

KiK-net を用いた表層地盤の地震応答特性

中央大学 正会員 國生 剛治
中央大学 学生会員 長尾 晋悟
中央大学 学生会員 ○佐藤 克晴

1. はじめに

表層地盤での地震応答特性は、基本的には地盤の層厚、弾性波速度、減衰定数、密度により支配されるが、特に強震時には、さらに地盤物性の非線形性が重大な影響を及ぼす。現在、独立行政法人防災科学技術研究所の基盤強震観測網(KiK-net)により全国各地で発生した地震が観測され、数多くの強震、弱震記録が公開されている。そこで本研究では最近の強地震動を対象とし、地盤の震動増幅に与える地盤構造と地盤物性の影響を検討することを目的としている。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の本震・余震記録を用いて、加速度増幅率、スペクトル比を求めることにより、地盤物性の非線形性などの観点から地盤種別ごとに震動増幅特性を検討する。とくに地震動の増幅率と、(基盤)/(表層)のS波速度比の関連についての検討を行った。

2. サイト条件

今回解析に用いたのは、本震の地表最大加速度が宮城県北部の地震で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、地表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をかけて平滑化し、(地表)/(基盤)のスペクトル比を計算する。次に、実地盤を単純な地盤でモデル化するために、各層のS波速度と層厚から1/4波長則により算出した地表から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、 $\bar{V}_s$ と表層地盤厚さ平均S波速度を(1)式により求める。

$$\bar{V}_s = H / \sum_i (H_i / V_{s_i}) \quad H = \sum_i H_i \quad (H_i: \text{各層の層厚}, V_{s_i}: \text{各層のS波速度}) \quad \cdots (1)$$

そして基盤での V_s を $\bar{V}_s$ で割って、 $\bar{V}_s$ 比を算出した。このようにして実地盤を近似した単純なモデル地盤の1次固有振動数 f は、 $f = \bar{V}_s / 4H$ で求められる。この f の値を用いて、道路橋示方書・耐震設計編に従い、耐震設計上の地盤種別を表-1のように3つに分類した。示方書では、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とされている。ここで用いられる68観測点のうち、I種地盤が11観測点、II種地盤が39観測点、III種地盤が18観測点と分類出来た。また、今回は一般的な土木・建築構造物に重大な影響を及ぼす振動数を解析対象にするために、地盤種別をII種とIII種にしぼり、スペクトル比の本震のEW、NSの両方向の最大ピーク値が5Hz以内である、II種地盤5観測点、III種地盤8観測点を採用した。

3. 解析結果

<水平加速度増幅率からの考察>

図-1は本震と余震での加速度増幅率と $\bar{V}_s$ 比の関係を表している。II、キーワード 加速度増幅率、震動増幅特性、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

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	$f > 5.0$
II種	$5.0 \geq f > 1.6$
III種	$1.6 \geq f$

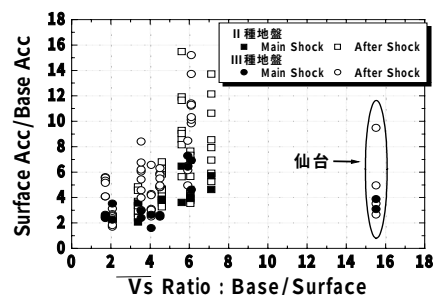


図-1 本震と余震での加速度増幅率と $\bar{V}_s$ 比の関係

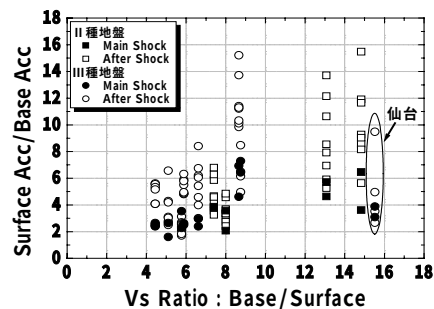


図-2 本震と余震での加速度増幅率

Ⅲ種地盤ともに $\bar{V}_s$ 比の増加に伴い本震、余震の増幅率が右上がりに増加する傾向がみられる。また、両種別ともに本震に比べ余震の増幅率が大きく、さらに $\bar{V}_s$ 比の増加に伴い本震と余震の増幅率の違いが大きくなる傾向が見られる。図-2は同じデータで V_s 比との関係を示している。 $\bar{V}_s$ 比のグラフと同様に右上がりの傾向が見られるが、ばらつきは大きくなる。なお、図-1～6で丸で囲んだ観測点(仙台)は、基盤の地震計が100m～300mの深さに設置されている他の観測点に比べて1200mと深い。その特殊性によるためか、他の地点とは異なる傾向が見られる。

