

港湾設計業務シリーズ

# L1地震動補正

(常時微動観測に基づく評価)

Ver 1.X.X

## 商 品 概 説 書



# 目次

1. 概要.....	1
1-1. システムの特長.....	1
システムの制限事項.....	1
2. 機能説明.....	2
2-1. フーリエ変換.....	2
フーリエ変換.....	2
高速フーリエ変換 (FFT).....	3
2-2. 地震動.....	4
レベル1地震動の補正.....	5
2-3. サイト増幅特性の補正.....	7
常時微動観測に基づくサイト増幅特性の評価.....	7
竹VER1補正.....	8
竹VER3補正.....	9
伝達関数による補正.....	10
3. 補足資料.....	11
3-1. 参考文献.....	11



## 1. 概要

### 1-1. システムの特長

本システムは、常時微動観測に基づいて評価したサイト増幅特性を用いてレベル1地震動の補正を支援するために開発されたシステムです。

計算としては伝達関数によるサイト増幅特性の補正、H/Vスペクトルによるサイト増幅特性の竹Ver1補正・竹Ver3補正、レベル1地震動の補正が可能です。

本システムには以下の特長があります。

- ・ 平成30年港湾基準に準拠しております。
- ・ 工学的基盤でのサイト増幅特性を、伝達関数を用いて、地表面のサイト増幅特性への補正が可能です。
- ・ 弊社港湾設計業務シリーズである『照査用震度算出』から算出される伝達関数データをインポートします。
- ・ 参照地点のサイト増幅特性を、参照地点・対象地点のH/Vスペクトルを用いて、対象地点のサイト増幅特性へ、竹Ver1補正または竹Ver3補正が可能です。
- ・ 竹補正したサイト増幅特性を、伝達関数を用いて、工学的基盤のサイト増幅特性への補正が可能です。
- ・ 参照地点のレベル1地震動を、参照地点・対象地点のサイト増幅特性を用いて、対象地点のレベル1地震動への補正が可能です。

### システムの制限事項

地震波形加速度時刻歴

- ・ ファイル内データ数 最大16384個

サイト増幅特性

- ・ ファイル内データ数 8192個（固定）

伝達関数

- ・ 弊社別製品「照査用震度算出」よりインポート

その他

- ・ 本システムでのレベル1地震動の補正は、使用するサイト増幅特性を常時微動観測に基づく評価（竹補正）を前提としているため、位相特性はもとのレベル1地震動の位相特性をそのまま用いています。

