

瞬間計測震度対応の強震動波形合成

Synthetic Ground Motion Corresponding to Instant Instrumental Seismic Intensity

尾崎竜三*, 高田至郎**

Ryuzo Ozaki, Shiro Takada

*博士(工学), 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)

**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)

In this paper, how to synthesize a ground motion corresponding to instant instrumental seismic intensity is described. First, ground motion characteristics is verified by applying the instant instrumental seismic intensity, which is time dependent index. It is related with the two indexes that are rise time and duration of the instant instrumental seismic intensity with a certain level. Furthermore, taking them into account, proposal of synthesizing ground motion is expressed. As results, the synthetic ground motion has a good agreement with the instrumental seismic intensity and also with the new proposed "converted seismic intensity" which is based on the instrumental seismic intensity.

Keywords: Synthetic ground motion, Instant instrumental seismic intensity, Converted seismic intensity

キーワード: 波形合成, 瞬間計測震度, 換算震度

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その最大値が算定される。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発生直後における人の避難行動について検討した¹⁾。

本稿では、時間経過を考慮した「瞬間計測震度」^{1), 2)}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。また指標と断層距離の関係をj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合成手法について検討した。

さて、震源断層の広がり方を考慮して地震動を合成する方法としては、小地震の観測記録を利用した経験的Green関数重ね合わせ法³⁾がよく用いられている。観測小地震記録を大地震断層上の破壊面積の広がり方と滑りの

進行に応じて足し合わせることで大地震波形を合成するものである。この方法では、大地震と小地震では地震動を構成する要因(震源、伝播、サイト)のうち、伝播特性とサイト特性は共通であり、震源特性のみを考慮すればよい。

一方、予測の対象とするサイトで問題とする震源域に発生した適切な地震動記録が得られていない場合が少なからずある。そのような状況では、対象とするサイトでの小地震記録として、Boore⁴⁾の提案する震源スペクトル形状を満足する波形を合成し、断層特性を考慮して重ね合わせる統計的波形合成法⁵⁾が用いられる。統計的波形合成法では伝播特性やサイト特性を評価しなくてもよいという経験的Green関数法の利点は十分に活かされないが、断層面での破壊伝播や断層と任意地点との幾何学的な関係が考慮できるという利点がある。

これらの手法では震源特性として断層の詳細なパラメータが必要となるため、未知の断層についての波形合成には適していない。また被害に関連した入力地震動が推定されているとは言い難い。

気象庁の震度階(計測震度)は、被害との関連性が強く、そのため被害と結びつけた地震動の推定を行うべきである。そこで、設定した計測震度に応じた波形を合成する手法を新たに提案するものである。

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、図-1 に示す手順で計算される⁹⁾。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-2 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から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。

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

$$\left(1 + 0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8 + 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12}\right)^{-1/2} \tag{2}$$

$$X = f/f_c (f_c = 10\text{Hz})$$
$$\left(1 - \exp\left(-\left(f/f_0\right)^3\right)\right)^{1/2} (f_0 = 0.5\text{Hz}) \tag{3}$$

$$I = 2\log(a_0) + 0.94 \tag{4}$$

ここで、 f : 振動数、 a_0 : 手順 1) から 5) で決定される加速度振幅、 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

