

### 3. 3. 3. 2 震度・史料データに基づくモデル化

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：震度・史料データに基づくモデル化

(b) 担当者

東京大学地震研究所	助教授	都司嘉宣	tsuji@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	瀨瀬一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
鹿島小堀研究室	次長	武村雅之	takemurm@kajima.com
鹿島小堀研究室	部次長	神田克久	kandak@kajima.com
筑波大学システム情報工学研究科	助教授	境 有紀	sakai@kz.tsukuba.ac.jp
広島大学工学研究科	助手	神野達夫	tkanno@hiroshima-u.ac.jp

(c) 業務の目的

地震は低頻度の自然現象であり、比較的頻繁なプレート間地震でもその繰り返し周期は数十年以上になっている。そのため、ある震源域の特性を調べるために過去の地震を遡ろうとしても、地震計の記録がまったく得られないか、得られても遡れるのは直近の一地震だけという場合がほとんどである。直近を越えてさらに過去の地震へ遡るとなると、震度の情報が唯一のデータとならざるを得ない。その震度データも明治・大正時代ならば中央気象台などから発表されたものが存在する可能性があるが、それ以前では古文書などから被害の情報を抽出し、それを震度データに変換することになる。

こうした過去の地震を解析するには、唯一のデータである震度データを活用する道しか残されていない。本研究ではその活用方法を開発して、地震計記録のない時代の地震、特に相模トラフおよびその延長上で発生した元禄地震から震源の情報を引き出し、強震動予測における震源モデル化の精度向上を図ることを目的とする。

(d) 5カ年の年次実施計画

平成 14 年度：検証用被害データ収集、解析手法の開発、高度被害の震度変換法

平成 15 年度：元禄地震の被害データ収集、解析手法の検証、中低度被害の震度変換法

平成 16 年度：元禄地震の解析、建物耐震性能等の時代変遷の検討

平成 17 年度：元禄地震の津波データ収集、社会的状況の被害への影響評価

平成 18 年度：震度データ・津波データの同時解析、時代変遷・社会的状況の考慮

(e) 平成 15 年度業務目的

古文書等の解読により元禄地震の被害データを収集し震度への変換を行う。また、平成 14 年度に収集・変換した宮城県沖地震群の震度データに、同じく 14 年度に開発した解析手法を適用し、その手法の妥当性を検証する。被害データの震度変換に関しては、特に中低度被害の再検討を行う。

## (2) 平成15年度の成果

### (2-1) 宮城県沖地震群・元禄地震の震度分布

都司嘉宣（東京大学地震研究所）

瀬藤一起（東京大学地震研究所）

#### (a) 業務の要約

元禄地震(1703年)の被害データを収集してデータベースを行うとともに、震度に変換してその分布図作成を進めた。宮城県沖地震群に関しては寛政の地震(1793年)についてデータの補強を行った。

#### (b) 業務の実施方法

武者(1941)<sup>1)</sup>、および地震研究所から刊行されている「新収・日本地震史料」<sup>2),3),4)</sup>には、元禄地震に関する古文書文献が紹介されている。それらの文献から、原文書には要するに元禄地震によって、物理的に何が起きたと書いてあるのかという情報を抜き出す。このような情報を1地点の1事象を基本単位として、エクセル・ソフトによってデータベース化した。データベースでは、次の情報が必ず書き込まれることとした。すなわち、崖崩れが起きた、津波で死者が出た、火災が起きた、構造物が損じたなど、地震動、津波によって引き起こされたさまざまな事象の1つ1つについて、次の情報を記したものを基本単位とした。

(1) 原文献上での地名記載

(2) その地点の現在の市町村、集落名、小字名

(3) 事象の内容、すなわち何が起きたのか？

(4) 原文献名

(5) 原文献を載せる地震史料集名と、掲載ページ数

地名の検索には、角川書店(1984)を用いた。江戸時代の村名はほとんど現代地図上の位置が判明するが、その下位単位である小字地名となると困難な場合が多い。不明の地名のプロットは将来の課題として、本研究では見送ったところが多い。現代地図へのプロットには、GMT 図化プログラムを使うので、集落の中心位置の北緯東経を秒単位で読み取った。地震によって、家屋、建造物、石灯籠などの被害、地割れ、崖崩れなどの事象が記載されていると、震度を推定することができる。現代の気象庁震度階級表では、木造家屋の全壊を生ずるとき震度6かそれ以上と判断し、全壊率が30%を越えるとき震度7としている。この尺度をそのまま江戸時代の家屋に当てはめるとすると、2種類の問題が生ずる。まず、当然予想されることであるが、気象庁震度階級で想定している現代の日本式の伝統的な木造家屋と、江戸時代の標準的な庶民や武士の家屋との間には地震に対する強度に差がある。江戸時代の家屋のほうが地震に弱く、地震動によって壊れやすいのである。いっぽう、現代の気象庁震度階に言う「家屋全壊」は、「家屋が完全に壊れる」の意味ではない。支柱が数度傾いただけで、屋根、壁はいちおう無事で当面は住み続けることができても、その家屋を原状に復するには一度全部壊さなければならないとき、その家屋を「全壊」としている。一方、古文献にあらわれる「潰」の字は家が「伏屋(ふしや)」の状態となったものを言う。すなわち、天井、屋根が地面に接触するまでに壊れた家のことである。現代の「全

壊」より江戸時代の「潰家」のほうが被害の程度が重い。このように2つの問題はあるものの、本稿では、次のように判断することにした。すなわち、その集落の全戸数の1%以上「潰家」が生じたら震度6とし、10%以下なら6の弱（図では「6-」と表記する）、10%を越えると6強（6+と表記する）、50%以上が「潰」ならば震度7、とする。

江戸期の集落の戸数については、上述地名辞典を参考とした。かならずしも、元禄地震の発生年代に近い年代が記載されているわけではないが、なるべく近い年代の戸数を採用した。寺院1個の倒壊情報だけが現代に残った場合には、たんに震度6と判断し、6の強弱は判定しなかった。元禄地震では、房総半島の九十九里海岸と、鋸南町の海岸、および館山市相浜の海岸では、地震による家屋被害より津波による被害のほうが大きく現れた。津波による家屋被害は流失だけではなく、「潰家」も生ずる。このため、津波・地震の被害の双方を受けた場所では、「潰家」と記された記録が、地震動によるものか、それとも津波の来襲によるものか判定しがたいことがある。一宮町東浪見（とらみ）や鋸南町勝山浜の集落はこのような集落であるが、このような場所に対しては無理に震度を推定することは避けた。

寛政の宮城県沖地震(1793年)についてはすでに羽鳥<sup>5)</sup>と「新収・日本地震史料」の補遺<sup>6)</sup>、続補遺<sup>7)</sup>などの収集・整理が行われているが、今回改めて各史料の再検討を行った。特に、過去の研究ですでに震度判定がなされている場合でも史料に戻って、元禄地震と同じ判定基準で全面的な判定の見直しを行った。

### (c) 業務の成果

元禄地震の被害データベースの一部を図1に示す。また、集落ごとの地震動による潰家数の全戸数に対する比率によって、各集落での気象庁震度を推定した結果のうち千葉県内のものを図2に示した。震度7の領域が、房総半島先端部の館山市の南部の丘陵にかかる台地の上の集落に集中して現れていることに注目される。震度6強の範囲は、鋸南町と、外房の御宿町、大原町、岬町の海岸段丘の上に広がる集落にも現れている。内陸の小盆地をなしている大多喜城下もまた地震による倒壊家屋が多く、震度6強であった。内房海岸の木更津以北については古文書が少なく、不明瞭な点はあるが、大きな被害を出した集落はなかったようである。

最近武村<sup>8)</sup>は、地震発生時の市町村別に推定した、大正関東地震(1923年)の詳細家屋倒壊率の分布図を発表した。それによると、館山市・千倉町に木造家屋倒壊率が30%を超える震度7の領域が現れた。この点は、元禄地震でもほぼ同じ傾向が現れている。しかし、元禄地震で御宿町、大原町、岬町の海岸段丘の上の集落に見られる震度6強の分布の群は、大正関東地震ではまったく現れていない。大正関東地震のさいには、これらの地域では家屋の倒壊は0.1%以下。ほぼゼロであったのである。九十九里海岸で著しかった津波の被害も、大正関東地震ではほとんど生じなかった。

逆に大正関東地震では、富津市から木更津市以北、千葉市にかけて、少ないながら木造家屋の倒壊の地帯が広がっており、市原市付近までは震度6の地域が連続的に分布していた。しかし元禄地震の場合には、不明瞭ながら木更津以北、千葉市までの海岸は、(市原市岩崎の1点を除けば)震度6には達していなかったと見られる。わずかに、千葉市稲毛、松戸市主水（もんど）新田、それに千葉県の北端の関宿の記録は、千葉県の中央部と北部の

平野部で、せいぜい震度5強であったことを示しているに過ぎない。

都道府県	現在市区	現在地	史料地名	震度	記事	記録	ページ	出典
東京都	港区	虎ノ門1-3丁目、愛宕1丁目	木下右衛門大夫屋敷	5	所々大破	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕
山梨県	塩山市	笛吹川	甲斐国平岡次郎右衛門、平岡彦兵衛代官所笛吹川	5	堤所々震崩、川灘より下になる	新収2-別	17	〔奥只堂年録〕
埼玉県	蕨市	蕨	蕨宿	5-	田舎にては竹藪などに引倒れも	新収2-別	109	〔蕨市の歴史 第二巻〕
東京都	港区	日比谷公園、内幸町1-2丁目	伊東出雲守屋敷	5-	表長屋壁、瓦、土壊損	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-44p〕
東京都	中央区	東神田1-2丁目、岩本町1-2丁目、日本橋小伝馬町、日本橋馬喰町1-2丁目、日本橋横山町	伊奈半左衛門屋敷	5-	土壊崩	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-44p〕
東京都	新宿区	午込	午込御門	5-	煙燻れ、壁落	新収2-別	22	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-41p〕
東京都	千代田区	筋違橋	筋違(すじかい)御門	5-	大番所の後の煙少々損、石垣崩	新収2-別	22	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-41p〕
東京都	新宿区	市ヶ谷佐内町	市ヶ谷佐内町	5-	5町分の下木崩	新収2-別	55	〔災災部古録〕
東京都	港区	新橋1-3丁目、東新橋1丁目	松平伊豆守屋敷	5-	表長屋壁落	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-44p〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷、天水桶振りこぼす。10155つは天水桶とも揺り落とす。戸障子損壊し、開け閉めできぬ場所数カ所	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。御対面所その他御書院の張付け板間に割損す	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。御台所へ行くところの高塚、踏地ともに倒れる	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。御殿中の轉居落ちる。あるいは5尺割かれるところあり	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。御立敷の中に破損出来	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。局の六間長屋打ちひしげ	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。柱と壁の間一、二寸ずつ口開とこ多し	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	5-	市ヶ谷屋敷。ひかえ柱の新敷はず切損折	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
長野県	木曾福島町	福島	木曾福島	4	大地震。その夜一尺ほどの光り物2つ、北東から南東に飛ぶ	新収2-別	151	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	千代田区	三咲町2-3丁目、飯田橋2-3丁目	屋代越中守屋敷	4	表長屋壁落	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	中央区	麹地6丁目	龜井隆徳守屋敷	4	表長屋壁、腰板落	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-44p〕
東京都	千代田区	神田神保町1-3丁目	隆持院(隆光僧正の居所)	4	11月23日最初大震。小震は絶えず、中震は1刻(2時間)に2、3度、24日地震中小なおよまず	新収2-別	76	〔隆光僧正日記(神田隆持院の僧正)〕
東京都	新宿区	四谷1-2丁目、寄寓1-3丁目	高木九助屋敷	4	表長屋壁損	新収2-別	23	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	新宿区	市ヶ谷御門	市ヶ谷御門	4	煙燻壁落そのほか石垣損	新収2-別	151	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	中央区	日本橋横山町、東日本橋1-3丁目、日本橋久松町、日本橋浜町1-2丁目	酒井作左衛門屋敷	4	表長屋壁損	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	千代田区	神田駿河台1-4丁目、神田小川町1-3丁目、神田淡路町1-2丁目	松平伊豆守屋敷	4	土壊崩	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-44p〕
東京都	文京区	小石川1-2丁目、春日町1丁目	森川記伊守屋敷	4	外向煙少々損	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	千代田区	神田神保町1-3丁目、西神田1-3丁目、三咲町1-2丁目、飯田橋2丁目、九段北1丁目	中山主馬屋敷	4	煙り煙崩	新収2-別	23	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	千代田区	富士見1-2丁目	東条信濃守屋敷	4	煙少損	新収2-別	24	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-43p〕
東京都	香椎市	二俣屋	二俣屋	4	22日夜8時(午前2時)大地震。23日五時分まで50度揺る	新収2-別	107	〔谷谷兵衛日記〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	4	市ヶ谷屋敷。北西隅石垣揺り崩、その他所々崩	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
福島県	白沢村	福沢	福沢	4	大地震	新収2-別	129	〔天正一 天明福沢村年代記(福島県史第1巻上、近世史料Ⅱ)〕
愛知県	常滑市	大野	大野村	4	大地震あり。津波で内宮社の境内は欠陥した	新収2-別	132	〔小田井記(大野町史)〕
愛知県	名古屋	東区主税町	朝日文左衛門重章の自宅	4	2点地震。よくしく震ふ。而揺り廻しあり。庭池の水割れ、水逆上がり、津波たいに湧るが如し	新収2-別	147	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
山梨県	塩山市	上於倉	塩山向岳神庵	4	塩山向岳神庵で「大地震」	新収2-別	108	〔塩山向岳神庵小年代記〕
福島県	いわき市	小名浜	磐城地方	4	強い地震があり、小名浜に津波が来たが被害は軽微であった	新収2-別	129	〔福島県災害史〕
福島県	いわき市	平	平藩	4	22日夜8時(26時)地震強。御家中倉庫、夜明けまで度々震。小名浜津波打上。大軍切通崩れる。	新収2-別	129	〔福島県災害史〕
香森県	八戸市	八戸藩	八戸藩	5	「東の割(西時)地震」	新収2-別	115	〔八戸藩日記〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	3	市ヶ谷屋敷。家中死者なし	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	3	市ヶ谷屋敷。外より屋敷の中揺れ少なし	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	3	市ヶ谷屋敷。外より屋敷の中破損少なし	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
東京都	新宿区	市ヶ谷	尾州公屋敷	3	市ヶ谷辺は揺り程し	新収2-別	149	〔鵜飼繁中記(朝日文左衛門重章の日記)〕
栃木県	日光	東照宮など	日光御宮	3	御宮、御堂大御院殿無事、石垣、石灯笼一カ所も損じなし。日光は先年の地震より軽し	新収2-別	28	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-46〕
栃木県	日光市	日光	日光山	3	幕府は日光へ使番として松田番右衛門を派遣したが、日光山御別荘なし	新収2-別	134	〔地震記 完(日光市岩瀬文庫)〕
栃木県	日光市	日光	日光東照宮	3	御宮、御に大地震。一夜に六十三度揺る。御堂御宮無事	新収2-別	61	〔元禄十六年関東大地震記〕
栃木県	日光市	日光	日光東照宮	5	御宮御堂別荘なし	新収2-別	36	〔野津田村年代記(町田市史料集、第5巻、近世歴史史料Ⅱ)〕
茨城県	鹿嶋市	鹿嶋神宮	鹿嶋	3	鹿嶋は強く揺れず	新収2-別	106	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-51〕
京都府	左京区		京都	2	地震軽く、気づかぬ者もあり	新収2-別	23	〔文鳳堂雜纂 災災部五十五〕、〔甘露齋 史料2-51〕

図 1 元禄地震(1703年)の被害データベースの一例

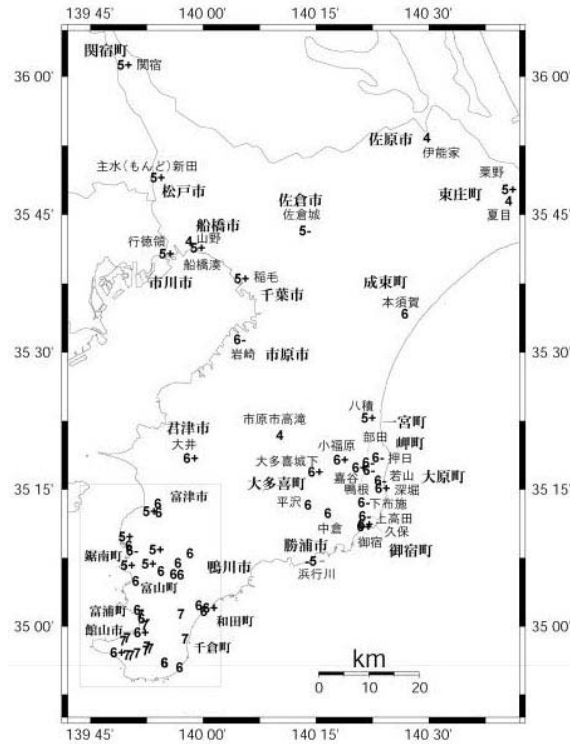


図 2 元禄地震(1703年)による千葉県内の集落別震度

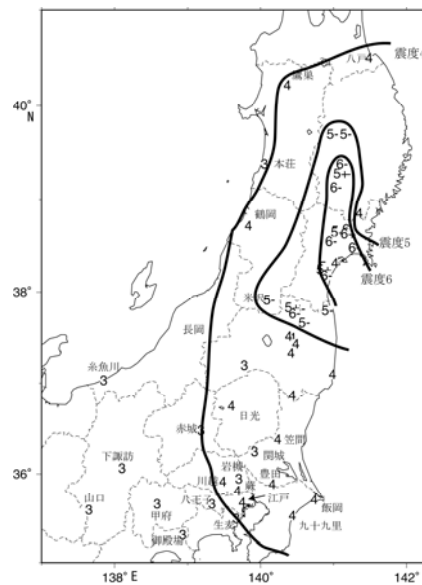


図 3 寛政の宮城県沖地震(1793年)の震度分布

一方、寛政の宮城県沖地震については図 3 に示す震度分布図を得た。この図から、寛政地震は宮城県を中心に福島県や岩手県が強く揺れた地震であることが言える。とくに宮城県は震度 6 から震度 5 の強い揺れを県内全域で感じている。また、岩手県内陸南部から福島県北部にかけても震度 6 クラスの強震域が及んでおり、これが寛政地震の大きな特徴と

いえよう。そして、震度4の分布は東京にまで及び、震度3に関しては宮城県沖から約500km離れた長野県山口村や約350km離れた新潟県糸魚川市などでも感じるなど、広範囲で揺れたことがわかる。この震度4の分布に注目すると、その分布は関東南部にまで及んでおり、寛政地震の震度4の分布は、北は青森県から南は関東地方にまで及んでいる。

(d) 結論

1703年の元禄地震は1923年の大正関東地震と比べると、相模トラフ沿いの同じプレート間のすべりによって生じた巨大地震という共通点があるものの、仔細に見れば、震度分布、津波の被害分布に大きな違いもまた指摘することができる。また、寛政の宮城県沖地震の震度分布と1978年宮城県沖地震のそれとを比較してみると、震度5以上の範囲、および震度4の範囲の2つで類似しており、寛政地震の断層すべり面の少なくとも一部分は1978年宮城県沖地震のそれと共通していることを示唆する。

(e) 引用文献

- 1) 武者金吉：「増訂大日本地震史料・第2巻」, 文部省震災予防評議会, pp. 754, 1941.
- 2) 地震研究所：「新収・日本地震史料・第二巻 別巻」, pp. 290, 1982.
- 3) 地震研究所：「新収・日本地震史料・補遺 別巻」, pp. 1222, 1990.
- 4) 地震研究所：「新収・日本地震史料・続補遺 別巻」, pp. 1043, 1994.
- 5) 羽鳥徳太郎：寛政5年(1793年)宮城沖地震における震度・津波分布, 地震研究所彙報, Vol. 62, pp. 297-309, 1987.
- 6) 地震研究所：「新収・日本地震史料・補遺」, pp. 1222, 1989.
- 7) 地震研究所：「新収・日本地震史料・続補遺」, pp. 1228, 1993.
- 8) 武村雅之：関東大震災：様々な被害とその教訓, 地震ジャーナル, Vol. 36, pp. 26-39, 2003.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
都司嘉宣	元禄地震(1703)とその津波による千葉県内各集落での詳細被害分布	歴史地震, 第19号, 8-16	2004年3月31日
行谷佑一, 都司嘉宣, 上田和枝	寛政五年(1793)宮城県沖に発生した地震の詳細震度分布と津波の状況	歴史地震, 第19号, 80-99	2004年3月31日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願  
なし
- 2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

## (2-2) 震度データによる強震動発生域インバージョン

額 額 一 起 (東京大学地震研究所)

武村雅之 (鹿島小堀研究室)

神田克久 (鹿島小堀研究室)

### (a) 業務の要約

歴史地震の震源特性を同定することは、繰り返す海溝型地震の震源特性を知り、地震被害を推定する上で重要な研究である。ここでは歴史地震の文献調査による震度分布を用いて、震源特性をインバージョンする手法を開発し、その検証を行った。

### (b) 業務の実施方法

震源特性の同定方法は、古地震の震度分布を観測データとして用いて、震源周辺の震度分布を、逆解析により求めるというものである。震度は河角<sup>1)</sup>の式に基づいて加速度に変換し、加速度の定式化は Hashida and Shimazaki<sup>2)</sup>による(1)式によった。

$$\alpha = S \cdot G \cdot g \cdot \exp\{-\pi f \sum (T_k/Q_k)\} \quad (1)$$

S: 震源における仮想加速度 (gal)

G: 幾何減衰項

g: 表層の増幅率

f: 周波数 (Hz)

T<sub>k</sub>: K ブロックの伝播時間 (s)

Q<sub>k</sub>: K ブロックにおける Q 値

T<sub>k</sub> の計算と波線の決定には日本付近の平均的な S 波速度構造を用い、Q<sub>k</sub> には中村・島崎・橋田<sup>3)</sup>による三次元 Q 値構造を利用した。震源は複数の小断層に分割され、各小断層から放出された加速度  $g_i$  は位相がランダムな波形の重ね合わせとして、(2)式に基づいて各観測点の加速度 G が計算される。

$$G = (\sum g_i) \cdot 1/2 \quad (2)$$

したがって逆解析は非線形なインバージョンである。

以上のインバージョン手法を用いて、1978 年の宮城沖地震と 1861 年の文久の地震の解析を行った。震源断層は太平洋プレート上面に設定し、図 1 に示す丸印の位置に小断層を点震源として置いた。まず、現代の地震で観測データに誤差の少ないと考えられる 1978 年宮城県沖地震を解析した。その結果を図 2 に示す。各小断層における丸印の半径が強震動 (加速度) の強度を表している。領域の中央部に大きな丸印があり、その周辺に小さな丸印が続いている。これら丸印が 1978 年宮城県沖地震の主要な強震動発生域に相当すると考えられる。また、断層面の周辺に小さな丸印が見られるが、これらは観測データの誤差や観測点の片寄った分布によって生じたと考えられる。インバージョン結果から計算される震度分布は、図 3 に示すように観測データに良く一致している。



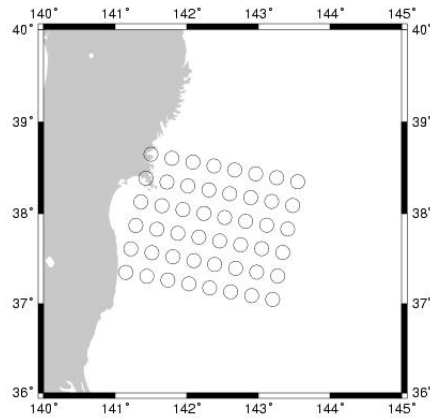


図 1 解析に用いた震源断層上の小断層の分布 (丸印)

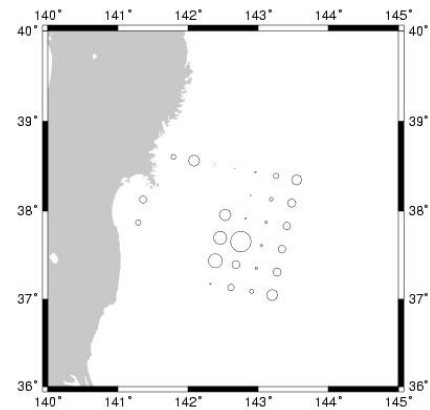


図 2 1978年宮城県沖地震のインバージョン結果

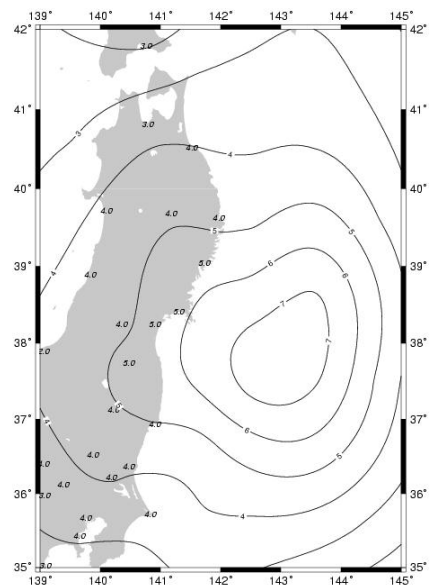


図 3 1978年宮城県沖地震の計算震度分布 (コンター) と観測震度 (数字)

一方、1861年の文久の地震に対しても同様の解析を行った。データは平成14年度に得られた検証用データであるが、これをそのまま用いると安定な解はまったく得られなかつ

た。そこでデータをよく見直してみると、ほとんど同じ位置でありながら震度が1から2も違う例が多々見られ、これらを除外して解析に用いることにした。その結果を図4に、計算震度分布と観測データの比較を図5に示す。図5でみる限り除外した地点を除いて、観測震度と計算震度は比較的良く一致している。

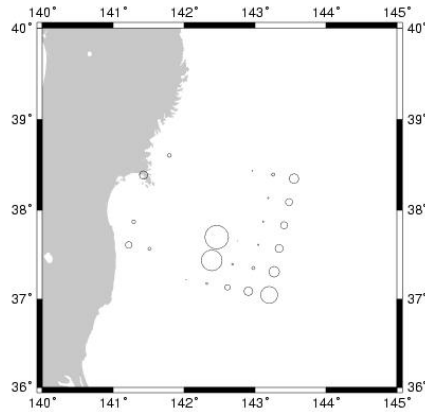


図 4 1861年文久の地震のインバージョン結果

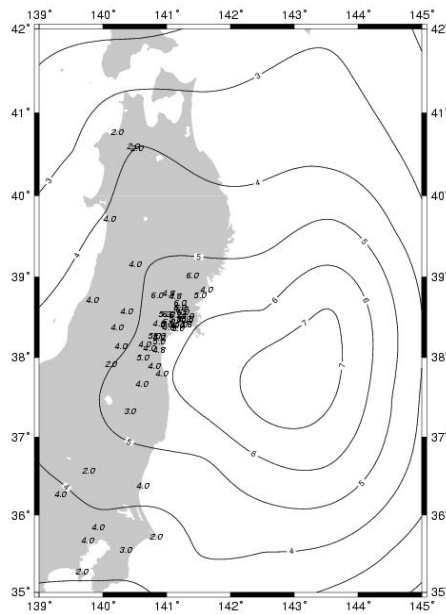


図 5 1861年文久の地震の計算震度分布（コンター）と観測震度（数字）

#### (d) 結論

震度データを用いて震源断層における強震動発生域をインバージョンする手法を開発し、その妥当性を1978年宮城県沖地震のデータを用いて検証した。古文書など史料から得られた1861年文久の地震のデータにも適用してみたが、妥当な結果を得るにはデータの取捨選択が必要であることがわかった。

(e) 引用文献

- 1) 河角広：震度と震度階，地震 1，Vol.15，pp.6-12，1943.
- 2) Hashida, T. and Shimazaki, K. : Determination of seismic attenuation structure and source strength by inversion of seismic intensity data: method and numerical experiment, J. Phys. Earth, Vol.32, pp.299-316, 1984.
- 3) 中村亮一，島崎邦彦，橋田俊彦：震度データトモグラフィによる日本列島下の三次元減衰構造および広域震度予測，地震 2，Vol.47，pp.21-32，1994.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

震度データ同化システム

3) 仕様・標準等の策定

なし

## (2-3) 震度・史料データと対応する震度算定法の検討

境 有紀（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

神野 達夫（広島大学大学院工学系研究科）

瀬戸 一起（東京大学地震研究所）

### (a) 業務の要約

歴史地震史料における震度に対応する、震度の高低により対象、即ち、地震動の周期帯を変化させた震度算定法を提案した。提案した算定法によって求めた震度は、低震度では人体感覚から室内物品の動き、中震度では建物の中小被害、高震度では大きな建物被害と対応している。大きな建物被害、人体感覚から室内物品の動きに対応する地震動の周期帯は、それぞれ 1～2 秒、0.1～1 秒という平成 14 年度の検討結果を用い、本年度では更に建物の中小被害に対応する地震動の周期帯について検討し、0.5～1 秒における速度応答と最も相関が高い、という結果を得た。そこで、0.1～1 秒、0.5～1 秒、1～2 秒という周期帯の速度応答を用いて、それぞれ低、中、高震度を想定した震度算定式を導き、更に、これらを組み合わせて震度を算定するアルゴリズムを提案した。

### (b) 業務の実施方法

人体感覚から室内物品の動き、大きな建物被害に加えて、建物の中小被害に対応する地震動の周期帯について検討し、人体感覚から室内物品の動き、建物の中小被害、大きな建物被害に対応する 3 つ周期帯を用いて、震度の大きさに従って対象、即ち、対応する地震動の周期帯を変化させた震度算定法を提案する。

具体的には、

- ・震度をその大きさから低、中、高震度の 3 つの領域に分け、それぞれを人体感覚から室内物品の動き、建物の中小被害、大きな建物被害に対応するように定式化する。
- ・そのために、それぞれの対象に対応する地震動の具体的な周期帯を求め、それぞれの周期帯における速度応答を用いて低、中、高震度における震度算定式を求める。
- ・そして、低、中、高震度における 3 つの震度算定式を組み合わせて、最終的な震度を算定するアルゴリズムを作成する。

なお、震度は 4、6 弱というようにある一定の範囲を代表する離散値であるが、ここでは計測震度と同様に連続なものに拡張して表現する。

### (c) 業務の成果

高震度における震度と低震度における震度は、平成 14 年度の検討結果を用いた。ただし、低震度における震度は、検討に用いた記録を補充し、人体感覚に与える上下動の影響も考慮に入れて、水平上下 3 成分を用いた定式化を行った。高震度、低震度における震度算定式をそれぞれ式(1)(2)に示す。

$$I_H = 2.171 \cdot \log(V_H) + 1.002 \quad (1)$$

$$I_L = 1.936 \cdot \log(V_L) + 2.011 \quad (2)$$

ここで、 $I_H$ : 高震度における震度、 $V_H$ : 1～2 秒における平均弾性速度秒応答（減衰定数 5%、水平上下 3 成分ベクトル和、cm/s）、 $V_L$ : 0.1～1 秒における平均弾性速度秒応答（減衰定

数 5%、水平上下 3 成分ベクトル和、cm/s)、 $I_L$ : 低震度における震度である。

平成 14 年度の震度算定方法では、式(1)(2)の高震度と低震度を対象とした 2 つの式を使って震度を算定していた。しかしながら、両者の対象とする周期帯 (0.1~1 秒、1~2 秒) が大きく異なるために、両者の間の中震度がうまく表現できなかった。また、震度階級説明文 (表 1) を見ると、震度 5 では「家屋の軽微な被害」という建物の中小被害に関する記述がある。よって、建物の中小被害、具体的には、家屋の軽微な被害を対象として震度の定式化を行い、式(1)(2)と組み合わせて震度を算定する。

まず、家屋の軽微な被害が地震動のどの周期帯と相関があるかについて検討する。用いた被害データと強震記録は、翠川・藤本が収集した自治体罹災調査に基づいたデータ<sup>2)</sup>のうち強震記録が得られたものに、建築研究所による 1995 年兵庫県南部地震のデータ<sup>3)</sup>を補充したものを用いた (表 2)。家屋の軽微な被害に対応する被害レベルは、文献 1) では半壊、文献 2) においては、自治体判定の半壊に対応する<sup>5)</sup>「軽微な損傷」とした。以下、両者を「半壊」と総称する。対象とする被害率は、半壊以上の割合 (以下、全半壊率) とした。

表 1 震度階級説明文<sup>1)</sup>

昭和 24 (1949) 年～平成 8 (1996) 年 地震津波業務規則 別表第 4 付表による		参考事項 (昭和 53 年)  地震観測指針 (観測編) (1991 年版) による
階級	説明	
0	無感。人体に感じないで地震計に記録される程度。	吊り下げ物がわずかにゆれるのが目視されたり、カタカタと音がきこえても、体にゆれを感じなければ無感である。
I	微震。静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。	静かにしている場合にゆれをわずかに感じ、その時間も長くない。立っていても感じない場合が多い。
II	軽震。大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるくらいの地震。	吊り下げ物が動くのがわかり、立っていてもゆれをわずかに感じるが、動いている場合にはほとんど感じない。眠っていても目をさますことがある。
III	弱震。家屋が揺れ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさますが、戸外に飛び出すまでないし、恐怖感はない。戸外にいる人もかなりの人に感じるが、歩いている場合感じない人もいる。
IV	中震。家屋の動揺が激しく、座りの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれ出る。また、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。電柱・立木などのゆれるのがわかる。一般の家屋の瓦がずれるのがあっても、まだ被害らしいものではない。軽いめまいを覚える。
V	強震。壁に割れ目が入り、墓石・石灯ろうが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震。	立っていることはかなりむずかしい。一般家屋に軽微な被害が出はじめる。軟弱な地盤では割れたりくずれたりする。すわりに悪い家具は倒れる。
VI	烈震。家屋の倒壊は 30 パーセント以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、多くの人々が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
VII	激震。家屋の倒壊が 30 パーセント以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる。	

表2 中震度の定式化に用いた強震記録と周辺の建物被害率

地震	地点	PGA	PGV	$I_T$	$D_H'$	$D_M$	$D_N$	$D_H' / D_N$
1995年兵庫県南部	関電総合技研	555.	64.2	5.95	6.0	31.8	25.8	0.20
〃	千里供給所	313.	33.5	5.35*	0.0	0.00	0.0	-
〃	NTT豊中	266.	31.7	5.41	0.0	0.00	0.0	-
〃	JR宝塚	690.	91.7	6.15	5.4	36.1	30.8	0.18
〃	( JR鷹取)	742.	161.9	6.48	56.9	81.0	24.1	<b>2.36</b>
〃	( 本山第一小)	794.	86.7	6.12	29.1	48.9	19.8	<b>1.47</b>
〃	尼崎竹谷小	367.	60.2	5.70	7.9	36.6	28.7	0.28
〃	* 神戸 JMA	847.	96.6	6.43	12.5	58.6	46.1	0.27
〃	* 尼崎高架橋*	340.	57.9	5.69	2.9	23.1	20.2	0.15
〃	* ( NTT神戸)	331.	91.2	5.83	27.6	65.5	37.9	<b>0.73</b>
〃	* ( 尼崎港)	473.	64.8	5.74	7.0	19.0	12.0	<b>0.59</b>
〃	* ( 葺合)	834.	139.8	6.49*	35.2	57.6	22.4	<b>1.57</b>
1997年鹿児島県北	JMA阿久根	500.	39.1	5.38	0.2	0.2	0.0	-
〃	K-NET阿久根	295.	44.8	5.67	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET出水	902.	16.8	5.23	0.0	0.0	0.0	-
1997年鹿児島県北	K-NET出水	753.	23.1	5.23	0.0	0.0	0.0	-
2000年鳥取県西部	KiK-net伯太	844.	44.5	5.76	0.0	11.4	11.4	0.00
〃	K-NET新見	876.	26.8	5.67	0.0	0.0	0.0	-
〃	JMA新見	788.	21.7	5.09	0.0	0.0	0.0	-
〃	JMA米子	280.	28.8	5.15	0.0	1.3	1.3	0.00
〃	K-NET米子	435.	54.1	5.82	0.0	2.9	2.9	0.00
〃	境港測候所	762.	88.3	6.01	2.0	13.0	11.0	0.18
〃	K-NET松江	217.	26.2	5.12	0.0	0.0	0.0	-
〃	JMA松江	223.	17.6	4.88	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET土庄	146.	9.8	4.45	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET高野	482.	13.1	5.09	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET油木	539.	14.2	5.05	0.0	0.0	0.0	-
2001年芸予	広島河内町)	377.0	36.0	5.99	0.1	0.1	0.0	$\infty$
〃	K-NET東予	509.	33.4	5.57	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET長浜	399.	32.9	5.46	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島倉橋町	576.	22.9	5.48	0.0	0.0	0.0	-
〃	JMA倉橋	385.	11.7	4.91	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET因島	401.	19.3	5.29	0.0	0.0	0.0	0.00
〃	JMA三原	243.	21.7	5.19	0.0	0.5	0.5	0.00
〃	K-NET三原	641.	11.8	4.98	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島大柿町	579.	18.0	5.18	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島新市町	274.	7.8	4.51	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET玖珂	191.	18.6	4.89	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島世羅西町	404.	10.4	4.70	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島三良坂町	299.	8.7	4.67	0.0	0.0	0.0	-
〃	広島下蒲刈町	1212	30.7	5.37	0.0	0.0	0.0	-
〃	K-NET東和	223.	23.5	5.23	0.0	0.4	0.4	0.00

地点が括弧になっているものは  $D_H' / D_N > 1/3$  となり対象外となったもの。PGA: 地動最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )、PGV: 地動最大速度 ( $\text{cm/s}$ 、周期 15 秒、減衰定数 70.7% の系の最大速度応答<sup>4)</sup>) (いずれも水平 2 成分ベクトル和)、 $I_T$ : 計測震度 (\*がついたものは水平 2 成分による値)、 $D_H'$ 、 $D_M$ 、 $D_N$ : 観測地点周辺における自治体による全壊、半壊以上、半壊の家屋の割合 (%)。地点の前に\*がついているものは、補充した文献<sup>3)</sup>によるデータで  $D_H'$  は、自治体による全壊に対応する<sup>5)</sup>「中程度の損傷」以上の割合にした。表中の JMA は気象庁、K-NET、KiK-net は防災科学技術研究所、広島は広島県震度情報ネットワークの観測点を表す。

ここで、全半壊率の中に  $D_{H'}$  の割合が多いもの、具体的には  $D_{H'}$  が半壊率  $D_N$  (半壊のみの割合) の  $1/3$  より大きいものは、検討対象から除外した (表 2 で地点が括弧、 $D_{H'}/D_N$  が太字)。なぜなら、対象とする半壊より大きな被害は、地震動のより長い周期帯によって決まり、 $D_{H'}$  の割合が多いものはその影響が含まれてしまうからである。よって、表 2 のデータの中で  $D_{H'}$  が半壊率  $D_N$  の  $1/3$  より大きい 6 点を除いた 36 点について、全半壊率  $D_M$  が地震動のどの周期と相関をもつかを調べた。

弾性速度応答の周期と全半壊率との相関係数の関係を図 1 に示す。図 1(1)を見ると全半壊率と最も相関をもつのは、1 秒よりやや短い周期帯となった。上限周期を下限周期の 2 倍とすると、最も相関係数が大きくなる周期帯は、0.5~1 秒となった (図 1(2))。大きな建物被害と相関をもつ周期帯が 1~2 秒であるから、その半分ということになる。これは、対象とする被害レベルが小さいことから周期の伸びも小さく、等価周期の概念とも対応している。

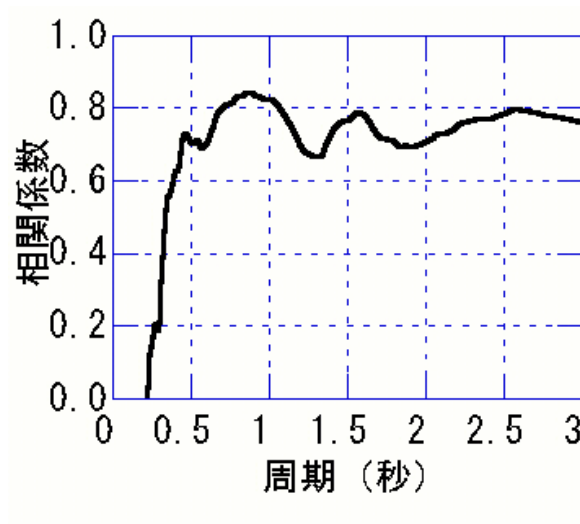


図 1 弾性速度応答の周期と全半壊率との相関係数の関係 (1) 単一周期

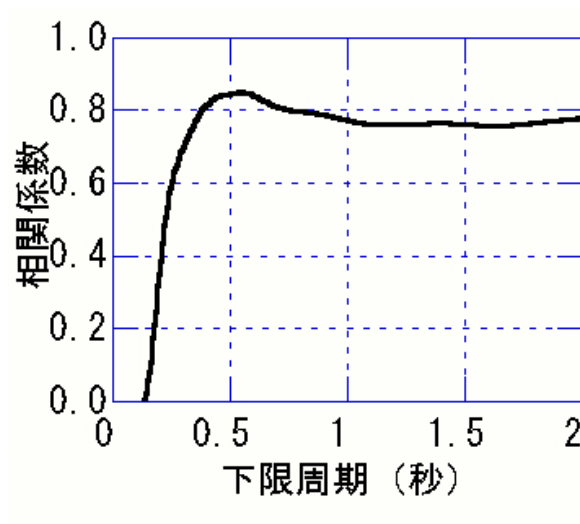


図 1 弾性速度応答の周期と全半壊率との相関係数の関係 (2) 周期帯



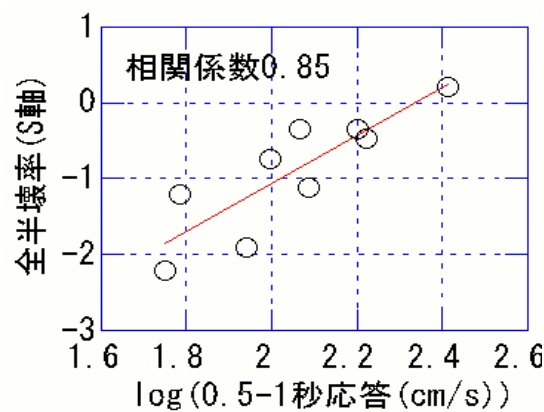


図2 全半壊率0の点を除いた0.5-1秒応答と全半壊率の関係

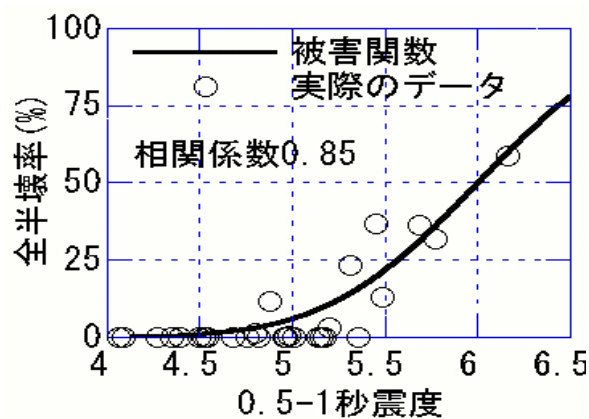


図3 0.5-1秒震度と実際のデータ（全半壊率）との対応

次に、全半壊率と相関をもつ0.5～1秒平均弾性速度応答（以下、0.5-1秒応答）で中震度の定式化を行う。関数形は、高震度における定式化と同じ対数正規分布とした。表2の36点から、全半壊率0のものを除き（対数正規分布には被害率0の点が理論的に存在しないため）、更に、全半壊率1%以上（たまたまとても古い家屋や施工不良のものが倒壊するなどという偶然性を排除するために有意な量として1%以上を対象とした）の9点について0.5-1秒応答と全半壊率の関係を図2に示す。そして、これから求めた被害関数を以下に示す。

$$D_M = \Phi(-7.367 + 3.150 \cdot \log(V_M)) \quad (3)$$

ここで、 $D_M$ : 全半壊率(%）、 $V_M$ : 0.5～1秒における平均弾性速度秒応答(減衰定数5%、水平上下3成分ベクトル和(cm/s))である。

次に、被害レベル半壊に対応した震度の被害関数、即ち、全半壊率による中震度領域の震度の定義を行う。まず、震度階級説明文（表1）で、震度5で軽微な被害が発生することの記述があることから、震度5弱の下限（4.5）が軽微な被害（半壊）が発生する下限と考え、震度4.5で有意な最低量として1%、岡田・鏡味による研究<sup>6)</sup>から、震度6.0で50%となるように標準正規分布の累積確率を用いて式(4)のように設定した。

$$D_M = \Phi(-9.308 + 1.551 \cdot I_M) \quad (4)$$

ここで、 $D_M$ : 全半壊率(%),  $I_M$ : 中震度領域における震度である。この式は、 $D_M = 6.1\%$ 、 $21.9\%$ でそれぞれ  $I_M = 5.0$ 、 $5.5$  となり、全半壊率が  $6.1\%$ 、 $21.9\%$ を越えるとそれぞれ震度 5 強、6 弱となる。

式(3)(4)より全壊率  $D_M$ を消去して、 $I_M$ を  $V_M$ によって表現し、中震度における震度算定式とした(式(5))。

$$I_M = 2.030 \cdot \log(V_M) + 1.251 \quad (5)$$

中震度における算定震度と実際の被害データの対応を図3に示す。算定震度による被害関数は、実際の被害データ(全半壊率)とよく対応している。

よって、低、中、高震度という3つの領域それぞれにおける震度算定式をまとめて記すと次のようになる。

$$I_L = 1.936 \cdot \log(V_L) + 2.011 \quad (2)$$

$$I_M = 2.030 \cdot \log(V_M) + 1.251 \quad (5)$$

$$I_H = 2.171 \cdot \log(V_H) + 1.002 \quad (1)$$

ここで、 $I_L$ 、 $I_M$ 、 $I_H$ : それぞれ低、中、高震度領域における震度(以下、それぞれ対応する地震動の周期帯を用いて0.1-1秒震度、0.5-1秒震度、1-2秒震度と呼ぶ)、 $V_L$ 、 $V_M$ 、 $V_H$ : それぞれ0.1~1秒、0.5~1秒、1~2秒平均弾性速度応答(cm/s、減衰定数5%、 $V_L$ は水平上下3成分ベクトル和、 $V_M$ 、 $V_H$ は水平2成分ベクトル和)である。これらはいずれも、それぞれ0.1~1秒、0.5~1秒、1~2秒平均弾性速度応答の対数の1次式という、入力のみから決まる単純で同じ形の式になっている。

最終的な震度は、低、中、高震度についてそれぞれ式(2)(5)(1)を用いることになるが、それぞれの算定式によって求めた震度が、それぞれ想定する領域に収まるとは限らない(例えば、高震度領域における震度(1-2秒震度)が実際に高震度になるとは限らない)。そこで、これらの式を組み合わせる最終的な震度を算定するアルゴリズムについて検討する。

まず、低、中、高震度という3つの領域は、表1の震度階級説明文を参考にし、低震度を人体感覚から室内物品の動きに対応するものとして5.5以下、中震度を建物の中小被害に対応するものとして5.0以上6.0未満、高震度を大きな建物被害に対応するものとして5.5以上とする。低震度と中震度、中震度と高震度の領域にそれぞれ5.0~5.5、5.5~6.0という重なりを設けたのは、想定する震度領域の境界で、算定した震度が大きく異なることがあると、応答スペクトルのわずかな差が大きな震度の差となる不連続が生じることがあるのを避けるためである。具体的には、次のようなアルゴリズムを考えた。

- ・まず、1-2秒震度  $I_H$ が6.0以上の場合は、全壊率が8%以上と予想され<sup>7)8)</sup>、甚大な被害となる可能性が大きいため、全壊率との正確な対応性を最優先し、 $I_H$ をそのまま採用する(Case 1)。

- ・次に、1-2秒震度  $I_H$ が5.5以上6.0未満なら、全壊率は8%未満と予想され<sup>7)8)</sup>、全半壊率も併せて考慮するために、1-2秒震度  $I_H$ と0.5-1秒震度  $I_M$ から震度を算定する。具体的には、0.5-1秒震度  $I_M$ と1-2秒震度  $I_H$ を  $I_H = 5.5$ で  $I_M$ が100%、 $I_H = 6.0$ で  $I_H$ が100%になるように比例配分する(Case 2)。これを式で書くと算定される震度  $I_P$ は、次のようになる。

$$I_P = (I_H \cdot (I_H - 5.5) + I_M \cdot (6.0 - I_H)) \cdot 2 \quad (8)$$

- ・0.1-1秒震度  $I_L$ が5.0未満の場合は、人体感覚から室内物品の動きを最優先し、 $I_L$ をそ

のまま採用する (Case 3)。

・0.1-1秒震度  $I_L$  が 5.0 以上 5.5 未満なら、半壊程度の被害は発生している可能性があり、人体感覚から室内物品の動きも併せて考慮するために、0.1-1秒震度  $I_L$  と 0.5-1秒震度  $I_M$  から震度を算定する。具体的には、0.5-1秒震度  $I_M$  と  $I_L$  を  $I_L=5.5$  で  $I_M$  が 100%、 $I_L=5.0$  で  $I_L$  が 100%になるように比例配分する (Case 4)。これを式で書くと算定される震度  $I_p$  は、次のようになる。

$$I_p = (I_M * (I_L - 5.0) + I_L * (5.5 - I_L)) * 2 \quad (9)$$

・これ以外 ( $I_H < 5.5$  かつ  $I_L > 5.5$  の場合) は、大きな建物被害は発生しないと予想されるが、体感是非常に大きいというケースであり、建物の中小被害が発生している可能性が高いので 0.5-1秒震度  $I_M$  とする (Case 5)。

以上のアルゴリズムをフローチャートで描くと図 4 のようになる。提案する震度算定法は一見複雑に見えるが、実際には、0.1~2秒の弾性速度応答スペクトルを計算し、式(2)(5)(1)から  $I_L$ 、 $I_M$ 、 $I_H$  を求め、Case1~5 の 5 通りの場合分けに従って最終的な震度  $I_p$  を求めるもので、プログラムも応答計算を含めて 100 行程度、計算時間も 2004 年 1 月現在、10 万円以下で市販されている PC で 1 記録あたり 0.3 秒程度である。

提案する算定法による震度を、いくつかを例として、現行の計測震度と比較して表 3 に示す。現行の計測震度で 6 弱、6 強であるにもかかわらず周辺に大きな建物被害がなかった記録は、提案する算定法ではいずれも 5 強以下となった (表 3 で  $I_p$  の左に\*)。一方、大きな被害をもたらした 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取、葺合などの値は、計測震度と同程度またはそれ以上となっている。また、全壊建物はないが半壊建物は存在するケースでは、いずれも震度 5 となって表 1 と対応し (表 3 で  $I_p$  の左に+)、震度 4 以下の低震度では、人体感覚から室内物品の動きに対応した計測震度とほぼ同じになっている。以上のことから提案する震度算定法は、高震度で全壊、中震度で半壊という実際の建物被害を的確に再現し、低震度では現行の計測震度とほぼ対応したものになっていて、低震度から高震度までを震度という 1 つの指標で表現することができるものになっている。

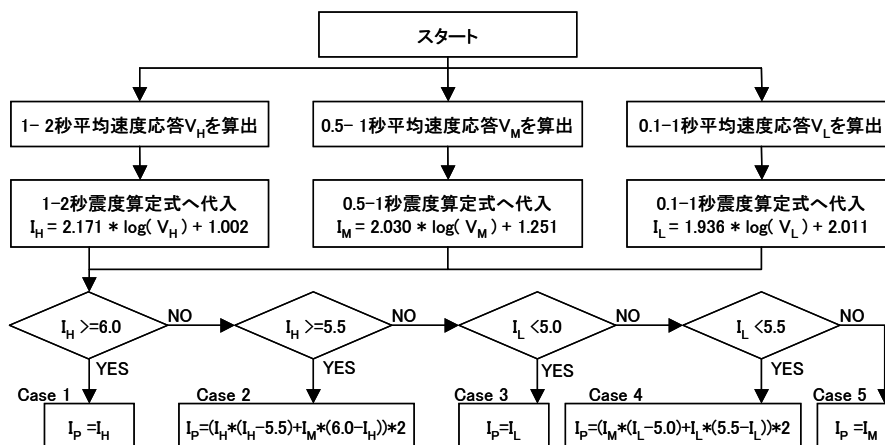


図 4 震度算定のフローチャート

表3 提案する算定法による震度と現行の計測震度

地震	地点	I <sub>J</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>M</sub>	I <sub>H</sub>	I <sub>P</sub>	C	D <sub>M</sub>	D <sub>H</sub>
1995年兵庫県南部	JR 鷹取	6.48	6.10	5.77	6.63	6.63	1	81.0	59.4
〃	葺合	6.49*	6.15*	5.89	6.40	6.40	1	57.6	20.2
〃	NTT 神戸	5.83	5.57	5.35	5.94	5.87	2	65.5	16.1
〃	JR 宝塚	6.15	6.09	5.68	5.92	5.89	2	36.1	7.2
〃	本山第一小	6.12	5.87	5.58	5.74	5.65	2	48.9	6.5
〃	神戸 JMA	6.43	6.40	6.15	6.09	6.09	1	58.6	3.2
1994年三陸はるか沖	八戸市庁舎	5.82	5.79	5.55	5.38	5.55	5	-	1.9
1993年釧路沖	釧路 JMA	5.95*	5.96*	5.47	5.35	*5.47	5	-	0.0
1993年北海道南西沖余震	乙部小	6.15	5.99	5.10	4.93	*5.10	5	-	0.0
2001年芸予	K-NET 大野	5.63	5.76	5.29	4.82	*5.29	5	-	0.0
〃	K-NET 東予	5.57	5.62	5.15	4.74	*5.15	5	0.0	0.0
〃	K-NET 三原	4.98	4.81	4.08	3.92	4.81	3	0.0	0.0
1997年鹿児島県北西部 3/26	K-NET 宮之城	5.53	5.51	5.11	4.72	*5.11	5	-	0.0
1997年鹿児島県北西部 5/13	K-NET 宮之城	5.92	5.87	5.39	4.94	*5.39	5	-	0.0
2000年鳥取県西部	境港測候所	6.01	5.86	5.48	5.92	5.85	2	13.0	1.1
〃	KiK-net 伯太	5.76	5.62	4.87	4.87	+4.87	5	11.4	0.0
〃	JMA 米子	5.15	5.22	4.80	4.59	+5.03	4	1.3	0.0
〃	K-NET 米子	5.82	5.57	5.19	5.76	+5.49	2	2.9	0.0
2003年三陸南 (5/26)	K-NET 赤穂	4.00	4.05	3.55	3.59	4.05	3	-	-
〃	K-NET 尻屋	2.35	2.48	1.83	1.46	2.48	3	-	-
〃	K-NET 下屋地	2.99	2.93	2.48	2.68	2.93	3	-	-
1994年 Northridge	Sylmar	6.20	6.14	5.75	5.95	5.92	2	-	-
〃	Tarzana	6.54	6.50	6.06	5.81	5.90	2	-	-
1999年台湾集集	埔里	6.04	6.06	5.84	6.03	6.03	1	-	-
〃	石岡	6.03	5.66	5.29	5.86	5.69	2	-	-
〃	新街	5.98	5.91	5.39	5.39	5.39	5	-	-
2000年新島・神津島	神津島金長	5.78	5.74	5.39	4.93	5.39	5	-	-
1940年 Imperial Valley	El-Centro	5.43*	5.46*	5.13	4.94	5.16	4	-	-
1952年 Arvin-Tahachapi	Taft	4.96*	4.96*	4.53	4.49	4.96	3	-	-
1968年十勝沖	八戸港湾	5.28*	5.31*	4.97	5.06	5.10	4	-	-
1978年宮城県沖	東北大学	5.55*	5.51*	5.22	5.49	5.22	5	-	-

I<sub>J</sub>: 計測震度 (\*がついたものは水平2成分による値)、I<sub>L</sub>、I<sub>M</sub>、I<sub>H</sub>: それぞれ 0.1-1 秒震度、0.5-1 秒震度、1-2 秒震度、I<sub>P</sub>: 提案算定法による震度、C: 本文、図4中の Case ?の?、D<sub>M</sub>: 全半壊率(%), D<sub>H</sub>: 全壊率(%).

(d) 結論ならびに今後の課題

震度の高低により対象、即ち、地震動の周期帯を変化させた震度算定法を提案した。提案した算定法によって求めた震度は、低震度では人体感覚から室内物品の動き、中震度では建物の中小被害、高震度では大きな建物被害と対応している。

大きな建物被害、人体感覚から室内物品の動きに対応する地震動の周期帯は、それぞれ1~2秒、0.1~1秒という平成14年度の検討結果を用い、本論文では更に建物の中小被害に対応する地震動の周期帯について検討し、0.5~1秒における速度応答と最も相関が高い、という結果を得た。そこで、0.1~1秒、0.5~1秒、1~2秒という周期帯の速度応答を用いて、それぞれ低、中、高震度を想定した震度算定式を導き、更に、これらを組み合わせる震度を算定するアルゴリズムを提案した。提案した震度算定法は、歴史地震史料の震度の判定に対応するものとなっている。今後は、建物の耐震性能および被害レベルの判定基準の違いを補正し、より正確に歴史地震史料における震度情報から地震動強さを把握する方法について検討する。

(e) 引用文献

- 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) 翠川三郎，藤本一雄：計測震度と住家被害率の関係－罹災調査結果を用いた検討－，日本地震工学会論文集，Vol. 2，No. 2，pp. 15-22，2002.
- 3) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書，1996. 3.
- 4) 渡部丹，大橋雄二，長谷部廣行：高層建築物の耐震設計用入力地震動について（その1），日本建築学会大会学術講演梗概集，B構造I，pp. 135-136，1985.
- 5) 山口直也，山崎文雄：1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定，土木学会論文集，No. 612/I-46，pp. 325-336，1999. 1.
- 6) 岡田成幸，鏡味洋史：震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成，地震2，Vol. 44，pp. 93-108，1991.
- 7) 境有紀，瀨瀨一起，神野達夫：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集，Vol. 555，pp. 85-91，2002.
- 8) 境有紀，神野達夫，瀨瀨一起：建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，CD-ROM，2002.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
神野達夫， 境有紀， 瀨瀨一起	応答スペクトルを用いた震度算定方法の提案(その3) 計測震度と提案震度の関係についての考察	日本建築学会大会	平成15年9月6日
境有紀，中 村友紀子， 瀨瀨一起	2003年十勝沖地震の強震観測点周辺の被害と強震記録の性質	日本地震学会2003年度秋季大会	平成15年10月7日

境有紀, 瀨瀨一起, 坂上実, 神野達夫	2003年宮城県沖・宮城県北部の地震による建物被害と震度との対応性	日本地震学会 2003年度秋季大会	平成15年10月8日
境有紀, 瀨瀨一起, 神野達夫, 中村友紀子	2003年宮城県沖・宮城県北部の地震による建物被害と強震記録の性質	日本地震工学会大会	平成15年11月13日
境有紀, 中村友紀子, 瀨瀨一起	建物被害と地震動との対応性、2003年(平成15年)	十勝沖地震被害調査報告会	平成15年12月5日
境有紀, 瀨瀨一起, 坂上実	強震観測点周辺の建物被害状況	2003年宮城県北部地震シンポジウム 地震から6ヶ月-震源域の地盤調査・地震災害調査で何が解明されたか	平成16年1月31日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
震度算定プログラム	地震動波形データから低震度で人体感覚から室内物品の動き、中震度で建物の中小被害、高震度で大きな建物被害と対応する震度を算定する

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成16年度業務計画案

今年度得られた震度データ、および解析手法を用いて1703年元禄地震の本格的な解析を行う予定である。また、被害データを震度データに変換するに際し、建物耐震性能等の時代変遷を考慮する方法を検討する予定である。