

電源開発株式会社  
大間原子力発電所

震源を特定せず策定する地震動について

平成18年12月  
原子力発電安全審査課

## 目次

1. はじめに	1
2. 敷地における震源を特定せず策定する地震動	1
3. 最新の知見に照らした妥当性確認	3
4. 超過確率の参照	4
5. 設計用模擬地震波	6
6. まとめ	6
7. 参考文献	8

## 1. はじめに

改訂された耐震設計審査指針(以下「新指針」という。)では、基準地震動  $S_s$  として、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」とともに「震源を特定せず策定する地震動」を策定することとしている。

「震源を特定せず策定する地震動」については、敷地近傍の詳細な調査によっても事前に震源となり得る活断層を評価しうるとは言い切れないとの考え方から、敷地近傍の詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動として設定されたものであるため、その地震像はまったく特定されないとしている。

なお、申請者は、敷地近傍の詳細な地質調査の結果、敷地近傍には耐震設計上考慮すべき活断層は存在しないとしている(04-大間設 C-60)。

また、各種地震カタログ<sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup>によると、敷地から 50km 以内では被害地震は起きていないとしている。

島村・森谷(1995)<sup>(6)</sup>によると、渡島半島から青森県北部にかけては群発地震がよく起こり、その原因は分らないものの、これらの地域では地殻の浅い部分においては、熱による歪のために微小地震活動が高く、こういった地域では大きな地震が起きないことが多いとされている。

## 2. 敷地における震源を特定せず策定する地震動

新指針の本文には、次のような説明がある。

震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に

敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定し、……

このため申請者は、「震源を特定せず策定する地震動」の大きさを決める方法としては、震源を事前に特定できない地震による観測記録に基づき設定することが考えられるとしている。

申請者は、敷地においては内陸地殻内の地震の震源近傍における観測記録は得られていないとしている。

このことから申請者は、敷地周辺に限らず、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、大間地点における「震源を特定せず策定する地震動」を設定するとしている。

また、申請者は、加速度計による強震観測は米国カリフォルニアでは1930年代から、日本国内では1953年から開始されており、これらの地域では地震計が密に設定されているとしている。このため、これらの地域について、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震における震源近傍の観測記録を収集することが考えられるとしており、これらの地域の観測記録を収集した知見として加藤ほか(2004)<sup>(7)</sup>があるとしている。

加藤ほか(2004)<sup>(7)</sup>は、収集した観測記録を基に敷地の地盤物性を加味し、「震源を事前に特定できない地震による地震動」の上限レベルの応答スペクトルを、 $V_s=700\text{m/s}$  の解放基盤表面における応答スペクトル(以下「加藤ほかの応答スペクトル」という。)として提案している。図-1 に加藤ほかの応答スペクトルを示す。

加藤ほかの応答スペクトルは $V_s=700\text{m/s}$  の解放基盤表面における応

答スペクトルとしていることから、申請者は、敷地における震源を特定せず策定する地震動 $S_s-2_H$ 及び $S_s-2_V$ は、加藤ほかの応答スペクトルに対して、T.P-260m の解放基盤表面( $V_s=870\text{m/s}$ ,  $V_p=2050\text{m/s}$ )の地盤物性を加味して設定した水平地震動及び鉛直地震動の地盤増幅率<sup>(8)</sup>に基づき、図-2 に示す設計用応答スペクトルとして定義するとしている。なお、同図には、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 $S_s-1_H$ 及び $S_s-1_V$ も示しているが、これらの地震動は、「震源を特定せず策定する地震動」よりも大きくなっている。

### 3. 最新の知見に照らした妥当性確認

新指針の解説では、次のような説明がなされている。

敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、敷地近傍における詳細な調査の結果にかかわらず、全ての申請において共通的に考慮すべき地震動であると意味付けたものである。

この考え方を具現化して策定された基準地震動  $S_s$  の妥当性については、申請時点における最新の知見に照らして個別に確認すべきである。

申請者は、加藤ほか(2004)<sup>(7)</sup>以降、近年国内で発生した大規模な内陸地殻内の地震としては、2003年宮城県北部の地震(M6.4)、2004年新潟県中越地震(M6.8)及び2005年福岡県西方沖の地震(M7.0)があるとし

ている。

これらの地震の震央域付近の地形・地質・地質構造等に関する主な文献による調査方法・結果等を表-1 に示す。

同表に示すように、これらの地震の震央域付近における調査等に関する文献では、原子力発電所の敷地周辺において実施される調査の少なくとも一部を含むか、後期更新世以降の活動の可能性が否定できない地質構造の存在が指摘されており、詳細な地形学・地質学・地球物理学的調査を行えば、敷地周辺において何らかの兆候を見落とすことがなく、地震学的知見等を併せれば、耐震設計上考慮すべき地震規模を事前に想定することが可能と考えられるとしている。

以上のように、近年国内で発生した大規模な内陸地殻内地震に関する知見によれば、いずれの地震も震源を事前に特定できる地震と考えられるとしている。

これらを踏まえると、加藤ほかの応答スペクトルに基づいて設定した、大間地点の「震源を特定せず策定する地震動」は妥当であると考えられるとしている。

#### 4. 超過確率の参照

新指針の解説では、次のような説明がなされている。

地表に明瞭な痕跡を示さない震源断層に起因する震源近傍の地震動について、確率論的な評価等を必要に応じて参考とすることが望ましい。

(独)原子力安全基盤機構(以下「JNES」という)は、日本列島を8地域に分割し、各地域における地表への地震断層非出現率で補正した地震規模別発生頻度と、ハイブリッド合成法を用いた断層モデルによる M5.5 から M7.3 の地震の震源近傍における地震動評価から、各地域の震源を特定しにくい地震動について、地震基盤における水平動の年超過確率を求めている<sup>(9)</sup>。図-3 に JNES が求めた全国平均と東北地方の地震基盤における一様ハザードスペクトル、及び大間地点で考慮する震源を特定せず策定する地震動  $S_s - 2_H$  について加藤ほか(2004)<sup>(7)</sup>の方法により地震基盤の地震動レベルへ変換した応答スペクトルを比較して示す。申請者は、同図に示すように、大間地点における震源を特定せず策定する地震動  $S_s - 2_H$  の年超過確率は概ね  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  程度であるとしている。

申請者は、(社)日本原子力学会の方法<sup>(10)</sup>に基づき、大間地点について実施した地震ハザード評価<sup>(11)</sup>で得られた、敷地を含む領域震源による一様ハザードスペクトルと「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルの年超過確率を比較している。