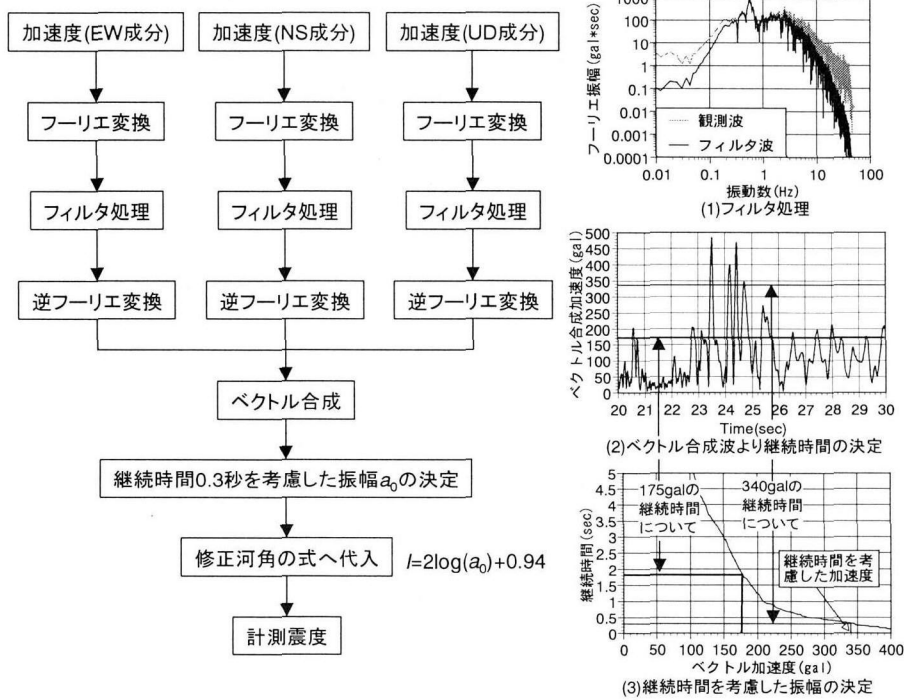


図-1 計測震度算定フロー

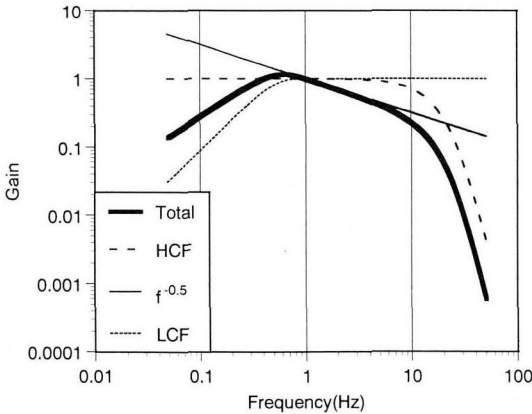


図-2 計測震度算定用の総合フィルタ特性

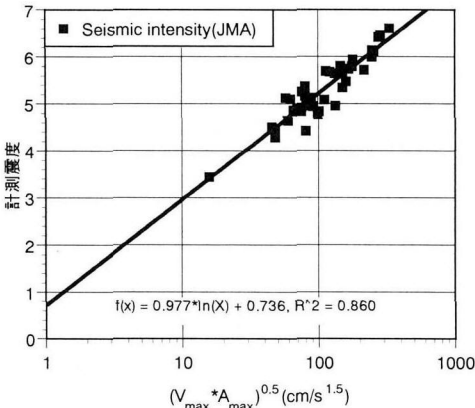


図-3 計測震度と PGA*PGV の関係

継続時間の考慮方法が修正されたこと（旧計測震度は算出された値の整数部分しか意味を持たなかったが、新計測震度は小数点以下の値が意味を持つようになり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、周波数領域で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-3 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^{1),2)}

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、観測記録のある時間幅の区間において計測震度を算定し、その区間を動かして

計測震度の変動を捉えるものである。一例を図-4 に示す。本図においては、区間の幅として 1, 3, 5, 10 秒間を扱っている。図からも明らかなように瞬間計測震度は時間幅が長いほど、大きな値が継続することとなる。そのため時間幅が長いほど計測震度の時間変化がわかりにくくなる。本研究では計測震度の時間変化をとらえるという目的から 1.0 秒の時間幅（ $\Delta t=0.01$ の波形については 100 個のデータが含まれる）で 0.1 秒ずつ時間幅をずらせて計算することとした。また計測震度算定に必要なフーリエ変換に際しては後続に 0 をつけて行っている。

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）⁷⁾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時間およびその継続時間を指標として扱う。図-4 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

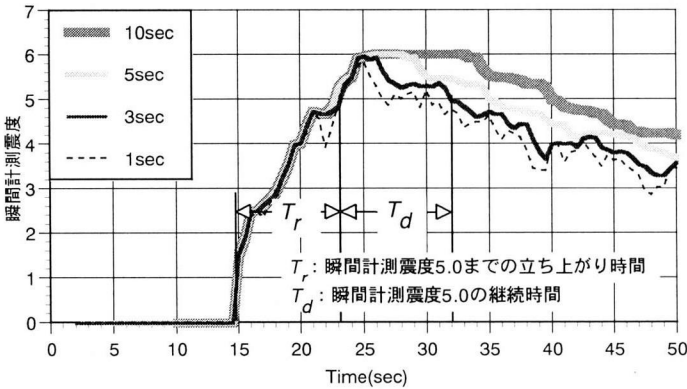
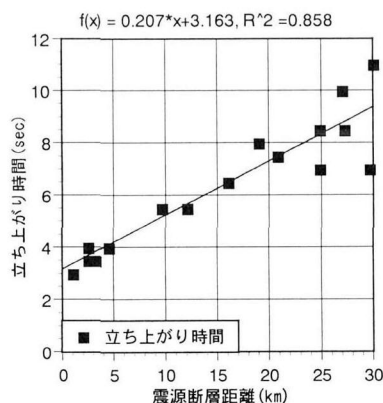


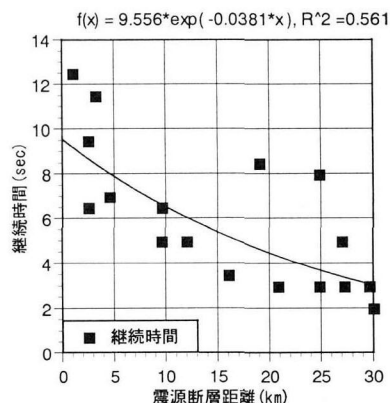
図-4 瞬間計測震度

表-1 推定に用いた観測記録

観測地点名	震源断層距離 (km)	計測震度	立上り時間 (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
江府(K-net)	9.6	5.81	5.5	5.0



(1) 立ち上がり時間との関係



(2) 継続時間との関係

図-5 瞬間計測震度に関する指標と断層距離の関係

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。

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．計測震度はそのフィルタ特性上，地盤の非線形特性を受けている記録については，大きく算出される．そのため，液状化地盤における値を除き，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-5 である。

それにより震源断層距離と立ち上がり時間との間により相関が得られることが知られた．継続時間との相関は必ずしもよいとは言えないが，液状化地盤のデータを除くことで相関関係は向上する結果となった．震源距離が長くなるほど，波形の伝播経路の違いが大きくなり，20～25km を越える部分ではばらつきが大きくなっていると考えられる．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。

4. 瞬間計測震度に対応した強震動波形の合成

前章までに検討した瞬間計測震度の立ち上がり時間，継続時間を用いて震源断層を想定して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。

4.1 瞬間計測震度設定～ベクトル合成波の包絡形作成

震源断層を想定し地震動を推定する地点までの距離を決定する．震源距離を図-5 に示した立ち上がり時間，継続時間の関係に代入して，立ち上がり・継続時間を決定し，瞬間計測震度の時刻歴を設定する．ここでは本手法の精度検証の点から実波形より算出した瞬間計測震度を用いている。

