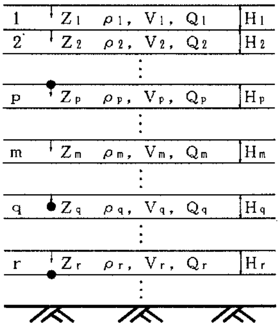
I －620

鉛直アレー観測記録によるQ値の周波数依存性の同定

徳島大学大学院○学生員　谷口智広　　徳島大学工学部　正　員　沢田　勉
徳島大学工学部　正　員　平尾　潔　　和歌山高専　正　員　辻原　治

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値が周波数に比例して増大すること、すなわち周波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値の周波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$F_{po}(f)$，$F_{ro}(f)$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。未知パラメーターαは、ｑ点の観測記録より得られるスペクトル振幅$|F_{qo}(f)|$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

$$Se=\sum_{i=1}^{Nf}\{|F_q(f_i:\alpha)|-|F_{qo}(f_i)|\}^2 \rightarrow \min \qquad (1)$$

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、パラメーター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値の周波数依存性の導入　従来の研究から、Ｑ値の周波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。

$$Q = Q_0 f^{\,n} \qquad (2)$$

ここで、Q_0はf=1Hz のときのＱ値、ｆは周波数、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。

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

４．Ｑ値の周波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。

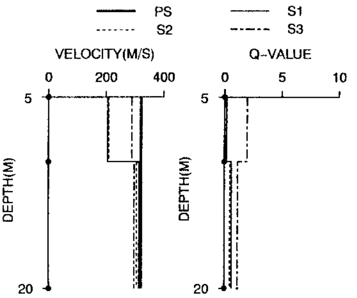
(1) 東京大学生産技術研究所　表-1には、Ｓ波速度とQ_0値の同定結果および式(2)のｎの値を示す。ここでV_2, V_3およびQ_{20}, Q_{30}はそれぞれ第２および第３層のＳ波速度とQ_0値である。図-2は、表-1の同定値とPS検層値を図にしたものである。図において縦軸は深さを、横軸は図(a)がＳ波速度、図(b)がQ_0値を示す。これらの結果より次のことがわかる。

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値の周波数依存性を表すｎの値は、S3を省きn=0.6となり周波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。

表－１　Ｓ波速度とQ_o値の同定結果（東大生研）

地震名	Ｓ波速度 (m/s)		Q_o 値		n
	V_2	V_3	Q_{2o}	Q_{3o}	
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_o 値
図－２　同定結果（東大生研）

(2) 西松建設技術研究所　　表-2には、Ｓ波速度とQ_o値の同定結果および式(2) のｎの値を示す。ここでV_2~V_4 およびQ_{2o}~Q_{4o} はそれぞれ第２、第３、および第４層のＳ波速度とQ_o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_o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_o値共に妥当な結果が得られている。

② Ｑ値の周波数依存性を表すｎの値が、n=0.0 となり周波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_o値の同定結果および式(2) のｎの値を示す。ここでV_2~V_5 およびQ_{2o}~Q_{5o} はそれぞれ第２、第３第４および第５層のＳ波速度とQ_o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値の周波数依存性を表すｎの値は、T2を省きn=0.5 となり周波数依存性が検出できた。また、Q_o値の同定値はばらつきが大きくなっているが、T1,T2 の同定結果は同様な傾向を示している。

表－２　Ｓ波速度とQ_o値の同定結果（西松建設）

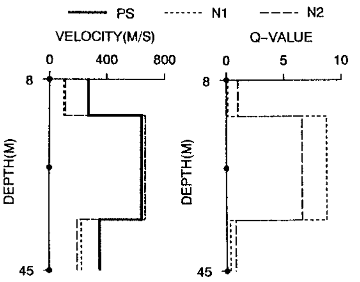
地震名	Ｓ波速度 (m/s)			Q_o値			n
	V_2	V_3	V_4	Q_{2o}	Q_{3o}	Q_{4o}	
N 1	100	665	224	0.1	8.8	0.3	0.0
N 2	111	666	194	1.0	6.6	0.8	0.0

５．まとめ　　本研究では、地盤の減衰を表すＱ値の周波数依存性($Q=Q_of^n$)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_o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。

①３地点でＱ値の周波数依存性を検討した結果、周波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_o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_o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。



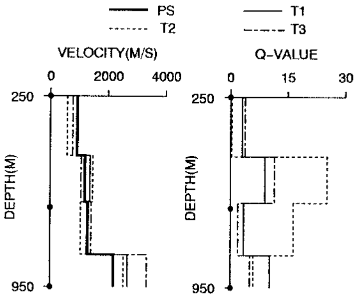
(a) Ｓ波速度　　(b) Q_o 値
図－３　同定結果（西松建設）

［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，No1,1993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_o値の同定結果（富　岡）

地震名	Ｓ波速度 (m/s)				Q_o値				n
	V_2	V_3	V_4	V_5	Q_{2o}	Q_{3o}	Q_{4o}	Q_{5o}	
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



(a) Ｓ波速度　　(b) Q_o 値
図－４　同定結果（富　岡）