

(I -42) 兵庫県南部地震の鉛直アレー記録から見た鉛直地震動の増幅特性

中央大学理工学部	学生員	宇佐美浩之
中央大学理工学部	学生員	國生 剛治
埼玉県庁		青柳 寮大
中央大学理工学部	学生員	本山 寛

1 はじめに

兵庫県南部地震では、震源近傍の第四紀層の深部で最大 0.6G を超える強い加速度が観測された。また、震源近傍を含む 4 地点に設置された鉛直アレー地震観測システムにより、本震や多くの余震記録も得られている。これらの記録では、強地震動による表層地盤の非線形応答挙動が明瞭に見られ、地盤物性の非線形性や、液状化によって地表の水平方向の加速度がかえって低減する現象が捉えられた¹⁾。ここでは、水平振動に比べて分析の遅れている鉛直地震動について、鉛直アレー記録の地中と地表の間の観測スペクトル比から見た地盤振動の増幅特性について整理、分析を行う。

2 サイト条件

今回用いた地震波のデータは、神戸市ポートアイランド(PI)、総合技術研究所(SGK)、高砂発電所(TKS)、海南港変電所(KNK)の 4 地点で得られた地震の鉛直アレー記録の本震、及び余震である。この 4 地点においてそれぞれ最も深い地震計設置深度は PI で GL-83.4m、SGK で GL-97m、KNK と TKS で GL-100m である。これらの基盤層は KNK で S 波速度 V_s が 1630m/s、P 波速度 V_p が 3920m/s の硬質の岩盤である他は、PI では V_s が 380m/s、 V_p が 2000m/s の砂礫層、また、TKS、SGK では V_s が 480m/s、 V_p が 1800m/s の粘土層である。地表から GL-20m 程度までは埋土や沖積の砂や粘性土から成り、特に PI では表層に層厚 17.5m の埋立まさ土がある。

3 解析方法

鉛直方向のスペクトル比を求めるにあたり対象とした地震記録の範囲は図-1 に示す方法で決定した。図-1 の上段と中段の波形は EW 方向と NS 方向の地震記録を示し、下段は UD 方向の地震記録を示している。はじめに水平 2 方向と鉛直方向の時刻歴とを見比べて不要な部分 (skip data) を決める。次に水平 2 方向の時刻歴より P 波部分と S 波部分の境界 (EW 方向と NS 方向で P 波の継続時間が短い方を採用) を定め、不要なデータを取り除いた所からそこまでを S 波到達までの時間とし、鉛直方向の解析領域 (analysis domain) とした。この解析領域から地表と最深レベルにおける地震記録のフーリエスペクトルを算出し、それらを 3 回 Hanning Window を用いて平滑化したものから二つのレベル間のスペクトル比を求めた。

4 スペクトル比の分析

図-2 から図-6 は、それぞれ PI の本震前、本震後、SGK、TKS、KNK における本震と余震のスペクトル

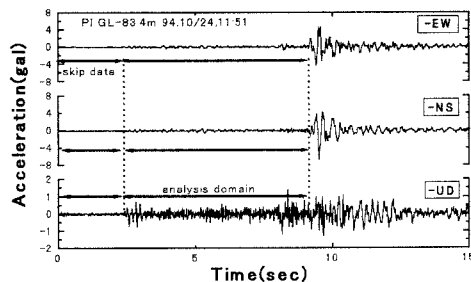


図-1 解析領域の決定法

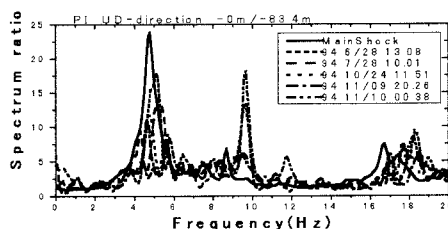


図-2 PI における本震と本震前の小地震の地表と基盤のスペクトル比

キーワード: 鉛直アレー記録・非線形性・スペクトル比・鉛直地震動

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 TEL03-3817-1799 FAX03-3817-1803

