

高密度アレー観測記録に見られる計測震度のばらつきについて

埼玉大学 正会員 茂木秀則・川上英二

1. はじめに

気象庁震度階級は地震動強度を表す指標として広く用いられている。近年、震度の計測化¹⁾が実施され、震度計を用いた高密度の観測網が整備されている。しかし、震度が高密度に計測されるようになったことによって、顕在化した問題も存在する。2000年鳥取県西部地震では、気象庁境港市測候所の6強(計測震度6.0)に対して、1km程度の距離にある境港市役所では6弱(計測震度5.6)が観測されており²⁾、互いに近い二地点においても震度が異なっている。このことから本研究では、同一地震における二点の計測震度の違いをその差の絶対値(計測震度差)で表し、計測震度差の統計解析によって計測震度の空間的なばらつきを検討した。

2. アレー観測記録

本研究では千葉アレー³⁾とSMART-1アレー⁴⁾によるアレー観測記録を用いた。強震計が密に配置された千葉アレーでは数mから数100mまで、SMART-1アレーでは数100mから数km離れた二点間の計測震度のばらつきの検討が可能である。

3. 解析方法

地震 m に対する二点 k, l における計測震度の違いをその差の絶対値で表わし、これを計測震度差と呼ぶ。

$$Z_{kl}^m = |Z'_{kl}^m|, \quad Z'_{kl}^m = X_k^m - X_l^m \quad (1)$$

ここで、 Z_{kl}^m は二点 k, l における地震 m の計測震度差、 X_k^m は観測点 k における計測震度である。なお、本研究では、地震ごとにアレー内の計測震度の単純平均を求め、この平均値と各観測点の計測震度の差の観測点ごとの平均値を各観測点の(決定論的な)揺れやすさを表す揺れやすさ係数として定義した。そして、この値の加減算によって補正した計測震度を統計解析に用いた。

計測震度 X を正規分布に従う確率変数とすると、計測震度差 Z の確率密度関数は次式の半正規分布で与えられる。

$$f_{Z_{kl}}(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Z'_{kl}}} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_{Z'_{kl}}^2}\right), \quad z \geq 0 \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_{Z'_{kl}}$ は Z'_{kl}^m の標準偏差である。計測震度の差を用いることで、 Z'_{kl}^m の平均値が 0 となるため、地震に

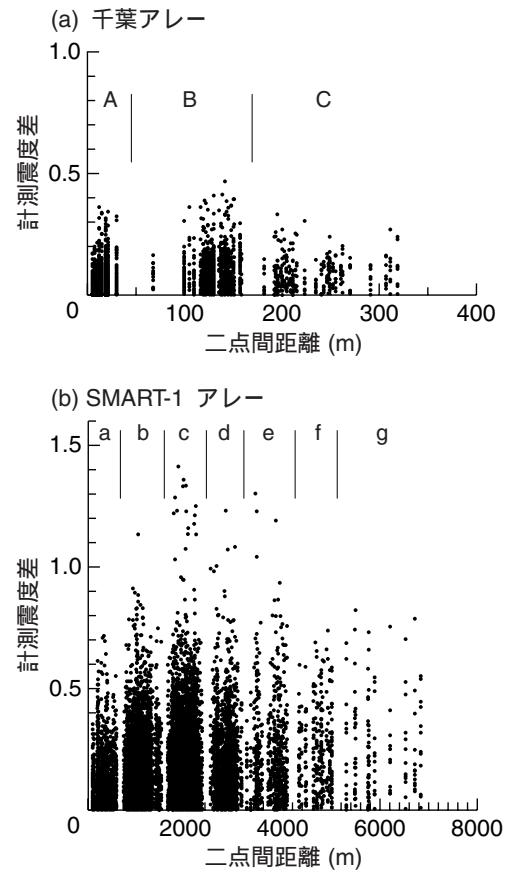


図-1 計測震度差の分布と二点間距離グループ

よって異なる計測震度の平均値を評価する必要がなくなるという利点がある。

4. 計測震度差の統計解析

(1) 計測震度差の算定

図-1に差を求めた二点間の距離(二点間距離)に対する計測震度差の分布を示す。図-1(a)の千葉アレーの結果を見ると、二点間距離が10m程度の場合でも最大で0.4程度の計測震度差が生じていることがわかる。地盤条件の違いが認められない同一アレーの極めて近い二点においても、このような差異が生じ得ることは注目に値する。さらに、範囲の広い(b)SMART-1アレーでは、計測震度の違いが1.0を越えることもあることがわかる。

本研究では、図-1に示すように、二点間距離に基づいて千葉アレーの場合A~Cの3グループ、SMART-1アレーではa~gの7グループに分け、それぞれのグループ内では計測震度差が同一の確率分布に従うものとして統計解析を行った。

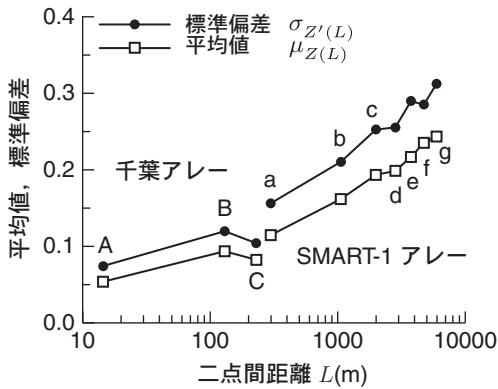


図-2 計測震度差の平均値、標準偏差と二点間距離の関係

(2) 計測震度差の平均値 μ_Z 、標準偏差 $\sigma_{Z'}$

図-2 に計測震度差の標準偏差 $\sigma_{Z'}$ 、平均値 μ_Z と二点間距離 L との関係を示す。横軸にはグループごとの二点間距離の平均値を用いている。

