

I - B302 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

中央大学 正会員 國生 剛治*
関西電力（株）正会員 松本 正毅**

1. まえがき 表層地盤での増幅特性は地盤の弾性波速度、減衰定数、密度により基本的に支配されるが、軟質土質地盤においては、地盤物性の非線形性が重大な影響を及ぼすと考えられる。兵庫県南部地震では震源断層の近傍を含む4地点に設置された深さ100m程度の鉛直アレーにより、明瞭な非線形応答を含む貴重な記録が得られた¹⁾。本研究では、これらの記録に基づき、地盤の震動増幅におよぼす非線形性などの影響を検討する。

2. サイト条件と増幅 図1に、大阪湾近隣での4箇所の鉛直アレーサイトの位置を、本震の震央ならびに震源断層に対応した余震分布位置とともに示す。図中に示した矢印は主要動の主軸の方向を表している。図2は各サイトの地層構成、標準貫入試験のN値と板たたき法によるP波S波速度の深度分布および地震計設置深度を示している。もっとも深い地震計の設置レベルはPIではGL-83m、SGIではGL-97m、TKSとKNKではGL-100mである。また、その基盤レベルでの地盤条件はPI、SGK、TKSでは $V_s = 380\text{ m/s}$ の更新統の砂礫層・硬質粘土層であり、KNKでは $V_s = 1630\text{ m/s}$ の硬質の岩盤である。図3にこれら4地点での本震記録に基づいた水平2方向と鉛直方向の最大加速度の深度分布を示す。最深レベルでの最大加速度は、断層に最も近いPIでの 680 gal から最も遠いKNKの 26 gal まで段階的に大きく異なっており、それに応じて表層地盤の増幅も大きく異なっている。このうち、PIとTKSは地表層で液状化が生じたことが確認されており、増幅特性は液状化の影響を受けていると考えられる。

3. 加速度速度増幅率の分析 図4は縦軸に地表と最深レベル（ここでは便宜的に基盤と呼ぶ）の間での加速度増幅率をとり、基盤と地表での V_s の比に対してプロットしたものである。図中の白いマークで示す余震のデータおよびKNKでの本震データはほぼ線形的な応答と考えられ¹⁾、バラツキはかな

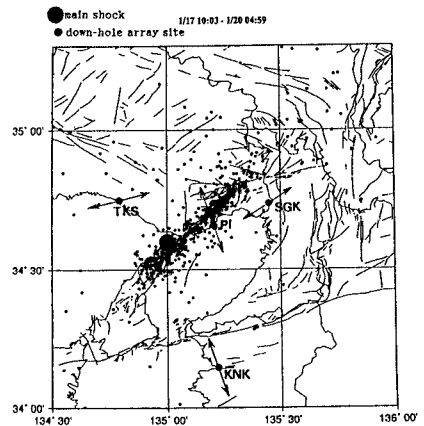


図1 4地点の鉛直アレーの位置と本震・余震の震央分布

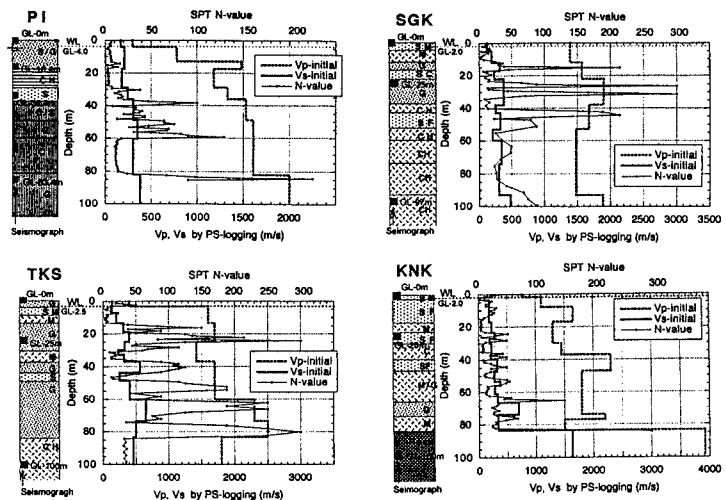


図2 4地点の地盤性状、地震計設置位置、

標準貫入N値・ V_p 、 V_s の深度分布

キーワード：鉛直アレー、震動増幅、地盤物性、ひずみ依存性、せん断波速度

* 中央大学理工学部、03-3817-1798、** 関西電力（株）建設部 06-441-8821

り大きい、 V_s 比に対し図中の実線でほぼ近似できる。同図の破線は嶋²⁾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 比の関係である。実線と破線の比はほぼ0.4程度となっており、この値は定常応答倍率と地震での線形応答倍率の比を表している。この線形応答に比べ、黒丸で示したPI、SGK、TKSでの応答倍率は明らかに下回っており、震動応答の非線形の影響が明らかに表れている。

