

電源開発株式会社  
大間原子力発電所

地震及び地震動に関する個別検討事項について

平成16年8月  
原子力発電安全審査課

## 目次

1. 検討目的
2. 「最新版 日本被害地震総覧」の記載内容について
3. 「地震活動総説」の記載内容について
4. 1896年明治三陸沖地震のマグニチュードについて
5. M- $\Delta$ 図における旧震度階級について
6. 函館沖群発地震について
7. 三陸はるか沖地震後のカップリングについて
8. 敷地内地震観測について
9. 1994年北海道東方沖地震について
10. 敷地で観測された1993年北海道南西沖地震の表面波について
11. はぎとり解析の同定結果に関して、観測記録の地表におけるフーリエスペクトル比が2Hzよりも高振動数側で大きくなる理由について
12. 基準地震動の位相特性について
13. 検討結果

## 1. 検討目的

地震・地震動に関連する以下の事項に関して申請者によって実施された調査・解析・評価の妥当性について、検討を行う。

- ・「最新版 日本被害地震総覧」の記載内容について
- ・「地震活動総説」の記載内容について
- ・1896年明治三陸沖地震のマグニチュードについて
- ・M- $\triangle$ 図における旧震度階級について
- ・函館沖群発地震について
- ・三陸はるか沖地震後のカップリングについて
- ・敷地内地震観測について
- ・1994年北海道東方沖地震について
- ・敷地で観測された1993年北海道南西沖地震の表面波について
- ・はざとり解析の同定結果に関して、観測記録の地表におけるフーリエスペクトル比が2Hzよりも高振動数側で大きくなる理由について
- ・基準地震動の位相特性について

## 2. 「最新版 日本被害地震総覧」の記載内容について

### 2.1 「最新版 日本被害地震総覧」の誤差に関する検討

申請者は、1884年までの被害地震の選定に「最新版 日本被害地震総覧」<sup>(1)</sup>(以下「最新版」という。)を用いている。

「最新版」には「新編 日本被害地震総覧」<sup>(2)</sup>と同様に、震源要素に幅が示されている。

「最新版」の記載については、別紙に示す東通地点における地盤耐震部会で了解をいただいた「新編 日本被害地震総覧」に関する震源要素の幅の取扱いに基づいて、申請者は、その中心値を用いている。さらに、敷地に与える影響が大きい地震については、震源要素の幅に関する検討を実施している。

以上のことから、敷地に与える影響が大きい地震については、震源要素の幅に関する以下の検討を行うこととする。

#### (1) 検討概要

1884年までの地震で、「最新版」に記載されている震源要素の幅を敷地に対して最も影響の大きい位置に仮定した場合の応答スペクトルを算出している。

## (2) 検討対象地震の抽出

検討対象地震の抽出は、以下のように行っている。

- a. マグニチュードに範囲が記載されている場合には、その最大値をマグニチュードの値と仮定する。
- b. 震央に誤差(A, B, C, D)が記載されている場合には、その誤差の範囲内で最も敷地に近い位置を震央位置と仮定する。
- c. 震央に範囲が記載されている場合には、その範囲内で最も敷地に近い位置を震央位置と仮定する。
- d. 前述の仮定した地震諸元を用い、大崎の手法により算定した敷地での応答スペクトルの上位8つの地震を検討対象地震として選定する。なお、応答スペクトルの算定にあたっては、震源深さは飯田の余震体積の1/2の値とする。

以上の方法に従い抽出された検討対象地震を表-2.1に、その震央分布と誤差範囲を示したものを図-2.1に、応答スペクトルを図-2.2に示す。

## (3) 評価

震源要素の幅を敷地に対して最も安全側となる位置に仮定した場合においても、設計用応答スペクトル $S_1-D$ を超えないことを確認している。

表-2.1 検討対象地震

発生年月日	地名	震 央		誤 差	規 模 M	中 心 値			最 大 仮 定		
		東経(°)	北緯(°)			M	Δ (km)	Vmax (cm/s)	M	Δ (km)	Vmax (cm/s)
869. 7.13	三陸沿岸	143~145	37.5~39.5	—	$8.3 \pm 1/4$	8.3	425	1.10	8.55	285	2.92
1677. 4.13	陸中	$142 \frac{1}{4}$	41.0	C	$7 \frac{1}{4} \sim 7 \frac{1}{2}$	7.4	125	2.10	$7 \frac{1}{2}$	75	5.04
1763. 1.29	陸奥八戸	$142 \frac{1}{4}$	41.0	C	7.4	7.4	125	2.10	7.4	75	4.40
1763. 3.11	陸奥八戸	142.0	41.0	C	$7 \frac{1}{4}$	$7 \frac{1}{4}$	107	2.15	$7 \frac{1}{4}$	57	5.22
1763. 3.15	陸奥八戸	142.0	41.0	C	7.0	7.0	107	1.52	7.0	57	3.72
1766. 3. 8	津軽	140.5	40.7	A	$7 \frac{1}{4} \pm 1/4$	$7 \frac{1}{4}$	96	2.52	$7 \frac{1}{2}$	86	4.16
1856. 8.23	日高・胆振・渡島・ 津軽・南部	$142 \frac{1}{2}$	41.0	C	7.5	7.5	144	1.95	7.5	94	3.66
1858. 7. 8	八戸・三戸	142.0	40.75	C	7.0~7.5	7.3	124	1.85	7.5	74	5.13

誤差: A ≤ 10km, B ≤ 25km, C ≤ 50km, D ≤ 100km

M:地震のマグニチュード

Δ:震央距離(km)

Vmax:最大速度振幅(cm/s)

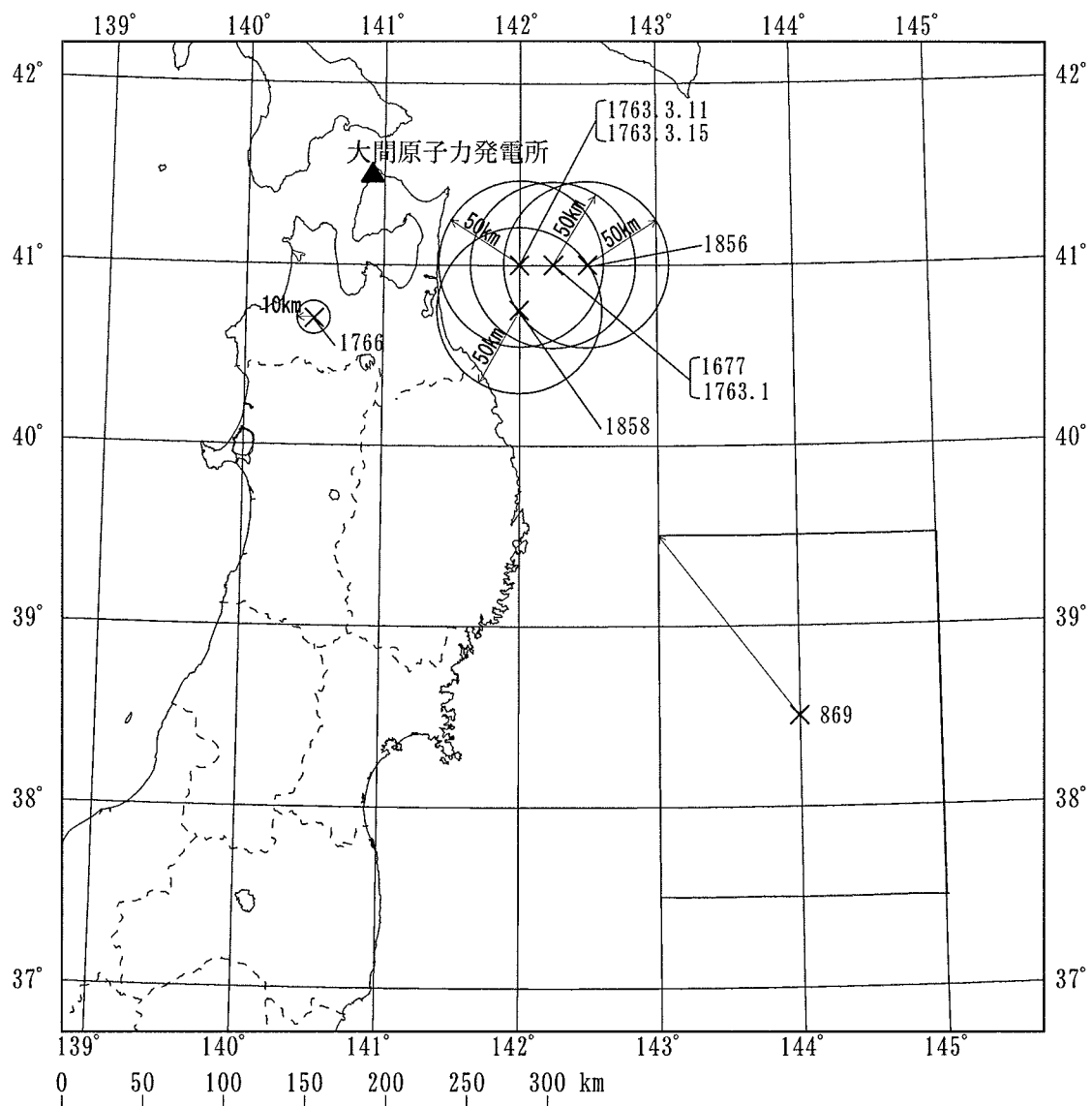


図-2.1 検討対象地震の震央分布図

〔円の半径は各地震の最大誤差を示し、  
四角は経度・緯度の誤差範囲を示す。〕

- 869年三陸沿岸の地震(M8.3,  $\Delta=425\text{km}$ )
- 1677年陸中の地震(M7.4,  $\Delta=125\text{km}$ )
- 1763年1月陸奥八戸の地震(M7.4,  $\Delta=125\text{km}$ )
- 1763年3月11日陸奥八戸の地震(M7 1/4,  $\Delta=107\text{km}$ )
- - - 1763年3月15日陸奥八戸の地震(M7.0,  $\Delta=107\text{km}$ )
- - - 1766年津軽の地震(M7 1/4,  $\Delta=96\text{km}$ )
- - - 1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震(M7.5,  $\Delta=144\text{km}$ )
- - - 1858年八戸・三戸の地震(M7.3,  $\Delta=124\text{km}$ )
- 設計用応答スペクトル  $S_1-D$

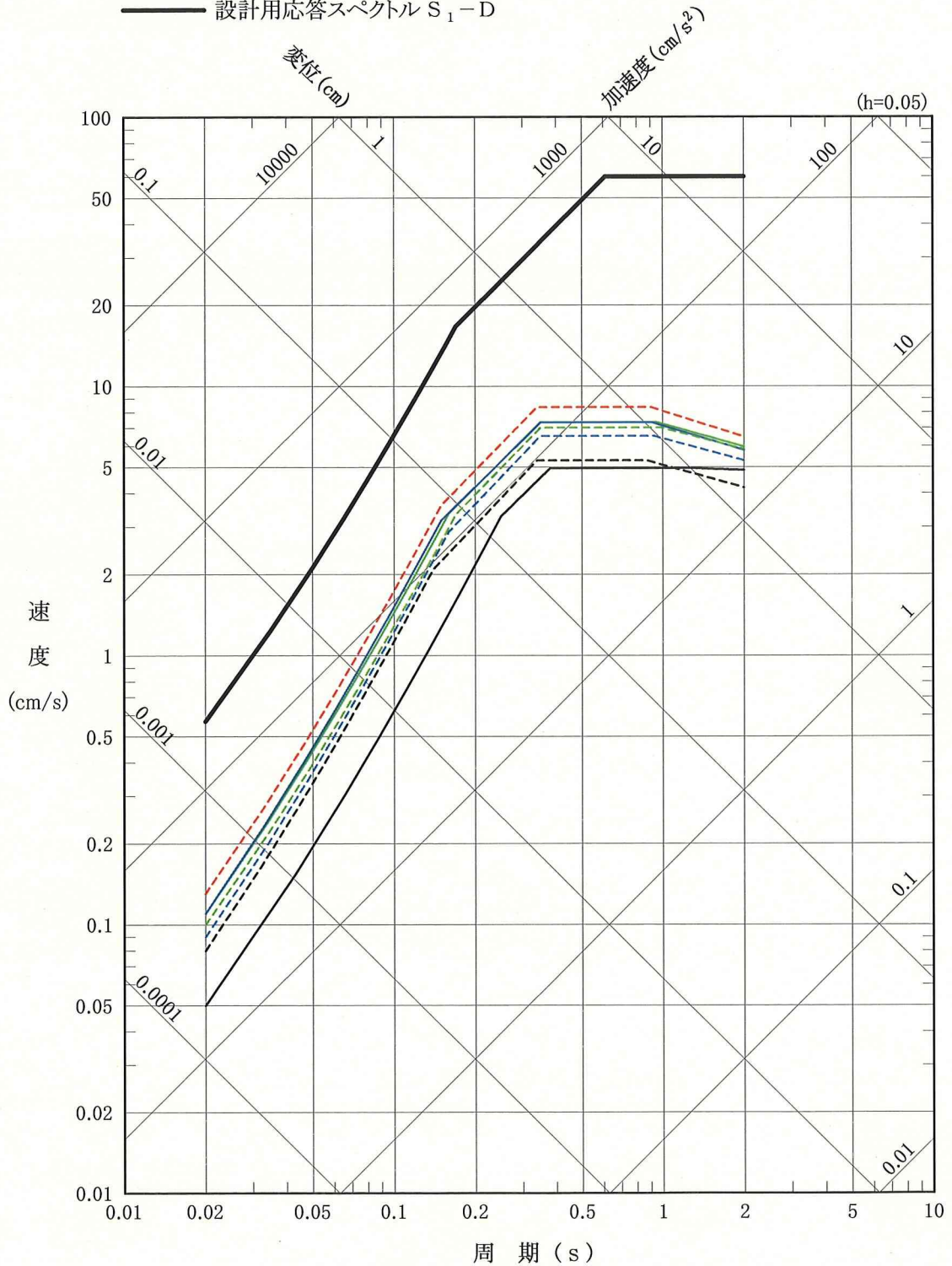


図-2.2(1) 検討対象地震の中心値による大崎スペクトル  
(設置許可申請書記載方法による大崎スペクトル)

- 869年三陸沿岸の地震 (M8.55,  $\Delta=285\text{km}$ )
- 1677年陸中の地震 (M7 1/2,  $\Delta=75\text{km}$ )
- 1763年1月陸奥八戸の地震 (M7.4,  $\Delta=75\text{km}$ )
- 1763年3月11日陸奥八戸の地震 (M7 1/4,  $\Delta=57\text{km}$ )
- - - 1763年3月15日陸奥八戸の地震 (M7.0,  $\Delta=57\text{km}$ )
- - - 1766年津軽の地震 (M7 1/2,  $\Delta=86\text{km}$ )
- - - 1856年日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震 (M7.5,  $\Delta=94\text{km}$ )
- - - 1858年八戸・三戸の地震 (M7.5,  $\Delta=74\text{km}$ )
- 設計用応答スペクトル  $S_1-D$

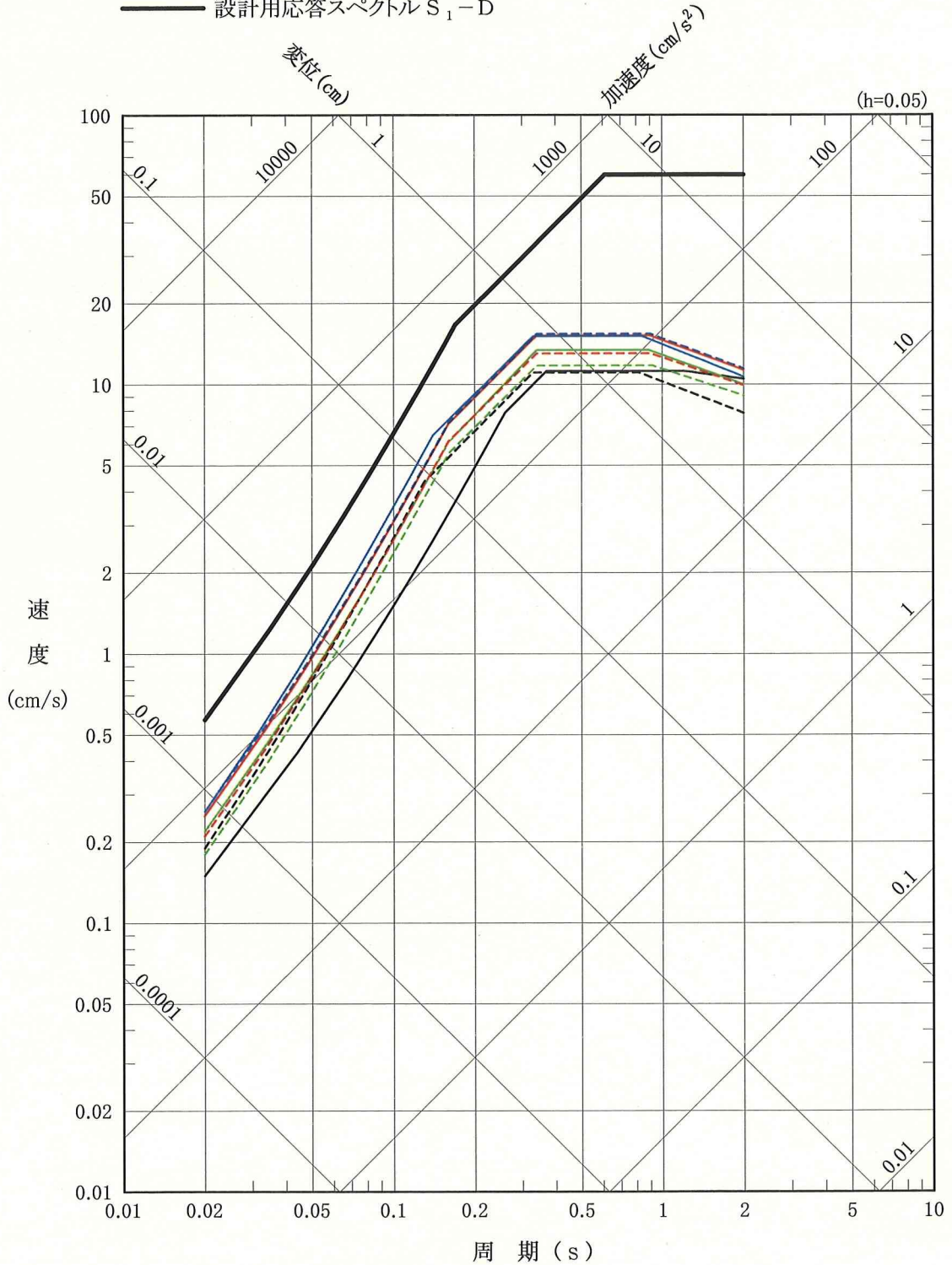


図-2.2(2) 検討対象地震の最大仮定による大崎スペクトル

新編 日本被害地震総覧〔増補改訂版  
416-1995〕の取扱いについて

平成9年2月

原子力発電安全企画審査課

新編 日本被害地震総覧〔増補改訂版416-1995〕を過去の地震の選定に用いることについて

原子力発電所の基準地震動の評価に当たっては、過去の地震の選び出しを各種地震カタログを用いて行っているが、採用する地震カタログは、多くの地震が収録されているとともに信頼性の高いものが要求される。

地震カタログとしては、理科年表、新編 日本被害地震総覧（以下、「新編」という。）、宇佐美カタログ（1979）、宇津カタログ（1982）、気象庁地震カタログ等があるが、従来、過去の地震の選定に当たっては、1884年以前の地震については新編、1885年以降1980年までの地震については宇津カタログ（1982）、1981年以降の地震については気象庁地震カタログを用いてきた。

新編 日本被害地震総覧〔増補改訂版416-1995〕（以下、「新編増補改訂版」という。）は1996年8月30日に刊行された地震カタログであるが、これは、新編について、最近の地震として1995年12月までのものを追加するとともに、歴史地震について最近の研究成果を取り込んだものであり、編集方針はほとんど同じである。

したがって、今後の原子力発電所の基準地震動の評価に当たっては、従来用いてきた新編に代えて新編増補改訂版を1884年以前の過去の地震の選定に用いることができるものとする。

また、基準地震動の評価に当たっては、新編増補改訂版、理科年表、宇佐美カタログ（1979）、宇津カタログ（1982）、気象庁地震カタログ等の各種地震カタログ間の比較を行い、地震諸元の差異が基準地震動の策定に影響を与えると推定される地震については、詳細な調査を行い、その差異の根拠を明確にして地震諸元を検討する。

## 新編増補改訂版の震源要素の幅の取扱いについて

新編増補改訂版には「元来震源要素には誤差がある。宇津（1979）の表には誤差がついている。その誤差をそのまま本書にも採用した。それにならって1884年以前の地震にも誤差をつけることとした。」の記載があり、古い地震のマグニチュード、震央位置について「 $\lambda$ 、 $\phi$ 、 $M$ とも1つの値を採用したければ、それぞれの中心値をとれば、まず無難であろう。」とも記載されている。

地震カタログのマグニチュード及び震央位置については、従来より古文書に記載されている被害の記述から評価し、地震の発生機構といった地震学上の知見を踏まえて、ある幅の中で最も妥当と思われるものを研究者が決定している。新編増補改訂版では、研究者がその評価過程において考慮していた震源要素の幅についても定量的に示しているため、一見、従来の地震カタログと異なったもののような感があるが、その中心値は従来の地震カタログと同様に研究者がある幅の中で最も妥当と思われるとして決定したものと考えられる。

したがって、過去の地震の選定及び地震カタログ間の比較に当たっては、中心値を用いるものとする。

ただし、震源要素の幅を考慮すると敷地に大きな影響を与えると推定される地震については、詳細な調査を行い、過去の地震の発生状況、周辺の活断層の分布状況、地震地体構造の見地等から、震源要素の幅の検討を行うものとする。

## 2.2 1968年十勝沖地震との類似性を指摘されている地震について

「最新版」に記載されている1968年十勝沖地震に似ている地震について、似ているとした場合の震源要素を用いて、以下のとおり、敷地に与える影響を検討している。

「最新版」では、以下に示す3地震についてその説明部分に表-2.2に示す記載があり、1968年十勝沖地震に似ているとされている。

- ① 1677年4月13日 陸中の地震
- ② 1763年1月29日 陸奥八戸の地震
- ③ 1856年8月23日 日高・胆振・渡島・津軽・南部の地震

これらの地震に関して、1968年十勝沖地震に似ているとした場合の震源要素を用いて、敷地への影響評価を行った。

検討対象地震を表-2.3に示し、その震央分布を図-2.3に示す。

図-2.4に示すとおり、検討対象地震についてM- $\Delta$ 図上で比較した結果、村松一勝又の式によれば、どちらも震度IVと判断される。さらに、大崎の手法により算定した敷地での応答スペクトルを設計用応答スペクトル $S_1-D$ と比較して図-2.5に示す。なお、検討対象地震の震源要素に幅がある場合は、敷地へ最も影響を及ぼす値を用いることとし、応答スペクトルの算定にあたっては、震源深さは飯田の余震体積の1/2の値とする。表-2.3, 図-2.3～図-2.5には、参考として1968年十勝沖地震についても示している。

以上の検討の結果、検討対象地震について、1968年十勝沖地震に似ているとした場合の震源要素で、敷地へ最も影響を及ぼす値を用いた最大速度振幅は、申請書記載の震源要素を用いた場合の最大速度振幅よりも小さく、その応答スペクトルは、基準地震動の設計用応答スペクトル  $S_1-D$  を超えるものではないとしている。

## 参考文献

- (1) 宇佐美龍夫(2003):最新版 日本被害地震総覧[416]-2001,  
東京大学出版会
  
- (2) 宇佐美龍夫(1996):新編 日本被害地震総覧[増補改訂版  
416-1995], 東京大学出版会

表-2.2 「最新版 日本被害地震総覧」における記載内容

地震 番号	発生年月日	地名	「最新版 日本被害地震総覧」の記載内容
130	1677年 4月13日	陸中	「... 580 番の地震と似ている. とすると $\lambda=144.0^\circ$ E $\phi=40.0^\circ$ N $M=7\frac{3}{4}\sim 8.0$ となるか.」
192	1763年 1月29日	陸奥八戸	「... 580 番に似ている. そのことを考えると, $\lambda=143.5^\circ$ E $\phi=40\frac{3}{4}^\circ$ N $M=7.9$ とも考えられる.」
263	1856年 8月23日	日高・胆振・渡島・ 津軽・南部	「... この地震の様子は 580 番の十勝沖地震に良く似ている... 地震の発震機構が 580 番に似ていると仮定すると, $\lambda=143.5^\circ$ E $\phi=40.5^\circ$ N $M=7.8\sim 8.0$ となろう.」

