

「平成18年度工学部予算重点配分研究テーマに係る研究報告書」

(1) 研究テーマ

能登半島地震被害調査に基づく建築設計・施工・維持管理に対する提言

(2) 研究代表者及び分担者（職・氏名）

建築建設工学専攻・ 教授・小林 克巳
建築建設工学専攻・ 教授・松下 聡
建築建設工学専攻・ 教授・石川浩一郎
地域共同研究センター・客員教授・大前 安和
建築建設工学専攻・ 講師・磯 雅人
建築建設工学専攻・ 講師・高嶋 猛
建築建設工学専攻・ 助教・福井 宇洋

(3) 研究成果の概要

別紙

(4) 配分額及び経費の支出額内訳（見込み）

配分額	¥		.
支出額		¥	
		¥	
		¥	
		計	¥

(5) その他特記事項

(a) 研究報告会を実施した

能登半島地震建物被害調査研究報告会（速報）

—— 能登半島地震から学ぶ建築設計・構工法 ——

日 時：2007年6月2日(土) 10:00～12:30

場 所：福井大学総合研究棟13階大会議室

参加者：約140名

(b) 平成20年3月末に、復興状況の追跡調査を実施した。

(c) 追跡調査結果も含め、平成19年度工学部予算重点配分研究テーマに係る調査研究「新潟県中越沖地震被害調査に基づく建築設計・施工・維持管理に対する提言」と合本で、研究報告書を印刷し、学内外の関係者へ配布した。

2007年能登半島地震被害調査報告(概要)

1. 地震の概要

輪島市南西40km付近の能登半島沖で、平成19年3月25日9時42分頃に発生。震源深さは約11km、地震の規模を示すマグニチュードは6.9であった。被災した建物は、そのほとんどが木造建物である。木造建物の被災が比較的顕著であった地域は、輪島市門前町走出、黒島町、道下、旧輪島市の中心街、穴水町の大町川島地区である。当該地域は川に近接しており、堆積層が比較的厚い地盤構造を持った地域と考えられ、地震波が増幅されたことが推察される。

2. 木造住宅の被害の特徴

屋根瓦の移動・落下はどの地震でも見られる。原因は構造体下部を基礎と緊結することによる家屋上部の大きな揺れと考えられる。また、被害程度は瓦の葺き方(土置き、銅線留め、釘打ち)にも関係すると思われる。

2階建住宅の1階柱の損壊による住宅の倒壊・傾斜が多く見られた。柱間装置の不統一、横架材断面寸法の違い、無理な継ぎ手、柱径・壁量の不足などが柱の損壊の原因と考えられる。

柱下部、土台等の腐朽による被害が多く見られた。過去の水害、シロアリ、大壁部分の換気不足、クラック・目地からの漏水等、理由は様々で、発見が困難となり構造体に大きな損傷を生ずる原因となっている。過剰な仕上げは負の要因で、壁や開口部からの水分の侵入防止が土台や柱・貫等の腐朽を防ぎ、建物の寿命を延ばす要因になる。

安易な増築を行ったことによる被害が目立つ。CB造基礎・壁を持たない独立柱での増築部が大きな被害を受けた事例が象徴的であった。

一概に古い木造住宅が地震に弱いとは言いきれない。施主および建築関係者の両者において、木造構工法への理解不足が被害を拡大させる一因となっていると思われる。建物への考え方、使用材料等の変化はあるが、構造体・化粧材の性質・性能を見極めて造ることが益々重要になっている。そうでなければ、今回被害のなかった、あるいは少なかった家屋でも将来の保証はない。

3. 建築計画上の被害の特徴

間口を全て開口部としたいのが商店建築である。1階前面部の剛性が極端に小さくなり、変形が集中して容易に倒壊に到る。方杖、妻壁に対する控壁、構造要素となるファサードのデザイン等、剛性バランスを考えた設計、改修が求められる。

戦後間もない頃にできたと推測される真壁構造に、柱梁骨組みと一体となってエネルギー吸収をした形跡が伺われる。土壁であっても機能すれば、この程度の被害で留まったからよしとする考え方もあるが、外装材の交換