次に，瞬間計測震度と修正河角の式（式(4)）に加速

度ベクトル和を逐次代入して得られる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いるが，瞬間計測震度の時刻歴を修正河角の式にベクトル和を逐次代入して得た計測震度の包絡形とみなすには少し値が小さい．約 100 個の観測記録により検討した結果を統計的に判断すると，瞬間計測震度の値を 0.5 増加させて用いることで，包絡形と見なすことが可能となる（図-8）．瞬間計測震度から式(4)を用いてベクトル合成波を図-9 のように得ることができる。

4.2 H/V スペクトルによるベクトル合成波の変換に関する仮定

図-9 で示した合成波は，式(1)から(3)のフィルタ処理された波形を 3 成分でベクトル合成したものであり，

図-9 は $\sqrt{A_{EW}^2 + A_{NS}^2 + A_{UD}^2}$ (A_{EW} などは，それぞれ各成分の加速度を示す) について示している．そのため，これを振動数に依存した H/V 比 ($=1/\alpha(f)$) を考え，さらに水平 2 成分を 2 乗和の平方根で表すことで 1 成分の波形として考慮する．前節で得られるベクトル波の包絡形から波形を合成するために必要である．波形合成後，各成分への分離は周波数領域で行う．この仮定を式(5) に示す．また H/V スペクトルの 1 例を図-10 に示す。

$$\sqrt{A_{EW}^2 + A_{NS}^2 + A_{UD}^2} = \sqrt{H^2 + V^2} = \sqrt{1 + \alpha(f)^2} |H| = |H'| \quad (5)$$

$$\text{ここで， } H = \sqrt{A_{EW}^2 + A_{NS}^2}, \quad V = A_{UD}, \quad \frac{H}{V} = \frac{1}{\alpha(f)}$$

4.3 逆フーリエ変換による波形作成と総合フィルタ特性

4.1 で得られるベクトル合成波の包絡形から式(5)の仮定を用いて得られる波形を便宜的な水平成分 (H') の

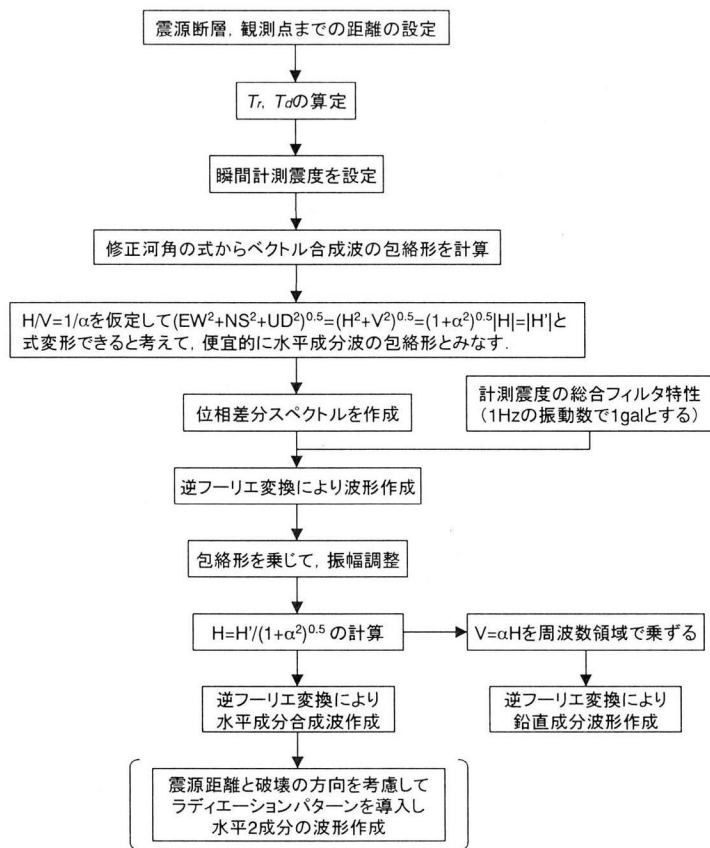


図-6 加速度波形合成フロー

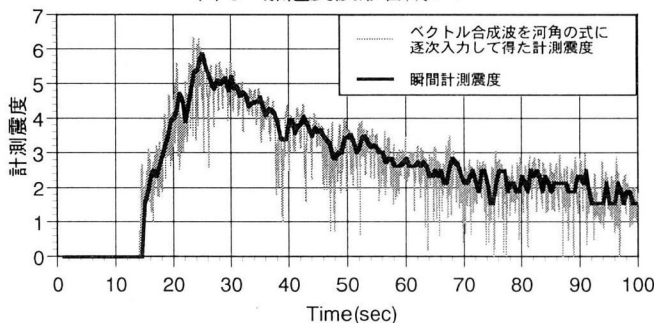


図-7 瞬間計測震度と修正河角の式に3成分のベクトル和を逐次代入して得た計測震度

包絡形とみなす。さて，加速度波形の包絡形から位相差分スペクトルを計算し，さらにフーリエ位相を推定して，波形を作成する手法は，筆者らによってすでに提案されており⁹⁾，本稿でも，それを用いて波形を作成する。しかしながら，フーリエ振幅については得られていないため，今回の波形合成では計測震度のフィルタ特性を1.0Hzで単位の大きさ(1.0gal*sec)をもつフーリエ振幅であるとして考えて，合成された波形に水平成分の包絡形を乗ずることによって，目標となる振幅をもつ波形を作成することとした。合成された波形を図-11に示す。

4.4 水平・鉛直成分波

4.3で得られた H' は式(5)に示されるように， H/V スペ

クトル比を考慮した水平・上下成分の合成波として算定されている。そこで図-10に示す H/V スペクトル比を用いて， $H = H' / \sqrt{1 + \alpha(f)^2}$ を計算し，水平成分を得る。さらに $V = \alpha(f)H$ より，鉛直成分を得ることができる。得られた波形を図-12に示す。ここまでの手法で，設定した瞬間計測震度から当該地点における加速度波形を得ることが可能となる。

