

I-630

動的確率有限要素法による入力地震動の解析

鹿島建設(株) 正員 ○右近八郎、沖見芳秀、吉清 孝

1. はじめに

筆者らは、確率構造における伝達関数の確率変数軸に対する非線形的変動を評価するために、一質点系の応答を基にした補間関数を用いた動的確率有限要素法を提案し¹⁾、さらに波動エネルギーの消散を目的とするLysmer型の粘性境界を取り入れてその確率論的影響度を評価した²⁾。さらに本報では、パワースペクトルの伝達特性を確率論的に評価し、沖積谷をモデル化した解析モデルを用いて解析を行ったので報告する。

2 解析手法

1) 運動方程式、伝達関数および一次変化率

粘性境界を有する系の運動方程式は、単位調和加速度加振 $e^{i\omega t}$ に対して、次式で与えられる。

$$[M]\{y\} + [K]^*\{y\} = -[M]\{V\}e^{i\omega t} + [T]^T[D]\{\dot{y}_p\} - [T]\{\dot{y}_f\} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 $[M]$: 質量マトリックス、 $[K]^*$: 複素剛性マトリックス、 $[V]$: 加振方向ベクトル、

$[D]$: 境界での粘性係数マトリックス、 $\{y\}$: 相対変位、 $[T]$: 変換マトリックス、

$\{\dot{y}_p\}$: 自由地盤の相対変位

伝達関数および一次変化率に関しては、既報に示す通りである^{1), 2)}。

2) パワースペクトルの伝達特性

伝達関数マトリックスを $[H]$ 、入力クロススペクトルマトリックスを $[G]$ 、応答クロススペクトルマトリックスを $[Z]$ とすれば、 $[Z]$ は次式で与えられる。

$$[Z] = [H]^*[G][H] \quad \text{--- (2)}$$

構造の全自由度を N 、入力点の全自由度を n とすれば、 $[H]$ は $n \times N$ 、 $[G]$ は $n \times n$ 、 $[Z]$ は $N \times N$ のマトリックスとなる。構造内の注目点を p, q とすれば、点 p と点 q でのクロススペクトルマトリックスは 2×2 のマトリックスとなり、 $(1,1)$ の成分は点 p での応答のパワースペクトル、 $(2,2)$ の成分は点 q での応答のパワースペクトル、 $(1,2)$ あるいは $(2,1)$ の成分は点 p と点 q での応答のクロススペクトルとなっている。

3) クロススペクトルマトリックスの統計量

クロススペクトルマトリックスの各成分で平均値と一次変化率を求め、一質点系の応答を基にした補間関数¹⁾を用いて各確率変数軸で補間する。一様入力のパワースペクトルを G_0 、確率変数のスペクトル密度関数を $f_A(\alpha)$ として、補間した伝達関数マトリックスを用いて、点 p での応答のパワースペクトルの平均値および分散は次式で与えられる。

$$E[Z(1,1)] = \int_{-\infty}^{\infty} H_p^* H_p G_0 f_A(\alpha) d\alpha \quad \text{--- (3)}$$

$$\text{Var}[Z(1,1)] = \int_{-\infty}^{\infty} (H_p^* H_p G_0 - E[Z(1,1)])^2 f_A(\alpha) d\alpha \quad \text{--- (4)}$$

点 p と点 q での応答のクロススペクトルの平均値および分散は次式で与えられる。

$$E[Z(2,1)] = \int_{-\infty}^{\infty} H_p^* H_q G_0 f_A(\alpha) d\alpha \quad \text{--- (5)}$$

$$\text{Var}[Z(2,1)] = \int_{-\infty}^{\infty} (H_p^* H_q G_0 - E[Z(2,1)])^2 f_A(\alpha) d\alpha \quad \text{--- (6)}$$

3 数値解析例

図-1に示す有限要素モデルを用いて解析を行った。解析エリアは縦525m、横1835m、要素数584、節点数635、自由地盤は左右とも3物性(左26層、右22層)から成っている。エルセントロ波(N-S)の最大値を100(gal)に基準化したものをx方向に入力した。物性1から物性4のせん断波速度 V_s をそれぞれ1000.0(m/sec)、500.0、300.0、100.0に設定した。物性4に関してはヤング率 $5.88 \times 10^4(kN/m^2)$ 、単位質量 $2.0 \times 10^3(kg/m^3)$ 、ポアソン比0.45、粘性減衰定数0.10である。各構造諸量の変動係数(COV)は、解析領域で0.2、自由地盤で0.1を設定し、空間変動として指数関数($\alpha = 50m$ 、 $\beta = 20m$)による相関を評価した。