※地震番号は、「最新版 日本被害地震総覧」による。

表-2.3 検討対象地震

発生年月日	地名	震源要素									
		申請書記載値					1968年十勝沖地震に似ているとした場合				
		震 央		規模 M	Δ (km)	Vmax (cm/s)	震 央		規模 M	Δ (km)	Vmax (cm/s)
		東経	北緯				東経	北緯			
1677. 4.13	陸中	142 1/4°	41.0°	7.4	125	2.10	144.0°	40.0°	8.0	310	1.19
1763. 1.29	陸奥八戸	142 1/4°	41.0°	7.4	125	2.10	143.5°	40 3/4°	7.9	233	1.62
1856. 8.23	日高・胆振・ 渡島・津軽・ 南部	142 1/2°	41.0°	7.5	144	1.95	143.5°	40.5°	8.0	245	1.73
(参考) 1968年十勝沖地震		143° 35.0'	40° 44.0'	7.9	240	1.56	/				

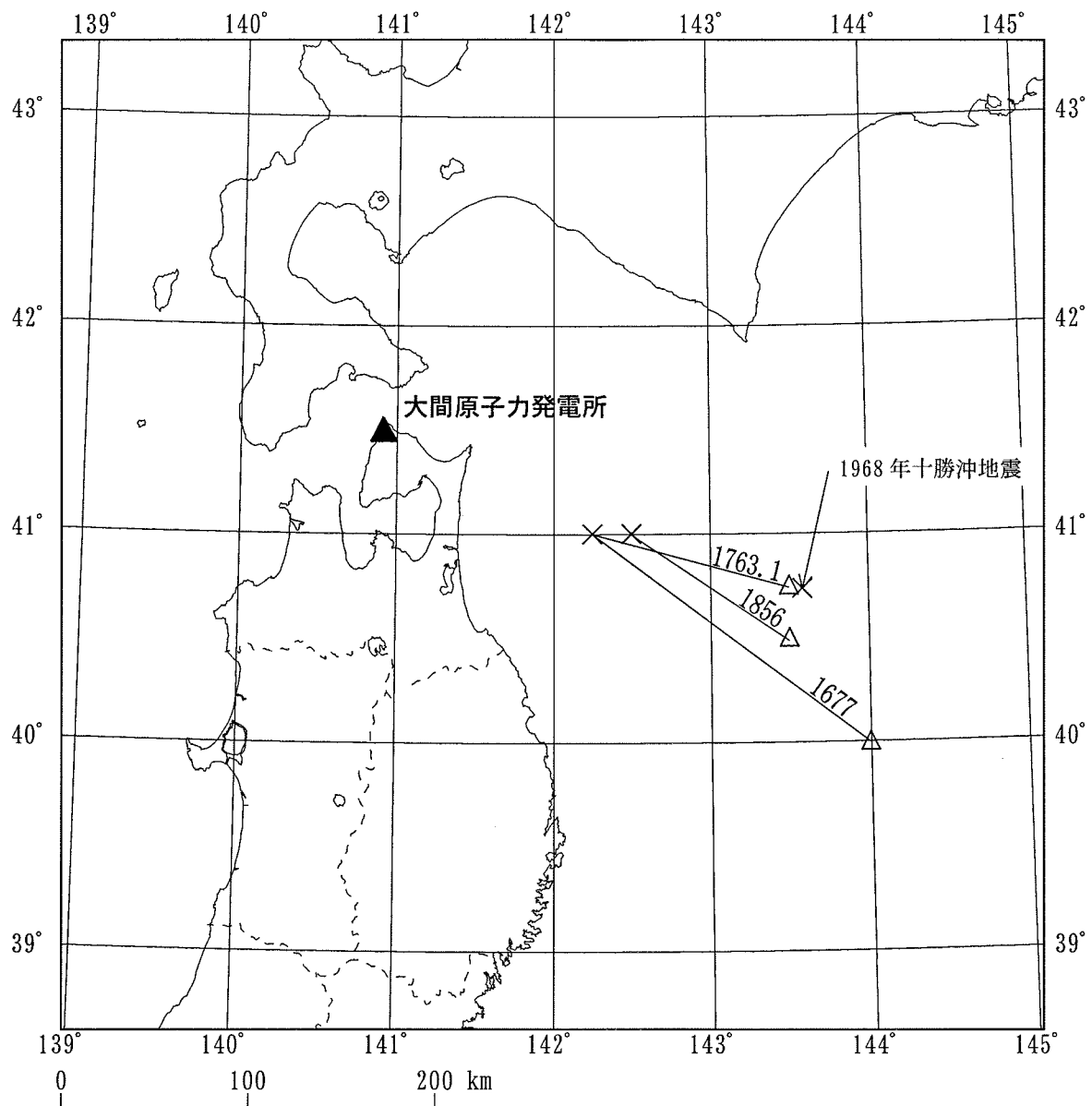
M:地震のマグニチュード

Δ:震央距離(km)

Vmax:最大速度振幅(cm/s)

申請書記載値:「最新版 日本被害地震総覧」の中心値

1968年十勝沖地震に似ているとした場合:「最新版 日本被害地震総覧」の説明部分の記載による。震源要素に幅がある場合は敷地へ最も影響を及ぼす値とする。



×：申請書記載値

△：1968年十勝沖地震に似ているとした場合

図-2.3 検討対象地震の震央分布図

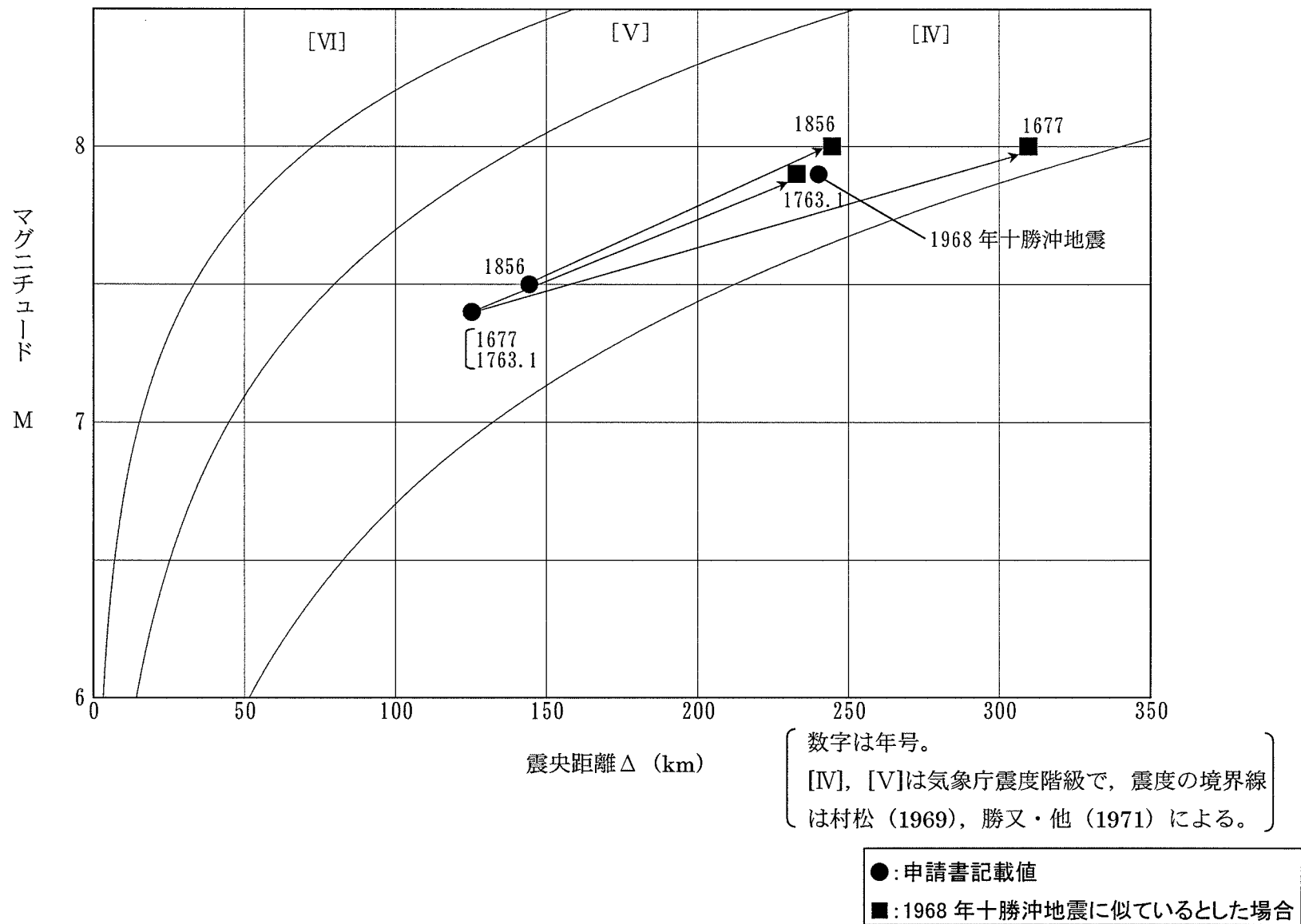


図-2.4 検討対象地震のマグニチュードー震央距離

- 1677年陸中の地震 (M8.0,  $\Delta=310\text{km}$ )
- 1763年1月陸奥八戸の地震 (M7.9,  $\Delta=233\text{km}$ )
- 1856年日高・胆振・渡島・南部の地震 (M8.0,  $\Delta=245\text{km}$ )
- 設計用応答スペクトル  $S_1-D$
- - - 1677年陸中の地震及び1763年1月陸奥八戸の地震 (M7.4,  $\Delta=125\text{km}$ )
- - - 1856年日高・胆振・渡島・南部の地震 (M7.5,  $\Delta=144\text{km}$ )
- - - 1968年十勝沖地震 (M7.9,  $\Delta=240\text{km}$ )

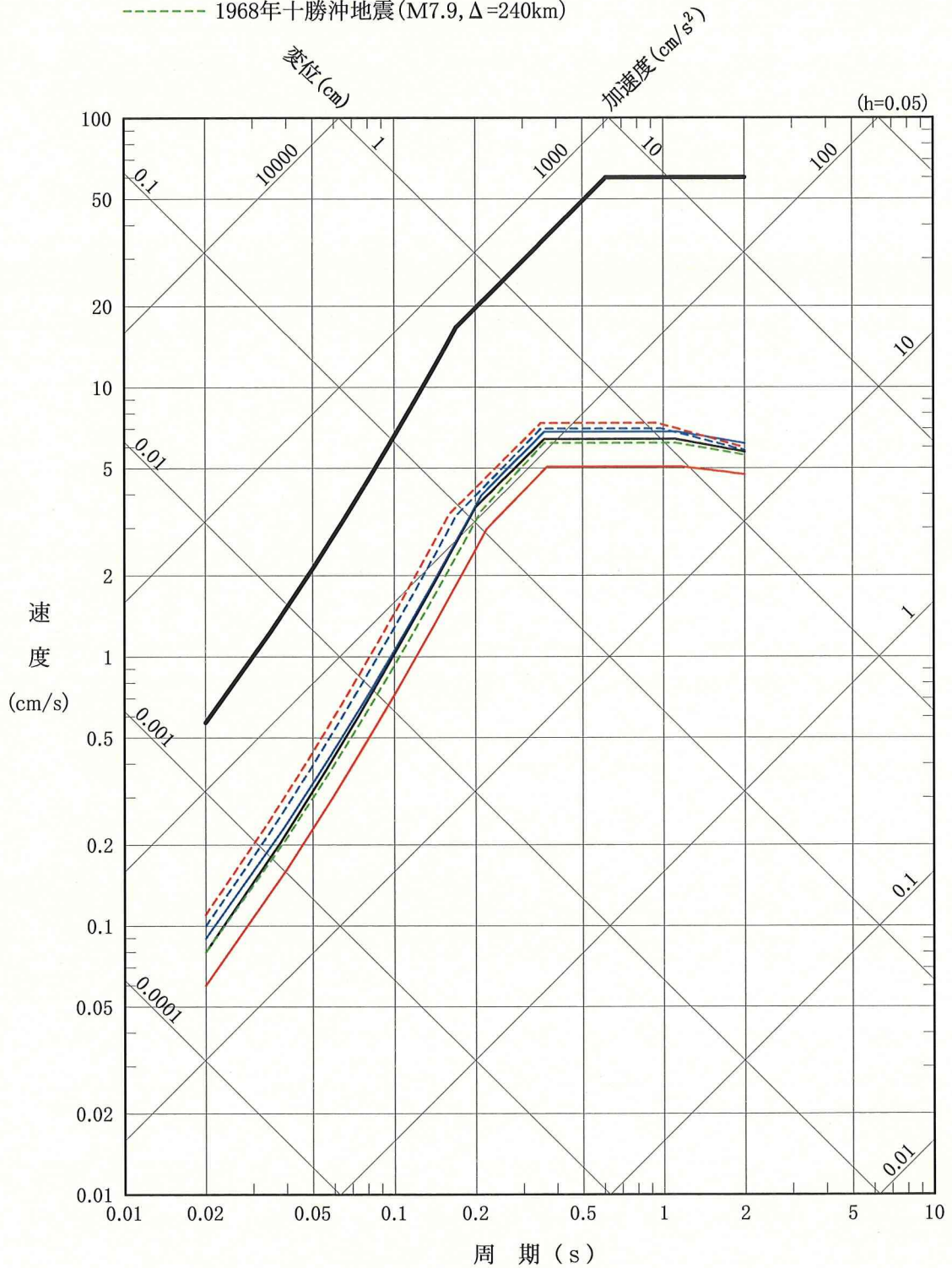


図-2.5 検討対象地震の1968年十勝沖地震に似ているとした場合の震源要素による大崎スペクトル

### 3. 「地震活動総説」の記載内容について

1999年12月に出版された「地震活動総説」<sup>(1)</sup>に地震カタログが記載されており、大間地点での影響について検討を行っている。

検討は以下の手順で行っている。

①大間の設置許可申請書で採用している82地震について、その差異を分析し、以下の分類を行う。

分類1: 申請書と同じ諸元となっている地震

分類2: 緯度・経度を丸めたことにより差異が生じた地震

分類3: マグニチュードを丸めたことにより差異が生じた地震

分類4: 著者の新解釈により差異が生じた地震

分類5: 「最新版 日本被害地震総覧」<sup>(2)</sup>及び「気象庁地震カタログ」<sup>(3)</sup>の新知見により差異が生じた地震

分類6: その他(日付の相違, または地震活動総説に記載のない地震)

これを, 表-3.1~3.6に示す。

②さらに敷地周辺で, 申請書には記載のない地震で地震活動総説に記載のある地震を洗い出す。

その結果を表-3.7に示す。

分類2~5に該当する地震の震央分布図を図-3.1に, M-Δ図を

図-3.2に示す。

本検討を行った中で最も影響が大きいのは、1677年陸中の地震である。著者は、この地震を1968年十勝沖地震と似ている地震ととらえ、Mを7.9としていると考えられる。「地震活動総説」の諸元を採用した場合には、Vmaxは1766年津軽の地震を上回り、過去の地震として最大の地震となる。

また、表-3.7については、申請書に記載がなく、「地震活動総説」に記載のある地震であり、新たに申請書に記載する必要のある地震はなかった。

なお、最も影響の大きかった1677年陸中の地震でも図-3.3に示すように設計用応答スペクトル $S_1-D$ を超えるものではないことを確認した。

以上のことから、もし仮にこのカタログを採用したとしても、大間地点の安全性に支障はないとしている。

参考文献

- (1) 宇津徳治(1999):地震活動総説(東京大学出版会)
- (2) 宇佐美龍夫(2003):最新版 日本被害地震総覧[416]-2001, 東京大学出版会
- (3) 気象庁:地震月報 等(1923~2003)

表-3.1 分類1:申請書と同じ諸元となっている地震

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
1901. 8.10	12	40.6	142.3	7.4	154	1.53	14	同じ				青森県東方沖		
1763. 3.15	13	41.0	142.0	7.0	107	1.52	15	同じ				陸奥八戸		
1902. 1.30	16	40.5	141.3	7.0	117	1.33	17	同じ				三戸地方		
1909. 9.17	17	42.0	142.0	6.8	106	1.17	18	同じ				襟裳岬沖		
1913. 2.20	18	41.8	142.3	6.9	120	1.11	19	同じ				日高沖		
1901. 8. 9	21	40.5	142.5	7.2	174	0.96	22	同じ				青森県東方沖		
1704. 5.27	22	40.4	140.0	7.0	145	0.96	23	同じ				羽後・津軽		
830. 2. 3	23	39.8	140.1	7.3	202	0.88	25	同じ				出羽		
1694. 6.19	26	40.2	140.1	7.0	161	0.82	28	同じ				能代地方		
1832. 3.15	27	40.7	141.6	6 1/2	107	0.76	30	同じ				八戸		
1858. 9.29	28	40.9	140.8	6.0	68	0.73	32	同じ				青森		
1901. 9.30	29	40.2	141.9	6.9	167	0.67	34	同じ				岩手県久慈沖		
1769. 7.12	30	40.6	141.6	6 1/2	116	0.67	35	同じ				八戸		
1854. 8.28	31	40.6	141.6	6.5	116	0.67	36	同じ				陸奥		
1896. 8.31	33	39.5	140.7	7.2	224	0.65	37	同じ				秋田・岩手県境 (陸羽地震)		
1912. 6. 8	35	40.5	142.0	6.6	144	0.56	39	同じ				青森県東方沖		
1914. 3.15	36	39.5	140.4	7.1	227	0.55	40	同じ				秋田県仙北郡 (秋田仙北地震)		

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

つづく

年・月・日	申請書						地震活動総説					地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)		
宇 1915. 3.18	41	42.1	143.6	7.0	233	0.46	43	同じ				広尾沖	
1667. 8.22	47	40.6	141.6	6.2	116	0.44	49	同じ				八戸	
宇 1907.12. 2	52	40.1	142.3	6.7	195	0.40	51	同じ				青森県東方沖	
1674. 4.15	54	40.6	141.6	6.0	116	0.33	55	同じ				八戸	
1810. 9.25	56	39.9	139.9	6.5	198	0.30	59	同じ				羽後	
1423.11.23	62	39.5	140.5	6.5	226	0.24	62	同じ				羽後	
1644.10.18	64	39.4	140.0	6.5	246	0.21	64	同じ				羽後本荘	
宇 1913. 8. 1	68	41.8	142.5	5.7	136	0.17	67	同じ				浦河沖	
1823. 9.29	69	40.0	141.1	5.9	168	0.16	68	同じ				陸中岩手山	
宇 1910. 7.24	73	42.5	140.9	5.1	110	0.10	72	同じ				有珠山	
宇 1906.10.12	77	40.0	140.5	5.4	171	0.08	74	同じ				秋田県北部	

注: 申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ, 「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.2 分類2:地震活動総説で緯度・経度を丸めたことにより差異が生じた地震

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
1763. 1.29	4	41.0	142 1/4	7.4	125	2.10	6	41.0	142.3	7.4	129	2.00	陸奥八戸	
1858. 7. 8	7	40.75	142.0	7.3	124	1.85	8	40.7	142.0	7.3	128	1.76	八戸・三戸	
気 1993. 7.12	8	42° 46.8'	139° 11.0'	7.8	201	1.75	9	42.78	139.18	7.8	201	1.75	北海道南西沖 (1993年北海道南西沖 地震)	度分単位による違い 42° 46.8'=42.780 139° 11.0'=139.183
気 1945. 2.10	9	41° 0.0'	142° 4.0'	7.1	112	1.61	10	41.00	142.07	7.1	112	1.61	八戸北東沖	度分単位による違い 41° 0.0'=41.000 142° 4.0'=142.067
気 1968. 5.16	10	40° 44.0'	143° 35.0'	7.9	240	1.56	13	40.73	143.58	7.9	240	1.56	青森県東方沖 (1968年十勝沖地震)	度分単位による違い 40° 44.0'=40.733 143° 35.0'=143.583
気 1983. 5.26	11	40° 21.4'	139° 4.6'	7.7	201	1.55	12	40.36	139.08	7.7	200	1.56	秋田県沖 (日本海中部地震)	度分単位による違い 40° 21.4'=40.357 139° 4.6'=139.077
1793. 2. 8	15	40.85	139.95	7.0	109	1.48	16	40.8	140.0	7.0	110	1.46	西津軽	
気 1982. 3.21	20	42° 4.0'	142° 36.0'	7.1	153	0.97	21	42.07	142.60	7.1	153	0.97	浦河沖	度分単位による違い 42° 4.0'=42.067 142° 36.0'=142.600
気 1951.10.18	25	41° 18.0'	142° 11.0'	6.6	109	0.83	26	41.30	142.18	6.6	108	0.84	青森県北東沖	度分単位による違い 41° 18.0'= 142° 11.0'='
気 1978. 5.16 16:35	42	40° 57.0'	141° 28.0'	5.8	77	0.46	46	40.95	141.47	5.8	78	0.45	青森県東岸	度分単位による違い 40° 57.0'=40.950 141° 28.0'=141.467
気 1978. 5.16 17:23	44	40° 56.0'	141° 27.0'	5.8	78	0.45	47	40.93	141.45	5.8	78	0.45	青森県東岸	度分単位による違い 40° 56.0'=40.933 141° 27.0'=141.450

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

つづく

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
気 1971. 8. 2	48	41° 14.0'	143° 42.0'	7.0	235	0.43	50	41.23	143.70	7.0	235	0.43	浦河沖	度分単位による違い 41° 14.0'=41.233 143° 42.0'=143.700
気 1970. 1.21	53	42° 23.0'	143° 8.0'	6.7	208	0.35	53	42.38	143.13	6.7	208	0.35	北海道南部	度分単位による違い 42° 23.0'=42.383 143° 8.0'=143.133
気 1987. 1. 9	55	39° 50.0'	141° 46.8'	6.6	200	0.30	58	39.83	141.78	6.6	200	0.30	岩手県北部	度分単位による違い 39° 50.0'=39.833 141° 46.8'=141.780
気 1968.10. 8	58	41° 49.0'	142° 43.0'	6.2	154	0.26	60	41.82	142.72	6.2	154	0.26	浦河沖	度分単位による違い 41° 49.0'=41.817 142° 43.0'=142.717
気 1955.10.19	67	40° 16.0'	140° 11.0'	5.9	151	0.19	66	40.27	140.18	5.9	151	0.19	米代川下流 (二ツ井地震)	度分単位による違い 40° 16.0'=40.267 140° 11.0'=140.183
気 1953. 7.14	71	42° 4.0'	139° 56.0'	5.1	102	0.11	70	42.07	139.93	5.1	103	0.11	檜山沖	度分単位による違い 42° 4.0'= 139° 56.0'=
気 1974. 9. 4	74	40° 11.0'	141° 56.0'	5.6	170	0.10	73	40.18	141.93	5.6	171	0.10	岩手県北岸	度分単位による違い 40° 11.0'=40.183 141° 56.0'=141.933
気 1957. 3. 1	82	40° 10'	140° 19'	4.3	157	0.02	79	40.17	140.32	4.3	157	0.02	秋田県北部	度分単位による違い 40° 10'=40.167 140° 19'=140.317

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.3 分類3:地震活動総説でマグニチュードを丸めたことにより差異が生じた地震

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)		
1766. 3. 8	1	40.7	140.5	7 1/4	96	2.52	2	40.7	140.5	<u>7.3</u>	96	<u>2.70</u>	津軽	マグニチュードを小数点2位以下切り上げによる
1763. 3.11	2	41.0	142.0	7 1/4	107	2.15	4	41.0	142.0	<u>7.3</u>	107	<u>2.30</u>	陸奥八戸	マグニチュードを小数点2位以下切り上げによる
1712. 5.28	72	40.5	141.5	5 1/4	122	0.11	69	40.5	141.5	<u>5.3</u>	122	<u>0.12</u>	八戸	マグニチュードを小数点2位以下切り上げによる