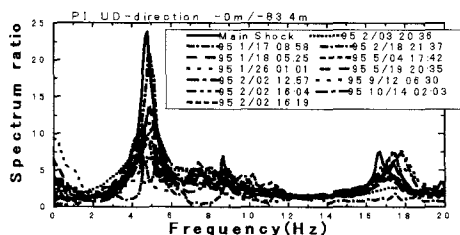


図-3 PIにおける本震と余震の地表と基盤のスペクトル比

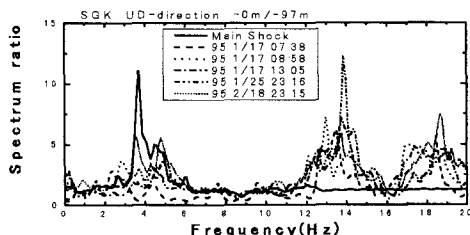


図-4 SGKにおける本震と余震の地表と基盤のスペクトル比

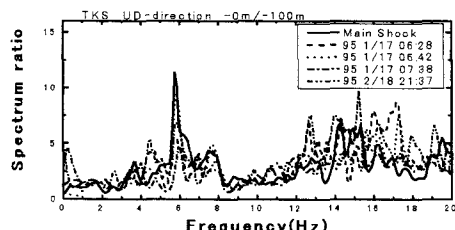


図-5 TKSにおける本震と余震の地表と基盤のスペクトル比

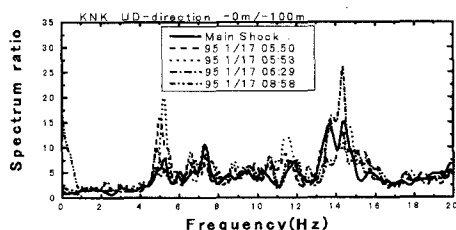


図-6 KNKにおける本震と余震の地表と基盤のスペクトル比

比を示している。SGKの本震の10Hz以上については元の波形データがフィルター処理されているため今回の検討対象から除く。まず、余震(実線以外の線)のスペクトル比に着目すると、ピークの現れる周波数が各余震間でそれほど異なっていない。次に本震(実線)と余震を比べてみると、4地点すべてにおいてスペクトル比の大きさは異なる場合もあるが、1次ピークの周波数の位置がよく一致していることがわかる。ただし、PIの本震とそれ以前の小地震では、図-2に示すように1次ピークには明瞭な周波数のずれが見られる。またPIの高次のピークについては図-2, 3からわかるように本震の前後いずれについての小地震と本震のずれが見られる。これは地下水面以浅の不飽和地盤、あるいは地下水面以深でも飽和が不完全な地盤などでのP波速度のひずみ振幅依存性を反映しているものと考えられる。一方、本震がそれほど大きくなかったTKS、KNKでは、1次のピークから高次まで大まかに見て一致しており、地盤物性の非線形性の影響は見られない。図-7は、以上のスペクトル比の検討から求めた地表と基盤の間でのスペクトル比の2~8Hz間における平均値と V_p 比(基盤/地表)の関係を示したものである。この図より V_p 比に対するスペクトル比の平均値が右上がりの関係にあり、基盤と地表付近のP波のインピーダンス比が鉛直動増幅率の重要なパラメータであることがわかる。また、KNKを除いた3地点では白抜きの点で表す余震(AS)、あるいは本震前の小地震(FS)の増幅率よりも黒抜きの点で表す本震(MS)の増幅率のほうがむしろ大きくなっており、水平振動のように本震の方が増幅率が低下するような地盤物性の非線形性の影響がみられない。

5 まとめ

- (1)PIの周波数のずれは、不飽和地盤のP波速度のひずみ振幅依存性の影響を受けていると考えられる。
- (2)KNK、TKSでは地盤物性の非線形性の影響は見られない。
- (3)基盤と地表付近のP波のインピーダンス比は鉛直動増幅率の重要なパラメータであると考えられる。

〈謝辞〉本研究で用いた鉛直アレー記録の便宜を図っていただいた関西電力(株)土木建築室、神戸市、関西地震観測研究協議会の関係各位に感謝の意を表します。

〈参考文献〉1)Kokusho, T. and Aoyagi, T. "In situ nonlinear soil properties back-calculated from vertical array records of 1995 Kobe earthquake" International Conference on In situ Measurement of Soil Properties and Case Histories, Bali 2001 pp.473-480.

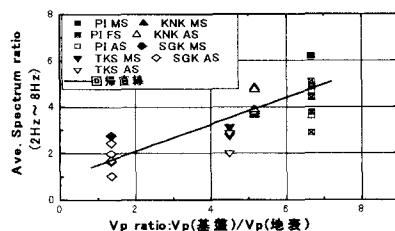


図-7 地表と基盤の間でのスペクトル比の平均値と V_p 比の関係