

2000年鳥取県西部地震による建築構造物の被害

菊池健児*, 黒木正幸*, 田中 圭**, 工藤 聡***

Damage to Building Structures Caused by the Tottoriken-seibu Earthquake in 2000

Kenji KIKUCHI, Masayuki KUROKI, Kei TANAKA and Satoru KUDO

On October 6, 2000, an earthquake with Magnitude of 7.3 in the JMA scale occurred at the western part of Tottori Prefecture. 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, Tottoriken-seibu earthquake, building structure, masonry garden wall

1. はじめに

筆者らは、2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震による建築構造物の現地被害調査を地震発生の2日後と3日後にあたる10月8日と9日に行った。調査した地域は鳥取県日野郡日南町・日野町・溝口町、西伯郡会見町・岸本町・西伯町、米子市、境港市である。本論は、この調査に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

図1に地震の震央と最大加速度分布を示す。2000年11月27日現在で消防庁が発表した本地震の諸元を表1に示す。また、本地震による各府県の人的・物的被害状況を表2に示す。本地震による死者はゼロと発表されている。なお、岡山県と島根県についてはブロック塀の被害件数の発表があるが、その他の府県については発表されていない。

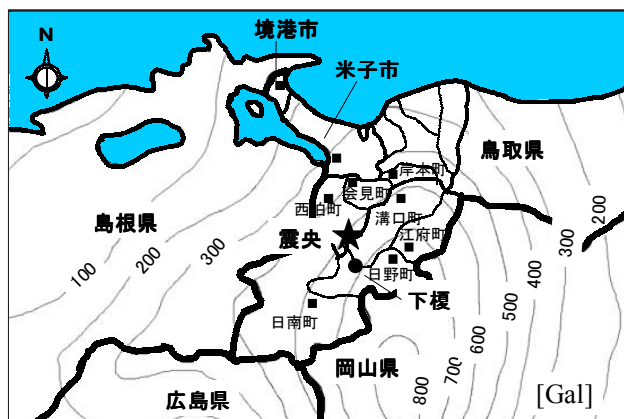


図1 地震の震央と最大加速度分布¹⁾

表1 地震の諸元²⁾

発生日時	平成12年10月6日13時30分頃		
震央地名	鳥取県西部 (北緯35.3度, 東経134.4度)		
震源の深さ	約10 km		
規模	マグニチュード 7.3 (暫定)		
各地の震度 (震度5強以上)	震度6強	鳥取県	日野町根雨, 境港市東本町
	震度6弱	鳥取県	西伯町法勝寺, 溝口町溝口, 境港市上道町, 会見町天万, 岸本町吉長, 淀江町西原, 日吉津村日吉津
		鳥取県	米子市博労町
	震度5強	島根県	安来市安来町, 仁多町三成, 宍道町昭和
		岡山県	哲多町本郷, 落合町西河内, 新見市新見, 美甘村美甘, 大佐町小阪部
	香川県	土庄町甲	

平成12年12月27日受理

* 大分大学工学部建設工学科

** 大分大学工学部福祉環境工学科

*** 大分大学大学院工学研究科博士前期課程建設工学専攻

表2 各府県の人的・物的被害状況²⁾

	人的被害 負傷者	物的被害						ブロック塀
		住家			非住家			
		全壊	半壊	一部破損	公共建物	一部破損	その他	
鳥取県	97	354	2060	10855	122		143	*
岡山県	18	7	26	552	79		38	107
香川県	2			1		2		*
島根県	11	34	497	3488				29
広島県	3			41	39	1		*
大阪府	4			1				*
その他	3							*
合計	138	395	2583	14938	240			

*発表なし

3. 調査概要

本地震発生の2日後と3日後にあたる10月8日と9日に、自動車で現地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。調査した地域は鳥取県日野郡日南町・日野町・溝口町、西伯郡会見町・岸本町・西伯町、米子市、境港市である。ただし、米子市内では幹線道路を移動しながら概況調査を行った結果、ブロック塀の被害は数件確認されたものの建物の被害は確認されなかったため、個別建物の調査は行わなかった。また、木造住宅の屋根被害が多かった日野町下榎地区においては、徒歩で道路沿いのブロック塀の被害調査を行った。

