

最大加速度の空間的なばらつきについて

埼玉大学 茂木秀則
 埼玉大学 川上英二

1. はじめに

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。このことから本研究では、千葉アレー（東京大学生産技術研究所千葉実験所）、SMART-1 アレー（台湾・羅東）の強震観測記録、並びに地震時導管網警報システム SIGNAL の観測記録を用いて、二点間で観測され得る最大加速度の差異について検討を行った。

2. 最大加速度比^{1),2)}

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^{1),2)} を考える。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する。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。

3. 最大加速度比の確率密度関数^{1),2)}

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、最大加速度比 R の確率密度関数は次式のように表される。

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

ここで、 ρ は比を求める二点の最大加速度の対数值 $Z_1 = \ln(X_1), Z_2 = \ln(X_2)$ の相関係数、 μ_Z, σ_Z はそれぞれ、 Z_1, Z_2 共通の平均値と標準偏差、 $\sigma_{P'}$ 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 μ_R は次式のように表すことができる。

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

式(1)(2)より、標準偏差 $\sigma_{P'}$ と平均値 μ_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。確率密度が式(1)で表される分布を半区間対数正規分布と呼ぶ²⁾。

4. アレー観測施設³⁾⁻⁷⁾

本研究で用いたアレー観測記録の地震計配置を図-1に示す。最も密に配置された千葉アレー³⁾では数 m から数 100m まで、SMART-1 アレー^{4),5)}では数 100m から数 km まで、最も広範囲に設置された SIGNAL^{6),7)}では数 km から数 10km 程度の範囲で検討が可能である。統計解析では二点間距離に基づいて、千葉アレーでは 3 グループ、SMART-1 ア

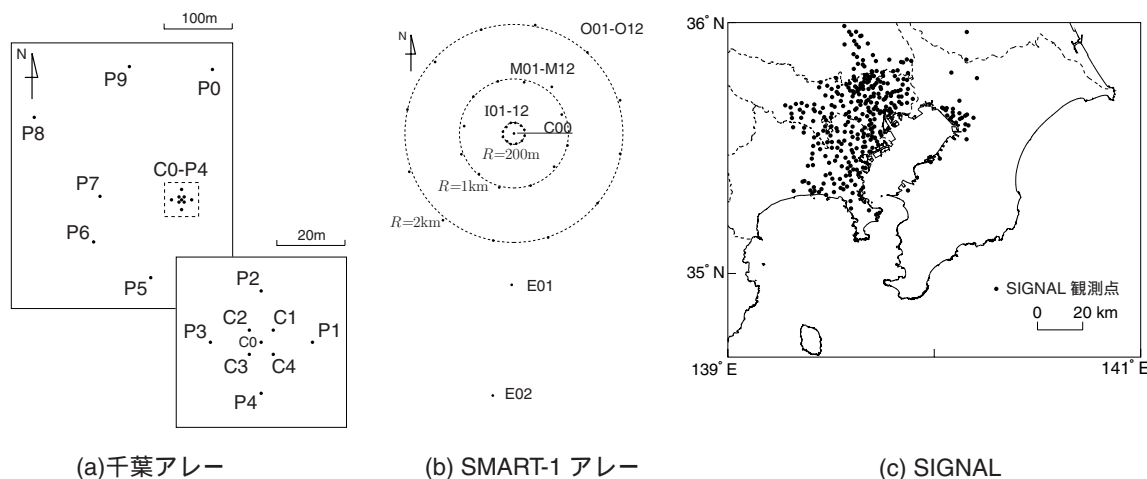


図-1 本研究で記録を用いたアレー観測施設の平面図³⁾⁻⁷⁾

レーでは7グループ、SIGNALでは8グループに最大加速度比のデータを層別化し、それぞれの平均値や標準偏差を算定した。なお、SIGNALの場合では、震央距離の違いによる最大加速度の違いの影響を取り除くため、震央距離の違いが1km以下の二点の組合せの最大加速度比だけを用いている。

5. 二点間距離と平均値 μ_R 、標準偏差 $\sigma_{P'}$ の関係

図-2 はグループごとの最大加速度比 R の平均値 μ_R 、標準偏差 $\sigma_{P'}$ と二点間距離との関係を示したものである。横軸の値はグループごとの二点間距離の単純平均を用いた。

この図から、最大加速度比の平均値 μ_R 、標準偏差 $\sigma_{P'}$ は、二点間距離の対数値の増加に対してほぼ直線的に、それぞれ減少、増加する関係があることがわかる。また、三つのアレーでは地盤条件などがそれぞれ異なっているにも拘わらず、数mから数10kmの非常に広い範囲でほぼ連続的な結果が得られることは興味深い。なお、各アレーの二点間距離が大きいグループで多少の乱れが見られるが、これはデータ数が少ないことによるものである。

