

応答スペクトルに基づく手法と補正係数

ー 補正係数は十分に安全側にとらなければならないー

2019年7月18日 水戸

弁護士 内山成樹

原発の耐震設計上の基本方針

原発の耐震設計はどんなされるべきか

どんな地震に対しても安全であること

常識的な当たり前の方針

これが規制基準でも基本方針として規定されている

原発の耐震設計で規定された基本方針

「基準地震動及び耐震設計方針に関する審査ガイド」
の基本方針の規定

敷地で発生する可能性のある
地震動全体を考慮した地震動として策定されていること

もとの耐震設計審査指針での基本方針の規定

想定されるいかなる地震力に対しても十分な耐震力
を有していなければならない

どんな地震が来ても安全に作ること 当然の常識的规定

原発の耐震設計上最大の基本方針

・・すべてここに立ち返る必要

既知の断層についての

原発の地震動想定で必要なこと

地震現象には大きなバラツキ

⇒そのバラツキの中の最大限の想定をすることが必要

本準備書面では
既知の断層についての原発の地震動想定のうち

応答スペクトルに基づく手法について述べる

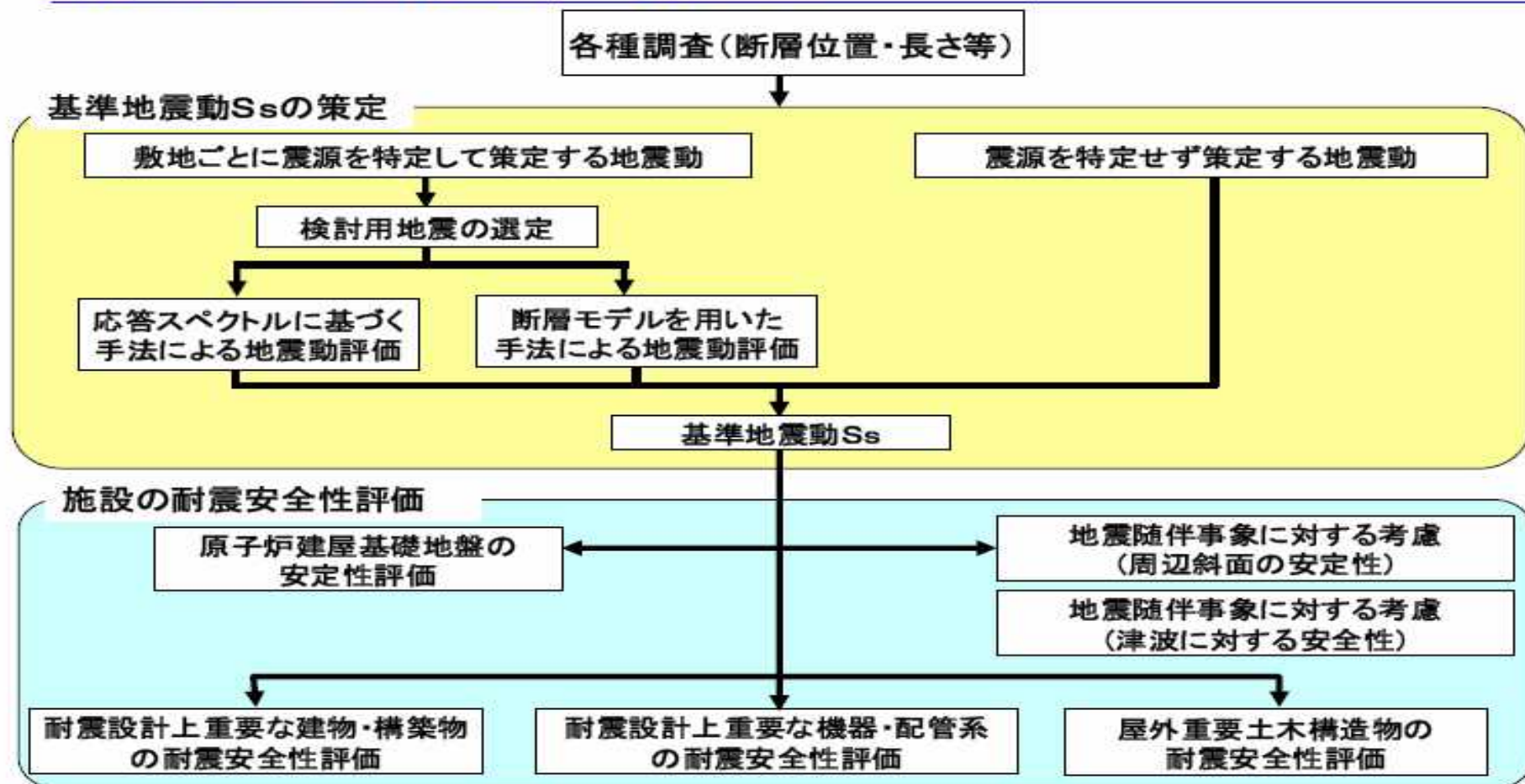
原発の耐震設計の流れ

2. 耐震安全性評価の基本方針

2007. 4. 4

耐震・構造設計小委員会

耐震安全性評価全体フロー

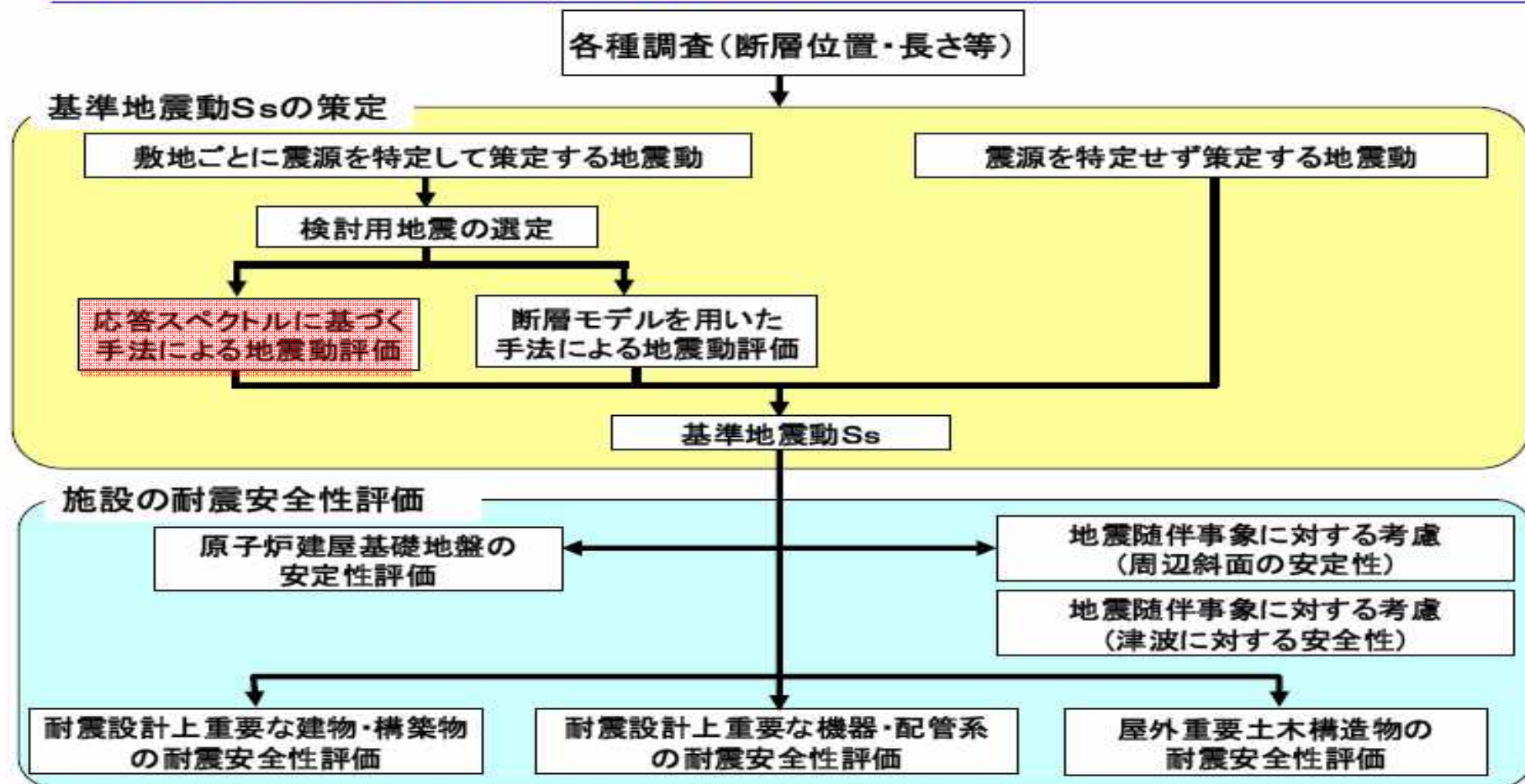


原発の耐震設計の流れ

2. 耐震安全性評価の基本方針

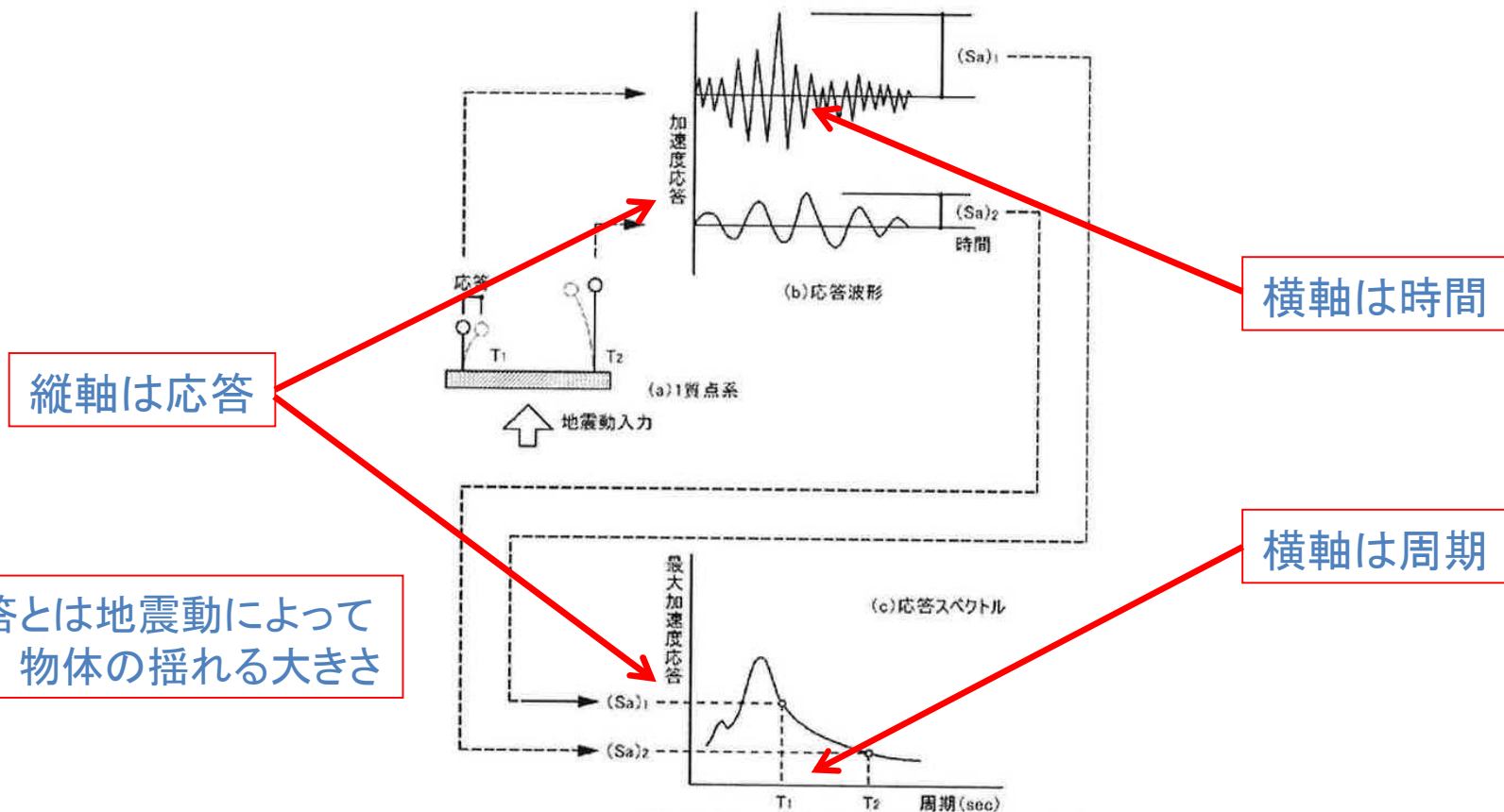
