

中央大学理工学部 学生員 本間昌幸
同 上 正会員 國生剛治
同 上 学生員 青柳寮大

1. まえがき

兵庫県南部地震では、震源近傍での第4紀層の基盤で最大 0.6 G を越える強い加速度記録が観測された。また、震源断層の近傍を含む4地点に設置された鉛直アレー地震観測システムの記録も得られている。これらの記録では、強地震動による地盤の非線形挙動が明瞭に現れ、液状化によって地表の加速度がかえって低減する現象が捉えられた。

本研究では、前報¹⁾に引き続き、新たに地震計の設置誤差を最大コヒーレンス法を用いて検討した角度²⁾により、NS、EW 方向に修正を行ったデータを用い、鉛直アレーの記録での水平地震動において地中と表層地盤との間での地震動の増幅特性を加速度、速度の最大振幅について整理、分析する。そして、それに基づき水平地震動による地盤の増幅特性に与える非線形性の影響を検討する。

2. サイト条件

大阪湾近隣に位置する神戸ポートアイランド (PI)、海南港変電所 (KNK)、高砂発電所 (TKS)、総合技術研究所 (SGK) 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を用いる。ここで最も深い地震計の設置レベルは、PI で GL - 83.4 m、KNK、TKS では GL - 100 m、SGK では GL - 97 m である。これより先は、便宜上最深レベルを基盤と呼ぶことにする。その基盤レベルでの地盤条件は、PI、TKS、SGK では更新統の砂礫層・硬質粘土層であり、KNK では硬質の岩盤である。また、地表から - 20 m 程度までは埋土や沖積の砂や粘性土からなり、特に PI は表層に 17.5 m の厚さのマサ土埋め立て砂層である。

3. 加速度、速度増幅率の分析

以下に示す図は、すべて本震記録を黒印、余震記録を白抜ききの記号とし、それぞれ本震は MS (Mainshock)、余震は AS (Aftershock) と表す。図-1 に地表と基盤の間での水平加速度増幅率と V_s 比の関係を示す。 V_s 比が増加するにつれて基盤と地表間の増幅特性はほぼ右上がりの傾向がある。同図の点線は嶋³⁾が1次元線形重複反射解析で求めた多くの地盤についての伝達関数の最大値と基盤/地表間の V_s 比の関係を示している。また図中の実線は、4地点の本震、余震すべてのデータを最小二乗法により近似した直線である。実線と点線の比は、ほぼ 0.33 程度となっており、実際の地震での増幅特性はそれほど大きくなく、嶋による理論上の伝達関数のほぼ $1/3$ になっていることが分かる。しかし細かく見ると、PI と SGK ではこの近似直線を下回り、TKS では上回る傾向が見られる。また、入力加速度が大きかった SGK、TKS では、余震に比べ本震の方が増幅率が小さくなっていることが分かる。これは、本震と余震で入力地震動の振動数成分が異なっており、以外に地盤物性の非線形性の影響を受けているためと考えられる。PI では、基盤と地表の間での加速度増幅率は1を下回り明らかに表層での液状化による影響を受けている。図-2 は4地点での本震と余震での基盤加速度に対する地表の加速度増幅率の関係を示す。ここで KNK を除く3地点は基盤が土質地盤で V_s 比 = 2~4 であるのに対し、KNK では基盤が岩盤で V_s 比 = 7 であることに注意を要する。また、括弧内に示される PI の余震記録は、本震記録が得られてから数分後の記録であり、明らかに液状化の影響を受けて

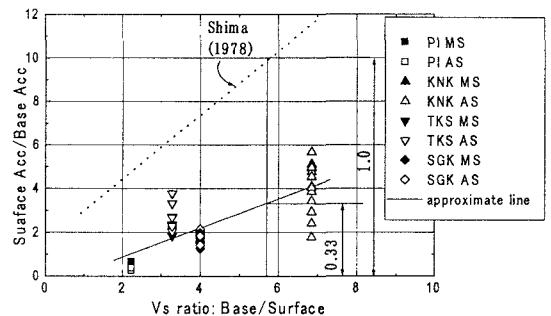


図-1 地表と基盤の間での水平加速度増幅率と V_s 比の関係

キーワード：鉛直アレー、非線形増幅特性、最大振幅

中央大学理工学部土木工学科 (〒112 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1799 Fax03-3817-1803)

