

地震被害を受けた建築物の 復旧工事における注意点

独立行政法人労働安全衛生総合研究所
建設安全研究グループ 上席研究員

高梨 成次 Seiji Takanashi

1. はじめに

わが国は、世界有数の地震多発国であり、過去には幾度も巨大地震によって、建築物の倒壊などの被害を受けてきた。現在も東海、東南海地震および関東地方を中心とした首都圏直下型地震の発生が危惧されている。このような自然災害に対して、建築物の被害を完全に回避することは、経済性や機能性確保のため困難であるため、災害が発生した後は、建築物の解体・撤去工事や補修工事が必要になる。そのためには、作業員が損傷を受けた建築物に近接する必要があるが、被害を受けた建築物は不安定になっているため、余震によって倒壊する危険性が高くなっている可能性が高い。そこで本稿では、地震によって損傷を受けた建築物の倒壊危険性を外壁などの損傷状況から簡易に推定する方法および簡易な補強による倒壊防止対策について記すことにする。

2. 実験概要および目的

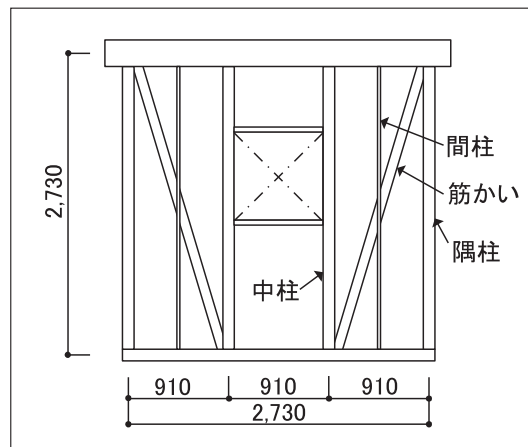
日本における建築物の主な構造形式は、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、木造などと多岐にわたるが、これらの構造形式の中で、建築物の階数、スパン長、スパン数が限定的であり、新耐震設計法(昭和56年施行)が施行される以前に建設された比較的強度が低いと考えられる建築物

で、今なお多く存在¹⁾²⁾している構造形式の建築物の一つに木造住宅が挙げられる。そこで、昭和56年以前に建設された木造2階建住宅を研究対象とした。

建築物は最大耐力に達する変形を経験すると、余震による倒壊危険性が高くなる³⁾。そのため、災害復旧工事を行うに当たり、当該建築物が最大耐力に達する変形を経験しているか否かの判定を行うことが重要である。そのため、外壁などの損傷状況と建築物に残された耐力の関係を調べることを目的とした実験を行った。

実験で使用した試験体は、木造2階建住宅の一部を取り出したものとした。試験体の軸組図^{※1}の一例を図1に示す。実験では、図1に示した軸組の他、筋かいを省略した試験体も作成した。各試験体の仕上げは2種類とし、一方の外壁はモルタル仕上げ、もう一方の外壁はサイディング^{※2}とした。本稿では、それ

図1 試験体軸組図



※1
軸組図

住宅の設計段階で作成される設計図面の一つで、建物の垂直面の骨組みを示すもの。

※2
サイディング

外壁材の一種で、外壁に張る板状の外壁材の総称。サイディングは工場で生産された製品で品質が均一、かつ比較的low価格な外壁材である。

それをモルタル試験体、サイディング試験体と称すことにする。

実験における荷重方法は、動的実験と静的実験の2種類とした。加力スケジュールにおける目標変形角^{※3}は1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30とした。試験体の変形角がそれらの変形角に達したことを確認した後、加振または加力を終了した。

3. 外壁がモルタルの場合

外壁に使用したモルタルは、現場調合モルタルと既調合モルタルの2種類とした。軸組の種類は、筋かいが有る物と無い物の2種類とした。試験体の種類と名称を表1に示す。加力方法は、振動台実験による動的加力とした。損傷状況の観測は、ひび割れの発生部位、発生角度、長さおよび幅とした。図2に各試

