

平成16年新潟県中越地震における木造住宅の被害

園田 里見, 栗崎 宏, 柴 和宏

Damage of Wooden Houses by 2004 Mid Niigata Earthquake

Satomi SONODA, Hiroshi KURISAKI, Kazuhiro SHIBA

平成16年新潟県中越地震における激震ゾーンを中心に主に木造住宅の被害調査を行なった。被害と建物の特徴との因果関係は過去の地震災害調査から判明している知見と概ね一致するものであった。山間部の直下型地震であり、地震発生前の秋雨前線の影響もあり、地盤被害は顕著であった。住宅の耐震性については構造計画の重要性が再認識された。同時に既存不適格建築物への耐震改修が今後の重要な課題であることが示唆された。また、被害建物の修復状況についての知見も得られた。

1. 緒言

2004年10月23日に死者と多くの被災者を出した平成16年新潟県中越地震（以下、中越地震と略す）の本震が発生した。大規模な余震が多発した点、被災地域が雪深い中山間地域であった点、多くの避難者を出した点などは特徴的である。これまでは、主に都市直下型地震が注目されてきたが、国内に多く存在する中山間地域における地震災害の問題点が浮き彫りとなった。本報では、地震発生から1ヶ月半ほど経過し、かつ短い調査期間ではあったが、同震災の被害調査の機会を得たのでここに報告する。

2. 中越地震の概要

本震の概要^{1) 2)}を表1に示す。川口町の強震計は震度以外のデータが計測されていなかったが、最大震度7は計測震度開始以来の最大記録であった¹⁾。兵庫県南部地震の観測値は震源からやや離れた場所で計測されたとされているが、最大加速度802gal（葺合）、最大速度130kine（葺合）、最大水平動582cm（JR鷹取）と比較しても強力な地震であったことがわかる²⁾。中越地震は逆断層型の直下型地震で、震源地域周辺に集中的に大きな被害をもたらした。震源地域は傾斜地の多い山間部であるため、斜面崩壊や地滑りなどが多発し、道路の寸断などにより集

落が孤立したため、多くの避難者を出した。また、中越地震は、1943年の鳥取地震や1945年の三河地震のように余震活動が活発で、本震後にマグニチュード6以上の余震が4回以上も発生した¹⁾。大規模で活発な余震活動は、建築物の被害を拡大しただけでなく、避難生活者に著しい精神的苦痛を与えた。

表1 中越地震本震の概要

発生時刻	2004年10月23日17時56分
発生場所	新潟県北魚沼郡川口町 深さ13kmの地点
地震規模	マグニチュード6.8
最大震度	震度7
最大加速度	1716gal (K-NET十日町)
最大速度	134kine (K-NET小千谷)
最大水平動	553cm (K-NET小千谷)

3. 調査の方法

中越地震では本震発生直後よりインターネットなどで多くの速報が公開された。また、本報の調査前に現地調査を行なった複数の研究者から情報を得る事ができた。これらの情報を元に、平成16年12月14日に新潟県北魚沼郡川口町の市街中心部および、激震ゾーン³⁾に含まれる同町田麦山地区と和南津地区

の調査を行なった。また、13日に予備調査としてJR長岡駅周辺市街を調査した。調査は時間的な制約のため建物外部から観察できる範囲に留まったが、一部で居住者の聞き取りを行なうことができた。

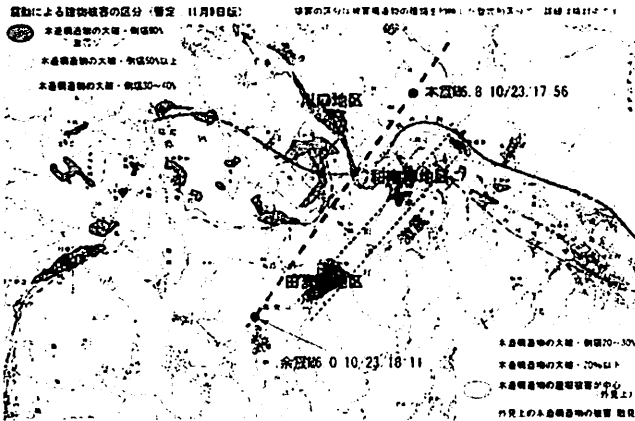


図1 中越地震における木造建造物の被害に基づく激震ゾーン³⁾ (注: 原図に地区名を加筆)

4. 調査結果

4.1 地域による被害ならびに復旧の差異

中越地震による地域的な被害事例や被害統計は既に各方面から報告されているが、本調査の範囲では、激震ゾーンにおける被害程度が著しく、特に激震ゾーンで示された帯状の地域に被害が集中しているように見受けられた。これに次いで、川口地区(川口町中心市街)の被害が大きいが、その中でも町の通りによって被害程度に差異がある印象をうけた。JR長岡駅付近の市街は、耐震性が同程度と思われる住宅を比較しても激震ゾーンや川口地区よりも被害程度は小さかった。

調査時点での修復状況は、被害程度の他に地理的な問題を反映してか、田麦山地区のような郊外に比べ市街地で比較的進んでいるように見受けられた。

4.2 構造的な被害

地盤や基礎に関連した被害が目立ったものの、戸建木造住宅の構造的な被害は過去の地震災害で報告されている事例と概ね一致するものであった。軽微な被害としては、外装の亀裂が多くみられた。瓦葺きの住宅では瓦の落下も見られたが、地域的な特徴であるのか瓦葺きの仕様は比較的少なかった。一方、深刻な構造被害は基礎、接合部、壁量などの耐力不足に起因するものが多くみられた。このような住宅は多くが既存不適格建築に該当すると考えられる。

使用中に頻発する(再現期間の短い)外力による比較的軽微な損傷に対しては、使用者が建物の使用期間中に補強や補修などの対策を個別に講じることが期待できる。一方、記録的な地震や強風、積雪などの再現期間の長い外力に対する性能強化は、特に戸建住宅では、建築基準法などの公的なルール of 改正に依存しており、その適用は専ら新設住宅に向けられる。実際、記録的な地震の後には、関係者の調査や研究、社会的に普及可能な技術水準や経済性を反映して、基準が改正され、新設住宅の耐震仕様が大きく向上してきた。換言すれば、本震災のように記録的な地震があった場合には、本来そのような大きな外力を想定せずに設計・建築された既存不適格住宅に特に被害が集中することになる。

本報で被害事例の仕様や性能について「不備」や「不十分」と評したものは、主に「現行の建築基準法などの、現代の一般的な仕様や性能に比らべ」あるいは「今回の地震に抵抗するのに十分な仕様や性能に対して」述べたものであって、必ずしも建設時点での十分さを評したのではないことを断っておく。

4.2.1 基礎の被害

本調査では特徴的な2種類の基礎がみられた。一つは、築年代の古い建物に多くみられた束基礎、コンクリートブロック基礎、無筋布基礎などの簡易な仕様の基礎である。もう一つは、克雪対策を目的に実質的には1階部分に相当する鉄骨造や鉄筋コンクリート(以下、RCと略す)造の基礎に木造住宅を載せた高床式木造住宅⁴⁾と呼ばれる混構造的な基礎で、本調査ではRC造の基礎が多くみられた。

簡易な仕様の基礎は、配筋が無いか不十分で、脆く、基礎構面としての一体性も極めて乏しい。そのため、束基礎では転倒、布基礎形状では、直交する基礎との隅角部での破壊が散見された。無筋布基礎は曲げに伴う引張り力に弱いので、容易に破壊を生じる(図2, 3)。上部構造との関係では、簡易な基礎は土台や柱との緊結が不十分なため、上部構造の水平移動を抑制できない。壁要素の水平せん断に伴う柱脚軸力も十分に伝達できない。そのため、柱の引抜け・踏み外しを生じ、極端な場合には家屋の転倒に至る。