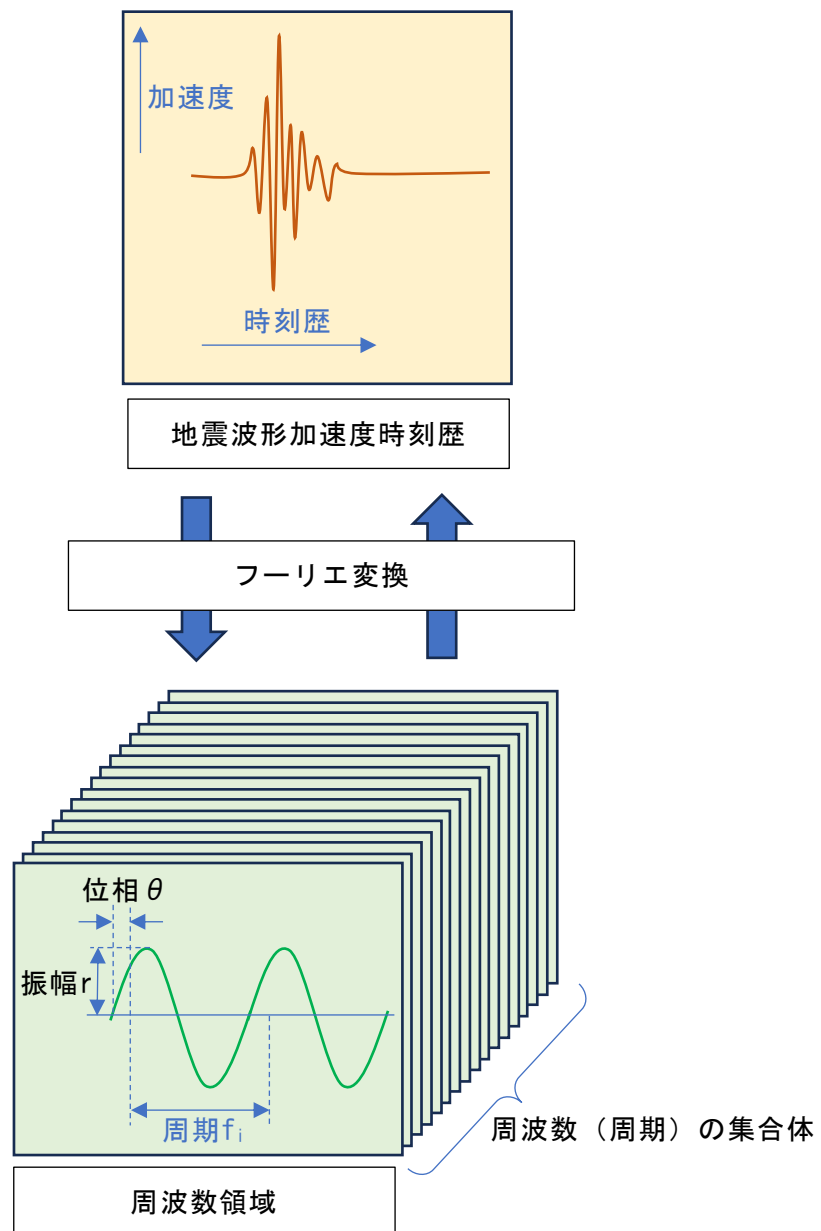
## 2. 機能説明

### 2-1. フーリエ変換

#### フーリエ変換

一般的に、ある関数を別の同種の関数に写す変換を指します。

本システムでは、地震波形加速度時刻歴を、各周波数での振幅と位相に変換したり  
また、各周波数での振幅と位相を、地震波形加速度時刻歴に変換するのに使用します。



## 高速フーリエ変換 (FFT)

地震波形は連続した形状ですが、デジタルデータになると0.01秒ピッチで記録されたデータになります。このようなデータ形式を離散化といいます。

このようなデジタルデータを周波数領域に変換するフーリエ変換の手法を離散フーリエ変換といい、離散フーリエ変換をプログラムで扱うアルゴリズムを高速フーリエ変換 (FFT) といいます。

このアルゴリズムを使用する際には遵守すべきルールがあります。

このアルゴリズムを用いる場合、使用する地震波形加速度時刻歴のデータ数は $2^n$ 個です。一般的に地震波形のデータ数は16384 ( $=2^{14}$ ) 個と考えられます。