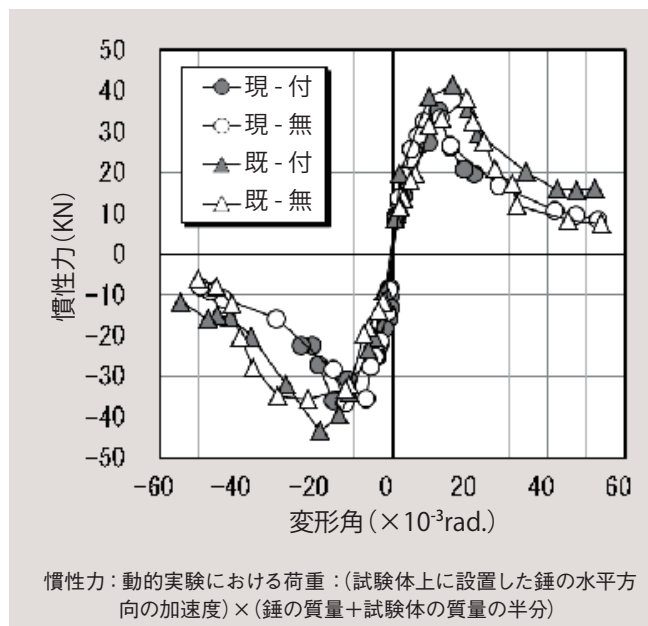
験体の荷重^{※4}・変形関係を示す。本実験においては、すべての試験体が、変形角 10×10^{-3} ~ 20×10^{-3} rad.の範囲で最大耐力を発生したが、この変形角における損傷状況の一例を図3に示す。試験体「既-付」は、変形角 15×10^{-3} rad.程度で最大耐力を発生したが、その前後での損傷状況の違いは、ひび割れの本数やひび割れの長さ程度であり、これらの差を客観的に示すことは困難であった。そのため、壁面全体としてのひび割れの状況から、当該建築物が最大耐力を発生する変形を経験しているか否かの判断をすることは合理的ではないことが分かった。これらの観測と同時に、開口隅角部のひび割れ幅の計測を行った。実験中は常にひび割れ幅を計測した。ひび割れ幅を評価するタイミングは、建物の変形角が目標変形角に到達した後に加振を終了し、自由振動が収束した時点とした。

図4に試験体全体の変形角とひび割れ幅の

表1 モルタル試験体の試験体名称

	外壁モルタルの種類	
	現場調合	既調合
筋かい有り	現-付	既-付
筋かい無し	現-無	既-無

図2 モルタル試験体の変形角と慣性の関係



※3 変形角
層間変位(上の階と下の階の水平変位) / 階高のこと。

※4 荷重
静的試験においてロードセル(荷重センサー)で測定した力のこと。

図3 「既-付」のモルタルのひび割れ状況

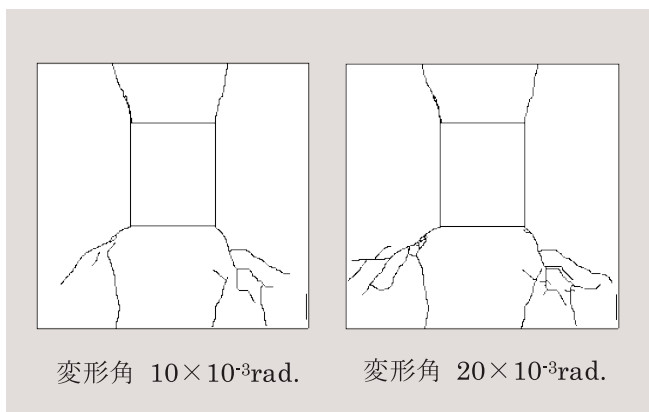
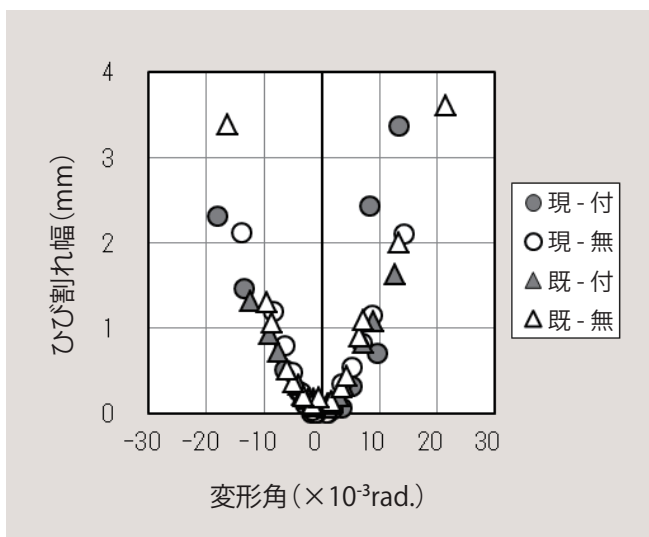