5. 合成波から算定される計測震度の検証

5.1 計測震度による検証

前章で示した手法により設定した瞬間計測震度からそれに適合した地震動記録が得られることになる。本章で

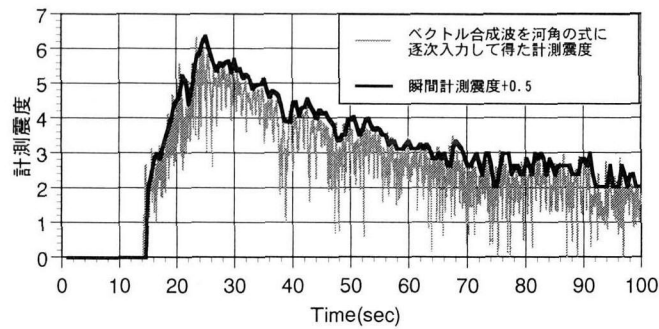


図-8 瞬間計測震度+0.5 と修正河角の式に3成分のベクトル和を逐次代入して得た計測震度

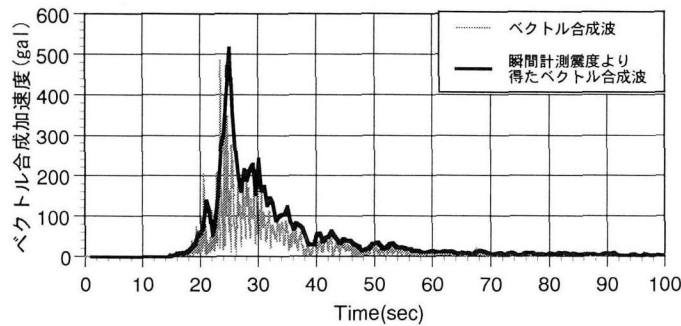


図-9 ベクトル合成波と瞬間計測震度から修正河角の式により逐次算定したベクトル合成波

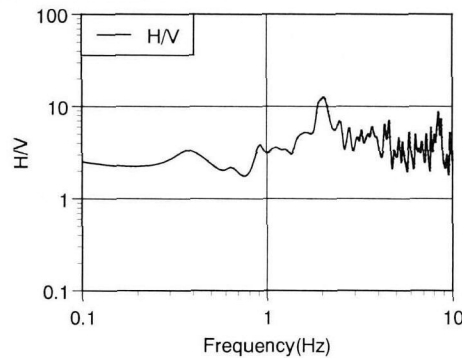


図-10 H/V スペクトル比

は、観測波形から得られる瞬間計測震度を用いて合成された波形が、実際に算定された計測震度にどの程度適合しているかを検討した。H/V スペクトル比に関しても、観測記録から得たものを用いている。

検証に用いた観測記録を表-2 に示す。十分な継続時間が得られている観測記録で、観測記録から得られる計測震度が 5.0 以上になるものを 2000 年鳥取県西部地震時の記録から選択した。まず位相特性の違いによって得られる波形はそれぞれ異なるため、それから算定される計測震度のばらつきを検討した。多くのケースで検討した結果、ばらつきは 20 通り程度の位相特性によって変動幅を満たしていたため、20 通りのランダムな位相特性を与えて得られる水平・鉛直成分の波形を用いた。表-2 に示した中から、7 地点について観測波形から得られた計測震度と推定波形から算定された計測震度を比較したものを図-13 に示す。図より位相特性の違いによっても、概ね $y=x$ 付近にデータが分布することから、ある程度妥当な結果が得られていることが知られる。図に示

していない残りの地点についてもこの傾向は同じである。

さて、表-2 には観測記録から得た計測震度ならびに位相特性をランダムに変えて推定した水平・鉛直波形 20 組から計算される計測震度の平均値、さらにそれらの差を併せて示している。本表より推定波形から得られる計測震度は、観測記録から得られるそれより最大で 0.4 程度のばらつきを有していることが知られる。

今回用いたデータを見ると、境港 (47742, f1493) , 米子 (ttr008) での観測記録は、液状化の発生などの地盤の非線形特性を受け、長周期化した波形である。3. でも述べたように、計測震度算定用のフィルタ特性から長周期 (低振動数) が卓越するような波形については、計測震度は大きく計算される。そこで、これらのデータを除いて、観測・合成波形から得られた計測震度をプロットしたものを図-14 に示す。本手法の適用への第 1 ステップとして、結果の大まかな傾向を捉えるために合成波形から得た計測震度は、20 ケースの平均値を用いている。本図より回帰直線は傾きが少しくつくなるものの、

