1997年鹿児島県北西部地震の地震動の特性

CHARACTERISTICS OF THE GROUND MOTION OF THE 1997 KAGOSHIMAKEN-HOKUSEIBU EARTHQUAKE

松村和雄*
Kazuo MATSUMURA

The earthquakes which occurred in the northwestern part of Kagoshima prefecture on March 26 and May 13 in 1997 caused severe damage to some reinforced concrete school buildings and wooden houses. Many ground motion records are obtained by the seismographs of JMA and NIED which settled in high density after 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. The response spectra of the ground motion of four sites which surround the seismic region are analyzed. The large peak ground accelerations such as 728 cm/s^2 at Izumi or 902 cm/s^2 at Miyanojyo are recorded but did not cause no severe damage of buildings near seismographs. These records contain predominant high frequencies of over 5 Hz. The response spectra of four sites are different by the location to the seismic region.

Keywords: *Earthquake disaster, Seismograph, Response spectrum, Attenuation curve, Kagoshima prefecture*
地震災害、強震計、応答スペクトル、減衰曲線、鹿児島県

1. はじめに

1997年3月26日17時31分に鹿児島県北西部の紫尾山付近を震源としてマグニチュード; $M=6.5$ の地震が発生して住宅や学校施設に被害が発生した。その後、 $M=4\sim5$ の余震が十数回発生して被害が拡大し、5月13日には $M=6.3$ の地震が発生して新たな被害が発生した。これらの地震により、震源に近い多くの住宅と学校の校舎や体育館が大きな被害を受けた。

この地方は歴史地震の記録もなく、観測された地震もほとんどない。このような地震活動度の低い地域での地震危険度、特に再来周期の長い地震による地震ハザードを考える資料が少ない現状ではこの地震は貴重な資料である。加えて、同じような規模の地震が50日後に発生したという例は少ないため、地震で被災した建物の応急対策を考える場合の参考になる地震である。

この地震は1995年兵庫県南部地震以来の主な被害地震であり、その地震を契機として全国に高密度に設置された気象庁と科学技術庁の強震計により多くの地震動が観測された。これらの強震計は計測震度の測定が第一の目的ではあるが、高密度に設置されているため被災地域に近い地震動が得られるので防災や地震工学の面で有効である。また、科学技術庁の強震記録はデジタル化されたデータが直ちにインターネットを通じて公開されるため利用価値が高い。

本論文は今後の地震防災に役立てるためにこれらの強震記録に表れた地震動の特性を明らかにするものである。

2. 地震と建物被害の概要

3月26日に $M=6.5$ の地震、4月3日に $M=5.5$ の最大の余震、5月13日に $M=6.3$ の地震が発生し、その後、活動は徐々に収束に向かうとともに震源が南に移っている。この間、 M が $4\sim5$ の余震が十数回記録されている。3つの大きな地震の震源情報を表1に示す。震央の位置と余震分布および大破した学校校舎の位置と強震計の位置を図1に示す。この地震の断層は確認されていないが、3月26日の地震の余震分布はほぼ東西方向の直線で、5月13日の地震の余震分布はそれらと異なる位置に東西方向と南北方向のL字型で両者は異なっている。従って、2つの地震は別の震源に起因すると考えられる。

地震の震源域である紫尾山付近には人家はほとんどなく、建物の被害は大部分が震源域の周辺で発生した。3月26日の地震による建物の被害は震源の東側に位置する鶴田町や宮之城町で大きかったが、5月13日の地震では東側から南側に位置する宮之城町と東郷町と川内市で大きかった。3月26日の地震では小被害にとどまった建物が5月13日の地震で大きな被害に至った場合も多かった。表2に示す鹿児島県の調査によれば、住家は8棟が大破と診断された。これらは振動とともに地盤による影響も大きかった。しかし、大半は屋根瓦のずれなど比較的軽微な被害であった。住宅以外では5棟の鉄筋コンクリートの学校校舎が大破と診断され、十数棟が中破の被害を受けた。体育館は1棟が大破したが、多くは鉄骨ブレースのボルトの破断やシルバークールの接合部の一部破損にとどまった¹⁾。

* 鹿児島大学工学部建築学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Kagoshima Univ., Dr. Eng.

