

電源開発株式会社
大間原子力発電所

意見聴取会指摘事項について
(地震関係)

平成19年1月
原子力発電安全審査課

目 次

1. 検討用地震の不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの関連について
2. F-14 断層について

1. 検討用地震の不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの関連について

1) 検討用地震の不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの関連について示すこと。

2) 函館平野西縁断層帯による地震について、セグメント2の傾斜角を 45° とした場合について検討すること。

1.1 はじめに

申請者は、基準地震動の策定に影響を及ぼす不確かさの考慮に関して、意見聴取会資料「意見聴取会指摘事項について(地震関係)(04-大間設C-69)」において、検討用地震の地震動評価において影響の大きい考慮すべき震源要素の不確かさについて整理している。これによると、震源要素のうち、地震動評価への影響が大きい考慮すべき震源要素の不確かさ(以下「基準地震動の策定に当たり考慮すべき不確かさ」という。)として、想定三陸沖北部の地震については、発生位置の不確かさ、想定浦河沖スラブ内地震については、発生位置、要素地震の特性及び地震動評価手法の不確かさ、想定十勝沖スラブ内地震については、発生位置、地震動評価手法の不確かさ、函館平野西縁断層帯による地震については、地震規模の不確かさを選定し、基準地震動の策定において考慮している。なお、破壊開始点の不確かさについても影響が大きいと考えられるが、全ての検討用地震について、敷地への影響が大きくなるように、破壊が敷地に向かう位置に破壊開始点を考慮している。

ここでは、上述以外の震源要素の不確かさが地震動評価に及ぼす影響度について検討している。

1.2 検討対象とする震源要素の不確かさ

申請者は、基準地震動の策定に当たり考慮すべき不確かさ以外の震源要素の不確かさとしては、アスペリティ位置、アスペリティ面積、応力降下量及びすべり量の不確かさが考えられるとしている。このうち、応力

降下量は強震動予測レシピによりアスペリティ面積及びすべり量と相互に関係づけられているとしており、以下では、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさの影響について検討を行うとしている。

1.2.1 アスペリティ位置の不確かさ

申請者は、検討用地震のアスペリティ位置の不確かさについて、以下に示すような不確かさを考慮し、地震動評価に及ぼす影響を検討している。

(1)想定三陸沖北部の地震

想定三陸沖北部の地震は固有地震と考えられ、地震調査研究推進本部(2004)⁽¹⁾により、1968年十勝沖地震の震度分布と調和的になることが検証されており、震源モデルの信頼性は高いと考えられるとしている。このことから、アスペリティ位置については、震源モデルの断層面の範囲内で第1アスペリティを敷地寄りに近づけた場合の影響について検討を行うとしている。図-1.1 に検討モデルを示す。

(2)想定浦河沖スラブ内地震

想定する地震について、アスペリティ位置を特定するための情報がないことから、想定する断層面の範囲内で最も敷地寄りにアスペリティを配置した場合及び敷地の反対方向に配置した場合について検討を行うとしている。なお、アスペリティは1ヶ所のみとし、笹谷ほか(2003)⁽²⁾による1993年釧路沖地震の震源モデルにおけるアスペリティの総面積と等価な面積を設定している。図-1.2 に検討モデ

ルを示す。

(3) 想定十勝沖スラブ内地震

想定する地震について、アスペリティ位置を特定するための情報がないことから、想定する断層面の範囲内で最も敷地寄りにアスペリティを配置した場合及び敷地の反対方向に配置した場合について検討を行うとしている。なお、アスペリティは1ヶ所のみとし、森川ほか(2002)⁽³⁾による1994年北海道東方沖地震の震源モデルにおけるアスペリティの総面積と等価な面積を設定している。図-1.3に検討モデルを示す。

(4) 函館平野西縁断層帯による地震

セグメント1について、アスペリティを1ヶ所として最も敷地寄りに配置し、さらにセグメント2についても最も敷地寄りにアスペリティを配置した場合について検討するとしている。また、セグメント2について、断層面の傾斜角をセグメント1と同じ45°として敷地側に傾斜させた場合について断層モデルにより検討を行うとしている。図-1.4に検討モデルを示す。

1.2.2 応力降下量の不確かさ

(1) 想定三陸沖北部の地震及び函館平野西縁断層帯による地震

申請者は、想定三陸沖北部の地震及び函館平野西縁断層帯による地震の応力降下量の不確かさを文献に基づいて考慮するとしている。具体的には、入倉・三宅(2001)⁽⁴⁾では、内陸地殻内地震について、アスペリティ総面積 S_a と断層面積 S の比の標準偏差(σ)は

1.34 倍であるとされていること、及び地震調査委員会(2005)⁽⁵⁾によればアスペリティ面積と応力降下量は反比例の関係にあることから、入倉・三宅(2001)⁽⁴⁾によるアスペリティ面積のばらつきを応力降下量のばらつきと考え、その上下限を $\pm 1\sigma$ とした場合について検討している。ここで、地震動の短周期レベルは(1)式のように、アスペリティの半径とアスペリティの応力降下量の積に比例するとされていることから、応力降下量として 1.34 倍を考慮する場合は、短周期レベルは 1.16 倍になるとしている。

$$A = 4\pi r \cdot \Delta\sigma_a \cdot \beta^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

A :短周期レベル, r :アスペリティの半径

$\Delta\sigma_a$:応力降下量, β :震源域における岩盤のS波速度

(2) 想定浦河沖スラブ内地震及び想定十勝沖スラブ内地震

申請者は、想定浦河沖スラブ内地震及び想定十勝沖スラブ内地震の応力降下量の不確かさを文献に基づいて考慮している。具体的には、海洋プレート内地震(スラブ内地震)について、図-1.5 に示す池田・武村(2003)⁽⁶⁾によるスラブ内地震の短周期レベルと地震モーメントの関係に基づき、申請者は、図-1.6 に示す北海道・東北地方のスラブ内地震の応力降下量の平均値と標準偏差を算定している。申請者は、図-1.6 によると、1993年釧路沖地震(M7.5)や2003年宮城県沖の地震(M7.1)のような規模の大きなスラブ内地震の応力降下量は平均値+ 1σ 程度(約1.52倍)であり、意見聴取会資料「意見聴取会指摘事項について(地震関係)(04-大間設C-69)」において示したように、基本的な震源モデルは不確かさを取り込んで設定しているとしている。また、加藤ほか(1998)⁽⁷⁾による(2)

式のスラブ内地震の短周期レベルと応力降下量の関係より、短周期レベルは約 1.32 倍となっていることから、基本的な震源モデルによる地震動評価結果に 1/1.32 倍したものを平均的な応力降下量の場合(以下「平均的な震源モデル」という。)として考慮するとしている。

$$M_{HF} = (2.34Vs)^2 \left(\frac{7}{16}\right)^{-2/3} M_o^{1/3} \Delta \sigma^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

M_{HF} :短周期レベル, M_o :地震モーメント

$\Delta \sigma$:応力降下量, V_s :震源域における岩盤のS波速度

1.3 不確かさの影響検討

上述の「1.2 検討対象とする震源要素の不確かさ」で設定したアスペリティ位置及び応力降下量の不確かさをそれぞれ考慮した場合の地震動評価を行っている。アスペリティ位置の不確かさの影響については、Noda et al.(2002)⁽⁸⁾による手法に基づいて評価し、応力降下量の不確かさの影響については、「1.2.2 応力降下量の不確かさ」で設定した倍率を考慮して評価するとしている。

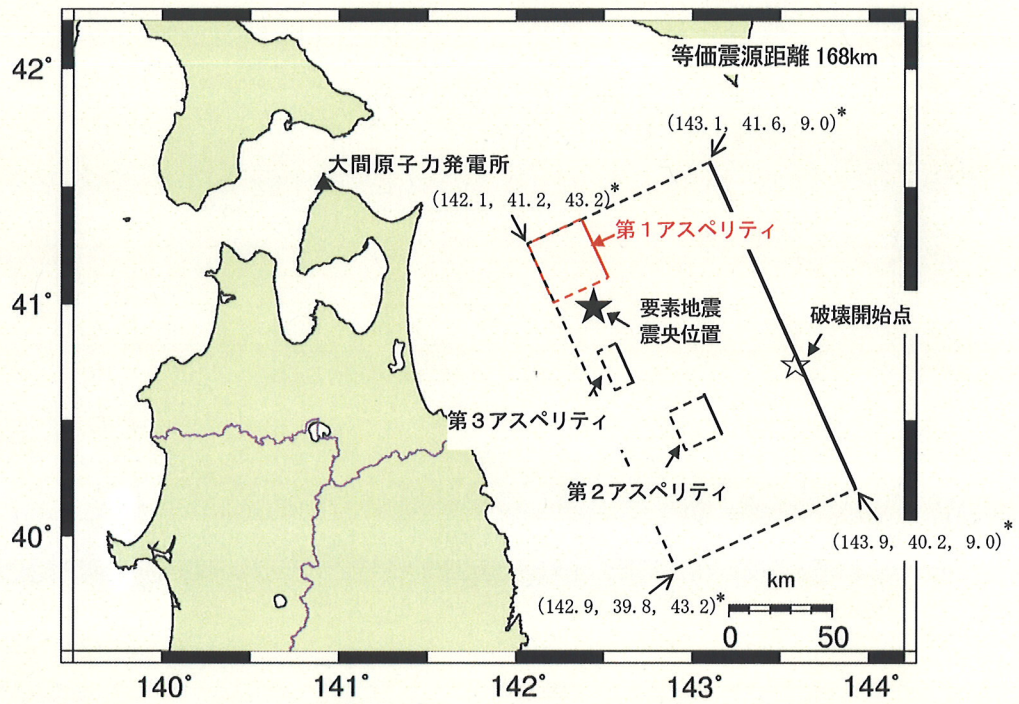
図-1.7～図-1.10 に申請者が基準地震動の策定に当たり考慮すべき不確かさを考慮した場合の各検討用地震の地震動の応答スペクトルとアスペリティ位置及び応力降下量の不確かさを考慮した場合の応答スペクトルを比較して示す。申請者は、これらの図に示すように、全ての検討用地震について、アスペリティ位置の不確かさの影響よりも応力降下量の不確かさの影響の方が大きくなっているとしている。また、アスペリティ位置及び応力降下量の不確かさを考慮した場合の応答スペクトルは、基準地震動策定に当たり考慮すべき不確かさを考慮した場合の応

答スペクトルを概ね下回っており、また、基準地震動の設計用応答スペクトル S_s-1_H 及び S_s-1_V はこれらの応答スペクトルに対して十分な余裕をもって設定されているとしている。

1.4 参考文献

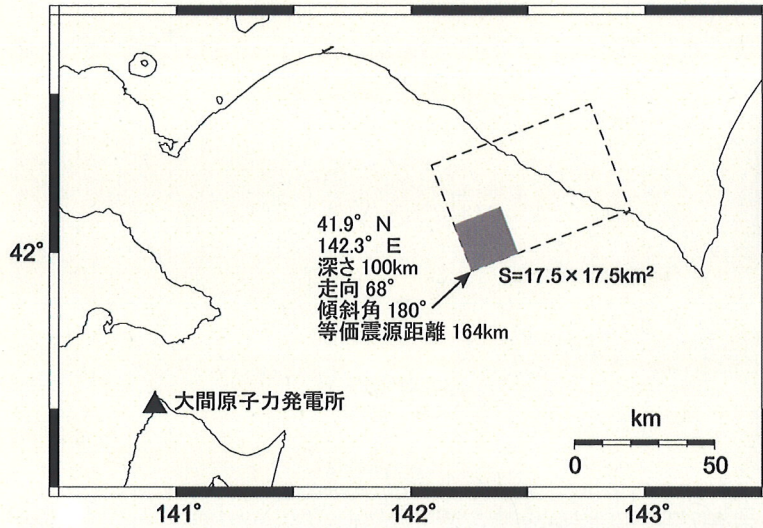
- (1) 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について,地震調査委員会
- (2) 笹谷努・森川信之・前田宜浩(2003):スラブ内地震の震源特性とその強震動評価,第31回地盤震動シンポジウム, pp.17-22
- (3) 森川信之・笹谷努・藤原広行(2002):経験的グリーン関数法によるスラブ内地震の震源モデルの構築,第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集, pp.133-138
- (4) 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測,地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875
- (5) 地震調査委員会(2005):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- (6) 池田孝・武村雅之(2003):2003年5月26日宮城県沖の地震の高振動数成分の励起特性,日本地震工学会・大会2003梗概集,特108-特109
- (7) 加藤研一・武村雅之・八代和彦(1998):強震記録から評価した短周期震源スペクトルの地域性,地震2,第51巻,123-138
- (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

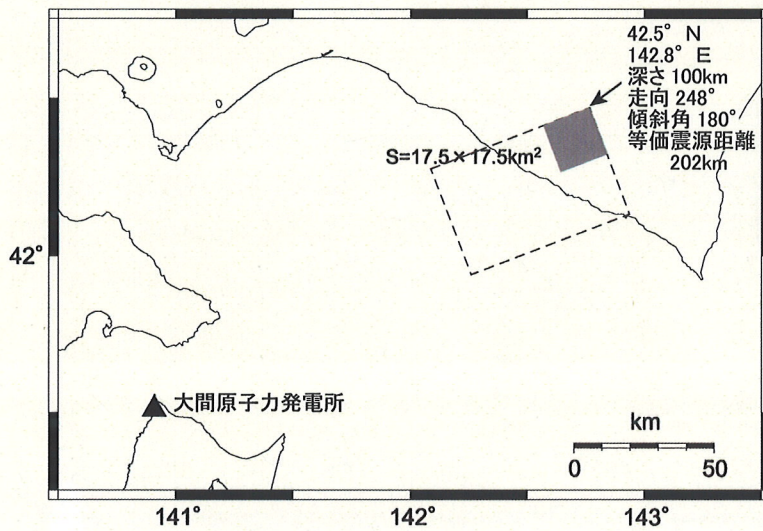


* (経度, 緯度, 震源深さ)