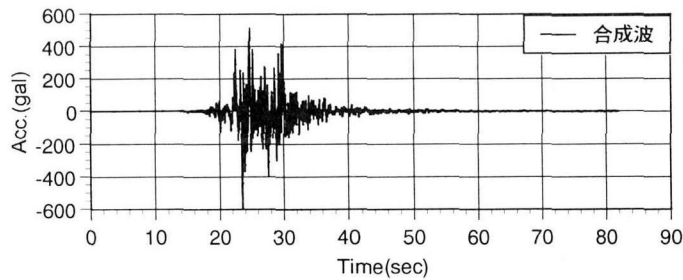
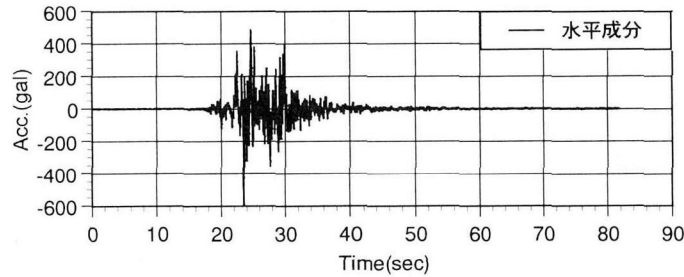
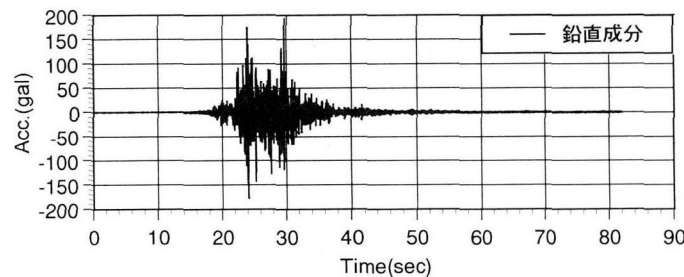


図-11 合成された波形



(1)水平成分



(2)鉛直成分

図-12 水平・鉛直成分で推定された波形

今回検討した範囲では概ね $y=x$ とよい一致を示していること、また回帰直線の決定係数は 0.950 であることから、ある程度妥当な推定結果を示しており、液状化などの地盤の顕著な非線形特性を受けない地盤上では、目標とした計測震度に応じた波形が合成できたと考えられる。

5.2 瞬間計測震度による検証

本節では、合成した波形の瞬間計測震度が観測波形から得られるものとどの程度適合しているかを検討する。検証には、表-2 のデータを用いた。算定した瞬間計測震度を図-15 に示す（1 例として oky004 について示す）。本図より合成した波形から得られる瞬間計測震度は、観測記録のものと比較して、主要動部分についてはよく対応していると考えられるが、主要動が終わる 30 秒付近以降から誤差が大きくなるのが分かる。今回用いたデータについて、この傾向は同じであった。原因としては、4.3 で説明した波形を合成する際に逆フーリエ変換で算定した波形に包絡形を乗じるため、主要動以降の部分の振幅を減少させていること、さらには、計測震度算定に用いる修正河角の式によるものが考えられる。

図-15 に示した瞬間計測震度を用いて、式(4)よりベクトル合成加速度を算定した。図-16 に算定結果を示す。本図より、図-15 に示した瞬間計測震度ほどの誤差は見られないことが知られる。さらに修正河角の式より得られる加速度と計測震度の関係について図-17 に示す。河角の式は震度が出力として捉えられていたときに設定されたもので、現在の使用においては修正されているが、対数関数が用いられているため、10gal の加速度で震度 3（計測震度 2.94）、100gal で震度 5 弱（計測震度 4.94）となり、低い加速度値でも中程度の震度が得られる。そのため、ベクトル合成加速度に比べて、瞬間計測震度は主要動の終了する付近から誤差が目立つ結果となった。

ここで、この誤差を低減させることを目的に新たに換算震度を提案する。気象庁震度関連解説表⁷⁾より震度 1 から 3 までは観測された場合の現象は、被害に関連するものは少なく、置物などが倒れることもない。また図-17 に示されるように、震度 3 となる加速度レベルも約 10gal 程度と低いものである。これらを考慮して、震度 1 から 3（計測震度 0.5 から 3.5）までをあらたに換算震度 1 とし、それ以降については、現行の震度から 2 震度

表-2 観測記録・推定結果から得られた計測震度

観測地点(機関)	観測地点No	観測波形から得た計測震度 l_o	推定波形から得た計測震度(平均値) l_e	差 (l_o-l_e)
日野(KIK-NET)	ttrh02	6.62	6.56	0.06
境港(気象庁)	47742	6.01	5.72	0.29
米子(K-NET)	ttr008	5.82	5.60	0.22
江府(K-NET)	ttr007	5.81	5.67	0.14
伯太(KIK-NET)	smnh01	5.76	5.82	-0.06
新見(K-NET)	oky004	5.66	5.70	-0.04
境港(港研)	f1493	5.66	5.32	0.34
日南(K-NET)	ttr009	5.49	5.54	-0.05
落合(気象庁)	42417	5.18	4.79	0.39
米子(気象庁)	47744	5.14	5.12	0.02
松江(K-NET)	smn002	5.11	5.07	0.04
仁多(KIK-NET)	smnh02	5.10	5.01	0.09
高野(K-NET)	hrs001	5.08	4.96	0.12
新見(気象庁)	41422	5.08	4.89	0.19
土庄(気象庁)	42424	5.07	4.99	0.08
油木(K-NET)	hrs005	5.05	4.94	0.11