2007. 4. 4
耐震・構造設計小委員会

耐震安全性評価全体フロー



応答スペクトルとは

応答スペクトルとは
地震動が、ある固有周期の物体に最大どれだけの振動をもたらすのかを、固有周期ごとに並べたもの



応答とは地震動によって
物体の揺れる大きさ

横軸は時間

横軸は周期

地震動は、ある時間継続し、その間に物体に振動を与え続ける。物体は、地震動を受けて、振動するが、その振動の加速度、速度などの最大値を、固有周期ごとに並べたものが応答スペクトルであり、横軸が地震動の周期であり、縦軸が地震継続中の加速度や速度の最大応答（物体の揺れの最大値）となる。

たとえば東北地方太平洋沖地震で、種々の固有周期の物体を並べておいて、それぞれ最大どれだけ揺れたかをとれば、応答スペクトルとなる

応答スペクトルに基づく手法

代表的な応答スペクトルに基づく手法 耐専スペクトル

44地震 107観測点の記録による

=Noda et al(2002)

多数の地震記録から

地震をマグニチュードと(等価)震源距離で分類しその平均像を求める方法

1-1 なぜ経験的方法が必要か

◆ 耐専スペクトル

- 距離減衰式に基づく地震動の経験的評価法

◆ 経験的方法

- 基本式 : $S(T) = f(M, X)$

原発の耐震設計としては
平均像を忠実に再現した
だけでは意味がない

◆ 経験的方法の必要性

- 実観測記録に基づいて設定
 - ◆ 実現象の平均像を忠実に再現
- 断層モデルを用いた場合も経験式で確認
 - ◆ 例: 強震動評価のレシピ

代表的な応答スペクトルに基づく手法 耐専スペクトル
=Noda et al(2002)

