

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う 耐震安全性評価の概要について

(基準地震動 S_s の策定)

平成20年4月26日

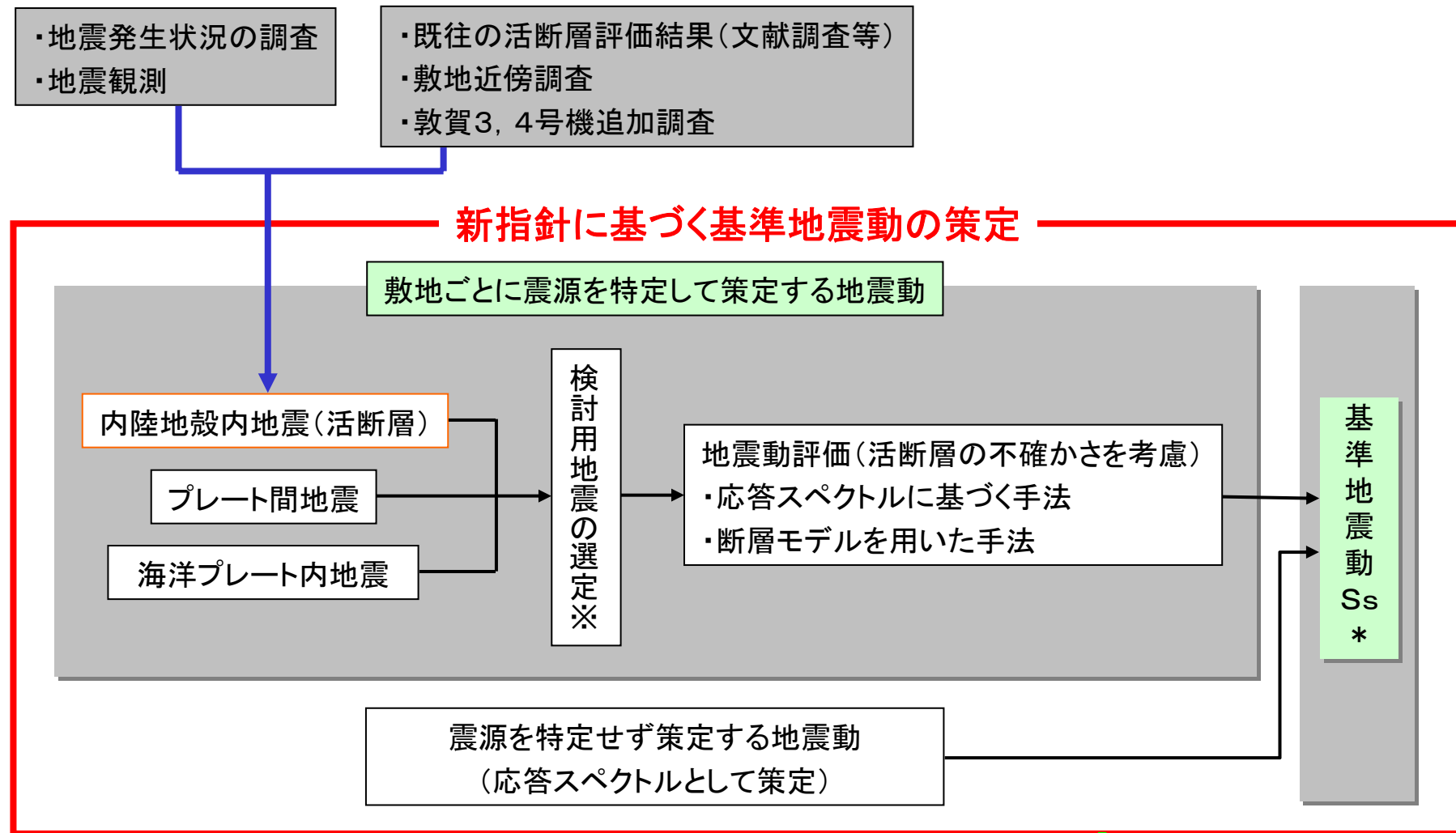
日本原子力発電株式会社
日本原子力研究開発機構
関西電力株式会社

目次

(1) 敦賀発電所	1
(2) 高速増殖原型炉もんじゅ	5
(3) 美浜・大飯・高浜発電所	9
(4) 参考	15

新耐震指針に基づく基準地震動 S_s の策定の流れ

1



※敷地への影響が大きな地震を選定

* 敷地への影響の度合いにより複数波策定される場合がある

既設原子炉施設の耐震安全性評価(バックチェック)

(1) 敦賀発電所 : 「検討用地震」の選定

2

■ 敷地に影響を及ぼす主な地震

1891年濃尾地震
甲楽城断層
柳ヶ瀬断層
浦底－内池見断層
浦底－池河内断層
ウツロギ峠北方－池河内断層
C断層
三方断層
敦賀断層

等

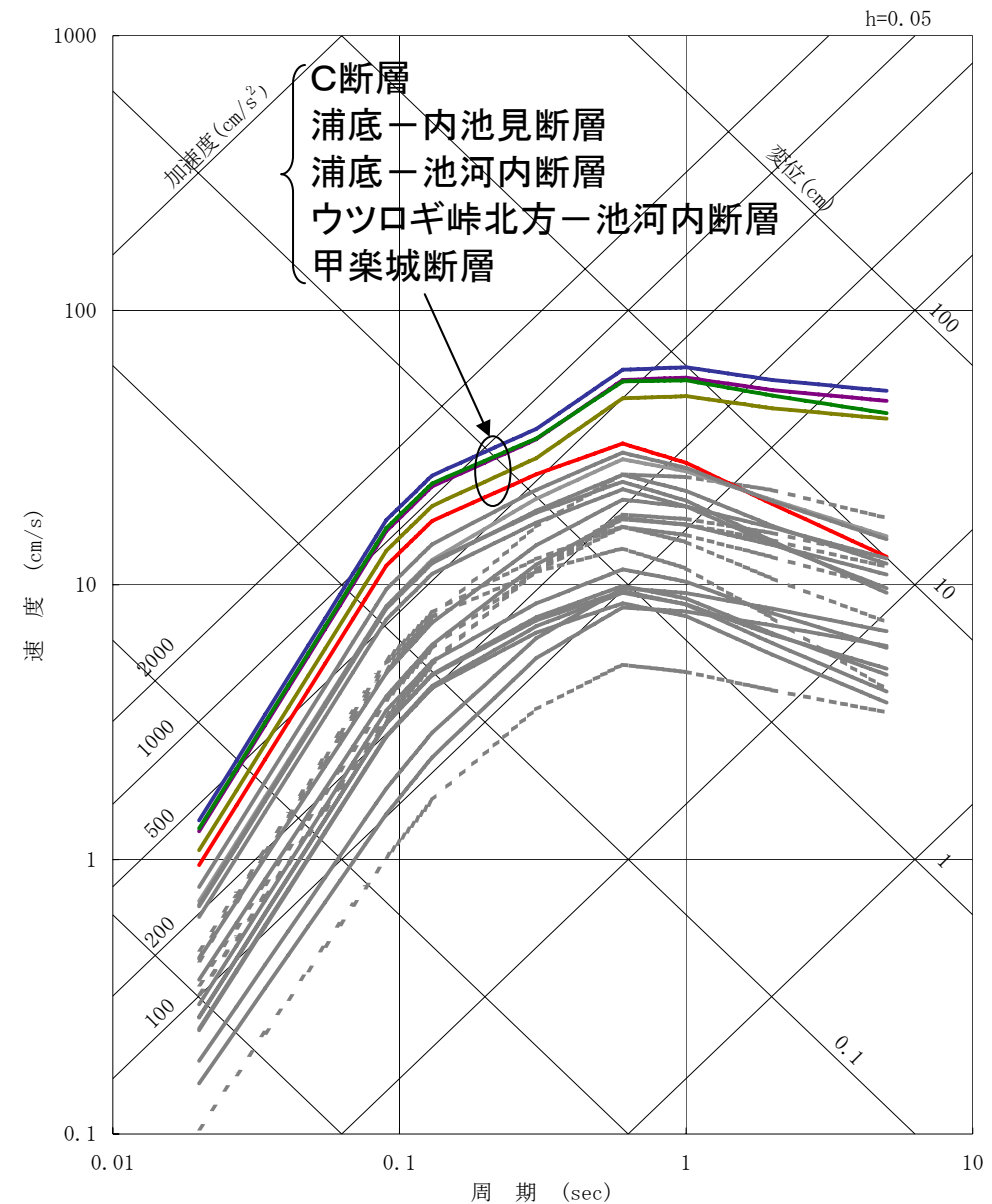
※白木－丹生断層は短い活断層として評価

■ 検討用地震

敷地に影響を及ぼす地震のうち、
特にその影響が大きな5地震を
検討用地震として選定。

甲楽城断層
浦底－内池見断層
浦底－池河内断層
ウツロギ峠北方－池河内断層
C断層

■ Noda et al.(2002)の方法による応答スペクトル



(1) 敦賀発電所 : 「検討用地震」の地震動評価

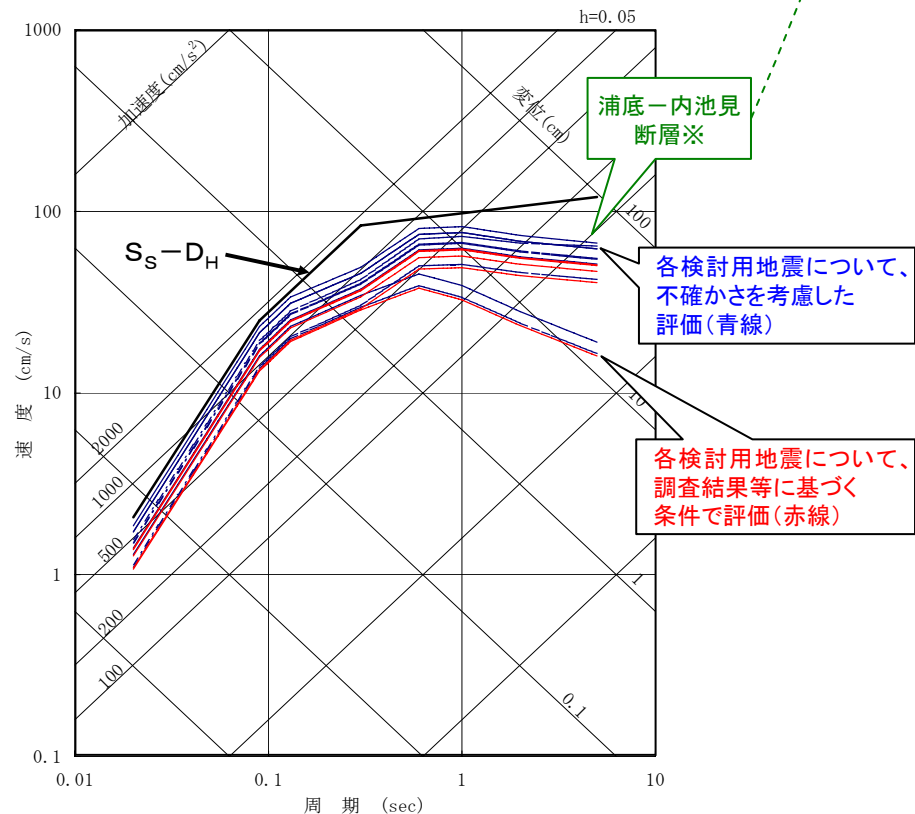
3

■「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の地震動評価

「応答スペクトルに基づく手法による地震動評価」

- ・検討用地震に対し、調査結果に基づく条件に加えて、不確かさを考慮して地震動を評価。

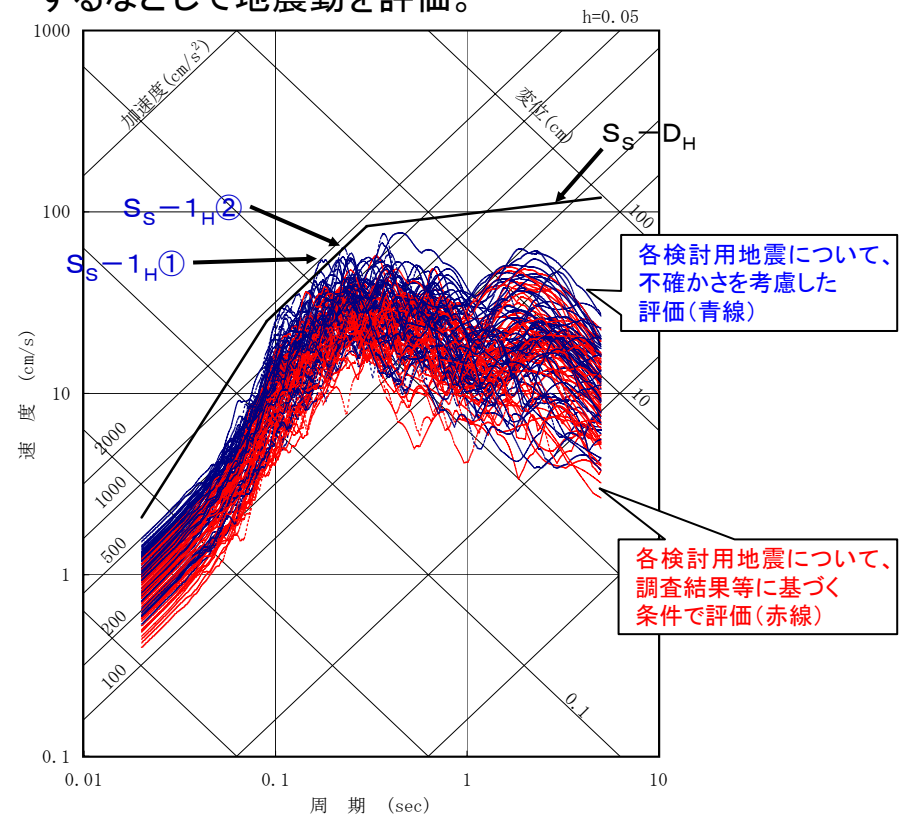
※応答スペクトルに基づく手法で不確かさを考慮した最大の結果、



応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果をすべて包絡させて基準地震動 $S_S(S_S - D_H)$ を策定する