ここで、地震ハザード評価においては、敷地周辺の震源を特定できない地震の地域性を反映するために、敷地を含む地震活動域における地震データをもとに、表-2 に示す敷地を含む地震活動域による領域震源に対する最大マグニチュードとして M6.7 から M7.5 を設定し、図-4 に示すロジックツリーに反映している。

図-5 に震源を特定せず策定する地震動  $S_s - 2_H$  及び  $S_s - 2_v$  と敷地を含む領域震源による一様ハザードスペクトルをそれぞれ比較して示す。申請者は、同図に示すように、震源を特定せず策定する地震動  $S_s - 2_H$

及び $S_s-2_v$ の年超過確率は概ね $10^{-4}\sim 10^{-5}$ の範囲にあるとしている。

## 5. 設計用模擬地震波

申請者は、敷地における震源を特定せず策定する地震動 $S_s-2_H$ 及び $S_s-2_v$ は設計用応答スペクトルに適合する設計用模擬地震波で表わすとしている。また、設計用模擬地震波 $S_s-2_H$ 、 $S_s-2_v$ は、地震動の振幅包絡線の経時的変化に基づいて一様乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するとしており、継続時間及び振幅包絡線の経時的変化は図-6の形状<sup>(8)</sup>と震源近傍で観測された記録<sup>(7)</sup>に基づいて定め、表-3に示すとしている。

設計用模擬地震波 $S_s-2_H$ 、 $S_s-2_v$ の作成結果を表-4に、加速度時刻歴波形を図-7に示す。また、震源を特定せず策定する地震動 $S_s-2_H$ 及び $S_s-2_v$ の設計用応答スペクトルに対するこれらの設計用模擬地震波の応答スペクトルの比を図-8に示す。

## 6. まとめ

敷地における「震源を特定せず策定する地震動」の設計用応答スペクトルは、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらの上限値として設定された応答スペクトルに基づき、敷地地盤の物性を加味している。さらに、近年国内で発生した内陸地殻内地震に関する調査等により、設定された応答スペクトルの妥当性が確認されている。また、「震源を特定せず策定する地震動」の設計用模擬地震波は、設計用応答スペ

クトルに適合するように作成されている。

以上のことから、申請者が設定した敷地における「震源を特定せず策定する地震動」は、妥当であると判断した。

## 7. 参考文献

- (1) 国立天文台編(2005):理科年表 平成 18 年, 丸善
- (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
- (3) 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, 東京大学地震研究彙報, Vol. 54
- (4) 気象庁:地震年報 等(1923~2004)
- (5) Usami Tatsuo(1979):Study of Historical Earthquakes in Japan, Bull. Earthq, Res. Inst. , Vol.54
- (6) 島村英紀・森谷武男(1995):北海道の地震, 北海道大学図書刊行会, pp.206-208.
- (7) 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大榮・上田圭一・壇一男(2004):震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル —地質学的調査による地震の分類と強震動観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集 第4巻, 第4号, 46-86.
- (8) Noda, S. , K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 17-19, Istanbul
- (9) 独立法人 原子力安全基盤機構(2004):震源を特定しにくい地震による地震動の検討に関する報告書, JNES/SAE04-070
- (10) 社団法人 日本原子力学会(2006):原子力発電所の地震を起因とし

た確率論的安全評価実施手順, 200X(案), 社団法人 日本原子力学会標準, AESJ-SC-P00X:200X

- (11) 坂本大輔・仲田満也・石田寛・鳥澤一晃・大塚康弘・池田孝(2006): 地震ハザード評価のための専門家パネルによるロジックツリーの構築, 第12回日本地震工学シンポジウム
- (12) 中村光一・石原丈実・駒澤正夫 (1990): 金華山沖海底地質図, 海洋地質図, no.33, 地質調査所.
- (13) 中村光一 (1992): 反転テクトニクス(inversion tectonics)とその地質構造表現, 構造地質, vol.38, pp.3-45.
- (14) 加藤直子・佐藤比呂志・今泉俊文・池田安隆 (2005): 2003年宮城県北部地震震源域北部の反射法地震探査, 月刊地球, vol.27, pp.139-143.
- (15) 渡辺満久・鈴木康弘・伊藤武男 (2005): 変動地形に基づく2004年中越地震の断層モデル, 地震第2輯, vol.58, pp.297-307.
- (16) 渡辺満久・堤浩之・鈴木康弘・金幸隆・佐藤尚登 (2001): 1:25,000都市圏活断層図 小千谷, 国土地理院
- (17) 武田智吉・柳沢賢・酒井俊朗・宮脇理一郎・宮脇明子・百瀬貢・向山栄・佐々木寿 (2006): 平成16年(2004年)新潟県中越地震震源域の地表部における地形と地質構造, 地震第2輯, vol.58, pp.413-426.
- (18) 阿部信太郎 (2006): 2004年新潟県中越地震震源域を横断する反射法地震探査とその地質構造解釈, 月刊地球号外, no.53, pp.110-116
- (19) 岡村行信 (2006): 中越地震のテクトニクス的位置づけ, 月刊地球号外,

no.53, pp14-20

- (20) 岡村行信・石山達也 (2005):2004 年新潟県中越地震震源域での地質構造を用いた伏在断層モデルの作成, 活断層・古地震研究報告, no.5, pp.17-28.
- (21) 阿部信太郎 (2005):2005 年福岡県西方沖地震震源域におけるマルチ・チャンネル反射法地震探査, 日本地震学会講演予稿集 2005 年秋季大会, C075.

