

京都大学防災研究所 正 員 土岐 憲三
京都大学防災研究所 正 員 佐藤 忠信
京都大学防災研究所 正 員 清野 純史
京都大学大学院 学 生 員 ○水谷 治弘

1.はじめに 本研究では、多層構造の不整形地盤に平面SH波が入射した場合の地表面での応答波形を計算する。そして、その応答波形の空間相関関数から、位相差による影響と平均パワーの空間分布による影響を取り除き、そうして得られる空間相関関数が、地盤の不整形性やインピーダンスコントラストの違いによって受ける影響を調べる。

2.不整形地盤と空間相関関数 大阪ガス株式会社によってアレー観測が行われている埼玉県北葛飾郡吉川町の地盤をもとに図-1に示す3層構造のモデル地盤を作成した。この地盤に図-2に示される平面SH波(Rickerの波)が入射角 1° で入射した場合の応答波形を用いて解析を行った。この震動解析には、Discrete Wavenumber法¹⁾を多層構造の不整形地盤に適用できるように拡張した堀家の手法²⁾を用いた。

モデル地盤上の地表面の応答波形を、場所 x と時間 t の関数 $u(x, t)$ として表す。このとき、時間に関して定常性を仮定すると、時空相互相関関数 $R(x_1, x_2, \tau)$ は次式で表される。

$$R(x_1, x_2, \tau) = \frac{1}{T} \int_0^T u(x_1, t) u(x_2, t + \tau) dt \quad (1)$$

空間領域における自己相関関数である空間相関関数は、式(1)における時間差 τ を0とすることにより得られ、さらにここでは x_1 を0に固定し、 $x_2 = x$ とすると式(1)は次式のようになる。

$$R(0, x, 0) = \frac{1}{T} \int_0^T u(0, t) u(x, t) dt \quad (2)$$

図-1に示したモデル地盤に平面SH波が入射角 1° で入射した場合の空間相関関数を式(2)を用いて計算したものが図-3(a)である。ただし、ここでは $R(0, 0, 0) = 1$ となるように正規化を行っている。

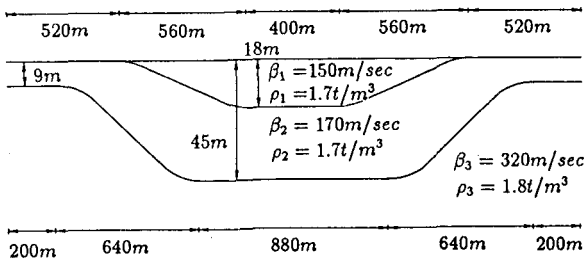


図-1 モデル地盤

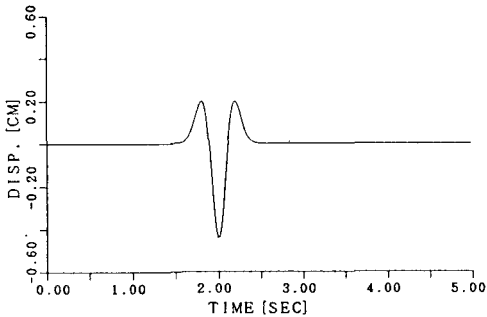


図-2 Rickerの波

3.位相差の影響と平均パワーの空間分布による影響の分離 図-3(a)では、地盤の不整形部分において相関の大きな変動がみられる。また、モデル地盤両端の水平成層部分の相関を見ると、右側の相関が左側のものよりも小さく、この空間相関関数は、2点間の距離が離れるにしたがって徐々に減少していることがわかる。これは地表を伝わる波の見かけの伝播速度による位相のずれに起因している。この見かけの伝播速度による影響を取り除くために、次式により空間相関関数を計算した。

$$R(0, x, \frac{x}{c}) = \frac{1}{T} \int_0^T u(0, t) u(x, t + \frac{x}{c}) dt \quad (3)$$