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」

- ・震源が敷地に近く、破壊過程が地震動に大きな影響を与えることから、断層モデルを用いた手法を重視し、検討用地震の断層面について、破壊開始点を複数設定するなどして地震動を評価。



断層モデルを用いた手法による地震動評価結果のうち、左で策定した $S_S - D_H$ を上回るものから改めて S_S を策定する

* 鉛直方向は、応答スペクトルに基づく手法による地震動評価より定めた基準地震動を下回るが、 $S_S - 1_H$ と同じ破壊開始点のケースを $S_S - 1_V$ として策定

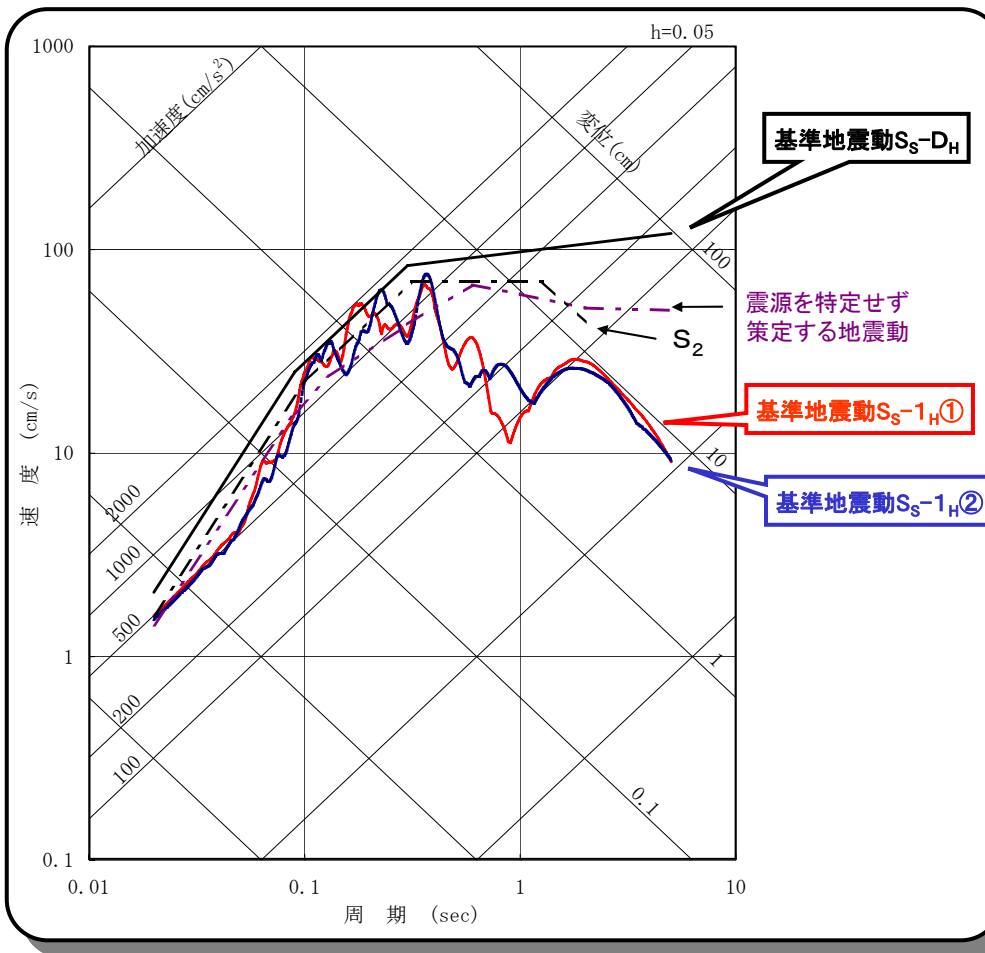
(1) 敦賀発電所：基準地震動 S_S の策定のまとめ

4

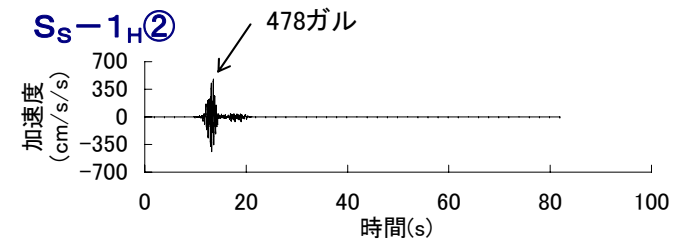
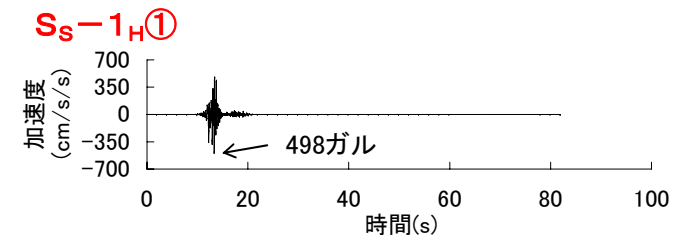
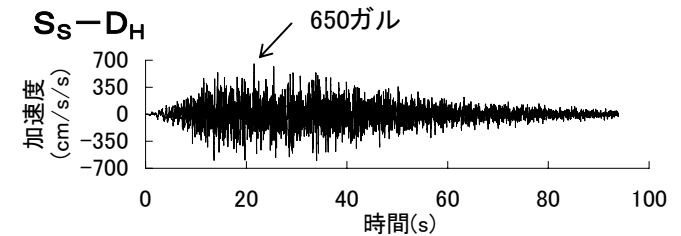
■ 敦賀発電所の基準地震動 S_S

- ・応答スペクトルに基づく手法： S_S-D_H (650ガル)
- ・断層モデルを用いた手法： S_S-1_H ①(498ガル)
 S_S-1_H ②(478ガル)

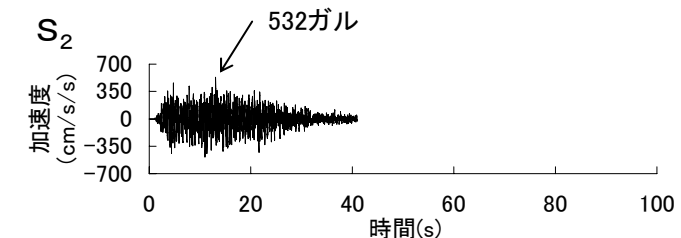
* 孤立した短い活断層(白木-丹生断層)による地震動は、基準地震動 S_S-D_H に包絡されることを確認



新指針に基づく基準地震動 S_S の加速度波形



参考 旧指針に基づく基準地震動 S_2 の加速度波形



(2) もんじゅ : 「検討用地震」の選定

5

地質調査等に基づく敷地周辺における活断層の性質や、敷地周辺における地震発生状況等を考慮して、敷地に特に大きな影響を与えると予想される地震(「検討用地震」)を選定した。

敷地に影響を与えると予想される主な地震

1891年濃尾地震	B断層	他
和布-干飯崎冲断層	三方断層	
甲楽城断層	C断層	
柳ヶ瀬断層	敦賀断層	
浦底-池河内断層		
ウツロギ峠北方-池河内断層		
浦底-内池見断層		

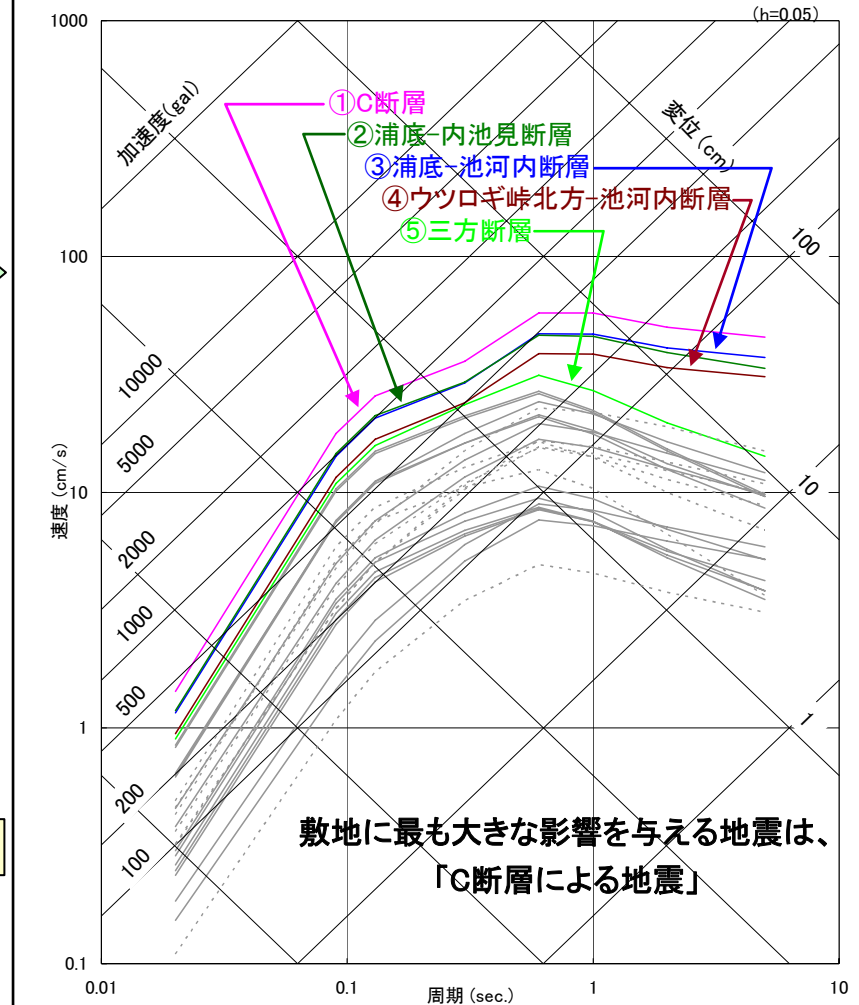
※白木-丹生断層は孤立した短い活断層として評価

検討用地震の選定

敷地に特に大きな影響を与えると予想される5地震を検討用地震として選定

- ①C断層
- ②浦底-内池見断層
- ③浦底-池河内断層
- ④ウツロギ峠北方-池河内断層
- ⑤三方断層

Noda et al.(2002)の方法による応答スペクトル



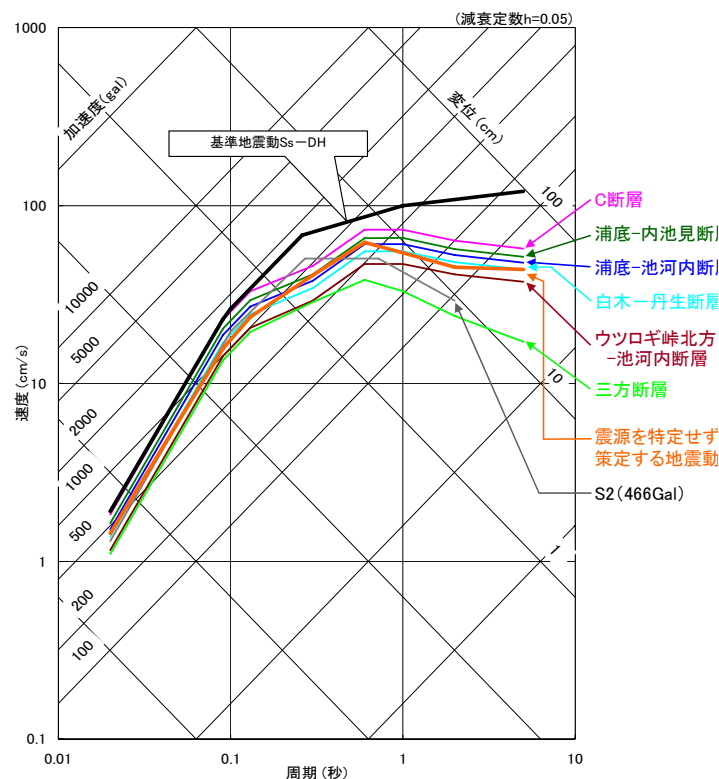
(2)もんじゅ : 「検討用地震」の地震動評価

6

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

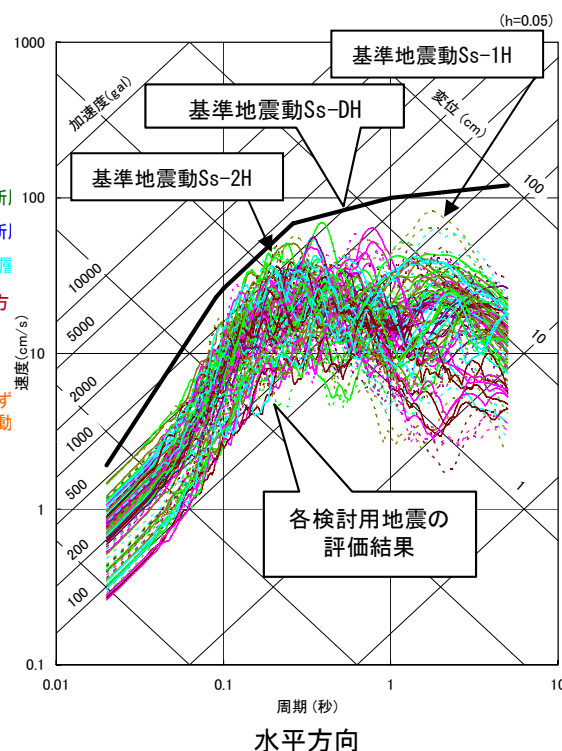
地質調査結果に基づく条件に加えて、震源の不確かさも考慮した地震動評価を実施。また、「白木-丹生断層」による地震動については、孤立した短い活断層として中越沖地震の知見を反映し、震源モデルを保守的に設定した上で地震動を評価。



