

建設省

正員 野田 勝

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎

東京大学生産技術研究所 正員 小長井一男

1. 序 地震波の減衰は、距離に伴う波動の拡散項と媒質内の抵抗による項に分けられ、後者は周波数により減衰が変ると予想できる。本研究では、1985年のメキシコ地震の震源域周辺の岩盤上の加速度記録を用い、地震波の距離減衰の周波数特性を求めた。

2. 距離減衰式 次式を用いて相関解析を行った。

$$\ln A(f) = \ln A_{or}(f) - D(f) \Delta - n \ln \Delta \quad (1)$$

ここで、 $A(f)$ は加速度スペクトル(cm/sec)、 f は周波数(Hz)、 Δ は震源距離を単位距離 $\Delta_0 (\Delta_0 = 1 \text{ km})$ で除した無次元化震源距離、 $D(f)$ は減衰率、 $A_{or}(f)$ は震源近傍の加速度スペクトル(cm/sec)である。これは点震源と均一な媒質の仮定から導かれ、 $n \ln \Delta$ が波動の拡散を、 $D(f)$ が媒質内の抵抗を表す。 n は実体波で1、表面波で0.5、平面波で0になる。

3. 解析に用いた記録 主にGuerrero州の震源域付近の太平洋岸に沿い、約25km間隔で岩盤上に強震計があり、多くの地震記録を得た。この内、震源域からほぼ一直線に並ぶ、Zihuatanejo, El Suchil, Atoyac, El Cayaco, Coyuca, La Venta, Cerro de Piedra, Las Mesasの8点の加速度記録を解析に用いた。メキシコ地震はマルチプルショックであったが、これら8点では距離の近い第2主震が卓越していると考えられるので、 Δ は第2主震の震源距離を用いた。 Δ の範囲は、65~279km である。

4. スペクトル解析の方法 相関解析で用いる加速度スペクトルは、加速度波形の主要部からFFTを用い、バンド幅1 HzのParzenのラグ・ウィンドウで平滑化して求めた。このバンド幅は、通常より大きい値であるが、相関解析に用いることを考慮して、この値とした。

5. 一変数相関解析の結果と検討 式(1)を次のように変形し、 n の値を仮定すると、各点の加速度スペクトルと Δ から、左辺は計算可能である。

$$\ln \{A(f) \Delta^n\} = \ln A_{or}(f) - D(f) \Delta$$

右辺を Δ の一次関数とみなして、各周波数毎に独立変数を Δ 、従属変数を $\ln \{A(f) \Delta^n\}$ とする一変数相関解析を行

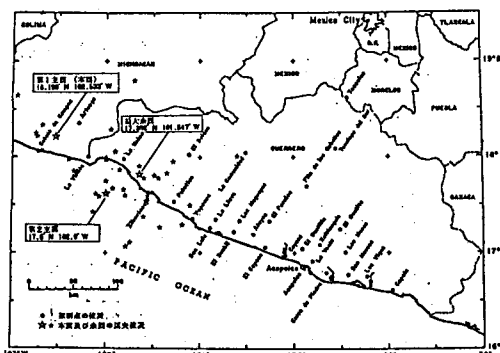


図-1 メキシコ地震の震源域

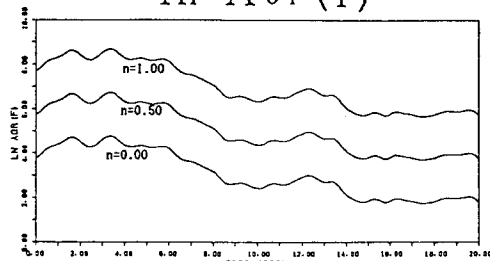
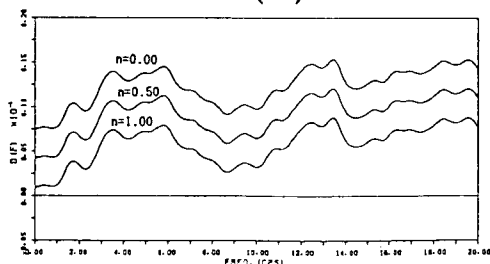
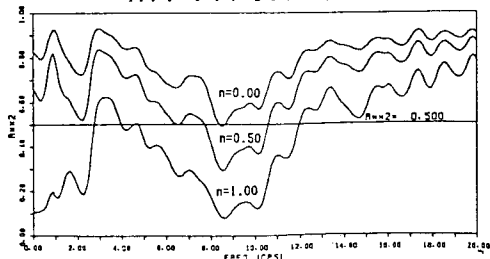
 $\ln A_{or}(f)$  $D(f)$ 相関係数 (r^2)

図-2 一変数相関解析の結果(NS 方向)

