

10.3.5 免震建築物の被害状況

10.3.5.1 調査目的等

地震時における免震建築物の挙動を把握するために、新潟県に建設されている免震建築物の調査を行った。新潟県の中でも、観測された地震動が大きかった地域に建設されている建築物を中心に調査した。調査内容は免震層の免震部材および免震層周辺の状況を把握することである。

10.3.5.2 調査概要

小千谷市に建設されている免震建築物の調査を行った。

1) 免震建築物の概要

本建築物は、平成9年に竣工した5階建RC造の免震建築物である。免震層は天然ゴム系積層ゴム(以下、積層ゴム)と弾性すべり支承(以下、すべり支承)で構成されている。積層ゴム18体、弾性すべり支承21体である¹⁾。

2) 免震層の調査結果

免震層の残留変位の目視と残留変位の測定を行った。写真10.3.42に示すように、残留変位は長辺方向(南北方向に近い)に約30mm生じているが、短辺方向には残留変位がほとんどない状態であり、積層ゴムでほぼ同程度の値が生じている。

すべり支承のすべり軌跡や設備配管の設置台の軌跡が残されており、その軌跡から免震層が150mm以上変位した様子が確認でき、変形の大きい方向は建物の45度の向き(方位で東の方向)である。本震等による地震動で免震層が十分に變形し、免震効果が現れたことが推察される。

また残留変形の大きさは免震部材の特性と関係していると考えられるが、すべり支承を併用しているため、すべり支承の摩擦係数の大きさにより、この程度の残留変位が生じることも考えられる。

3) 免震層周辺の調査結果

写真10.3.43に、正面入り口付近では免震層の移動により周辺の敷石が押された様子が観察された。免震と非免震との間の部材の設置状況を確認する必要がある。正面以外の部分においては特に問題が発生している箇所は見られなかった。



写真 10.3.42 積層ゴムの状況

4) 免震建築物の地震時挙動

本建築物では地震動観測が実施されており、免震層下部の基礎上で、最大加速度 807gal、免震層上部の 1 階床位置で 205galとなる結果が得られたことが紹介された。免震層上部の最大加速度は基礎上のその 0.25 倍となり、加速度記録からも免震構造の地震時の特徴が確認された²⁾。免震効果を裏付ける貴重なデータである。



写真 10.3.43 正面入口付近の免震・非免震部分の様子

10.3.5.3 現在の所見と今後の検討項目

小千谷に建設された免震建築物において、免震部材に大きな移動が生じている軌跡が確認された。また地震動観測における加速度記録から、本建物は十分な免震効果を示したことが確認できた。積層ゴムには残留変形が生じているが、免震層が十分な変位が生じた証拠とも言える。残留変形の大きさは免震部材の特性と関係しているため、すべり支承の摩擦係数等免震部材の力学特性に基づいた検討が必要となる。

新潟県には他にいくつかの免震建築物が建設されており、それらの調査を行う予定である。その際、免震層およびその周辺の状況を確認する調査を行うとともに、地震時における免震建築物の揺れの様子をヒアリング等により確認することを考えている。これらの調査結果に基づいて、免震建築物における地震時性状をまとめる予定である。

参考文献

- 1) 日本建築センター：性能評価シート、ビルディングレター、pp.65-66、1996.10
- 2) 溜正俊、鵜田隆：免震建物の地震観測記録と振動解析結果、平成 16 年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集、地震学会他、pp.111-116、2004.12

10.3.6 建築物の火災被害の状況

10.3.6.1 調査の目的等

新潟県中越地震において発生した建物火災の特徴を把握し、地震による火災被害の軽減対策に反映させるため、火災に関する情報を収集するとともに、火災現場の調査を実施した。2004年11月19日～21日にかけて、建築火災及び都市火災の研究者4名が現地に入り、各消防本部へのヒアリングと火災現場の調査により情報収集を行った。また、地震による市街地火災へ拡大する潜在的な危険性について、周辺市街地などの状況を調査した。

10.3.6.2 被害の概要

今回の地震により発生した建物火災は、長岡市、小千谷地域、十日町地域の各消防本部が公表している資料によれば合計9件である。各火災の発生場所とその概要を表10.3.3に示す¹⁾。出火した建物や室の用途は、住宅又は住宅に付属した部分が6件、工場が2件、ホテルの屋上が1件である。