【応答スペクトルに基づく手法による地震動評価】

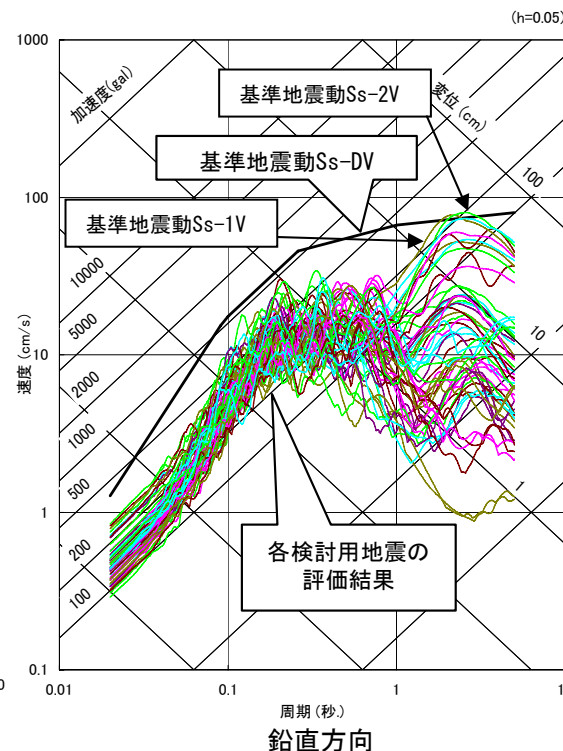
断層モデルを用いた手法による地震動評価

震源が敷地に近く、破壊過程が地震動に大きな影響を与えることから、断層モデルを用いた方法を重視し、検討用地震の断層面について、破壊開始点を複数設定するなどして地震動を評価。



水平方向

【断層モデルを用いた手法による地震動評価】

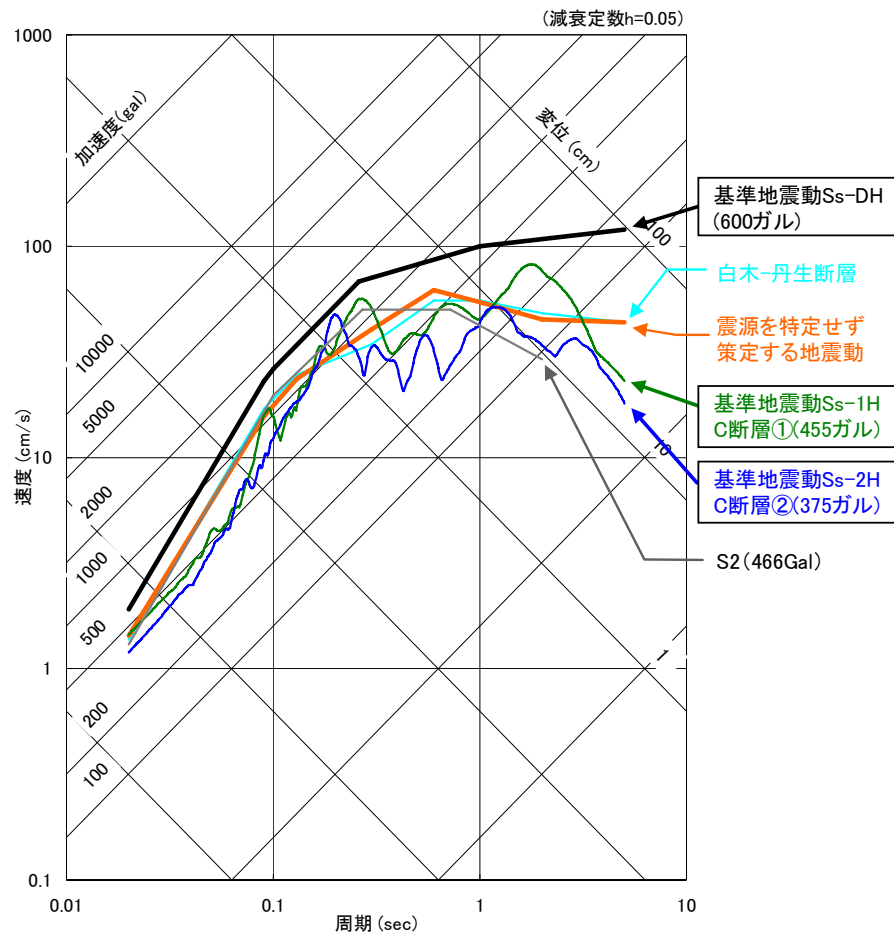


鉛直方向

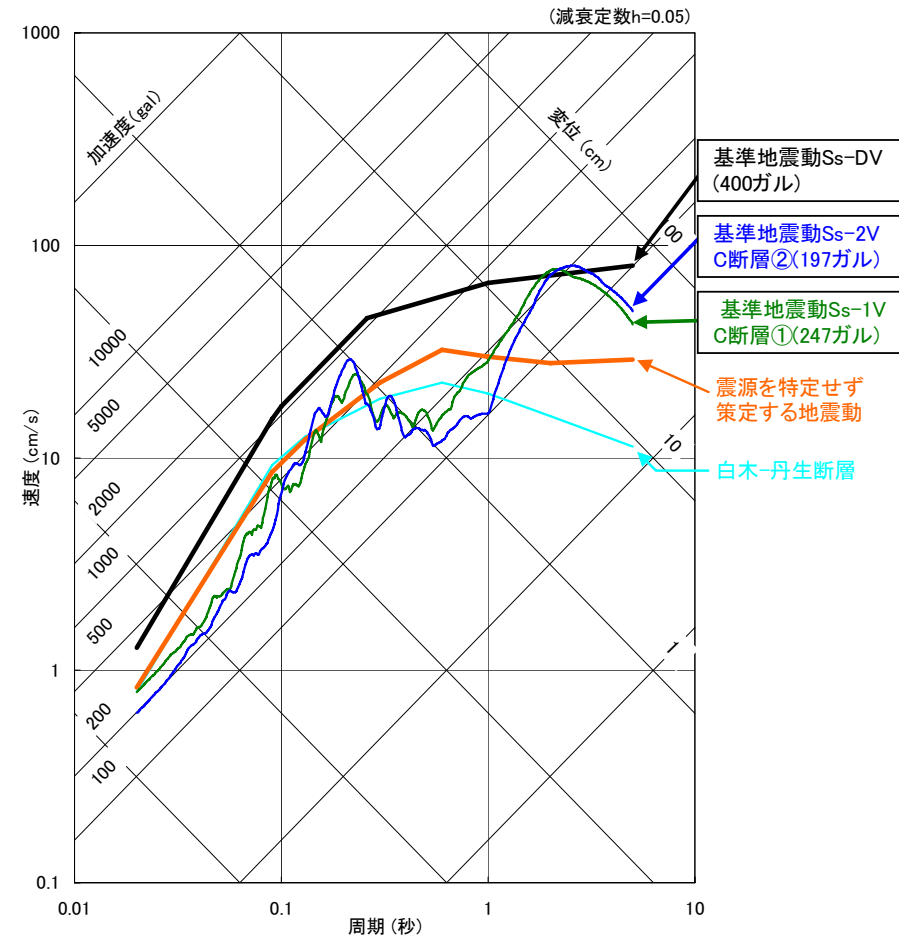
(2) もんじゅ : 基準地震動Ssの策定のまとめ(1)

7

- 応答スペクトルに基づく手法により「基準地震動Ss-D」、断層モデルを用いた手法により「基準地震動Ss-1」、
「基準地震動Ss-2」を策定。
- 孤立した短い活断層(白木-丹生断層)による地震動は、基準地震動Ss-Dに包絡されることを確認。



水平方向



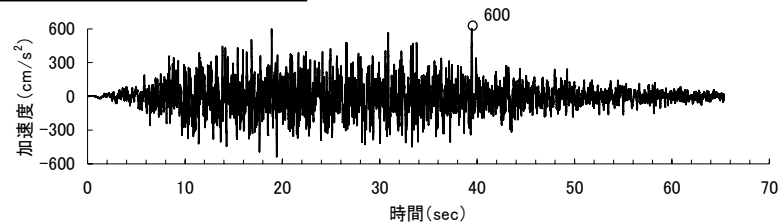
鉛直方向

(2) もんじゅ：基準地震動Ssの策定のまとめ(2)

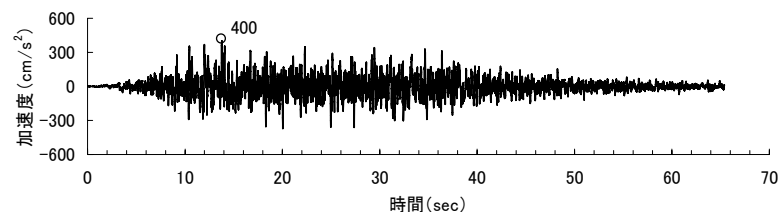
8

基準地震動Ssの時刻歴波形

基準地震動Ss-D

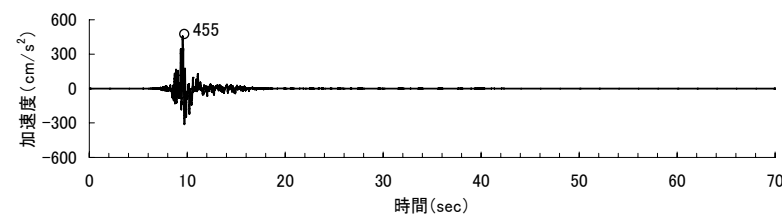


加速度(水平方向:Ss-DH)

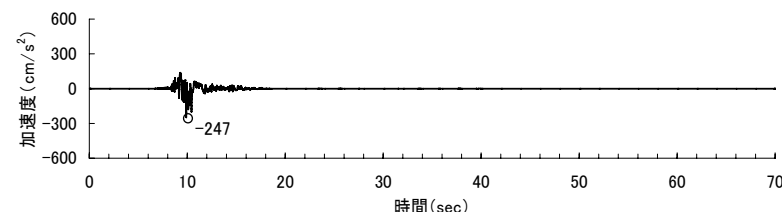


加速度(鉛直方向:Ss-DV)

基準地震動Ss-1

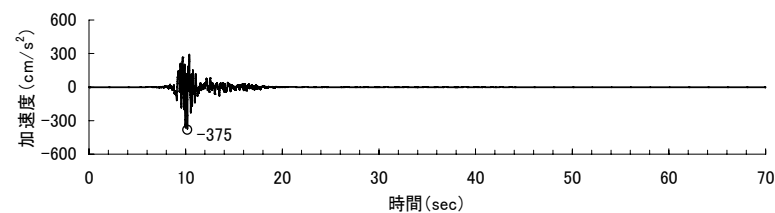


加速度(水平方向:Ss-1H)

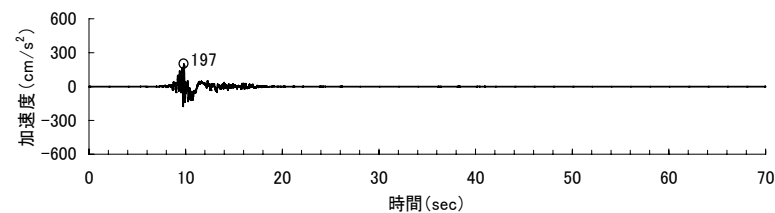


加速度(鉛直方向:Ss-1V)

基準地震動Ss-2

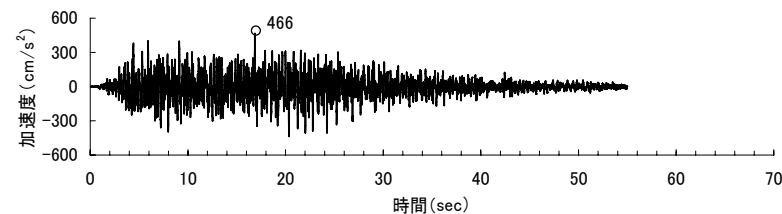


加速度(水平方向:Ss-2H)



加速度(鉛直方向:Ss-2V)

