

2003 年十勝沖地震における KIK-net を用いた地盤の非線形増幅特性

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生剛治 学生会員 本山寛
学生会員 長尾晋悟 ○学生会員 餅井絵里香

1.はじめに

表層地盤での地震動増幅特性は地盤の層厚、弾性波速度、減衰定数、密度に基本的に支配されるが、軟質な土質地盤においてはさらに地盤物性の非線形性が重大な影響を及ぼすと考えられる。現在、全国を約 20km 間隔で覆う約 1000 ヶ所に基盤と表層の地震計がセットの観測システム Kik-net が設置され、多くの地震記録が得られている。そこで今回、2003 年十勝沖地震の水平動についての本震と余震記録を用いて、増幅率、スペクトル比、S 波速度比の点から地盤の震動増幅特性に影響を及ぼす地盤物性の非線形性について検討を行う。



図-1 観測点地図

2.解析方法

今回解析に用いたのは、表層最大加速度が 200gal 以上の 20 ヶ所の観測点(図-1)のデータである。まず加速度波形の基線補正を行い、地震計の設置誤差が 10 度以上の観測点では方向修正を行う。そして、そこから得られた加速度データを用いて表層の最大水平加速度を基盤の最大水平加速度で割ることにより加速度増幅率を求める。次に、地表と基盤での加速度記録のフーリエスペクトルを算出し、それらをバンド幅 0.3Hz の Parzen Window で平滑化したのち、地表でのスペクトルを基盤でのスペクトルで割ることによりスペクトル比を算出する。

また、各層の S 波速度と層厚から 1/4 波長則により算出した複数の境界層までの一次固有振動数 f と観測波のスペクトル比の一次ピーク周波数を比較し、一致度が高い観測点に関して、

$$\bar{V}_s = H / \sum_i (H_i / V_{si}) \quad (H_i : \text{各層の層厚} \quad V_{si} : \text{各層の S 波速度})$$

により表層の平均 V_s ($\bar{V}_s$) を求める。 $\bar{V}_s$ 比は基盤での S 波速度を表層の平均 S 波速度で割ることにより算出する。

3.解析結果と考察

図-2 は、本震と余震での水平加速度増幅率と基盤最大加速度の関係を示したものである。全体的に本震に比べ余震の増幅率が大きく、基盤加速度の増加に伴い水平加速度増幅率が低下する傾向が見られ、地盤物性の非線形性の影響がその一因として考えられる。また、ほぼ全ての観測点において増幅率は 2 倍を下回る事はなかった。図-3 は本震と余震での水平加速度増幅率と $\bar{V}_s$ 比の関係を示したものである。ばらつきは大きい、全体的に $\bar{V}_s$ 比の増加に伴い、特に余震での増幅率が増加する傾向が見られる。また $\bar{V}_s$ 比=2 以下の観測点に比べ、それ以上の観測点では全体的に本震と余震での増幅率の違いが大きく、地盤物性の非線形性の影響が表れやすい傾向がみられる。

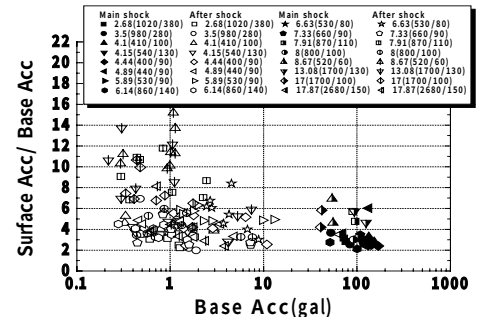


図-2 本震と余震での水平加速度増幅率と基盤加速度の関係

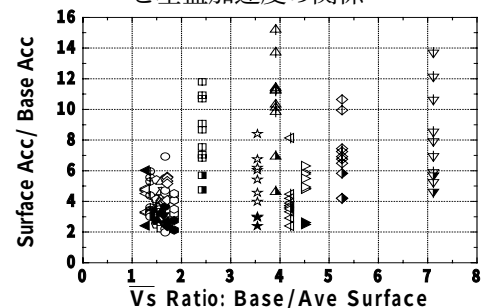


図-3 本震と余震での水平加速度増幅率と $\bar{V}_s$ 比の関係

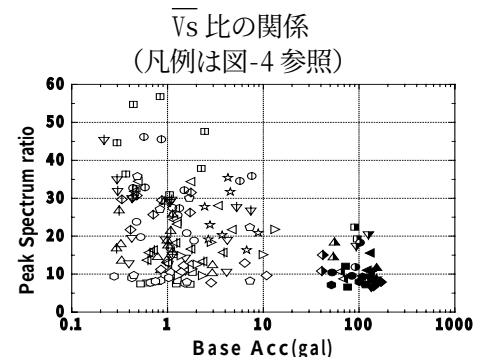


図-4 本震と余震でのスペクトル比のピーク値と基盤加速度の関係 (凡例は図-2 参照)

キーワード：2003 年十勝沖地震 非線形性 スペクトル比 S 波速度比

連絡先：〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1807

図-4 は本震と余震でのスペクトル比のピーク値(10Hz 以下の複数ピーク中の最大値)と基盤加速度の関係を示したものである。定常応答に対応したスペクトルピーク値は図-2 の過渡応答に対応した増幅率の 1 ～3 倍程度の値となっていることがわかる。全体的に基盤加速度の増加に伴いスペクトル比のピーク値が低下する傾向がみられる。これは地盤物性の非線形性の影響によるものと考えられる。図-5 は本震と余震でのスペクトル比の 1 次ピーク値と基盤加速度の関係を示したものである。図-4 に比べ、全体的に本震と余震でのピーク値の違いが小さい。このことから今回の観測点においては 2 次以上のピークに地盤物性の非線形性の影響がより強く表れたと考えられる。