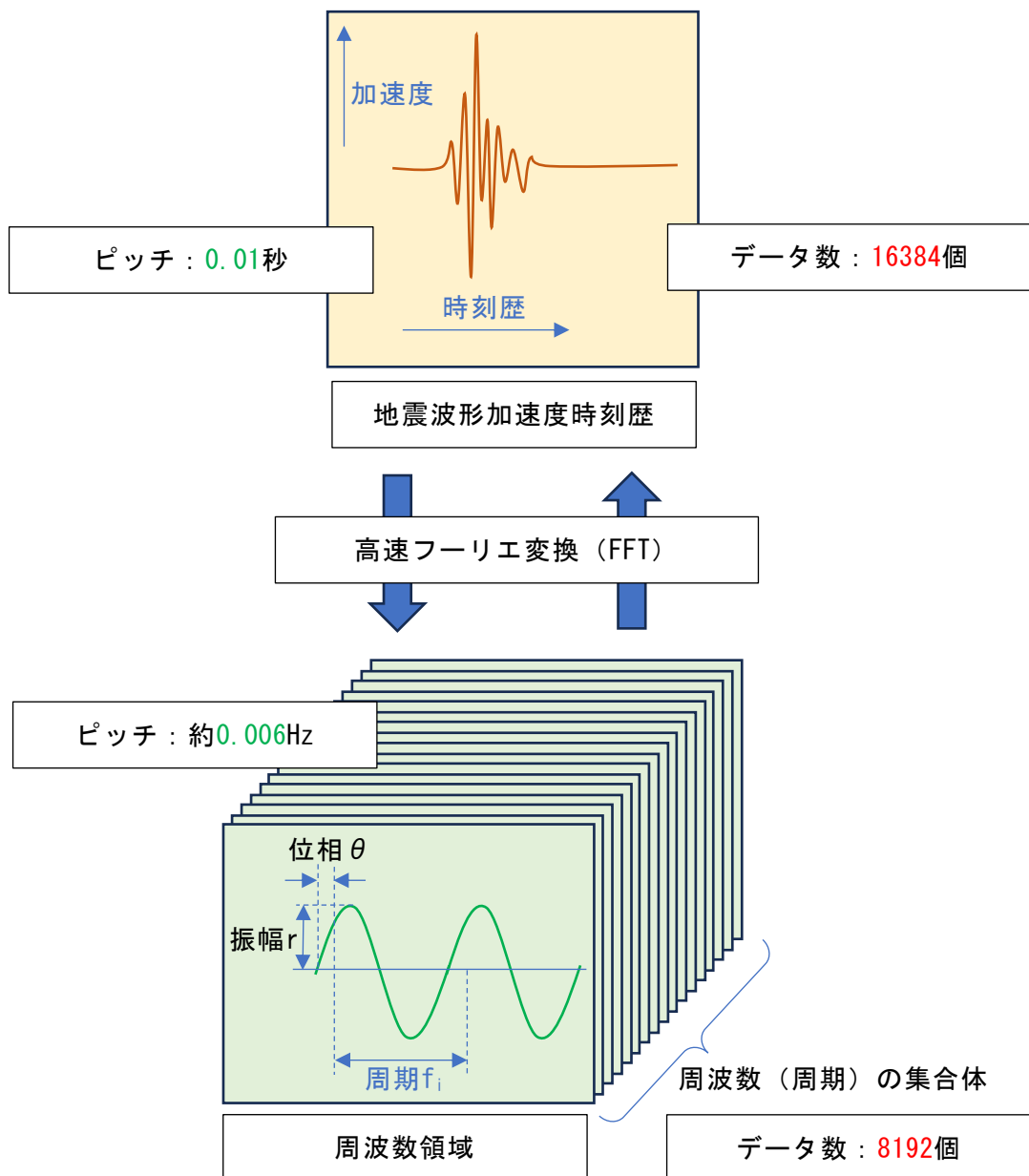
この地震波形を高速フーリエ変換すると、周波数領域のデータ数は8192 ( $=2^{13}$ ) 個とするのが一般的です。

また、地震波形の時間ピッチは0.01秒であれば

周波数領域での周波数ピッチは $1 \div 0.01 \text{秒} \div 16384 \approx 0.006 \text{Hz}$ ピッチ

データ数は8192個ですので、各周期の振幅と位相のデータは

0.006Hz~50.0Hzの範囲で生成されます。

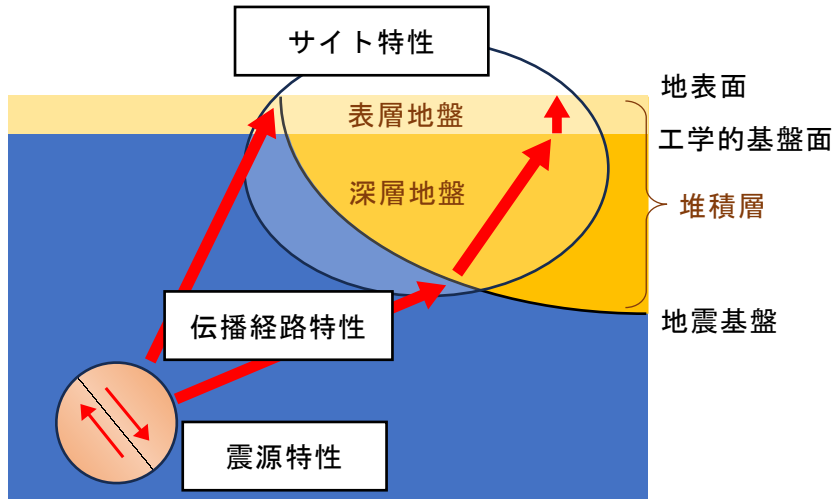


## 2-2. 地震動

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P365

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P331

地震動に影響を及ぼす要因として、重要なのは、資源断層の破壊過程の影響（震源特性）と資源から地震基盤に至る伝播経路の影響（伝播経路特性）、それに地震基盤上に存在する堆積層の影響（サイト特性）の三者になります。



