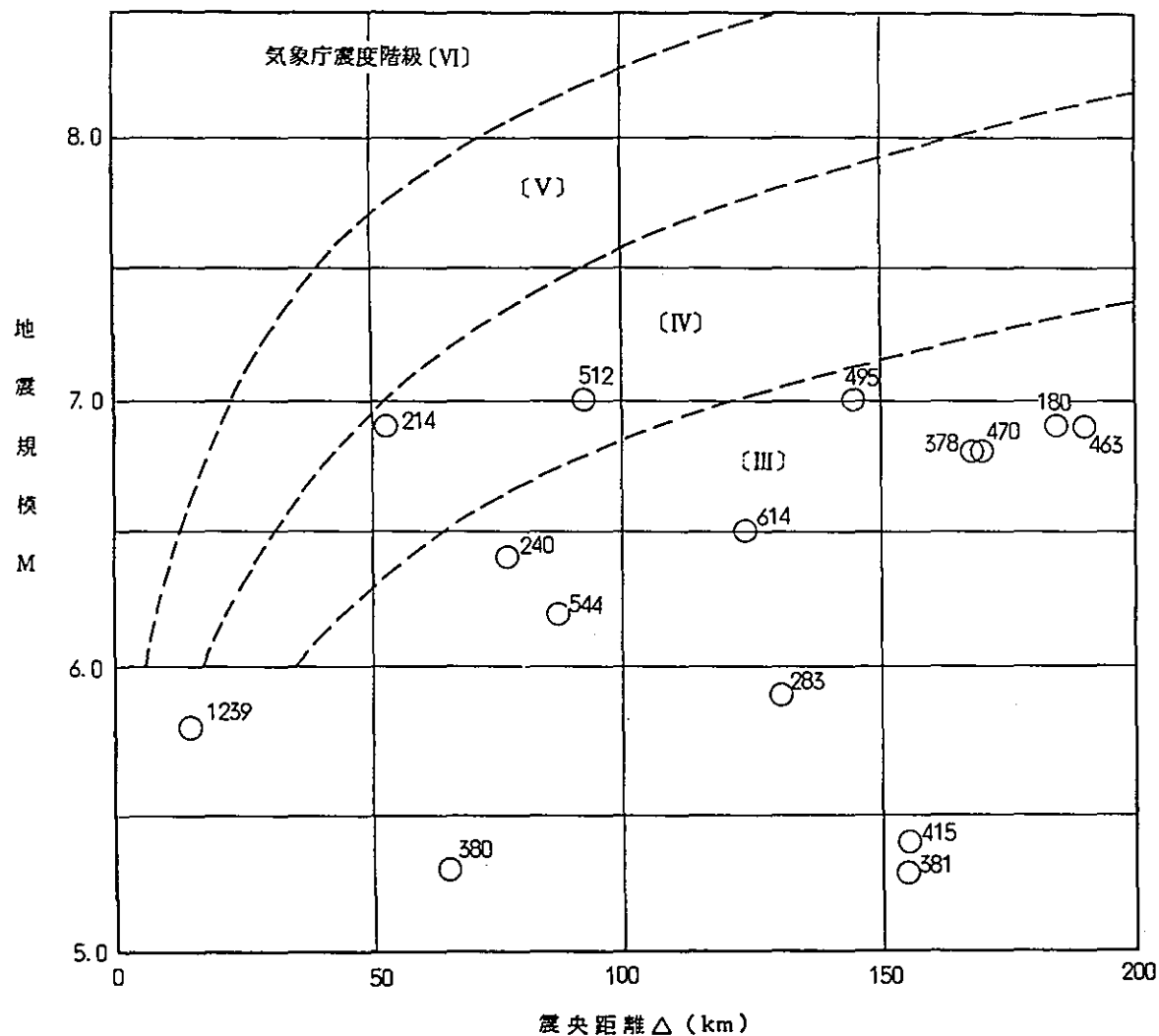
基準地震動 S_1 の模擬地震波 SK_1 の最大速度振幅は14.1kineであり、基準地震動 S_2 の模擬地震波 SK_2 及び SN の最大速度振幅はそれぞれ19.0kine、14.8kineである。

設計用応答スペクトルに対する模擬地震波のスペクトル比を第15図に、それらのS.I比を第6表に示す。



(「宇佐美カタログ(1979)」及び「気象庁カタログ」等より作成、
番号は地震番号を示す。)

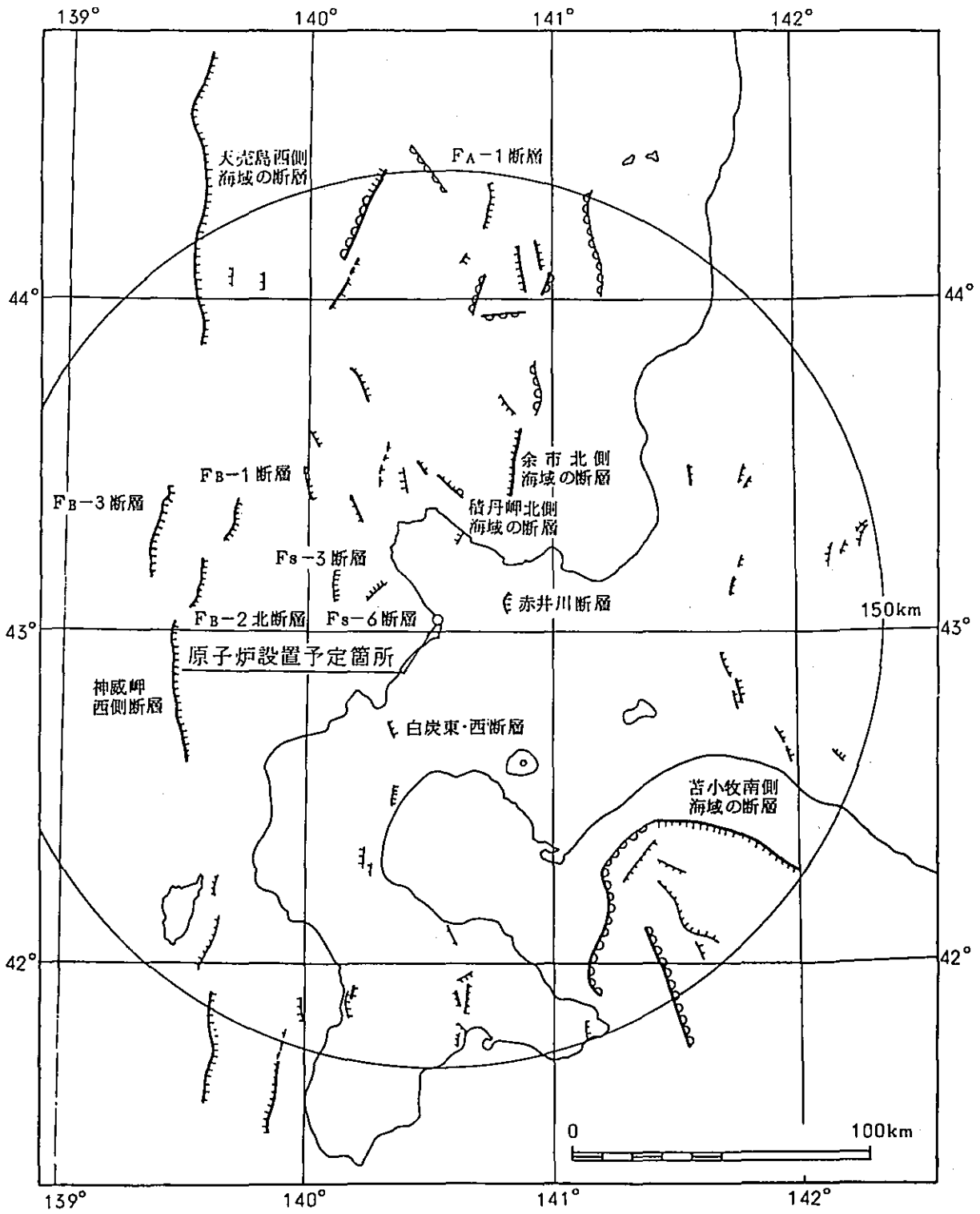
第1図 北海道周辺の地震の震央分布図



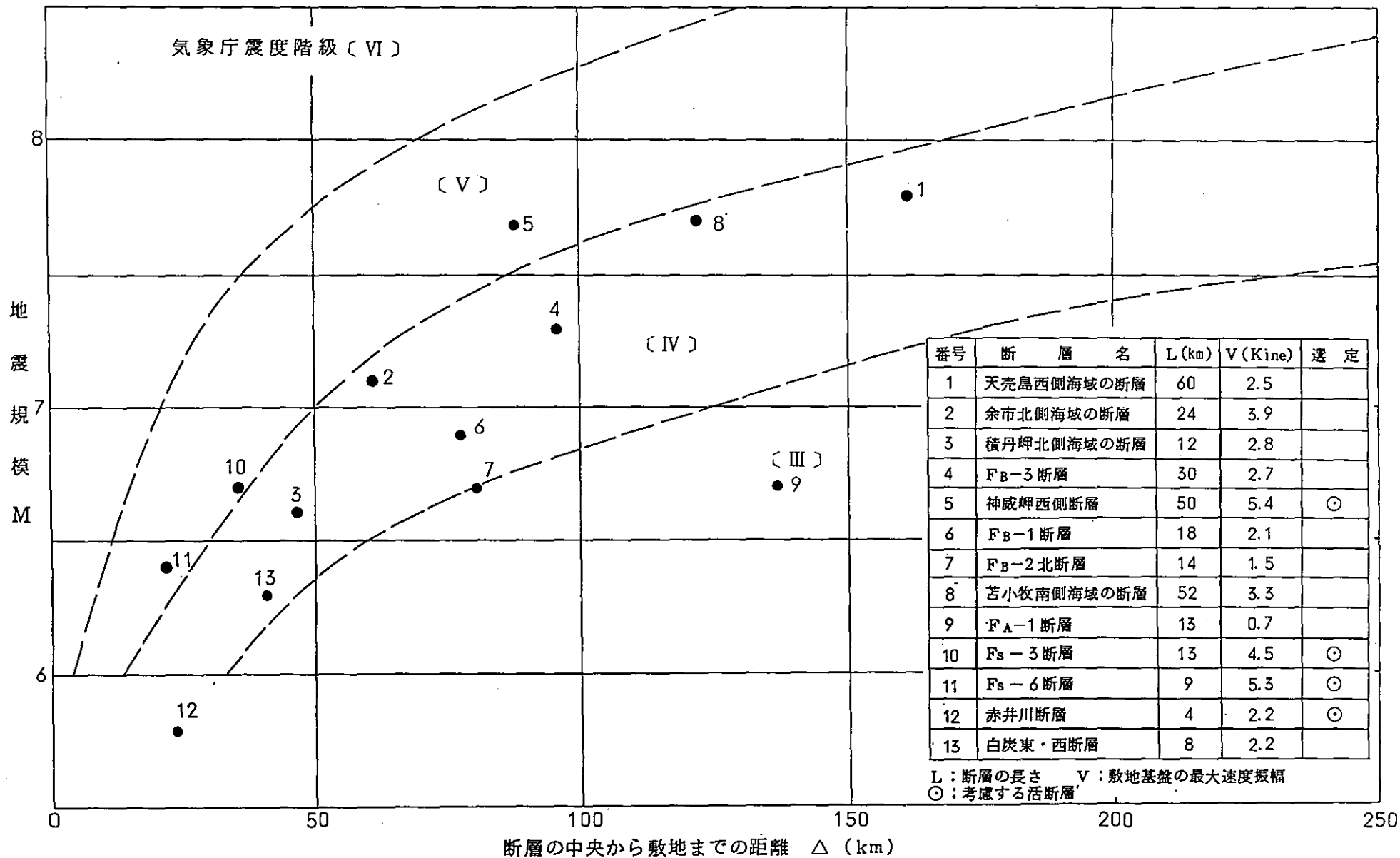
NO	年月日	地震名	M	Δ
180	1741. 8. 28	渡島西岸	6.9	184
214	1792. 6. 13	後志	6.9	52
240	1834. 2. 9	石狩	6.4	77
283	1874. 2. 28	天塩	5.9	130
1239	1905. 10. 13	神威岬沖	5.8	15
378	1909. 9. 17	襟裳岬沖	6.8	167
380	1910. 7. 24	有珠山	5.3	67
381	1910. 9. 8	鬼鹿	5.3	156
415	1918. 5. 26	留萌沖	5.4	156
463	1931. 2. 17	浦河付近	6.8	189
470	1932. 11. 26	新冠川流域	6.8	169
495	1940. 8. 2	神威岬沖	7.0	144
512	1947. 11. 4	留萌西方沖	7.0	94
544	1959. 11. 8	積丹半島沖	6.2	85
614	1974. 11. 9	苫小牧沖	6.5	120

(「宇佐美カタログ(1979)」及び「氣象庁カタログ」等より作成、番号は地震番号を示す。)

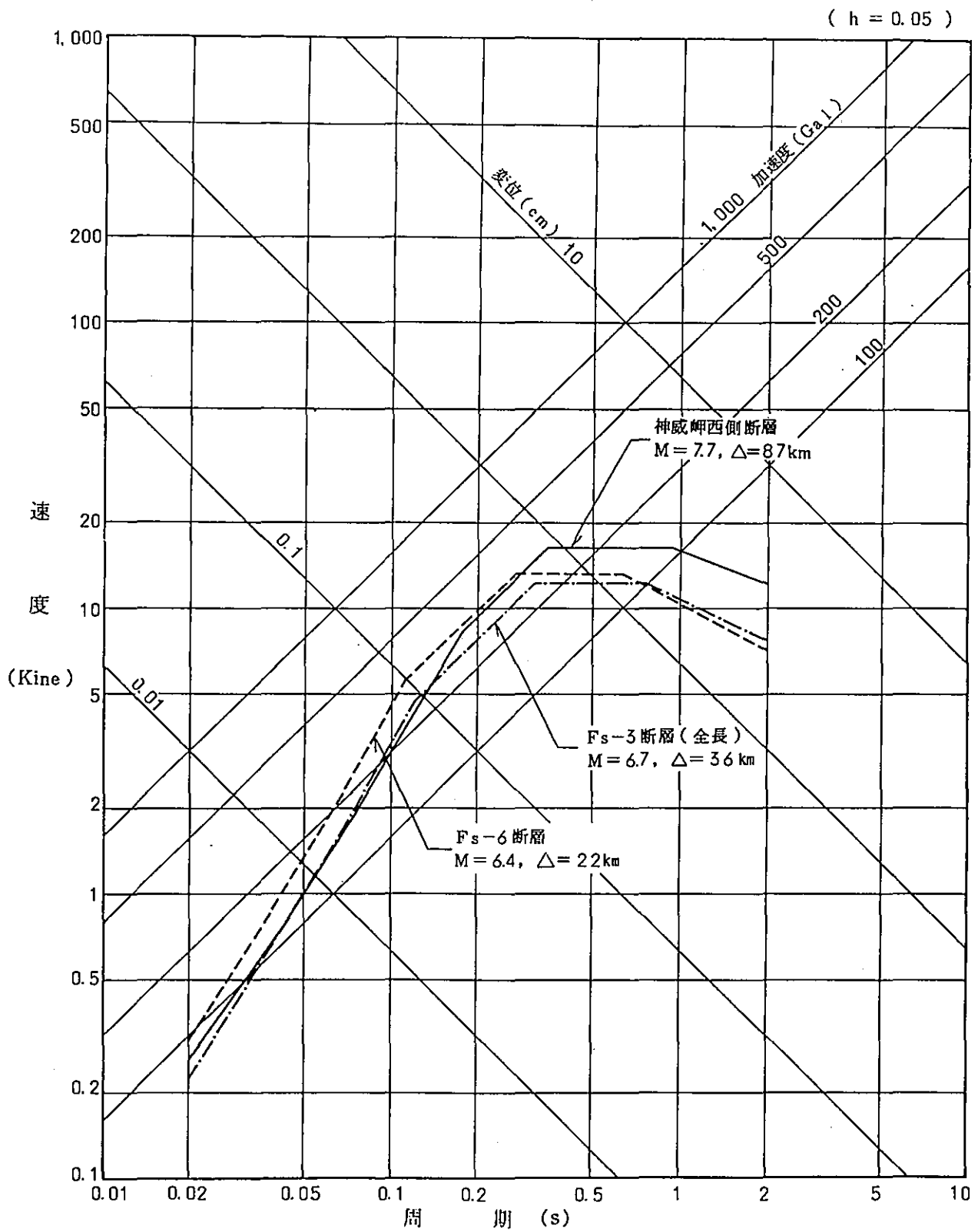
第2図 敷地周辺における過去の地震



第3図 叡地周辺の活断層分布



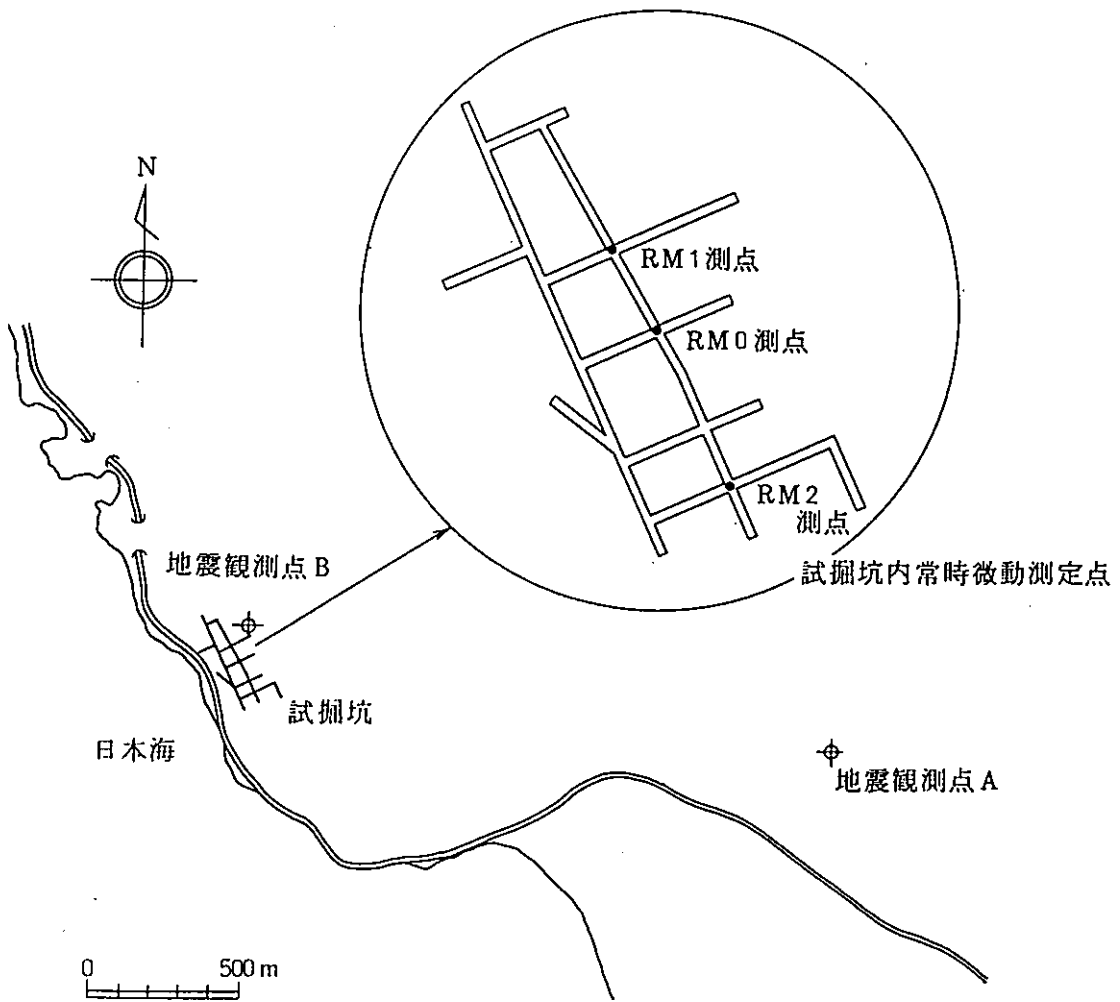
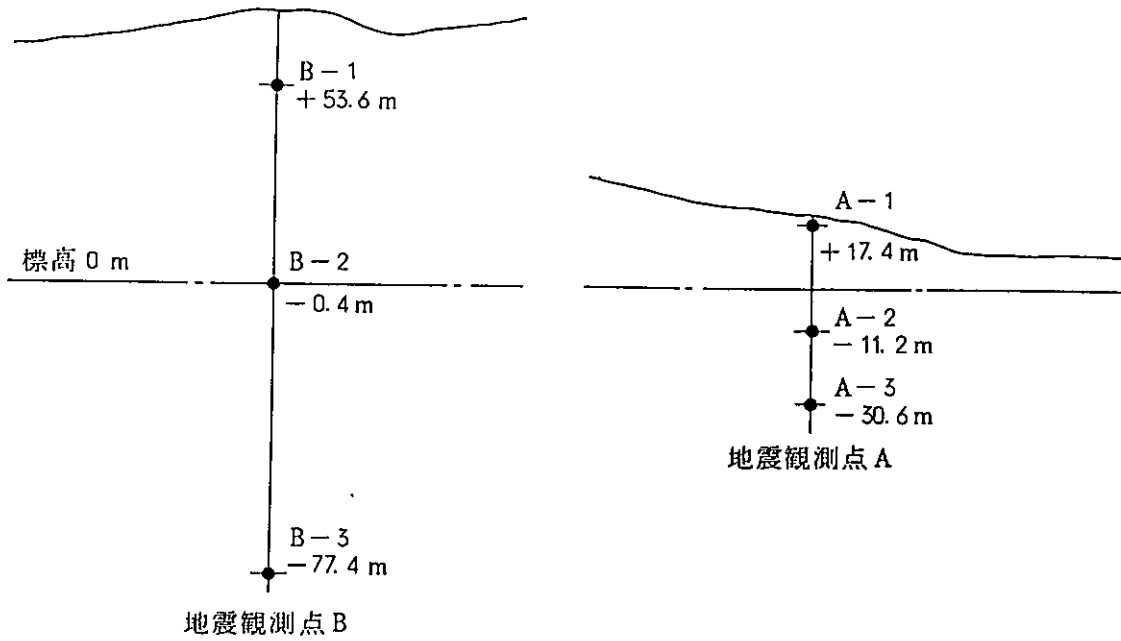
第4図 敷地周辺における活断層から想定される地震