ここにcは見かけの伝播速度であり、 $c = \beta_3 / \sin \theta$ (θ は入射角、 β_3 は基盤のせん断波速度) で与えられる。

式(3)を用いてモデル地盤における応答波形の空間相関関数を計算したものが図-3(b)である。波動伝播による位相のずれの影響は取り除かれているが、ここでもモデル地盤右端の相関は、左端のそれと比べてわずかながら減少している。これは、Discrete Wavenumber法においてx軸正方向に地盤の内部減衰を考慮しているため、2点間の距離が大きくなるにしたがって徐々に平均パワーが減少するためである。また、地盤の不整形部分にさしかかるあたりでみられる相関の極大値も、平均パワーの空間分布に起因するものである。このような平均パワーの空間相関関数に及ぼす影響を取り除くため、式(3)を2地点の応答波形の平均パワーの平方根で除すことによって、次式で表される空間相関関数を計算した。

$$R'(0, x, \frac{x}{c}) = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u(0, t) u(x, t + \frac{x}{c})}{\sqrt{P(0)} \sqrt{P(x)}} dt \quad (4)$$

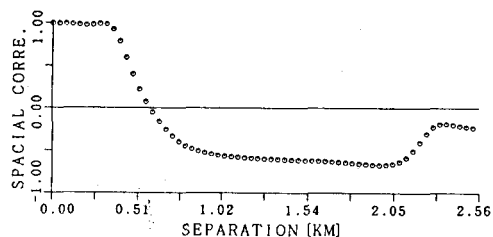
式(4)を用いてモデル地盤における応答波形の空間相関関数を計算したものが図3-(c)である。波動伝播による位相差の影響と、平均パワーの空間分布による影響を取り除いた空間相関関数が、不整形地盤の形状をよく反映していることがわかる。

4. インピーダンスコントラストによる影響 図-4は、各層のインピーダンスコントラストを様々に変えて、空間相関関数を計算したものである。第2層のインピーダンスが第1層のその1.5倍より大きい場合に第1層の境界の形状が顕著に現れ、第3層のインピーダンスが第2層のその1.5倍より大きい場合に第2層の境界の影響が現れている。以上より、インピーダンスコントラスト1.5を境として、これよりも大きい場合には波形に与える境界の影響は無視できないことがわかる。

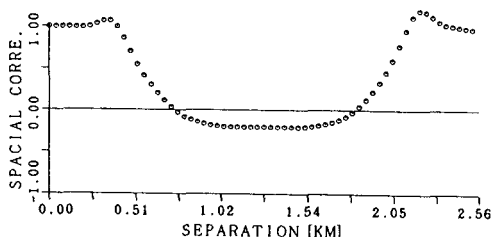
参考文献:1) Keiiti Aki and Kenneth L. Larner: Surface

Motion of a Layered Medium Having an Irregular Interface Due to Incident Plane SH Waves, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, pp. 933-954, 1970.

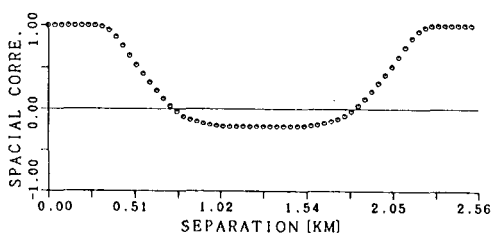
2) 堀家正則: 複数の曲がった境界を有する減衰のある媒質の地震動応答計算法へのAL法の拡張とそれを用いた堆積盆地の地震動の特性, 地震, 40巻2号, pp. 247-259, 1987年



(a) 式(2)による

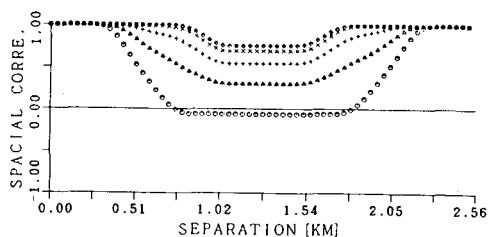


(b) 式(3)による



(c) 式(4)による

図-3 空間相関関数



- IM1:IM2:IM3=1.00:1.00:2.00
- △ IM1:IM2:IM3=1.00:1.25:2.00
- + IM1:IM2:IM3=1.00:1.50:2.00
- × IM1:IM2:IM3=1.00:1.75:2.00
- ◇ IM1:IM2:IM3=1.00:2.00:2.00

図-4 空間相関関数