

鉛直アレー観測記録から同定したQ値の周波数依存性に関する考察

徳島大学大学院○学生員 谷口智広 神戸市役所 正員 西村 彩
 徳島大学工学部 正員 沢田 勉 徳島大学工学部 正員 平尾 潔

1. はじめに 近年、多くの研究機関で鉛直アレー観測が行われるようになり、それより得られた記録を用いて地震時の実地盤の動特性値 (S波速度とQ値) を同定しようとする研究が盛んに行われている。これらの研究において最近注目されているのは、Q値が振動数に比例して増大すること、すなわち振動数が高くなるほど減衰は小さくなる傾向を示すということである。本研究の目的は、Q値の振動数依存性を精度の良い同定手法 (部分同定法¹⁾) に組み込み、鉛直アレー観測記録を用いた解析から、Q値の周波数依存性を検討することである。

2. 地盤の部分同定法の定式化 地表に近い地盤構造を図-1に示す水平成層地盤で近似し、基盤から鉛直上方にSH波が入射するときに、地中3点で得られた鉛直アレー観測記録より、記録が得られた最上点と最下点の間の各層のS波速度 V_m およびQ値 Q_m を部分的に同定する問題を考える。層厚および密度は、標準貫入試験等により比較的精度よく推定されるため既知とする。いま、図-1において第p層の上面(p点)、第q層内の任意点(q点)および第r層の下面(r点)において同時観測記録が得られているとする。p点、r点で得られる観測記録の複素フーリエスペクトルを $F_{p0}(f)$, $F_{r0}(f)$ とすると、重複反射理論²⁾よりq点での複素フーリエスペクトル $F_q(f; \alpha)$ を求めることができる。ここで、 α は同定すべきパラメータ V_m , Q_m を一般的に表したものである。未知パラメータ α は、q点の観測記録より得られるスペクトル振幅 $|F_{q0}(f)|$ と、上述の理論より求まるq点のスペクトル振幅 $|F_q(f; \alpha)|$ の残差平方和を最小にする次式の評価関数により同定される。

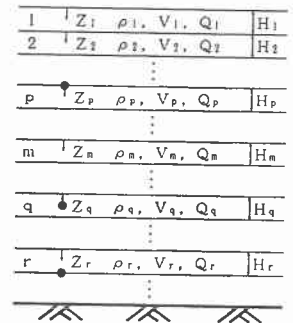


図-1 地盤モデル

$$Se = \sum_{i=1}^{Nf} \{ |F_q(f; \alpha)| - |F_{q0}(f)| \}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 f_i は対象とする振動数領域を分割したときのi番目の振動数点、 Nf はその時の離散振動数点の数である。なお、パラメータ α を決定するための最適化手法として改良SLP法¹⁾を用いる。

3. Q値の振動数依存性の導入 従来の研究から、Q値の振動数依存性を考慮する必要があることが報告されている。ここでは、小林等の研究³⁾を参考にしてこれを次式によりモデル化する。

$$Q = Q_0 f^n \quad (2)$$

ここで、 Q_0 は $f=1\text{Hz}$ のときのQ値、 f は振動数、 n は正の指数である。本研究では、 n は全層一律の定数として次のような14通りの値を与えて同定を行い、スペクトル振幅の残差 (式(1)) が最小になるときの値を最適値として採用する。

$$n = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.5 \quad (3)$$

4. Q値の振動数依存性の同定結果 解析に用いた観測記録は、文献4)の強震動アレー観測記録データベースに集録された、東京大学生産技術研究所 (S1~S3)、西松建設技術研究所 (N1, N2) および電力共通研究の富岡 (T1~T3) の3観測点で得られた8組の鉛直アレー観測記録である。各観測地点ではこれまで多くの地震記録が得られているが、マグニチュードが大きく震源の深い記録を選択し、埋設方位の補正⁵⁾を行った後 Transverse成分に変換した。

(1) 東京大学生産技術研究所 表-1には、S波速度と Q_0 値の同定結果および式(2)の n の値を示す。ここで V_2 , V_3 および Q_{20} , Q_{30} はそれぞれ第2および第3層のS波速度と Q_0 値である。図-2は、表-1の同定値とPS検層値を図にしたものである。図において縦軸は深さを、横軸は図(a)がS波速度、図(b)が Q_0 値を示す。これらの結果より次のことがわかる。

- ① S波速度の同定値はPS検層値との対応がよく、また各記録の同定結果にばらつきが小さいことより妥当な結果が得られている。
- ② Q値の振動数依存性を表す n の値は、S3を省き $n=0.6$ となり振動数依存性が検出できた。また、 Q_0 値の同定値は全体的に小さく得られており、いくぶん信頼性に欠ける結果となっている。

(2) 西松建設技術研究所 表-2には、S波速度と Q_0 値の同定結果および式(2)の n の値を示す。ここで $V_2 \sim V_4$ および $Q_{20} \sim Q_{40}$ はそれぞれ第2、第3、および第4層のS波速度と Q_0 値である。図-3は表-2の同定結果を図にしたものである。これらの結果より次のことがわかる。

① S波速度の同定値はPS検層値との対応がよく、また Q_0 値についても各記録の同定結果が同様な傾向を示していることより、S波速度、 Q_0 値共に妥当な結果が得られている。

