

島根原子力発電所

中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮 したケースの断層モデル計算手法について

令和3年4月9日
中国電力株式会社

短周期レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価手法(概要)

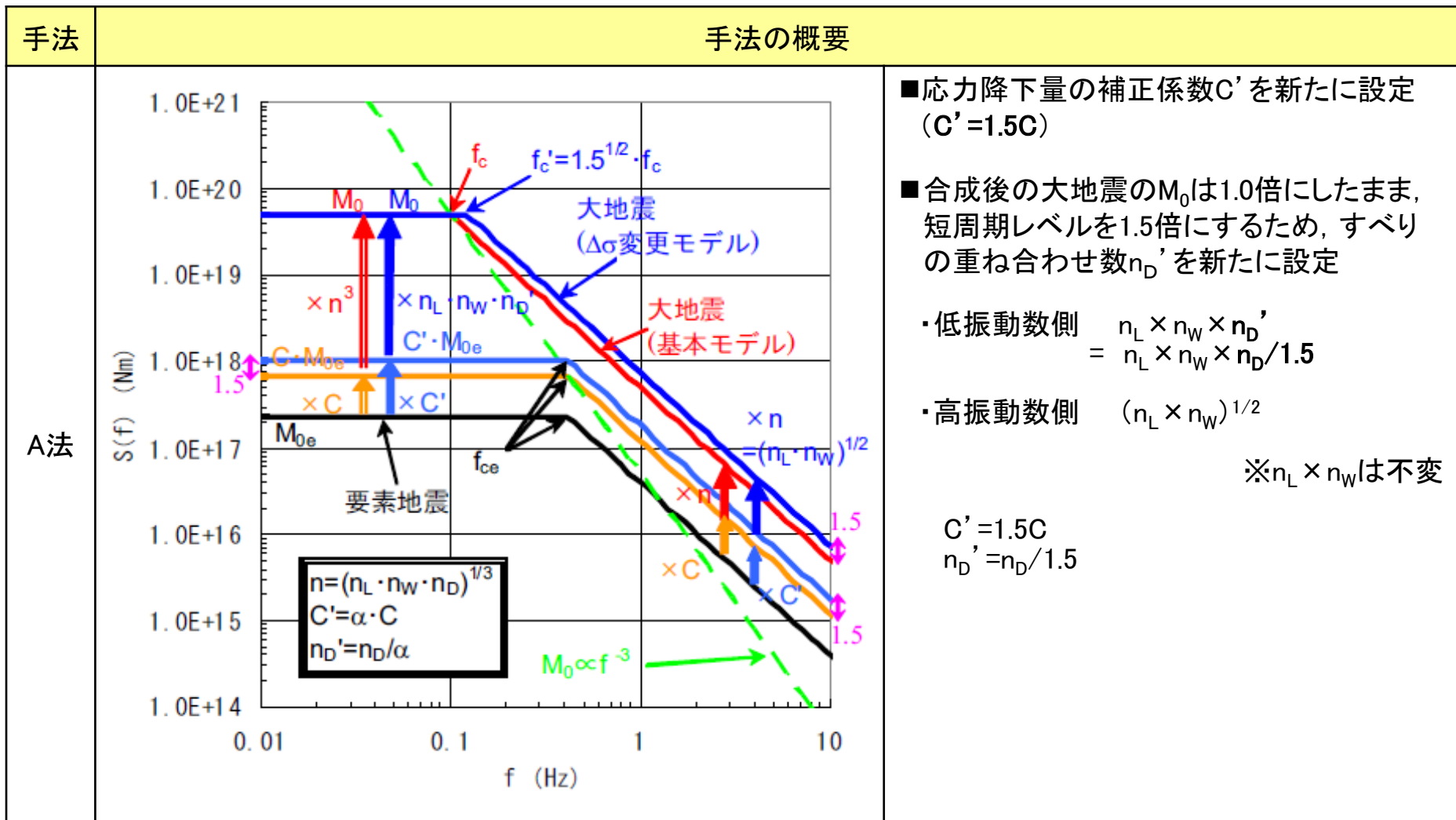
- 島根原子力発電所の断層モデルを用いた手法による地震動評価における「中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース」は、基本震源モデルに対して短周期レベルが1.5倍(短周期レベルと比例関係にある応力降下量も1.5倍)になる計算手法によって評価している。
- 一方、2009年4月23日に開催された原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合において、断層パラメータの不確かさを考慮する際、評価の仕方によっては、下表のように基本震源モデルに対して応力降下量を大きくした割合と短周期レベルが大きくなる割合が異なる場合(B法)があることが確認されている。
- 島根原子力発電所の断層モデル評価は、上記作業会合で示された2つの手法のうち、短周期レベル、応力降下量ともに1.5倍となる手法(A法)を用いて中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの計算を行っている。

