

電源開発株式会社
大間原子力発電所

基準地震動

平成16年8月
原子力発電安全審査課

目 次

1. 検討目的	1
2. 検討内容	2
2.1 考慮する地震	2
(1) 過去の地震	2
(2) 活断層	2
(3) 地震地体構造	6
(4) 直下地震	9
2.2 地震動特性	10
(1) 地震動の最大振幅及び周波数特性	10
(2) 地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化	11
2.3 地震観測	12
2.4 基準地震動	14
(1) 設計用応答スペクトル	14
(2) 設計用模擬地震動	15
3. 検討結果	16
参考文献	17

1. 検討目的

過去の地震及び活断層から設計用最強地震が適切に定められ、また、活断層、地震地体構造及び直下地震から設計用限界地震が適切に定められているかどうかの検討を行う。

さらに、設計用最強地震、設計用限界地震等に基づき、敷地に想定される基準地震動 S_1 及び S_2 について、地震動の諸特性及び模擬地震動の妥当性の検討を行う。

2. 検討内容

2.1 考慮する地震

(1) 過去の地震

申請者は、主な被害地震として、1766年津軽の地震及び1968年十勝沖地震を選定している。

さらに、これらの地震の中から、敷地に大きな影響を与えたと推定される地震として、1766年津軽の地震(マグニチュード(M) $7\frac{1}{4}$ 、震央距離(Δ) = 96km)を選定し、設計用最強地震の対象として考慮している。

敷地からの震央距離が250km程度以内の過去の地震による震央分布を図-1に、それらの地震による敷地への影響を図-2に示す。また、主な被害地震が敷地へ与えた影響を、後述する標準応答スペクトルに基づき評価したものを図-3に示す。

なお、1993年釧路沖地震は敷地及び敷地周辺への影響はなかったものの、敷地において最も大きな観測記録であることから、後述の「2.3 地震観測」において扱うこととしている。

(2) 活断層

活断層に関する最新の集大成である文献として「[新編]日本の活断層」⁽¹⁾がある。

表-1及び図-4は、「[新編]日本の活断層」及び敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき、断層長さや敷地からの距離との関係から敷地に影響を及ぼすおそれのある敷地の周辺の主な活

断層を示したものである。図-5は、これらの活断層について、断層長さから想定される地震のマグニチュードと断層の中央を震央とした震央距離及び敷地で想定される震度の関係を示したものである。

なお、断層長さと地震のマグニチュードの関係は松田による下式⁽²⁾により定めている。

$$M = \frac{1}{0.6} (\log L + 2.9)$$

ここで、

M : 地震のマグニチュード

L : 断層長さ(km)

a. 函館平野西縁断層帯

函館平野西縁断層帯は、敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき、断層長さ約28kmの海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯及び断層長さ約26kmの海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯の活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は、図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

なお、「北海道活断層図 No.2 函館平野西縁断層帯 活断層図とその解説」⁽³⁾によると、同断層帯の陸域部分の活動度はB級とされている。

以上のことから、申請者は、断層長さ及び敷地からの距離の関係から敷地へ与える影響が大きいと考えられる海域南東延長部を含

む函館平野西縁断層帯による地震(M7.2, $\Delta=39\text{km}$)を函館平野西縁断層帯による地震とし, 設計用限界地震の対象として考慮している。

b. 根岸西方断層

根岸西方断層は, 敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき, 断層長さ約22kmの活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は, 図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

以上のことから, 根岸西方断層による地震(M7.1, $\Delta=42\text{km}$)は設計用限界地震の対象として考慮するが, 断層長さ及び敷地からの距離の関係から, 敷地へ与える影響は函館平野西縁断層帯による地震を上回るものとはならないとしている。

c. 奥尻海盆東縁断層

奥尻海盆東縁断層は, 敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき, 断層長さ約50kmの活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は, 図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

以上のことから, 奥尻海盆東縁断層による地震(M7.7, $\Delta=86\text{km}$)は設計用限界地震の対象となるが, この断層については, 地震地体構造との関連から考慮することとしている。

d. 恵山岬東方沖断層

恵山岬東方沖断層は、敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき、断層長さ約42.5kmの活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は、図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

以上のことから、恵山岬東方沖断層による地震(M7.5, $\Delta=71\text{km}$)は設計用限界地震の対象として考慮するが、断層長さ及び敷地からの距離の関係から、敷地へ与える影響は函館平野西縁断層帯による地震を上回るものとはならないとしている。

e. 清水山南方断層

清水山南方断層は、敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき、断層長さ約11kmの活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は、図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

以上のことから、清水山南方断層による地震(M6.6, $\Delta=28\text{km}$)は設計用限界地震の対象として考慮するが、断層長さ及び敷地からの距離の関係から、敷地へ与える影響は函館平野西縁断層帯による地震を上回るものとはならないとしている。

f. 敷地西方沖断層

敷地西方沖断層は、敷地周辺の地質・地質構造についての検討結果に基づき、断層長さ約7.2kmの活動性を考慮している。

この断層と過去の地震及び微小地震との関連は、図-6及び図-7に示すとおりみられないとしている。

以上のことから、敷地西方沖断層による地震(M6.3, $\Delta=20\text{km}$)は設計用限界地震の対象として考慮するが、断層長さ及び敷地からの距離の関係から、敷地へ与える影響は函館平野西縁断層帯による地震を上回るものとはならないとしている。

主な活断層が敷地へ与える影響を、後述する標準応答スペクトルに基づき評価したものを図-8に示す。

(3) 地震地体構造

a. 敷地周辺の地震発生状況

敷地の周辺に発生する地震は、日本海溝付近の地震、岩手県沖から十勝沖にかけての海域の地震、地殻内の地震及び太平洋プレート内部のやや深発地震に大別されるとしている。

日本海溝付近ではM8クラスの地震がみられ、岩手県沖から十勝沖にかけての海域ではM7からM8程度の地震が発生している。また、地殻内の地震では奥羽山脈付近から日本海側にかけてM7クラス前半の地震が発生している。

敷地の周辺における太平洋プレート内部のやや深発地震としては、北海道側では二重深発地震面の下面のDE型の地震活動が優勢とされ、東北地方では二重深発地震面の上面のDC型の地震活動が優勢とされているが⁽⁴⁾、敷地に影響を及ぼすような地震は確認

されないとしている。なお、太平洋プレート内部で発生するやや深発地震は、敷地周辺における発生状況、敷地における地震観測記録及び地震波伝播特性等を踏まえ、後述の「2.3 地震観測」において扱うこととしている。

敷地の周辺は、「[新編]日本の活断層」によれば、活断層分布密度及び主要断層の長さは共に中位、主要断層の活動度はB級に属する活断層区に区分されている。

これらのことから、敷地の周辺において地震地体構造上考慮する地震を過去の地震及び活断層との関連で以下のとおり考慮し、設計用限界地震の対象として選定している。

b.地震地体構造上想定する地震

(a) 日本海溝付近の地震

日本海溝付近では、M8クラスの地震が発生しており、歴史的にみた地震規模の最大は、津波による被害が大きかったとされている1896年に三陸沖で発生した地震の $M8\frac{1}{2}$ ⁽⁵⁾である。また、起こり得る地震規模の上限⁽⁶⁾⁽⁷⁾は $M8\frac{1}{2}$ ～ $M8\frac{3}{4}$ 程度とみられている。

このことから、日本海溝付近に $M8\frac{3}{4}$ の地震を想定することが考えられるが、この地震が敷地へ及ぼす影響は、下記で想定するプレート境界付近の地震による影響を上回るものとはならないとしている。

(b) 岩手県沖から十勝沖にかけての海域の地震

岩手県沖から十勝沖にかけての海域において、歴史的にみた地震規模の最大は、1952年に十勝沖で発生した地震のM8.2であり、また、起こり得る地震規模の上限⁽⁶⁾⁽⁷⁾はM8～M8¹/₄程度とみられている。

このような上限規模の地震は、プレート境界部で発生すると考えられることから、敷地に最も影響を及ぼすと考えられるプレート境界の位置(青森県東方沖, $\Delta=90\text{km}$, 震源深さ(H)=60km)にM8¹/₄の地震を想定することとしている。

(c) 地殻内の地震

敷地の周辺の地殻内で発生した地震のうち、歴史的にみた地震規模の最大は、1766年津軽の地震などによるM7¹/₄程度であり、また、起こり得る地震規模の上限⁽⁶⁾⁽⁷⁾はM7¹/₂～M7³/₄程度とみられている。

このような上限規模の地震は、その規模に相当する活断層との関連で、函館平野西縁断層帯の位置にM7¹/₂の地震、奥尻海盆東縁断層の位置にM7³/₄の地震を想定することが考えられるが、後者が敷地へ与える影響は、前者による影響を上回るものとはならない。このことから、敷地へ最も影響を及ぼすと考えられる函館平野西縁断層帯の位置($\Delta=39\text{km}$)にM7¹/₂の地震を想定することとしている。

(4) 直下地震

震源距離(X)10kmの位置にM6.5の直下地震を設計用限界地震として考慮している。

以上の検討に基づき、耐震設計上考慮する設計用最強地震及び設計用限界地震の対象としている地震を表-2に示す。

2.2 地震動特性

基準地震動は、地震動の最大振幅、周波数特性及び継続時間・振幅包絡線の経時的変化を考慮して定めている。

(1) 地震動の最大振幅及び周波数特性

地震動の最大振幅は、敷地の解放基盤表面における最大速度振幅として、金井による下式⁽⁸⁾により定めている。

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

ここで、

V_{\max} : 解放基盤表面における最大速度振幅(cm/s)

M : 地震のマグニチュード

X : 震源距離(km)

Δ : 震央距離(km)

H : 震源深さ(km)

$$X = \sqrt{\Delta^2 + H^2} \quad (\text{km})$$

$$H = 10^{0.353M - 1.435} \quad (\text{km})$$

$$P = 1.66 + \frac{3.60}{X}$$

$$Q = 0.631 + \frac{1.83}{X}$$

地震動の周波数特性は、図-9 に示す標準応答スペクトル⁽⁹⁾に基づいて定めている。

設計用最強地震及び設計用限界地震の対象となる地震による

最大速度振幅を表-2に、応答スペクトルを図-10及び図-11に、その値を表-3に示す。

(2) 地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化

地震動の継続時間は下式⁽⁹⁾により定めている。

$$T_d = 10^{0.31M - 0.774}$$

ここで、

T_d : 地震動の振幅が最大振幅の 1/10 となるまでの継続時間(秒)

M : 地震のマグニチュード

また、地震動の振幅包絡線の経時的変化は、上記の継続時間と関係付けた図-12に示す形状で与えている。

2.3 地震観測

敷地地盤における地震観測は、図-13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-4に示す地震について、応答スペクトル解析を行った。これらの地震の震央分布を図-14に示す。なお、敷地の北部に存在するデイサイト及びデイサイトの下位に見られる玄武岩を考慮した解析によると、デイサイト及び玄武岩が最も深い地震観測点における地震動へ及ぼす影響は小さいとしている。

図-15は、岩盤内の記録の応答スペクトルを示したものである。この図によると、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。

上記の地震のうち、1993年釧路沖地震について、地盤の各深さで得られた記録の応答スペクトルを図-16に示す。この図によると、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。また、この観測記録は周期0.8秒付近にピークが認められ、震央距離が遠いにもかかわらず短周期側において大きいという特徴を有しており、この特徴の要因としては短周期成分を強く発生した震源特性⁽¹⁰⁾の影響、地震波減衰が生じにくい伝播特性⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の影響及び

周期0.8秒付近の地盤振動モードの検討等から地盤の振動特性の影響がそれぞれ考えられるとしている。

以上を踏まえて、1993年釧路沖地震による敷地及び敷地周辺への影響はなかったが、同地震の観測記録は、敷地地盤における最も大きな観測記録であり、設計用応答スペクトルの策定において考慮するとしている。

なお、1993年釧路沖地震は太平洋プレート内部で発生したやや深発地震であり、やや深発地震は過去に敷地周辺において発生していることから⁽¹³⁾、以下のとおりやや深発地震を敷地周辺に想定し、設計用応答スペクトルの策定において考慮するとしている。すなわち、二重深発地震面の下面で発生するDE型のやや深発地震は北海道側で活発であるため、敷地から最も近い東北日本弧と千島弧の会合部付近に、震源深さを1993年釧路沖地震と同様の深さ100kmとし、規模は1993年釧路沖地震と同じM7.5の地震を想定するとしている。また、二重深発地震面の上面で発生するDC型のやや深発地震は東北地方で活発なため⁽⁴⁾、震源位置を敷地下方の上面に相当する深さ125kmとし、規模については、東北地方では大きくともM7.0未満が普通であること⁽¹⁴⁾及びDC型の地震である2003年宮城県沖の地震の規模を考慮してM7.1の地震を想定するとしている。

