

# Horizontal Site Amplification Factors and Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of S-wave Part and Whole Duration: Needs of Different Correction Function

\*Hiroshi KAWASE<sup>1</sup>, Eri Ito<sup>1</sup>, Kenichi Nakano<sup>2</sup>

1. Disaster Prevention Research Institute, 2. HAZAMA ANDO CORPORATION

観測地震動の水平サイト增幅特性(HSAF)をサイト固有の値として求めることは強震動予測のためには必要不可欠である。本研究では、まず一般化スペクトル・インバージョン法(GIT, 仲野・他, 2019)を用いて、K-NET, KiK-net, 気象庁, およびCEORKAの観測データを対象に、露頭地震基盤相当の基準サイトの地震動に対する各地点のHSAFを求めた。さらにHSAFだけでなく、観測上下動を用いて同じ基準サイト地震動に対する上下動増幅特性VSAFも求めた。その分離したHSAF・VSAFに基づいて、水平／上下スペクトル比(EHVR)を求め、Ito et al. (2021)の方法を拡張する形で、HSAFを直接推定する上下動補正関数(VACF)を提案した。

まず、主要なS波部分（マグニチュードに応じて5～15秒間）についてのみ切り出し、そのHSAFとVSAFを抽出した。それをsHSAF・sVSAFと表す。観測地震動のS波部スペクトルをFs\_ij（水平動）・Gs\_ij（上下動）とし、その震源スペクトルをSs\_i、伝播経路特性をPs\_ijとすると、後者の2つは共通なので

$$sHSAF = \langle Fs_{ij} / (Ss_i * Ps_{ij}) \rangle \quad (1)$$

$$sVSAF = \langle Gs_{ij} / (Ss_i * Ps_{ij}) \rangle \quad (2)$$

と表すことができる。ここで $\langle \rangle$ は平均操作を表す。またこのS波部の水平／上下スペクトル比sEHVRは

$$sEHVR = \langle Fs_{ij} / Gs_{ij} \rangle \quad (3)$$

と得られるので結局

$$sHSAF = sEHVR * sVSAF \quad (4)$$

となる。このsVSAFの平均値が補正関数sVACFである。ここまで既にIto et al. (2021)に示された通りである。

次に、全く同様にS波到達以降の全継続時間（以下「S波部」に対応させて「全波」と呼びwを前に付ける）のHSAFとVSAF（wHSAFとwVSAF）を求める。その際、重要なことは震源特性と伝播経路特性はそのままS波部のものを参照することである。すなわち観測地震動の全波スペクトルをFw\_ij（水平動）・Gw\_ij（上下動）とすると

$$wHSAF = \langle Fw_{ij} / (Ss_i * Ps_{ij}) \rangle \quad (5)$$

$$wVSAF = \langle Gw_{ij} / (Ss_i * Ps_{ij}) \rangle \quad (6)$$

が得られ、全波の水平／上下スペクトル比wEHVRは

$$wEHVR = \langle Fw_{ij} / Gw_{ij} \rangle \quad (7)$$

と得られる。S波部と同様に

$$wHSAF = wEHVR * wVSAF \quad (8)$$

となるのでwVSAFの平均値が全波用の補正関数wVACFに相当する。ここでS波部に対して分離解析をしたのと同様に全波に対して独立した分離解析をしないでS波部から求めた震源スペクトルと伝播経路特性を使う理由は、概念として、基盤が露頭している盆地端部まではS波として伝播し、そこで盆地生成表面波に変換された波動の寄与がS波部サイト特性に追加的增幅として付加されると考えたからに他ならない。伝播経路間のS波の散乱によって基盤入射波の後続動を形成したS-Coda波は、理論的にS波あるいはP波の增幅特性で增幅し、sHSAF・sVSAFに一致するので全波サイト特性との差の原因とはなり得ない。

以上の2つの時間区間の分離サイト特性を比較したところ、wHSAFとwVSAFは、2Hz以下の低周波数領域において、盆地生成表面波の寄与により、sHSAF・sVSAFに比べてはるかに大きい（3倍から10倍の）付加的增幅を示すことがわかった。全波サイト特性とS波部サイト特性の比WSRを水平成分・上下成分について

$$WSRh = wHSAF / sHSAF \quad (9)$$

$$\text{WSRv} = \text{wVSAF} / \text{sVSAF} \quad (10)$$

のように求めると、水平動から求めたWSRhも上下動から求めたWSRvも非常によく一致しており、ほぼ 1 : 1 の関係にあることがわかった。全2593地点の平均値を求めるとき、0.3Hzで最大値2.5倍を取り、1Hzで2倍、3Hzで1.5倍となる滑らかな関数が得られた。標準偏差は約倍／半分である。このことは、WSRが盆地生成表面波の寄与を含んだ全波サイト特性をS波やP波の增幅特性によって規準化したものであることを考えると驚くべきことである。

