

宮崎大学大学院 学O織田隆夫

宮崎大学大学院 学 嶋田 剛

宮崎大学工学部 正 原田隆典

1. まえがき 近年、増々建設の数が増加した地中構造物をより一層耐震的に設計するために、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。著者らは確率的方法を援用して、地中埋設管の震害統計資料から、地震動の場所による変動状態の推定を試みている。¹⁾ 本小文では、これまでの自己相関関数の改良と極値統計による地震動最大変位の設定を試みたので、ここに報告する。

2. モデルの概略 地中埋設管の挙動は管軸方向地震動の2点間の相対変位に支配されるので、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(1)式のように書ける。(1)式において、 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 β^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(2)式のように書ける。 $S(\omega)$ はスペクトル密度関数で、 ω は波数である。ここで、 $r(x)$ の自己相関関数 $R(\tau)$ として、(3)式を仮定する。(3)式は2地点の距離 τ 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 $r(x)$ の場所に関する2乗平均値(分散)、 b は(メートル)^{1/2}の次元を持つパラメータである。 $R(\tau)$ のフーリエ変換から $r(x)$ の変動状態(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)式のように求められる。次に、 $S_r(\omega)$ の中に含まれる未知パラメータ b の評価方法を考える。Riceの公式を用いると、1km当りの管の平均破断箇所数 L_f^* は(5)式のように求められる。(5)式中の σ_e^2 および β_e^2 は数値積分から $\beta/b > 3$ の場合、近似的に、 $\sigma_e^2 = 2D^2[1 - 3.44 \exp(-1.0\sqrt{\beta/b})]$, $\beta_e^2 = 12D^2[1 - 4.14 \exp(-1.0\sqrt{\beta/b})]$ が得られる。 β/b が大きい場合、上式の指数項は落とせるので、(5)式は次のように書ける。

$$L_f^* = \frac{500\beta b}{\pi} \exp\left(-\frac{\epsilon_{ca}^2}{4b^2 D^2}\right) / (10^3 \text{ km}) \quad (6)$$

ところで、地震動変位 $r(x)$ の場所に関する2乗平均値 D^2 と $r(x)$ の最大値 r_{max} との間には、次の関係が成立する。

$$r_{max}/D = \gamma_{sp} = \sqrt{2 \ln b + C} \quad (7)$$

もちろん、この関係は確率的なもので、 r_{max} がポアソン分布に従うとして求められている。²⁾ 非超過確率 $P=0.2, 0.37$ (e^{-1}), $0.5, 0.8$ に対応する C の値はそれぞれ11.267, 12.219, 12.952, 15.219である。 r_{max} と地震動最大加速度 a_{max} は、

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

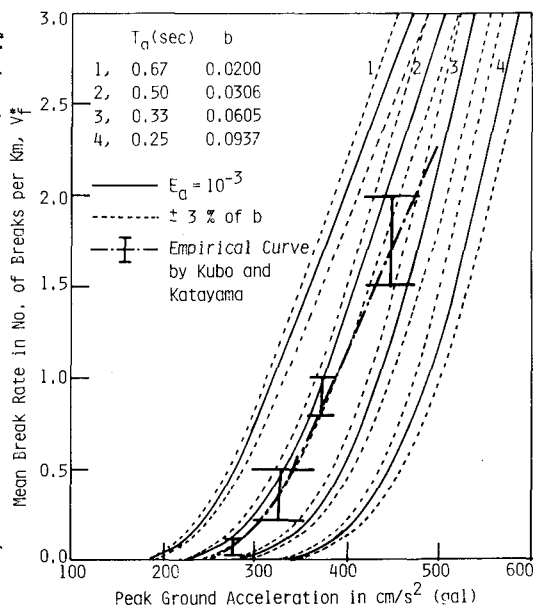
$$S_u(\omega) = \frac{\beta^2}{(\omega^2 + \beta^2)^2} S_r(\omega) \quad (2)$$

$$R_r(\tau) = D^2 \cdot e^{-(b\tau)^2} \quad (3)$$

$$S_r(\omega) = \frac{D^2}{b\sqrt{\pi}} e^{-\left(\frac{\omega}{b}\right)^2} \quad (4)$$

$$L_f^* = \frac{10^3}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_e^2}{\sigma_e} \exp\left(-\frac{\epsilon_{ca}^2}{2\sigma_e^2}\right) / (10^3 \text{ km}) \quad (5)$$

表-1 基本式

Fig.1 Correlation Between Mean Break Rate and Peak Ground Acceleration ($P=\frac{1}{e}=0.37$)

金井博士の研究により、地盤の卓越周期 $T_g(s)$ を介して 0.20
 関係が得られており、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。

$$D=2.53 \times 10^{-4} \cdot T_g^2 \cdot a_{max} / \delta_{sp} \text{-----}(8)$$