手法	手法の概要	評価結果	備考
A法	基本モデルと同じ要素地震波を用い、応力降下量補正係数Cと重ね合わせ数nを新たに設定する。経験的グリーン関数法と統計的グリーン関数法のいずれにも適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル1.5倍	島根原子力発電所の地震動評価で用いている手法
B法	要素地震の応力降下量 $\Delta\sigma_e$ を基本モデルから変更し、基本モデルと同じCとnを用いる。要素地震波を人工的に作成する統計的グリーン関数にのみ適用できる。	応力降下量1.5倍 短周期レベル $1.5^{2/3}$ 倍 (約1.3倍)	

※原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合(2009年4月23日)で確認された内容

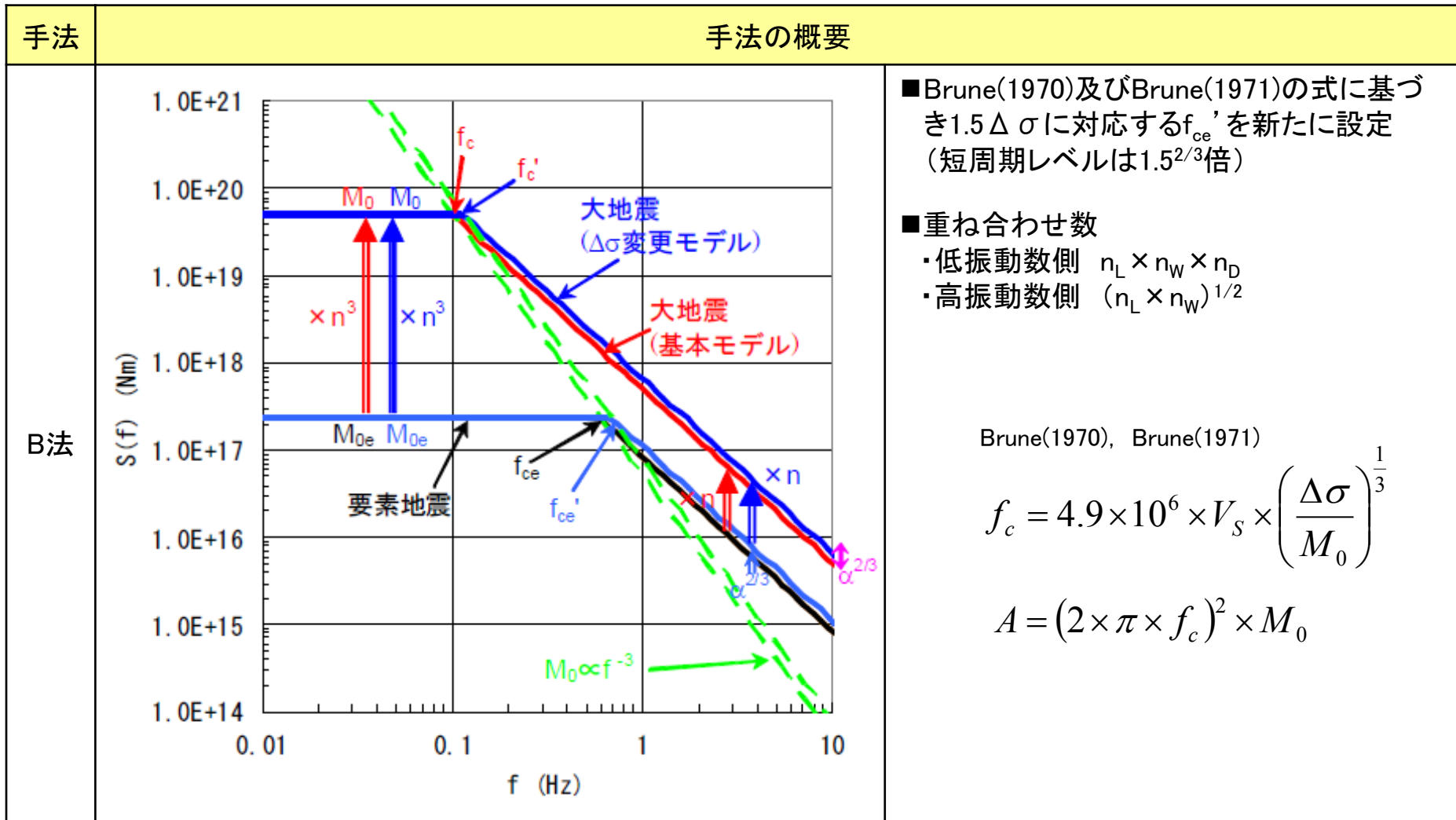
原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるA法

- A法の概要は以下の通りであり、新たに設定した応力降下量の補正係数 C' とすべりの重ね合わせ数 n_D' を波形合成時に考慮することにより、合成後の大地震の M_0 は基本震源モデルと変えずに、短周期レベル(図の赤線部分)のみ基本震源モデルの1.5倍となる。



原子力安全委員会 地震動解析技術等作業会合におけるB法

- B法の概要は以下の通りであり、要素地震の応力降下量を1.5倍 (f_c が高振動数側に移動)するが、Brune(1970)及びBrune(1971)によるパラメータ間の関係式により短周期レベルは基本震源モデルの1.3倍 ($1.5^{2/3}$ 倍)程度にしかならないため、この要素地震を用いて波形合成を行っても合成後の短周期レベル(図の赤線部分)も基本震源モデルの1.3倍程度にしかならない。