2.4 基準地震動

基準地震動は、設計用応答スペクトルに適合する設計用模擬地震動で表わすものとしている。

(1) 設計用応答スペクトル

基準地震動 S_1 及び S_2 の応答スペクトルは、図-10及び図-11に示すように「2.2 地震動特性」において求めた応答スペクトルの全てを包絡する設計用応答スペクトル S_1-D 及び S_2-D を採用しており、その値を表-3に示す。

さらに、設計用応答スペクトル S_1-D は、敷地内地震観測に示した観測点の地震観測記録から得られるフーリエ振幅スペクトル比に対する同定解析に基づき設定したS波速度、減衰定数等の地盤定数を用いて求めた1993年釧路沖地震の最も深い観測点における観測記録のはぎとり波の応答スペクトルを包絡している。

また、設計用応答スペクトル S_2-D は、「2.3 地震観測」において想定したDC型の地震及びDE型の地震について、高橋・他(1998)⁽¹⁵⁾による距離減衰式に基づき算定した敷地における応答スペクトルを包絡している。さらに、DE型の地震については Takemura and Ikeura(1988)⁽¹⁶⁾による波形合成法、及び1993年釧路沖地震観測記録をプレート内を伝播する距離の効果⁽¹¹⁾⁽¹²⁾で補正した方法により求めた敷地における応答スペクトルを包絡している。

(2) 設計用模擬地震動

基準地震動 S_1 は設計用模擬地震動 S_1-D で、また、基準地震動 S_2 は設計用模擬地震動 S_2-D で表わすものとし、設計用模擬地震動 S_1-D 及び S_2-D の周波数－振幅特性についてはそれぞれの応答スペクトル S_1-D 及び S_2-D に適合するように、正弦波の重ね合わせによって作成している。

基準地震動 S_1 及び S_2 の設計用模擬地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化は図-12に基づいて定めており、表-5に示す。

模擬地震動の応答スペクトルの設計用応答スペクトルへの適合度の判定は、減衰定数5%の応答スペクトルに対して以下の2項目により行っている。

- ① 応答スペクトル比が 0.85 以上
- ② SI比が 1.0 以上

作成した設計用模擬地震動の最大速度振幅等を表-6に、作成波形を図-17に示す。また、設計用応答スペクトルに対する設計用模擬地震動の応答スペクトルの比を図-18に示す。

基準地震動策定フローを図-19に示す。

3. 検討結果

以上の検討から、過去の地震から設計用最強地震が適切に定められ、また、活断層、地震地体構造及び直下地震から設計用限界地震が適切に定められているものとする。

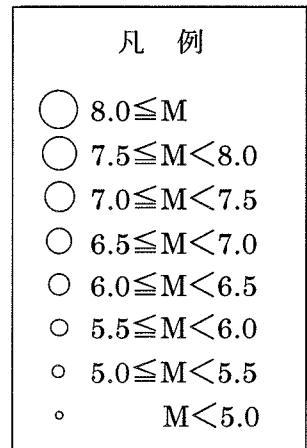
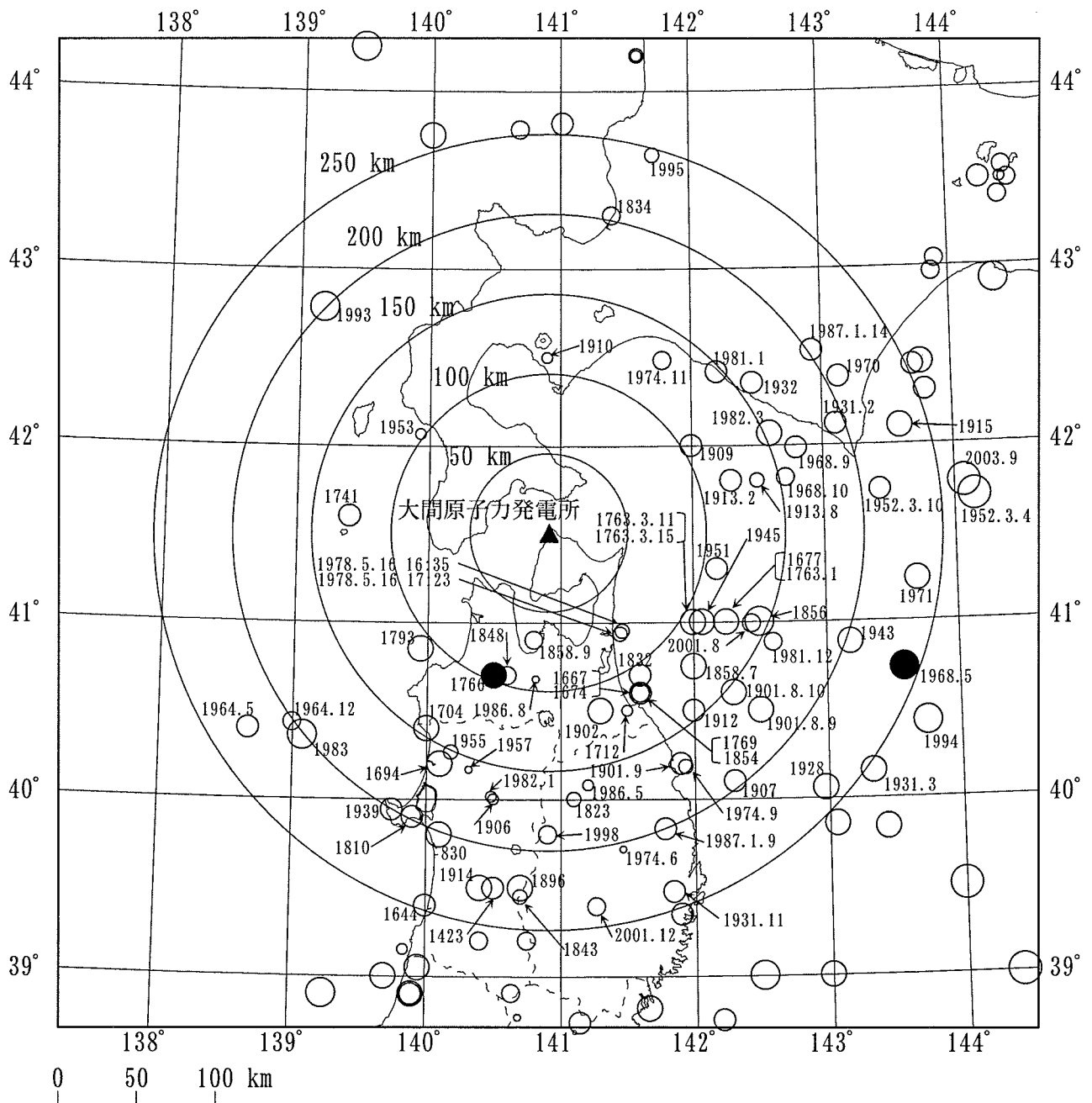
さらに、基準地震動 S_1 は設計用最強地震及び敷地地盤における地震観測記録に基づき、基準地震動 S_2 は設計用限界地震等に基づき適切に設定されており、それらの地震動の諸特性及び模擬地震動は妥当なものとする。

参考文献

- (1) 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会
- (2) 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第 28 卷
- (3) 北海道(1999):北海道活断層図 No.2 函館平野西縁断層帯 活断層図とその解説
- (4) 海野徳仁・長谷川昭・高木章雄・鈴木貞臣・本谷義信・亀谷悟・田中和夫・澤田義博(1984):北海道および東北地方における稍深発地震の発震機構, 地震第2輯, 第 37 卷
- (5) 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
- (6) Omote Syun'itiro, Ohsaki Yorihiro, Kakimi Toshihiro, and Matsuda Tokihiko (1980):Japanese practice for estimating the expected maximum earthquake force at a nuclear power plant site, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.13, No.1
- (7) 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震第2輯, 第 55 卷
- (8) Kanai Kiyosi and Suzuki Tomisaburo(1968):Expectancy of the Maximum Velocity Amplitude of Earthquake Motions at Bed Rock, Bull.Earthq.Res.Inst., Vol.46

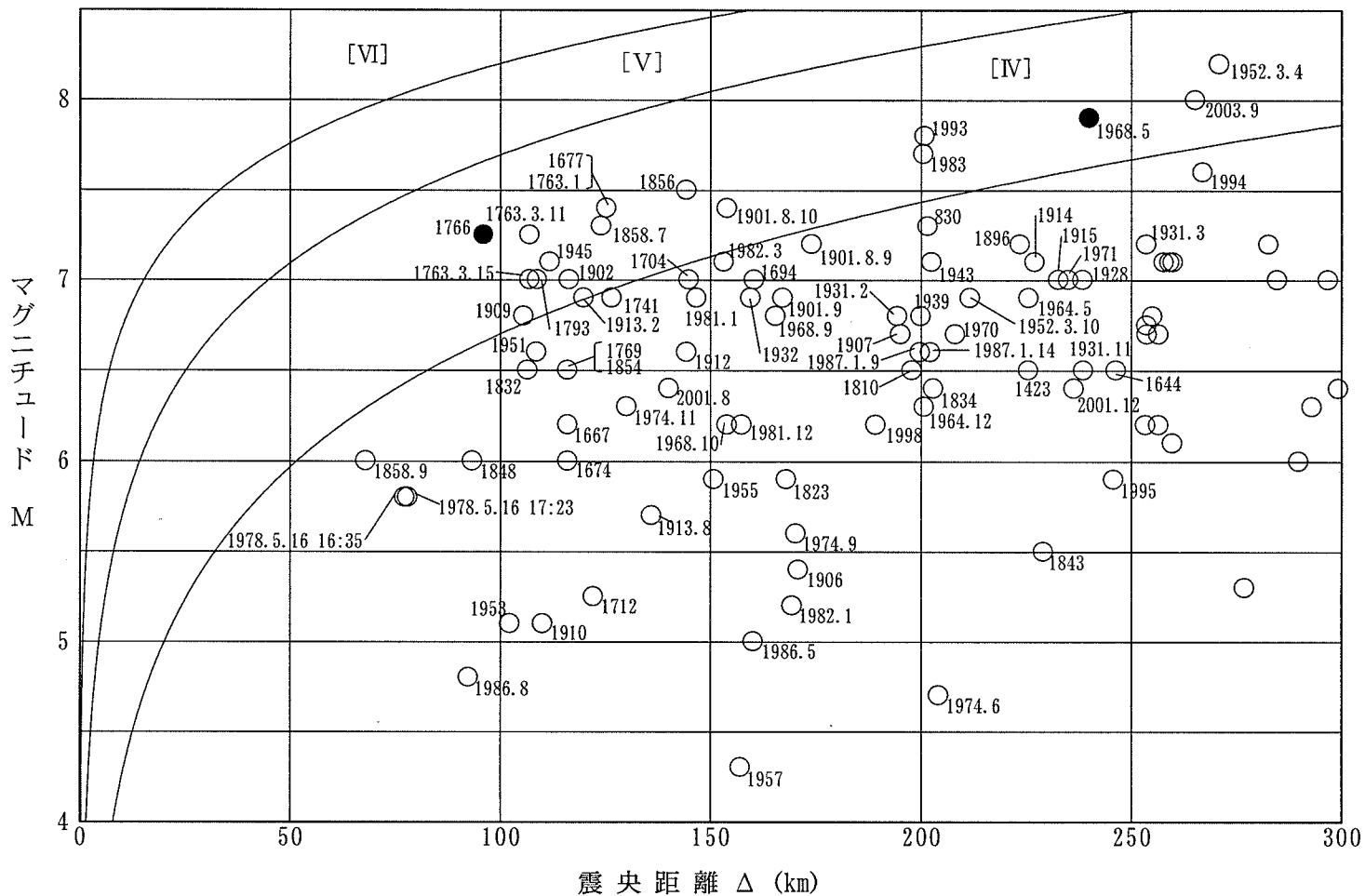
- (9) Ohsaki Yoriyiko (1979) : Guideline for Evaluation of Basic Design Earthquake Ground Motions
- (10) Mahdavian Abbas and Sasatani Tsutomu (1996) : S-Wave Spectra from Strong Motion Seismograms : Source Parameters and Site Response, the Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University Series VII (Geophysics), Vol.10, No.1
- (11) 高井伸雄・梅田浩士・岡田成幸(1999) :地震波伝播経路を考慮した広域震度分布予測手法の開発－1.考え方－, 日本建築学会北海道支部研究報告書 No.72
- (12) 梅田浩士・高井伸雄・岡田成幸(1999) :地震波伝播経路を考慮した広域震度分布予測手法の開発－2.北海道における予測式の構成とその適用例－, 日本建築学会北海道支部研究報告書 No.72
- (13) 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
- (14) 国土地理院(1994) :地震予知観測の成果(1), 地震予知連絡会地域部会報告第4巻
- (15) 高橋克也・武村雅之・藤堂正善・渡辺孝英・野田静男(1998) : 様々な岩盤上での強震動応答スペクトルの予測式, 第10回日本地震工学シンポジウム
- (16) Takemura Masayuki and Ikeura Tomonori (1988) : A SEMI-EMPIRICAL METHOD USING A HYBRID OF STOCHASTIC AND DETERMINISTIC FAULT MODELS:

SIMULATION OF STRONG GROUND MOTIONS DURING
LARGE EARTHQUAKES, J. Phys. Earth, 36



●は、主な被害地震を示す。

図-1 敷地周辺の被害地震の震央分布



	年月日 地名(地震名)	基盤速度 (cm/s)
主な被害地震	1766.3.8 津軽	2.52
	1968.5.16 青森県東方沖 (1968年十勝沖地震)	1.56

●は、主な被害地震を示す。

〔 数字は年号。
〔IV〕；〔V〕，〔VI〕は気象庁震度階級で、震度の境界線
は、村松(1969)，勝又・他(1971)による。 〕

図-2 敷地周辺の被害地震のマグニチュードー震央距離

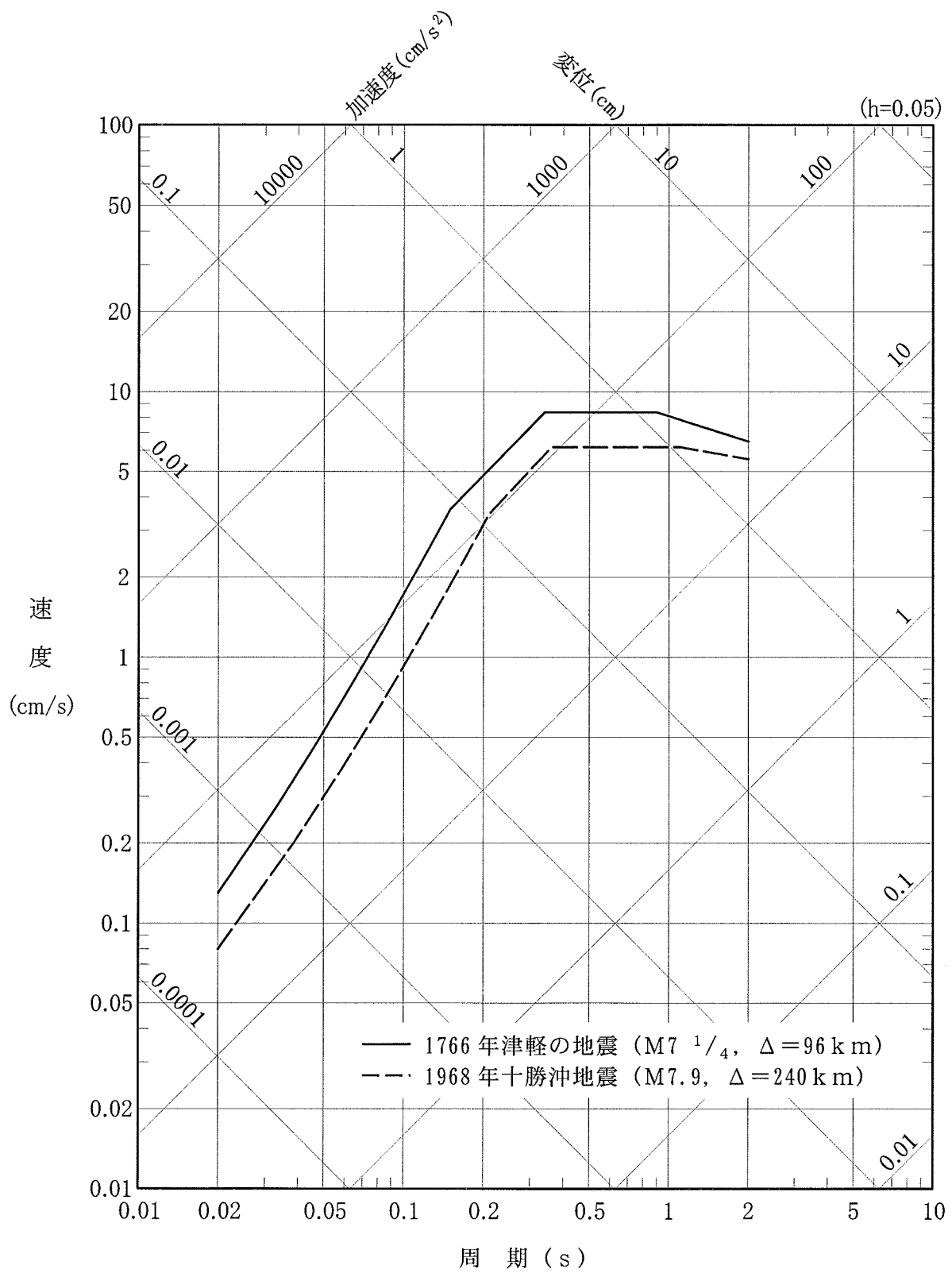
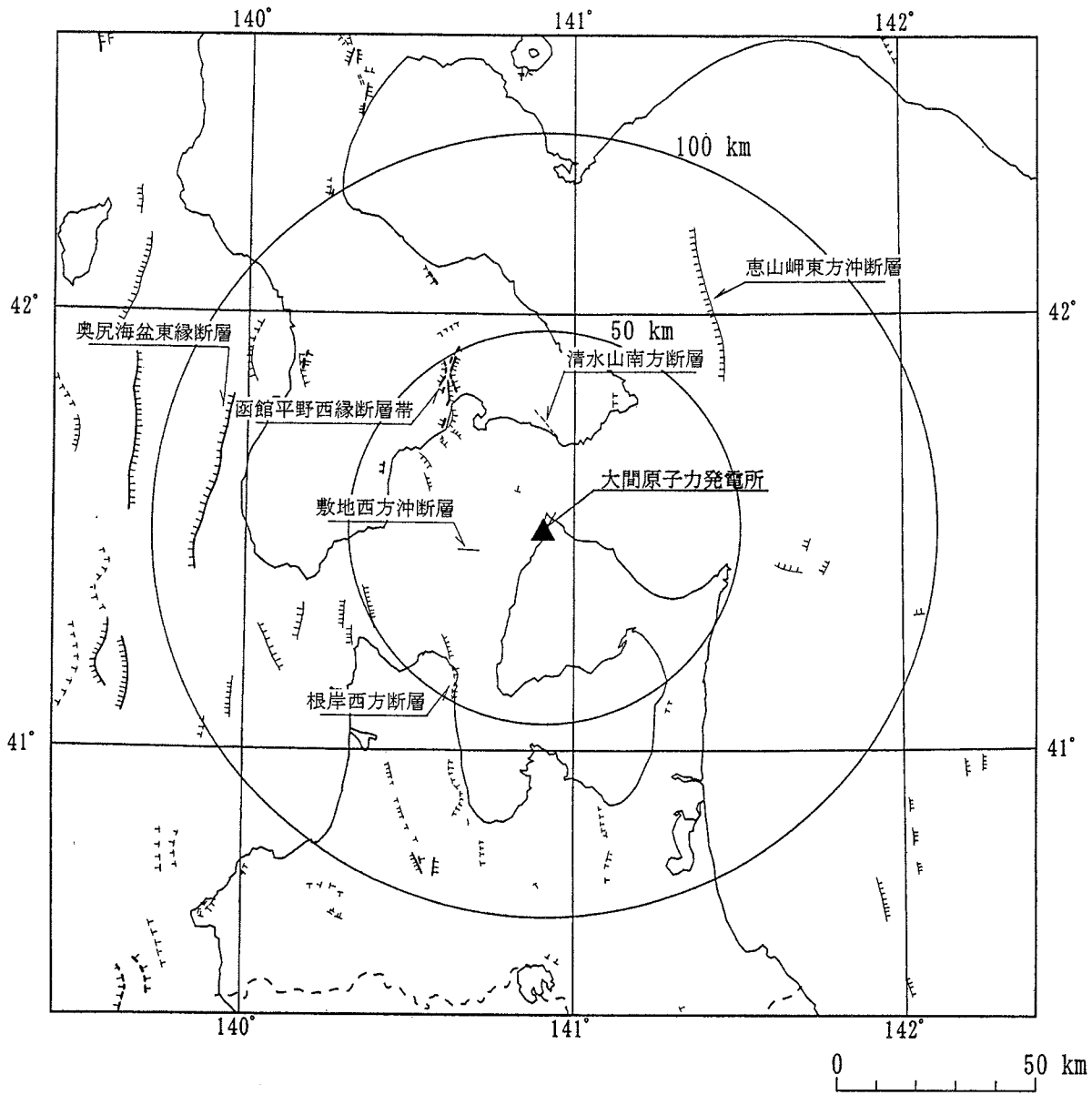


図-3 主な被害地震の応答スペクトル

表-1 敷地周辺の主な活断層

No.	断層名	評価長さ (km)	マグニチュード M	震央距離 (km)	最大速度振幅 (cm/s)
1	函館平野西縁断層帯	26	7.2	39	7.9
2	根岸西方断層	22	7.1	42	6.3
3	奥尻海盆東縁断層	50	7.7	86	5.5
4	恵山岬東方沖断層	42.5	7.5	71	5.4
5	清水山南方断層	11	6.6	28	5.3
6	敷地西方沖断層	7.2	6.3	20	5.1



凡 例

陸 域		海 域	
确实度 I		崖高 > 200m	
确实度 II		崖高 < 200m	
确实度 III		确实	推定
(清水山南方断層のみ表示)			

(「[新編]日本の活断層」に、一部加筆)