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.4 分類4:地震活動総説で著者の解釈により差異が生じた地震

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)		
1677. 4.13	3	41.0	142 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	7.4	125	2.10	<u>1</u>	<u>40.5</u>	<u>142.3</u>	<u>7.9</u>	<u>162</u>	<u>2.84</u>	陸中	
1834. 2. 9	61	43.3	141.4	6.4	203	0.25	61	43.3	<u>141.1</u>	6.4	<u>200</u>	<u>0.25</u>	石狩	

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.5 分類5:「最新版 日本被害地震総覧」及び「気象庁地震カタログ」の新知見により差異が生じた地震

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
1856. 8.23	5	41.0	142 1/2	7.5	144	1.95	5	41.0	142.3	7.5	129	2.30	日高・胆振・渡島 ・津軽・南部	
気 1952. 3. 4	6	41° 42.1'	144° 9.3'	8.2	271	1.90	7	41.80	144.13	8.2	270	1.98	十勝沖 (1952年十勝沖地震)	
気 1994.12.28	24	40° 25.6'	143° 44.9'	7.6	267	0.87	31	40.43	143.75	7.5	267	0.75	三陸はるか沖 (1994年三陸はるか沖 地震)	
気 1932.11.26	34	42° 21.2'	142° 28.2'	6.9	160	0.64	29	42.42	142.47	7.0	164	0.79	新冠川流域	
気 1931. 3. 9	37	40° 9.1'	143° 20.0'	7.2	254	0.53	3	41.20	142.50	7.6	137	2.45	青森県南東沖	
気 1981. 1.23	38	42° 25.0'	142° 12.0'	6.9	147	0.53	33	42.42	142.20	7.1	147	0.70	日高支庁西部	
気 1968. 9.21	39	41° 59.0'	142° 48.0'	6.8	166	0.50	38	41.98	142.80	6.9	165	0.58	浦河沖	
気 1931. 2.17	43	42° 7.1'	143° 6.4'	6.8	194	0.45	45	42.55	142.82	6.8	196	0.45	浦河付近	
気 1939. 5. 1	46	39° 56.4'	139° 44.7'	6.8	200	0.44	48	39.94	139.74	6.8	200	0.44	男鹿半島 (男鹿地震)	
気 1952. 3.10	49	41° 44.5'	143° 26.1'	6.9	212	0.43	54	41.70	143.72	6.8	235	0.34	十勝沖	
気 1964. 5. 7	50	40° 23.6'	138° 40.3'	6.9	226	0.42	41	40.33	139.00	6.9	208	0.48	男鹿半島沖	
気 1987. 1.14	57	42° 32.0'	142° 55.9'	6.6	202	0.26	44	42.53	142.93	7.0	202	0.46	日高山脈北部	
気 1974.11. 9	59	42° 29.0'	141° 47.0'	6.3	130	0.25	56	42.48	141.78	6.5	130	0.33	苫小牧付近	
気 1931.11. 4	63	39° 28.7'	141° 50.5'	6.5	239	0.22	63	39.5	141.7	6.5	233	0.23	岩手県小国付近	
気 1964.12.11	66	40° 25.7'	138° 59.9'	6.3	201	0.21	65	40.42	138.93	6.3	206	0.20	秋田県沖	
気 1995. 5.23	75	43° 38.4'	141° 43.1'	5.9	246	0.09	76	43.64	141.72	5.7	246	0.07	上川・空知地方	

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ,「気」は気象庁地震カタログによる。

つづく

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード ( <i>M</i> )	震央距離 ( $\Delta$ ) (km)	速度 (cm/s)		
気 1986. 8.10	76	40° 40.7'	140° 48.9'	4.8	92	0.09	78	<u>40.66</u>	<u>140.82</u>	<u>4.5</u>	<u>94</u>	<u>0.05</u>	青森県南部	
気 1974. 6.23	81	39° 43.0'	141° 28.0'	4.7	204	0.02	80	<u>38.63</u>	<u>141.18</u>	4.7	<u>320</u>	<u>0.01</u>	宮城県北部	

注: 申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ, 「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.6 分類6:その他(日付の相違、または地震活動総説に記載のない地震)

年・月・日	申請書						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
気 2003. 9.26	14	41° 46.5'	144° 4.9'	8.0	266	1.49	—	掲載なし					釧路沖 (2003年十勝沖地震)	
1741. 8.28	19	41.6	139.4	6.9	127	1.02	二	41.6	139.4	二	127	二	渡島西岸・津軽・佐渡	総説では1741. 8.29
気 1943. 6.13	32	40° 52.9'	143° 10.9'	7.1	203	0.66	—	掲載なし					八戸東方沖	
1848. 1.14	40	40.7	140.6	6.0	93	0.46	42	40.7	140.6	6.0	93	0.46	津軽	総説では1848. 1.13
気 1928. 5.27	45	40° 3.5'	142° 58.5'	7.0	237	0.45	—	掲載なし					三陸沖	
気 2001. 8.14	51	40° 59.5'	142° 26.4'	6.4	140	0.42	—	掲載なし					青森県東方沖	
気 1981.12. 2	60	40° 53.0'	142° 36.0'	6.2	158	0.25	—	掲載なし					青森県東方沖	
気 1998. 9. 3	65	39° 48.1'	140° 54.2'	6.2	189	0.21	—	掲載なし					雫石付近	
気 2001.12. 2	70	39° 23.7'	141° 16.0'	6.4	236	0.16	—	掲載なし					岩手県内陸南部	
気 1982. 1. 8	78	40° 1.0'	140° 29.0'	5.2	169	0.06	—	掲載なし					秋田県中部	
1843. 6.29	79	39.45	140.7	5.5	229	0.06	77	39.4	140.7	5.5	235	0.06	陸中沢内	総説では1843. 7. 4
気 1986. 5.26	80	40° 4.9'	141° 12.3'	5.0	160	0.05	—	掲載なし					岩手県北部	

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ、「気」は気象庁地震カタログによる。

表-3.7 申請書に記載のない地震

年・月・日	最新版+宇津+気象庁						地震活動総説						地名	備考
	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)	順位	北緯 (°)	東経 (°)	マグニ チュード (M)	震央距離 (Δ) (km)	速度 (cm/s)		
気 1968. 5.16 19:39	—	41° 25.0'	142° 51.0'	7.5	162	1.57	<u>11</u>	41.42	142.85	7.5	162	1.57	青森県東方沖	最新版で余震扱い 度分単位による違い 41° 25.0'=41.417 142° 51.0'=142.850
857. 4. 4	—	諸元なし					<u>20</u>	40.3	140.6	7.0	137	1.05	出羽	最新版で地震諸元の記 載なし
気 1983. 6.21	—	41° 15.7'	139° 0.2'	7.1	162	0.94	<u>24</u>	41.26	139.00	7.1	162	0.94	青森県西方沖	最新版で余震扱い 度分単位による違い 41° 15.7'=41.262 139° 0.2'=139.003
気 1995. 1. 7	—	40° 13.2'	142° 18.5'	7.2	185	0.83	<u>27</u>	40.22	142.31	7.2	185	0.83	八戸東方沖(余震)	最新版で余震扱い 度分単位による違い 40° 13.2'=40.220 142° 18.5'=143.308
気 1939. 5. 1 15:00	—	39° 57.0'	139° 48.0'	6.7	197	0.39	<u>52</u>	39.95	139.80	6.7	197	0.39	秋田県沿岸	最新版で余震扱い 度分単位による違い 39° 57.0'=39.95 139° 48.0'=139.800
1772. 6. 3	—	39.35°	141.9°	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	254	0.28	<u>57</u>	39.4	141.9	6.8	249	0.31	陸中	最新版で250km以遠
宇 1906.10.12 9:56	—	40.0	140.5	5.6	171	0.10	<u>71</u>	同じ				秋田県北部	最新版で余震扱い	
宇 1896. 8.23	—	39.7	140.8	5.5	201	0.07	<u>75</u>	同じ				秋田県東部	最新版で前震扱い	

注:申請書の地震諸元は「最新版 日本被害地震総覧」による。ただし、「宇」は宇津カタログ、「気」は気象庁地震カタログによる。

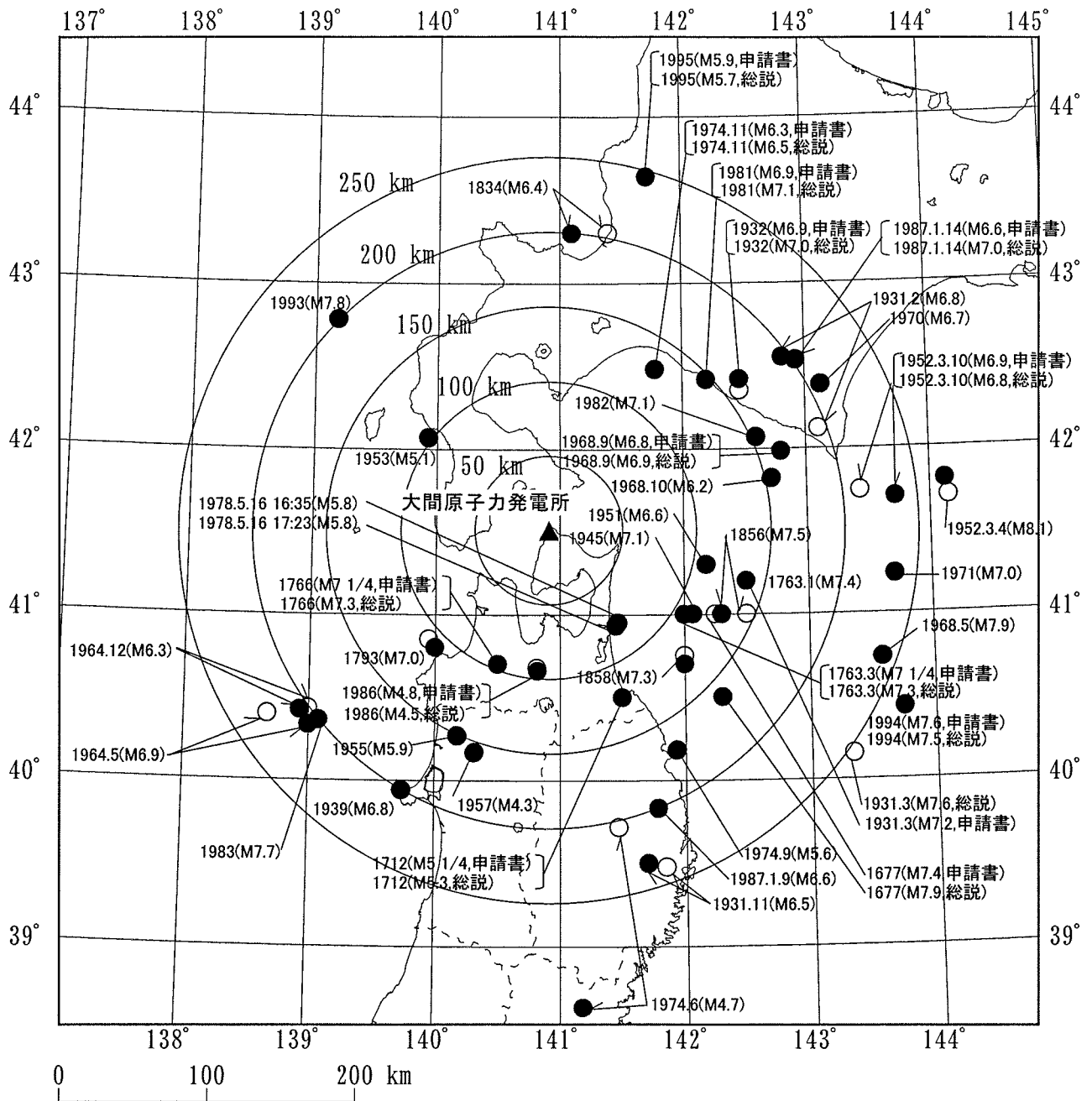


図-3.1 震央分布の比較図

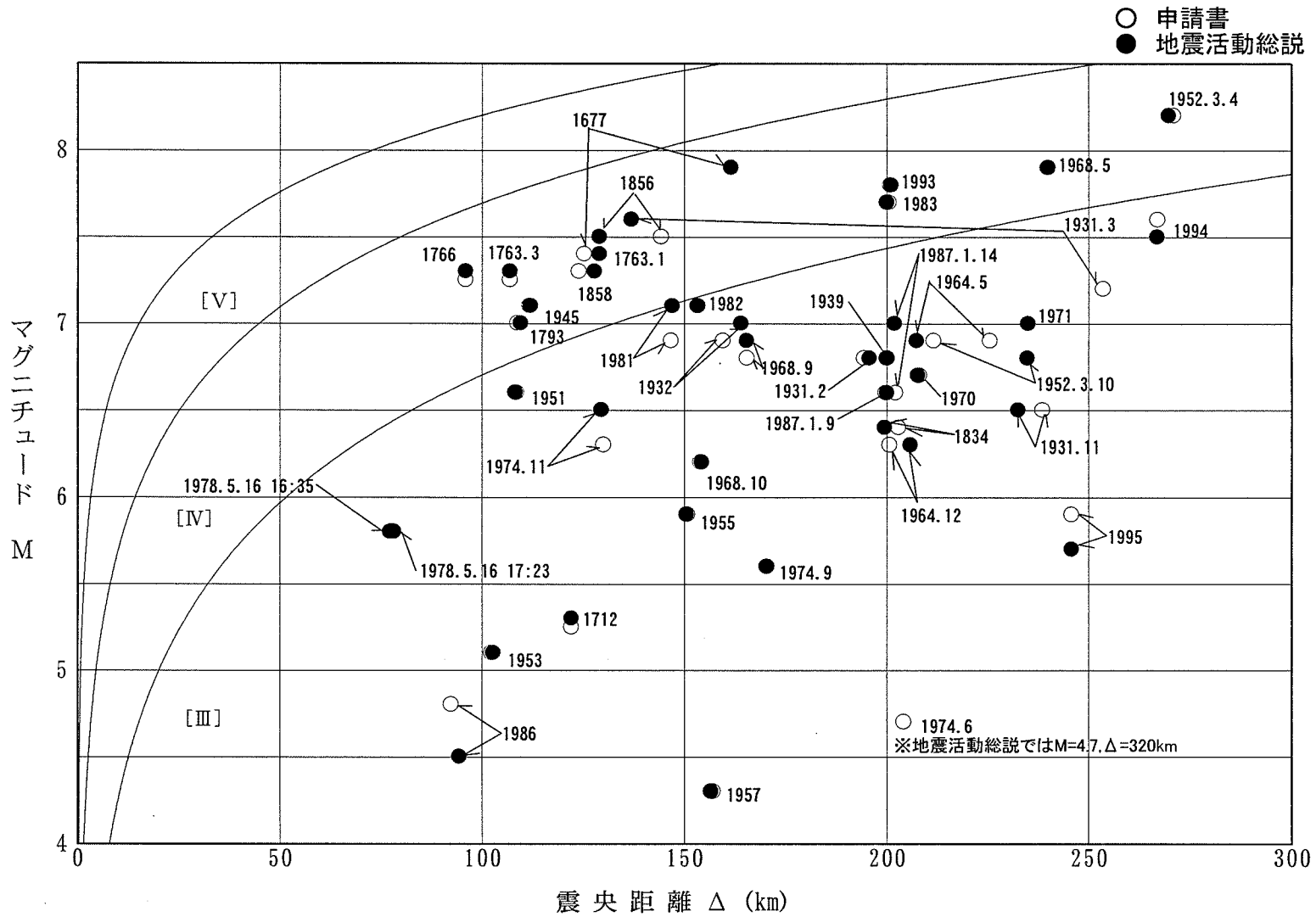


図-3.2 マグニチュード-震央距離の比較図

- 1766年津軽の地震 (M7 1/4,  $\Delta=96\text{km}$ )
- $S_1-D$
- - - 1677年陸中の地震 (M7.9,  $\Delta 162\text{km}$ ) [地震活動総説の諸元を採用した場合]

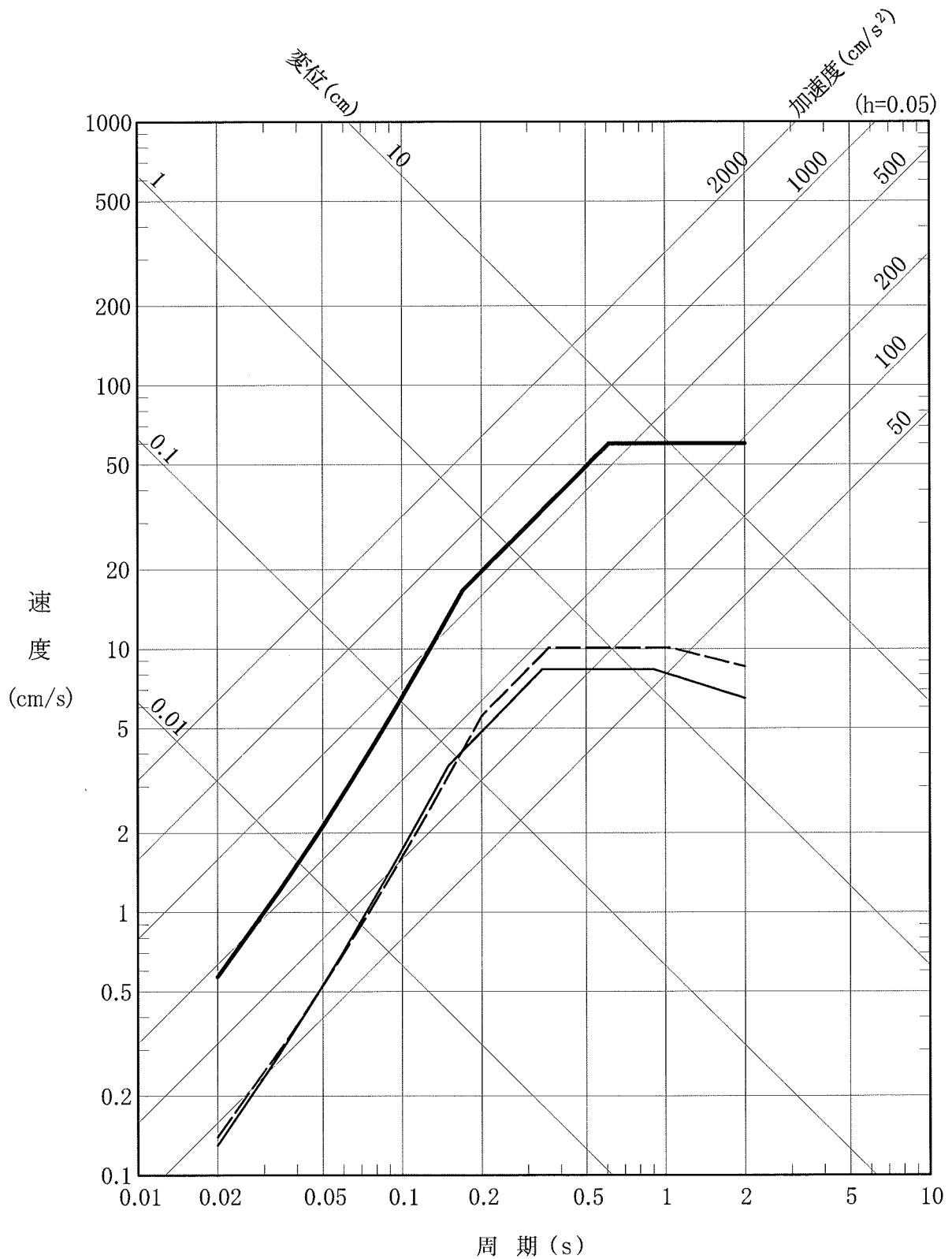


図-3.3 地震活動総説を採用した場合の1677年陸中の地震の応答スペクトル

#### 4. 1896年明治三陸沖地震のマグニチュードについて

1896年明治三陸沖地震のマグニチュードについて文献調査を行った結果は以下のとおりであるとしている。

この地震の諸元を下表に示すが、「最新版 日本被害地震総覧」<sup>(1)</sup>は、Mを $8\frac{1}{4}$ としており、他の文献ではMを $8\frac{1}{2}$ または8.2としているが、そのうち、「宇津カタログ(1982)」の備考には以下の記述がある。

文献名	東経	北緯	M
「最新版 日本被害地震総覧」 <sup>(1)</sup>	144°	39 $\frac{1}{2}$ °	8 $\frac{1}{4}$
「宇津カタログ(1982)」 <sup>(2)</sup>	144°	39 $\frac{1}{2}$ °	8 $\frac{1}{2}$
「理科年表 平成15年」 <sup>(3)</sup>	144°	39 $\frac{1}{2}$ °	8 $\frac{1}{2}$
「地震活動総説」 <sup>(4)</sup>	144°	39 $\frac{1}{2}$ °	8.2

「宇津カタログ(1982)」の備考

UZ	{	津波	8.2T
		8.6Tw	6.8*U

備考の略号等の説明

U:1885～1925 宇津(1979<sup>(5)</sup>,1982a<sup>(6)</sup>)

Z:1885～1980 著者が今回定めたもの

T:1894～1980 ABE(1981b)<sup>(7)</sup>

Tw:1885～1974 ABE(1979)<sup>(8)</sup>

\*:Uにおいて\*が付いているMの値は宇津(1982a)のTable3

に示す長周期波によるマグニチュードに置き換えてある

以上の記述から、著者は、この地震を震害の程度からはM6.8としたが、津波の程度などから長周期波によるマグニチュード<sup>(注)</sup>に置き換えてM8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>にしたものと考えられる。

(注):長周期波によるマグニチュード<sup>(6)</sup>

短周期地震波の振幅や震度は小さくても、長周期地震波の振幅は大きく、海の地震ではときに津波を伴うような地震(低周波地震)がある。低周波地震にはいろいろな程度のものがあり、普通の地震との境界ははっきりしない。長周期波によるマグニチュードは、外国での観測状況、特に外国での観測から得られた表面波マグニチュードや、津波の観測データに基づいて推測した値として示している。

なお、本件のような地震を調査したが、他には見当たらなかったとしている。

## 参考文献

- (1) 宇佐美龍夫(2003):最新版 日本被害地震総覧[416]-2001, 東京大学出版会
- (2) 宇津徳治(1982):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表1885年~1980年, 東京大学地震研究所彙報, Vol.57
- (3) 国立天文台編(2002):理科年表 平成15年, 丸善
- (4) 宇津徳治(1999):地震活動総説, 東京大学出版会
- (5) 宇津徳治(1979):1885年~1925年の日本の地震活動, 東京大学地震研究所彙報, Vol.54
- (6) 宇津徳治(1982a):1885年~1925年の日本の地震活動(訂正と補遺), 東京大学地震研究所彙報, Vol.57
- (7) ABE,K.(1981b): Physical size of tsunamigenic earthquakes of the northwestern Pacific,Phys.Earth Planet.Interiours
- (8) ABE,K.(1979): Size of great earthquakes of 1837-1974 inferred from tsunami data,J.Geophys.Res.