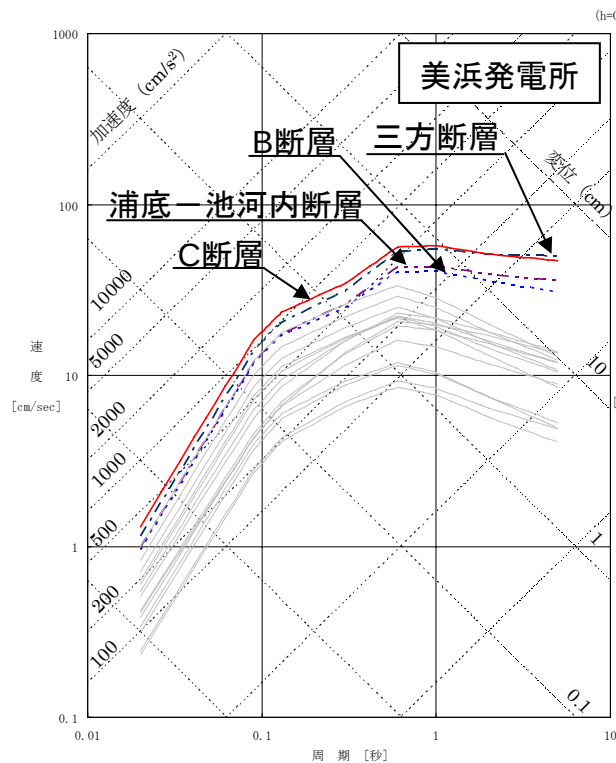
(旧)基準地震動S2



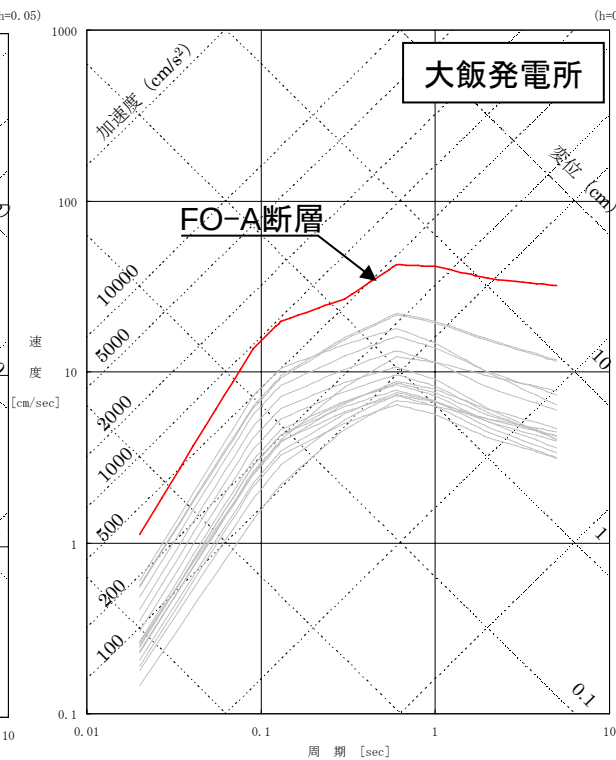
(3) 美浜・大飯・高浜発電所 : 「検討用地震」の選定

9

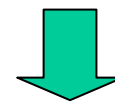
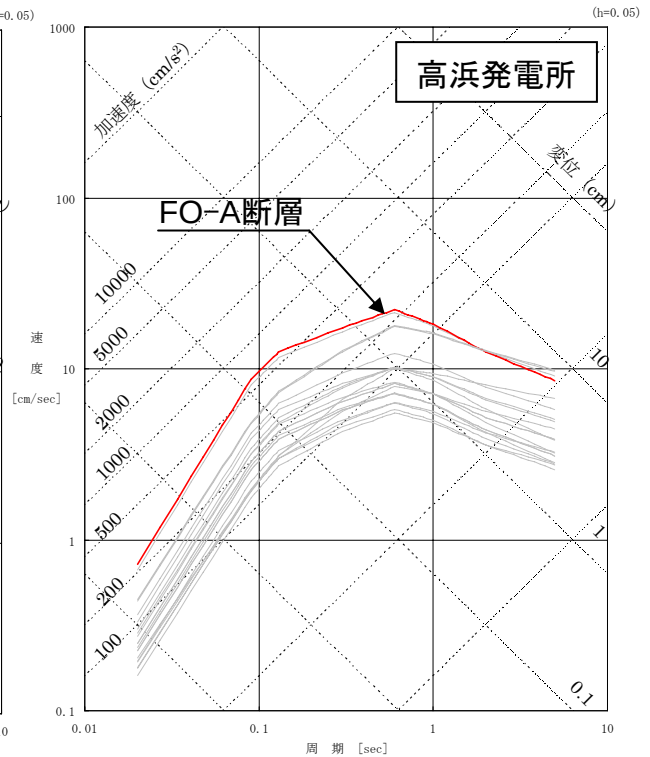
全ての考慮すべき地震を比較検討し、敷地に大きな影響を及ぼす「検討用地震」を選定する。



C断層・三方断層・B断層・
浦底-池河内断層を選定



FO-A断層を選定



FO-A断層を選定

(3) 美浜発電所 : 「検討用地震」の地震動評価

10

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「応答スペクトルに基づく地震動評価」

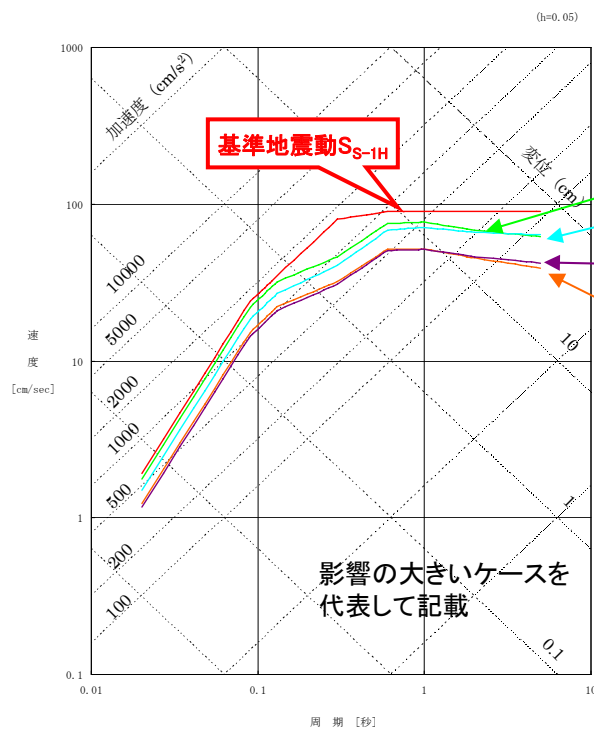
- ・「C断層」等の検討用地震について、調査結果に基づく条件に加えて、より安全側の評価となる条件も設定(不確かさを考慮)して地震動を評価。

「断層モデルを用いた地震動評価」

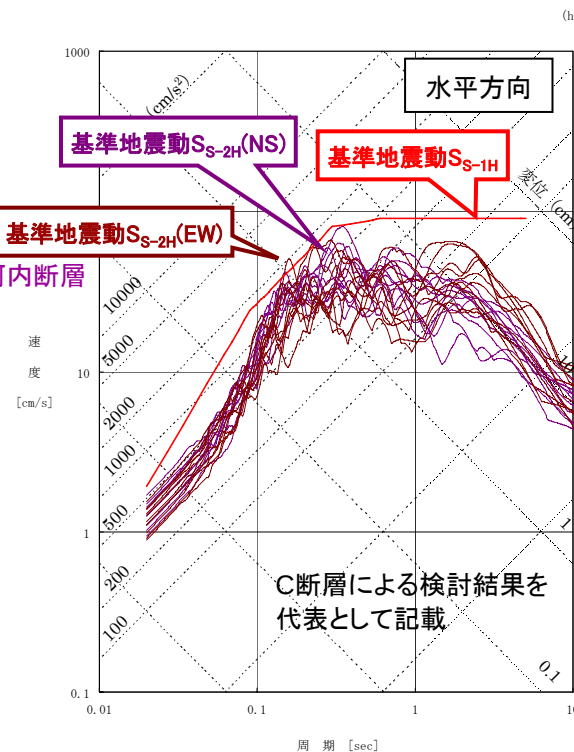
- ・「C断層」等の検討用地震について、破壊開始点を複数設定するなどして地震動を評価。

■震源を特定せず策定する地震動

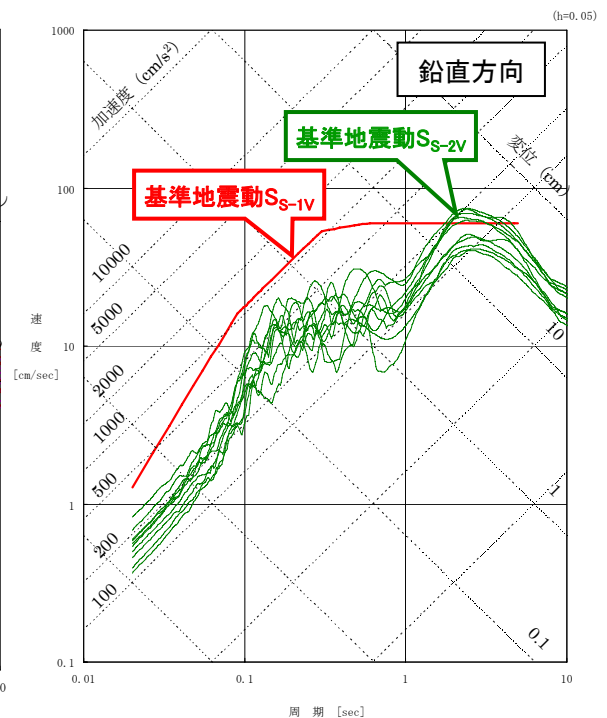
- ・地震調査委員会で「震源を予め特定しにくい地震」と評価された敷地周辺の過去の地震等を分析したうえで、「震源を特定せず策定する地震動」として、加藤他(2004)による応答スペクトル(450ガル)を採用。
- ・「震源を特定せず策定する地震動」は基準地震動 S_{S-1H} を下回る(基準地震動 S_S の策定のまとめ参照)。



応答スペクトルに基づく地震動評価結果



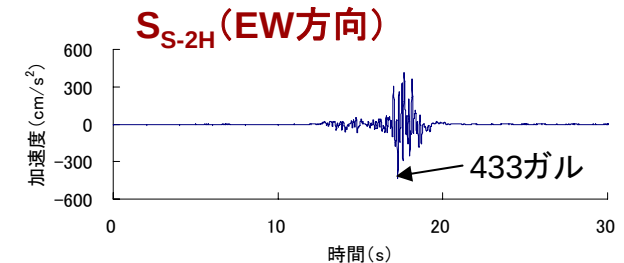
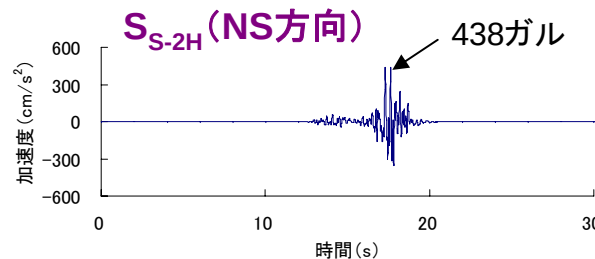
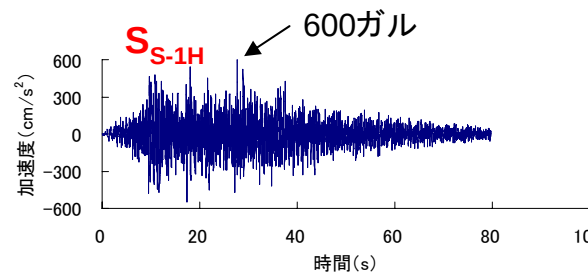
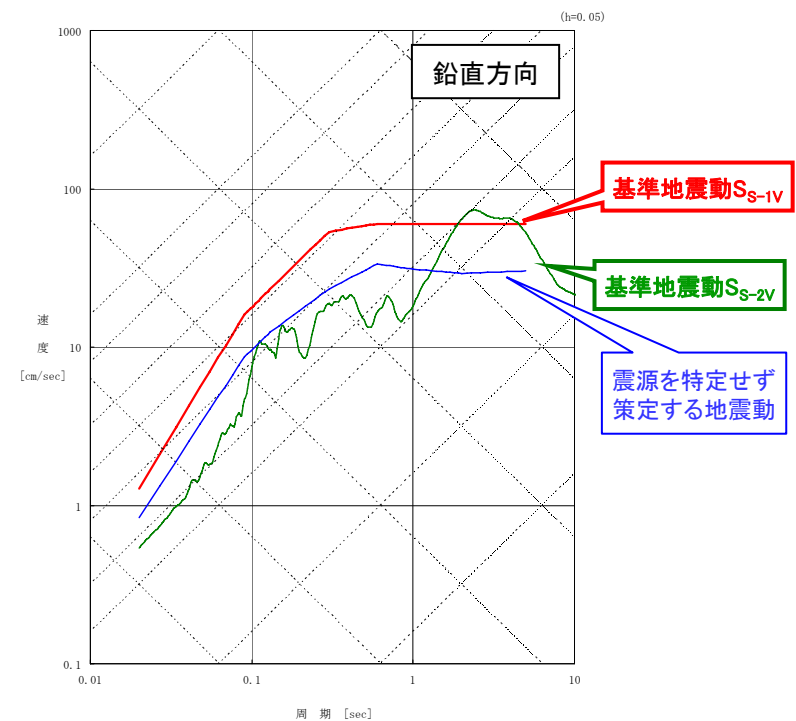
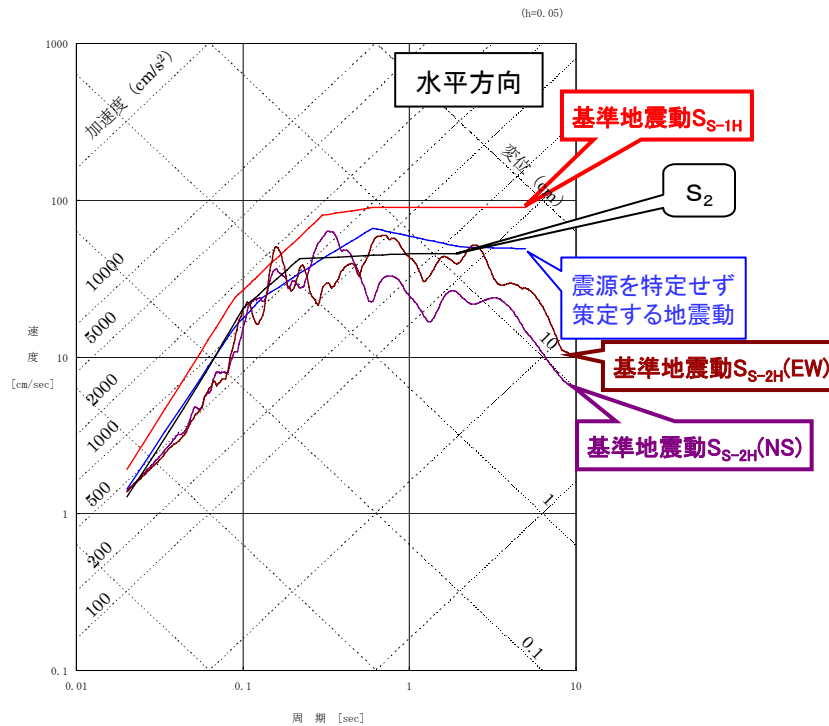
断層モデルを用いた地震動評価結果



(3) 美浜発電所：基準地震動 S_S の策定のまとめ

11

- ・応答スペクトルに基づく地震動評価結果から、「基準地震動 S_{S-1H} (600ガル)」を設定。
- ・断層モデルを用いた地震動評価結果から、「基準地震動 S_{S-2H} (NS方向) (438ガル)」及び「 S_{S-2H} (EW方向) (433ガル)」(いずれもC断層)を設定。
- ・孤立した短い活断層(白木一丹生断層, 野坂断層)による地震動は, 基準地震動 S_{S-1H} に包絡されることを確認。