図-4 活断層分布

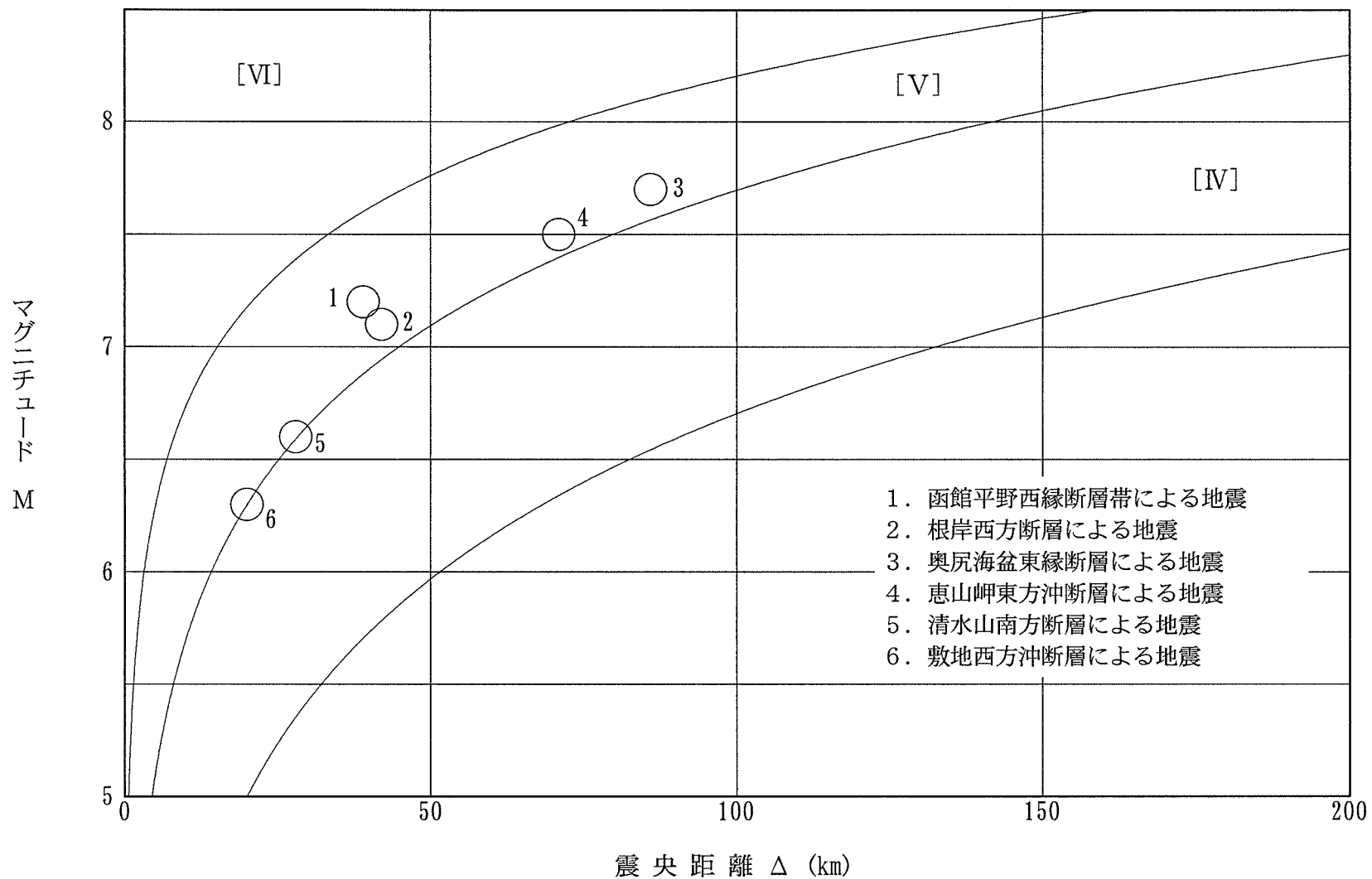


図-5 敷地周辺の主な活断層から想定される地震

[[IV], [V], [VI]は気象庁震度階級で、震度の境界線は、
 村松(1969), 勝又・他(1971)による。]

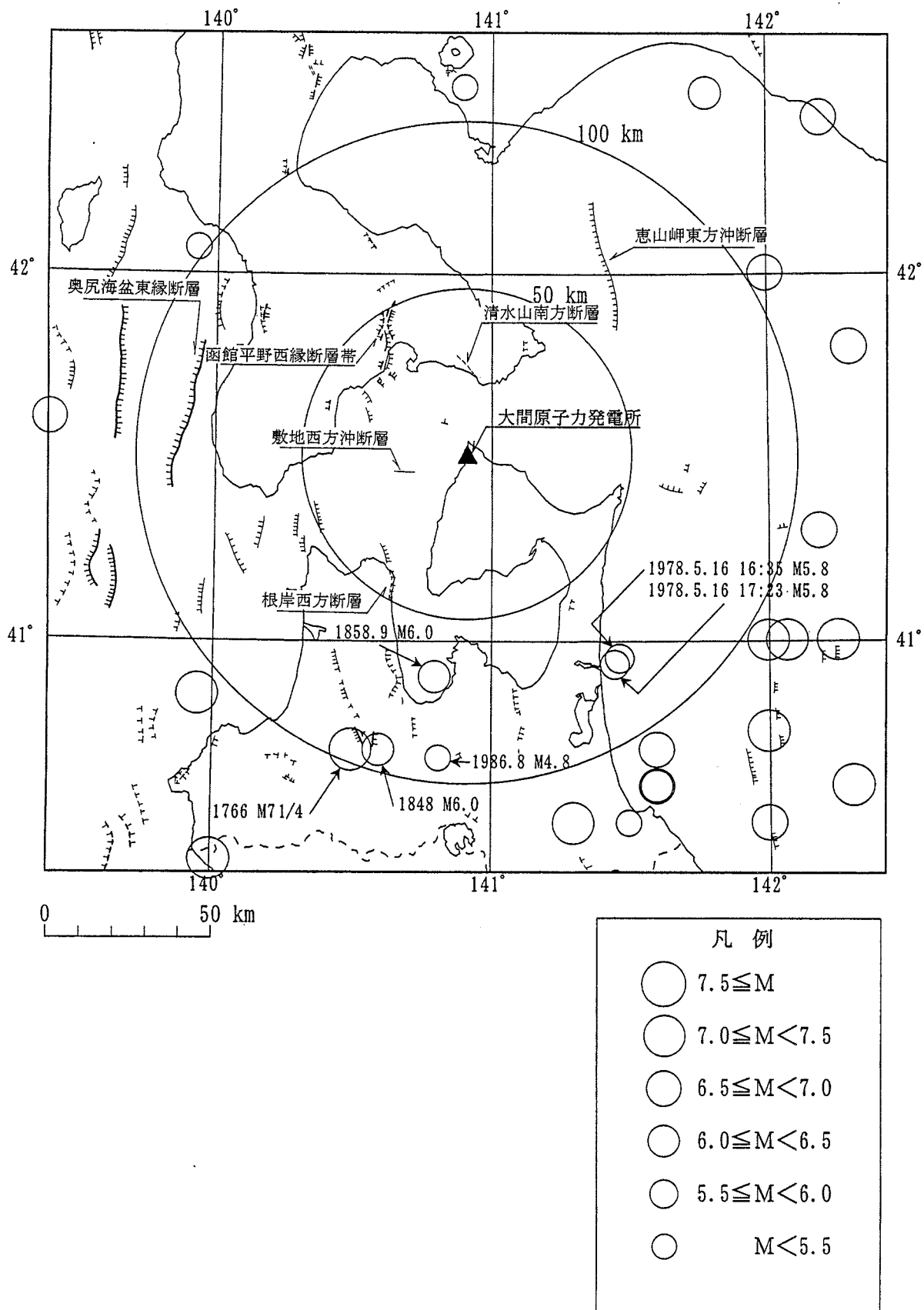


図-6 活断層分布と過去の地震の震央分布
 [活断層分布は図-4による。
 過去の地震の震央分布は図-1による。]

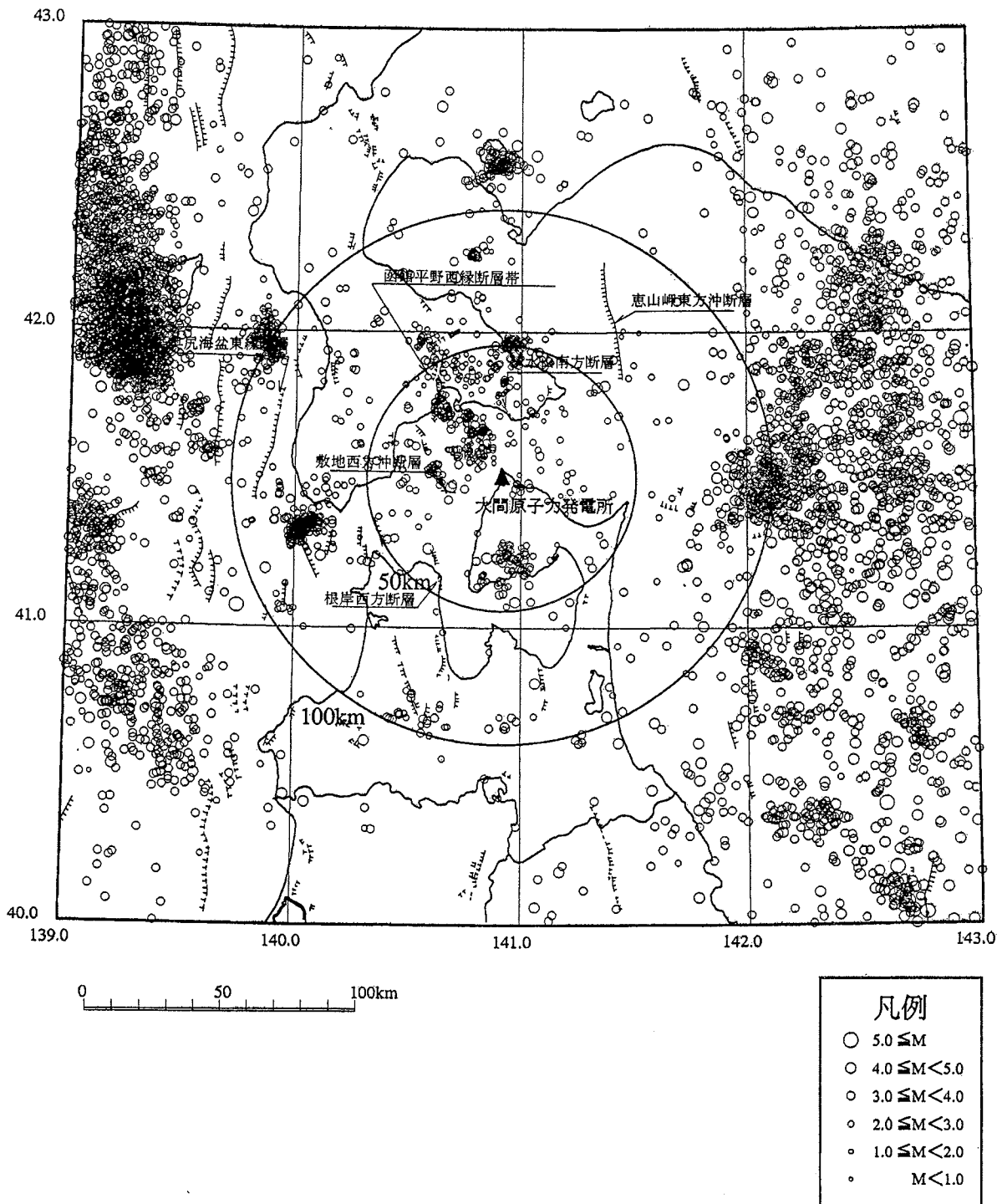


図-7 活断層分布と微小地震の震央分布
 (活断層分布は図-4による。)
 (微小地震の震源深さ: 0km ~ 30km)

