

和歌山工業高等専門学校

正 員 辻 原 治

徳島大学工学部

正 員 沢 田 勉

徳島大学大学院

学生員 谷 高博

1. はじめに 地表の地震動特性は多くの要因の影響を受け複雑に変化する。なかでも、我が国のように表層に比較的軟らかい層を持つ平野部の地盤は、表層の地盤条件の影響を大きく受けると考えられ、地震時の表層地盤の動特性を明らかにすることは震害を予測する上で必要不可欠となる。現在、地盤の動特性の推定は主にP S検層等の弾性波探査によってなされているが、地震時には大ひずみを生じるために、これらの方法では地震時地盤の動特性を適確に把握できない場合がある。本研究では、近年国内外で多く実施されデータベース化されつつあるアレー観測記録¹⁾を用いて、実地震記録による成層地盤構造の同定を試みる。

2. 同定問題の定式化 地中および地表のうち2観測点で記録されたS H波の重複反射波から、成層地盤の動特性値を推定する。いま、図-1に示すようなn層からなる成層地盤において、第n層と第m層 ($m < n$) の層内で観測記録が得られているものとする。これらの記録のフーリエ変換を $x_n(\omega)$, $x_m(\omega)$ とすると伝達関数 $H(\omega)$ は次式で表わされる。

$$H(\omega) = x_m(\omega) / x_n(\omega) \quad \cdots (1)$$

一方、S H波の1次元重複反射理論より第n層と第m層の伝達関数 $\hat{H}(\omega)$ は地盤特性値（各層のS波速度 (V)、Q値 (Q)、密度 (ρ)、層厚 (H)）とセンサーの位置 (h_m , h_n) の関数として表わすことができる。本研究では、式(2)に示す評価関数Seを最小化することにより、各層

S波速度とQ値の同定を行なう。ただし、各層の密度と層厚は既知として取り扱うものとする。

$$Se = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \{ \hat{H}(\omega) - H(\omega) \}^2 d\omega \quad \cdots (2)$$

3. 解析例および考察 解析には、東京大学生産技術研究所で観測された地震記録のうち、マグニチュードが5以上であり、震源深さの深いものを用いた。ここでは1983年2月に観測された、マグニチュード6.0、震源深さ72km、震央距離35km、地表面下1mにおける最大加速度55galの地震記録を用いた解析例を示す。対象地盤ではボーリング調査が実施されており、水平に近い層構造を持っていることが報告されている²⁾。また観測点ではP S検層も実施されており、これより得られた地盤条件を表-1に示す。地震計は鉛直アレーでG.L.-1m、G.L.-5m、G.L.-10m、G.L.-20m、G.L.-40mに設置されている。各観測点で得られた地震動（加速度記録）は、水平2成分を震央直角方向の振動に変換し、対象とする2点のスペクトル比より伝達関数を求めた。本手法においてはS H波の重複反射を仮定しているので、記録波形よりS H波のみを分離して用いることが望ましいが、ここでは波形の分離はせずに解析を行なった。同定に際しては、G.L.-40mの記録と他の4箇所での記録より得られた伝達関数を対象とし、それぞれについて解析を行なった。また、S波速度の初期値はP S検層より得られた値とし、Q値の初期値は各層とも10とした。図-2から図-4に解析結果を示す。図-2に観測記録から得られた伝達関数とその推定値、図-3および図-4にS波速度とQ値の推定値の深さ方向の分布を初期値と比較して示す。同定されたS波速度は、G.L.-1mとG.L.-40mの伝達関数を用いた場合を除き、各ケースともほぼ同じ値が得られており、それらはP S検層ともよい対応を示している。Q値については、発散を防ぐために上限値(20)を設定した。しかし、収束値はケースご

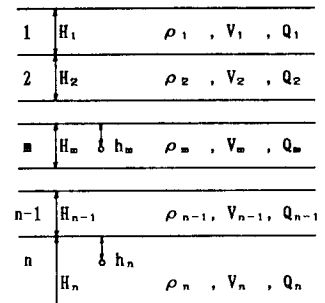


図-1 1次元表層地盤モデル

表-1 P S検層による地盤条件

層番号	層厚 (m)	密度 (kg/m ³)	S波速度 (m/s)
1	5.0	1.35	140.0
2	3.5	1.50	320.0
3	6.0	1.70	320.0
4	10.9	1.70	320.0
5	14.6	1.80	420.0

