

KiK-net 観測記録のスペクトル分離解析で得られた地中記録のサイト特性  
S-wave Site Amplification Factors of KiK-net Borehole Stations Obtained by Generalized Spectral  
Inversion)

○川瀬博・仲野健一・伊藤恵理・長嶋史明

○Hiroshi KAWASE・Kenichi NAKANO・Eri ITO・Fumiaki Nagashima

We report the results of the spectral inversion analysis of strong motions, which we have been conducting for several years, focusing on the underground observation records of KiK-net. We calculated the spectral ratios for both surface and borehole observation records with respect to the same reference point on the seismological bedrock. The results show that amplification is observed even in the low frequency range below the fundamental peak frequency, that interference between incident and reflected waves is clearly observed as troughs in the ratios, and that both ground amplification below the borehole sensor and interference between incident and reflected waves contribute to the surface-to-borehole spectral ratios. We confirmed the level of the interference empirically, although it is theoretically obvious.

## 1. はじめに

我々は K-NET・KiK-net (防災科学技術研究所) および JMA 震度計ネットワーク (気象庁) の強震観測ネットワークの観測記録に対して一般化スペクトル分離解析 (Generalized spectral Inversion Technique, GIT) を用いて、震源特性・伝播経路特性・サイト特性について検討してきた。その結果震源特性・伝播経路特性・サイト特性のそれぞれに対して信頼に足る成果が得られている。これらの分離解析では、主として S 波の到来から震源マグニチュードに応じた 5 秒~15 秒間という短時間の S 波の到来部を対象にして、基準として岩盤露頭観測点 YMGH01 の 100m 以下の風化層の影響をばき取って地震基盤相当の露頭波に換算して用いている。これにより、得られた S 波サイト特性 SAF は増幅のない地震基盤からの絶対的なサイト増幅特性と解釈される。

これまでの分離解析では我々は地中記録もある KiK-net でも地表観測値しか使用してきていない。これは地表と地中の記録を同時に使えば冗長な情報となり、KiK-net 地点だけ重みが 2 倍となることを避けるためである。ここでは KiK-net の地中観測記録とその地表記録との相対的關係に着目してスペクトル分離解析を実施する。従来から地中と地表間のスペクトル比による検討は数多くなされているが、地中記録も露頭地震基盤に対するスペクトル分離解析を求めた事例はほとんどない。

ここでは地中観測記録の分離 SAF に着目して結果を報告する。

## 2. 分離で得られた SAF の例

図1にはスペクトル分離解析で得られた地表と地中の水平動サイト特性 HSAF の例を示す。対象サイトは AKTH19 (湯沢) で、地中センサーの埋設深さは 180 m である。KiK-net の web site にあげられているこの地点でのボーリング調査結果から、最表層に厚さ 2m の表土があり、その S 波速度  $V_s$  は 110m/s、その下には 10m の厚さの  $V_s = 200$ m/s の層があり、その直下で  $V_s$  が 500m/s に急増し、以下漸増する構造となっているが、表土以下の土質については礫・砂・粘土とあるだけで詳細な情報は報告されていない。この構造から計算される 30m の時間平均 S 波速度  $V_{s30}$  は 288m/s である。また深さ 180m までの時間平均  $V_s$  は 570m/s で、これから 1/4 波長則で推定される地表—地中間の 1 次共振振動数は 0.8Hz となる。図 1 には地表観測点の HSAF (HSAF<sub>S</sub>) を赤で、地中観測点の HSAF (HSAF<sub>B</sub>) を青で示し、両者の比である SBSR を緑点線で示している。赤下向き矢印で示した 0.4 Hz のピークは HSAF<sub>S</sub> と HSAF<sub>B</sub> に共通に見られ、地中観測点以深の深い盆地構造の影響によって生じたサイト増幅と考えられる。緑下向き矢印で示した 1.2 Hz のピークは HSAF<sub>S</sub> で言えば 2 次ピークに相当するが、これは青い上向き矢印で