## 5. M-△図における旧震度階級について

気象庁震度階級の新旧について、調査を行った結果は以下のとおりであるとしている。

現在の気象庁震度階級は、平成8年2月15日から計測震度に変更されている。これを表-5.1に示す。

それ以前の震度階級は体感震度であり、その判断の目安が示されている。これを表-5.2に示す。

現在の震度階級は計測震度であるから、それ以前の震度階級とは直接の対応はしないが、従来の震度階級の説明文が廃止された代りとして、気象庁震度階級関連解説表(以下「解説表」という。)が作られた。これを表-5.3に示す。

この解説表は、従来の説明文と異なり、震度を判定する際の基準ではなく、震度計である震度が観測された際にどのような現象、被害が予想されるかを記述したもので、従来の説明文に比べてかなり詳しいものになっているものの、十分な事例によって作られたものでないため、今後、計測震度と地震被害等の関係を示す事例の蓄積によって、解説表の内容を充実、修正していくことが必要である<sup>(1)</sup>とされている。

また、震度の境界線の算出は旧震度階級により行われており、新震度階級で算出する方策が見出しにくい。

しかしながら、新旧の震度階級は別のものとはいえ、表-5.2と表-5.3を見比べると、その内容は大きく異なるものではなく、むしろほとんど同じよ

うな状況を想定していることから、たとえ引き直したとしても大きく変わるものではないと推定される。

したがって、M—△図は絶対値を議論するものではなく、傾向を把握するものであることと、本件では境界線により大きく結果を覆すことが見当たらない等により従来どおりの記載としている。

#### 参考文献

(1)「震度を知る—基礎知識とその活用—」(ぎょうせい)

気象庁監修，平成8年9月

表-5.1 新気象庁震度階級

○気象庁告示第4号

気象業務法施行規則（昭和27年運輸省令第101号）第1条の2の表第2号イ(6)の震度の観測に用いる震度階級を次のように定めたので、告示する。

平成8年2月15日

気象庁長官 二宮 洸三

気象庁震度階級表

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5未満	5弱	4.5以上5.0未満
1	0.5以上1.5未満	5強	5.0以上5.5未満
2	1.5以上2.5未満	6弱	5.5以上6.0未満
3	2.5以上3.5未満	6強	6.0以上6.5未満
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上

(注) 「計測震度とは、地震動の強さを表す指標として、次の算式により算出した値をいう。

$$I = 2 \cdot \log(a_0) + 0.94$$

I は、計測震度

$a_0$  は、 $\int w(t, a) dt \geq 0.3$  を満たす  $a$  の最大値。この場合において、積分範囲は地震動が継続している時間とする。

t は、時間（単位は、秒とする。）

a は、地震動の加速度の大きさに係るパラメータ（単位は、センチメートル毎秒毎秒とする。）

w(t, a) は、 $v(t) < a$  のとき  $w(t, a) = 0$ 、 $v(t) \geq a$  のとき  $w(t, a) = 1$  の値をとる関数

v(t) は、地震動の t における直交する 3 成分の加速度（成分ごとにフーリエ変換した値に付表左欄に掲げるフィルターの種類に応じ同表右欄の算式により算出した値をそれぞれ乗じた値をフーリエ逆変換したものとする。）をベクトル合成した値（単位は、センチメートル毎秒毎秒とする。）

付表

フィルターの種類及び算式

フィルターの種類	算式
周期の効果を表すフィルター	$(1/f)^{1/2}$
ハイカットフィルター	$(1 + 0.694y^2 + 0.241y^4 + 0.0557y^6 + 0.009664y^8 + 0.00134y^{10} + 0.000155y^{12})^{-1.2}$
ローカットフィルター	$(1 - \exp(-(f/0.5)^3))^{1.2}$

(注) f は、地震動の周波数（単位は、ヘルツとする。）

y は、f に10分の1を乗じた値

表-5.2 旧気象庁震度階級

昭和24(1949)年～平成8(1996)年 地震津波業務規則 別表第4付表による		参考事項(昭和53年) 地震観測指針(観測編)(1991年版) による
階級	説明	
0	無感。人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物のわずかにゆれるのが目視されたり、カタカタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。
I	微震。静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。	静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない。立っ ていては感じない場合が多い。
II	軽震。大勢の人に感ずる程度のも ので、戸障子がわずかに動くのがわ かるぐらいの地震。	吊り下げ物の動くのがわかり、立っ ていてもゆれをわずかに感じるが、 動いている場合にはほとんど感じ ない。眠っていても目をさますこと がある。
III	弱震。家屋が揺れ、戸障子がガタ ガタと鳴動し、電灯のようなつり 下げ物は相当揺れ、器内の水面の 動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠って いる人も目をさますが、戸外に飛 び出すまでもないし、恐怖感はない。 戸外にいる人もかなりの人に感 じるが、歩いている場合感じない 人もいる。
IV	中震。家屋の動揺が激しく、座り の悪い花瓶などは倒れ、器内の水 はあふれ出る。また、歩いている 人にも感じられ、多くの人々は 戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖 感を覚える。電柱・立木などの ゆれるのがわかる。一般の家屋 の瓦がずれるのがあっても、 まだ被害らしいものはでない。 軽い目まいを覚える。
V	強震。壁に割れ目が入り、墓石・ 石灯ろうが倒れたり、煙突・石 垣などが破損する程度の地震。	立っていることはかなりむずか しい。一般家屋に軽微な被害が 出はじめる。軟弱な地盤では割 れたりくずれたりする。すわり の悪い家具は倒れる。
VI	烈震。家屋の倒壊は30パーセン ト以下で、山崩れが起き、地割 れを生じ、多くの人々が立っ ていることができない程度の 地震。	歩行はむずかしく、はわな いと動けない。
VII	激震。家屋の倒壊が30パーセン ト以上に及び、山崩れ、地割 れ、断層などを生じる。	

表-5.3 気象庁震度階級関連解説表

気象庁震度階級関連解説表

平成8年2月

震度は、地震動の強さの程度を表すもので、震度計を用いて観測します。この「気象庁震度階級関連解説表」は、ある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示すものです。この表を使用される際は、以下の点にご注意下さい。

- (1) 気象庁が発表する震度は、震度計による観測値であり、この表に記述される現象から決定するものではありません。
- (2) 震度が同じであっても、対象となる建物、構造物の状態や地震動の性質によって、被害が異なる場合があります。この表では、ある震度が観測された際に通常発生する現象や被害を記述していますので、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。

計測震度	震度階級	人間	屋内の状況	屋外の状況
0.5	0	人は揺れを感じない。		
1.5	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。		
2.5	2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。	
3.5	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が、音を立てることがある。	電線が少し揺れる。
4.5	4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全をを図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。
5.0	5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	つり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがある。補強されていないブロック塀が崩れることがある。道路に被害が生じることがある。
5.5	5強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちることがある。テレビが台から落ちることがある。タンスなど重い家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなる。一部の戸が外れる。	補強されていないブロック塀の多くが崩れる。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の運転が困難となり、停止する車が多い。
6.0	6弱	立っていることが困難になる。	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する。開かなくなるドアが多い。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。
6.5	6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が外れて飛ぶことがある。	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。
7.0	7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されているブロック塀も破損するものがある。

- (3) 地震動は、地盤や地形に大きく影響されます。震度は、震度計が置かれている地点での観測値ですが、同じ市町村であっても場所によっては震度が異なることがあります。また、震度は通常地表で観測していますが、中高層建物の上層階では一般にこれより揺れが大きくなります。
- (4) 大規模な地震では長周期の地震波が発生するため、遠方において比較的低い震度であっても、エレベーターの障害、石油タンクのスロッシングなどの長周期の揺れに特有な現象が発生することがあります。
- (5) この表は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、新しい事例が得られたり、建物、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更することがあります。

計測震度	震度階級	木造建物	鉄筋コンクリート建物	ライフライン	地盤・斜面
4.5	5弱	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある。	安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水することがある。 [停電する家庭もある。]	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
5.0	5強	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	耐震性の低い建物では、壁、梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。耐震性の高い建物でも、壁などに亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
5.5	6弱	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁や柱が破壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁、梁(はり)、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止し、停電することもある。]	地割れや山崩れなどがある。
6.0	6強	耐震性の低い住宅では、倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	耐震性の低い建物では、倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁や柱が破壊するものがある。	ガスを地域に送るための導管、水道の配水施設に被害が発生することがある。 [一部の地域で停電する。広い地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
6.5	7	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	耐震性の高い建物でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	[広い地域で電気、ガス、水道の供給が停止する。]	大きな地割れ、地すべりや山崩れが発生し、地形が変わることもある。

\*ライフラインの[ ]内の事項は、電気、ガス、水道の供給状況を参考として記載したものである。

## 6. 函館沖群発地震について

函館沖群発地震について文献調査を行い、5つの文献とその引用文献1編を整理している。以下にその概要を示す。

本谷(1981)<sup>(1)</sup>によれば、渡島半島を含む北海道南西部は北海道では群発地震の最も頻発する地域であるとされている。いわゆる群発地震を含む時間的・空間的にまとまって発生した地震を群発性地震として、1900年～1980年の北海道南西部において発生した群発性地震を図-6.1及び表-6.1に示す<sup>(1)</sup>。これらの図表によると、函館沖付近では、1931年及び1978年に群発性地震が観測されている。

また、MOGI(1963)<sup>(2)</sup>を引用して、地震発生場の応力集中の程度が増大するにつれて、そこで発生する地震活動の様式が「本震－余震」型から「群発」型へ移行することをぜい性試料の破壊実験から類推し、広域的に一様な応力場にあるときは地殻の破碎度の大きい所ほど応力集中を起こしやすいと考え、日本列島の地殻の破碎度の地理的分布を示しており、その分布から、群発地震がしばしば発生する渡島半島は破碎度の大きい地域に分類されていると述べている。

本谷・他(1983)<sup>(3)</sup>によれば、1978年～1982年に発生した函館沖の群発地震(以下「函館沖群発地震」という。)において、函館で震度Ⅲの地震が発生した前後の地震活動を調べたところ、図-6.2に示すように、最初の頃は「群発」型であったのが、時間の経過とともに「本震－余震」型へと移行しており、このことは、MOGI(1963)<sup>(2)</sup>の考えに従えば、

群発地震の活動度が低下するにつれて震源域内での応力分布が一樣になってゆくことを示していると指摘している。

島村・森谷(1994)<sup>(4)</sup>は、群発地震とマグマの関連性について、以下のことを述べている。

①群発地震には火山性のものと、火山地帯でないところで起きるものがあり、前者はマグマによって次々に歪が震源域に供給されるため活動期間が何年にも及ぶことが多く、後者は活動が二週間程度で収束することが多い。

②渡島半島から青森県北部にかけて群発地震がよく起きる原因はわからないが、マグマが地下にあって熱源となっている可能性が高い。すなわち、この地域は日本有数の地熱地帯であり、地殻熱流量がほかの地域に比べて2～3倍も大きいことから、地下の浅いところに熱源があり、その熱による歪のために地殻の浅い部分に高い微小地震活動が起きるのではないかと推定される。

③岡田(北大有珠火山観測所)は、函館沖群発地震は函館周辺に火山は無いものの、地下にマグマがあって、その活動によって起きた可能性があると考えており、函館市東部(恵山町)の沖2.5kmの津軽海峡の海底に、第四紀地質時代という比較的新しい火山の噴火口が見つかったことがその根拠の一つとなっている。

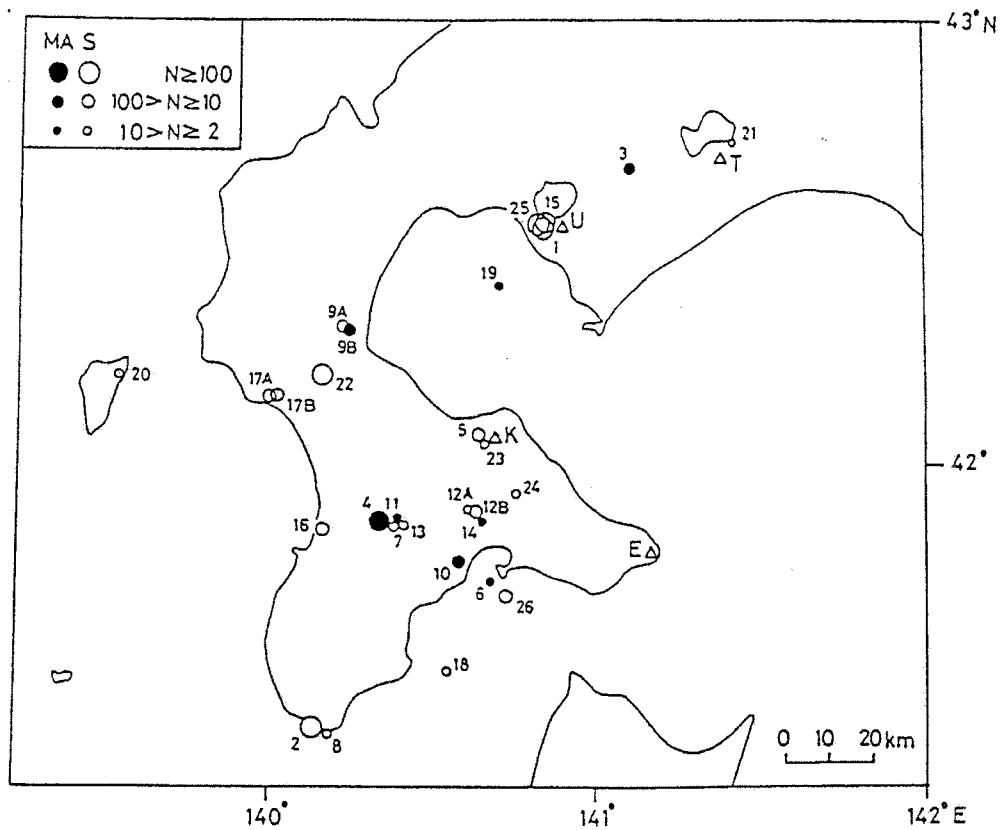
さらに、このような地域では大きな地震は起きないことが多いが、群発地震が繰り返しやすいことを指摘している。

本谷・他<sup>(5)</sup>によれば、函館沖群発地震の最大マグニチュードは、1982年5月5日のM4.4とされている。

また、地震予知連絡会会報(1979)<sup>(6)</sup>によれば、過去において函館周辺の群発地震が大地震と結びついた事例はないとされている。

## 参考文献

- (1) 本谷義信(1981):北海道南西部の群発地震活動,地震2  
第34巻
- (2) MOGI, K. (1963): Some Discussions on Aftershocks,  
Foreshocks and Earthquake Swarms—the Fracture of a  
Semi-infinite Body caused by an Inner Stress Origin and Its  
Relation to the Earthquake Phenomena (Third Paper), Bulletin  
of Earthquake Research Institute Vol.41
- (3) 本谷義信・鈴木貞臣・高波鉄夫・石川春義・岡山宗夫(1983):  
函館群発地震活動(Ⅰ)—地震活動と震源分布—,地震2  
第36巻
- (4) 島村英紀・森谷武男(1994):北海道の地震(北海道大学図書  
刊行会)
- (5) 本谷義信他・鈴木貞臣・高波鉄夫・石川春義・岡山宗夫(1987)  
:函館群発地震の日別地震回数,北海道大学地球物理学研究  
報告
- (6) 気象庁,地震予知情報室(1979):函館付近の地震群発につい  
て,地震予知連絡会会報



MA, S, and N mean main shock-aftershock series, foreshock-main shock-aftershock series or swarm, and total number of feltshocks, respectively. T, U, K, and E show active volcanoes, Tarumae, Usu, Komagatake, and Esan in the order named.

図-6.1 北海道南西部の群発性地震(1900~1980)  
 (本谷(1981)<sup>(1)</sup>に一部修正, 図中の番号は表-1 参照)

表-6.1 北海道南西沖の群発性地震(1900~1980) (本谷(1981)<sup>(1)</sup>による)

No.	Period	Region name	N	I	Remarks
1	1910 July 21-Dec. 24	Usu volcano	>1000	III	Usu eruption on July 25.
2	1919 May 05-Nov. 05	Matsumae	>100	V	Komagatake eruption on June 17 (a).
3	1929 Jan. 20-Jan. 21	Tokushunbetsu	15	III	M-A.
4	1929 Jan. 21-late May	Tate, Attsusabu	>100	V	M-A. Komagatake eruption on June 17 (a).
5	1929 June 16-Dec. 10	Komagatake vol.	60	III	Komagatake eruption on June 17 (a), (b).
6	1931 Nov. 08-Nov. 14	near Hakodate	5	III	M-A.
7	1931 Nov. 16-Dec. 14	Tate, Attsusabu	5	IV	
8	1931 Dec. 09-Dec. 27	Matsumae	6	V	
9A	1934 Mar. 25-Apr. 08	Daikan, Yakumo	30	II	premonitory swarm } M-A. main series }
9B	1934 May 31-June 01	ditto	50	IV	
10	1935 Aug. 22-Aug. 28	Mobetsu, Kamiiso	15	III	M-A.
11	1937 June 24-June 28	Tate, Attsusabu	5	V	M-A. other III events: 9/13, 12/26.
12A	1938 Jan. 03-Jan. 05	Oshima-Oono	8	III	
12B	1938 Apr. 06-May 03	ditto	15	III	
13	1938 Dec. 21-Dec. 28	Tate, Attsusabu	5	III	other III events: 7/05, 9/16(1938), 11/23, 12/06(1939).
14	1939 May 10-June 08	Oshima-Oono	6	IV	M-A.
15	1943 Dec. 28-44 Sept. 25	Usu volcano	>1000	IV	Usu eruption on June 23, 1944 (c).
16	1951 Jan. 31-Feb. 15	Esashi	13	III	
17A	1953 May 07-May 25	Kumaishi	10	III	premonitory swarm } main series } 7/14 M 5.4, landslide.
17B	1953 June 29-July 17	ditto	21	V	
18	1954 May 12-May 16	off Kikonai	2	III	5/12 M 5.2(F-M-A), 7/31 M 4.8, 10/16 M 4.4.
19	1955 Jan. 28-Jan. 29	Volcano bay	2	III	M-A. M 5.1.
20	1957 May 12-June 11	Okushiri Is.	4	II	5/30 M 5.0.
21	1966 Jan. 02-Jan. 08	Tarumae volcano	6	III	Tarumae no surface activity.
22	1966 May 11-July 29	Namarikawa mine	170	IV	small landslide, 5/27 2334 M 3.7, 5/28 0001 M 3.7.
23	1967 Dec. 08-Dec. 31	Komagatake vol.	2	II	Komagatake no surface activity.
24	1969 Oct. 14-70 Mar. 11	Mt. Yokotsudake	4	III	
25	1977 Aug. 06-	Usu volcano	>20000	III	Usu eruption on August 07.
26	1978 Oct. 23-	off Hakodate	37	III	

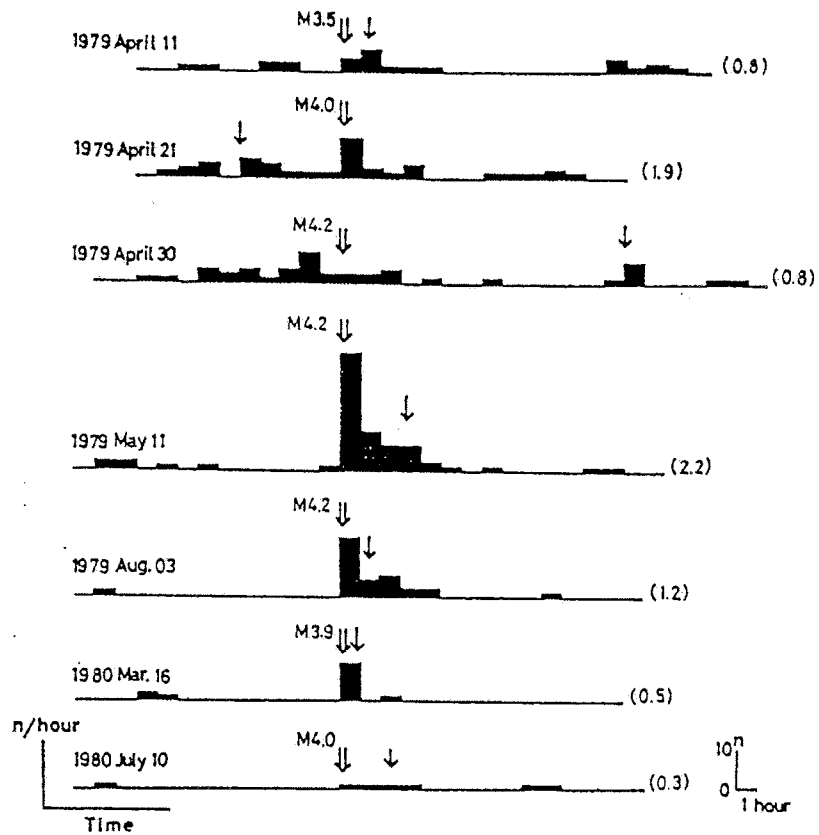
No. is the same as in Fig. 1. N; total number of felt earthquakes. I; maximum seismic intensity in JMA scale.

Sequence remarked with M-A is main shock-aftershock series and other is foreshock-main shock-aftershock series or swarm.

(a) Komagatake erupted by chance in the same day in 1919 and 1929.

(b) Only two earthquakes occurred before the eruption.

(c) A new volcano, Showa-shinzan was born in the following volcanic activity.



Seismic activity before and after large earthquakes which reached maximum seismic intensity III. Double and single arrows respectively show the largest and the second largest events in each sequence. Numeral in parenthesis is mean of the number of events per hour.

図-6.2 函館沖群発地震の活動様式の系統的移行(本谷・他(1983)<sup>(3)</sup>による)

## 7. 三陸はるか沖地震後のカップリングについて

三陸はるか沖地震後のカップリングについて文献調査を行い、2つの文献を整理している。以下にその概要を示す。

日置・他(1996)<sup>(1)</sup>によると、1994年三陸はるか沖地震は、地震時(coseismic)地殻変動に加えて、顕著な地震後(postseismic)変動が地震後1年間のGPS調査により捉えられたとしており、地震後の非地震性の断層すべりは、本震に匹敵あるいは本震をしのぐ大規模なものであり、これがこの地域のプレート境界地震における普遍的な事象であると推定している。

また、多田・他(1997)<sup>(2)</sup>は、1994年三陸はるか沖地震後の、1995年1月～12月と1996年1月～12月のそれぞれ1年間の東北地方－北海道南部地方の地殻水平変位ベクトルを図-7.1にまとめている。この図より、東北地方南部や北海道南部では同じ水平変動がみられるのに対し、東北地方北部－渡島半島では地殻変動が消滅しており、これは本震地震断層面＝プレート境界面のカップリングが全くなくなっており、この部分では太平洋プレートがスルスルと何の抵抗も受けずに沈み込んでいることを示していると考えられるとされている。さらに、ごく最近の観測ではわずかではあるが三陸地方で西向き水平変動が認められ、カップリングが回復し始めた(すなわち、断層面が治癒し始めた)ように見え、地震断層面の固着－破壊－治癒－固着の1サイクルの過程をGPS連続観測で捉えつつあるとされている。

## 参考文献

- (1) 日置幸介・宮崎真一(1996):1994年三陸はるか沖地震に続く非震性断層すべり:GPSによる一年間の観測結果から, 1996年日本地震学会講演予稿集
- (2) 多田堯・鷺谷威・小沢慎三郎・宮崎真一・矢来博司(1997):1994年三陸はるか沖地震断層面の治癒現象, 1997年日本地震学会講演予稿集

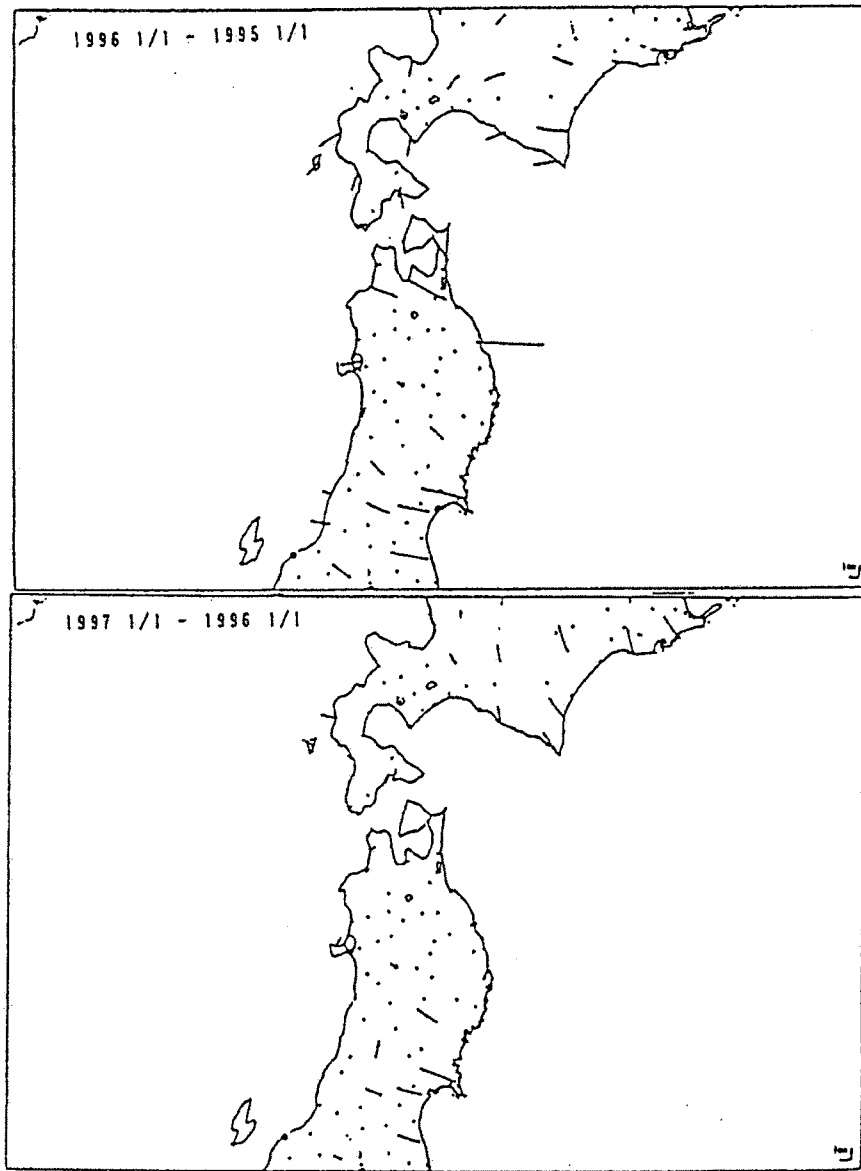


図-7.1 東北地方—北海道南部の地殻水平変動  
 (多田・他(1997)<sup>(8)</sup>による)