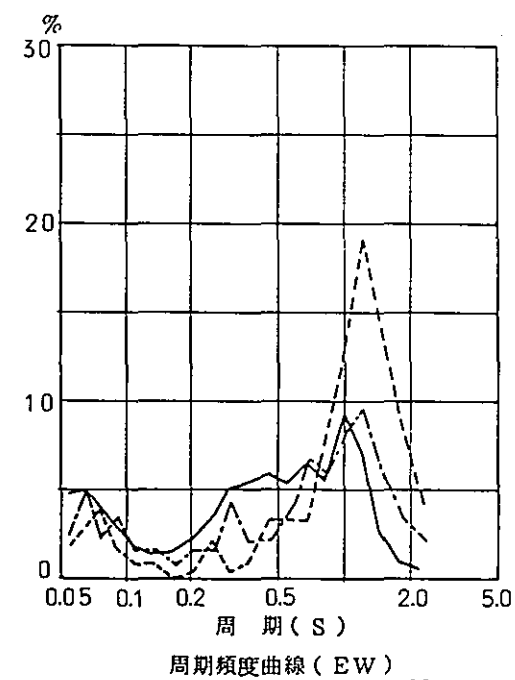
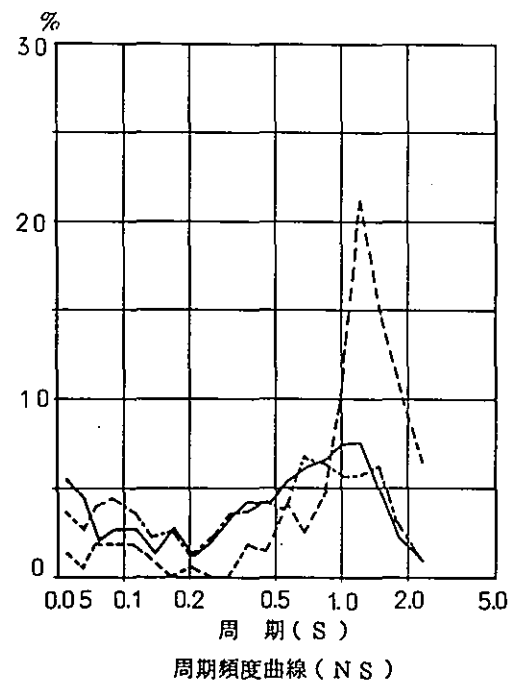
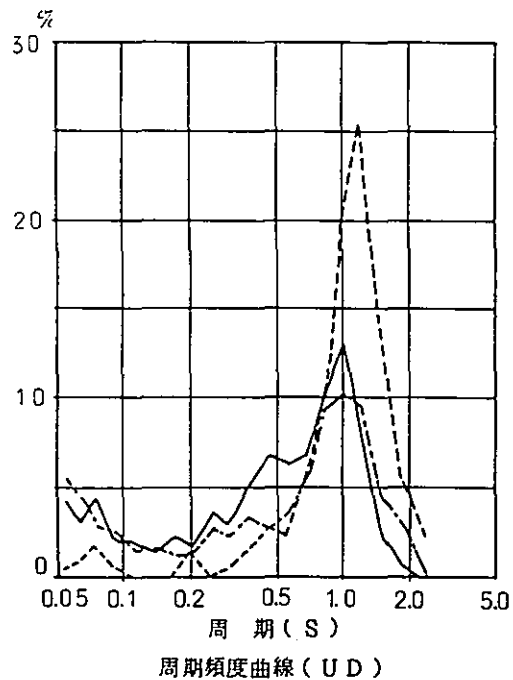
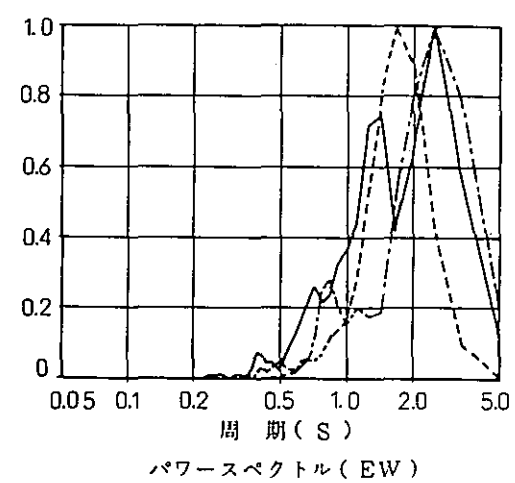
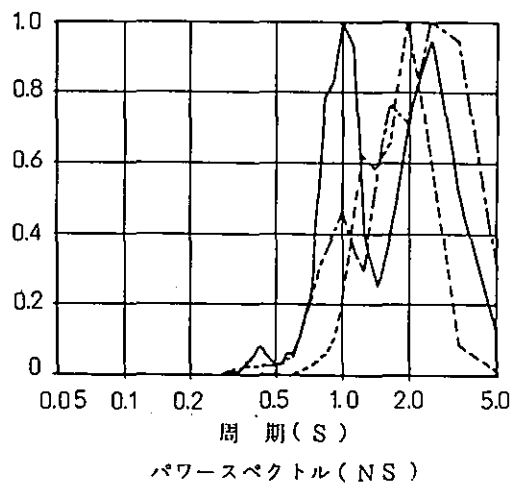
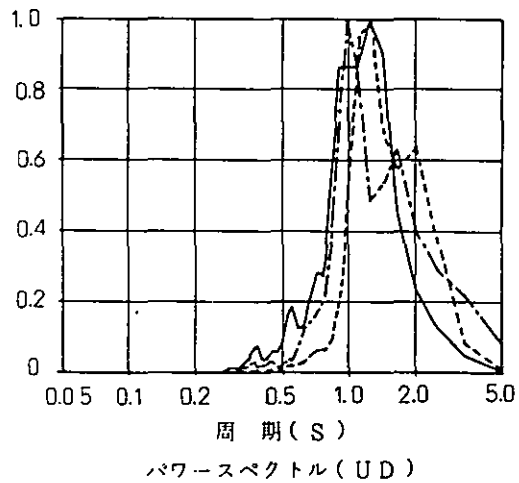
第5図 神威岬西側断層, Fs-6断層及び
Fs-3断層 (全長) による地震の応答スペクトル

第1表 基準地震動に考慮する地震の最大速度振幅

		マグニ チュード M	震央距離 Δ (km)	最大速度 振幅 Vmax(Kine)	備 考
設計用 最強地震	歴史地震	6.9	52	3.7	1792年後志の地震 (S ₁ -1)
		5.8	15	3.5	1905年神威岬沖の地震 (S ₁ -2)
	活断層	6.6	36	4.0	Fs-3断層(S ₁ -3)
設計用 限界地震	活断層	7.7	87	5.4	神威岬西側断層 (S ₂ -1)
		6.4	22	5.3	Fs-6断層(S ₂ -2)
		5.8	23	2.2	赤井川断層(S ₂ -3)
	地震地体 構造	$7\frac{3}{4}$	87	6.1	神威岬西側断層の位置 (S ₂ -4)
	直下地震	6.5	—	13.5	震源距離 X = 10 km. (S _N)



第 6 図 常時微動測定点及び地震観測点

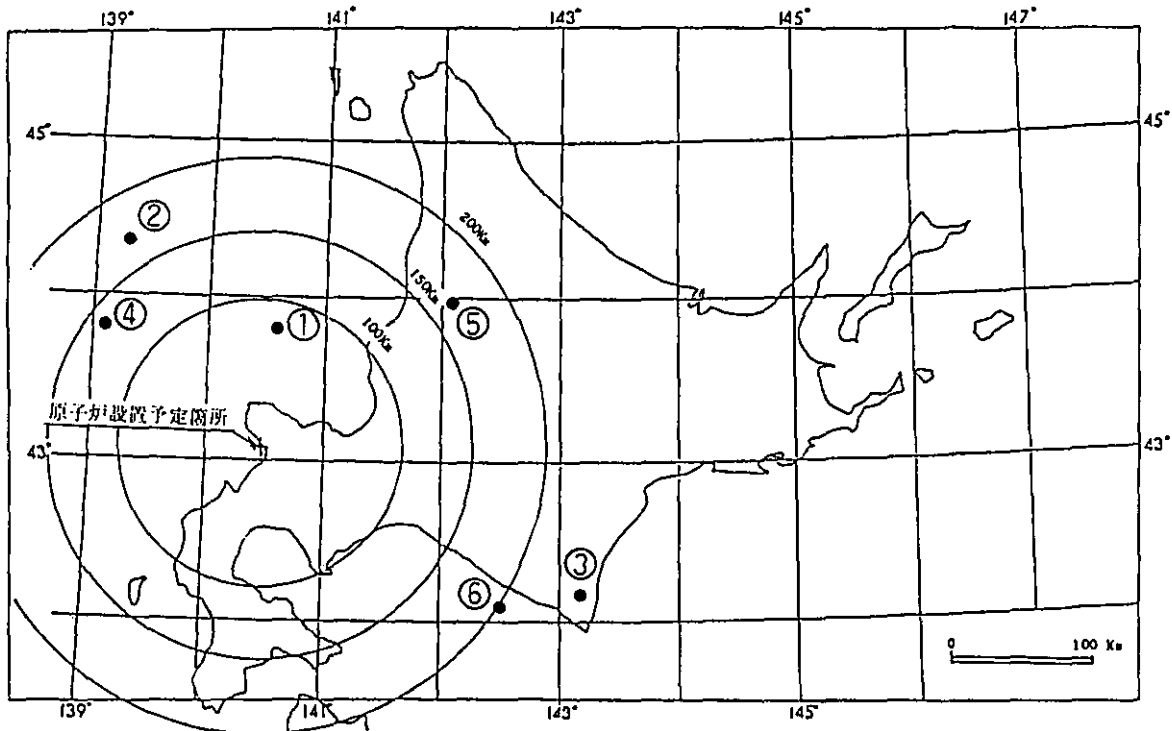


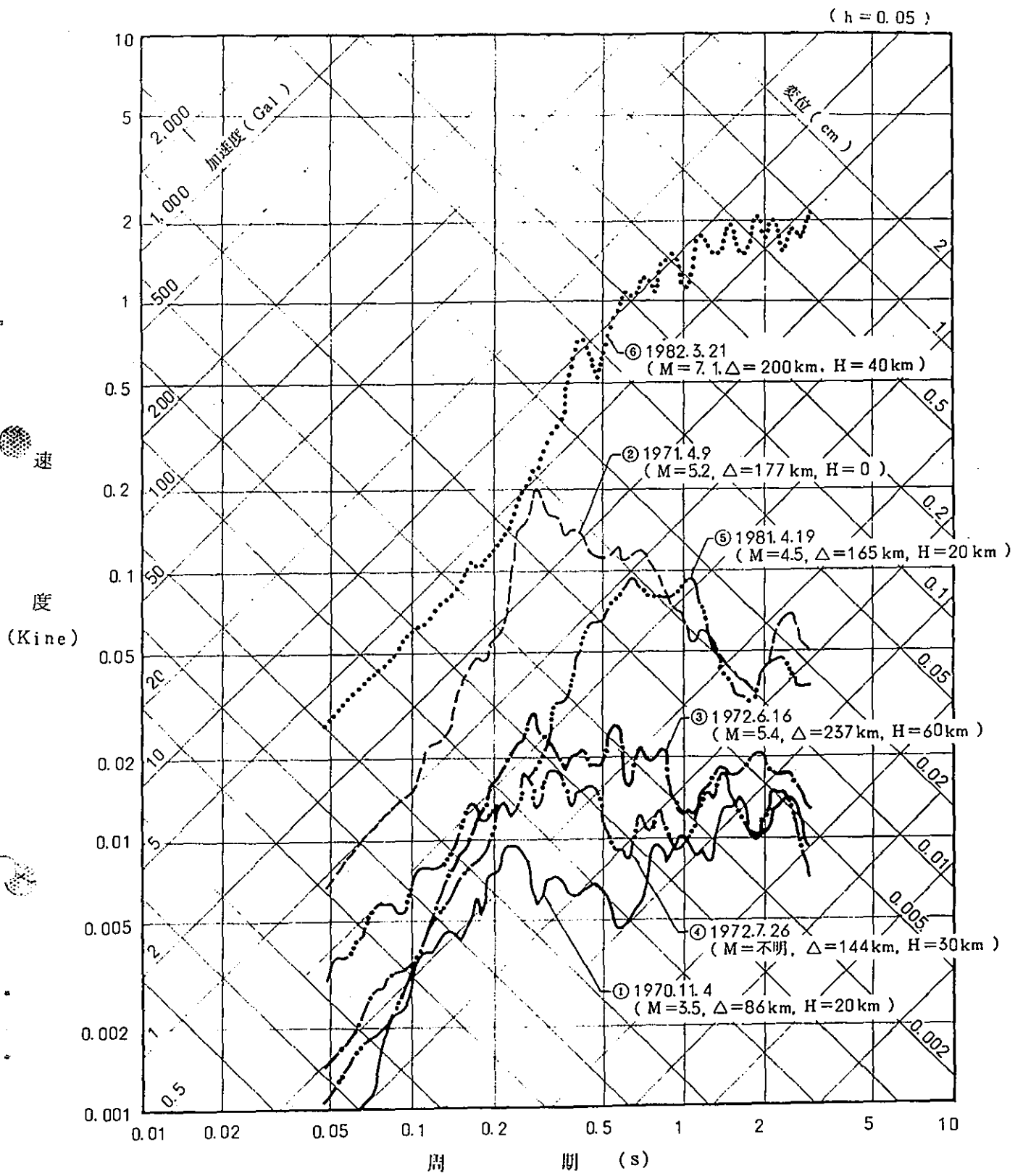
— RM 1
 - - - RM 2
 ····· RM 0

第 7 図 常時微動の周期頻度曲線及びパワースペクトル

第2表 観測地震の概要

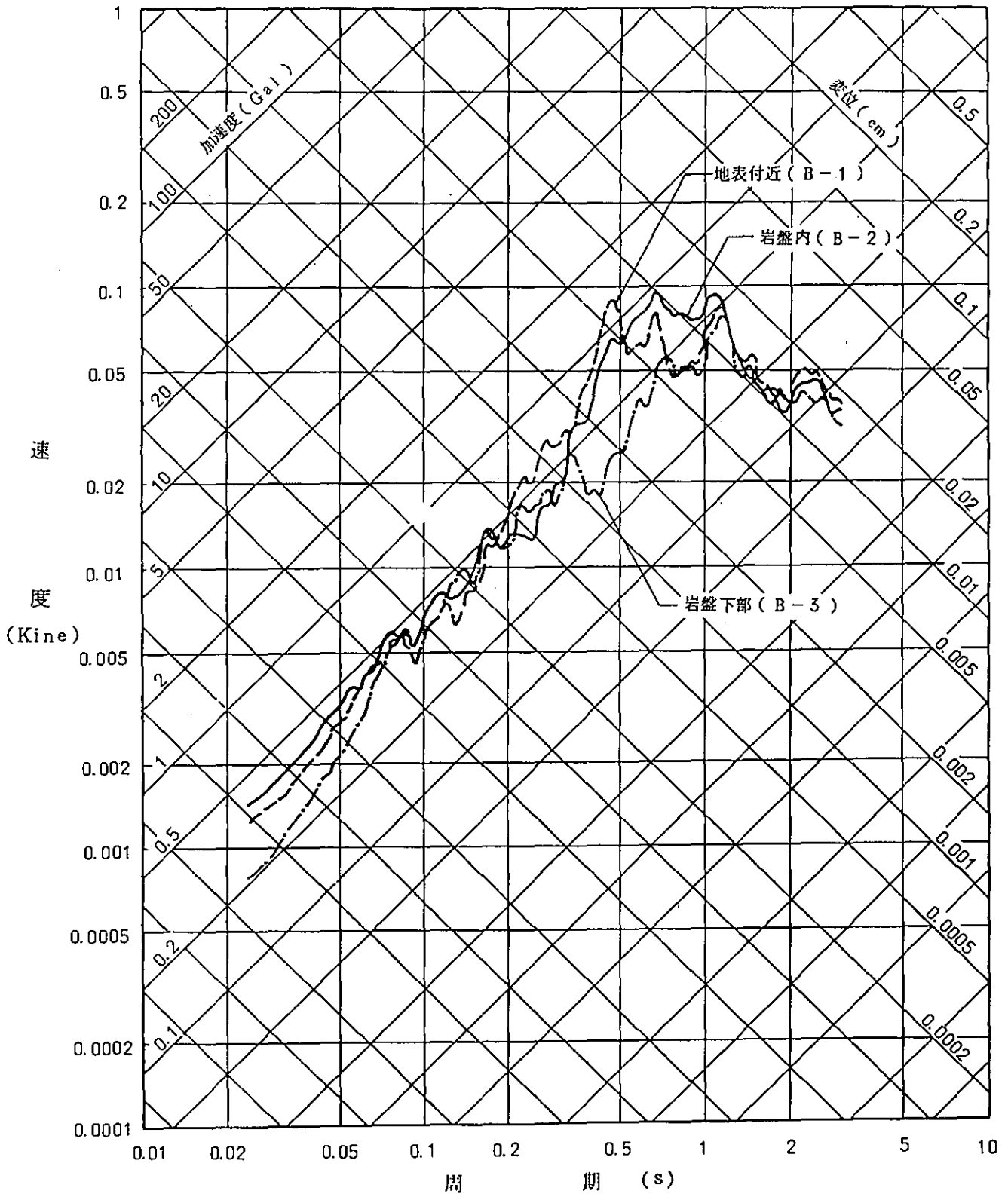
観測点	番号	発震年月日 時刻	震央位置 (北緯 東経)	マグニ チュー ド M	震央 距離 Δ (km)	震源 深さ H (km)	震度 (北海道内のみ記載)
A	①	1970.11. 4 7° 19'	北海道北西沖 (43° 48' N) (140° 36' E)	3.5	86	20	
	②	1971. 4. 9 15° 9'	北海道北西沖 (44° 20' N) (139° 16' E)	5.2	177	0	II : 留萌、稚内
	③	1972. 6.16 0° 21'	日高山脈南部 (42° 10' N) (143° 11' E)	5.4	237	60	IV : 浦河 III : 広尾、帯広、苫小牧 II : 釧路 I : 網走、室蘭
	④	1972. 7.26 23° 9'	北海道西方沖 (43° 48' N) (139° 06' E)	不明	144	30	
B	⑤	1981. 4.19 22° 19'	空知支庁北部 (43° 59' N) (142° 05' E)	4.5	165	20	III : 旭川、留萌 I : 稚内
	⑥	1982. 3.21 11° 32'	昭和57年浦河沖 (42° 04' N) (142° 36' E)	7.1	200	40	VI : 浦河 IV : 広尾、帯広、札幌 III : 函館、釧路、旭川、室蘭 I : 根室