地震をマグニチュードと(等価)震源距離だけで
周期ごとの地震動の大きさを求める方法

簡便ではあるが平均像として忠実
⇒ 不正確というわけではない

応答スペクトル手法と断層モデル手法の比較

断層モデル手法

地震動を、そのもととなるパラメータを設定して推定していく

木から森を構成して見ようとする手法

多数のパラメータが関係する そのそれぞれに誤差がある

全体としての誤差がはっきりしない

精緻ではあってもかえって誤差が分からない

応答モデル手法 地震動を少ない変数で推定する

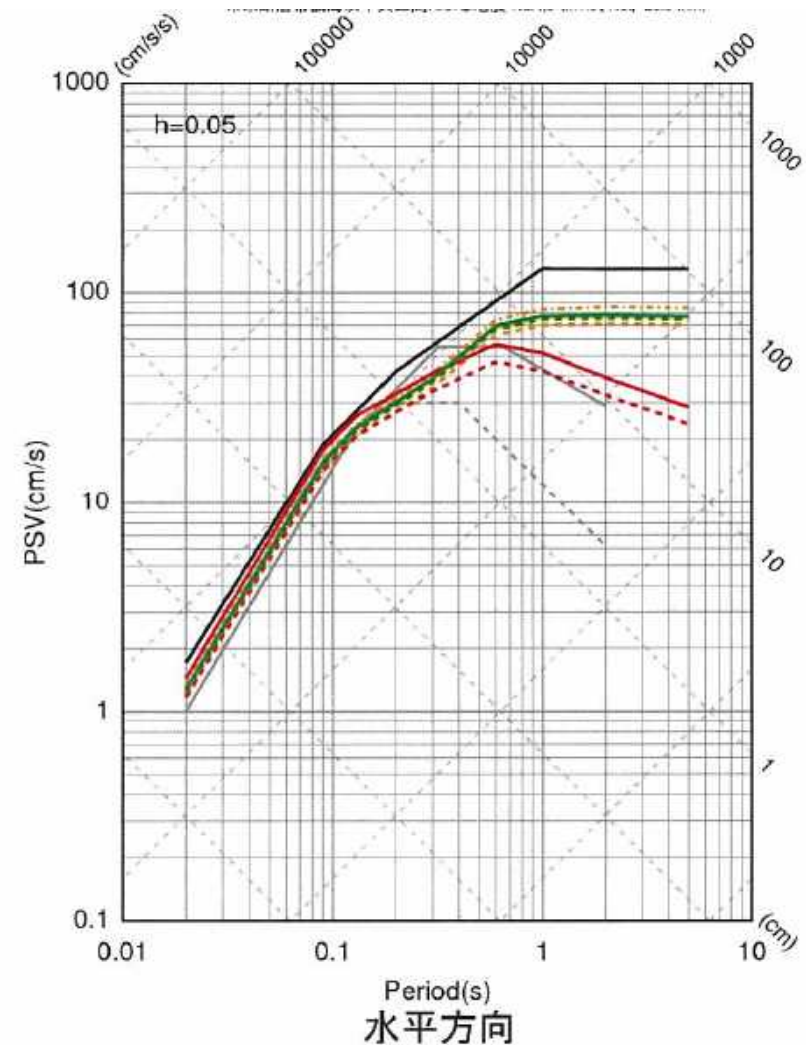
木を見ずに、最初から森を見ようとする手法

わずかな変数で直接地震動を推定する

バラツキの程度が分かりやすい 誤差の推定が容易

応答スペクトルに基づく手法の具体例 川内原発 (トリパタイト図 三軸表示図)

- 基準地震動 S_{s-1H}
- 基準地震動 $S_2(S_{K2})$
- 基準地震動 $S_2(S_N)$
- 基本ケース
臨断層帯断層区間による地震 No.0 (M7.5, $X_{eq}=20.15\text{km}$)
- - - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
臨断層帯断層区間による地震 No.4.5 (M7.5, $X_{eq}=21.59\text{km}$)
- . - 不確かさを考慮したケース(断層長さ及び震源断層の拡がり)
臨断層帯断層区間による地震 No.6,7 (M7.6, $X_{eq}=21.02\text{km}$)
- 基本ケース
市来断層帯市来区間による地震 No.0 (M7.2, $X_{eq}=13.91\text{km}$)
- - - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
市来断層帯市来区間による地震 No.4.5 (M7.2, $X_{eq}=16.51\text{km}$)
- 基本ケース
市来断層帯断層海峡中央区間による地震 No.0 (M7.5, $X_{eq}=19.90\text{km}$)
- - - 不確かさを考慮したケース(断層傾斜角度の不確かさ)
市来断層帯断層海峡中央区間による地震 No.4.5 (M7.5, $X_{eq}=20.54\text{km}$)



マグニチュード、震源距離で分ける
その上で、地震動の平均を求める

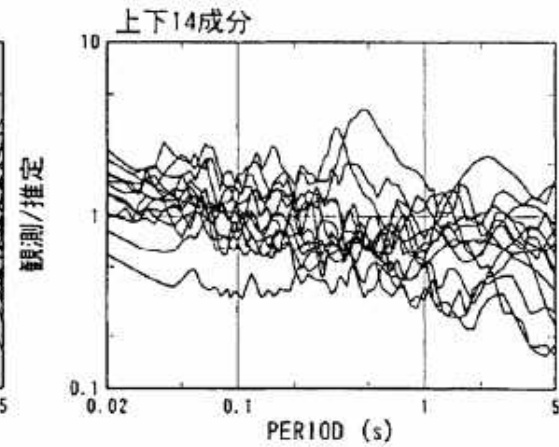
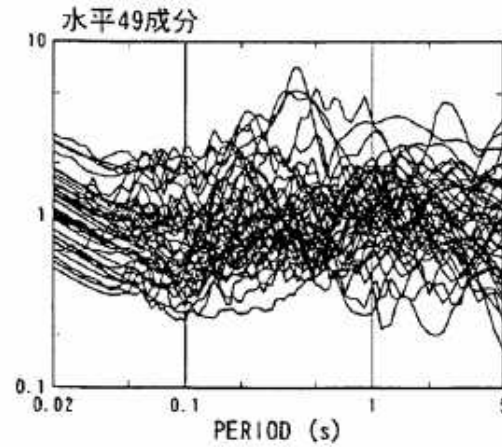
耐専スペクトルについての誤差の検討の例

近時の地震のデータによって耐専スペクトルによる推定の誤差の検討

近年の内陸地殻内地震による残差

各地震

観測／推定

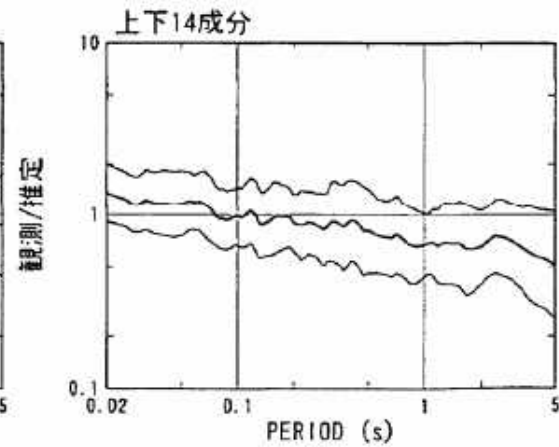
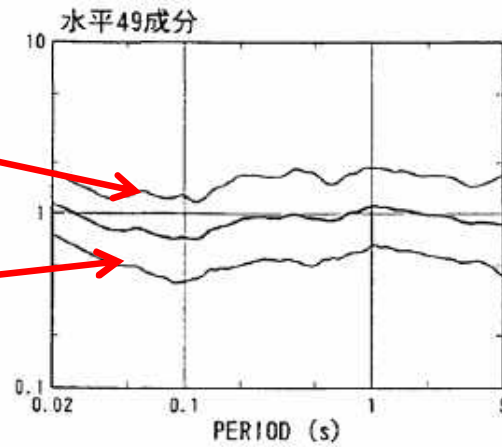