一方、前述の高床式木造基礎は平成13年に基準が整理されるまで構造計算をされなかったものが多く、築年代により被害程度に差がみられると報告されて

いる⁴⁾。実質的には3階建て相当の高さとなるため、2階建て相当の構造計算で建築すると上部構造は耐力不足になる可能性が指摘されている⁵⁾。本調査でみられた範囲では、この形式の基礎は概して被害が軽微であった。多く見られた被害としては、水平動による上部構造のズレが挙げられる。この形式の基礎では上部構造に通じる階段が必要となるが、やや古いものでは基礎外の階段に水平亀裂が入る被害もみられた(図4)。これらの原因としては、基礎と上部構造あるいは付設部分との一体性が疑われる。多雪地域では利便性の点で住宅内蔵型の車庫(ビルトインカーポート)が好まれるが、この方式の住宅のほとんどが基礎内に車庫を設けていた。その為、基礎間口は大きな開口を採ることとなる。激震ゾーンでは、比較的新しい住宅でも開口部周辺に大きなクラックを生じた例がみられた(図5)。

基礎の耐震対策としては、簡易な仕様の基礎については、高床式木造のRC造基礎や現代の標準的な仕様であるRC造の布基礎やベタ基礎の被害が小さかったことから言えるように、十分に補強されたRC造の基礎を採用し、上部構造とできるだけ剛に緊結することが経済面および性能面で合理的であるといえよう。本調査ではみられなかった免震住宅は、コストが改善されれば様々な面で耐震性能の向上が期待できる。簡易な基礎に免震効果を期待する意見もあるが、免震構法は基礎と上部構造を剛に緊結しない点で簡易な基礎と類似してはいるが、基礎、床とも剛な構面を設け、緻密な構造計画を行って、初めて高い性能が発揮される構法である。簡易な基礎の改修としては、剛性を確保して上部構造と緊結する工法が妥当といえる。

高床式木造のRC造基礎については、被害程度からみても、十分に開口部補強が行われていれば、現行の3階建て扱いとした許容応力度設計で現実的には十分な対応となっていると考えられる。

4.2.2 浴室ブロック基礎の被害

特徴的な被害事例として、小松ら⁶⁾が報告しているように、激震ゾーンでは浴室ブロック基礎の被害が数件みられた(図6)。被害部位に共通してみられることは、①浴室廻りの高基礎が無筋もしくはそれに近いブロック基礎で、これを覆う外装が無い、②内部に浴室ユニットを入れたものが多い、この2点である。①は後述する無筋ブロック塀と同様で、

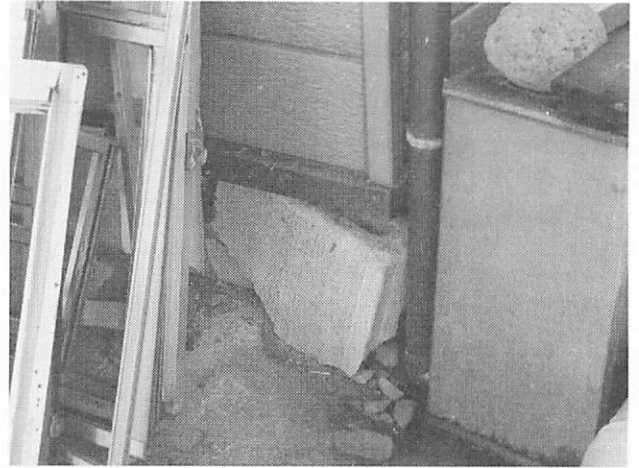


図2 コンクリートブロック基礎隅角部の破壊



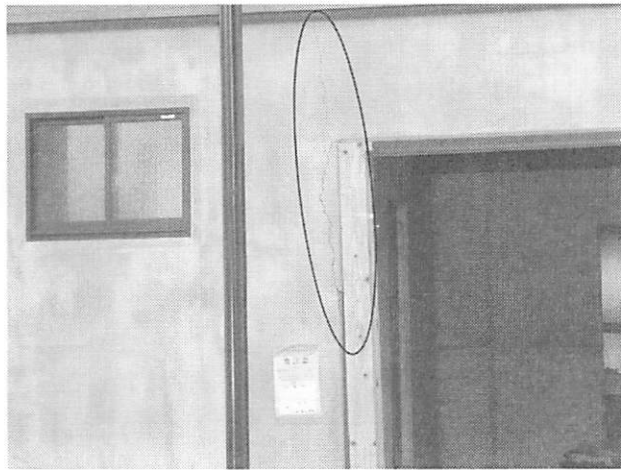
図3 無筋基礎の破壊と東基礎の踏み外し



図4 上部構造のズレと外部階段の亀裂(川口地区)



(a) 建物外観



(b) 開口肩部のクラック

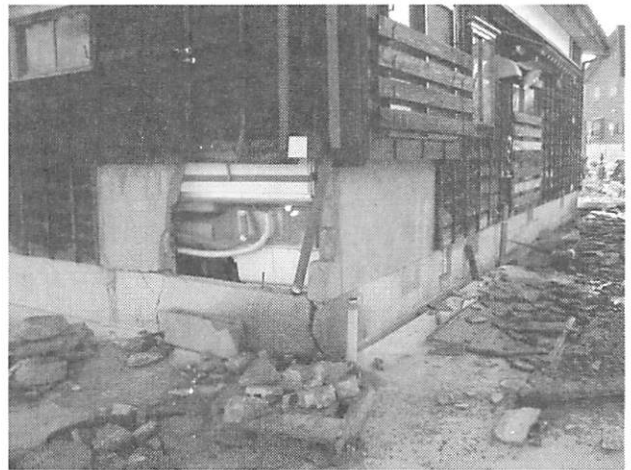
図5 高基礎開口部のクラック（田麦山地区）

配筋が無いため、大きな加速度が加わると転倒・破壊しやすい。また、外装がないために破壊部分が目に付き易い。浴室以外にも台所などの水廻り付近で類似した事例がみられた。高基礎ブロックを積むのは、水廻りの耐久性の問題から在来浴室などで一般的に行なわれてきたものであるが、②は新築であればブロック高基礎を積む必要はなく、浴室の寒冷対策などの目的で在来浴室を浴室ユニットにリフォームした時に無筋ブロック基礎を積み直したものと推定される。浴室ユニットは、構造躯体と一体的には接合されておらず、地震動に伴う慣性力で建物との振動の違いから躯体に衝突する可能性がある。図7の事例は比較的新しい高床式木造住宅であるが、浴室ユニットの衝突により外壁が破壊したものと推察される。破壊時に浴槽に湯がはられていたかは不明であるが、本震発生が夕刻であった点から、湯がは

られていた可能性もあり、その場合はより大きな力で外壁に衝突したとも考えられる。



(a) 田麦山地区の事例



(b) 和南津地区の事例

図6 浴室ブロック基礎の破壊



図7 浴室ユニットの衝突による外壁の破壊（田麦山地区）

4.2.3 接合部緊結に起因する被害

木造住宅の耐震性は壁や床の耐震要素に依存するが、耐震要素を十分に機能させ、かつ躯体を崩壊から維持する接合部の役割は極めて大きい。過去の地震被害の経験から現在の建築基準では、基礎のRC造化と同様に、金物による接合部の緊結を強く求めている。鋼材は木材やコンクリートに比べ塑性が大きく粘り強いので、接合部用材として合理的であるが、現在一般的に用いられているような金物の仕様が普及したのは、ごく近年のことでもある。したがって、接合部に関する既存不適格住宅は極めて多く存在する。今回の調査で特に顕著な被害が観察されたのは、柱脚と筋交い接合部であった。以下に激震ゾーンで観察された著しい被害事例を示す。

図8に示す転倒した2階建て木造住宅の事例では、土台はアンカーボルトで基礎に緊結されていたものの、観察できたのは下屋部分ではあるが、中柱、隅柱とも柱脚金物はカスガイ留めで、震源付近の強力な地震動による柱の引抜き力に耐えられなかったことが推察される。

図9に示す1階が崩壊した事例では、土台はアンカーボルトに緊結されていたが、柱脚金物はみられなかった。基礎は無筋で、隅角部が破壊していた。筋交い接合部は3本釘留めであった。柱一横架材接合部に引き寄せ金物が見られたが、これは改修時に施工した可能性がある。この家屋は、後述するが地盤も崩壊が著しく、倒壊原因には、地盤および基礎の崩壊、脚部緊結耐力の不足、1階壁量の不足が考えられる。