新指針に基づく基準地震動 S_S の加速度波形

(3)大飯発電所 :「検討用地震」の地震動評価

12

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「応答スペクトルに基づく地震動評価」

・「FO-A断層」について、調査結果に基づく条件に加えて、より安全側の評価となる条件も設定(不確かさを考慮)して地震動を評価。

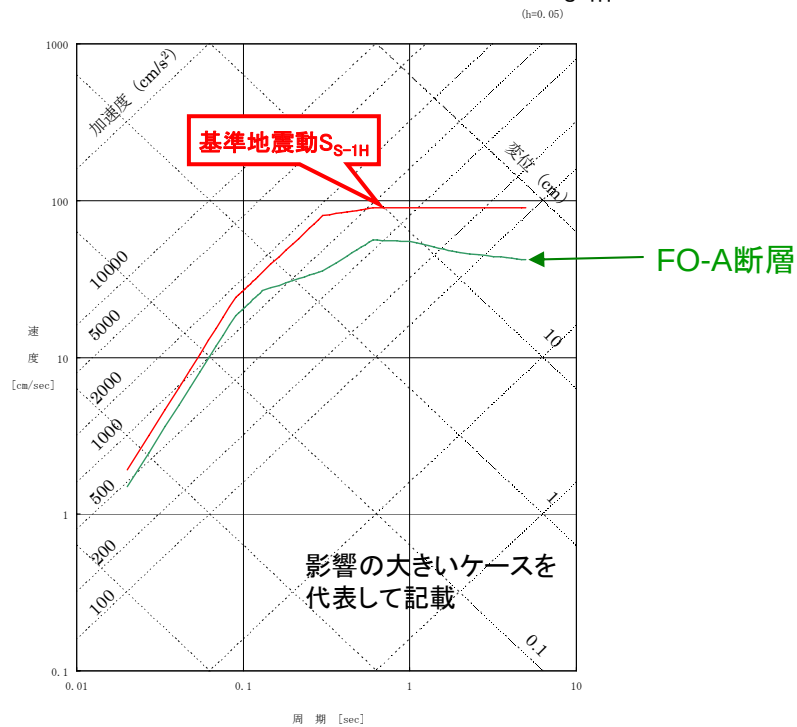
「断層モデルを用いた地震動評価」

・「FO-A断層」について、破壊開始点を複数設定するなどして地震動を評価。

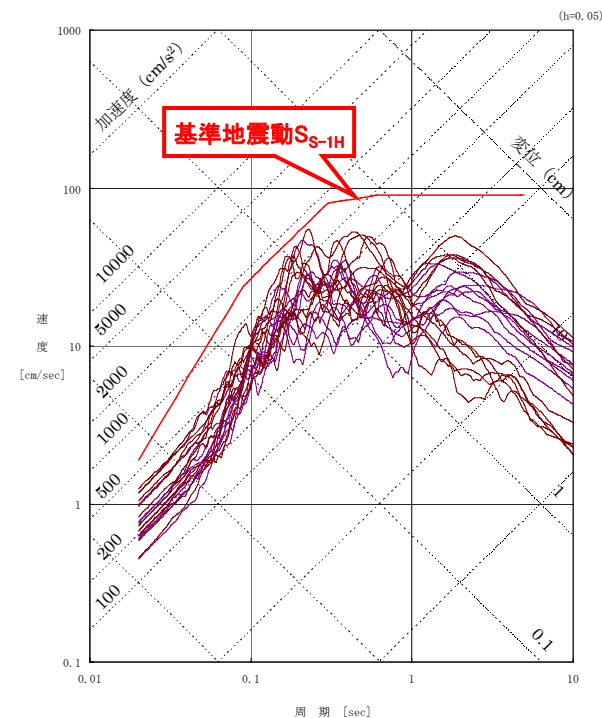
■震源を特定せず策定する地震動

・地震調査委員会で「震源を予め特定しにくい地震」と評価された敷地周辺の過去の地震等を分析したうえで、「震源を特定せず策定する地震動」として、加藤他(2004)による応答スペクトル(450ガル)を採用。

・「震源を特定せず策定する地震動」は基準地震動 S_{S-1H} を下回る(基準地震動 S_S の策定のまとめ参照)。



応答スペクトルに基づく地震動評価結果



断層モデルを用いた地震動評価結果

※鉛直方向についても、水平方向と同様に応答スペクトルに基づく地震動評価から策定した基準地震動を下回る。

(3) 高浜発電所 : 「検討用地震」の地震動評価

13

■ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「応答スペクトルに基づく地震動評価」

・「FO-A断層」について、調査結果に基づく条件に加えて、より安全側の評価となる条件も設定(不確かさを考慮)して地震動を評価。

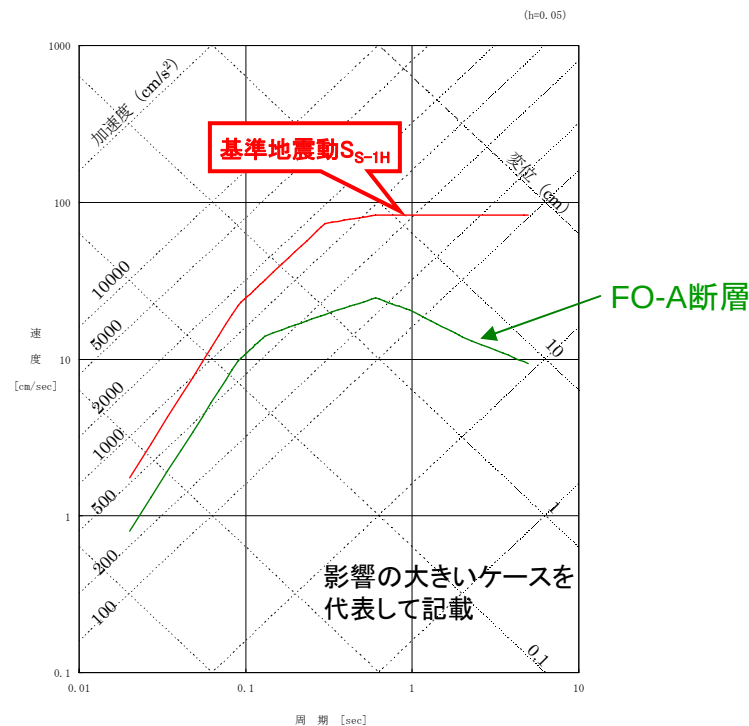
「断層モデルを用いた地震動評価」

・「FO-A断層」について、破壊開始点を複数設定するなどして地震動を評価。

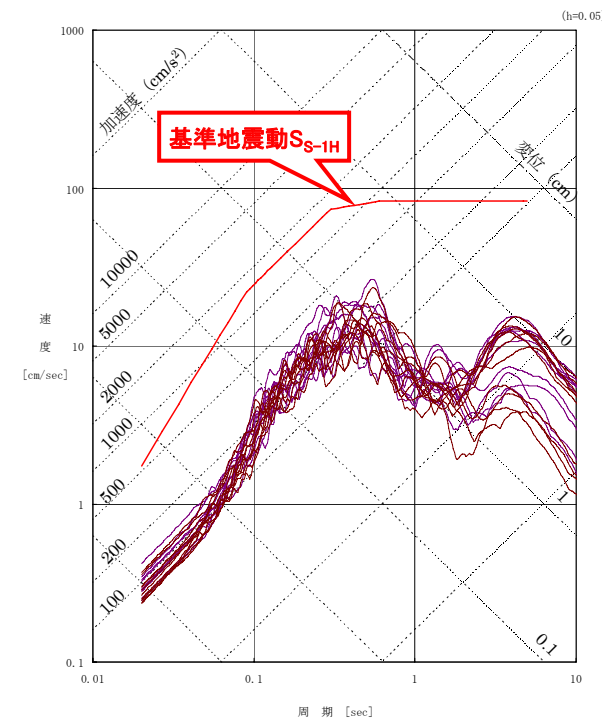
■ 震源を特定せず策定する地震動

・地震調査委員会で「震源を予め特定しにくい地震」と評価された敷地周辺の過去の地震等を分析したうえで、「震源を特定せず策定する地震動」として、加藤他(2004)による応答スペクトル(450ガル)を採用。

・「震源を特定せず策定する地震動」は基準地震動 S_{S-1H} を下回る(基準地震動 S_S の策定のまとめ参照)。



応答スペクトルに基づく地震動評価結果



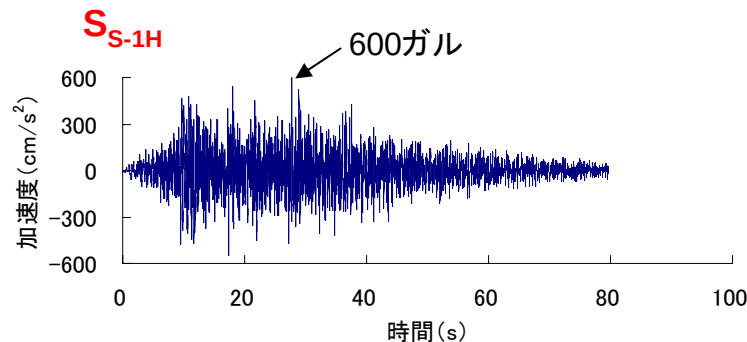
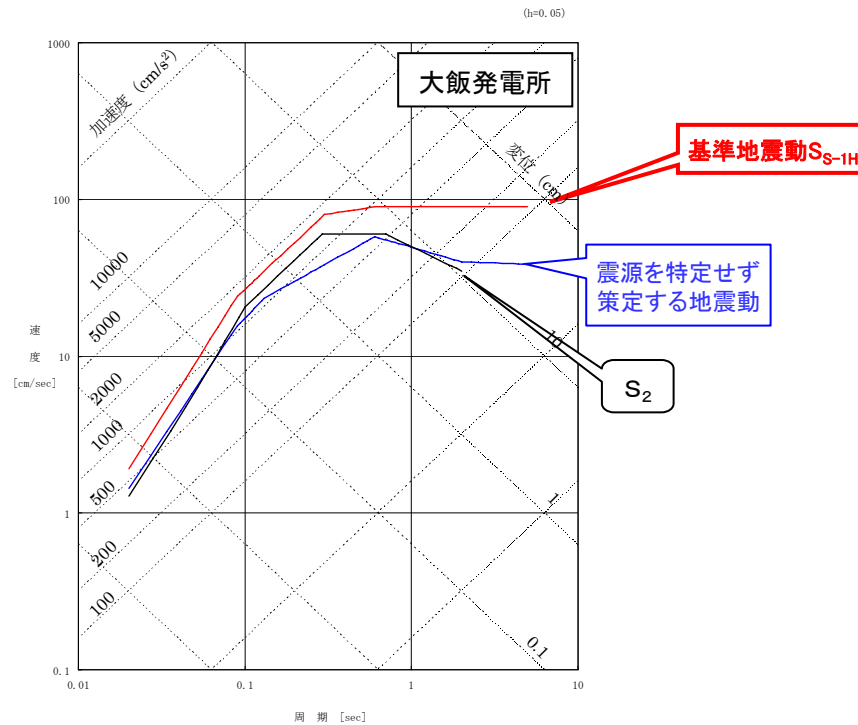
断層モデルを用いた地震動評価結果

※鉛直方向についても、水平方向と同様に応答スペクトルに基づく地震動評価から策定した基準地震動を下回る。

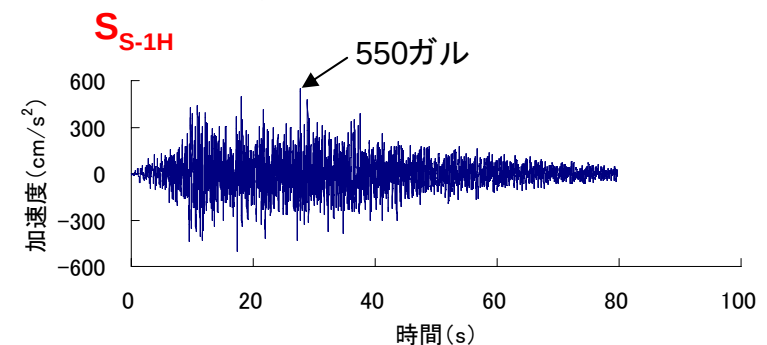
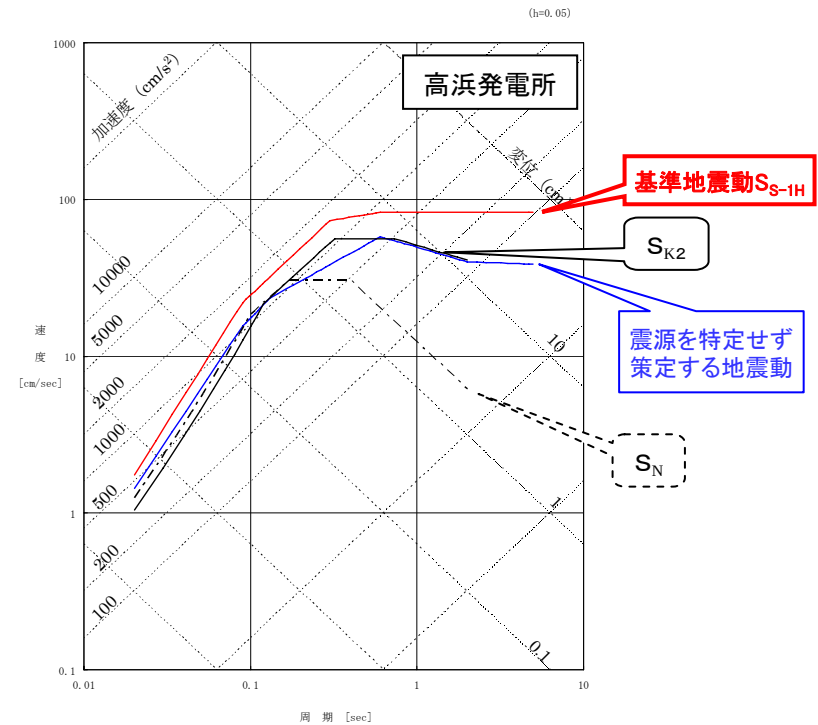
(3)大飯・高浜発電所：基準地震動 S_S の策定のまとめ

