

I-550

不整形地盤上の地震動の空間分布特性とモデル化について

京都大学防災研究所 正 員 ○清野純史 土岐憲三 佐藤忠信
 京都大学大学院 学生員 水谷治弘

1. まえがき

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し、その応答波形から得られた空間相関関数が、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。また、2 地点間の相対変位の 2 乗平均値を求めるための空間相関関数と自己相関関数のモデル化について考察を加えた。

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。この地盤に平面 SH 波 (Ricker の波) がほぼ鉛直下方 (入射角 1°) から入射した場合の応答波形を用いて解析を行った。この解析手法は、多層構造の不整形地盤に適用できるように拡張された Discrete Wavenumber 法¹⁾である。

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 Ricker の波が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 2(a) である。ただし、各相関係数は $R(0, 0, 0)$ で正規化している。地表を伝わる波の見かけの伝播速度に起因する位相差のため、地盤の不整形部分において相関に大きな変動がみられる。この見かけの伝播速度による影響を取り除いて空間相関関数を計算したものが図 2(b) である。また、波動が空間的に定常でないため、平均パワーが場所によって異なる。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 (2) を各応答波形の平均パワーの平方根で除すことによって空間相関関数を計算したものが図 2(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反映していることがわかる。

図 3 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 倍よりも大きい場合に第 2 層の境界の影響が現れている。これより、インピーダンスコントラスト 1.5 をほぼ境として、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。

3. 相対変位の 2 乗平均値のモデル化

不整形な境界を持つ 2 層地盤上での相対変位応答のモデル化²⁾をもとに、第 1 層と第 2 層のインピーダンスコントラストが 1.25、第 2 層と第 3 層のインピーダンスコントラストが 1.75 の場合について、この空間相関関数と自己相関関数をモデル化し、その相対変位の 2 乗平均値を求めた。この場合、第 1 層と第 2 層のインピーダンスコントラストが 1.5 よりかなり小さいため、第 2 層と第 3 層の間の境界のみを考えた 2 層系地盤のモデル化の適用が可能である。

図4はモデル化した空間相関関数、図5(a)はシミュレーション波形から直接求めた自己相関関数、そして図5(b)はモデル化した自己相関関数である。これらを用いて、次式より図1の左端の点を基準として相対変位の2乗平均値を求めたものが図6である。

$$E[\Delta u^2] = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx} d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{yy} d\omega - 2 \int_{-\infty}^{\infty} \text{Re}[S_{xy}(\omega)] d\omega \quad (3)$$

したがって、多層系の場合でも上述のインピーダンスコントラストを考慮できる場合には2層地盤のモデル化がそのまま適用でき、2地点での観測記録が得られれば相対変位の期待値が求められる。参考文献 1) 堀家: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. 2) 土岐・佐藤・清野:不整形地盤上における地震動の時間・空間分布特性, 第20回地震工学研究発表会, pp.157-160, 1989.

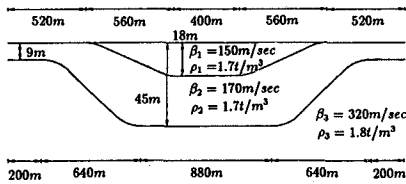


図1 モデル地盤

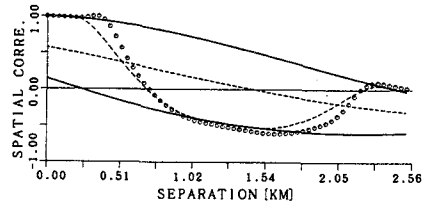


図4 モデル化した空間相関関数

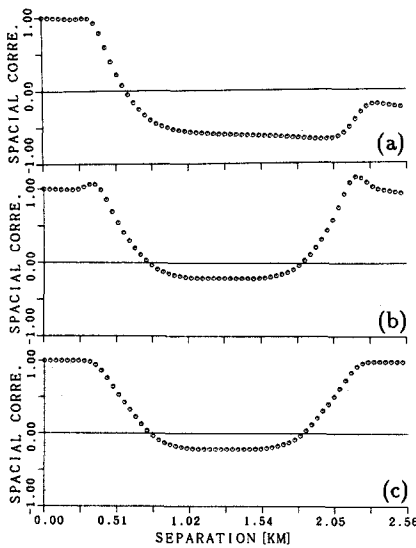


図2 空間相関関数

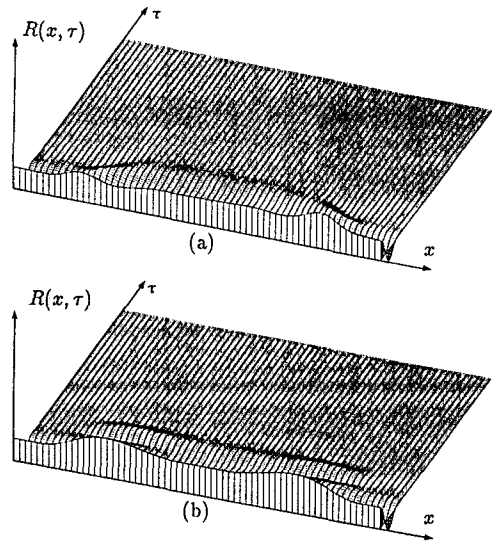


図5 各点の自己相関関数

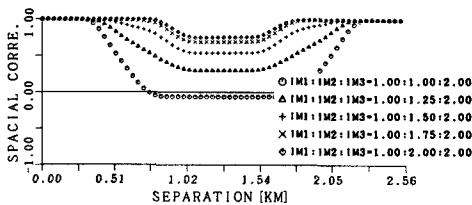


図3 種々のインピーダンスコントラストに対する空間相関関数

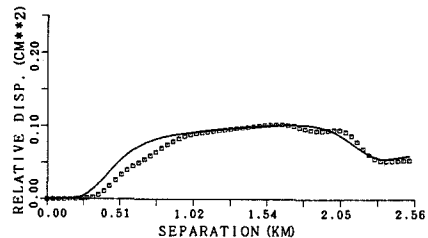


図6 相対変位の2乗平均値