い、回帰係数から $\ln A_{or}(f)$ 、 $D(f)$ を求めた。

$\ln A_{or}(f)$ 、 $D(f)$ 、 r^2 (r :相関係数)のスペクトルの例が図-2である($n=1, 0.5, 0$ の3例)。尚、 $r^2=0.50$ を示す線は、回帰係数を0とする帰無仮説に対する検定結果(有意水準0.05)である。これを見ると、 n が小さいほど相関がよい。しかし、地震波が拡散せずに東南東のみ伝わったとは考えにくい。 $D(f)$ は9~10Hzで小さくなっているが、全体的な傾向としては、周波数の増加につれ、減衰が強くなっている。

6. 多変数相関解析の結果と検討 一変数相関解析は、標本数が8個しかなく、予想された n の値では十分な信頼性のある回帰計算の結果は獲られず、 n の値の特定もできなかった。そこで、 $\ln A_{or}(f)$ 、 $D(f)$ を次のように f の多項式で近似し、これらを式(1)に代入すると、

$$\ln A_{or}(f) = b_0 + b_1 f + b_2 f^2 + \dots + b_k f^k$$

$$D(f) = -(c_0 + c_1 f + c_2 f^2 + \dots + c_l f^l)$$

$$\ln A(f) = b_0 + b_1 f + b_2 f^2 + \dots + b_k f^k$$

$$+ c_0 \Delta + c_1 f \Delta + c_2 f^2 \Delta + \dots + c_l f^l \Delta$$

$$+ (-n) \ln \Delta \quad (2)$$

となる。これを、 f 、 f^2 、 $\dots$ 、 f^k 、 Δ 、 $f \Delta$ 、 $f^2 \Delta$ 、 $\dots$ 、 $f^l \Delta$ と $\ln \Delta$ を独立変数とし、 $\ln A(f)$ を従属変数とする、 $(k+l+2)$ 変数回帰式とみなし相関解析から多項式の各係数と n を決定し、 $A_{or}(f)$ 、 $D(f)$ を求めた。

相関解析に用いる周波数範囲は、0~20Hzとし、 k と l は3とした。図-3は、 $A_{or}(f)$ 、 $D(f)$ のスペクトルであり、表-1に n と r^2 の値をまとめた。 n の値は成分によって大きく異なっている。そこで、式(2)の n に関する項を無視して、すなわち拡散項を無視して相関解析を行ってみた。

$$\text{式(2)に代わり、} \ln A(f) = b_0 + b_1 f + b_2 f^2 + \dots + b_k f^k + c_0 \Delta + c_1 f \Delta + c_2 f^2 \Delta + \dots + c_l f^l \Delta \quad (3)$$

を用いた相関解析結果を図-4と表-1に示す。先の結果と比べると、相関係数に殆ど差が無く、 n を含めた相関解析の n の値の信頼性はあまり大きくないと思われる。 $D(f)$ は3成分でほぼ一致しており、0~4Hzまで周波数と共に $D(f)$ も増加し、その後16Hz付近までほぼ一定値を保ち、

16Hz以降再び増加に転じている。 $A_{or}(f)$ は、EW成分が他の2成分と異なっていることがわかる。

7. まとめ 1985年のメキシコ地震の際に岩盤上で得られた加速度記録を用いた相関解析の結果、拡散項の確認はできなかったが、媒質内部の抵抗は高い周波数ほど大きいことがわかった。

参考文献 1) R. YOSHIYAMA: Maximum Amplitude and Epicentral Distance. Bull. of Earthquake Research Institute, Vol. 37, pp389-404, 1959 2) 1985年メキシコ地震災害調査報告、日本建築学会

表-1 多変数相関解析の結果(n 、 r^2)

		NS	EW	鉛直
$n \neq 0$	n	-0.429	0.396	0.034
	r^2	0.91773	0.90269	0.90371
$n = 0$	r^2	0.91698	0.90205	0.90370

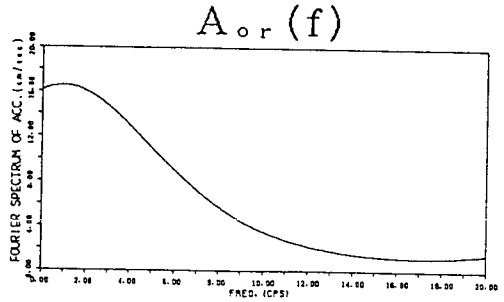


図-3 多変数相関解析の結果(NS 方向)

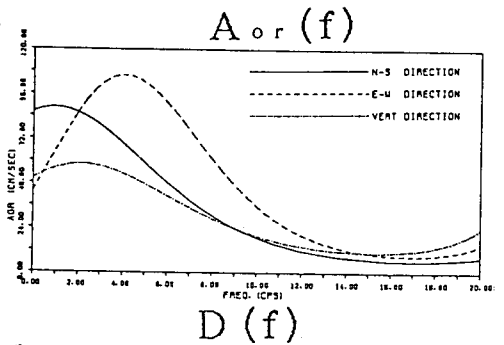


図-4 多変数相関解析の結果($n=0$)