第 8 図 岩盤内での地震別応答スペクトル (EL - 11.2 m, EL - 0.4 m, NS 成分)

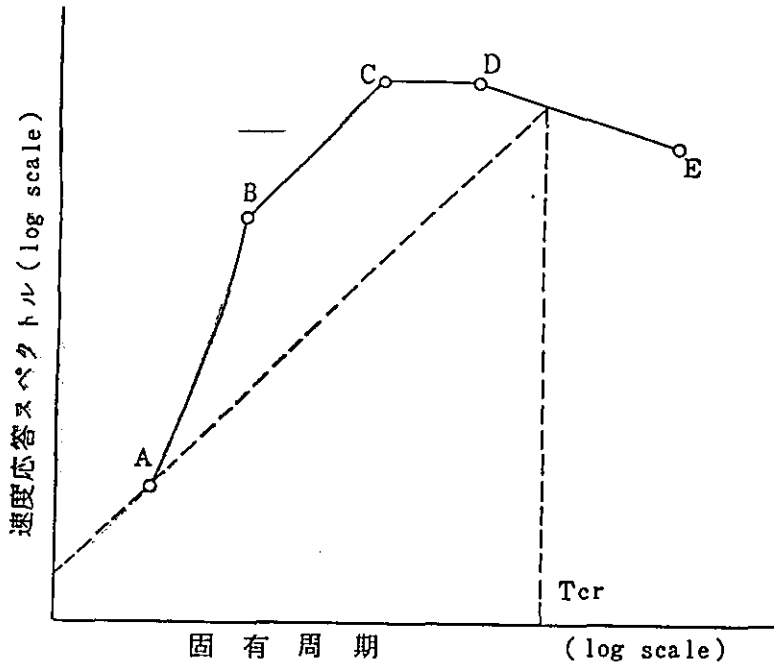
($h = 0.05$)



第9図 深度別応答スペクトル

(1981年4月19日, $M=4.5$, $\Delta=165\text{km}$, $H=20\text{km}$, NS成分)

第3表 標準応答スペクトル (大崎による)

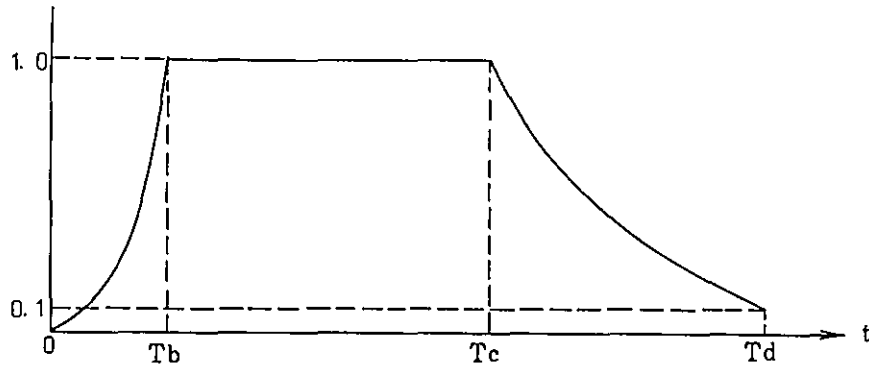


応答スペクトルのコントロールポイント

(h = 5%)

Field	Magnitude M	Epicentral Distance Δ (km)	Control Points									
			A		B		C		D		E	
			T_A	S_v	T_B	S_v	T_C	S_v	T_D	S_v	T_E	S_v
Near	8	25	0.02	0.6	0.10	10	0.30	30	0.50	30	2.0	12
	7	10		0.7	0.10	11	0.23	24	0.45	24		7
	6	5		1.2	0.10	17	0.13	21	0.35	21		3
Inter- mediate	8	120		0.5	0.20	18	0.35	32	1.00	32		26
	7	45		0.5	0.13	11	0.33	28	0.80	28		19
	6	15		0.6	0.10	10	0.25	24	0.60	24		12
Far	8	350		0.5	0.22	26	0.37	44	1.20	44		42
	7	150		0.5	0.14	15	0.35	38	0.90	38		32
	6	60		0.5	0.10	10	0.33	33	0.70	33		20

T : 固有周期 (s), S_v : 基盤最大速度を 10 Kine に規準化したときの速度応答スペクトル値



振幅包絡線の経時的変化

M	Tb/Td	Tc/Td
8	0.08	0.46
7	0.12	0.50
6	0.16	0.54

継続時間 $Td(s) = 10^{0.31M - 0.774}$

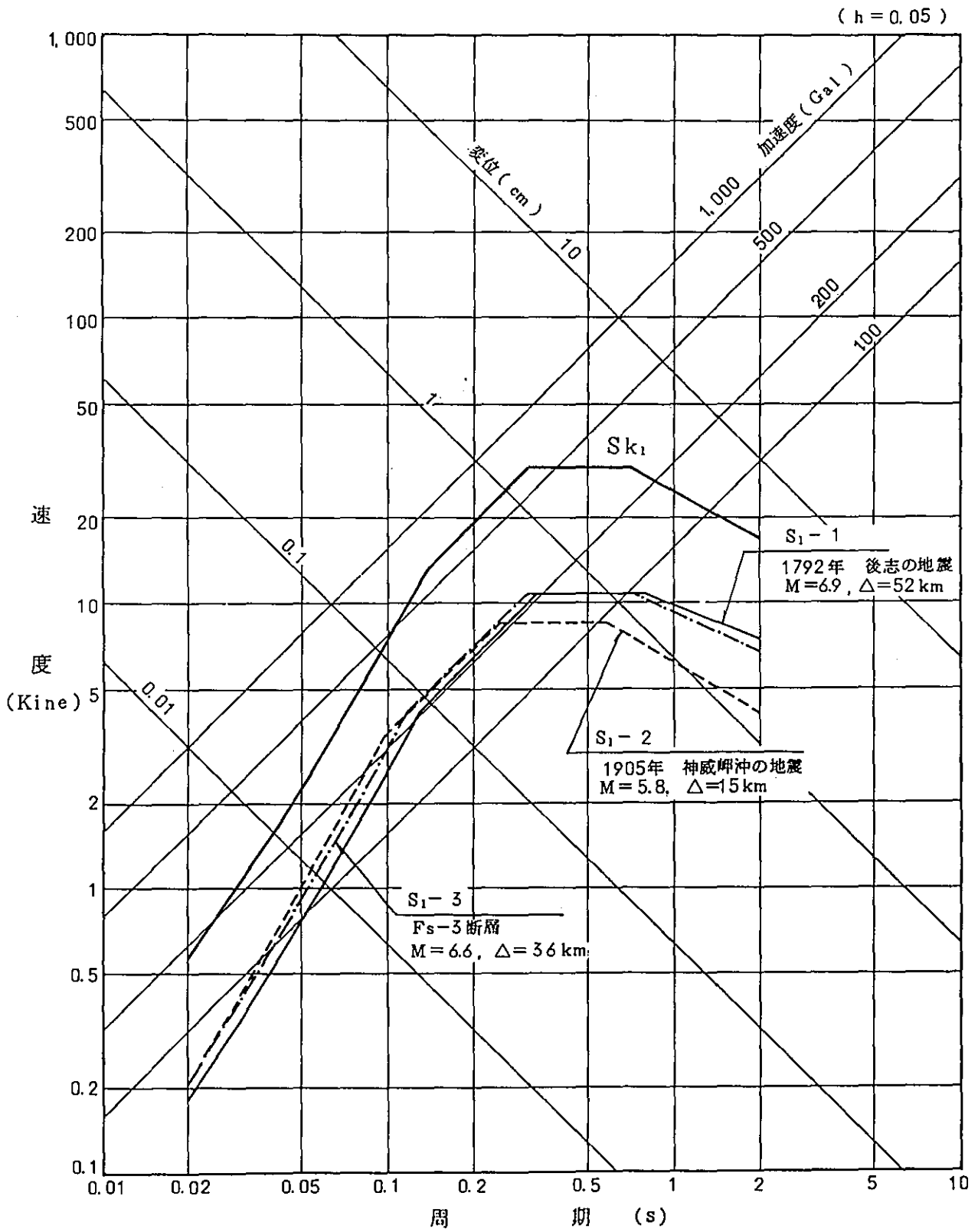
M : マグニチュード

包絡線の形状

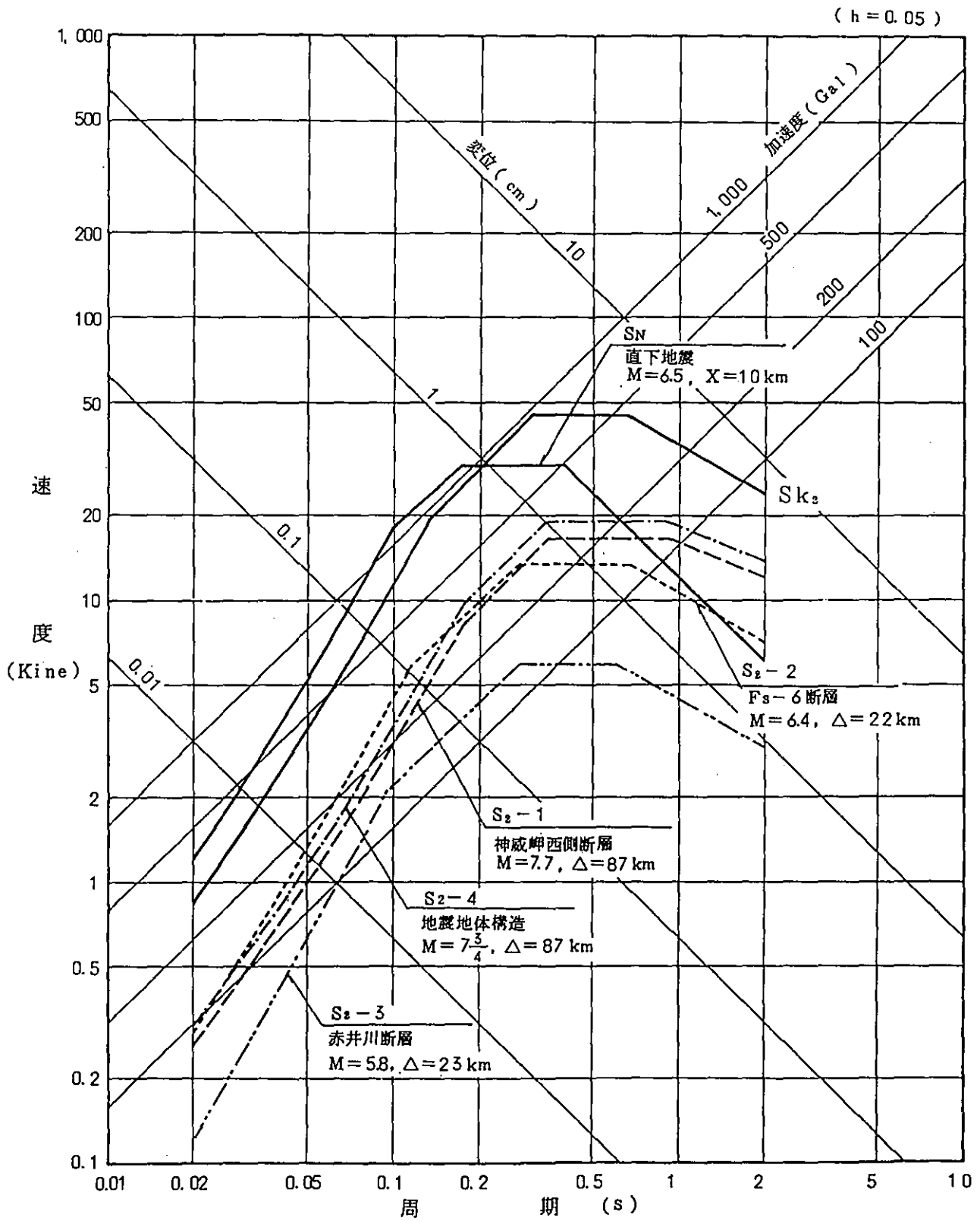
$$\begin{aligned}
 t = 0 \sim T_b & \quad (t/T_b)^2 \\
 T_b \sim T_c & \quad \text{一定} \\
 T_c \sim T_d & \quad e^{-a(t-T_c)} \\
 & \quad a \text{ は定数}
 \end{aligned}$$

第 12 図 継続時間及び振幅包絡線の経時的変化

(大崎 による)



第 10 図 基準地震動 S₁ の設計用応答スペクトル



第 11 図 基準地震動 S_2 の設計用応答スペクトル

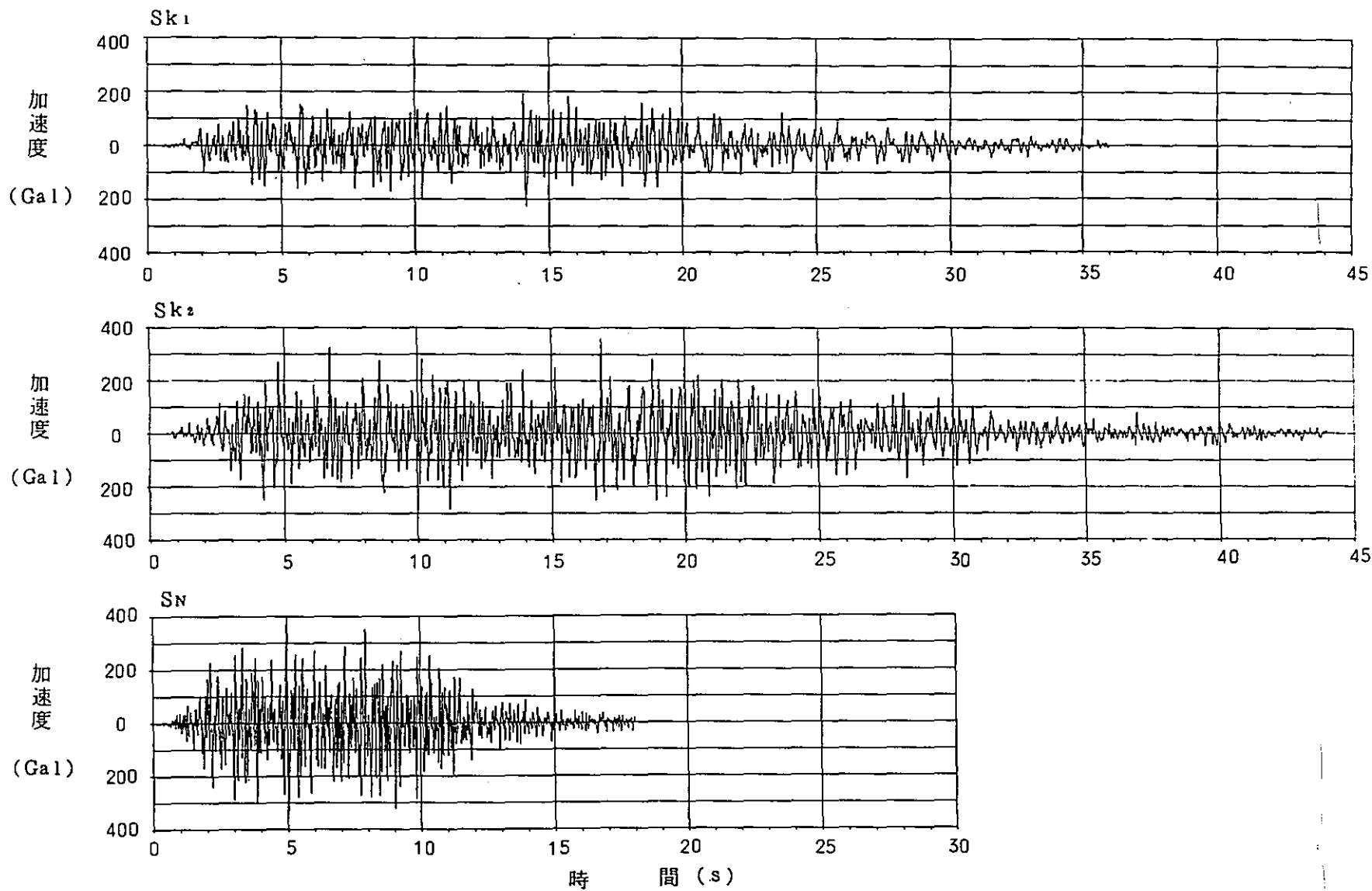
第4表 基準地震動の速度応答スペクトル値

(h = 5 %)

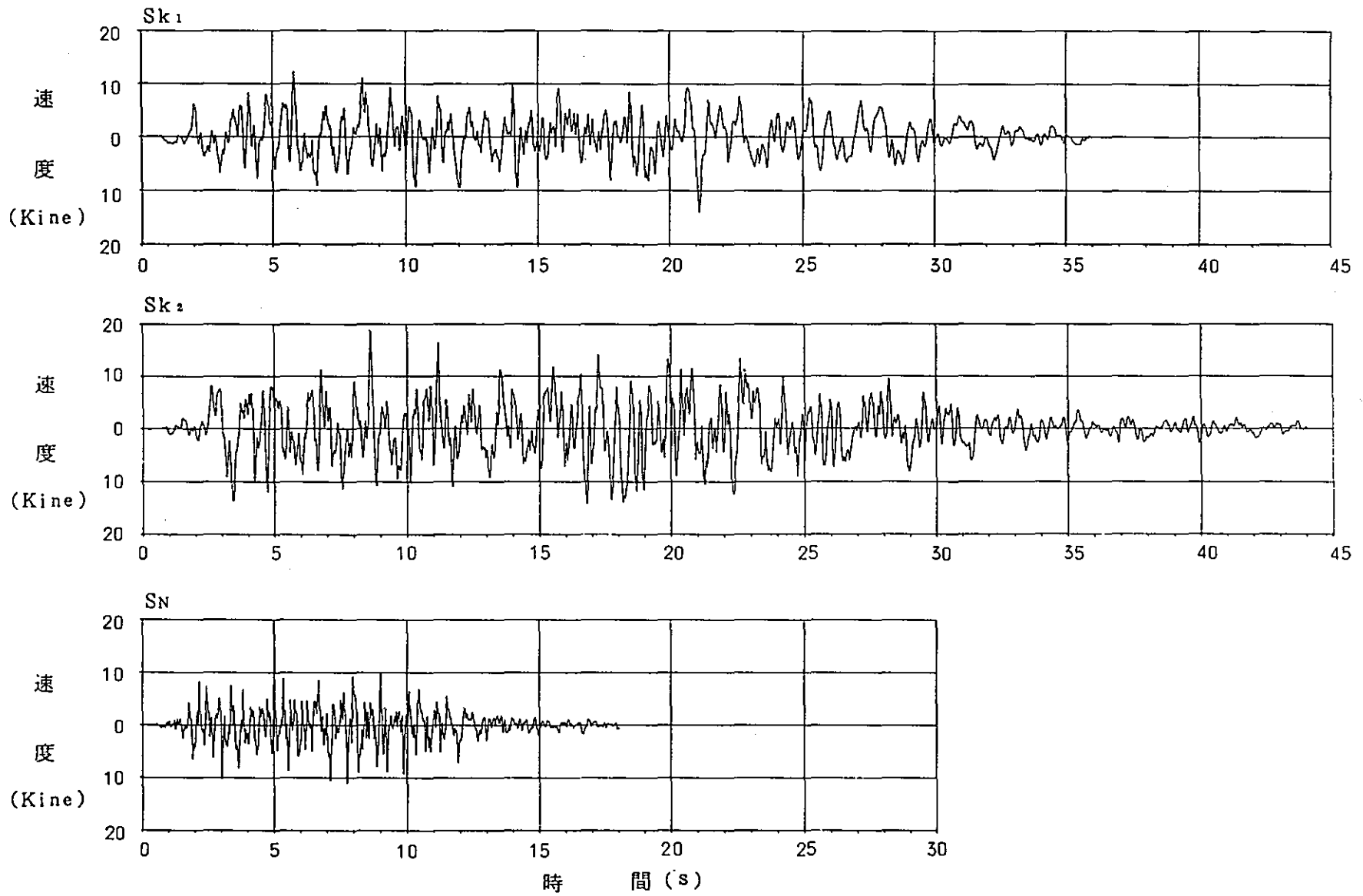
基準地震動	設 応 答 ス ペ ク ト ル 計 用 名	コ ン ト ロ ー ル ポ イ ン ト									
		A		B		C		D		E	
		T _A	S _V	T _B	S _V	T _C	S _V	T _D	S _V	T _E	S _V
S1	Sk1	0.02	0.57	0.14	13.27	0.31	30.15	0.71	30.15	2.0	16.97
S2	Sk2		0.86	0.13	19.33	0.31	45.68	0.66	45.68		23.91
	SN		1.23	0.10	18.32	0.17	30.08	0.40	30.08		6.14