表1 地震の震源情報 (Mはマグニチュード)

発生時刻	震央位置	M	深さ
1997年3月26日17時31分	31° 58' N, 130° 22' E	6.5	12km
1997年4月 3日 4時33分	31° 59' N, 130° 19' E	5.5	9km
1997年5月13日14時38分	31° 57' N, 130° 18' E	6.3	9km

図1 震源の位置と余震分布および大破した建物の位置

表2 鹿児島県の住家の被害棟数²⁾ (6月13日現在)

被害程度	3月26日	4月3日, 5日, 9日	5月13日	合計
全壊	4	0	4	8
半壊	22	11	29	62
一部破損	2,184	200	4,944	7,328

3. 鹿児島県北西部地域の地震活動

宇佐美のカタログ³⁾と気象庁の地震カタログから、この地域で過去に発生した被害地震およびマグニチュードがM>5の最近の地震の震源位置を図2に示す。今回の震源域である鹿児島県北西部では被害地震や大きな地震が記録されておらず、その周辺の被害地震も少ないことが分かる。今回の震源域に近い被害を伴った地震としては約40km東側に群発地震である1968年えびの地震が発生している⁴⁾。

最近の地震の傾向を見るために気象庁の震源データから、1926年から1996年6月までのM>2で60kmより浅い微小地震の震源位置を図3に示す。今回の震源域には1980年までは地震は全くなかったが、その後、図に示すような微小地震が発生している。1994年2月13日に今回の震源の北東の32.07°N, 130.48°EにM=5.7の地震が発生しているので、これらはその影響によるものと考えられる。

このような地震活動が低い地域では地震記録が少なく、一般に地震危険度も小さい。九州北部や北海道北部のように地震活動が低い地域で、長い再現期間の地震動あるいは地震荷重を設定するのは難しい問題であるが、規模的にはどこにでも起こる可能性が高い今回の地震は今後の地震防災の参考になるものである。

4. 強震記録

今回の地震では1995年兵庫県南部地震を契機として計測震度の測定のために全国に設置された気象庁の95型震度計⁵⁾と科学技術庁のK-NET95強震計⁶⁾によって多くの強震記録が得られた。ここでは強震記録が取得できた、図1に示す震源を囲む4地点の科学技術庁の強震観測網(K-NET)の記録と気象庁の95型震度計の記録を解析して地震動の特性を明らかにする。

図2 400年～1990年のM>5の地震の震源位置

図3 1926年～1996年6月の地震の震源位置

4. 1 水平地震動の軌跡と計測震度

3月26日と5月13日の地震について、気象庁と科学技術庁の強震計の水平加速度の軌跡と計測震度を図4と図5に示す。震度の図の○印は震央位置で、水平加速度の図の太い線は推定断層位置を示す。

震源の南東側に位置する被害の大きかった宮之城の計測震度は3月26日の地震では気象庁の観測点では5.4、科学技術庁の観測点では5.5で、5月13日の地震では気象庁の観測点では5.4、科学技術庁の観測点では5.9である⁷⁾。計測震度と最大水平加速度とはほぼ対応しているが、3月26日の科学技術庁の阿久根と出水は対応していない。これは後で示すように阿久根は長周期成分が卓越し、出水は短周期成分が卓越しているためと考えられる。

3月26日の推定断層と水平加速度の軌跡を見ると断層方向に位置する阿久根と宮之城では断層と直交する方向が大きく、反対に断層方向と直交する位置する出水と川内では断層方向に大きく振動している傾向が見られる。5月13日の推定断層はL字になっているが、大きく振動している方向は3月26日とほぼ同じ方向である。これは東西方向の主断層の影響が大きいためと考えられる。

4. 2 地震動の最大加速度と距離減衰曲線

今回の地震では震源付近で多くの地震動が記録された。震源を囲む科学技術庁の宮之城、川内、阿久根、出水の4地点で最大加速度が大きい地震動の最大加速度を表3に示す。気象庁の宮之城、川内、阿久根の3地点で最大加速度が大きい地震動の最大加速度を表4に示す。3月26日の地震での出水の727 (cm/s²)や5月13日の地震での宮之城の902 (cm/s²)と大きな最大加速度が記録された。過去の地震被

(a) 気象庁の観測地点

(a) 気象庁の観測地点

(b) 科学技術庁の観測地点

(b) 科学技術庁の観測地点

図4 3月26日の水平加速度の軌跡と計測震度

図5 5月13日の水平加速度の軌跡と計測震度

表3 科学技術庁の観測点の最大加速度 (cm/s²)

