

KiK-net 地震記録と理論伝達関数の比較による地盤の減衰値の検討

中央大学 学生会員 佐藤 克晴
 中央大学 正会員 國生 剛治
 中央大学 非会員 宮崎 亮二

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・密度等の地盤パラメータにより支配されるが、強地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強震基盤観測網(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。本研究ではそれらのうち強地震動データを対象とし、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。今回は新潟県中越地震の観測波から導いたスペクトル比を、近年我が国で発生した7地域での強地震で解析対象とした117観測点の地盤構造から一次元重複反射理論により導いた理論伝達関数と比較し、地盤の減衰値を我々の定義した平均S波速度比(基盤)/(表層)との関係から検討した。

2. 解析方法

地盤の主要動は、一次元波動方程式を基本とし基盤から入射する水平せん断波(SH波)が鉛直方向に伝播するという単純な現象で説明できることを前提としている。観測波のスペクトル比は、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。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ことにより求める。一方理論伝達関数は、各観測点が図-1のように複数の水平層から成り立つと仮定し、各層についての層厚(H)・密度(ρ)・S波速度(V_s)・減衰(D)をパラメータとして与える。今回は層数・層厚・ V_s はKiK-netの柱状図による値、減衰値(D)は全ての層で2.5%、密度は表-1に示す値とした。

3. 表層の決め方

一次元成層地盤のSH波による震動増幅特性は、基盤と地表層との間のS波速度の比(V_s 比)に大きく依存する¹⁾。基盤は層厚が大きく V_s の代表値を求め易い地中地震計が設置されている層と仮定しているが、地表層は数10cm～数mと薄いものが多く、その V_s を表層の代表値として採用してよいか疑問がある。そこで本研究では、以前よりスペクトル比のピークを生み出す表層は複数の層からでも成り得るものとし、その平均 V_s (\bar{V}_s)を表層のS波速度の代表値としてきた²⁾。 \bar{V}_s は1/4波長則により求めたfから次式により求める。また、基盤の V_s を \bar{V}_s で割ることにより \bar{V}_s 比を算出した。

$$\bar{V}_s = 4Hf, \quad f = 1/4 \sum_i (H_i / V_{s_i}), \quad H = \sum_i H_i \quad \dots \text{式(1)}$$

(H_i :各層の層厚, V_{s_i} :各層のS波速度)

各観測点での表層の決め方は、図-2に例示するようなスペクトル比や理論伝達関数のグラフからピーク値での振動数を読み取り、地表から複数の境界層までの各層の層厚と V_s から式(1)の第2式で求めた1次固有振動数fの値と比較し、一致度の高い境界層までをピーク振動数に対応した表層として扱う。従って、同一観測点においても異なるピーク振動数に対しては表層も異なることになる。

4. 解析結果

キーワード 地震, 震動増幅特性, S波速度, 表層, 理論伝達関数

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 各層の密度区分

	密度[t/m ³]
砂	1.8
粘土	1.6
礫・砂礫	2.0～2.1
岩盤(500<V _s <700)	2.2～2.3
岩盤(700<V _s <1000)	2.3～2.4
岩盤(1000<V _s <1500)	2.5
岩盤(1500<V _s)	2.6

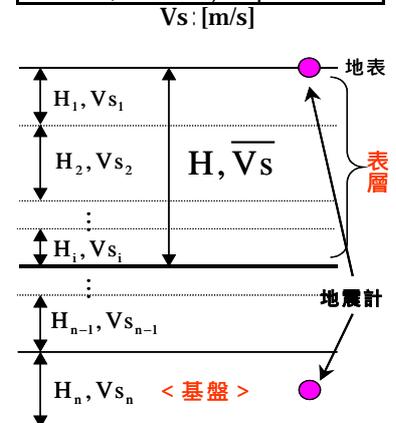


図-2 多層系地盤モデル

図-2 は例として新潟県中越地震で解析対象とした村松という観測点における、観測波のスペクトル比と理論伝達関数を示している。このグラフから観測波のスペクトル比のピーク値及びピーク振動数は必ずしも理論伝達関数と一致するとは限らないことがわかる。理論伝達関数では低次ピークのものほどピーク値が大きいのにに対し、観測波のスペクトル比にはそのような傾向は見られない。このことは全ての観測点で見られる特徴である。

