

# 1997 年鹿児島県北西部地震によって被災した 鉄筋コンクリート造建物の被害調査 および建物内での余震観測

中村友紀子\*・梅村 恒\*・引田智樹\*・坂上 実\*\*

## Report on Damages to School Buildings and Aftershock Observation at the Damaged Buildings during the Kagoshima-ken Hokuseibu Earthquakes of March 26 and May 13, 1997

Yukiko NAKAMURA\*, Hisashi UMEMURA\*, Tomoki HIKITA\*  
and Minoru SAKAUE\*\*

### Abstract

The Kagoshima-ken Hokuseibu earthquakes of March 26 and May 13, 1997 brought severe damages to some reinforced concrete buildings, especially to school buildings. In this paper, damages to school buildings are reported.

Temporal aftershock observation was carried out in the damaged buildings from June to August, 1997. The major objective of our aftershock observation is to understand the dynamic behavior of the damaged buildings during the earthquakes. The significant records from the earthquakes are analysed.

*Key words* : The Kagoshima-ken Hokuseibu earthquakes, reinforced concrete buildings, aftershock observation

### はじめに

1997 年 3 月 26 日の鹿児島県北西部地震の後, 1 ヶ月あまり経った 5 月 13 日に第 2 鹿児島県北西部地震が発生し, 2 回の地震で鹿児島県薩摩地方を中心に被害が生じた.

これまでも地震の余震観測は数多く行われており, 今回の 2 度の地震でも, 現地の大学などが多くの強震計を設置している. しかし, 建物内での余震観測の例は少なく, 特に地震を受けて塑性化するような建物内での観測はほとんど行われていない. 3 月 26 日の地震で被災した建物が, 5 月 13 日の地震を受けて被害が進行した例もあり, 余震により, 損傷を受けている建物の被害はさらに進行する可能

性が考えられた. 建物の塑性化のプロセスに関しては多くの研究がなされており, 建物内部の余震観測で大きな地震記録が得られれば, 損傷が進む建物の振動性状を把握するために貴重なデータとなるはずである.

科学技術庁強震ネット観測網(K-NET)宮之城・川内観測点で本震の記録が得られており, 計測震度は, 宮之城では 2 回の地震とも震度 6 弱, 川内では震度 5 強を記録した. 今回設置した地震計と科学技術庁強震ネット観測点の両方での強震記録が得られれば, これらを比較することにより, 本震の建物への入力地震動が推定され, 実際の被害と入力との関係を知ることができる.

建物の塑性化があまり見られない場合でも, 地盤は, かなり歪みの小さいうちから非線形性を示す. 建物の上部及び基礎で同時に振動を観測することによって, さまざまの大きさの地震動入力に対する地盤と建物の相互作用に関する非線形相互作用ばねの性状を推定できる.

鹿児島県立宮之城高等学校及び同県立川内高校の建物は地震によって被害を受けたが, それぞれ 1 棟, 被害はそれ

1997 年 10 月 23 日受付, 1997 年 11 月 4 日受理.

\* 工学系研究科建築学専攻, (東京大学大学院), \*\* 地震地殻変動観測センター強震観測室, (東京大学地震研究所).

\* Department of Architecture, Faculty of Engineering, (Graduate School, University of Tokyo), \*\* Strong Motion Observation Laboratory, Earthquake Observation Center, (Earthquake Research Institute, University of Tokyo).

ほど大きくないが使用禁止となっている建物の1階と屋上に地震計を設置し、1997年6月から8月までのおよそ2ヶ月間にわたって余震観測を実施した。

## 地震の概要

鹿児島県薩摩地方を震源として、1997年3月26日午後5時31分にマグニチュード6.3、5月13日午後2時38分にマグニチュード6.2の強い地震が発生し、鹿児島県宮之城町、鶴田町を中心に構造物被害をもたらした。気象庁は、それぞれ鹿児島県北西部地震、第2鹿児島県北西部地震と発表した。

### 1. 鹿児島県北西部地震

1997年3月26日午後5時31分、鹿児島県・薩摩地方を震源とするマグニチュード6.3の地震が発生し、鹿児島県川内市、阿久根市、宮之城町で震度5強を記録した。地震調査研究推進本部（地震調査研究推進本部地震調査委員会ホームページ）によれば、震央は東経130.335度、北緯31.966度、震源深さ10kmの非常に浅い内陸直下型地震で、発生メカニズムと余震分布から、東西方向の左横ずれ地震であると考えられる。気象庁によるCMT解を図1(b)に示す。気象庁の発表とは別に、科学技術庁防災科学研究所の強震ネット（科学技術庁防災科学研究所強震ネットホームページ（K-NET））による加速度波形から計算した計測震度分布を図1(a)に示す。

3月26日の本震以降、4月3日午前4時33分にマグニチュード5.5の余震を観測したのを始め、4月6日までに

観測された余震は計499回、うち震度1以上の有感地震は139回に達した。

震源地域は九州中部を横断する雲仙地溝帯の南西部に位置しており、微小地震が多いなど、比較的地震活動が活発な地域であるが、これまでにマグニチュード6クラスの地震はほとんど観測されていない。

K-NETの出水観測点では、NS成分の最大加速度が727 cm/s<sup>2</sup>という大加速度の地震動が観測された。また、宮之城および阿久根観測点の記録の最大加速度はそれぞれ493 cm/s<sup>2</sup>、293 cm/s<sup>2</sup>であった。減衰定数5%の加速度応答スペクトルを図1(c)に示す。出水観測点は比較的堅固な地盤上にあり、阿久根観測点は軟弱地盤上にある。阿久根市の沿岸部では液状化による噴砂現象が発生した。

### 2. 第2鹿児島県北西部地震

1997年5月13日午後2時38分、3月26日の鹿児島県北西部地震の震央から南西約4km離れた地点を震源に、マグニチュード6.2の地震が発生し、川内市で震度6弱、宮之城町で震度5強を記録した。気象庁によれば、震央は東経130.220度、北緯31.874度、震源深さ8kmで、前回の地震の余震域の東端付近に位置している。K-NETによる加速度波形から計算した計測震度分布を図2(a)、応答加速度スペクトルを(c)、気象庁によるCMT解を(b)に示す。メカニズム解は前回の地震とほぼ同様だが、余震震央は本震の震央から東に約10kmの範囲で分布するほか、南方向にも約10kmの分布があり、南北方向の新たな断層の活動を示している。

