

地震被害にみる木造住宅を長持ちさせる技術

森 拓郎^{1*}

Technique for long term use of wooden houses learned from earthquake damage

Takuro Mori^{1*}

概要

2016年4月に発生した熊本地震の被害報告を兼ねて、耐震性能、生物劣化と地震被害について紹介する。耐震性能については、現行の建築基準法の担保しているものは人命を損なわないことであり、耐力に余裕のある設計をすることが建物を長持ちさせ、財産を維持するために重要であること、リフォームなどの機能改修をする際に耐震補強を検討することの必要性も示した。地震被害建物に散見されるシロアリや腐朽による被害と、それらの箇所が地震被害時に露わになっている様子を示した。さらに、最近の研究事例として腐朽菌による生物劣化を受けることによって、壁の耐力が2割ほど失われることを示した。ただし、早期に発見し、対応することによってその影響をほぼ回復できることも示した。これらより、木造住宅を長持ちさせる方法として、耐震補強とメンテナンスが重要であることを紹介した。

1. はじめに

2016年4月14日21時26分、熊本県熊本地方を震央とする布田川・日奈久断層において、震源の深さ11km、気象庁マグニチュードMj6.5の地震（前震）が発生し、熊本県益城町で震度7を観測した¹⁻³⁾。その後4月16日1時25分に、同じく熊本県熊本地方を震央とする、震源の深さ12km、Mj7.3、の地震（本震）が発生し、熊本県西原村と益城町で再び震度7を観測した¹⁻³⁾。本地震では、熊本県から大分県に渡る余震の広範囲性に加え、震度5強以上を記録した比較的大きな余震も多数発生していることが特徴的であった。また、本地震は建物や塀の倒壊などによる圧死や、関連死を含めると80名を超える多くの方々が亡くなる大惨事となった。家屋の被害も大きく、全半壊建物数は合計28,000棟以上²⁾に上り、阿蘇神社（写真1左）や熊本城の被害（写真1右）は多くのメディアで取り上げられた。また、山崩れや土砂崩れなども多数見られ、南阿蘇村へ通じる阿蘇大橋が崩落したのが衝撃的であった。

さて、近年の日本では、これ以外にも多くの地震による木造住宅の被害が報告されており、耐震補強の重要性などが指摘されている。そこで、本報では、熊本地震による木造住宅の被害について建築基準法の変遷に関わる年代ごとに区分して紹介する。また、これらの調査の際に併せて実施した生物劣化による被害調査の結果についても紹介する。加えて、生物劣化を受けた木造住宅の残存している性能について評価をおこなっている研究事例についても併せて紹介する。

2017年7月10日受理。

¹〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科建築学専攻

* E-mail: moritaku@hiroshima-u.ac.jp



写真1：阿蘇神社（左）および熊本城の堀塀（右）の被害の様子

2. 耐震性能、生物劣化と地震被害

2.1 耐震性能と地震被害

まず、耐震性能を述べる上で重要となる建築基準法施行令の変遷について紹介する。

「旧耐震（1981年5月以前）」1981年5月に建築基準法施行令が改正され、木造住宅に必要とされている性能が大幅に引き上げられた。そのため、これ以前の旧耐震木造住宅においては、その性能が現行基準のものと比べて大きく下回っていることが明確である。

「新耐震（1981年6月以降～2000年5月以前）」2000年5月にも改正があり、壁のつり合い（南側と北側、東側と西側の壁の量）の確認や、耐力壁や柱直下の引き抜き抵抗用の金物の義務化などが明記された。そのため、2000年5月の改正以前の新耐震木造住宅では壁を北側に集中させているものや筋かいの根元が釘で留まっているだけというものが散見され、大地震時に南側の窓など開口が大きいために南側が大きく揺すられたり、筋かいが外れたりするような被害が多く見られる。

「2000年以降（2000年6月以降）」上記のように、壁の配置の明確化や耐力壁と呼ばれる、地震時に建物の揺れに抵抗する壁など主要な耐震要素がきちんと留め付けられているために、高い耐震性能を示している。

なお、建築基準法の定めるところは、極大地震が起こった際に倒壊を防ぎ、人命を損なわないような建物を設計することとしている。建築基準法の定める性能のぎりぎりの建物を設計すると大きな損傷を受け