$+\sigma$

平均値

$-\sigma$

観測／推定



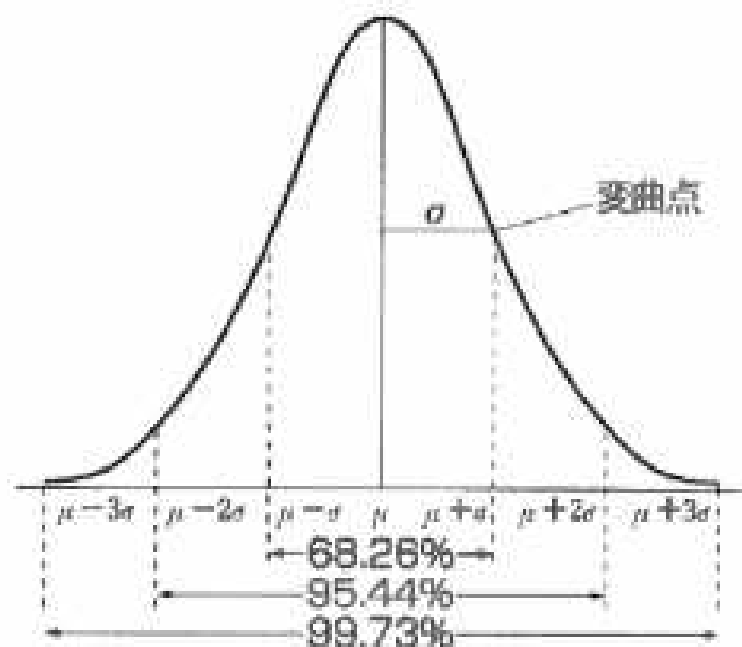
水平動

上下動

標準偏差 σ (シグマ)とは

標準偏差(σ)とは、値のバラツキを見る指標

平均値と各値との差(偏差)を二乗し、それを合算した和をデータの数で割り、それをルートした値



正規分布の図

分布が正規分布かどうかは不明
しかしほぼ変わらない

→参考にできる

+ σ を超えるもの $(100 - 68.26) / 2 \div 16(\%)$

+ 2σ を超えるもの 2.3% + 3σ を超えるもの 0.14%

耐専スペクトルについての誤差

近時の地震のデータによって耐専スペクトルによる推定の誤差が分かる

このような検討は、断層モデル手法では容易にはできない

最大限の地震動推定が必要な原発では、応答スペクトル手法の方が実用的

原発の地震動想定

最大限の地震動がどこまでに達するかの検討が必要不可欠

被告はそのような検討をしようとしていない ⇒ 根本的欠陥

補正係数

応答スペクトル手法で最大限の地震動推定の役割をになうのが補正係数

補正係数の重要性

応答スペクトル手法

最大限の地震動がどこまでに達するかの推定は
補正係数によってなされる

近隣で発生した地震動の応答スペクトル比でNoda et al(2002)の値を補正する

$$\text{応答スペクトル比} = \frac{\text{敷地の観測記録(解放基盤表面)}}{\text{Noda et al(2002)による値}}$$

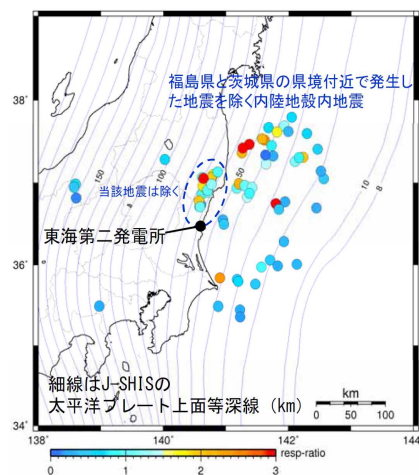
被告の設定した補正係数

福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除いた内陸地殻内地震での補正係数

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 4.3 内陸地殻内地震 内陸地殻内地震の地震動評価に用いる補正係数

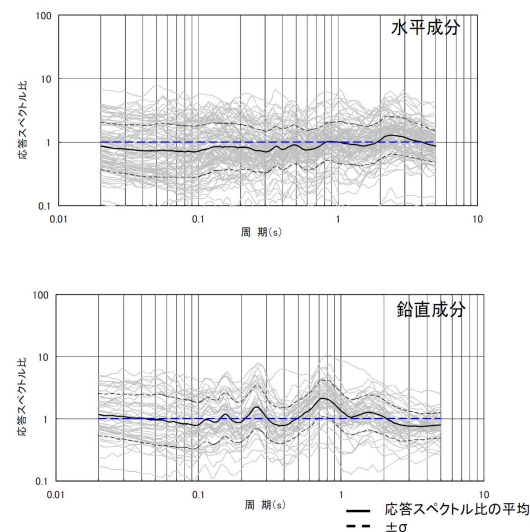
第404回審査会合
資料2再掲

■福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除く内陸地殻内地震の補正係数



図中の震央の色は図下のカラーバーに対応し、
応答スペクトル比を示している (周期0.02秒～0.1秒の平均)。

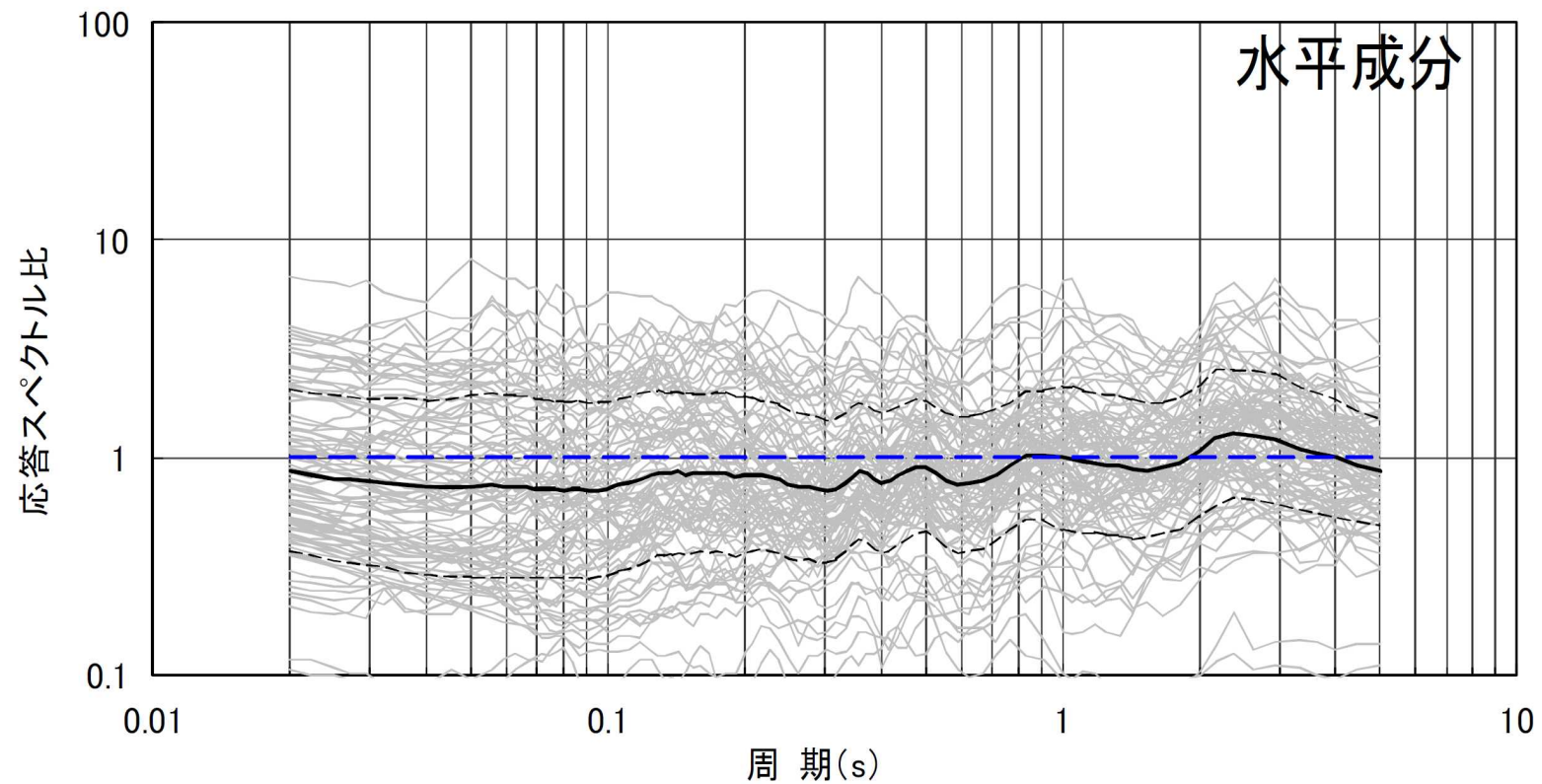
検討対象地震の震央分布図
(水平成分)