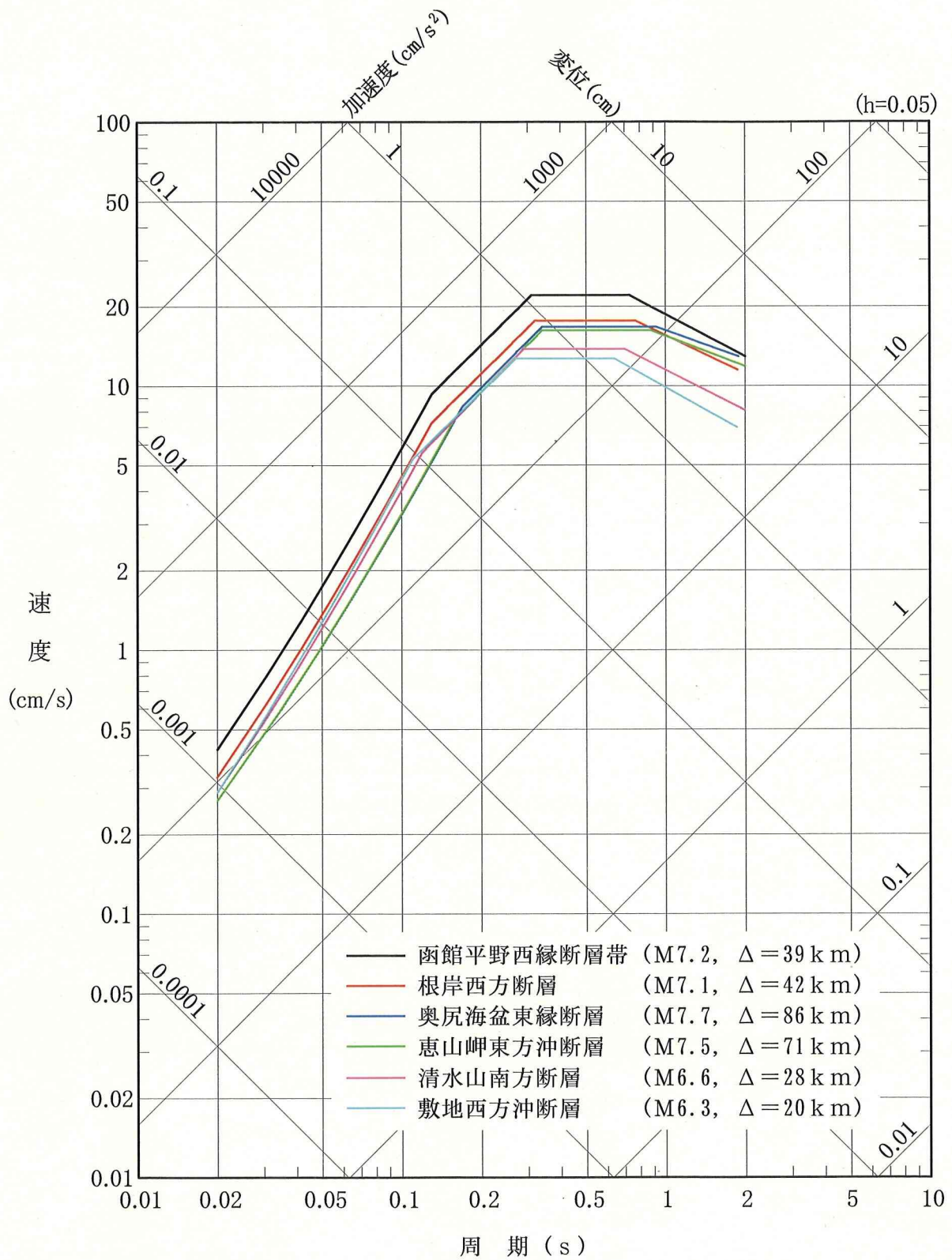
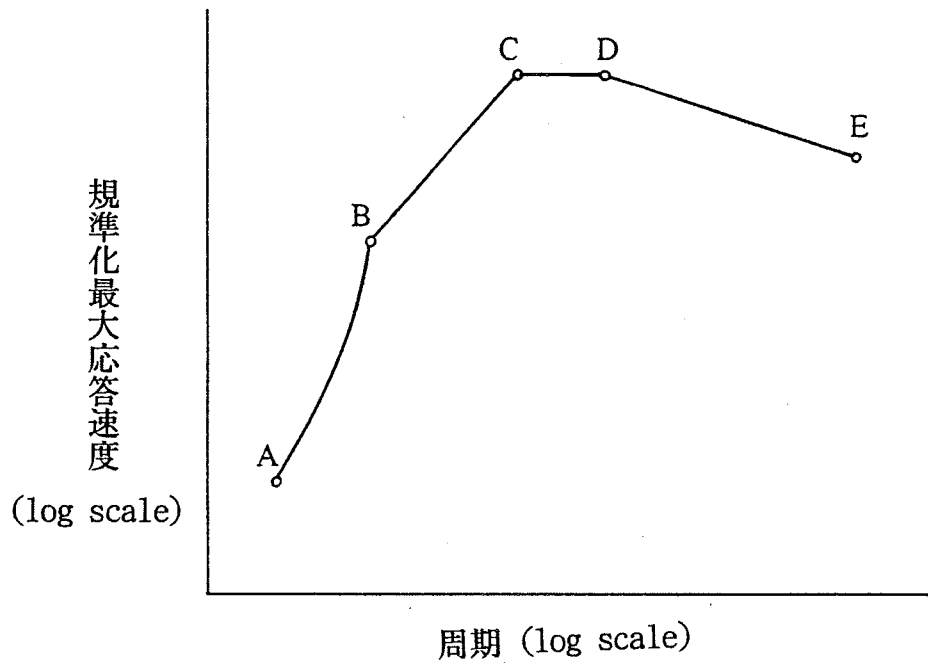


図-8 主な活断層による地震の応答スペクトル

表-2 考慮する地震

種 別		考 慮 す る 地 震			
		マグニチュード M	震央距離 Δ (km)	最大速度振幅 (cm/s)	備 考
設計用最強地震	S ₁ -1	7 1/4	96	2.5	・「過去の地震」 1766年3月8日津軽の地震
設計用限界地震	S ₂ -1	7.2	39	7.9	・「活断層」 函館平野西縁断層帯による地震
	S ₂ -2	8 1/4	90	8.7	・「地震地体構造」 プレート境界地震
	S ₂ -3	7 1/2	39	11.6	・「地震地体構造」 函館平野西縁断層帯の位置
	S ₂ -4	6.5	—	13.5	・直下地震



応答スペクトルのコントロールポイント

(h=0.05)

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		0.6	0.10	10	0.30	30	0.50	30		12
	7	10	0.02	0.7	0.10	11	0.23	24	0.45	24	2.0	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	0.02	0.5	0.13	11	0.33	28	0.80	28	2.0	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	0.02	0.5	0.14	15	0.35	38	0.90	38	2.0	32
	6	60		0.5	0.10	10	0.33	33	0.70	33		20

S_V は10cm/s規準化最大応答速度値 (cm/s)

Tは周期 (s)

hは減衰定数

図-9 標準応答スペクトル

- 設計用応答スペクトル S_1-D
- 1993年釧路沖地震の観測記録(M7.5, $\Delta=325\text{km}$) (NS成分)
- - - 1993年釧路沖地震の観測記録(M7.5, $\Delta=325\text{km}$) (EW成分)
- · - 1766年津軽の地震(M7 1/4, $\Delta=96\text{km}$)

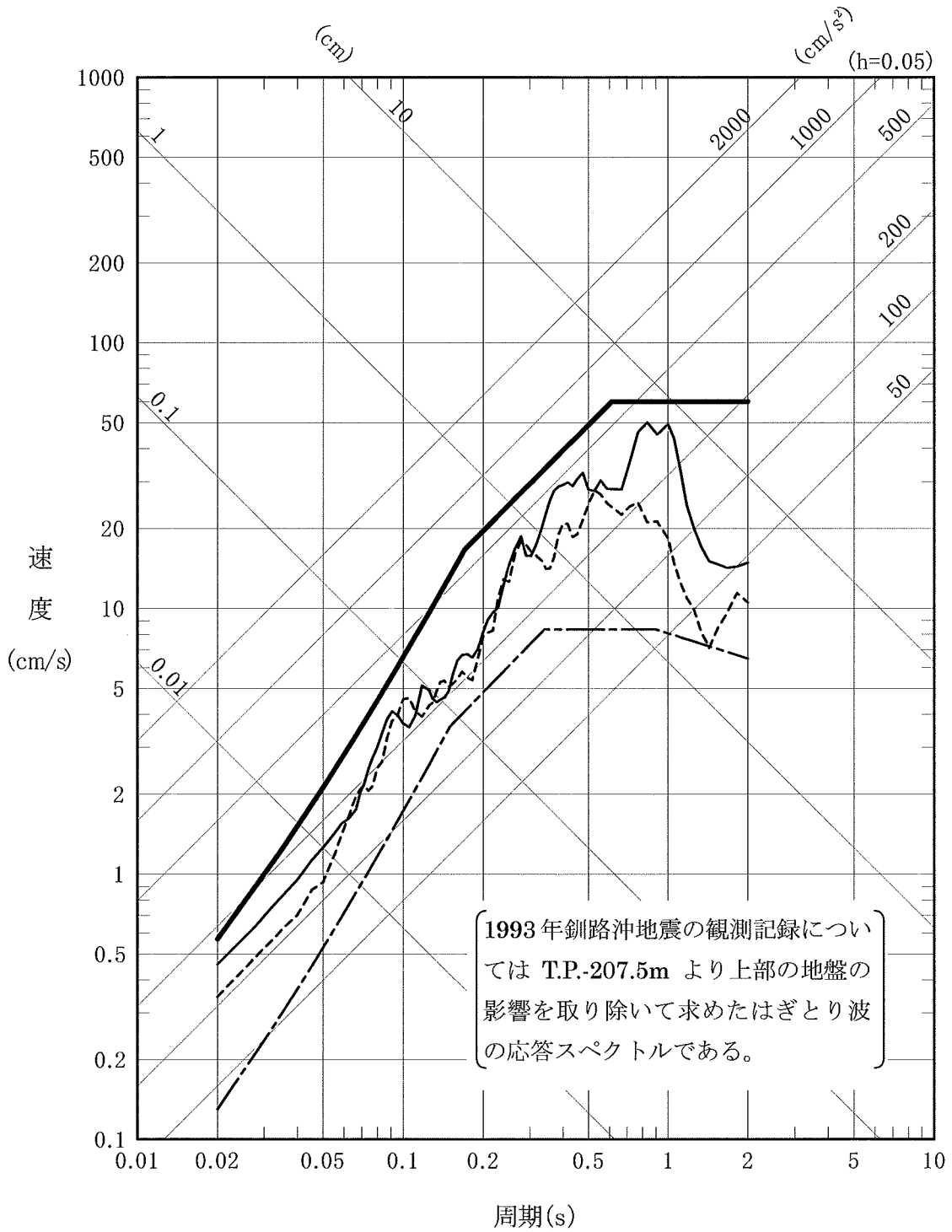


図-10 基準地震動 S_1 並びに S_1 対象地震及び
1993年釧路沖地震の観測記録の応答スペクトル

- 設計用応答スペクトル S_2-D
- - - S_2-1 函館平野西縁断層帯による地震 (M7.2, $\Delta=39\text{km}$)
- - - S_2-2 地震地体構造 プレート境界地震 (M8 1/4, $\Delta=90\text{km}$, $H=60\text{km}$)
- - - S_2-3 地震地体構造 函館平野西縁断層帯の位置 (M7 1/2, $\Delta=39\text{km}$)
- - - S_2-4 直下地震 (M6.5, $X=10\text{km}$)
- DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 応答スペクトルの距離減衰式に基づく方法⁽¹⁵⁾)
- - - DC型の地震 (M7.1, $H=125\text{km}$, 応答スペクトルの距離減衰式に基づく方法⁽¹⁵⁾)
- DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 波形合成法⁽¹⁶⁾, 要素地震は1987年日高山脈北部の地震)(NS成分)
- - - DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 波形合成法⁽¹⁶⁾, 要素地震は1987年日高山脈北部の地震)(EW成分)
- DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 波形合成法⁽¹⁶⁾, 要素地震は1984年6月22日の地震)(NS成分)
- - - DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 波形合成法⁽¹⁶⁾, 要素地震は1984年6月22日の地震)(EW成分)
- DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 1993年釧路沖地震観測記録をプレート内を伝播する距離の効果で補正した方法⁽¹²⁾)(NS成分)
- - - DE型の地震 (M7.5, $H=100\text{km}$, 1993年釧路沖地震観測記録をプレート内を伝播する距離の効果で補正した方法⁽¹²⁾)(EW成分)