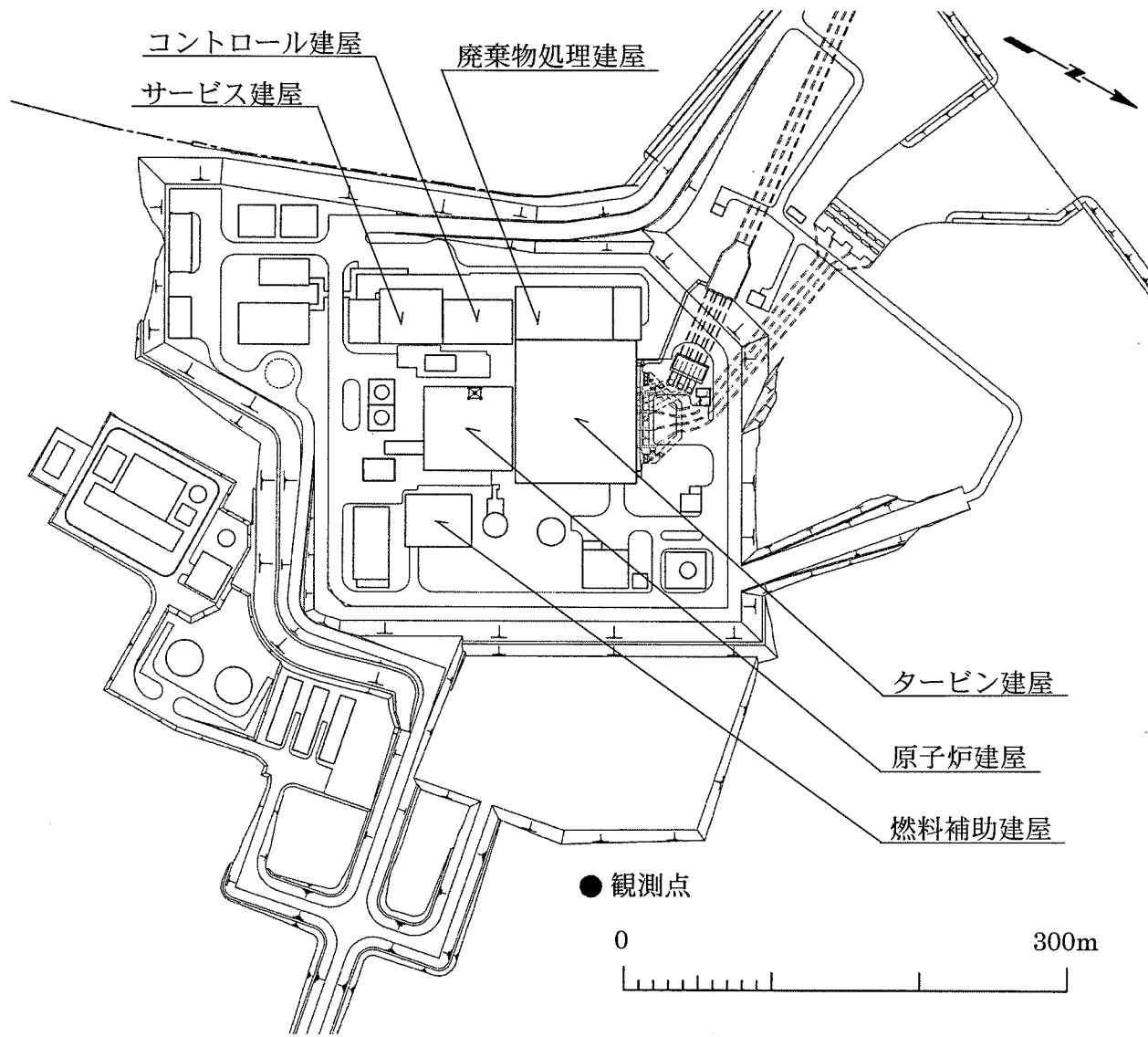
## 8. 敷地内地震観測について

申請者は、敷地地盤における地震観測を、1989年8月以降※、図-8.1に示す位置で実施しており、地震観測で得られた記録の中から、表-8.1に示す地震について応答スペクトル解析を行っている。これらの地震の震央分布を図-8.2に示す。

図-8.3は、岩盤内の記録の応答スペクトルを示したものである。この図より、震央が比較的遠い1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年三陸はるか沖地震及び2003年十勝沖地震は、震央が比較的近い1992年青森県東方沖の地震に比べて相対的に長周期成分が優勢であるとしている。

上記の地震の内、1993年釧路沖地震の地震記録について、地盤の各深さで得られた記録の応答スペクトルを図-8.4に示す。この図より、地表では短周期成分が増幅される傾向にあるが、岩盤中ではあまり増幅がみられないとしている。

※ 敷地での地震観測は、図-8.5に示すように1984年1月から行っているが、現在の観測点になったのは1989年8月からである。



標高 T.P. (m)	地震計	地層
+32.5	GL±0 (m)	
	○	第四系
		易国間層上部層
-7.5	○	
		易国間層下部層
-47.5	○	
		大間層
-77.5	○	
-117.5	○	
-207.5	○	

図-8.1 地震観測点

表-8.1 観測地震

地震名	発震年月時刻	震央位置 北緯 東経	マグニ チュード M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	気象庁震度階級
1992年 青森県東方 沖の地震	1992. 7.12 20:08	41° 27.7′ 142° 2.3′	6.3	64	94	IV:むつ、八戸 III:帯広、浦河、苫小牧、函館、青森、盛岡、宮古 II:釧路、広尾、岩見沢、小樽、室蘭、江差、深浦、大船渡、石巻、酒田 I:札幌、倶知安、秋田、新庄、仙台、山形、福島、柿岡
1993年 釧路沖地震	1993. 1.15 20:06	42° 55.0′ 144° 21.4′	7.5	101	325	VI:釧路 V:浦河、帯広、広尾、八戸 IV:宮古、根室、石巻、青森、小樽、函館、室蘭、小名浜、盛岡、むつ、苫小牧、大船渡 III:紋別、札幌、岩見沢、旭川、秋田、東京、水戸、福島、仙台、酒田、横浜、倶知安、網走、深浦、柿岡、白河 II:留萌、山形、雄武、甲府、羽幌、熊谷、江差、館山、銚子、大島、新庄、寿都、網代、八丈島、日光、諏訪、千葉、秩父、河口湖、三島、三宅島、軽井沢、宇都宮 I:新潟、前橋、高田、北見枝幸、静岡、飯田、輪島、勝浦、石廊崎、若松
1993年 北海道南西 沖地震	1993. 7.12 22:17	42° 46.8′ 139° 11.0′	7.8	35	201	V:深浦、小樽、寿都、江差 IV:青森、室蘭、苫小牧、むつ、倶知安、函館 III:留萌、札幌、八戸、秋田、帯広、岩見沢、羽幌 II:旭川、稚内、新庄、盛岡、酒田、浦河 I:山形、網走、宮古、釧路、小名浜、新潟、大船渡、輪島、雄武、広尾、仙台
1994年 三陸はるか 沖地震	1994.12.28 21:19	40° 25.6′ 143° 44.9′	7.6	0	267	VI:八戸 V:盛岡、青森、むつ IV:大船渡、宮古、函館、帯広、苫小牧、浦河、葛巻、大迫、市浦、天間林、大畑、比内 III:小名浜、福島、深浦、酒田、新庄、仙台、秋田、石巻、釧路、室蘭、広尾、札幌、岩見沢、小樽、倶知安、森、江差、柿岡 II:宇都宮、若松、白河、山形、横浜、新潟、水戸、東京、旭川、羽幌、留萌、奥尻、寿都、熊谷、甲府、千葉、諏訪、館山 I:静岡、銚子、高田、相川、網走、輪島、雄武、紋別、根室、日光、軽井沢、河口湖、大島、前橋、八丈島、三島、秩父、長野、勝浦、飯田、名古屋、網代

諸元は気象庁による。

つづく

地震名	発震年月日時	震央位置 北緯 東経	マグニ チュード M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	気象庁震度階級
2003年 十勝沖地震	2003.9.26 4:50	41° 46.5′ 144° 4.9′	8.0	45	266	<p>6弱：静内，浦河，厚岸</p> <p>5強：足寄，帯広，本別，広尾，弟子屈，釧路，音別，別海</p> <p>5弱：北見，苫小牧，十勝清水，忠類</p> <p>4：石狩，札幌，江別，千歳，恵庭，函館，南茅部，渡島森，小樽，余市，俱知安，滝川，夕張，岩見沢，美唄，旭川，富良野，上富良野，南富良野，美幌，斜里，留辺蘂，丸瀬布，伊達，白老，平取，えりも，中標津，羅臼，根室，青森，五所川原，平内，六ヶ所，五戸，むつ，二戸，大間</p> <p>3：八雲，七飯，檜山江差，積丹，岩内，北竜，芦別，士別，名寄，上川，羽幌，留萌，利尻富士，網走，紋別，雄武，室蘭，登別，市浦，鱒ヶ沢，深浦，八戸，天間林，大畑，久慈，種市，盛岡，雫石，葛巻，西根，水沢，北上，古川，涌谷，中田，志津川，能代，鷹巣，酒田，遊佐</p> <p>2：渡島松前，知内，島牧，寿都，奥尻，上川朝日，羽幌，初山別，稚内，宗谷枝幸，弘前，岩崎，青森南郷，宮古，岩手山田，田野畑，大船渡，釜石，雫石，一関，大迫，岩手大東，石巻，気仙沼，鹿島台，栗駒，仙台，宮城松島，五城目，秋田，秋田本荘，雄和，比内，湯沢，角館，秋田六郷，雄物川，鶴岡，温海，新庄，山形河北，米沢，白鷹，福島，郡山，いわき，原町，浪江，猪苗代，水戸，茨城大宮，土浦，岩井，茨城鹿嶋，鉾田，八郷，関城，利根，宇都宮，群馬板倉，久喜，佐原，千葉，東京，横浜，小田原，六日町</p> <p>1：石巻，柴田，丸森，男鹿，山形金山，山形，山形小国，白河，大玉，船引，川内，田島，西会津，常陸太田，日光，今市，黒羽，塩原，栃木，益子，烏山，桐生，熊谷，鳩山，児玉，さいたま，銚子，東金，多古，千葉一宮，長柄，館山，三宅，八丈，川崎，横須賀，茅ヶ崎，甲府，諏訪，軽井沢，熱海，御殿場，輪島，能都</p>

諸元は気象庁による。

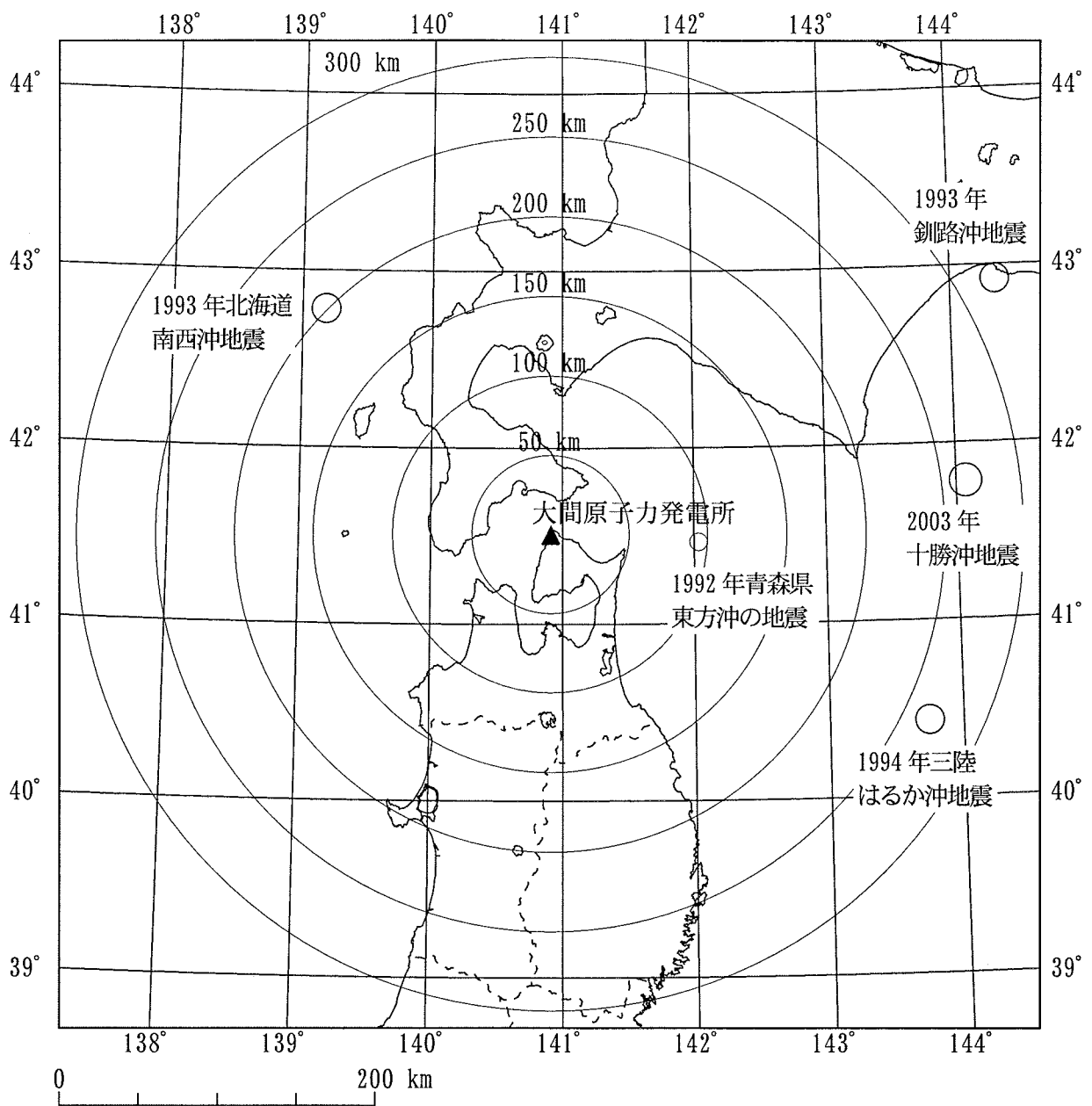


図-8.2 観測記録の震央分布

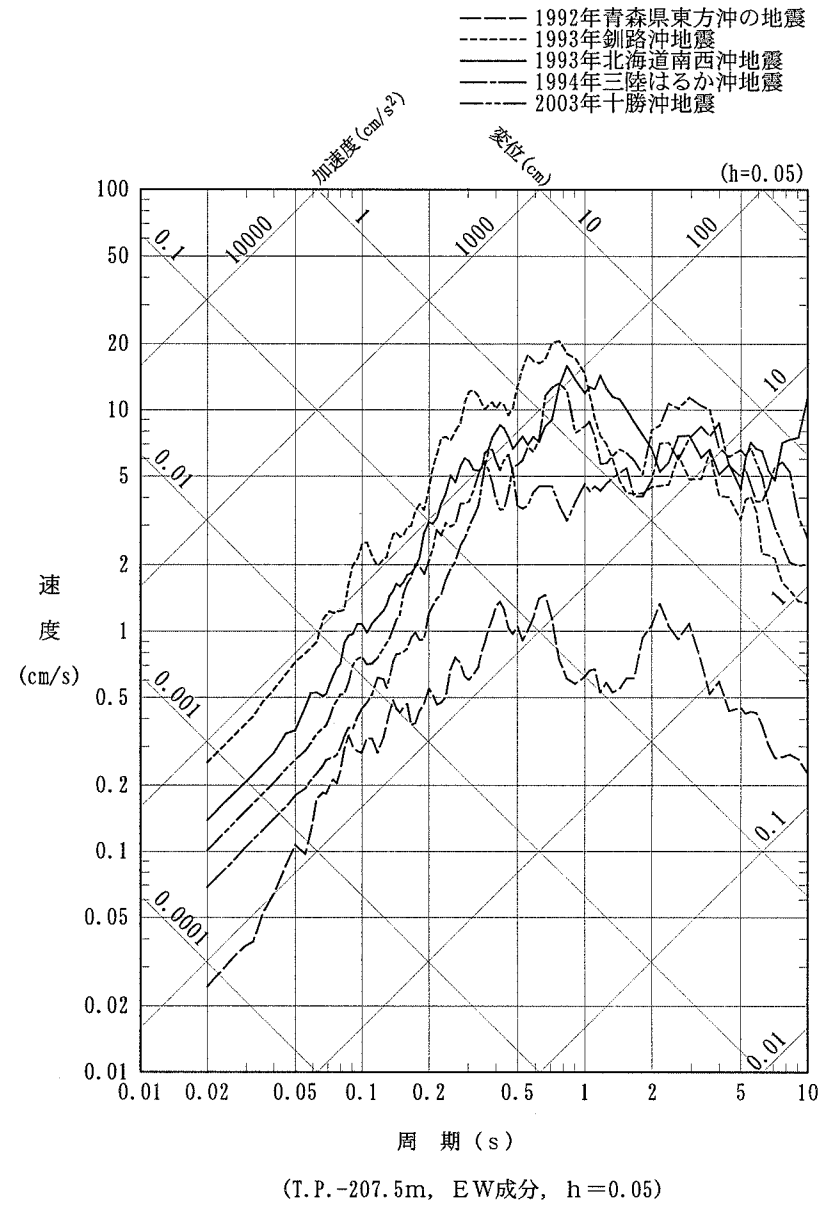
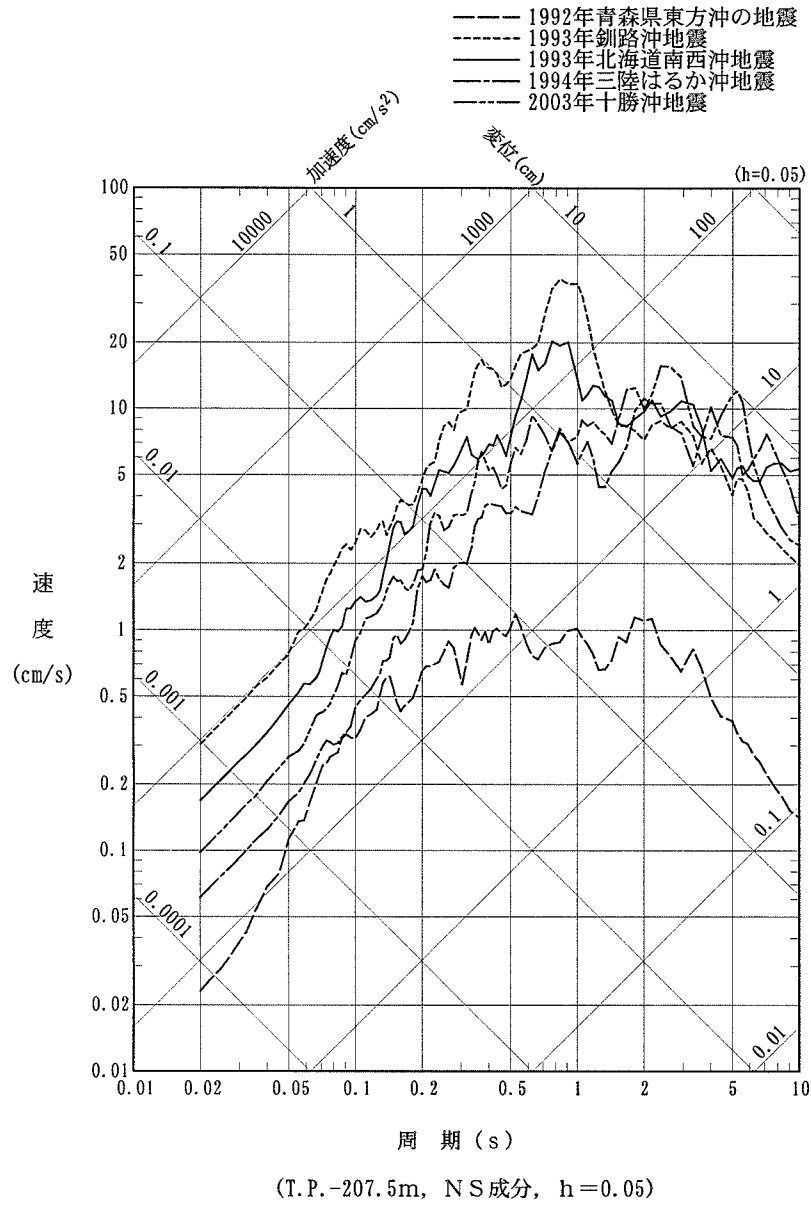