4. 木造建築物の被害

4.1 屋根瓦の被害

今回の地震被害で最も象徴的であったのは、屋根の被害(写真1)であり、震源地周辺の山間部を中心に多くの被害が確認された。



写真1 日野町下榎地区の全景

特に被害の大きかった山間地域では、棟瓦のずれが多く見られ、これに伴う平瓦のずれが見られた。これは、この地域では一般住宅でも、写真2に示すように棟瓦を高く積んである住宅が多く、ここに大きな加速度が生じたため、棟瓦がそのまま滑り落ちたと考えられる。また、瓦を土で固定した住宅や、くぎなどによる瓦の固定が不十分な住宅が多かったことも屋根被害を大きくした要因のひとつであろう。



写真2 木造住宅の棟瓦の滑落(日野町根雨)

4.2 一般住宅の被害

今回の調査において一般住宅では、前述したように屋根被害が多く確認されたが、その他に一部の住宅でラスモルタル仕上の剥落や建物の傾斜などが見られた。仕上モルタルの剥落の中には、比較的大きな面積のモルタルが一体となって前面道路に落下しているケースも見られ(写真3)、周囲に人が通行していれば、人的被害につながった可能性が高いと考えられる。この崩落した仕上モルタルの多くは、ラス金網を固定するステープルの数、針の長さなどに問題があったと考えられる。写真4は、全壊に相当する被害を受けた住宅を示す。



写真3 住宅のラスモルタルの崩落(日野町下榎)

の住宅は、東面の玄関側に二間続きの座敷と縁側が配置されており、ほとんど耐力壁がなかった。また内部も障子や襖による間仕切りのみで壁が極端に少なかった。このため、1階全体が大きく南側に傾いていた。一方で、この下榎地区と日野川の対岸にある近年建てられた町営住宅（木造）は、全く無被害であった。



写真4 1階が大きく傾斜した木造住宅(日野町下榎)

4.3 店舗併用住宅の被害

写真5は日野町黒坂地区の木造2階建店舗併用住宅の被害例である。1階店舗部分が大きく傾斜し、崩壊寸前である。この建物が立地する通りは、ほぼ南北方向の県道に沿って古い商店が並んでいるが、そのほとんどが写真のように間口方向（道路に面する面）に全く耐力壁を持たない構造であり、同様の被害を受けた建物が多く見られた。

一方で、同じ通りにある耐力壁がバランスよく配置された個人病院は、仕上モルタルの剥落は見られるものの、構造的には大きな損傷は見られなかった。この地区は、周囲のブロック塀の転倒状態から、南北方向の震動のほうが強かったものと推定され、この方向と耐力壁の配置上、耐震性能が劣る方向とが一致した建



写真5 店舗併用住宅の被害(日野町黒坂)

物が大きな被害を受けたと推定される。

4.4 土蔵・土壁の被害

今回の地震で震度6以上の揺れを観測した鳥取県西部の山間地域には、多くの土蔵や土壁を使用した古い木造住宅が多数確認された。その中で今回調査した建物では、土壁に多くの細かい亀裂が入ったもの(写真6)や土壁が大きく崩落したのが見られた。しかしながら、木造軸組の構造部分に大きな損傷を受けた建物は確認されなかった。これは、土壁が損傷することで地震動のエネルギーを吸収したためと考えられ、現行の設計基規準では低く評価されている土壁の耐震性能を再検討する必要があると考えられる。



写真6 土蔵の被害(日野町下榎)

4.5 神社建築の被害

写真7は、鳥取県境港市にある出雲大社上道教会の倒壊の状況である。建物南側(拝殿部分)が完全に倒壊しており、柱-貫接合部の切欠き部分から裂けている柱が多く確認された。周辺の一般住宅は、屋根瓦の被害も含めて、ほとんど被害が見られない。これらのことからこの建物は次のような要因が複合して、大きな被害を招いたと考えられる。



写真7 神社建築の倒壊(境港市)