ここに

地震基盤： 一般に花崗岩でS波速度が3km/s以上の地層

深層基盤： S波速度が0.3km/s以上の地層

一般に地震動の加速度フーリエ振幅スペクトルは震源特性、伝播経路特性、サイト特性の積で与えられます。

$$O(f) = S(f)P(f)G(f)$$

ここに

$O(f)$ : 加速度フーリエ振幅スペクトル

$S(f)$ : 震源特性

$P(f)$ : 伝播経路特性

$G(f)$ : サイト特性 (サイト増幅特性)

$f$ : 周波数 (Hz)

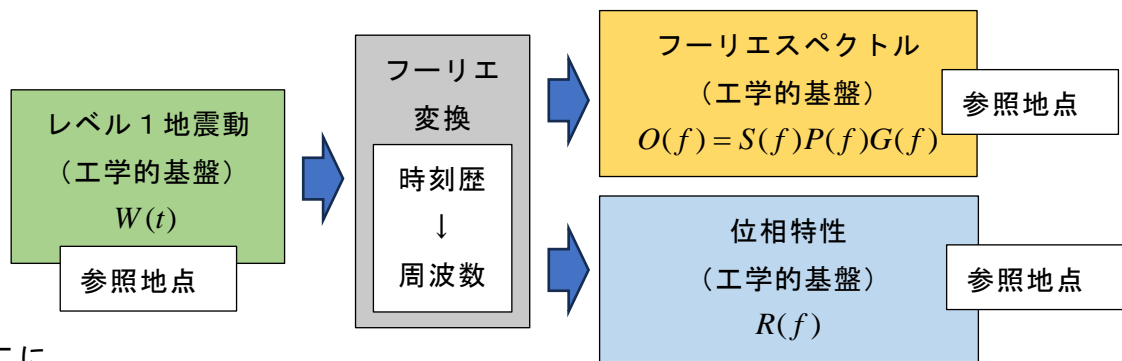


## レベル1地震動の補正

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P384

本システムでは、レベル1地震動の補正は以下の手順で行います。

1. 参照地点でのレベル1地震動（加速度時刻歴）をフーリエ変換により、加速度フーリエスペクトル（振幅特性）と位相特性に分離する。



ここに

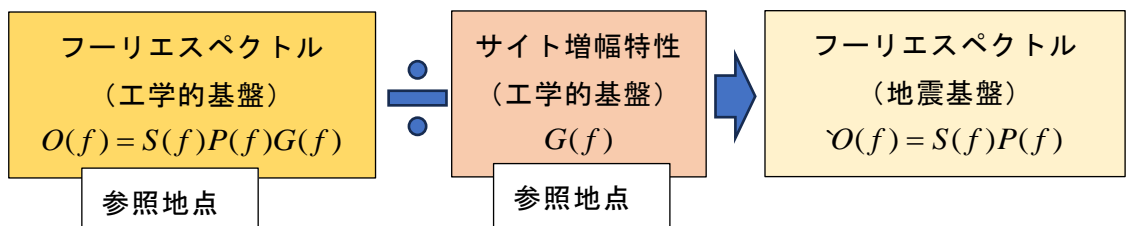
$W(t)$ : レベル1地震動加速度時刻歴

$R(f)$ : 位相特性

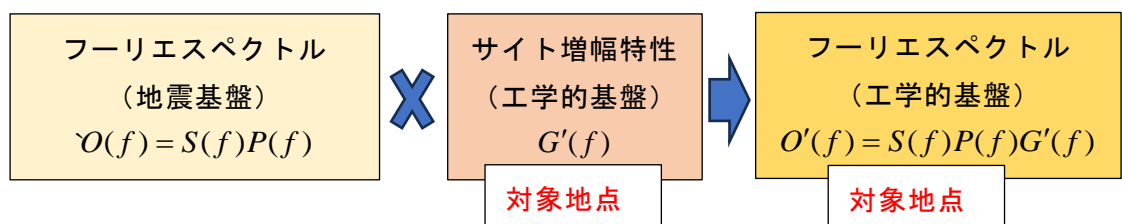
$t$ : 時刻歴 (秒)