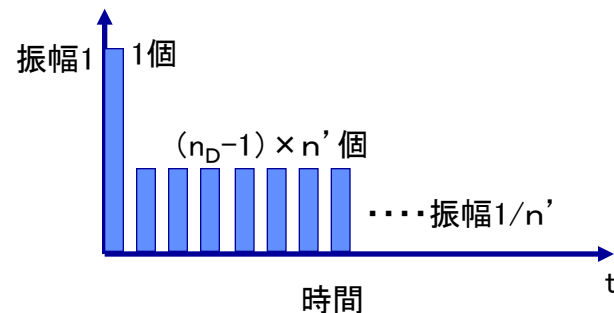
統計的グリーン関数法による地震動評価

- 島根原子力発電所の基準地震動策定における断層モデル評価においては、B法のように要素地震の応力降下量を1.5倍するのではなく、A法と同じく、波形合成時に短周期レベルが1.5倍（短周期レベルに比例する応力降下量も1.5倍）となるように計算している。
- 具体的には、短周期レベル1.5倍の評価では、時間領域で小地震の波形を重ね合わせた時に低振動数(M_0)は変わらず高振動数(短周期レベル)のみ1.5倍となるようにすべりを重ね合わせて計算している。
- まず、基本となる波形合成の式を以下に示す。この基本式におけるすべりの重ね合わせについては、すべりを均等に重ね合わせるのではなく、下図に示すように振幅1と振幅 $1/n'$ のすべりを重ね合わせているのが特徴である。

【入倉法による波形合成の基本式】

$$U(t) = \underbrace{\sum_{i=1}^{n_L} \sum_{j=1}^{n_W} \frac{X_e}{X_{ij}} u_e(t - t_{ij})}_{\text{第1項}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n_L} \sum_{j=1}^{n_W} \sum_{k=1}^{(n_D-1) \cdot n'} \frac{X_e}{X_{ij}} \cdot \frac{1}{n'} u_e \left\{ t - t_{ij} - \frac{(k-1)\tau}{n_D \cdot n'} \right\}}_{\text{第2項}}$$

$$t_{ij} = \frac{\eta_{ij}}{V_r} + \frac{X_{ij}}{V_s}$$



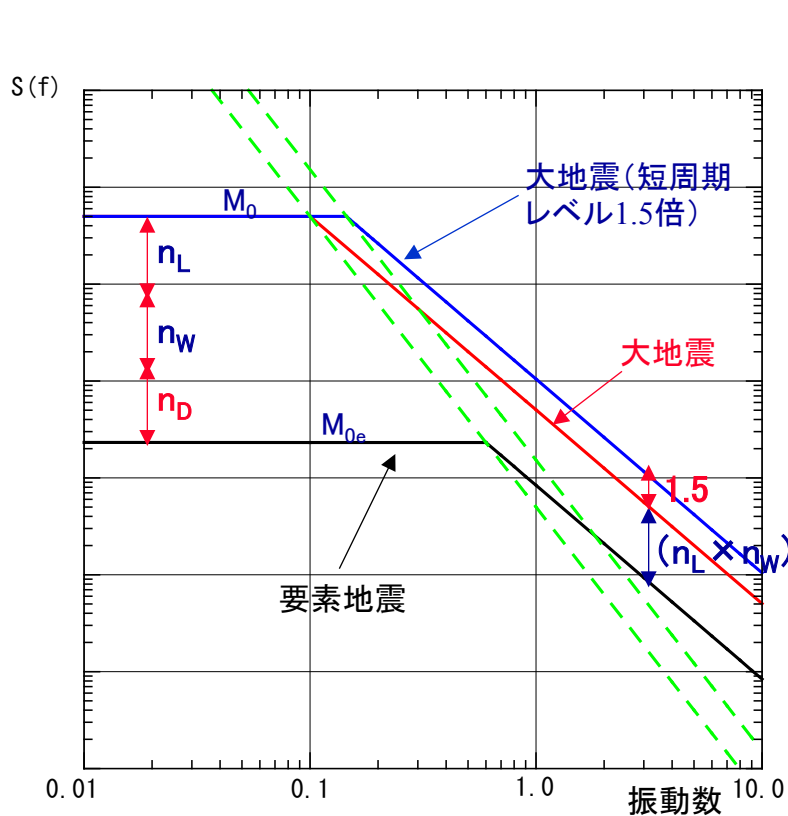
すべりの足し合わせ
 $1 + (n_D - 1) \times n' \times 1/n' = n_D$

X_e : 要素地震の震源距離 η_{ij} : 破壊開始点から要素(i,j)までの距離
 X_{ij} : 要素(i,j)の震源距離 V_r : 破壊伝播速度
 τ : 立ち上がり時間 V_s : S波速度