ほとんどの火災は11月23日17時56分の本震又は本震に続いて短時間に起こった余震の直後に発生している。9件の内5件は、ぼや又は部分焼であり、住民などによる迅速な通報、初期消火により発見から比較的短時間で鎮火している。一方、周囲に延焼又は延焼の危険のあった火災は4件である。ガス爆発など火災の成長が早い場合と、土砂崩れや道路閉鎖などで放任火災となっている場合がある。特に、長岡市濁沢町で発生した火災は土砂災害と重なり、全部で6棟が焼損しており、今回の火災による被害としては最大である。また、山間部では建物を建てられる土地が制限されていることから道路に沿って建物が密集することもあり、隣接した建物へ延焼する火災が発生している。



写真 10.3.44 長岡市濁沢町の火災及び土砂災害現場（6棟焼損）



写真 10.3.45 小千谷市岩間木の住宅火災（2棟全焼）

10.3.6.33 建物火災の特徴

1) 出火率

一般に、地震時の出火率は建物の倒壊と関係が深いと言われている。今回の地震による火災は絶対数が少ないため、過去の地震時の出火率と単純に比較することは困難であるが、参考までに市町村別の出火率と全壊率を求めると表 10.3.4 に示すように、川口町、小千谷市、越路町など、比較的全壊率の高い地域で火災が発生していることがわかる。なお、長岡市は 5 件の火災が発生しているが、過去の地震火災をもとに全壊率から推定される出火率よりも低い値のように思われる²⁾。今後まとめられる構造被害の調査結果をもとに詳細に分析することが必要である。

表 10.3.4 市町村別の出火率

市町村名	住家 全壊世帯数*	全壊率 =全壊世帯数 ／1万世帯	世帯数 H16.10.1	出火 件数	出火率 =出火件数 ／1万世帯
長岡市	856	126	67,772	5	0.738
見附市	55	42	13,066		
栃尾市	44	59	7,413		
越路町	117	289	4,051	1	2.469
小千谷市	662	535	12,375	1	0.808
川口町	571	3,580	1,595	1	6.270
旧堀之内町	70	262	2,675		
十日町市	62	46	13,360	1	0.749

*新潟県調べ（11月26日現在）

表 10.3.3 地震による建物火災一覧

No.	所在地	出火建物		周囲の状況	焼損程度	延焼など	火災の概要（推定を含む）	発生時刻 (推定を含む)	覚知時刻	鎮火時刻
1	長岡市東新町	工場	S造 2階建	市街地 第一種住居地域 準防火地域	ぼや	—	電気配線より出火と推定	本震直後	18時03分	18時48分
2	長岡市西新町	工場	S造 2階建	市街地 工業地域 指定なし	ぼや	—	高温熔融金属が水分に触れ飛散したことによる出火と推定	余震後	18時29分	18時53分
3	長岡市城内町	ホテル	RC造 9階建	市街地 商業地域 防火地域	部分焼	—	ガス爆発による出火と推定	余震後	18時29分	18時50分
4	長岡市濁沢町	住宅等	不明	山間部 都市計画区域外 指定なし	6棟焼損	住宅、工場、集会施設に延焼	火災前後に土砂災害発生、詳細不明	余震後	18時31分	10/24 13時半頃
5	長岡市千手	共同住宅	S造 3階建	市街地 近隣商業地域 準防火地域	1棟半焼全損 他10棟外壁、ガラス等破損	—	ガス爆発による出火と推定	余震後	19時26分	21時10分
6	越路町岩野	住宅	不明	集落 市街化調整区域 指定なし	ぼや	—	仏壇の線香による出火と推定	余震後	20時20分	20時22分
7	川口町武道窪	納屋	木造 2階建	集落 市街化調整区域 指定なし	1棟全焼、 1棟焼損	母屋の住宅外壁等が一部焼損	納屋が倒壊し、まきストーブから出火。	本震直後	18時半頃	不明
8	小千谷市岩間木	住宅	木造3階建 (1階部分 ブロック造)	山間部 都市計画区域外 指定なし	2棟全焼、 1棟焼損	木造2階建住宅及び作業場が全焼 木造1棟の外壁等が一部焼損	洗濯物がまきストーブの上に落ちて着火。短時間に隣棟へ延焼。	本震直後	10/28 15時頃 (通行不能のため 事後周知)	不明
9	十日町市春日	事務所 併用住宅	S造 3階建	市街地 第一種住居地域 指定なし	ぼや	—	外国製蓄熱式暖房機が転倒し、数時間後、量に着火。	不明	10/24 12時45分	10/24 13時00分