図5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している。ここでKNKを除く3地点は基盤が土質地盤で V_s 比が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。 V_s 比による影響は明らかに見られるものの、同程度の V_s 比の地盤においては加速度が大きくなるほど増幅率が低下する非線形性増幅特性が表れていると解釈できる。データのばらつきは小さくはないが、近似式を当てはめたものを図中に示している。これによれば $Acc_{base} / 980 = 0.4$ 付近で増幅率は1.0を下回ることになる。次に、加速度記録を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6である。KNK以外の地点についてやはり基盤速度の増大による増幅率の低下傾向が明瞭にあらわれている。しかし図5と比べると、速度増幅率は加速度増幅率よりも明らかに大きく、基盤速度が小さいときは平均3程度に漸近しそうであり、基盤速度が100 cm/sで1.0程度となる傾向が読みとれる。

4. まとめ 加速度・速度増幅率には明確な非線形効果が読みとれる。軟弱地盤での地表と基盤との間の速度増幅率は今回のように液状化を起こす強地震動の場合でも1.0を上回っており、加速度増幅より大きい事が分かった。

参考文献 1) 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) Shima, E. "Seismic microzonation map of Tokyo" Proc. 2nd International Conference on Microzonation, Vol.1, pp.433-443, 1978

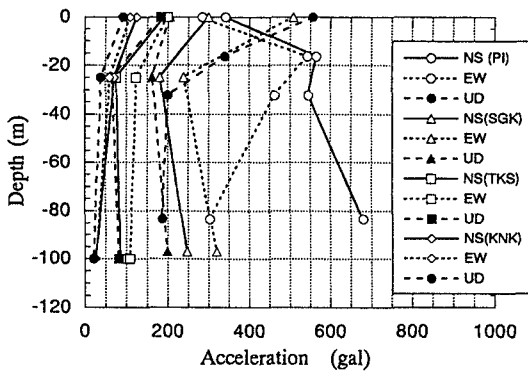


図3 鉛直アレーによる最大加速度の深度分布

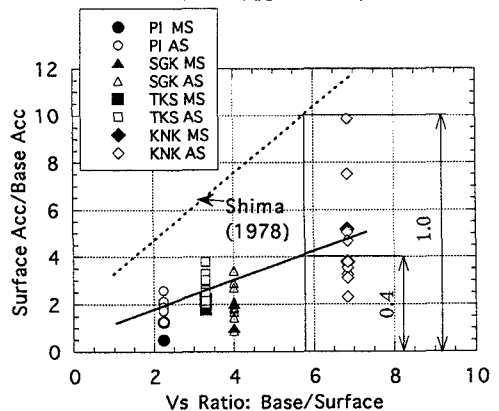


図4 地表と基盤の間での水平加速度増幅率と V_s 比の関係

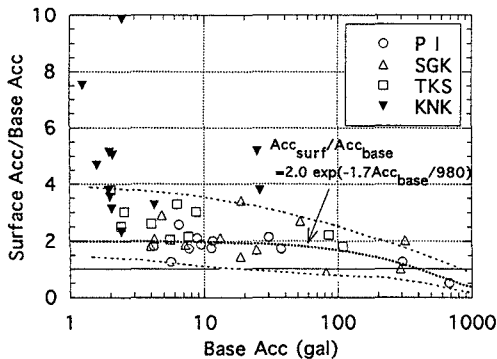


図5 地表と基盤の間での水平加速度増幅率と基盤加速度の関係

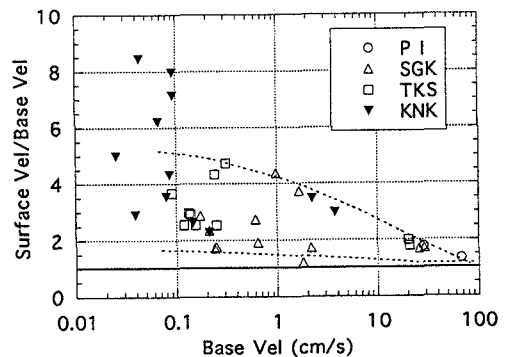


図6 地表と基盤の間での水平速度増幅率と基盤速度の関係