発生時刻		M	深さ km	宮之城			川内			阿久根			出水		
月日	時間			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
3月26日	17時31分	6.5	12	434	498	146	211	224	111	293	431	96	727	542	246
3月26日	17時39分	4.7	8	163	142	34	63	48	31	31	34	24	191	99	28
3月26日	18時05分	4.5	10	211	138	44	45	39	16	20	18	11	32	38	14
3月26日	18時30分	4.0	18	232	113	37	22	21	9	13	13	6	18	17	9
3月26日	19時45分	3.7	10	132	67	24	-	-	-	7	5	4	7	7	5
3月26日	22時24分	4.4	11	132	149	50	-	-	-	25	17	10	55	48	23
3月27日	5時19分	4.1	0	188	77	38	-	-	-	16	13	6	19	16	10
4月1日	2時14分	3.7	10	96	71	26	-	-	-	5	3	2	8	9	9
4月3日	4時33分	5.5	9	-	-	-	124	179	50	98	112	70	-	-	-
4月4日	2時33分	4.7	10	-	-	-	24	27	11	25	19	11	112	56	22
4月5日	13時24分	4.9	8	-	-	-	93	66	42	50	39	19	120	72	30
4月9日	23時20分	4.9	10	266	330	98	51	35	20	59	38	23	61	79	28
5月13日	14時38分	6.3	9	902	901	288	300	318	149	156	125	100	728	443	189
5月14日	8時32分	4.7	10	141	182	38	57	34	18	29	11	11	40	40	10
5月25日	6時11分	4.4	10	201	211	63	57	35	14	19	14	12	32	42	15
6月27日	14時14分	4.1	10	80	82	80	13	13	12	3	3	4	19	13	4

表4 気象庁の観測点の最大加速度 (cm/s²)

発生時刻		M	深さ km	宮之城			川内			阿久根		
月日	時間			NS	EW	UD	NS	EW	UD	NS	EW	UD
3月26日	17時31分	6.5	12	491	663	393	435	364	128	305	397	131
4月3日	4時33分	5.5	9	280	223	170	233	296	82	194	382	94
4月5日	13時24分	4.9	10	239	278	197	311	265	32	-	-	-
5月13日	14時38分	6.3	9	354	298	321	413	470	189	299	214	173

(a) 3月26日の地震

(b) 5月13日の地震

図6 科学技術庁の観測値と減衰曲線との比較

害と最大加速度の関係から判断すると最大加速度の大きさの割には表2の被害は小さいように思われる。2つの強震計の特性はSMAC型強震計の特性とは同じでなく、高振動数まで感度が低下しないため過去の記録と比べて最大加速度が大きいと考えられる。そこで、2つの地震の科学技術庁の強震計による水平動の最大加速度の減衰曲線を図6に示す。実線は福島の実減衰曲線⁹⁾で、点線は卓越周期を0.6(s)とした金井の減衰曲線⁹⁾である。震源距離が30~80(km)までの記録をみるとばらつきは大きい福島の実減衰曲線や金井の減衰曲線とは良い相関が見られる。この範囲では今回の強震記録も過去の地震動の特性とは大きく違ってないが、震源距離が30(km)以下の記録は減衰曲線より観測値が大きい傾向が見られる。これだけで過去の地震の特性と異なるとは断定できないが、強震計の短周期成分の感度が良いために大きな加速度が記録されたことは考えられる。

4.3 宮之城町の地震動

宮之城町の中心部は川内川による盆地の中にある。役場の平坦な敷地に気象庁の強震計(宮之城屋地)が設置され、それより南東の傾斜地を切り土した敷地に科学技術庁の強震計(KGS005)が設置されている。強震計と大破の被害を受けた学校の位置を図7に示す。

宮之城町とその北東に位置する鶴田町の住家の被害を表5に示す。3月26日の地震では断層の終端に近い鶴田町の被害が大きく、5月13日の地震では宮之城町の被害が大きいことが分かる。3月26日の地震で断層の延長上にある鶴田町の鶴田小の特別教室棟が大破した。宮之城農業高校は3月26日の地震では体育館が大破し、校舎も大破の被害を受け、5月13日の地震で被害が拡大した。宮之城高校は3月26日の地震では微小な被害であったが5月13日の地震で特別教室棟が大破した。盈進小学校は3月26日の地震で校舎が中破の被害を受け、5月13日の地震で被害が拡大して大破と判定された。

気象庁の3月26日の強震記録と減衰定数 $h=5\%$ の応答スペクトルを図8に、5月13日の値を図9に示す。最大加速度は3月26日の方が大きく、特に、E-W方向で大きいのは断層の破壊がこの地点の北側を進行したことと0.2(s)以下の短周期成分が卓越しているためと考えられる。固有周期 $T=0.5\sim 1.0$ (s)の水平動の速度応答スペクトルをみ