示したHSAF<sub>B</sub>の最初の谷に相当し、それはまたSBSRの1次ピークに相当している。このSBSRの1次ピークの振幅は専らHSAF<sub>B</sub>の谷の振幅の逆数として生じており、HSAF<sub>s</sub>に見られる増幅は大きなものではない。HSAF<sub>s</sub>の3次ピークは1.8Hz付近にあって、HSAF<sub>B</sub>でもピークとなっていることから、1次ピーク同様より深い構造によって生じているものと推察される。HSAF<sub>s</sub>の4次と5次のピークはSBSRの2次・3次のピーク振動数と一致しており、またHSAF<sub>B</sub>の2次・3次の谷の振動数とも一致しており、その増幅には入射・反射の干渉と地表—地中間の地盤増幅の両方の影響が貢献しているものと推察されるが、HSAF<sub>B</sub>の山・谷の振幅が約2倍であることから地表—地中間の地盤増幅の貢献の方が相対的には大きいことが推察される。同様にHSAF<sub>s</sub>の6次のピークにおいてはHSAF<sub>B</sub>の谷の振動数に対応しておらず、純粋に地表—地中間の地盤増幅で生じたものであることがわかる。2mの表土だけの1/4波長則から推定される振動数が14Hzなので、6次のピークはこの表土の増幅で生じているものであろう。HSAG<sub>B</sub>に見られる入射波—反射波干渉の谷の振動数は、ほぼ1:3:5の振動数比で生じており、谷が地表—地中間の層全体のせん断変形に伴う干渉結果であることを示唆している。

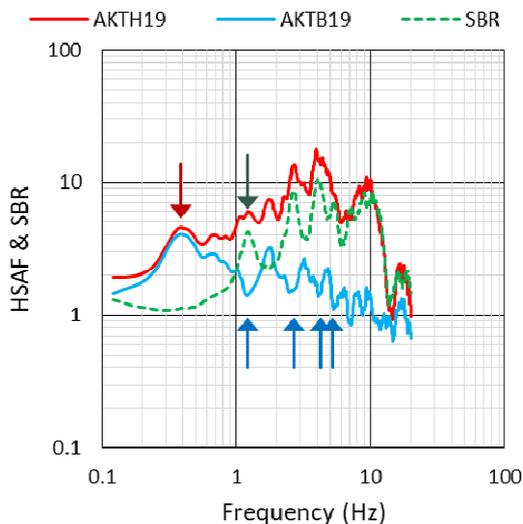


図1 AKTH19における地表（赤）と地中（青）のサイト特性、およびその比(SBR)

図2には同じようにTKCH05地点（本別）で得られた結果を示す。この構造から計算される30mの時間平均S波速度Vs<sub>30</sub>は337m/sである。また深さ100mまでの時間平均Vsは540m/sで、

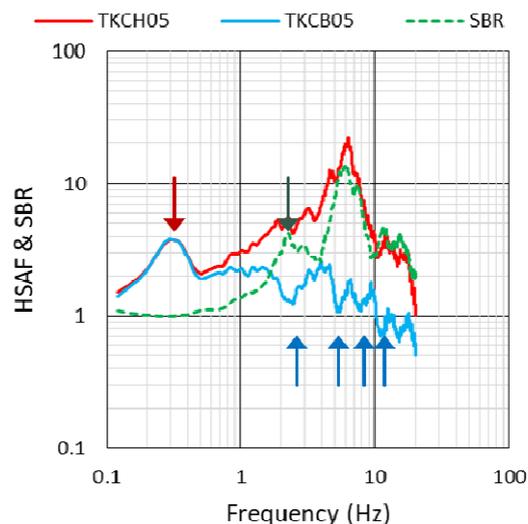


図2 TKCH05における地表（赤）と地中（青）のサイト特性、およびその比(SBR)

推定される地表—地中間の1次共振振動数は1.35Hzとなる。しかし実際のSBSRのピーク（緑下向き矢印）はこれよりも50%ほど高い。赤下向き矢印で示した0.3HzのピークはHSAF<sub>s</sub>とHSAF<sub>B</sub>に共通に見られ、AKTH19と同様に地中観測点以深の深い盆地構造の影響によって生じたサイト増幅と考えられる。緑下向き矢印で示した2.2HzのピークはHSAF<sub>s</sub>で言えば2次ピークに相当するが、これは青い上向き矢印で示したHSAF<sub>B</sub>の最初の谷に相当し、それはまたSBSRの1次ピークに相当している。このSBSRの1次ピークの振幅は主にHSAF<sub>B</sub>の谷の振幅の逆数として生じており、HSAF<sub>s</sub>に見られる振幅に地表—地中間の地盤の増幅はあまり寄与していない。

### 3. まとめ

以上のスペクトル分離で得られた地表と地中のサイト増幅特性の分析結果から、1) 地中のサイト増幅特性の低振動数側では相当量の増幅が見られ、よってこれを地震基盤相当の記録とは見なし得ないこと、2) 地中のサイト増幅特性には地表面からの反射波によると推察されるスペクトルの谷が明瞭に見られ、露頭波相当の記録とは見なし得ないこと、3) 地表—地中スペクトル比のピークには地中レベルにおける入射波と反射波の相殺（干渉）効果が主な原因と考えられるピークが含まれていること、などがわかった。いずれの観測結果も理論的には当然のことであるが、経験的にデータに即してその生成レベルを確認したという点に本検討の意義があると考えている。