(6)式と(8)式により、埋設管の平均破断箇所数 $\bar{b}$ (個/km)
 と a_{max} の関係が得られる。 $\bar{b}$ 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_{as}
 を仮定すると、次のような考察により、それぞれの非超
 過確率ごとに未知パラメータが求まる。すなわち、久
 保・片山博士らによる埋設管の震害資料(図-1の一点鎖
 線)に次のような判断を加えて、視察により b を求める。
 図-1の震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験を考慮している。
 図-1は非超過確率 $P=0.37$ (e') の場合の結果であるが、
 その他の P についても同じようなことを行くと、求ま
 った b と T_g の間には図-2のような直線関係が成立すること
 がわかった。そして、この関係は図-2中に示した関係式
 で与えられる。したがって、それぞれの非超過確率ごとに
 注目地域の $T_g(s)$ から b が求まり、 $r(x)$ のスペクトル密度
 関数 $S_r(\omega)$ を得ることが出来る。結局、時間を固定して、
 平面的に眺めた時の地震動変位の標本関数は、 $S_r(\omega)$ から
 通常の数値計算により求められるが、地表加速度400gal
 に対する各地盤の $r(x)$ の一例を図-3に示す。

3. 工学的応用について 上述したように、それぞれの
 非超過確率 P ごとにパラメータ b が得られるが、 P を大き
 くすると地震動変位の波形が刻みに変化して、同じ2乗
 平均変位 D の地震動変位を受けても、埋設管に大きな歪を
 与えることとなり、 P を小さくすると変位波形はなだらかな
 ものとなり、管の歪も小さくなる。したがって、対象と
 する地中構造物の重要度に応じて、何らかの形で P を決め、
 図-2から b を決定することにより、より合理的に地震動変
 位の平面分布を求めることができる。そして、このように
 して求まった地震動変位を地震外力として、地中構造物に
 作用させて、応力解析などを確率的に行うことができる。
 (参考文献)

1) 原田隆典, M. Shinguzha “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) E.H. Vanmarcke “Properties of Spectral Moments with Applications to Random Vibration” Proc. of A.S.C.E, Vol.98, No. EM2, PP. 425~446, 1972

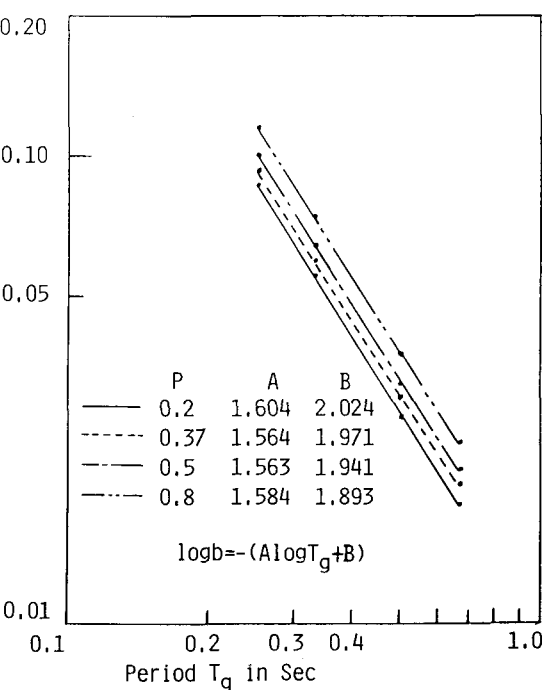


Fig.2 Relationships among b,P and T_g

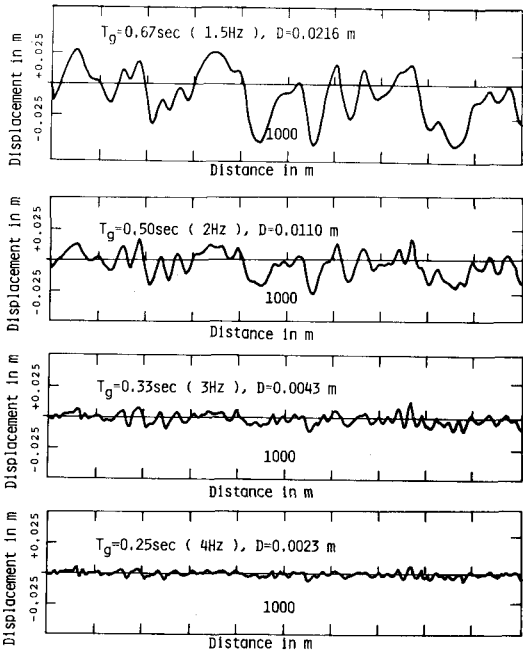


Fig. 3
 Spatial Variation of Ground Surface Axial Displacement along
 Straight Line

(a=400 gal)