

# 二地点間の最大加速度比の統計解析

埼玉大学 正員 茂木秀則  
 埼玉大学 正員 川上英二

## 1. まえがき

最大加速度や SI 値などの地震動強度指標は耐震設計や信頼性解析などの工学的な目的に広く用いられている。特に、信頼性解析においては、構造物の地震耐力の確率分布とともに地震外力の確率分布を与える必要があり、地震外力の平均値だけでなく、標準偏差などのばらつきも重要な意味を持っている。

本研究では東京都・神奈川県西部を中心とする広範囲に展開されている、東京ガス株式会社による地震時導管網警報システム SIGNAL<sup>1)-3)</sup> の観測記録を用いて最大加速度の比(最大加速度比)を求め、二点間距離をパラメータとして最大加速度比の平均値や標準偏差、確率密度関数、%位値などを算定した。そして、得られた特性値に基づいて、二点で生じ得る最大加速度の差違について論じた。

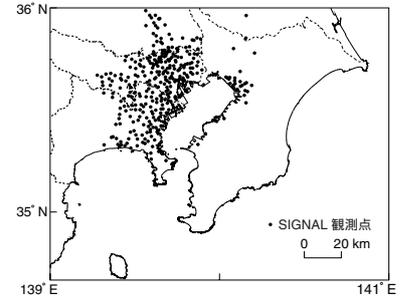


図-1 SIGNALの観測点の分布<sup>2)</sup>

## 2. 解析手法<sup>4),5)</sup>

本研究では、二地点間で観測される最大加速度の違いを示す値として、同一地震に対する二つの観測点における最大加速度の比(最大加速度比)<sup>4),5)</sup>を考えた。最大加速度比  $R$  は最大加速度の大きい方を常に分母とするものと定義し、 $0 < R \leq 1$  の範囲の値をとるものとした。この定義から、最大加速度比が 1 の近くに分布する場合には最大加速度の散布度が低く、最大加速度比が小さい範囲まで分布が及ぶ程最大加速度の散布度が高いことを表す。

同一地震に対する二点の最大加速度  $X_1, X_2$  が二次元対数正規分布に従うものと仮定すると、 $X_1, X_2$  の対数  $Z_1, Z_2$  の結合確率密度関数は次式で与えられる。

$$f_{Z_1, Z_2}(z_1, z_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_Z^2\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_Z^2(1-\rho^2)}\left\{(z_1-\mu_Z)^2 - 2\rho(z_1-\mu_Z)(z_2-\mu_Z) + (z_2-\mu_Z)^2\right\}\right] \dots (1)$$

ここで、 $\rho$  は  $Z_1, Z_2$  の相関係数、 $\mu_Z, \sigma_Z$  はそれぞれ、 $Z_1, Z_2$  共通の平均値と標準偏差である。

最大加速度比  $R$  の確率密度関数は式(1)から次式のように求めることができる。

$$f_R(r) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{P'}r} \exp\left(-\frac{\ln^2 r}{2\sigma_{P'}^2}\right), \quad \sigma_{P'} = \sigma_Z\sqrt{2(1-\rho)} \dots (2)$$

ここで、 $\sigma_{P'}$  は  $P'=Z_1-Z_2$  の標準偏差である。また、最大加速度比の平均値  $\mu_R$  は次式のように表すことができる。

$$\mu_R = \exp\left(\frac{\sigma_{P'}^2}{2}\right) \left\{1 - \operatorname{Erf}\left(\frac{\sigma_{P'}}{\sqrt{2}}\right)\right\} \dots (3)$$

式(2)(3)より、標準偏差  $\sigma_{P'}$  と平均値  $\mu_R$  のどちらも最大加速度のばらつきを表す量であることがわかる。式(2)は元になる正規分布の半区間  $p' \leq 0$  に対応する確率密度関数であるため、本研究ではこの分布を半区間対数正規分布と呼ぶ。

