

宮崎大学工学部 学生員 織田 隆夫

宮崎大学工学部 学生員 嶋田 剛

宮崎大学工学部 正 員 原田 隆典

1. まえがき 地中構造物の合理的耐震設計などのために、近年、一地点の地震動特性の他に、多地点間の地震動特性についての工学的情報が求められている。これまでに着るは確率論的方法を援用して、地中埋設管の震害統計資料から、地震動の平面分布特性の推定を試みており、その結果の一部はすでに報告した。¹⁾ 本文では、このモデルにおける最大加速度と、地震動変位の2乗平均値の関係式に、確率論的考察を加えてモデルの改良を計ったので、その概要を報告する。

2. モデルの概略 地中埋設管の地震時挙動および震害資料に関しては、不十分ではあるが次のことが明らかにされている。すなわち、地中埋設管の挙動は管軸方向地震動の2地点間の相対変位に支配されることおよび被害箇所数と地震動強度の統計資料の2点である。したがって、以下の手法により、地震動の平面分布を推定する。時間を固定し、地震時の地表面の変動状態を平面的に眺めた場合、管軸方向の管の運動方程式は次のようになる。

$$-\frac{d^4 u}{dx^4} + \beta^2 u = \beta^2 r(x), \quad \beta = \sqrt{\frac{k}{EA}} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 u と r は埋設管および地震動の変位で、また、 k 、 E 、 A は地盤のばね、管のヤング率および断面積である。地震動変位 $r(x)$ は平均値零と分散 D^2 を持つ場所 x の定常ガウス過程とする。場所 x に関するフーリエ変換から、(1) 式はフーリエ領域で次のように書ける。

$$S_u(K) = \frac{\beta^2}{(K^2 + \beta^2)^2} S_r(K) \quad \text{--- (2)}$$

$S(K)$ はスペクトル密度関数で、 K は (メートル)⁻¹ の次元を持ち波長を λ とすると $2\pi/\lambda$ で表わされる。ここで、確率関数 $r(x)$ の自己相関関数 $R_r(t)$ の一次元で解析可能な表現として、次の関数を仮定する。

$$R_r(t) = D^2 e^{-\alpha|t|} \left(1 + \alpha|t| + \frac{\alpha^2}{3}|t|^2\right) \quad \text{--- (3)}$$

(3) 式は2地点の距離 t の増加による2点間の相関の減少を数式化したもので、 D^2 は地震動変位の場所に関する2乗平均値(分散)、 α は (メートル)⁻¹ の次元を持つパラメータである。 $R_r(t)$ のフーリエ変換から地震動変位 $r(x)$ の場所 x による変動状態(地震動の平面分布特性と呼ぶ)を規定するスペクトル密度関数が(4)式で求まる。

$$S_r(K) = \frac{16 D^2}{3\pi\alpha[(K/\alpha)^2 + 1]^3} \quad \text{--- (4)}$$

次に、 $R_r(t)$ あるいは $S_r(K)$ の中に含まれる未知パラメータ α の評価方法を考える。 $Nice$ の公式²⁾、フーリエ代数および(4)式を用いて必要な積分を実行すると、1 Km 当りの埋設管の平均破断面数 N は次のように求められる。

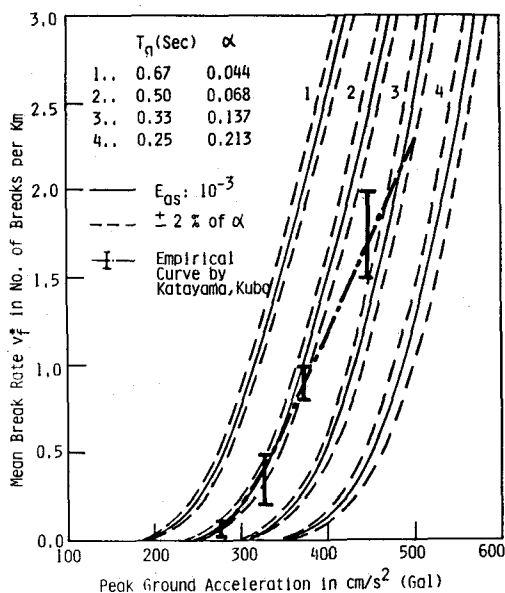


Fig.1 Correlation Between Mean Break Rate and Peak Ground Acceleration

$$D_f^* = \frac{10^3}{L_e} \exp\left(-\frac{L_e^2}{20\alpha}\right), \quad L_e = \frac{2\pi}{\sqrt{3\alpha}} \sqrt{1 + \frac{4}{\beta}}$$

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{3} (D\alpha)^2 \left(1 + \frac{4}{\beta}\right) / \left(1 + \frac{\alpha}{\beta}\right)^2 \quad \text{---- (5)}$$

