

I-B 229

計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係

東京大学生産技術研究所 正員 童 華南 正員 山崎 文雄
東京ガス(株) 清水 善久 正員 佐々木 裕明

1. まえがき 気象庁は客観的かつ迅速に震度を観測するため、従来の記述される現象を基準にした人の判断による震度から震度計による機械観測への移行を1990年から進めてきた。しかし、兵庫県南部地震をはじめとする多くの地震の経験から、震度5と6は被害の幅が広すぎることや、震度7を判断するには詳細な被害調査に時間を要することなど、以前の震度計の問題点が明らかにされてきた。これらの経験を踏まえ、気象庁は震度計によって震度7まで自動的に計測する計測震度を1996年2月15日に正式に決めた。これにより、完全に自動化した震度の速報システムの構築が可能となった。

今後新たに整備される地震観測網は、計測震度を基本指標とし計測するものが多くなると思われ、新しい観測網とすでにあった観測網とは互いに参照できない指標を使用すれば、絶対に不足している観測システムにとっては、大きな問題である。したがって、計測震度と従来の最大加速度、最大速度およびスペクトル強度のSI値との関係を明らかにすることは緊急の課題となる。

2. 計測震度の計算方法と物理背景 計測震度の計算方法は、気象庁が官報1831号(平成8年2月15日)に発表したものによれば、直交する3成分の加速度波形を成分ごとにフーリエ変換したスペクトルに周期効果のフィルター、ハイカットフィルターとローカットフィルターを全部かけてから逆フーリエ変換したものを使い、調整後の3成分のスペクトル合成したものを対象として、0.3秒継続した最大値 a_0 を指標として取り、それを次式に代入して計測震度を算出する。

$$\text{計測震度 } I = 2 \cdot \log_{10}(a_0) + 0.94$$

以上の計算方法は、加速度波形から速度波形を求めるプロセスと似ている。計測震度と同様に、速度波形も一旦フーリエ変換をしたスペクトルに加速度から速度へのフィルターをかけて、逆フーリエ変換で速度波形を得る。加速度波形をフーリエ変換をしてから倍率がつねに1のフィルターを通して逆フーリエ変換を行うと、当然もとの加速度波形に戻る。このように考えれば、加速度、速度、変位と計測震度の違いはフィルターだけで決められる。

図1に示した各種のフィルターから分かるように、周波数0.24 Hz 以上の地震波形の主要区間では、計算震度フィルターは加速度フィルターと速度フィルターの間で挟まれている。ただし、周波数0.4~1 Hz (周期の0.25~1秒)の間で震度フィルターは加速度より高く(最大値は1.17)になっており、0.24Hzより低周波数の区間で速度よりも低くなっている。物理的に理解すれば、強調された0.25~1秒周期区間は、人間の震動感覚を卓越した周期域と考えられる。一方、人の感覚と構造物被害に関係のない長周期と短周期の成分は震度計測のノイズとして考えられる。計測震度の決め方を総括すれば、ある周波数部分を強調したフィルターを通した波形の基に、3成分合成の増大効果および一定の継続時間などの条件も考慮した波形の最大値である。

3. 計測震度と従来の地震動指標の関係 物理的背景から、計測震度はある周波数部分が強調されるが、基本として加速度と速度との間に位置づけることができる。ただし、一般公表用の最大加速度と最大速度の指標では、3成分の合成と継続時間は考慮されていない。それに対して、SI値の計算過程では、20%の減衰で継続時間を取り入れており、被害をもたらす0.1~2.5秒周期領域だけを対象としている。以上の理由から、従来の地震動指標である最大加速度PGA、最大速度PGVおよびSI値によって、計測震度を推定することができると思われる。本研究でこれらの地震動指標と計測震度の関係の検討に使用した加速度記録は、計測震度の定義から、3成分が揃っている自由地盤の記録に限定した。データは、震源に近い記録のある兵庫県南部地震(76地点)と米国のノースリッジ(27地点)の記録に、広範囲で記録のある巨大地震として釧路沖、北海道南西、北海道東方沖と三陸はるか沖地震、中小規模の地震として92年2月2日の東京湾地震と兵庫県南部地震の余震のJMAの記録を加えて、合計205地点の記録を使用した。回帰解析により求められた推定式は、それぞれ式1~式3である。

$$\text{最大加速度による計測震度の推定: } I = 0.59 + 1.89 \cdot \log_{10}(PGA) \quad (\text{標準偏差は } 0.281, \text{ 図 } 2) \quad (\text{式 } 1)$$