表5 宮之城町と鶴田町の住家の被害棟数⁹⁾

	3月26日~4月9日			5月13日		
	全壊	半壊	一部破損	全壊	半壊	一部破損
宮之城町	0	0	433	2	12	1,001
鶴田町	2	11	1,389	0	4	480

図7 宮之城町の強震計(■印)と大破した学校の位置

図8 宮之城町の3月26日の気象庁の地震動と応答スペクトル

図9 宮之城町の5月13日の気象庁の地震動と応答スペクトル

図10 宮之城町の3月26日の科学技術庁の地震動と応答スペクトル

と60~80(cm/s)で、この範囲では2つの地震動は同程度の強さである。これより短周期成分では3月26日の地震動が数倍大きく、これは震源が近いと考えられる。

科学技術庁の3月26日の強震記録と $h=5\%$ の応答スペクトルを図10に、5月13日の値を図11に示す。最大加速度は地震規模が小さい5月13日の方が約900(cm/s^2)と非常に大きかったが、これは0.3(s)以下の短周期成分が強いためである。5月13日の速度応答スペクトルをみるとE-W方向では $T=0.3(\text{s})$ で120(cm/s)、 $T=0.65(\text{s})$ で150(cm/s)と非常に大きな値を示している。一方、N-S方向は $T=0.65(\text{s})$ で70(cm/s)で、3月26日の地震では両方向とも90(cm/s)である。この地震計の西約500(m)の高台に5月13日に校舎が大破した宮之城高校がある。3階建てRC造の特別教室棟の長辺方向は東西方向で、その弾性1次固有周期は0.216(s)と推定されている¹⁰⁾。強震計の敷地内の両隣にある2つの1層RC造の建物は無被害で、高校との間にある住宅も屋根瓦の破損程度の被害であることを考えると、以前の地震で剛性が低下して0.3(s)付近の強い地震動成分と共振して大破に至ったと考えられる。

2つの強震計は1kmほど離れているだけであるが、0.3(s)以下の短周期成分の特性は3月26日と5月13日では全く逆であった。これは断層との位置関係が影響していると考えられる。

4つの強震記録とも上下動は水平動に比べると強さは半分以下と小さかった。震央距離が数km程度と近い場合は一般に上下動は大きいことが多いが、後で示す他の3地点でもほぼ同じような関係が見られるのでこれがこの地震の特性と思われる。

4.4 阿久根市の地震動

阿久根市は図1に示すように3月26日の地震は宮之城町とは震源

図11 宮之城町の5月13日の科学技術庁の地震動と応答スペクトル

の反対側に位置している。阿久根市の住家の被害を表6に示す。震源域から離れているためか建物の被害は多くなかった。港の近くにある市役所の敷地に科学技術庁の強震計(KGS004)があり、それより1.5km北側の岡の上にある気象台に強震計(阿久根市赤瀬川)が設置されている。

2つの強震記録とも3月26日の地震動の方が5月13日の地震動より大きい。そこで、気象庁の3月26日の強震記録と $h=5\%$ の応答スペクトルを図12に、科学技術庁の3月26日の強震記録と $h=5\%$ の応答スペクトルを図13に示す。

科学技術庁の水平地震動特にN-S方向にはピークを過ぎた後に長周期の波が明瞭に表れている。応答スペクトルを見ると1.5(s)付近に強いピークが見られる。この地点は18mまでN値が10以下の軟弱な地盤で、強震計の近くの港の埋め立て地には規模は小さいが積砂の跡が観察されているので、この長周期の波は地盤が液状化したためと考えられる。2つの水平動は大きさと波形がかなり異なっているが、これは西側に川を挟んで南北方向の崖があることによる地形の影響が表れている可能性が高い。

気象庁の地震動は2方向の水平動はよく似た傾向を示している。この地点でも1.2(s)付近にピークが見られ、科学技術庁のN-S成分と特性が似ている。0.17(s)付近の成分が卓越しているが、これは