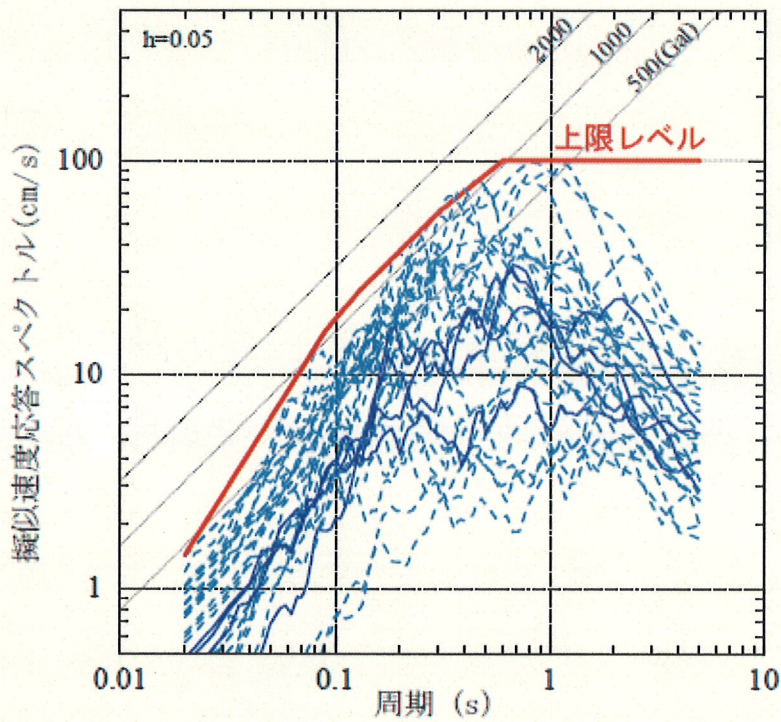


図-1 震源を事前に特定できない地震による震源近傍の観測記録の水平動応答スペクトルとその上限レベル

(実線は 1997 年鹿児島県北西部地震の鶴田ダムของスペクトル、破線はスケージングの観点から確実に事前に震源を特定できるとは断定できないと判断したMj6.5(Mw6.2)以下の7地震のスペクトル)

(加藤ほか(2004)による)

--- 震源を特定せず策定する地震動  $S_s - 2_H$   
— 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動  $S_s - 1_H$  (参考)

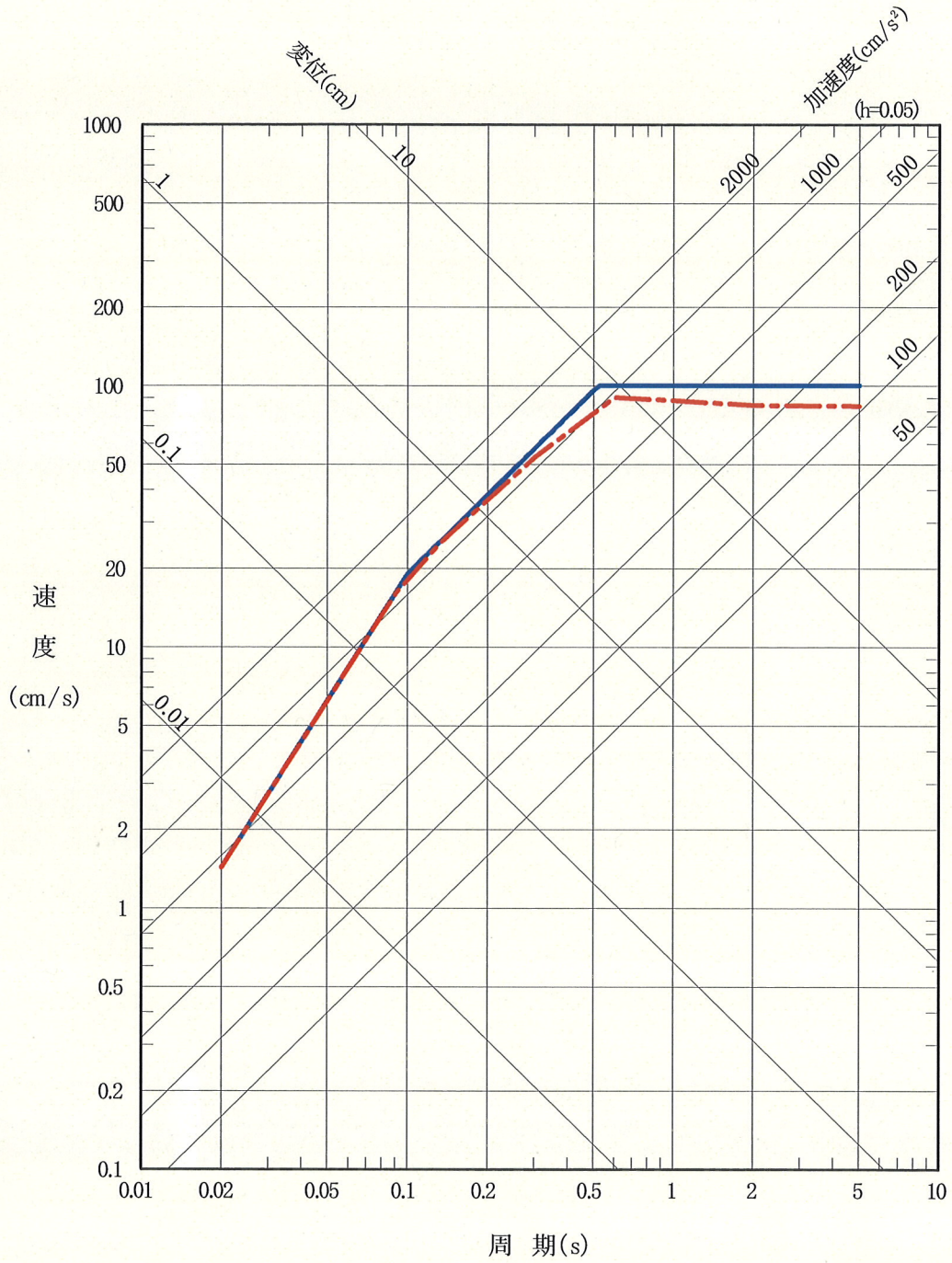


図-2(1) 震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル $S_s - 2_H$ (水平動)