$f$ : 周波数 (Hz)

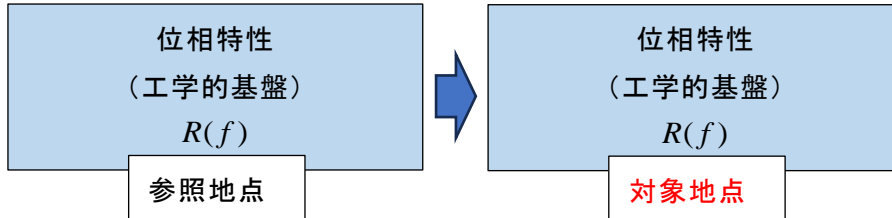
2. 1で算定した加速度フーリエスペクトル（工学的基盤）をL1地震動と同じ参照地点でのサイト増幅特性（工学的基盤）で除する。これにより算出された加速度フーリエスペクトルは（地震基盤）となる。



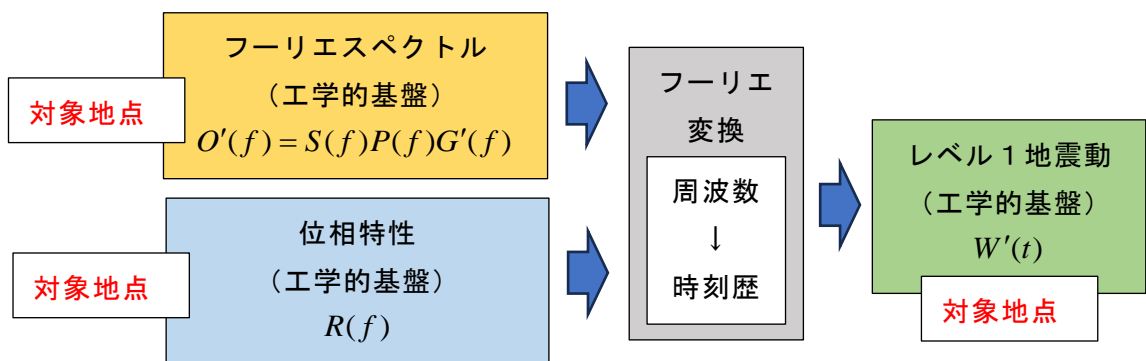
3. 2で算定した加速度フーリエスペクトル（地震基盤）に新たに評価した対象地点のサイト増幅特性（工学的基盤）を乗じる。これにより算出された加速度フーリエスペクトルは対象施設設置地点の加速度フーリエスペクトル（工学的基盤）となる。



4. 「対象地点のサイト増幅特性を常時微動観測結果に基づいて評価したときは、もとのレベル1地震動の位相特性をそのまま用いても良い」との一文から、本システムでは、竹補正によるサイト増幅特性を前提とし、1で算出した位相特性（工学的基盤）を対象地点の位相特性として用いています。