14

- ・応答スペクトルに基づく地震動評価結果から、「**基準地震動 S_{S-1H} (大飯:600ガル, 高浜:550ガル)**」を設定。
- ・断層モデルを用いた地震動評価結果は、全てのケースで**基準地震動 S_{S-1H}** を下回るため、**基準地震動 S_{S-1H}** で代表させる。
- ・孤立した短い活断層(FO-C断層)による地震動は、基準地震動 S_{S-1H} に包絡されることを確認。



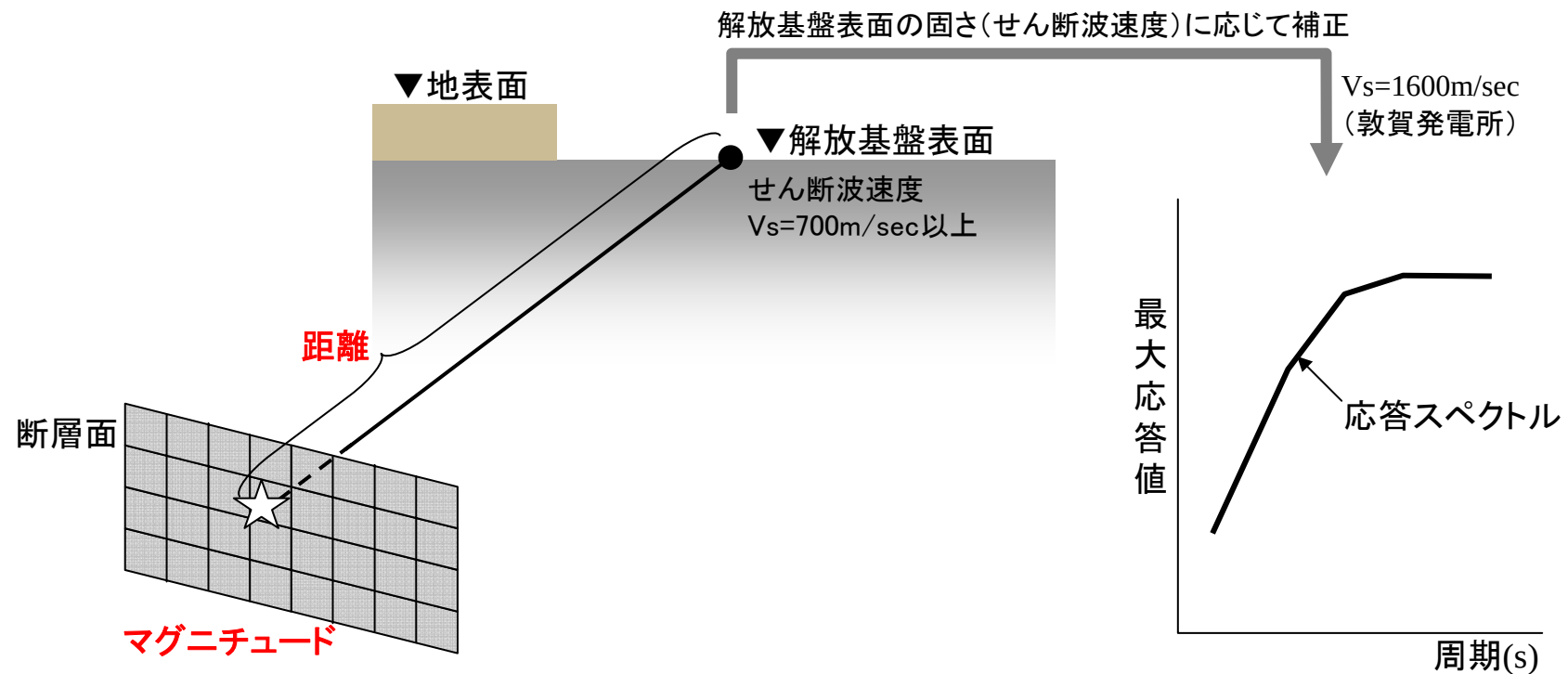
新指針に基づく基準地震動 S_S の加速度波形(大飯発電所)



新指針に基づく基準地震動 S_S の加速度波形(高浜発電所)

■ 応答スペクトルに基づく手法 (Noda et al.(2002))

- ・地震観測記録を収集し、それらのマグニチュードや距離などと応答スペクトルの関係について回帰分析した結果を用いる手法
- ・マグニチュードや距離など、少ない情報で地震動を評価することができる
- ・解放基盤表面の地震動として評価することができ、地盤の固さ(せん断波速度)に応じて補正して用いる
- ・水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できる

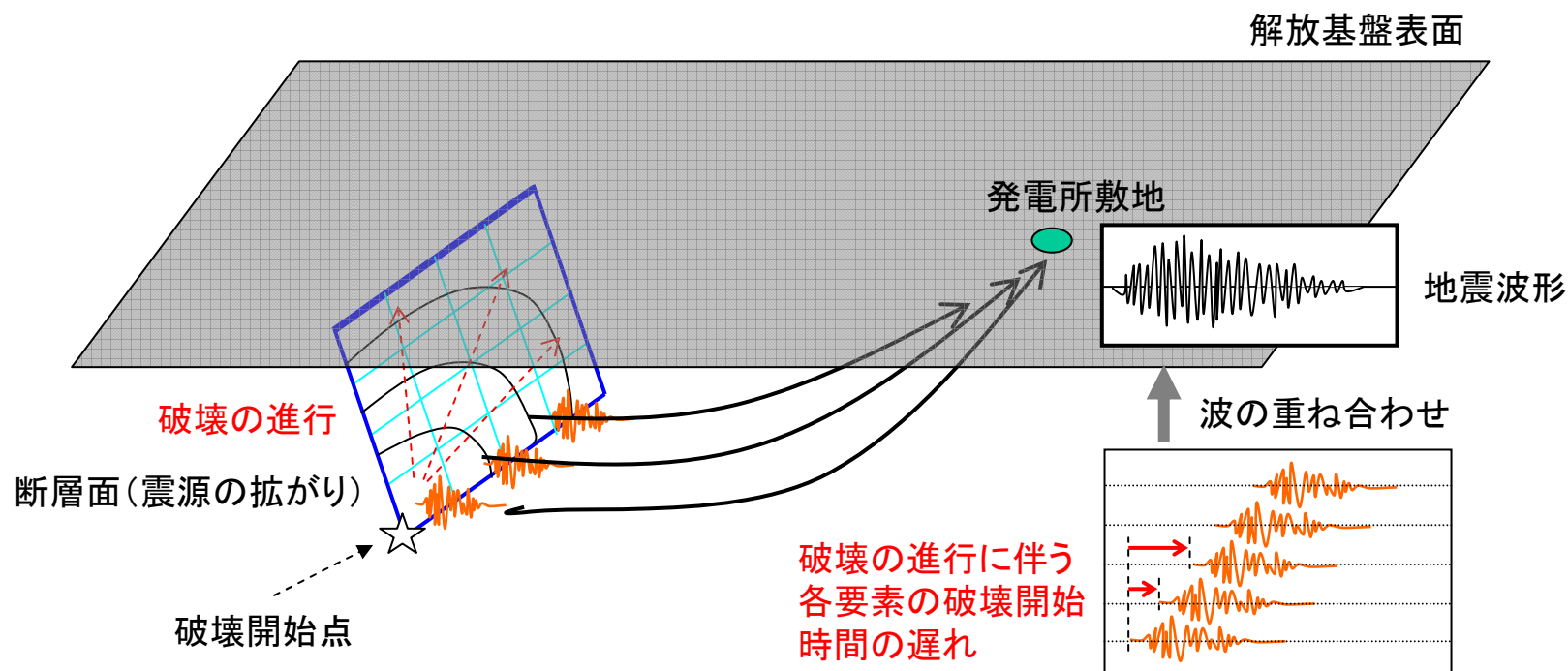


■断層モデルを用いた手法

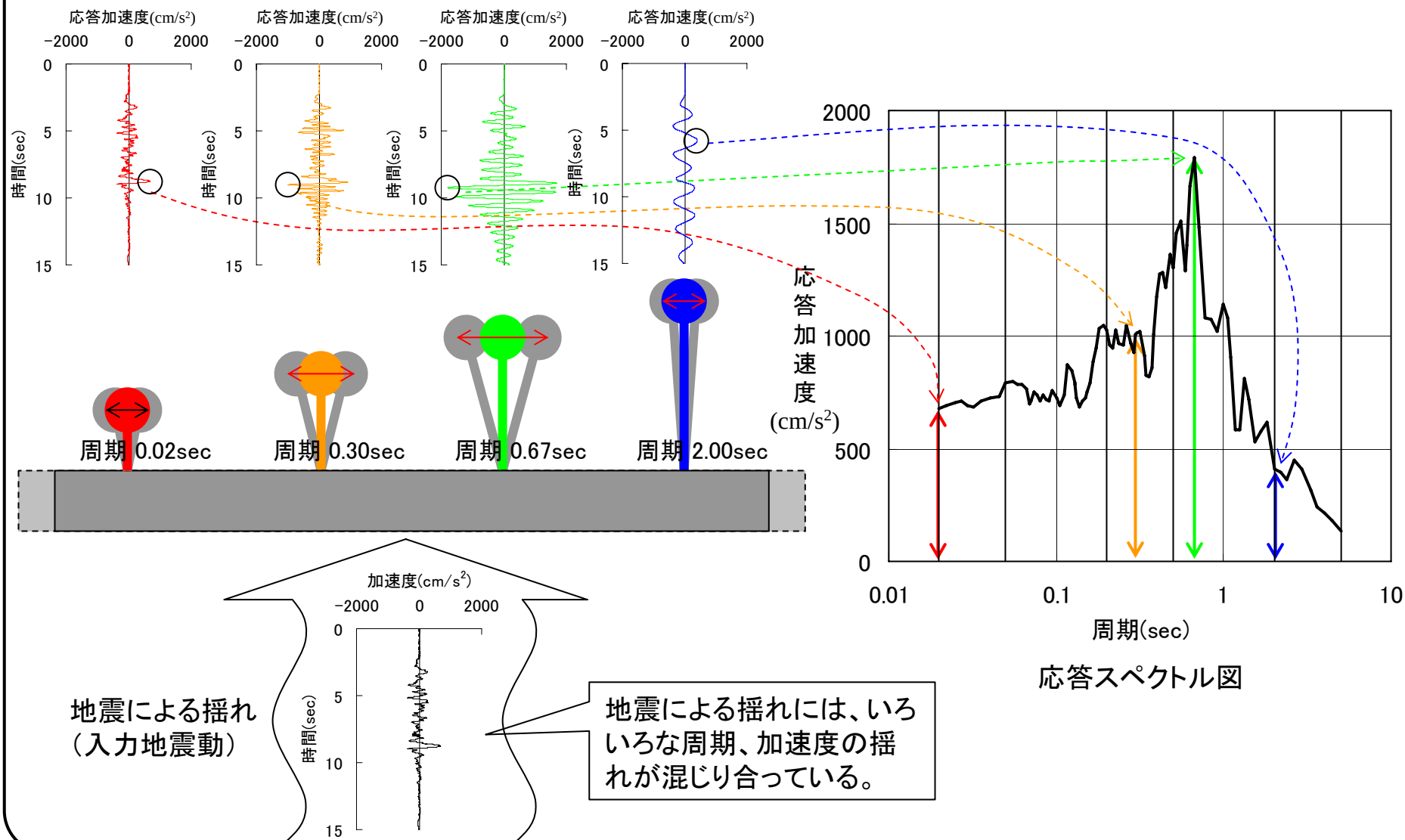
- ・震源の広がりや破壊の進行などを考慮した地震動評価手法
- ・応答スペクトルに基づく手法に比べ、多数の断層パラメータを設定する必要があるが、より詳細な評価が可能
- ・地震波形を直接求めることが可能

＜断層パラメータ＞

- ①巨視的断層パラメータ: 断層長さなどの断層形状に関するもの
- ②微視的断層パラメータ: アスペリティ(地震波を強く生じさせる領域)など
- ③その他の断層パラメータ: 破壊開始点(断層面内でずれ始める点)など



■ 応答スペクトル 応答スペクトルとは、地震による揺れの、色々な設備に対する影響（応答）を一見して分かり易いように描いた曲線のこと。それぞれの設備によって固有周期が異なり、揺れやすさが異なる。



