

兵庫県南部地震の鉛直アレー記録による表層地盤の加速度、速度増幅特性

学生会員 中央大学 本山 寛
正会員 中央大学 國生 剛治
学生会員 中央大学 本間 昌幸

1. はじめに

兵庫県南部地震では、大都市にごく近い断層が震源となり、震源断層付近を含む地盤条件の異なる4地点で鉛直アレー観測システムにより貴重な本震、余震記録が得られた。これらの地震記録からは、地震動の大きさに対する最大加速度の増幅率の非線形挙動を確認することができ、また、液状化により地表における加速度がかえって低減するという現象も確認された¹⁾。しかし、以前行われた研究では最大速度の増幅率についてはあまり明瞭には現れていなかった²⁾。そこで、本研究では観測された加速度時刻歴において、基線に歪みのあるものについて基線補正し、その加速度時刻歴と速度時刻歴を再度算出した。そしてそのように算出し直した。地表と基盤での加速度、速度の最大振幅に基づき最大加速度と、特に最大速度の増幅特性について分析を行った。

2. サイトの条件

今回使用した地震記録は、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)において観測された本震、余震の鉛直アレー記録である。各地点での地震計最深設置レベルは、PIでGL-83.4m、KNK, TKSでGL-100m、SGKでGL-97mであり、これから先、便宜上この深さでの地盤を基盤と呼ぶことにする。各サイトの基盤での地盤条件は、PI, TKS, SGKでは更新統の砂礫層、硬質粘土層であり、KNKは硬質の岩盤である。また、地表から-20m程度までは埋土、沖積の砂、粘性土からなり、特にPIでは表層約17.5mはマサ土による埋め立て砂層となっている。

3. データの補正について

兵庫県南部地震の余震で観測された加速度時刻歴のなかに幾つか基線の歪んでいるものが存在し、それを直接積分して求められる速度時刻歴の基線はさらに歪んでしまうため、加速度、速度の最大値が実際とはかけ離れた値をとっているものが存在した。そこで、今回基線の歪んでいる加速度時刻歴、速度時刻歴のみ基線補正を行った。基線補正の方法は、まず、基線の歪んだ加速度時刻歴に、ある周波数より大きな周波数をカットするローパスフィルターをかけた長周期波形を作る。次に、それを原波形の基線と考え、原波形より差し引くことにより新しい加速度時刻歴を求め、それを直接積分することにより適正であると考えられる速度時刻歴を算出した。また、加速度振幅への影響と基線の補正具合を種々の条件で検討した結果、最も適切なローパスフィルターのカット周波数を0.2Hzと判断した。

4. 加速度、速度の増幅特性の分析

以下に示す図において、塗りつぶされている点は基線補正後の増幅率を示し、白抜きの点は基線補正前の増幅率を示す。また、PIについては、基線補正を行わなかったため基線補正前後の両者とも十字の点で示す。

図1は、基線補正前後の地表と基盤での水平加速度の増幅率と基盤加速度の関係を表したものである。また、()内に示されている4点はPIにおける本震直後の余震であるが、地盤がまだ液状化している影響を受けて増幅率が低下していると考えられるため解析の対象外とする。基線補正前後でほとんどの増幅率の値とその近似直線の傾きにあまり変化が見られなかった。これは、基線補正が加速度の絶対値に与える影響が小さいため振幅の最大値があまり変

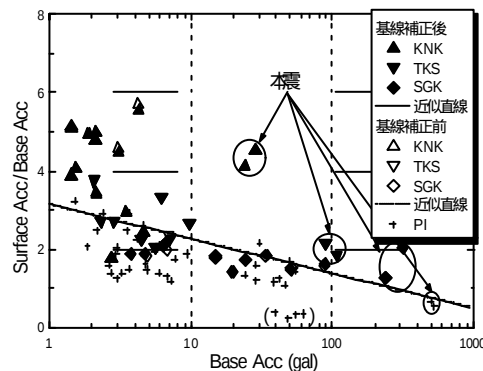


図1 基線補正前後の水平加速度増幅率

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 TEL03-3817-1799

化しなかったからと考えられる。各サイトごとに見ると、KNK では他のサイトと比べ全体的に増幅率が大きく、また、本震、余震を比べると余震より本震の増幅率のほうが大きいものと小さいものが半々ずつ存在し、このサイトだけでは明瞭に非線形増幅特性が現れているとはいえない。また、PI,SGK,TKS では、加速度の増加に伴い増幅率が低下する傾向が見られる。