だけでなく、老朽化した部材の修理・交換、場合によっては壁構造の変更まで検討すれば、耐震性能を著しく向上させることができたであろうという評価もあり、今後の耐震改修の参考となろう。外装材を剥がして改修する時がチャンスであり、専門家から適切なアドバイスが得られるシステムが必要と考えられる。

下屋が破壊したり、柱や梁がずれたりしている状況が見られた。本屋と下屋の一体化の程度などによるが、下屋であっても、十分な構造強度が必要で、筋交い、火打梁などをバランスよく配置し、本屋を補強するような構造が望ましいが、その逆の場合が多数見られる。本屋を助けるような下屋の構工法が求められる。

新しい住宅に大きい被害はあまり見られなかった。しかし、軒の出が小さく庇や霧よけのないものも見られ、50、60年先に地震に遇った場合、どのような被害が発生するか分からない。建築時に、維持・改修しやすい造りの設計にしておく必要がある。

4. 土蔵の被害

内部は真新しく見えるが、土壁に隠れた外側は腐朽・蟻害が激しかった。貫は細く、間隔が狭く、腐朽によって弱った柱を割裂させた例も多く見られた。

壁に水が入ると柱に打った鉄釘を錆びさせ、木部の腐朽を促進する。壁の荷重は多くが扱き棧を経て柱に伝えられているが、中には貫に縦木舞を結わえ付けているものがあり、これは貫の破壊を引き起こしていた。

腰壁にモルタル塗り、あるいは石貼りの事例が多くある。湿気を呼び通気性を損ない、土壁を弱らせ木舞や軸組を傷めていた。

屋根瓦の下にはルーフィングを敷き、古くは杉皮などの下葺きをするのが当然であったが、倒壊した土蔵のいくつかは下葺きが無く土の上に直接瓦棧を置いて瓦を葺いていた。瓦の下に入った雨が土に染み込み、壁土をも濡らしている場合もあった。壁に染み込んだ水分は木舞や軸組さえも腐朽させる原因となっている。

腐朽し難い材料の選択、適切な軸組構法、重い壁を支える確実な木舞編みと結び下げの施工、壁土の確実な付着、固く重いモルタルや貼り石を土壁に負担させないこと、雨水を侵入させない確実な工法、これらのいずれかに不備のあったものが壊れるべくして壊れたように思われる。

5. 非構造部材の被害

本地震災害で得られた非構造部材に関する問題と教訓は、①天井の取付け方法の問題、②非構造部材の取付けディテール、③S造部材取付け部の問題、④構造スリットの問題と挙動等、過去と同様であり、設計上配慮すべきは基本的事項である。

震度6弱の能登町にある神野小学校の体育館で天井パネルの大規模な落下が発生した。昭和61年に竣工した比

較的新しい建物である。システム天井であり、山形屋根の水平・鉛直成分の変形に追従できなかつたものと推測される。

過去の地震被害と同様、Exp. Jの損傷が多数発生した。大きな損傷とは言えないものの使用者にとっては目立つ被害であり、Exp. Jの間隔、ディテール等についての配慮が必要である。

現場で施工して取付ける外装材に多く被害が発生していた。塩害、結露、雨仕舞い、経年劣化等に伴う鋼材の錆、木材の腐食等の原因による接合部の著しい耐力劣化に起因して、殆ど抵抗の跡もなくずれ、脱落が起きている。取り付けディテールの不具合により、縦壁挿入筋構法のALCパネル壁のずれも起きている。

