

地中埋設管震害統計資料による強震時地盤変位分布特性について

宮崎大学工学部 学生員 日高 治  
 宮崎大学工学部 正 員 原田 隆典

1. まえがき 近年、地中構造物の合理的な耐震設計のために、2地点間の相対変位を示す地震動特性に関する工学的情報が求められている。昨年度は、地中埋設管震害統計資料を用いて、地震動の工学的平面分布特性を推定する方法と、簡単な解析例を示したが<sup>1)</sup>、本小文では、前回のモデルを改良し、又モデルに含まれるパラメータの感度分析を実施し、強震時地盤変位分布特性の推定を試みたので、その概要を報告する。

2. モデルの概説 地震動の平面分布特性を表わす1つの工学的特性値として空間相関関数や空間パワースペクトル(密度関数)がある。以下この空間パワースペクトルを地中埋設管震害統計資料より求める手法を述べる。地震動変位 $r(x)$ の場所 $x$ に関する空間パワースペクトルを $S_u(k)$ とし、地震時、埋設管の軸方向の力のつり合い式から、埋設管の軸方向変位 $u(x)$ のパワースペクトル $S_u(k)$ は(1)式で与えられる。(1)式で $K_H$ は地盤の水平ばね定数、 $E_s$ は埋設管のヤング率および断面積である。埋設管の歪および歪の変化率の標準偏差を $\epsilon_1, \epsilon_2$ とし、埋設管の地震時破壊歪を $\epsilon_a$ とすると、ライスの公式により(2)式の様に埋設管1km当りの平均破壊箇所数が求まる。ここで空間相関関数の一般的な形が不確定なため、(3)、(4)式を仮定する。ここで $D_1, D_2$ は場所と共に変動する地震動変位の標準偏差で、 $b_1, b_2$ は空間的変動量を規定するパラメータである。(3)、(4)式をフーリエ変換することにより(5)、(6)式が求まり、これを(1)、(2)式に代入して次式を得る。

$$S_u(k) = \frac{\epsilon^2}{(k^2 + \epsilon^2)} S_r(k), \quad \epsilon = \sqrt{\frac{K_H}{E_s}} \quad (1)$$

$$V_F^* = L_e^{-1} \exp\left[-\frac{\epsilon_a^2}{2\epsilon_1^2}\right] \quad (2)$$

$$L_e = 2\pi \left[ \frac{\epsilon_1^2}{\omega_1^2} + \frac{\epsilon_2^2}{\omega_2^2} \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_1^2 = \int_0^\infty k S_u(k) dk, \quad \epsilon_2^2 = \int_0^\infty k^2 S_u(k) dk$$

$$R_1(\tau) = D_1^2 \exp[-(b_1\tau)^2] \quad (3)$$

$$R_2(\tau) = D_2^2 \exp[-(b_2\tau)^2] [1 - 2(b_2\tau)^2] \quad (4)$$

$$S_{r1}(k) = [D_1^2 / (b_1\sqrt{\pi})] \exp[-k^2 / (2b_1^2)] \quad (5)$$

$$S_{r2}(k) = [D_2^2 k^2 / (b_2^2 \sqrt{\pi})] \exp[-k^2 / (2b_2^2)] \quad (6)$$

$$\epsilon_{\epsilon_1}^2 = 2 D_1^2 b_1^2 [1 - 3.44 \exp(-1.07 \sqrt{N/b_1})] \quad N/b_1 > 3$$

$$\epsilon_{\epsilon_1}^2 = 12 D_1^2 b_1^4 [1 - 4.14 \exp(-1.00 \sqrt{N/b_1})]$$

$$\epsilon_{\epsilon_2}^2 = 6 D_2^2 b_2^2 [1 - 4.14 \exp(-1.00 \sqrt{N/b_2})] \quad N/b_2 > 4$$

$$\epsilon_{\epsilon_2}^2 = 60 D_2^2 b_2^4 [1 - 4.28 \exp(-0.92 \sqrt{N/b_2})] \quad (7)$$

