

組合せ震度の提案・定式化と その応用について

清野純史¹・藤江恵悟²・太田 裕³

¹正会員 工博 京都大学助教授 工学研究科土木システム工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²学生員 山口大学大学院博士前期課程 知能情報システム工学専攻(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2557)

³理博 山口大学教授 知能情報システム工学科(現 愛知淑徳大学文学部教授 図書館情報学科)(同上)

現行の計測震度は、体感や周囲の被害状況との相関が大きくなるようにその諸元が決定されているため、ある周波数帯域(特に短周期)の地震動成分を強調するような情報となっている。必然的に対応する周期範囲も限定されている。すなわち、対象とする構造物の周期範囲が広がるに連れて、従来のような短周期(1秒以下)に対応する1つの特性量に、必要な情報を全てを集約することに限界が現れてくる。そこで本研究では、計測震度を中・長周期の構造物にも対応させるため、その算定法を大きく変えることなく拡張する方法を開発した。また、被害状況との対応といったような従来どおりの工学的な利用のみならず、震源メカニズムの概要を簡便に推定するといったような理学的な見地からの本手法の適用の可能性についても考察を行った。

Key Words: seismic intensity, instrumental seismic intensity, earthquake ground motion, natural period, source mechanism, radiation pattern

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震を契機に、地震情報への取り組みが国レベルで見直され、震度情報が地震災害の防止・軽減のためにいかに重要であるかが改めてクローズアップされた。これに伴い、気象庁の震度階級も1996年4月から、47年ぶりに改正されるに至った。これにより、従来の体感震度を計測震度に改め、「震度7」までの震度を計測器によって速報する体制に移行した。さらに、同年10月からこの計測震度をより有効な防災情報とすることを目的として、いくつかの変更を行った。改正の骨子は、震度階級を10段階に分けたこと、観測点を増加させ、震源情報に加え「震度3」以上で最大震度とそれよりも一階級下の震度を計測した全ての市町村を速報すること、などである¹⁾。1996年10月19日には、宮崎市沖の日向灘に震源を持つ地震で改正後初の「5弱」、また、1997年5月13日には鹿児島県川内市で「6弱」も観測され、速報されている。ちなみに、兵庫県南部地震の際の震度7の発表は、倒壊家屋等の調査を踏まえて地震発生の3日後に行われている。

過去幾多の地震災害に遭遇してきた「地震国日本」に住む我々にとって、明治以来の長い歴史を持つ「震度」は、地震に關係した最も馴染み深い情報の一つである。今回の改正も気象庁が観測網の強化とともに、広く防災の観点から地震情報の見直しを図った結果の一つとして捉えることができる。

従来の気象庁震度階は、本来の目的はその場所の地震動の強さを簡単に表す指標として取り入れられたものであり、その指標の根拠となる諸元は、体感や地盤・建物の応答、被害程度などであった。それゆえ、強震観測ネットワーク²⁾が増加され、生の観測情報(記録)が直接得られるようになった今日では、震度の必要性を疑問視する声もないわけではない。しかし、震度が単に人間社会への情報入力としてだけではなく、情報出力としての被害と密接に関わる单一の特性量として広く地震防災活動に利用できる点を考えれば、様々な情報を集約した総合特性量としての震度情報が今後とも必要であることは理解できるはずである。