表6 阿久根市住家の被害棟数²⁾

	3月26日～4月9日			5月13日		
	全壊	半壊	一部破損	全壊	半壊	一部破損
阿久根市	2	5	193	0	0	43

図12 阿久根市の3月26日の気象庁の地震動と応答スペクトル

図13 阿久根市の3月26日の科学技術庁の地震動と応答スペクトル

常時微動観測でも見られるので地盤の特性と考えられる。

ここには図は示していないが、5月13日の科学技術庁の強震記録には1.5(s)の成分は卓越していない。地震の規模が小さいのと震源からの距離が大きくなったので液状化が生じなかったためであろう。気象庁の記録では1.2(s)の成分は少し卓越しているが0.17(s)の成分と同程度の大きさである。

3月26日の地震は断層の中央で破壊が始まり、東西に破壊したと見られているが、東側の宮之城と西側の阿久根の地震動には共通的な特性は見られず、震源距離と地盤・地形の影響が大きい。

4.5 川内市の地震動

川内市は川内川の河口にあり、2つの震源の南側に位置している。強震計のある市街地は3月26日の地震の断層とは直交方向に位置し、5月13日の地震では1つの断層の方向に位置する。川内市とその東側に位置する東郷町の住家の被害を表7に示す。北部では3月26日にも被害を受けたが市街地付近は5月13日の被害が大きかった。

ここには、市役所に隣接する敷地に科学技術庁の強震計(KGS007)が、それより500(m)程北側にある公園に気象庁の強震計(鹿児島川内中郷)が設置されている。いずれも川内川の近くで平坦な敷地である。両者とも最大加速度は5月13日の方が3月26日より少し大きい。

表7 川内市と東郷町の住家の被害棟数²⁾

	3月26日～4月9日			5月13日		
	全壊	半壊	一部破損	全壊	半壊	一部破損
川内市	0	8	148	2	10	2,648
東郷町	0	0	47	0	0	496

そこで、気象庁の5月13日の地震動とh=5%の応答スペクトルを図14に、科学技術庁の5月13日の地震動とh=5%応答スペクトルを図15に示す。

震源との位置関係も地盤の特性も似ているので2つの地点の地震動もその応答スペクトルもよく似ている。E-W方向ではT=0.75(s)にピークが見られ、応答スペクトルは120(cm/s)と大きい。短周期成分はそれほど大きくない。一方、N-S方向では科学技術庁の記録にはT=1.5(s)付近にピークが見られるが、気象庁の記録にはピークは見られない。E-W方向が強いのは断層との位置関係が関係していると考えられる。

図には示していないが3月26日の地震動は気象庁のE-W方向に0.75(s)付近の成分が卓越していない点を除けば、全体としては地震動の波形もスペクトルの特性も5月13日の特性とよく似ている。

このように、比較的地形・地盤特性が似ている地点では地震動の大きな傾向は似ているが、卓越周期などの詳細なスペクトルの特性では異なった点が見られる。これは震源に近いためにその影響が大きいと考えられる。

表8 出水市の住家の被害棟数²⁾

	3月26日～4月9日			5月13日		
	全壊	半壊	一部破損	全壊	半壊	一部破損
出水市	0	1	67	0	0	13

図14 川内市の5月13日の気象庁の地震動と応答スペクトル

図15 川内市の5月13日の科学技術庁の地震動と応答スペクトル

図16 出水市の3月26日の科学技術庁の地震動と応答スペクトル

4.6 出水市の地震動

出水市は2つの震源の北側に位置している。出水市の住家の被害を表8に示す。3月26日の地震も5月13日の地震でも一部の建物の被害はあったが全体的に見れば被害は小さかった。

ここには、市役所の平坦な敷地に科学技術庁の強震計(KGS002)が設置されている。3月26日の強震記録と $h=5\%$ の応答スペクトルを図16に示す。図に示していない5月13日の地震動はE-W方向で0.2(s)から0.5(s)の成分が小さくなっているのを除けばよく似ている。最大加速度が727 (cm/s²)であるN-S方向の応答スペクトルをみると、 $T=0.2$ (s)以下の短周期成分が非常に大きいことが分かる。地盤は6(m)の位置で、N値が50で、せん断波速度が500 (m/s)である固い地盤である。常時微動観測によれば0.08 (s)にピークがあるので、短周期成分が卓越するのは地盤の影響と考えられる。逆に、0.2 (s)以上の応答スペクトルは20~30 (cm/s)程度でそれほど大きくない。強震計のそばの市役所や倉庫の建物に被害が見られなかったのは建物が共振する地震動の成分は大きくなかったためと考えられる。

5. 結論

1997年鹿児島県北西部地震は震度の測定が計測震度に変更になって初めての大きな被害を受けた地震であった。そのために高密度に設置された科学技術庁と気象庁の強震計により、大都市ではないにも拘わらず、過去に例のない震源近傍の多くの貴重な強震記録が得られた。

