

瞬間計測震度を用いた地震動波形の合成

尾崎竜三¹・高田至郎²

¹正会員 博(工) 神戸大学助手 工学部建設学科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

²フェロー会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

気象庁で用いられている計測震度は、観測される一連の加速度時刻歴を用いて算定される。しかしながら、観測される地震動は時々刻々変動するため、計測震度の時間的な変化を考慮すべきである。

本稿では、時間の経過を考慮した「瞬間計測震度」を用いて、直下型地震の地震動特性を検討する。指標として、瞬間計測震度の立ち上がり時間およびある震度レベルの継続時間について検討し、震源断層からの最短距離とそれら指標との相関を把握した。兵庫県南部地震、鳥取県西部地震の観測記録を用いて検討した結果、震源距離と立ち上がり時間には正の相関が、また継続時間には負の相関があることが知られた。またその関係を用いて決定される瞬間計測震度の形状から直下型地震の地震動波形の推定を試みた。

Key Words : JMA Intensity, Rise time, Duration, Frequency

1. はじめに

気象庁で用いられている計測震度は、観測される一連の加速度時刻歴を用いて算定される。しかしながら、観測される地震動は時々刻々変動するため、計測震度の時間的な変化を考慮すべきである。3成分の加速度記録から得られる計測震度の時間的な変動を捉えることは、地震動強度の即時的な指標として適していると言える。筆者らは、区間ごとの計測震度を算定し、計測震度の立ち上がり時間から地震中に人が行動できるかどうかについて検討した¹⁾。

本研究では瞬間計測震度¹⁾を用いて、指標として瞬間計測震度の立ち上がり時間およびある震度レベルの継続時間について検討し、まず震源断層からの最短距離とそれら指標との相関を検討する。

また断層距離とこれら2指標との関係から、瞬間計測震度を用いて、断層特性を考慮した地震動の推定手法について検討する。

1) 各成分の加速度記録のフーリエ変換によりスペクトルを計算する、2) 3種類のフィルタをかけ、フィルタ処理する、フィルタとしては地震動の周期に関連したフィルタ(式(1))、ハイカットフィルタ(式(2))、ローカットフィルタ(式(3))が用いられ、フィルタの総合的な特性は図-1で示されるとおりである。3) フィルタ処理したスペクトルを逆フーリエ変換により、加速度波形を算定する、4) 3成分で得られたフィルタ処理された加速度波形をベクトル合成する、5) 継続時間(0.3秒)を考慮して加速度振幅を決定する、6) 修正した河角の式(式(4))より計測震度を算出する。

$$(1/f)^{1/2} \quad (1)$$

$$\left(1 + 0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8 + 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12}\right)^{-1/2} \\ X = f/f_c \quad (f_c = 10\text{Hz}) \quad (2)$$

$$\left(1 - \exp\left(-\left(f/f_0\right)^3\right)\right)^{1/2} \quad (f_0 = 0.5\text{Hz}) \quad (3)$$