6. 非木造建物の被害

S造、RC造建物とも損傷は全般的に軽微であった。ここでは代表的な被害例について特徴を述べる。

(1) 七尾市立小丸山小学校体育館の被害

昭和46年3月竣工である。一つのX形筋違構面での座屈と全ての山形鋼筋違のガセット取付け部の損傷、ピン柱脚部のねじり変形が見られた。外フランジと筋違の交点につなが材が無く、柱外フランジが折れ曲がるなどの大きな損傷も見られた。これらの損傷が生じたために、いずれの筋違構面も剛性、耐力があまり発揮できなかったことが、著しい建物被害を誘発するリベット破断や端あき破断を生じなかつた一因かもしれないが、応答変形が大きいことで窓ガラスの破損の可能性も高く、また、柱フランジの折曲りは鉛直力支持能力を喪失させるもので大きな余震に対する配慮という点からは接合部詳細の不備、即ち、応力の流れが円滑でないこと、板曲げやせん断で応力を伝達させることは最も避けたい事柄である。

(2) 輪島市でのS造小学校校舎の被害

ダイヤモンドトラス屋根の体育館とL形平面3階建てS造校舎からなる小学校が3校ある。

中山間地の高台に位置する昭和54年竣工の三井小学校校舎は、桁行き方向がH形鋼柱の純ラーメン構造、張間方向が1スパンの筋違付ラーメン構造で、層剛性が低く変形しやすい構造である。突出部妻面の縦壁挿入筋構法によるALCパネルが大きな水平変位に追従できず、3階では脱落寸前の状態であった。教室境のLGS下地の間仕切壁は構造躯体の大変形に追従できず、3階では脱落して倒れていた。一方、体育館の変断面H形鉄骨柱は外部に露出し、基礎部では腐食によりフランジに著しい減厚が、外壁、基礎等にはクラックが生じ、保守状態は極めて悪かった。

河原田川流域の山間から出たところにある昭和57年竣工の河原田小学校校舎は、張間方向が2スパンとなっている。音楽室と廊下の境界に設けられたブロック壁が面外方向に振れ、ブロック壁にそって天井仕上げ材が落下

していた。また、体育館での損傷は無かった。

鳳至川沿いに位置する昭和58年2月竣工の大屋小学校は柱が角形鋼管で張間2スパンの校舎で、校舎、体育館共目立った損傷は認められず、浄化槽破損・建物周囲沈下等の被害が発生しただけだった。

新耐震設計法(昭和56年施行)前後で、構造性能が異なる好事例である。

(3) 輪島市のRC造中学校の被害

平成17年竣工の門前中学校は、校舎・管理棟、体育館および付属棟がExp. Jを介して一体的に接続するモダンな設計の学校である。管理棟は、中央の円筒状のRC壁で地震力の多くを負担し、多くの吹抜けを有するが、応力の流れが明解でない。結果として、柱の曲げせん断ひび割れ、階段室周りの壁脚部の圧壊、柱頭の接合部の損傷、円筒状RC耐震壁の斜めひび割れ、1階床スラブのひび割れ、雑壁のひび割れ等が発生した。体育館では、柱と壁の殆どの取合い部が完全スリットになっており、その部分が損傷した。曲げ破壊形の骨組となるようにあらゆる場所に構造スリットを設けることは、建物の剛性を弱めてしまって大きな変形を引起こし、構造的な被害と言えないまでも、建物機能を停止に追い込むような被害となりうる事例である。

7. おわりに

非木造建築物に深刻な被害が少なかったのは幸いであったが、古い木造家屋の倒壊が目立った。しかし、古いとってそれだけで片付けられる問題ではない。特有の気象条件、加えて過疎・高齢化の問題をもち、経済力も十分でない地域で、木造・非木造に拘わらず既存のストックをどう補修・維持しながら地震に備えていくかという問題に社会は直面している。

直接あるいは間接の被害原因を考察すると、建築設計の基本に関わることが多くある。建築に携わる者が、もう一度基本に戻って、なぜそのような設計にするのか考える必要がある。建物使用者側では、現実にはなかなか難しいかもしれないが、専門家に相談しながら日常の維持管理をしていくことが必要である。

変形に伴う天井仕上げ材や外装材の落下の問題は、非構造要素であっても耐震設計が必要であることを示している。建築生産が分業化している現実ではあるが、非構造要素、設備機器等についても耐震設計が必要であるとの認識をもって連携していくこと重要である。