(1) 周囲の燈籠などの転倒状況から揺れが強かったと思われる東西方向と、開口部の割合の大きい間口方向が一致した。

(2) 建物北側は神殿部で壁の量が多く、逆に南側の拝殿部は開口部が大きかったために、平面的な剛性のアンバランスから大きなねじれが生じた。

(3) 周囲の住宅に比べて、屋根が非常に重かった。

(4) 柱にあけられた接合用の切り欠きによる断面欠損が大きく、貫のねじれにより柱に割裂が生じ、重い屋根を支えきれなくなった。

5. 鉄筋コンクリート造建築物の被害

5.1 被害の概況

今回の調査では、合計で36棟の鉄筋コンクリート(RC)造建物の被害調査を行った。その内訳は、学校校舎(23棟)・体育館(4棟)・町役場(2棟)・病院(4棟)・その他(3棟)である。調査方法は主に外観調査であるが、一部の被害建物については内部の調査も行った。鳥取県米子市内では概況調査を行った結果、ブロック塀の被害は確認されたもののRC造建物の被害は確認されなかったため、個別建物の調査は行わなかった。被害調査を行った36棟のうち、中破程度の被害を受けた建物が4棟(溝口町役場・会見小学校管理教室棟・境港市の病院の2病棟)あり、その他の建物は無被害を含む小破以下の被害であった。本調査で確認された被害は、旧基準で設計された柱のせん断破壊とせん断ひび割れ(例えば写真8～写真10)が主であり、過去の地震被害と同様の被害が本地震でも確認された。しかし、今回の地震規模は1995年の兵庫県南部地震に匹敵するものであったにもかかわらず、全体的にはRC造建物の被害はさほど大きいものではない。



写真8 2階建溝口町役場の1階柱のせん断破壊

この理由は今後の研究により明らかにされる必要があると考えられるが、震央周辺は山間地域でありRC造建物の絶対数が少なく、学校施設を除けば規模的にも低層の庁舎・病院などに限られていたことが被害の少なかつた理由の一つに挙げられる。また、RC造建物が多く存在する米子市内では変位応答スペクトルの卓越周期が1.25秒と長かつたことなども指摘されている³⁾。



写真9 4階建病院棟の1階柱のせん断ひび割れ(境港市)



写真10 3階建日南中学校校舎2階柱の右下がりのせん断ひび割れ(日野郡日南町)

5.2 被害事例

写真11は、会見小学校管理教室棟(西伯郡会見町)の全景を示す。震央から北側の約7kmに位置するこの建物は昭和41年に建築されたRC造3階建であるが、調査したRC造学校校舎の中で最も大きな被害を受けていた。図2は最も被害の大きかつた2階の平面的な柱割を示す。ただし、白抜きで示す柱は、存在を確認していない柱である。図中には37本の外柱に対する被

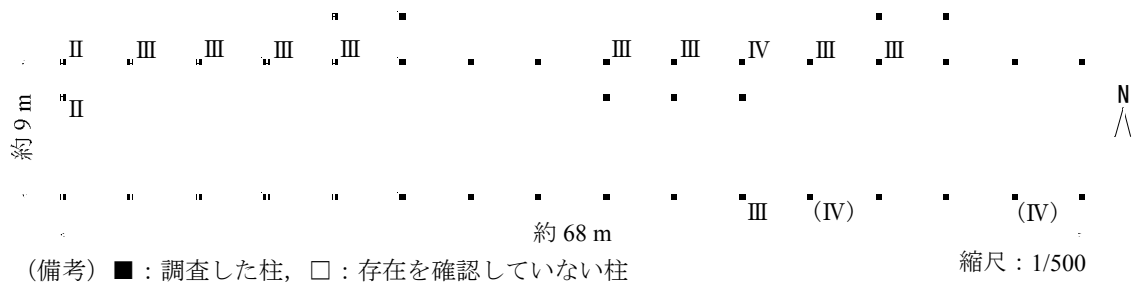


図2 3階建会見小学校管理棟の2階柱の損傷度



写真11 3階建会見小学校管理教室棟



写真12 せん断破壊した2階の柱(会見小学校)

害調査結果から文献4)に従って判定した各柱の損傷度も合わせて示している。なお、括弧書は1階柱の損傷度から決まった当該柱の損傷度を示している。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、南側は日当たりを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4であったが、北側柱の形状比は約3であった。本建物においては2階の桁行方向の被害が最も大きく、文献4)の方法によればこの校舎の被災度は中破と判定される。

写真12は本建物の2階で最も大きな損傷(損傷度IV)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著しく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(端部形状は90度フック)が300mm間隔に配筋されていた。写真13はせん断破壊した1階の南側柱と壁を示す。壁の存在により地震水平力が集中して、開口横の壁と側柱がせん断破壊したと考えられる。

6. ブロック造建築物および帳壁の被害

今回の調査では、壁式構造の一つである補強コンク



写真13 1階壁とその側柱のせん断破壊(会見小学校)