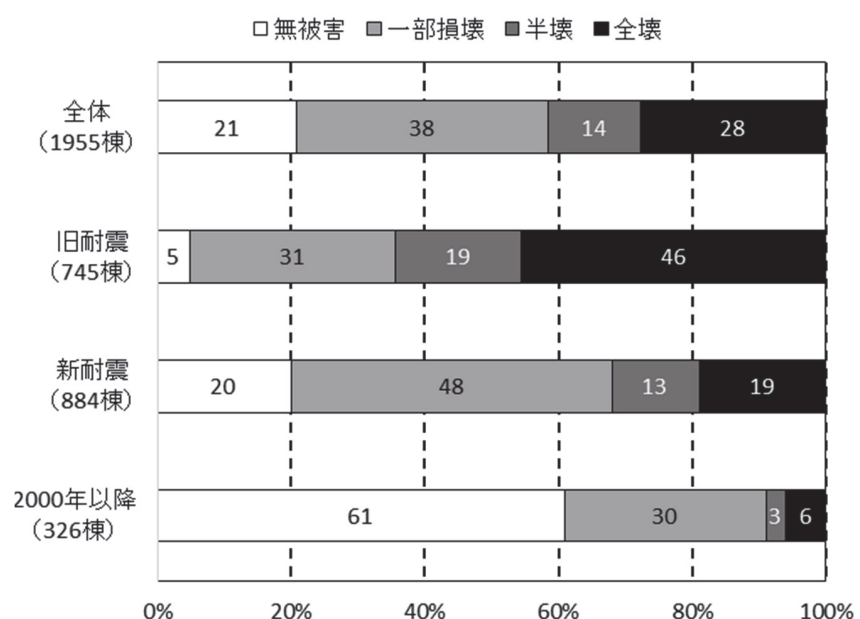


図1：木造住宅における建築年代別の被害レベルの割合

る可能性があることを明記しておく。

以下に、熊本地震の被害をもとに、耐震性能の話を紹介する。まず、熊本県上益城郡益城町における日本建築学会九州支部が実施した悉皆調査（全棟調査）の結果で示された木造住宅における建築年代別の被害レベルの割合を図1に示す⁴⁾。なお、図1は参考文献4)をもとに製作している。

「旧耐震」の木造住宅について、写真2-4に示すように、大きな被害を受けているものが多く見られた。特に、南側などに大きな窓などの開口が集中しているものも多く、ねじれるように倒壊していたり、大きな変形の後にかるうじて倒壊を間逃れていたたりするものが見られた。図1の日本建築学会九州支部の調査報告によると、全壊に値する被害を受けた木造住宅の比率は46%となっており、その比率が高いことから耐震性能が劣っていることがうかがえる。



写真2：旧耐震の木造住宅の倒壊の様子1



写真3：旧耐震の木造住宅の倒壊の様子2



写真4：旧耐震の木造住宅の倒壊の様子3

次に、「新耐震」の被害について、写真5-6に示すように大きな被害を受けているものが見られた。同様に、図1では、全壊に値する被害を受けたものが19%となっており、その比率は「旧耐震」と比較すると半分以下と大きく下がっていることがわかる。ただし、現行法では必要とされている金物が、写真7のように適切に施工されていない様子なども見られた。



写真 5：新耐震の木造住宅の倒壊の様子 1



写真 6：新耐震の木造住宅の倒壊の様子 2



写真 7：金物が片側しか付いていない様子（上金物あり、下金物なし）

最後に、「2000 年以降」であるが、写真 8 のように必要な壁の量の倍近い壁を入れているためにほぼ無被害のものから、写真 9 のように軽微ですんだもの（壁柱の下部、上部にせん断による横割れが入っている）、写真 10-11 のように大きな被害を受けたものまで様々見られた。