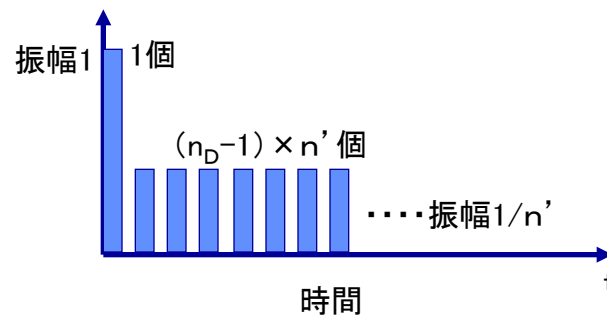
〔実際の計算は入倉他(1997)による指数関数形を採用〕

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(1/5)

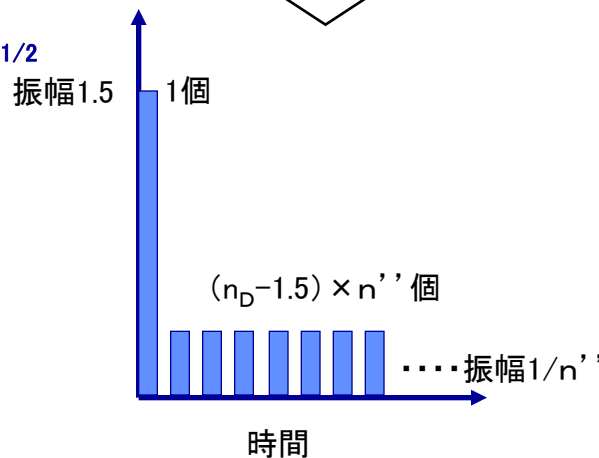
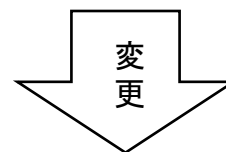
- 人工的に作成する要素地震の応力降下量は大地震と等しくしているため、応力降下量補正係数Cは1.0のまま、すべりの重ね合わせに関する形状を変えることにより、応力降下量及び短周期レベル1.5倍を実現している。