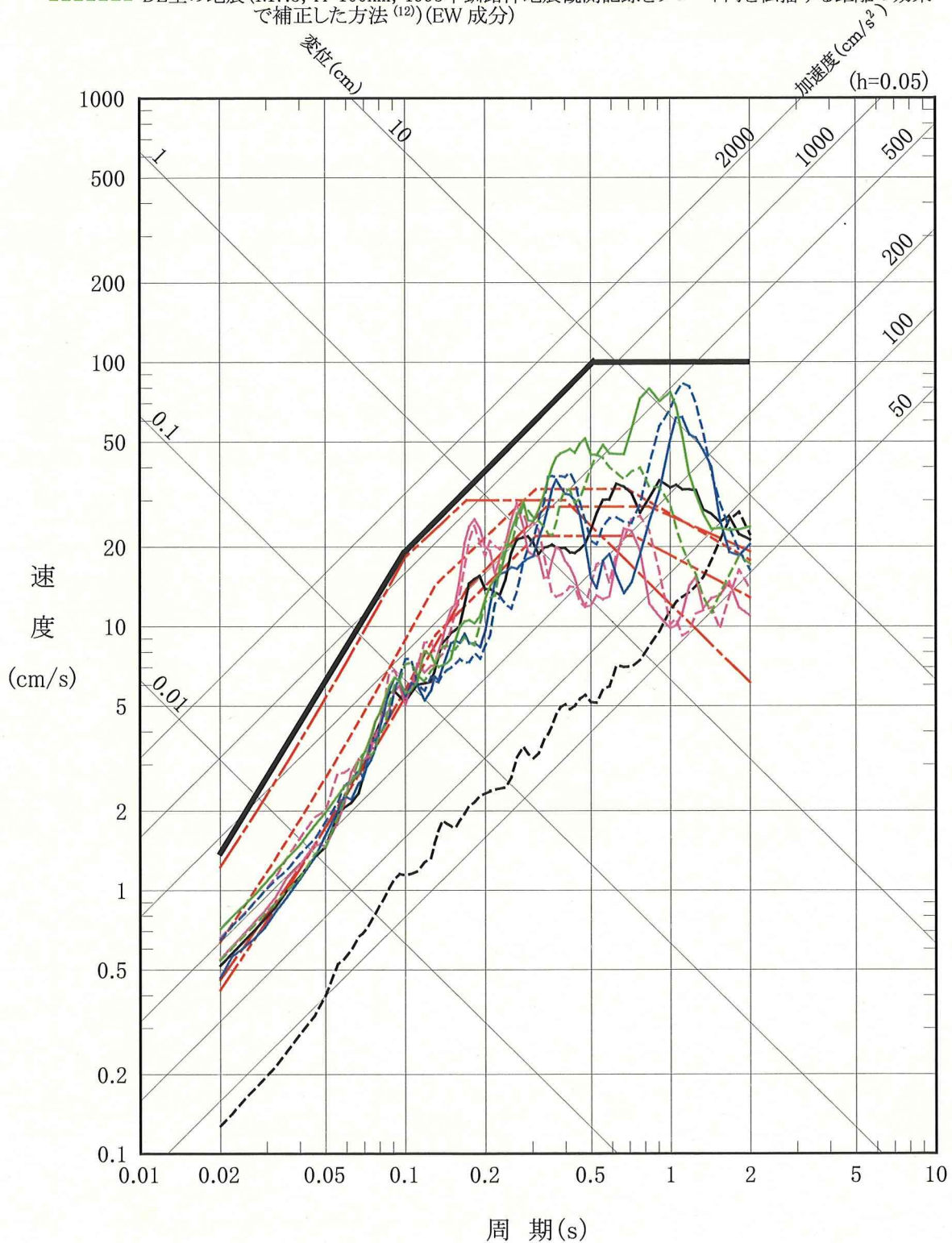
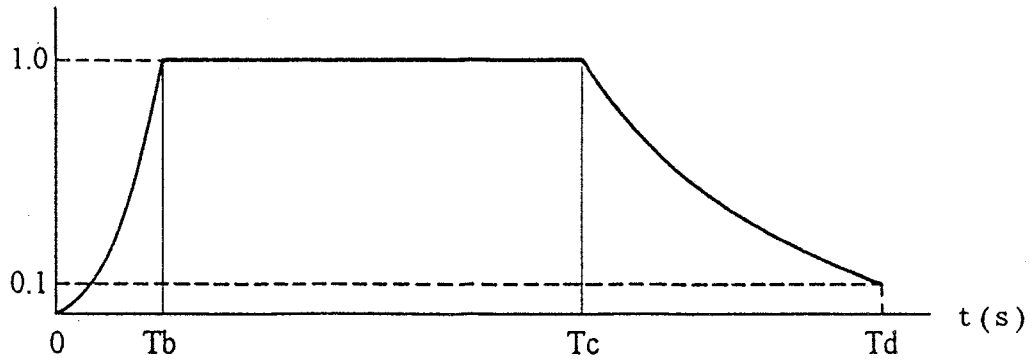


図-11 基準地震動 S_2 及び S_2 対象地震の応答スペクトル

表-3 地震動の応答スペクトル値

種 別	マグニチュード M	震央距離 Δ (km)	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
S ₁ -1 1766年 津軽の地震	7 1/4	96	0.02	0.13	0.15	3.61	0.34	8.35	0.90	8.35	2.00	6.48
S ₁ -D	—	—	0.02	0.57	0.17	16.70	0.61	60.00	0.82	60.00	2.00	60.00
S ₂ -1 函館平野西縁断層帯による地震	7.2	39	0.02	0.42	0.13	9.33	0.31	22.00	0.73	22.00	2.00	12.89
S ₂ -2 地震地体構造 プレート境界地震	8 1/4	90	0.02	0.46	0.17	13.86	0.34	28.43	0.83	28.43	2.00	19.26
S ₂ -3 地震地体構造 函館平野西縁断層帯の位置	7 1/2	39	0.02	0.64	0.13	14.41	0.31	33.08	0.69	33.08	2.00	17.83
S ₂ -4 直下地震	6.5	—	0.02	1.23	0.10	18.32	0.17	30.08	0.40	30.08	2.00	6.14
S ₂ -D	—	—	0.02	1.432	0.10	19.10	0.52	100.0	1.00	100.0	2.00	100.0



振幅包絡線

時間比

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

継続時間 $T_d(s) = 10^{0.31M - 0.774}$

M : マグニチュード

振幅包絡線の形状

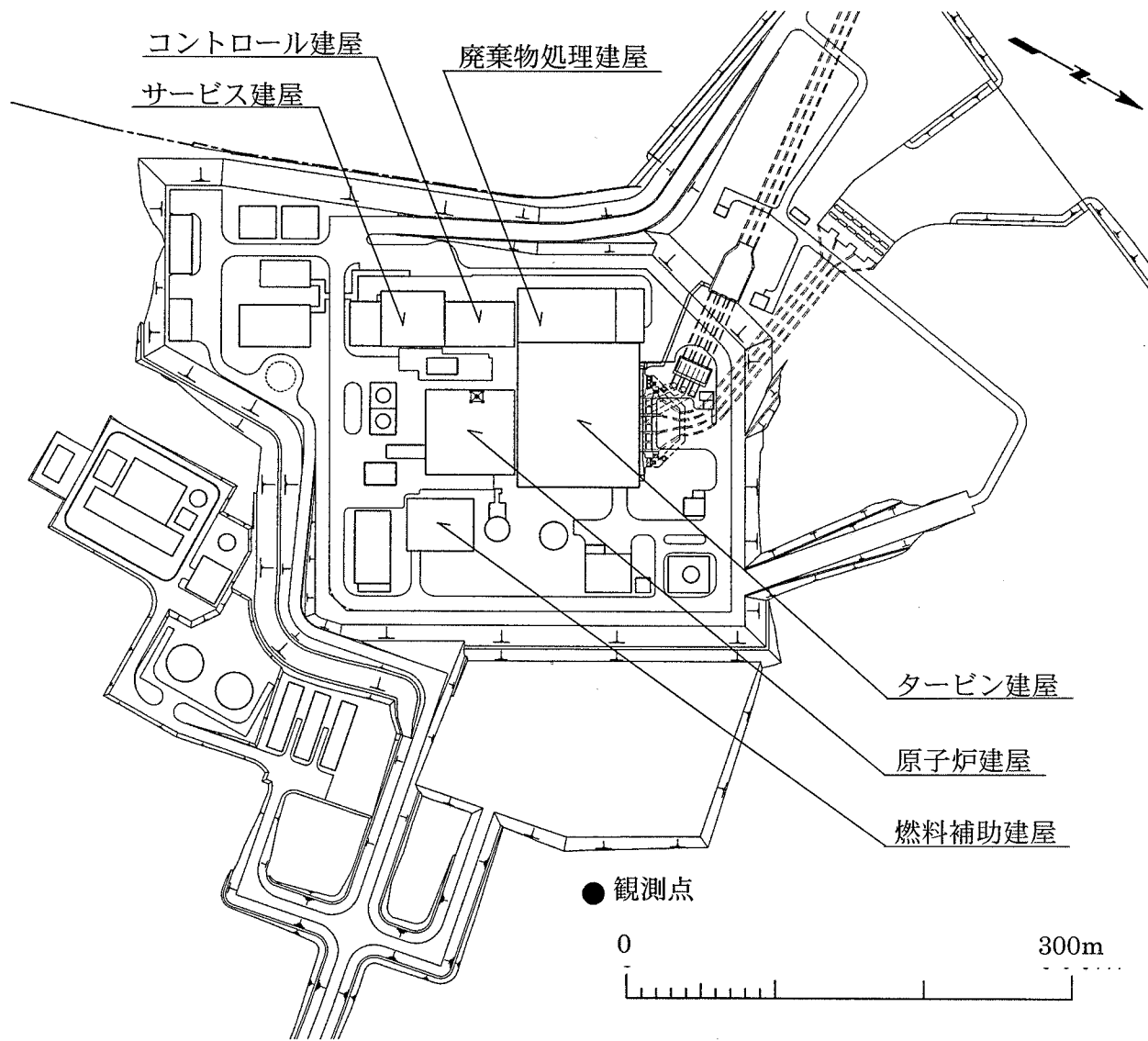
$t = 0 \sim T_b$ $(t/T_b)^2$

$T_b \sim T_c$ 一定

$T_c \sim T_d$ $e^{-a(t-T_c)}$

a は定数

図-12 継続時間及び振幅包絡線の経時的变化



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	○	
-77.5	○	大間層
-117.5	○	
-207.5	○	

図-13 地震観測点

表-4 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
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。