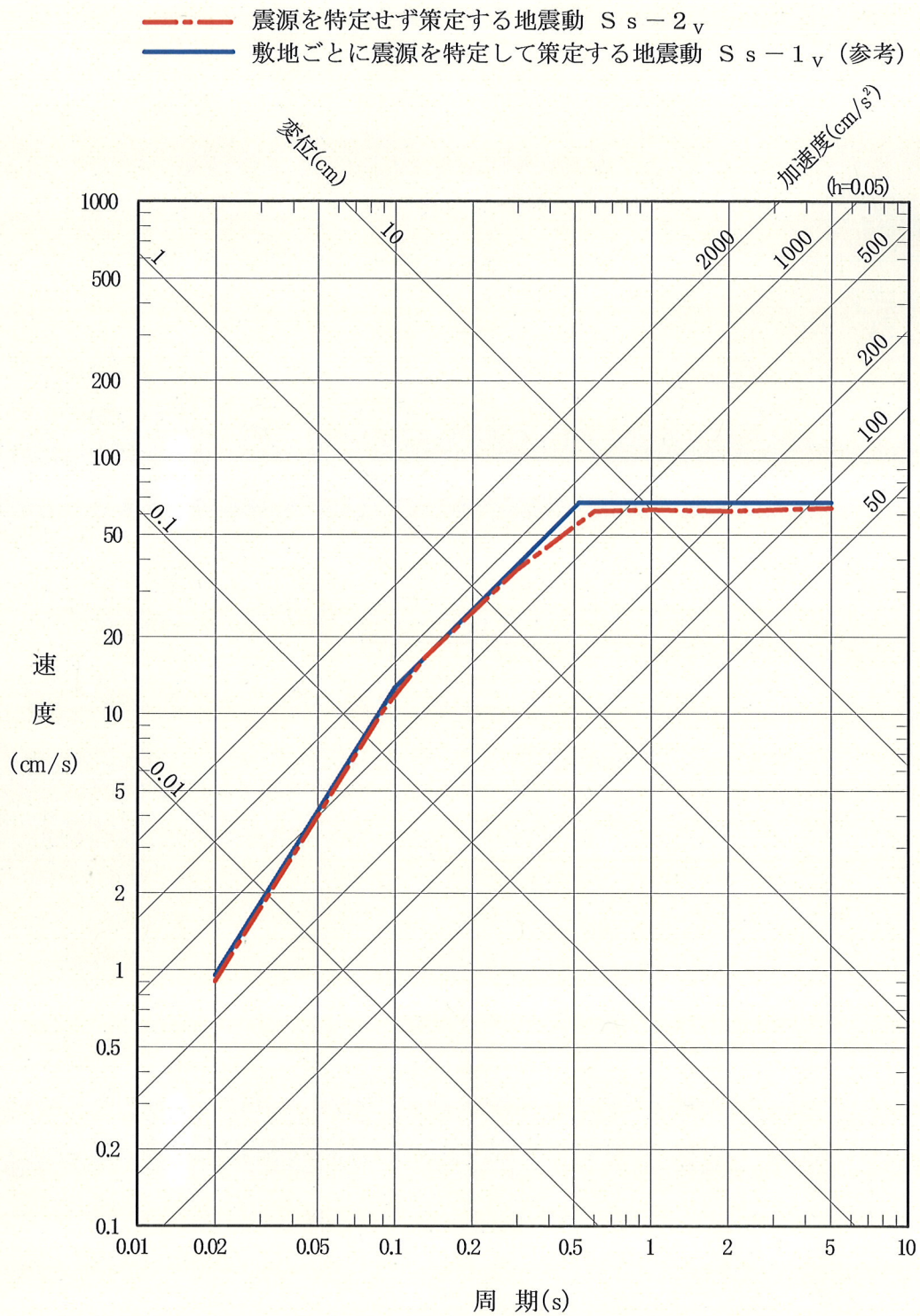


図-2(2) 震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル $S_s - 2_v$ (鉛直動)

表-1(1) 近年発生した内陸地殻内地震に対する主な文献

地震	文献	実施した調査方法・データ等	結果	備考
2003年 宮城県北部 の地震	中村ほか (1990) <sup>(12)</sup>	海上音波探査 磁気異常データ 重力異常データ	仙台湾に NNW-SSE 方向に延びる 2 列の断層群(東側:石巻湾断層, 西側:松島東縁正断層・嵯峨溪逆断層群)を図示。 断層群は, 正断層が中期中新世以前の地層までを变形させ, 逆断層が後期中新世以降の地層を变形させていると図示。 東側の石巻湾断層および西側の嵯峨溪逆断層群については陸域の石巻平野まで連続して図示。	旧地質調査所 海洋地質図 33 「金華山沖海底地質図」 地質図, 地質断面図, 地磁気異常図, 重力異常図のみ。 説明書なし。
	中村 (1992) <sup>(13)</sup>	既存文献のレビュー 引用文献には, 上記中村ほか(1990)が含まれる。	仙台湾周辺の反転構造(中期中新世に形成された半地溝群が反転した反転盆地)の存在を記載。 中期中新世に半地溝を形成した正断層が, 中新世最末期以降に逆断層として再活動と指摘。それらの断層群が, 鮮新統及び第四系の基底を変位させていることを図示。 これらの断層群を, 陸域の石巻平野まで連続して図示。 陸域の旭山撓曲は, 半地溝形成期の正断層の, 逆断層としての再活動と指摘。	
	加藤ほか (2005) <sup>(14)</sup>	反射法地震探査 震源:パイプロサイス, ミニバイブレータ 場所:主要な地質構造である断層に直交する方向 1 測線	須江丘陵東縁に西傾斜の断層(須江断層)。 この断層の深部延長は余震分布から推定される震源断層に一致 2003年宮城県北部地震は, 須江断層の深部延長がずれ動くことによって生じた地震。 地質学的には断層が推定しうる部位で地震が発生可能性が高い。	