図-1.1 想定三陸沖北部の地震に関するアスペリティ位置の影響検討モデル

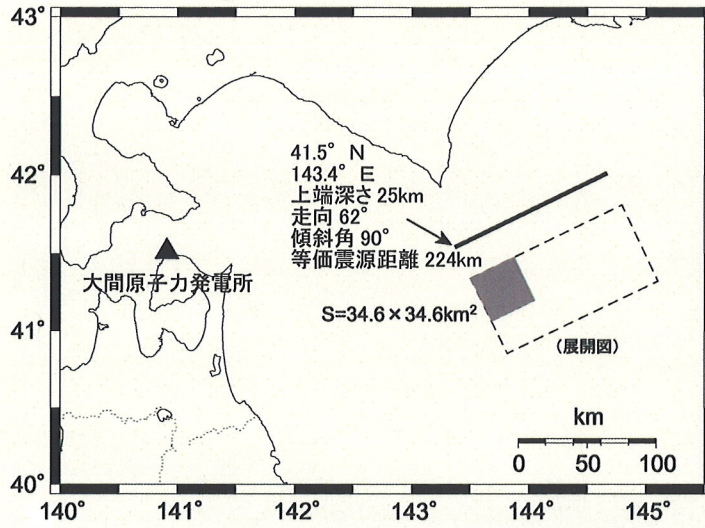


(1)アスペリティを最も敷地寄りに配置した場合

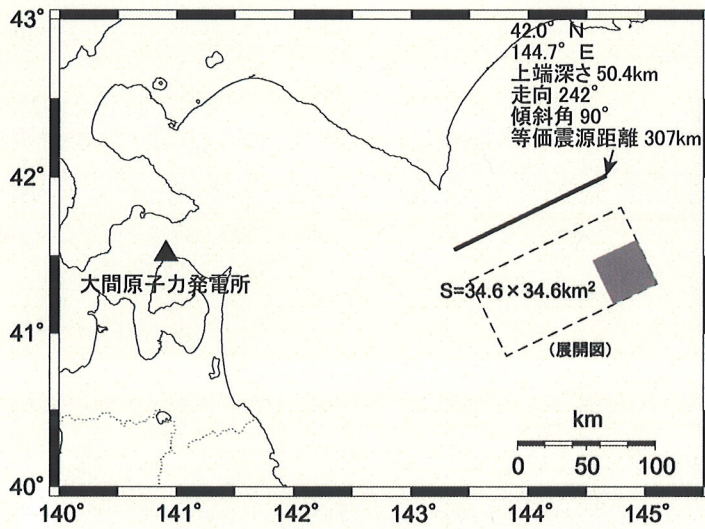


(2)アスペリティを敷地の反対方向に配置した場合

図-1.2 想定浦河沖スラブ内地震に関するアスペリティ位置の影響検討モデル

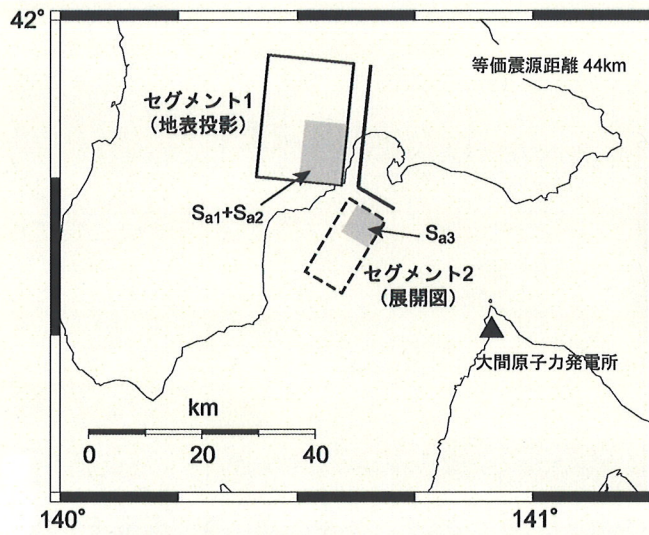


(1)アスペリティを最も敷地寄りに配置した場合

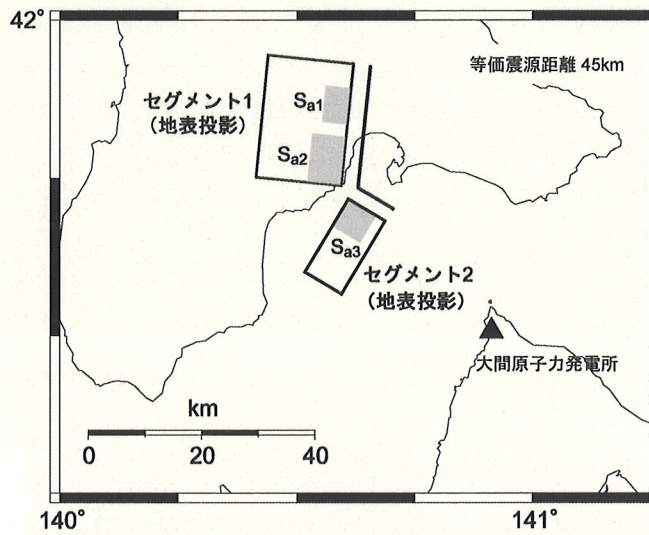


(2)アスペリティを敷地の反対方向に配置した場合

図-1.3 想定十勝沖スラブ内地震に関するアスペリティ位置の影響検討モデル



(1)アスペリティを最も敷地寄りに配置した場合



(2)セグメント2の傾斜角を 45° とした場合

図-1.4 函館平野西縁断層帯による地震に関するアスペリティ位置の影響検討モデル

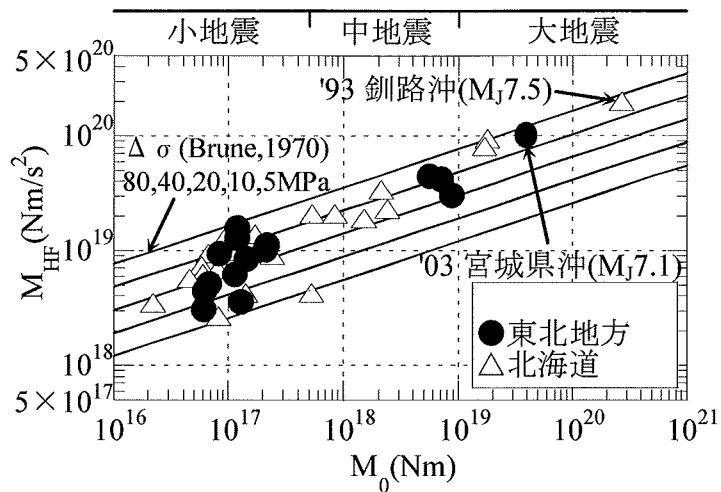


図2 M_{HF} - M_0 関係

(池田・武村(2003)を一部修正)

図-1.5 スラブ内地震の短周期レベル M_{HF} と地震モーメント M_0 の関係

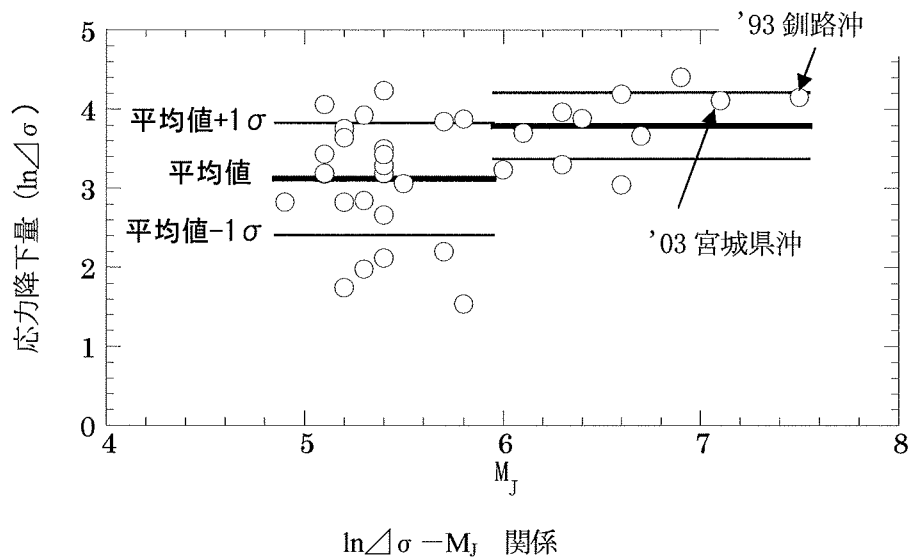
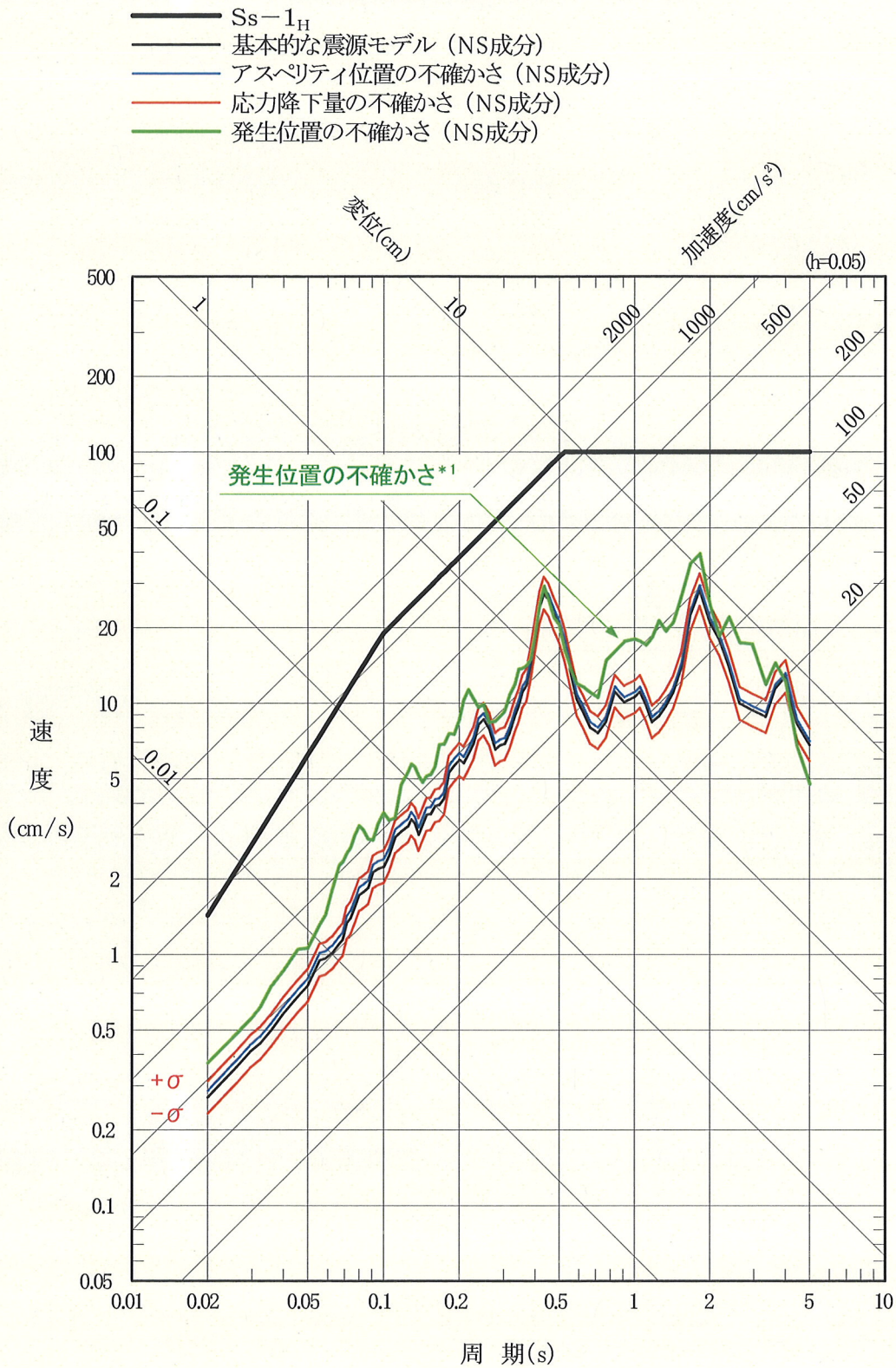
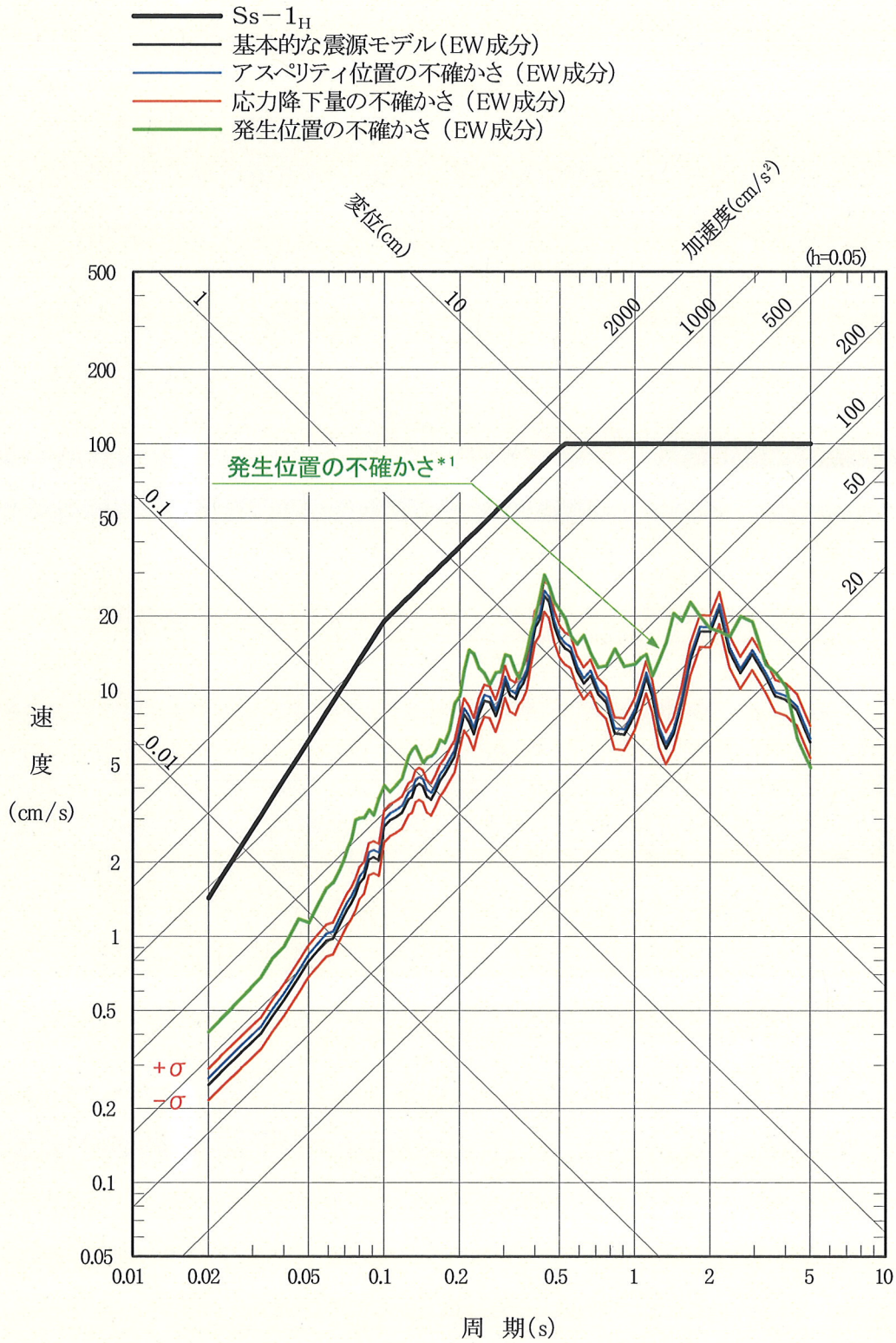