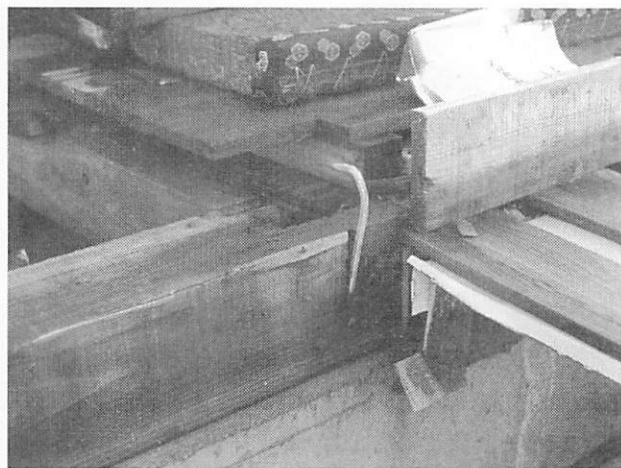
図10に示す比較的新しい高床式木造住宅（図7と同一の住宅）では、柱脚金物はみられず、土台を境に高床基礎と上部構造との一体性に乏しいため、基礎の被害は軽微なもの、木造1階（2層目）部分が高床基礎から梁間方向に飛び出すように大きく変形していた。筋交い端部は釘留めで、筋交い引張方向に引抜けていた。この建物では木造1階部分の桁行き方向の障子紙がほとんど破れていた。この住宅の近隣に築年代、構造ともに類似した住宅がみられ、被害も同様であった。これらの建物について、岩崎ら⁷⁾は壁量や偏心などの詳しい調査を行なっている。

図11に示す田麦山地区の木造公共施設の事例では、外装や柱脚付近に多数の破損が見られたが、過大な残留変形は見られなかった。このことは、耐力壁が

タスキ掛け筋交いで、十分ではないながらも柱脚や筋交い端部に構造用金物が使用されていたためと推察される。一方で、応力が集中する金物接合部では、柱や土台に著しい裂壊がみられた。この建物の隅柱の柱脚接合部にはかど金物CP・Lが用いられていたが、ホールダウン金物のように部材が負担するせん断面積がより大きく、負担応力が集中しにくい接合金物を使用すれば、柱・土台材の被害は緩和されると考えられる。



(a) 転倒した住宅の外観



(b) 柱脚接合部のカスガイ

図8 転倒した住宅（田麦山地区田中）



(a) 1階が崩壊した住宅の外観



(a) 建物の外観



(b) 土台-柱脚接合部の破壊状況

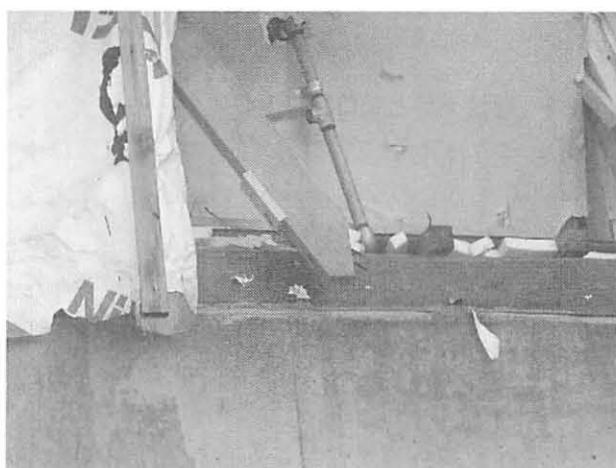


(b) 柱脚部分の破壊状況



(c) 筋交いおよび柱-横架材接合部

図9 1階が崩壊した木造住宅(和南津地区)

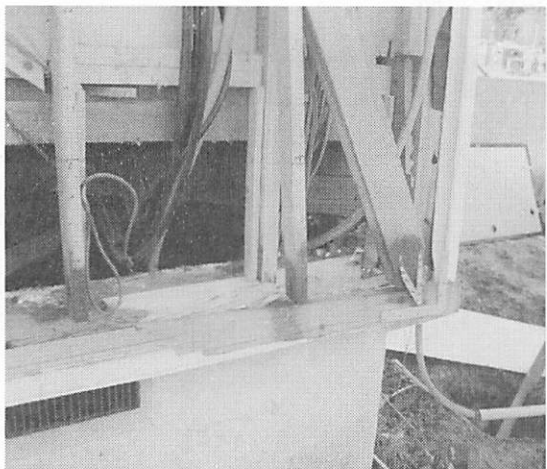


(c) 引抜け破壊した簡易な筋交い接合部

図10 上部構造が大破した比較的新しい高床式木造住宅(田麦山地区大形付近)



(a) 建物の外観



(b) 柱脚接合部と土台の裂壊

図11 接合金物を用いた木造2階建公共会館の被害例（田麦山地区）

4.2.4 壁量不足と間口開口

壁量不足とみられる被害には、①壁の実長自体は十分あるものの個々の壁耐力が小さい場合と、②大きな開口を設けたために部分的に壁量が不足した場合がみられた。前者は主に築年代がかなり古い家屋に多い（図12）。後者では、層の必要壁量のみならず偏心による応力集中が大きな問題となる。よく知られているように、間口面に大きな開口を設けた店舗併用住宅や車庫内蔵型住宅にみられる問題である（図13、14）。市街地では敷地と使用性の関係上、間口が狭く奥行きが長い形状になりやすいため、大きな水平力や転倒力が開口部に集中的に作用し、損傷するケースが多い。また、積雪の多い地域ではその利便性からインナーガレージ（住宅内蔵型車庫）が採用されるケースが多く、本調査でみられた高床式木造住宅のほとんどが1層目の基礎部分を車庫とし

ていた。RC造高床式の木造住宅は高床部分の構造計画が十分なされているためか、開口を含む基礎部分は無被害もしくは被害軽微なものが多かった。木造では簡易な大開口を持つために1階が崩壊したとみられる事例が数件確認された。図15は、激震ゾーン内の1階車庫部分が崩壊した家屋で、特に振動方向に間口開口があったものと思われる。地盤の損傷も著しく、近隣でアスファルト道の大きな被害も見られた。一方で、近隣の木造家屋は大きな被害はあるものの、倒壊には至っていない。

その他に、作業場のように建物全体として壁が極めて少ない建物の倒壊も数件みられた（図16）。このような建物は木造では、接合部が簡易なものが多く、ラーメン的な効果が期待できないため、耐震性は著しく低い。耐力要素は勿論、崩壊防止の為に十分な接合耐力が必要である。また、作業場で梁間方向に筋交いで耐力を補っている例があったが、筋交い端部の接合が簡易な釘留めのみで引抜けていた（図17）。



図12 残留変形の著しい家屋（田麦山地区）



図13 間口に大きな開口を持つ車庫内蔵型住宅（川口地区）

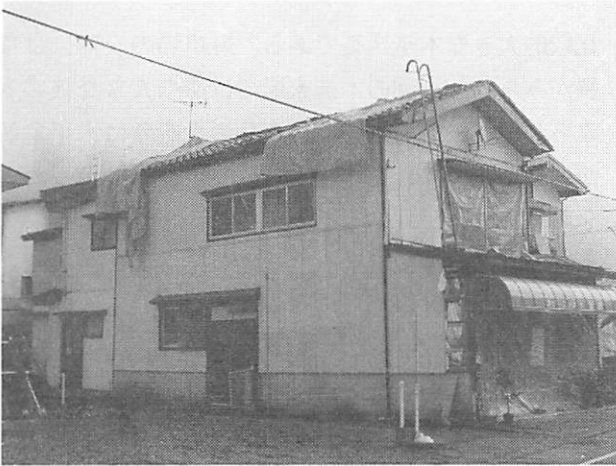


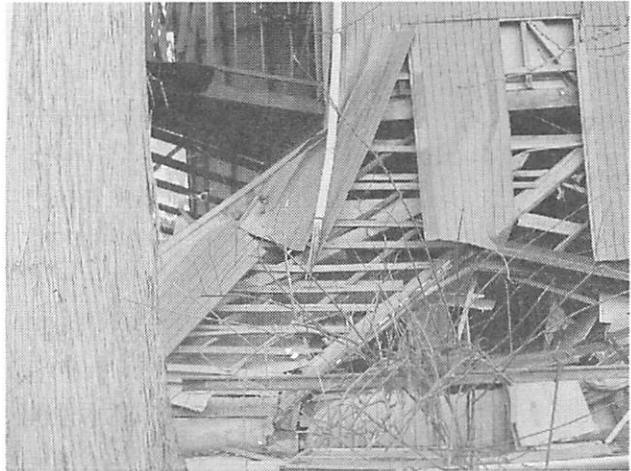
図14 間口が前面開口の店舗併用住宅
(川口地区)



