

I-444

不整形地盤上の地震動の時空分布に基づく地盤の相対変位について

京都大学防災研究所 清野純史

京都大学防災研究所 土岐憲三

京都大学防災研究所 佐藤忠信

1. まえがき 慣性力が支配的である上部構造物とは異なり、地中管路などのように展開距離が長い構造物は2地点間の地盤の相対変位や地盤ひずみに大きく影響されるため、その地震時挙動の把握には地震動の時間空間分布特性が重要な要因となる¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。特に不整形な構造を有する地盤では、地震波の局所的な回折、散乱、屈折、反射などによって応答値が局所的に大きく変動するため、このような不整形構造を取り入れた相対変位応答⁵⁾のモデル化が必要となる。本研究では、地震動の空間相関関数が地盤の不整形性によって受ける影響を調べるとともに、そのモデル化を行って不整形地盤上の2地点間の相対変位の期待値を算出した。

2. 不整形地盤と空間相関関数 図-1は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モデル化したものであり⁶⁾、この地盤に図-2に示されるSH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。この震動解析に用いた手法はDiscrete Wavenumber法であり、入射波は周波数帯域が0~5Hzのピンクノイズに包絡線関数を掛けて作成した模擬地震波である。

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 $u(x, t)$ として表わす。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 $R_{XT}(x_1, x_2, \tau)$ は次式で表される。

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

ここで、 x_1 を0に固定し、 $x_2 = x$ とすると式(1)は次式のようにになる。

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

図-3は図-1のモデル地盤の地表面で得られた $\tau = 0.1 \text{ sec}$ における応答波形の空間相関関数と、 $D_1 = 9 \text{ m}$ 、 $D_2 = 45 \text{ m}$ の層厚を持つ水平成層の空間相関関数の比較である。実線1が層厚 D_1 、実線2が層厚 D_2 、そして、□印がモデル地盤の空間相関関数を表している。モデル地盤における空間相関関数は、平坦部分($A \sim B, D \sim E, G \sim H$)ではそれぞれの層厚に対応する空間相関関数と一致しており、地盤の不整形部分($B \sim D, E \sim G$)で相互への遷移が生じている。図中の一点鎖線は、実線で表される2つの成層地盤の空間相関関数の和である。これより、地盤の不整形部分の中央の C, F 点(*)がこの一点鎖線上の対応する点を通ると仮定し、 $A \sim B, C, D \sim E, F, G \sim H$ の各点をSpline関数で近似してモデル化を行った。図-4は x 軸に場所、 τ 軸に時間のずれをとったものであり、(a)は応答波形から直接求めたもの、(b)は上述のモデル化にしたがって作成したものである。この空間相関関数を、ある点 x において τ 軸上でフーリエ変換すれば地点 x でのパワースペクトルが得られる。したがって、これを積分すれば平均パワー(時刻歴2乗平均)の空間分布が計算できる。

3. 2地点間の相対変位 地盤の2地点間の相対変位のスペクトル $S_{\Delta u \Delta u}$ は次式で与えられる。

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

ここに、 $S_{xx}(\omega), S_{yy}(\omega)$ はそれぞれ地点 x, y における応答波形のパワースペクトル、 $S_{xy}(\omega)$ は地点 x と y の応答波形のクロススペクトルを表す。式(3)を用いると地盤の2地点間の相対変位の2乗平均値は次のようになる。

$$E[\Delta u^2] = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx} d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{yy} d\omega - 2 \int_{-\infty}^{\infty} \text{Re}[S_{xy}(\omega)] d\omega \quad (4)$$

式(4)の右辺第一項、第二項はそれぞれ地点 x, y における応答波形の平均パワーに相当し、第三項は式(2)で計算される空間相関関数に相当する。2.でモデル化した平均パワーと空間相関関数を用いて2地点間の地盤の相対変位の2乗平均値を計算したものが図-5の実線である。□印は応答波形から直接計算したものであり、全体的な傾向をよく捉えていることがわかる。