図-1.6 応力降下量 ($\ln \Delta \sigma$) の平均値と標準偏差 (太平洋プレートのスラブ内地震)



*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

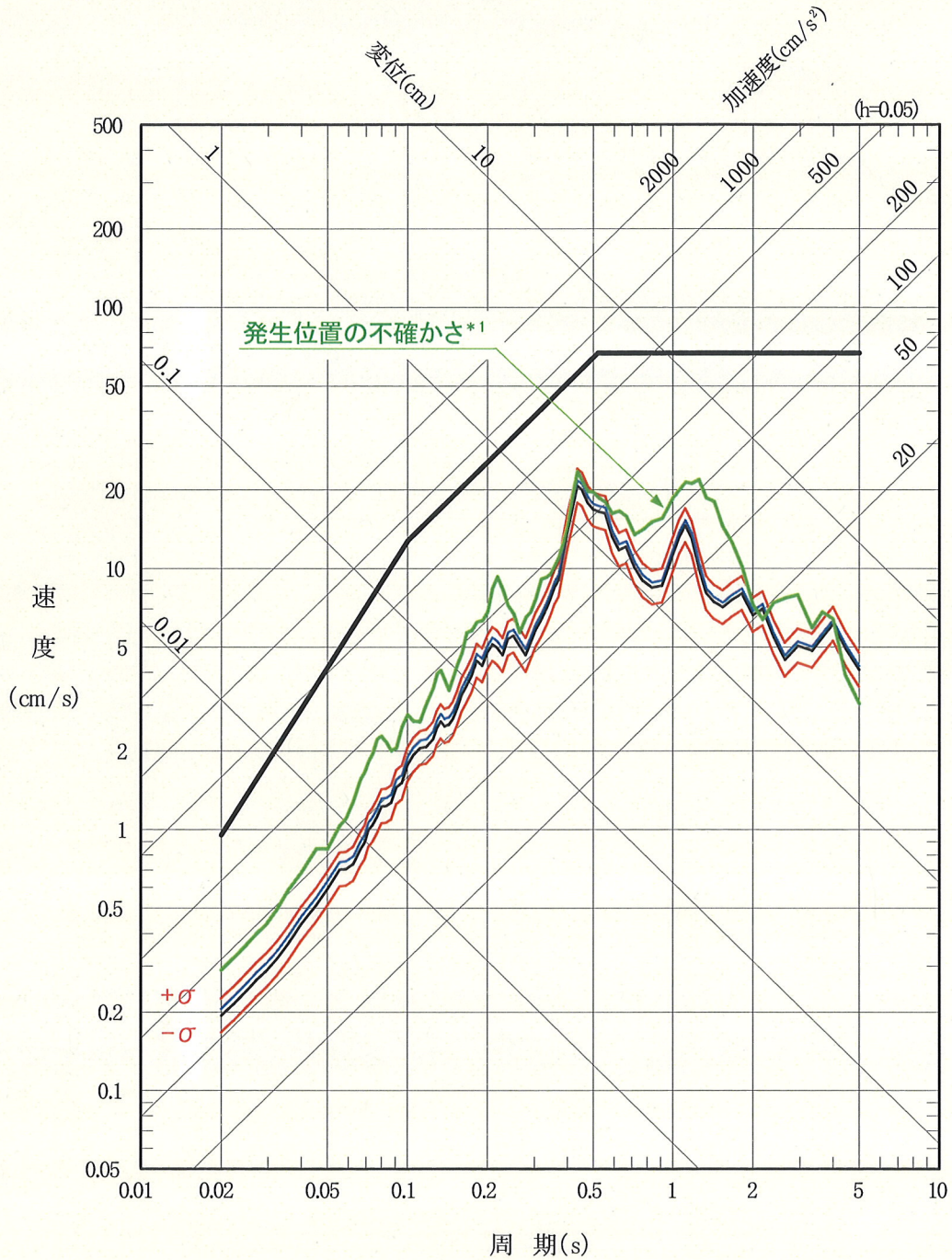
図-1.7(1) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定三陸沖北部の地震 水平動, NS成分)



*1:意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.7(2) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定三陸沖北部の地震 水平動, EW成分)

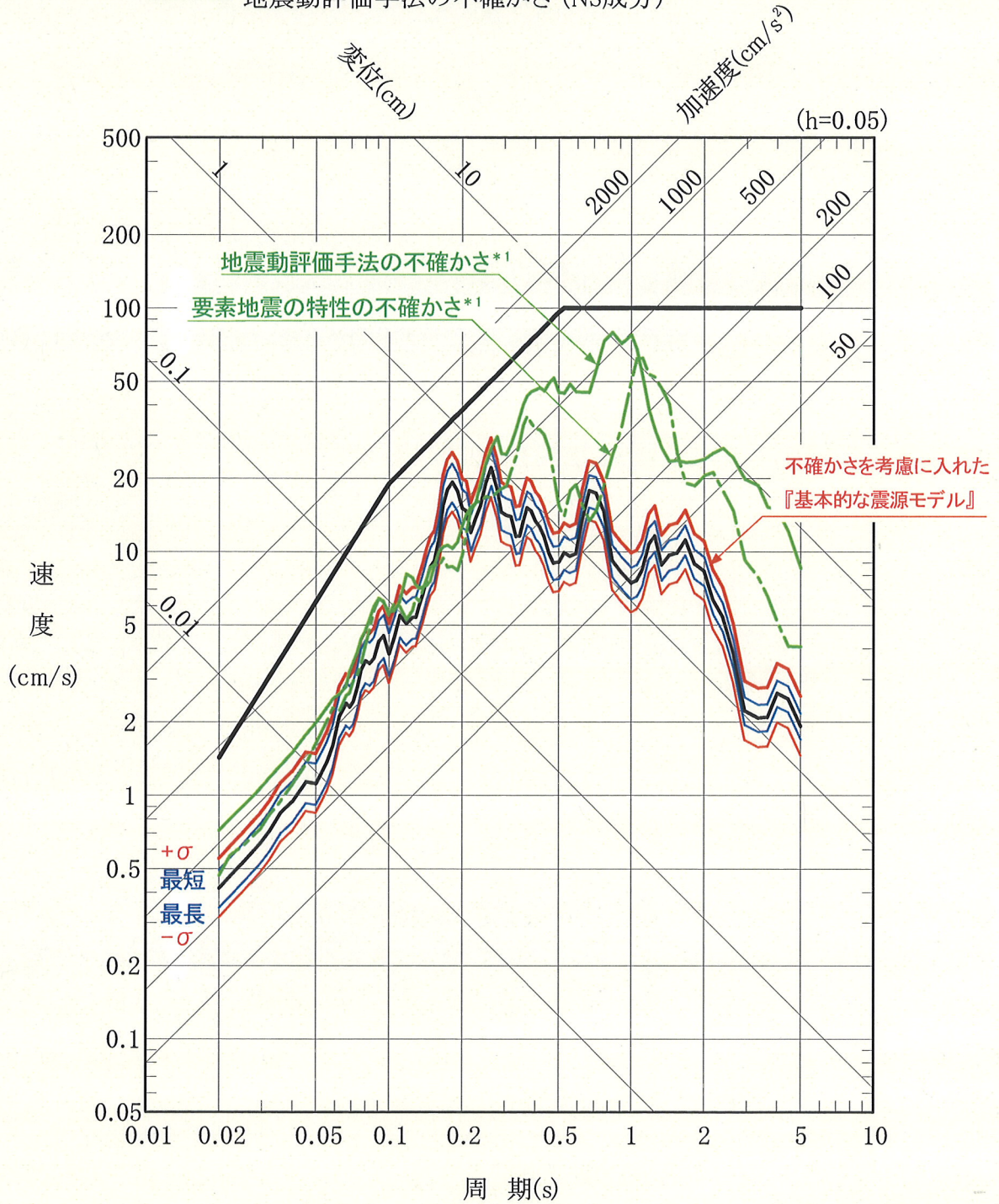
- Ss-1_v
- 基本的な震源モデル (UD成分)
- アスぺリティ位置の不確かさ (UD成分)
- 応力降下量の不確かさ (UD成分)
- 発生位置の不確かさ (UD成分)



*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.7(3) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定三陸沖北部の地震 鉛直動)

- S_s-1_H
- 平均的な震源モデル (NS成分)
- アスペリティ位置の不確かさ (NS成分)
- 応力降下量の不確かさ (NS成分)
- - - 要素地震の特性の不確かさ (NS成分)
- 地震動評価手法の不確かさ (NS成分)



*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.8(1) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定浦河沖スラブ内地震 水平動, NS成分)

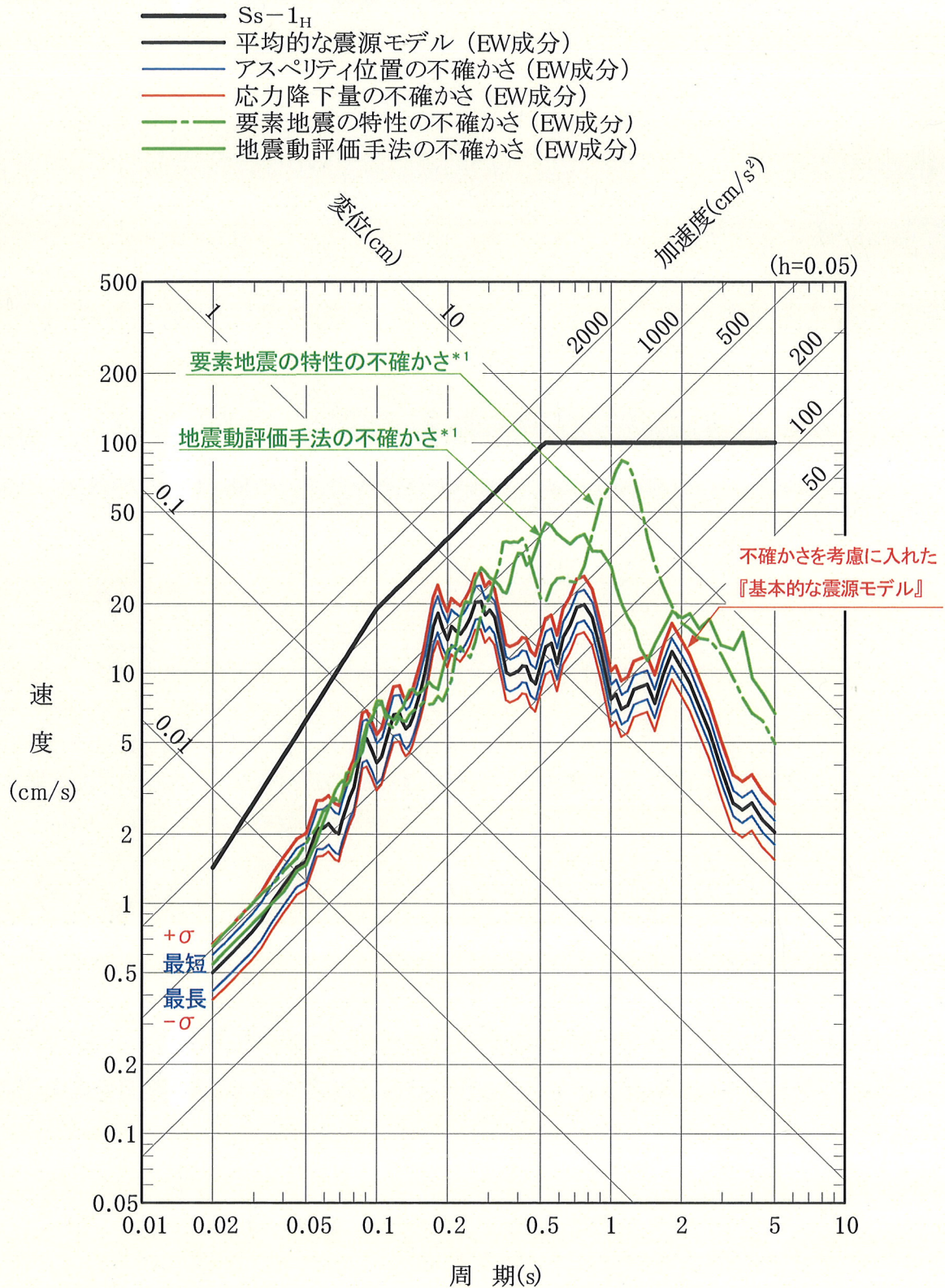


図-1.8(2) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
 (想定浦河沖スラブ内地震 水平動, EW成分)