(a) 倒壊した作業小屋の外観



図15 1階車庫が崩壊した木造家屋
(田麦山地区田中付近)



(b) 簡易な筋交い耐力壁

図17 簡易な筋交い耐力壁をもつ作業場
(田麦山地区大形付近)



図16 木造作業小屋の倒壊(田麦山地区大形付近)

4.2.5 外装の被害

外装の被害は、構造躯体の被害ではないが、激震ゾーン外でも広範に被害がみられ、被害数が非常に多い。特に、木造住宅では開口部周りのモルタル壁のクラックや剥落が顕著であった。モルタル壁と腐朽の関係については後述するが、モルタル壁以外でも変形能の小さい無機系の外壁は構造形式を問わず脱落や目地部の破壊など被害が大きい。具体的にはタイルの剥落、サイディングの脱落などがみられた。また、土蔵などにみられる漆喰の剥落は顕著であった。土蔵は土塗り壁であるため、塗り土の脱落も顕著で、調査時にみられた土蔵のほとんどに土壁まで損傷が及ぶ大きな被害がみられた。

こういった外装の剥落は建物の耐震強度の観点からは主たる被害にはなりにくいですが、火災被害の拡大、

落下による人への衝突、避難路の障害などの二次的な被害を助長するので注意を要する。

4.2.6 屋根の被害

この地域は比較的金属葺きの屋根が多いため、屋根の被害事例は概して少ないが、瓦葺では瓦のズレや落下が見られた。余震が多かったことから、本震後の落下もかなりあったものと推察される。

4.2.7 被害が軽微だった建物

建物の被害程度は地盤の影響などもあるため、上部構造のみでの比較は難しいが、過去の地震被害報告にも見られるように、隣接する建物で著しく被害程度が異なるケースもみられる。地盤に起因する被害を除き、一般に被害が軽微だった建物には以下のような特徴がみられた。①築年代が比較的新しい建物。②1層目をRC造とするこの地域特有の高床式住宅。③集成材などによる中・大規模木造建築。これらの建物は、比較的新しい耐震仕様・基準に則っていたことや、適切な構造計算による耐震性の検討を行っていることが被害抑制の主要因と考えられる。この他に丸太組構法（ログハウス）は過去の地震も含め被害が少ないことが報告されている^{8) 9)}。本調査でも被害の少ない丸太組構法の事例がみられた。丸太組構法は木造軸組構法などの他の住宅用木造構法と水平耐力の発現システムが大きく異なり、未解明な部分も多いため、耐震計画には余力とされている要素がいくつか存在する⁹⁾。また、住宅用構法としてわが国で普及し始めた歴史は比較的新しく、実際の建物では他の構法に比べ、極端な不整形や大開口もあまりみられない。統計的に被害軽微であった原因は、構法の特徴というよりは、安全側に十分配慮された耐震構造計画が規定されていたことにあると考えられる。以下に本調査の各事例を示す。

図18は川口町川口地区の築年代の新しい住宅で、県外から来たボランティアの方の話では2棟とも同じ大工が自宅用に建設し、写真左側の建物は最近建築したものとのことであった。応急危険度判定では左建物が判定済み(緑)、右建物が危険(赤)であり、右建物では著しい残留変形が見られる。被害程度の差が現れた原因には、築年代(構造計画の水準)の違い、建物の形状の差が推察される。なお、本調査時点では写真右側の建物は解体されていた。

図19は、平成16年に開業した川口町の国道17号沿いに位置する交流物産館である。集成材を多用した

比較的大きな木造建築である。駐車場の一部には亀裂がみられ、周囲の木造家屋ではやや大きな被害もみられたが、この建物では裏側の犬走りに水平亀裂が生じた他には目立った損傷は確認されなかった。なお、平松ら¹⁰⁾は中越地震により比較的規模の大きな集成材建築に際立った被害が見られなかったことを報告している。

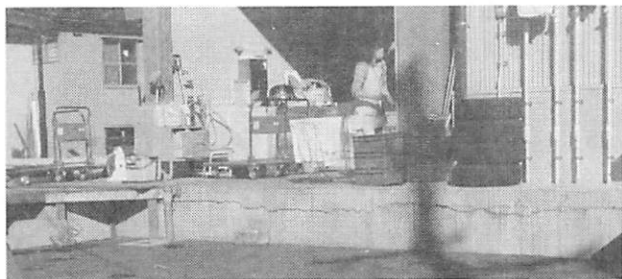
図20は激震ゾーン内に位置する1層目をRC造高床とするログハウスである。道路を隔てた歩道には地盤の損壊やガードレールの変形がみられた。居住者の話ではこの建物は築5年のログハウスで築20年程度の鉄骨造と隣接しており、ログハウスは住宅としては壁が多い印象で、被害は軽微で基礎の一部にクラックがみられた程度であるとのことであった。隣接する鉄骨造は外壁に被害があったものの、躯体や内部には大きな被害はなく外部のみ補修中とのことであった。被害の差は構造形式によるものというよりは、前述したように主に構造計画の差にあると考えられる。



図18 構造計画の差異が耐震性に表れた隣接家屋
(川口地区、写真提供：中谷浩2004/11/21撮影)

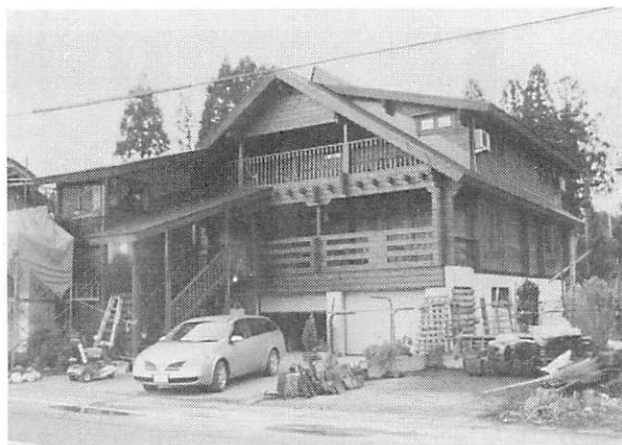


(a) 建物の外観

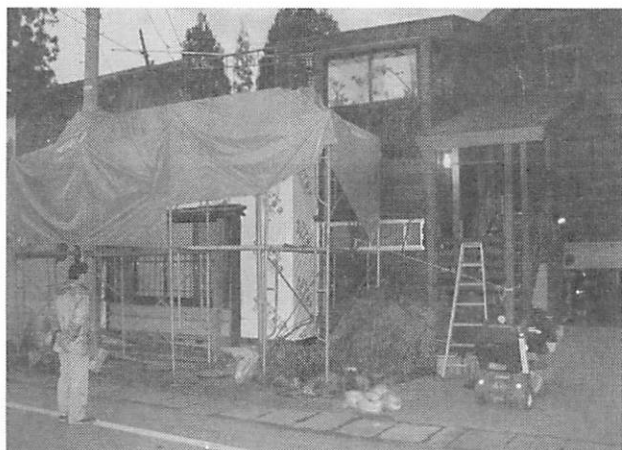


(b) 建物裏側の犬走りの亀裂

図19 集成材構造の木造施設 (川口町)



(a) 被害軽微なログハウスの外観



(b) 隣接する修復中の鉄骨造部分

図20 被害軽微なログハウス (田麦山地区前原付近)

4.3 被災家屋における部材の腐朽・蟻害状況

4.3.1 腐朽

調査時点では、倒壊あるいは安全確保を理由に解体された家屋が多く、これらは解体部材として積み上げられており、部材、特に床組み材の詳細調査は困難であった。しかし、一部の家屋では瓦礫の隙間から基礎や土台材を垣間見ることができた。この様に限定された条件の下ではあるが、被害状況につい