図2は、基線補正前後の地表と基盤での水平速度の増幅率と基盤速度の関係を表したものである。また、基線補正前の増幅率²⁾の中に3点明らかにおかしな値をとっているものが存在したので、これは解析の際に除外した。速度の増幅率では加速度に比べ基線補正前後でかなり変化が生じた。これは、基線補正前の速度時刻歴の基線が大幅にずれていたため実際の速度とはかけ離れた値をとっていたからと考えられる。基線補正により多少増幅率が減少した点も存在するが、明らかにおかしな値をとっていた3点の増幅率が補正され、どのサイトにおいても速度の増加に伴い増幅率の低下する傾向が見られるようになり、また、プロット点全体の近似直線では基線補正前に比べさらにその傾向が強まったことが示されている。

図3は、基線補正前後の地表と基盤での鉛直加速度の増幅率と基盤加速度の関係を表したものである。水平加速度と同様に、基線補正前後でそれほど差は無い。したがって、増幅率全体の傾向を示す近似直線の傾きも、基線補正前後でほとんど変化しなかった。各サイトごとに見ると、KNK,SGKでは加速度の増加に伴い増幅率が減少する傾向を示すが、TKS,PIでは、明瞭にそのような傾向があるとはいえない。

図4は、基線補正前後の地表と基盤での鉛直速度の増幅率と基盤速度の関係を表したものである。これも、水平速度増幅率と同様に基線補正前後でかなり変化が生じた。各サイトごとに見ると、KNKでは加速度の増加に伴う増幅率の減少が顕著に見られるようになり、TKSにおいても同様の傾向が見られた。SGKにおいては増幅率が1を大幅に下回る点が存在したが、基線補正によりそれが解消された。また、このサイトでも速度の増加に伴う増幅率の低下は見られるが、1個だけ増幅率が1を下回る点が存在した。全体的に見ると、速度の増加に伴い増幅率が低下する傾向が強まった。

これらのことから、それぞれのサイトに差はあるものの、加速度、速度の増加に伴う増幅率の低下が見られ、地盤の非線形性と本震、余震の振動数成分や波動の種類の違いなどが影響してこのような結果が得られたと考えられる。また、図1、図2の比較より、水平震動については加速度の方が増幅率の絶対値が明らかに小さいのに対し、図3、図4の比較より、鉛直方向では速度の方が増幅率の絶対値が小さくなっていることが特徴的に読み取れる。これは、鉛直方向の方が高振動数成分を多く含んでいることを反映していると思われる。

5. まとめ

- 1) 基線補正により鉛直、水平両方向において加速度、速度の増加に伴い増幅率が低下する傾向が確認された。
- 2) 地盤の非線形性と本震、余震の周波数成分や波動の種類の違いなどが増幅特性に影響を与えていると考えられる。
- 3) 加速度と速度の増幅率の大小関係は、水平方向と鉛直方向で異なる傾向を示す。

【謝辞】今回用いた鉛直アレー記録を御提供頂いた関西電力㈱建設部ならびに関西地震協議会に御礼申し上げます。

【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回学術講演会講演概要集、3-B, pp/602-603、1997。2) 國生剛治、青柳察大、本間昌幸：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、第53回土木学会学術講演会講演概要集、1-B, pp/438-439、1998。

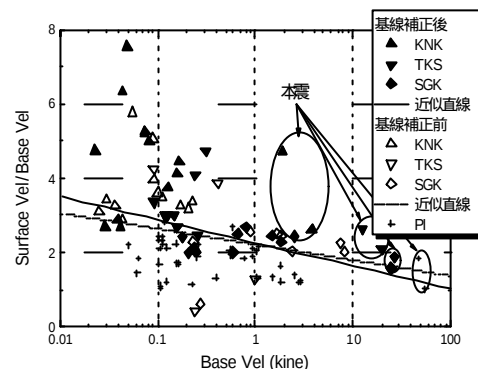


図2 基線補正前後の水平速度増幅率

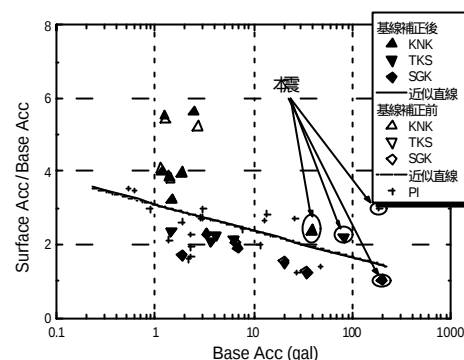


図3 基線補正前後の鉛直加速度増幅率

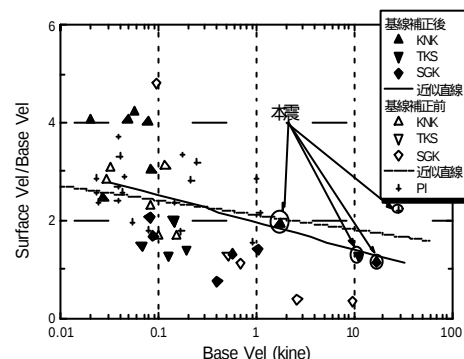


図4 基線補正前後の鉛直速度増幅率