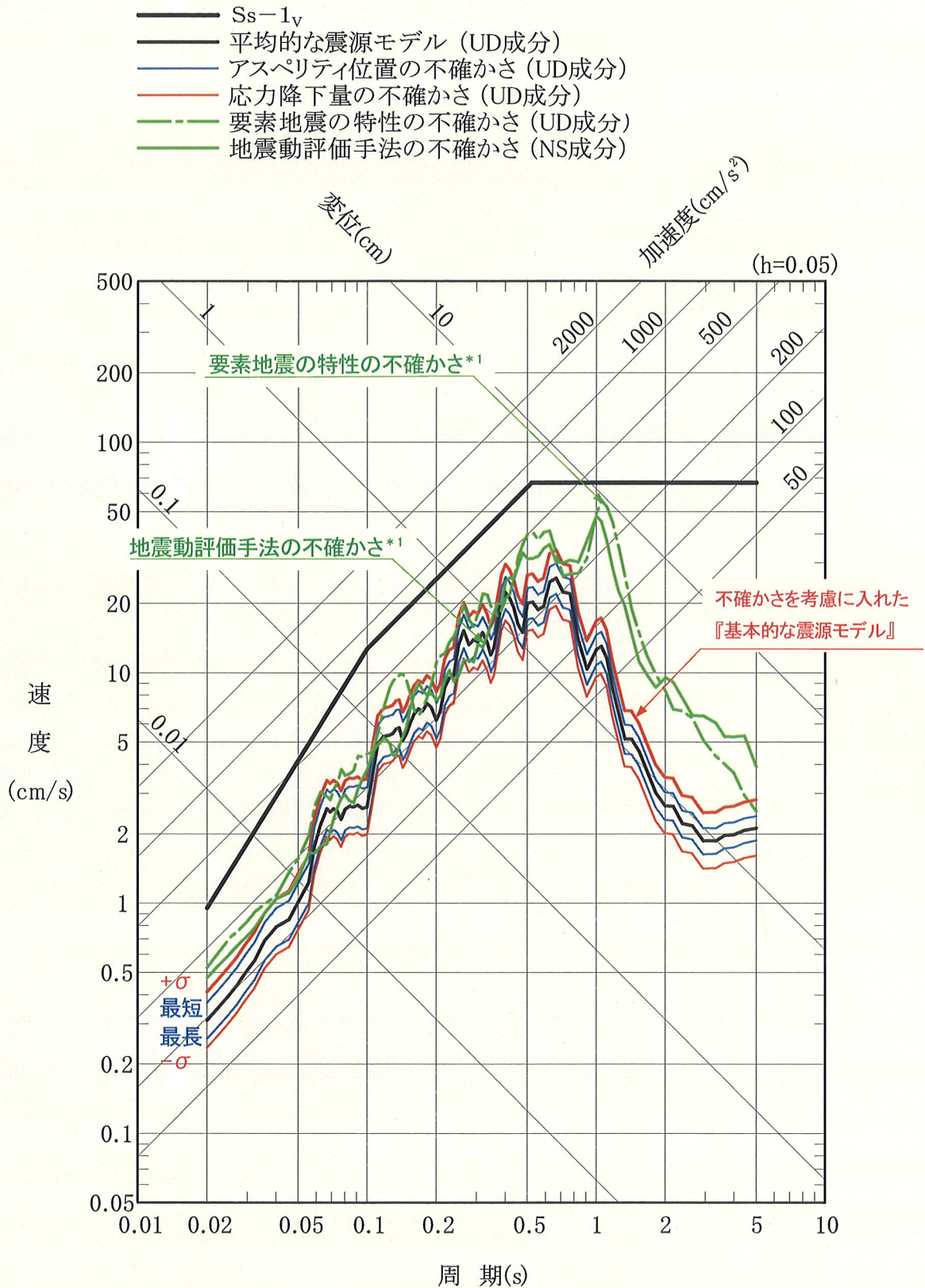
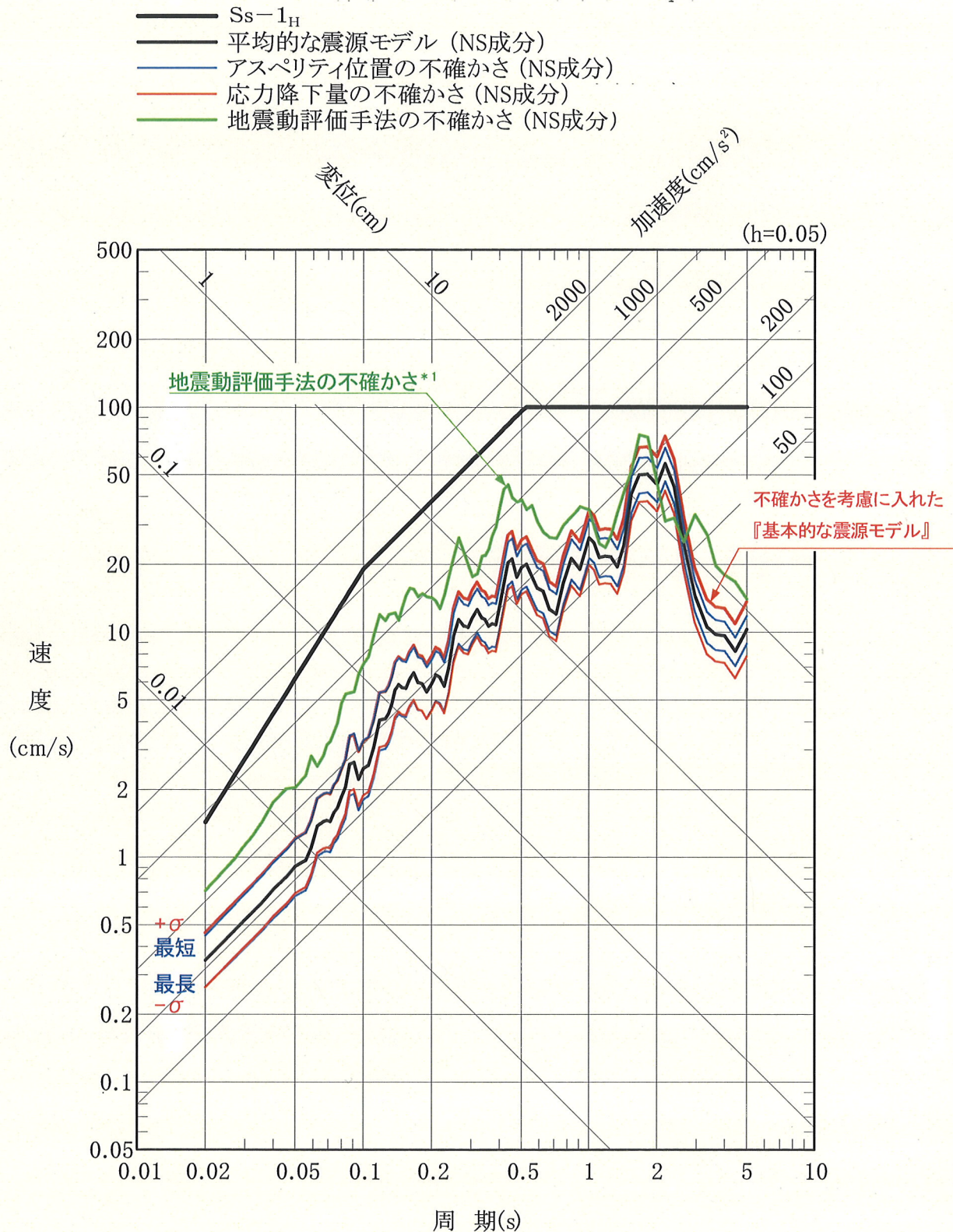
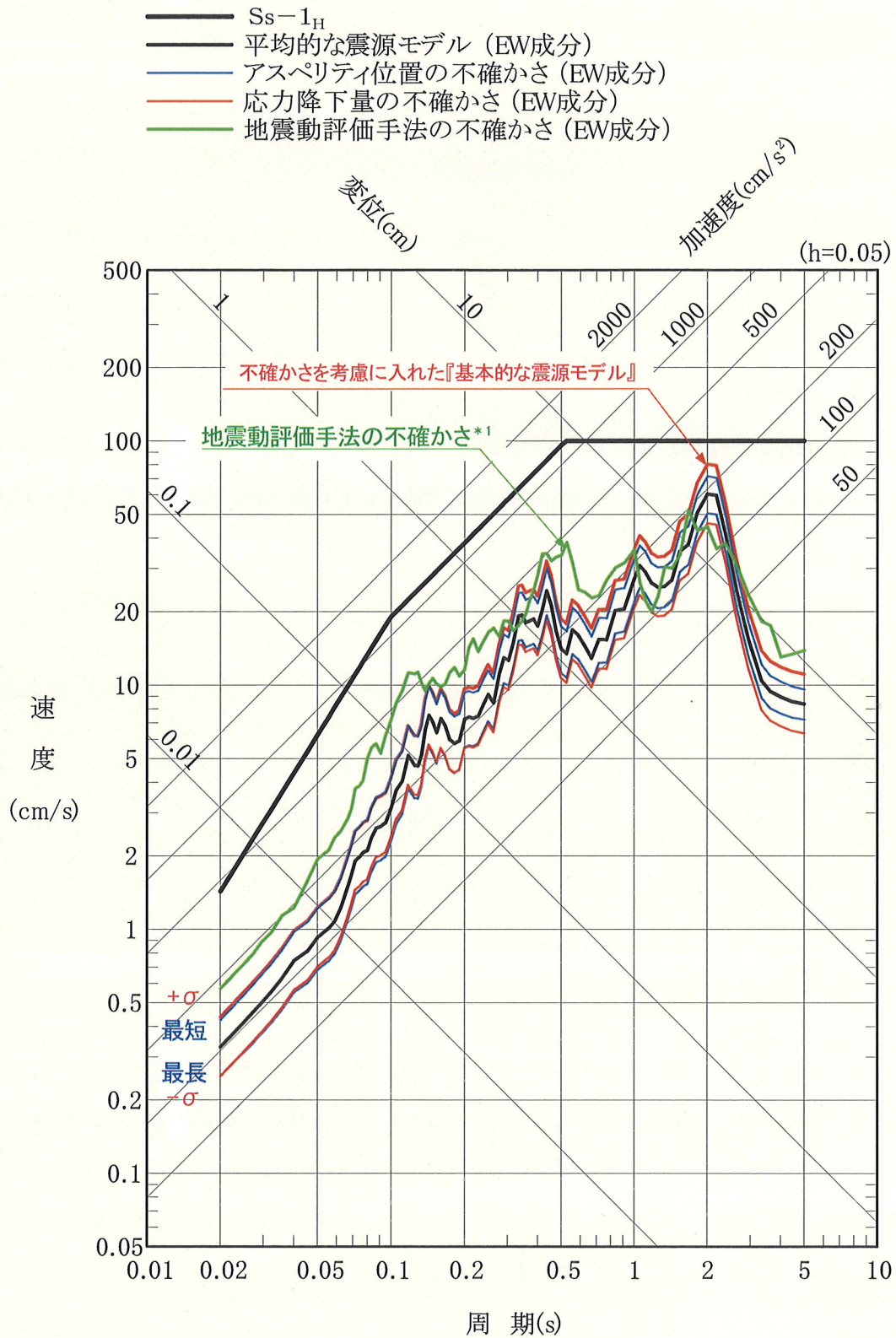


図-1.8(3) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
 (想定浦河沖スラブ内地震 鉛直動)



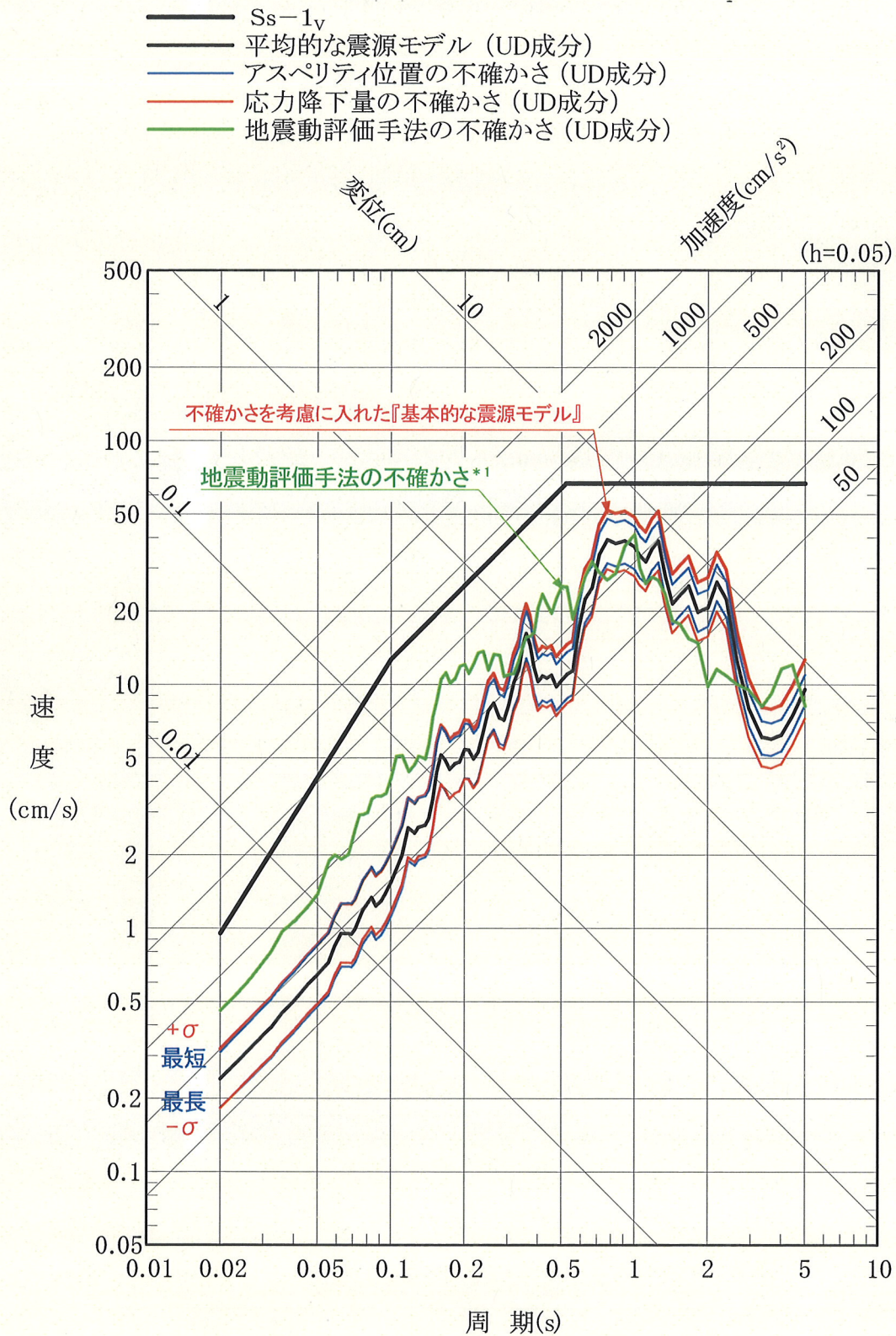
*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.9(1) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定十勝沖スラブ内地震 水平動, NS成分)