従来の震度は、体感そのものとか周辺の事物の挙動—以下「体感」と総称—や周辺の被害状況などを人間が観測することで決める方式であったため、震

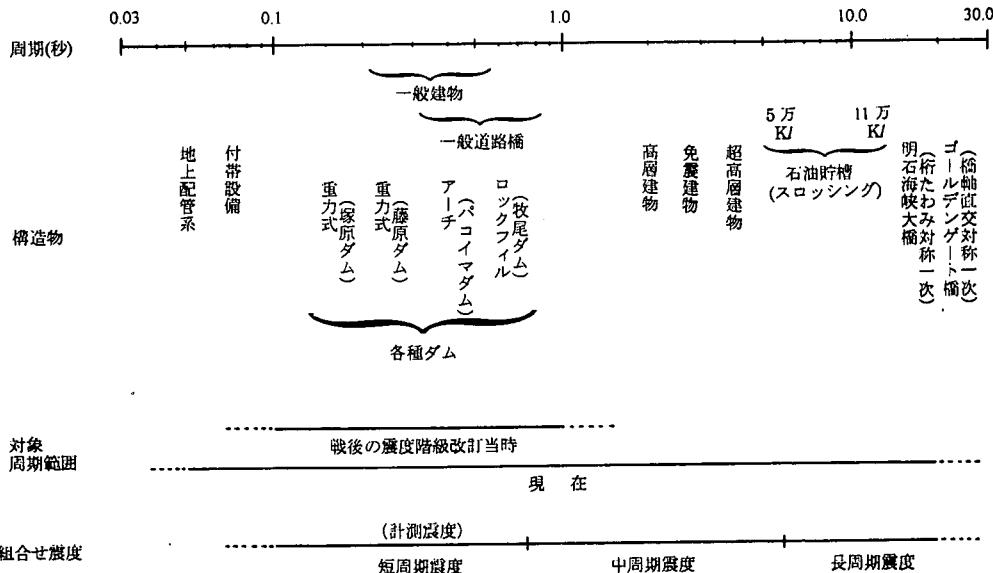


図-1 各種構造物の1次固有周期の周期別区分

度に客觀性を持たすべく様々な工夫が試されてきたとは言え、ある周波数帯域（とくに短周期）の地震波を強調するような情報となっていることは否めない。したがって、例えば兵庫県南部地震の地盤振動の特性を震度7の領域と1対1で対応させて議論することは、その地域の地盤振動のある側面からしか現象を捉えていないことになる。このたび導入された計測震度も、基本的には従来の気象庁震度階との連続性が保てるようその諸元が決定されていることから、必然、対応する周期範囲も限定されている。このことは、構造物の地震災害という観点からは、各種構造物の被害をこの速報による情報のみから決めるることは難しく、例えば高層化・耐震化した建物やライフライン等の土木構造物被害との対応が不十分であることを示している。近年増加している免震建物の固有周期も2~4秒に設定されている場合が多く³⁾、従来の震度がカバーしている周期帯とのずれも懸念される。すなわち、対象とする構造物の周期範囲が広がるにつれて、従来のような短周期に対応する1つの特性量に、必要な情報を全てを集約することにはおのずから限界が現れてくる。ここに、本研究で提案する「組合せ震度」の必要性が生じる。

図-1は、各種構造物の動特性（一次固有周期）の周期別区分を示したもの⁴⁾⁵⁾である。工学的に重要な周期帯は、長い方では長大橋梁（全体系）の20秒、石油貯槽タンクのスロッシング周期の10数秒、短

い方では構造物の配管系の0.05秒程度である。もちろん、これらに関与する地震波は実体波のみならず表面波にまで及ぶ。元来、震度が地震動そのものの強度を推定することを念頭に置いていたとはいえ、そこに体感というフィルターが掛かっていたがゆえ、気象庁震度階が対象としていた周期帯は高々数Hzから1秒程度であろう。それが、図中に示すように時代とともに対象とする構造物の周期範囲がさらに短周期、長周期側へ延びてきたことが、本研究で提案する組合せ震度の必要性が生ずる理由でもある。

また、長周期側に目を向けることにより、被害状況との対応などのような従来どおりの工学的な利用のみならず、震源メカニズムの概要を簡便に推定するといったような理学的な見地からの利用も考えられることも、本研究の特長の一つである。

ところで、従来の気象庁震度は、観測手段の無いサイトにおいて、計測機器に代わるものとして体感から地震動の強さを推定したものである。ほぼ0.1~1秒程度の短周期の領域の地震動に対応しており、また通常の建築物の固有周期もこの範囲内に収まることから、建築構造物との相関やそれに付随する人的被害との相関も必然的に高くなる。しかし、高層化・大型化した建物やライフケイン、橋梁、貯槽タンクなどの土木構造物の固有周期は十数秒にも及ぶものもあり、従来の震度と

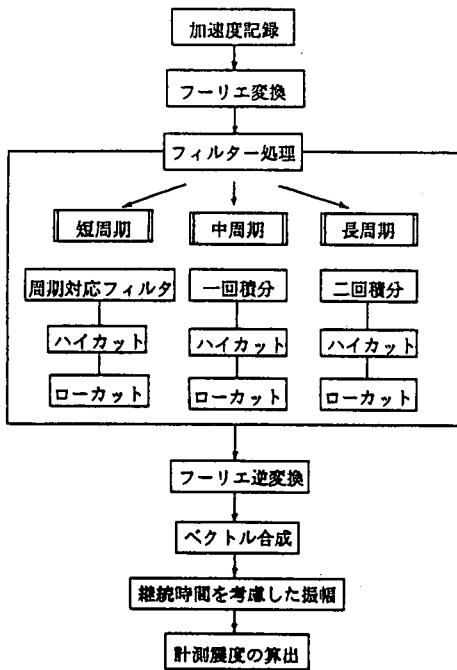


図-2 組合せ震度決定の手順

それから類推される被害との関係がなかなか結びつかないものも生じてくる。村松^⑨は、このことを早くから指摘し、震度階の定義域を地動の長周期成分に拡張することを試みており、加速度、速度、変位記録の最大値と従来の震度階を結び付けて長周期の特殊な被害を論じている。本研究は、この村松の研究を基に、加速度記録を用いた計測震度の算定法から大きく逸脱せず、かつできるだけ簡便な形で速度・変位波形から中・長周期に対応する震度の算定式を提案する。便宜上、ここではそれぞれの震度を短・中・長周期震度と呼び、さらにこの3つ一組の震度階を「組合せ震度」と呼ぶこととする。