2. 気象庁計測震度の特徴

計測震度は、1996年に気象庁によって提案された地震動の指標であり、以下のような手順で計算される³⁾。

$$I = 2 \log(a_0) + 0.94 \quad (4)$$

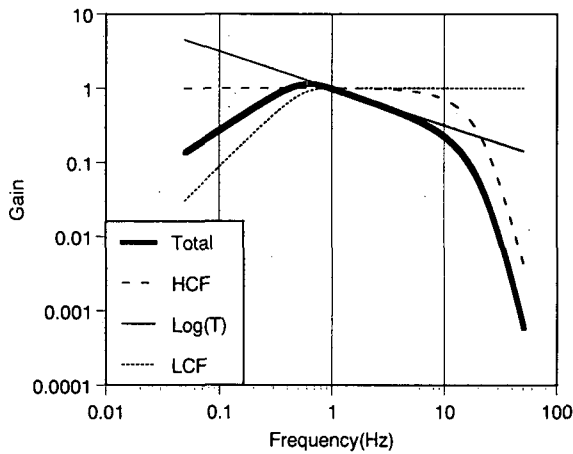


図-1 総合的なフィルタ特性

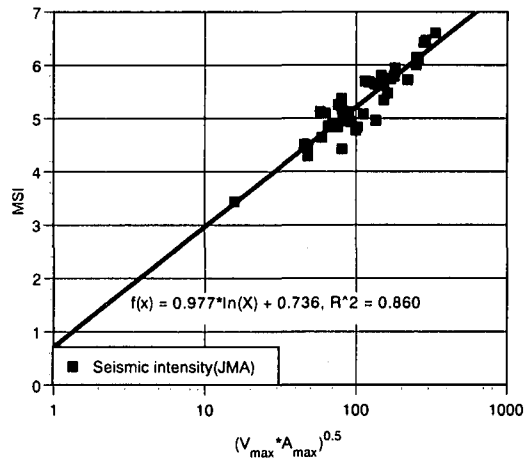


図-2 PGAとPGVの積と計測震度の関係

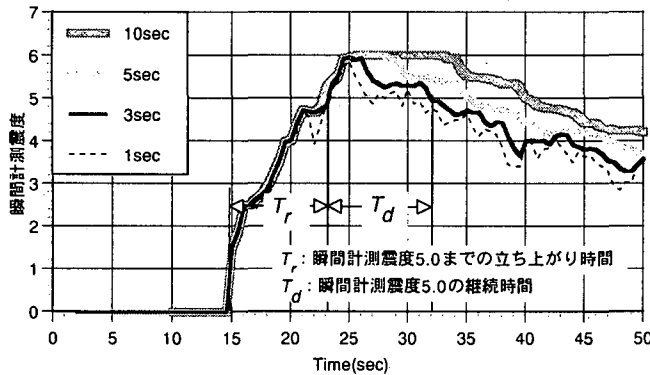


図-3 瞬間計測震度の例

ここで、 f : 振動数、 a_0 : 手順 1) から 5) で得られた加速度振幅、 I : 計測震度である。

このような手順で得られる計測震度の特徴としては、3成分の加速度波形が同時に考慮されること、地震動の継続時間の考慮方法が修正されたこと（これにより計測震度は連続した量として扱われる）である。

フィルタについて見ると、式(1)で示されるフィルタは、加速度記録から速度を計算する際に f^{-1} のフィルタが用いられることを考慮すれば、速度と加速度記録の中間的な波形を計算していることになる。

1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震の観測記録をもとに最大加速度値 (PGA)、最大速度値 (PGV) の積と計測震度の関係を調べたものを図-2に示す。本図より計測震度とPGAとPGVの積は比例の関係にあることが知られる。

3. 瞬間計測震度

ここでは、瞬間計測震度について説明し、また瞬間計測震度の時間的な変動と震源断層からの最短距離の関係を検討する。瞬間計測震度とは、観測記録のある区間において計測震度を算定し、区間を動かして計測震度の変動を捉えるものである。一例を図-3に示す。