表-1(2) 近年発生した内陸地殻内地震に対する主な文献

地震	文献	実施した調査方法・データ等	結果	備考
2004年 新潟県中越 地震	渡辺ほか (2005) <sup>(15)</sup>	地表地震断層の調査 断層変位モデルによる鉛直変位量の検討 既存文献の活断層データ, 水準測量データ, 余震分布データを使用	余震分布からの断層面の地表への延長部は, 小平尾断層, 六日町盆地西縁断層の地表トレースと一致。 地下の高角逆断層(小平尾断層ないしは諏訪峠撓曲)から地表地震断層が派生するモデルと, 本震とは別に地表地震断層が並走するモデルのいずれの場合も, 鉛直変位の観測値とほぼ一致。 本震は, 地下約3km以深で小平尾断層(諏訪峠撓曲)が活動して発生。	
	渡辺ほか (2001) <sup>(16)</sup>	記載なし	活断層(小平尾断層)を図示。	活断層図のみ。説明文章なし
	武田ほか (2006) <sup>(17)</sup>	地形調査(空中写真判読, 一部補助的に航空レーザ測量) 既存文献の活断層データ, 地質構造データ, 余震分布データ, 水準測量データを使用	活構造として諏訪峠撓曲が存在し, 中位段丘面形成以降も累積的な変位。 諏訪峠撓曲は, 中越地震との関連性が高い。	
	阿部 (2006) <sup>(18)</sup>	反射法地震探査 震源:パイプロサイズ4台 場所:震源域中央部をほぼ東西に横断する1測線 既存文献の地質構造データ, 反射法地震探査データ, 余震分布データを使用	地下深部に西側隆起の逆断層の存在が示唆。 2004年新潟県中越地震の震源断層が褶曲帯である魚沼丘陵を逆断層による西側隆起により成長させている。 東山背斜及び田麦山背斜の東翼部が卓越的に魚沼丘陵の成長に寄与。 地震以前に同様の反射法地震探査を実施していたとしても, 結果は同様。	
	岡村 (2006) <sup>(19)</sup>	断層関連褶曲の原理を適用した検討 既存文献の地質構造データを使用	東山・魚沼丘陵の褶曲構造は, 2004年新潟県中越地震本震の断層面が繰り返し変位することによって形成された断層関連褶曲。 褶曲から震源断層の形態を推定することが可能。	
	岡村・石山 (2005) <sup>(20)</sup>	断層関連褶曲の原理を適用した検討 既存文献の地質構造データを使用	丘陵下に伏在する断層の形状を推定。震源断層とよく一致。	
2005年 福岡県西方 沖の地震	産業技術総合研究所 HP	海上音波探査 音源:エアガン, サブボトムプロファイラー 余震分布データ	余震域の上を通過する音波探査測線記録上に最大15mにわたる海底の段差。 この段差は, 2005年福岡県西方沖の地震を起こした活断層の海底面上への現れの可能性。	
	地震予知連絡会 HP	海底活構造調査 余震分布データ	博多湾内の警固断層の延長上と見られる場所に沖積層を変化させる活断層を確認。 志賀島付近を境に折れ曲がり, 南の警固断層系につながる一連の断層帯があり, その北部で福岡県西方沖の地震が発生。	地震予知連絡会の資料であり, 詳細説明不明
	阿部ほか (2005) <sup>(21)</sup>	マルチチャンネル反射法地震探査(海域) 震源:GIガン 場所:震源域横断方向5測線	震源断層の直上付近の音響基盤に, 海底面上にもわずかな撓みを与えるバイズン状の落ち込み。 この変形構造は, 余震分布とほぼ同じ走向に分布。	

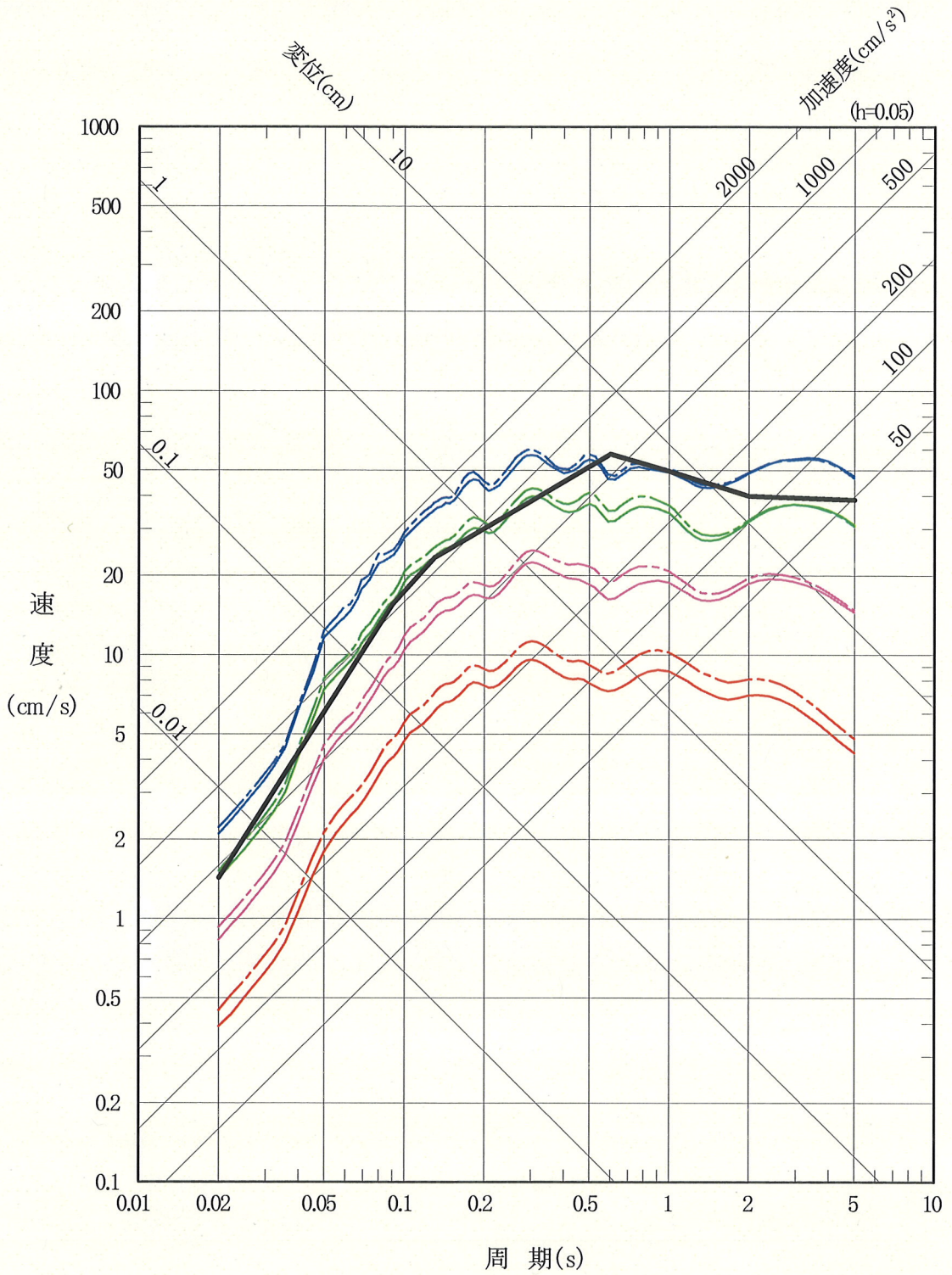
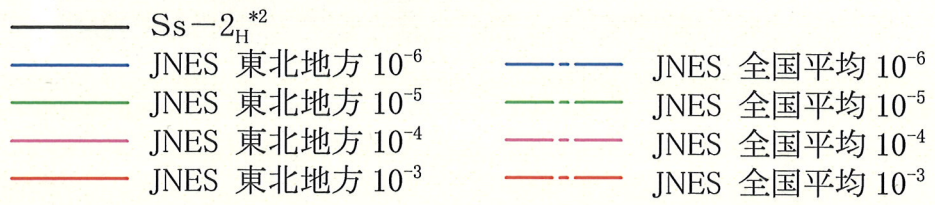