イメージ図



すべりの足し合わせ
 $1 + (n_D - 1) \times n' \times 1/n' = n_D$

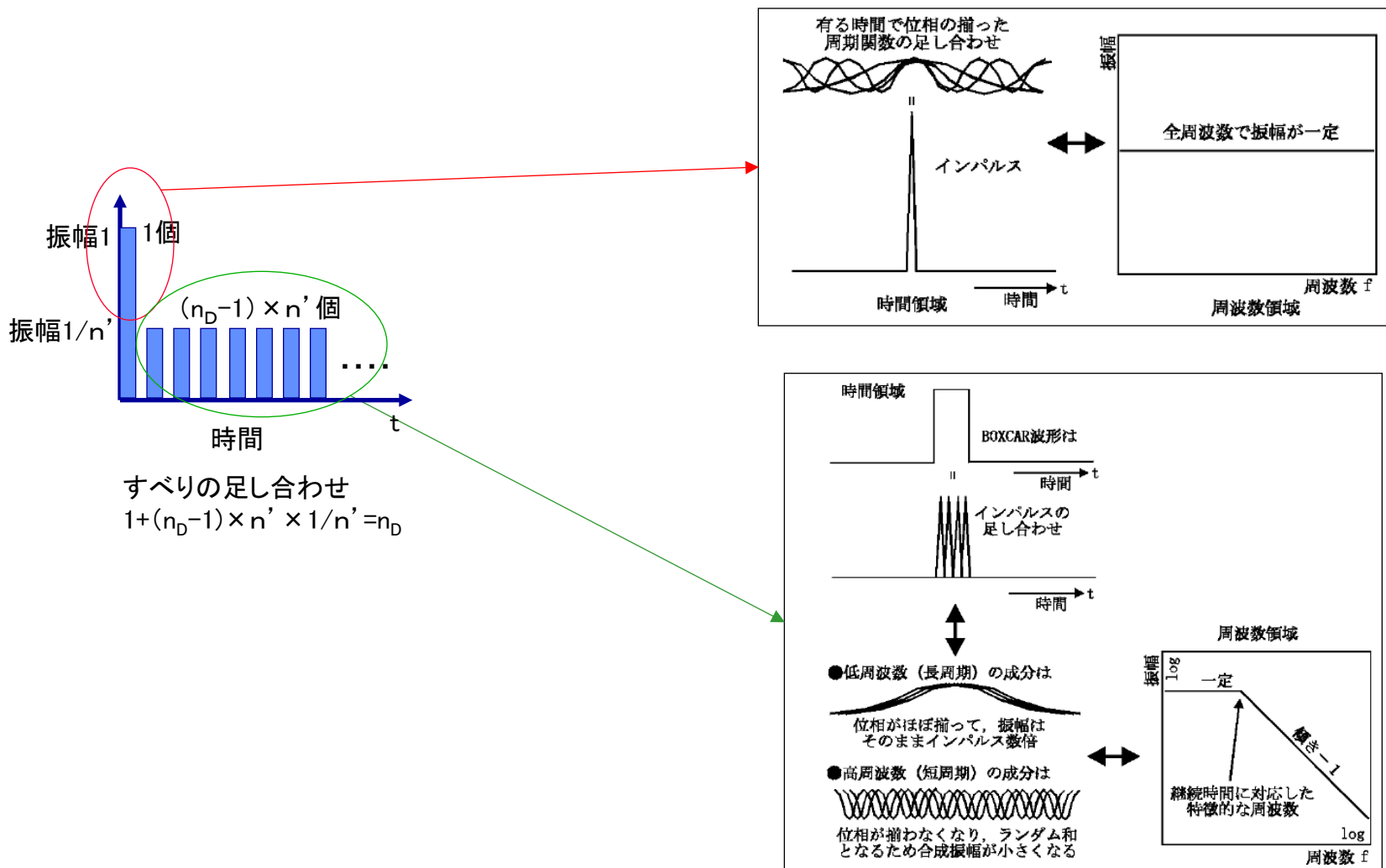


すべりの足し合わせ
 $1.5 + (n_D - 1.5) \times n'' \times 1/n'' = n_D$

〔実際の計算は入倉他(1997)による指数関数形を採用〕

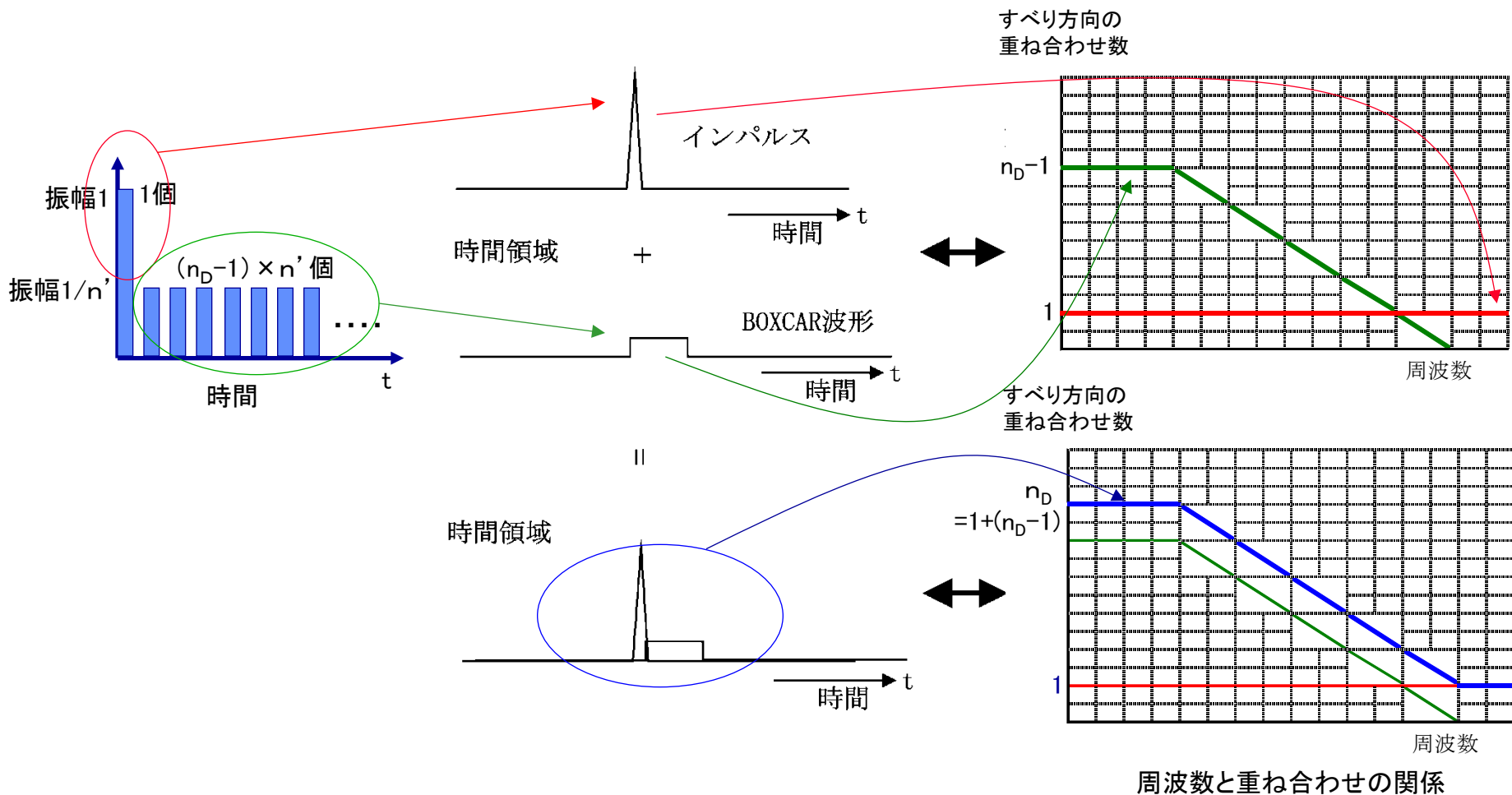
短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(2/5)

- 通常の波形合成では、 n_D 個のすべりの足し合わせにおいて、振幅1の一つのインパルス波形と振幅 $1/n'$ の $(n_D-1) \times n'$ 個のインパルス波形が足し合わされたBoxcar波形の組み合わせを考慮している。