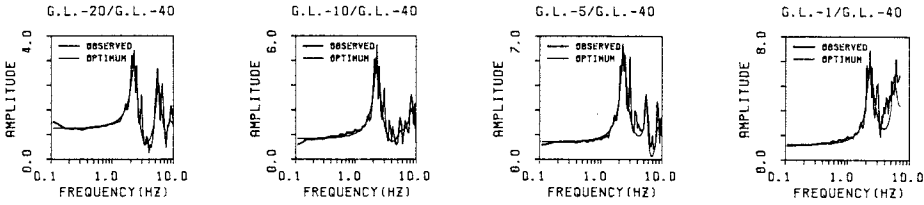


図-2 地盤伝達関数の観測値と推定値

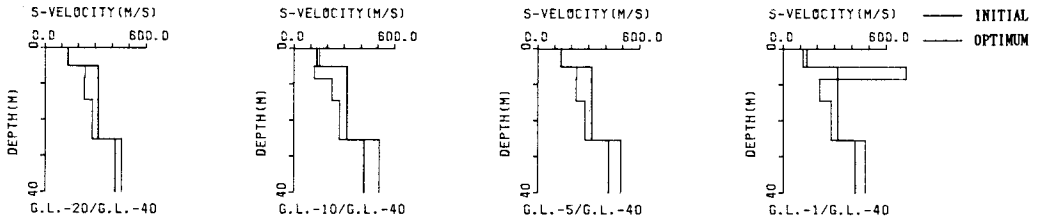


図-3 S波速度の初期値と推定値

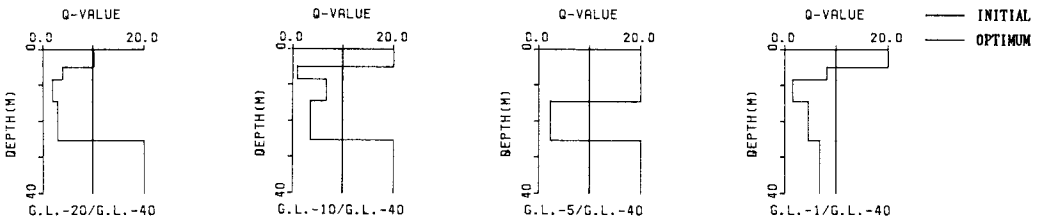


図-4 Q値の初期値と推定値

とに異なっており同定は失敗している。

前述の解析結果において、G.L. -1mとG.L. -40mの伝達関数を用いた場合、第2層目のS波速度の推定値は他のケースにおける推定値と大きく異なっている。これは、各層S波速度の伝達関数に対する感度の違いに原因があると考えられる。表-2に、S波速度の推定値に20%の増減を与えた場合のそれぞれの残差平方和 Se （式（2））に対する感度を、第2層目のS波速度の感度で基準化した値で示す。概して第2層目の感度は小さいが、とくにG.L. -1mとG.L. -40mの伝達関数に対する第2層目の感度は他の層に比較して極端に小さく、この伝達関数を用いた場合の対象地盤の同定の困難さを示唆する。

4. おわりに 鉛直アレー観測記録を用いて地震時地盤の同定を行ない、S波速度およびQ値の同定の可能性を検討した。その結果、伝達関数の残差平方和に対する各層のS波速度の感度が同定結果の精度に影響することがわかった。したがって、地盤構造の同定を目的として鉛直アレー観測を行なう場合には、地震計を適切な位置に設置することが重要であると思われる。

表-2 各層S波速度の感度解析

層 番 号	G.L. -20 /G.L. -40		G.L. -10 /G.L. -40		G.L. -5 /G.L. -40		G.L. -1 /G.L. -40	
	-20%	+20%	-20%	+20%	-20%	+20%	-20%	+20%
1	1.84	1.70	0.80	0.49	2.19	2.77	6.68	7.87
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.80	2.02	1.14	0.95	1.84	1.90	4.62	6.13
4	2.90	3.43	2.50	2.50	1.62	3.65	5.44	8.89
5	3.40	3.59	2.00	1.68	2.91	3.03	6.30	8.83

謝辞 本研究を遂行するにあたり京都大学防災研究所教授、亀田弘行先生には有益なご助言を賜わり、東京大学生産技術研究所教授、片山恒雄先生には地震記録について貴重なご意見をいただいた。また本研究で利用した地震記録は京都大学工学部助手、杉戸真太先生より提供していただいた。記して感謝の意を表わします。

参考文献 1) 杉戸他、アレー観測記録データベース（SMARD）の開発、第19回地震工学研究発表会、1987
2) 片山他、地震動の工学的距離相関特性に関する実証的研究、昭和60年度科学研究費補助金研究成果報告書