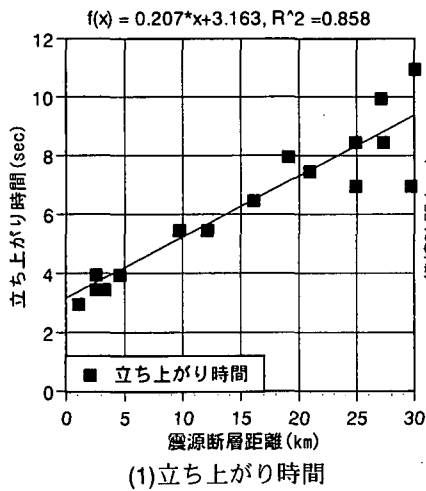
表-1 計測震度と時間の指標

観測地点名	震源断層距離 (km)	計測震度	瞬間計測震度5.0	
			立ち上がり時間 (sec)	継続時間 (sec)
豊中(関震協)	16.0	5.36	6.5	3.5
弥栄(関震協)	30.0	5.14	11.0	2.0
森河内(関震協)	27.0	5.27	10.0	5.0
福島(関震協)	19.0	5.38	8.0	8.5
本山(関震協)	4.5	6.12	4.0	7.0
神戸(気象庁)	1.0	6.44	3.0	12.5
尼崎(港研)	12.5	5.74	6.5	11.0
尼崎(関震協)	12.5	5.71	6.0	10.0
総合技術研究所(関電)	13.0	5.96	6.5	11.0
神戸大(関震協)	2.5	5.66	4.0	6.5
新神戸変電所(関電)	2.5	6.18	3.5	9.5
松江(K-NET)	24.8	5.11	8.5	3.0
伯太(KiK-net)	9.6	5.76	5.5	6.5
仁多(KiK-net)	27.2	5.10	8.5	3.0
新見(K-net)	24.8	5.66	7.0	8.0
新見(JMA)	20.8	4.97	7.5	3.0
落合(JMA)	29.6	5.18	7.0	3.0
米子(K-net)	4.0	5.82	7.0	6.0
米子(JMA)	5.6	5.14	7.5	4.0
境港(JMA)	16.8	6.01	8.0	10.5
境港(港研)	17.6	5.66	8.5	9.0
日南(K-net)	12.0	5.49	5.5	5.0
日野(KiK-net)	3.2	6.62	3.5	11.5
J府(K-net)	9.6	5.81	5.5	5.0

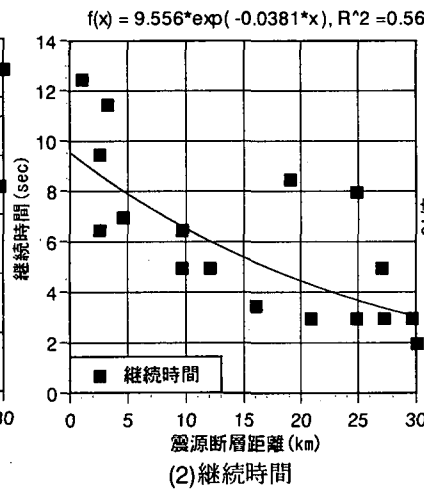
本図においては、区間として1, 3, 5, 10秒間を扱っている。図からも明らかのように瞬間計測震度は区間が長いほど、大きな値が継続することとなる。本研究では3.0秒の時間幅で0.5秒間隔で計算することとした。

さて震度5を越えると、1) 耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある(木造家屋)、2) 耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある(鉄筋コンクリート造建物)、3) 安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水したり、停電する家庭もある(ライフライン)などを考慮して、計測震度5.0に達するまでの立ち上がり時間およびその継続時間を指標として扱う。図-3にこれらについてもあわせて示した。

このようにして得られる瞬間計測震度に関する指標であるが、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震時の観測記録から算定したものを表-1に示す。



(1)立ち上がり時間



(2)継続時間

図-4 液状化地盤の記録を除いた2地震について

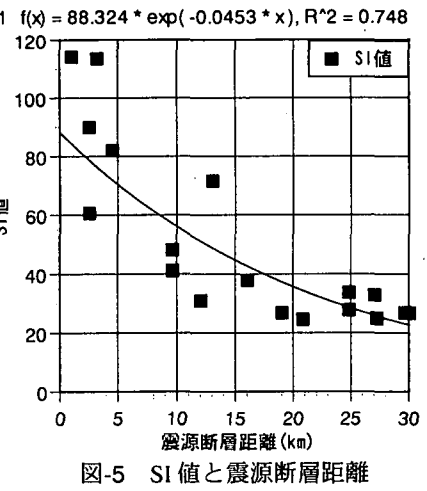


図-5 SI値と震源断層距離

の関係

また立ち上がり時間、継続時間について断層距離との関係を、1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震について調べた。また2地震についても同様に件とした。結果として、兵庫県南部地震については立ち上がり時間と震源距離には非常に良い相関が見られたが、継続時間との関係については、余りよいとは言えない。鳥取県西部地震、2地震を同時に検討した場合、余り良い相関があるとは言えなかった。