ての知見を以下に報告する。

土台材の樹種は、スギが比較的多く (図21)、次いで銅系薬剤を注入処理したとみられる緑色の防腐処理カラマツが多かった (図22)。前者は比較的古い物件で、後者は比較的新しい物件にみられたが、スギ土台はいずれの物件でも着色が見られず、無処理の可能性が高い。一般的に無処理スギ材は中程度の耐久性であるため、土台材には適さないとされるが、建設当時の地域の材料流通と経済性の理由から多く使われたものと推測される。腐朽状況については、カラマツ防腐処理土台では腐朽事例は観察されなかった。スギ土台の中には明らかに腐朽している例もあったが、ほとんどは健全であった。特に、高床式住宅では土台が地盤面からかなり高い位置にあり、床下空間が乾燥しやすいため、無処理でも腐朽劣化が少なかったと考えられる。

前述の床組が破壊した事例 (図11) では、柱材脚部の残骸が土台に残っているケース、土台材が上下方向に割裂したケース、基礎が地盤と共にずり落ちて土台が中空に残されたケースなどが見られたが、いずれも土台や柱材は耐久性上は健全な状態であり、土台の腐朽と家屋破壊の因果関係を強く示唆する事例は見られなかった。

しかし、玄関ポーチの外装モルタルが一部分のみ剥落した事例 (図23) では、剥落部分の下地材や枠材に顕著な腐朽がみられた。この被害住宅の外装は主にサイディング張りであるが、剥落したモルタル外装部分は隅角部で雨樋もあり劣化しやすい条件が揃っている。腐朽とモルタル外壁の被害の関係については後で詳しく述べる。



図21 無処理スギ土台の例 (田麦山地区)

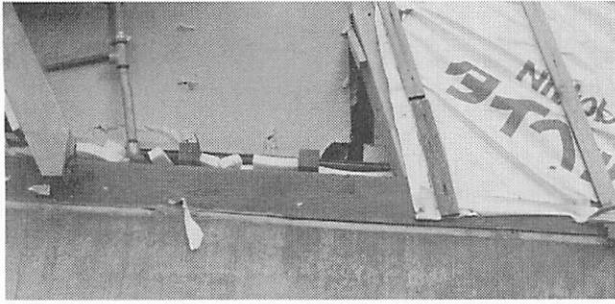


図22 カラマツ防腐土台の例（田麦山地区）



(a) 周囲の状況



(b) 剥落部分

図23 モルタル外装の剥落と腐朽（川口地区）

4.3.2 蟻害

調査地域はヤマトシロアリの生息地域に該当し、実際に加害跡や蟻道の痕跡も数件見られた（図24、25）。高橋・土居¹¹⁾が指摘しているように、蟻害の形跡は予想以上に多く見受けられた。外見から被害が確認された部材は無処理スギ土台などの薬剤処理がされてないものと推察された。腐朽と同様に本調査範囲では、蟻害と建物全体の破壊との直接的な因果関係を明確に示唆する事例はみられなかった。

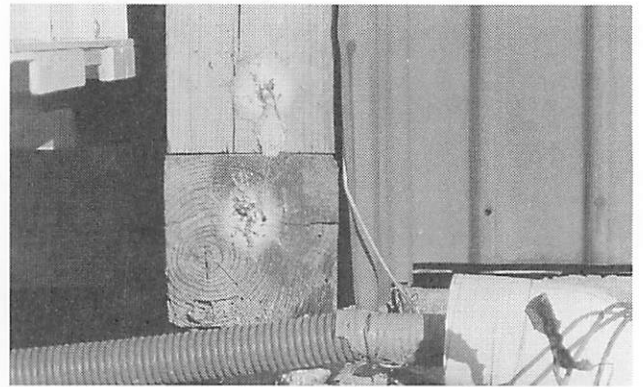


図24 無処理スギ土台の加害跡（田麦山地区）



図25 コンクリートブロック基礎にみられた蟻道（田麦山地区）

4.3.3 腐朽とモルタル外壁被害の関係

モルタル外壁は、1950年代以降に手軽で安価な防火外皮として急速に普及し、1960年代前半から1970年代前半にかけては、急激な需要拡大に伴い低劣なものもかなり出現した¹²⁾。近年、技術的な改良が進んでいるものの、低質なストックもかなりあるため、大きな地震があるたびに剥落・落下が報告される。モルタルに限らず重量のある無機系外壁は、落下部位が人間に衝突すれば外傷を与えることや、避難路の障害となることが容易に想像される。剥落により防火外皮が失われることはいうまでも無い。

従前より指摘されているとおり、木造モルタル外壁の保持力は、下見板の腐朽、ラス網取り付け用のタッカー針とその施工方法、ラス網やモルタルの状態などの影響を受け、これらを考慮して技術や基準の改良がなされてきた。腐朽の点から観ると、近年はモルタルひび割れ緩和のための混和剤が利用されるようになってきているものの、外壁は雨に曝されるため、クラックから水分が浸入しやすい。特に、古い住宅に多くみられる通気層のないモルタル外壁では水分が高い状態で維持されやすい。そのため、クラックの入ったモルタル外壁は、隅角部や雨樋周辺、風雨に曝され易く・乾き難い方角などでは腐朽被害のリスクはかなり高いことが予想される。更にモルタルやタイル張り外壁といった湿式工法は、サイディング張りなどの乾式工法と比べ、施工にバラツキがしやすい。宮村ら¹³⁾のアンケート調査によれば、ラスの不適切な留め付け例はかなり潜在し、地震で剥落する危険性が指摘されている。以上の点を踏まえると、腐朽によって、留め具の保持力が低下することで、局所的にモルタル外壁が剥落するリスクはかなり高いものと推定される。

調査時点では、被害甚大な住宅の多くは解体が進んでいたこともあるが、著しい躯体損傷を伴う外壁の腐朽被害例はあまりみられなかった。一方、前述のリスクを裏付けるような事例（例えば、図23の事例）が散見された。前述した剥落リスクの背景を考慮すると、本調査範囲での見解としては、地震時のモルタル外装の剥落リスクはかなり高く、腐朽が躯体の構造被害に及ぼす影響に比べても、より腐朽の影響を受けやすいと推察される。

4.3.4 腐朽・蟻害と構造被害の関係

本調査では、腐朽・蟻害と構造被害の関係につい

ては、次のことが観察された。①剥落した木造モルタル外壁には顕著な腐朽がみられるものが多い。②土台や柱材などの躯体の腐朽は、主に無処理スギ土台にみられたが、腐朽被害は比較的少なかった。③蟻害は予想以上に多く、主に無処理スギ土台にみられた。④腐朽・蟻害と建物全体の破壊との直接的な因果関係を明確に示唆する事例はみられなかった。

①で挙げたように、モルタル外壁については、下地材の腐朽が剥落被害に強い影響を及ぼすと考えられる。腐朽被害がみられた外壁はほとんどが通気層の無いモルタル外壁で、通気層のあるサイディング張り住宅では脱落が少なく、著しい腐朽もほとんど見られなかった点を考慮すると、モルタル外壁の脱落被害を抑制するためには、水分を滞留させないための十分な劣化対策を適用する必要がある。

一方で、躯体に腐朽・蟻害がみられた住宅は築年代が古く、接合部などに古い耐震仕様を採用されていた。構造的な被害は概して築年代の古い木造住宅に多かったが、総じて劣化対策だけでなく耐震仕様も不十分で、従来から指摘されているように^{14) 15)}腐朽・蟻害が構造被害の直接的な原因とは断言できない。兵庫県南部地震でみられた腐朽・蟻害と木造住宅の地震被害程度の相関¹⁶⁾が、中越地震についてもみられる可能性はあるが、劣化対策と耐震対策の両仕様とも概ね築年代に依存した結果と考えられる。本調査の印象では、建物の老朽化（蟻害・腐朽を含めた性能的な経年劣化）よりは、計画時の耐震性能の低さが構造的な被害の主要因と推察される。

4.4 地盤と宅地の被害

新潟県中越地震は中山間地域における地震であったため、その住宅被害は、建物の震動による直接的損壊だけでなく、土砂崩壊に伴い間接的に損壊する事例も多く認められた。被災地域の地質は砂岩・泥岩から形成されており¹⁷⁾、固結度が低く崩壊し易くなっている（例：図26、27）。このような地質の山地では地すべり地形を形成することが多い。そのため、民間測量会社および国土交通省がホームページ上で公開している航空写真等¹⁸⁻²⁰⁾にみられるように、旧山古志村をはじめとする山間地域では土砂崩壊に伴う家屋の被災が多く発生した。また、地震発生直前には、台風23号および秋雨前線の影響によって被災地域に多量の降雨があり、長岡市では10月20日から21日午前までの降水量が100mmを超え²¹⁾、土