注：火災の名称は上記の「所在地」火災とする。例えば、長岡市千手火災、小千谷市岩間木火災など。特記なしの日付は全て10/23。

2) 出火原因

火源は、暖房器具 3 件、ガス配管 2 件、線香、電線、溶融金属、不明が各 1 件である。暖房を始める時期としてはまだ少し早いようであるが、山間部では既にストーブを利用していたことから、暖房器具からの出火が多いものと考えられる。市街地では灯油を燃料とした FF 式暖房器具が利用されているが、耐震自動消火装置付の器具が普及しているためであろうか、この種の暖房器具からの出火は報告されていない。

また、ガス器具によるものは配管部分でのガス漏れが原因であり、ガス器具自体を出火原因とした火災も報告されていない。地震発生時刻は、夕食などの調理のためにガス器具の使用率は高いものと推定される。実際、熱湯などによるやけどが少なからず発生し、救急搬送されている³⁾。しかし、マイコンメーター設置が普及（北陸ガスは 100%）⁴⁾したことにより、ガス器具からのガス漏れ、それに伴う出火が防止されたものと思われる。

兵庫県南部地震では 電気の復旧に絡んだ火災の発生が注目された。しかし今回の地震では、そのような通電火災がほとんど発生していない。地震直後の自動回復については電力会社が慎重に対応をしており、広報車で住民に注意を呼び掛け、被害の大きな建物への復電を中止するなどの対策が行われている。兵庫県南部地震の教訓が生かされた結果と思われる。

10. 3. 6. 4 現在の所見と今後の検討項目

地震の規模や発生時刻から予想される火災件数及び被害に比べて、報告された火災件数及び被害は小さいものであったと言える。この理由を詳細に分析することが今後の課題である。まず、地震時の火気使用の実態及び初期対応行動等の調査を行い、出火危険がどの程度存在していたのかを明らかにすること、また、建物の構造被害の大きさと出火率との関係について詳細な分析が必要である。

参考文献

1) 以下の情報も参考にした。

消防研究所ホームページ，平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震関連情報 No.4，

http://www.fri.go.jp/bosai/2004_niigata_chuetsu/no4/no4_kasai_chousa.html

2) 都市防災研究会編：地震防災と安全都市、p66、鹿島出版会、1996

3) アサヒコム：家具転倒や落下、負傷原因の 4 割超 新潟県中越地震、2004.11.15

<http://www.asahi.com/special/041023/TKY200411150283.html>

4) 北陸ガス：地震と都市ガス、2004.5

10. 3. 7 地震動の特徴

今回の地震動の特長については既に2章で記したが、ここでは建築物への影響の観点からみた地震動の特徴として要点を記載する。

特に、今回の地震では大振幅の加速度記録がいくつか採取されており、それらの記録の特性と被害との対応が重要な検討課題である。このような観点から、大きな地震動が観測された川口町と小千谷市で、被害が比較的軽微であった施設に強震計を設置し、余震観測を行っている。

