

I-764

1987年千葉県東方沖地震の本震・余震記録を用いた地盤特性の同定

東電設計（株）正会員 栗田哲史 正会員 吉田郁政

1. はじめに

地盤が大加速度の地震を受けたとき、その表層部分では大きな歪みが発生し、見かけの剛性が低下する。このような非線形性も含めた地盤特性の評価は、耐震工学上重要である。本研究では、1987年12月17日千葉県東方沖地震の本震及び余震のアレイ観測記録を用いて、地盤の速度構造と減衰を同定することを試みた。ここで、小加速度の余震記録を用いて線形領域の地盤特性を、大加速度の本震記録を用いて非線形領域まで含む地盤特性を同定した。

2. 地震データ

今回用いたデータは、東京大学生産技術研究所千葉実験所構内に設置された高密度鉛直アレイの記録である。対象とした地震は、1987年12月17日千葉県東方沖地震の本震とそれに引き続き起こった余震5地震である。表-1に地震の諸元を示す。本震の最大加速度は余震に比べて圧倒的に大きい。地表最大加速度はEW成分よりNS成分の方が大きい場合が多いが、今回の検討ではEW成分のみを用いた。

表-1 地震の諸元

記号	マグニチュード	地表最大加速度 (gal)		備考
		EW	NS	
M	6.7	213.6	327.1	本震
A1	4.6	17.2	21.2	余震
A2	4.4	23.8	13.8	余震
A3	4.0	22.5	30.4	余震
A4	4.2	40.6	40.8	余震
A5	5.2	54.9	97.8	余震

千葉実験所のアレイ観測地点では、ボーリング調査、速度検層等の地質調査が行われており、このデータを用いて地盤のモデル化を行った。表-2に地質調査の結果と加速度計の配置の様子[Katayama et al.(1990)]を示す。加速度計は深さ方向に5点設置されており、各々水平2成分と鉛直1成分を持っている。今回の検討では、全深度のEW成分の記録を用いた。図-1にGL-1m/GL-40mのフーリエスペクトル比を示す。図中の太い実線が本震の記録で、他の細線が余震記録を表している。一次のピークで比較すると、本震記録のピークが余震記録のピークよりやや低周波数側に移動しており、非線形性が表れていることが分る。

表-2 地盤構造（地質調査結果）

層厚 (m)	土質種類	S波速度 (m/s)	単体重量 (g/cm ³)	観測点
5	ローム	140	1.15	←◆(-1m) ←◆(-5m)
5	砂混じり粘土	320	1.50	←◆(-10m)
5	細砂	320	1.95	←◆(-20m) ←◆(-40m)
9		320	1.95	
16		420	2.00	
—	—	—	—	—

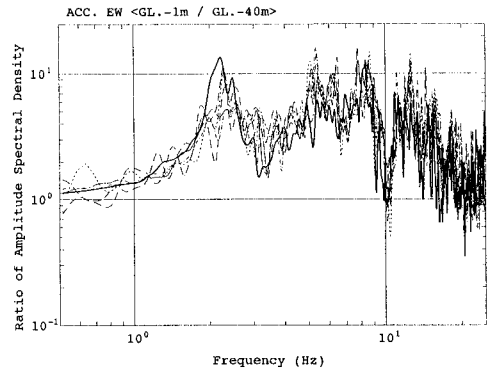


図-1 フーリエスペクトル比

3. 同定結果

本研究で用いた同定手法は拡張Kalman filterを時間領域で定式化している[栗田 他(1993)]。同定解析では各時刻歴の主要動部分を観測データとして用いた。同定を行ったパラメータはS波速度と減衰定数で、単位体積重量、層厚は地質調査の結果を用いた。

表-3に同定結果を示す。地盤構造のうち、S波速度は各層毎に決定できたが、減衰定数は各層毎には決定できず全層均一の値として求めた。余震記録の同定については、5つの地震に対して行った結果の平均値で示している。同定結果のばらつきは、S波速度で変動係数が最大0.15、減衰定数で0.32であった。減衰定数のばらつきが大きいのは、減衰の感度が小さいためと思われる。余震記録は、フーリエスペクトル比で見ると非線形性は表れていないが、PS検層の結果と比較すると同定結果は、第2層、第5層が小さい値となっている。

余震記録を用いて行った同定結果の平均値と本震記録を用いて行った同定結果を比較すると、S波速度は全体的に小さくなっているが、同定結果のばらつきを考慮すると有意な変化をしているのは第1層～第3層の結果と思われる。これらの層の剛性低下は明かに非線形性が影響しているものと思われる。また、減衰定数についても本震の結果は余震の平均値より有意に大きくなっており、歪み増加に伴う減衰の増大と考えられる。