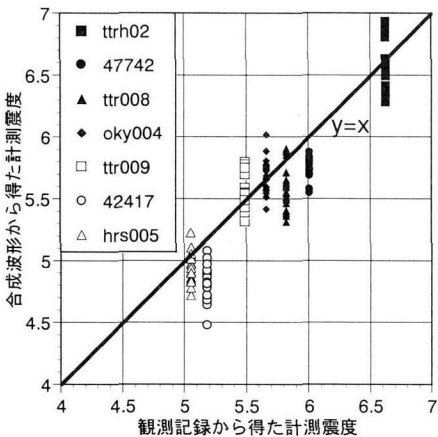


図-13 位相特性による計測震度のばらつき

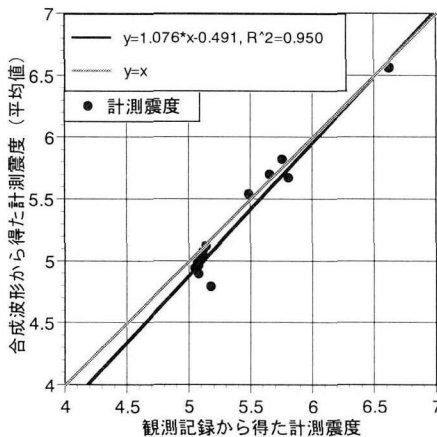


図-14 計測震度の比較

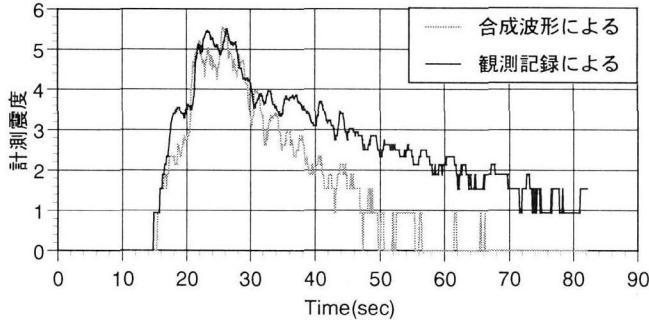


図-15 瞬間計測震度の比較

階減じた値を用いることで誤差の低減について検討する。さらに提案する換算震度と計測震度の比較および加速度との関係を図-18 に示す。本稿では、計測震度 0.5 から 3.5 の間は線形関係を用いることとした。

提案した換算震度を用いて、瞬間換算震度を算定した結果を図-19 に示す。本図より瞬間換算震度は全体的に低くなり、主要動が終わってからの誤差はかなり低減されていることが知られる。換算震度を用いて他のデータについても検討した結果、同様に主要動以降の誤差は減少することから、計測震度算定に用いる修正河角の式による差が大きいことが知られた。本手法により得られる

瞬間換算震度は、観測記録のそれと合致することから、波形合成法にはある程度の妥当性があると考えられる。

5.3 フーリエスペクトルによる検証

本節では、合成した波形と観測波形から得られるフーリエスペクトルがどの程度適合しているかを検討する。比較のため、0.4Hz の Parzen Window を用いて平滑化を行い、さらに観測記録については、水平 2 成分より 2 乗和の平方根を算定して検証に用いている。検証は表-2 に示したデータを用いて行った。例としていくつかのケ

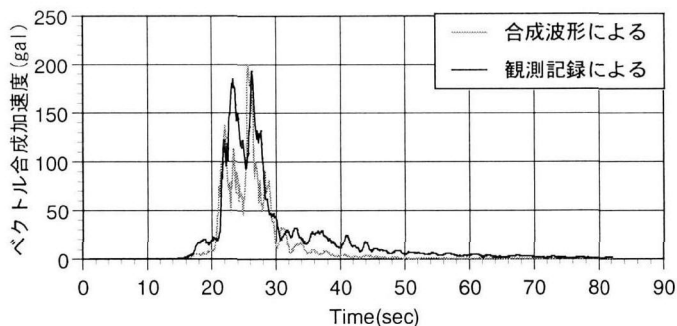


図-16 ベクトル合成波の比較

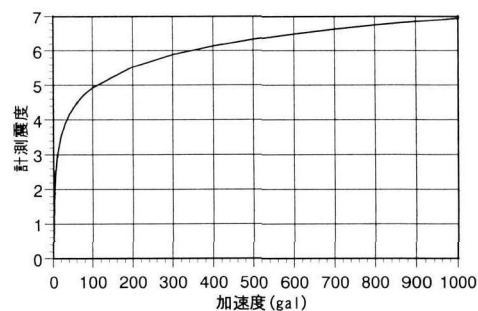
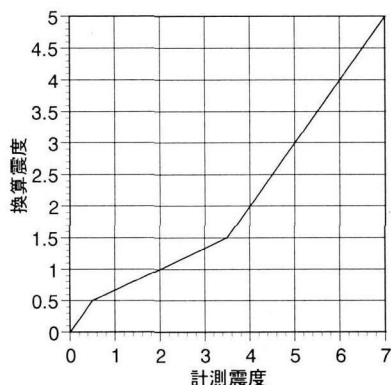
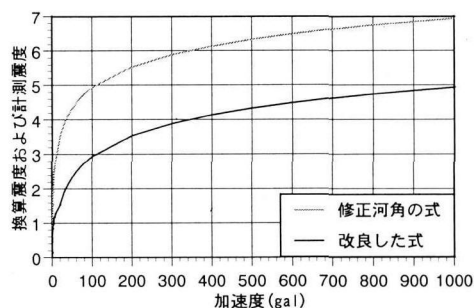


図-17 修正河角の式による加速度と計測震度の関係



(1)計測震度と換算震度の関係



(2)加速度と換算・計測震度の関係

図-18 換算震度と計測震度の比較

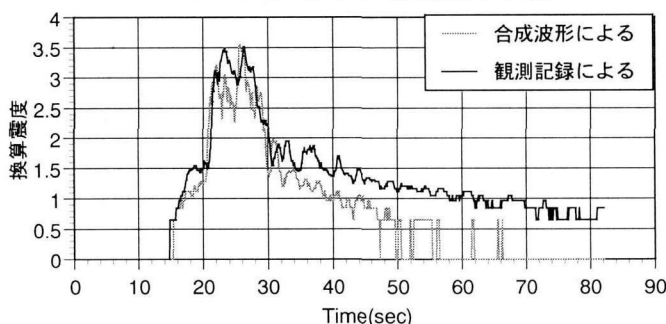


図-19 瞬間換算震度の比較 (その2)