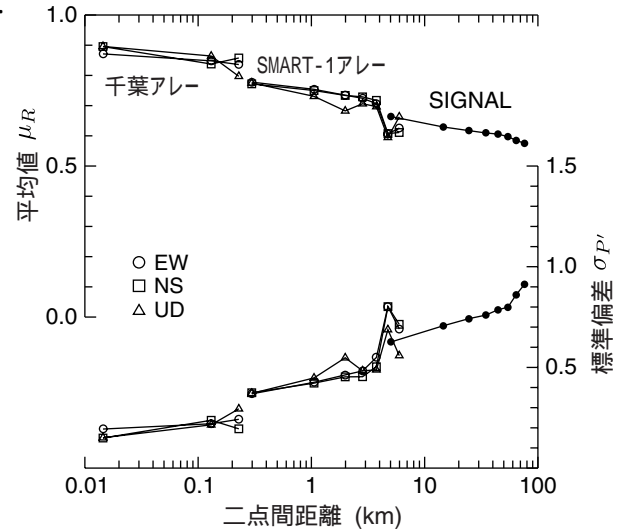


図-2 最大加速度比の平均値 μ_R 、標準偏差 $\sigma_{P'}$ と二点間距離の関係

6. 二点間距離と%位値の関係

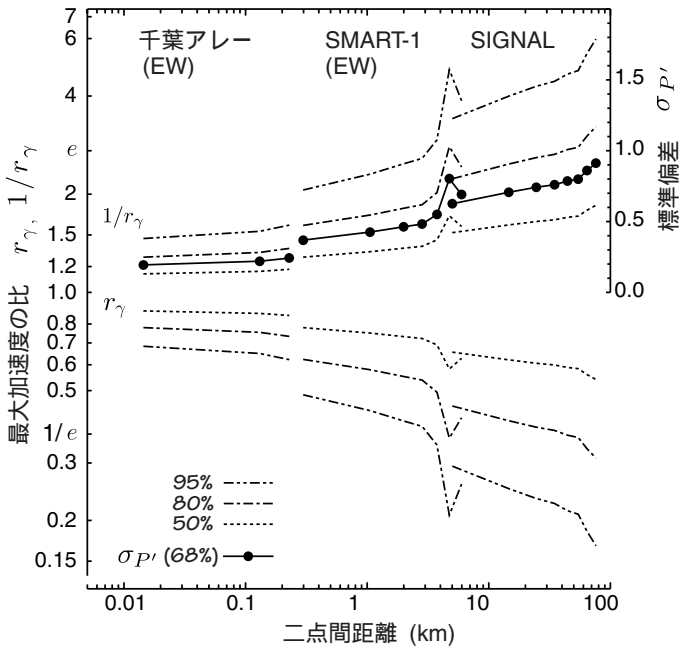


図-3 最大加速度比の標準偏差 $\sigma_{P'}$ 、%位値と二点間距離の関係

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_γ を $\gamma\%$ 位値とする。図-3 に、三つのアレーにおける最大加速度比の50%、80%、95%位値を示す。なお、正規分布の性質から標準偏差 $\sigma_{P'}$ は68%位値に相当する。

図-3の50%位値を見ると、二点間距離が最も小さい数10m程度のグループでは0.9(1.1)倍程度、二点間距離が1km程度の場合には0.75(1.3)倍程度、70km以上の場合には0.55(1.8)程度である。このことから、数10m程度離れた二点においては、1/2の確率で1割程度異なった最大加速度が観測されること、また、数10km程度の範囲では1/2に近い確率で「倍半分」の範囲に収まることなどがわかる。

95%位値は二点間距離が数10m程度のグループで0.7(1.5)倍程度、1km程度では0.45(2.2)倍程度、また、70km以上の場合には0.15(6.7)倍程度の値を示している。このことから、数10m程度のごく近距離では最大

加速度の違いが最大でも(危険率5%で)3~5割程度に収まること、1km程度離れた二点では最大加速度が「倍半分」程度の範囲に収まること、さらに、数10km離れた場合には6~7倍程度の範囲まで最大加速度が分布し得ることなどがわかる。

7. まとめ

千葉アレー、SMART-1アレー、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、二点間距離と発生確率をパラメータとして、二点間で生じ得る最大加速度の違いを明らかにした。

謝辞 東京大学生産技術研究所片山・山崎研究室による千葉アレー、SMART-1アレー、東京ガス株式会社によるSIGNALの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) 川上, 茂木: 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, 1999. 2) 茂木, 川上: 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, No.647, 2000. 3) 東京大学生産技術研究所片山研究室: 東京大学生産技術研究所千葉実験所における地震動の3次元アレー観測, 強震動アレー観測記録データベース・推進委員会/作業部会報告書, 1991. 4) Bolt, B. A. et al.: Preliminary report on the SMART-1 strong motion array in Taiwan, Report No. UCB/EEERC-82/13, University of California, Berkeley, 1982. 5) SM-TAI04 磁気テープ添付資料. 6) 山崎, 片山, 野田, 吉川, 大谷: 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, 1995. 7) 東京ガス株式会社: "What's SIGNAL" 他 (World Wide Web).