第5表 基準地震動の継続時間と振幅包絡線の経時的変化

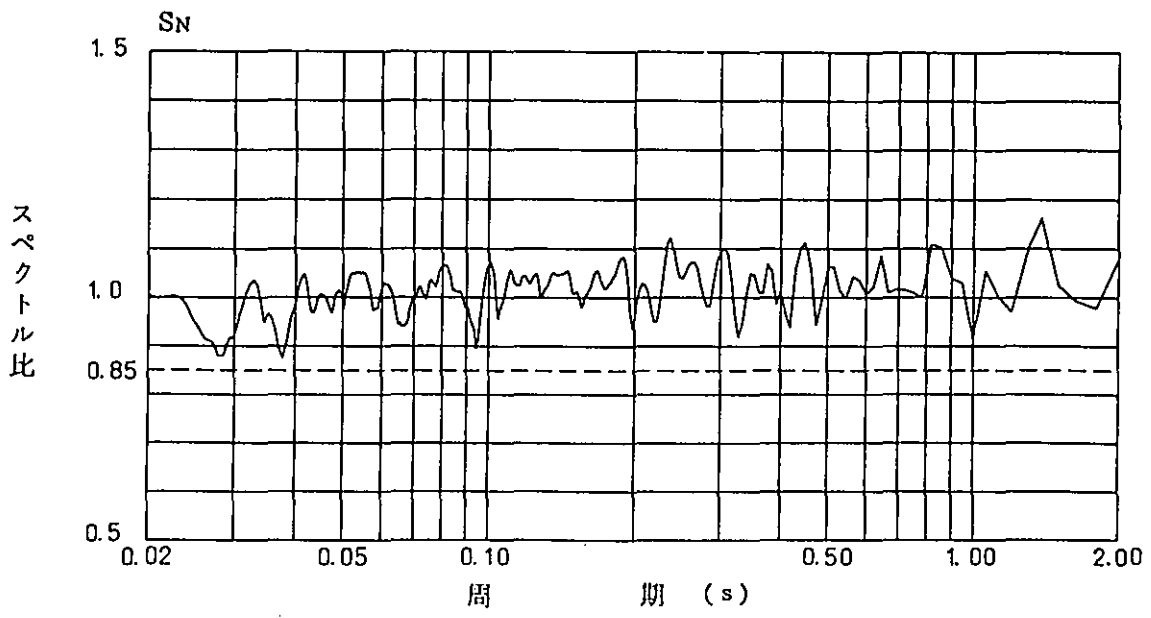
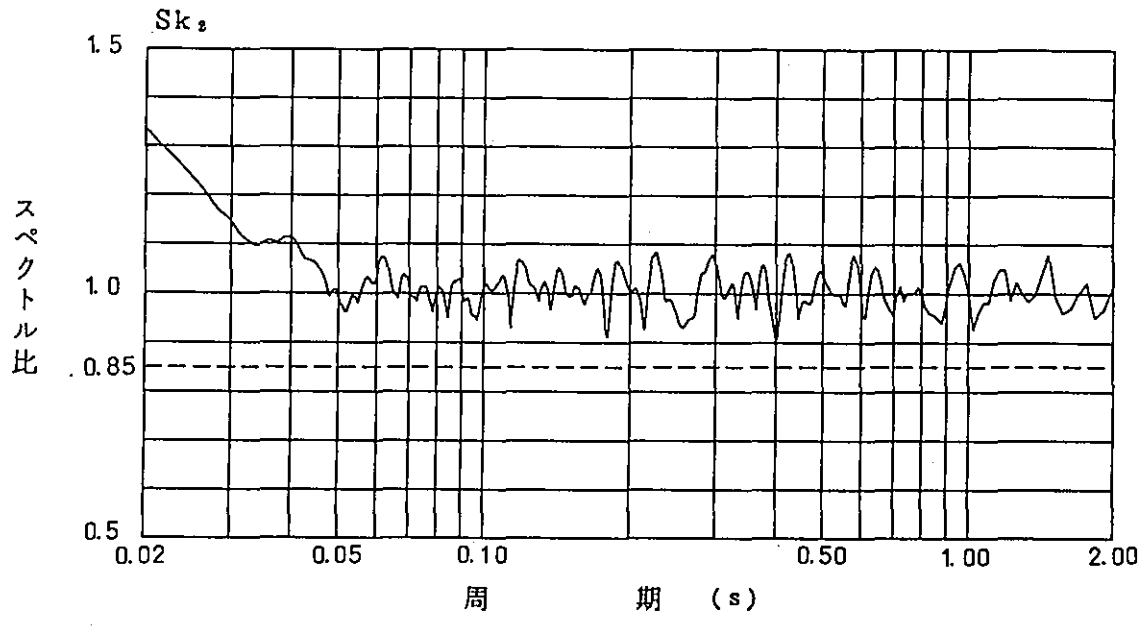
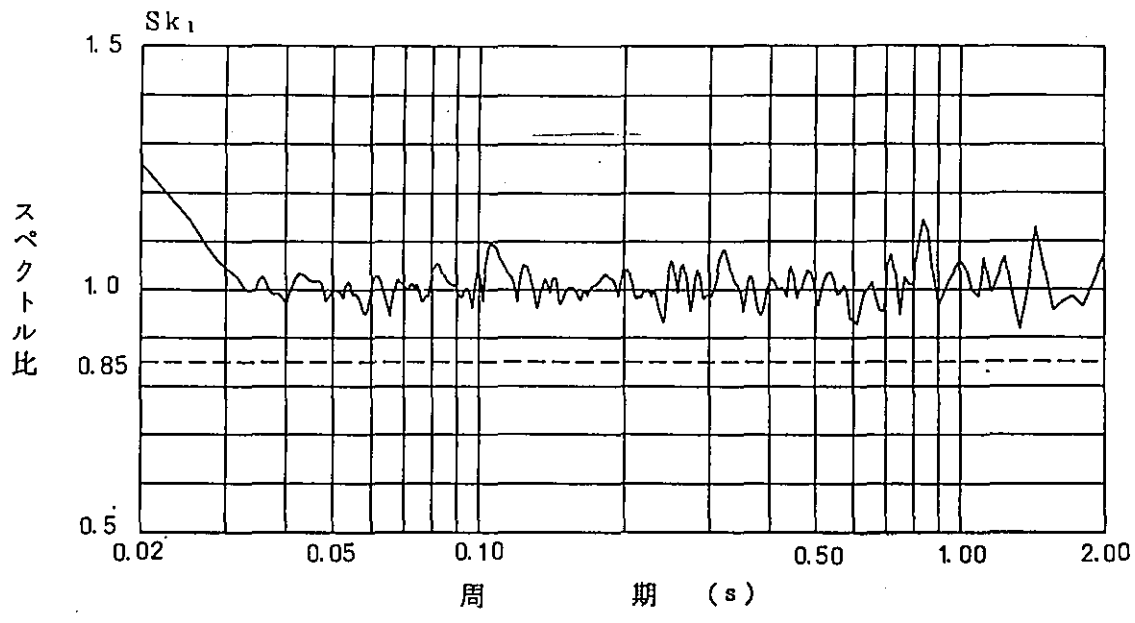
	模擬地震波名	速度 V (Kine)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
基準地震動 S ₁	Sk ₁	10.5	3.6	17.3	36
基準地震動 S ₂	Sk ₂	15.3	3.9	20.6	44
	S _N	13.5	2.4	9.0	18



第 13 図 模擬地震波の加速度波形



第 14 図 模擬地震波の速度波形



第 15 図 模擬地震波のスペクトル比

第6表 模擬地震波の作成条件及び結果

	作成条件			作成結果			
	Vmax (Kine)	スペクトル	位相	Vmax (Kine)	スペクトル比	模擬地震波	S.I比
Sk ₁	10.5	第10図	乱数	14.1	第15図	第13図 第14図	1.01
Sk ₂	15.3	第11図	乱数	19.0	第15図	第13図 第14図	1.01
SN	13.5	第11図	乱数	14.8	第15図	第13図 第14図	1.03

$$S.I \text{ 比} : \frac{\int_{0.1}^{25} S_v(T) dT}{\int_{0.1}^{25} \overline{S_v}(T) dT}$$

S.I : スペクトル強さ (減衰定数 : 5%)
 S_v(T) : 模擬地震波の速度応答値 (Kine)
 $\overline{S_v}(T)$: 設計用応答スペクトルの速度応答値 (Kine)
 T : 固有周期 (s)

参考文献

- (1) 「Observation of Strong Earthquake Motions in
Matsushiro Area part 1」

金井清他、東大震研彙報 Vol.44 昭和41年

- (2) 「Guideline for Evaluation of Basic Design Earthquake Ground
Motions」

大崎順彦、昭和54年

泊発電所（1、2号炉）

津波の検討について

昭和59年 2月20日

目 次

1. 検討内容	.....	1
2. 過去における津波記録	.....	1
3. 簡易式による検討	.....	3
4. 数値シミュレーションによる検討	.....	5
5. 検討結果	.....	7

1. 検討内容

地震発生に伴って敷地前面海域で予測される津波の高さについて、過去における記録、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を行っている。

2. 過去における津波記録

早稲美カタログ⁽¹⁾、Hatori (1969)⁽²⁾、羽鳥⁽³⁾ (1972)、羽鳥・片山⁽⁴⁾ (1977)及び阿部⁽⁵⁾ (1981)等による北海道西岸に影響を及ぼした津波の概要を第1表及び第1図に示す。

これらのうち、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) 1741年渡島西岸の地震による津波

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)

羽鳥・片山(1977)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に相当しているが、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している。

従って、積丹半島沿岸での津波記録は、見出されていないとしている。

(2) 1792年後志の地震による津波

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おしろ忍路・ひら古平・びく美園において流出被害があった。

羽鳥・片山(1977)は、これらの被害記録から、波高は3m以上に達したとあろうとしている。

積丹半島の西側における影響の記録はないとしている。

(3) 1940年神威岬沖の地震による津波

宇佐美(1981)⁽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、津波の高さは岩内で1.7mと記載されている。

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。

宮部⁽⁹⁾は極潮儀記録などから1.7mとし、Hatori(1961)⁽¹⁰⁾も宮部の値を採用している。

(4) 1983年日本海中部地震による津波

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り、この地震に伴う津波により各地で大きな被害が生じた。

岡田⁽¹¹⁾の各地の最大波高分布図(第2図)によると、岩内での津波の最大波高(津波の高さは異なる)は約2mであり、また、都司⁽¹²⁾の津波の水位(第3図)によると、神恵内では約1.5mとなっている。

3. 簡易式による検討

敷地前面海域及び周辺海域において、設計用最強地震及び設計用限界地震を考慮している F_s-3 断層($M=6.7$, $\Delta=36$ 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)及び同断層に地震地体構造上想定される $M=7\frac{3}{4}$ 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している。第4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)⁽¹³⁾及び飯田(1958)⁽¹⁴⁾によると、 m のスケールは第3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し、第4表に示すとおり約2~4m程度としている。

(2) 阿部式による検討

Katsuyuki Abe (1981)⁽¹⁵⁾ 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。

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

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

こゝに、 H は最大片振幅 (m)

H_2 は最大両振幅 (m)

この式により H 及び H_2 を求めた結果を第4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1m²あり、両振幅が1.8m²あるとしている。

4. 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して推定される神威岬西側断層の位置に地震地体構造上想定した $M=7\frac{3}{4}$ 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5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、敷地近傍の岩内と忍路に検潮儀記録のある1940年神威岬沖の地震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⁽¹⁶⁾(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6表には津波伝播の諸条件を、また第5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。(第6図)

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 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7図に示す。

以上のように、断層モデルの設定及び計算手法の妥当性を確認し、次に神威岬西側断層の位置 $M=7\frac{3}{4}$ の地震を想定した場合のモデルを求め津波のシミュレーションを行っている。

第7表に断層モデルの諸元を示す。

(2) 数値シミュレーション結果

第8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、第9図に計算波形、第8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)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、 $H_c=3.46\text{m}$ $H_t=-2.55\text{m}$ であるとしている。

5. 検討結果

敷地での津波の高さを過去における記録、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程度と推定し、仮に、朔望平均満潮時(T.P.+0.04m)に重なったとしても、主要構造物は標高+10m以上の敷地面に設置されることになっているので、原子炉施設の安全性は損なわれないとしている。

第1表 北海道西岸に影響を及ぼした地震津波の表

地		震				津波	
年 月 日		震 央 地 名	震 火		M	h (km)	m
西 曆 (年.月.日)	日本曆 (年.月.日)		北 緯 (°N)	東 経 (°E)			
1741. 8. 28	寛保元. 7. 19	渡 島 西 岸	41.6	139.4	6.9 7.5 ³⁾	—	3
1792. 6. 13	寛政 4. 4. 24	後 志	43.5	140.6	6.9 7 ³⁾	—	2 1 ³⁾
1793. 2. 8	寛政 4. 12. 28	西 津 軽	40.85	139.95	6.9	—	1
1833. 12. 7	天保 4. 10. 26	佐 渡 羽 前	38.9	139.15	7.4 7.6 ³⁾	—	2 2.5 ³⁾
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⁾
1874. 2. 28	明治 7.	天 塩	43.9	141.6	5.9	—	—
1940. 8. 2	昭和15.	神 威 岬 沖	44.1	139.5	7.0 7.5 ³⁾	0-20	2
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⁾
1964. 5. 7	昭和39.	男 鹿 半 島 沖	40.3	139.0	6.9	0	-1
1964. 6. 16	昭和39.	新潟県沖 (新潟地震)	38.4	139.2	7.5	40	2
1983 5. 26	昭和58	日 本 海 中 部 地 震	40.4	139.1	7.7	14	

M : 地震の規模 (マグニチュード)

h : 震源の深さ

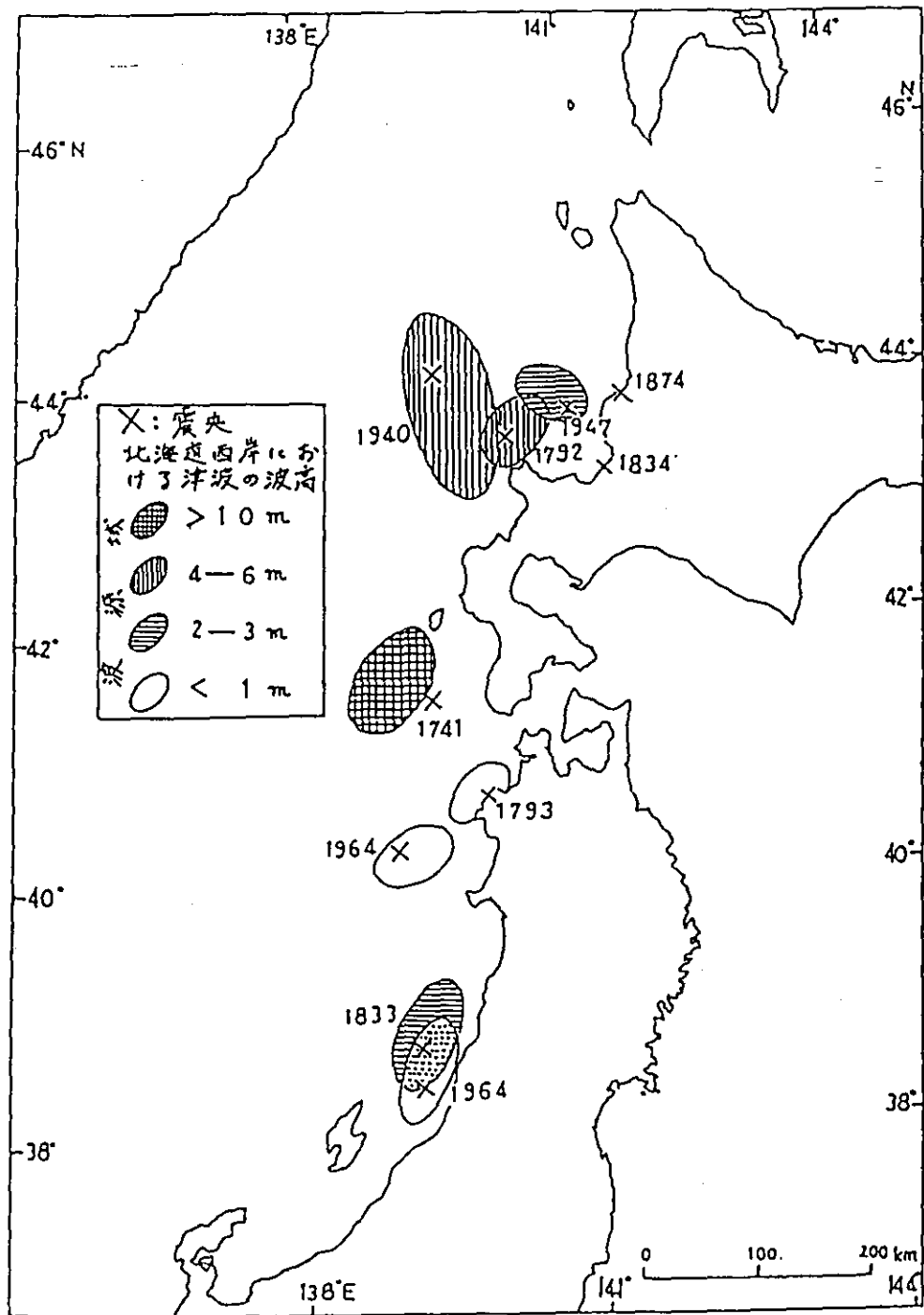
m : 津波マグニチュード (今村・飯田スケール)

1) : Hatori (1969)

2) : 羽鳥 (1972)

3) : 羽鳥・片山 (1977)

4) : 阿部 (1981)