■不確かさ：検討用地震（敷地に大きな影響を及ぼす地震）の地震動評価において考慮

①断層上端深さ

応答スペクトルに基づく手法
断層モデルを用いた手法

敷地周辺の地震データの分析等により設定した地中の断層面の上端の深さ（基本ケース4km）について、3kmとした場合も考慮

②アスペリティ配置

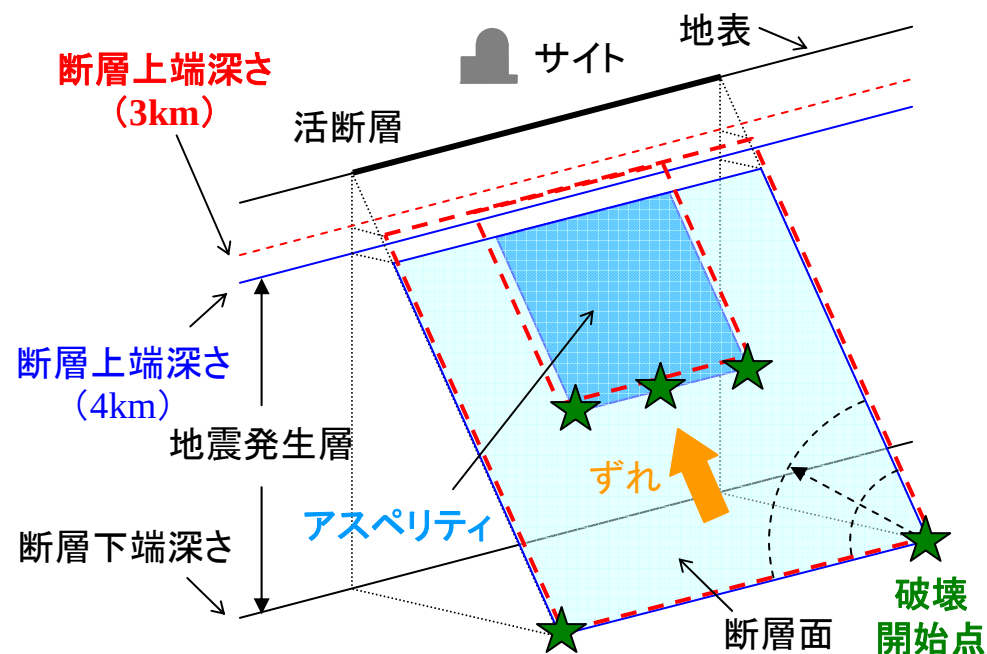
応答スペクトルに基づく手法
断層モデルを用いた手法

地震波を強く生じさせる領域を敷地近く（敷地への影響が大きな所）に配置した場合についても考慮

③破壊開始点

断層モデルを用いた手法

断層面内でずれ始める点を複数設定

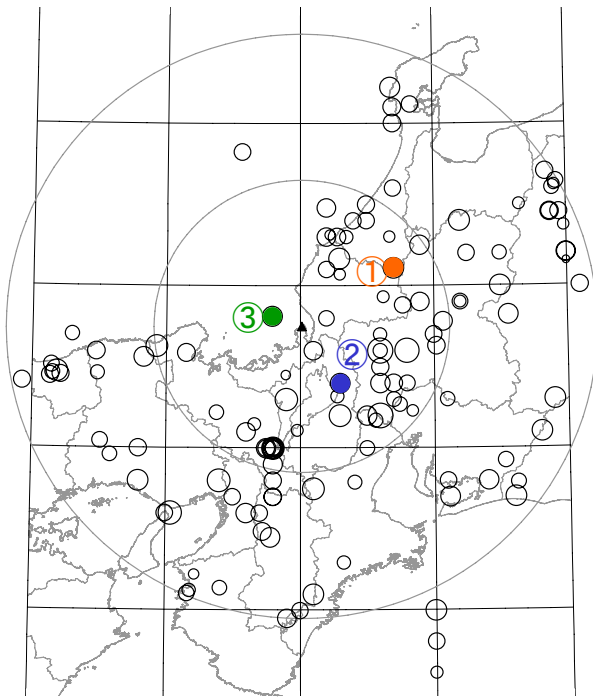


■震源を特定せず策定する地震動

- ・地震調査委員会で「震源を予め特定しにくい地震」と評価された敷地周辺の過去の地震等进行分析し、事前に震源を特定可能であったと判断。

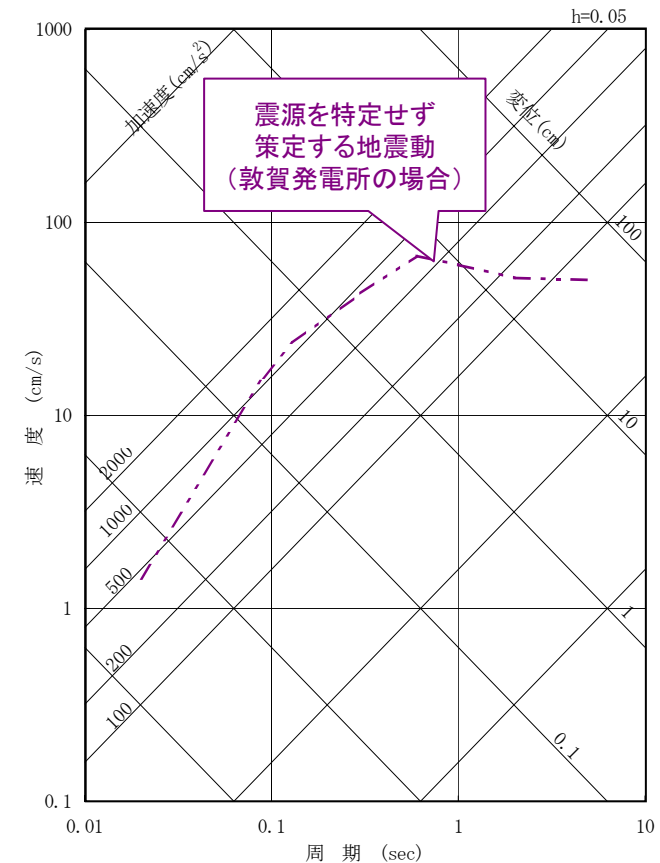
(参考)敷地周辺の過去の地震

- ①1961年北美濃地震(M7.0)
- ②1909年江濃(姉川)地震(M6.8)
- ③1963年越前岬沖地震(M6.9)



- ・「震源を特定せず策定する地震動」として、加藤他(2004)による応答スペクトル(450ガル)を想定。
- ・解放基盤表面の固さ(せん断波速度)に応じて補正

敦賀発電所の場合
(せん断波速度 $V_s=1600\text{m/sec}$)



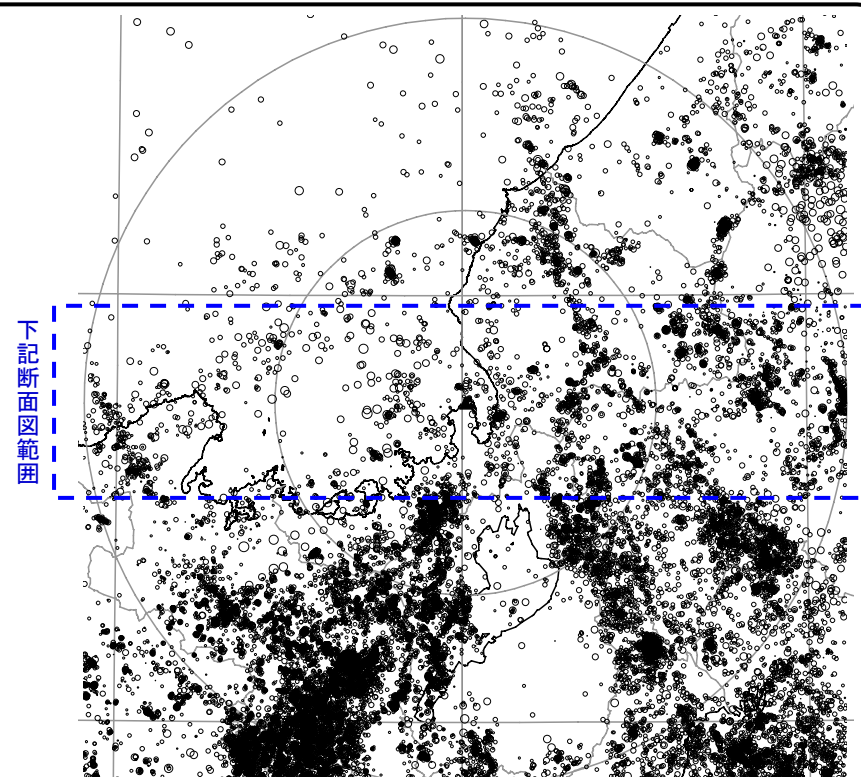
■若狭地域における断層上端・下端に関する調査

地震発生層※に関する調査一覧

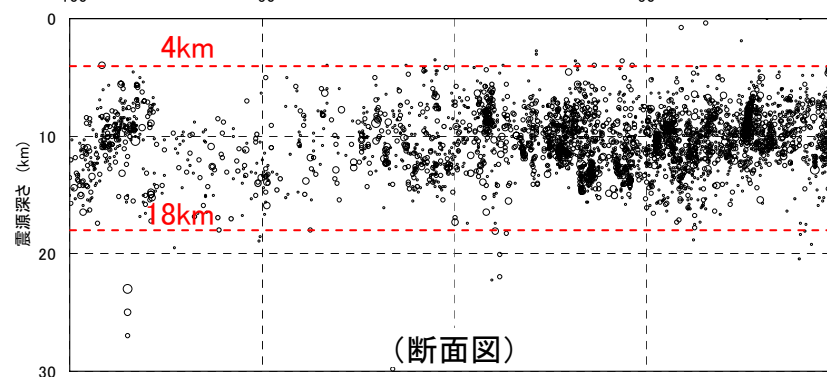
項 目	概 要	地震発生層	
		上限	下限
他機関等調査	地震調査委員会 琵琶湖西岸断層帯	3km	18km
敷地周辺の 地震発生状況	敦賀半島を中心とする半径 100kmの範囲の微小地震分布図 (右図)	5km	20km
地震発生状況 の統計的評価	微小地震分布より、「D10%、 D90%」(その値より震源深さが浅 い地震がそれぞれ全体の10%、90% となる震源深さ)を算定	7km	15km
各種物理探査	微動アレー探査、地震水平ア レー探査、地震波トモグラフィより、 敷地周辺の地下深部に広がる Vp=6km/s層を調査	4km	—
若狭地域の地震発生層の評価		4km	18km

※:地震発生層とは、地球の地殻の中で地震を発生させる領域のことで、
その上限・下限深さを断層面上の断層上端・下端深さとみなしている

若狭地域における
断層上端・下端深さ
上端 下端
4km 18km



距離 (km)
-100 -50 50 100
(平面図)



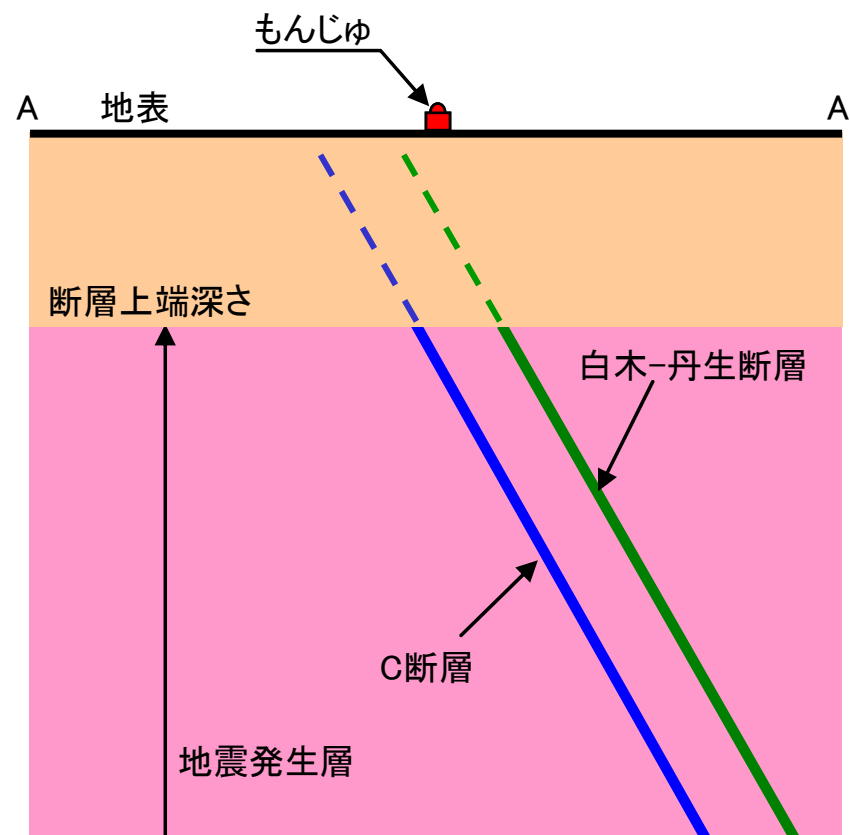
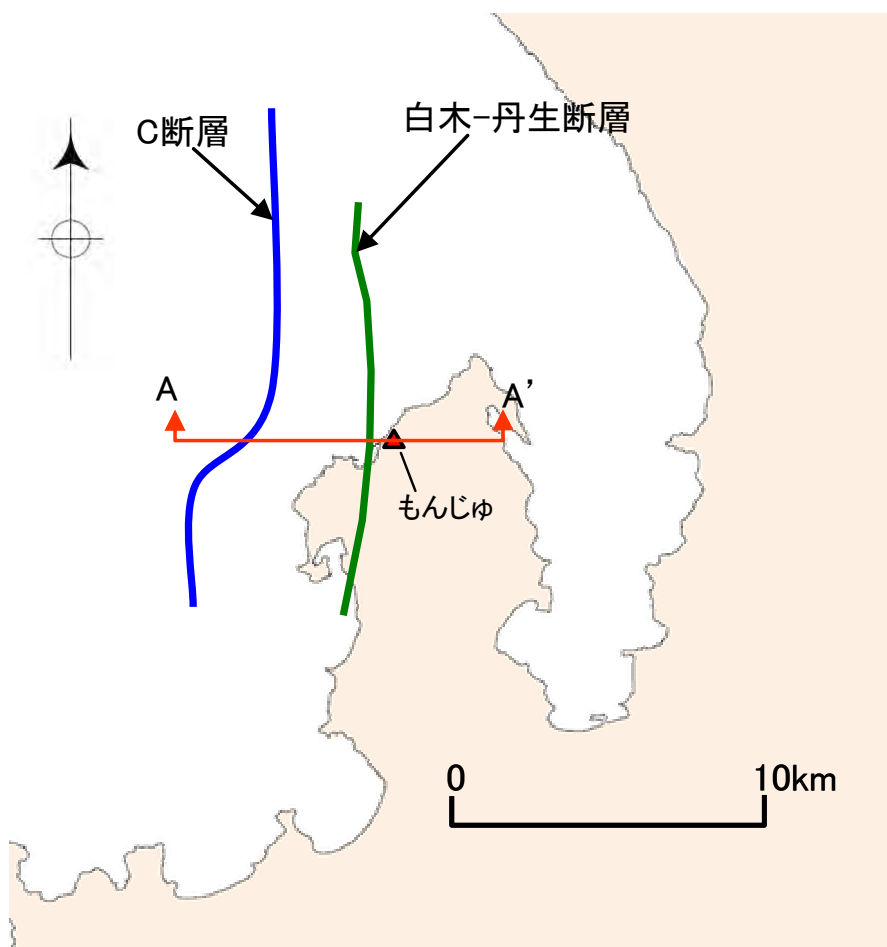
(断面図)