*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

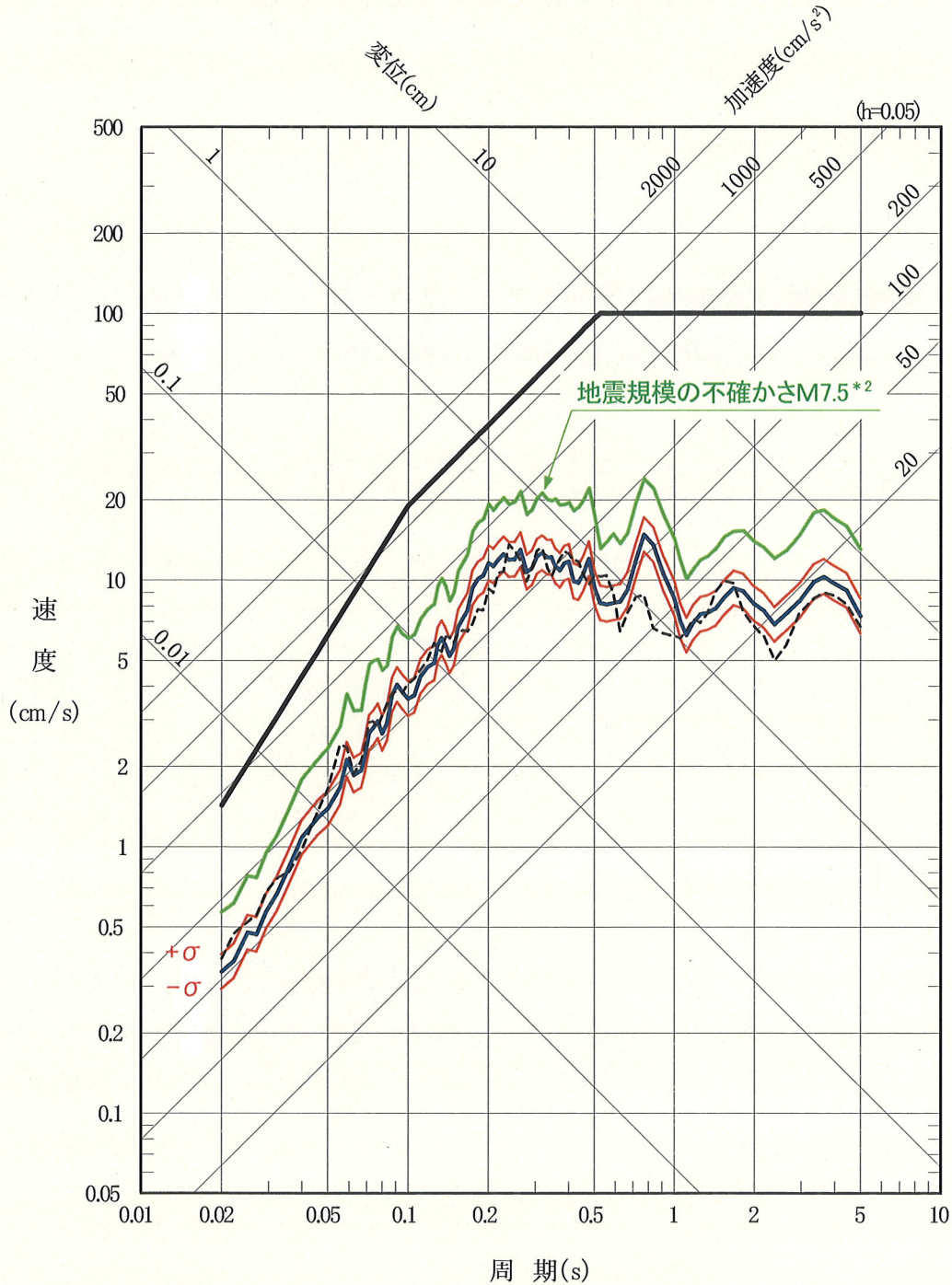
図-1.9(2) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定十勝沖スラブ内地震 水平動, EW 成分)



*1: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.9(3) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(想定十勝沖スラブ内地震 鉛直動)

- $S_s - 1_H$
- 基本的な震源モデル (NS成分)*¹
- アスペリティ位置の不確かさ (NS成分)*¹
- 応力降下量の不確かさ (NS成分)
- 地震規模の不確かさ M7.5 (NS成分)
- - - 震源モデルの不確かさ (セグメント2 南45° 傾斜, NS成分)

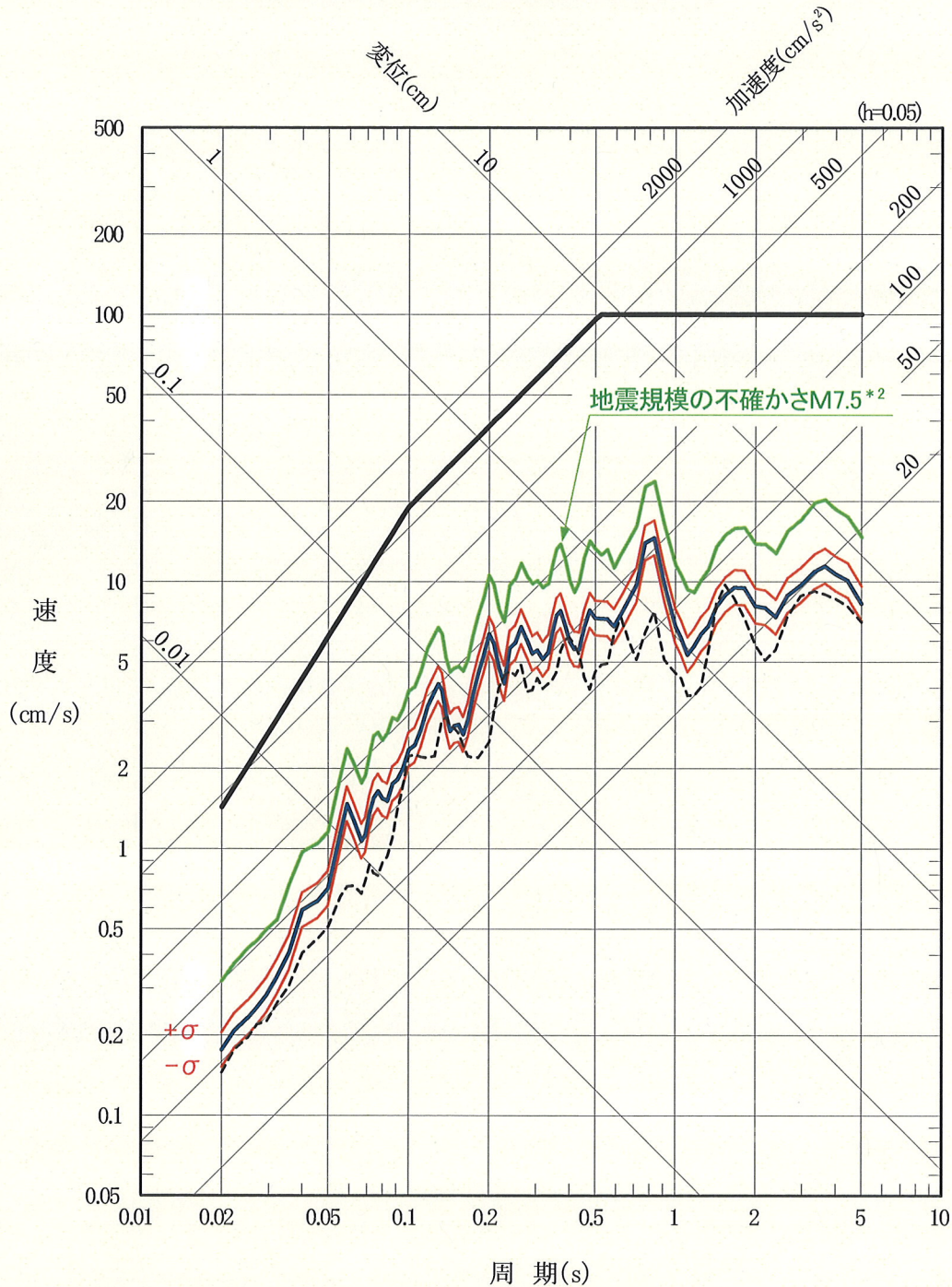


*1: 「基本的な震源モデル」と「アスペリティ位置の不確かさ」は等価震源距離が等しいため、実線は重なっている

*2: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.10(1) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(函館平野西縁断層帯による地震 水平動, NS 成分)

- Ss-1_H
- 基本的な震源モデル (EW成分)*¹
- アスペリティ位置の不確かさ (EW成分)*¹
- 応力降下量の不確かさ (EW成分)
- 地震規模の不確かさ M7.5 (EW成分)
- - - 震源モデルの不確かさ (セグメント2 南45° 傾斜, EW成分)

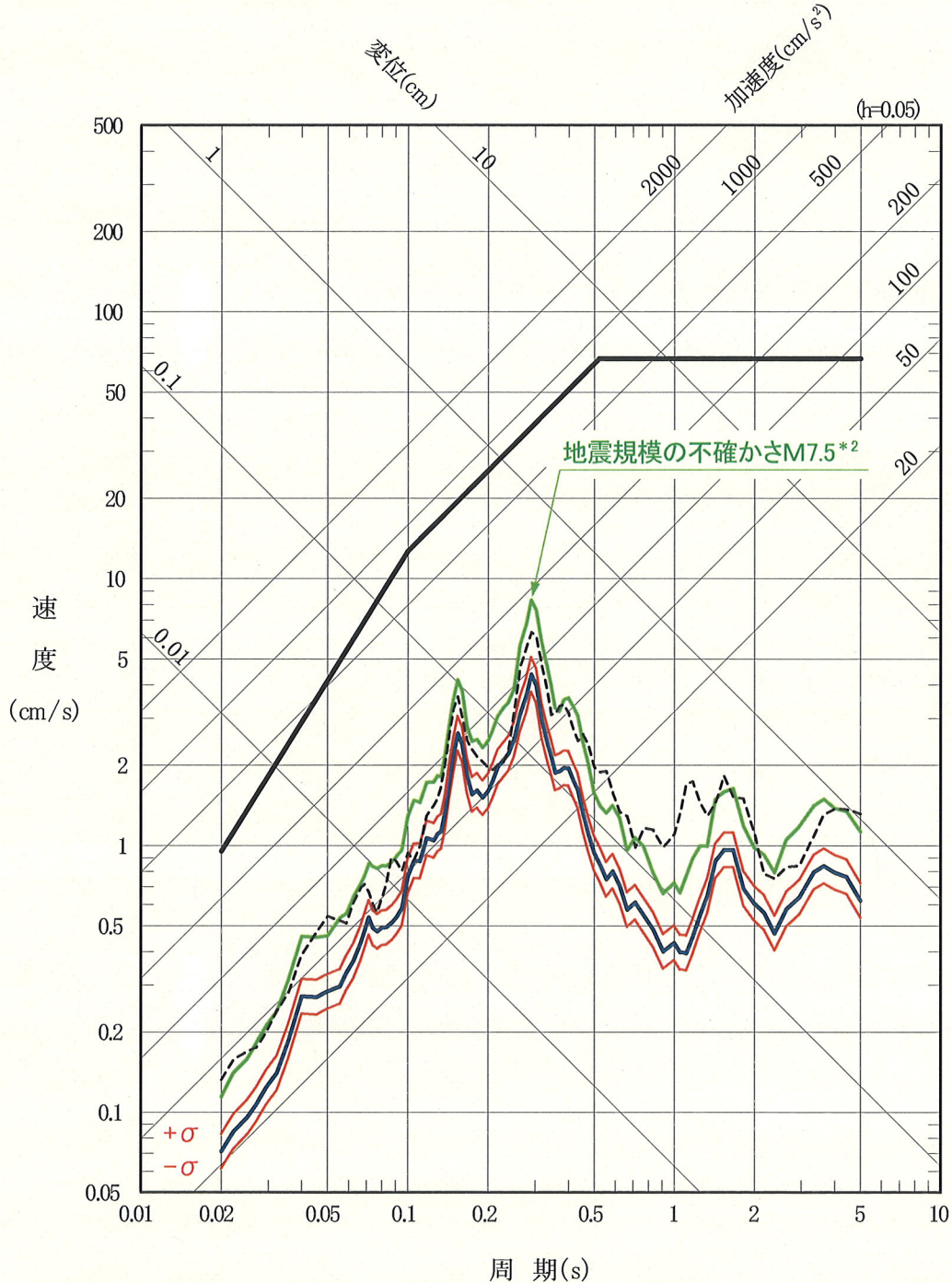


* 1: 「基本的な震源モデル」と「アスペリティ位置の不確かさ」は等価震源距離が等しいため、実線は重なっている

* 2: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.10(2) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(函館平野西縁断層帯による地震 水平動, EW 成分)