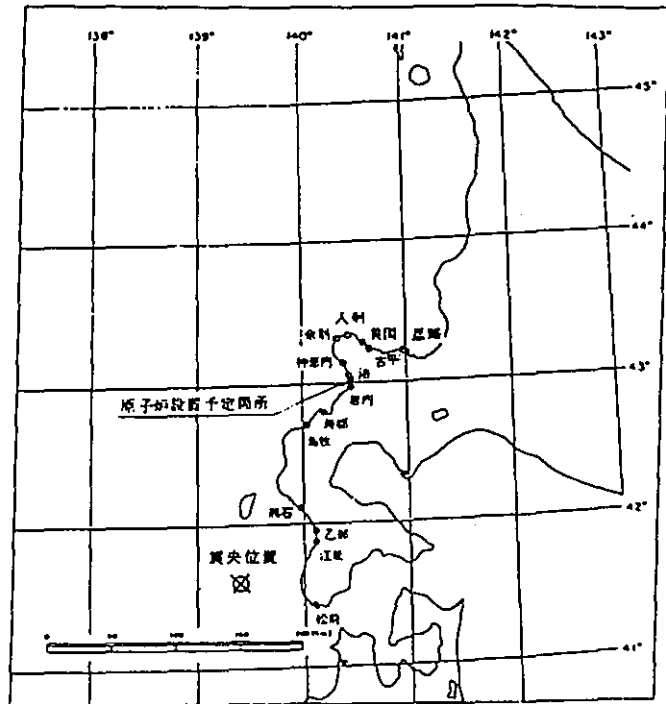


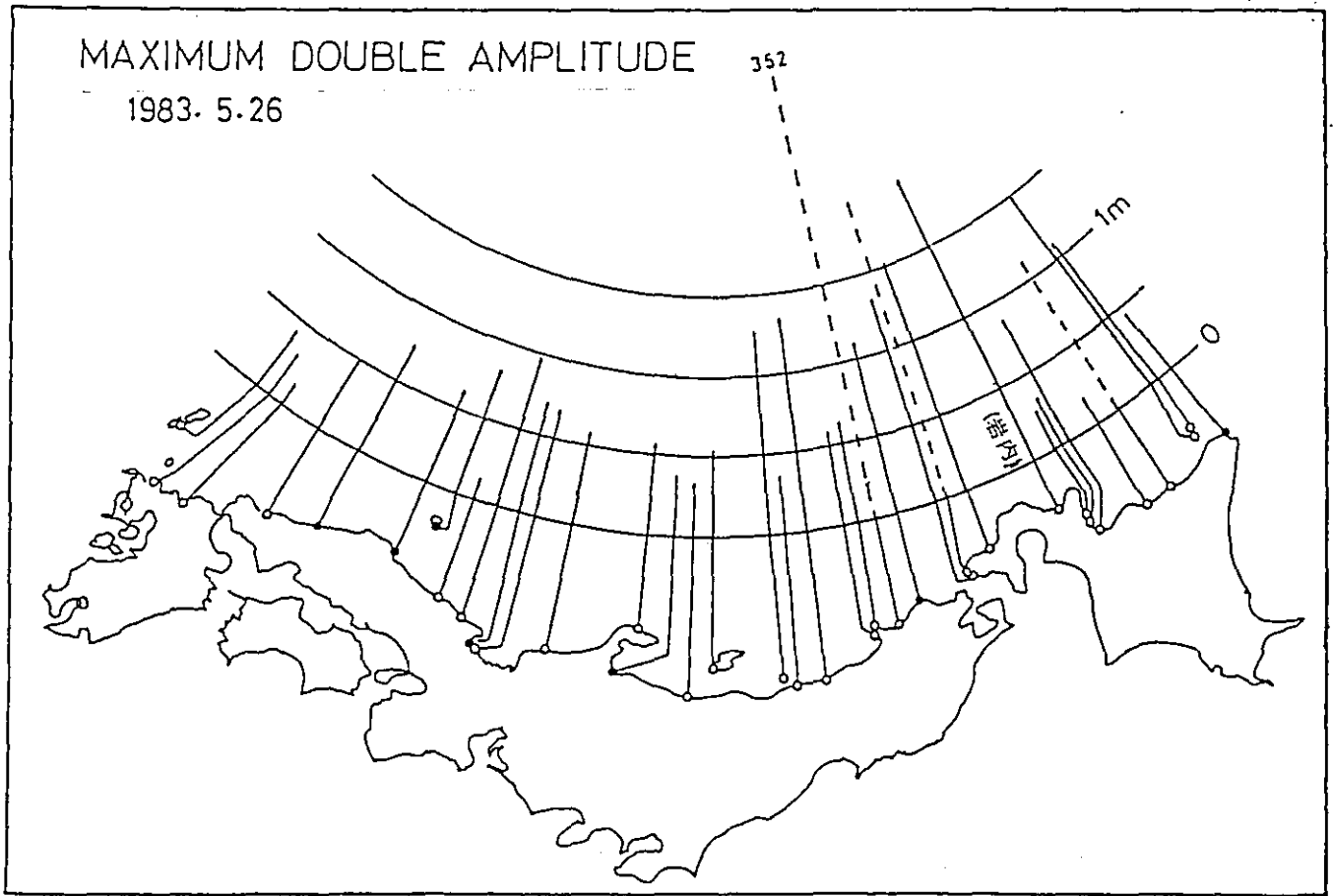
第1図 北海道西岸に影響を及ぼした地震津波の地震の震央および津波の波源域の分布。
 波源域は、北海道西岸における津波の最大波高によって分類されている。
 (羽鳥・片山(1977))

第 2 表

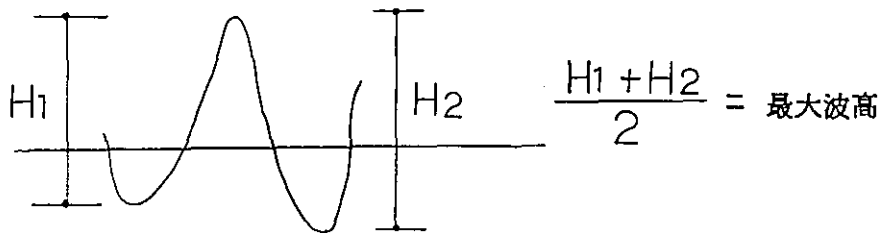
1741年渡島西岸による各地の津波の高さ (羽鳥・片山 (1977)による)

地名	紀 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。建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 金ヶ沢	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 渡:		
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
鷹 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 800 m 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

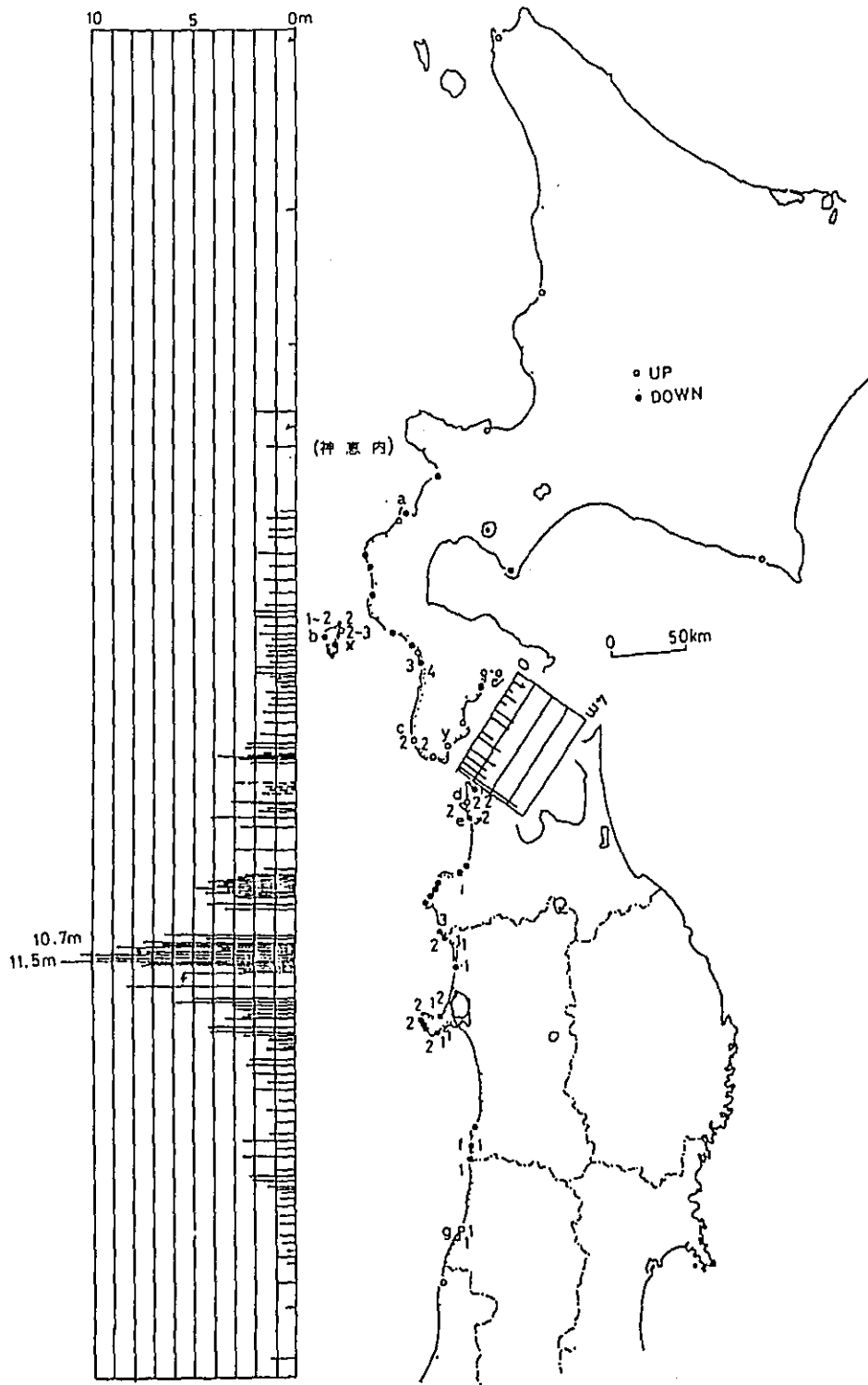




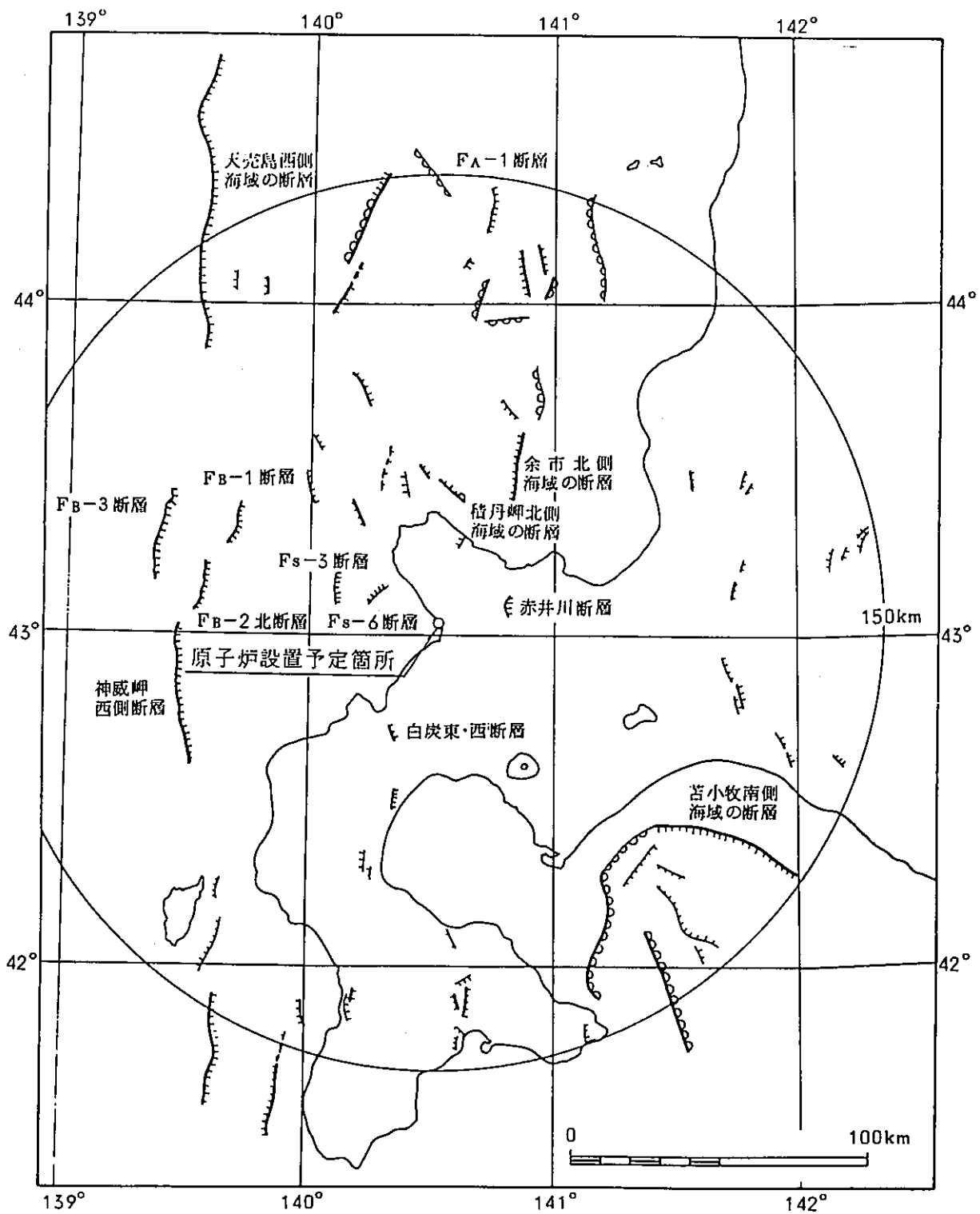
(岡田による)



第 2 図 検潮記録から見た日本海中部地震津波 (津波の最大波高分布)



第3図 日本海中部地震の津波の水位，初動の証言・痕跡調査（都司 他による）



第4図 敷地周辺の活断層分布

第3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4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M	津波の段階	津波の高さの推定値 (m)
	Fs-6断層 6.4	-1.76	[-1]	0.5
	Fs-3断層 6.7	-0.98	[-1]~[0]	0.5~1
	神威岬 西側断層 7.7	1.62	[1]~[2]	2~4
	" 7.3/4	1.75	[1]~[2]	

阿部式による 検討	地震マグニ チュードM	震央距離 Δ (km)	最大片振幅 H (m)	最大両振幅 H ₂ (m)
	Fs-6断層 6.4	22	0.18	0.32
	Fs-3断層 6.7	36	0.22	0.39
	神威岬 西側断層 7.7	87	0.91	1.62
	" 7.3/4	87	1.02	1.82

第5表 数値シミュレーションに用いる断層モデルの決定法

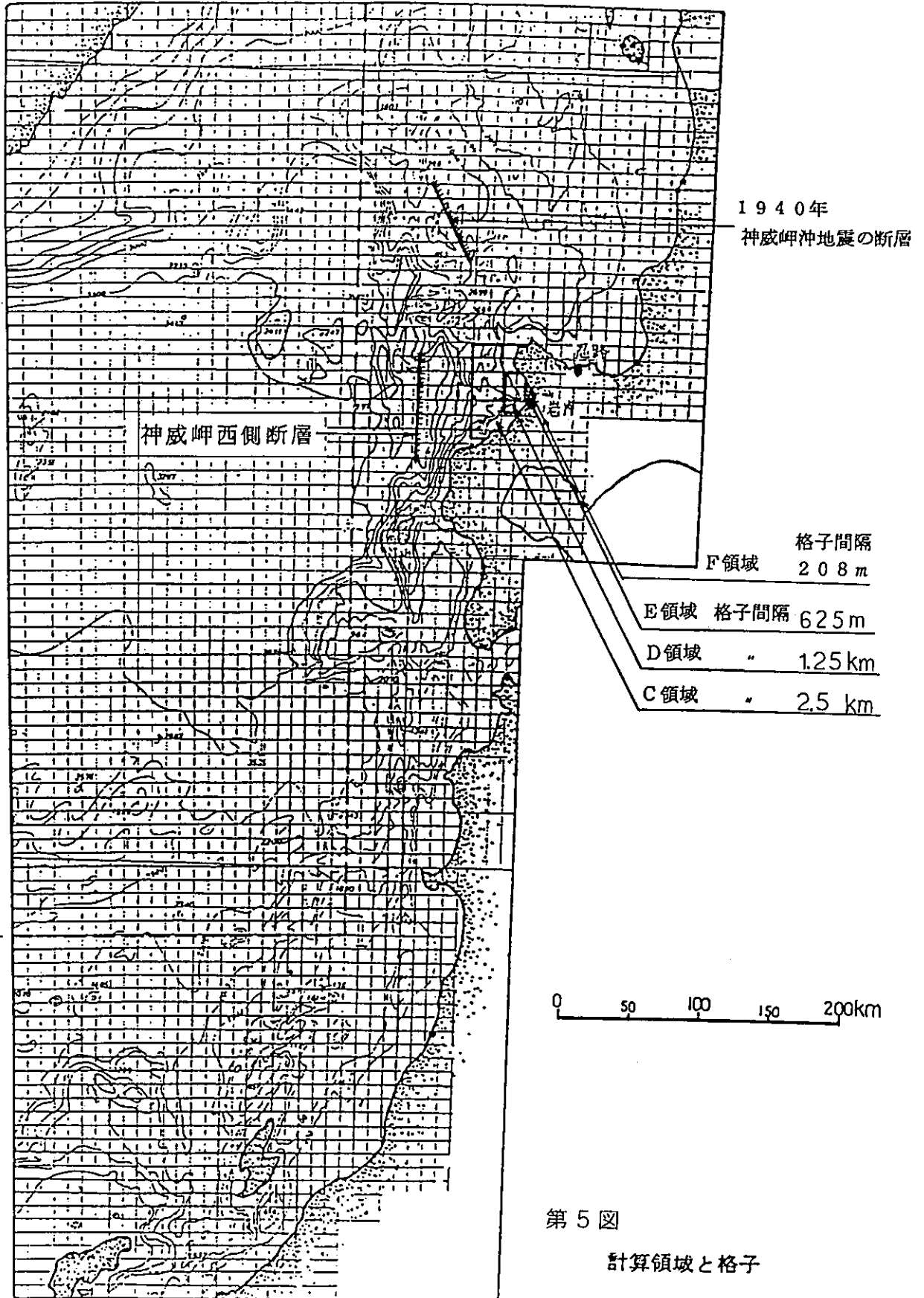
	① 1940年神威岬沖地震の 想定モデル	② 岩内、忍路の検潮記録と想 定モデル計算との比較	③ 1940年神威岬沖地震の ②による修正モデル	④ $M=7\frac{3}{4}$ を神威岬西側 断層に相似したモデル
マグニチュード M	7.5	各観測点での第1半波 a_1 、第 2半波 a_2 、第3半波 a_3 につい て、観測値と計算値の比 k_i を求め、幾何平均 K (モデルの すべり量に乘ずる平均的な補 正倍率)を求める。 $\log K = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \log k_i$ \downarrow $\therefore K = 0.94$ x_i = 観測値 y_i = 計算値 $k_i = x_i / y_i$ n = 比較個数	7.5	$7\frac{3}{4}$
地震モーメント M_0 (dyne · cm) $M_0 = 10^{15M+16.1}$	2.2×10^{27}		2.1×10^{27}	5.31×10^{27}
応力降下量 $\Delta\sigma$ (bar) $\Delta\sigma = \frac{16\mu D}{3\pi W}$	70 (新潟地震を想定)		※ 66	66
断層の長さ L (Km) $L^3 = \frac{M_0}{0.14726\Delta\sigma}$	60		60	82
断層の幅 W (Km) $W = \frac{L}{2}$	30		30	41
剛性率 μ (dyne / cm ²)	4×10^{11}		4×10^{11}	4×10^{11}
すべり量 D (m) $D = \frac{M_0}{\mu L W}$	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6表 津波伝播の諸条件