敷地周辺の微小地震発生状況

【参考】地震動評価における「C断層」「白木-丹生断層」の断層面

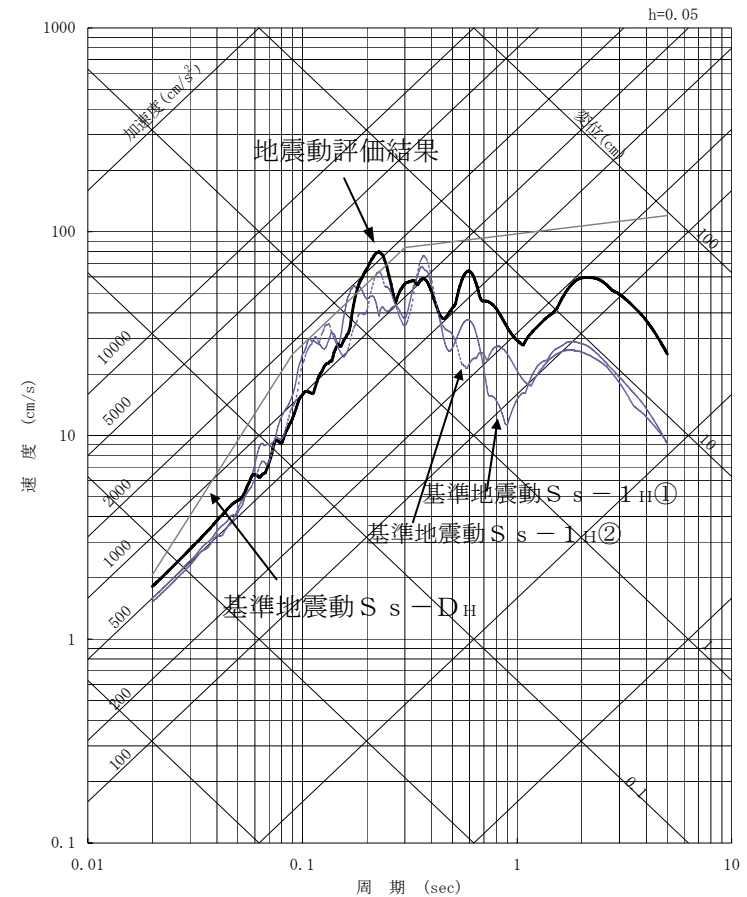
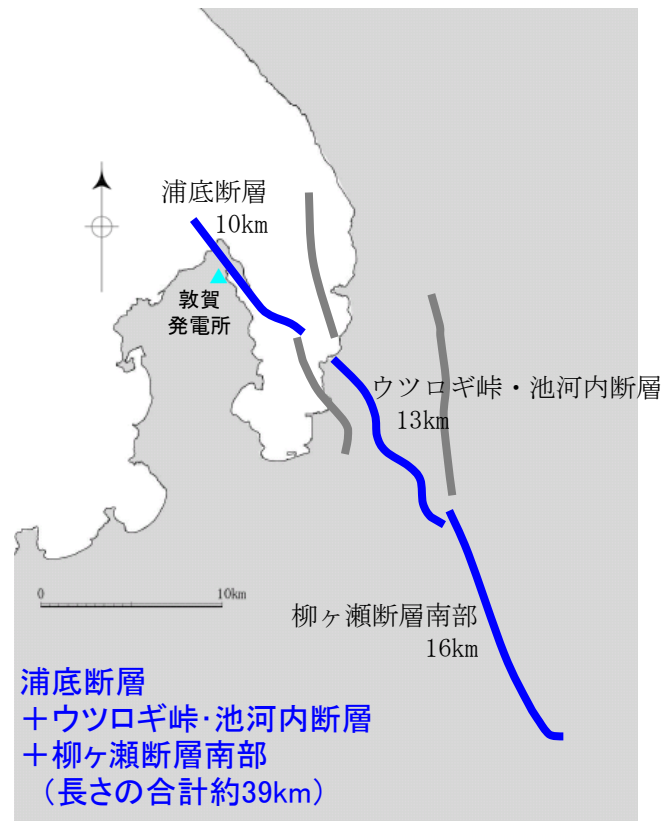
21

- ・地質調査結果等を踏まえ、地震動評価での断層面の位置、傾斜(いずれも東側に 60°)を設定。
- ・「C断層」については、不確かさ(断層上端深さ、アスペリティ配置等)を考慮。
- ・「白木-丹生断層」については、孤立した短い断層として扱い、断層面の面積を保守的に大きく設定。



設定した断層面の断面(模式図)

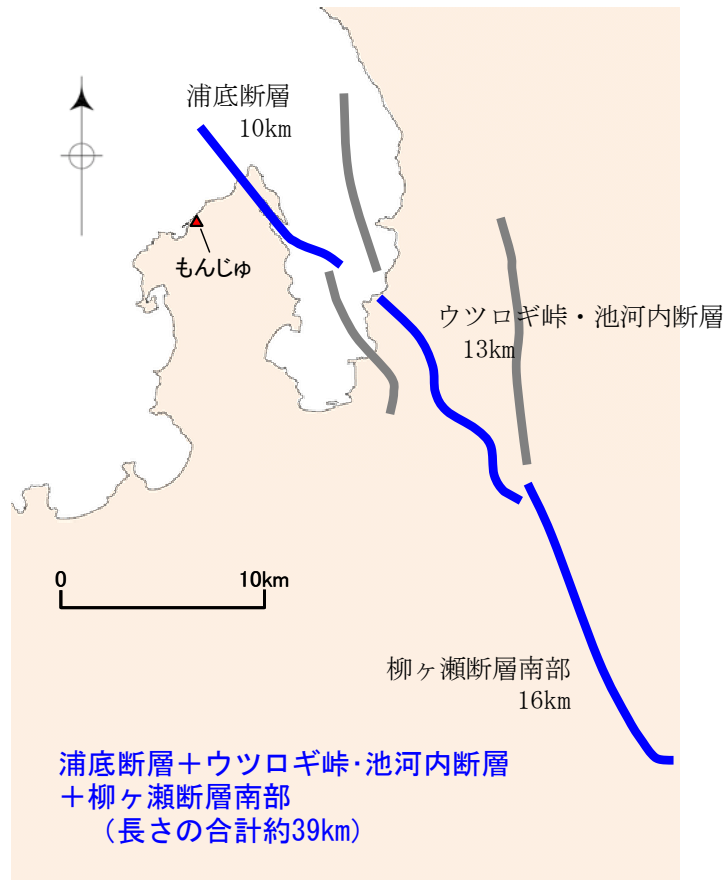
■施設への影響の観点から、断層の連動を検討



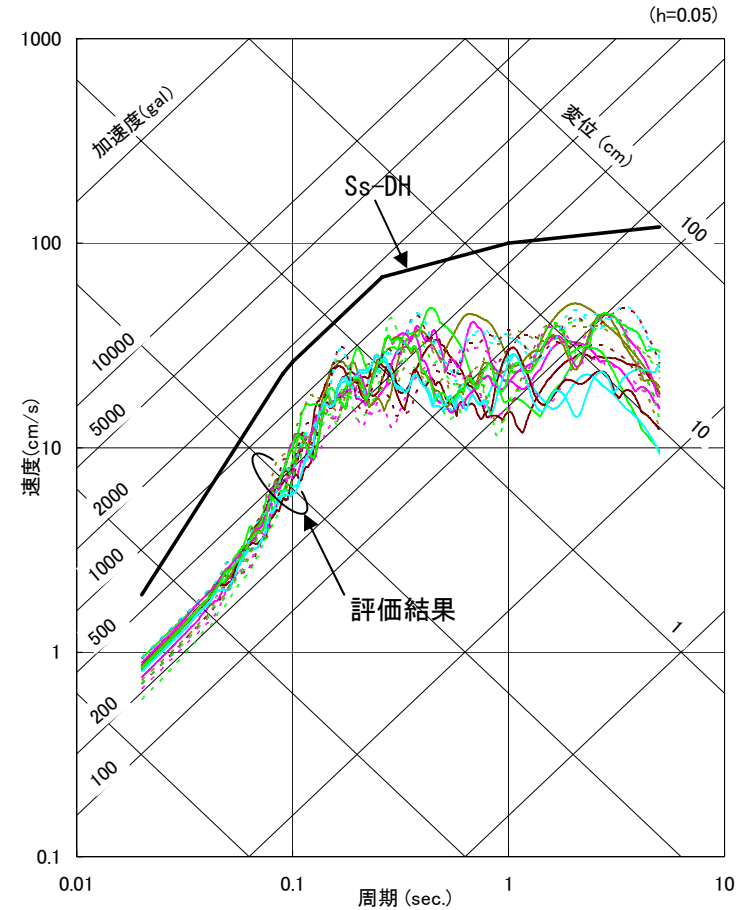
■施設への影響評価

断層モデルを用いた手法により地震動評価を行なった結果、一部の周期帯において基準地震動 S_s を上回るため、1, 2号機の主要な施設への影響を評価した。その結果、いずれの施設も本地震動に対し安全機能が保持されることを確認した。

■施設への影響の観点から、断層の連動を検討



■断層モデル用いた手法により地震動を評価



■地震動の評価結果

断層モデルを用いた手法により地震動評価を行なった結果、基準地震動Ssに包絡されていることを確認した。

【参考】美浜発電所：断層の連動に関する検討

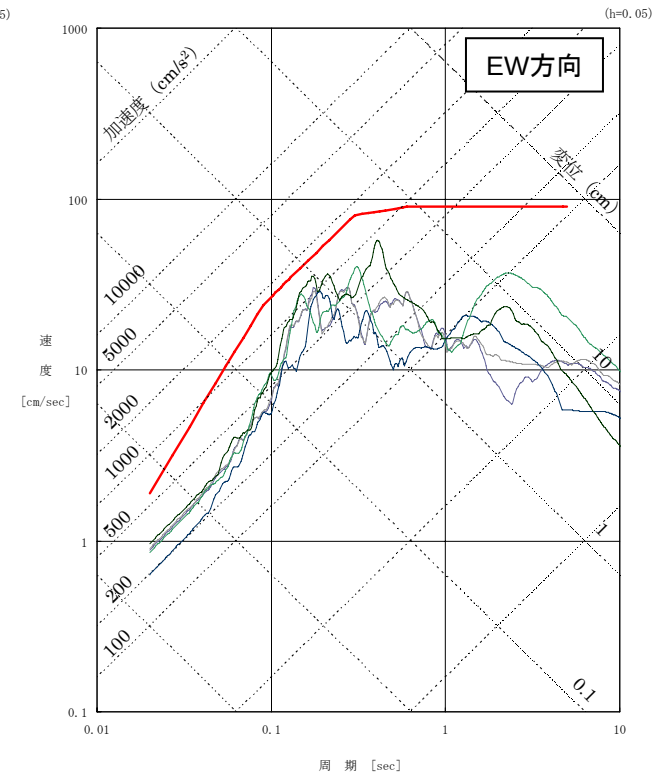
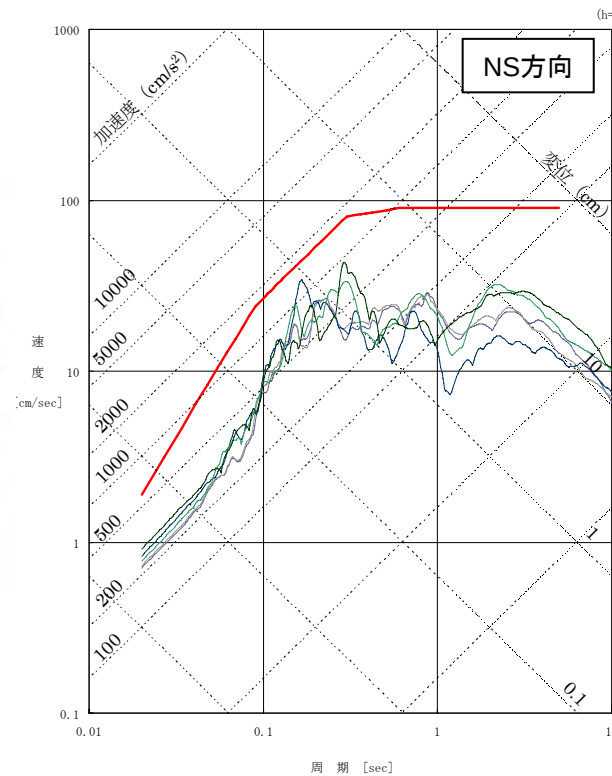
24

基準地震動 S_g は、地形および地質・地質構造の特徴から判断した活断層に基づき策定したが、今回設定した断層が詳細な地質調査に基づくものであるとはいふものの、地震調査研究推進本部等が設定している区分とは異なっている断層もあるため、設定した断層の範囲を越えて隣接する断層に破壊が乗り移るような現象もあり得ると考え、断層の連動を想定して念のため影響を検討した。

検討にあたっては、敷地に対する影響の大きさを勘案し、B断層と野坂断層の連動を対象に、断層モデルを用いて地震動評価を行った。その結果、本ケースの地震動は基準地震動 S_{S-1H} を下回った。



対象断層



地震動評価結果と基準地震動 S_{S-1H} との比較