応答スペクトル比

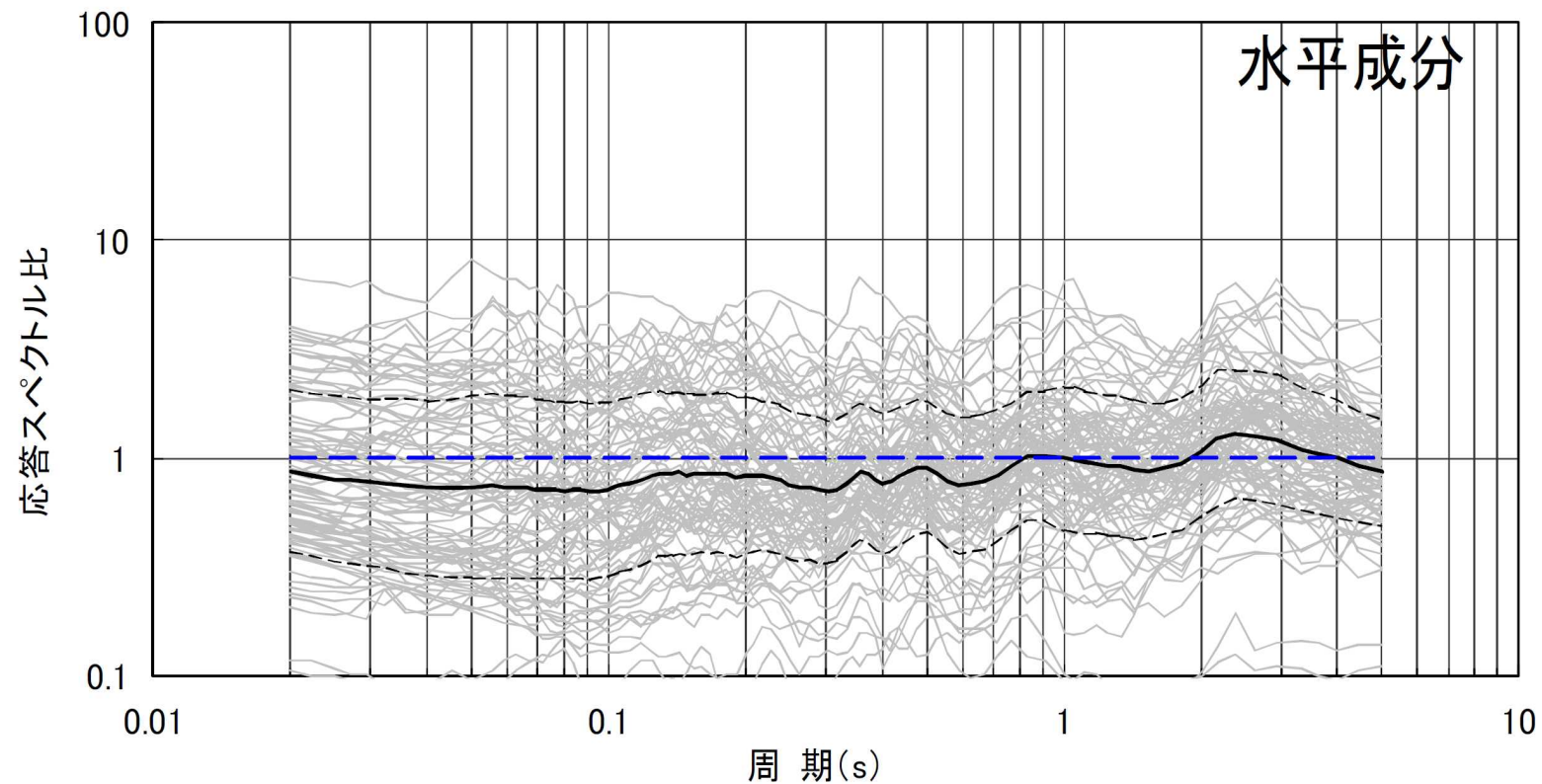
福島県と茨城県の県境付近を除く地域で発生した内陸地殻内地震の応答スペクトル比について、各地震の平均は水平成分、鉛直成分ともほぼ1倍であるため、日本電気協会(2016)による内陸地殻内地震に対する補正や観測記録の応答スペクトル比に基づく補正は行わない。

(水平成分の拡大図)



図の1本1本が、実際に敷地近隣で発生した地震の地震動の応答スペクトル比
それと同じ強さの地震動が発生する可能性がある
そのバラツキを見て補正係数を決める必要がある

(水平成分の拡大図)