続いて、また新潟県中越沖地震(2007年7月16日)が発生した。既存のストックをどう補修・維持しながら地震に備えていくかという問題は、待たなしの問題になっている。この調査結果を単なる記録として残すのではなく、建物使用者の立場にたつて、安心・安全な環境づくりのために、建築の専門家と称する我々に課せられた役割を再確認する機会としたい。

「平成19年度工学部予算重点配分研究テーマに係る研究報告書」

(1) 研究テーマ

新潟県中越沖地震被害調査に基づく建築設計・施工・維持管理に対する提言

(2) 研究代表者及び分担者（職・氏名）

建築建設工学専攻・ 教授・小林 克巳
建築建設工学専攻・ 教授・松下 聡
建築建設工学専攻・ 教授・石川浩一郎
地域共同研究センター・客員教授・大前 安和
建築建設工学専攻・ 講師・磯 雅人
建築建設工学専攻・ 講師・高嶋 猛
建築建設工学専攻・ 助教・福井 宇洋

(3) 研究成果の概要

別紙

(4) 配分額及び経費の支出額内訳

配分額	¥	
支出額		

(5) その他特記事項

(a) 研究報告会を実施した。

新潟県中越沖地震建物被害調査報告会（速報）

— 既存ストックの地震被害軽減を目指して —

日 時： 2007年10月6日(土) 13:00～17:00

場 所： 福井大学総合研究棟13階大会議室

参加者：約120名

(b) 平成18年度工学部予算重点配分研究テーマに係る調査研究「能登半島地震被害調査に基づく建築設計・施工・維持管理に対する提言」と合本で、研究報告書を印刷し、学内外の関係者へ配布した。

(c) 平成20年3月末に、復興状況の追跡調査を実施した。

2007 年中越沖地震被害調査報告(概要)

1. 地震の概要

本地震の最大加速度は、柏崎 (NIG018) において記録され、NS 方向 667gal, EW 方向 514gal, UD 方向 369gal であった。また、柏崎の波は、加速度、速度ともに神戸 JMA 波にほぼ匹敵する大きさを有している。小千谷では、0.4 秒前後にピークが見られるのに対し、柏崎では 2~3 秒にピークがある。柏崎は、短周期から 3 秒程度の広範囲の周期で加速度応答スペクトルがほぼ 1.0G を示している。このことが、柏崎地域の建物を大きく被災させた 1 つの要因と考えられる。

2. 鉄筋コンクリート造および鉄骨造建築物の被害

致命的な被害を受けた RC 造建築物はなかった。地盤の影響が大きく、入力が小さかったと推測される。

エキスパンションジョイント (Exp. J) に大きな損傷を受けている建物が多かったが、建物の変形だけでなく、とくに地盤の変形も合わさって Exp. J が衝突した形跡がある。Exp. J 間隔の決め方を再考する必要がある。

3 年前の中越地震で被害を受け、その後耐震補強を行ったがまた被害を受けた建物、補強しないで今回より大きな被害を受けた建物、補強して今回無被害だった建物がある。補強の考え方、補強の効果などを検証する必要がある。

鉄骨造建築物の被害も RC 造建築物と同様に致命的な被害は少ない。しかし、他の地震被害と同様に、軸組筋違や屋根筋違の座屈、天井仕上げ材や外装材の落下などの被害は多発した。Exp. J 部の損傷は RC 造建物と同様である。非構造要素、設備機器等を含めて、構造物の細部まで耐震性の検討をしておく必要がある。

3. 非構造要素の被害

天井、壁、ガラス窓等の非構造部材に被害が見られた。下部構造の損傷、接合部の取り合いの不具合、天井面の段差、クリアランス不足等による天井の被害があった。特に、天井落下は人命保護の観点から本来ならばあってはならない被害である。原因としては、①地震応答に対する変形追随性の欠如、②腐食による耐久性の低下、③タイル、モルタル等の剥離等が挙げられる。塩分を含む風雪を受ける海浜地域にあっては、耐久性を維持することが特に重要である。