図-3 JNES\*<sup>1</sup>による超過確率(水平動)と震源を特定せず策定する地震動\*<sup>2</sup>

\*1: (独)原子力安全基盤機構

\*2: 加藤ほか(2004)により地震

基盤の応答スペクトルへ変換

表-2 地震ハザード評価における敷地を含む領域震源の最大マグニチュード

(1)新垣見マップの構造区を領域震源とした場合

領域震源の最大マグニチュード*1				既往最大となる歴史地震
既往最大		地震地体構造上の最大マグニチュード	地表断層出現率を考慮した場合	
中央値	上限値			
M7.25	M7.5	M7 1/2	M7.3	中央値：830年出羽、 1766年津軽 上限値：830年出羽

(2)萩原マップの構造区を領域震源とした場合

領域震源の最大マグニチュード*1				既往最大となる歴史地震
既往最大		地震地体構造上の最大マグニチュード	地表断層出現率を考慮した場合	
中央値	上限値			
M6.7	M6.7	M7.1	M7.3	1947年留萌沖

\*1)領域震源の最大マグニチュードは、ロジックツリーを分岐してそれぞれの値を考慮している。

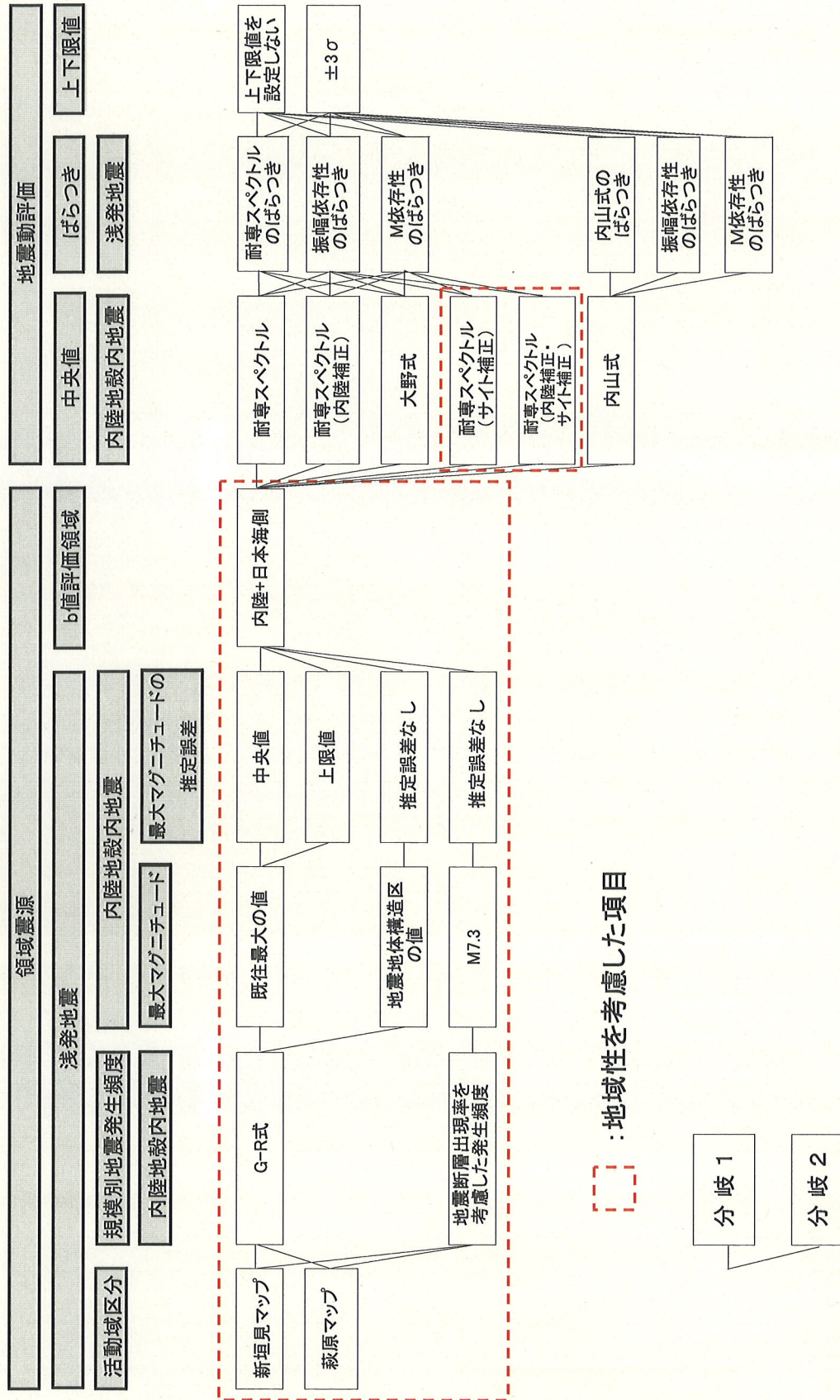


図-4 大間地点の地震ハザード評価における内陸地殻内地震の領域震源に関するロジックツリーの分岐設定

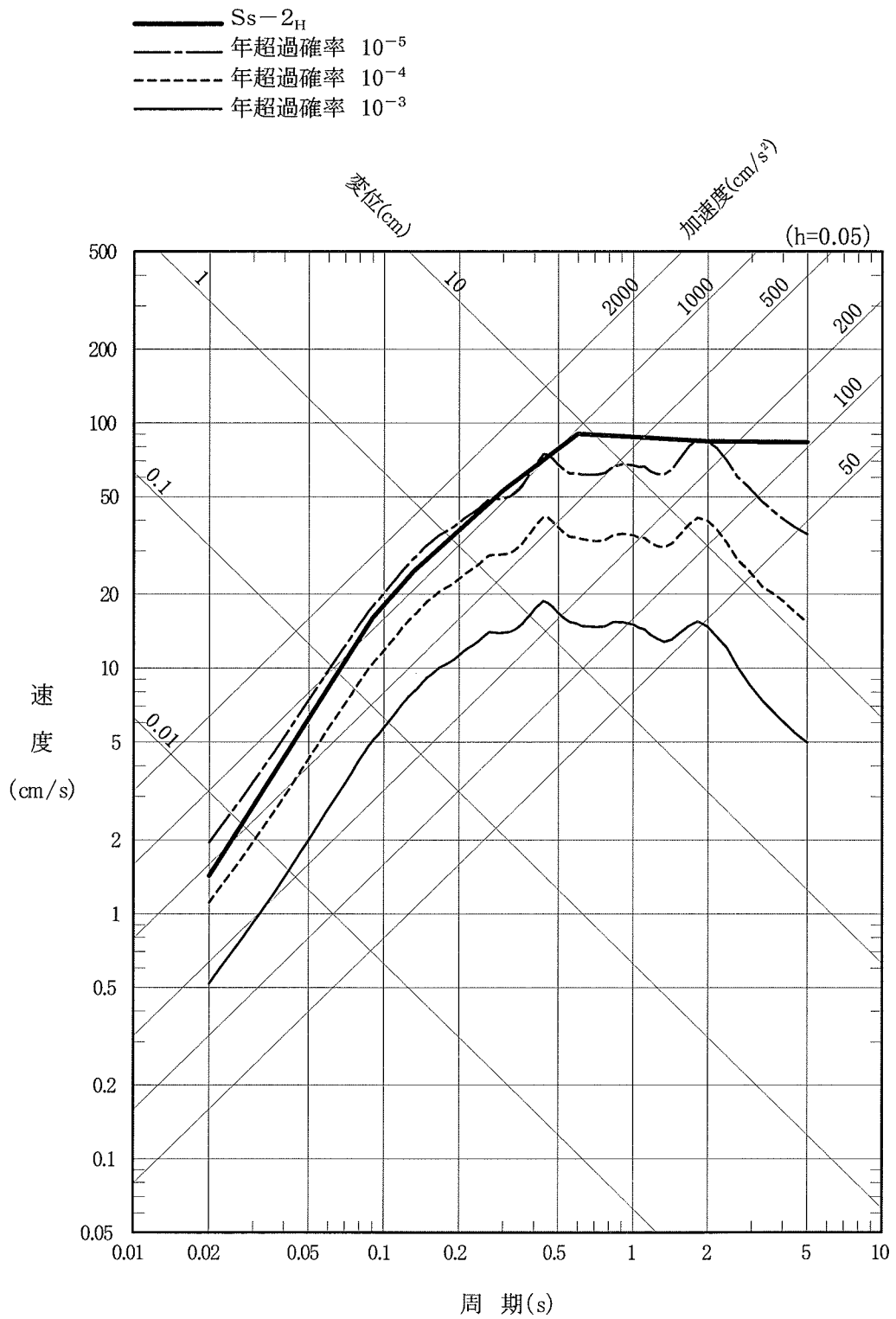


図-5(1) 震源を特定せず策定する地震動の超過確率(水平動)

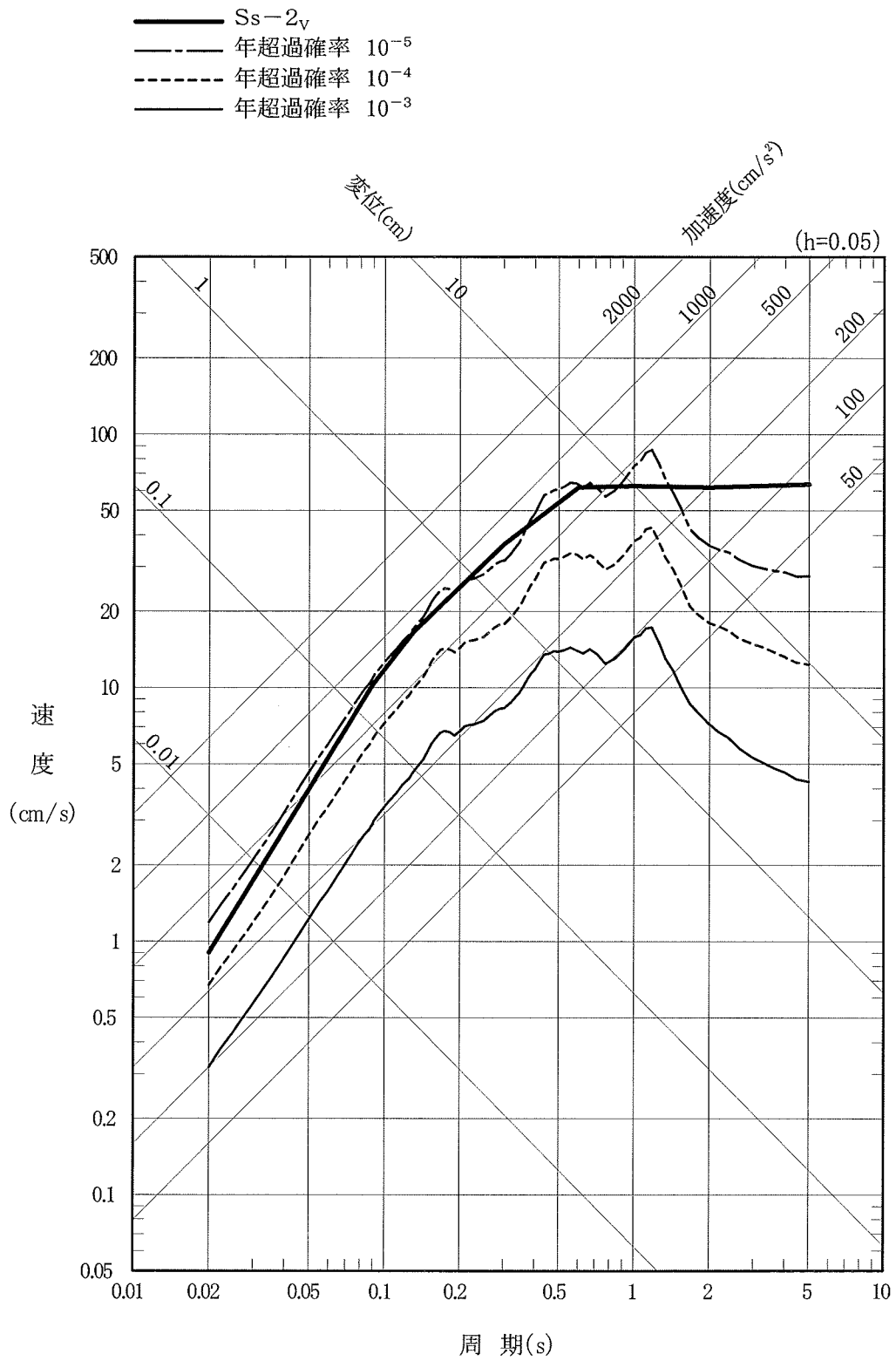
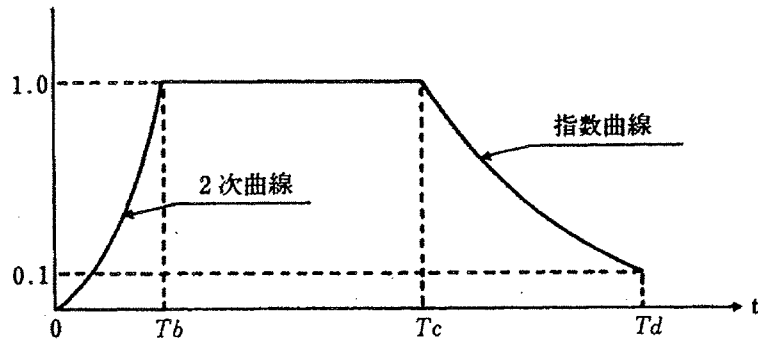