図-8.3 地震別応答スペクトル

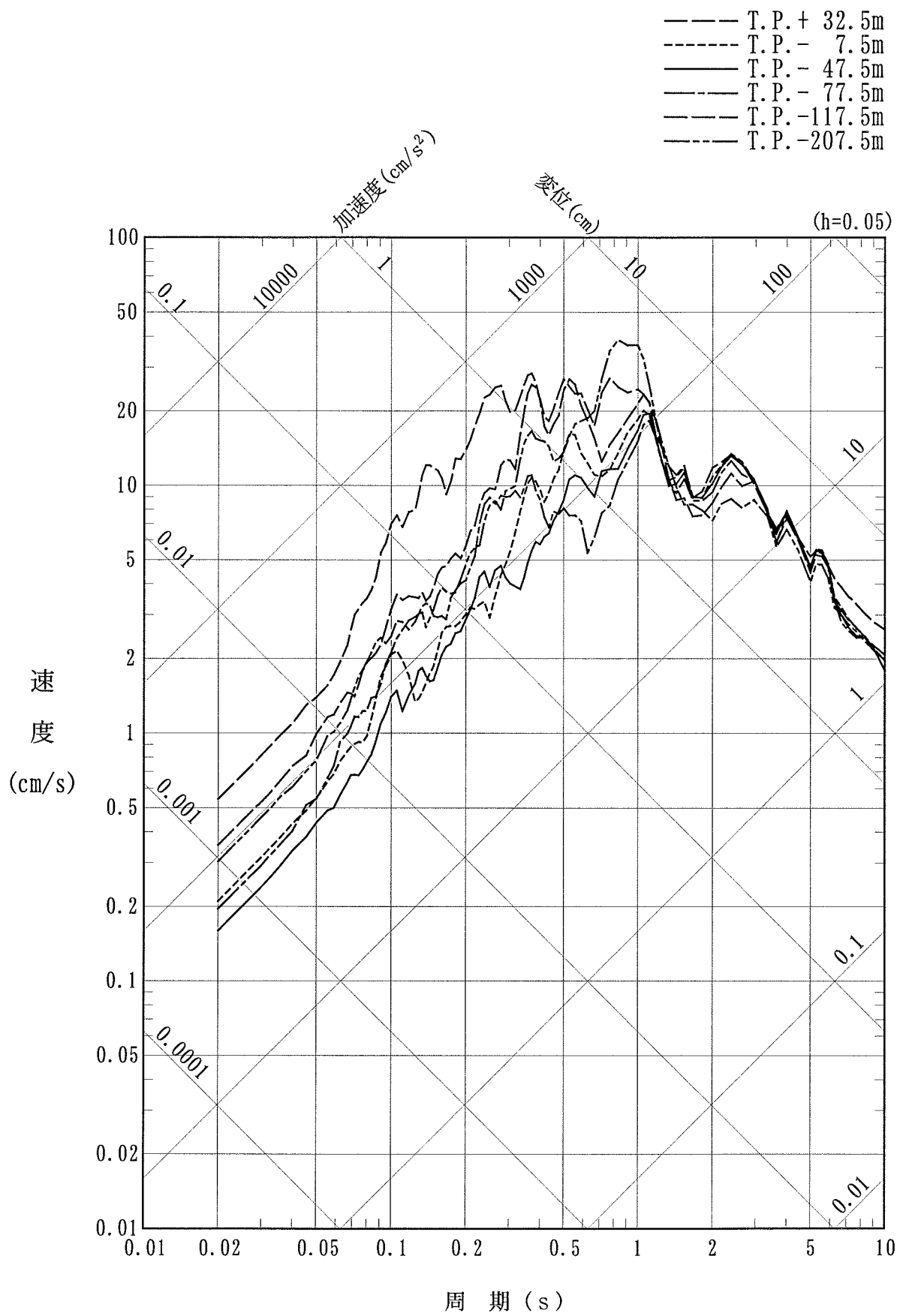
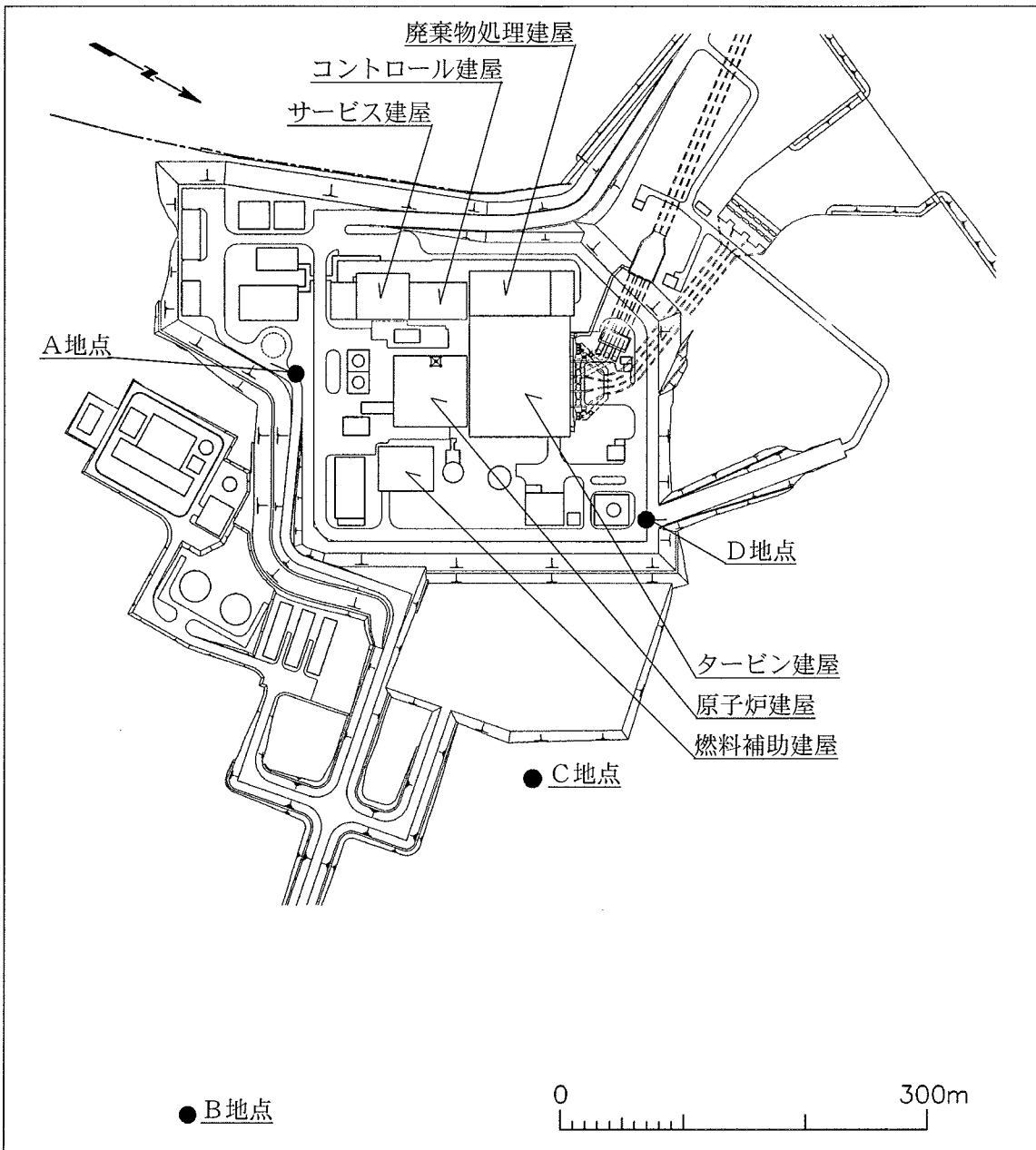


図-8.4 深度別応答スペクトル(NS成分, 1993年釧路沖地震)



・旧観測点(1984年1月～1988年11月)

観測点は、A地点(地表から0,-18,-50,-200m)とB地点(地表から0,-50,-200m)で構成されている。

これらの観測点は、1988年11月の落雷により全損に至る。

・現観測点(1989年8月～現在)

新たな観測点として、C地点(地表から0,-40,-80,-115,-150,-240m)とD地点(地表から-300m)で構成されている。

ただし、D地点は1999年1月から絶縁不良になったため、現在はC地点のみで運用している

図-8.5 大間地点の地震観測点の変遷

## 9. 1994年北海道東方沖地震について

敷地で得られた地震観測記録のうち、1994年北海道東方沖地震(M8.2, 震源距離 595km)観測記録は、1993年釧路沖地震(M7.5, 震源距離 340 km)観測記録と同様に、敷地からの震源距離が遠い割に大きな加速度が得られたとしている。

図-9.1に1994年北海道東方沖地震観測記録及び1993年釧路沖地震観測記録の応答スペクトルを比較して示す。図-9.1に示すように、1994年北海道東方沖地震観測記録の応答スペクトルより、1993年釧路沖地震観測記録の応答スペクトルは大きくなっている。このことから、設計用応答スペクトル $S_1-D$ の策定においては、1993年釧路沖地震観測記録を考慮することとしている。

設計用応答スペクトル $S_2-D$ に対しては、北海道・東北地方では被害地震としてのやや深発地震が発生している<sup>(1)</sup>ことから、東北日本弧と千島弧の会合部付近に相当する浦河沖の深さ 100km の位置に、1993年釧路沖地震相当のM7.5のDE型のやや深発地震を想定している。

一方、1994年北海道東方沖地震は、1993年釧路沖地震と同様にプレート内地震であるが、震源深さ 28km(気象庁発表値)であり、長・他(1995)<sup>(2)</sup>によれば、この地震の震源メカニズムは太平洋プレート内で発生した傾斜角の急峻な逆断層運動であったと推定されている。したがって、DE型のやや深発地震とは、震源深さ及び震源メカニズムが異なると考えられることから、浦河沖に想定したDE型のやや深発地震に関する検討で

は、1994年北海道東方沖地震は考慮していない。

図-9.2 に示す Zhao et al.(1996)<sup>(3)</sup>による沈み込む太平洋プレートの上面深さが、1994年北海道東方沖地震の震源深さと同等の30km程度になる位置は、敷地周辺では東経143度付近以東と推定される。地震カタログ等の文献調査によると、敷地周辺の東経143度付近に発生した被害地震のうち、震源メカニズムが求められている地震で、1994年北海道東方沖地震と同様の震源メカニズムを有するM8クラスのプレート内地震と判断できるものは認められないとしている。

## 参考文献

- (1) 武村雅之・加藤研一・八代和彦(1996): やや深発地震および深発地震の発生地域, 頻度, 被害歴, 日本建築学会技術報告集第3号
- (2) 長 郁夫・中西一郎・今西和俊・佐藤魂夫(1995): 1994年北海道東方沖地震( $M_{JMA}=8.1$ )のCMT解: 広帯域強震計データを用いたインバージョン, 地震2, 第48巻
- (3) Dapeng Zhao, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa(1997): Morphology of the subducting slab boundary in the northeastern Japan arc, Physics of the Earth and Planetary Interiors 102 (1997)

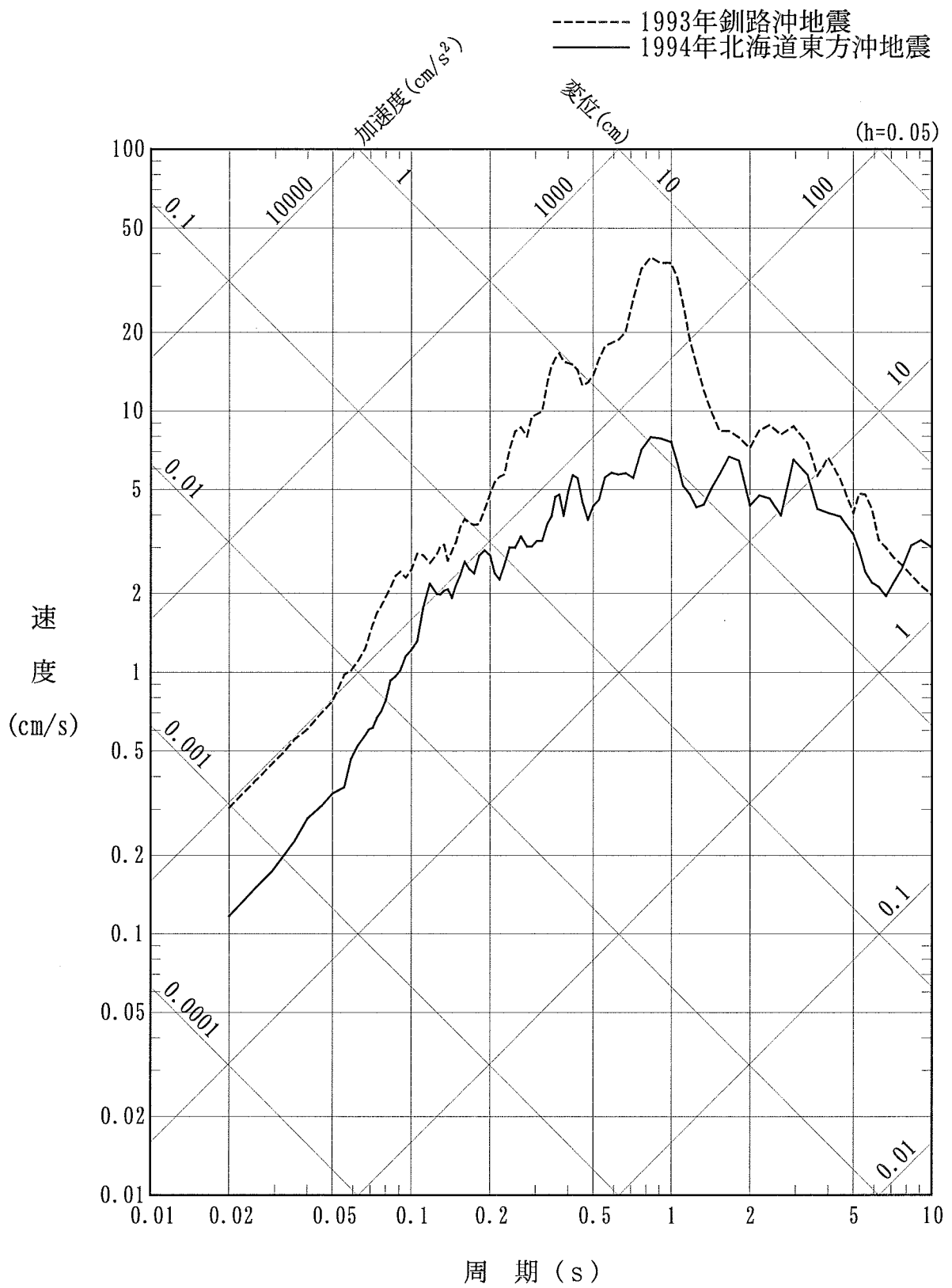


図-9.1(1) 1994年北海道東方沖地震と1993年釧路沖地震の観測記録の応答スペクトル (NS成分, T.P.-207.5m)

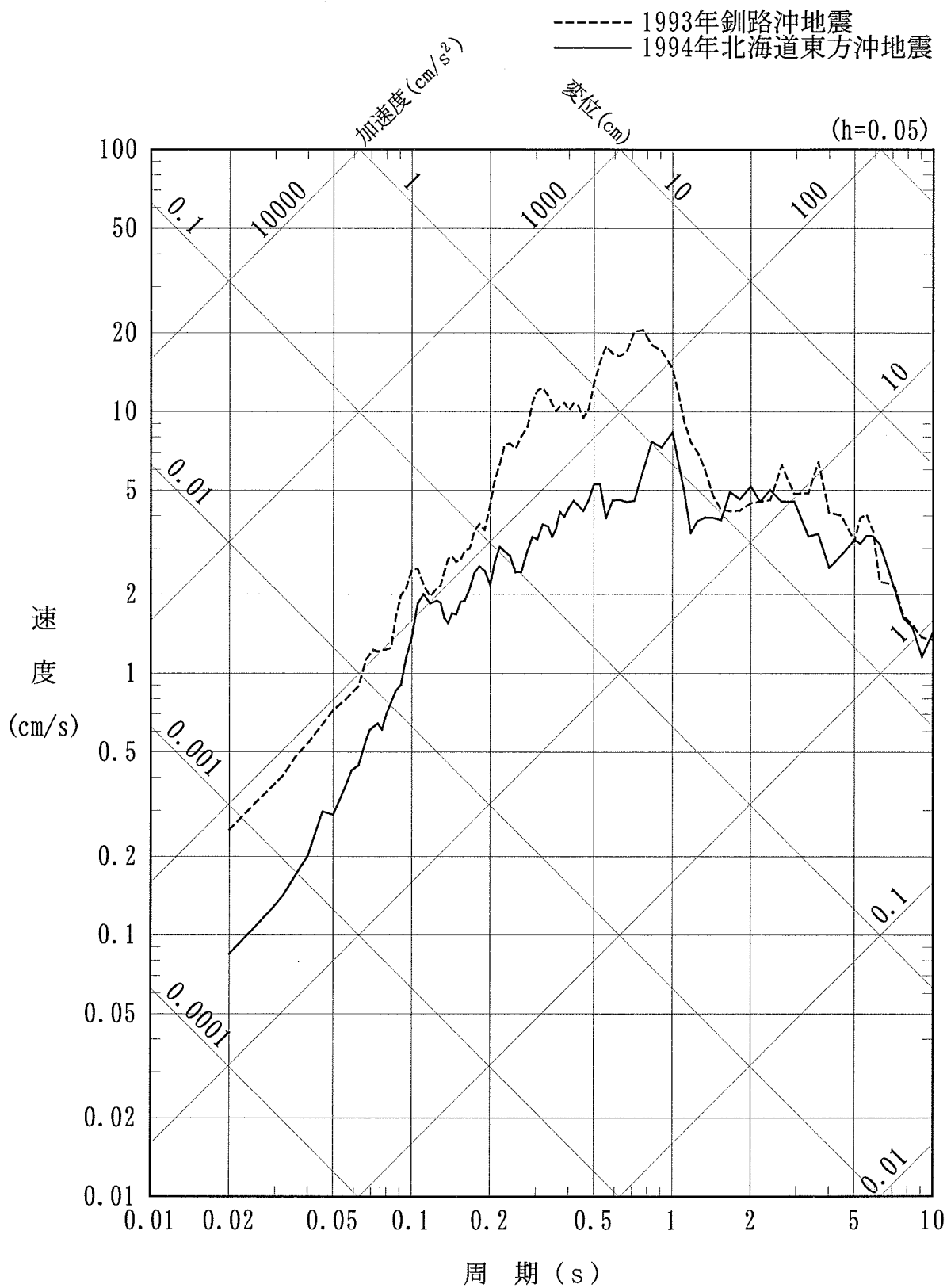
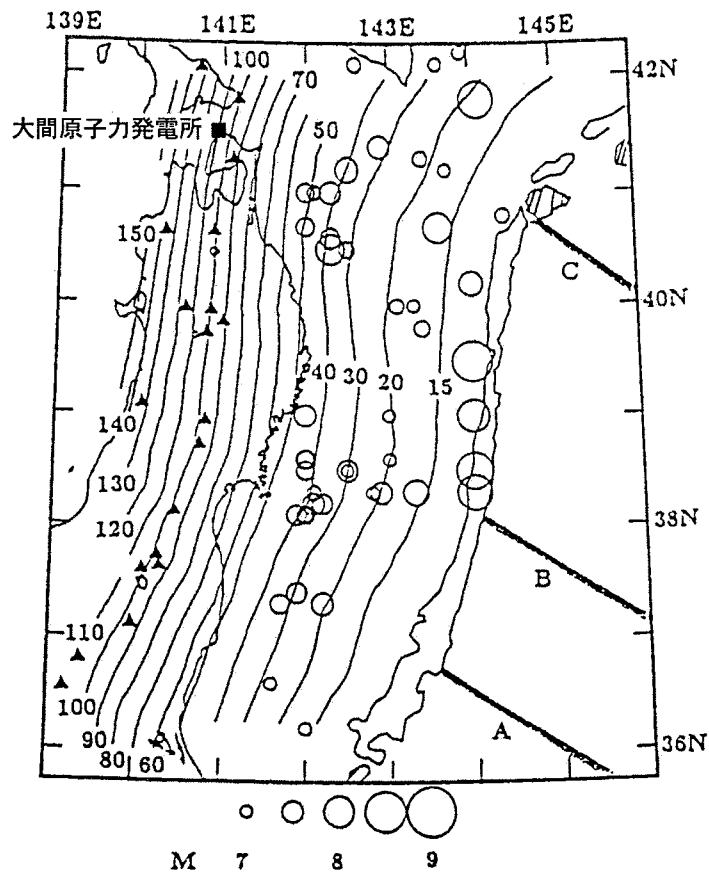


図-9.1(2) 1994年北海道東方沖地震と1993年釧路沖地震の観測記録の応答スペクトル (EW成分, T.P.-207.5m)



Depth distribution of the upper boundary of the subducted Pacific plate beneath northeastern Japan. The slab boundary deeper than 45 km is determined with SP converted waves; shallower than 45 km, it is estimated from earthquakes below the Pacific Ocean well located with sP depth phases. Numerals attached to the contours indicate the depths in kilometers. Hatched areas (A, B, C) denote the oceanic fracture zones (Hilde et al., 1976). Active volcanoes are shown as solid triangles. Open circles denote large historic interplate earthquakes that occurred from 830 to 1995, with magnitudes equal to or greater than 7.0 and focal depths shallower than 60 km. The magnitude scale is shown at the bottom. Note that the contour line outlining the Japan Trench has a water depth of 7000 m.

図-9.2 太平洋プレートの上面深さ  
(Zhao et al.(1996)<sup>(3)</sup>に一部加筆修正)

## 10. 敷地で観測された 1993 年北海道南西沖地震の表面波について

### (1) 検討目的

1993 年北海道南西沖地震の観測記録には、表面波が多く含まれていることが報告されている<sup>(1)(2)</sup>。そこで、敷地で得られた 1993 年北海道南西沖地震の観測記録に表面波が見られるかどうかを検討している。

### (2) 1993 年北海道南西沖地震の表面波に関する既往の知見

森ほか(1996)<sup>(1)</sup>によれば、各地での 1993 年北海道南西沖地震の観測記録は、周期約 10 秒前後を中心としたやや長周期成分が卓越する表面波的な特徴を有し、その波群は震源より射出された伝播速度が約 2.8 km/s の Rayleigh 波と考えられるとしている(図-10.1)。なお、同論文では、周期 10 秒前後よりも短周期成分における表面波の有無についての指摘はされていない。

### (3) 敷地で得られた 1993 年北海道南西沖地震の観測記録の検討

森ほか(1996)が、1993 年北海道南西沖地震の各地における観測記録について指摘した Rayleigh 波が、敷地で得られた 1993 年北海道南西沖地震の観測記録にも見られるのかどうかについて検討している。

図-10.2 に、敷地での 1993 年北海道南西沖地震の観測記録の応答スペクトルを示す。同図によると、周期約 10 秒前後を中心としたやや長周期成分にピークが見られるとしている。

図-10.3 に、Rayleigh 波の伝播速度を 2.8 km/s と仮定した場合の敷地への推定到達時刻を求め、森ほか(1996)による各地での観測記録上下成分変位波形の図に、敷地における観測記録の上下成分(T.P.-207.5m)を加筆して示す。同図によると、波形振幅が増大する部分は、森ほか(1996)により Rayleigh 波が伝播しているとされる時刻と良い対比を示している。特に、震源から見て大間サイトとほぼ同方向に位置し、ほぼ同様な経路を通過して表面波が伝播していく地点と考えられる八戸での波形と敷地での波形とを比較すると、振幅が増大する部分の波形が両者とも良く似ているとしている。

Rayleigh 波が伝播するときの粒子の振動は、波の伝播方向の鉛直面内で楕円軌跡を描くという特徴を持っている。そこで、敷地における観測記録が Rayleigh 波的な性状を有しているかどうかを確認するために、粒子の振動性状を検討している。

検討に際しては、震央方向から主要な波群が到来すると仮定し、敷地での 1993 年北海道南西沖地震の水平成分の観測記録を R-T 変換(Radial-Transverse 変換)し、地震波の伝播方向(Radial 方向)、伝播直交方向(Transverse 方向)に座標変換している。

図-10.4 及び図-10.5 に、敷地で観測された 1993 年北海道南西沖地震の加速度波形(T.P.-207.5 m)から求めた Radial-Vertical 面内の粒子軌跡を示す。同図の粒子軌跡は、観測記録を時間軸で 5 等分、対数周期軸で 5 等分してそれぞれ示している。

図-10.4 に示すとおり、周期約 10 秒前後を中心としたやや長周期成分

では、地震波の伝播方向の鉛直面内で楕円軌跡を描くという Rayleigh 波の特徴が見られるが、図-10.5 に示すとおり、周期約 10 秒前後よりも短周期成分では、そのような特徴が見られないことから、Rayleigh 波は含まれていないと考えられるとしている。

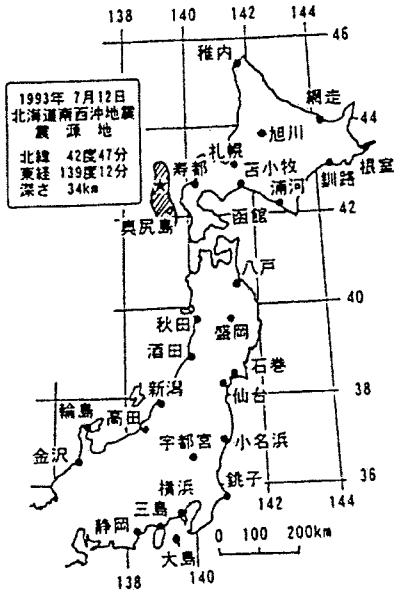
さらに、時間間隔を観測記録の 40 等分に細分化した場合に、周期 10 秒付近前後よりも短周期成分において Rayleigh 波の特徴が見られるかどうか検討している。結果を図-10.6 に示す。

同図に示すように、時間間隔を観測記録の 40 等分とした場合においても、周期約 10 秒付近前後よりも短周期成分には、Rayleigh 波の特徴を示す楕円軌跡は認められないとしている。

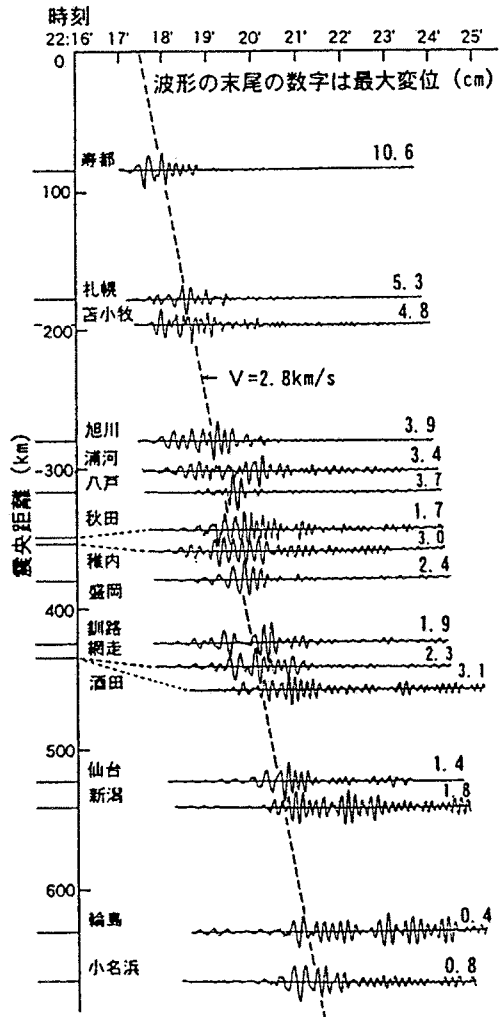
以上より、敷地での観測記録の周期約 10 秒前後を中心としたやや長周期成分には Rayleigh 波の特徴が見られるが、設計上考慮すべき短周期成分には Rayleigh 波は無いと考えられるとしている。

## 参考文献

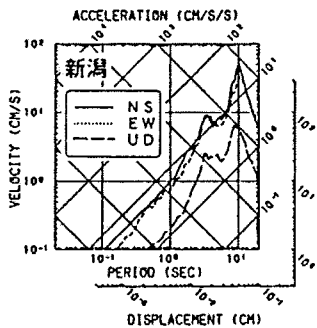
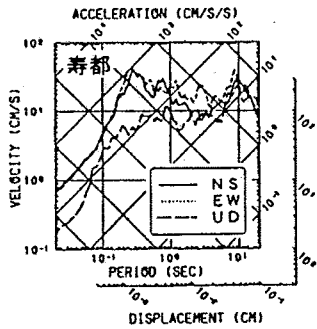
- (1) 森伸一郎・関宝琪・沼田淳紀(1996):1993 年北海道南西沖地震における JMA87 型強震計観測記録に見られるやや長周期成分の特徴, 第 31 回地盤工学研究発表会.
- (2) 奈良岡浩二・渡辺孝英・西村功・中村亮一(1994):1993 年北海道南西沖地震における周期 10 秒付近の波群について, 日本地震学会講演予稿集.