ースについて結果を図-20 から図-25 に示す。

これらの図より、とくに構造物の設計などに主として寄与する 0.1 秒から 10 秒付近については、比較的適合している記録も見られる。図-20、24 では 1 秒付近を含む中間周期帯での精度は良くないが、長周期側ではある程度一致している。図-21、22 では 3 秒程度以下までは非常に一致度が高いが、それより長周期になると精度が落ちる。また図-23、25 では 0.5 秒以上から一致度があり見られない結果となった。原因としては、今回の波形合成の際に与えたフーリエ振幅が計測震度算出用のフィルタ特性であることに大きく起因していると考えられる。地盤特性・地震動特性は観測地点毎に異なるため、同一のフーリエ振幅特性では、それらを表現しきれなかったものと推測できる。

観測位相特性の違いによる合成波形のフーリエスペクトルの違いはあまりなく、同様な振幅特性を示す。これ

らの傾向は図示していない記録についても同様であり、スペクトルの形状からは比較的妥当な結果と改良すべき結果が得られていることが知られた。今後は合成時に用いるフーリエ振幅の特性について検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では、観測される一連の加速度時刻歴を用いて算定される計測震度の時間的な変化を考慮できる瞬間計測震度を用いて、直下型地震の地震動特性を検討した。また、気象庁の震度階（計測震度）は、被害との関連性が強く、そのため被害と結びついた地震動の推定を行うべきであると考え、震源断層距離と瞬間計測震度の関係より、あらかじめ設定した計測震度に応じた波形を合成する手法を新たに提案した。また実際の観測記録をもとに波形合成を行い、手法の検証を行った。得られた結果を

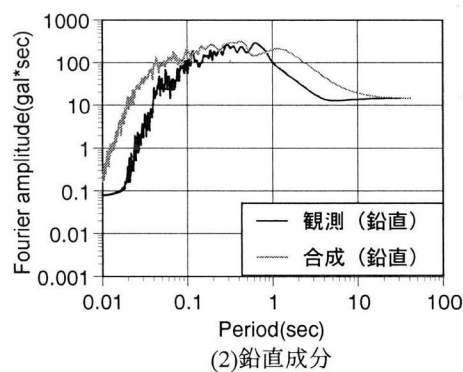
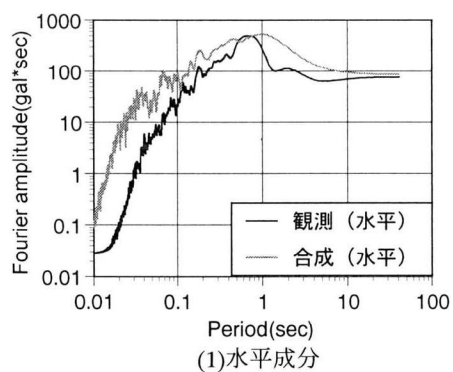


図-20 フーリエスペクトルの比較(ttrh002)

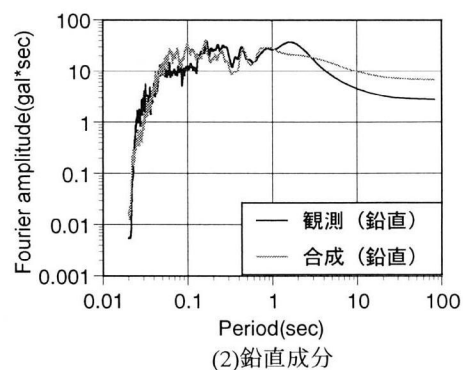
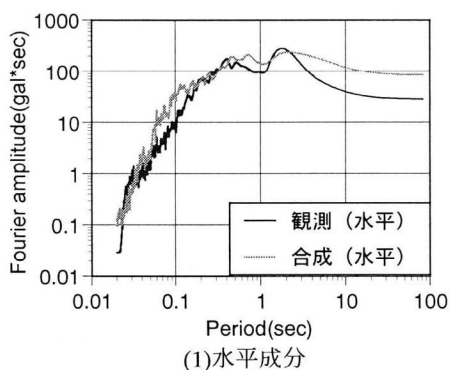


図-21 フーリエスペクトルの比較(47742)

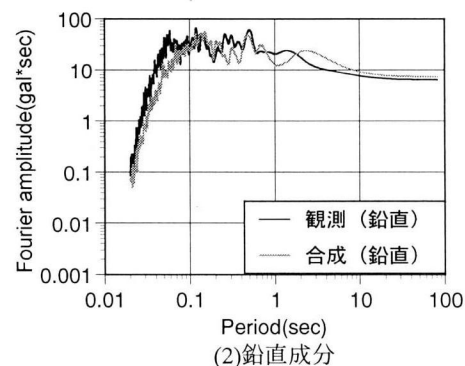
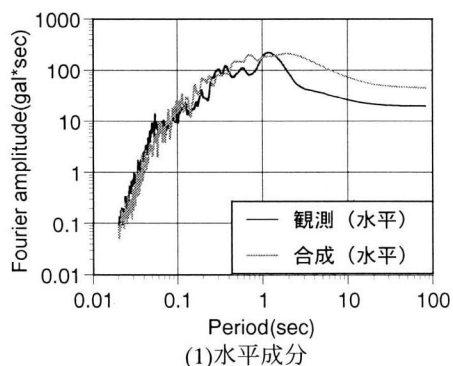


図-22 フーリエスペクトルの比較(ttr008)