このように、震度階について新たに設定し、その震度の表現を多次元化することに関しては、当然ながら利点と欠点が存在する。現在の構造物の幅広い周期帯域に対応しうる拡張性を有することができる反面、今まで1つで済んだ特性値を複数にすることによって、扱い易さが低減する。すなわち、震度階を長周期へ拡張することによる適確性と、震度階が1次元で表現されているが故の簡便性とのトレードオフが生ずることになる。本研究では、このトレードオフ関係を勘案し、短・中・長周期という3つの震度区分から成る「組合せ震度」を提案する。

もちろん、2つの震度の組に分けることも、4

つ、5つという具合に組合せを増やすことも当然考えられる。しかし、例えば周期1秒を境にして短周期震度と長周期震度の2つに分けた場合、高層建物と長大橋への地震動の影響を、長周期震度という一つの指標で判断することになり、これは余りにも対象範囲が広範すぎる。また、4つ、5つと区分を多くしたり、周期ごとに震度を設定すれば良いという考え方もあるが、数を多くするならわざわざ“震度”という簡単な統一指標を設定するまでもなく、波形自体を利用すれば事が済む。

このような理由により、本研究では1地点での震度値を3つとし、この3つ一組の「組合せ震度」の提案・定式化を図った。

2. 組合せ震度の定式化

(1) 計測震度^{⑩,10)}

気象庁は以下の方法で、計測震度を3成分の加速度記録から算定している。

まず、各成分の加速度記録をフーリエ変換し、スペクトルを計算する。このスペクトルに、ハイカットフィルター、ローカットフィルターに加え、体感に合致するように周期の影響を考慮した、次の3種類のフィルターをかける。

1) ハイカットフィルター

$$(1+0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8$$

$$+ 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12})^{-1/2} \quad (1a)$$

ただし、

$$X = f / f_c \quad (f_c = 10\text{Hz}) \quad (1b)$$

2) ローカットフィルター

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

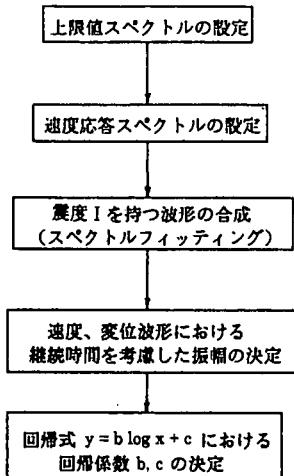
3) 周期対応フィルター

$$(1/f)^{1/2} \quad (3)$$

これにフーリエ逆変換を施し、フィルター処理された各成分の波形をベクトル合成する。継続時間を考えた振幅を決定するために、ベクトル合成された波形の絶対値が、加速度レベル a 以上である時間の合計を $\tau(a)$ とし、ある継続時間 τ_0 について、

$$\tau(a) \geq \tau_0 \quad (4)$$

を満たす a の最大値 a_0 を用いて計測震度 I を算出する。



y は加速度、速度、変位から求めた震度 I_a 、 I_m 、 I_l 、
 x は継続時間を考慮した振幅でそれぞれ a_s 、 a_v 、 a_d 、
 a_a の場合の継続時間 τ は 0.3 秒と定められている。
ここでは、速度、変位の a_v 、 a_d に対する継続時間も
0.3 秒としている。

図-3 中・長周期震度算出の流れ

$$I_a = 2.0 \log(a_0) + K \quad (5)$$

ここに、 I_a は計測震度、 K は周期特性を考慮した定数であり、0.94 という値を与える。

ここでは、1.の後半で述べた理由により、計測震度を中・長周期の構造物に対応させるために、対象とする地震記録（加速度・速度・変位）や用いるべきフィルター特性を決定し、その算定方法を大きく変えることなく、拡張を図った。

(2) 組合せ震度算定の考え方

図-2 はこの組合せ震度の算出法を示したものである。短周期震度の算出は、(1)で説明した計測震度の算定方法をそのまま採用する。中周期震度は各成分の加速度記録をフーリエ変換し、積分操作を行って速度を求め、フィルター処理を行う。その後バンドパスされたスペクトルを逆変換し、震度算定のための継続時間を考慮した振幅 x を求めて、算定式

$$y = b \cdot \log x + c \quad (6)$$

から組合せ震度を決定する。フィルター処理としては短周期震度を求める際に用いた周期対応フィルターは通さず、ハイカット、ローカットのみを行っている。ただし、本研究ではチェビシェフフィルタ¹¹⁾を用いているため、加速度波形を積分して得られた速度波形に対して、時間領域で漸化フィルターを

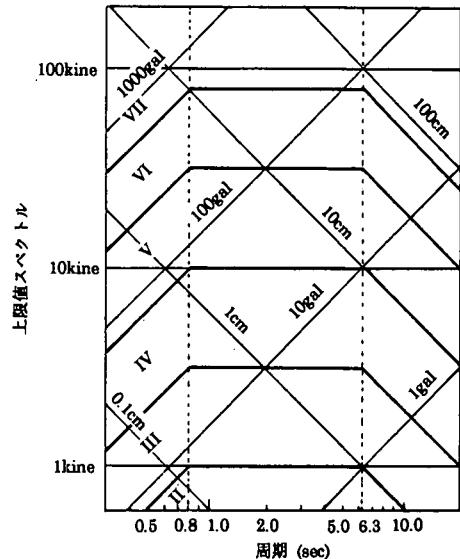


図-4 トリバタイト上限値スペクトル

かけている。ハイカットは通過帯域 15Hz 以下、遮断帯域 20Hz 以上、また、ローカットは遮断帯域 0.04Hz 以下、通過帯域 0.05Hz としている。長周期に関しては、フィルター処理された速度波形をさらに積分した変位波形を用い、中周期震度を求める手順と同じ作業を行う。

(3) 組合せ震度算定の定式化

図-3 は中・長周期震度を求めるための、式(6)（計測震度（=短周期震度）算定式では式(5)）に対応する算定式を求めるフローである。ここでは、中・長周期震度が I ($I=3,4,5,6$) となる波形をまず定義すること、そしてそれについて継続時間を考慮した速度振幅、変位振幅を決定すること、最後に式(6)の回帰係数 b, c を求めることが主要項目となる。

まず、短周期領域では 8~25gal(震度 3), 25~80gal(震度 4), 80~250gal(震度 5), 250~400gal(震度 6), 400gal~(震度 7) というような対数法則に則った最大加速度と震度階の関係式がある。したがって、地震動の加速度最大値 \ddot{u}_p と対応する周期 T_i との組み合わせである加速度上限値スペクトル $\ddot{u}_p(T_i)$ は、短・中・長周期を区分する境界の周期さえ決定すれば、以下の近似式

$$\dot{u}_p(T_i) \approx \ddot{u}_p(T_i) \cdot T_i / 2\pi \quad (7)$$

$$u_p(T_i) \approx \dot{u}_p(T_i) \cdot T_i / 2\pi \quad (8)$$

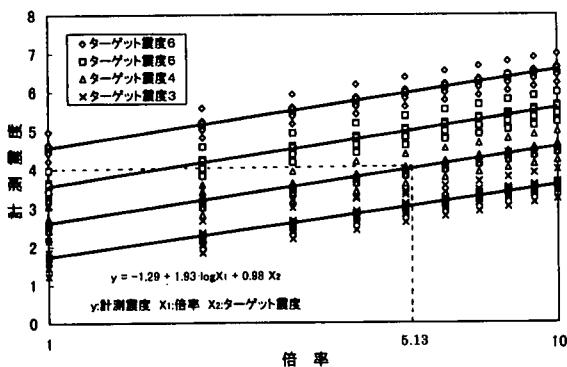


図-5 倍率算出のための重回帰式(横軸対数)

を用いることにより、中・長周期に対応する上限値スペクトルにまで拡張できる。これより、図-4に示すような上限値スペクトルに対するトリバパタイトスペクトル図が設定できる。ここでは、この境界周期として村松による0.8秒と6.3秒を用いた⁹⁾。さらに、この形状と減衰定数h=0の応答スペクトルの形状には良い対応関係がある(約1:10)⁹⁾ので、震度ごとにその倍率を決定し、ターゲットとする速度応答スペクトルを決定した。この手順は以下の通りである。

前述のように、上限値スペクトルと応答スペクトルの形状には良い対応関係があるとは言え、その正確な比はわからない。そこで、この比をまず考える。まず、震度I(I=3,4,5,6)に対応する上限値スペクトルの整数倍(1~10倍)の応答スペクトルにフィットする波形を作成する。次に、周波数領域で行なわれるスペクトルフィッティング手法¹²⁾を適用し、作成した応答スペクトルにフィットするように観測波形を修正する。用いた波形は兵庫県南部地震の際に得られた12の気象官署(神戸、彦根、大阪、鳥取、津、舞鶴、岡山、福井、松山、飯田、名古屋、潮岬)で観測された記録である。ちなみに、それぞれの気象官署における計測震度は、6.4, 5.0, 4.6, 4.5, 4.2, 4.0, 3.9, 3.9, 3.2, 3.2, 3.0, 3.0である。この修正された波形から計測震度(短周期震度)を求め、この計測震度と倍率(すなわち、応答スペクトルと上限値スペクトルの振幅比)の関係を求めたものが図-5である。図中のシンボルが回帰すべきデータであり、この重回帰の結果を直線で併記している。すなわち、この重回帰直線から、計測震度がターゲットとなる震度Iと一致するような最適な倍率を定めればよいことになる。したがって、次式における計測震度yとターゲット震度x₂が等しくなるようなx₁が、その震度Iにおける上限値スペクトルと応答スペクト

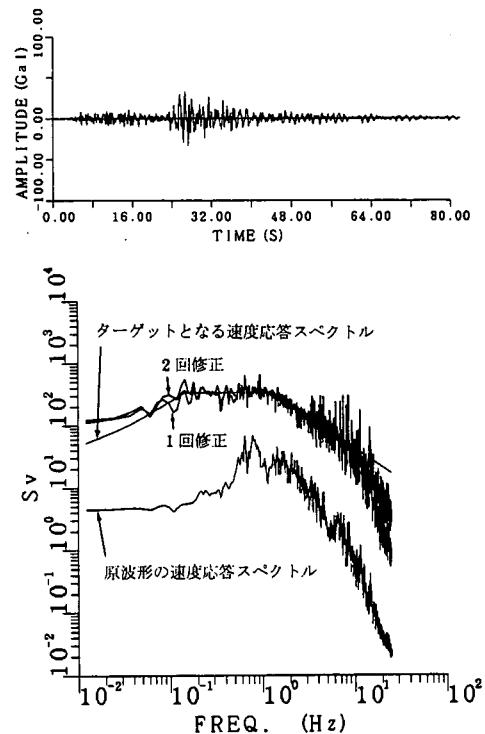


図-6 福井観測波を対象としたスペクトル
フィッティングの例(短・中・長周期震度6)

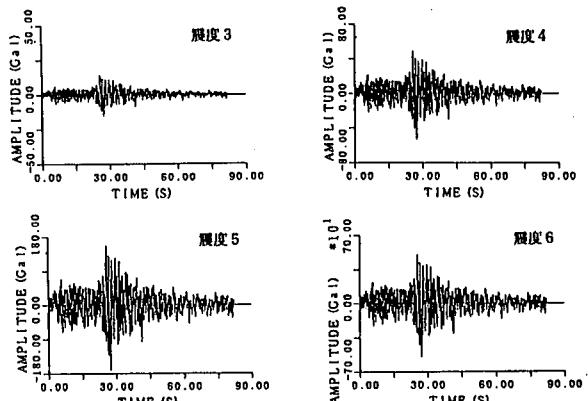


図-7 スペクトルフィッティングにより得られた
各震度に対応する波形の一例(福井観測波)

表-1 繼続時間を変化させた場合の振幅と震度の相関係数

	$\tau=0.1$	$\tau=0.3$	$\tau=0.5$	$\tau=1.0$	$\tau=1.5$	$\tau=2.0$
速度	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99
変位	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

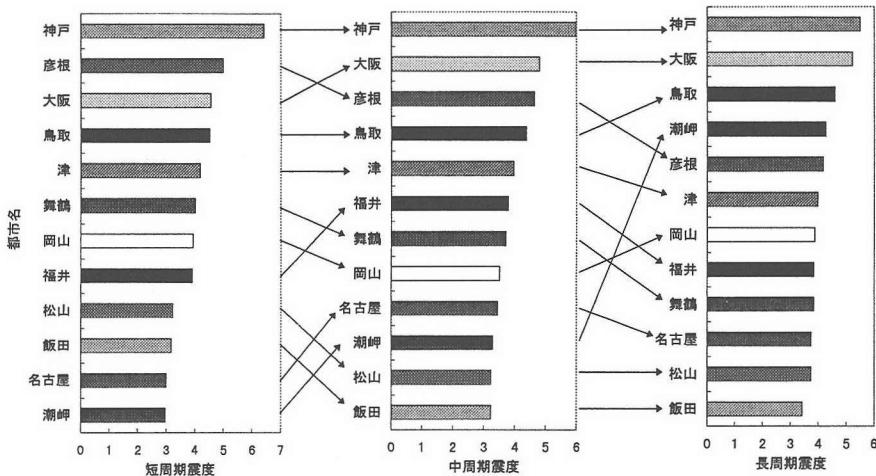


図-8 1995年兵庫県南部地震における各観測点ごとの組合せ震度の比較と変遷

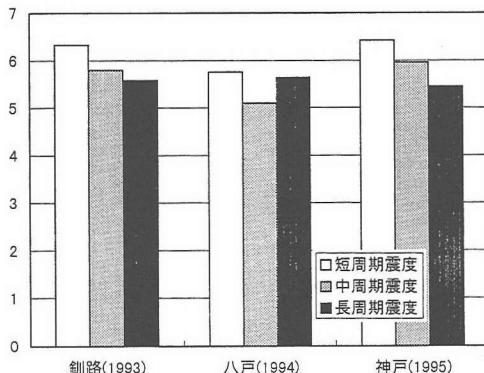


図-9 震度 6 が観測された 3 つの地震に対する組合せ震度の比較 (1993 年釧路沖地震、1994 年三陸はるか沖地震、1995 年兵庫県南部地震)

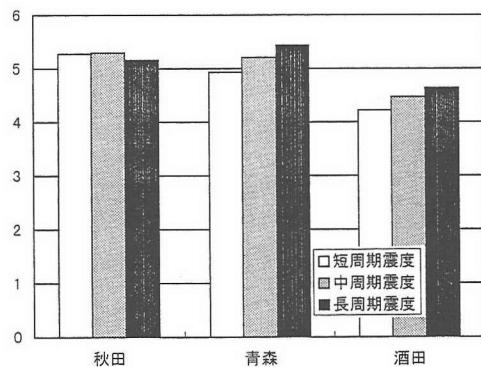


図-10 1993 年日本海中部地震の際の秋田・青森・酒田観測波から求めた組合せ震度

ルを結び付ける最適な倍率となる。

$$y = -1.29 + 1.93 \log x_1 + 0.98 x_2 \quad (9)$$

例えば、計測震度 IV となる倍率は図-5 より 5.13 となり、図-4 の震度 IV に対応する上限値スペクトルを 5.13 倍したものが、組合せ震度の短・中・長全ての震度において I となる応答スペクトルとして定義できることになる。

上述の手順を踏むことにより、短・中・長周期震度が I となる応答スペクトルが定義できるので、各気象官署の波形を用いてスペクトルフィッティングにより震度 I の時刻歴波形を作成した。図-6 は福井観測波(NS 成分)を基にして、短・中・長周期震度 6 を対象としてスペクトルフィッティングを行った一例である。図中、1 回修正、2 回修正とあるのは、現

波形のスペクトルを修正した回数を示したものであり、2 回の修正でほぼターゲットの応答スペクトルに収斂することがわかる。また、図-7 は同じく福井観測波を基にして短・中・長周期震度 3 ~ 6 に対応する加速度波形を作成したものである。

地震によって当然継続時間や卓越する周期帯は異なり、また応答スペクトルについても、村松は上限値スペクトルと応答スペクトルの形状は良い対応関係にあり、その振幅比は 1:10 程度であると指摘しているとは言え、単純に図-4 に示した上限値スペクトルの相似形にはならないことも十分考えられる。しかし、ここでの目的は、中・長周期の震度が I となる波形を定義し、この波形を基にして中・長周期の震度の算出式を設定することである。したがって、スペクトルフィッティングに用いた波形が直下型の

兵庫県南部地震のみであったり、上限値スペクトルから求めた応答スペクトルの形状が地震の規模に依存していない、ということなどはあまり問題にならない。

次に、こうして得られた合成波を積分、フィルタリングして速度波形、変位波形を求めた後に、ベクトル合成された波形の絶対値から、継続時間を考慮した振幅を求めなければならない。この継続時間 τ をいろいろ変化させ、式(6)における x と y の相関係数を比較したものが表-1 である。速度波形、変位波形とも継続時間が長くなるにつれて相関係数も大きくなる。しかし、どの相関係数も 0.97 以上と高い値を示すので、計測震度(短周期震度)との継続性を考慮して、中・長周期震度に対しても短周期震度と同じ継続時間 0.3 秒を採用することとした。こうして継続時間を考慮した振幅 v_0 、 d_0 を決定することにより、以下のような回帰式を得た。

$$\text{短周期震度} : I_s = 2.00 \log(a_0) + 0.94 \quad (10)$$

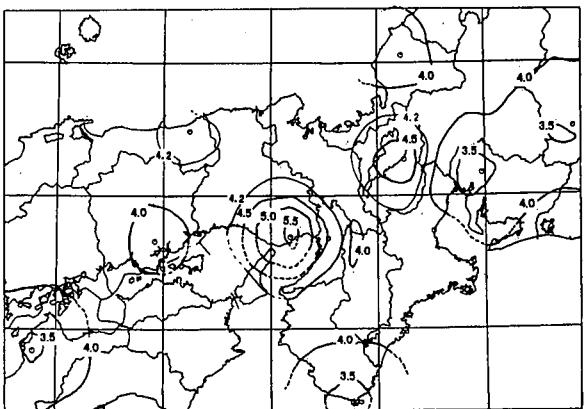
$$\text{中周期震度} : I_m = 1.91 \log(v_0) + 2.50 \quad (11)$$

$$\text{長周期震度} : I_l = 1.94 \log(d_0) + 3.20 \quad (12)$$

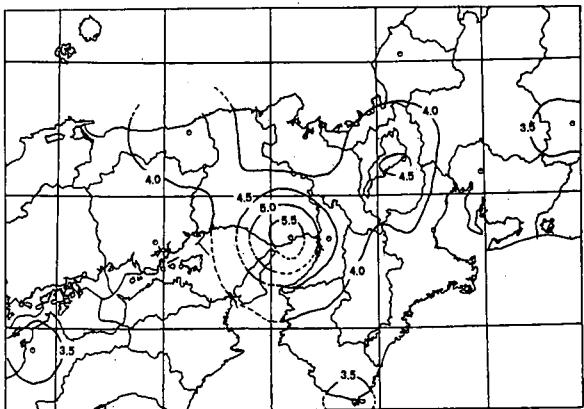
したがって、1 地点の組合せ震度は $[I_s, I_m, I_l]$ のように表示される。実際には小数点以下一桁まで表示をする。

3. 組合せ震度の適用

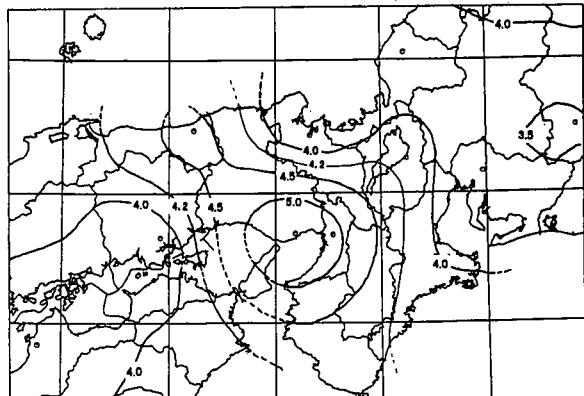
兵庫県南部地震の際に 12 の気象官署で観測された加速度記録 3 成分を用い、上述の手順に従って組合せ震度を求めたものが図-8 である。短周期震度では地点ごとに震度の大小の差が大きいが、中・長周期震度になるにつれて全体的に均された形状を示すようになる。例えば、断層を挟んで両側にほぼ対象な場所に位置する鳥取と潮岬では、短周期震度は鳥取が大きく潮岬は小さくなるが、長周期震度では両者はほぼ同じ大きさになる。これは、周期が長くなるにつれてローカルなサイト特性が排除されるためであろう。また、震度の大きさが逆転する場合も生じる。例えば、潮岬の短周期震度は 3.0 と 12 の気象官署の中でもっとも小さいが、中周期、長周期となるにつれて相対的に大きくなり、特に長周期震度は 4.2 と 12 気象官署中 4 番目に位置している。組合せ震度間の同様な逆転現象は、兵庫県南部地震のみならず、他の地震についても生じている。図-9 は震度 6 が観測された 3 つの地震、すなわち、1993 年釧路沖



(a) 短周期震度



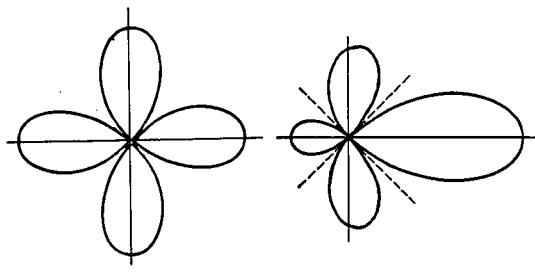
(b) 中周期震度



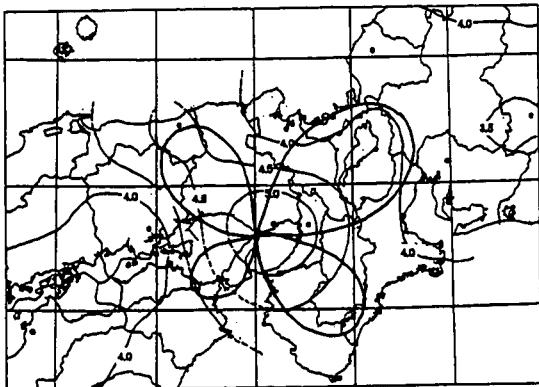
(c) 長周期震度

図-11 1995 年兵庫県南部地震に対する短・中・長周期震度の空間分布

地震(釧路)、1994 年三陸はるか沖地震(八戸)、1995 年兵庫県南部地震(神戸)の組合せ震度を示したものである。短周期震度では釧路と神戸が震度 6 強、八戸では震度 6 弱であるにもかかわらず、長周期震度ではその大小関係が逆転して八戸が一番大き



(a) 点震源としての S 波の (b) 点震源の重ね合わせによる
振幅方位分布 S 波の振幅方位分布



(c) 長周期震度と振幅方位分布

図-12 震源メカニズムの概略把握のための利用

な震度を示している。図-10 は、1983 年の日本海中部地震の際に秋田、青森、酒田の各港湾で運輸省港湾技術研究所¹³⁾の観測網で記録された波形を基に、組合せ震度を算出したものである。この地震の各地の震度は、秋田(震度 V), 青森(震度 IV), 酒田(震度 IV)であった。計測震度では、秋田 5 強(5.28), 青森 5 弱(4.93), 酒田 4 (4.22)となっており、秋田と酒田ではほぼ同等の結果が得られているが、青森で若干大きめの値となっている。震央からの距離は、秋田 107km, 青森 156km, 酒田 173km であるが、秋田より震央距離が大きい青森や酒田で短周期震度と中・長周期震度の逆転が起こっている。この地震では、震央から約 200km 離れた新潟でスロッシングによって大型石油タンクから石油が溢流する事故が発生している。気象庁発表の震度は III であることから、前述の青森、酒田と同じく中・長周期震度が卓越した地震であったことは想像に難くない。このように、単一の震度では表現し得ない地震の姿が浮かび上がっており、今後、組合せ震度(特に中・長周期震度)と被害の関係を明らかにすれば、スロッシングによる被害などもこの組合せ震度から

推定できるものと考えられる。

図-11(a), (b), (c)は、兵庫県南部地震の際に 12 の気象官署で観測された記録から組合せ震度を求め、これらの震度を空間分布として地図上に示したものである。ただし、対象とした領域を 20×20 のメッシュに分割し、各気象官署では厳密に算出された値を満たすようなクリッギング法¹⁴⁾を用いて格子点の値を求め、これを基にコンターを描いたものである。短周期震度ではその分布が円状になっているが、中周期・長周期震度というように対象周期が長くなるにつれて象限状に移って行くように見える。図-12(a)は、点震源としての S 波の振幅方位分布を示したものである。これを(b)のようにあるライン上で重ねあわせると、破壊の進行方向に大きな振幅をもつ分布形状が期待できる。これを(c)のように図-11 の長周期震度の分布に重ねあわせると、横ずれ断層から期待される S 波の振幅分布に近い形が現れており、震源のメカニズムの概略を捉えることもできそうである。

4. 結論

本研究では、平成 8 年に実施された震度階級の改訂に伴い、入力を表わす震度に対してその対象とする周期帯を更に長周期側に延ばすことを試み、新たに中周期、長周期震度を加えて 1 地点の地震動強度を 3 つの指標を持つ組合せ震度の形で表現することを提案した。この結果、従来のような单一の震度では表現し得ない地震の姿を捉えることが可能であること、従来の工学的見地からの利用のみではなく、震源のメカニズムの概略を捉えるなどの理学的見地からの利用の可能性もあることがわかった。ここで提案する組合せ震度と被害との関係については今後の課題であるが、短周期震度については従来のような低層住宅、一般構造物、中周期震度については高層、超高層建物、長周期震度については長大構造物や大型液体貯蔵タンクのスロッシング、エレベーターの管制ケーブル等を対象として資料の蓄積を進め、被害との関連を明らかにしていくことで、今まで以上に地震被害の推定に役立つことが期待できよう。

謝辞：観測記録の入手にあたっては、気象庁地震津波監視課の関田康雄氏にお世話をになりました。また、山口大学理工学研究科の三浦房紀教授には有意義な御討議と御助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表する次第であります。

参考文献

- 1) 気象庁監修：震度を知る－基礎知識とその活用－，ぎょうせい，1996年9月。
- 2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention: Kyosin Net, Science and Technology Agency, 1995.
- 3) 植田三月, 高橋広人, 寺本道彦, 西阪理永, 福和伸夫：常時微動計測に基づく名古屋市の地盤震動特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998.9.
- 4) 耐震工学研究室：強震観測装置の開発－標準観測点の実現をめざして－, 北海道大学工学部建築工学教室, pp.27, 1981年。
- 5) 土木学会編：動的解析と耐震設計, 第3巻エネルギー施設, 技報堂出版, 1989.
- 6) 土木学会編：動的解析と耐震設計, 第4巻ライフライン施設, 技報堂出版, 1989.
- 7) 大崎順彦：地震と建築, 岩波新書, 1983.
- 8) 本州四国連絡橋公団藤田和朗氏との私信
- 9) 村松郁栄：既存震度階の適用限界吟味と改善への試み, 文部省科学研究費自然災害特別研究計画研究成果(研究代表者: 太田 裕), 1987年3月。
- 10) 震度問題検討会：震度問題検討会検討結果最終報告, 1995年11月。
- 11) 斎藤正徳：漸化式ディジタル・フィルターの自動設計, 物理探鉱, 第31巻第4号, 1978年8月。
- 12) 土岐憲三：構造物の耐震解析, 新体系土木工学11, 技報堂出版, 1981。
- 13) 倉田栄一, 福原哲夫, 野田節夫: 昭和58年(1983年)日本海中部地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料No.458, 運輸省港湾技術研究所, 1983。
- 14) 清野純史, 鈴木 誠: カルマンフィルタとクリッギングのハイブリッド法による条件付確率波のシミュレーション, 土木学会論文集, No.525/I-33, pp.153-161, 1995.

(1997.12.24 受付)

A COMBINED INSTRUMENTAL SEISMIC INTENSITY - CONCEPT, FORMULATION AND APPLICATION -

Junji KIYONO, Keigo FUJIE and Yutaka OHTA

In this paper, an attempt to develop the JMA (Japan Meteorological Agency) instrumental seismic intensity and its algorithm was made so as to be responsive to the seismic phenomena and earthquake damage features in wider period range. The range of natural period of man-made structure has, however, been spreading rapidly in both shorter and longer directions and new structures have been increasing in number as well. In this new situation, an advanced seismic intensity available for wider period range, say, from 0.05sec to 20sec, is expected to develop.

In this recognition, an attempt was made for a new instrumental seismic intensity that combines a set of three index values for short, medium and long periods respectively. The algorithm to evaluate the index values for medium and long periods are developed in parallel with a slight modification. Examples of evaluation for the Kobe earthquake and other recent major earthquakes in Japan revealed the importance of introducing such combined seismic intensity and the effectiveness for application to seismology as well as earthquake engineering.