

I-434

不整形地盤上における地震動の時空分布特性について

阪神高速道路公団 正員 西岡 勉

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三 佐藤忠信 清野純史

1. まえがき 不整形地盤上における地震動は、地盤の不整形性によって地震波の局所的な回折、散乱、反射、屈折が生じ空間的に一様な分布ではない。地震動の時空分布特性に関する既存の研究¹⁾²⁾³⁾では、各地点でのパワースペクトル密度関数は一定とし、空間領域に定常性の仮定を設けているものが多い。しかし、不整形地盤上における地震動の空間特性についてはこの仮定は適切でない。本研究の目的は不整形地盤上における地震動が空間的に一様でなく、定常でないと考え、その時空分布がどのような特性を有し、地盤の不整形性によってどのように影響されるかを明らかにすることである。

2. 地震動の平均パワーと空間相関関数 図-1は埼玉県吉川町の地盤構造をモデル化したものである。

図-1のような不整形な工学的基盤面を有する地盤にSH波が入射する場合を対象として、Aki-LarnerによるDiscrete Wavenumber法⁴⁾を用いて震動解析を行った。この震動解析の結果を用いて、図-2に示される波が工学的基盤に入射したときの地表面上の応答波形を計算した。図-3は、不整形地盤上の各観測点の位置とSH波が入射角 $1^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ で入射した場合の入射波に対する応答波形の平均パワー（時間2乗平均値）比の関係を示したものである。

モデル地盤上の地表面の応答波形を位置 x と時間 t の関数として $u(x, t)$ と表わす。時間に関する定常性を仮定すると、時空相互相関関数

$R_{XT}(x_1, x_2, \tau)$ は式(1)で表される。

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

ここに T は継続時間、 τ は時間差を表わす。

空間領域における自己相関関数である空間相関関数

R_x は式(1)の時間差 τ を0として式(2)のようになる。

$$R_x(x_1, x_2) = \frac{1}{T} \int_0^T u(x_1, t) u(x_2, t) dt \quad (2)$$

ここで、式(2)で $x_1=0, x_2=x$ において式(3)により空間相関関数を計算する。

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

図-4は入射角がそれぞれ $1^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ の場合の空間相関関数を表わしたものである。ただし、 $R_x(0, 0)=1$ となるように正規化を行っている。

3. 地盤の不整形性の抽出 空間相関関数は入射角 θ によってまったく異なる形状をとる。これは基盤を伝わる見かけの伝播速度 $\beta_2 / \sin \theta$ (β_2 は基盤のせん断波速度) が入射角により変化するため、異なる2点間で位相のずれの大きさが違うからである。この見かけの伝播速度による影響を分離するために、各観測点の応答波形から伝播速度に相当する分の位相差を取り除く。すなわち、式(4)から空間相関関数 R_{XT} を計算した。

$$R_{XT}(x_1, x_2, \frac{x_2 - x_1}{c}) = \frac{1}{T} \int_0^T u(x_1, t) u(x_2, t + \frac{x_2 - x_1}{c}) dt \quad (4)$$

ここに、 c は見かけの伝播速度である。これにより、伝播速度の影響を差し引いた空間相関関数が得られる。図-5は式(4)によって計算した空間相関関数である。さらに、式(4)を2地点の応答波形の平均パワーの

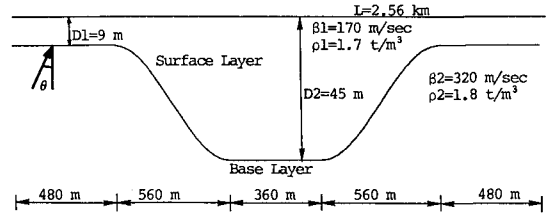


図-1 モデル化した不整形地盤

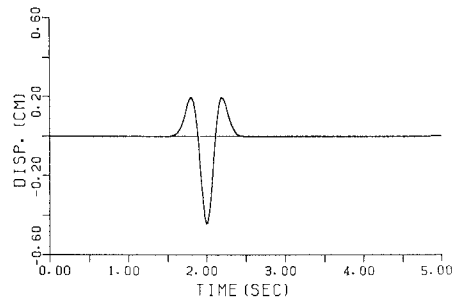


図-2 入射波

平方根で除すことによって、式(5)で表される新たな空間相関関数 R'_{XT} を計算した。

$$R'_{XT}(x_1, x_2, \frac{x_2 - x_1}{c}) = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u(x_1, t)}{\sqrt{p(x_1)}} \frac{u(x_2, t + \frac{x_2 - x_1}{c})}{\sqrt{p(x_2)}} dt \quad (5)$$