4. まとめ 本手法にしたがえば、不整形地盤形状の概略と各平坦部上の地表面でそれぞれ1つの観測記録が得られれば、不整形部分を含めた地盤全体の相対変位の2乗平均値が計算できる。今後、実観測記録を用いて手法の検証を行う予定である。

参考文献 1) 川上, 佐藤:土木学会論文集, No.337, pp.37-46, 1983. 2) 星谷, 石井, 栗田:土木学会論文集, No.386, pp.359-367, 1987. 3) Harada: 8WCEE, pp.605-612, 1984. 4) 沢田, 亀田: 京都大学防災研究所, 第30号 B-2, pp.89-106, 1987. 5) 原田, 織田, 嶋田: 第17回地震工学研究発表会, pp.99-102, 1983. 6) Toki, Fukumori, Kikuta, Sako and Yanabu: 8WCEE, pp.223-230, 1984

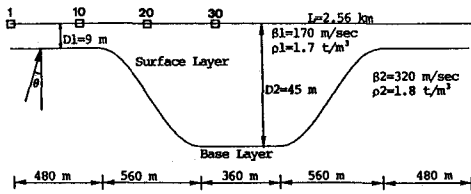


図-1 地盤モデル

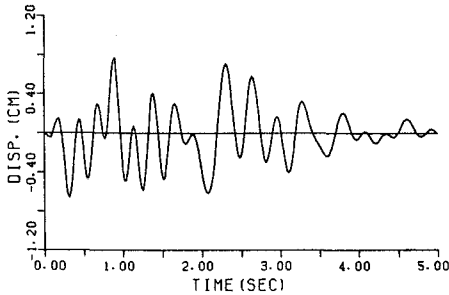


図-2 入力地震波（模擬波形）

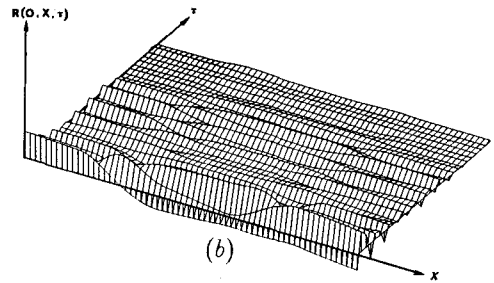
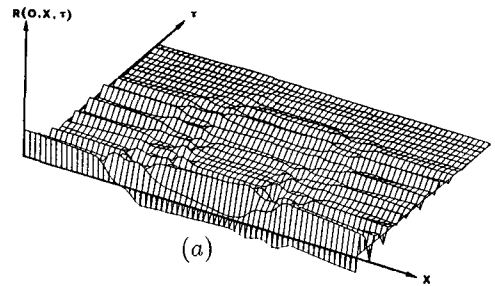


図-4 空間相関関数のモデル化

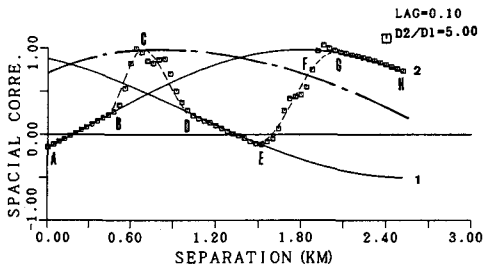


図-3 空間相関関数

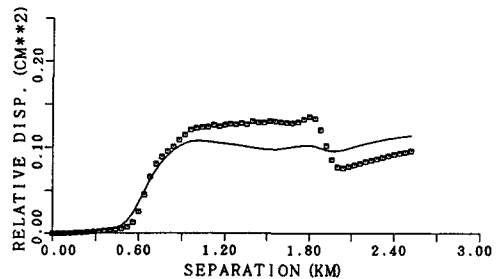


図-5 相対変位の2乗平均値