- Ss-1_v
- 基本的な震源モデル (UD成分)*¹
- アスぺリティ位置の不確かさ (UD成分)*¹
- 応力降下量の不確かさ (UD成分)
- 地震規模の不確かさ M7.5 (UD成分)
- - - 震源モデルの不確かさ (セグメント2 南45° 傾斜, UD成分)



* 1: 「基本的な震源モデル」と「アスぺリティ位置の不確かさ」は等価震源距離が等しいため、実線は重なっている

* 2: 意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」による

図-1.10(3) 不確かさの考慮による影響と設計用応答スペクトルの比較
(函館平野西縁断層帯による地震 鉛直動)

2. F-14 断層について

- 1) 孤立した短い活断層である F-14 断層による地震の地震動評価の考え方について整理すること。

2.1 敷地近傍の孤立した短い活断層の調査結果

申請者は、断層長さが短く、地震規模の推定に際して既往の経験式が適用できないと考えられる断層として図-2.1 及び表-2.1 に示す敷地西方沖断層(断層長さ約 7.2km)及び F-14 断層(断層長さ約 3.4km)があるとしている。

地質調査の結果によると、敷地西方沖断層は、長さが最大でも約 3.8 kmの計7条の断層からなり、これらの断層の一部で変位又は変形がB₁層の露出する海底まで達している断層であるとしている。これらの断層は、北側に分布する断層は南側落下、南側に分布する断層は北側落下であることから、全体的に WNW-ESE 方向に延びる地溝状の構造を呈し、これらの断層が地下深部で単一の断層となっていることも否定し難いことから一括して敷地西方沖断層としている。海上音波探査記録上で、断層面が明確に認められてはならず、不明確ではあるが、上記の特徴から、ほぼ鉛直に近い断層と評価できるとしている。

F-14断層は、大間海脚の海底に広く露出するE層中に分布する向斜構造の軸部が不連続的に折れ曲がっている部分の断層であるとしている。本断層は、E層中の断層であり、後期更新世の地層を変位又は変形させている断層という積極的証拠はないが、上載地層が分布しないことから、後期更新世の活動を否定できず、安全評価上、考慮する断層として評価するとしている。海上音波探査記録上で、断層面が明確に認められてはならず、鉛直ないしはやや北東側に傾斜しているようにも認められるが、不明確であり、少なくとも低角の断層とは認められず、ほぼ鉛直に近い断層と評価できるとしている。

以上のように、F-14 断層については、調査の結果によれば、この断層が活断層である可能性は、敷地西方沖断層に比べて小さいと考えられ、その地下深部に震源断層が拵がっているとは考え難いものの、後期更新世の活動を否定できないことから、申請者は、敷地西方沖断層と同様に、安全評価上、耐震設計上考慮する断層として取扱うとしている。

2.2 孤立した短い活断層による地震の震源モデルの設定

申請者は、敷地西方沖断層及び F-14 断層について、上述した調査結果からは震源断層を特定できないことから、震源断層を特定するに当たり、震源断層の規模の評価の一つとして、仮に震源断層が敷地周辺の地震発生層の上限から下限まで拵がっているとした場合を考慮することが考えられるとしている。なお、地震発生層の上限深さ及び下限深さについては、敷地周辺の微小地震の分布状況を考慮して仮定した 3km 及び 18km としており、地震発生層厚さは 15km と仮定している。

調査結果によれば、敷地西方沖断層及び F-14 断層ともに鉛直に近い断層であると評価できることから、仮に震源断層の傾斜角を 90° と仮定して、震源断層の幅を地震発生層の厚さ 15km とし、震源断層の長さを断層幅と同じ 15km と仮定すれば、スケーリングの観点からは、地表断層が出現する規模相当の地震を想定したことになり、短い活断層が現れている事実とも整合するとしている。

上述のような震源断層の設定の考え方によれば、敷地西方沖断層と F-14 断層の震源断層の規模は同じになり、震源断層の中央を震央とした場合の震央距離は、敷地西方沖断層では 18km、F-14 断層では 10

kmとなることから、申請者は、より敷地に近く、敷地に与える影響が大きいと考えられるF-14 断層について地震動評価を行うとしている。なお、震源断層の傾斜の不確かさを考慮しても、これらの地震による敷地への影響の大小関係は変わらないとしている。

申請者は、意見聴取会資料「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について(04-大間設C-64)」(以下「04-大間設C-64 資料」という。)においては、上述と同様に調査結果に基づき、F-14断層について鉛直な震源断層を仮定して地震動評価を行っているが、調査結果は浅い構造を見ており、地震発生層における震源断層の傾斜を確実に特定できるとは言い難いことから、ここでは調査結果の不確かさを考慮して、傾斜角を考慮した場合を考えるとしている。

傾斜角は、調査結果から低角ではないと考えられることから、仮に 60° と設定し、念のために敷地に近づく方向である南傾斜を仮定して図-2.2 に示すように最も保守的になるように仮想的に設定した震源断層について地震動評価を行うとしている。この場合、震源断層は地震発生層の上限から下限まで震源断層が広がるものとして震源断層の幅を17.3km、震源断層の長さを震源断層の幅と同じ17.3kmとするとしており、鉛直断層(15km×15km)を仮定した場合よりも断層面積が大きくなることから、地震モーメントも大きくなっているとしている。その他の断層パラメータの設定の考え方は、04-大間設C-64 資料と同様であるとしており、アスペリティの位置は地表断層直下の浅い位置に配置し、破壊開始点は破壊が敷地に向かう方向となるように設定している。地震動評価はハイブリッド法を用いるとしている。図-2.3に断層面の概念図、表-2.2

に断層パラメータを示す。申請者は、図-2.3 に示すように、最も保守的に設定した震源断層は敷地の下方にまで及んでおり、敷地に及ぼす影響がより大きくなる設定になっているとしている。図-2.4 及び図-2.5 に断層面積と地震モーメント M_0 の関係及び M_0 と短周期レベルの関係をそれぞれ示す。

2.3 短周期帯域の地震動評価

2.3.1 要素地震波の作成

申請者は、短周期帯域の地震動は統計的グリーン関数法により評価するとしている。地震動評価に用いる要素地震の設定方法は、04-大間設C-64 資料と同様に、Boore(1983)⁽¹⁾の方法に基づくとしており、断層面の分割数は図-2.3 に示すように設定している。表-2.3 にそれぞれ検討対象地震と要素地震の重ね合わせ数を示す。

2.3.2 地震基盤から解放基盤までの地盤増幅特性

解放基盤表面における地震動は、04-大間設C-64 資料と同じ表-2.4 に示す地震基盤から解放基盤表面までの深部地盤構造を用いて、一次元波動論に基づく解析により評価するとしている。

2.4 長周期帯域の地震動評価

申請者は、ハイブリッド法における長周期帯域の理論計算は、地下深部構造は平行成層モデルを仮定し、グリーン関数の評価には薄層要素法を用いるとしている。地下構造モデルは、表-2.4 に示す解放基盤

から地震基盤までの地下構造モデルの下部に、文献⁽²⁾⁽³⁾に基づき設定した上部マントルから地震基盤までの地殻構造モデルを結合したモデルを用いている。設定した地下深部構造モデルを表-2.5に示す。なお、解析に当たっては、長周期帯域の解析対象振動数は1.5Hz以下としている。

2.5 ハイブリッド法による地震動評価

申請者は、ハイブリッド法による地震動評価において、短周期帯域における地震動と長周期帯域における地震動の合成に際しては、接続振動数を1.0Hzとしている。合成した地震動の加速度波形及び応答スペクトルを図-2.6及び図-2.7に示す。また、図-2.7には、鉛直断層を仮定した場合の応答スペクトル及び敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の設計用応答スペクトル S_s-1_H 、 S_s-1_V を併せて示す。同図によると、念のため震源断層を最も保守的に南傾斜 60° として仮想的に設定したF-14断層による地震の応答スペクトルは、設計用応答スペクトル S_s-1_H 及び S_s-1_V に包絡されているとしている。

2.6 参考文献

- (1) David M. Boore(1983) : STOCHASTIC SIMULATION OF HIGH-FREQUENCY GROUND MOTIONS BASED ON SEISMOLOGICAL MODELS OF THE RADIATED SPECTRA, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.73, No.6, pp.1865-1894
- (2) 福山英一・石田瑞穂・Douglas S. Dreger・川井啓廉(1998):オンライン

ン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震2, 51,
pp.149-156

- (3) 佐藤魂夫・中山耕治・田中和夫・長谷見晶子(1989):東北地方の三
次元P波速度構造, 地震2, 42, pp.419-437

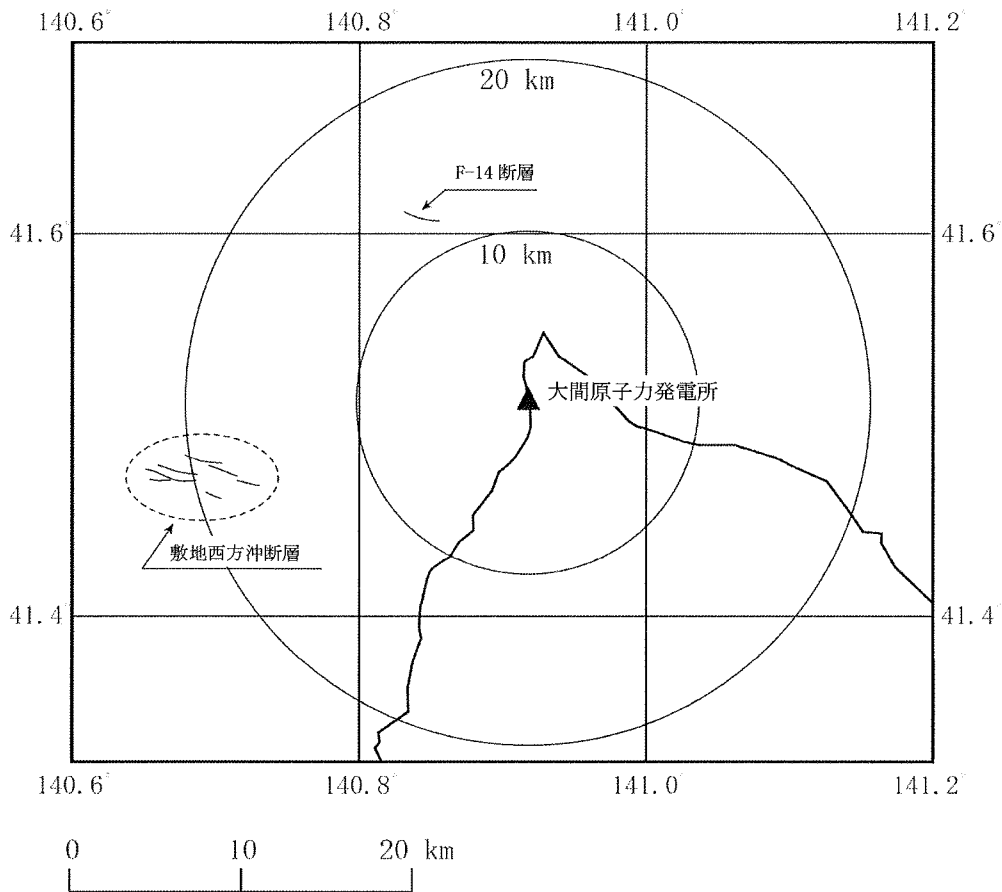


図-2.1 敷地近傍の孤立した短い断層

表-2.1 敷地近傍の孤立した短い断層の諸元

No.	断層名	評価長さ (km)	マグニチュード M	震央距離 Δ (km)
1	敷地西方沖断層	7.2	6.7 ^{*1}	18 ^{*1}
2	F-14断層	3.4	6.7 ^{*1}	10 ^{*1}