砂崩壊を起こしやすい状況にあったと想定される。道路や建物敷地の盛土箇所で崩壊が多くみられた(図28~31)のもこれらの要因が重なったためと考えられる。

中山間地での住宅づくりでは、切土・盛土さらに擁壁への地震に対する検討を十分に行うとともに、建造物の土台となる地盤や基礎を適正に造成する²²⁾ことが地震に強い住宅づくりを進める上で重要であると再認識させられた。



図28 盛土崩壊による舗装道路の被害(和南津地区)

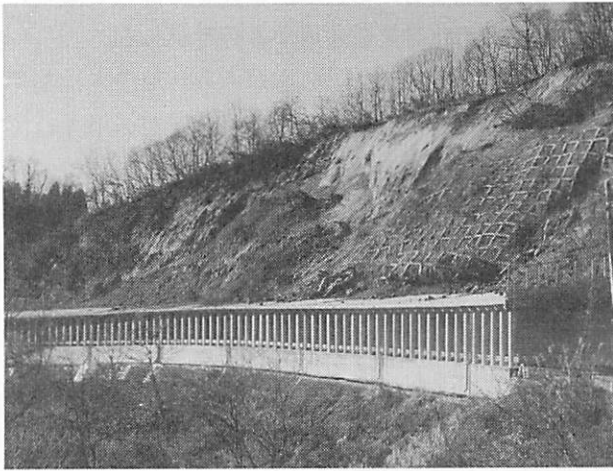
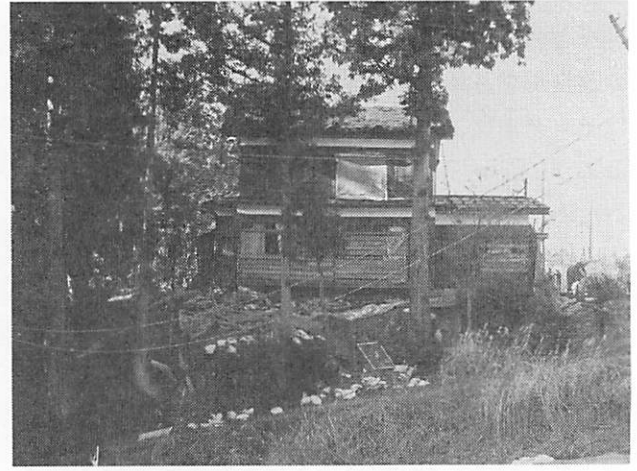


図26 県道333号線の斜面崩壊(和南津地区)



(a) 被害斜面の外観

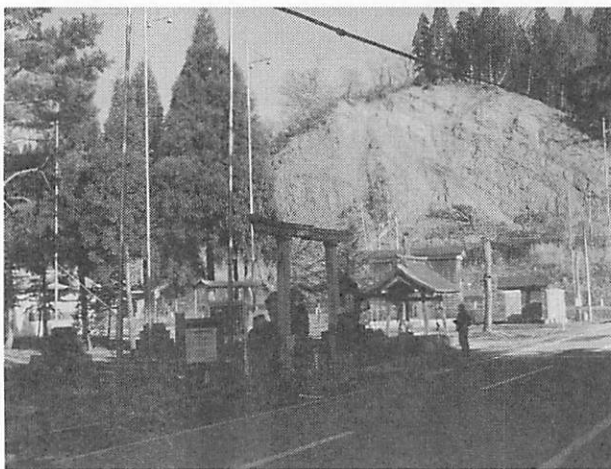


図27 JR越後川口駅付近の土砂崩壊(川口地区)



(b) 基礎の被害状況

図29 石積擁壁崩壊に伴う束基礎の転倒(田麦山地区)

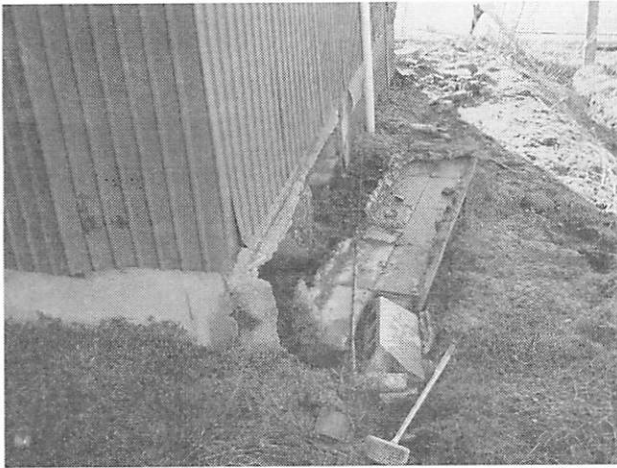


図30 盛土が崩れ基礎が破壊（田麦山地区）

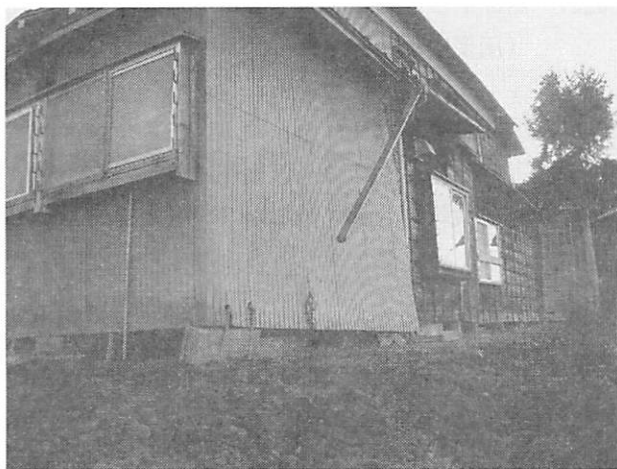


図31 土砂が崩れブロック積み基礎が転倒（田麦山地区）

4.4.1 宅地の被害

被災地域は中山間地であることから、斜面が多いため、造成が随所にみられた。造成地や斜面近傍の宅地の場合、斜面を支持する擁壁が機能なくなると、基礎被害などの深刻な建物の被害につながる。調査地域内では大きな高さを要しないためか、簡易な擁壁が損壊したために家屋被害となったケースが散見された。石積み、ブロック、増積み擁壁の被害が多いがコンクリート系の擁壁にも被害がみられた²³⁾。石積みでは積み石間の結合が弱いため擁壁そのものが崩壊するが、コンクリート系では壁面の転倒などがみられる（図32）。農村では一般的に、水田よりやや高い位置に宅地を設けているが、概して宅地ののり面の補強が簡易であるため、地震動によって水田側へ崩れるため、宅地や基礎に被害がやすい（図30、31）。

図9(a)の隣接した2棟は、玉石積みの低い擁

壁に囲まれた敷地に建っていた。被害程度の小さい家屋は、亀裂などの地盤被害がかなりみられるものの、敷地が広いコンクリート床板で固められていた（図33）。倒壊した家屋は、布基礎の配筋不備もみられたが、玉石積みの擁壁が崩壊したために基礎を支持できなくなっていた（図9(b)）。

図29の住宅は斜面際に建っているが、斜面が崩れたため、東基礎が転倒・落下した。内部の布基礎により、上部構造の被害が抑えられている。



図32 コンクリート擁壁の転倒（和南津地区）



図33 被害の小さい家屋の宅地（和南津地区）

4.4.2 塀・石垣の被害

過去の地震災害でもよくみられたように、ブロック塀、石積塀、石垣などの転倒・崩壊が確認された（図34～36）。これらは、構成材料の質量が大きいにもかかわらず、無筋もしくは配筋不十分のため、極めて脆い構成となっている点で共通しており、地震時には人への衝突、地震後は避難路の障害となる。



図34 転倒したブロック塀（川口町川口地区）



図37 斜面崩壊によるアスファルト道の陥没
（田麦山地区田中付近）



図35 神社の石積みの塀の転倒（川口地区）



図36 石垣の崩れ（川口地区）

4.4.3 道路の被害

道路上の被害としては、液状化に伴うマンホールの隆起が多数報告されているが、調査時点では交通障害となるため処置が進み、多くはみられなかった。一方、調査地域の各地で舗装道路の損壊が確認された。図28は一部崩落した国道和南津トンネルに近いJR変電所脇の道路の破壊で、写真左側の斜面が崩壊したために大きな被害を受け、調査時点では写真右側の迂回路が工事されていた。図37は水田脇斜面が崩壊したことによるアスファルト道の陥没である。中山間地で緩斜面に農地が多いため、このような被害が散見された。