リートブロック造建物を5棟調査した。これらの建物には写真14に示すように被害は全く見られなかった。

写真15は境港市にある平屋の冷凍倉庫を示す。手前側の鉄骨構面内に挿入されたコンクリートブロック造帳壁に被害は見られなかった。また、写真奥側の建物はRC構面内にブロック造帳壁が用いられていたが、これにも被害は見られなかった。

写真16は、鉄骨造平屋の学校の部室兼倉庫である。鉄骨構面内のブロック造帳壁の開口部周辺に目地沿いひび割れと、せん断ひび割れが生じていた。この種の被害がもう少し大きくなっても、ブロックが崩落する

ことがないように、帳壁内部に補強筋を配筋することが重要である。



写真14 無被害の2階建補強コンクリートブロック造部室兼倉庫（西伯町馬場）



写真15 無被害のブロック造帳壁（境港市米川町）



写真16 ひび割れが生じたブロック造帳壁（日野町野田）

7. コンクリートブロック塀の被害

7.1 ブロック塀被害の概況

今回の調査では、日野郡日野町や西伯郡西伯町など震央に近い地域でコンクリートブロック塀の被害が多数確認された。その他の地域では、比較的被害が少なかった。

7.2 日野町下榎地区におけるブロック塀の被害調査

日野町下榎地区(図1参照)において、徒歩で道路沿いのブロック塀の外観被害調査を行った。この地区の震度は発表されていないが、周辺地域の発表震度は震度6強(日野町根雨)、震度6弱(西伯町法勝寺、溝口町溝口)などである。この地区にある木造の一戸建て住宅は写真1に示すように瓦葺屋根が被害を受け青い防水シートで覆われているなど、ほぼ全数の家屋が何らかの被害を受けていた。

この調査では31件のブロック塀に対して塀の規模や構造、および被害状況について調査を行った。以下に代表的な調査結果を示す。なお、調査項目および調査した各塀の詳細な調査結果は文献5)を参照されたい。

(1)壁の高さ・厚さ： 塀の高さ(h)は $h \leq 1.2$ mの壁が79%(調査不能な件数を除いた合計に対する百分率、特に断らない限り以下同様)と低い塀が多く、残り21%が $1.2 \text{ m} < h \leq 2.2$ mの塀で、 $h > 2.2$ mの塀は調査対象の塀の中には存在しなかった。なお、金属フェンスが組み込まれた塀は1件も見られなかった。塀の厚さは10 cmが86%で、学会規準を満足する12 cm以上のものは14%に過ぎない。

(2)ブロック種別： 普通ブロックの塀が60%で、40%が化粧ブロックの塀であった。

(3)縦筋： 転倒していた10件のブロック塀のうち、30%の塀には縦筋が全く配筋されていなかった。

(4)控壁： 転倒していた10件のブロック塀のうち、不明の1件を除いて控壁を有する壁は無かった。

(5)直交壁： 83%の塀が直交する塀を有していたが、塀どうしが有効に接合されているものは少なかった。

(6)透かしブロック： 34%の塀で透かしブロックが使用されており、壁体内の配筋を阻害するような配置になっているものが少なかった。

(7)かさ木： かさ木のある塀が90%と多かった。かさ木は塀の耐久性向上に効果があると考えられるが、ブロック塀が転倒していなくてもかさ木の落下が見られるのも少なかった。

(8)基礎： RC造基礎と判断されたものが26%、ブロック埋込基礎が29%、擁壁上などに造られた基礎のない塀が45%であった。転倒した塀の調査結果から、基礎があっても壁体内の縦筋が基礎に十分に定着されていないために抜け出している例が見られた。

(9)被害状況： 塀の転倒率は32%であった。転倒した10件の塀のうち、家屋被害の影響を受けたと思われるものは無いが、擁壁の崩壊の影響を受けたと思われる塀が1件あった。転倒した10件の塀のうち50%が道路側に転倒し、残りの50%が敷地側に転倒していた。

7.3 ブロック塀の被害事例

写真17はブロック塀の壁体中間部からの転倒事例を示す。写真に見られるように、縦筋・横筋とも全く配筋されていなかった。

写真18のブロック塀では縦筋が80 cm間隔で配筋されていたものの、RC造基礎へわずか2～3 cm差込まれていただけで、塀の脚部に曲げ抵抗力がほとんどなく、縦筋が簡単に抜け出して転倒していた。