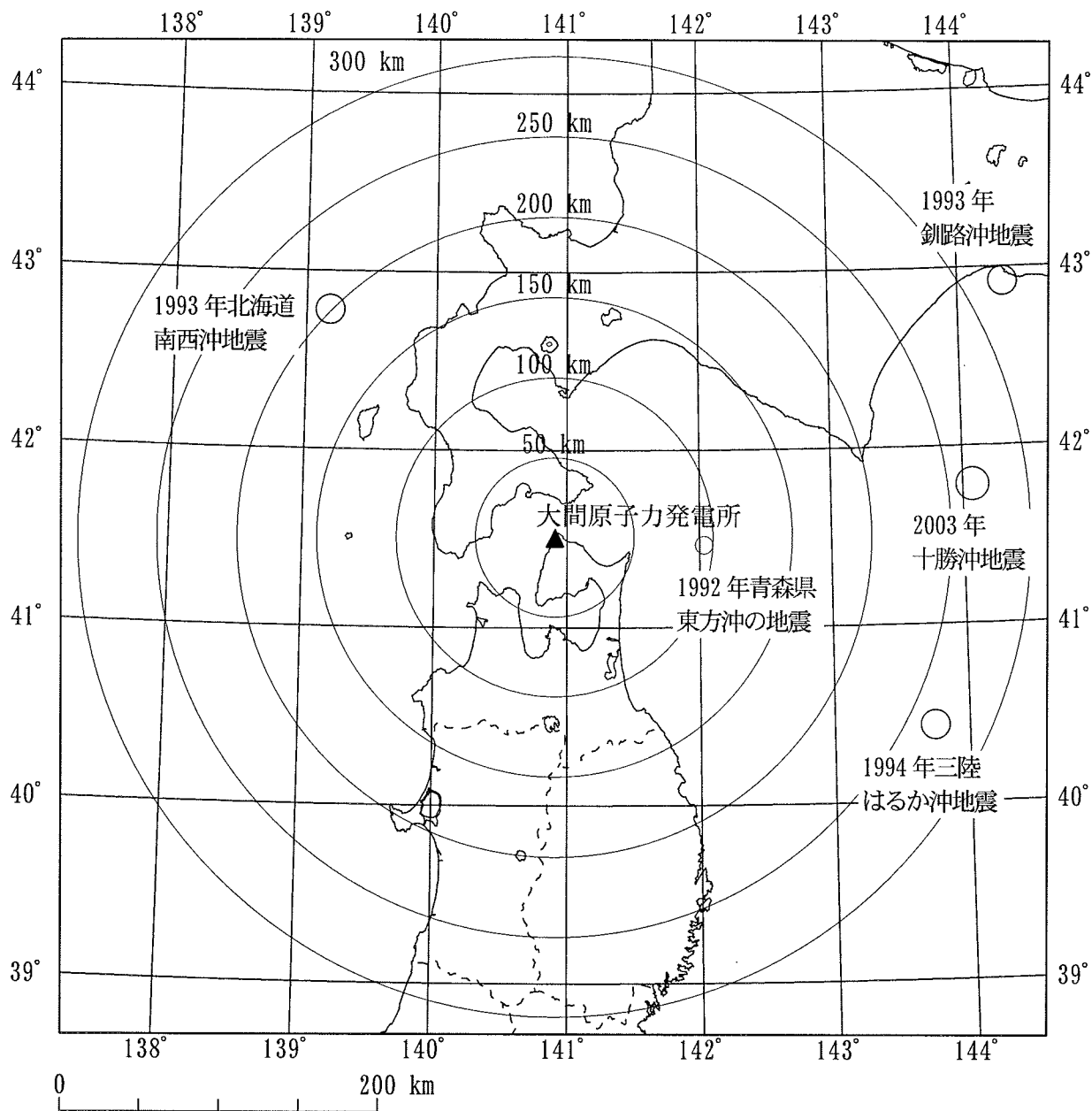


図-14 観測記録の震央分布

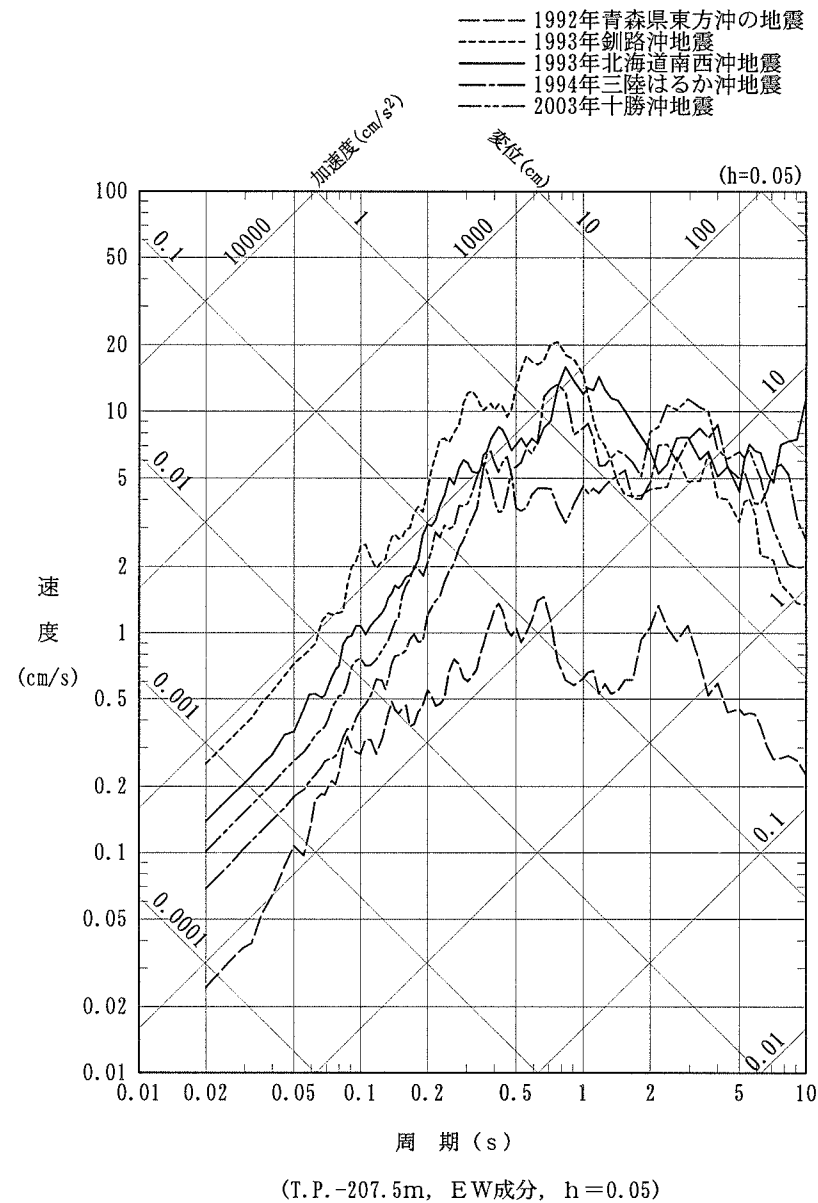
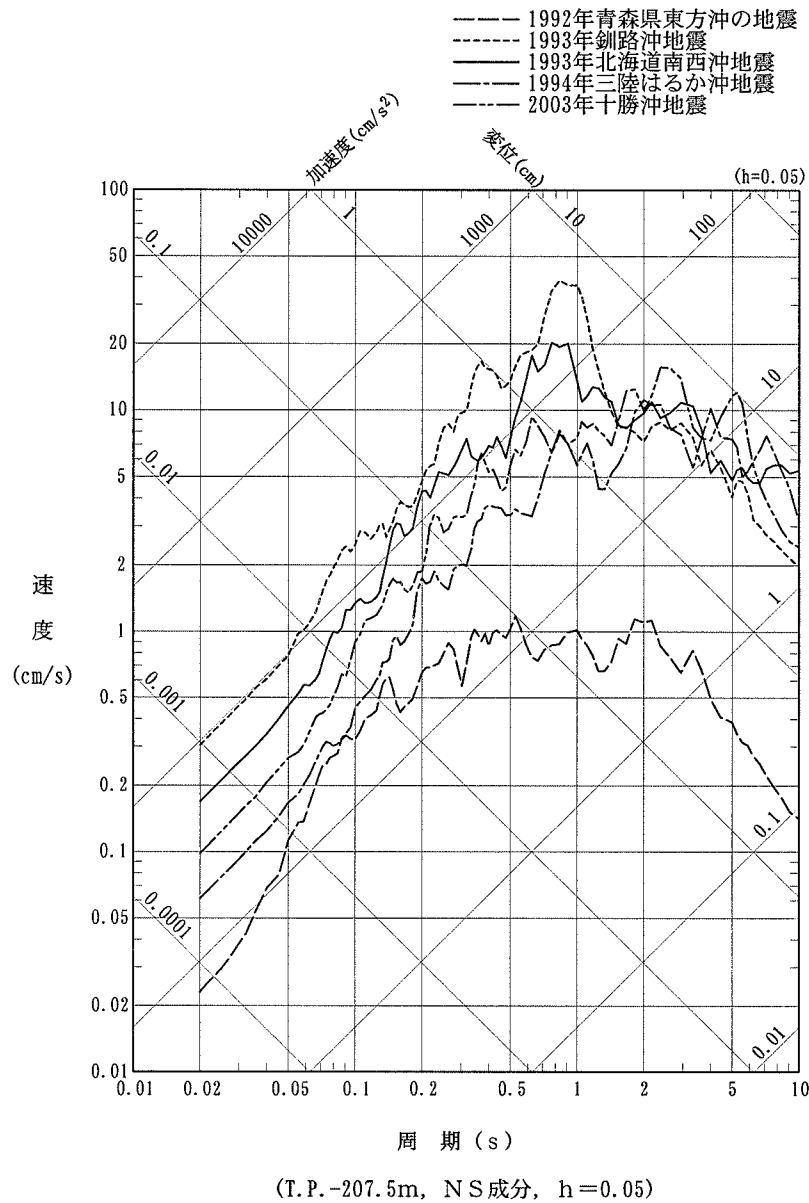


図-15 地震別応答スペクトル

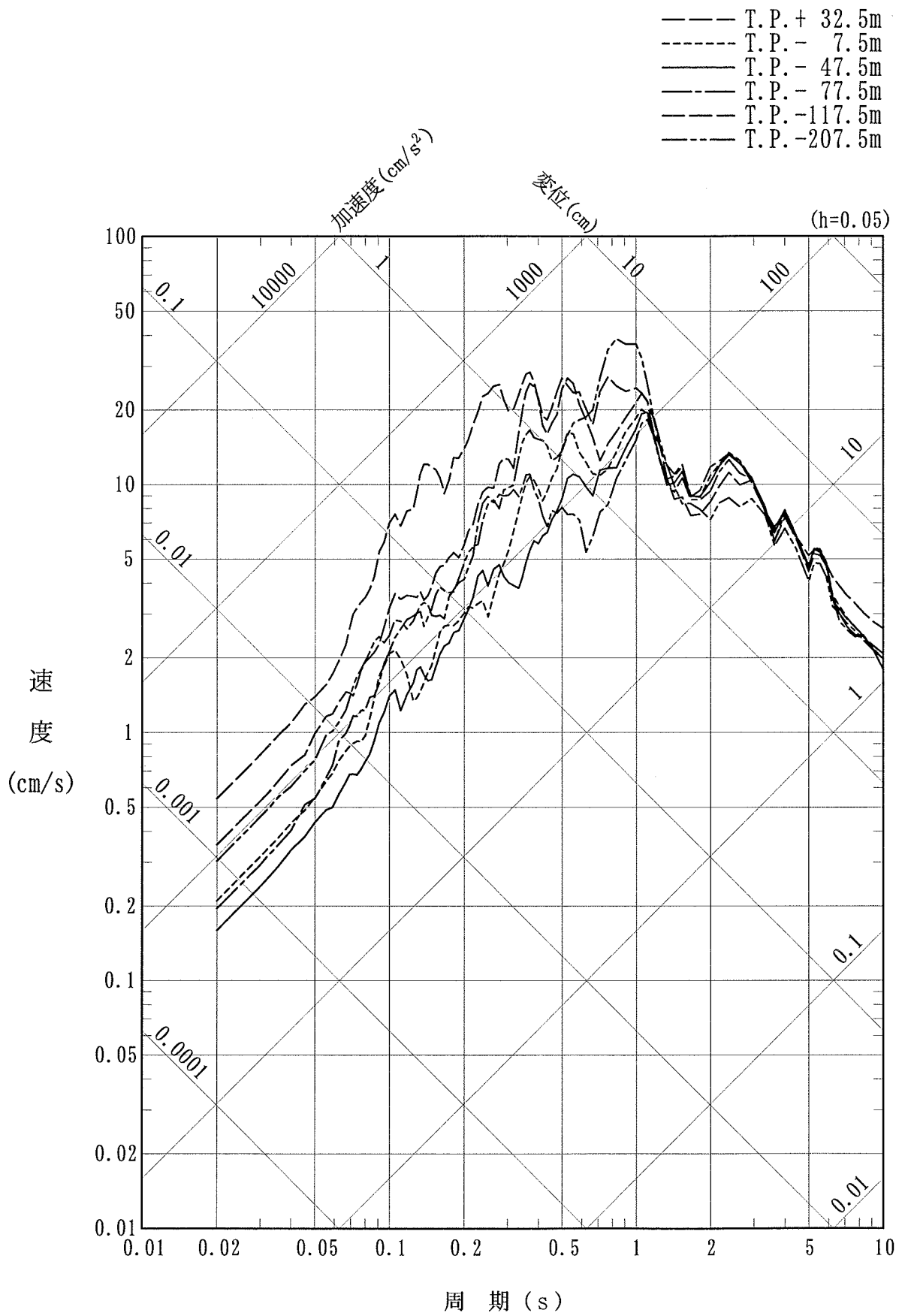


図-16 深度別応答スペクトル(NS成分, 1993年釧路沖地震)

表-5 基準地震動の継続時間及び振幅包絡線の経時的変化

種別	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
		Tb	Tc	Td
S ₁ -D	58.6	4.2	26.5	58.6
S ₂ -D	63.0	4.3	28.2	63.0

表-6 設計用模擬地震波の作成結果

種別	作成条件	作成結果			
	応答 スペクトル	最大速度振幅 (cm/s)	応答 スペクトル比	継続時間等	S I 比
S ₁ -D	図-10	28.1	図-18	図-17	1.01
S ₂ -D	図-11	51.0	図-18	図-17	1.00

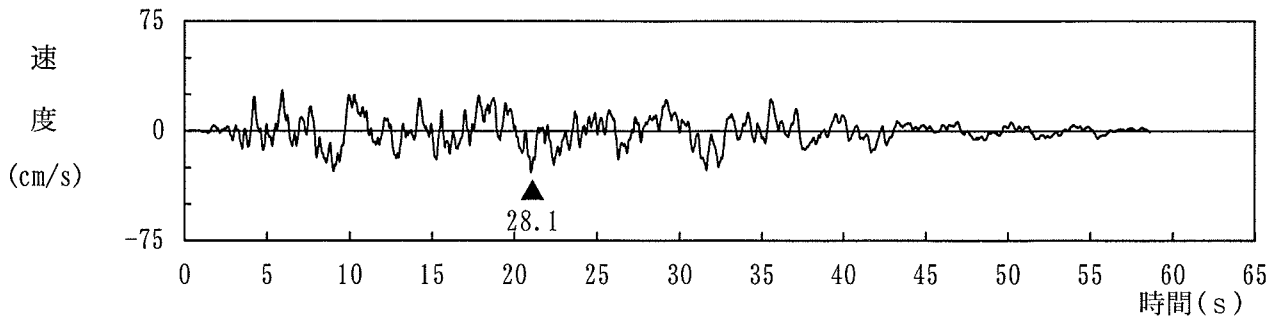
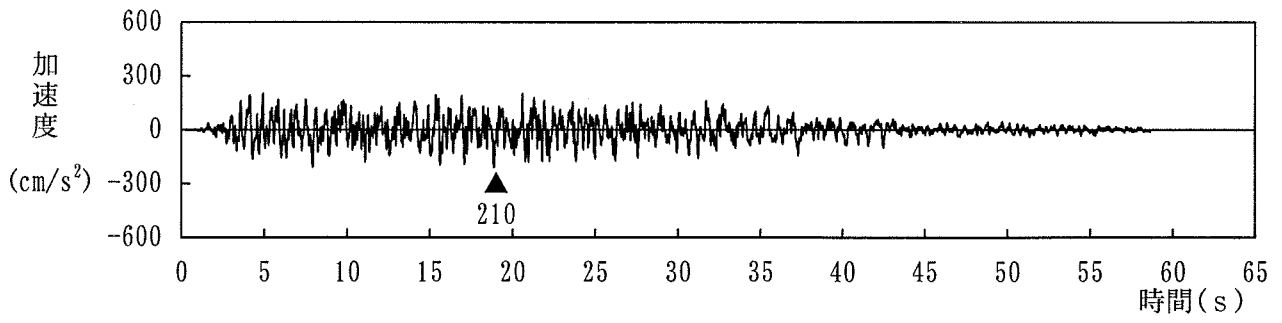
$$S I \text{ 比} : \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dT}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v}(T) dT}$$