図-6(a)～(b)は浜中(KSRH10)、標津南(NMRH02)での本震と余震のスペクトル比を示している。まず、図-6(a)の KSRH10 の NS 方向では全体的に余震のピーク値に比べ本震でのピーク値が低くなり、ピーク周波数においては、1 次ピークは 0.5Hz 弱低下しており、2 次・3 次ピークも低下している。図-6(b)の NMRH02 の EW 方向では 1 次・2 次ピークではわずかな違いしか見られないが、3 次ピークでは余震のピーク値に比べ本震でのピーク値が低くなり、ピーク周波数は 1 Hz 程度低下している。

図-7 は本震と余震でのスペクトル比の 1 次ピーク値を表層の $\bar{V}_s$ 比に対してプロットしたものである。ばらつきはあるものの $\bar{V}_s$ 比の増加にともない本震と余震でのスペクトル比の 1 次ピーク値の違いが大きくなる傾向があり、地盤物性の非線形性の影響を受けやすい傾向がみられる。図-8 は本震と余震でのスペクトル比の 10Hz までの範囲のピークの最大値を表層の $\bar{V}_s$ 比に対してプロットしたものである。 $\bar{V}_s$ 比の低い観測点では、一点の例外を除いては、本震と余震の 1 次ピーク値にあまり違いがないのに対し、図-8 では本震と余震でのピーク値に明瞭な違いが見られる。また、 $\bar{V}_s$ 比が高い観測点では、1 次ピーク値(図-7)とピーク値(図-8)であまり違いがない傾向が見られる。これは、 $\bar{V}_s$ 比の低い地点では、一次ピークにおいて地盤物性の非線形性の影響が表れにくい傾向にあるためと考えられる。実際、KSRH10 では $\bar{V}_s$ 比 7.1、NMRH02 では $\bar{V}_s$ 比 2.4 であり、図-6 の例からも、その様な傾向が確認できる。

4.まとめ

- (1) 基盤加速度の増加に伴い水平加速度増幅率、スペクトル比のピーク値・1 次ピーク値が低下する傾向が見られる。
- (2) $\bar{V}_s$ 比が大きい地盤ほど、本震と余震での増幅率・スペクトル比の 1 次ピーク値の違いが大きく、地盤物性の非線形性の影響を受けやすい傾向がみられる。また、 $\bar{V}_s$ 比が低い地盤では、2 次以上のピークに地盤物性の非線形性の影響が表れやすいと考えられる。

<謝辞> 最後にウェブサイトで地震観測データを使わせていただいた防災科学研究所の方々に感謝の意を表します。

<参考文献> 國生剛治、松本正毅、他「兵庫県南部地震の鉛直アレー

記録によるサイトの非線形増幅特性」第 10 回地震工学シンポジウム論文集/第 1 分冊 pp999-1004

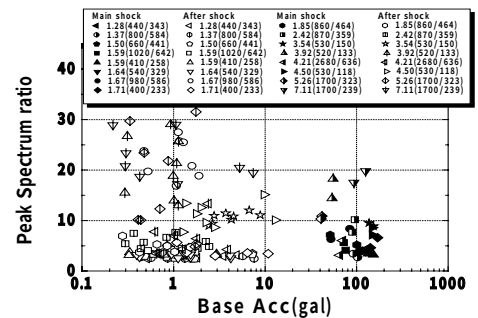


図-5 本震と余震でのスペクトル比の 1 次ピーク値と基盤加速度の関係

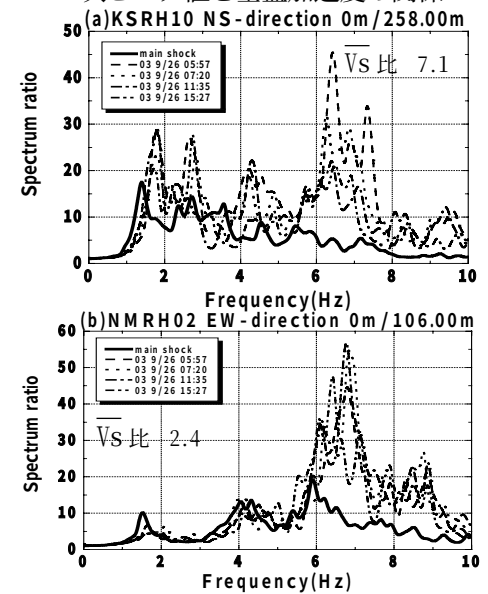


図-6 2 地点における本震と余震の地表と基盤でのスペクトル比

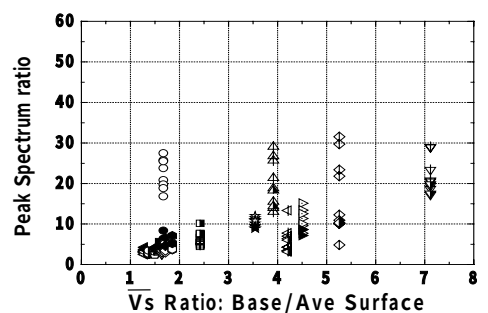


図-7 本震と余震でのスペクトル比の 1 次ピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係 (凡例は図-4 参照)

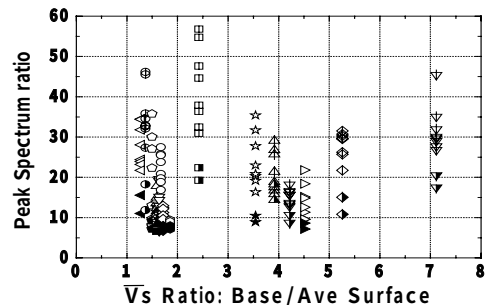


図-8 本震と余震でのスペクトル比のピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係 (凡例は図-4 参照)