写真 8：2000 年以降の健全な木造住宅



写真 9：2000 年以降の軽微な損傷の木造住宅



写真 10：2000 年以降の木造住宅の倒壊の様子 1



写真 11：2000 年以降の木造住宅の倒壊の様子 2

「2000 年以降」について上記の日本建築学会の報告では、全壊に値する被害を受けたものが 6% となっており、被害がずいぶん少ないことがわかる。ただし、全壊に値する被害は 0%ではなく、ここに示しているように数棟が倒壊した現状がある。現行法のままで壁配置の規則などの仕様の規定をより厳しく明記するのか、建築基準法施行令のさらなる改定を考えるのかなどについて議論するために、倒壊した木造住宅の原因の究明がされており、何らかの不良があったために倒壊しているものがほとんどであったと報告されている⁹⁾。また、写真 12 に示すように金物は付いているが釘の太さが足りていないもの（施工上の問題）や、写真 13 のように現行法では地震力に抵抗できる壁として数えることができる壁であるが、上階の床がないという配置の配慮がないために構造耐力上うまく機能しない場合などがあつた。



写真 12：釘の寸法が異なっている様子



写真 13：下屋部分に耐力壁がついている様子

2.2 生物劣化と地震被害

次に、地震被害調査の際に発見された生物劣化の事例を紹介する。ここで述べる生物劣化とは、腐朽菌による腐れとシロアリによる食害である。

生物劣化がもっとも多く見られる個所は、土台近傍である。写真 14 に示すように土台が腐朽もしくはシロアリの食害を受けると柱の踏み外しなどが起こり、木造住宅を大きく傾けることになる。同様に、写真 15 に示すように土台近傍ではあるが、筋かいなど耐力を発現しなければならない箇所で生物劣化が起これば肝心の耐力要素、この場合は筋かいが効かないという事態に陥る。



写真 14：柱と土台の生物劣化による踏み外しによる大きな変形



写真 15：筋かい付近のシロアリの食害による筋かいの脱落

生物劣化の進行によってモルタルの外壁が脱落し、生物劣化の様子が明らかとなる様子が散見された。写真 15 では、モルタルの外壁がすべて脱落していた。加えて、西面のほぼすべての筋かいの端部がシロアリによって食害されており、耐力要素としての必要性能を有しているとは思えない状態となっていた。また、大きな地震被害を受けた木造の住宅や集合住宅には、リフォームによって外観は新しくきれいになっているものの、柱などに生物劣化による損傷を受けているものも見られた。リフォームの際に防腐防蟻処理と耐震補強を併せて実施することによって、被害を低減できたのではないかと推察された。今回、筆者が被害の調査をおこなった範囲では、2000 年以降の比較的新しい木造住宅に生物劣化による被害は発見されず、防腐防蟻の処理が適切に施されていることが確認できた。また、兵庫県南部地震の際の生物劣化と木造建物の損傷に関する調査報告では、図 2 に示すように倒壊した木造建物の多くに蟻害や腐朽の害があったと記されている⁶⁾。この結果からも、生物劣化は地震被害を大きくしている一因と考えられ、生物劣化を防ぐためのメンテナンスの重要性が示唆された。



写真 16：リフォームされているが倒壊した集合住宅

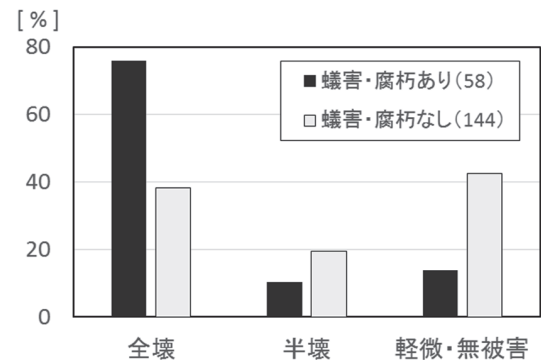


図 2：兵庫県南部地震時の北淡町調査地域における生物劣化と倒壊率の関係⁶⁾

3. 耐力要素が生物劣化を受けた場合の検討

地震被害と耐震性能が密接に関係していることは当然であるが、図 2 より生物劣化を受けることによって耐震性能が低下し、地震被害を大きくしている可能性が示唆された。そこで、実際に生物劣化を受けた際に木造住宅の性能はどれほど低下するのかを確認・評価するために、一連の研究を実施しているが、ここでその一例について紹介したい⁷⁾。また、これらに類する研究は、近年多数実施され