図を見ると、二点間距離の増加に対して標準偏差 $\sigma_{Z'}$ と平均値 μ_Z が共に緩やかに増加しており、二つのアレーの結果は単一の、わずかながら下に凸の直線に近い形状で特徴付けることができる。地震環境や地盤条件が異なる二つのアレーの観測データから得られた数 10m から数 km までの広範囲の二点間距離に対する計測震度の違いが、このような連続的な関係で与えられることは興味深い。

(3) 計測震度差の確率密度関数

図-3 は計測震度差の確率密度関数を示したもので、グループごとの標準偏差 $\sigma_{Z'}$ を式(2)に代入して求めた確率密度関数と計測震度差の発生頻度から算定した確率密度関数の双方を示している。

発生頻度から算定した確率密度関数と半正規分布の確率密度関数と比較すると、全体的な形状が一致しており、計測震度差の確率分布が半正規分布でほぼ近似できることがわかる。確率密度関数の形状に着目すると、(a) 千葉アレーでは急峻な形状を示しており、大きい計測震度差が生じる確率が極めて小さいことがわかる。一方、(b) SMART-1 アレーの場合には千葉アレーの場合と比べて平坦な形状を示し、二点間距離が小さい a グループにおいても 0.5 程度まで計測震度差の発生確率が認められる。また、二点間距離が増加に対し、より平坦な形状に推移していくことがわかる。

(4) 計測震度差の%位値

図-3 の上部に計測震度差の 50%, 95% 位値を示す。50% 位値は計測震度差の代表値、また、95% 位値は危険率を 5% とする場合の計測震度差の最大値と考えることができる。

二点間距離が数 10m のごく近い二点の場合（千葉アレー・A グループ）には、計測震度の違いが ± 0.05 の範囲に

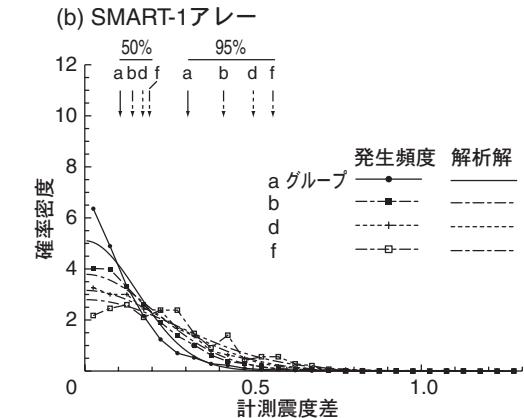
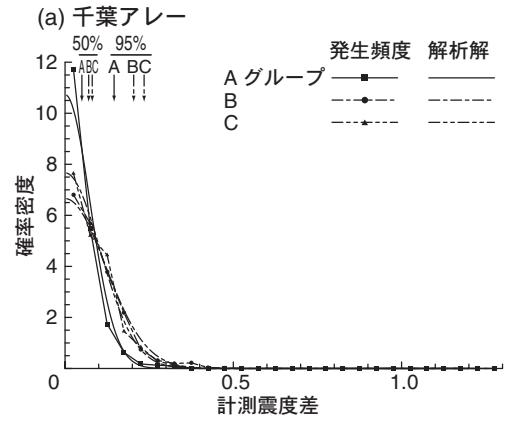


図-3 計測震度差の確率密度関数と 50%, 95% 位値

50% の確率で含まれ、また 95% 位値から、計測震度が最大（危険率 5%）異なっていても ± 0.15 の違いであることがわかる。同様に、二点間距離が 1km 程度の場合（SMART-1 アレー・b グループ）では 50% の確率で ± 0.15 程度以内、最大では $\pm 0.4 \sim \pm 0.45$ 程度、また、5km 程度離れた場合（SMART-1 アレー・f グループ）には 50% の確率で ± 0.2 以内、最大では $\pm 0.55 \sim \pm 0.6$ 程度までの違いが観測され得ることがわかる。

5. まとめ

本研究では、高密度アレー観測記録を用いて計測震度差の統計解析を行い、同一地震に対して二点で観測される計測震度の違いを二点間距離をパラメータとして検討した。

謝辞 本研究では、震災予防協会によるアーデータベースにおける東京大学生産技術研究所片山・山崎研究室によるアレー観測記録、並びに SMART-1 アレーにおけるアレー観測記録、工学院大学久田研究室による計測震度の計算プログラム (<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/data.html>) を使わせて頂いた。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁監修：震度を知る、ぎょうせい、1996.
- 2) 土木学会鳥取県西部地震調査団（清野純史、磯山龍二、田地陽一、中村晋、橋本隆雄、濱田政則、藤原齊郁、宮島昌克）：2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震被害調査報告（社）土木学会 WWW、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（財）震災予防協会、pp.52-53、1992.
- 4) Bolt, B. A. et al. : Preliminary report on the SMART-1 strong motion array in Taiwan, Report No. UCB/EERC-82/13, 1982.
- 5) 茂木秀則、川上英二：高密度アレー観測記録に基づく整形地盤上の二地点間の計測震度差の統計解析、地震 2, 55, pp.167-180, 2002.