

強震観測記録からサイト特性を剥ぎ取った地震基盤波形最大値のばらつき評価 Variability on Peak Values of Seismological Bedrock Motions Deconvolved from Observed Strong Motion Records

○川瀬博・伊藤恵理・仲野健一

○Hiroshi KAWASE, Eri ITO, and Kenichi NAKANO

In order to understand the variation characteristics of strong ground motions, we need to quantify not only the average characteristics of source, path, and site but also their variability (probabilistic density function). To this end we investigated here the peak ground acceleration (PGA), velocity (PGV), and displacement (PGD) for observed surface ground motions as well as the seismological bedrock outcrop motions extracted the site amplification factors from the observed ground motions. When we calculate outcrop bedrock motions, we use both horizontal component and vertical component since we have obtained site amplification factors for both components with the same reference in the horizontal component. After the extraction of site amplification, we see very similar PGAs, PGVs, and PGDs for horizontal and vertical components with much smaller variations than those on the surface. Distance dependence is almost linear. For those analyzed earthquakes the coefficients of variation in PGA, PGV, and PGD are around 1.5 times (or 1/1.5) of the average.

1. はじめに

高精度な地震動予測のためには震源・伝播経路・サイト特性の積（時間軸では合積）で表現される地震動予測モデルの各モデル・パラメータを設定する際、地震観測記録の最大値指標の変動幅（具体的には対数での変動係数）の定量的評価を行って、それが各モデル・パラメータにおいてどのように分布しているのかを明らかにする必要がある。言い換えると、平均値だけでなくそのばらつきもモデル化する必要がある。その検討の一環として今回、2016年熊本地震を含む日本のM6以上の内陸地殻内地震をいくつか選び、そのK-NETおよびKiK-netによる観測記録の地表最大加速度・最大速度・最大変位(PGA, PGV, PGD)の変動幅と、観測フーリエ・スペクトルから平均サイト増幅特性を取り除いて逆フーリエ変換し、波形に戻した地震基盤相当の剥ぎ取り波のPGA・PGV・PGDの変動幅を求め、比較したので報告する。

2. 方法

本報告では仲野・他(2018)で得られている弱震動のスペクトルインバージョンで求めた全継続時間のスペクトルに対するサイト増幅特性を用いて地震基盤相当の剥ぎ取り波を求めることを考える。サイト特性の分離解析手法はいわゆる一般化スペクトルインバージョン手法(GIT)と呼ばれている。

これは最初にAndrews(1982)によって提案され、日本では岩田・入倉(1986)によって広く認知された。その後1995年兵庫県南部地震以降の地震観測網の充実に伴う地震観測記録の増加によって分離解析事例は国内外問わず増加している。最近仲野・他(2018)は1988年から2016年までの28年間に公的機関等で収集された地震動記録に対してGITを適用し地震動特性を評価している。ここではその全継続時間波のサイト特性を利用する。仲野・他(2018)の特徴は基準となる地点として硬質岩盤の地点YMGH01を選び、その理論サイト特性を地表/地中観測スペクトル比から同定し、それをはぎ取ることで、地震基盤(S波速度3.45km/s)が露頭しているとした場合の基盤波に対する各地表観測点のサイト特性を分離したことである。

GITでは地表面で観測される地震動スペクトルが震源・伝播経路・サイトの主要3特性に分離される。すなわち観測波形のフーリエ・スペクトル振幅を $F(\omega)$ 、震源特性を $S(\omega)$ 、伝播経路特性を $P(\omega)$ 、サイト特性を $G(\omega)$ とおけば、これらの関係は式(1)のように積の形で線形結合される。

$$F(\omega)=S(\omega)\times P(\omega)\times H(\omega) \quad (1)$$

ここで $F(\omega)$ はS波到来以降の水平動成分、 $H(\omega)$ は水平動のサイト増幅特性で、基準観測点の基盤水平動に対する相対的な増幅を表している。さら

に $G(\omega)$ は対応する上下動成分であるとするれば

$$G(\omega) = S(\omega) \times P(\omega) \times V(\omega) \quad (2)$$

が得られる。ここで $V(\omega)$ は同じ基盤水平動に対する上下動の相対的な増幅特性である。剥ぎ取りは水平動に対して

$$B_H(\omega) = S(\omega) \times P(\omega) = F(\omega) / H(\omega) \quad (3)$$

上下動に対して

$$B_V(\omega) = S(\omega) \times P(\omega) = F(\omega) / V(\omega) \quad (4)$$

とすることによりフーリエ振幅スペクトルが得られ、位相は観測波形と同じと仮定すれば逆フーリエ変換により逆合積(剥ぎ取り)波形が得られる。この式から、もしもこの剥ぎ取りがうまくいけば水平動から求めた逆算基盤波も上下動から求めた逆算基盤波もほぼ同じ特性を有しているはずである。なお仲野・他(2018)では、JMA87型・JMA95型・K-NET・KiK-net・CEORKAの地震記録を用いて1988年~2016年12月のデータセットを構築し、気象庁マグニチュード $M_{JMA} \geq 4.5$ 、震源深さ ≤ 60 km、震源距離 ≤ 200 km のデータを選定している。