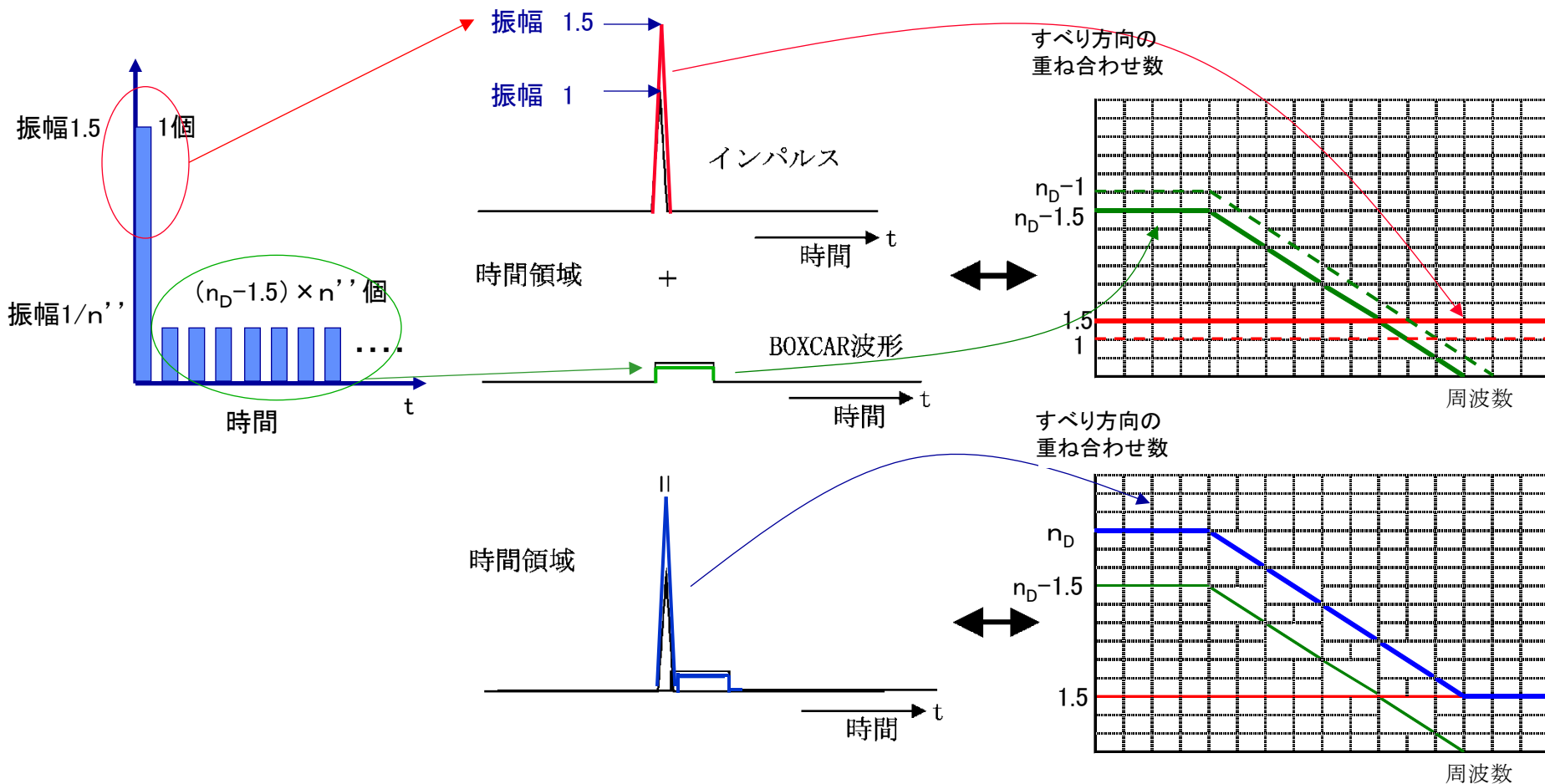
短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(3/5)

- 通常の波形合成において、すべり(n_D)に関するインパルス波形とBoxcar波形の足し合わせは、周波数領域で表すと以下に示すように、低振動数側において $1+(n_D-1)=n_D$ 倍になり、高振動数側においては1倍となる。



短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(4/5)