5. 3、4で算出した加速度フーリエスペクトルと位相特性を組み合わせ、フーリエ変換を行い、対象地点のレベル1地震動を求める。

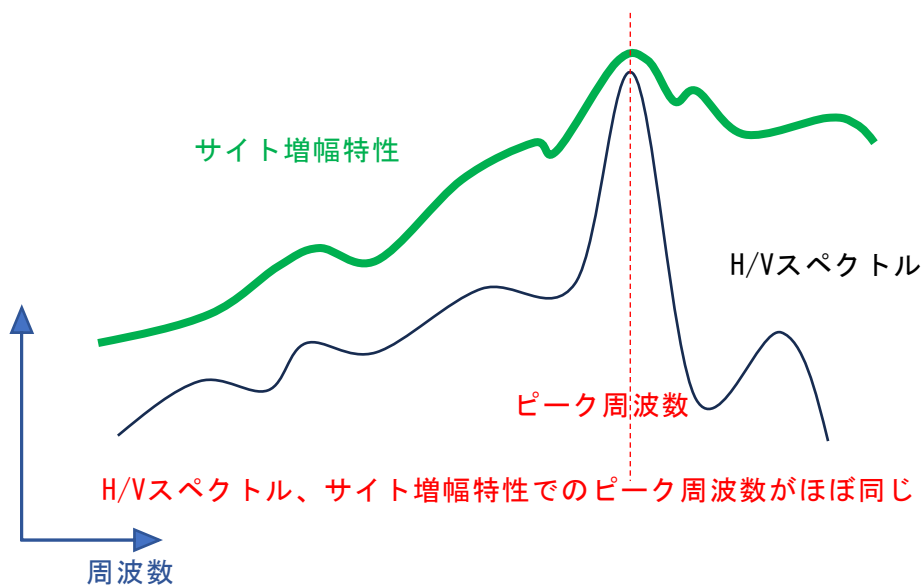


## 2-3. サイト増幅特性の補正

### 常時微動観測に基づくサイト増幅特性の評価

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P375, 399

常時微動観測の結果得られるH/Vスペクトルは、ピークがある場合、サイト増幅特性にもほぼ同じ周波数にピークを有している事が知られています。



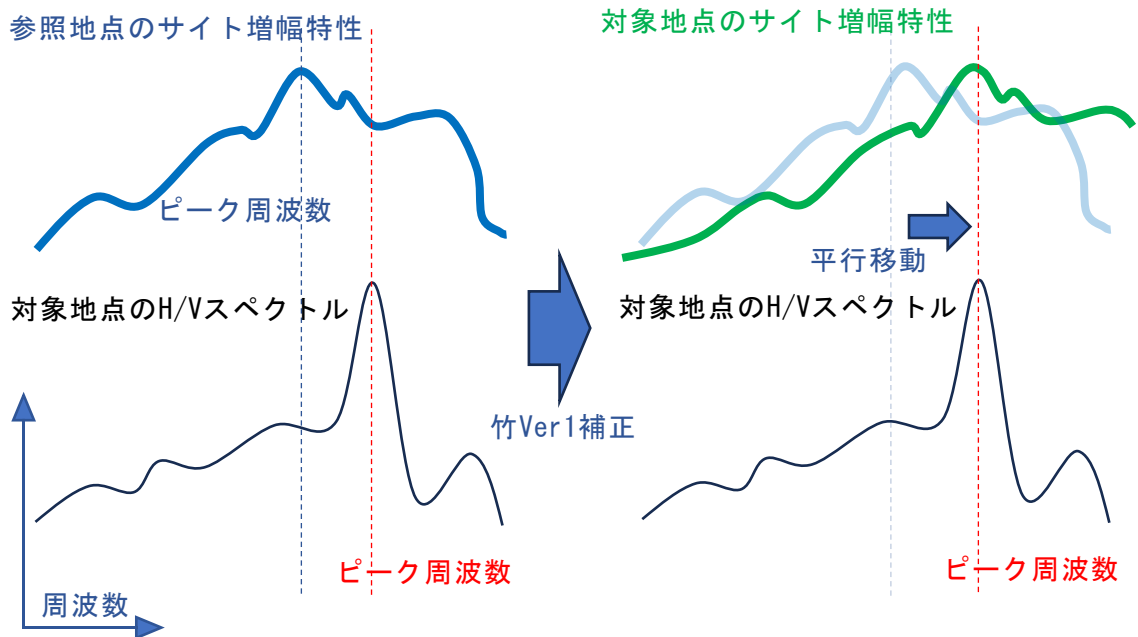
この特性を用いた補正が、「竹補正」として分類されている。  
基本的に、常時微動観測は地表面で行うため、比較対象及び補正対象となるサイト増幅特性も地震基盤～地表面となる。