ここで $D_1, D_2$ は確率論的手法および金井博士の最大変位と最大加速度 $A_{max}$ の関係<sup>2)</sup>を用いると、次式の様に与えられる。

$$D_1 = 2.53 [2 \ln(b_1) + 12.220]^{1/2} \times 10^{-4} \times T_g^2 \times A_{max}$$

$$D_2 = 2.53 [2 \ln(b_2) + 13.318]^{1/2} \times 10^{-4} \times T_g^2 \times A_{max} \quad (8)$$

(7)、(8)式を(2)式に代入すると結局、埋設管1km当りの平均破壊箇所数 $V_F^*$ は次の様な関数となる。

$$V_F^* = F(\epsilon_a, T_g, A_{max}, N/b_i) \times 10^3 \quad (i=1, 2) \quad (9)$$

(9)式において、4種類の地盤( $T_g = 0.67, 0.5, 0.33, 0.25$ )と $\epsilon_a$ および $N/b_i$ を仮定すると(9)式は $A_{max}$ のみの

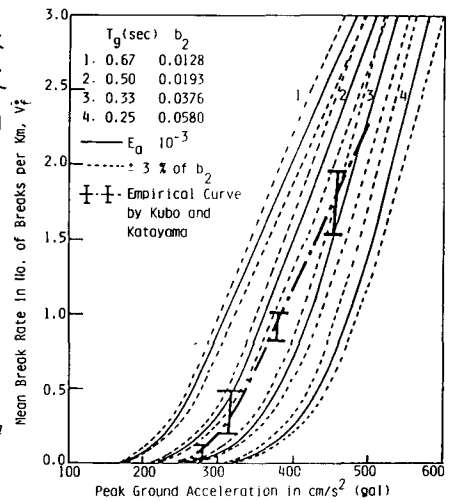


図-1 最大加速度と震害率の関係  
 Case No. 4-2における $b_2$ の決定例

ここで $T_g$ は地盤の卓越周期を表わす。

関数となる。この結果を久保、片山両博士による地中埋設管震害統計資料<sup>1)</sup>と比較して視察によりパラメータ $\alpha$ を決定することができる。ここで埋設管の破壊歪 $\epsilon_a$ 、地盤と埋設管の相互作用の程度を表わす $N/b_i$ の値、および空間相関関数の一般的な形が不確定であるが、震害資料中の埋設管の当時の状況を考慮して表-1に示す様に、 $\epsilon_a = 2.0 \times 10^{-3}, 1.0 \times 10^{-3}, 0.8 \times 10^{-3}$ ,  $N/b_i = 5, \infty$ を用い、空間相関関数については、式(9), (10)を仮定した。これら5の値に対して、それぞれ前述の手法により $\alpha$ を決定した。図-1は、表-1の4-2のケースに対して、(9)式により $\alpha$ を決定した例である。なお、表-1のCase No.  $i-1$ の $i$ はCase No. を示し、 $i=1$ は(9)式の空間相関関数に対応し、 $i=2$ は(10)式のものに対応することを示す。図-1の実線は、表-1の4-2のCaseに対して(9)式より $\alpha$ を決定したものである。同じ様に17個Caseの値に対して $\alpha$ を決定したとの関係をプロットすると、次式が成立していることがわかった。

$$\log b_i = -(A_i \log T_g + B_i) \quad (i=1, 2) \quad (10)$$

$A_i, B_i$ の値は、表-1の5, 6列に示されている。結局、 $T_g$ と $\alpha_{max}$ が与えられると(9), (10)式により、 $D_i, b_i$ が決まり(5)~(8)式に与えられた、空間相関関数およびパワースペクトルが定まる。空間パワースペクトルから、地盤変位の平均波長が算定でき、これと $\alpha$ より平均見かけ伝播速度 $\bar{C}_i$ を決定することができる。(5), (6)式の空間パワースペクトルの場合の $\bar{C}_i$ は、

$$\log \bar{C}_i = P_i \log T_g + Q_i \quad (i=1, 2) \quad (11)$$

となり、 $P_i, Q_i$ の値は、表-1の7, 8列に示されている。以上の結果を土岐博士による、地表面での伝播速度の観測例<sup>5)</sup>と式(11)を比較すると図-2, 3の様になる。これら5の図より、空間相関関数 $\alpha$ が $N/b_i$ の違いによる差は小さいが、 $\epsilon_a$ は大きく影響するのがわかる。