- (1) 本震の震源メカニズムは西側の岩盤が東側の岩盤にのりあげた逆断層型の地震である。また、大きな余震は本震とは異なる断層面でも発生している。
- (2) 遠地実体波記録と近地強震動記録を用いて断層面での破壊伝搬過程を推定した結果、地震のモーメントマグニチュード(Mw)は 6.5 となった。また破壊継続時間は 11 秒、最大滑り量は 3.7m と推定された。さらに断層面上における地震滑り量分布も推定した。これらについては、建築研究所ホームページに公開した。
- (3) 震度の大きな地点が断層面に沿って北東－南西に長く分布している。
- (4) 最大加速度についても 500 ガルを超える地域が震央を中心に北東－南西に長く分布しており、震央付近では 1000 ガルを超える加速度が観測されている。
- (5) 震央付近の強震観測記録（小千谷、十日町、長岡など）を見ると、比較的近い地点でも最大加速度で 1.5 倍程度の差を示すもの、地盤の動特性の変状などの可能性が記録から読み取れるもの、方向性が顕著なものなどがある。
- (6) 1995 年兵庫県南部地震では、最大速度振幅が従来に比較して極めて大きい記録が見られたが、今回の観測記録のうち、K-Net 小千谷で 100cm/s を超える速度振幅が記録されている。JMA 小千谷地点でも 90cm/s 程度の最大速度を記録したが、これら以外の地点での最大速度はそれほど大きくない。
- (7) K-net 小千谷と JMA 小千谷の記録を 1995 年兵庫県南部地震時の JMA 神戸、JR 鷹取、大阪ガス葺合といった、同地震での最大級の応答スペクトルと比較すると、周期 1 秒以下では、小千谷での両記録が上回るか同等であるが、周期 1 秒以上では、神戸の記録が大きく上回っている。
- (8) 震源近傍の小千谷地域で地盤上の観測記録を用いた、限界耐力計算で規定される建築物の要求曲線、エネルギースペクトルおよび弾塑性応答により、建築物への影響という観点から地震動について検討すると、地盤上の加速度記録がそのまま作用したと仮定すると、0.3 秒や 0.5 秒の弾性周期を有する比較的短周期の建築物の応答が大きくなり、大きな構造的被害が発生する結果が得られた。観測記録の加速度振幅レベルは極めて大きい、局所的な表層地盤の増幅効果や建築物への作用地震動、いわゆる有効入力動の検討が必要である。
- (9) 余震が頻発していることから、主要 3 地点（川口町役場、小千谷市役所、小千谷小学校）で建築物を対象とした余震観測を行っている。この 3 地点は、強震記録の振

幅レベルに比して近隣建物の被害が比較的軽微である地点である。いずれも、本震を記録した地盤上の観測記録との比較を目的としている。現段階では、必ずしも十分な考察を行っていないが、小千谷小学校校舎1階と K-net 小千谷の記録との比較では、加速度波形に差異が認められる。また、小千谷市役所の庁舎1階と地盤上での記録の比較でも、庁舎1階の記録との有意な差を検出している。

今後検討すべきことあるいは課題として以下のことがあげられる。

- (1) 本震、余震について、今後多くのデータが公表されるものと考えられるので、それらの記録を収集し、強震記録の分析を行なう。
- (2) 今回の地震では、震源に近い地点を中心に、極めて大きな加速度振幅が観測された。その応答スペクトルも周期1秒以下で過去最大級のレベルであり、これらの高いレベルの地震動が建築物にそのまま入力したと仮定すると、大きな被害が想定される。しかし、観測点周辺の建築物の被害は比較的軽微であることもあり、建築物への入力地震動および上部構造の性能の観点から、地震被害に関する総合的な検討が必要である。建築物への入力地震動については、本震記録や余震記録の分析あるいは微動測定の結果などを踏まえて、表層地盤特性の影響や建築物への有効入力動の評価等の検討を進める予定である。
- (3) 被災地域は山間の崖地、傾斜地あるいは、河川沿いに土砂が厚く堆積した地域に開かれた町、村落であり、この地域の地形的、地質的な特徴が被災地での地震動の大きさや特性にどのような影響を与えたかについても今後検討する必要がある。具体的には表層地質、表層地盤の特性に関する定量的データの収集と整理を行い、地震動の増幅特性の評価を行う。(非線形挙動、液状化などとの関連からも検討が必要。)
- (4) 強震記録を分析し、震源近傍地震動の評価法の高度化への資料をまとめる。
- (5) 構造物内への強震計の設置がなかったため、実際の入力地震動レベルの推定を困難にしている。地域の主要な構造物(市町村庁舎など)への強震計の設置を進める方策を検討する。

10. 4. まとめ

平成 16 年新潟県中越地震は、本震の推定規模がマグニチュード 6.8 と推定される内陸型の地震で、川口町で 1995 年兵庫県南部地震以来となる震度 7 が観測されたほか、広い範囲で極めて強い地震動が観測された。また、多数の余震も発生しており、その中には、マグニチュード 6 クラスの強いものが複数回発生したことも特徴として挙げられる。