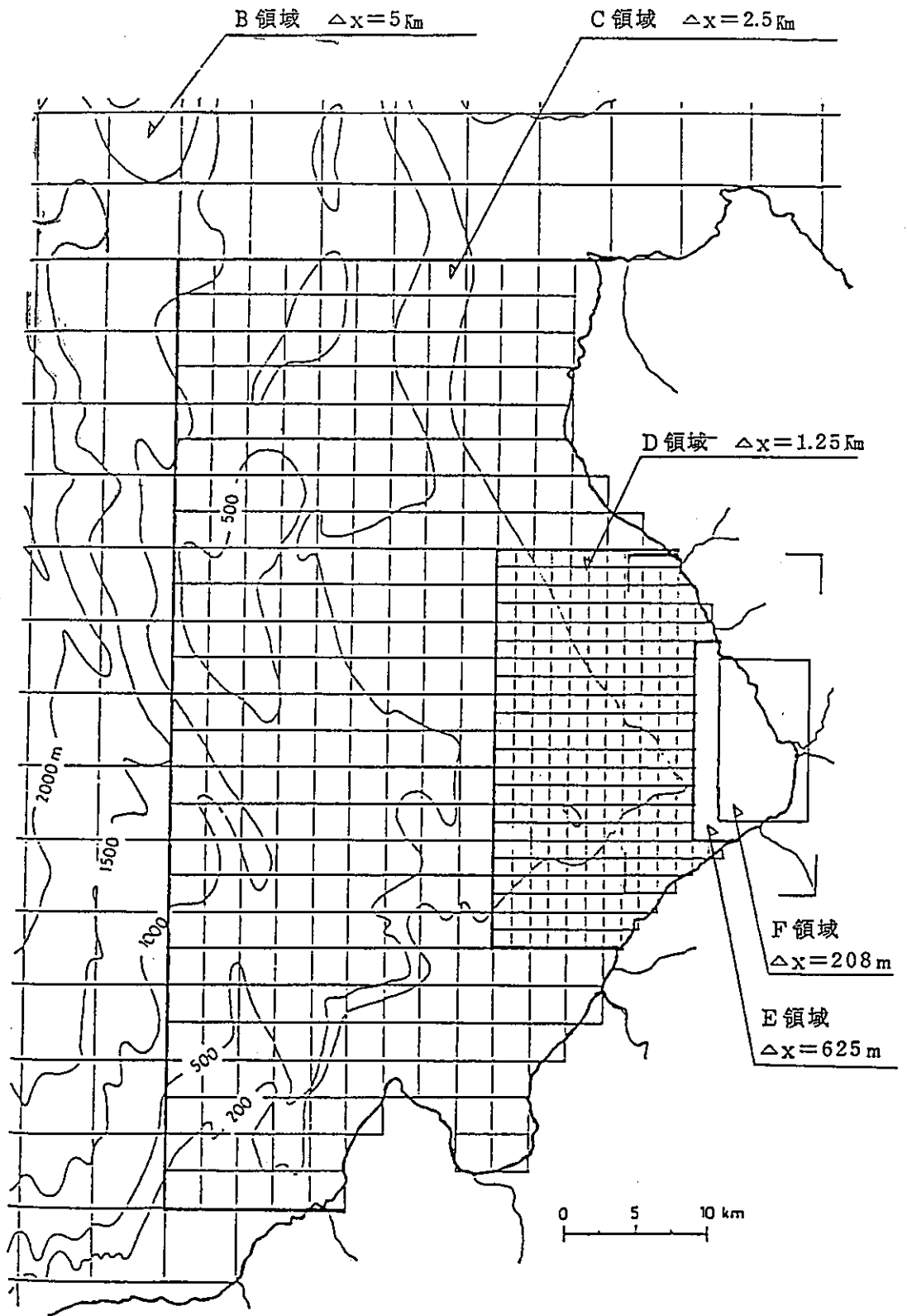
<p>◦ 境界条件.</p>	<p>海岸線及び防波堤では、それに直角方向の流量を零とする(完全反射) 沖側へは自由流出とする。</p>
<p>◦ 初期条件.</p>	<p>地震断層による海底面変位を立上り時間60秒で海面に与える。 (計算基準面をT.P.+0mに設定)</p>
<p>◦ 断層面上縁の深さ</p>	<p>断層の破壊が海底(表面)まで及んだものととして0. Kmとする。</p>
<p>◦ 計算格子間隔 (ΔS)</p>	<p>10Km ~ 208mとする。</p>
<p>◦ 計算時間間隔 (Δt)</p>	<p>10秒. 但し$\Delta S=208m$では3.3秒。 Δtを設定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>

A領域 格子間隔 10km
 B領域 格子間隔 5km

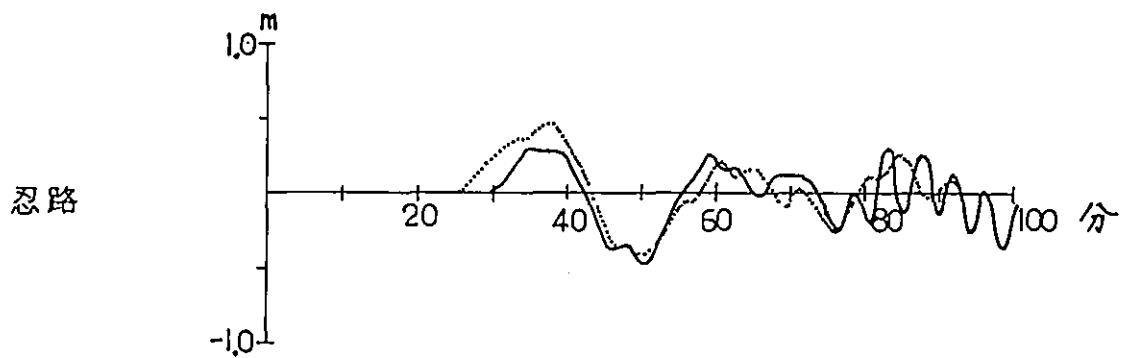
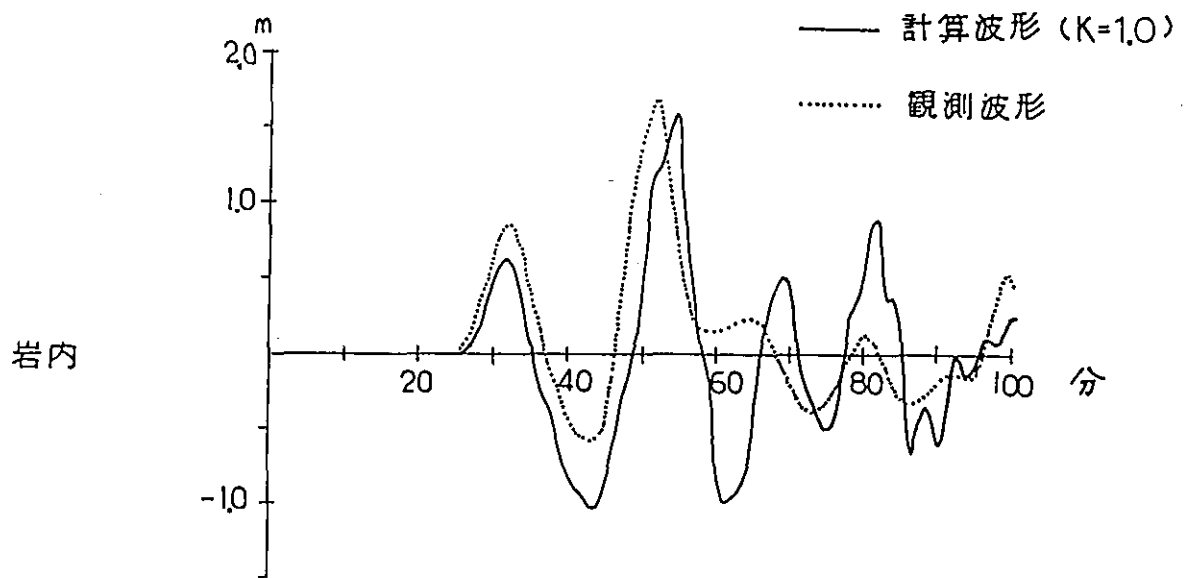


第5図

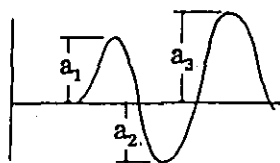
計算領域と格子



第6図 岩内周辺の計算格子



凡例



(Cm)

	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
修正モデル計算値 幾何平均値 K = 1.0	61.4	-102.1	156.6	29.5	-49.2	24.2

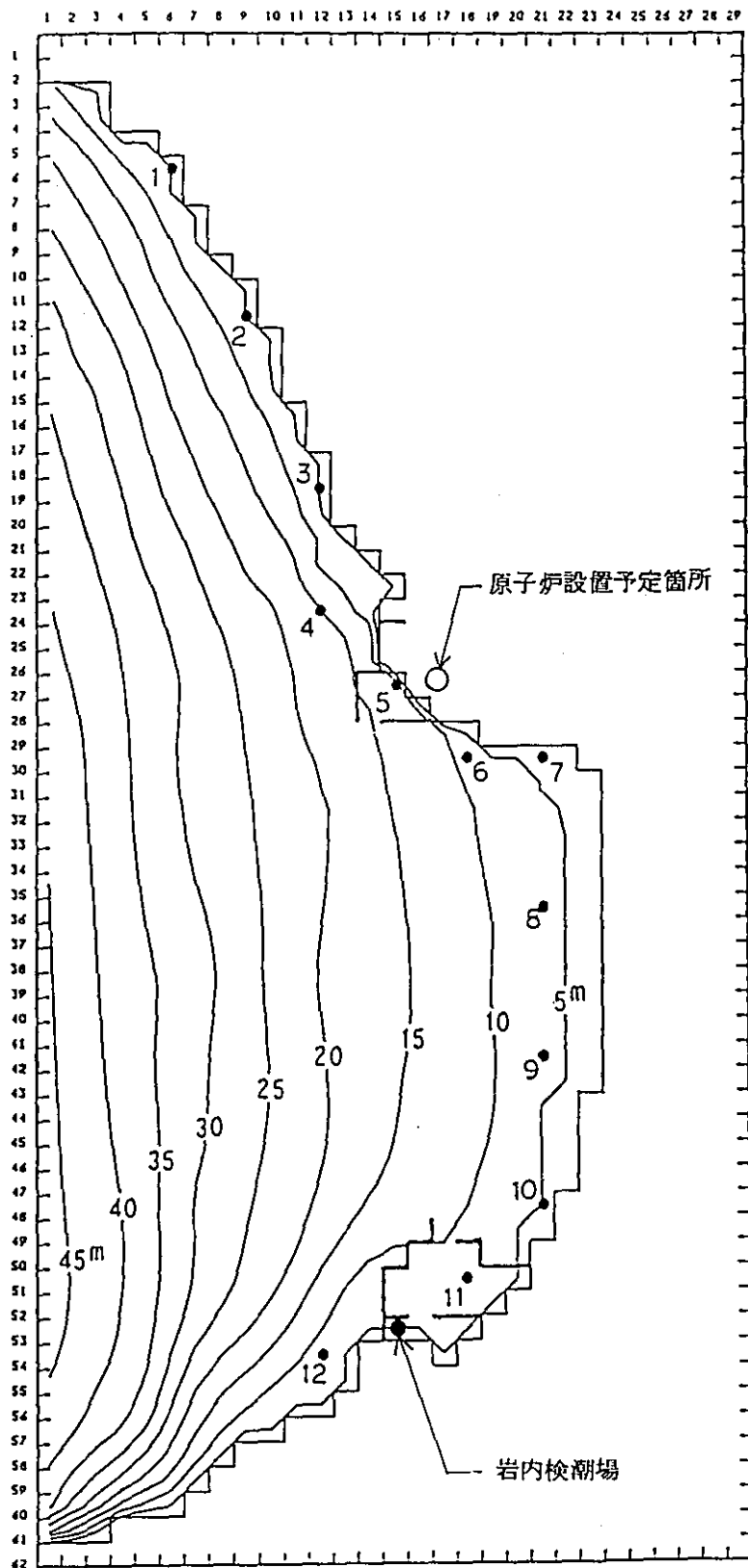
第7図 津波の観測波形と計算波形との比較

第7表 断層モデルの諸元

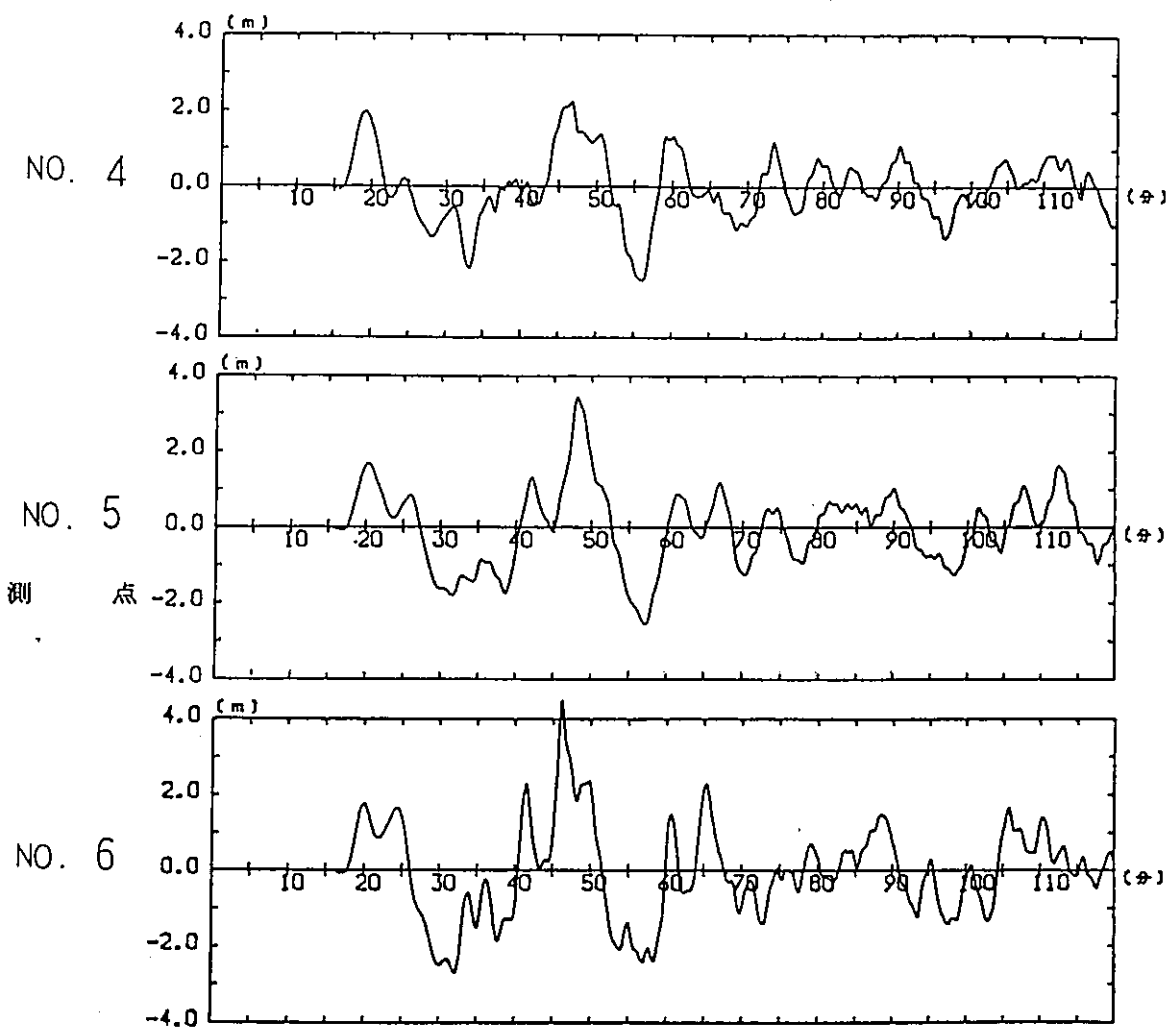
断層モデル	断層の形態	地震マグニ チュードM	断層の長さ L (km)	断層の幅 W (km)	すべり量 D (m)	傾斜方向と 北方向のなす角 ϕ (°)	傾斜角 δ (°)
1940年神威岬沖地震の モデル	* 逆断層	7.5	60	30	2.91	110	* 45
神威岬西側断層の位置にM=7 $\frac{3}{4}$ の地震を想定したモデル	逆断層	7 $\frac{3}{4}$	82	41	3.97	90	45

※ は深尾・古本⁽¹⁷⁾による。

格子間隔 208 m
0 1 2 km



第8図 計算格子と結果の出力点 (F領域)



第9図 計算波形

第8表 津波の最大振幅

(m)

出力点No. モデル L×W (kw)	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

参考文献

- (1) 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.
- (2) Hatori, T. 1969. Dimensions and Geographic Distribution of Tsunami Sources near Japan. Bull. Earthq Res Inst, 47, 185-214.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) 宇佐美龍夫, 1981, 資料・日本被害地震総覧, 東京大学出版会.
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) 岡田正美, 1983. 極潮記録から見た日本海中部地震津波
地震学会 講演予稿集, 1983, No.2
- (12) 柳司嘉宣他, 1983. 日本海中部地震の津波の水位, 初動の証言・痕跡調査
地震学会 講演予稿集, 1983, No.2
- (13) 今村明恒 : 本邦津波年代表, 地震2-2-1, 1942.
- (14) Iida, Kumizi : Magnitude and energy of earthquakes accompanied by tsunami and tsunami energy, J. of Earth Science, Nagoya University, 1958.
- (15) Abe, Katsuyuki: Physical size of tsunamigenic earthquakes of the northwestern Pacific, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 27, 1981.
- (16) 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
- (17) FUKAO, Y., and M. FURUMOTO. 1975. Mechanism of large earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 25, 247-266.