てきており、例えば参考文献 8) -11) などが挙げられる。

ここで紹介する研究は、地震時に建物に作用する地震力に抵抗するために備えられている壁（耐力壁）の腐朽菌（褐色腐朽菌）の被害による耐力低下について検討したものである。実際に用いられているものと同様の壁を作成し、その壁に腐朽菌を約 20 週間摂取し、腐朽した状態を再現し、その後評価実験に供し、健全なものと比較することで耐力性能低下の度合いを調査したものである。

本実験では、実際に多く用いられている筋かいと合板の耐力壁を用いて評価した。腐朽させた柱脚部の状態を写真 17-18 に示す。わかり難いが柱（縦材）と土台（横材）の接合している辺りのモヤモヤしたものが腐朽菌とその害によって変色などを生じている個所である。実際の建物で見られた腐朽状態や写真 15 で示したようなシロアリの食害と比較するとまだ軽微な劣化といえる。

耐力性能を評価するための壁実験を実施した結果、耐力壁の耐力性能の指標である壁倍率で示すと、2 割ほど低下していることが確認された。また、土台の被害が軽微なうちに、耐力要素である筋かいや合板を交換した場合は、土台がある程度健全であれば、ほぼ元通りに回復できることが確認された。

本実験では、約 20 週という短期の劣化期間であったが、実際の木造住宅では、自分自身で外観調査やメンテナンスなどをしていない、または業者による調査を含むメンテナンスを実施していない場合には、生物劣化が 5 年や 10 年など長期にわたり放置されることが考えられる。先述したように、生物劣化を早期に発見できればほぼ元通りの性能に回復させることができるため、ぜひメンテナンスを重視してもらいたい。例えば、腐朽であれば、屋根からの雨漏りやベランダからの雨水の侵入、窓の結露などが原因となっているので、そのあたりを重点的に調査すれば、不具合を発見できるのではないかと考える。実際に雨漏りなどによる天井からの浸み出しなどが見られる場合には、業者に調査を頼むのが無難かもしれない。また、シロアリの被害であれば、床下からの侵入が最も多いため床下の調査が効率的である。ただし、床下調査は手間がかかるため、代替として犬走や外の立基礎の土を払うだけでも被害を防ぐまたは軽減する助けとなり、羽アリが飛ぶ季節の 5 月、6 月に我が家にそのような様子がないかを確認するのも一つの方法と考える。簡単な調査や補修など、我が家を振り返ることから長持ちへの努力を始めてみてはどうだろうか。

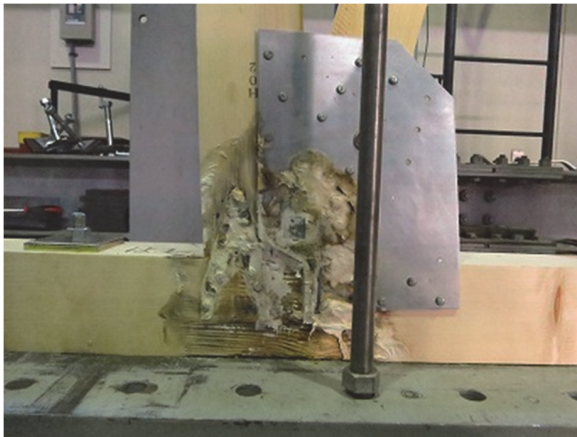


写真 17：筋かい耐力壁の脚部が腐朽した状態

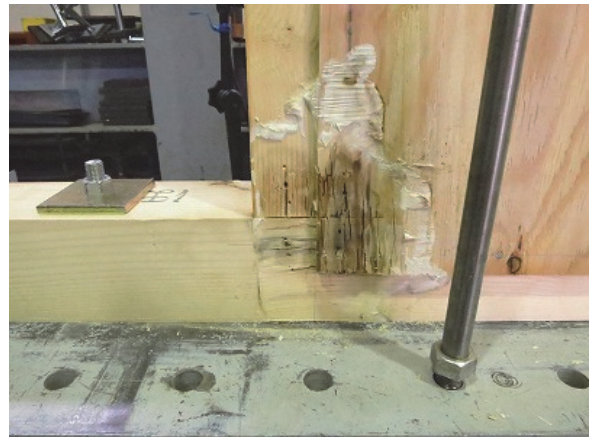


写真 18：合板耐力壁の脚部が腐朽した状態

4. まとめ

2016年4月に発生した熊本地震の建物被害報告を兼ねて、耐震性能や生物劣化と地震被害との関係について述べた。耐震性能については、現行の建築基準法が担保しているものは建物の損傷を防ぐことではなくて人命を損なわないこと、財産維持のためにも耐力に余裕のある設計をすることなどが長持ちさせるために重要であること、機能改修をするリフォームは、同時に耐震補強を施す良い機会で