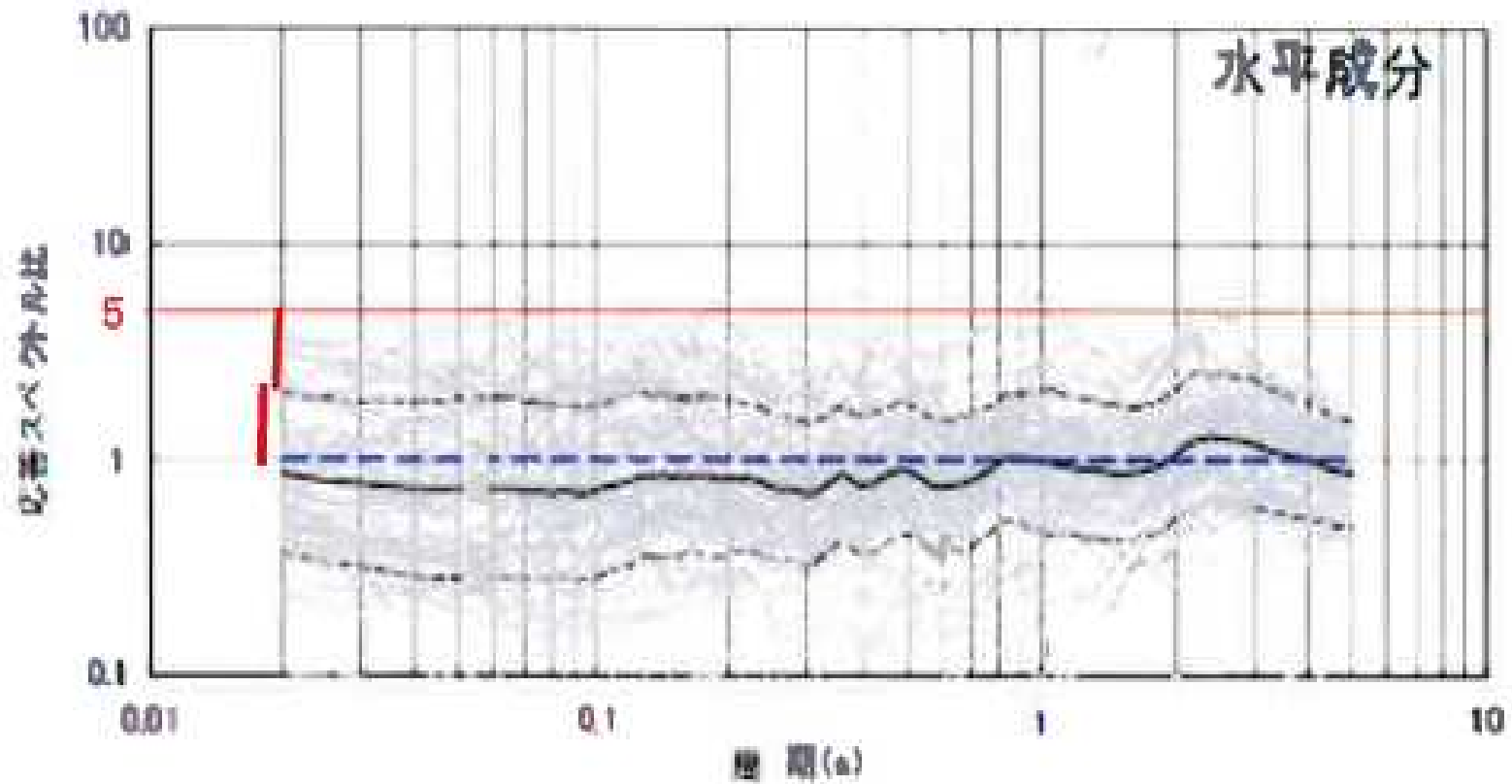


被告の言い分

各地震の平均は水平成分、鉛直成分ともほぼ1倍であるため、日本電気協会による
内陸地殻内地震に対する補正や観測記録の応答スペクトル比に基づく補正は行わない

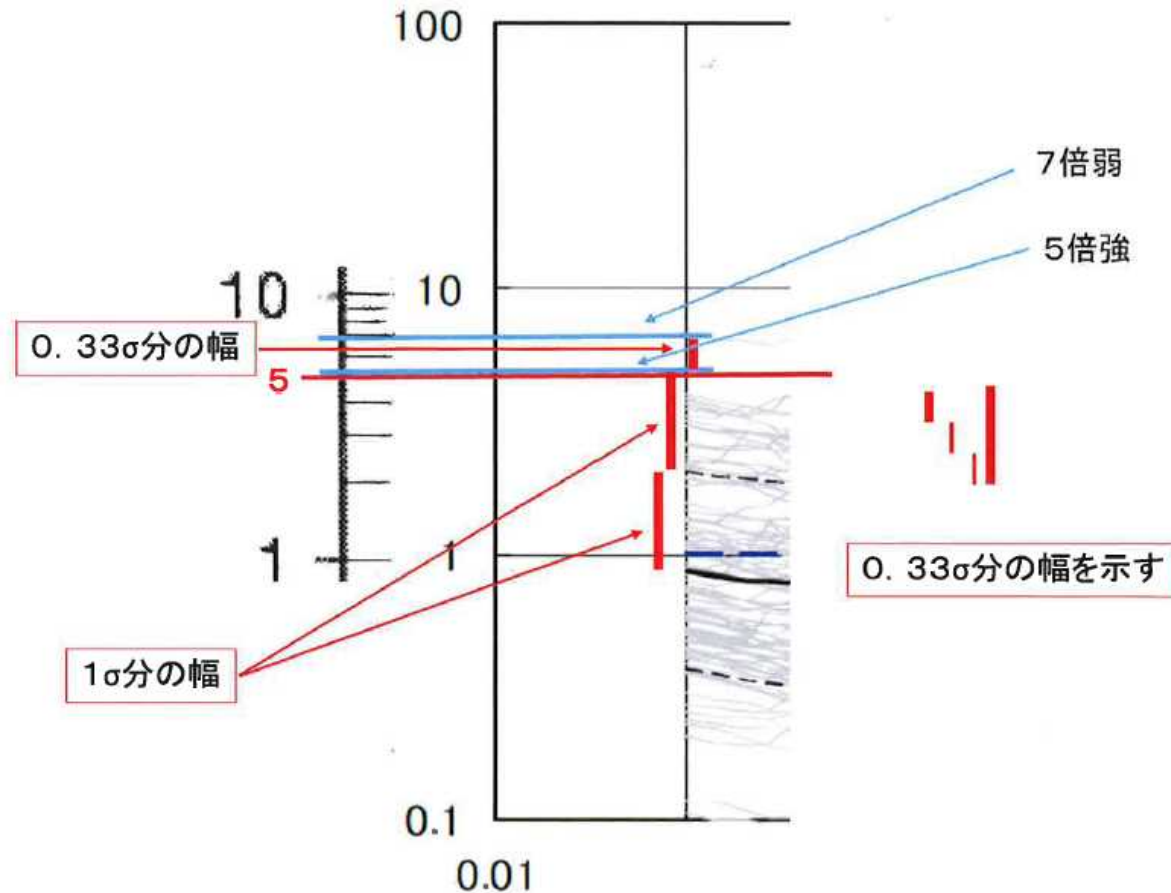
⇒ **これでは原発の安全性の確保はできない**

補正係数はどうあるべきか



+2 σ をとれば、応答スペクトル比はほぼ5倍となる

より詳細に見る



+2 σ をとれば、応答スペクトル比は5倍強

カバー率99%(その値をはみ出すのが1%)の+2.33 σ をとればほぼ7倍
(7倍弱)

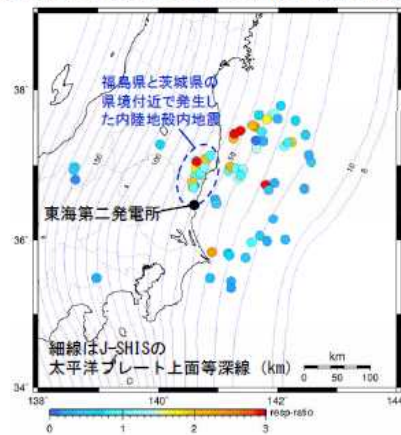
被告の設定した補正係数

福島県と茨城県の県境で発生した内陸地殻内地震での補正係数

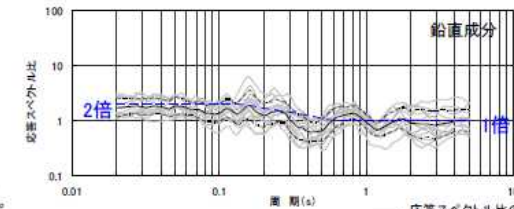
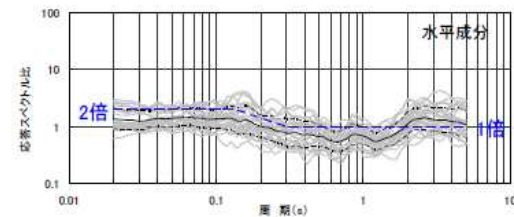
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 4.3 内陸地殻内地震
内陸地殻内地震の地震動評価に用いる補正係数

第404回審査会
資料2再掲

■福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震の補正係数



検討対象地震の震央分布図
(水平成分)



応答スペクトル比

- 福島県と茨城県の県境付近で発生した地震の応答スペクトル比は短周期側で大きくなる傾向が見られ、水平成分で1.4倍程度、鉛直成分で1.7倍程度となる。
- 従って、福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震に対する応答スペクトル手法では、日本電気協会(2016)による内陸地殻内地震に対する補正係数は用いず、上記応答スペクトル比の傾向に基づき、短周期帯を概ね包絡するように短周期側で2倍の補正係数を設定する。

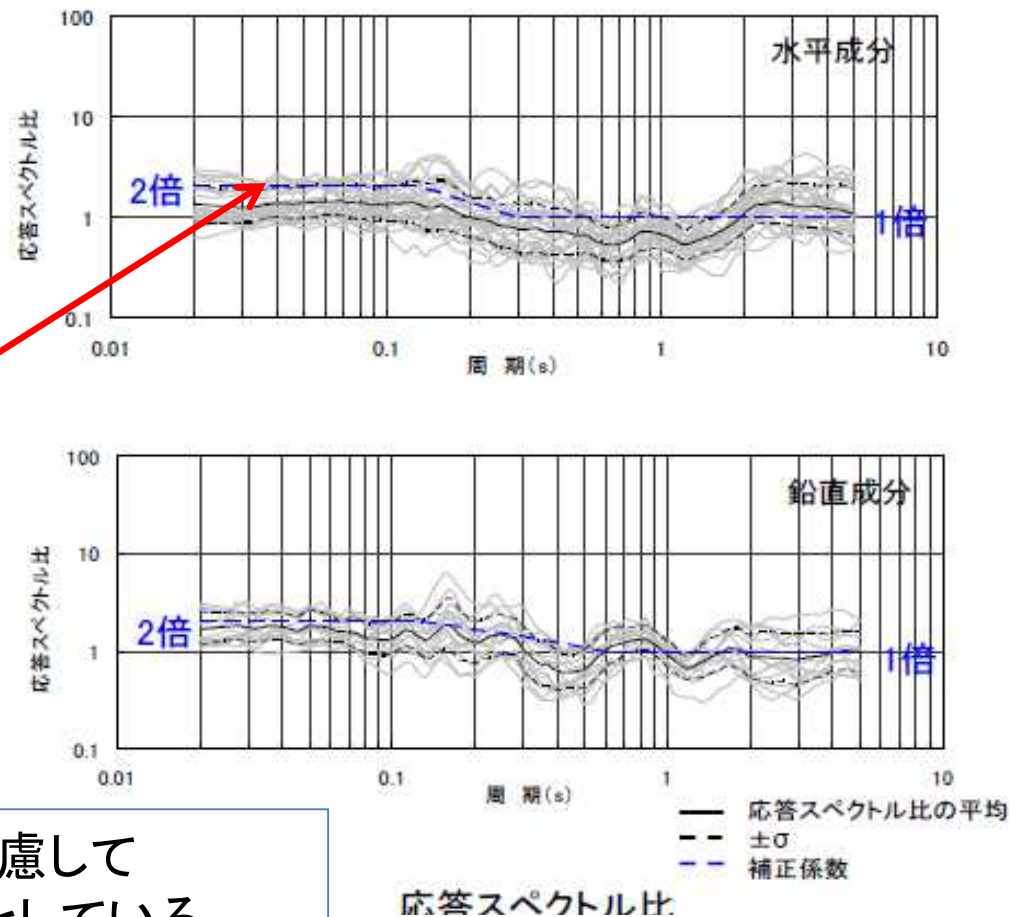
ここでは「短周期帯を概ね包絡するように短周期側で2倍の補正係数を設定」としている

ダブルスタンダード

なぜ福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除いた内陸地殻内地震ではバラツキを考慮した「概ね包絡」したレベルを補正係数としないのか

