

京都大学防災研究所 正 員 澤田純男
 京都大学工学部 ○学生員 片岡慶太

1.はじめに

震源から放出された地震波が伝播経路において多重散乱することによる影響を、波線理論を用いてモデル化することにより評価する。検討は振幅スペクトル及び群遅延時間スペクトル上でおこない、振幅については1/Qスペクトル、位相については分散群遅延時間スペクトルで評価する。これらを観測記録から求められた値と比較することにより、観測記録に含まれる多重散乱の影響を調べる。

2.多重散乱のモデル化

Hoshiba¹⁾は無数のエネルギー粒子が多重散乱後に観測点へ到達した場合の観測点へのエネルギー寄与をMonte Carloシミュレーションにより求めた。本研究では多重散乱を波線理論に基づいて解釈するために、Hoshibaの考え方を波線理論に適用した。図-1はn次散乱を表すモデルである。図に示すように震源 R_0 から放出された波線は、 R_1 の各ポイントで散乱して観測点 R_r に到達する。 R_i は乱数によって決定され、方位角 θ 及び鉛直角 ϕ については確率がそれぞれ $1/2\pi$ 、 $1/\pi$ の一樣乱数で与えられる等方散乱を考える。また自由行程 S については平均自由行程を g として $g \cdot \exp(-gS)$ の確率で与えられる。各散乱点において $1/2$ の確率で位相が反転するとし、さらに観測点にたどり着くまでに総伝播距離に反比例した距離減衰 $1/D_m$ を受けるとした。総伝播距離は式(1)で表わされる。以上震源から観測点を1本の波線として多数作成し、図-2に示すように波線を重ね合わせる。図-2の横軸はある波線の到達時間であり。縦軸を振幅としている。本研究では、平均自由行程10.0km、地震波の伝播速度3.5km/sとし、20次散乱までの各散乱次数に対するインパルス列を作成した。

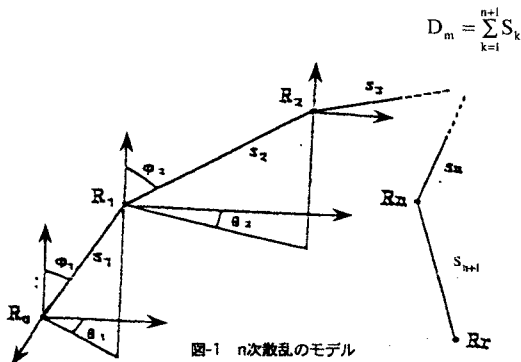


図-1 n次散乱のモデル

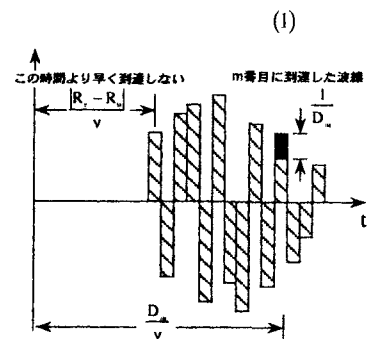


図-2 m番目の波線の到達時間とインパルス列

3.散乱エネルギーの各散乱次数への配分

実際の地震波形は各散乱次数の重ね合わせで表現できると考えられる。Hoshiba¹⁾は各散乱次数のエネルギー W_n を式(2)のように表わした。

$$W_n(t) = \frac{(gvt)^n}{n!} \cdot \exp(-gvt) \quad (2)$$

ここに n は散乱次数、 v は地震波の伝播速度、 t は地震発生からの経過時間、 vt は震源距離を表す。本研究では、20次散乱までのインパルス列のエネルギーが、各散乱次数においてHoshibaのエネルギー配分を満たすようにした。即ち各散乱次数において、振幅の2乗和が式(2)と等しくなるようにした。なお、直達波は0次散乱として計算できる。このようにしてエネルギーの配分をおこなった20次散乱までのインパルス列を重ね合わせることによって、震源距離 vt におけるインパルス列を求めた。震源距離20km、50km、100kmのインパルス列をそれぞれ図-3(a)～図-3(c)に示す。

4.シミュレーション結果と観測記録との比較

図-3(a)～図-3(b)から震源距離が大きくなればなるほど、散乱の影響を強く受け、震動時間が長くなり、

Sumio SAWADA , Keita KATAOKA

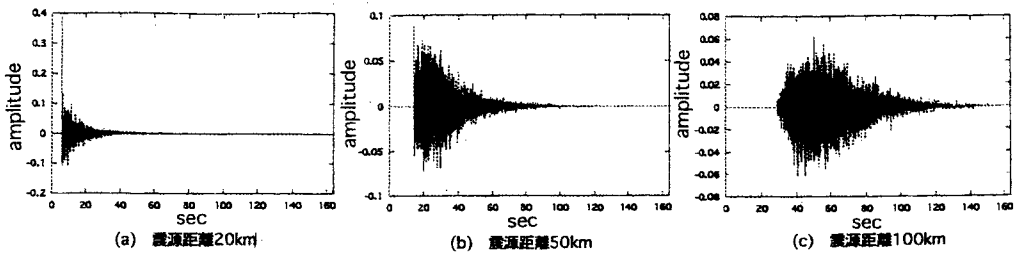


図-3 伝播経路における多重散乱を表すインパルス列

振幅は小さくなるのがわかる。ここで式(3)を用いて伝播経路における減衰効果を表すQ値を求め、これを図-4に示す。

$$A_r(f) = \frac{1}{r} \cdot \exp\left(\frac{-\pi \cdot f \cdot r}{Q(f) \cdot v}\right) \quad (3)$$

