

Seismological bedrock waves derived from site amplification factors by the generalized spectral inversion

*Eri Ito¹, Kenichi Nakano², Hiroshi Kawase¹

1. DPRI, Kyoto University, 2. HAZAMA ANDO CORPORATION

多数のサイトで観測された多数の地震からの強震動を用いた一般化スペクトル・インバージョン手法(GIT)では、適切な基準観測点を選択すれば極めて安定的に震源・伝播経路・サイトの各特性を観測波形のフーリエスペクトルから直接分離することができる。得られたサイト特性は、基準観測点を地震基盤露頭波相当の水平動スペクトルとすれば、各サイトの水平動からは地震基盤入射波に対するS波増幅特性が得られる。上下動についても、同じ基盤露頭波の水平動を基準にすれば、それに対するP波増幅特性が得られる。このようにGITで求めた水平動と上下動のサイト増幅特性から、直接水平動の露頭波相当のスペクトルを逆算することができる。これはすなわち通常構造同定した上でなければできない入射波成分の逆算が経験的に（モデルを経ることなく）可能となるということを意味する。ただし、位相特性については地表面観測波のそれと同じと仮定するしか方法がない。

本検討では、提案する剥ぎ取り手法のフィジビリティの検討を目的として、最新の仲野・他(JAEE, 2018)で得られたサイト特性を利用し、熊本地震の本震を対象に予備的検討を実施した。彼らのGITでは幾何減衰 n には100km以上で周波数依存性を導入し、また減衰項 b は地域性を考慮して6地域に分割している点が特徴である。また地震タイプをプレート境界地震、スラブ内地震、地殻内地震の3つにわけ、異なる n や b を求めている。

GITでは、対象スペクトルが各特性の対数和となった方程式を解くためには拘束条件が最低1つは必要であるが、仲野・他(2018)ではYMGH01(防府)を基準点とし、同地点の地表で観測された水平動から風化層の理論サイト特性を剥ぎ取り、露頭岩盤相当のスペクトルに補正している。剥ぎ取り後の最下層S波速度は3,450m/sに達しており、分離サイト特性は地震基盤に対する地盤増幅率とみなせる。観測データとしては、1988年～2016年12月に観測されたJMA87型・JMA95型・K-NET・KiK-net・CEORKAの地震記録を収集し、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、最小加速度 $\geq 0.2 \text{ cm/s}^2$ 、最大加速度 $\leq 200 \text{ cm/s}^2$ 、同一地震トリガー地点数 ≥ 3 の条件を満足するものを選定した。

分離されたサイト増幅特性で割り込んで得られた剥ぎ取り基盤波のPGAとPGVについて検討する。図1には九州全域のK-NET・KiK-net観測点、計185点における2016年熊本地震本震の観測波と分離したサイト増幅特性で割り込んで得られた剥ぎ取り基盤波の最大加速度PGAと震源距離の関係を示す。左が水平動から求めたもの、右が上下動から求めたものである。同様に剥ぎ取り基盤波の最大速度PGVと震源距離の関係を図2に示す。水平動の図ではNS・EW2成分とも同一距離に図化している。図中の式は回帰直線で、 R^2 はその決定係数である。この図から平均的にいってPGAは水平成分で観測波の約25%、上下成分で約50%に、PGVは水平成分で約40%、上下成分で約50~100%に振幅が減少していることが分かる。ばらつきを見ると多くの地点で平均からの偏差が有意に減少している。その結果、決定係数もPGAでは剥ぎ取り基盤波の方が高くなっている。ただしPGVについては、その決定係数は地表面データよりも悪化している。注目すべきは水平動と上下動から求めた基盤波最大値の違いで、地表面観測波では両者の差が大きいのに対して、剥ぎ取り基盤波ではその差は小さくなっており、これは上下動からも水平動の剥ぎ取り基盤波が得られることを示している。

図1・図2から明らかなのは、もともと偏差の大きい観測点では剥ぎ取りによってもその偏差が減少しない観測点が多いことで、その結果としてPGVでは決定係数が悪化したものと推察される。これらの地点の水平2成分と上下成分からの剥ぎ取り基盤波スペクトルを比較したところ、上下成分から求めたスペクトルが広い周波数範囲で平坦化しているのに対して、水平成分から求めたスペクトルではサイト増幅特性のピーク振動数以外の