## 竹Ver1補正

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1784

参照：「港湾におけるレベル1地震動の補正手法に関する包括的整理」国総研資料No. 1065 P11

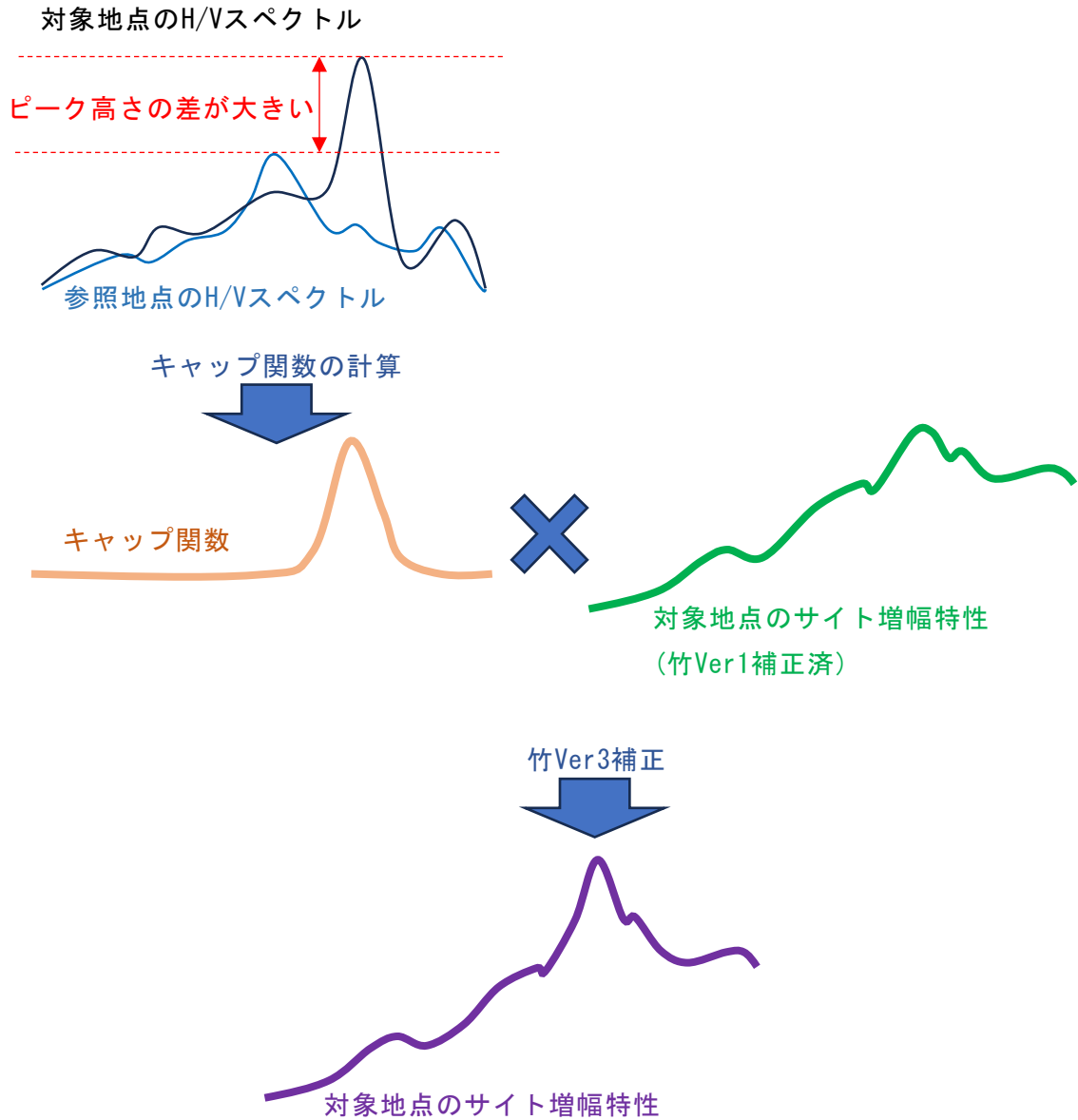
参照地点と対象地点でのH/Vスペクトルのピーク高さに大きな差が見られない場合、参照地点のサイト増幅特性のピーク周波数を対象地点の常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数に合わせるように、参照地点のサイト増幅特性を両対数軸上で横軸方向に平行移動する手法です。



