

第 部門 アンケートによる加速度推定法の提案

神戸大学工学部 学生員 新谷 正樹
 神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎
 神戸大学工学部 正会員 鎌田 泰子

1. 概要

地震計がない場所の地震動強度情報を知ることは地震後の対策にとって重要である。地震計で直接地震動を観測する以外の方法としてアンケート調査による推定方法がある。しかし、国際的に汎用性のある地震動評価への適応性の観点からも、工学的な物理量として評価するには震度よりも最大加速度などの物理的な地震動強度指標が望まれる。そこで本研究では、計測震度と地震動特性の関係をを用いて、アンケートを用いた加速度推定法の提案を行った。

2. 計測震度と最大加速度の相関

2000年から2003年に発生した最大震度5以上の地震において観測された震度1~7までの地震動記録を用いて計測震度と最大加速度の関係について分析を行った。分析に用いた地震記録を表-1に示す。計測震度は水平2成分、鉛直1成分の計3成分の加速度波形を用いて、気象庁の定める計測震度算出方法に従い算出している。計測震度(I)との関係を分析するために用いた加速度は3成分のうち最大値(PGA)を用いるものとし、ベクトルで合成したものではない。図-1に計測震度と最大加速度の相関図を示している。本データを用いて得た回帰式を式(1)に示している。これより、加速度と計測震度とはよい相関があることが知られた。一方、最大速度、最大加速度と最大速度の積の平方との関係についても検討したが、相関係数は式(1)よりも低くなった。

表-1 地震概要

地震名称	発生時刻	Mag.	データ数
鳥取県西部地震	2000年10月6日13時30分	7.3	45
茨予地震	2001年3月24日15時28分	6.4	67
三陸南地震	2003年5月26日18時24分	7.0	89
宮城県北部地震	2003年7月26日7時13分	6.2	52
十勝沖地震	2003年9月26日4時50分	8.0	63

式(1) $I = 0.85 \ln(PGA) + 0.73$ ($R^2 = 0.98$)

次に、加速度波形の卓越周期の影響について分析を行った。周期をパラメーターとした計測震度と最大加速度の関係を図-2に示す。式(1)の定数項を α とおいて、周期特性による α の変化を検討した。図-3に示すように、 α が周期に対して定数項周りに一様に分布するのではなく、計測震度の算出過程で用いるフィルター特性に似た分布を示している。この分布特性に基づいて周期特性を考慮すると、式(2)に示す計測震度と加速度の関係式が誘導される。

$$I = 0.85 \ln(PGA) + 0.73 \quad (R^2 = 0.98) \tag{1}$$

式(2) $I = 0.85 \ln(PGA) + \alpha$

$\alpha = 0.677 + 0.176T \quad (T < 1.4) \quad (R^2 = 0.98)$ (2)
 $\alpha = 0.998 - 0.058T \quad (1.4 \leq T) \quad (R^2 = 0.99)$

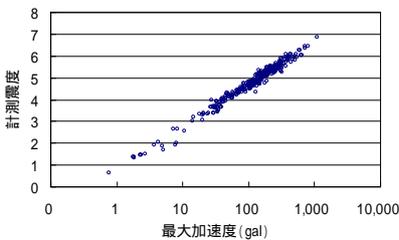


図-1 計測震度と最大加速度の関係

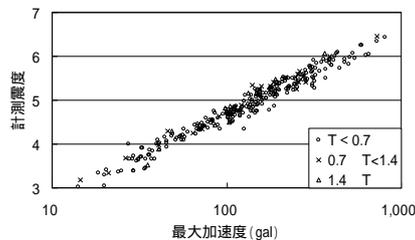


図-2 卓越周期により分別した計測震度と最大加速度の関係

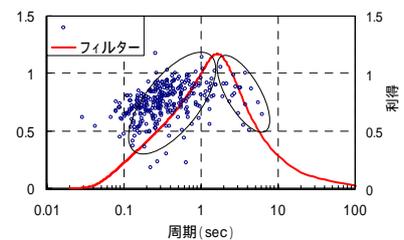


図-3 卓越周期の関係およびフィルター特性

3. アンケートに基づいた加速度推定法

震度アンケートで得られた回答から加速度を推定する方法として、2つの手法が考えられる。第1はアンケートより震度を求めて、式(1)あるいは式(2)により加速度に変換する方法である。第2は、震度を算出する際に、各アンケート項目のカテゴリ毎に震度係数を与えて、それらの総和として震度を求めているが、各アンケートのカテゴリ毎に、震度係数の代わりに、加速度係数を与える手法である。第1の手法では、式(1)に示すように、変換関数が対数となっており、高い震度に対しては、わずかな震度変化でも、加速度の変動は大きくなる。一方、第2の手法ではカテゴリ毎に対応加速度を算出して、変動ある加速度を平均して、最終的な加速度を求めることになり、誤差の累積が避けられる。本文では第2の手法について説明する。

