

KiK-net を用いた表層地盤の地震応答特性

中央大学理工学部土木工学科 正会員 國生 剛治 学生会員 長尾 晋悟
○学生会員 嶋村 洋介 学生会員 加藤 圭介

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 700 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。今回は、2000 年鳥取県西部地震、2001 年芸予地震、2003 年三陸南地震、宮城県北部の地震、十勝沖地震、2004 年新潟県中越地震の水平動について、本震、余震の記録から加速度増幅率、スペクトル比を求め、地盤種別ごとに表層地盤の震動増幅特性について検討を行う。

2、サイト条件と解析方法

今回解析に用いたのは、いずれも本震について宮城県北部の地震で本震の地表最大加速度が 60gal 以上、鳥取県西部地震、新潟県中越地震で 100gal 以上、芸予地震、三陸南地震、十勝沖地震で 200gal 以上が測定された観測点である。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加速度で割ることにより水平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、0.3Hz の Parzen Window をかけ平滑化し、(地表)/(基盤)のスペクトル比を計算する。さらに各層の 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 と上述の観測波スペクトル比の 1 次ピーク周波数を比較し、一致度が高い観測点に関して $\bar{V}_s$ 比を求めた。観測点での $\bar{V}_s$ は以下の式で算出した。

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

$\bar{V}_s$ 比は基盤での V_s を $\bar{V}_s$ で割ったものとする。地盤種別は道路橋示方書、耐震設計編¹⁾に記載されている耐震設計上の地盤種別の方法を採用し、 $f = \bar{V}_s / 4H$ で求められる 1 次固有振動数と観測波のスペクトル比の 1 次固有振動数を比較して、一致度が高い観測点の 1 次固有振動数を表-1 のように 3 つに分類した。I 種地盤は良好な洪積地盤および岩盤、III 種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、II 種地盤は I 種地盤、III 種地盤のいずれにも属さない洪積地盤および沖積地盤である。6 つの地震、67 観測点のうち、I 種地盤が 11 観測点、II 種地盤が 38 観測点、III 種地盤が 18 観測点と分類出来た。

3、解析結果と考察

< I 種地盤 > 図-1 は本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の 1 次ピーク値との関係を示したものである。また、図-2 は同じデータについて、 $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の最大ピーク値との関係を示したものである。1 次ピーク値に本震と余震での差はあまり見られず、 $\bar{V}_s$ 比とスペクトルのピーク値の間に明瞭な関係は見られなかった。

キーワード S 波速度、加速度増幅率、スペクトル比、非線形性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1799 FAX 03-3817-1803

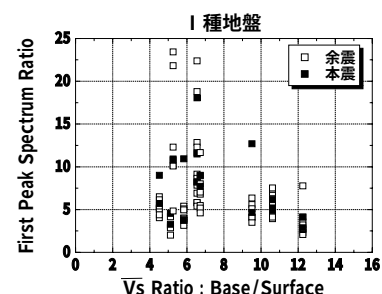


図-1 I 種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の 1 次ピーク値の関係

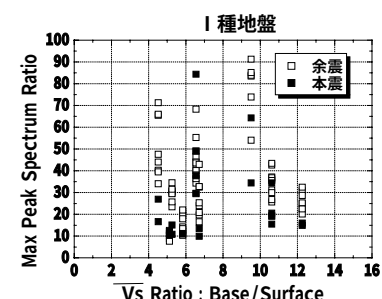


図-2 I 種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ とスペクトル比の最大ピーク値との関係

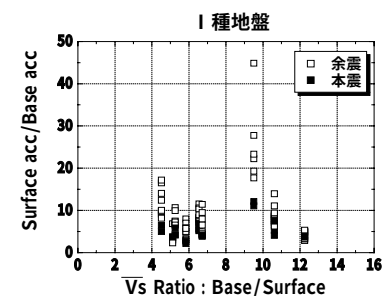


図-3 I 種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ と水平加速度増幅率の関係

表-1 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の1次固有振動数 f (Hz)
I 種	$f > 5$
II 種	$5 \geq f > 16$
III 種	$16 \geq f$

図-3は $\bar{V}_s$ 比と水平加速度増幅率の関係を示したものである。余震の方が増幅率は明らかに大きい、 $\bar{V}_s$ 比と増幅率の間に明瞭な関係が見られなかった。また、図-1,2,3より全ての観測点について、縦軸の値を本震と余震と別々に比較すると、1ピーク値が増幅率より本震で1.5倍程度、余震で1倍程度、最大ピーク値が本震で4.5倍程度、余震で4倍程度となった。これには定常応答と地震波による過渡応答の違いが表れていると考えられる。

<II種地盤>図-4は本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の1次ピーク値との関係を示したものである。ばらつきが大きくはっきりとした傾向はつかめなかった。図-5は $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の最大ピーク値との関係を示したものである。 $\bar{V}_s$ 比=2.57、6.01の2観測点（丸で囲ったデータ）を除くと、全体的に右上がりの傾向が見られた。図-6は $\bar{V}_s$ 比と水平加速度増幅率の関係を示しており、先程と同じ観測点を除くと、ばらつきは大きい、図-5と類似する傾向を示している。また、増幅率に比べ1次ピーク値は本震、余震でI種地盤と同程度、最大ピーク値は本震で4倍程度、余震は4.5倍程度となった。