震源付近で大きな最大加速度が得られたが、震源距離30~80 (km)では過去のデータから推定された金井や福島の減衰曲線とほぼ一致

する。それより近距離では観測値の方が大きい傾向がある。これは強震計の特性が短周期まで感度が高いことも影響していると考えられる。

震源を取り囲む東西南北4地点の強震記録が得られたが、大局的には断層の破壊方向に位置する地点の地震動は直交方向に大きく振動し、断層と直交方向に位置する地点の地震動は断層方向に大きく振動する特性を示しているなど断層との位置関係が大きな影響があることが分かった。

建物の被害が大きかった宮之城町には、1km程離れて2つの強震計があったが、建物の被害分布と対応するように、北側にある気象庁の地震動は3月26日の方が強く、南側の科学技術庁の地震動は5月13日の方が強かった。また、これらの大きな地震動には短周期成分が強いことが分かった。これらは断層との位置関係の違いが反映していると考えられる。

阿久根の3月26日の科学技術庁の地震動には液化化によるものと考えられる1.5(s)の卓越周期が含まれていることが分かった。断層の中央から破壊した3月26日の震源の反対側にある宮之城と阿久根の地震動を比較すると、共通的な特性は少なく、地形や地盤の影響の方が大きかった。

地盤条件が似ていると思われる川内の2つの強震記録は大きな特性は似ているがスペクトル特性の詳細は地震動毎に違っている。

3月26日の出水では727 (cm/s²)、5月13日の宮之城では902 (cm/s²) など大きな最大加速度を記録したが強震計のすぐそばにあった建物には殆ど被害がなかった。同じような例は、既に、1993年北海道南西沖地震の余震(M=6.5)で乙部町で観測されたE-W=1586、N-S=397、U-D=576 (cm/s²)で強震計付近の建物に大きな被害がなかったとの報告¹¹⁾、1993年釧路沖地震(M=7.8、震源深さ=100km)で釧路気象台でN-

S=817、E-W=922、U-D=466 (cm/s²)で強震計の周辺での建物に大きな被害がなかったとの報告¹²⁾がある。出水などの地震動を見ると、震源に近い地震動の場合には短周期成分が非常に卓越しているため最大加速度は大きい、構造物の1次固有周期での成分は高くないためと考えられる。このような大きな加速度と建物の被害との関係は今後の研究課題であろう。

参考文献

- 1) 日本建築学会九州支部、「1997年鹿児島県西北部地震災害調査報告」、1998年3月
- 2) 鹿児島県消防防災課、「鹿児島県薩摩地方を震源とする地震災害状況」
- 3) 宇佐美龍夫、「新版 日本地震被害総覧」、東京大学出版会
- 4) 大沢胖、村上雅也、西川孝夫、「1968年2月21日および22日の宮崎県飯盛山付近の地震(えびの地震)による家屋被害」、地震研究所集報, Vol. 46, 1968
- 5) 気象庁、「震度を知る」、ぎょうせい、1996
- 6) 科学技術庁ホームページ(文献13)を参照
- 7) 東京大学地震研究所ホームページ(文献14)を参照
- 8) 福島美光、「断層近傍まで適用可能な最大加速度の距離減衰式の導出と改訂」、清水建築研究報告, 第63号, 1996年
- 9) 金井清、「地震工学」、共立出版
- 10) 中村友紀子他、「1997年鹿児島県西北部地震による被害建物の地震応答解析」、第2回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, 1997
- 11) Kazuyoshi Kudo 他5名, "Effects of Surface Soil and Earthquake Source Radiation on the Ground Motion of 1.6g Acceleration, Observed During the August 8, 1993, South-west of Hokkaido Earthquake, Japan", 第9回日本地震工学シンポジウム, 1994
- 12) 杉村義広 他7名, 「平成5年釧路沖地震における地震記録とその建物破壊力の検証」、建築研究報告, No. 134, 1996

また、以下のインターネットのデータを利用しました。

- 13) 科学技術庁防災科学研究所の強震データ (http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net_docs/text/kyoshin.html)
- 14) 東京大学地震研究所の計測震度 (<http://tiber.eri.u-tokyo.ac.jp/info/shindo.html>)
- 15) 九州大学理学部島原地震火山観測所 (<http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp>)

(1997年12月4日原稿受理, 1998年4月16日採用決定)