青点線が補正係数

短周期ではほぼ $+\sigma$ の値



ここではバラツキを多少考慮して
 $+\sigma$ のレベルを補正係数としている

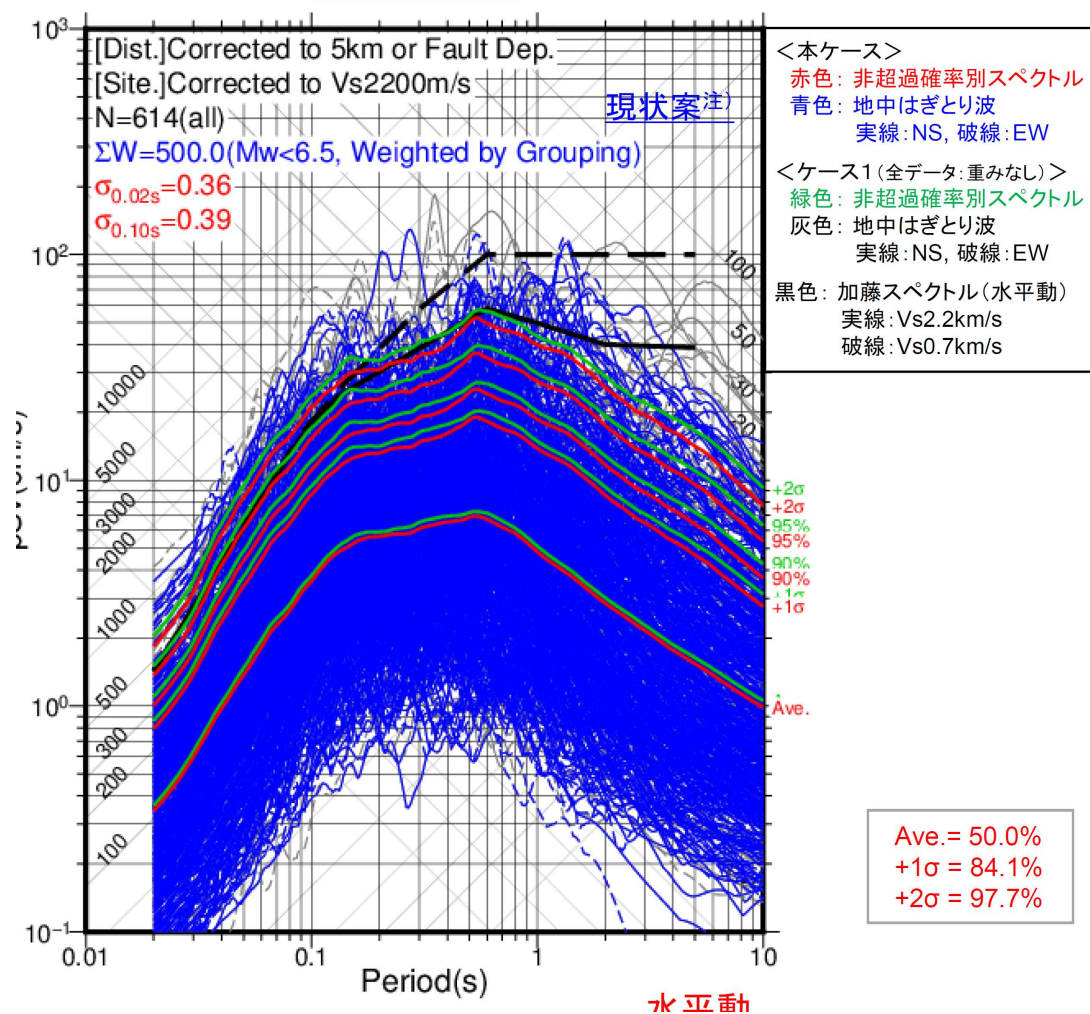
もっともそれでは84%をカバーするだけ

+2 σ をとっている例

震源を特定せず策定する地震動をめぐる議論

水平動

※重みをGroup A=1, B=1, C=0,
(グループ分けの詳細はp.7参照)



補正係数はどうあるべきか

少なくとも $+2\sigma$ のレベルとすべき
しかし、それでも2.3%がはみ出るレベル
=97.7%のカバー率でしかない

したがって99%のカバー率となる $+2.33\sigma$
のレベルとすべき

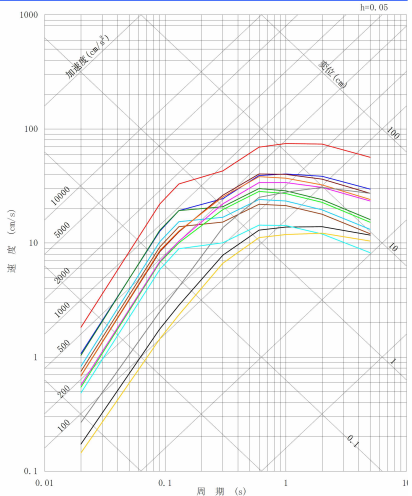
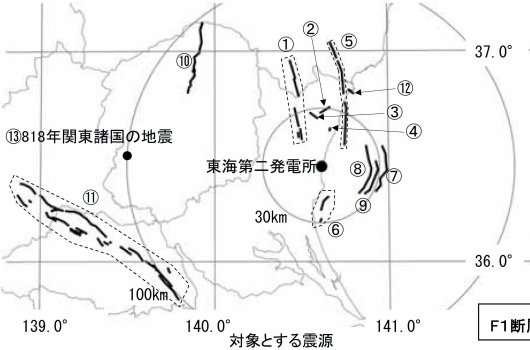
被告が、敷地近傍の断層について、応答スペクトルに基づく手法により導いた応答スペクトル図(①～⑫)

4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 4.3 内陸地殻内地震 検討用地震の選定

第404回審査会合
資料2修正

地震名	長さ (km)	地震 規模 M	断層上 端深さ (km)	等価震源 距離(km)※2	補正 係数
① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の運動	42	7.5	3	37	考慮
② 関口ー米平リニアメント	6	6.8※1	3	27	考慮
③ 堅破山リニアメント	4	6.8※1	3	25	考慮
④ 宮田町リニアメント	1	6.8※1	3	21	考慮
⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動	58	7.8	3	31	考慮
⑥ F3断層, F4断層の運動	16	6.8	5	22	
⑦ F8断層	26	7.2	5	26	
⑧ F16断層	26	7.2	5	30	
⑨ Aー1背斜	20	7.0	5	22	
⑩ 関谷断層	40	7.5	5	92	
⑪ 深谷断層帯・綾瀬川断層	103	8.2	5	128	
⑫ F11断層	5	6.8※1	3	38	考慮
被害地震 ⑬ 818年関東諸国の地震	—	7.5	—	102	