※1：震源断層形状を仮定して設定。

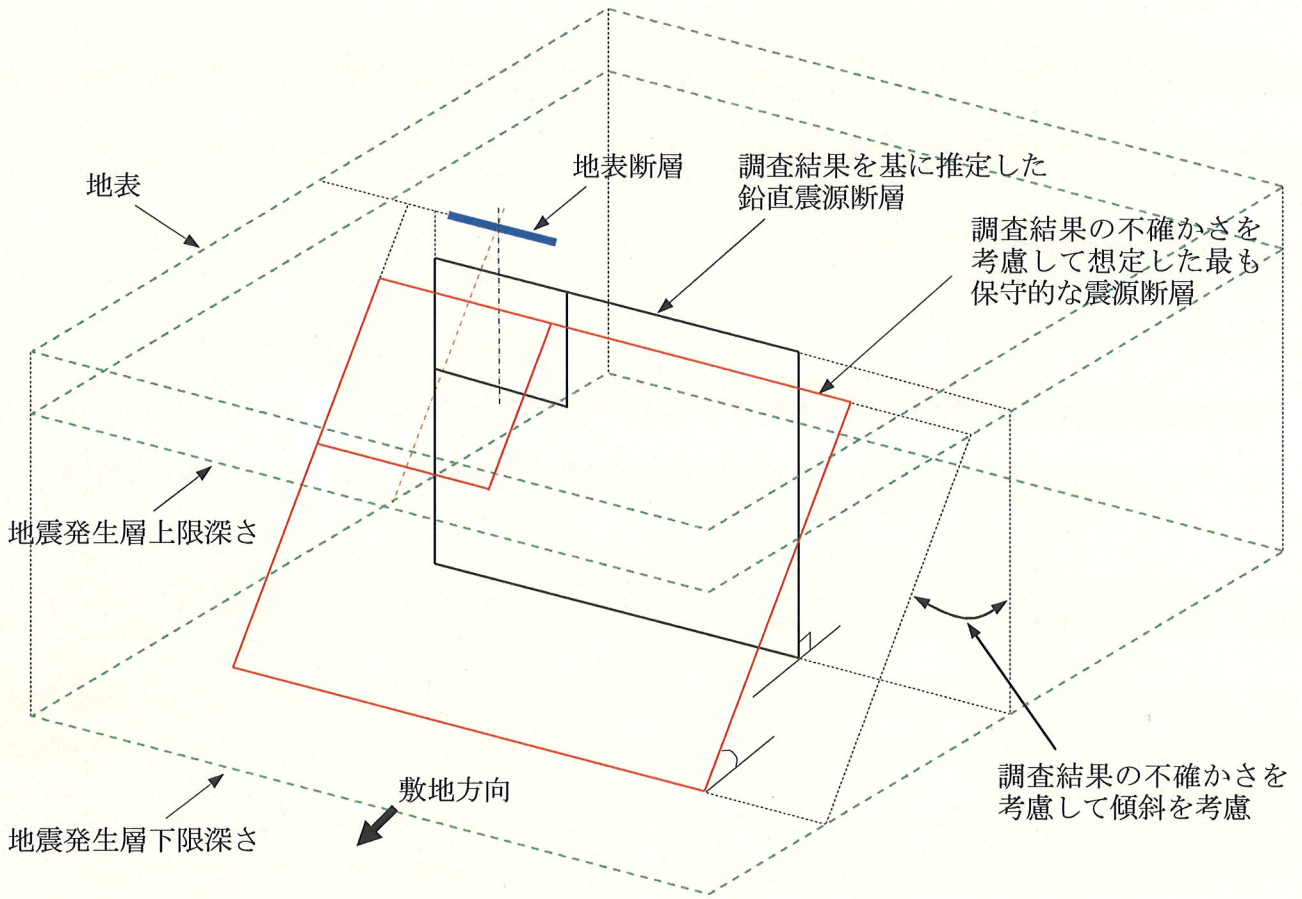
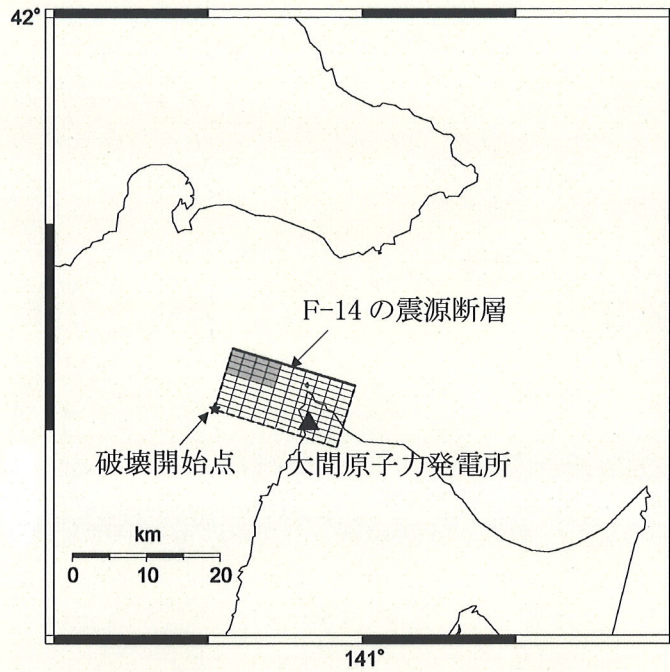
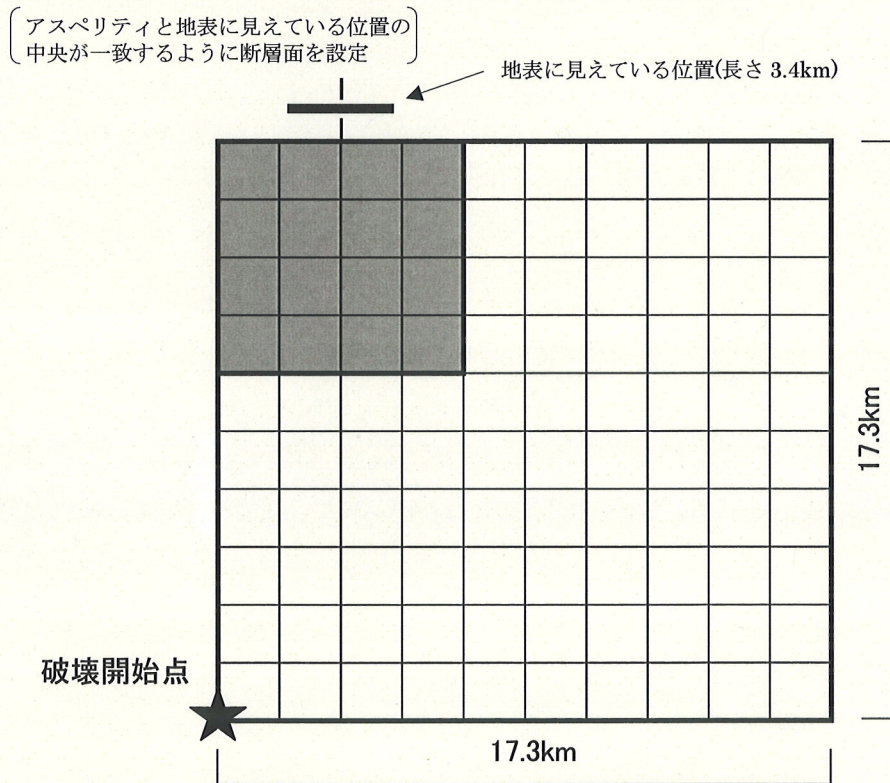


図-2.2 震源断層の設定の考え方(イメージ)



(a) F-14 断層の断層面位置

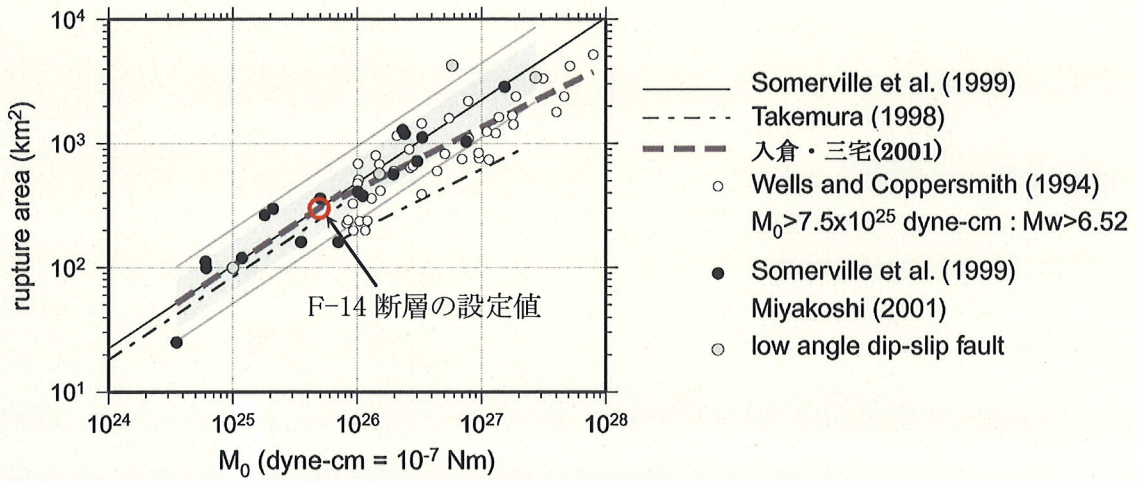


(b) 断層面の F-14 断層の断層面位置

図-2.3 保守的に設定した F-14 断層の震源断層面の概念図

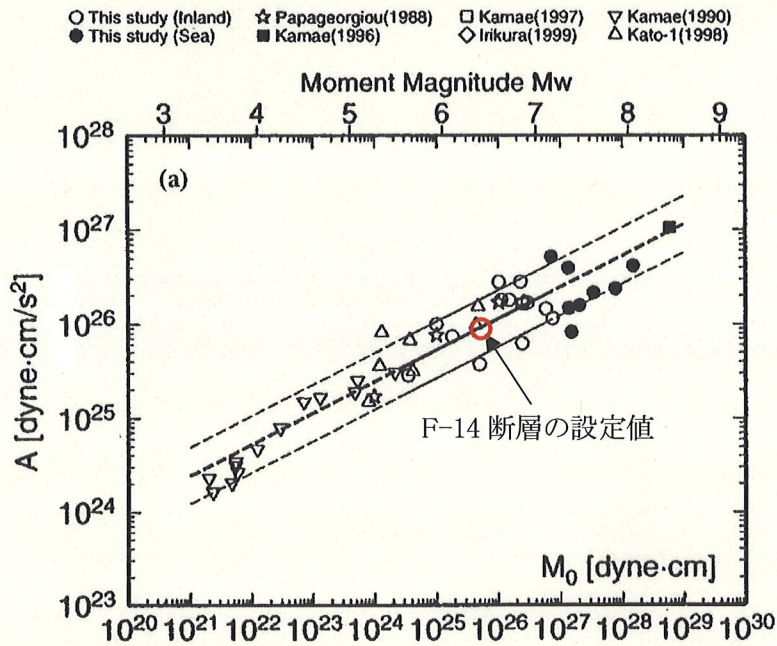
表-2.2 保守的に設定した F-14 断層の断層パラメータ

項 目		設定値	設定方法		
巨視的 パラメータ	断層面積	$S(\text{km}^2)$	300	$S=L \times W$	
	等価半径	$R(\text{km})$	9.77	$R=(S/\pi)^{1/2}$	
	地震モーメント	$M_0(\text{N}\cdot\text{m})$	5.01E+18	$M_0=(S/4.24 \times 10^{-11})^2$	
	応力降下量	$\Delta \sigma(\text{MPa})$	2.35	$\Delta \sigma=(7/16)*M_0*(S/\pi)^{-3/2}$	
	平均すべり量	$D(\text{cm})$	52.3	$D=M_0/(\mu S)$	
	短周期レベル	$A(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$	9.07E+18	$A=2.46 \times 10^{17} M_0^{1/3}$	
	剛性率	$\mu(\text{N}/\text{m}^2)$	3.19E+10	Somerville et al. (1999)を参考に設定	
	S波速度	$V_s(\text{km}/\text{s})$	3.5	$V_s=V_p/\sqrt{3}$, $V_p=6\text{km}/\text{s}$	
	破壊伝播速度	$V_r(\text{km}/\text{s})$	2.5	$V_r=0.72 \times V_s$ (Geller, 1976)	
	基準点北緯	N	41°35'57"	セグメント西端, 日本測地系	
	基準点東経	E	140°47'24"		
	走向	$\theta(^{\circ})$	107	北から東回り	
	傾斜角	$\delta(^{\circ})$	60		
	すべり角	$\lambda(^{\circ})$	45		
	長さ	$L(\text{km})$	17.3	$L=W$	
	幅	$W(\text{km})$	17.3	地震発生層に基づいて設定	
	上端深さ	$h(\text{km})$	3	微小地震活動をもとに設定	
	Q値	—	$100 \times f^{1.0}$	Takehi & Irikura (1997)に基づく	
fmax	fmax (Hz)	8.3	香川・他(2003)に基づく		
微視的 パラメータ	アスペリ ティ	等価半径	$r(\text{km})$	3.81	$r=(7\pi/4)*M_0/(AR)*V_s^2$
		面積	$S_a(\text{km}^2)$	45.5	$S_a=\pi r^2$
		平均すべり量	$D_a(\text{cm})$	104.6	$D_a=2 \times D$
		地震モーメント	$M_{0a}(\text{N}\cdot\text{m})$	1.52E+18	$M_{0a}=\mu D_a S_a$
		応力降下量	$\Delta \sigma_a(\text{MPa})$	15.5	$\Delta \sigma_a=7/16*M_0/(Rr^2)$
		短周期レベル	$A_a(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$	9.07E+18	$A_a=4\pi r \Delta \sigma_a V_s^2$, $r=(S_a/\pi)^{1/2}$
	背景領 域	面積	$S_b(\text{km}^2)$	254.5	$S_b=S-S_a$
		平均すべり量	$D_b(\text{cm})$	43.0	$D_b=M_{0b}/\mu S_b$
		地震モーメント	$M_{0b}(\text{N}\cdot\text{m})$	3.49E+18	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		実効応力	$\sigma_b(\text{MPa})$	2.5	$\sigma_b=(D_b/W_b)*(W_a/D_a) \Delta \sigma_a$



黒線は Somerville *et al.* (1999) によるもので、灰色の領域は標準偏差 ($\sigma = 0.16$) の範囲、実線は点線の倍半分の値を示す。白丸印で示される Wells and Coppersmith (1994) のカタログのデータは地震モーメントが 10^{26} dyne-cm を超える大きな地震で系統的なずれを示す。地震モーメントが 7.5×10^{25} dyne-cm より小さい場合（震源インバージョンの結果のみで回歸）と大きい場合（震源インバージョンの結果と Wells and Coppersmith (1994) のカタログを含めて回歸）に分けて決められた式が点線で示される。一点鎖線は武村 (1998) による経験的關係式を示す。
(入倉・三宅(2001)に加筆・修正)

図-2.4 断層面積と地震モーメント M_0 の関係



(壇・他(2001)に加筆・修正)

図-2.5 地震モーメント M_0 と短周期レベル A の関係

表-2.3 保守的に設定したF-14断層と要素地震の重ね合わせ数

要素地震		対象断面	地震モーメント M_0 (N·m)	応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	応力降下量の比 C^{*2}	重ね合わせ数 n^{*3}	合成に用いる重ね合わせ数			合成後の地震モーメント M_0' (N·m) ^{*4}	M_0 に対する M_0' の比 β ^{*5}
震源断層	地震モーメント M_{0e} (N·m) ^{*1}						応力降下量 $\Delta \sigma_e$ (MPa)	n_L	n_W		
17.3km ×	2.38×10^{16}	—	1.52×10^{18}	15	1.0	4.0	16	4	1.52×10^{18}	1.0	
17.3km	4.62×10^{15}	—	3.49×10^{18}	2.5	1.0	9.1	84	9	3.49×10^{18}	1.0	