図-2に各点の絶対加速度の周波数伝達関数の絶対値を示す。図-3に節点585の周波数伝達関数に対するヤング率による一次変化率の分布を示す。図-4に節点585と節点635の応答のクロススペクトルマトリックスの各成分の平均値を、図-5にその標準偏差をそれぞれ示した。

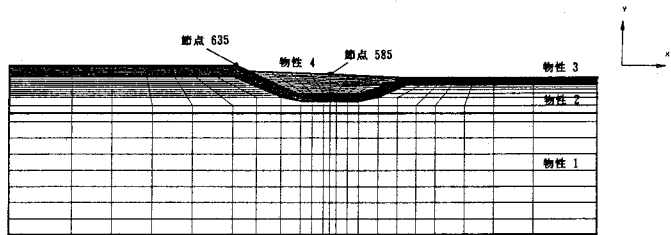


図-1 解析モデル

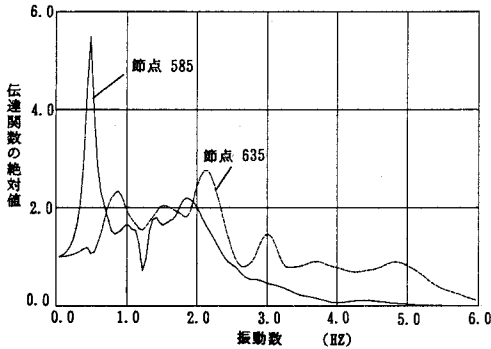


図-2 伝達関数

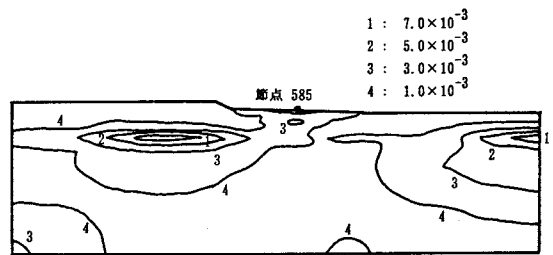


図-3 ヤング率による一次変化率

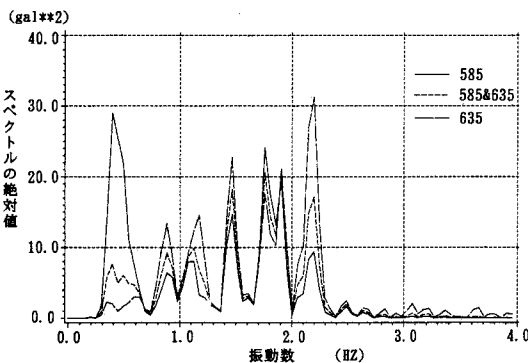


図-4 応答のスペクトルの平均値

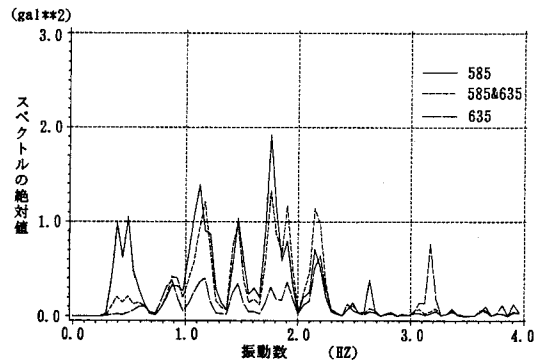


図-5 応答のスペクトルの標準偏差

4. おわりに

動的確率有限要素法を用いて地盤モデルを解析することにより入力地震動の解析的検討を試みた。本報の解析結果では、沖積谷上の地点での地震動の変動が大きいことが示されている。今後さらに、変動係数や採用確率変数に関するパラメータスタディーによる検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) UKON, H., YOSHIKIYO, T., OKIMI, Y., and MATSUMOTO, T.: An Interpolation Function Method for Stochastic FEM Analysis under Dynamic Loads using Frequency Response Analysis, Proc. of JSCE, No.392/I-9, 1988. 4.
- 2) 右近、沖見、吉清: 「不確かな境界を有する確率構造の周波数応答解析」, 土木学会第45回年次学術講演会, I-532, 平成2年9月