

(株) 構造計画研究所 正員 坂元 一雄
 宮崎大学工学部 正員 原田 隆典
 建設省土木研究所耐震研究室 正員 小山 達彦
 建設省土木研究所耐震研究室 正員 川島 一彦

1-まえがき

沈埋トンネル、埋設管、地下タンクなどの地震時挙動に関しては、慣性力が支配的である地上構造物とは異なり、これら地中構造物の耐震性は、周辺地盤の異地点に生じる地盤の相対変位に支配される。そこでこれらの変位分布が地盤条件や、地震波形などの要因によってどのように変わるかを検討することを目的に有限要素法を用いた数値計算モデルを開発したのでその概要を報告する。

2-モデルの概説

ここで開発したプログラムの特徴は、1) 平面歪要素 2) 伝達境界による境界条件の処理 3) 等価線形化法により土材料の非線形性の考慮、と通常の2次元有限要素モデルであるが、出力として、4) 指定時刻における変位分布 5) 空間相関関数 6) 地盤変形スペクトル 等、地盤の地震時空間的変位分布やその特性が求まるように工夫されている。このプログラム"SPATIAL-V"により図-1に示すような分割で、深さ70m、水平距離1200mの砂層と粘性土層からなる地盤の地震時変位分布を計算した。材料表を表-1に示す。基盤に図-2に示す開北橋記録の地震波形を最大加速度120galで10秒間入力した。その結果得られた地表面各点の応答変位波形を図-3に示す。図-1に見るように比較的平坦な地盤においても、地表面の各点では、図-3のように波形が異なっているのが認められる。"SPATIAL-V"では、これらの変位分布の特徴を以下に示すような空間相関関数や、地盤変形スペクトルにより定量化することができる。

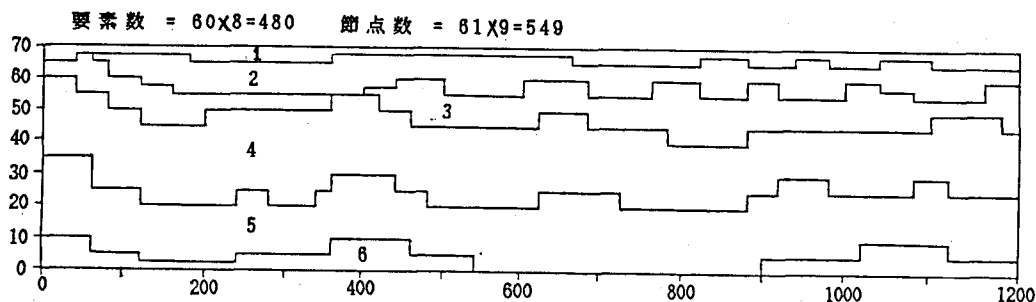


図 - 1 解析に用いた地盤モデル

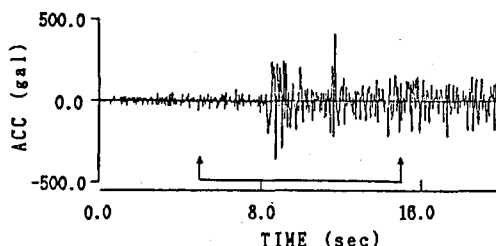


図 - 2 入力に用いた開北橋記録

表 - 1 地盤モデルの材料定数

層番号 (1)	単位体積重量 g/cm ³ (2)	ポアソン比 (3)	せん断弾性係数 kg/cm ² (4)	せん断波速度 m/s (5)
1 砂	1.80	0.48	133.0	85
2 砂	1.70	0.48	287.0	125
3 粘土	1.50	0.48	512.0	200
4 砂礫	1.90	0.48	2050.0	325
5 砂岩	2.10	0.48	5360.0	500
6 砂岩	2.20	0.48	14367.0	800