*1 $M_{0e} = M_0 / (n_S \cdot n_d)$, $n_S = n_L \cdot n_W$

*2 $C = \Delta \sigma / \Delta \sigma_e$

*3 $n = (M_0 / (C \cdot M_{0e}))^{1/3}$

*4 $M_0' = (n_L \cdot n_W \cdot n_D) \cdot (C \cdot M_{0e})$

*5 $\beta = M_0' / M_0$

表-2.4 地震基盤から解放基盤までの深部地盤構造

GL (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Qs ¹⁾			Qp ¹⁾		
					Q ₀	n	Qi	Q ₀	n	Qi
-240	150	1.6	880	2380	31.5	1.10	338	15.3	1.04	338
-390	390	2.1	1210	2830	28.1	1.02	409	26.8	1.05	419
-780	310	2.3	1720	3530	21.3	1.22	463	31.5	1.04	387
-1090	-	2.6	3160	5520						

1) $\frac{1}{Q(f)} = \frac{1}{Q_0 f^n} + \frac{1}{Q_i}$ $h = \frac{1}{2Q(f)}$

表-2.5 理論的評価に用いる地盤モデル

GL (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Q ¹⁾			備考
					Q ₀	n	Qi	
-240	150	1.6	880	2380	31.5	1.10	338	PS 変換波による 表層地盤モデル
-390	390	2.1	1210	2830	28.1	1.02	409	
-780	310	2.3	1720	3530	21.3	1.22	463	
-1090	1910	2.6	3160	5520	300	0.00	-	
-3000	4500	2.6	3410	5900	300	0.00	-	地殻構造モデル
-7500	5000	2.6	3520	6100	300	0.00	-	
-12500	7500	2.6	3710	6420	300	0.00	-	
-20000	12000	2.8	3850	6660	300	0.00	-	
-32000	33000	3.2	4360	7550	300	0.00	-	
-65000	33000	3.2	4380	7590	300	0.00	-	
-98000	33000	3.2	4490	7780	300	0.00	-	
-131000	-	3.2	4490	7780	300	0.00	-	

$$1) \frac{1}{Q(f)} = \frac{1}{Q_0 f^n} + \frac{1}{Q_i} \quad h = \frac{1}{2Q(f)}$$

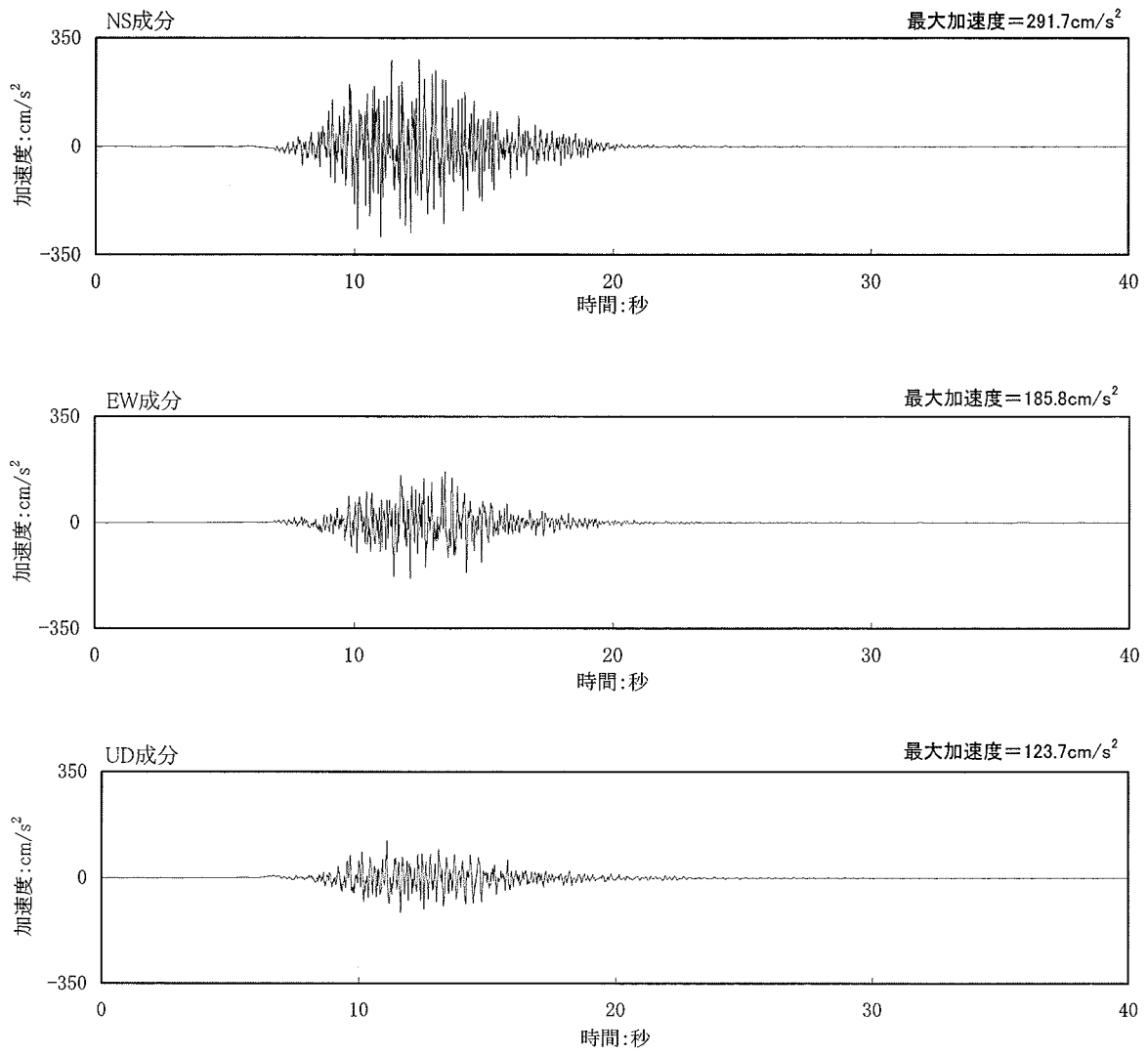


図-2.6 F-14断層による地震の解放基盤表面における波形合成結果の加速度波形

- Ss-1_H
- ハイブリッド法(傾斜角 60°, NS 成分)
- - - ハイブリッド法(傾斜角 60°, EW 成分)
- ハイブリッド法(傾斜角 90°, NS 成分)
- - - ハイブリッド法(傾斜角 90°, EW 成分)

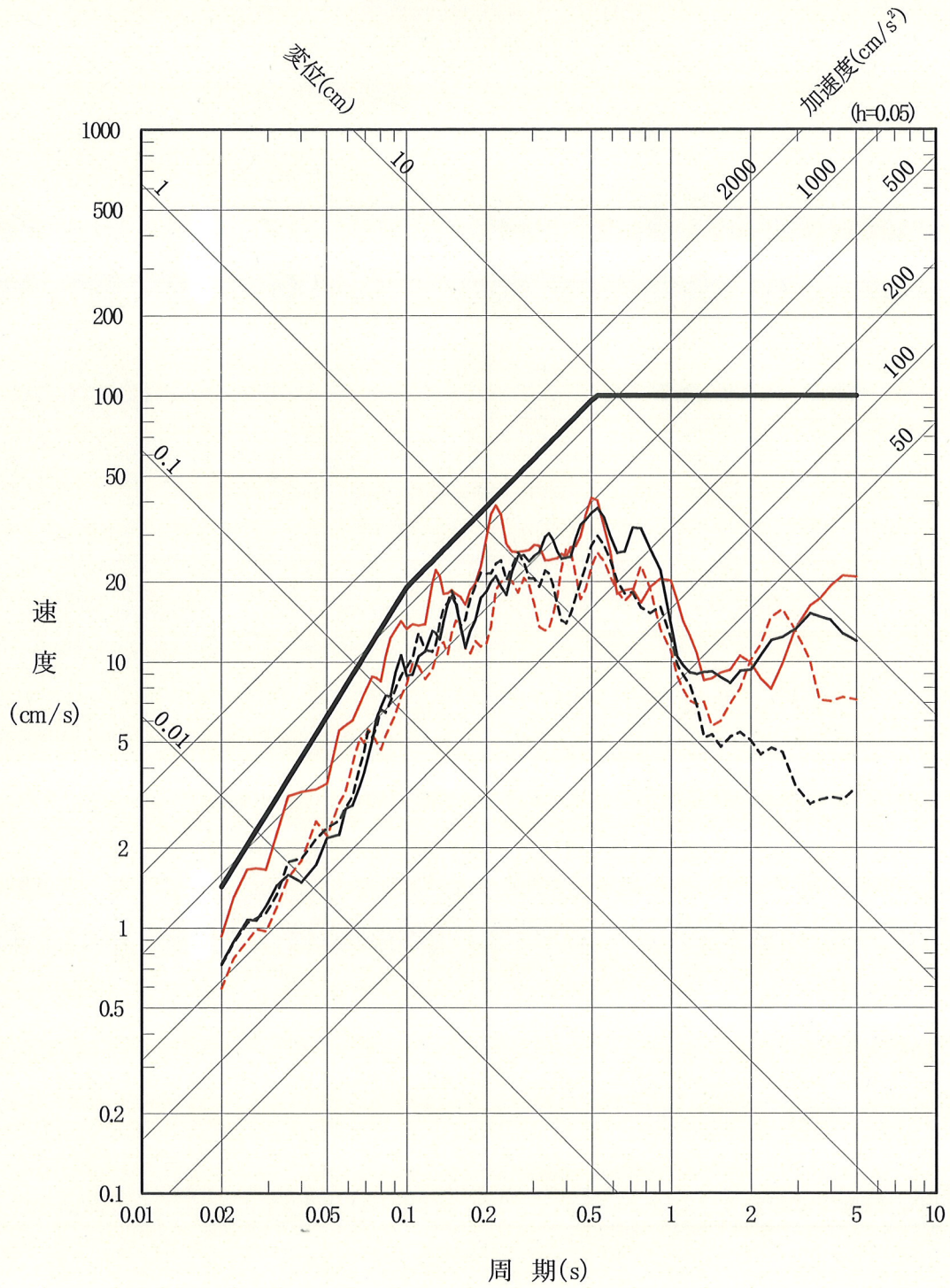


図-2.7(1) F-14 断層による地震の波形合成結果の応答スペクトル(水平動)

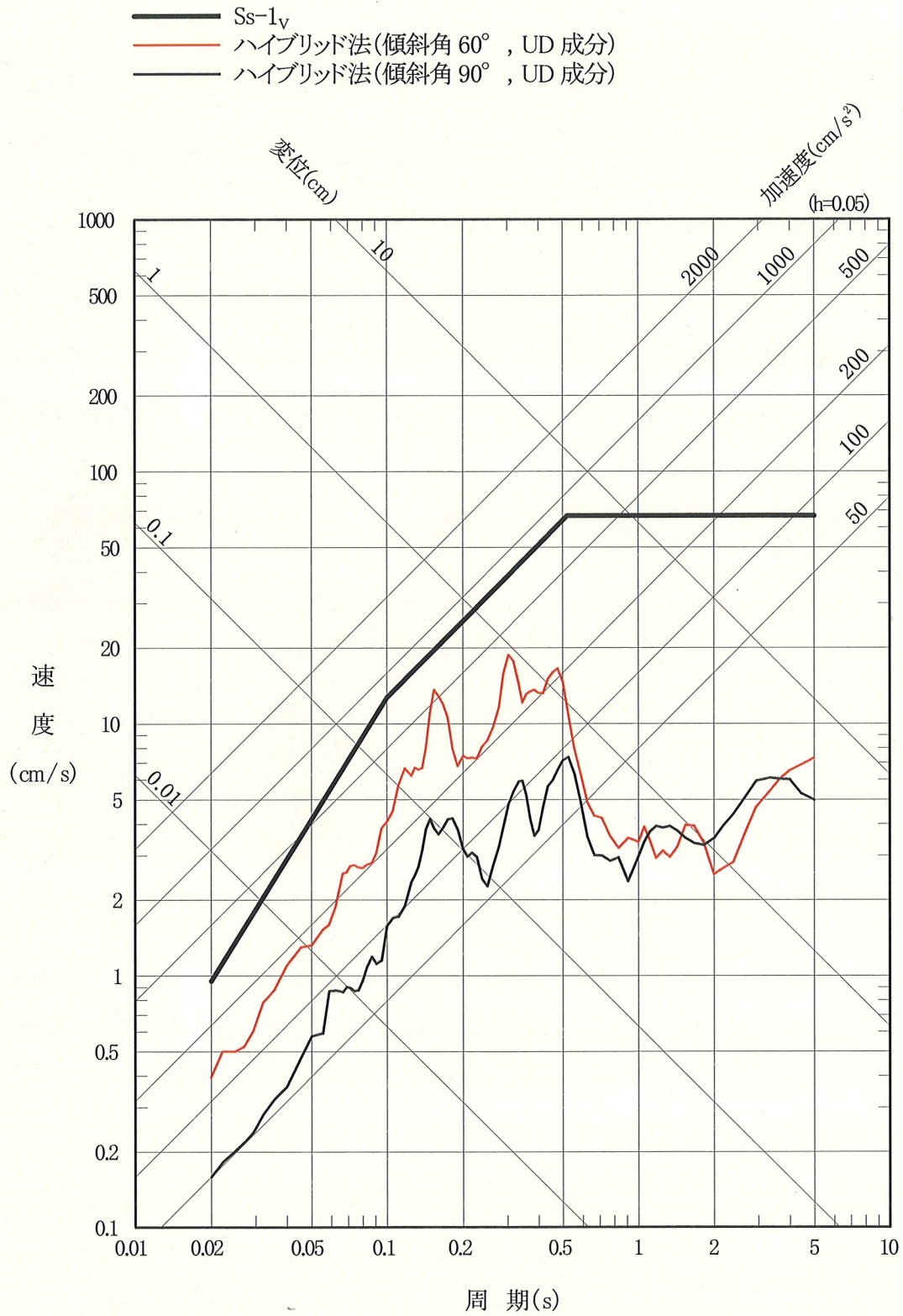


図-2.7(2) F-14 断層による地震の波形合成結果の応答スペクトル(鉛直動)