1993年北海道南西沖地震でJMA87型強震計により加速度記録の得られた観測地点



上下動成分の変位波形のベースアップ



寿都と新潟における減衰5%の応答スペクトル

図-10.1 1993年北海道南西沖地震の観測記録に見られるやや長周期成分の特徴 (森ほか(1996)による)

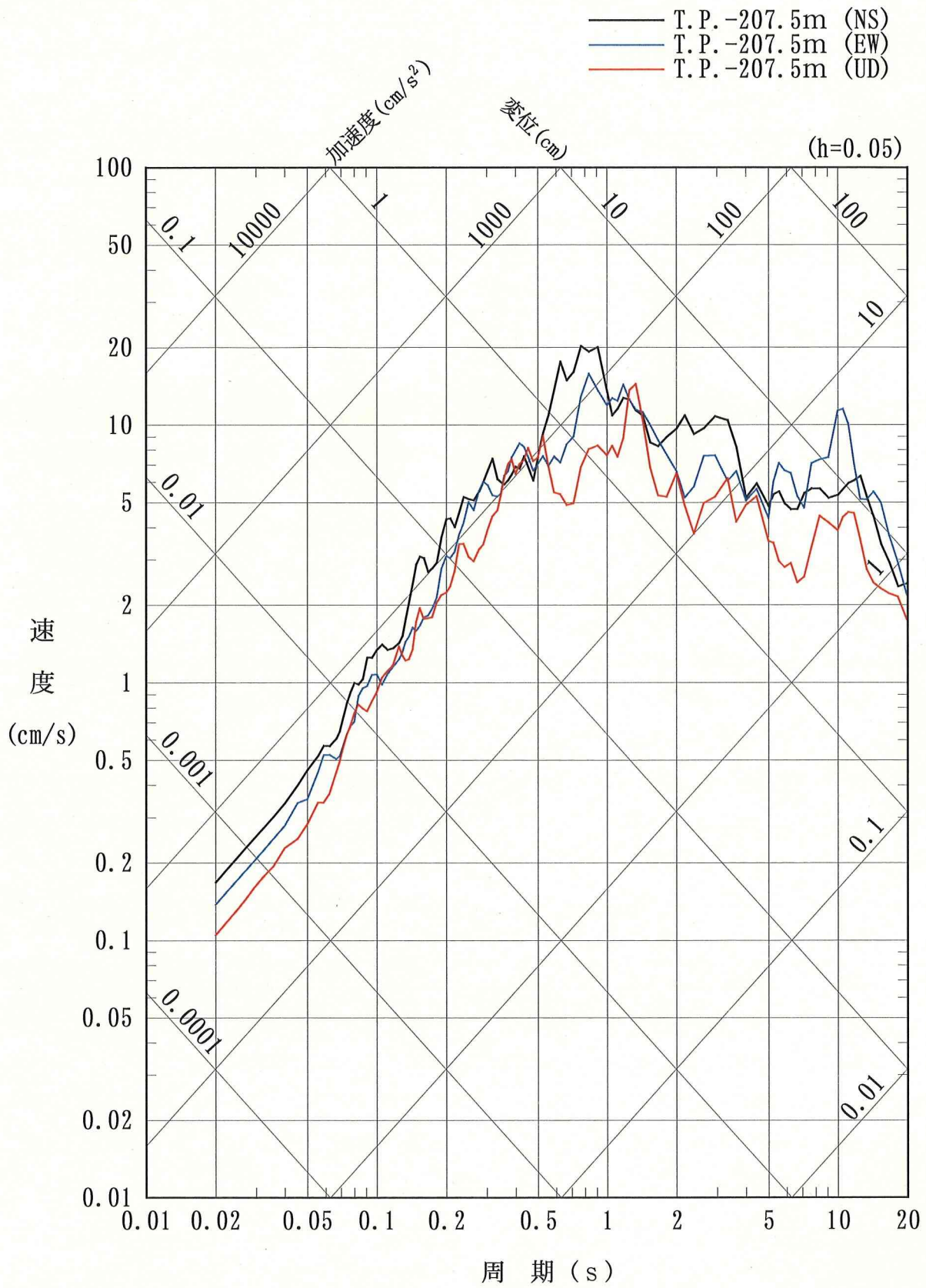


図-10.2 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)の応答スペクトル

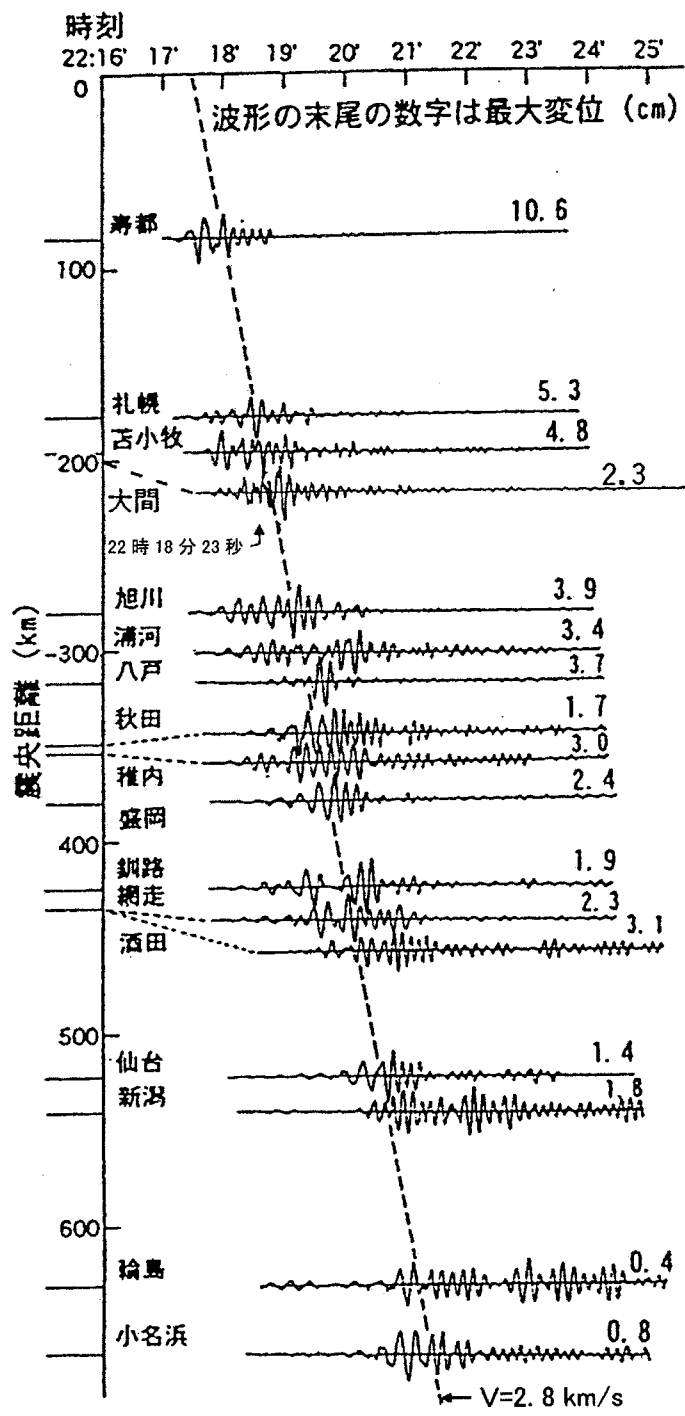


図-10.3 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録上下成分(T.P.-207.5m)の変位波形と各地での観測記録上下成分変位波形との比較(森ほか(1996)に加筆)

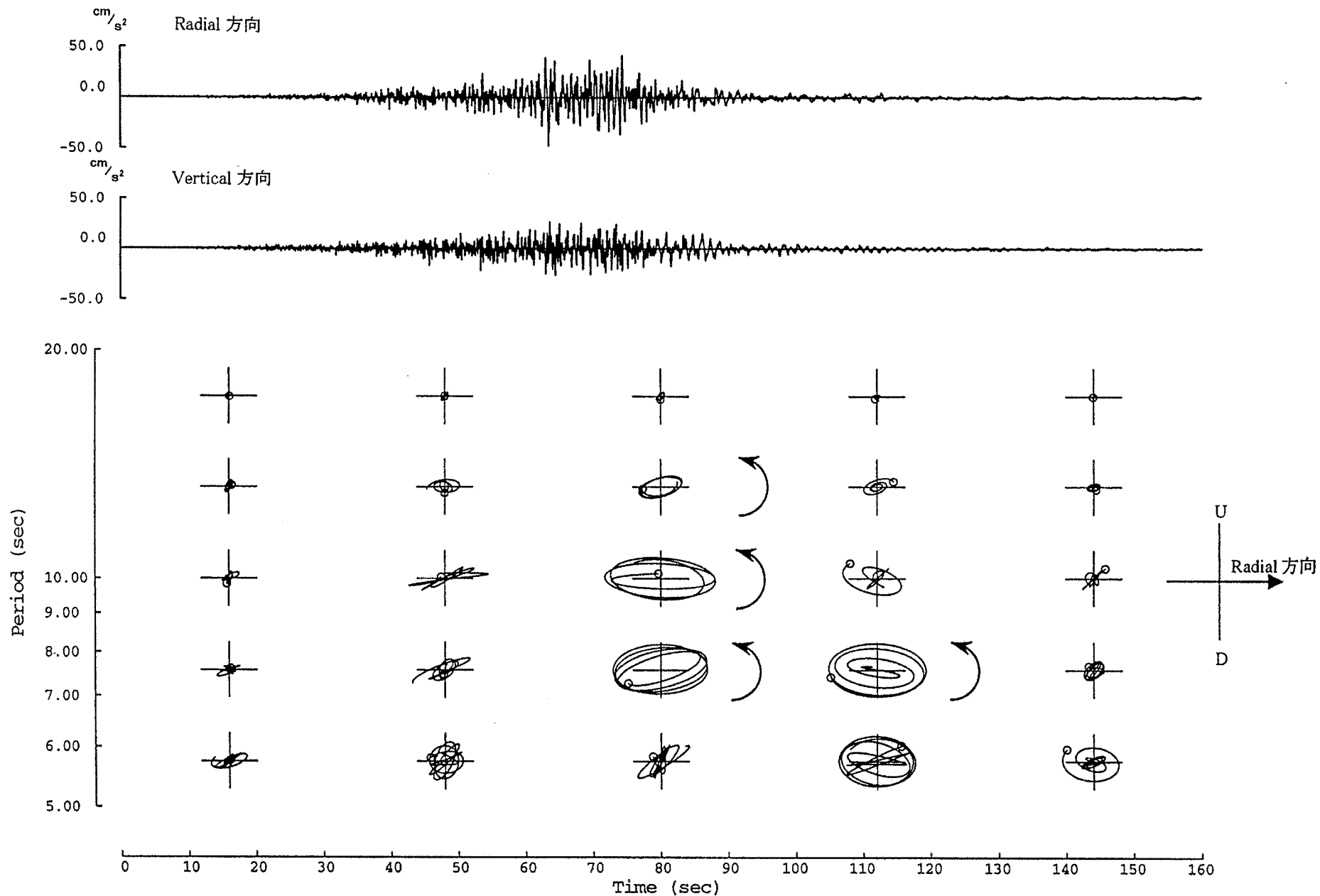


図-10.4 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡(周期5~20秒の帯域, ○は軌跡の開始点)

10-9  
6-01

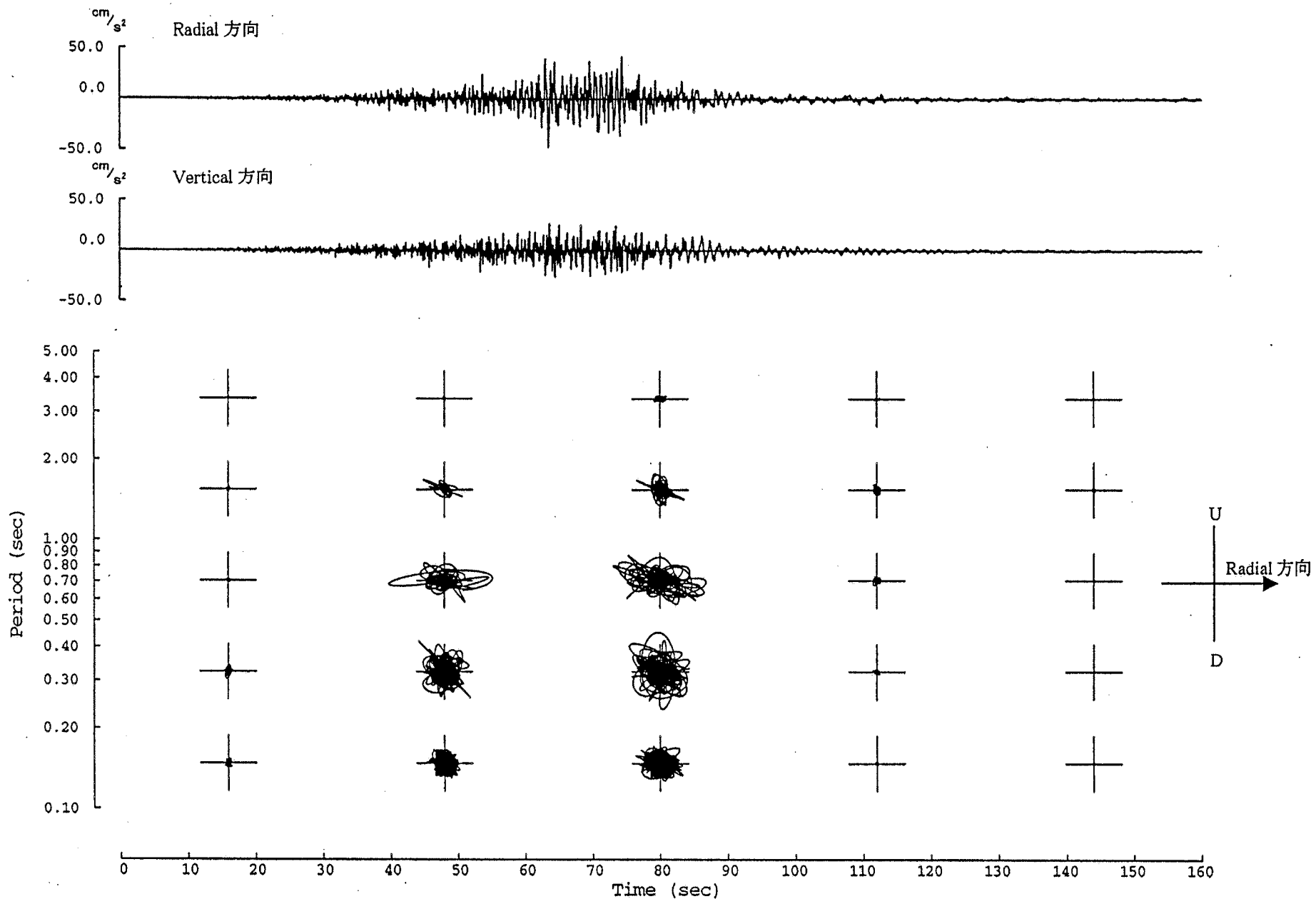


図-10.5 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡(周期0.1~5秒の帯域, ○は軌跡の開始点)

10-10

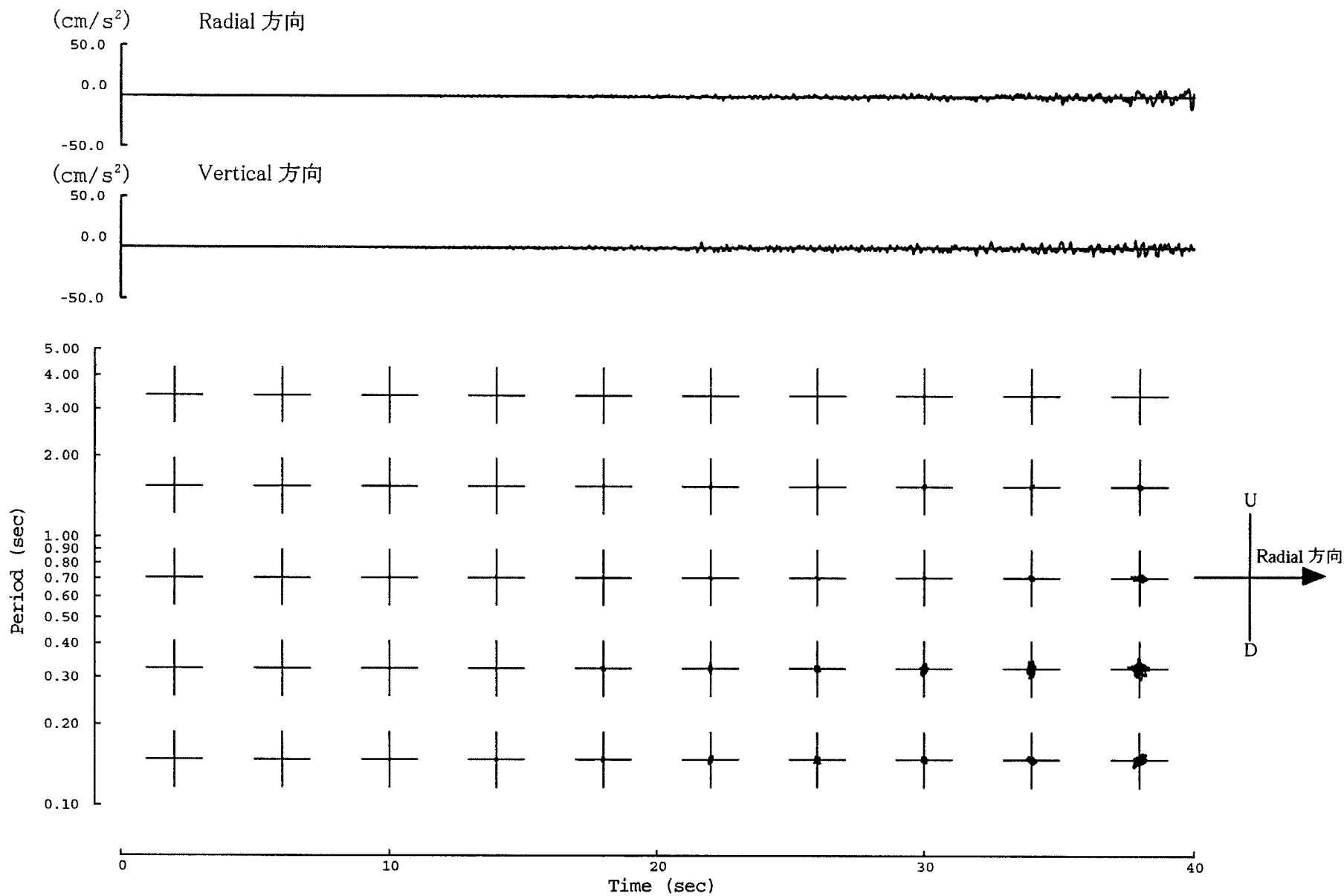


図-10.6(1) 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡  
(周期0.1~5秒の帯域, 時間間隔: 観測記録を40等分)