4. 木造住宅の特徴と被害

市街地・周辺地区とも屋根瓦のずれと落下は共通して見られるが、棟瓦をモルタルで固めているために、これが大きくずれたり落下している。また、液状化あるいは地滑りによる基礎の崩壊が見られ、北

側から舌状に細く延びた丘陵地が旧市街地を形成し、これを挟んで海 (西) 側の砂地と山 (東) 側に広がる湿地帯から成る柏崎市の地形と大きく関係し、3 年前の中越地震との被害場所の差も見られる。

柱梁の腐朽、1 階柱の差鴨居位置での腰折れ、付土台からの柱の外れ、外壁の剥落などが多く見られた。原因は、柱断面が小さく壁量が少ないことや仕口部金物の不使用もあるが、庇の出が少ないことによる雨水の浸入により腐朽していること、母屋にまで到るシロアリ被害が広がっていることがある。在来工法の新築住宅は概して無傷であり、壁量を規定した設計基準はそれなりに機能しているが、構造体の管理と耐久性の維持が今後の課題であろう。

妻入が多い市街地の町家で見られる特徴では、中央部に大きな吹き抜けを作り、束柱が 6 尺間のものが多い。これは中央部の水平剛性に弱点があり、壁剛性が低い。また、下屋のない方向への倒壊、切石積の基礎のずれなども見られた。一方、地震に弱いとされている間口いっぱいの開口部を持った商店や車庫の中にも、大断面の柱・梁による構成や方杖の設置によって被害を免れた事例が見られ、今後の検証が必要である。

5. 土蔵および周辺部の木造住宅の特徴と被害

◆土蔵

市街地で倒壊した土蔵はいずれも土居葺きを欠いていた。そのため瓦の下に入った雨は屋根の土から次第に壁土に伝わって壁土の強度を損なうばかりか小舞や貫、柱までも腐朽させ、軸組の構造強度を弱体化させたと考えられる。

ケラバに並べた煉瓦は野地板の上に置く土の堰の役目を果たさせるものであろうか。軒蛇腹の上縁に煉瓦を貼付けているものがあり、煉瓦は縄で縛り付けてあったようだが野地板の上はともかく蛇腹のものは壁の剥離を助長したようにさえ見えた。

土壁は非常に厚く、大きく 2 層からなる。層間には 3 寸ほどの間隔で縄暖簾のように荒縄が塗り込めてあり、これが却って 2 層を剥離させたように見える。「縄暖簾」は長さが 6 尺ほどでその両端は扱き棧に留める。越前の標準的な土蔵では扱き棧は少なくとも 3 尺ごとに配されるからこれに比べると粗い。小舞の密度も粗いものが目立った。

巨大な三階蔵では一階の半分ほどまで腰を木ズリ下地とし、その外側に日干し煉瓦を積み上げていた。その上は土壁だが、二階腰のあたりに金物のブラケットを柱に打って思い土壁を支えようとしていた。

いずれにしても防火に気を取られてか、壁厚を大きくする事に意を注ぎ、それが仇となって土壁の一体化に失敗し軸組の負担となって崩壊に至ったと考

えられる。

◆住宅

周辺部には、瓦葺き平入二階建ての重厚な主屋と簡素な納屋をもつ木造住宅(農家)が存在する。納屋の被害が目立つが、小壁の束柱を6尺間にするなど壁剛性の低下に繋がっている。納屋特有の開口部の偏りや梁組の簡略化などによる水平剛性の脆弱化も原因の一つであろう。

これらのことから、◇バランスのよい壁配置を◇合理的な軸組を◇軽い屋根を◇雨は屋根で確実に止める(雨が壁にかからぬよう軒を深くする)◇足固めをしっかり行う◇土居葺き(瓦下地)を確実に施工する◇壁下地(小舞)の適切な施工を◇壁の一体化を図り剥離を防ぐ、などが強く求められる。

6. 寺社建築の特徴と被害

柏崎市街地に土蔵造の本堂をもつ寺院が多い。明治期に繰り返し起きた大火により、防火建築としておりようである。真壁造としているものもあるが、古くて江戸時代後期からの建物と思われる。屋根葺材は瓦が多いが、土蔵造の場合には屋根面の塗り土と合わせて、屋根重量の大きな建物となっている。