ここに、 $A_r(f)$ は時間領域インパルス列をフーリエ変換して求めた周波数領域での振幅で、 r は震源距離を表す。比較のため観測記録から求められた $1/Q$ 値を図-5に示す。図より、観測記録から求められた $1/Q$ は長周期域で増加が止まるのに対し、本研究の $1/Q$ は長周期域でも増加する。また本研究の $1/Q$ の方が約2倍大きいことがわかる。次に各震源距離における群遅延時間、平均群遅延時間、及び分散群遅延時間スペクトルを図-6(a)～図-6(c)に示す。澤田ら²⁾は、減衰の大部分を散乱による減衰と考え、従って地震波の散乱が多ければ減衰は大きくなり $1/Q$ が大きくなるとした。同時に散乱が多ければ群遅延時間は大きくばらつき、分散群遅延時間スペクトルも大きくなると推定し、伝播経路におけるQ値と分散群遅延時間スペクトルの傾きの相関性を指摘した。本研究のシミュレーション結果から得られた分散群遅延時間スペクトルと震源距離の2乗との関係を図-7に示す。図より分散群遅延時間スペクトルはほぼ震源距離の2乗に比例していると考えられる。そこでこの比例係数を各周波数における分散群遅延時間の距離増加係数として図-8に示した。比較のため観測記録から求められた分散群遅延時間の距離増加係数を図-9に示した。観測記録から求められた分散群遅延時間の距離増加係数は短周期になるほど小さくなるのに対して、本研究の結果では短周期になるほど分散群遅延時間の距離増加係数は大きくなった。今後散乱モデルの改良や、観測記録の再吟味などを行う必要がある。

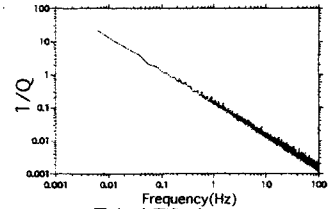


図-4 本研究における $1/Q$ 値

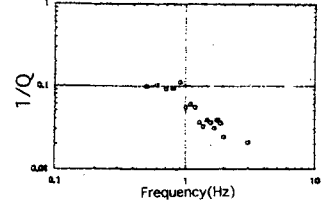


図-5 観測記録から求められた $1/Q$ 値

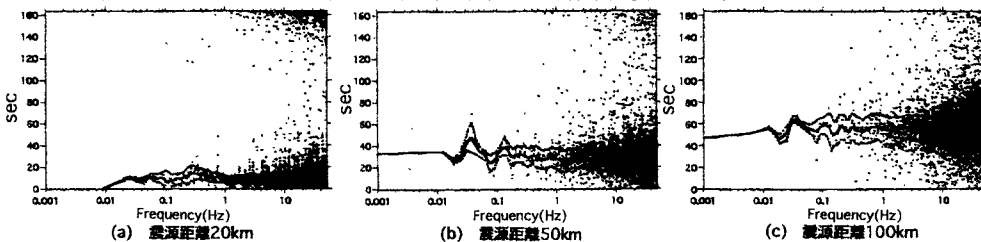


図-6 伝播経路における多重散乱を表すインパルス列の群遅延時間

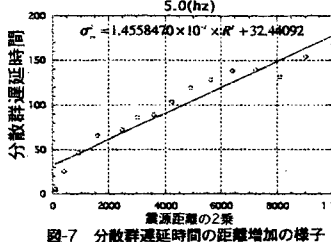


図-7 分散群遅延時間の距離増加の様子

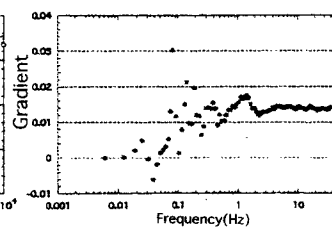


図-8 分散群遅延時間の距離増加係数

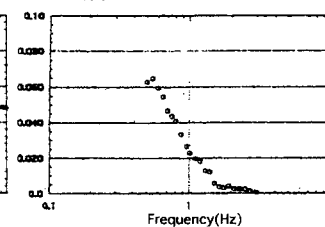


図-9 観測記録から求められた分散群遅延時間の距離増加係数

参考文献：1)Hoshiba,M.: Simulation of multiple-scattered coda wave excitation based on the energy conservation law, Phis. Earth. Plan. In., Vol.67,pp.123-136,1991. 2)澤田・盛川・土岐・横山：地震動の位相スペクトルにおける伝播経路特性とサイト特性、土木学会第51回年次学術講演会、第1部(B),pp.470-471,1996.