図4 変形角とひび割れ幅の関係



関係を示す。いずれの試験体においても、最大耐力を発生する変形を経験した後の、残留ひび割れ幅は1.0mm～2.5mm程度であった。

モルタル試験体では、最大耐力発生時の変形角の2倍の変形角に達した時の耐力は、最大耐力の50%程度となっていることが図2より分かる。このように、最大耐力発生後の耐力低下が著しい脆性破壊的な破壊性状を示す建築物が、最大耐力を超える損傷を受けた場合には、本震による倒壊を免れたとしても、余震によって倒壊する危険性が高くなる。そのため、安全側の評価として、地震終了後に損傷を受けた建築物の開口部のひび割れ幅を観測し、その幅が1mmを超えていたら当該建築物は、余震による倒壊危険性が高いと考えられるため、そのような損傷を受けた建築物

に近接する場合には、十分な注意を要するとともに、建築物内への侵入は避けるべきであると考えられる。

4. 外壁がサイディングの場合

外壁がサイディングの場合には、加力方法を振動台による動的実験と油圧ジャッキによる静的実験を実施した。試験体の名称を表2に示す。各試験体の荷重-変形関係を図5に示す。すべての試験体で、変形角が 20×10^{-3} rad.程度で耐力が頭打ちになっている様子分かるが、その変形角の2倍の変形角に達した時の耐力低下率は10%～20%程度と小さめであったため、じん性^{※5}が高い破壊性状であったと判断することができる。そのため、倒壊

※5
じん性
物質の粘り強さを表す
技術用語。

表2 サイディング試験体の試験体名称

	加力方法	
	動的	静的
筋かい有り	動-付	静-付
筋かい無し	動-無	静-無

図5 サイディング試験体の変形角と荷重の関係

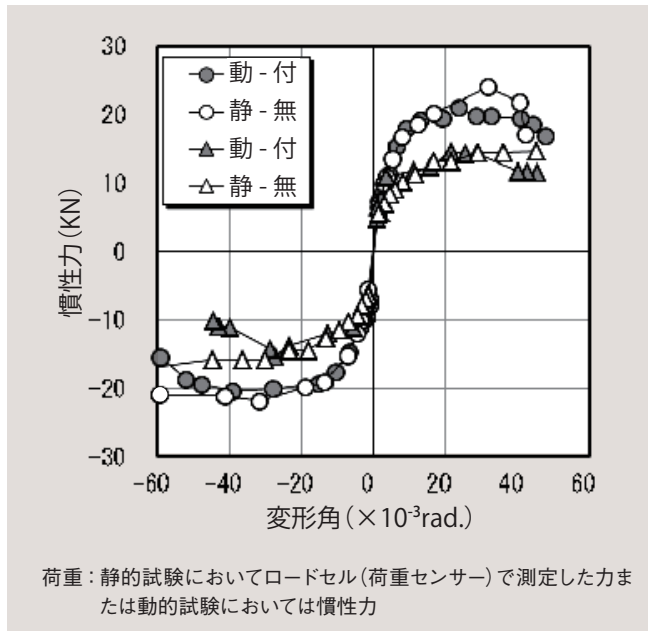


図6 「動-付」の損傷状況 変形角： $50 \times 10^{-3} \text{rad}$.