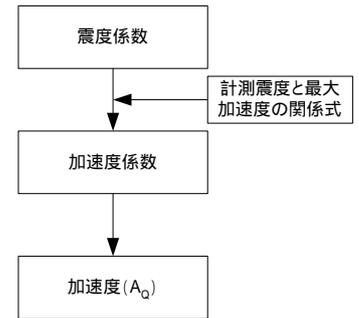


図-4 第2加速度推定法

神戸大学・高田らによる修正震度係数(I_Q)³⁾を加速度係数(A_{JMA})に変換するにあたり、修正震度係数はその値自体は気象庁の定める計測震度との直接的な結びつきがないため、まず震度係数を太田ら²⁾が推定した震度係数と気象庁震度階換算値の関係式(3)を用いて計測震度と対応する値(気象庁震度階換算値 I_{JMA})へと換算する。ただし、式(3)は修正震度係数が 1.456 未満の場合には意味を持たなくなるので、震度係数が 1.456 未満の場合には、式(3)に比較すると適合度は劣るが、修正震度係数と気象庁震度階換算値の関係を表す 1 次式(4)を用いて修正震度係数を気象庁震度階換算値へと換算する。次に、式(1)を用いて加速度係数へと変換する。この加速度係数をアンケート回答に与え、地域ごとの加速度を算出する。算出した加速度係数一覧を表-2 に示す。ここで、式中の

表-2 加速度係数

Item	Category							
	1	2	3	4	5	6	7	8
11	-	-0.73	1.04	4.65	6.67	-	-	-
12	-	0.24	2.03	3.51	5.23	6.58	-	-
13	-	1.24	2.56	4.18	5.99	6.41	7.08	-
14	-	-	0.24	4.10	6.28	7.96	-	-
15	-	1.10	1.60	3.88	5.36	6.56	7.59	-
16	0.72	2.12	3.75	4.93	5.91	6.77	7.55	-
17	-	3.13	4.17	5.03	5.78	6.46	7.08	7.66
18	0.98	2.82	4.45	5.69	6.74	7.66	-	-
20	0.41	2.46	4.39	5.83	7.00	-	-	-
21	1.19	3.27	4.50	6.00	7.25	-	-	-
22	4.20	5.36	5.83	6.91	7.86	-	-	-
23	-	3.40	4.43	5.82	6.98	-	-	-
24	-	-1.13	0.43	4.45	6.47	-	-	-
25	1.18	3.45	4.84	5.96	6.93	7.79	-	-
29	-	0.61	1.56	4.31	6.57	-	-	-
30	-	2.54	4.17	5.38	6.41	7.31	-	-
31	-	3.05	5.34	7.01	-	-	-	-

i , JMA_i , A_{JMA} , A_Q , はそれぞれ震度係数, 気象庁震度階換算値, 加速度係数, 推定最大加速度である。

$$\beta_{JMA_i} = 2.958(\beta_i - 1.456)^{0.547} \quad (1.456 < \beta_i) \quad (3)$$

$$\beta_{JMA_i} = 1.506\beta_i - 0.789 \quad (\beta_i \leq 1.456) \quad (4)$$

$$A_{JMA_i} = 0.4848e^{1.1432\beta_{JMA_i}} \quad (5)$$

$$A_Q = \sum_i^{Ne} A_{JMA_{ii}}(m_i) / Ne \quad (6)$$

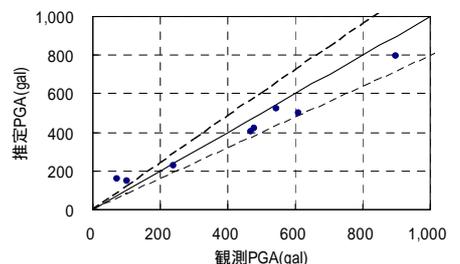


図-5 観測 PGA と推定 PGA の比較

4. 推定法の検証

表-2 の加速度係数を用いて、十勝沖地震、紀伊半島沖地震、新潟県中越地震において地震計付近で実施した震度アンケートの回答から、地域ごとの推定 PGA を算出し、実際に観測された最大加速度(観測 PGA)と比較した結果を図-5 に示す。図-5 中の実線および破線はそれぞれ、3 節の計測震度と最大加速度の相関分析を行った際に得られた震度階ごとの PGA 平均値と標準偏差を基として、(観測 PGA) = (推定 PGA), 実線からの標準偏差 ± の範囲を示している。図-5 よりほとんどの地域において、観測 PGA と推定 PGA の関係が標準偏差 ± の範囲に入っていることがわかる。しかし、加速度が大きくなるにつれて推定値の誤差は増大する。

5. まとめ

5 地震で観測された地震記録を用いて計測震度と最大加速度の関係について分析を行った。そこで得られた計測震度と最大加速度の関係を用いて、加速度推定法の提案を行った。加速度係数を用いた方法により、加速度を推定できることを示した。

【参考文献】

- 1) 気象庁：震度を知る - 基礎知識とその活用 -, ぎょうせい, 1996
- 2) 太田裕, 後藤典俊, 大橋ひとみ: アンケートによる地震時の震度推定, 北海道大学工学部研究報告, 第 92 号, pp.117-128, 1979
- 3) 高田至郎, 上田直樹: 計測震度に対応した新しいアンケート震度の算定手法, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.631-636, 1998
- 4) K-NET 強震ネットワーク HP より <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>