## 竹Ver3補正

参照：「日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1784、1785

参照地点と対象地点のH/Vスペクトルのピーク高さに非常に大きな差がみられる場合、対象地点のH/Vスペクトルのピーク高さに応じてサイト増幅特性を制限する手法です。

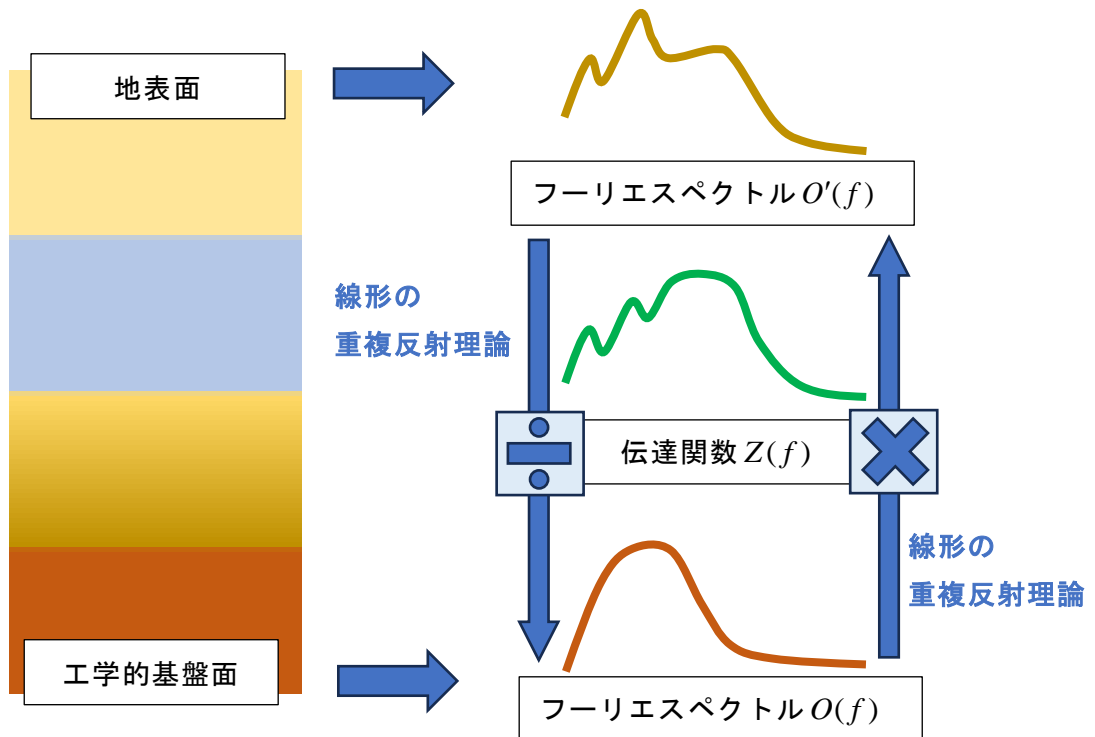


## 伝達関数による補正

参照：「鹿島出版会、新・地震動のスペクトル解析入門」 P162, 189～193, 258～263

一般的に、地表面と工学的基盤面で地震動の同時記録が得られている場合、地表面の地震波形時刻歴のフーリエ変換（フーリエスペクトル）を工学的基盤面の地震波形のフーリエ変換（フーリエスペクトル）で割ったものが、工学的基盤～地表面間の地盤特性を反映した伝達関数となります。

尚、地表面～工学的基盤間の引き上げ／引き戻しについては線形の重複反射理論を用います。



ここで

$O(f) = S(f)P(f)G(f)$  より

$G(f)$ : 工学的基盤面のサイト増幅特性  
 $G'(f)$ : 地表面のサイト増幅特性  
 と仮定した場合

工学的基盤面のフーリエスペクトルは  $O(f) = S(f)P(f)G(f)$   
 地表面のフーリエスペクトルは  $O'(f) = S(f)P(f)G'(f)$

$O'(f) = O(f)Z(f)$  より

$S(f)P(f)G'(f) = S(f)P(f)G(f)Z(f)$

$\therefore G'(f) = G(f)Z(f)$

常時微動観測によるサイト増幅特性の評価（竹補正）では、地表面のサイト増幅特性を用いる。しかし、該当のサイト増幅特性が工学的基盤しかない場合、地盤の伝達関数を用いて、地表面のサイト増幅特性に補正を行います。

### 3. 補足資料

#### 3-1. 参考文献

準拠基準及び参考文献は以下の通りです。

- |                    |          |        |
|--------------------|----------|--------|
| ・ 新・地震動のスペクトル解析入門  | 平成30年 5月 | 鹿島出版会  |
| ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 | 平成 6年 5月 | 日本港湾協会 |