表-1 各Caseにおける $A_i, B_i, P_i, Q_i$ の値

| Case No. | $\epsilon_a \times 10^3$ | $N/b_i$ | $T_g$ | $A_i$ | $B_i$ | $P_i$ | $Q_i$ |       |
|----------|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-1      | 2.0                      | 5       | 0.67  | 1.618 | 1.614 | 0.618 | 2.262 |       |
| 1-2      |                          |         |       | 1.588 | 1.774 | 0.588 | 2.183 |       |
| 2-1      | $\infty$                 | 1.617   |       | 1.699 | 0.617 | 2.347 |       |       |
| 2-2      |                          | 1.575   |       | 1.892 | 0.575 | 2.301 |       |       |
| 3-1      | 1.0                      | 5       |       | 0.50  | 1.578 | 1.887 | 0.578 | 2.535 |
| 3-2      |                          |         |       |       | 1.561 | 2.046 | 0.561 | 2.454 |
| 4-1      | $\infty$                 | 1.567   | 1.971 |       | 0.567 | 2.619 |       |       |
| 4-2      |                          | 1.533   | 2.159 |       | 0.533 | 2.568 |       |       |
| 5-1      | 0.8                      | 5       | 0.25  |       | 1.439 | 1.912 | 0.439 | 2.560 |
| 5-2      |                          |         |       |       | 1.413 | 2.064 | 0.413 | 2.473 |
| 6-1      | $\infty$                 | 1.424   |       | 1.988 | 0.424 | 2.636 |       |       |
| 6-2      |                          | 1.420   |       | 2.210 | 0.420 | 2.619 |       |       |

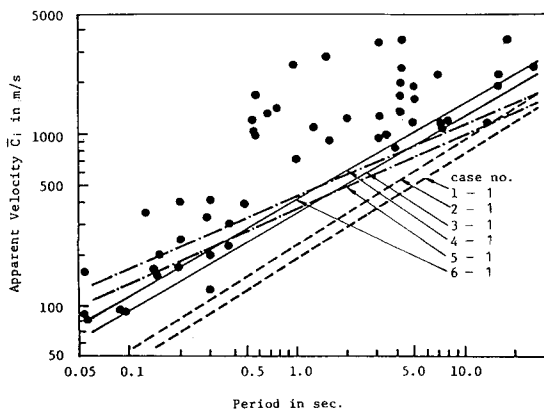


図-2 見かけ伝播速度 $\bar{C}_1$ と $T_g$ との関係

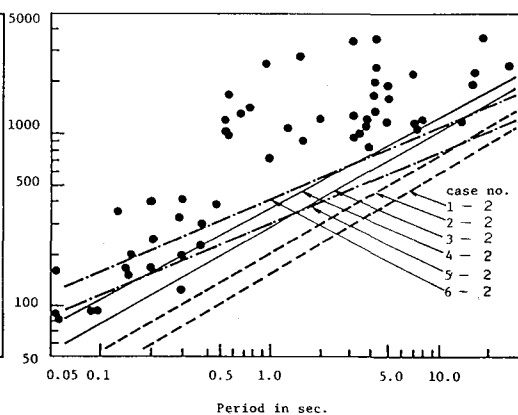


図-2 見かけ伝播速度 $\bar{C}_2$ と $T_g$ との関係

- 1) 織田、嶋田、原田、「地震動の工学的平面分布モデルに関する一考察」土木学会第37回年次講演発表要録 1982.
- 2) 原田隆典「SPATIAL CORRELATION SPECTRUM OF STRONG EARTHQUAKE GROUND DISPLACEMENTS」第6回日本地震工学シンポジウム、1982.
- 3) 金井清「地震工学」P97 共立出版
- 4) 久保、片山、佐藤、「地下埋設管震害の定量的解析」第4回日本地震工学シンポジウム 1975
- 5) 土岐英三「新体系土木工学II、構造物の耐震解析」P63. 技報堂