泊発電所（1、2号炉）

日本海中部地震の観測記録について

昭和59年 2月20日

1. 観測概要

第1図に地震計位置図を第2図に地質柱状図を示す。

地震計は、サーボ型加速度地震計(固有振動数450 Hz)で4深度(GL -2.7m、-9m、-92m、-169m)に3成分(NS、EW、UD)ずつ設置されている。

第3図に地震観測装置のブロック図を示す。

現象は、観測センターにある直流増幅器と遅延装置(20秒)を通してデータレコーダーに記録している。

なお、記録計の起動は微小地震観測装置からのトリガー信号(100 μ kine)による。

2. 観測結果

第1表に日本海中部地震の諸元と第4図に震央位置図を示す。

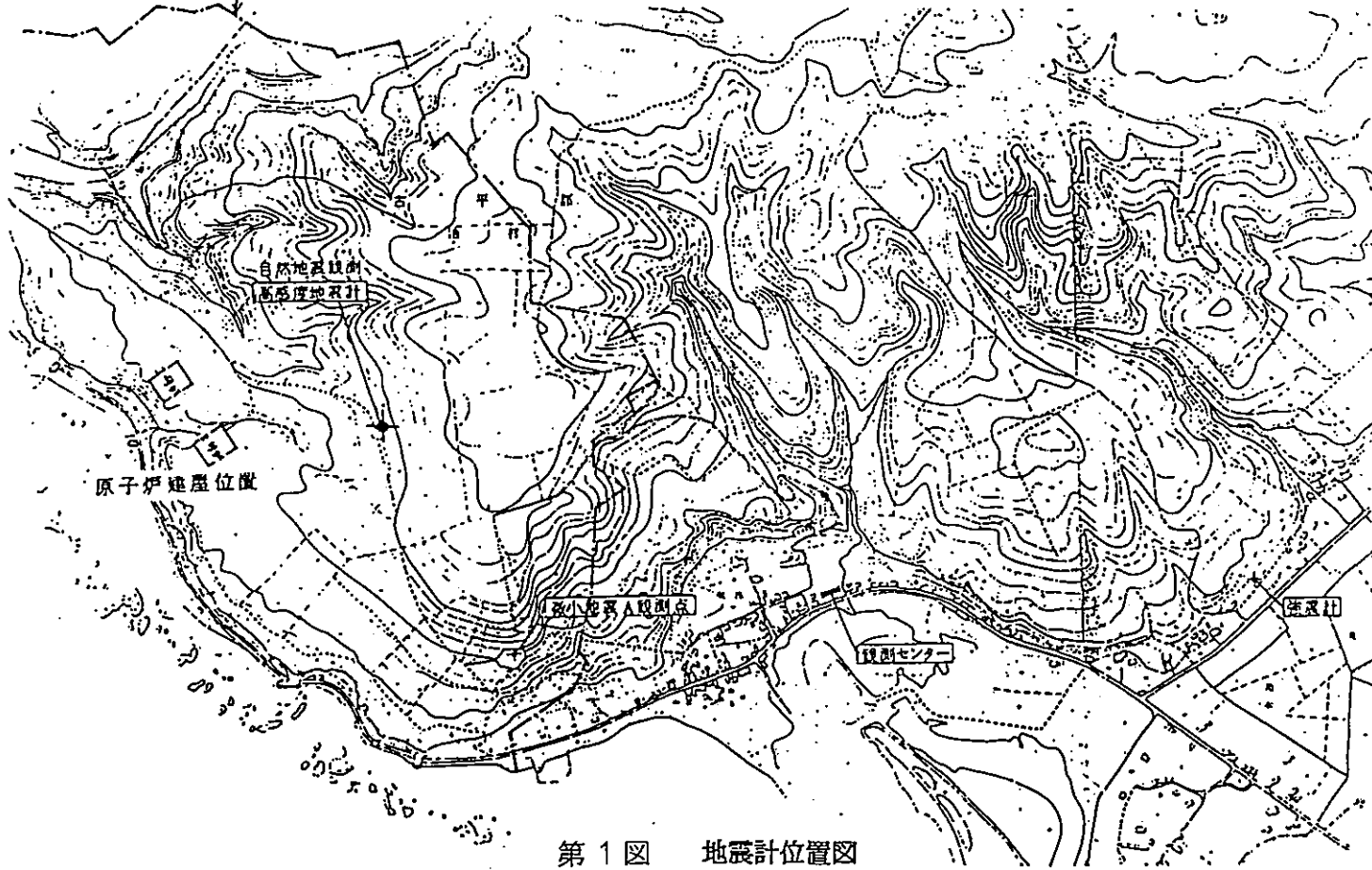
これによると、敷地からの震央距離は322 kmであり、観測波の最大加速度値は、水平成分で5.4 gal (-2.7m、NS)、上下成分で3.4 gal (-9m)である。

第5図から第7図に観測波形と計算波形(速度、変位)を示す。

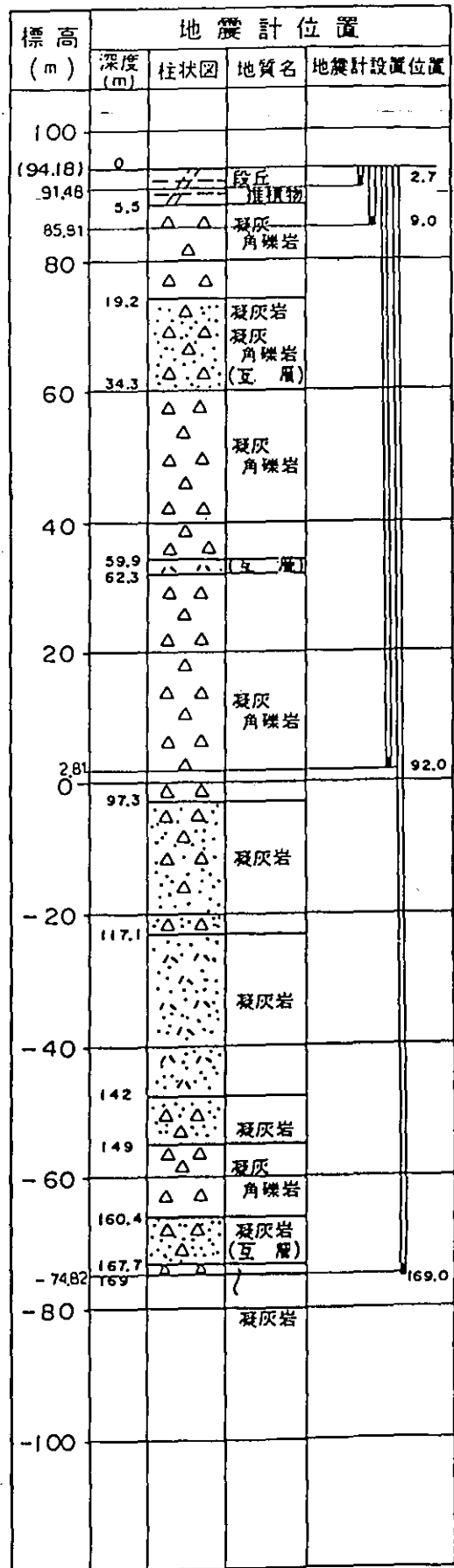
日本海中部地震は、当地点で観測された地震のうちで、振動継続時間も比較的長く、最大振幅値も初動から約67~78秒に出ている。



敷地境界線

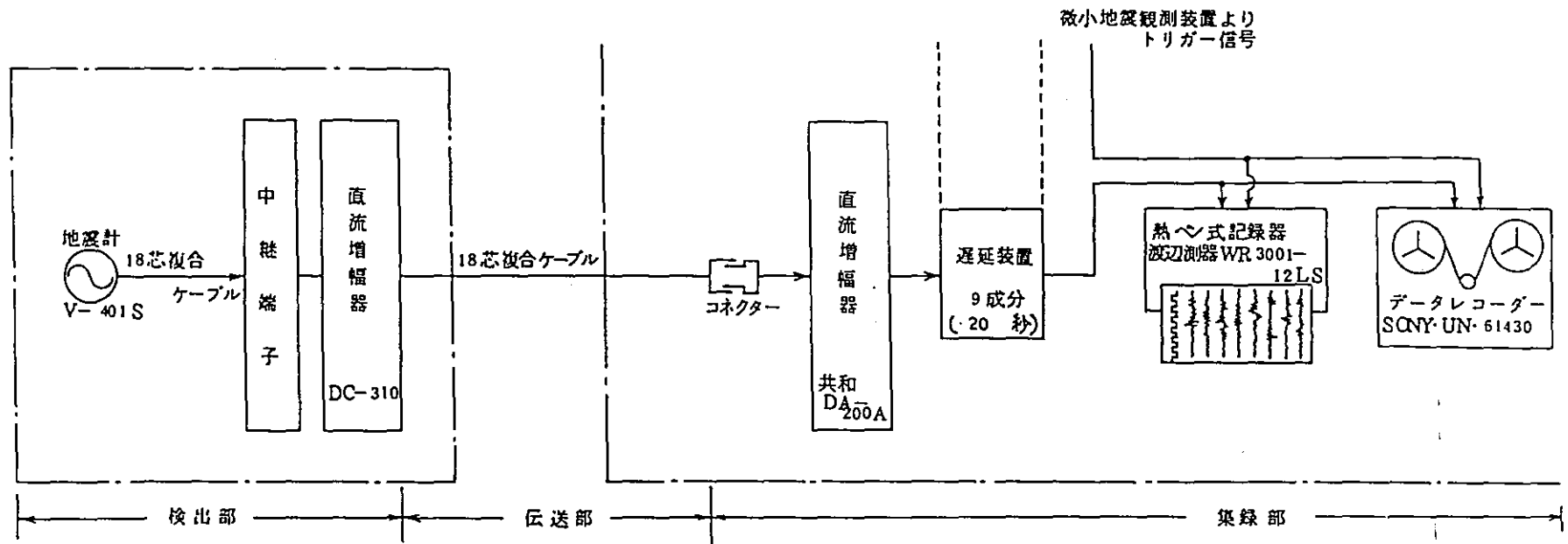


第1図 地震計位置図



* 各深度の地震計は
水平2成分、上下1成分

第2図 地震計位置と地質柱状図



第3図 地震観測装置ブロック図

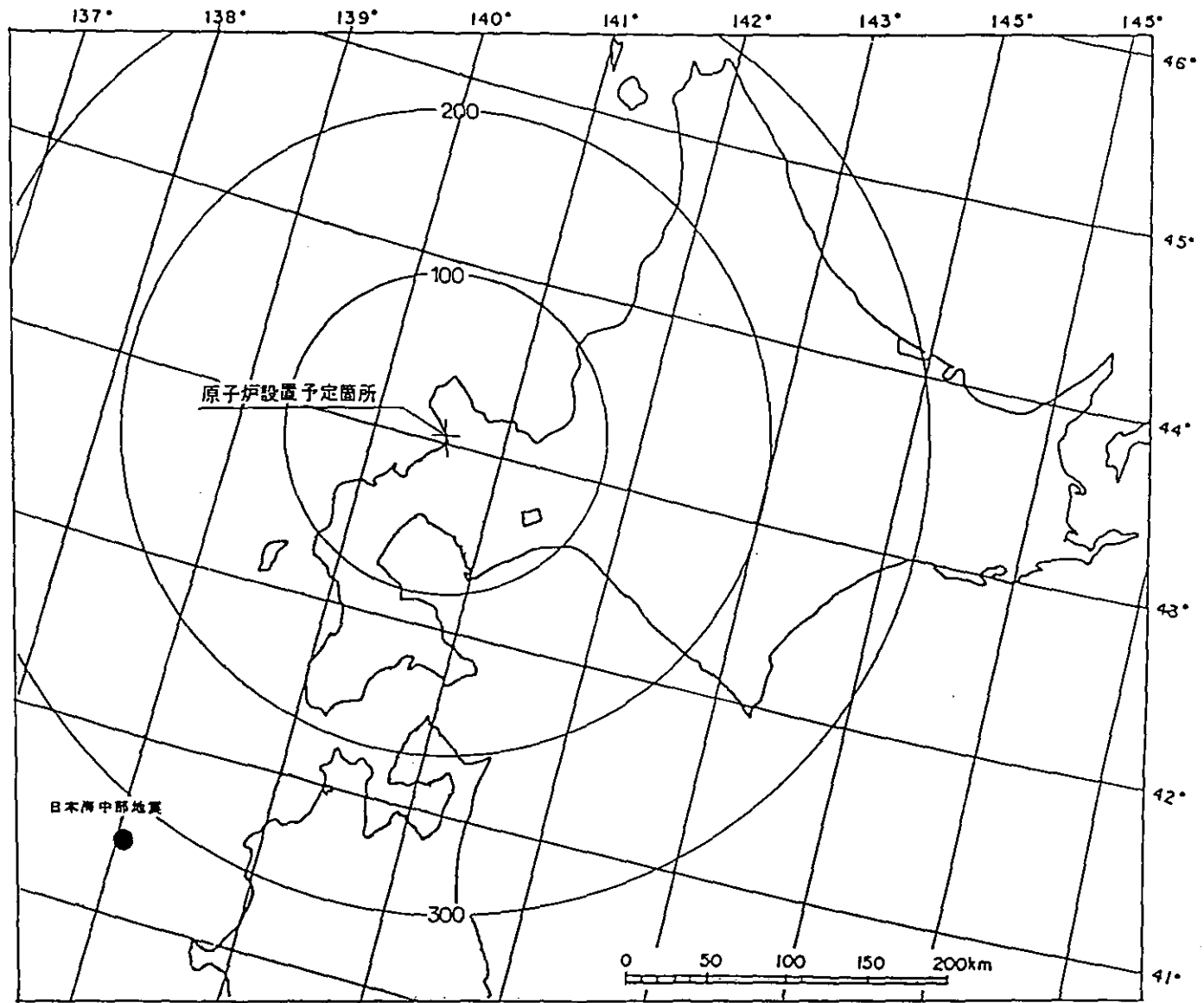
第1表 日本海中部地震の諸元

発震 年月日 時刻	地震名 北緯 東経	マグニ チュード (M)	震央 距離 (km)	震源 深さ (km)	観測波の最大振幅						
					地震計 位置(m)	N S		E W		U D	
						加速度	速度	加速度	速度	加速度	速度
* 1983. 5. 26 11:59' 57.5"	日本海中部 * (40°21.4'N 139°46'E)	* 7.7	322	* 14	-27	5.4	1.2	—	—	3.0	0.6
					-9	—	—	5.1	1.0	3.4	0.7
					-92	3.6	1.0	4.4	1.6	3.0	0.7
					-169	3.2	1.1	4.5	1.4	2.5	0.7

(単位 加速度: gal, 速度: kine)

— : 欠測を示す

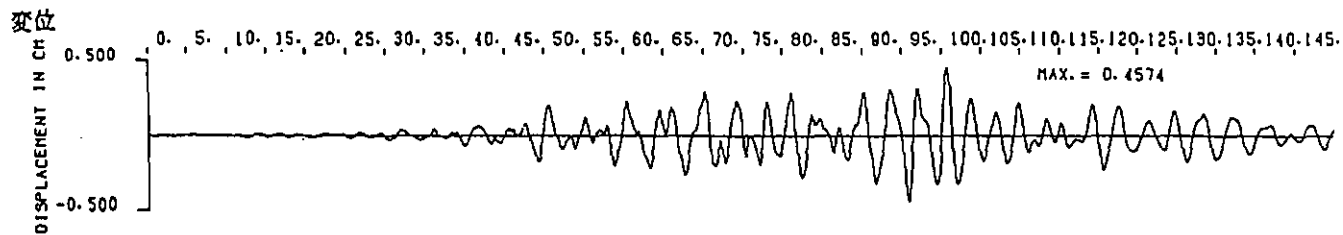
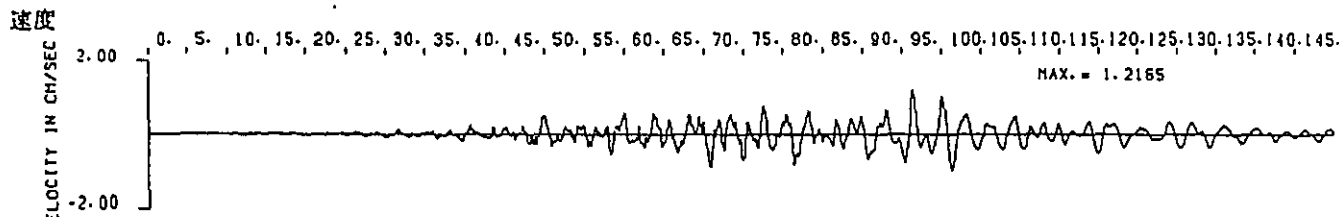
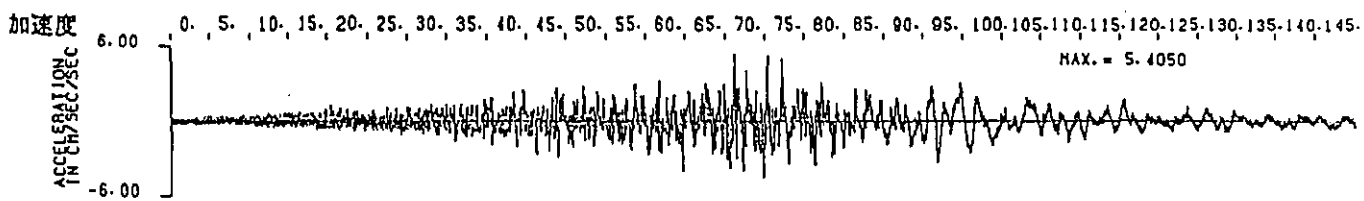
* : 北海道地震火山月報 (札幌管区気象台) による



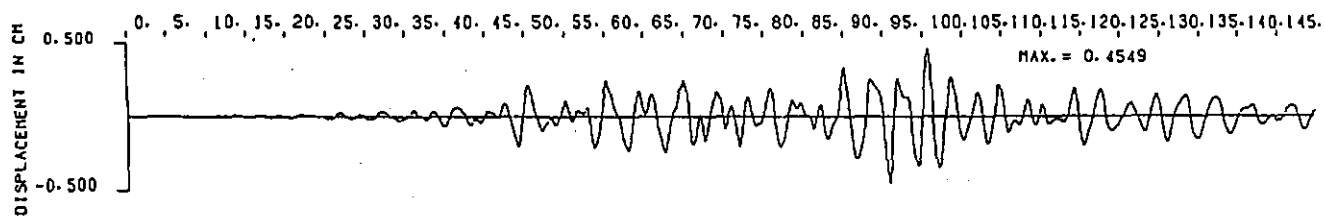
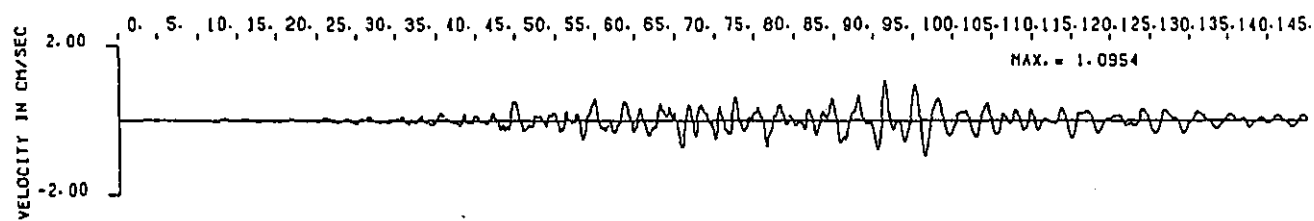
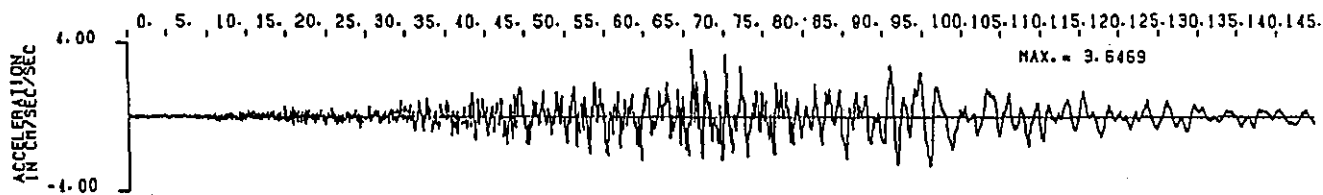
第 4 図 震央位置図

地震計位置

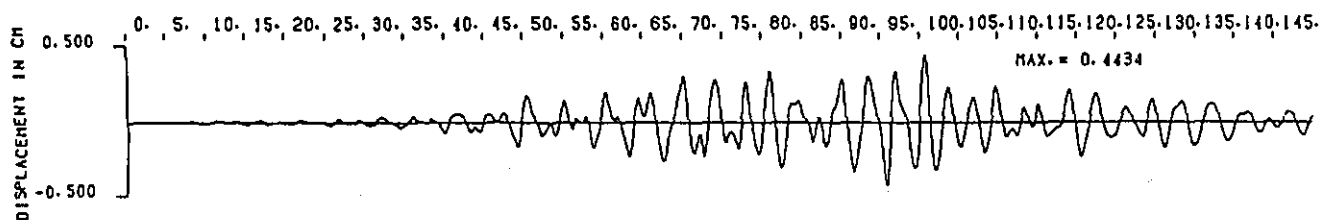
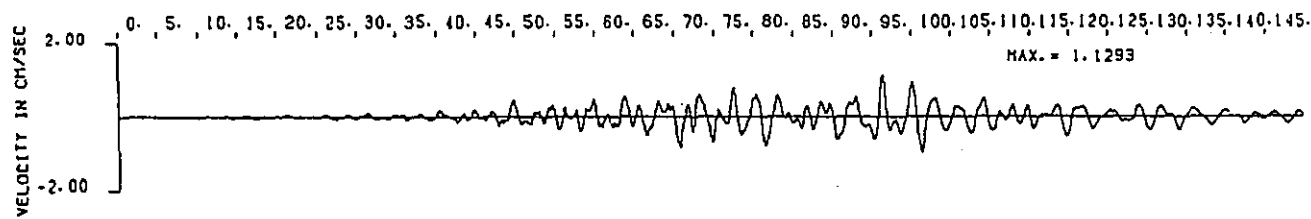
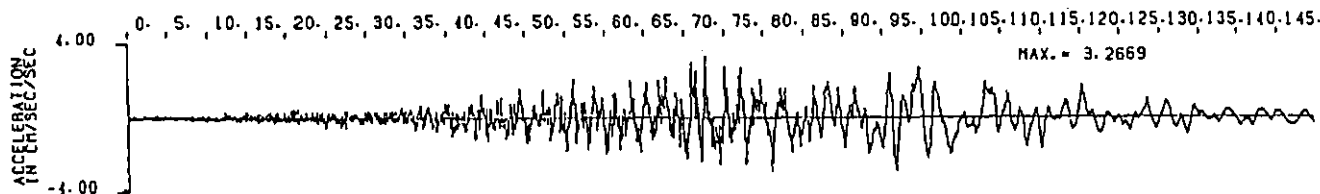
-2.7 m