ここで、S I : 応答スペクトルの強さ (減衰定数 h = 0.05)

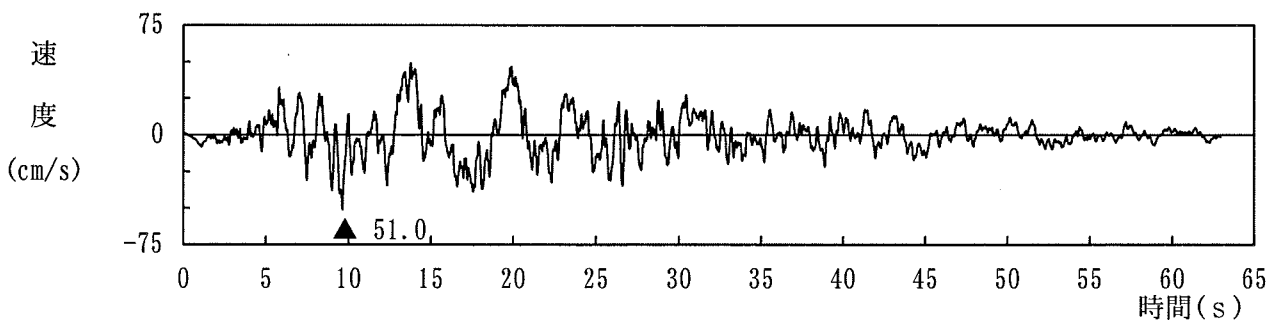
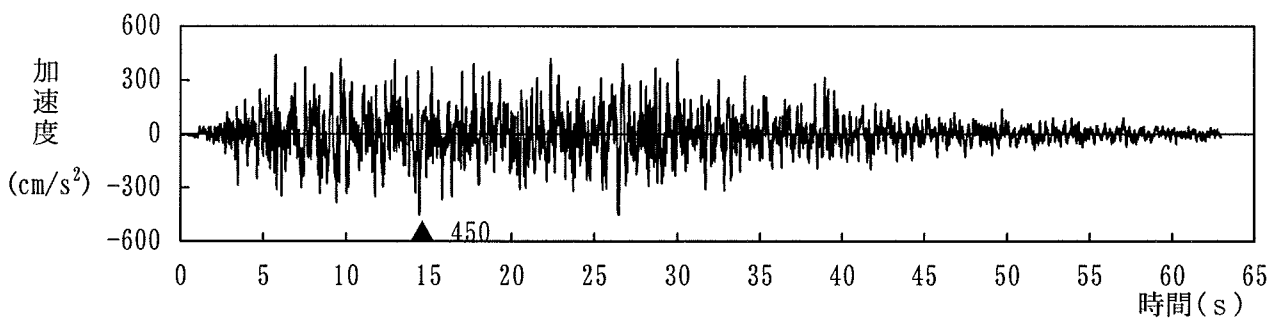
S_v(T) : 設計用模擬地震動の速度応答スペクトル (cm/s)

$\overline{S_v}(T)$: 目標とする設計用速度応答スペクトル (cm/s)

T : 固有周期 (s)



設計用模擬地震動 S₁-D



設計用模擬地震動 S₂-D

図-17 設計用模擬地震動

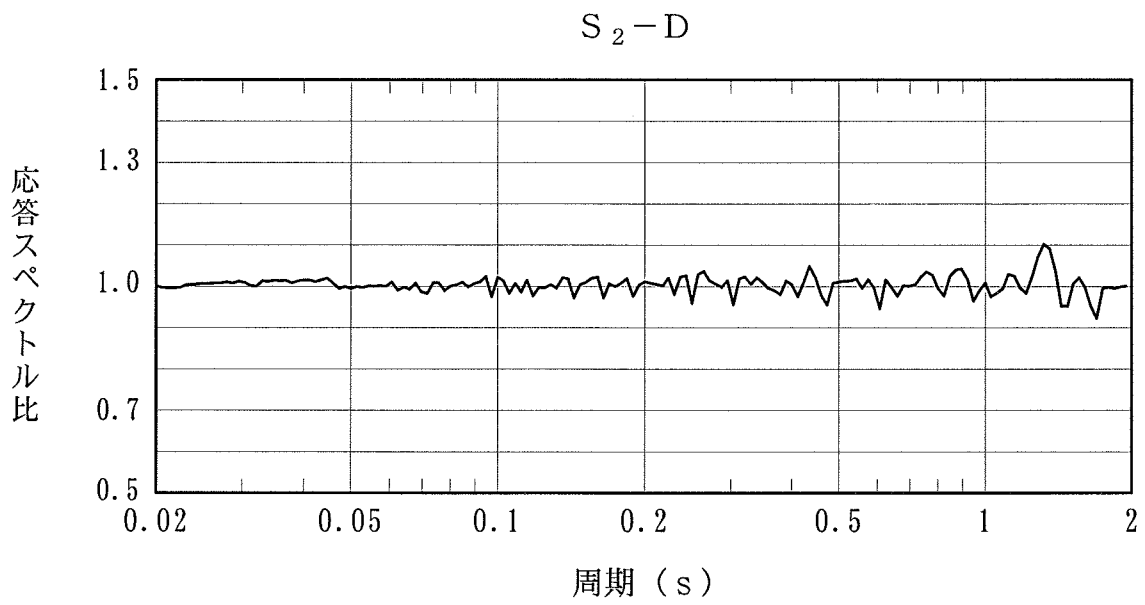
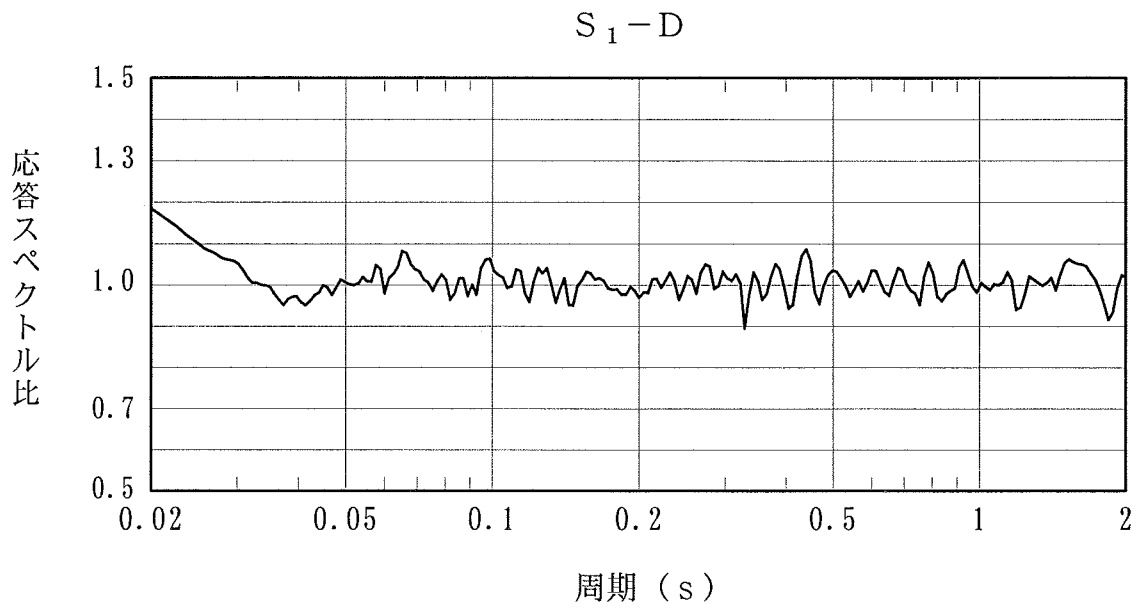


図-18 応答スペクトル比

基準地震動策定フロー

凡例	
M:	地震のマグニチュード
L:	断層長さ
Δ:	震央距離
X:	震源距離
H:	震源深さ
Vmax:	最大速度振幅

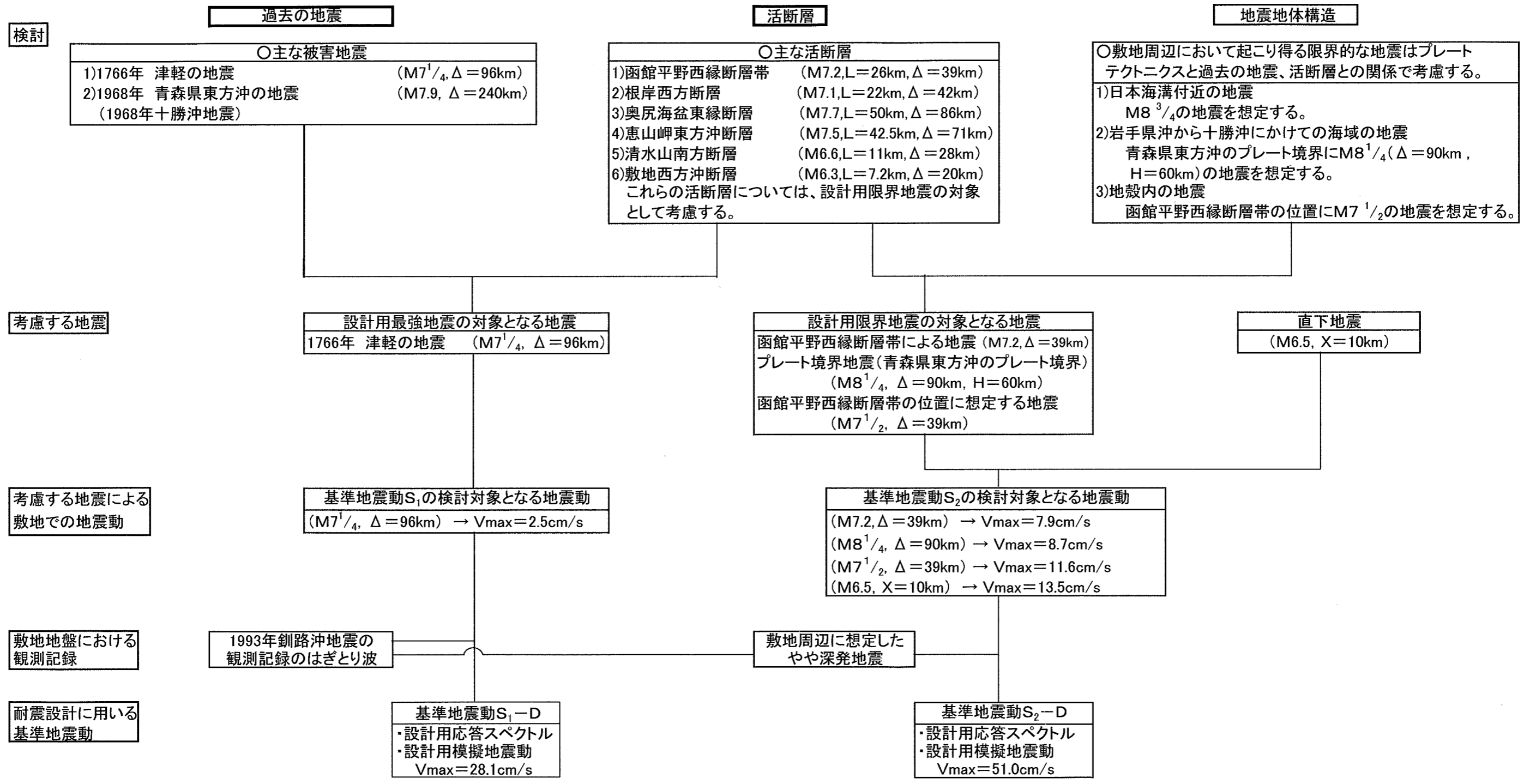


図-19 基準地震動策定フロー