上記のことから、EHVRの全波とS波部の比、すなわちWSRhvを求めればほぼ1になることが期待される。求めてみると0.3Hzで1.0、1Hzで0.8、3Hzで0.7となり、広い周波数範囲で1.5倍／0.7倍の範囲に収まった。これは過去EHVRを求める際に、地震動の継続時間に対して注意を払って来ずとも安定して求められてきたことと符合する。しかし、このことは同時に式(8)で得られるwVSAFの平均値を用いないと正しいwHSAFが得られないことを意味する。そこで本研究では全波の水平動サイト特性を全波の水平上下比から簡便に求めるための新しいVACF、すなわちwVACFを提案した。それはすなわち

$$\text{wVACF} = \text{sVACF} * \text{WSRv} \quad (11)$$

で求められる。直接的に式(8)に示されたwVSAFの平均値から求めるよりも式(11)から求めた方が安定性が高かった。その妥当性を検証した事例をFig.1に示した。

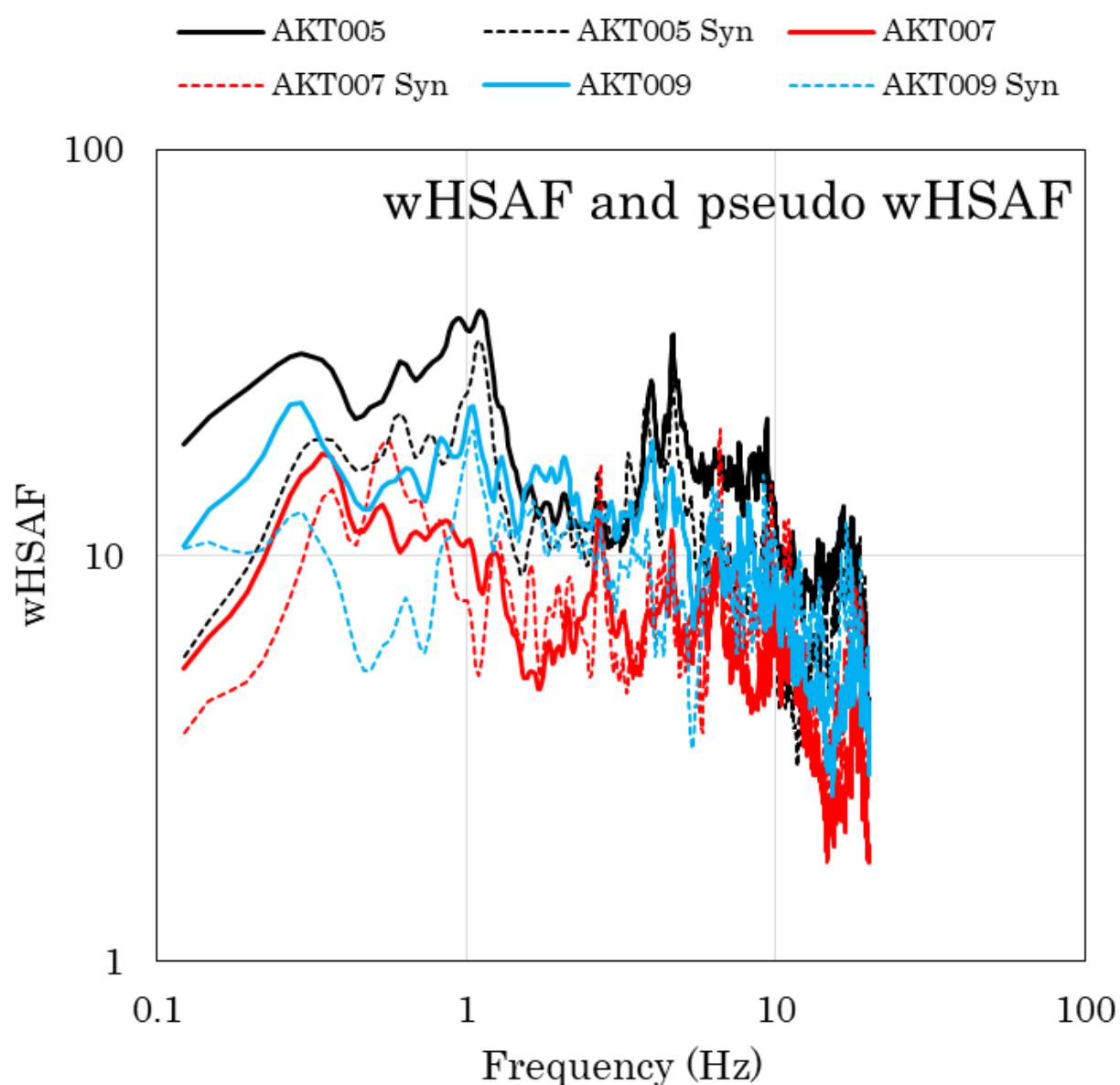


Fig.1 Examples of the comparison between observed wHSAF (solid) and synthetic pseudo-wHSAF= $wEHVR*sVACF*WSRv$  (dotted).