-92 m



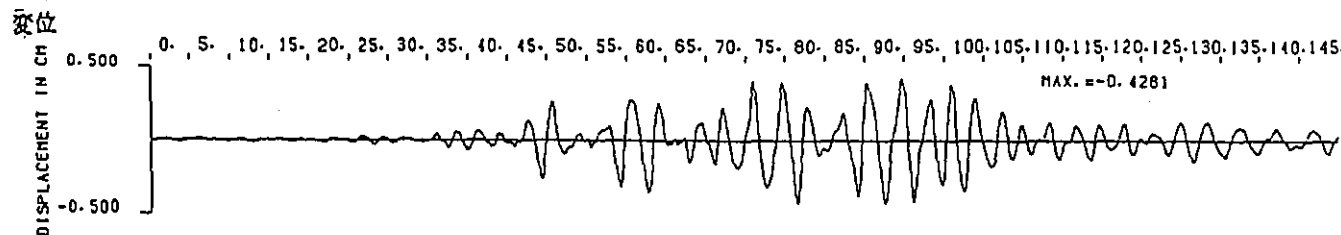
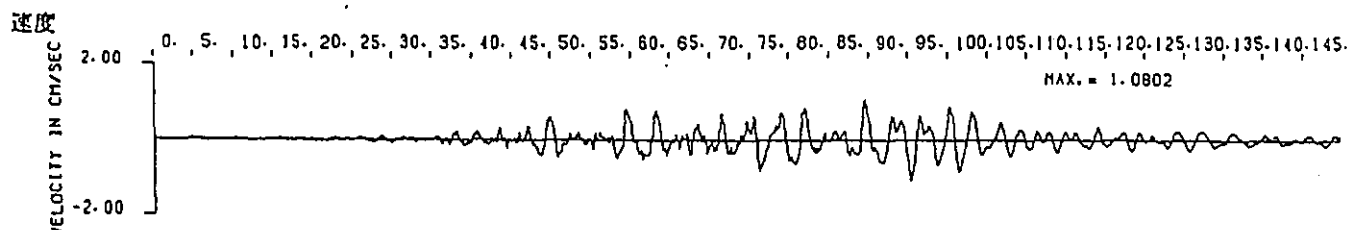
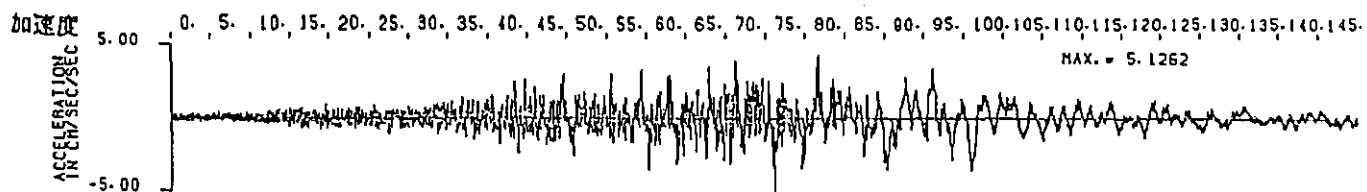
-169 m



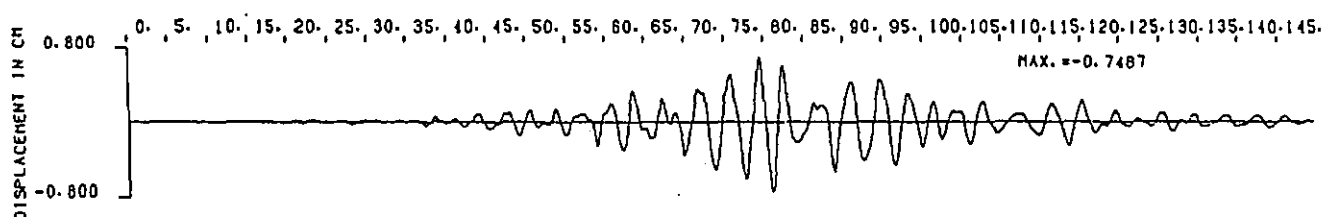
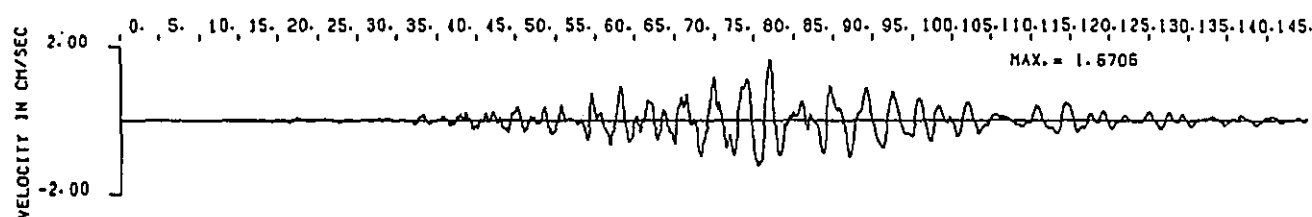
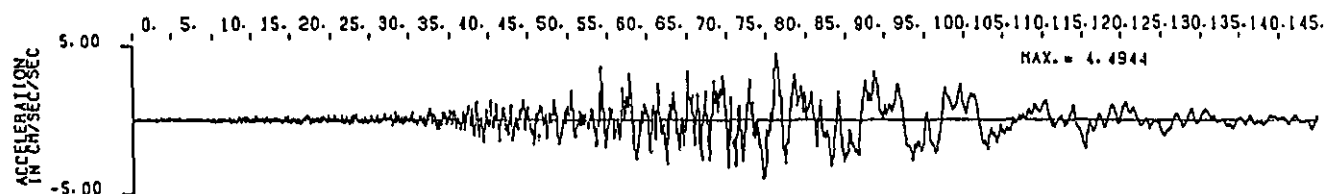
第5図 観測波形及び計算波形 (1983.5.26 日本海中部地震 M=7.7 NS成分 泊地点)

地震計位置

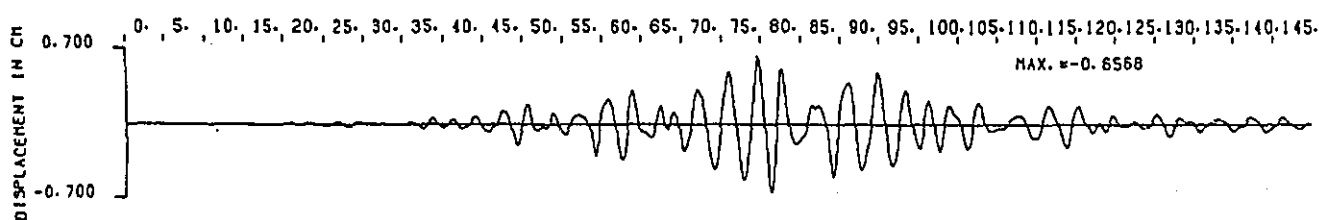
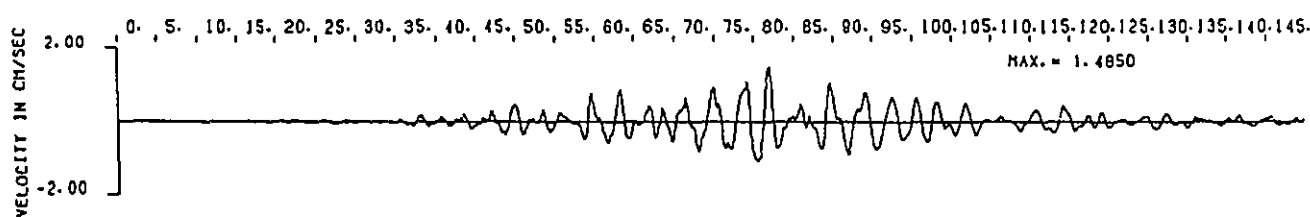
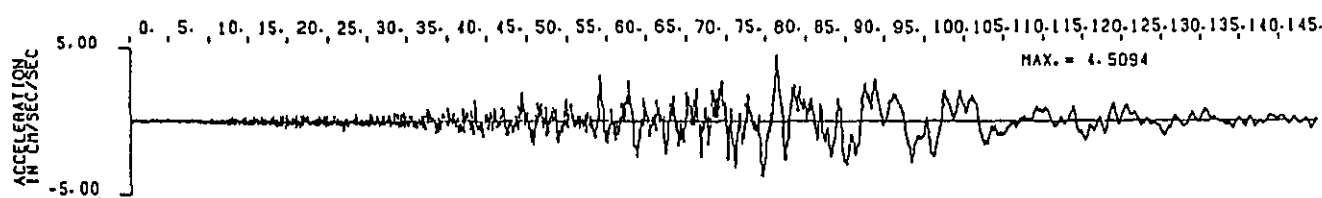
- 9 m



- 92 m



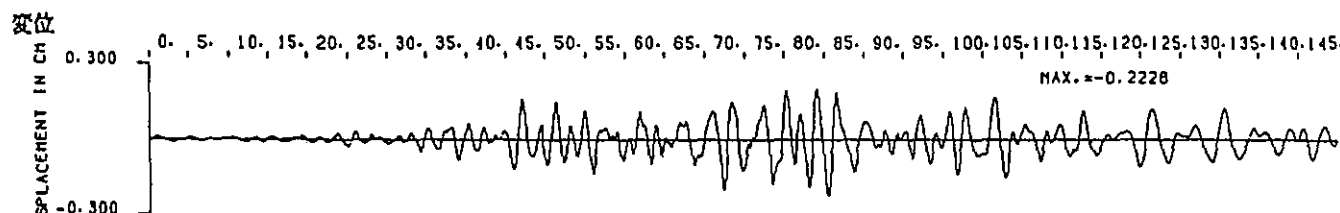
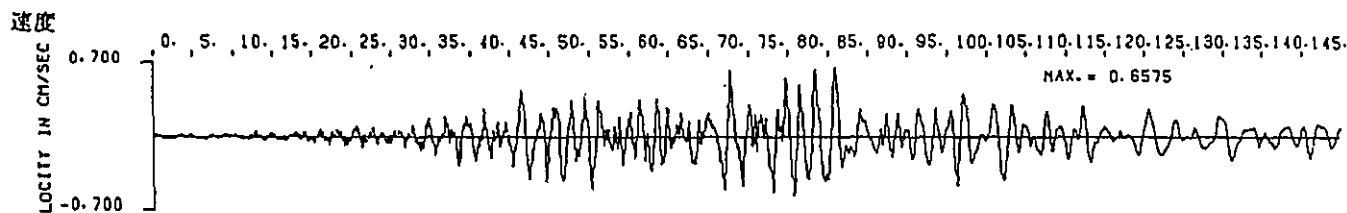
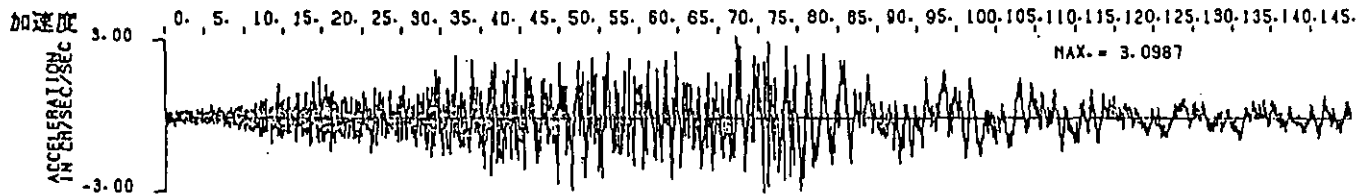
-169 m



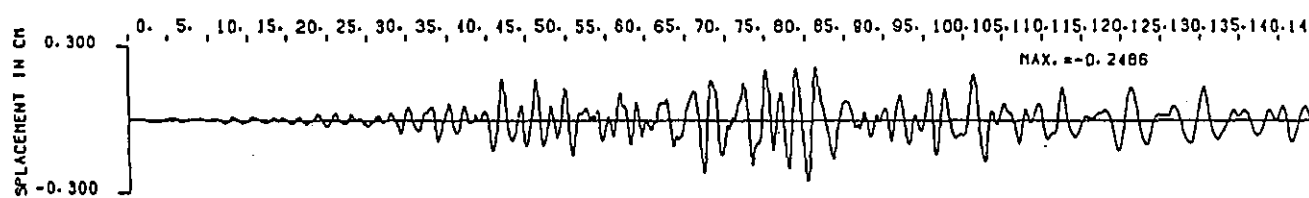
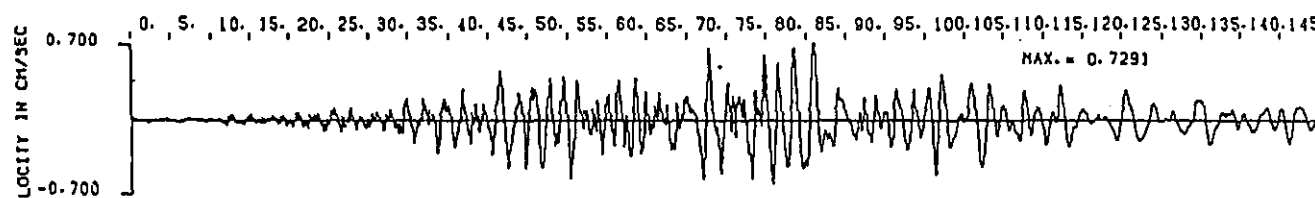
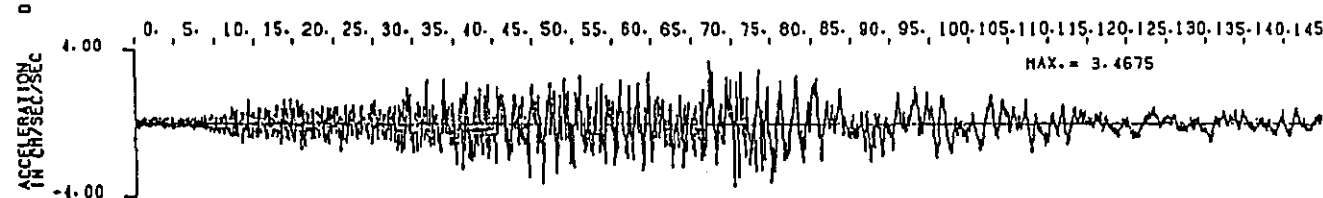
第 6 図 観測波形及び計算波形 (1983.5.26 日本海中部地震 M=7.7 EW成分 泊地点)

地震計位置

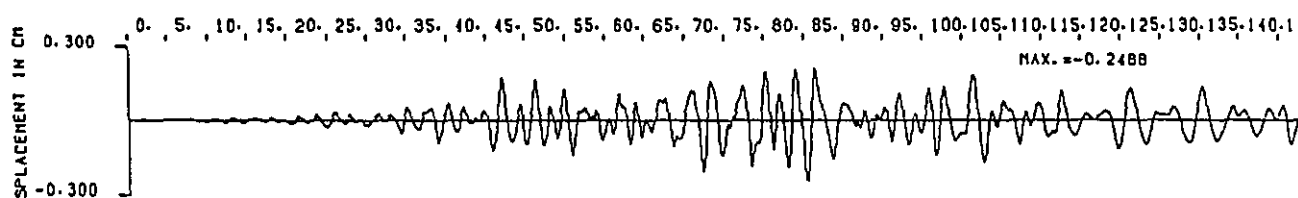
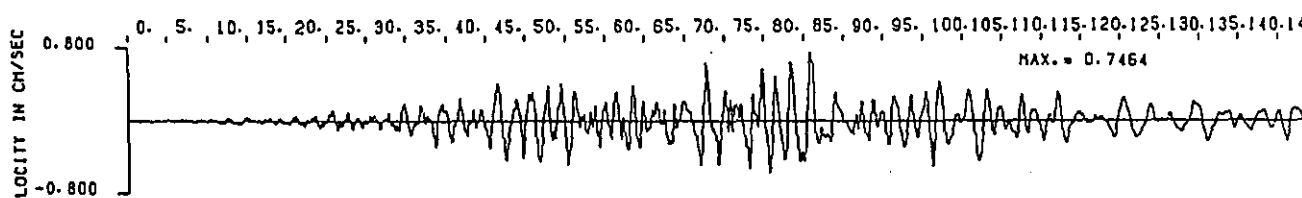
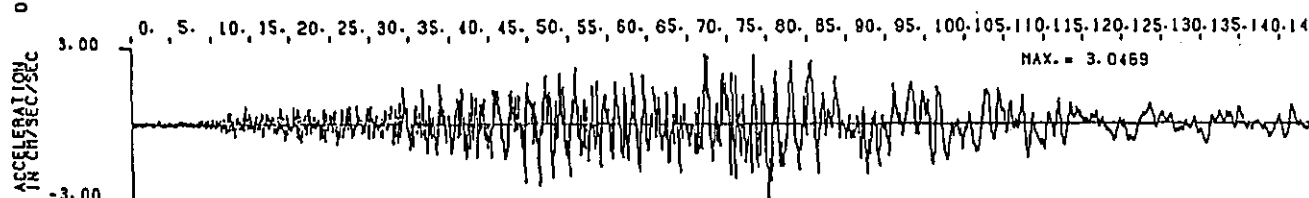
- 2.7m



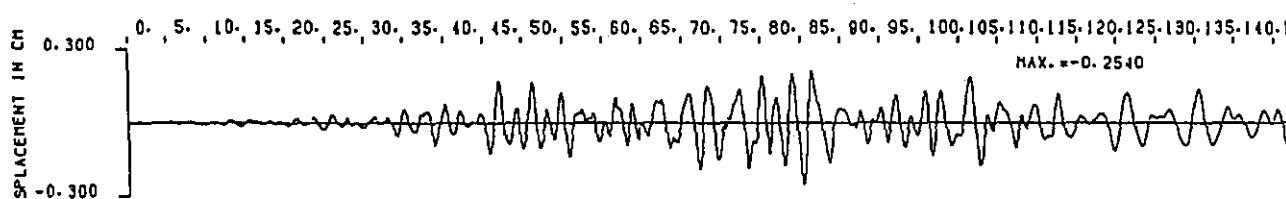
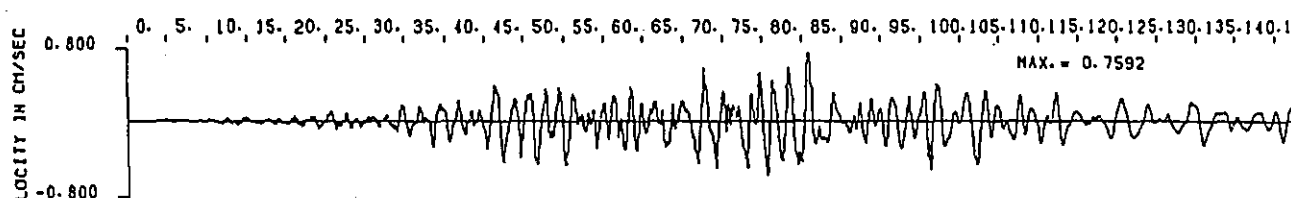
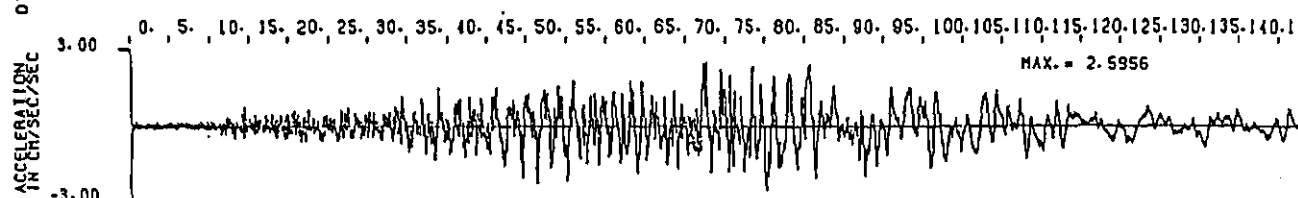
- 9m



- 92 m



- 169 m



第7図 観測波形及び計算波形 (1983.5.26 日本海中部地震 M=7.7 UD成分 泊地点)