$\alpha \ll \beta$ の場合、(5)式は

$$D_f^* = \frac{\sqrt{3} \times 10^3}{2\pi} \alpha \exp\left(-\frac{3L_e^2}{20\alpha}\right) \text{ (個数/km)} \quad \text{---- (6)}$$

径の小さい上下水導管、ガス管に対しては $\alpha \ll \beta$ が成立するため、以後の解析では(6)式を用いる。ところで、地震動変位の場所に関する二乗平均値 σ と地震動変位 $r(x)$ の最大値 r_{max} との間に次の関係が成立する。

$$r_{max} = r_{s,p} D, \quad r_{s,p} = (2 \ln \alpha + 10.427)^{\frac{1}{2}} \quad \text{---- (7)}$$

$r_{s,p}$ はピーワウワターと呼ばれるもので、(7)式から求められる r_{max} は非超過確率 $P = \frac{1}{e} = 0.367 \dots$ に対応している。 r_{max} と地震動加速度最大値 a_{max} は金井博士の研究により³⁾、地盤の卓越周期 T_g を介して関係が得られているので、この関係式と(7)式を用いると、 D と a_{max} の間に次式が成立する。

$$D = 2.53 \times 10^3 T_g^2 a_{max} / (2 \ln \alpha + 10.427)^{\frac{1}{2}} \quad \text{---- (8)}$$

(6)式と(8)式を用いると、埋設管の平均破断箇所数 λ_f (個/km) と地震動加速度最大値 a_{max} の関係が得られる。 λ_f と a_{max} の関係式において、4種類(1~4)の地盤および埋設管の地震時許容歪 ϵ_{sa} を仮定すると、次のような考察により、未知パラメータ α が求まる。久保、片山博士らによる埋設管の被害資料(図-1の一点鎖線)に次のような判断を加えて、視察により α を求めた。図-1の被害資料は各種地盤別に得られていないが、軟い地盤条件(1と2)の埋設管被害率は硬い地盤条件(3と4)のそれらよりも高いという経緯を考慮している。図-1のように求まった α と地盤条件の間には、図-2のような直線関係の成立していることがわかり、この関係は次式で与えられる。

$$\log \alpha = -(1.60 \log T_g + 1.64) \quad \text{---- (9)}$$

したがって、注目地域の地盤の卓越周期 T_g (sec) と(9)式から α が求まり、図-3に示す地震動の工学的平面分布関数 $r(x)$ のスペクトル密度関数 $S_r(\kappa)$ を得ることができる。結局、時間を固定して、平面的に眺めたときの地震動変位 $r(x)$ の標本関数は、 $S_r(\kappa)$ から、通常の数値計算により求められることになる。

- 1). 原田隆男, M. Shinoguka "地震動の工学的平面分布モデルにおける確率過程理論の応用" 第16回地震工学研究発表会 1981
- 2). S.H. Crandall and W.D. Mark, "Random Vibration in Mechanical System" p47. Academic Press. 1963
- 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

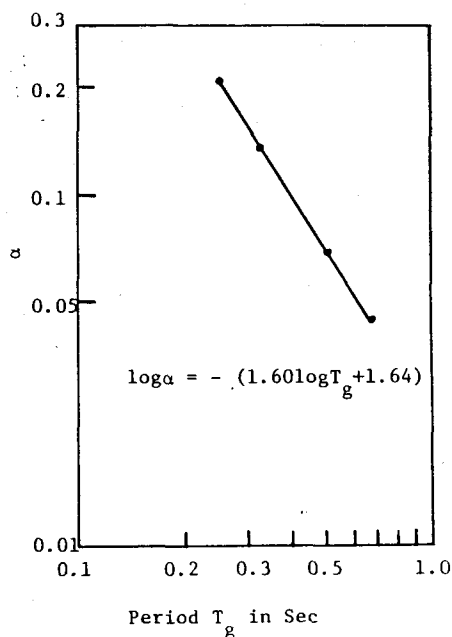


Fig.2 Relationship between the Parameter α and the Predominant Period of the Ground

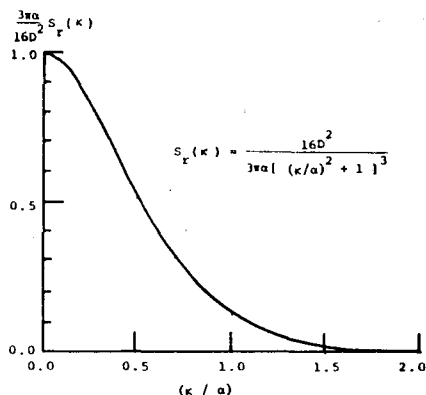


Fig.3 Graphical Representation of Spectral Density