最大速度による計測震度の推定式： $I = 2.30 + 2.01 \cdot \log_{10}(PGV)$ （標準偏差は 0.418，図3）（式2）

SI による計測震度の推定式： $I = 2.43 + 1.96 \cdot \log_{10}(SI)$ （標準偏差は 0.174，図4）（式3）

ここでの PGA , PGV と SI は，実用性の考慮から 3 成分中のピクからの最大値を用いるものとし，ベクトルで合成したものではない。物理的背景から推測した通り， SI 値は全周波数域にわたって計測震度とかなりよく対応している。最大加速度と最大速度も計測震度とはっきりした対応関係にある。但し，最大速度は 20cm/s 以下では小さくなればなるほど，相関が低くなる傾向が図3から読みとれる。本来， SI 値と PGA とはよく対応する相関関係にある（童，山崎，1994）ことを考えれば， SI の PGV との差の分が計測震度に近づいていることが分かる。

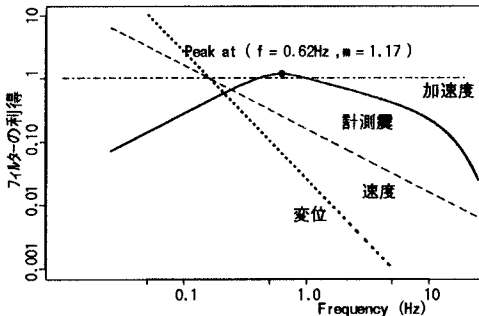


図1 計測震度のフィルターと速度，加速度フィルターと比較

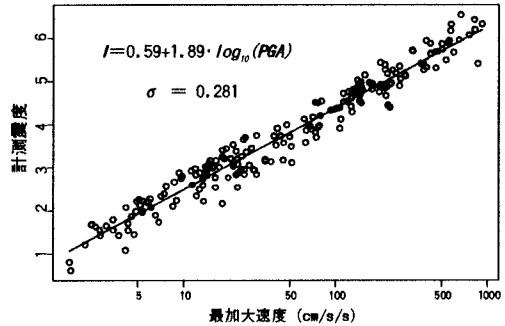


図2 最大加速度と計測震度

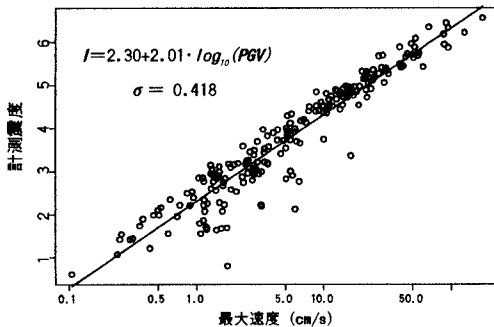


図3 最大速度と計測震度

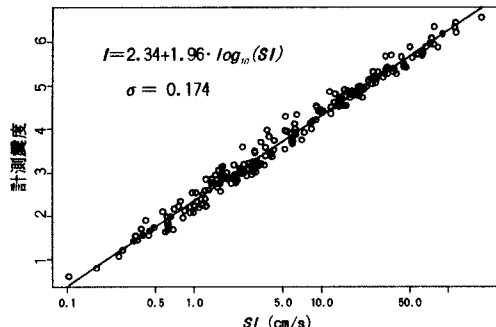


図4 SI 値と計測震度

推定式標準偏差から見れば，単独の地震動指標として， SI は計測震度との相関が最も高い，これは計測震度の継続時間と強調した周期領域の要素が， SI にも含まれているからである。実用上では SI 値を測る SI センサーであれば，最大加速度も計測するので，2つの指標からの推定式は

$$I = 1.68 + 1.29 \cdot \log_{10}(SI) + 0.69 \cdot \log_{10}(PGA) \quad (\text{標準偏差は } 0.097) \quad (\text{式4})$$

また，最大速度と最大加速度による推定式：

$$I = 1.11 + 0.78 \cdot \log_{10}(PGV) + 1.25 \cdot \log_{10}(PGA) \quad (\text{標準偏差は } 0.180) \quad (\text{式5})$$

式4で SI 値と最大加速度から推定した計測震度は，3分の2の推定誤差が震度0.1以内におさまり， SI 値(式3)か最大加速度(式1)だけの推定誤差の半分以下である。即ち， SI 値の計測震度より鈍感である高周波数とピク部分は最大加速度がうまく補ってくれた。式5は PGA と PGV から計測震度を推定する式であり， SI 値より最大速度のデータが多いので，実用性も高いと言える。計測震度本来の精度を考えれば，式4と式5によって得たものを震度計のないところの計測震度として使用するには全く問題ない。

4.まとめ 本研究は，気象庁の新しい計測震度と従来の地震動の強さを測る指標の最大加速度，最大速度および SI 値との関係を対象とし，計測震度の定義から，他指標との物理的関連を論じ，日米205地点の強震記録を用いて検証を行った。従来の観測網の地震動指標さえあれば，本研究で得た関係式から計測震度を精度よく推定することができるので，研究の結果は各機関の地震観測網の共同運用に活用できる。