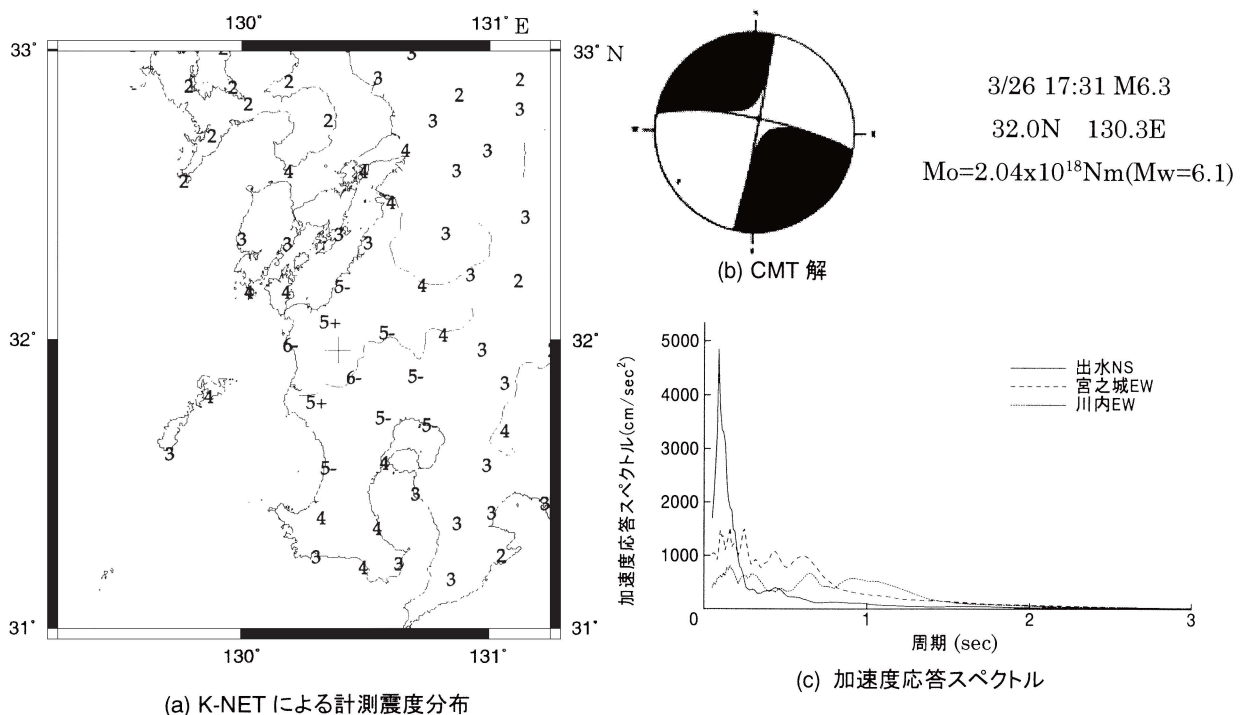


図1. 鹿児島県北西部地震諸元

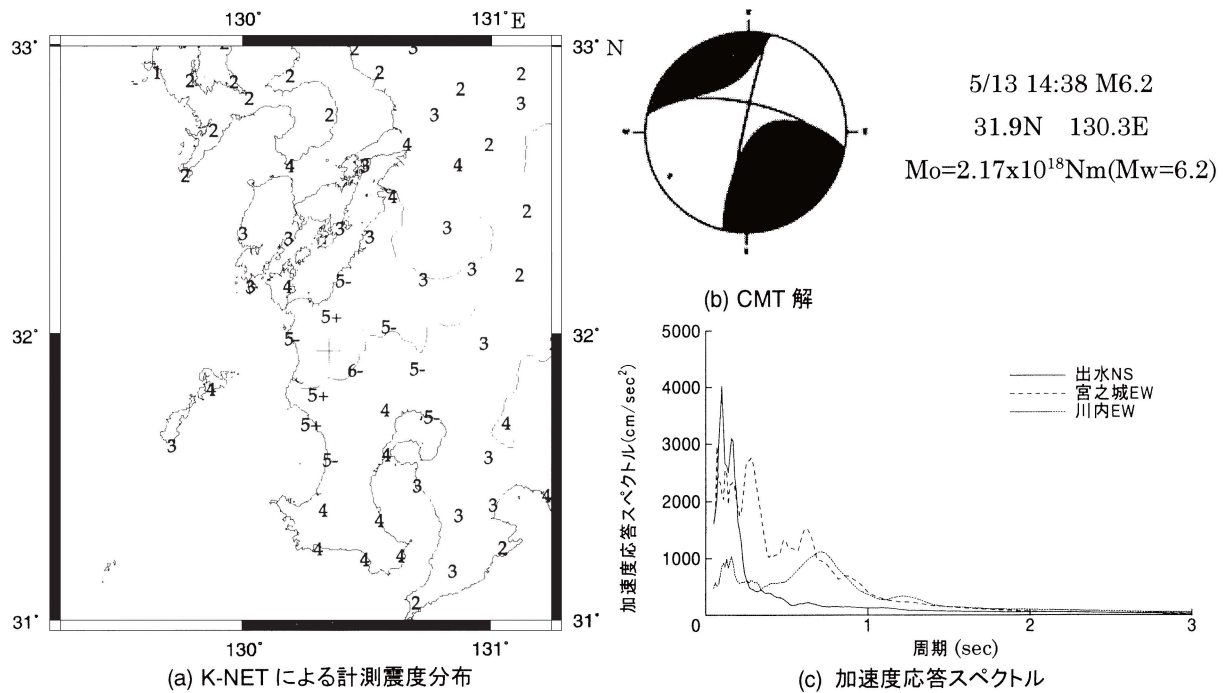


図 2. 第2鹿児島県北西部地震

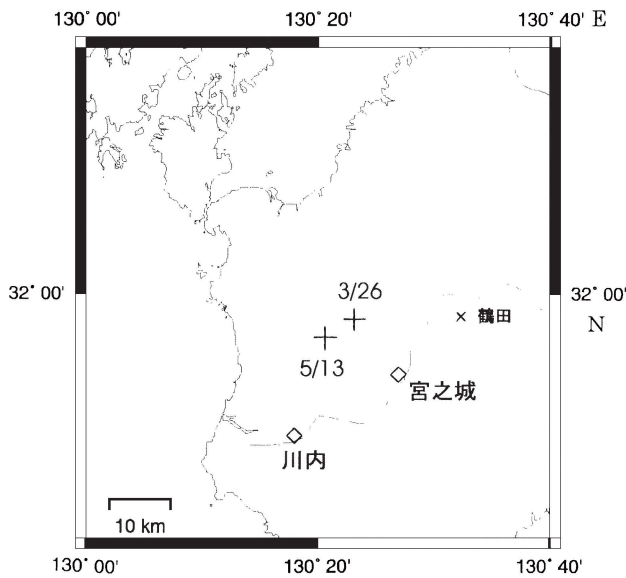


図 3. 余震観測地点と震央位置

余震の減衰は前回の地震よりも速く、全国の浅発内陸地震の平均的な例とほぼ同じ程度で、5月下旬には散発的になった。

余震観測地点と2回の地震の震央位置を図3に示す。

### 地震計設置

鹿児島県立川内高校と鹿児島県立宮之城高校の2校で余震観測を行った。宮之城高校では、中破の被害を受けた南



図 4. 宮之城高校南棟

棟(鉄筋コンクリート造3階建, 図4)の1階と屋上にセンサーを設置した。記録装置は共に SMAD-9 (アカシ社製) を使用した。また、倒壊した北校舎(鉄筋コンクリート造3階建)の1階に強震計 DSA-1 (米国, キネメトリック社製) を設置した(図5)。川内高校では、中破の被害を受けた特別教室棟(鉄筋コンクリート造4階建, 図6)の1階と4階床にセンサーを設置した(図7)。川内高校での1階設置床面はタイル張り、撤収後の復旧を考えてアンカーボルトによる固定はせず、コンクリート強化ボンドで固定した。その他はセンサーと本体はコンクリート床にアンカーボルトで固定した。

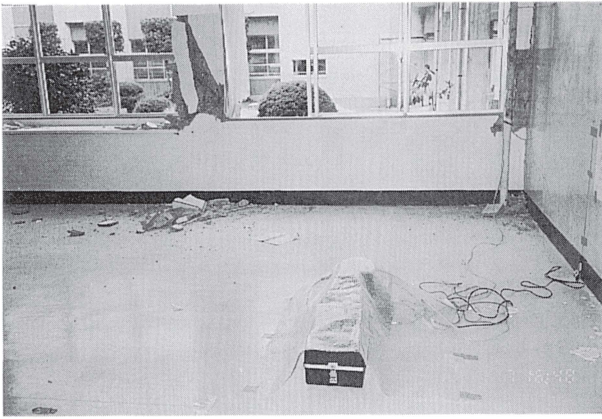


図 5. 北棟 1 階設置状況



図 6. 川内高校特別教室棟



図 7. 特別教室棟 4 階

## 余震記録と簡単な解析

1997年7月28日までに宮之城高校と川内高校で観測された地震について表1にまとめる。表中には、余震が観測

表 1. 鹿児島における強震観測スコア表

No	Date	Time	Max Acc.	
			MIYANOJO	SENDAI
001	1997/6/08	7:53:13	-	2.313
002	1997/6/09	5:43:28	3.769	-
003	1997/6/09	18:26:21	1.953	0.977
004	1997/6/10	1:44:39	-	0.916
005	1997/6/10	6:54:54	-	3.052
006	1997/6/10	12:23:11	-	4.349
007	1997/6/10	12:24:23	-	2.869
008	1997/6/10	15:13:54	-	0.992
009	1997/6/10	20:10:52	-	0.916
010	1997/6/11	3:04:14	-	1.235
011	1997/6/11	6:06:44	2.243	2.762
012	1997/6/11	7:43:33	-	1.724
013	1997/6/12	0:31:34	-	1.358
014	1997/6/12	6:38:08	15.778	11.353
015	1997/6/14	9:49:12	-	3.021
016	1997/6/14	13:17:45	-	1.021
017	1997/6/16	22:00:14	4.288	2.045
018	1997/6/17	9:46:12	-	2.341
019	1997/6/19	2:14:28	1.450	6.119
020	1997/6/19	22:36:17	-	2.274
021	1997/6/20	10:42:35	2.205	-
022	1997/6/20	10:49:15	1.403	-
023	1997/6/20	10:59:38	1.623	-
024	1997/6/20	13:52:56	1.742	-
025	1997/6/20	20:21:20	1.205	2.213
026	1997/6/20	20:45:27	2.655	-
027	1997/6/21	7:39:57	0.977	-
028	1997/6/21	10:13:58	2.319	-
029	1997/6/22	2:55:56	1.709	-
030	1997/6/22	12:39:31	-	3.784
031	1997/6/22	23:12:00	1.495	-
032	1997/6/22	23:30:24	2.243	-
033	1997/6/23	1:34:47	1.892	-
034	1997/6/25	18:06:25	1.740	1.541
035	1997/6/26	10:27:12	2.655	-
036	1997/6/26	10:32:26	1.831	3.510
037	1997/6/26	17:50:22	2.213	-
038	1997/6/27	14:12:34	67.215	13.565
039	1997/6/27	16:17:44	6.180	-
040	1997/6/29	12:03:19	12.390	3.525
041	1997/6/29	18:15:27	3.983	-
042	1997/6/30	9:59:29	3.387	-
043	1997/7/01	5:34:48	3.250	2.594
044	1997/7/02	11:20:35	2.853	-
045	1997/7/02	17:25:53	1.678	-
046	1997/7/03	0:07:36	1.434	-
047	1997/7/03	11:20:38	1.633	-
048	1997/7/03	11:23:25	2.034	-
049	1997/7/03	11:30:08	2.812	-
050	1997/7/03	11:47:37	4.684	6.973
051	1997/7/03	15:18:12	1.921	-
052	1997/7/03	19:58:14	1.541	-
053	1997/7/05	1:08:05	3.876	2.151
054	1997/7/05	9:24:55	1.373	-
055	1997/7/06	0:39:57	2.350	3.418
056	1997/7/11	10:38:14	-	8.606
057	1997/7/22	1:03:29	11.185	-
058	1997/7/23	15:36:12	-	1.877
059	1997/7/26	18:36:08	151.657	12.375
060	1997/7/28	0:48:20	-	6.088

された日時と川内高校・宮之城高校1階での最大加速度を示した。

トリガーレベルは、設置時には宮之城高校、川内高校とも0.5 cm/s<sup>2</sup>に設定した。6月13日20:00頃、微小な地震記録は十分得られたと考え、1 cm/s<sup>2</sup>に変更した。川内高校のみトリガーするケースが多く見られたので、6月15日に宮之城高校を1 cm/s<sup>2</sup>から0.5 cm/s<sup>2</sup>に戻した。

1. 1997年6月27日に観測された記録について

1997年6月27日14:12に観測された余震（震央：31.9 N, 130.4 E 深さ：10 km マグニチュード M=4.1）で、最大加速度は宮之城高校のEWで50.7 cm/s<sup>2</sup>を観測した。K-NETでは宮之城で最大加速度82 cm/s<sup>2</sup>（EW）、川内で

13 cm/s<sup>2</sup>（NS, EW）を記録している。

加速度波形を図8、図9に示す。正確な震源位置は不明だが、P波の継続時間の短い宮之城高校の方が、震源に近かったと思われる。宮之城高校の記録は、川内高校に比べて振幅は大きく、継続時間が短い。以下の図においてNS, EWとしたものはそれぞれ建物の短辺方向、長辺方向であり、実際のNS, EWとは僅かに異なっている。

加速度フーリエスペクトルを図10、図11に示す。

2. 1997年7月26日に観測された記録について

1997年7月26日18:36に観測された余震（震央：32.09 N, 130.4 E 深さ：10 km マグニチュード M=4.3）では、最大加速度（宮之城高校のEWで151.7 cm/s<sup>2</sup>）を記録し

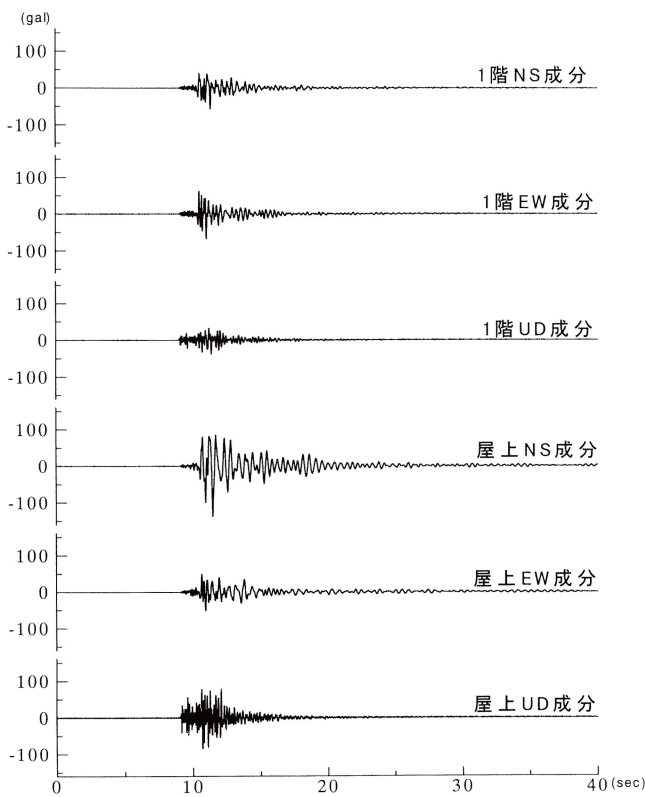


図 8. 加速度波形（宮之城高校）（6/27）

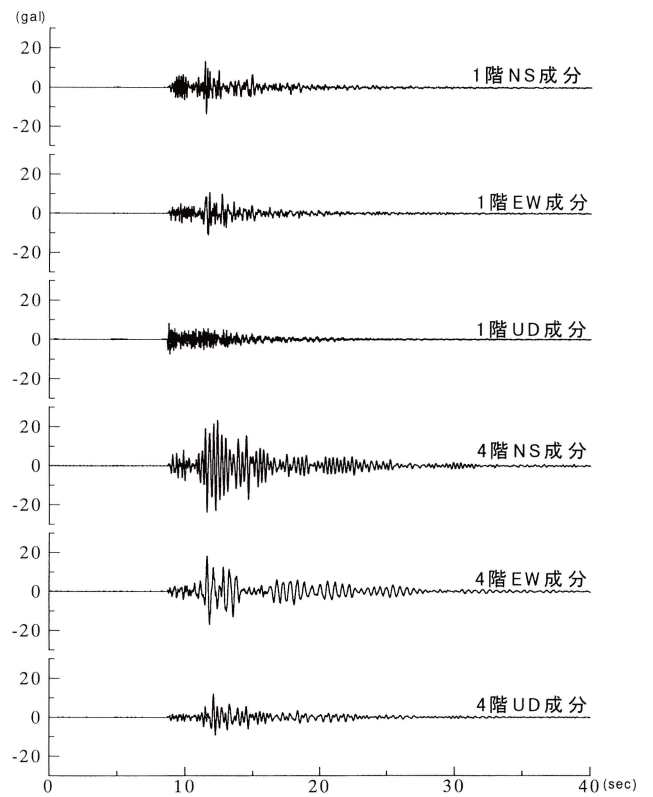


図 9. 加速度フーリエスペクトル（宮之城高校）（6/27）

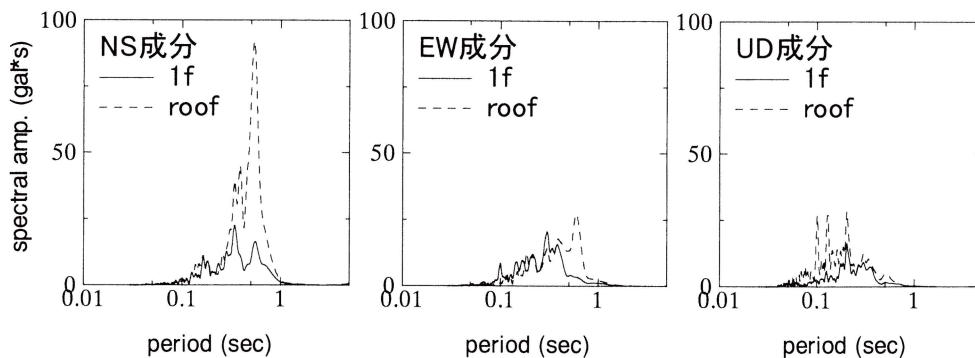


図 10. 加速度フーリエスペクトル（川内高校）（6/27）

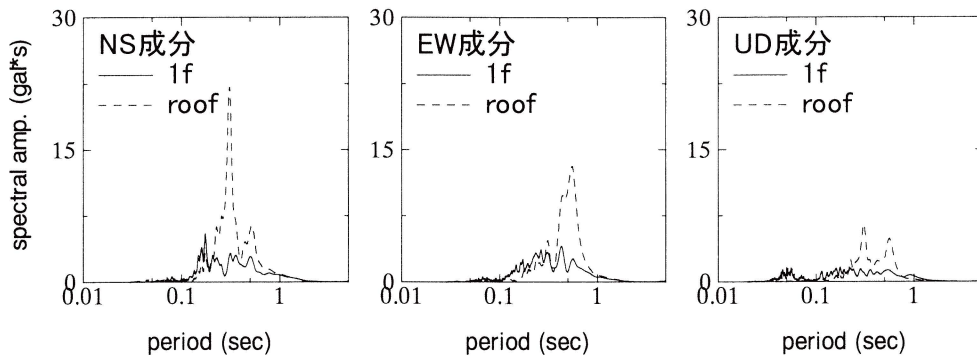


図 11. 加速度フーリエスペクトル（川内高校）(6/27)

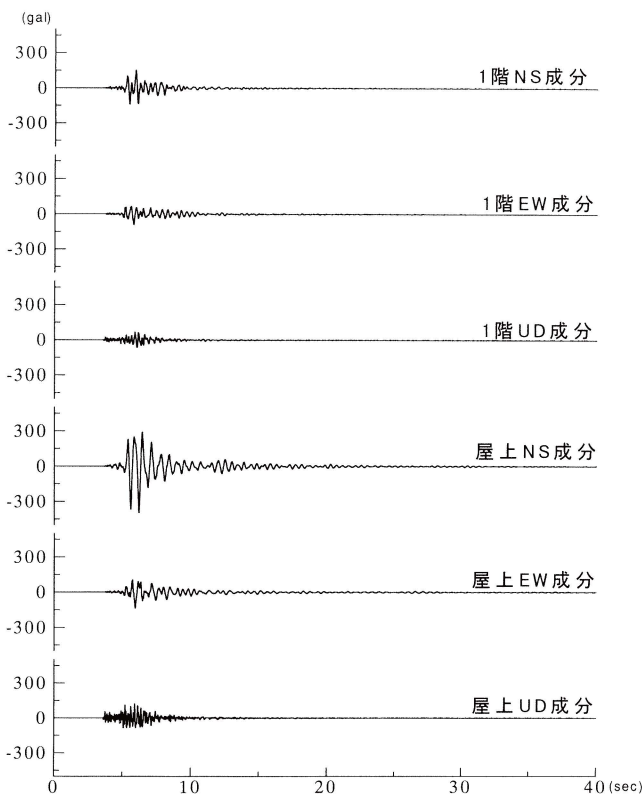


図 12. 加速度波形（宮之城高校）(7/26)

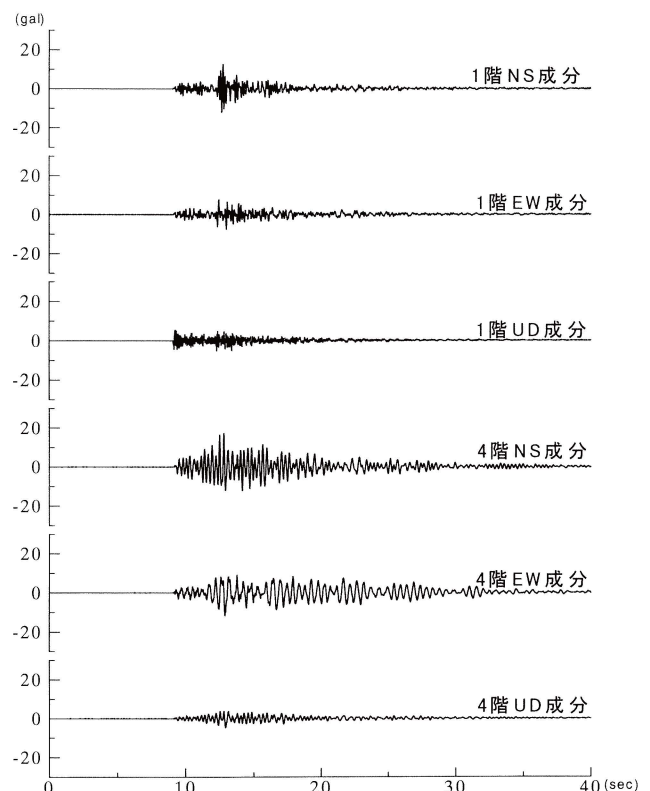


図 13. 加速度フーリエスペクトル（宮之城高校）(7/26)

た。K-NET では宮之城で最大加速度  $137 \text{ cm/s}^2$  (EW) である。

加速度波形を図 12, 図 13 に示す。この地震も継続時間は宮之城高校の方が P 波の継続時間が短く震源に近かったと思われる。

加速度フーリエスペクトルを図 14, 図 15 に示す。

屋上と 1 階のスペクトル比を図 16 に示す。上階のスペクトルのピーク値の周期は、宮之城で短辺方向 0.55 秒、長辺方向 0.6 秒、川内で短辺方向 0.3 秒、長辺方向 0.55 秒前後である。特に宮之城高校 (3 階建て) の卓越周期は、1 次固有周期としては一般の 3 階建ての建物と比べて長く、ひび割れによって固有周期が伸びていると考えられる。宮之

城高校では、短辺方向の振幅が長辺方向の 2.5 倍以上大きくなっている。この建物では長辺方向に雑壁<sup>(注1)</sup>が多いのに対して、短辺方向には壁が少ないことから説明できる。宮之城高校では、短辺方向は 7 月 26 日の地震の方が卓越周期が長くなっており、建物部材の塑性化によって見かけの剛性が小さくなっていると考えられる。一方、川内高校では短辺方向で 2 つの大きなピークが現れている。エキスパンションジョイント部<sup>(注2)</sup>での衝突による被害がみられるので、ジョイント部の間隔の不足によってねじれ振動が大

注 1 雑壁 構造要素でない壁

注 2 エキスパンションジョイント 揺れ方の異なる建物を接続するとき変形を制御するために用いられる接続方法

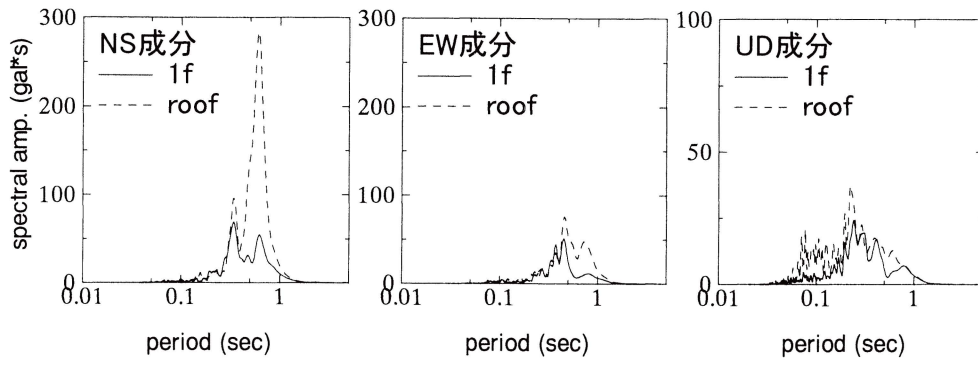


図 14. 加速度波形 (川内高校) (7/26)

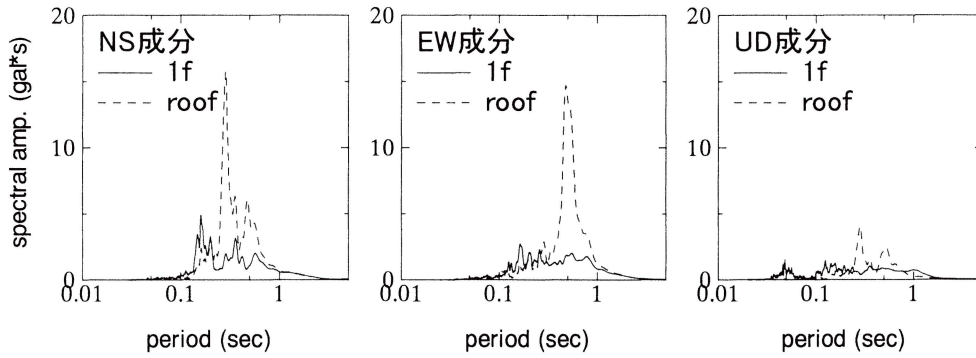


図 15. 加速度フーリエスペクトル (川内高校) (7/26)

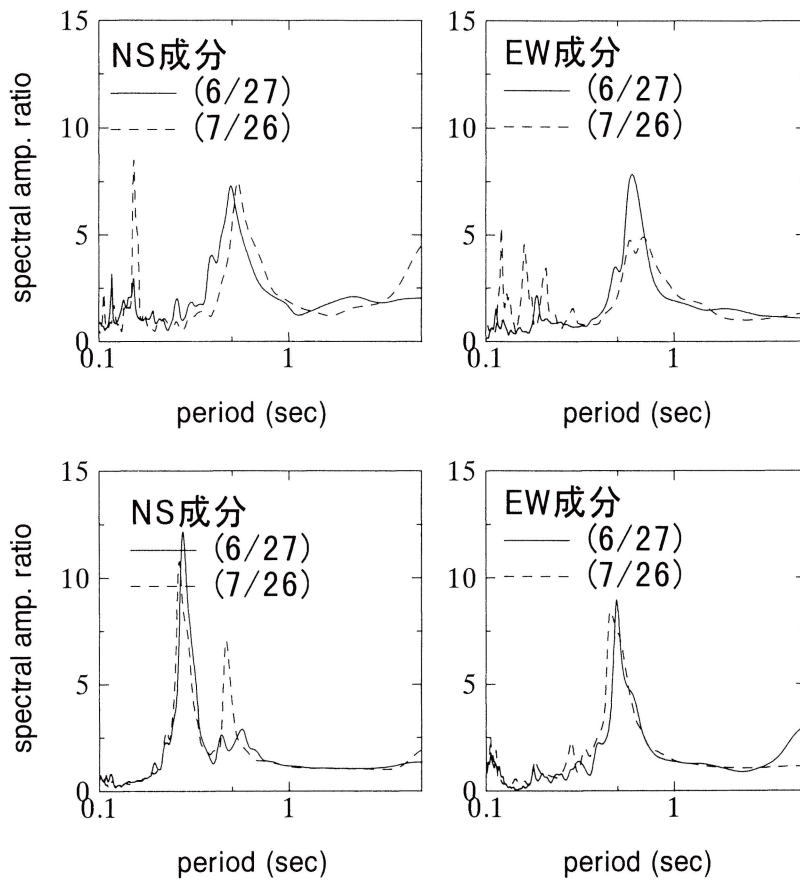


図 16. 上下階スペクトル比

きくなっているとも考えられる。

### 地震被害調査

今回余震観測を行った宮之城高校と川内高校の他に、宮之城町、川内市、鶴田町において特に被害が見られた公共建物の被害調査を行った。

#### 1. 鹿児島県立宮之城高等学校

東西に長い建物が2棟並ぶ(南棟、北棟)。両棟とも鉄筋コンクリート造3階建てである。南棟は1963年竣工で、南北1スパン<sup>(注3)</sup>@9.6m×東西21スパン@3.05m、北棟は1964年竣工で、南北1スパン@9.6m×東西25スパン@3.05m、東にセットバック<sup>(注4)</sup>しており、2階は23スパン、

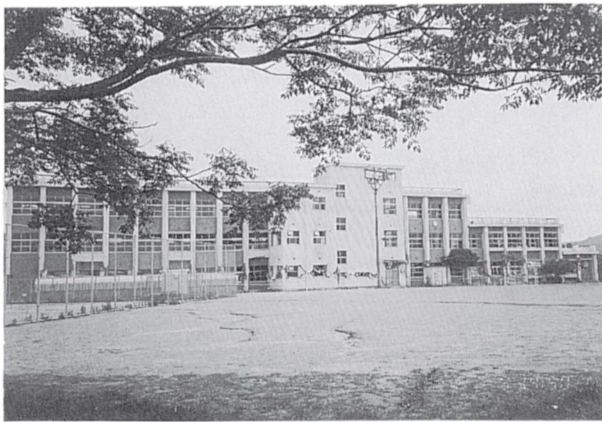


図 17. 宮之城高校北棟，1階が層崩壊。北側のグラウンドには亀裂が見られた。

3階は18スパンである。南北両棟ではスパン数を除いて同様の構造形式である。柱断面は張間<sup>(注5)</sup>方向が長く750mm×400mm、主筋<sup>(注6)</sup>は4×4本、隅角部は22φ、その他は19φで、帯筋<sup>(注7)</sup>は9φ@250mm<sup>(注8)</sup>である。柱の内法<sup>(注9)</sup>高さは南北両構面とも2,100mmである。

北棟(図17)は3月26日の地震で建物南側東から7スパン目にある耐震壁(図18、換気のための開口あり)がせん断破壊し、5月13日の地震で1階のすべての柱が破壊し



図 19. 北棟北構面柱の破壊状況



図 18. 北棟南側東から7スパン目の壁



図 20. 北棟1階北構面

注 3 スパン 梁などの支点間距離

注 4 セットバック ここでは上層階になるほど階毎に建物を段状に後退させること

注 5 張間 スパン数の小さい方向

注 6 主筋 鉄筋コンクリート部材の軸方向鉄筋

注 7 帯筋 鉄筋コンクリート柱の主筋を囲む水平方向の鉄筋

注 8 Φ, @ 例えば9φは直径9mmの丸鋼をさし、9φ@250mmは250mmピッチで配置されていることを意味する。

注 9 内法長さ 梁部材の中心間の長さでなく下階梁部材の上面から上階梁部材の下面までの長さのこと



た(図19)。柱のせん断スパン比<sup>(注10)</sup>は5.3と比較的大きく、破壊形式はほとんどが柱頭、柱脚部での曲げ破壊が先行したものと考えられる(図20)。

南棟(図4)は、3月26日の地震後にはエキスパンションジョイントでの衝突による局所的な破壊が見られる程度であったが、5月13日の地震によって大部分の柱に被害を受けた(図21)。日本建築防災協会の被災度区分判定(日本建築防災協会, 1991)によれば $D=21.5$ となり、中破<sup>(注11)</sup>と判定される。

ほぼ同様の構造形式であるのに地震による被害の状況が

大きく異なっている。南棟では、南側窓開口部に鉄筋コンクリート造の庇が取り付け曲げ変形を拘束している。また南棟1階の北側2~5スパンに南北1スパンの教室があって、廊下との仕切りの雑壁にせん断ひび割れが生じており、これらの雑壁も地震力に抵抗したと思われる(図22)。

## 2. 鹿児島県立川内高等学校

今回強震観測を実施することになった特別教室棟(図6)について被害調査を行った。

鉄筋コンクリート造4階建て、南北1スパン@9.6m×

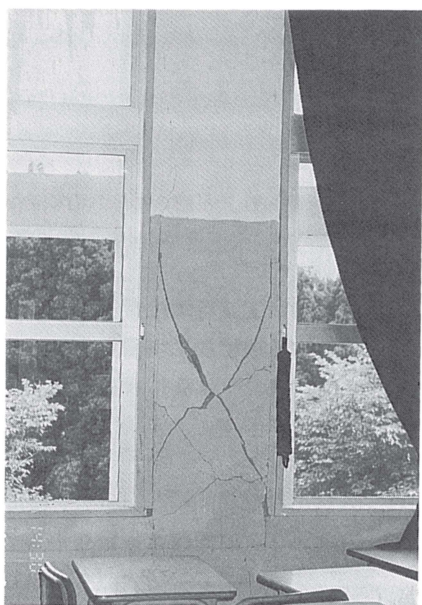


図 21. 南棟南構面柱(損傷度Ⅲ)

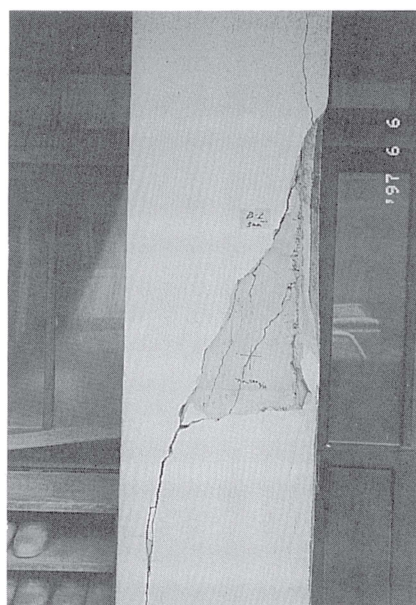


図 23. 川内高校特別教室棟1階柱

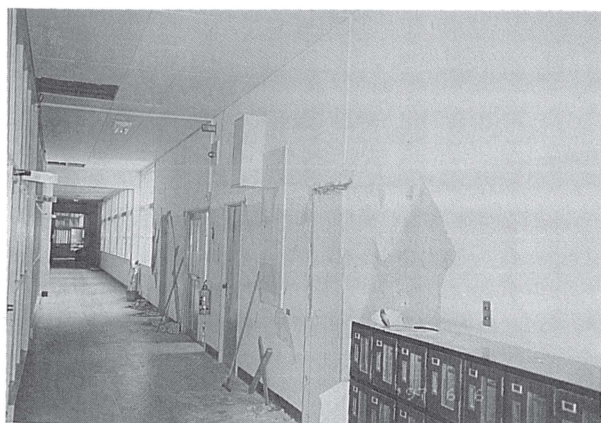


図 22. せん断破壊した廊下東側の非構造壁

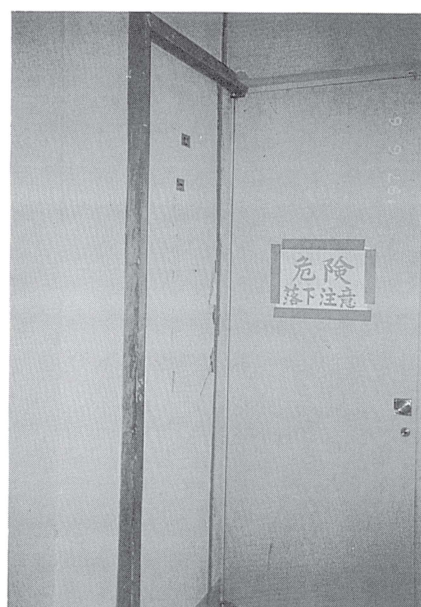


図 24. 3階エキスパンションジョイント部分

注10 せん断スパン比 部材のせん断力が一定とみなせる区間の長さのせいに対する比率。鉄筋コンクリート部材ではこれが小さいと靱性が低下する。

注11 中破 日本建築防災協会による震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針による被災度。倒壊、大破、中破、小破、軽微、無被害に分類される。

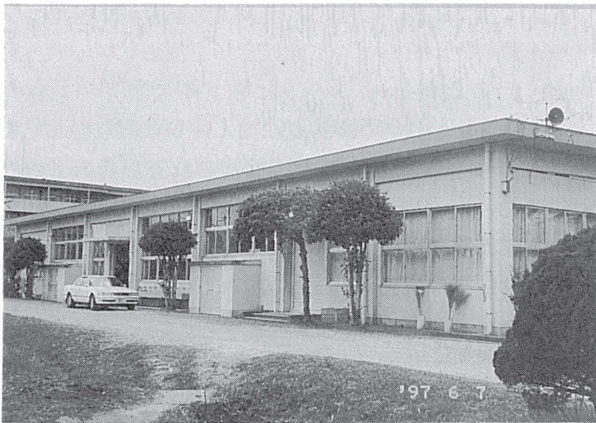


図 25. 機械加工演習室東側全景



図 26. 南側柱入り口脇の柱，両脇の柱に垂れ壁・腰壁がつき，短柱化。

東西 13 スパン@3.0m。北側に腰壁<sup>(注12)</sup> 付きの片持ち廊下が付く。1971 年竣工。

南側の柱は腰壁位置で僅かに曲げひび割れが見られる程度だが，北側の柱は腰壁，垂壁<sup>(注13)</sup> によって短柱<sup>(注14)</sup> 化しており，せん断ひび割れが生じている(図 23)。腰壁，柱のひび割れがすべて一方向に入っているのは，エキスパンションジョイント部分で，隣の建物と衝突したためと思われる(図 24)。被災度区分判定では D=18.2 の中破。

他の校舎にも微細なひび割れが見られるが大きな損傷はなく使用中であった。

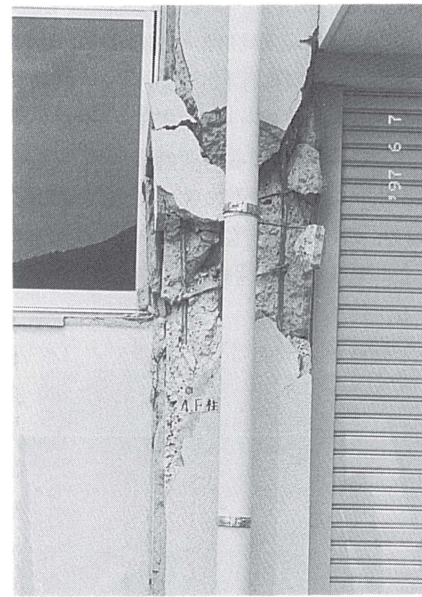


図 27. 東側入り口脇の柱，左側の腰壁，右側の垂れ壁によって短柱化

### 3. 鹿児島県立川内商工高等学校

敷地の北端に位置する機械加工実習室(図 25)について被害調査を行った。

鉄筋コンクリート造 1 階建て，南北 6 (一部 7) スパン@6 m，東西 3 スパン@7~9 m の変則的な平面形状である。柱断面は，外周の柱は 500×500 mm，内側の柱は 450×450 mm で，主筋は 19φ で 3×3 本，帯筋は 9φ@250 mm である。内側の柱は内法スパン 4,250 mm，外周の柱は腰壁がついて内法高さは 3,000 mm で，南側入り口の両側の柱には垂壁がついて内法スパンは 1,000 mm，東側入り口の両側の柱は 2,000 mm である。

南側入り口の両側(図 26)と，東側入り口の北側の短柱(図 27)がせん断破壊している。南側の柱 1 本で，腰壁位置でコンクリートが剥落して挫屈した鉄筋が露出している。建物西側の柱は，東側に比べて損傷が小さい。被災度区分判定では D=30.1 で中破と判定される。天井が高く，壁の取り付けが長い柱に対して，腰壁，垂壁によって一部の柱が短柱化して，応力が集中し易い構造である。東側に入り口が 2 つあって，さらに東側のスパンが長くなっているため，建物の西側に対して東側の損傷が大きくなっている。

建物周辺は，東，北，西の三方に下りの傾斜がある。盛り土のために地盤が緩くなっているとも考えられる。

このほかの校舎では，エキスパンションジョイント部分に損傷が見られる程度であった。

### 4. 宮之城町立宮之城中学校

東西に長い建物が 3 棟ならび(南から 1 棟，2 棟，3 棟)，敷地の東端に体育館が所在する。

注12 腰壁 窓の下部などにつく壁

注13 垂壁 窓の上部などにつく壁

注14 短柱 断面寸法に比べて太く短い柱

1棟は3階建て南北1スパン@10m×東西16スパン@4.5m、2棟は3階建て南北1スパン@10m×東西15スパン@4.5m、3棟は2階建て南北1スパン@10m×東西20スパン@3m、いずれも鉄筋コンクリート造で、旧基準での設計と思われる<sup>(注15)</sup>。

3棟とも1階出入口が破損している。

中棟の西端の3スパンが立ち入り禁止となっている。腰壁に曲げひび割れ、柱に一方方向のせん断ひび割れが見られる。床がひび割れ、1cmほどの段差ができています。建物の西側は下りの崖になっており、不同沈下を起こしたものと考えられる。3校舎のその他の部分には、大きなひび割れは見られない。

体育館は、鉄骨トラス<sup>(注16)</sup>の屋根と鉄筋コンクリート躯体<sup>(注17)</sup>との接合部でコンクリートが破損し、ボルトが数本落下している。

### 5. 宮之城町立盈進小学校

東西に長い建物が2棟所在する（北棟、南棟（図28））。北棟は1958年竣工で、南北2スパン×東西26スパン、南棟は1960年竣工で、南北2スパン×東西16スパン、ともに鉄筋コンクリート造。

南棟、北棟とも、南側の西から2本目と3本目の柱が、腰壁、垂壁によって短柱化しており（幅700mm×内法高さ1,200mm）、せん断破壊している（図29）。また南棟の北側の柱で、損傷度Ⅲ程度<sup>(注18)</sup>に相当するひび割れが多く見られた（図30）。

### 6. 鹿児島県立宮之城農業高校

東西に長い建物が4棟（南から1棟、2棟、3棟、4棟）



図 28. 盈進小学校南棟全景

並列して建てられている。1棟、2棟は1968年前後、3棟、4棟は1986年前後の竣工である。

1棟（図31）は、ほとんどすべての柱がせん断破壊している（図32）。3月26日の被害で小破程度の被害を受け、補強工事中に5月13日の地震を受けた。鉄骨ブレース<sup>(注19)</sup>による補強（図33）が間に合わず、ボルトが締められていない箇所がある。すでに締めてあった箇所でも、ボルトが抜けた跡が見られた。せん断破壊した柱はジャン

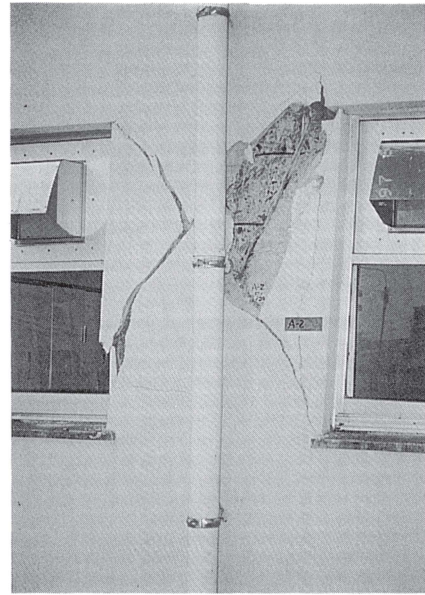


図 29. 南棟南構面東側の短柱、この柱だけに腰壁垂れ壁が高く短柱化

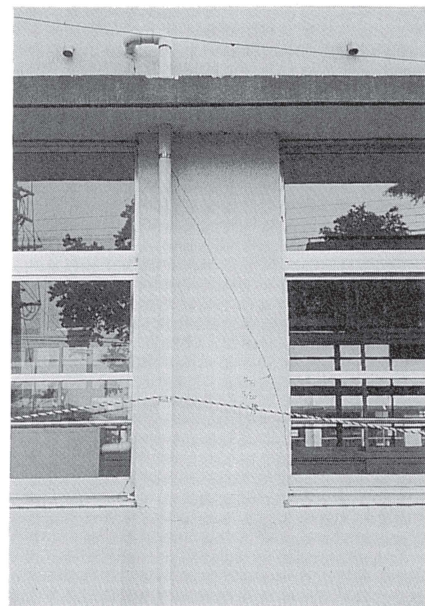


図 30. 南棟北構面東側の柱

注15 1980年に建築基準法施行令の耐震設計規定が改正された。

注16 トラス 三角形を単位として部材の軸方向力により支える構造骨組

注17 躯体 建築物の強度を持つ部分

注18 損傷度 日本建築防災協会による震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針による部材の損傷状況の分類

注19 ブレース 対角線に入れる部材

カ<sup>(注20)</sup>が著しい。

2棟は、3月26日の地震で1階北側東から7本目の柱の

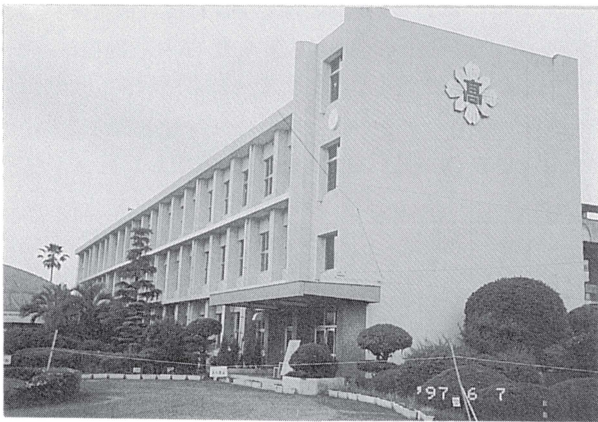


図 31. 宮之城農業高校1棟南側全景

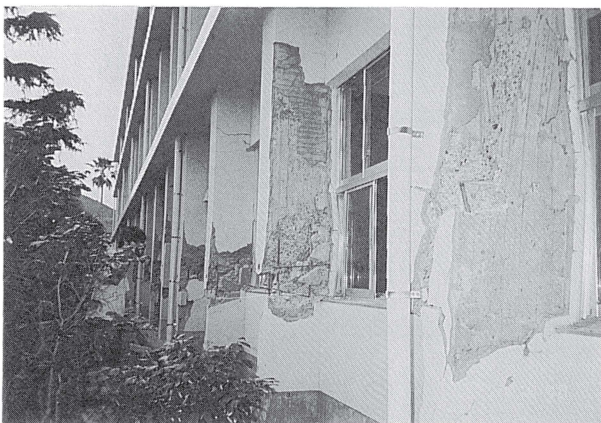


図 32. 1棟南側1階、ほとんどの柱がせん断破壊

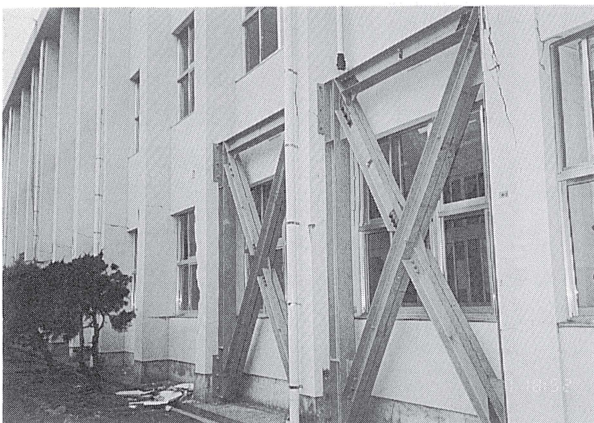


図 33. 鉄骨ブレースによる補強部分、3月26日の地震の後鉄骨ブレースによる補強工事中であったがボルトがまだ締められていなかった。

注20 ジャンカ コンクリートの骨材(砂利など)だけが固まり状になってできた空隙の多い欠陥部分

みせん断破壊した。両隣の柱はほとんど無被害で、破壊した柱のジャンカが著しいので、施工不良が大きな原因であると思われる。その後、この柱の両側に鉄骨ブレースをかけて補強(図34)してあり、1階部分の被害はそれほど進んでいないが、2階の柱に多くのせん断ひび割れが生じた(図35)。3棟、4棟は、数本の柱に微細なせん断ひび割れが見られる。また、雑壁に3mm程度のひび割れが見られる。

#### 7. 鶴田町公民館

役場と公民館を結ぶ2階、3階の渡り廊下と、玄関の階段付近のタイル、モルタルが破損。外観からは、建物躯体に被害は伺えない。

#### 8. 鶴田町役場

玄関前に不同沈下によるひび割れが見られる(図36)。建物躯体に被害は見られない。

#### 9. 鶴田中学校

2階建て鉄筋コンクリート造の校舎(1977年竣工)と、S造の体育館(1968年竣工)が所在する。

校舎は雑壁に微細なひび割れが見られる程度である。体



図 34. 2棟北構面補強部分、3月26日の地震でこの柱のみ破壊した。その後鉄骨ブレースにより補強されていた。



図 35. 2棟南構面、1階の補強により2階の柱に被害が集中

育館は補修中で、周囲をすべて観察することはできなかった。1階の南東及び、2階の4角の建物長辺方向の鉄骨ブレースが挫屈している。2階のブレースは3月26日の地震でボルトが破断するなどして8本すべてが破損しており、補修後に5月13日の地震を受けて挫屈したものである(図37)。

#### 10. 鶴田小学校

3月26日の地震で大破した特別教室棟は撤去済みであった。南側の管理教室棟と体育館が所在する。

管理教室棟は1965年竣工で、鉄筋コンクリート造2階建て、南北1スパン@6.7m×東西13スパン@8.5m、北側に片持ちの廊下が付く。西側にセットバックしており、2階は11スパンである。柱断面は450mm×800mmで、桁行方向<sup>(注21)</sup>に細長い長方形である。廊下の北側の梁位置に幅1,700mmの雑壁<sup>(注22)</sup>があり(図38)、南側の柱の東部分には850mmの袖壁が付く(図39)。

南北の雑壁には5mm程度のせん断ひび割れが多く見ら

れるが、柱にはそれほど大きな被害は見られず、小破程度である。

北側の柱の内法高さは3,400mm、南側の柱は腰壁が付いて内法高さ2,250mm、どちらも比較的高いので構造躯体は高い靱性を持っているのに対して、北側の雑壁と南側の袖壁が地震力に抵抗して、特別教室棟に比べて小さな被害にとどまったと考えられる。

#### 建物略平面図と柱の損傷度

川内高校特別教室棟、川内商工高機械加工実習棟、宮之城高校北棟、南棟の略平面図を図40、図41、図42に示す。1階柱の損傷度を図中にローマ数字で示した。

#### ま と め

1997年鹿児島県北西部地震、第2鹿児島県北西部地震による建物被害の調査を行った。被害を受けた鉄筋コンクリート造建物の周辺に、非常に古い木造住宅が無傷で残っている例が見られた。短周期成分の卓越する地震動だったために、固有周期の短い鉄筋コンクリート造建物に大きな

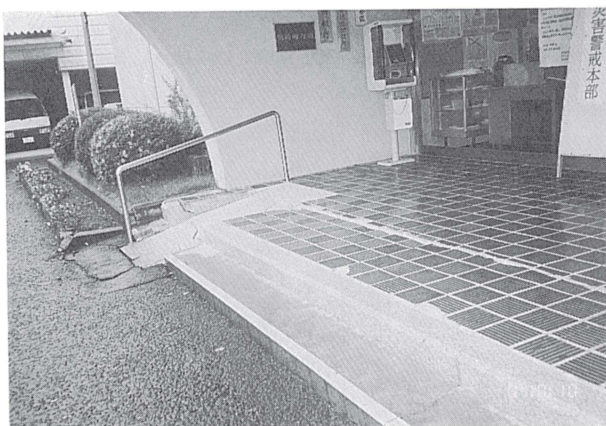


図 36. 鶴田町役場玄関前

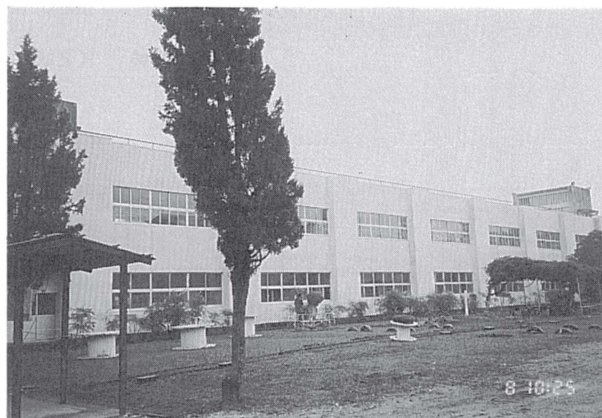


図 38. 鶴田小学校管理教室棟北側、スパンは8.5mと長い。柱のように見えるのは洗面台収納が付く雑壁



図 37. 鶴田中学校体育館

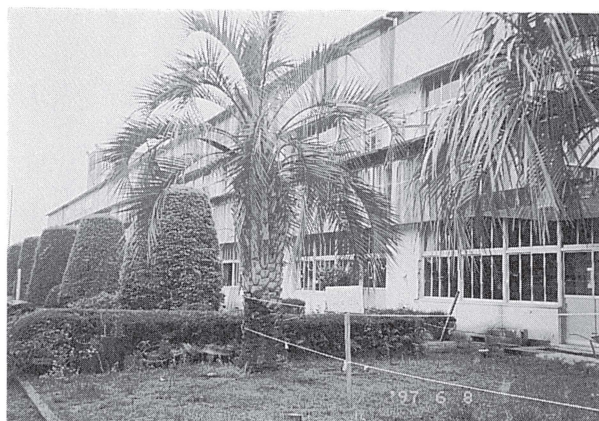


図 39. 南構面、柱とその東側に付く袖壁にせん断ひび割れが生じた。

注21 桁行 スパン数の大きい方向

注22 袖壁 柱の脇につく幅の狭い壁

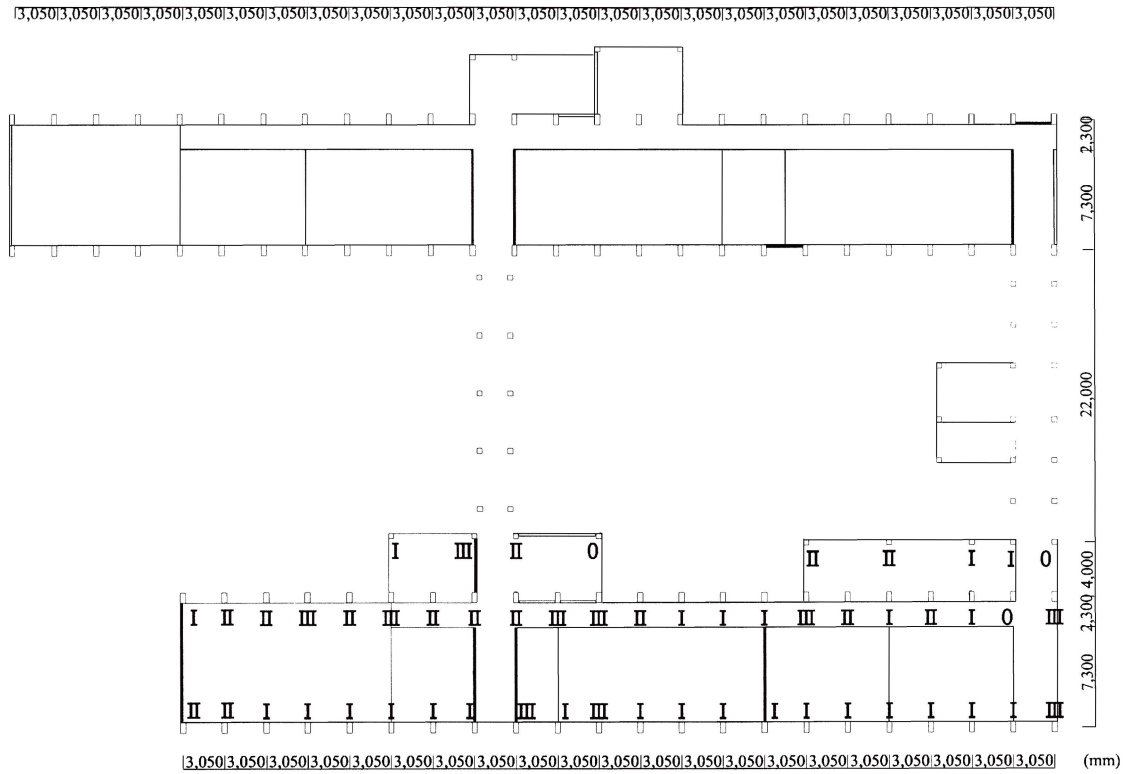


図 40. 宮之城高校北棟および南棟略平面図

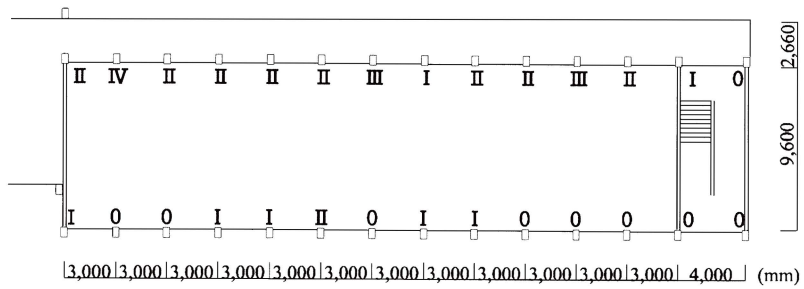


図 41. 川内高校特別教室棟略平面図

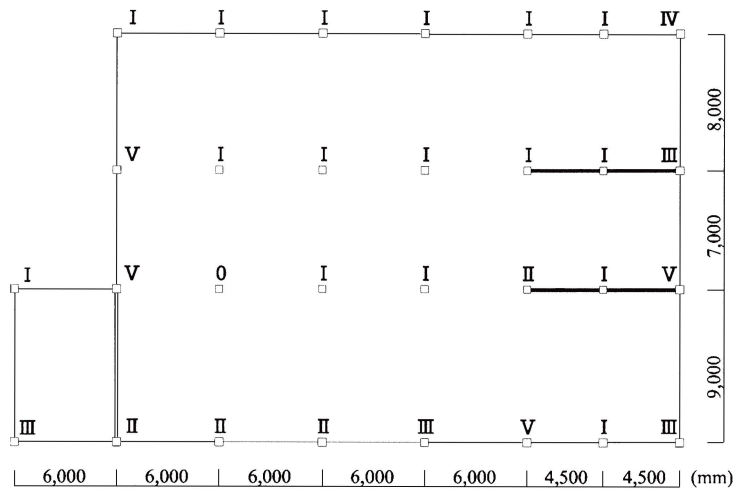


図 42. 川内商工高校機会加工演習室略平面図

地震力が作用したことが伺える。また、被害の大きかった建物は傾斜地に位置しているものが多く、そのような建物では盛土などにより地盤条件が悪かったと考えられる。さらに、被害を受けた鹿児島県北西部は台風の影響を受けやすい地域であるために、学校建物が比較的早くに木造から鉄筋コンクリート造に建て替えられたので、古い設計基準で設計された鉄筋コンクリート造の学校建物が多いことも被害を大きくしたものと考えられる。建物の構造については、被害の見られた建物のほとんどすべてに関して、短柱の存在やジャンカなど施工の不良といった、以前からその危険性を指摘されているような欠陥が存在しており、被害に対して新しい知見は得られていない。

2度の地震で被災した鹿児島県立宮之城高校および同川内高校で余震観測を行った。およそ2ヶ月に及ぶ観測中、大きく被害が進行するような地震は起きなかったが、小さな地震動でも建物の非線型振動が確認され、貴重なデータを得ることができた。

謝辞：南 忠夫教授，壁谷澤寿海教授，工藤一嘉助教

授には、今回の余震観測，被害調査の機会を与えて頂きました。

鹿児島県立宮之城高等学校，同川内高等学校の皆様には、今回の余震観測にご理解をいただき、強震計設置場所として校舎を使用させて頂きました。設置の際には、備品持ち出し作業中であつたり、勤務時間を過ぎていたりしたにもかかわらず、快く対応して下さいました。宮之城町，川内市，鶴田町での各学校においては、大幅に予定がずれ込みましたが、被害調査を行わせて頂きました。ここに厚く御礼申し上げます

## 文 献

科学技術庁防災科学研究所強震ネットホームページ (<http://www.k-net.bosai.go.jp/>), 1997.

科学技術庁地震調査研究推進本部地震調査委員会ホームページ (<http://www.adep.or.jp/sta/welcome.htm>), 1997.

日本建築防災協会, 1991, 震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針(鉄筋コンクリート造編).