<スペクトル比からの考察>

図-3は本震と余震でのスペクトル比の1次ピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係を示している。Ⅱ、Ⅲ種地盤ともに右上がりの傾向が見られ $\bar{V}_s$ 比の増加に伴い、1次ピーク値が増加する傾向が見られる。また、図-1では他の地点から大きく外れていた仙台地点が、ここではほぼ同一勾配の直線にのることが分かる。さらに、本震と余震のスペクトル比に明瞭な大小関係が読みとれないことも1次ピーク値の特徴である。次に、図-4は同じデータで V_s 比との関係を示している。やはり右上がりの傾向は読み取れるが、図-3に比べてばらつきは大きい。

図-5は本震と余震でのスペクトル比の最大ピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係を示している。全体的に $\bar{V}_s$ 比の増加にともない最大ピーク値が増加する右上がりの傾向が本震、余震ともに見られる。また、 $\bar{V}_s$ 比の増加にともない本震と余震の最大ピーク値の違いが大きくなり、地盤物性の非線形性の影響が表れやすくなる傾向が見られる。つまり、図-3の1次ピーク値では本震と余震であまり差が見られないのに対し、図-5の最大ピーク値では余震が本震に比べて明らかに大きく、地盤物性の非線形性の影響が見られる。さらに $\bar{V}_s$ 比が2付近では余震と本震の差はわずかだが、 $\bar{V}_s$ 比が大きくなると差が大きくなることも分かる。

図-6は本震と余震でのスペクトル比の最大ピーク値と V_s 比の関係を示している。こちらも図-5同様、 V_s 比の増加に伴い最大ピーク値が増加する右上がりの傾向が見られる。特に、 V_s 比が9程度より小さい範囲ではスペクトル比との相関が $\bar{V}_s$ 比よりむしろ良いが、それ以上ではプロットが不揃いになる傾向が読み取れる。

4. まとめ

- ・Ⅱ、Ⅲ種地盤の加速度増幅率はS波速度比に対し正の相関を示す。すなわち、表層の V_s や $\bar{V}_s$ が基盤の V_s と比較して小さく軟質地盤ほど、地震動の増幅は大きくなる傾向が認められる。また、本震に比べ余震の増幅率が大きく、S波速度比の増加に伴い本震と余震の増幅率の違いが大きくなる傾向が見られる。

- ・Ⅱ、Ⅲ種地盤のスペクトル比はS波速度比に対し正の相関を示す。ただし1次ピーク値では本震と余震のスペクトル比に明瞭な大小関係が読みとれないが、最大ピーク値では余震が本震に対して明らかに大きく地盤物性の非線形性の影響が見られる。

- ・全体的に V_s 比は $\bar{V}_s$ 比に対して結果にばらつきが生じやすい。このことから、広範な地盤の増幅特性を評価するためには、 V_s 比よりは $\bar{V}_s$ 比の方が適用性が高いと言える。

<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で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各位に感謝の意を表します。

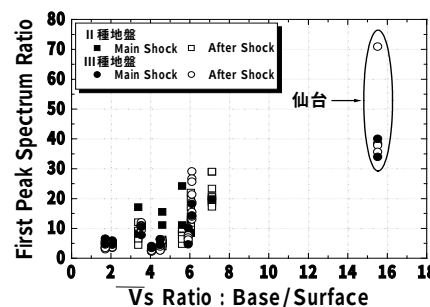


図-3 本震と余震でのスペクトル比の
1次ピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係

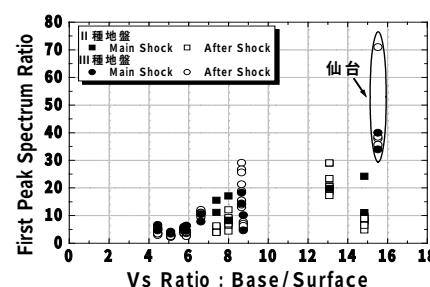


図-4 本震と余震でのスペクトル比の
1次ピーク値と V_s 比の関係

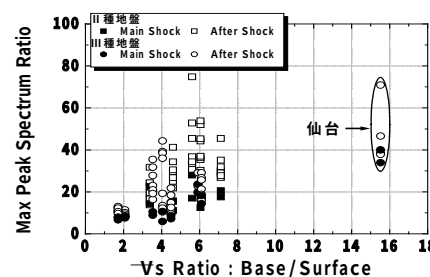


図-5 本震と余震でのスペクトル比の
最大ピーク値と $\bar{V}_s$ 比の関係

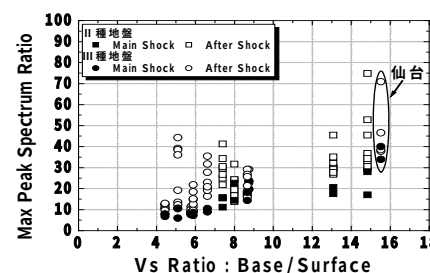


図-6 本震と余震でのスペクトル比の
最大ピーク値と V_s 比の関係