ここに、 $p(x)$ は地点 x での応答波形の平均パワーを表わす。式(5)は各観測点の応答波形の平均パワーが一定であり、波動の水平方向の伝播による位相差を取り除いた空間相関関数を意味する。図-6は式(5)によって計算した空間相関関数である。式(5)による空間相関関数は不整形地盤の形状を反映していることがわかる。以上より、図-7に示すように、地表面上で1つの地震に対して多くの地点で観測記録が得られれば、その観測記録の空間相関関数を計算し、伝播速度の影響、平均パワーの空間分布の影響を取り去ることにより地盤の形状が推定できることがわかる。ただし、図-7での基盤の平坦部での浅い層厚 H_1 と、ここで計算される空間相関関数が無次元であることから実際の層厚と空間相関関数の値を対応づけるために記録波形の存在する任意の地点の層厚 H_2 を調べる必要がある。

参考文献 1) 原田他：強震時地動の空間スペクトルとその応用，第17回地震工学研究発表会，pp. 99-102，1983. 2) 川上他：地盤の相対変位・ひずみの推定結果に及ぼす地震波形の変形の影響，土木学会論文集，No. 337，pp. 37-46，1983. 3) 星谷他：空間・時間分布特性を有する地震動シミュレーション，土木学会論文集，No. 386，1987. 4) Aki, K. and K. Larner: Surface Motion of a Layered Medium Having an Irregular Interface Due to Incident Plane SH Waves, J. Geophys. Res., Vol. 75, pp. 933-954, 1970.

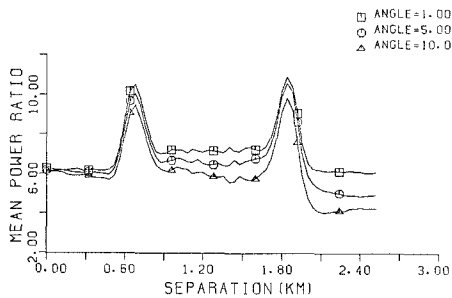


図-3 平均パワーの空間分布（1°, 5°, 10° 入射）

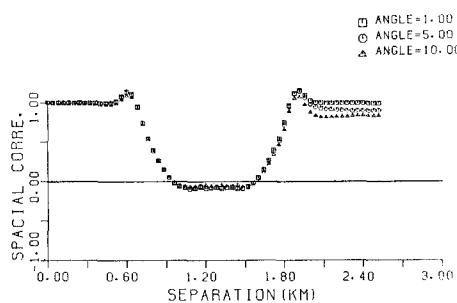


図-5 空間相関関数（位相差なし）

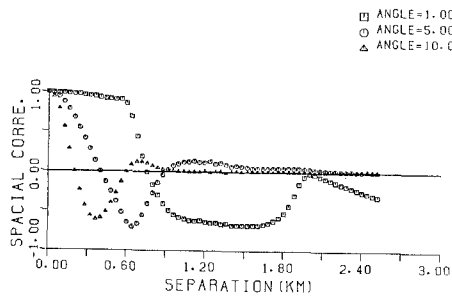


図-4 空間相関関数（1°, 5°, 10° 入射）

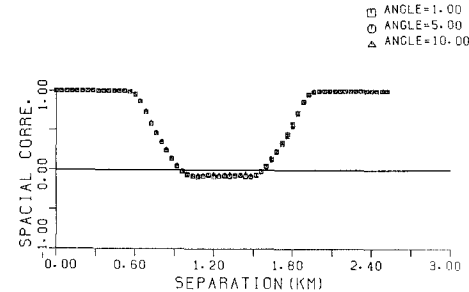


図-6 空間相関関数（位相差なし：平均パワー一定）

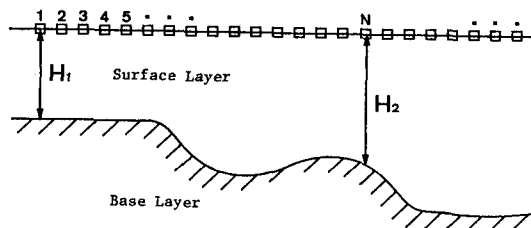


図-7 地盤形状の推定