図-5(2) 震源を特定せず策定する地震動の超過確率(鉛直動)



継続時間

$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

M: マグニチュード,  $X_{eq}$ : 等価震源距離

図-6 振幅包絡線の経時的变化

表-3 継続時間及び振幅包絡線の経時的变化

基準地震動		継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的变化 (s)		
			Tb	Tc	Td
震源を特定せず策定する 地震動	S s - 2 <sub>H</sub>	31.71	0.93	13.92	31.71
	S s - 2 <sub>V</sub>	31.71	0.93	13.92	31.71

表-4 設計用模擬地震波の作成結果

基準地震動		作成条件 応答スペクトル	作成結果			
			最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	応答スペクトル比	継続時間	SI比
震源を特定せず策定する 地震動	S s - 2 <sub>H</sub>	図-2(1)	450	図-8	表-3	1.01
	S s - 2 <sub>V</sub>	図-2(2)	284.5	図-8	表-3	1.00

$$SI \text{ 比} = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dT}{\int_{0.1}^{2.5} \overline{S_v(T)} dT}$$

$\overline{S_v(T)}$  : 設計用模擬地震波の擬似速度応答スペクトル(cm/s)

$S_v(T)$  : 目標とする設計用応答スペクトル(cm/s)

T : 固有周期(s)

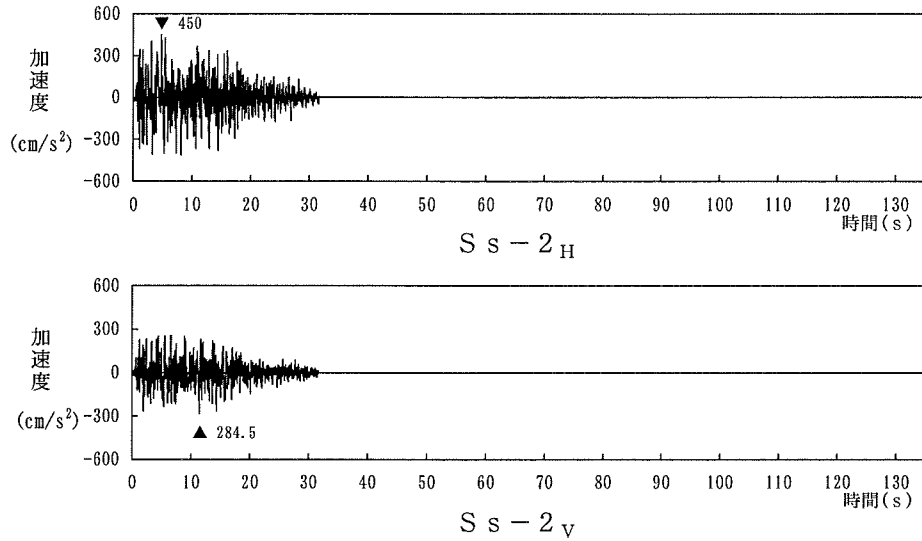


図-7 震源を特定せず策定する地震動の設計用模擬地震波

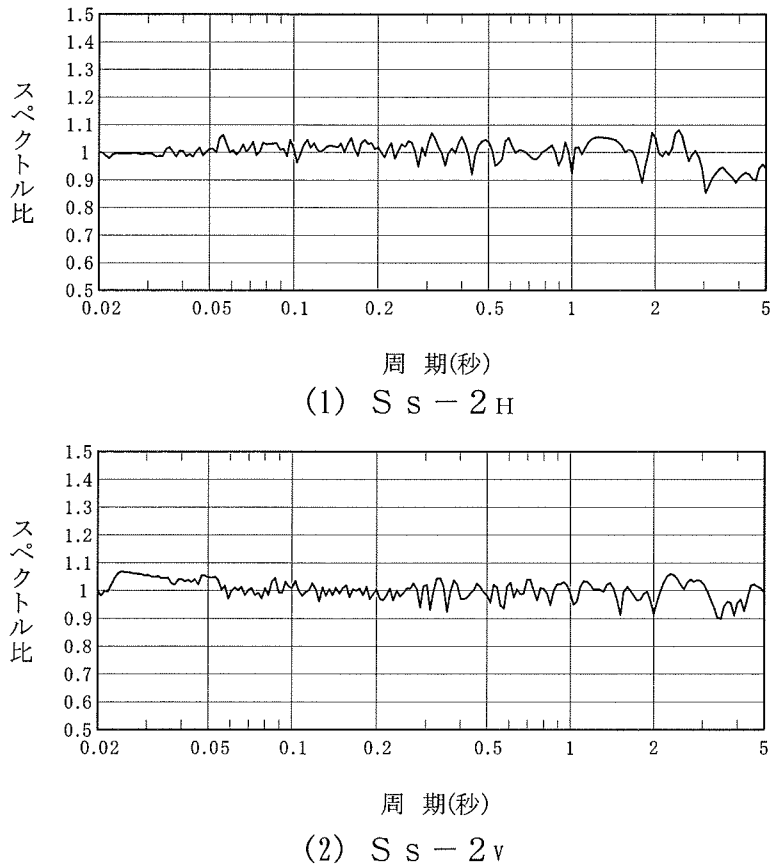


図-8 震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトル比