

研究論文

2001年芸予地震による建築構造物の被害

菊池健児^{*1}, 黒木正幸^{*1}, 田中 圭^{*2}, 田中昭洋^{*3}, 江藤啓二^{*4},
工藤 聡^{*5}, 万力敬之^{*5}

Damage to Building Structures Caused by the Geiyo Earthquake in 2001

Kenji KIKUCHI, Masayuki KUROKI, Kei TANAKA, Akihiro TANAKA, Keiji ETO,
Satoru KUDO and Takayuki MANRIKI

On March 24, 2001, an earthquake with Magnitude of 6.4 in the JMA scale occurred at the sea of Aki, which is located between Hiroshima and Ehime prefectures. Just after the occurrence of this earthquake, the authors of this paper conducted a field investigation on damage to building structures including concrete block masonry garden walls. This paper reports results obtained from the field investigation.

Key words: earthquake damage, field investigation, Geiyo earthquake, building structure, masonry garden wall

1. はじめに

筆者らは、2001年（平成13年）3月24日に発生した芸予地震による建築構造物の現地被害調査を地震発生の5日後にあたる3月29日から31日までの3日間にわたって行った。調査した地域は、広島県広島市・呉市・東広島市西条町・安芸郡熊野町・三原市、愛媛県今治市・松山市・東予市である。本論は、この調査より得られた建物およびブロック塀の被害状況に関する報告である。

2. 地震概要

表1に今回の地震の諸元を示す。2001年3月24日

平成13年6月29日受理

*1 大分大学工学部建設工学科

*2 大分大学工学部福祉環境工学科

*3 梅林建設株式会社

*4 大分大学大学院工学研究科博士後期課程建設工学専攻

*5 大分大学大学院工学研究科博士前期課程建設工学専攻

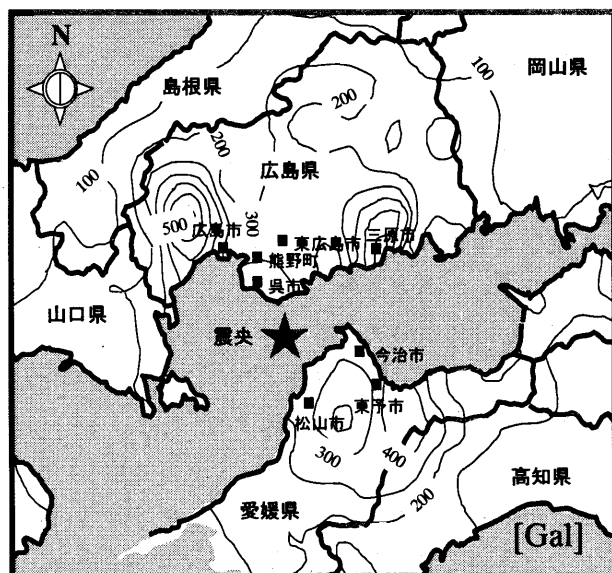
15時28分頃、瀬戸内海の安芸灘を震源とするマグニチュード6.4の地震が発生した。この地域では、1905年にマグニチュード7.3とされる芸予地震が発生し、死者11人、全壊家屋64の被害が生じているが¹⁾、今回の地震の震央もこれに隣接している。今回の芸予地震では1905年芸予地震に比べ、マグニチュードは6.4とかなり小さいものとなるが、モーメントマグニチュード6.9は、1995年兵庫県南部地震と同程度である。震源深さは、51kmであった。これは、安芸灘から伊予灘にかけて発生する地震が、フィリピン海プレートの沈み込みに起因するためである。

表1には各地の震度を示している。今回の地震で最大の震度である6弱が計測された地域は、震源よりも北側に位置し、震度5強の地域は、南は三原、尾道からしまなみ海道に沿った島嶼（大小の島じま）部を経て愛媛県の瀬戸内海沿岸部に続き、北は広島・岩国などの広島湾に沿った地域に連なっている。また、図1は、震央と最大加速度分布を示す。今回の地震では、震

源が安芸灘という海域であるため、震源周辺の観測点が少なく震源中心域よりも離れた湯築、三原、河内の3地域を中心に加速度のピーク域が構成された。観測網で得られた最大加速度は愛媛県松山市湯築で観測され、NS成分415Gal、EW成分832Gal、UD成分218Galであった。最大加速度が200Galを超えた地域は広島県および愛媛県のほぼ全域におよんでおり、極めて広範囲に強震域がある²⁾。今回の芸予地震の特徴として、最大加速度は、2000年鳥取県西部地震の場合と同等であっても、水平成分における最大速度の大きさはかなり小さいことが指摘されている。今回の芸予地震における平成13年5月2日19時30分現在の消防庁発表の各県の人的・物的被害状況は表2に示すとおりである。

表1 地震諸元²⁾

発生日時	平成13年3月24日15時28分		
震央地名	安芸灘（北緯34.1度、東経132.7度）		
震源深さ	51km		
規模	気象庁マグニチュード6.4		
各地の震度 (震度5強以上)	震度6弱	広島県	河内町、大崎町、熊野町
	震度5強	広島県	川尻町、倉橋町、府中町、下蒲刈町、能美町、三原市、広島市、海田町、音戸町、安芸津町、豊浜町、豊町、向島町、大柿町、千代田町、豊栄町、本郷町、呉市、黒瀬町
		愛媛県	今治市、上浦町、大三島町、丹原町、松山市、波方町、菊間町、吉海町、久万町、松前町、三瓶町、大西町、弓削町、砥部町、宇和町、吉田町、生名村、岩城村
		山口県	和木町、阿東町、東和町、久賀町、大島町、平生町、橘町、大島町、柳井市、岩国市、田布施町

図1 最大加速度分布³⁾表2 各県の人的・物的被害状況⁴⁾

県名	人的被害(人)		住家(棟)			非住家(棟)	
	死者	負傷者	全壊	半壊	一部破損	公共建物	その他
広島県	1	193	40	245	28240	2	28
愛媛県	1	74	2	35	5299	-	2
山口県	-	12	7	26	1312	-	1
島根県	-	3	-	-	-	-	-
高知県	-	4	-	-	12	3	4
福岡県	-	1	-	-	-	-	-
香川県	-	-	-	-	6	-	8
岡山県	-	1	-	-	18	1	2
合計	2	288	49	306	34897	6	45

3. 調査概要

被害調査は7名の調査メンバーが2グループに分かれて、3月29日から31日までの3日間にわたって、自動車で行き先を移動しながら被害を受けている建物とブロック塀の調査を行った。被害を受けた一部の建物については内部の調査も行ったが、その他の建物については外観により得られた被害の情報を記録するとともに、被害状況の写真撮影を行った。調査した地域は広島県広島市・呉市・東広島市西条町・安芸郡熊野町・三原市、愛媛県今治市・松山市・東予市である。

4. 木造建物の被害

4.1 構造被害

本地震による木造建築への構造的被害は呉市などで多くみられた急傾斜地での地盤崩壊に伴う住宅を中心とする建物倒壊がその大部分であるといわれている²⁾。実際に筆者らが調査した範囲では、大きな構造被害を受けた木造建築は確認されなかった。

4.2 屋根瓦の被害

広島・愛媛両県で住宅の屋根瓦の被害が多発していた。特に、比較的古い住宅で棟瓦が崩れて屋根に散乱しているものも多く見られた。調査した範囲では、愛媛県松山市の伊台ハイツ周辺で、屋根瓦に被害を受けた住宅が多かった(写真1)。

4.3 仕上モルタルの落下

住宅地、商業地を問わず、かなり大きな面積の仕上モルタルが一体となって落下したケースが多数見られた。特に、写真2に示す西広島駅前の商店街では落下したモルタルと、それに伴って崩壊したアーケードの下敷きになり数名が軽傷を負っている。

4.4 歴史的建築物の被害

今回被害を受けた地域には、ユネスコの世界遺産に指定されている厳島神社をはじめ多くの文化財建築が存在するが、その被害はいずれも軽微であったとされている²⁾。筆者らが調査した愛媛県今治市の今治城も石垣の崩壊が数箇所みられたものの、建物の被害は棟瓦の落下が3棟、土壁の開口部周辺の亀裂がわずかに見られる程度であった(写真3)。



写真1 木造住宅の屋根被害 (愛媛県松山市)



写真2 仕上げモルタルの剥落 (広島県広島市)

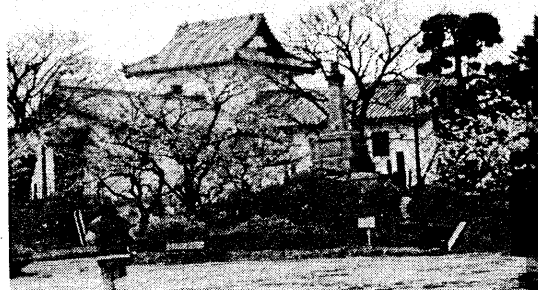


写真3 今治城の棟瓦の被害 (愛媛県今治市)

5. 鉄筋コンクリート造建築物の被害

5.1 被害の概要

今回の調査では、調査実施までに得た新聞などの被害情報および愛媛県建築住宅課から得た情報に基づいて、7棟の鉄筋コンクリート(RC)造の建物を調査した。このうち、中破以上の被害が確認された建物は、集合住宅1棟(愛媛県今治市)と学校校舎3棟(広島県東広島市1棟、愛媛県松山市2棟)であった。確認された主な被害の内容は、柱のせん断ひび割れならびにせん断破壊であり、過去の地震被害と同様の被害が確認された。

なお、愛媛県今治市の3階建集合住宅は、ピロティ形式となっていた1階が柱のせん断破壊により層崩壊したが、今回の調査時にはその大部分の解体作業が進んでおり、詳細な被害調査は不可能であった。写真4は、地震直後に撮影されたものである。

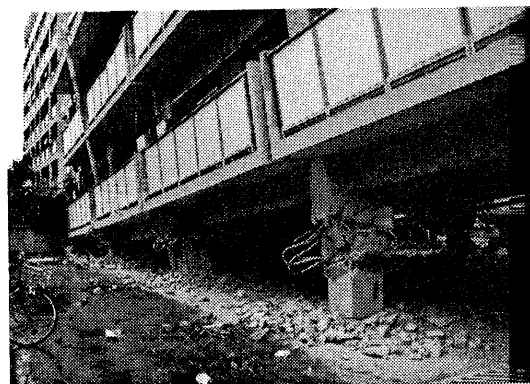


写真4 ピロティ建物の1階層崩壊
(愛媛県今治市)

(写真提供: JSCA四国支部 渡辺久夫氏)

以下に、中破以上の被害を受けた学校校舎3棟の調査結果について示す。

5.2 広島県立西条農業高等学校(広島県東広島市西条町)の被害

写真5は、震源から北26kmに位置する西条農業高等学校の一般教室棟の全景を示す。この建物は昭和42年に建築されたRC造4階建である。主な被害は柱のせん断ひび割れならびにせん断破壊であった。

図2に最も被害の大きかった2階の平面的な柱割を示す。図中には46本の外柱に対する被害調査結果から文献5)に従って判定した各柱の損傷度も合わせて示

している。ここで括弧付きの損傷度は、1階の柱の損傷度から決まった当該柱の損傷度を示す。全体的に北側の柱の損傷が南側に比べて大きい。これは北側と南側の柱の形状比（柱内法高さの柱せいに対する比）の違いによるものと考えられる。具体的には、南側は採光に配慮して窓の高さが高いためにほとんどの柱の形状比が約2.7であったが、北側柱の形状比は1.7であった。この建物においては2階の桁行方向の被害が最も大きく、文献5)の方法によれば、この建物の被災度は中破と判定された。

写真6はこの建物の2階で最も大きな損傷を受けた柱を示すが、せん断ひび割れとコンクリートの剥落がみられ、内部の補強筋が露出している。この柱の主筋は直径19mmの丸鋼で、帯筋は直径9mmの丸鋼が250mm間隔で配筋されており、副帯筋も配筋されていた。また、この柱のコンクリートのかぶり厚さは30mmであったが、主筋および帯筋には発錆が確認された。

一般教室棟が大きな被害を受けたのに対し、この建物と南北に平行して並んでいる特別教室棟の被害は比較的軽微であった。



写真5 西条農業高等学校一般教室棟の全景
(広島県東広島市)

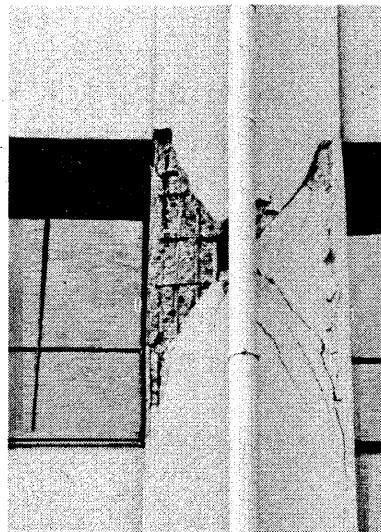


写真6 北側の2階柱のせん断破壊（損傷度Ⅳ）

5.3 松山市立湯築小学校（愛媛県松山市道後）の被害

5.3.1 北校舎の被害

写真7に普通教室棟（北校舎）の全景を示す。この建物は昭和42年に建設されたRC造3階建である。主に1,2階の柱にせん断ひび割れが生じるなどの被害を受けていた。

図3は最も被害の大きかった1階の平面的な柱割を示す。図中には27本の柱に対する被害調査結果から文献5)に従って判定した各柱の損傷度も合わせて示している。この建物でも、形状比が約3の北側柱の被害が、形状比が3.5の南側柱よりも大きい傾向が見られた。この建物においては1階の桁行方向の被害が最も大きく、文献5)の方法によれば、この建物の被災度は中破と判定された。

写真8は、図3中の○印で示した柱の外観を示しており、写真9は、内装とかぶりコンクリートを取り除いたものを建物内から見たものである。これらの写真より、コアコンクリートにもせん断ひび割れが生じていることがわかる。この柱の主筋は直径19mmの丸鋼で、帯筋は直径9mmの丸鋼（端部形状は90度フック）が200mm間隔に配筋されていた。

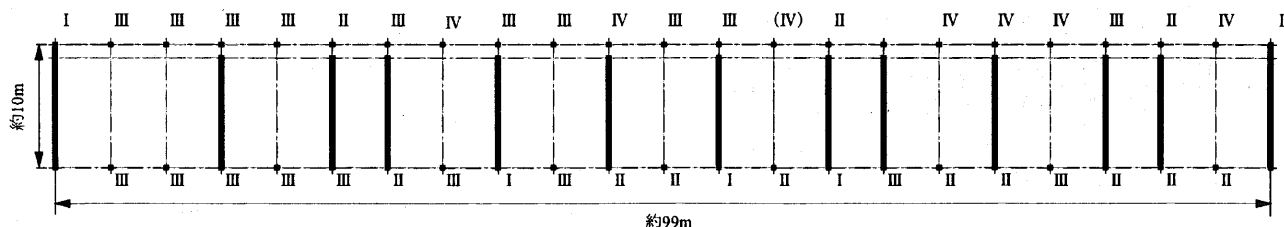


図2 一般教室棟の2階柱割と損傷度

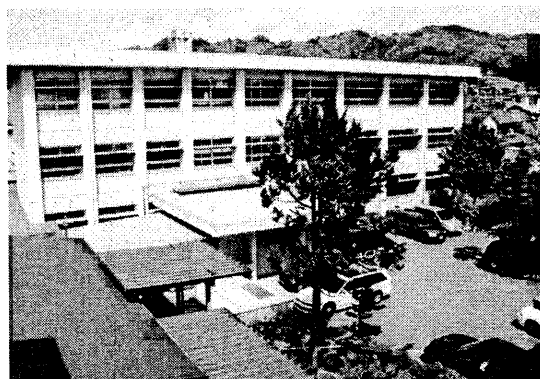


写真7 湯築小学校普通教室棟（北校舎）の全景
(愛媛県松山市)

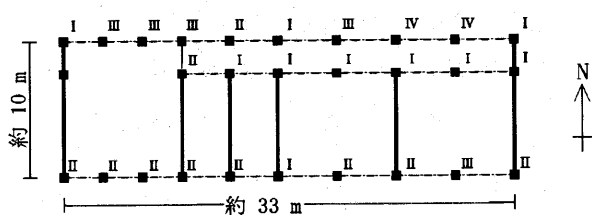


図3 北校舎の2階柱割と損傷度

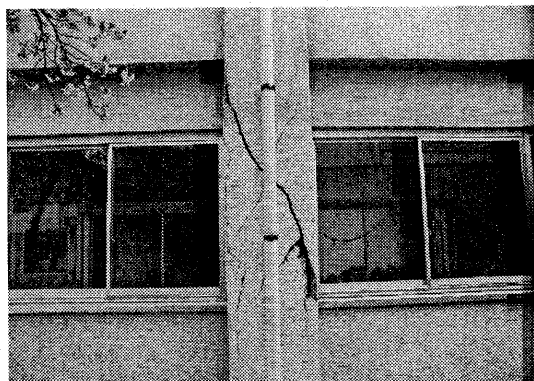


写真8 北側の1階柱のせん断破壊（外観）

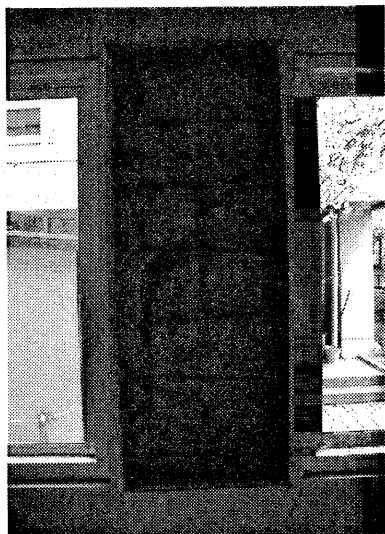


写真9 北側の1階柱のせん断破壊（内観）

5.3.2 南校舎の被害

写真10は、管理教室棟（南校舎）の全景を示す。この校舎は昭和39年に建設されたRC造3階建である。写真11は、北側の1階部分の柱を示しているが、このように、主に1, 2階の柱にせん断ひび割れが生じるなどの被害を受けていた。

図4は南校舎の最も被害の大きかった2階の平面的な柱割を示す。図中には86本の柱に対する被害調査結果から文献5)に従って判定した各柱の損傷度も合わせて示している。ここで、南側の外柱と北側の平面的に張り出した部分の柱の調査は地上から見上げて行ったので、ひび割れが確認された柱の損傷度をⅡとし、ひび割れが確認されなかった柱の損傷度は不明とした(図中の□印)。この建物でも、形状比が約2の北側柱の被害が、形状比が3.5の南側柱よりも大きい傾向が見られた。この建物においては2階の桁行方向の被害が最も大きく、文献5)の方法によれば、この建物の被災度は中破と判定される。

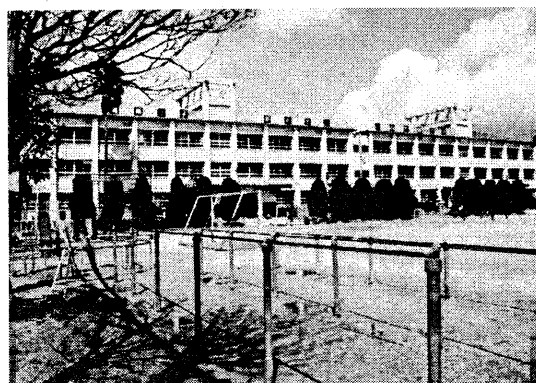
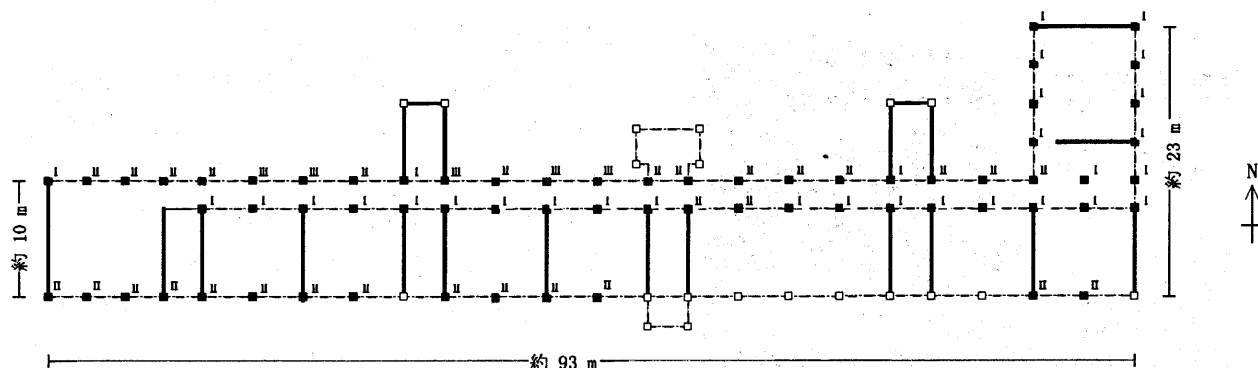


写真10 湯築小学校管理教室棟（南校舎）の全景
(愛媛県松山市)



写真11 北側の1階柱のせん断破壊



6. ブロック塀の被害

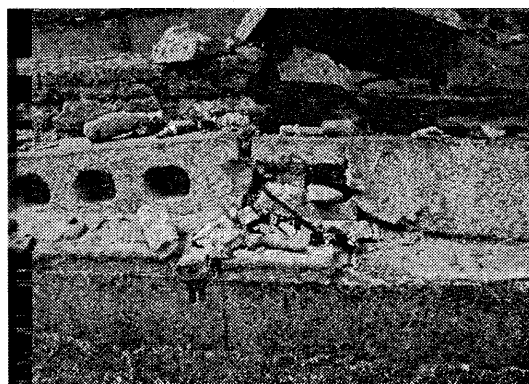
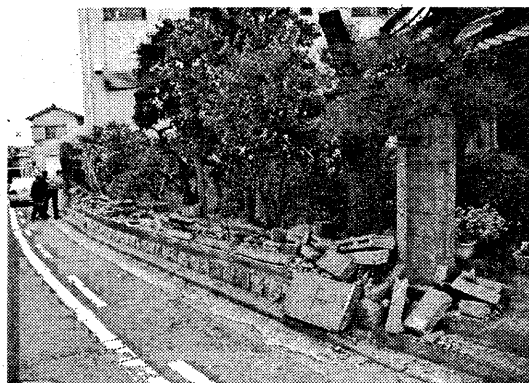
本調査で確認されたコンクリートブロック塀の転倒件数は、さほど多くはなかった。転倒したブロック塀は、明らかに構造的な問題のあるものや著しく老朽化したものであった。以下に被害の事例を示す。

写真 12 は、塀の脚部から転倒したブロック塀を示す。この塀は縦筋が全く配筋されていないため、面外方向の曲げ抵抗力が極めて小さく転倒に至ったものと考えられる。

写真13も、ブロック塀の脚部からの転倒事例である。この塀には縦筋・横筋ともに配筋されていたが、ブロック内の縦筋の位置と基礎内の縦筋の位置が異なっており、基礎と一段目ブロックとの目地位置で縦筋が鍵形に折り曲げられていた(写真14)。このため脚部の縦筋が簡単に引き延ばされて転倒に至ったと考えられる。転倒して露出した鉄筋は、錆により断面がかなり小さくなっていた。

写真15は塀の中間部から転倒したブロック塀である。この塀は8段積で、ブロック5段積の控壁が4,800mm(12列)間隔で設けられていたが、控壁の高さよりも上部の塀が転倒していた。これは、写真15からわかるように、縦筋が壁頂の横筋に定着されていないし、縦筋が著しく錆びておりブロックと一体になっていないので、縦筋が転倒防止の効果をほとんど発揮できなかったためと考えられる。

上記のコンクリートブロック塀の他に、中実なコンクリートれんがを用いた無補強の門柱ならびに塀の転倒事例が今治市などで比較的多く確認された(写真16参照)。これらの塀に使用されていたコンクリートれんがの寸法は、120 mm×240 mm×100 mmで、中実であり補強筋を挿入できる形状にはなっていなかった。



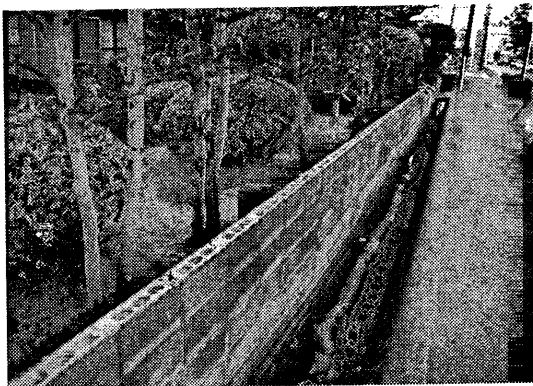


写真15 中間部から転倒したブロック塀
(愛媛県東予市)

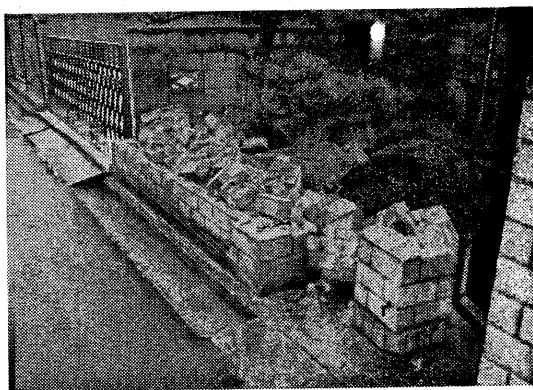


写真16 コンクリートれんがを用いた無補強の門柱
および塀の被害 (愛媛県今治市)

7. その他の被害

7.1 鉄骨造の内装材の落下

今回の地震では、学校の体育館を中心とした鉄骨造建物の天井や壁などの内装材(二次部材)の落下が目立った。地震発生が春休み中の土曜日の午後であったことで人的被害を免れたケースが多かったようだが、写真17に示す呉市内の清水ヶ丘高等学校の体育館では、部活動中の生徒数名がステージ上の壁から落下してきたプラスターボードにあたり負傷している(写真18)。また、写真19に示す熊野第二小学校の体育館では天井の仕上材のおよそ半分が落下する被害がみられた(写真20)。この体育館では、当日、行事が行われており、児童ら数十人が使用していた。しかし、行事が終わり、教室棟の方へ移動した直後に地震が発生したため、負傷者を出さずにすんだと校長から伺った。特に学校の体育館では、児童・生徒などが使用している可能性が高いこと、かなり高い位置から部材が落下する可能性があることなど人的被害を招く危険性は高い

といえる。また、公立学校の体育館などは、地震時に公共の避難場所に指定されている場合が多く、被害を受けると避難所として機能しないばかりか、余震によって避難者が危険さらされる。このようなことを考えると公共施設の二次部材の落下危険度チェックが必要であるといえる。



写真17 清水ヶ丘高等学校の体育館の全景
(広島県呉市)

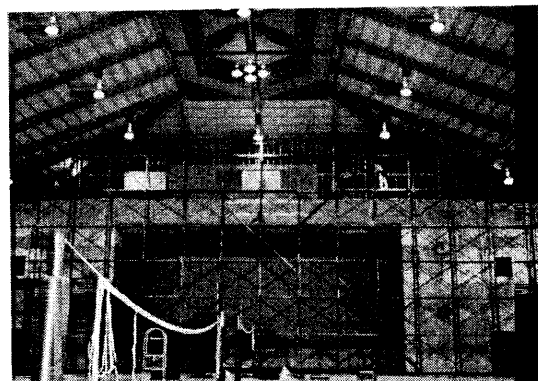


写真18 写真17の内部の仕上げ材の落下

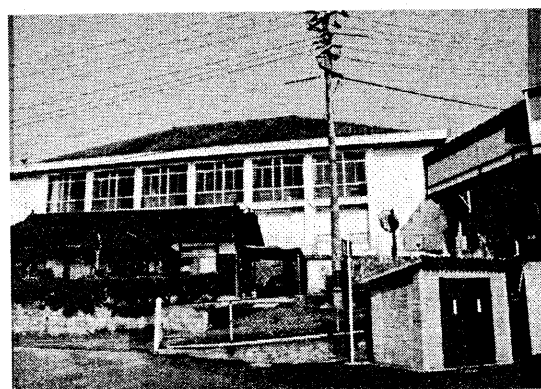


写真19 熊野第二小学校の体育館の全景
(広島県安芸郡)

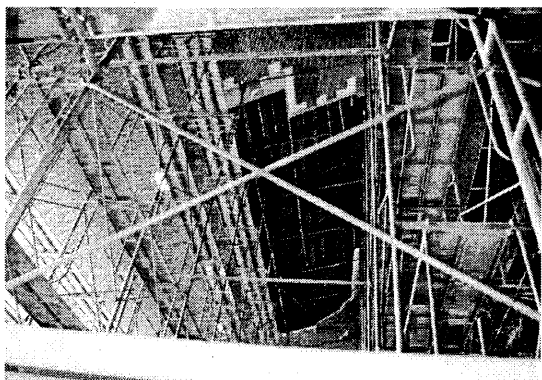
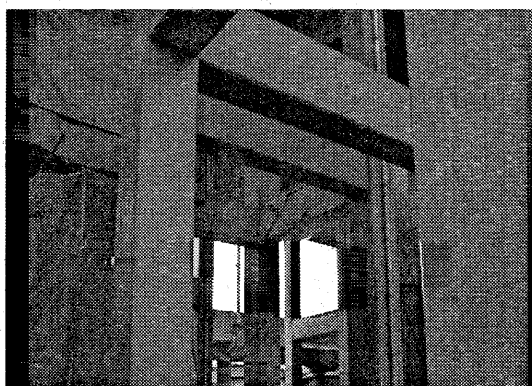


写真20 写真19の天井の仕上げ材の落下

7.2 新幹線高架橋の被害

写真21はJR山陽新幹線高架橋（三原市）のRC造梁のせん断破壊の状況である。柱には顕著な被害が生じておらず、この梁のせん断破壊は、梁の材軸方向が単スパン構造かつスパン長に対し層高が高く、柱の曲げ変形により梁が強制的に大きな変形を受けたことによるものと考えられる。なお、文献6）では三原・新岩国間の高架橋で197本の梁にひび割れや剥落が生じたと報告されている。

写真21 新幹線高架橋梁のせん断ひび割れ
(広島県三原市)

8. まとめ

今回の調査により得られた地震被害の状況を構造種別ごとに簡単にまとめる。

(1) 木造：地盤崩壊による倒壊を除けば、木造住宅の構造的被害はほとんどみられなかった。しかし、仕上げモルタルの落下や屋根瓦の被害等の非構造部の被害は広い地域にわたり、多くみられており、死傷者も出した。

(2) 鉄筋コンクリート造：確認された主な構造被害の内容は、学校校舎やピロティを有する集合住宅な

どにおける柱のせん断ひび割れならびにせん断破壊であった。このように、過去の地震被害と同様の被害が本地震でも確認された。

(3) ブロック塀：転倒したブロック塀は、補強筋のないものや、あっても変則的な配筋がされていたなど明らかに構造的な問題のあるものや著しく老朽化したものであった。

(4) その他：本地震による2人の死者は、鉄骨造建物におけるブロック造帳壁の脱落と木造住宅における増設ベランダの崩落によるもので、いずれも建物の非構造体の被害に起因している。また、学校体育館などにおいて内装材の脱落によって負傷者が少なからず発生している。構造体以外の耐震安全性も構造体の耐震安全性の確保と並んで重要である。

謝辞

本調査にあたり、愛媛県建築住宅課課長北村重治氏に愛媛県内の建築物の被害情報を提供していただきました。また、日本構造技術者協会（JSCA）四国支部の渡辺久夫氏に今治市のピロティ建物の被害写真を提供していただきました。ここに記して厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，1996
- 2) 日本建築学会：日本建築学会平成13年芸予地震被害調査速報会資料，2001年4月
- 3) 防災科学研究所（NIED），<http://www.bosai.go.jp/>
- 4) 消防庁：平成13年（2001年）芸予地震（19時30分発表），平成13年5月2日
- 5) 日本建築防災協会：震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針（鉄筋コンクリート構造編），1991年2月
- 6) 日経BP社：日経アーキテクチュア，20014-16，No.690，2001年4月16日