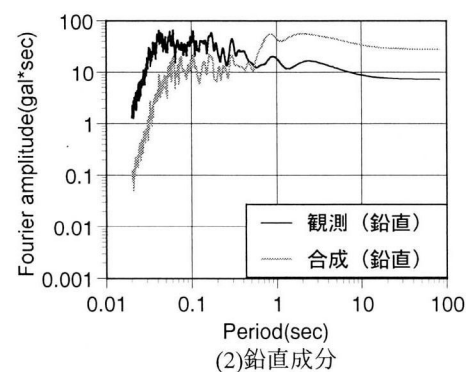
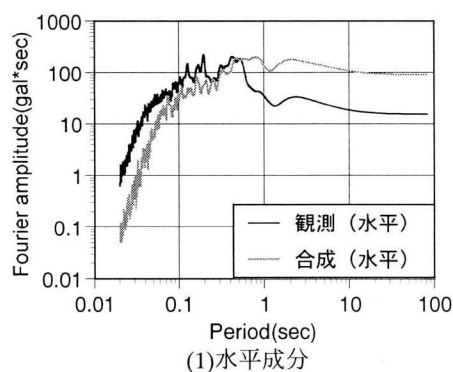
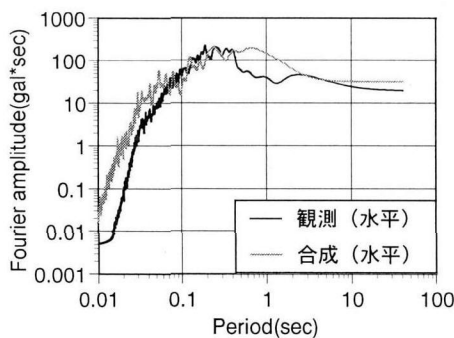
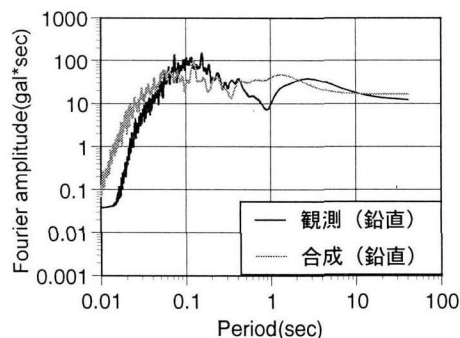


図-23 フーリエスペクトルの比較(ttr007)

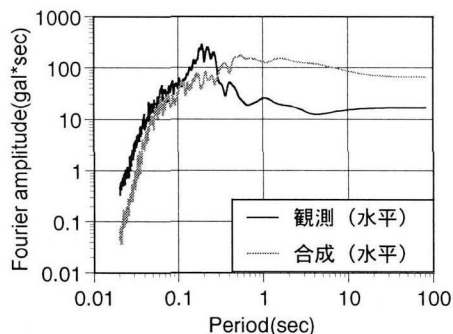


(1)水平成分

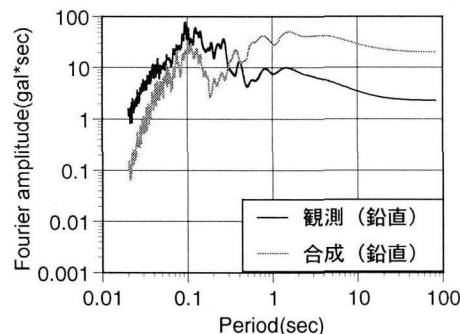


(2)鉛直成分

図-24 フーリエスペクトルの比較(smnh01)



(1)水平成分



(2)鉛直成分

図-25 フーリエスペクトルの比較(oky004)

まとめて示す。

- 1) 計測震度の特性としては、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。
- 2) 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検討した結果として、立ち上がり時間と断層距離の関係には正の相関が、また継続時間との関係には負の相関があることが知られた。
- 3) 液状化など地盤の非線形特性を受け、長周期化した観測記録については、計測震度算定の際に、大きく影響を受けることが知られた。
- 4) 断層距離を考慮して、あらかじめ設定した瞬間計測震度時刻歴より、波形合成を行うことが可能となった。
- 5) 位相特性の違いによって異なる波形が得られるが、それから算定される計測震度のばらつきは少なく、ある程度妥当な結果が得られていることが知られた。
- 6) 液状化などの地盤の非線形特性を受けていない地盤

については、合成された波形から得られる計測震度は、観測された波形から得られる計測震度との誤差も少なく、また良い相関が得られており、推定された波形は目標とする計測震度に対応していることが知られた。

- 7) 瞬間計測震度について検討した結果、修正河角式の特性上、低い加速度値でも中程度の計測震度を算出するため、主要動が終わってからの差が大きかった。そこで新たに換算震度を提案し、差を低減させることが可能となった。
- 8) 観測波形と合成波形のフーリエスペクトルについては、比較的妥当な結果と改良すべき結果が得られていることが知られた。今後は合成時に用いるフーリエ振幅の特性について検討することで改善可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 高田至郎，尾崎竜三，楢田泰子，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 Cooperative Research in Urban Earthquake Disaster Mitigation, pp.49-55, 2001.1.

3) Irikura, K.: Prediction of Strong Acceleration Motion using Emperical Green's Function, *Proceedings of 7th Japan Earthquake Engineering Symposium*, pp.151-156, 1986.

4) Boore, D.M.: Stochastic Simulation of High-frequency Ground Motions based on Seismological Models of the Radiated Spectra, *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.73, No.6, pp.1865-1894, 1983.

5) 中山学：高レベル地震動による土木施設の損傷と投資

効果を考慮した高架橋の補強に関する研究，神戸大学学位論文，pp.78-84，2001.3.

6) 気象庁：震度を知る－知識とその活用－，（株）ぎょうせい，1996.9.

7) 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.

8) 高田至郎，尾崎竜三：地震動補間に基づく任意地点での加速度波形推定，建設工学研究所論文報告集，第40-B号，pp.1-22，1998.11.

(2001年9月14日受付)