3. 結果

図1に例として2016年熊本地震本震の益城KMMH16における剥ぎ取り前と後のフーリエ・スペクトル振幅の比較を示す。上がNS成分、下がUD

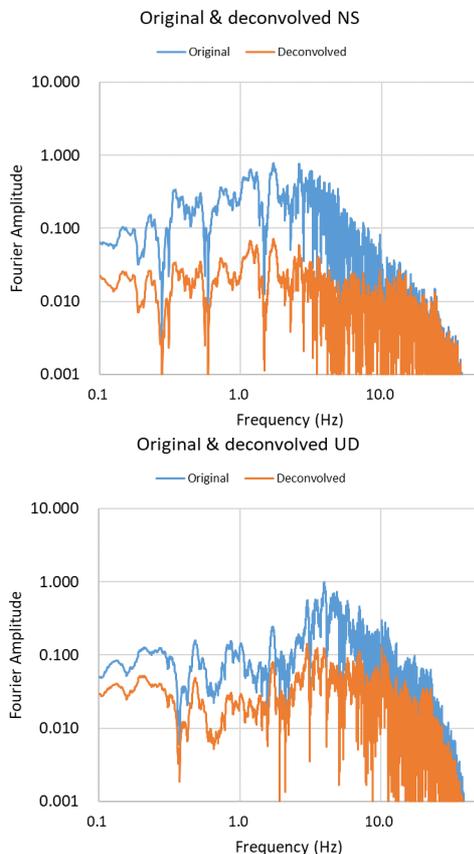


図1 熊本地震でのKMMH16の剥ぎ取り事例

成分である。図から0.1Hzから10Hzまでの広い範囲で最大10倍の増幅があること、剥ぎ取りによってその大きな振幅が減少し、広い周波数範囲でフラットに近い特性となっていること、上下動から求めた水平動基盤波のスペクトル振幅は若干4Hz以上で大きめとなっているが、ほぼ水平動のレベルと対応していることがわかる。

図2には2016年鳥取県中部地震のPGVに対する剥ぎ取り前の観測波の距離減衰特性と剥ぎ取り後の基盤波のそれを比較して示す。青は水平動、赤は上下動である。地表面では水平動と上下動は平均的に2倍以上差があるが、剥ぎ取り後には両者はほぼ一致している。ばらつきも大きく減少し、直線性(回帰の決定係数 R^2)も向上している。

この鳥取県中部地震のPGVに対する剥ぎ取りで得られた全データの回帰直線からの偏差の分布を図3に示す。標準偏差は1.46倍/1.46分の1に収まっており、観測記録の倍/半分のばらつきに比べ有意に減少している。

4. まとめ

観測記録から分離したサイト増幅特性を剥ぎ取って基盤波を推定した。基盤波の最大値は観測値より小さなばらつきとよい直線性を示した。

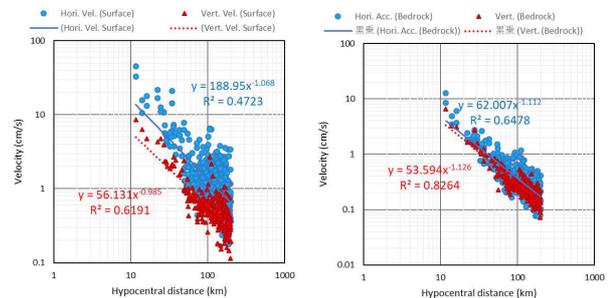


図2 剥ぎ取り前(左)と後(右)の水平動(青)と上下動(赤)の比較の例(鳥取県中部地震, PGV)

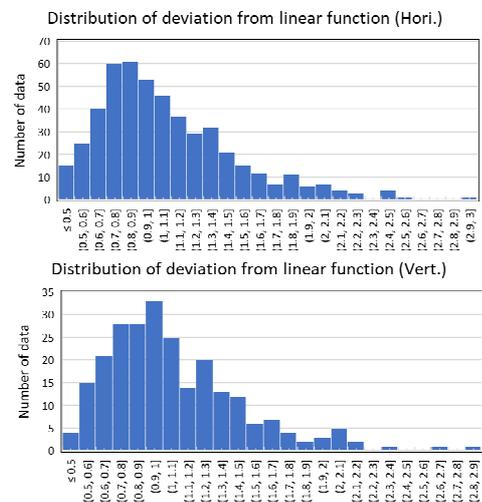


図3 剥ぎ取り後の水平動(上)と上下動(下)の回帰直線からの偏差の例(鳥取県中部地震, PGV)