表-3 地盤構造の同定結果

同 定 パ ラ メータ		S波速度 (m/s)					減 衰 定 数 (%)
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	
PS検層		140	320	320	320	420	—
余 震	Ave.	133.8	279.4	323.0	311.0	353.8	2.01
	STD	8.4	41.5	3.5	42.2	33.1	0.65
	COV	0.06	0.15	0.01	0.14	0.09	0.32
本 震		122.0	212.5	293.8	260.8	333.6	3.32

図-2に余震記録(A4)による同定結果を用いて一次元応答解析を行った結果と、観測データとの比較を示す。図中の実線は解析結果、破線は観測記録を示している。GL-5mの成分はコーダ部分で解析と実測とがあまり一致していないが、その他は良く一致している。図-3に本震記録(M)による同様の図を示す。本震記録の場合は、GL-5mの成分も含めた全ての成分で解析と実測は良く一致している。

以上のように、本研究で用いた同定手法により小加速度の余震記録で線形領域の物性を、大加速度の本震記録で非線形の表れた物性を評価できることが確認できた。

4. おわりに

1987年12月17日千葉県東方沖地震とそれに続いて発生した余震5地震の鉛直アレイ観測記録を用いて、地盤物性の同定を行った。余震記録より線形領域の物性を同定し、大加速度の本震記録より非線形性の表れている地盤物性を同定した。両者の比較をすると、本震記録より同定した物性が線形領域の物性に比べて有意に変化している事が確認でき、非線形性が充分評価できることが分った。

謝辞 本研究で用いた鉛直アレイ観測記録は東京大学生産技術研究所の片山恒雄教授のご厚意により使用させて頂いた。本研究を進めるにあたり、武蔵工業大学の星谷勝教授に多くの助言を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

1) Katayama et al. : Earthquake Engineering and Structural

Dynamics, Vol.19, pp.1089-1106, 1990.

2) 栗田・吉田・福井：土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第1部, pp.534-535, 1993年9月.

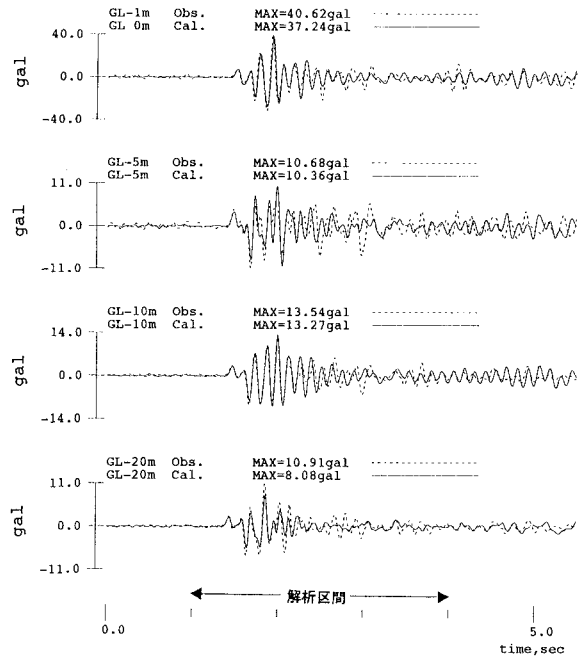


図-2 同定結果と観測記録の比較（余震A4）

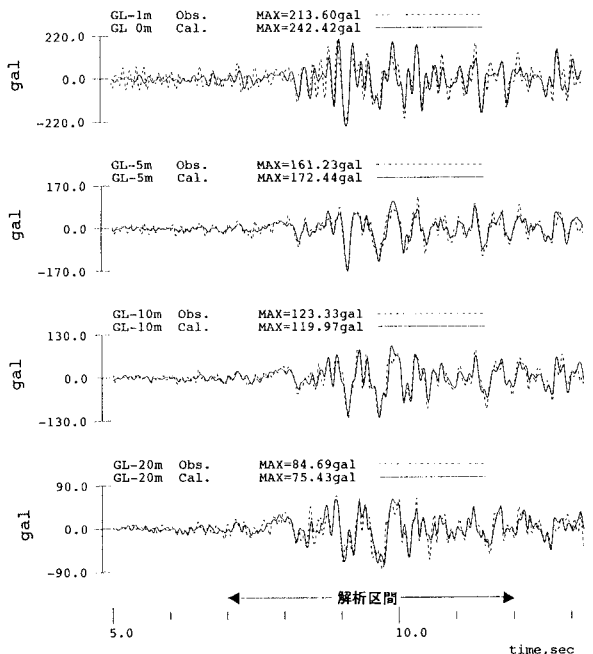


図-3 同定結果と観測記録の比較（本震M）