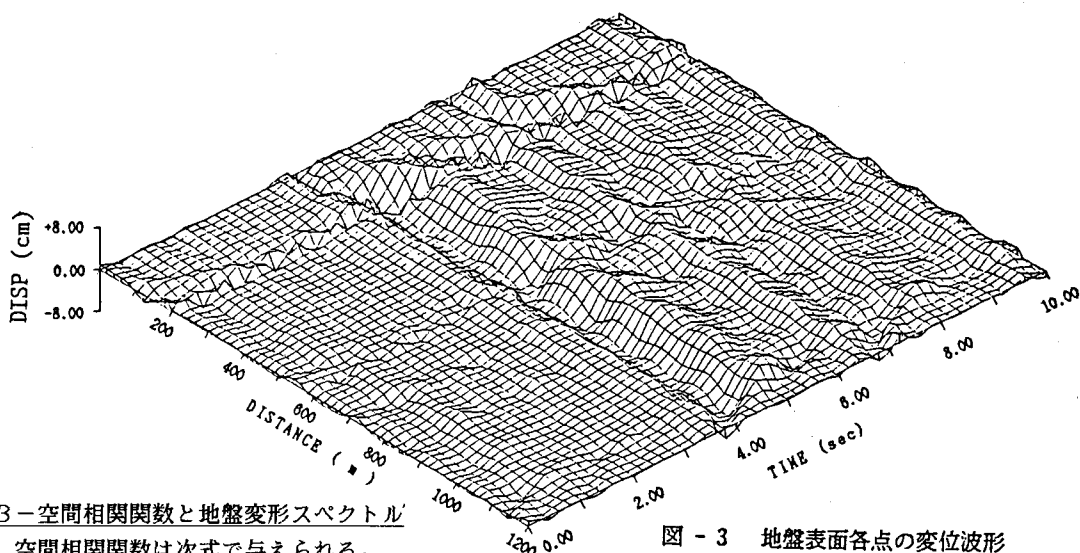


図 - 3 地盤表面各点の変位波形

3-空間相関関数と地盤変形スペクトル

空間相関関数は次式で与えられる。

$$R(\xi) = \frac{1}{T} \int_0^T (u(x+\xi, t) - \bar{u}(t)) (u(x, t) - \bar{u}(t)) dt \quad -(1)$$

ここで $\bar{u}$ は場所による平均値である。図-3の3~10秒間の波形を用いて、式(1)を計算した結果を図-4に示す。これによると、2点間距離が約50mで相関は零となり以後、180m程度の周期で変動するのが認められる。

次に最大相対変位、最大軸歪の特性が2点間距離によってどのように変わるかを見るために、次式で与えられる地盤変形スペクトルを計算した。

$$\begin{aligned} D_{\max}(\xi, x) &= \text{Max} |D(x, \xi, t)| \\ \epsilon_{\max}(\xi, x) &= D_{\max}(\xi, x) / \xi \end{aligned} \quad -(2)$$

ここに $\epsilon_{\max}$ は最大軸歪で $D_{\max}$ は、2点間の地盤最大相対変位で、次式で与えられる相対変位の最大値として与えられる。

$$D(x, \xi, t) = u(x+\xi, t) - u(x, t) \quad -(3)$$

地盤変形スペクトルを図-5に示すが、この例では、170gal程度の地表面平均加速度で、最大軸歪が約 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$ と大きな地盤変形が生じているのが認められる。

参考文献

1) 'ライフライン地中構造物の耐震設計に用いる地盤変動' 建設省土木研究所資料, 第2143号, 耐震研究室 1984

2) Harada.T 'Probabilistic Modeling of Spatial Variation of Strong Earthquake Ground Displacement', Proc.of 8th WCEE San Francisco 1984

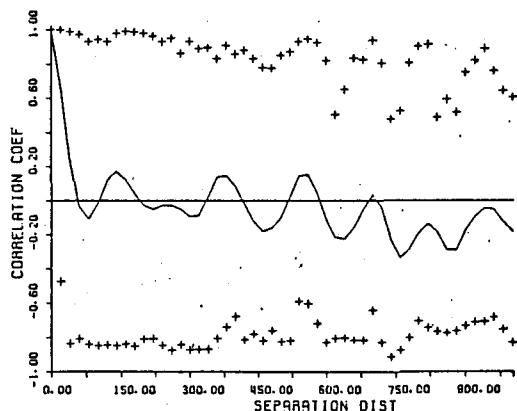


図 - 4 変位分布の空間相関関数

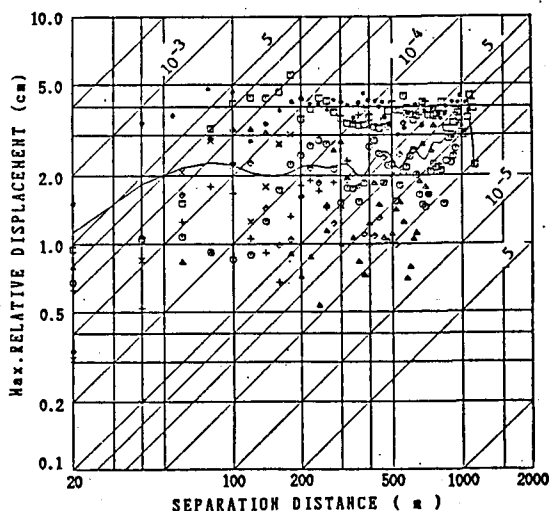


図 - 5 地盤変形スペクトル