

I-39

地震計アレー観測記録による地盤変形スペクトルの解析について

宮崎大学大学院 学生員 ○織田 隆夫
宮崎大学工学部 学生員 真弓 省吾
宮崎大学工学部 正員 原田 隆典

1. まえがき 地中構造物の耐震性は、地震動の空間的変動に強く影響される。したがって、地震動の空間的変動に関する特性を工学的に整理する必要がある。図-1はSMART1による最大加速度の空間分布の一例である(X軸がEW, Y軸がNS)。この領域の地盤はある程度一様であるにもかかわらず、最大加速度は空間的に大きくばらつくことが認められる。本文では、このような地震動の空間的変動を確率過程理論を援用して、“地盤変形スペクトル”としてまとめたので報告する。

2. SMART1データの確率的解析²⁾ SMART1では同時観測のできる地震計が図-2に示すように配置されている。本報告の解析は、1981年1月29日、M=6.9の地震(Event 5)の加速度記録の強震部分7秒間を対象とした。まず、この加速度記録を変位に変換し、次に、地震動の伝播方向等の推定を目的に、各地点の記録に対して座標軸を回転させて、uとvの相互相関($E[u(t)v(t)]$)が零になるよう座標回転角φを求めた(図-2参照)。全地点での平均的な値として、φ=77°を解析に用いることとする。φ=77°に対する座標軸に関して、EW成分とNS成分を変換したものをそれぞれ $u_i(t)$, $v_i(t)$ (i地点)とし、これらが定常均質過程とすると、地震時の地盤の空間相関関数は、(1)式により決定できる。(1)式において、 z_1, z_2 は2地点間のそれぞれx方向, y方向の距離、 T_u は継続時間である。なお、ここでの空間相関は、各波形の2乗平均でその波形を正規化して得られた波形に対して、(1)式を用いて計算した。こうして求めた空間相関を(2)式のように近似してみた。(2)式において、 α は地盤の変動を規定するパラメータで(メートル)^{1/2}の次元を持ち、 σ_u, σ_v はそれぞれx方向, y方向での地盤変位の標準偏差である。 α の値を決定するために、(1)式より計算したEvent 5の空間相関(↑↓)と $\alpha_{u1}=8.8388 \times 10^{-4}$, $\alpha_{u2}=\alpha_{u1}/5=1.7678 \times 10^{-4}$ として(2)式より求めた値(↑↓)を同時に図-3のように插いた。両者のよい一致が認められるが、 R_{uv} に関してほぼ同様な結果が得られた。次に、地震時の地盤ひずみについて考える。一般に、2次元的なひずみは、(3)式の

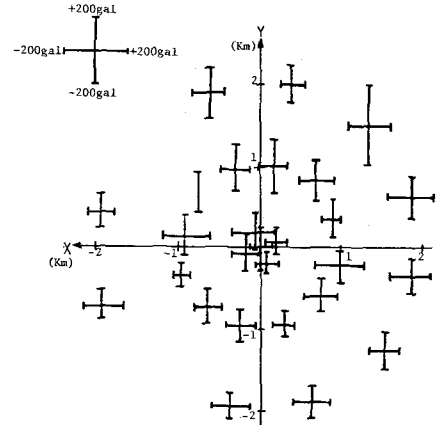


Fig.1 Spatial Distribution of Maximum Ground Acceleration, Event 5

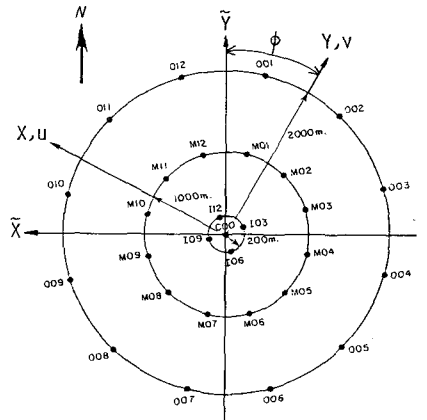


Fig.2 SMART1 Strong Motion Array

$$R_x(\xi) = \frac{1}{T_u} \int_0^{T_u} x(x, t) x(x + \xi, t) dt \quad \text{----- (1)}$$

$$R_x(\xi) = \sigma_x^2 \exp[-|\xi|^2 \alpha^2] \cdot [1 - 2|\xi|^2 \alpha^2] \quad \text{----- (2)}$$

$$B = \lim_{z_1, z_2 \rightarrow 0} C \cdot D \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 $B = \begin{bmatrix} E_{xx} & E_{xy} \\ E_{yx} & E_{yy} \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} u(x+z_1, y) - u(x, y), u(x, y+z_2) - u(x, y) \\ v(x+z_1, y) - v(x, y), v(x, y+z_2) - v(x, y) \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} \frac{1}{z_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{z_2} \end{bmatrix}$

$$E_{\max} = \{E_{x\max}, E_{y\max}, E_{xy\max}\}^T \quad \text{----- (4)}$$

ここで、 $E_{x\max} = E_{xx\max}$, $E_{y\max} = E_{yy\max}$, $E_{xy\max} = \sqrt{(E_{xy\max})^2 + (E_{yx\max})^2}$

ように各要素ごとに表現できよう。したがって、ひずみを求めるには、(3)式中のDで与えられる4種類の相対変位を求めなければならない。この4種類の相対変位の最大値 d_{max} は、確率的

に計算すると次式により求められる。

$$\frac{d_{max}}{\sigma_D} = \begin{cases} \sqrt{2 \times 1.3 \ln(1.25 \frac{a_0}{A})}, & (a_0 \geq 1.72A) \\ \sqrt{2}, & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