土蔵造建物の多くは、土壁と軸部が剥離して倒壊に近い被害を受けた。向拝の被害が大きい。屋根の重い建物の被害が大きく、細い柱が鴨居位置で折れているのは、一般住宅と同じである。一方、建物の割に柱が太い、壁が多い、屋根が軽いといった場合には、壁のひび割れあるいは礎石と柱がずれる程度の軽微な被害で済んでいる。柱の少ない建物(鐘楼)では、転倒や礎石からのずれが生じた例が多い。

神社建築には、とりわけ他と異なった特徴はない。屋根が大きくて重い本殿や拝殿が倒壊あるいは大きく傾いた。貫や壁の少ない拝殿開口部、向拝の繋ぎ虹梁仕口が破損した例が多い。基礎の小さな鳥居は転倒した例が多いが、柱の多い鳥居(両部鳥居)は礎石からずれているが大きな被害はなかった。木製鳥居の腐りやシロアリ被害による倒壊も見られた。

寺社建築は地域コミュニティを構成する一施設であり、伝統・文化を継承していくためのものでもある。将来においても、維持して使用していくために、母屋と向拝の繋結方法、土蔵造の壁と柱・貫の繋結方法、石造鳥居・灯籠の耐震化などを含め、寺社建築を対象とした耐震補強方法の検討が必要である。

7. 応急危険度判定結果と福井県における木造住宅の耐震化

地震発生後、18日に新潟県より被災建築物の応急危険度判定の支援要請があり、福井県より12名が派遣された。19日には追加支援要請があり、さらに10名が派遣された。柏崎市内で合計764棟の応急危険

度判定を担当した。

福井県担当分を含めて柏崎市全体の判定結果は、以下の通りである。柏崎市と福井県における木造住宅の年代別統計の割合は、極めて似通った数値であり、同規模の地震がおこれば、福井県でも同じ割合の住宅が危険にさらされることになる。

新潟県柏崎市の応急危険度判定結果(悉皆調査)		
赤 立入ることは危険	4,616棟	14.4%
黄 立入る場合は十分注意	8,295棟	25.8%
緑 使用可能	19,179棟	59.8%

福井県には既存不適格の判定対象となる住宅が約11万棟あると言われている。その数は膨大であり、まずは簡易な耐震診断方法(誰でもできるわが家の耐震診断)によって自己診断を促している。自己診断のためのパンフレットは福井県(土木部 建築住宅課)のホームページから入手できるが、土木事務所の窓口でも入手できる。自己負担3,000円で専門家による耐震診断を受けられる制度もあるが、平成17~18年度に982戸しかこの制度が利用されておらず、本制度の周知と啓蒙が必要である。

8. まとめ

新潟県中越沖地震でも、古い建物や木造住宅に被害が目立っていた。今日までに、地震被害結果からその背景と原因を分析し、設計に反映してきたが、既存の建築物は対象外で今後の地震でも多かれ少なかれ、古い建物や木造住宅が被害を受けることは明らかである。

阪神大震災以降耐震改修促進法が施行され、避難、防災施設としての公共建物について、耐震診断は9割程度、耐震化率は約6割と近年成果を挙げてきている。しかしながら、民間建物の耐震化は十分とは言えないのが現状である。とりわけ住宅が地震被害を受ければ修復に伴う個人的な経済的負担は大きい。高齢化に加えて過疎化を促進し、町並みあるいは歴史の喪失、すなわち“まち”の崩壊に至る可能性は大である。

このような莫大な損失を容認するのか、あるいは事前に僅かな費用を負担するのかどちらが良いのかは自明である。行政、設計者、施工者、施設管理者、技能者等の建築に関係する人々に対し、非構造要素、設備機器等を含めての構造物の耐震化と長寿命化の重要性和耐震診断・補強への理解を啓蒙し、既存不適格構造物を早急に無くすることが肝要である。今回の調査報告がその一助となれば幸いである。