振動数でピークが生じており、本震の際にサイト特性が非線形化し、弱震時のサイト特性とはずれが生じたため適切に剥ぎ取りができなかったものと推察された。

以上、多数の弱震動から求めたサイト増幅特性を除去して剥ぎ取り基盤波を作成し、その最大値PGA・PGVの距離減衰特性を調べたところ、剥ぎ取り基盤波の最大値は直線性が高く、ばらつきは平均的には減少しているが、剥ぎ取っても平均値には近づかずうまうま行かなかった観測点も散見された。その原因には本震時の地盤の非線形化が可能性として考えられ、これに対する解析上の対策が今後の課題である。

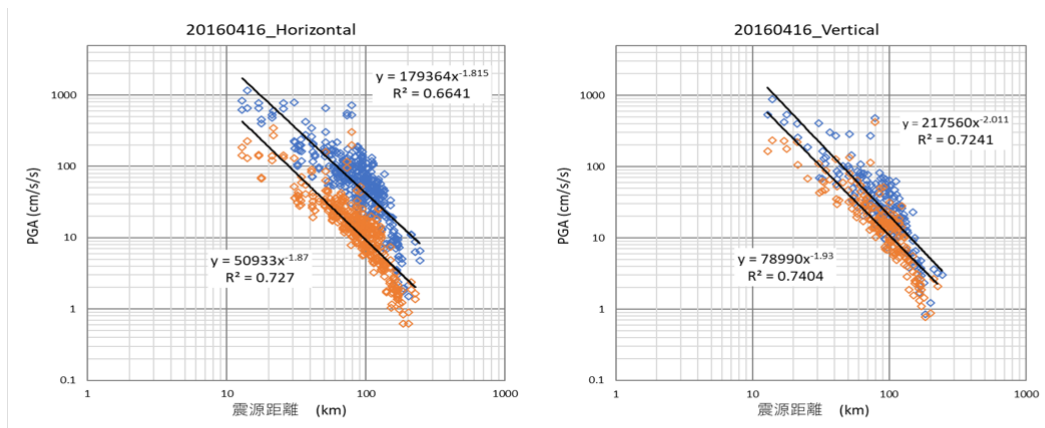


図1 剥ぎ取り基盤波の最大加速度PGAの距離減衰特性

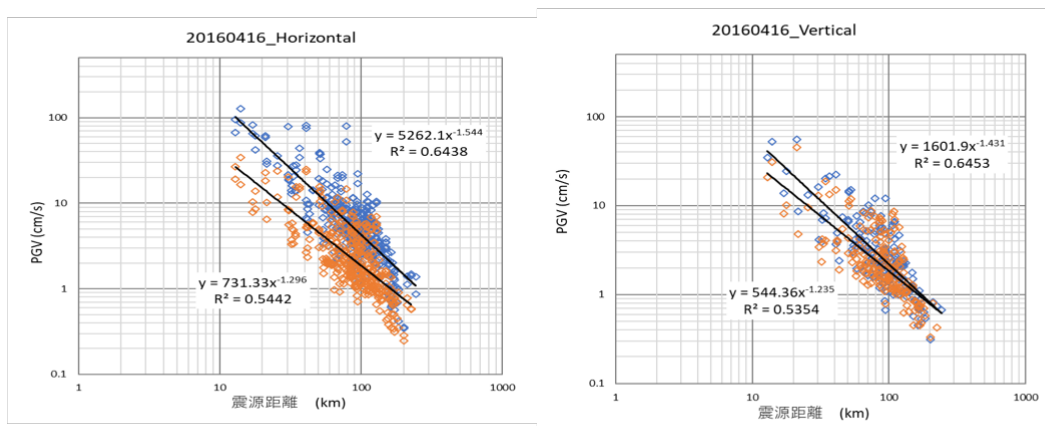


図2 剥ぎ取り基盤波の最大速度PGVの距離減衰特性