4.5 家屋などの修復状況

調査時期が本震発生からある程度経過していたため、被災建物などの解体・撤去が進む一方で、応急措置や修復作業も随所で見られた。

4.5.1 応急措置

中越地震では大きな余震が多発したため、被害拡大が予想される建築物および構造物の応急措置としての補強が重要であった。

図38は商店街にある木造商店の庇の補強で、柱頭付近に方杖補強、柱脚の補修がみられた。特に市街地の商店では前述したように間口に大きな開口をとることで耐震性が低下しやすいため、この部分を大きくタスキ掛け筋交いで補強している例が多くみられた。

図39は寺院の石灯籠の転倒防止措置で、このように内部が配筋補強されていない石積みの構造物は余震で転倒する危険性が高い。この寺院は瓦葺で余震

による瓦の落下もあったため、本堂は立ち入りを規制していた。

図40は2階建て作業小屋の転倒防止措置で被災建物の応急措置としてよく知られている例である。

図41は木造住宅の応急措置の例で、束基礎の踏み外し防止に、基礎上部が補強されている。瓦の落下防止措置なのか落下した部分の雨水浸入防止なのか不明であるが、屋根はブルーシートで覆われていた。

以上は応急措置の事例であるが、その後これらの建築物や構造物を含め、被災構造物は撤去、改築、補修などのいずれかの措置がとられることになる。一日も早い復興が望まれるが、経済的な理由等から、応急措置のままで放置されたり、不十分な補修で済まされたりするケースがでることが懸念される。



図40 金属棒によるひかえ（田麦山地区）



図41 束基礎の転倒防止措置（田麦山地区）

4.5.2 修復状況

図42のように被災住宅の解体が進む中、建物の修復も多く見られた。躯体損傷が少なく残留変形が小さい家屋の場合は、変形の矯正後、内外装や基礎クラックの補修、建具の交換などが主な作業となる。伝統的な構法による民家や社寺建築などの残留変形が大きい被害建物では、建物の大小を問わず次のような方法で修復が行なわれていた。すなわち、①チルホールとワイヤロープによる残留変形の矯正、②筋交いなどの耐力壁の追加による上部構造の修正・補強、③仮設材による補強、④上部構造の基礎からの切断、⑤リフトアップと水平移動、⑥基礎の補修あるいは新規打設、⑦上部構造の設置である（図43、44）。隣接敷地に余裕があれば予め基礎を施工し上部構造を移設する。これらの手法は、建物の浮上、移動・回転を行なう曳家の技術である^{24) 25)}。曳家は建物を移築する伝統的な技術であるが、近年は技

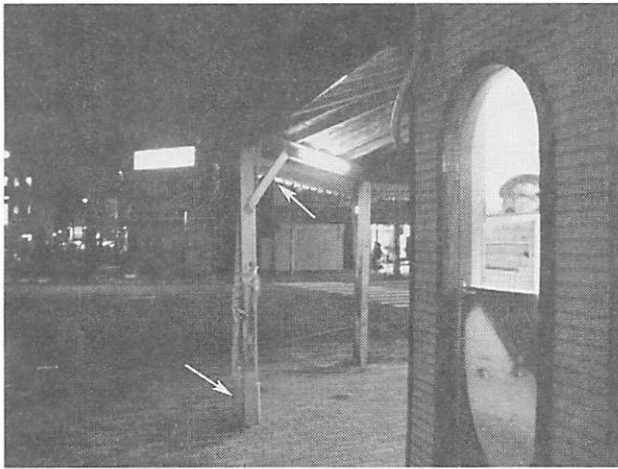


図38 柱に方杖や柱脚補強の補修。（長岡市）



図39 石灯籠の転倒防止措置（長岡市）

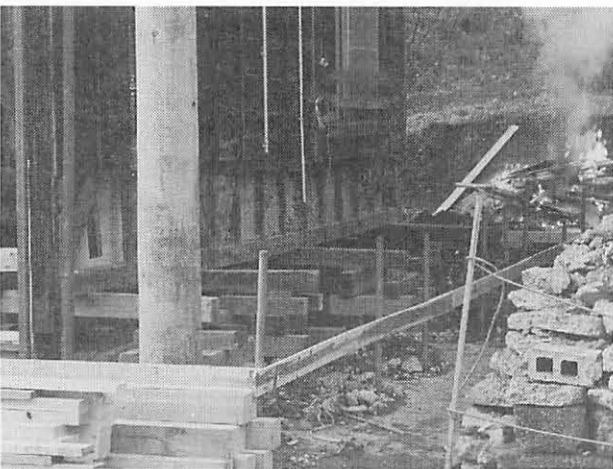
術の近代化が進み、地盤沈下した建物の復旧や矯正などで活躍している。地震被災家屋の修復に関する研究開発は多くはないが、曳家技術などを参考にコストダウンと迅速化の発展が期待される。



図42 解体中の家屋（田麦山地区）

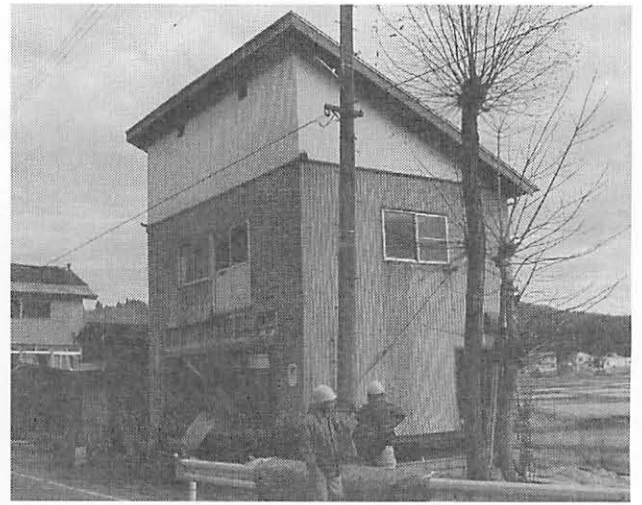


(a) 建物の外観。仮筋交いで補強と耐力壁の追加が行なわれている。

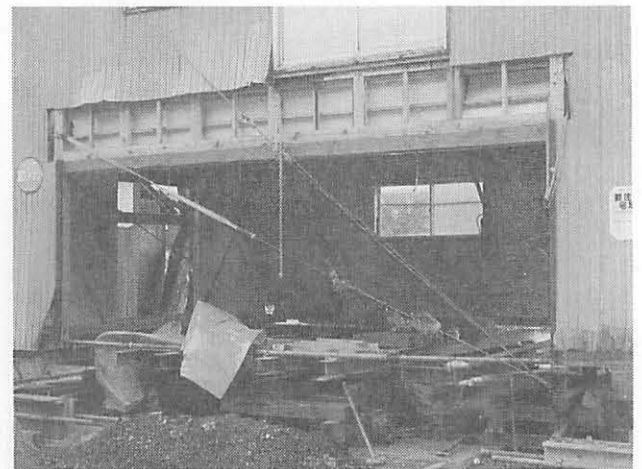


(b) 嵩上げ。基礎の打ち直しが準備されている。

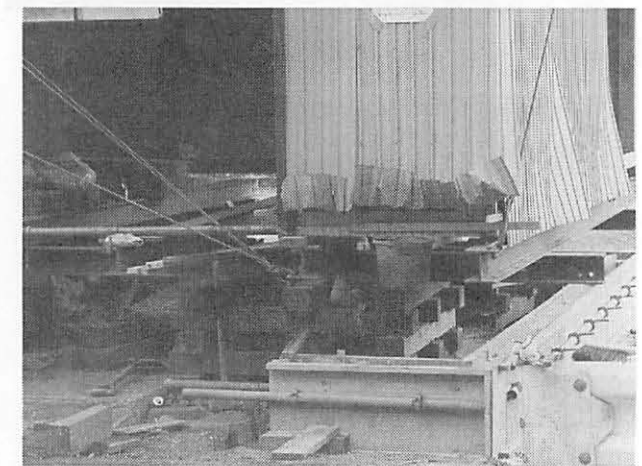
図43 修復中の木造民家



(a) 建物の外観。チルホールによる矯正。



(b) チルホールによる矯正，開口下の仮補強，鉄骨レールによる嵩上げ，タスキ筋交いによる耐力壁補強がみられる。



(c) 布基礎の打ち直し

図44 木造建物の補修状況

5. まとめ

限定された条件下であったが、中越地震の被災地を調査したところ、木造住宅の被害、宅地や道路などの地盤被害が確認された。被災地域が中山間地であることに加え、地震発生前の秋雨の影響もあり、多くの地盤被害が観察された。同様の地形・気候を有する地域では、このような複合的な状況を想定した対策が重要であることが示唆された。従来から指摘されているが、擁壁のみならずブロック塀や石垣などの被害も多くみられた。宅地の地盤被害に起因する住宅被害も多くみられた。