写真19は大きく傾斜したブロック塀を示す。このブロック塀では擁壁へ5 cm程度定着されていた縦筋の抜け出しが確認されたが、直交壁を有していたことと横筋が直交壁へ定着されていたことにより完全に転倒するには至らなかったものと考えられる。

写真20は塀とブロック造擁壁の一体的な転倒事例を示す。後方の水田と敷地に約1 mの高低差があり、ブロック造による擁壁が設けられているが、その基礎が全く不十分であり、上部のブロック塀と一体となって転倒していた。この塀はブロック造の控壁を有しているが、敷地反対側への転倒に対してはその重量による抵抗モーメントのわずかな効果しか期待できない。

写真21は組積造門柱の転倒事例を示す。写真に見られるように、鉄筋などによる補強は全くなかった。

写真22は石積み擁壁上に建設されたブロック塀の被害例である。擁壁の崩壊により、ブロック塀が滑落したものと考えられる。



写真18 脚部から転倒したブロック塀(日野町下榎)



写真19 大きく傾斜したブロック塀(日野町下榎)



写真20 ブロック塀とブロック造擁壁の転倒(西伯町倭)



写真17 中間部から転倒したブロック塀(日野町下榎)



写真21 転倒した組積造の門柱(日野町黒坂)



写真22 擁壁およびブロック塀の崩壊(日野町黒坂)

8. その他の被害

8.1 鉄骨造建築物の被害

今回の調査では鉄骨造の学校体育館で窓ガラスの破損や外装モルタルの剥落が確認されたが、構造的な被害は確認されなかった。しかし、文献3)などには学校体育館のブレースの座屈や破断の事例が少なからず報告されている。

8.2 鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の被害

写真23は今回の調査で被害を確認した唯一の鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造構造物で、境港市の卸売市場である。ここでは液状化による地盤の沈下ならびに側方流動により、SRC造の柱が傾斜していた。また、鉄骨造屋根トラス梁の下弦材の破断も確認された。



写真23 地盤変状により傾斜したSRC造柱(境港市)

9. まとめ

2000年鳥取県西部地震によるブロック塀を含む建築物の被害調査を行った結果、鳥取県日野郡や西伯郡などの震源に近い地域で比較的大きな被害が見られた。以下に構造種別ごとの被害を簡単にまとめる。

(1)木造:「今回の地震では、その震度や地動加速度の大きさに対して、木質構造物の被害が少ない」という意見が少なくない。現に筆者らも、明らかに構造的に問題があると思われる住宅がほとんど被害を受けていない状況を各地で目にした。この理由のひとつとして、震源地周辺の表層地層が非常に堅い地盤であったため、建物に入力した地震波の卓越周期が短周期のものが多かったであろうことが予想され³⁾、木造住宅の比較的長い固有周期と一致しなかったことが、幸いしたものと考えられる。

(2)RC造:被害調査を行った36棟のうち、中破程度の被害を受けた建物は4棟で、その他の建物は無被害を含む小破以下の被害であった。主な被害は、旧基準で設計された柱のせん断破壊とせん断ひび割れであり、過去の地震による被害と同様の被害事例が本地震でも確認された。

(3)補強コンクリートブロック造:被害調査を行った5棟の建物に、被害は見られなかった。

(4)コンクリートブロック塀:転倒した塀の多くは、擁壁上に建設された塀やブロック埋込み基礎など、基礎が極めて不十分であり、さらに縦筋が配筋されていないか、あっても基礎への定着が不十分であり、転倒に対する抵抗力が乏しい塀であった。

参考文献

- 1) 科学技術庁防災科学技術研究所:鳥取県地方における地震情報, 2000年11月27日 (<http://www.bosai.go.jp/ad/Jpn/news/tottori/>)
- 2) 消防庁:平成12年(2000年)鳥取県西部地震(第42報), 2000年11月27日 (<http://www.fdma.go.jp/html/infor/121006tottori.htm>)
- 3) 日本建築学会:日本建築学会鳥取県西部地震災害調査緊急報告会資料, 2000年10月
- 4) 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(鉄筋コンクリート造編), 1995年3月
- 5) 菊池健児, 黒木正幸, 田中圭, 工藤聡:2000年鳥取県西部地震によるブロック塀およびブロック造建物の被害, 日本建築学会九州支部研究報告, 第40号・1構造系, 2001年3月