現時点における調査結果の概要を、本章のまとめとして以下に示す。

地震動については、本震で発生した地震動の最大加速度が 500 ガルを超える地域が震央を中心に北東―南西に長く分布しており、震央付近では 1000 ガルを超える加速度が観測されている。

K-net 小千谷と JMA 小千谷での観測記録を、1995 年兵庫県南部地震時の JMA 神戸、JR 鷹取及び大阪ガス葺合での観測記録の加速度応答スペクトルと比較すると、固有周期 1 秒以下の周期域では、小千谷での両記録が大きく上回るのに対し、固有周期 1 秒以上では、神戸の記録が大きく上回っている。地震動の加速度が大きいものの、観測点周辺の建築物の被害は比較的軽微であるものが多いことから、地盤上で観測される地震動と実際に建築物に作用する地震動との関係を、建築物の構造特性、地盤の動特性や地形の影響等の条件を踏まえて明らかにする必要がある。

木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造などの建築物については、以下のことが言える。

木造建築物では、地滑り、土砂崩落等に伴う被害が目立った。比較的古い建物で、大きな被害を受けたものが見られた。地盤による地震動の増幅あるいは壁量の不足などが原因として考えられる。1 層を RC 造とした高床式木造は概して被害軽微であったが、2 層以上の木造部分の壁量不足などの設計不備が原因と想像される被害や、地盤変状による被害を受けた家屋は少なからず存在した。

鉄筋コンクリート造建築物では、比較的大きな被害は少ないという印象がある。ただ、1981 年の新耐震設計法施行（以下「新耐震」という。）以前の建築物での柱、はりのせん断破壊、腰壁、垂れ壁等により短柱化した柱のせん断破壊といった被害が目についた。短柱化した柱のせん断破壊は新耐震以降の建築物にも見られ、詳細な検討を行う予定である。

鉄骨造建築物では、新耐震以前の体育館等で、ブレースの破断や間柱脚部のアンカーボルトの破断等の被害が目立った。また、天井材の落下等の非構造部材の被害も少なからず見られた。

今回の地震であらためて、新耐震以前の建築物についての耐震診断、耐震補強の重要性が再確認された。今後、被害の多寡が生じた原因や、被害軽減にむけて必要な対策等に関する検討を実施する予定である。

なお既に降雪期に入っているため、被災して構造耐力が下がっていると見られる木造建築物については、被害拡大を防ぐ意味で、応急的な補強対策が望まれる。また被災した鉄

骨造体育館等についても、被害拡大を最小限に留めるためには、破断ブレースの交換等の応急対策が望まれる。

基礎については、1995年兵庫県南部地震等の過去の被災状況と同様に、築年数の古い木造等の戸建て住宅では、無筋コンクリート造や無補強のコンクリートブロック積、一体に繋がっていない基礎などの基礎の立ち上がり部分の破壊や土台の外れ等の被害が多く見られた。このような被害を生じた建築物にあっては、不同沈下や傾斜などの障害も同時に生ずることが多かった。斜面の崩壊を防ぐために設けられた空積・練積やブロック積みといった古いタイプの擁壁の変状や崩壊が多く見られた。緩斜面等での地すべりや液状化によって多くの建築物で傾斜等の障害を生じた地域の中には過去に沢や河道であったことが確認できたものがあり、基礎被害と地盤条件の関係をより詳細に検討する必要がある。

免震建築物については、小千谷に建設された免震建築物では、免震部材の軌跡や地震動観測の加速度記録から十分な免震効果が確認できた。今後、免震部材の地震時の挙動と力学的特性の関係を詳しく検討するとともに、さらにいくつかの免震建築物を調査し、地震時の揺れの様子をまとめる予定である。

火災については、地震の規模や発生時刻から予想される火災件数及び被害に比べて、報告された火災件数及び被害は小さいものであったと言える。この理由を詳細に分析することが今後の課題である。

今回は調査棟数が限られており、被害の地域的特徴等についての分析が必ずしも十分でないが、今後応急危険度判定の結果分析等を通じて更に被害の特徴を明らかにしていく。