本調査で観察された木造住宅の被害やその原因については、従前から指摘されている範疇を大きく出ない。築年代の古い家屋に多くみられる簡易な基礎や接合部による被害の助長が目立つが、総じて言えば被害程度を左右するのは工法や古さの問題ではなく、有馬¹⁵⁾が提示した4条件（構造計画、材料選択、施工管理、維持管理・補修）の問題である。中でも今回の調査では構造計画の重要性があらためて浮き彫りとなった。被害程度の大きい木造建築はほとんどが築年代の古い家屋であり、計画時の耐震基準が低かったことに主因があると思われる。換言すれば、既存不適格建築の改修をどのように進めるかが今後の重要な課題である。現在、耐震改修については法整備が進み、公共性の高い建築物では改修が進んでいるものの、個人住宅の改修は活発とは言えない。日常的な利便性をもたらさない耐震改修を個人住宅で推進するうえでは、経済的な問題が障害となっている。廉価で効果的な戸建住宅用の耐震改修技術の開発が望まれる。

中越地震以降、福岡県西方沖地震や宮城県沖地震など中規模以上の地震が短期間に多発しているが、地震は自然現象であるため、当面の科学技術ではこれを避けることは不可能である。直接の被害を最小限に留めると同時に、災害以前の状態に早期に復旧するための様々の対策や技術も重要である。本報でとりあげたような住宅の修復方法も更なる技術発展が期待される。

謝 辞

中越地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈りし、被災された方々にお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興が叶うことを祈念致します。

本調査を実施するにあたり、貴重な助言を賜りました京都大学生存圏研究所教授小松幸平博士に御礼申し上げます。

本研究の一部は、農林水産技術会議平成14～16年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業、木質構造に適した新制振技術の開発の一環として行なわれました。関係各位に謝意を申し上げます。

引用文献

- 1) 安井譲：地震の概要，建築学会災害委員会，同災害調査WG，同北陸支部編「2004年10月23日新潟県中越地震の災害調査速報」，p2-3，建築学会北陸支部，金沢(2004)。
- 2) 池本敏和，北浦勝，宮島昌克，村田晶：地震観測記録，建築学会災害委員会，同災害調査WG，同北陸支部編「2004年10月23日新潟県中越地震の災害調査速報」，p4-12，建築学会北陸支部，金沢(2004)。
- 3) 新潟大学災害研（鈴木，片岡，本郷，安井）：激震ゾーン(1)，(2)，「2004年新潟県中越地震新潟大学調査団のページ」，<http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~earthquake/>，(2004)。
- 4) 植本敬大：平成16年新潟県中越地震の特徴と木造家屋の被害状況，木材学会木材強度・木質構造研究会編「新潟県中越地震における木造建築物の被害」，p1-17，木材学会，東京(2005)。
- 5) 五十田博：下階他構造+上階木造の設計法と振動特性，建築学会災害委員会，同災害調査WG，同北陸支部編「2004年10月23日新潟県中越地震の災害調査速報」，p47-48，建築学会北陸支部，金沢(2004)。
- 6) 小松幸平，他：竜光，田川，武道窪，木沢，田麦山地区における木造建築の被害概要と傾向，木材学会木材強度・木質構造研究会編「新潟県中越地震における木造建築物の被害」，p69-79，木材学会，東京(2005)。
- 7) 岩崎昌一，菅原弥寿夫：新潟県中越地震による木造住宅の被害，新潟森林研研報，46，p63-70(2005)。
- 8) 室田達郎，他：平成16年新潟県中越地震におけるログハウスの被害調査報告，ログハウス協会，東京(2005)。

- 9) 平嶋義彦：丸太組構法，有馬孝禮，高橋徹，増田稔編「木質構造」p90-100，海青社，大津(2001)。
- 10) 平松靖，他：平成16年新潟県中越地震による木造建物の被害－集成材建物の地震被害調査について－，木材学会木材強度・木質構造研究会編「新潟県中越地震における木造建築物の被害」，p20-51，木材学会，東京(2005)。
- 11) 高橋旨象，土居修一：新潟県中越地震木造建物被害調査 腐朽・蟻害の視点から，木材学会木材強度・木質構造研究会編「新潟県中越地震における木造建築物の被害」，p80-90，木材学会，東京(2005)。
- 12) 杉山英男：地震と木造住宅，p257，351，丸善，東京(1996)。
- 13) 宮村雅史，樫野紀元，山中豊茂，佐藤雅俊：ラス下地モルタル塗り工法の設計施工と木造住宅の安全性確保に関する一考察，58，(1)，p19-22，木材工業(2003)。
- 14) 肱黒弘三：木造構造体の耐久性に関する考察，50，(11)，p529-533，木材工業(1995)。
- 15) 有馬孝禮：災害にみる木造住宅，「木材の住科学」，p33-35，東京大学出版会，東京(2003)。
- 16) 木造住宅等震災調査委員会：平成7年阪神・淡路大震災木造住宅等震災調査報告書，p261-269，日本住宅・木材技術センター，東京(1995)。
- 17) 柳沢幸夫，他：5万分の1地質図幅「小千谷」，地質調査所，(1986)。
- 18) 朝日航洋株式会社：平成16年(2004年)新潟県中越地震芋川沿いの河道閉塞状況，「朝日航洋株式会社ホームページ」，
http://www.aeroasahi.co.jp/topics/spa_041103/spa_041103.html，(2004)。
- 19) アジア航測株式会社：2004年新潟県中越地震災害，「アジア航空株式会社オフィシャルサイト」，
<http://www.ajiko.co.jp/bousai/tyuetsu/tyuetsu.htm>，(2004)。
- 20) 国土交通省：新潟県中越地震関連情報－被災状況航空写真，「国土交通省ホームページ」，
<http://www.hrr.mlit.go.jp/river/1023jishin/jishin/index.html>，(2004)。
- 21) 気象庁：気象統計情報(電子閲覧室)，「国土交通省ホームページ」，
<http://www.data.kishou.go.jp/first.htm>，(2004)。
- 22) 藤井衛，他：ザ・ソイルⅡ－住宅の基礎性能と地盤補強，建築技術，東京(2004)。
- 23) 田村昌仁，廣野一道，井上波彦，平出務，人見孝，橋本隆雄：建築物の基礎および宅地の被害状況，No.664，p125-133，建築技術(2005)。
- 24) 須田泰仁：曳家工事，住宅リフォームマニュアル事典編集委員会編「住宅リフォームマニュアル」，p.574-575，産調出版，東京(2003)。
- 25) 金石健太，土本俊和：信州における曳家技術とその工法，p.571-572，建築学会大会梗概集E-1(2002)。

Summary

This paper reports a field investigation of the damage to wooden houses and grounds around housing sites in a ruinous earthquake area of 2004 Mid Niigata earthquake.

In this earthquake disaster, although many damages to cheap foundation structures were especially observed, the relationship between the structural damage and characteristics of the damaged wooden houses mostly agreed with knowledge that was acquired from studies of previous earthquake disasters. This disaster was created by an inland earthquake that occurred in a mountainous area, and thus significant damages to the land were observed. The damages to the land were affected by heavy autumnal rain that had fallen prior to the earthquake.

Almost all the damaged wooden houses had adopted old-style anti-earthquake systems. The importance of structural planning for earthquake resistance of wooden houses was reconfirmed. Simultaneously, it was suggested that applying seismic retrofit to existing non-conforming buildings is also an important subject. And, knowledge on restorations for damaged houses was also obtained.