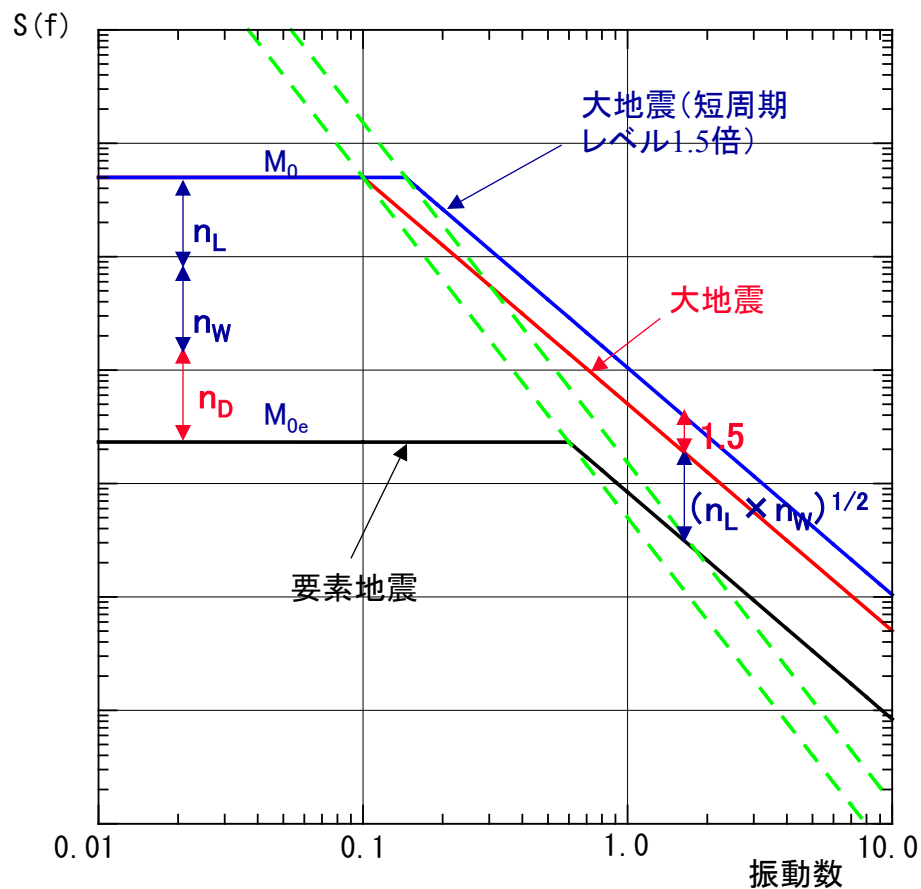
- すべりの重ね合わせ(n_D)について、高振動数側のみ1.5倍とするためにインパルス波形の振幅を1.5倍とし、Boxcar関数については重ね合わせ後の振幅が n_D となるように振幅を調整すると、以下に示すように低振動数側においては $1.5 + (n_D - 1.5) = n_D$ 倍になり、高振動数側においては1.5倍となる。



周波数と重ね合わせの関係

短周期の地震動レベルを1.5倍にする手法(5/5)

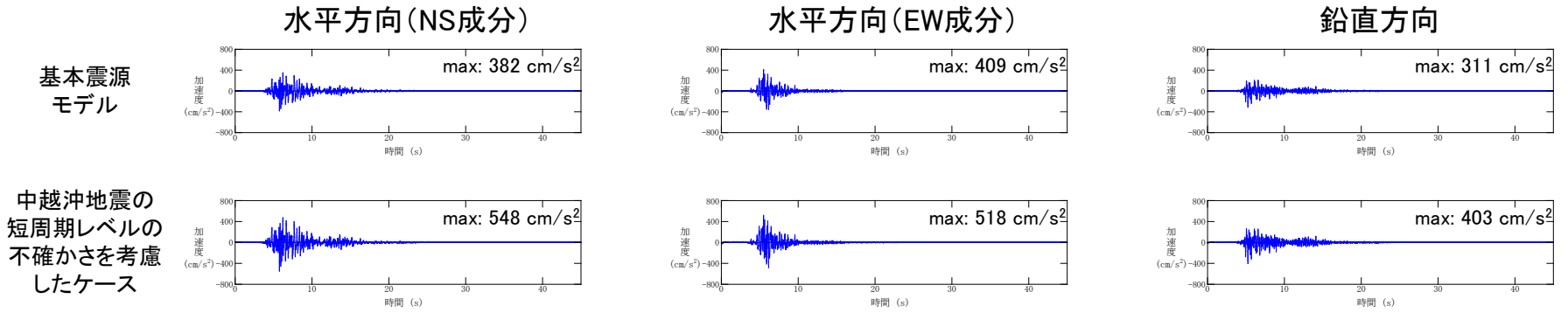
- 低振動数側のすべりの重ね合わせは n_D のままで、高振動数側のすべりの重ね合わせの最初のパルスを1.5とすることで、高振動数側のみ大地震の短周期レベル1.5倍及び応力降下量1.5倍が実現される。(A法)