ところで、兵庫県南部地震時の尼崎、鳥取県西部地震時の境港などの記録は、地盤の液状化の影響を受けている可能性が大きく、長周期化しており、卓越振動数が低い。そのような地盤の非線形特性を大きく受けている記録を除き、再度2地震から得た立ち上がり、継続時間と震源距離の関係をプロットしたものが図4である。前述の結果より良い相関が得られていることが知られた。低振動数が卓越するような観測記録については、瞬間計測震度から得られる立ち上がり時間、継続時間に影響が生じ、震源特性とは異なる性質を示すと考えられる。

またSI値についても同様の検討を行った。結果を図5に示す。本図から震源断層距離とSI値にもある程度の相関があることが知られた。

4. 瞬間計測震度を用いた地震動推定手法の検討

前章までに検討した瞬間計測震度の立ち上がり時間、継続時間を用いて断層を震源とする地震の地震動を推定する手法を検討する。まず概略の流れを図6に示す。地震動の推定は本図に沿って行うことを検討している。

まず震源断層を設定して地震動を推定する地点までの距離、また破壊の方向を決定する。前章で得た震源距離と立ち上がり時間、継続時間の関係から瞬間計測

震度の時刻歴を設定することが可能となる。

ところで、瞬間計測震度と修正河角の式(式(4))にベクトル和を逐次代入した計測震度の時刻歴を図7に示す。本図より両者は非常に似ており、瞬間計測震度の時刻歴を式(4)にベクトル和を逐次代入した計測震度の包絡形(もしくは包絡形)と見なすことができる。さらに瞬間計測震度から式(4)を用いてベクトル合成波を図8のように得ることができる。

以下フローに従って推定が進めていくが、紙面の都合上、結果および考察は発表に譲りたい。

5. おわりに

本研究では、瞬間計測震度の立ち上がり・継続時間を定義し、断層からの距離との関係式を算定した。結果として、計測震度算定の際の $f^{-0.5}$ のフィルタによって、速度と加速度の中間の波形が計算されており、結果として計測震度はPGAとPGVの積の平方根に比例することが知られた。また立ち上がり時間・継続時間と断層距離の関係を検討した結果として、計測震度は断層特性だけでなく、波形の周波数特性の影響を受けることが知られた。

また、瞬間計測震度の立ち上がり時間・継続時間と断層距離の関係をを用いることで、模擬地震動を推定する手法について検討した。今後より詳細に分析を行い、推定手法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 高田至郎, 尾崎竜三, 鎌田泰子, 真井哲生: 平成12年10月6日鳥取県西部地震被害調査報告書, pp.34-35, 2000.10.
- 2) Ozaki, R. and Takada, S.: JMA Seismic Intensity and Consideration from Fault Distance, *Proceedings of Joint Workshop on US-Japan*

