

水平動と上下動の最大振幅値を用いた地盤増幅度低下率の推定

金沢大学工学部 ○鬼頭順三 金沢大学大学院 正会員 西川隼人
金沢大学大学院 正会員 宮島昌克 金沢大学大学院 フェロー 北浦 勝

1. はじめに

地震動の特性の中で地盤増幅特性は観測点付近の地盤の影響を強く受けるので、狭い範囲でも大きく変動する可能性がある。したがって、正確な地震動予測を行なう上で地盤増幅特性を精度よく評価することが重要である。強震時には地盤のせん断ひずみが増加するとともに、地盤の剛性が低下し減衰が大きくなるため、弱震時に比べると地盤増幅度が低下する。したがって、地盤増幅特性を評価する際には、地震動の大きさによる増幅度の変化を考慮する必要がある。しかし、これまでは震源近傍の観測記録が乏しいこともあり、地盤の非線形性を考慮した地盤増幅度の評価はあまり行われてこなかった。また、既往の研究¹⁾では、震源特性と伝播経路特性の影響を少なくするために観測点を細かくゾーニングしているため、扱うことのできる観測点が限定されるなどの問題点があった。

本研究では、地震動の水平動と上下動の最大振幅値を用いて、強震時と弱震時の増幅度比を求め、強震時における地盤の非線形化によって生じる地盤増幅度の低下率を評価する手法を提案する。

2. 解析対象

本研究で対象とした地震は、1995年兵庫県南部地震以降に発生した内陸地震の中で、地震の規模が大きく震源近傍での観測記録が比較的充実している2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震の本震($M_{JMA} = 7.3$)及び余震である。余震は2000年10月～11月に発生したもので、 M_{JMA} は3.4～5.5であり、深さは8～13kmである。また、対象とした観測点は、独立行政法人防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-netと港湾地域強震観測の観測点12箇所である。

3. 解析手法

本研究において地盤増幅度とは、揺れの小さい工学的基盤相当の層が露頭している観測点を基準点とし、露頭基盤面と地表観測点で得られた地震動の最大振幅値の比を表す。そこで、工学的基盤相当の層($V_s = 500\text{m/s}$)が露頭しているKiK-net観測点の平田(観測点コードSMNH11)を基準観測点とする。

弱震時の地盤増幅度は式(1)を用いて二段階回帰分析²⁾を行うことで求められる。

$$\log A_{ij} = S_i - \log R_{ij} - bR_{ij} + \sum \delta_{jk} c_j \quad (1)$$

ここで、 A_{ij} は*i*地震における*j*観測点の最大振幅値、 S_i は*i*地震の震源項、 R_{ij} は*i*地震における*j*観測点の震源距離(km)、 b は距離減衰を表す回帰係数、 δ_{jk} はクロネッカーのデルタ、 c_j は*j*観測点の地盤特性を表す回帰係数である。係数を求める際に基準観測点である平田の*c*を0に固定することによって、得られる各観測点の*c*は露頭基盤面を基準としたものとなる。

しかし、地震の規模が大きい場合はディレクティビティの影響によって、震源項*S*が震源からの方位によって変化する可能性があるため、二段階回帰分析では正確に評価できなくなる。そこで、地震動強さ(*A*)は、震源特性(*S*)と伝播経路特性(*P*)と地盤増幅特性(*G*)の積で表されることから、地表面の水平動と上下動の地震動強さの比を、強震時と弱震時それぞれの場合について式(2)、式(3)のように定義する。

$$\frac{A_{HS}}{A_{VS}} = \frac{S_{HS} \cdot P_{HS} \cdot G_{HS}}{S_{VS} \cdot P_{VS} \cdot G_{VS}} \quad (2)$$

$$\frac{A_{HW}}{A_{VW}} = \frac{S_{HW} \cdot P_{HW} \cdot G_{HW}}{S_{VW} \cdot P_{VW} \cdot G_{VW}} \quad (3)$$

添え字の*H*、*V*は水平動と上下動、*S*、*W*は強震時と弱震時を表している。なお、強震時とは、ここでは本震時に対応する。また、地震動強さ(*A*)は地震動の最大振幅値、地盤増幅特性(*G*)は地盤増幅度($=10^c$)に対応する。