----- (5)

$$\frac{d_{max}}{\sigma_D} = \begin{bmatrix} \frac{d_{xxmax}}{\sigma_{Dxx}} & \frac{d_{yzmax}}{\sigma_{Dyz}} \\ \frac{d_{yxmax}}{\sigma_{Dyx}} & \frac{d_{zymax}}{\sigma_{Dzy}} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} A_{Dxx} & A_{Dxy} \\ A_{Dyx} & A_{Dyy} \end{bmatrix}$$

(5)式において、 a_0 , A はそれぞれ2次元ポアソン過程における対象領域面積、震を横切る平均面積であり、 σ_D は相対変位の標準偏差で、主の関数として求められる。したがって、相対変位の最大値 d_{max} は2地点間距離 z の関数として最終的に求めることができる。これより、(1)式により、ひずみ要素Bを主の関数として計算できる。図-4の実線は、Event 5のデータからこのようにして求めた相対変位の最大値 d_{max} 、地盤ひずみ要素の最大値 B_{max} と2地点間距離 z の関係を示す。また、データから直接計算したものを{●, ▲, ○, △}で示している。なお、ひずみ要素は、(3)式の関係より、両対数軸の45°方向の軸として描かれている。このように、地震計アレー観測記録の解析から、図-4で示すような“地盤変形スペクトル”を描くことにより、2地点間の最大相対変位や最大地盤ひずみが次のように求められる。

3. 例題 図-4の“地盤変形スペクトル”を用いて、C-00地点とM-07地点(図-2参照)の間の最大相対変位と最大ひずみを求めてみる。まず、両地点の距離 z を計算すると、 $z_1 = 885(m)$ 、 $z_2 = 471(m)$ となる。次に、 z に対応する4種類の最大相対変位を図-4の実線から読み取ると、 $d_{xxmax} = 2.5(cm)$ 、 $d_{yzmax} = 2.0(cm)$ 、 $d_{xyx} = 0.36(cm)$ 、 $d_{zyx} = 0.27(cm)$ となる。最後に、(3)、(4)式を用いてC-00—M-07地点間の平均最大地盤ひずみを計算すると、 $\epsilon_{xmax} = 2.8 \times 10^{-5}$ 、 $\epsilon_{ymax} = 5.7 \times 10^{-6}$ 、 $\epsilon_{zmax} = 2.4 \times 10^{-5}$ が得られる。

(参考文献) 1) Loh, C.H., Borgen, J., Tsai, Y.B. “Engineering Analysis of SMART1 Array Accelerograms” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 10, No. 4, July-August, 1982, 2) Narada, T. “Probabilistic Modeling of Spatial Variation of Strong Earthquake Ground Displacements” *Proc. of the 8th WCEE, San Francisco, 1984*

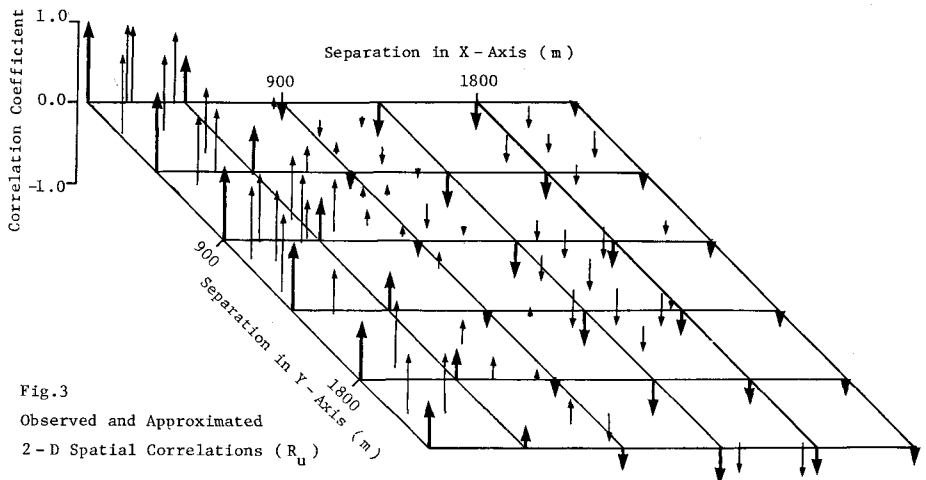


Fig. 3
Observed and Approximated
2-D Spatial Correlations (R_u)

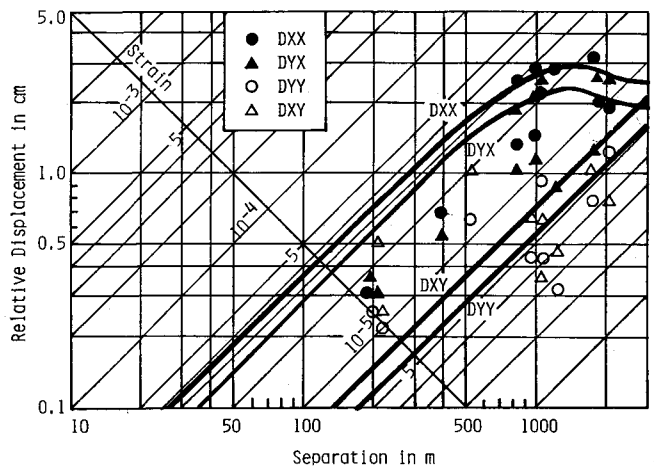


Fig. 4 Spectra of Relative Displacement and Ground Strain
from the SMART1 Data (Event 5)