いるため³⁾、本解析では除外して考える。また各地点におけるデータを最小二乗法により近似した直線を、KNK は破線、TKS は点線、SGK は一点鎖線で示し、全データの近似直線を2点鎖線で示す。全体的に捉えようと、同程度の Vs 比を持つ3地点の地盤においては、基盤への入力加速度が増加するほど増幅率が減少する非線形性増幅特性が明瞭に現れていると考えられる。各地点ごとに見ていくと、TKS、SGK の2地点では、加速度記録が増加するにつれて増幅率の低下が明らかに見られ、非線形性の影響が現れている。次に、加速度記録を周波数領域で積分して求めた速度波形の最大値について、地表と基盤の間での増幅率を基盤速度に対して示したものが図-3である。図-2同様、全体的に捉えようと、基盤速度の増加による増幅率の低下傾向が現れている。しかし各地点で見ると、TKS には、加速度と同様明瞭な低下傾向が現れているが、SGK では、加速度ほどの低下傾向は捉えられない。つまり速度増幅率では、加速度増幅率よりも非線形性を各地点ごとには捉えにくい。また、図-2、図-3の両図を比べると、速度増幅は加速度増幅率よりもばらつきの幅が大きくなっていて、加速度増幅率よりも速度増幅率の方が明らかに増幅率の絶対値が大きくなっていることが分かる。さらに、液状化を起こすような地震に対しても増幅率が1を下回らず、加速度の様な地表での減少は起こっていない事は明らかである。

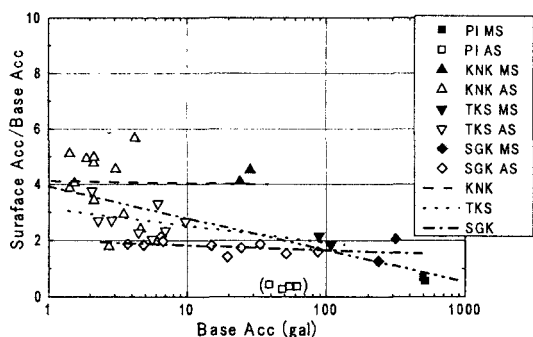


図-2 地表と基盤の間での水平加速度増幅率と基盤加速度の関係

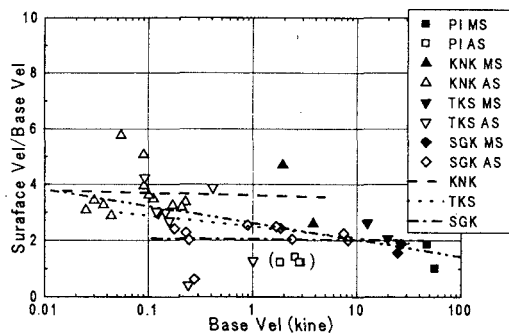


図-3 地表と基盤の間での水平速度増幅率と基盤速度の関係

4. まとめ

- (1) 加速度、速度増幅率には全体的に明瞭な基盤加速度、速度の増加による低下傾向が見られ非線形性による影響がある。
- (2) 速度増幅率は加速度増幅率よりもばらつきが大きくなる傾向が見られる。また各地点ごとにも増幅率の基盤加速度、速度に対する低下傾向は認められるが、速度の方がその傾向は不明瞭である。
- (3) 加速度増幅率よりも速度増幅率の方が増幅率の絶対値が大きく、液状化を起こすような地震に対しても増幅率が1を下回らない。

謝辞 なお今回用いた地震データは関西電力(株)建設部ならびに関西地震協議会より提供頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 國生剛治, 松本正毅: 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, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 3-, pp/602-603, 1977
- 2) 國生剛治, 高橋佳宏, 本山隆一: 兵庫県南部地震のアレー観測における最大コヒーレンス法を用いた地震計設置誤差の評価
- 3) Shima, E. "Seismic microzoning map of Tokyo" Proc. 2nd International Conference on Microzonation, Vol. 1, pp433-443, 1987
- 4) Kokusho, T., Sato, K. and Matsumoto, M. "Nonlinear dynamic soil properties back-calculated from strong seismic motions during Hyogoken-Nanbu earthquake" 11th WCEE, Acapulco, 1996