震源特性 S について、同じタイプの地震に関して言えば地震によって S_H/S_V はほとんど変化しない。伝播経路特性 P については、水平動と上下動においてそれほど違いがないので P_H/P_V が1に近似する。また、上下動の増幅度は地盤の非線形性による影響が小さい³⁾ので $G_{VS} = G_{VW}$ が近似的に成り立つ。以上より、式(2)、(3)の比をとると、式(4)が成り立つ。

$$\frac{A_{HS}}{A_{VS}} \cdot \frac{A_{VW}}{A_{HW}} = \frac{G_{HS}}{G_{HW}} \quad (4)$$

式(4)から強震時の水平、上下動と弱震時の水平、上下動の最大振幅値の比をとることによって、強震時と弱震時の増幅度比が求められる。強震時の地盤増幅度は、式(1)から求められた弱震時の地盤増幅度に式(4)の右边を乗ずることによって求められる。

4. 既往の研究との比較

本研究と同様に2000年鳥取県西部地震の観測記録を用いて地盤増幅度を評価した研究として、内山・翠川の方法¹⁾がある。そこで本手法の妥当性を検証するため、本研究と内山・翠川の方法によって計算した弱震時と強震時の増幅度比の比較する。

内山・翠川は12地点において2000年鳥取県西部地震で記録されたデータを用いているが、K-NET観測点の若桜(TTR001)と鳥取(TTR002)はデータ数が不十分であったので、解析対象から外した。この方法では、伝播経路特性やディレクティビティの影響を最小限にして、できるだけ地盤特性のみを抽出するために、ゾーニングを行っている。図-1に本研究と内山・翠川による弱震時と強震時の増幅度比の関係を示す。両者の相関係数は0.73であった。内山・翠川による方法の結果が本手法の結果よりも約50%大きくなっている地点もあるが、全体的に見れば両者は対応している。したがって、ここで示したように水平動と上下動から弱震時と強震時の増幅度比を評価する方法は有効であると考えられる。

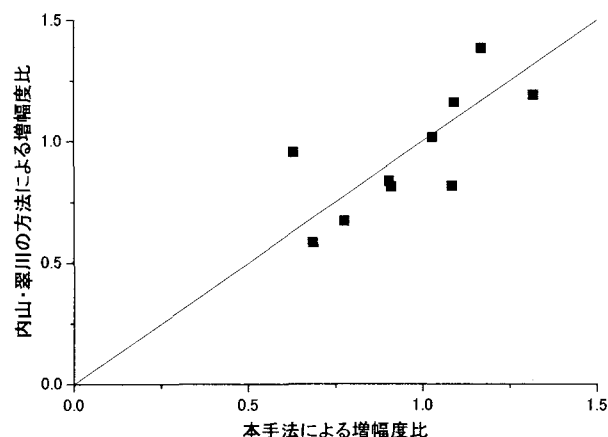


図-1 弱震時と強震時の増幅度比の比較

5. まとめ

本研究では、地震動の水平動と上下動の比から地盤増幅度の低下率を推定する手法を提案した。本手法は、既往の研究と比べて解析データを選定する際の制約が少ないため、より多くの観測記録を用いて地盤増幅度の低下率を評価することが可能である。今後は二段階回帰分析により求めた弱震時の増幅度と本研究で求めた増幅度低下率によって強震時の増幅度を求め、観測点ごとの基盤から表層への入力地震動を評価する。また、求められた入力地震動と地盤増幅度の低下率の関係を検討する予定である。

謝辞

本研究では、独立行政法人 防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-net、港湾地域強震観測で得られた観測記録を使用させて頂きました。

参考文献

- 1) 内山泰生, 翠川三郎: 地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率の評価, 日本建築学会構造系論文集, No.571, pp.87-93, 2003.
- 2) Fukushima, Y. and Tanaka, T.: A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.84, pp.757-783, 1990.
- 3) 大野晋, 高橋克也, 源榮正人: カリフォルニア強震記録に基づく水平動・上下動の距離減衰式と日本の内陸地震への適用, 日本建築学会構造系論文集, No.544, pp.39-46, 2001.