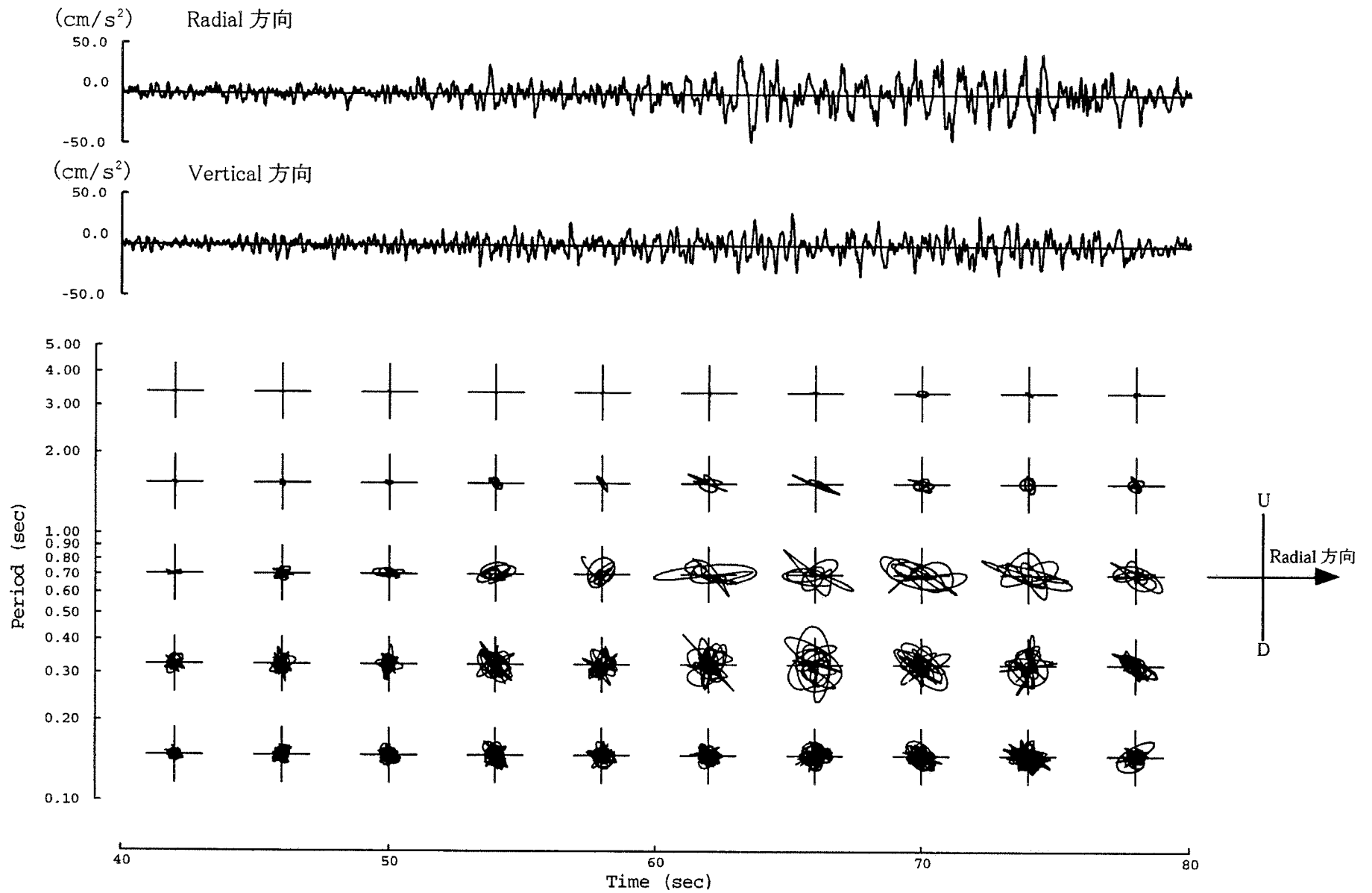
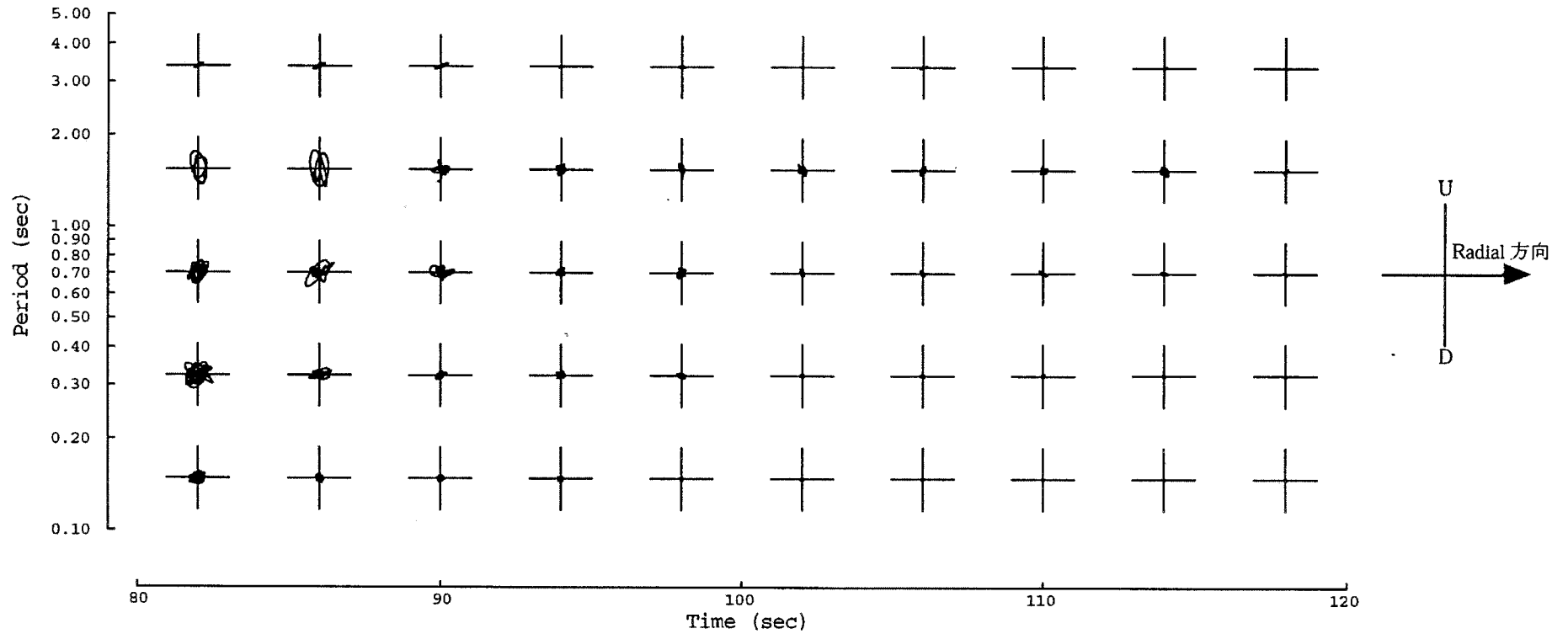
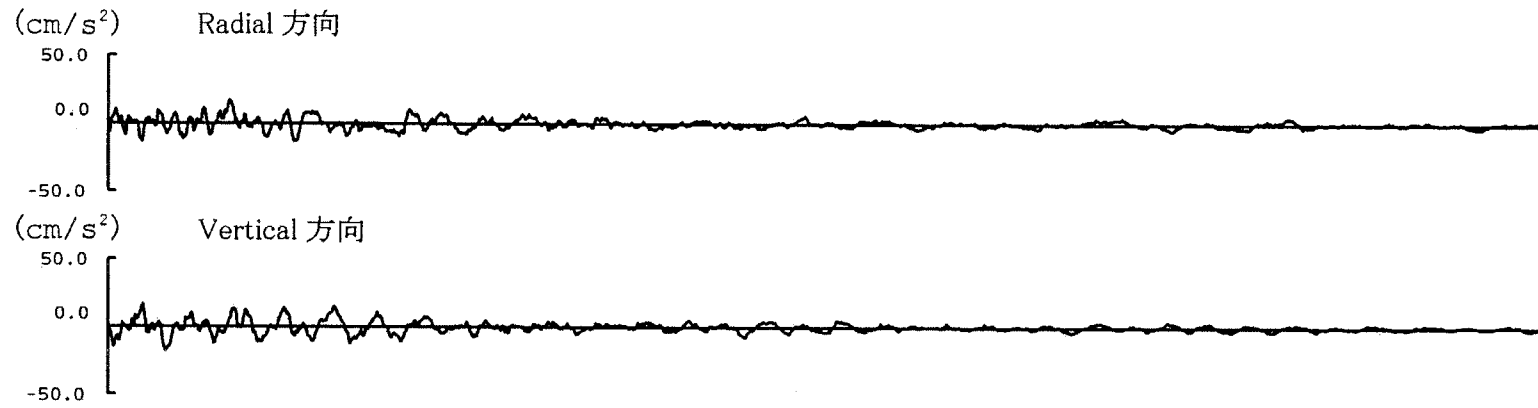


図-10.6(2) 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡  
(周期0.1~5秒の帯域, 時間間隔: 観測記録を40等分)



10-12

図-10.6(3) 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡  
(周期0.1~5秒の帯域, 時間間隔: 観測記録を40等分)

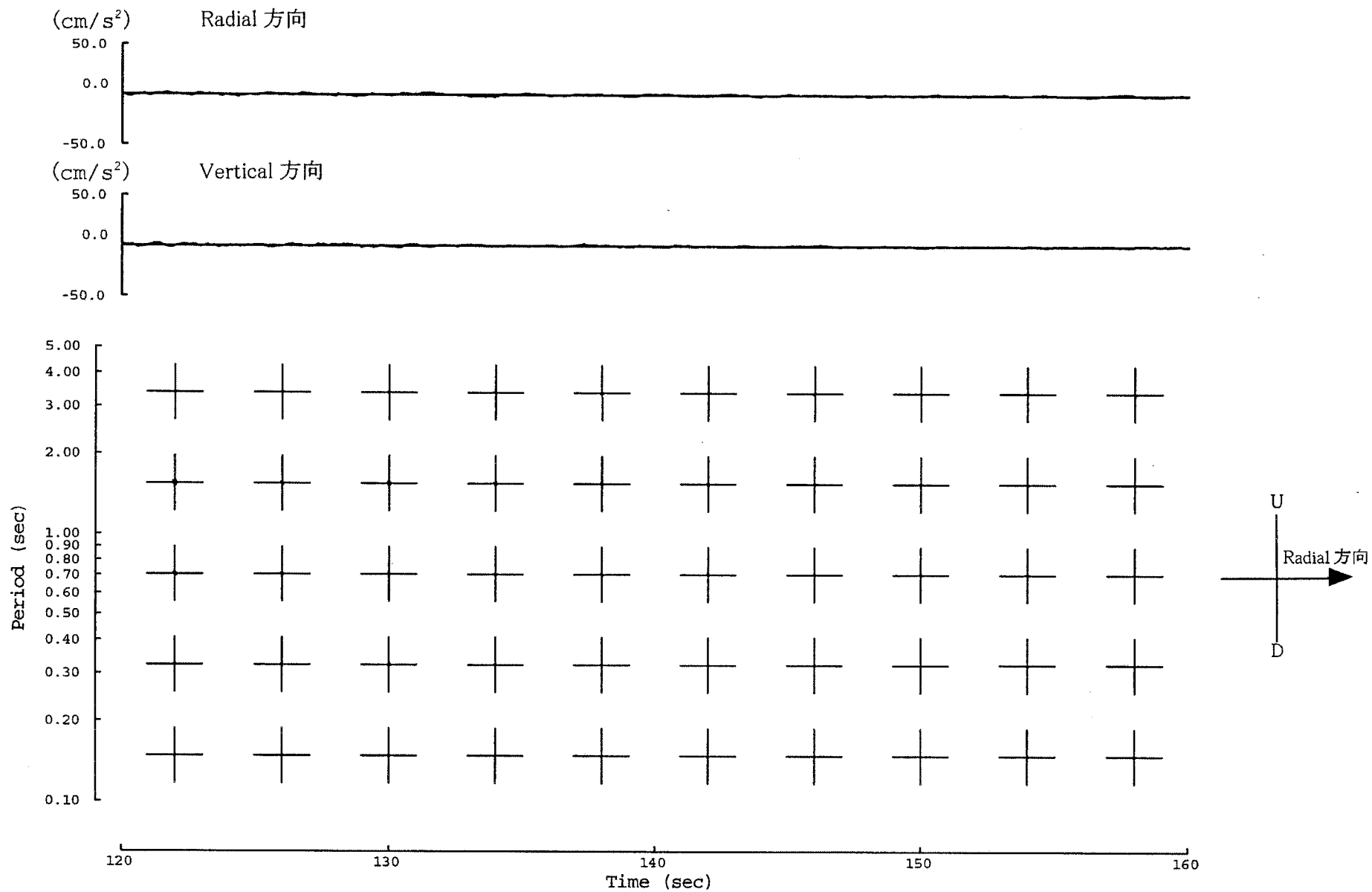


図-10.6(4) 敷地での1993年北海道南西沖地震の観測記録(T.P.-207.5m)から求めたRadial-Vertical面内の粒子軌跡  
(周期0.1~5秒の帯域, 時間間隔: 観測記録を40等分)

## 11. はぎとり解析の同定結果に関して、観測記録の地表におけるフーリエ振幅スペクトル比が2Hzより高振動数側で大きくなる理由

はぎとり解析の同定結果に関して、観測記録の地表におけるフーリエ振幅スペクトル比が2Hzより高振動数側で大きくなる理由について検討している。

観測記録の地表におけるフーリエ振幅スペクトル比が2Hz以降で大きくなる理由としては、表層地盤による影響が大きいと考えられる。

そこで、パラメータスタディとして、表-11.1及び表-11.2に示すような比較解析を実施している。基本モデルでは、地表部分を層厚10mとし、このS波速度を220m/sとしていたが、この10mの部分をも220m/sの層と50m/sの層に2分割し、50m/sの層をそれぞれ、1m、2m、3m、5m、10mと変化させている。

それぞれのケースの1993年釧路沖地震の観測記録の地表におけるフーリエ振幅スペクトル比の結果を図-11.1に示す。これによると、50m/sの層を2mと仮定したケース2が、高振動数側のピークを表現できてはいないものの、基本ケースよりは2Hzより高振動数側のフーリエ振幅スペクトル比が大きくなっており、表層地盤のS波速度の評価が寄与しているものと考えられるとしている。

なお、地表の地震観測記録については、地震計の設置してある地表付近の地盤は必ずしも解析でモデル化したように均質ではないと推定され、これが高振動数側のピークを表現できていない理由の一つと考えられるとしている。

表-11.1 基本モデル

層厚 (m)	単位体積重量 (g/cm <sup>3</sup> )	せん断波速度 (m/s)	減衰定数 h(f)	
			h <sub>0</sub>	α
10	1.59	220	0.115	0.68
15	1.90	700		
75	2.06	1000		
70	1.51	510		
70	1.52	690		
▽解放基盤相当位置(T.P.-207.5m)				
—	1.61	850		

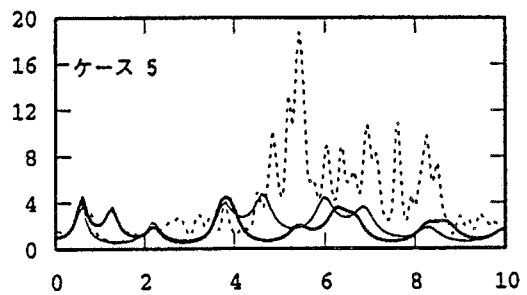
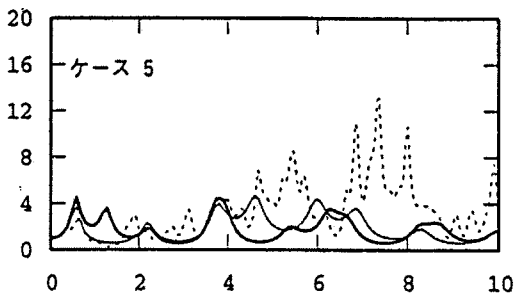
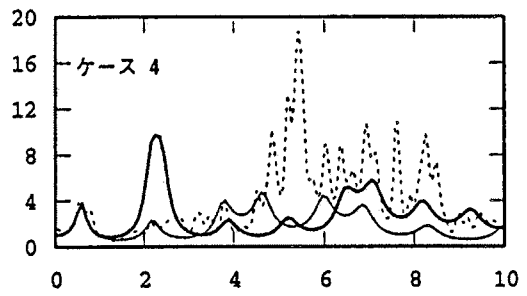
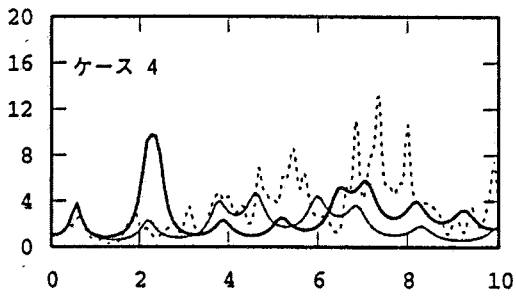
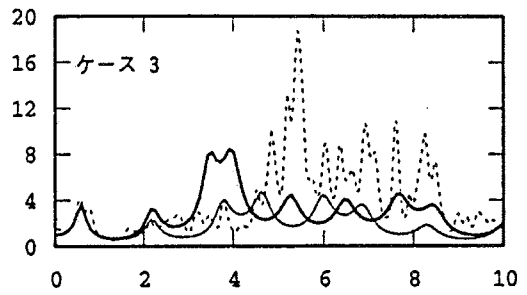
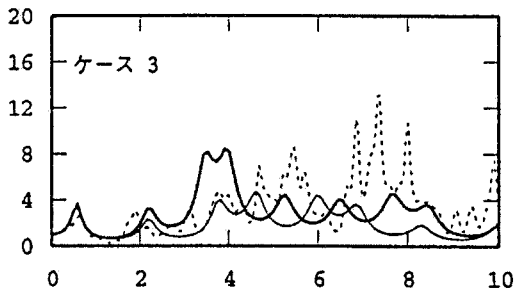
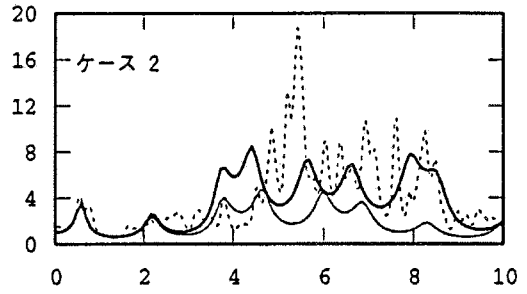
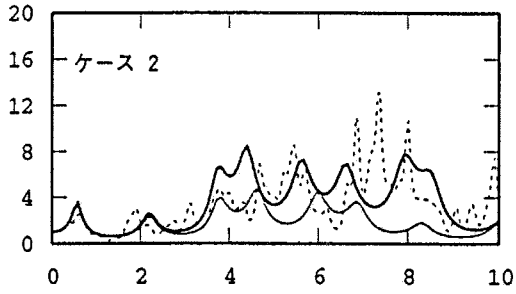
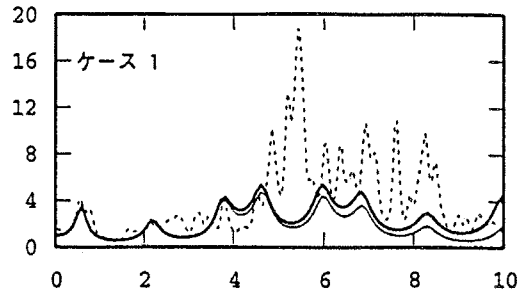
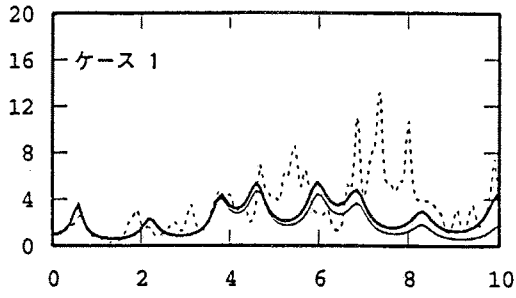
減衰定数 :  $h(f) = h_0 f^{-\alpha}$

表-11.2 パラメータスタディ用地盤モデル(表層10mのみのパラメータ)

	層厚 (m)	せん断波速度 (m/s)
基本モデル	10	220
ケース1	1	50
	9	220
ケース2	2	50
	8	220
ケース3	3	50
	7	220
ケース4	5	50
	5	220
ケース5	10	50

表-1に示した表層10mの部分を、上記のような地盤モデルとしてパラメータスタディを行った。ただし、単位体積重量及び減衰定数はどちらも同じものとしている。

——— 検討ケース  
 ——— 基本モデル  
 - - - 観測記録



振動数 (Hz)

NS 成分

振動数 (Hz)

EW 成分

図-11.1 1993 年釧路沖地震の観測記録の地表における  
 フーリエ振幅スペクトル比 (T.P.32.5m/T.P.-207.5m) の結果

## 12. 基準地震動の位相特性について

基準地震動の位相特性について以下のとおり検討している。

目標応答スペクトルを満足するような模擬地震波を作成するにあたっては、正弦波の重ね合わせにより合成している。正弦波による重ね合わせは、時刻歴波形のフーリエ変換を利用した方法である。

時刻歴波形のフーリエ変換が振幅スペクトルと位相スペクトルに分解できることから、下式に示すように、地震波を振幅スペクトルと位相スペクトルの形として表現し、正弦波の重ね合わせにより地震波を作成している。この作成の概念を図-12.1 に示す。

$$f(t) = E(t) \sum_{i=1}^{N/2} [A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \phi_i)]$$

$f(t)$  : 模擬地震波

$E(t)$  : 振幅包絡線

$N$  : データ数  $N = T_d / \Delta t$   
 $T_d$ は継続時間,  $\Delta t$ は時間刻み

$\omega_i$  : 円振動数

$$\omega_i = 2\pi / T_i = (2\pi / N \Delta t) \cdot i \quad (i=1, \dots, N/2)$$

$A_i$  : 振幅スペクトル

$\phi_i$  : 位相スペクトル

位相特性の設定については、「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-1987)によれば、次の4つの方法が示されている。

- ① 実地震動の位相特性を用いて作成する方法
- ② 一様乱数とした位相と振幅包絡線を使用する方法
- ③ 一様乱数とした位相と、対象周期範囲別に形状を変えた振幅包絡線を使用する方法
- ④ 位相特性をパルス位相、指数関数位相及び乱数位相の混合とする方法

大間地点における模擬地震波の作成に際しては②を採用しており、位相特性は、 $0 \sim 2\pi$ の一様乱数として与えているとしている。

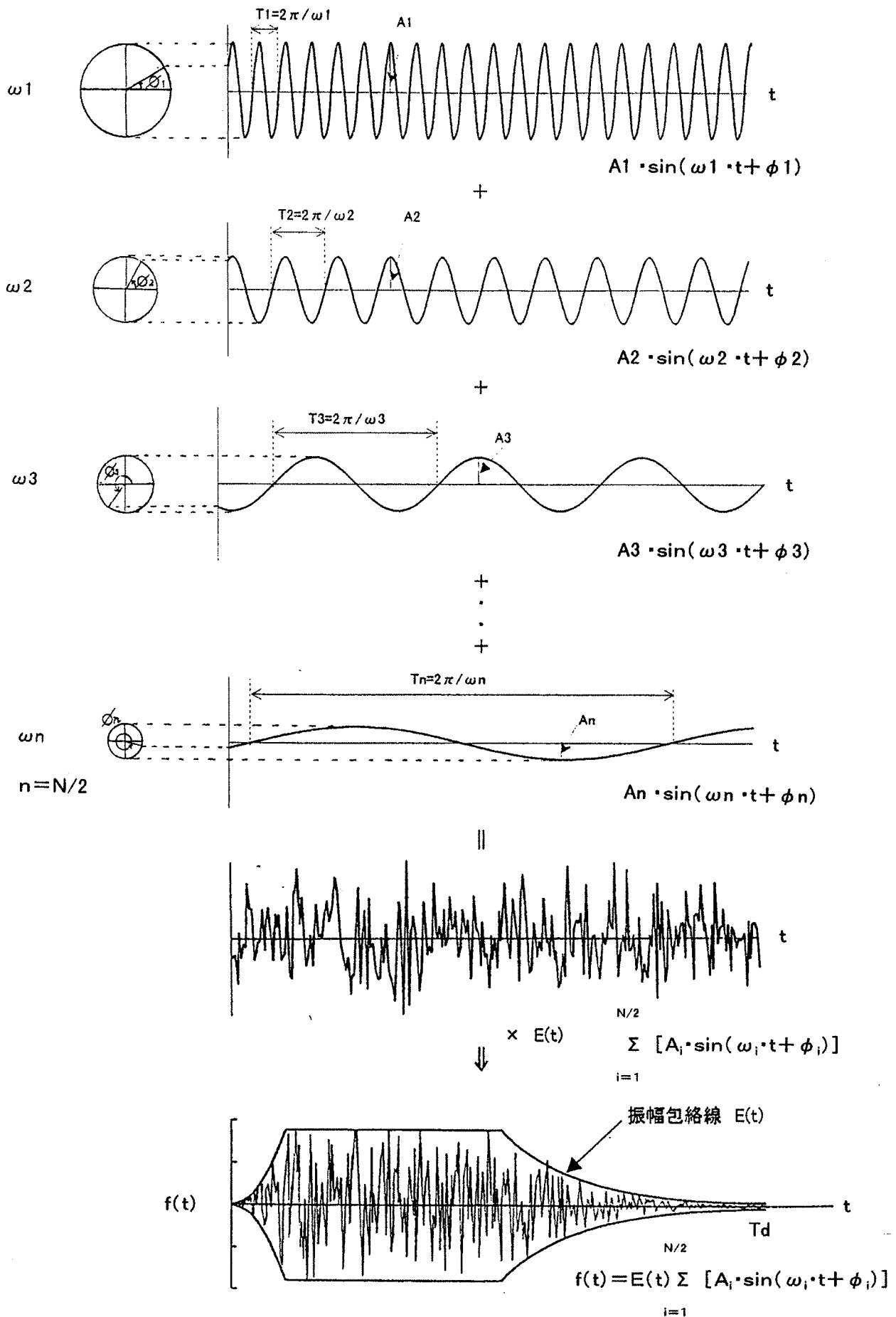


図-12.1 模擬地震波作成の概念

### 13. 検討結果

以上のことから、申請者が実施した地震・地震動に関する前述の「2.」～「12.」についての調査・解析・評価は妥当なものと判断した。