※1 長さの短い断層については、地震規模をM6.8として評価
※2 活断層による地震の断層傾斜角は60度として評価

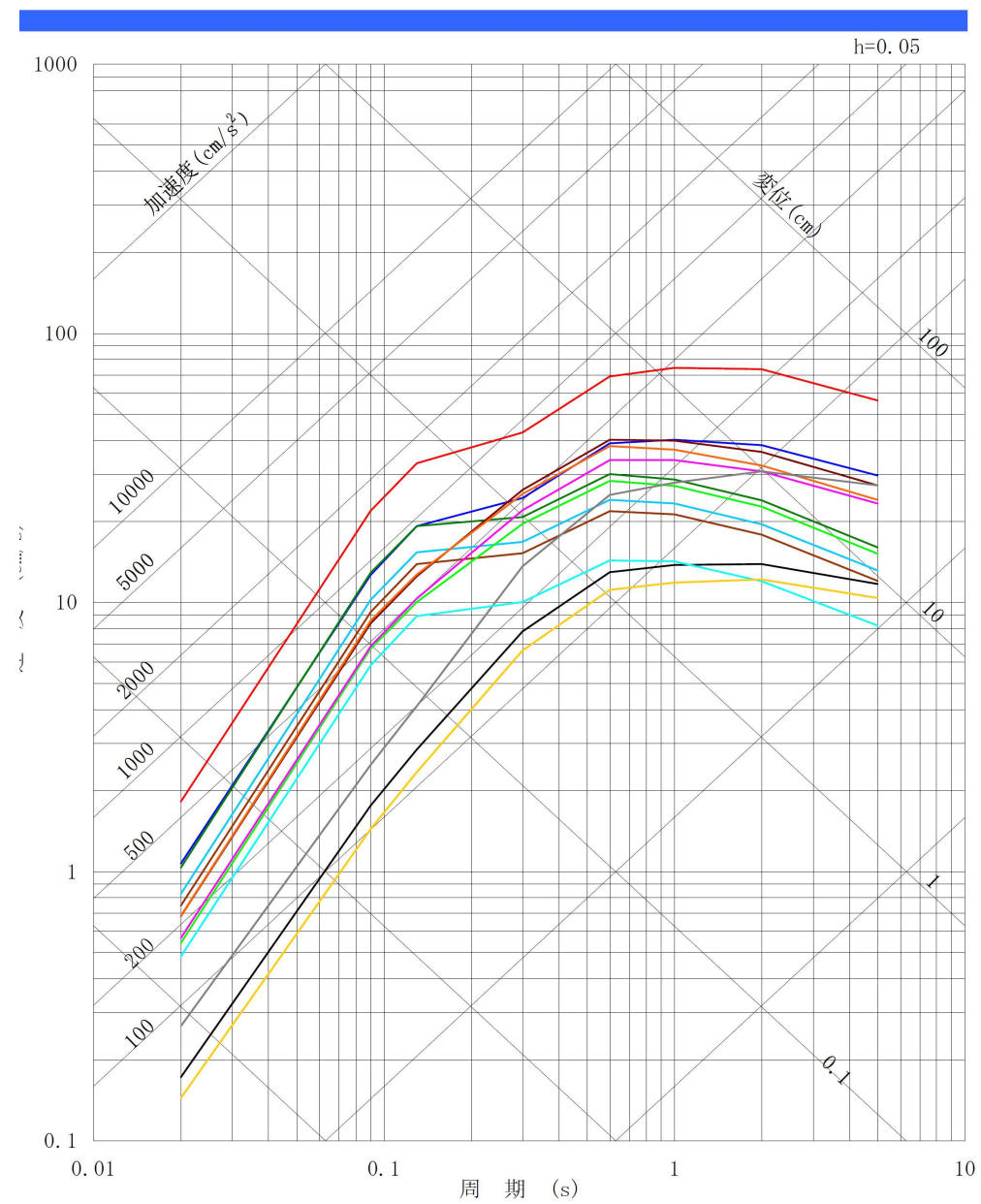


①棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の運動, M7.5, Xeq=37km
②関口ー米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
③堅破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
④宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
⑤F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動, M7.8, Xeq=31km
⑥F3断層, F4断層の運動, M6.8, Xeq=22km
⑦F8断層, M7.2, Xeq=26km
⑧F16断層, M7.2, Xeq=30km
⑨Aー1背斜, M7.0, Xeq=22km
⑩関谷断層, M7.5, Xeq=92km
⑪深谷断層帯・綾瀬川断層, M8.2, Xeq=128km
⑫F11断層, M6.8, Xeq=38km
⑬818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル
(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

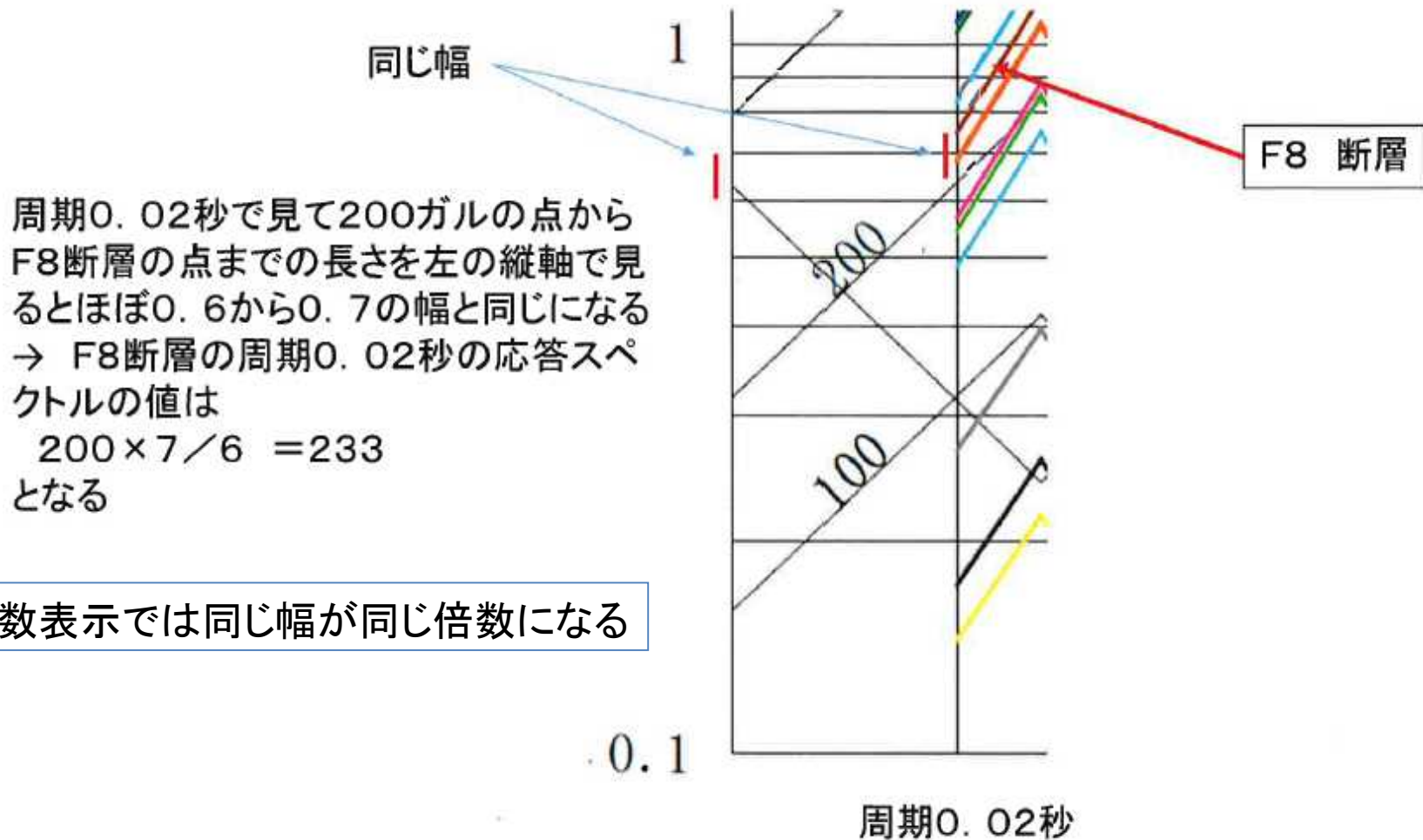
F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震を検討用地震として選定した。

(拡大図)



⑦のF8断層を見れば、周期0.02秒付近でほぼ**233ガル**

F8断層 福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除いた内陸地殻内地震



対数表示では同じ幅が同じ倍数になる

補正係数を7倍とすれば

$$233 \times 7 = 1631$$

F8断層による地震の地震動
ほぼ1630ガルに達する可能性

補正係数についての被告の反論

「「F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震」について、福島県と茨城県との県境付近で発生した地震の傾向を踏まえ、Noda et al(2002)の方法を用いて「応答スペクトルに基づく地震動評価」を行うに当たり、この傾向に係る短周期帯をおおむね包絡するように短周期側で2倍の補正係数を設定するとの安全側の配慮を行うなどして、詳細に地域性を踏まえつつ保守的な検討を重ねている」

議論を回避した肩透かしの主張でしかない

求釈明

- ① 2倍の補正係数の設定で安全側の配慮とするときの「安全側」とは一応の安全側の配慮の程度なのか、それとも「十分に安全側の配慮」なのかを回答されたい。仮に一応の安全側の配慮で足りると主張するなら、その理由を、また十分に安全側の配慮だとするなら、なぜそれで十分に安全側と言えるのかを回答されたい。
- ② 「F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震」について、被告は $+\sigma$ のレベルによって2倍の補正係数としているが、なぜ $+2\sigma$ や $+2.33\sigma$ のレベルを補正係数として採用しなかったのかを回答されたい。

③ 福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除く内陸地殻内地震である他の地震については、 $+\sigma$ のレベルさえ、なぜ補正係数として採用しなかったのかを回答されたい。

④ この被告の採用した補正係数で、各地震について、発生する可能性のある地震動を何%カバーできるのかについて回答されたい。