## 3. 統計解析に用いたデータ

SIGNAL は、地震被害を地震発生と同時に高精度に推定することを目的とするもので、図-1に示すように、計 331 のセンサーが広範囲、かつ、高密度に設置されている<sup>1)-3)</sup>。本研究では、1994年5月27日 23:53 から 1998年7月15日 7:15 までの 54 地震による最大加速度記録<sup>2)</sup>を用いた。

二点間距離の影響を定量的に評価するために、表-1に示すように二点間距離を 0 km から 10 km ごとに A~H の 8 グループに分けて統計解析を行った。また、震央距離の違いによる影響を取り除くために、震央距離の差が 1 km 未満の二点の組合せについて統計解析を行っており、この場合の最大加速度比のデータ数も表-1に示している。

表-1 二点間距離で分けたグループごとの平均二点間距離と最大加速度比のデータ数(震央距離の差が 1km 未満の組合せ)

グループ	二点間距離 $L$ (km)		データ数
	範囲	平均値	
A	$0 < L \leq 10$	5.0	31,235
B	$10 < L \leq 20$	14.6	20,847
C	$20 < L \leq 30$	24.6	12,634
D	$30 < L \leq 40$	34.7	7,663
E	$40 < L \leq 50$	44.4	4,223
F	$50 < L \leq 60$	54.4	2,053
G	$60 < L \leq 70$	64.2	834
H	$70 < L$	76.1	325
計			79,814

**Key Words:** peak ground acceleration, probability, separation distance, SIGNAL

埼玉大学工学部建設工学科 (〒 338-8570 埼玉県浦和市下大久保 255 ・ Tel 048-858-3566 ・ Fax 048-858-7374 )

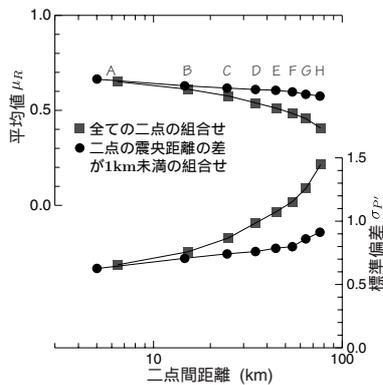


図-2 最大加速度比の平均値  $\mu_R$  , 標準偏差  $\sigma_{P'}$  と二点間距離の関係

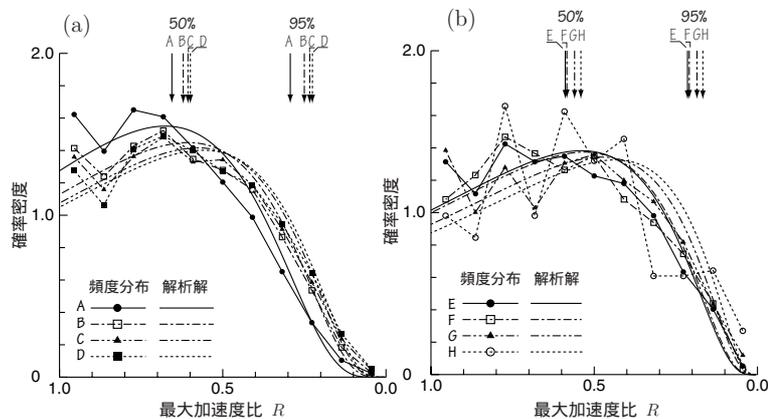


図-3 最大加速度比の頻度分布から求めた確率密度関数と半区間対数正規分布の解析解 (a) A~D グループ, (b) E~H グループ

#### 4. 解析結果

##### (1) 平均値 $\mu_R$ , 標準偏差 $\sigma_{P'}$

図-2 に最大加速度比の平均値  $\mu_R$  と標準偏差  $\sigma_{P'}$  を示す。図中、 $\square$  が可能な全ての組合せ、 $\circ$  は震央距離の差が 1 km 未満の二点の組合せに対するものである。両者の比較から、全ての二点の組合せでは変化が大きく、かつ、非線形的であり、最大加速度の違いを与える要因として震央距離の違いの影響が強いことがわかる。一方、震央距離の違いによる影響が含まれない震央距離差が 1 km 未満の組合せの場合には、二点間距離の対数の増加に対して平均値  $\mu_R$  , 標準偏差  $\sigma_{P'}$  はほぼ線形的に、それぞれ減少、増加する関係にあることがわかる。