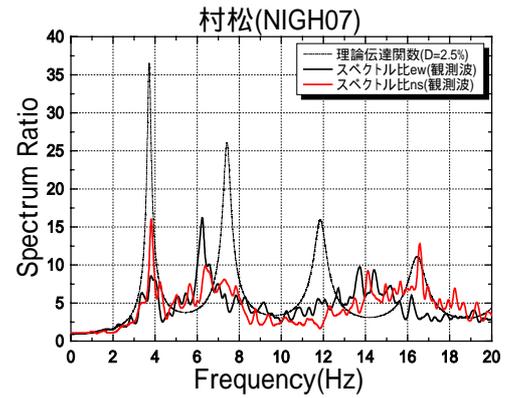


図-2 スペクトル比と理論伝達関数

図-3 は新潟県中越地震の観測波(本震)のピーク値と \bar{V}_s 比の関係を示している。このグラフから、多少のばらつきはあるものの観測波は \bar{V}_s 比の増加に伴ってピーク値が増大する右上がりの傾向を示し、ピーク次数毎に異なる傾向は見られない。

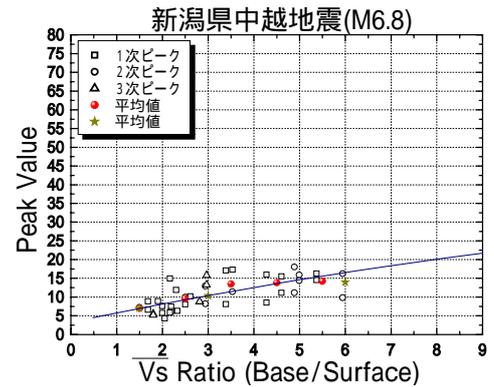


図-3 観測スペクトル比のピーク値と \bar{V}_s 比の関係

一方、図-4 は全国の117観測点の地盤構造についての理論伝達関数のピーク値と \bar{V}_s 比の関係を示している。地盤の減衰値は全ての層で2.5%としている。このグラフから、ばらつきは見られるもののピーク次数毎に右上がりの傾向が読み取れる。また、ピーク次数が低いほど増幅率が大きくなる傾向が明らかである。この違いは、観測波は振動数等の影響からピーク次数によって減衰値が異なるためだと考えられる。そこで理論伝達関数のピーク次数毎に各観測点で地盤の減衰値を変え、観測波のピーク値に重なるような理論伝達関数の減衰値を検討した。今回はデータ数の関係から1~3次ピークで \bar{V}_s 比が8以下を解析対象とした。

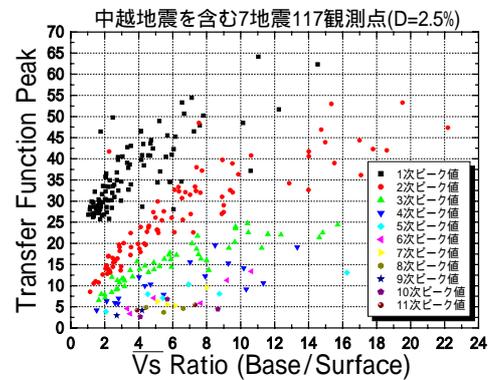


図-4 理論伝達関数のピーク値と \bar{V}_s 比の関係

図-5 は図-4の1~3次ピークで \bar{V}_s 比の一定区間におけるピーク値の平均値を求め、観測波のスペクトル比のピーク値の平均値と一致するように、理論伝達関数のピーク次数毎の減衰値を求めたものである。このグラフから次数の低いピークほど減衰値の値を大きくとれば観測波のスペクトル比のピーク値に一致することがわかる。これらの傾向は我々が解析対象としている7強地震全てに共通して見られた。

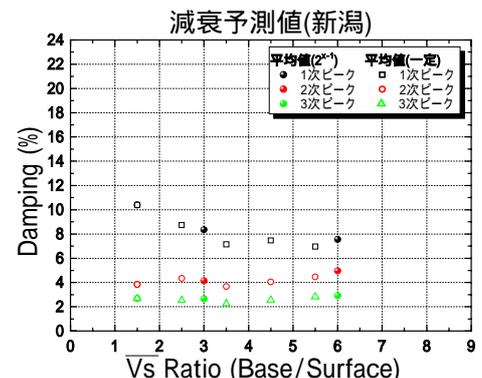


図-5 ピーク次数毎の減衰値

5. まとめ

(1)観測波のスペクトル比及び理論伝達関数のピーク値は、 \bar{V}_s 比に対して正の相関を示した。すなわち同程度の基盤であれば、表層の軟質な地盤ほど地震動の増幅は大きくなる明瞭な傾向が認められる。また、減衰定数を一定とした理論伝達関数では低次ピークのものほどピーク値は大きい値を示す。

(2)理論伝達関数のピーク値は、ピーク次数毎に異なる減衰値を用いれば観測波のスペクトル比に重なることがわかり、低次ピークのものほど減衰値は大きくなる。これは減衰定数の振動数依存性を反映したものとと思われる。

<参考文献> 1)Shima,E. (1978) : "Seismic Microzoning map of Tokyo" Proc. Second Inter. Conf. on Microzonation, (1):pp433-443, 2)長尾晋悟 : 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 2004 年度修士論文)

<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各位に感謝の意を表します。