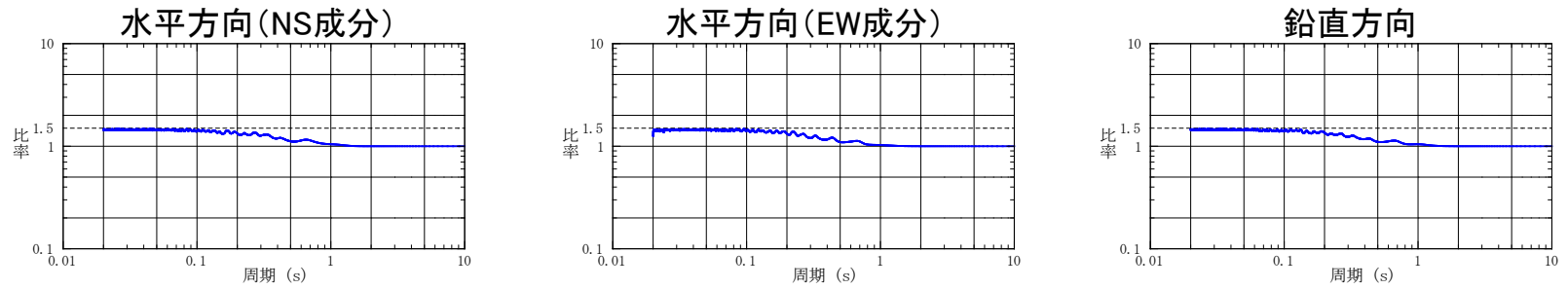
イメージ図

基本震源モデルと中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの比較

- 宍道断層の破壊開始点1のケースを例に，基本震源モデルと中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケースの地震動評価結果を比較する。
- フーリエスペクトルで短周期側で1.5倍，長周期側で1.0倍となっている。



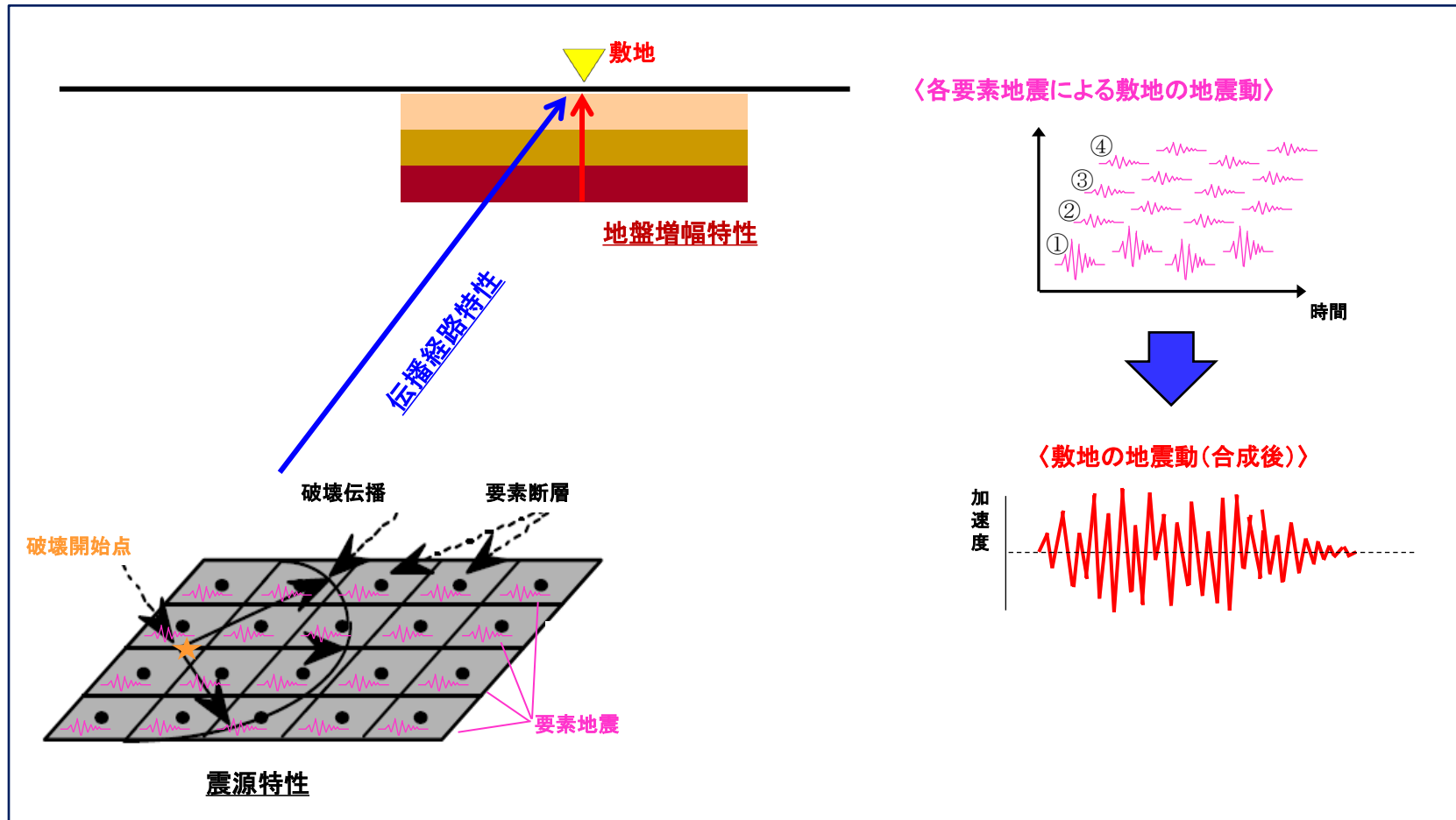
加速度時刻歴波形(破壊開始点1)



フーリエスペクトル比

(破壊開始点1, 中越沖地震の短周期レベルの不確かさを考慮したケース/基本震源モデル)

【参考】断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図



断層モデルを用いた手法による地震動評価の概念図