##### (2) 確率密度関数

図-3 は震央距離の差が 1 km 未満の組合せの場合について、最大加速度比の発生頻度から求めた確率密度関数と、図-2 に示した標準偏差  $\sigma_{P'}$  を式 (2) に代入して求めた半区間対数正規分布の解析解を示したものである。両者の比較から、最大加速度比の頻度分布が半区間対数正規分布によって、よく近似されることがわかる。

確率密度関数の概形に着目すると、確率密度の最大値はあまり明瞭なものではなく、最大加速度比が 1 から 0.4~0.3 程度の広い範囲で発生確率に大きな違いがないことがわかる。また、二点間距離の増加に従って大きい最大加速度比を示す確率が低下し、小さな値を示す確率が増加するような、より平坦な形状に推移していく様子が見られる。

##### (3) %位値

最大加速度比  $R$  が  $1 \geq R \geq r_\gamma > 0$  の範囲にある確率が  $\gamma\%$  であるときの最大加速度比の値  $r_\gamma$  を  $\gamma\%$  位値とする。図-4 と図-3 の上部に、震央距離の差が 1 km 未満の組合せに対する標準偏差  $\sigma_{P'}$  から求めた %位値を示す。50%位値を見ると、二点間距離が 10 km 以下の A グループで 0.65 程度、70 km 以上の H グループでは 0.55 程度である。このことから、一般に最大加速度は数十 km 程度の範囲で 1/2 に近い確率で「倍半分」の値を示すものと考えられる。また、95%位値は A グループで 0.3 程度、H グループでは 0.15 程度の値を示している。従って、10 km 以下の二点間距離に対して 3 倍、70 km 以上離れた二点においては 6~7 倍程度の値まで観測され得ることになり、二点間距離が数 km から数十 km の変化に対して、最大加速度の分布し得る範囲が著しく変化することがわかる。

#### 5. まとめ

SIGNAL の観測記録を用いて最大加速度比の平均値や標準偏差、%位値などの統計量を求め、これらの値に基づいて、二点間で生じ得る最大加速度の違いを二点間距離をパラメータとして論じた。

謝辞 東京ガス株式会社による観測記録を用いました。関係各位に謝意を表します。

参考文献 1) 東京ガス株式会社: 東京ガスの地震対策, 1994. 2) 東京ガス株式会社: “What’s SIGNAL” 他(東京ガス株式会社 World Wide Web). 3) 山崎文雄, 片山恒雄, 野田 茂, 吉川洋一, 大谷泰昭: 大規模都市ガス導管網の地震時警報システムの開発, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.331-340, 1995. 4) 川上英二, 茂木秀則: 強震動アレーデータに基づく隣接二地点間の最大加速度比の確率分布, 土木学会論文集, No.626/I-48, pp.219-230, 1999. 5) 茂木秀則, 川上英二: SIGNAL データの統計解析に基づく最大加速度の空間的確率分布, 土木学会論文集, 掲載予定, 2000.

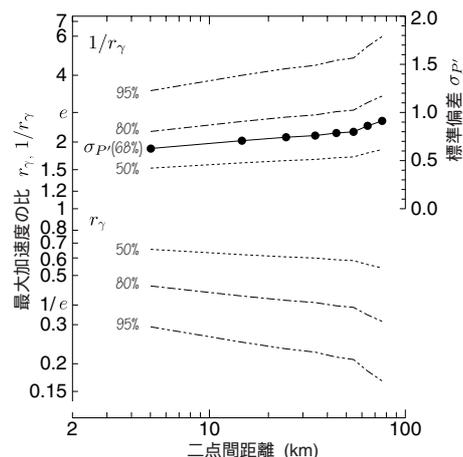


図-4 SIGNAL における最大加速度比の標準偏差  $\sigma_{P'}$  , %位値と二点間距離の関係