<III種地盤>図-7は本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の1次ピーク値との関係を示したものである。全体的に右上がりの傾向が見られ、 $\bar{V}_s$ 比が5以下の観測点では、本震と余震での1次ピーク値がほぼ同程度であることが分かる。図-8は $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の最大ピーク値との関係を示している。全体的に右上がりの傾向が見られるが、1次ピーク値の時とは異なり、 $\bar{V}_s$ 比が低い場合に、本震と余震の最大ピーク値に差があり高次震動には地盤物性の非線形性が表れやすいことを示している。図-9は $\bar{V}_s$ 比と水平加速度増幅率の関係を示したものである。図-7、8と同様に、丸で囲んだ1地点のデータを除くと右上がりの傾向が見られた。また、増幅率に比べ1次ピーク値は本震で2倍程度、余震で1.5倍程度、最大ピーク値は本震で3.5倍程度、余震で4倍程度となった。なお、丸で囲んだ観測点は、基盤の地震計が100m~200mの深さに設置されている他の観測点に比べて1200mと深く、その特殊性がその増幅特性に反映されている可能性がある。

4、まとめ

- (1) I種地盤では、 $\bar{V}_s$ 比と1次ピーク値、最大ピーク値は統一的な傾向は見られず、地盤物性の非線形性の影響はあまり見られなかった。
- (2) II種地盤では全体としてははっきりとした傾向はつかめなかったが、III種地盤では1次ピーク値、最大ピーク値、水平加速度増幅率ともに $\bar{V}_s$ 比に対し右上がりの傾向があり、 $\bar{V}_s$ 比の大きい観測点ほど本震と余震の差が大きくなる傾向が見られ、地盤物性の非線形性の影響が見られた。

<参考文献> 1)道路橋示方書・同解説 v 耐震設計編 平成8年12月 pp43~pp48

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

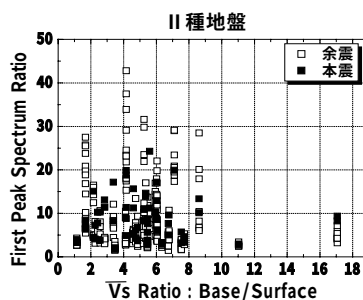


図-4 II種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の1次ピーク値の関係

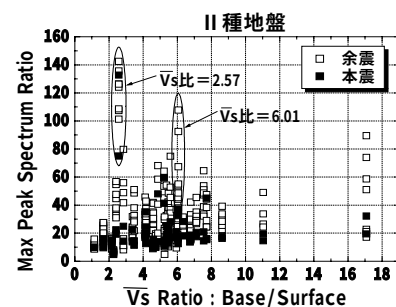


図-5 II種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の最大ピーク値の関係

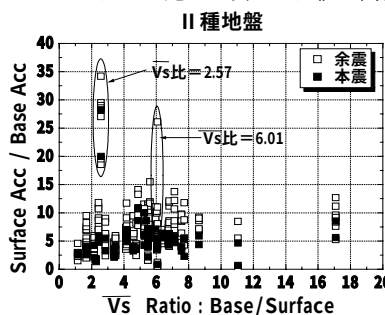


図-6 II種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比と水平加速度増幅率の関係

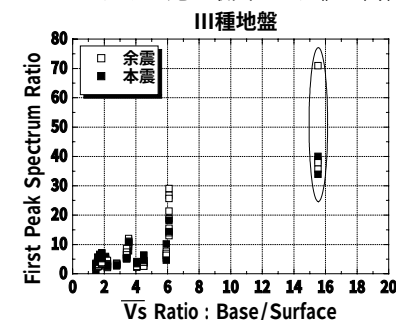


図-7 III種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の1次ピーク値の関係

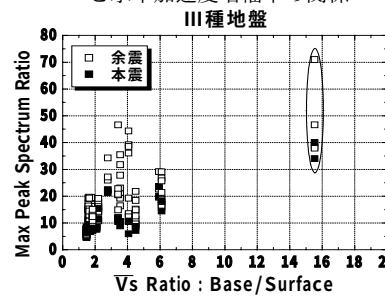


図-8 III種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比とスペクトル比の最大ピーク値の関係

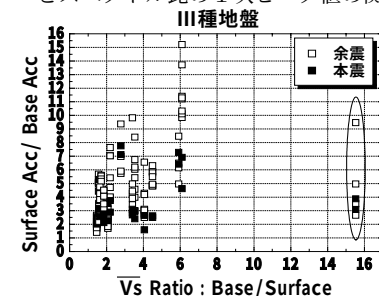


図-9 III種地盤の本震と余震での $\bar{V}_s$ 比と水平加速度増幅率の関係