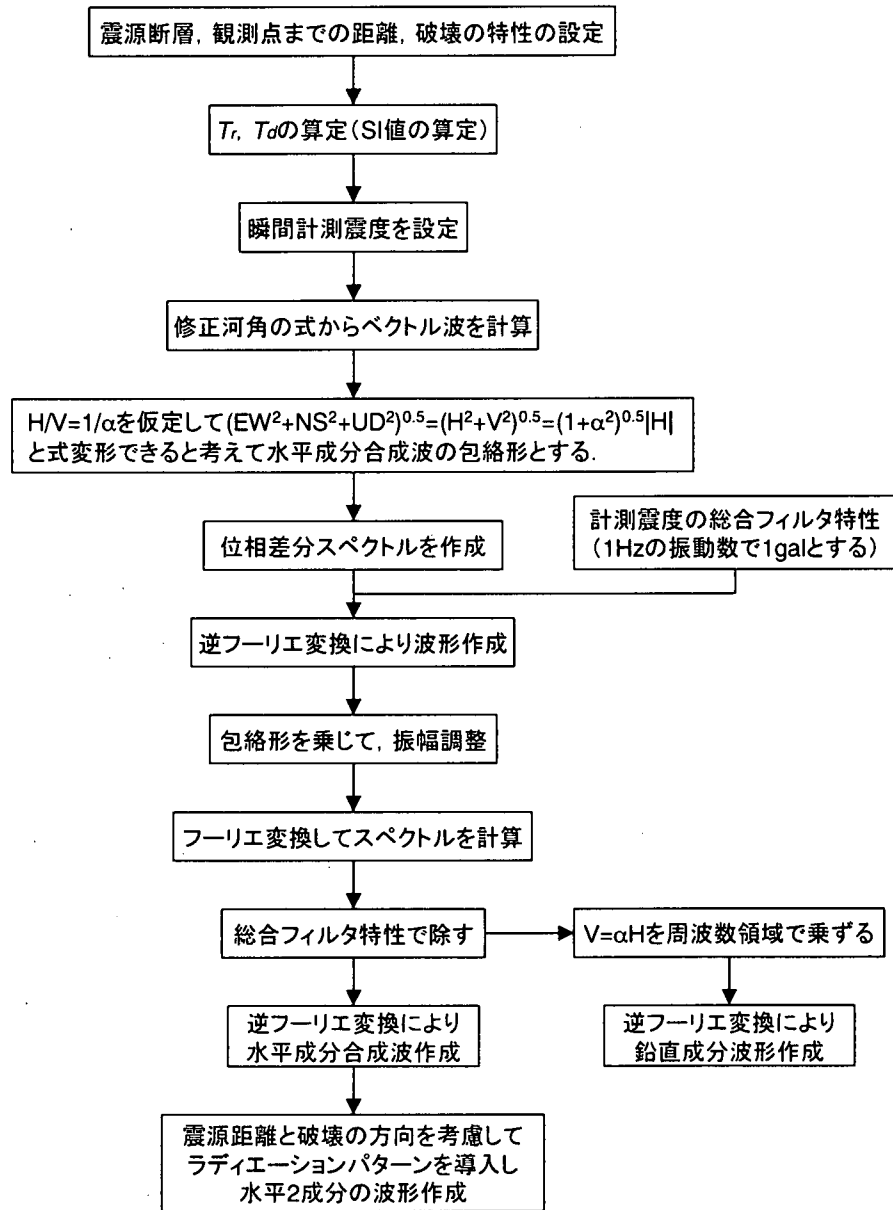


図-8 地震動の推定フロー

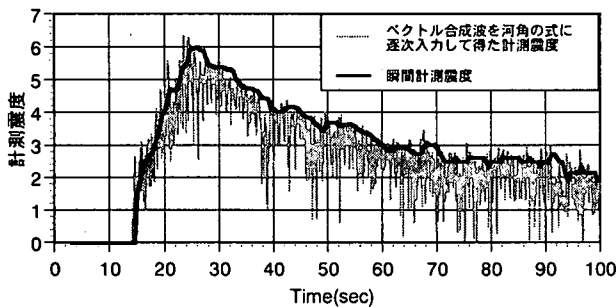


図-9 瞬間計測震度と修正河角式より逐次計算した計測震度

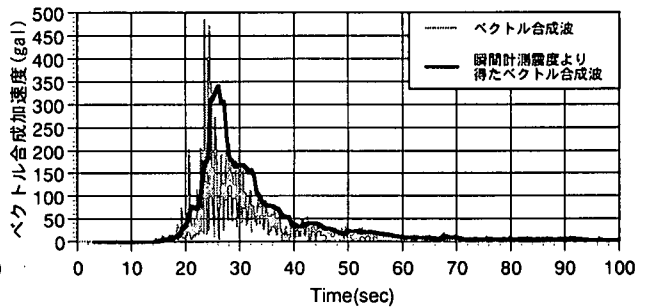


図-10 ベクトル合成波と瞬間計測震度より得たベクトル合成波

Cooperative Research in Urban Earthquake Disaster Mitigation, pp. 49-55, 2001.1.

3) 気象庁：震度を知る－知識とその活用－，（株）ぎょうせ

い，1996.9.

4) 気象庁：気象庁震度階級関連解説表，<http://www.kishou.go.jp/know/shindo/kaisetsu.html>，1996.2.