あることなどを述べた。また、多くの建物でシロアリや腐朽などの生物劣化による被害があること、それらの箇所は地震時に損傷を受けているために性能が低下しており、被害個所が露わになり易いことなどを述べた。そして、実験的な研究事例として、腐朽による生物劣化を20週ほど受けた耐力壁が、約2割も耐力を失うことを紹介した。ただし、早期に発見して耐力に大きく寄与する面材料や筋かいを交換することでその損傷をほぼ回復できることも示した。これらのことより、耐震補強を施して余力を持たせることと、メンテナンスが木造住宅を長持ちさせるために重要であることを示した。本報が、我が家を少しでも長持ちさせる手助けになれば幸いである。

最後となりましたが、今回は熊本における地震被害を参考として紹介しました。被害にあわれた方々に心からお見舞い申し上げるとともに、一日も早い復興を祈念しております。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ <http://www.seisvol.kishou.go.jp>
- 2) 気象庁ホームページ 2016年5月地震活動の評価 <http://www.jma.go.jp/jma/press/1606/10a/201606101000.html> (2016/6/11)
- 3) 気象庁ホームページ 「平成28年（2016年）熊本地震」について（第39報），
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1606/10a/201606101000.html> (2016/6/11)
- 4) 2016年熊本地震災害調査報告会（8月），日本建築学会災害委員会, P88, 2016.
- 5) 2016年熊本地震による木造建築物の被害調査報告会，一般社団法人日本建築学会構造委員会木質構造運営委員会, 2017.
- 6) 宮野道雄, 土井 正, 兵庫県南部地震による木造家屋被害に対する蟻害・腐朽の影響, 家屋害虫, **17**, No.1, 70-78, 1995.
- 7) 芝尾真紀, 西野 進, 毛利悠平, 森 拓郎, 他6名, 強制腐朽処理を壁脚部に施した耐力壁の残存耐力性能その1 腐朽個所の違いが残存耐力に及ぼす影響, 日本建築学会学術講演梗概集構造III, 593-594, 2016.
- 8) 森 拓郎, 田中 圭, 毛利悠平, 築瀬佳之, 井上正文, 五十田博, シロアリ食害を受けた木材に打ち込まれた木ねじ接合部の残存耐力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, **81**, No.725, 1113-1120, 2016.
- 9) 森 拓郎, 野田康信, 東 智則, 森 満範, 戸田正彦, 強制腐朽処理を施した木ねじ接合部の一面せん断性能評価, 構造工学論文集, **60B**, 371-375, 2014.
- 10) 森 拓郎, 築瀬佳之, 田中 圭, 河野孝太郎, 野田康信, 森 満範, 栗崎 宏, 小松幸平, 生物劣化を受けた木材の曲げ及び圧縮強度特性とその劣化評価, 材料, **62**, No.4, 280-285, 2013.
- 11) 澤田 圭, 腐朽が木質構造機械的接合部の接合性能に与える影響, 木材保存, **41**, No.1, 2-7, 2015.

著者プロフィール



森 拓郎 (Takuro Mori)

＜略歴＞ 1996 年信州大学工学部社会開発工学科建築コース卒業／1998 年信州大学大学院工学系研究科社会開発工学専攻修了／2001 年信州大学大学院工学系研究科システム開発工学専攻修了（博士（工学））／2001 年京都大学木質科学研究所助手／2004 年同大学生存圏研究所助教（統合改組による）／2017 年広島大学大学院工学研究科建築学専攻准教授（現在に至る）＜研究テーマ＞住宅から中大規模まで様々な木質構造における安心安全のための科学と木材の有効利用への貢献＜趣味＞楽しくお酒を飲むこととスポーツ観戦