② Q 値の振動数依存性を表す n の値が、 $n=0.0$ となり振動数依存性は検出できなかった。この原因のひとつに、3層目が他層に比べて非常に固い層となっていることが挙げられる。

(3) 富岡 表-3には、S波速度と Q_0 値の同定結果および式(2)の n の値を示す。ここで $V_2 \sim V_5$ および $Q_{20} \sim Q_{50}$ はそれぞれ第2、第3、第4および第5層のS波速度と Q_0 値である。図-4は表-3の同定結果を図にしたものである。これらの結果より次のことがわかる。

① S波速度の同定値はPS検層値との対応がよく妥当な結果が得られている。第5層目の V_5 のばらつきが大きくなった原因のひとつとして、S波速度に比べ層厚が小さいことが挙げられる。

② Q 値の振動数依存性を表す n の値は、 T_2 を省き $n=0.5$ となり振動数依存性が検出できた。また、 Q_0 値の同定値はばらつきが大きくなっているが、 T_1, T_2 の同定結果は同様な傾向を示している。

5. まとめ 本研究では、地盤の減衰を表す Q 値の振動数依存性($Q=Q_0 f^n$)を部分同定法に組み込み、鉛直アレー観測記録を用いてS波速度、 Q_0 値および n を同定した。結果を要約すると次のようになる。

① 3地点で Q 値の振動数依存性を検討した結果、振動数依存性が検出された地盤における n の値は、0.5 前後であった。

② S波速度は、比較的精度よく同定されているが、 Q_0 値については記録によるばらつきが大きく、信頼性に欠ける同定値が得られた。

③ 地震計の埋設方位の補正を行ったが、一部の記録（東大生産技術研究所）を除いて補正が正確に行われたか否かが定かでなく、 Q_0 値について安定した同定結果が得られない場合もあった。このことより地震計の方位補正を再検討してみる必要がある。

〔謝辞〕本研究で使用した鉛直アレー観測記録は、東京大学生産技術研究所、西松建設技術研究所および電力共通研究の富岡で得られた記録を（財）震災予防協会が強震アレー観測記録データベースとして集録したものである。記して、関係者の方々に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献 1) 沢田他；土木学会論文集，No. 495/I-28, 1994

2) 土岐憲三；新体系土木工学11・構造物の耐震解析，技報堂，1981，

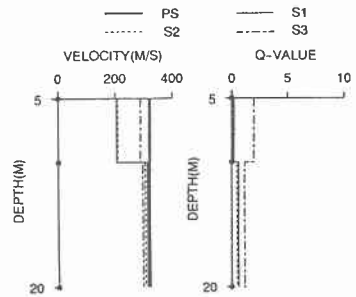
3) 小林他；竹中技術研究報告，第44号pp. 37-45, 1990，4) (財) 震災予防協会：強震動アレー観測記録データベース，No. 1, 1993年，5) 山崎他；土木学会論文集，No. 432/I-16, pp. 231-240, 1992。

表-3 S波速度と Q_0 値の同定結果（富岡）

地震名	S波速度 (m/s)				Q_0 値				n
	V_2	V_3	V_4	V_5	Q_{20}	Q_{30}	Q_{40}	Q_{50}	
T 1	915	1370	1265	2690	3.1	9.0	3.4	10.2	0.5
T 2	583	1473	1056	2544	0.3	25.2	16.5	6.0	0.0
T 3	769	1073	1421	3352	3.9	11.3	2.0	5.1	0.5

表-1 S波速度と Q_0 値の同定結果（東大生研）

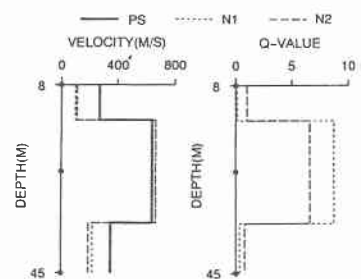
地震名	S波速度 (m/s)		Q_0 値		n
	V_2	V_3	Q_{20}	Q_{30}	
S 1	209	313	0.2	0.6	0.6
S 2	209	305	0.2	0.5	0.6
S 3	288	296	2.0	1.1	0.0



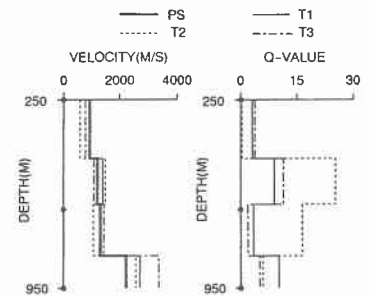
(a) S波速度 (b) Q_0 値
図-2 同定結果（東大生研）

表-2 S波速度と Q_0 値の同定結果（西松建設）

地震名	S波速度 (m/s)			Q_0 値			n
	V_2	V_3	V_4	Q_{20}	Q_{30}	Q_{40}	
N 1	100	665	224	0.1	8.8	0.3	0.0
N 2	111	666	194	1.0	6.6	0.8	0.0



(a) S波速度 (b) Q_0 値
図-3 同定結果（西松建設）



(a) S波速度 (b) Q_0 値
図-4 同定結果（富岡）