

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¹⁾²⁾、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 $x(x)$ の場所 x に関する空間パワースペクトルを $S_r(k)$ 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 ϵ_e 、 $\dot{\epsilon}_e$ とし、埋設管の地震時破壊歪を ϵ_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。

$$\begin{aligned}\epsilon_{e1}^2 &= 2 D_1^2 b_1^2 [1 - 3.44 \exp(-1.07 \sqrt{N/b_1})] \\ \epsilon_{e1}^2 &= 12 D_1^2 b_1^4 [1 - 4.14 \exp(-1.00 \sqrt{N/b_1})] \quad N/b_1 > 3 \\ \epsilon_{e2} &= 6 D_2^2 b_2^2 [1 - 4.14 \exp(-1.00 \sqrt{N/b_2})] \quad N/b_2 > 4 \\ \epsilon_{e2} &= 60 D_2^2 b_2^4 [1 - 4.28 \exp(-0.92 \sqrt{N/b_2})] \quad (7)\end{aligned}$$

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³⁾を用いると、次式の様に与えられる。

$$\begin{aligned}D_1 &= 2.53 [2 \ln(b_1) + 12.220]^{1/2} \times 10^{-4} \times T_g^2 \times A_{max} \\ D_2 &= 2.53 [2 \ln(b_2) + 13.318]^{1/2} \times 10^{-4} \times T_g^2 \times A_{max} \quad (8)\end{aligned}$$

(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($T_g = 0.67, 0.50, 0.33, 0.25$)と ϵ_a および N/b_i を仮定すると(9)式は A_{max} のみの

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

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

$$L_e = 2\pi [\epsilon_e^2 / \epsilon_e^2]^{1/2}$$

$$\epsilon_e^2 = \int_0^\infty k^2 S_u(k) dk, \quad \dot{\epsilon}_e^2 = \int_0^\infty k^4 S_u(k) dk$$

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

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

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

$$S_{r2}(k) = [D_2^2 k^2 / (b_2^3 \sqrt{\pi})] \exp[-k^2 / (2b_2^2)] \quad (6)$$

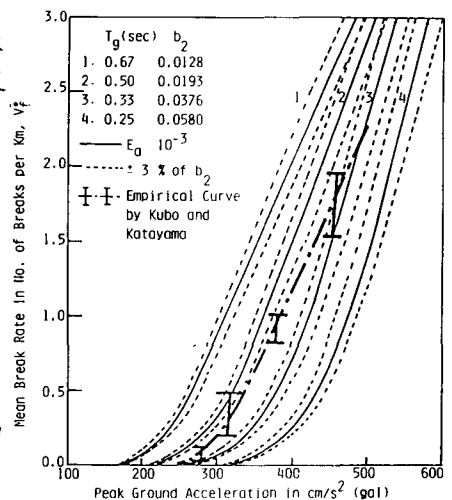


図-1 最大加速度と震害率の関係
Case No.4-2における b_2 の決定例

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¹⁾と比較して視察によりパラメータ α を決定することができる。ここで埋設管の破壊歪 ε_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、 $\varepsilon_a = 2.0 \times 10^{-3}, 1.0 \times 10^{-3}, 8 \times 10^{-4}$, $N/b_i = 5, \infty$ 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 α 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 α を決定した例である。なお、表-1のCase No. $i=1$ のものはCase No. $i=2$ 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 α を決めたものである。同じ様に17全Caseの値に対して α を決めたとの関係を図-2にプロットすると、次式が成立していることがわかった。

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

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 α_{max} が与えられると(8), (10)式により、 D_i, α_i が決まり(9)へ(10)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、これにより平均見かけ伝播速度 $\bar{C}_i$ を決めることができる。(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²⁾と式(11)を比較すると図-2, 3のようになる。これら5の図より、空間相関関数および N/b_i の違いによる差は小さいが、 ε_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.	$\varepsilon_a \times 10^{-3}$	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				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				1.567	1.971	0.567	2.619
4-2		∞		0.33	1.533	2.159	0.533
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				1.424	1.988	0.424	2.636
6-2		∞		1.420	2.210	0.420	2.619

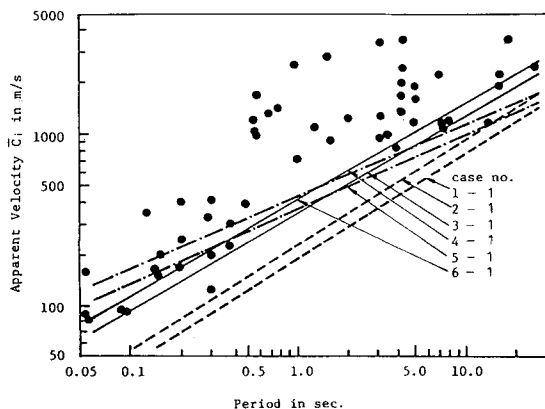


図-2 見かけ伝播速度 $\bar{C}_1$ と T_g との関係

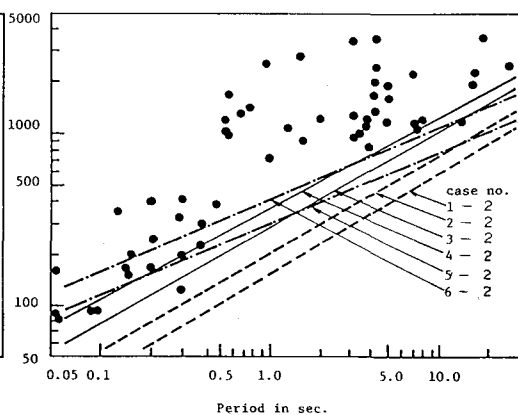


図-2 見かけ伝播速度 $\bar{C}_2$ と T_g との関係

- 1) 鎌田、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回年次講演要旨集、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) 金井浩「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) 土岐英二「新体系土木工学II、構造物の耐震解析」P63、技報堂