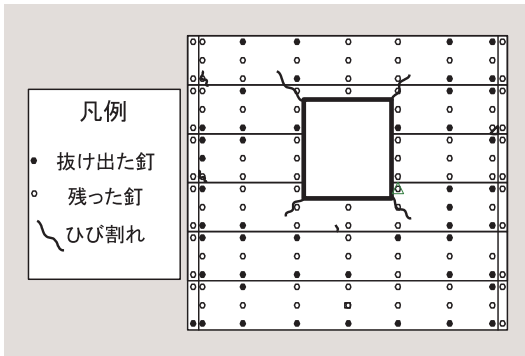
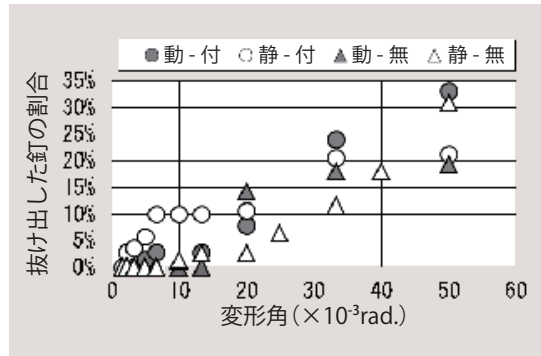


図7 試験体の変形角と釘の抜け出し状況の関係



に対する危険性は比較的小さいと考えられるが、震度階5を超える余震が何度も入力された場合には、倒壊する危険性は少なくないと考えられる。

図6に外壁の損傷状況の一例を示す。特徴的な損傷は、サイディングボードのひび割れや剥がれなどの他、サイディングボードを固定している釘の抜け出しであった。サイディングボードのひび割れは、変形角 $10 \times 10^{-3} \text{rad}$ 程度から、開口部の隅角部に発生し、変形角

の増加に伴いそのひび割れが進展したが、それらを客観的な尺度で評価することは困難であった。図6中の●は、サイディングを固定している釘が2mm以上抜け出したか、完全に抜け落ちてしまった釘の位置を表す。それに対して、○は初期状態と変化が無い釘あるいは、抜け出し量が2mmに満たない釘の位置を表す。図7に釘の全数に対する抜け出し量が2mm以上となった釘の本数の割合と試験体の変形角の関係を示す。最大耐力を発生する変形角

20×10³rad.においては、概ね全数の10%の釘が、2mm以上抜け出していることが分かる。このことから建築物全体として、全釘本数の10%程度の釘が2mm以上抜け出していたら、当該建築物は余震による倒壊危険性が高いと考えられるため、そのような損傷を受けた建築物に近接する場合には、十分な注意を要するとともに、建築物内への侵入は避けるべきであると考えられる。

5. 損傷建築物に対する補強効果

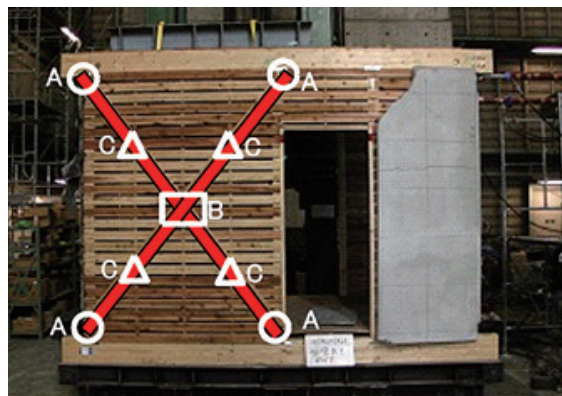
震災後の復旧技術に関する提案⁴⁾は、既にいくつか提案されており、建築物の倒壊を防止するための応急措置の方法として、残余水平耐力向上策と転倒防止策が考えられている。残余水平耐力向上策としては、仮筋かいを設ける方法、開口部に合板などの面材料を釘打ちするなど、壁を増設する方法が挙げられている。転倒防止策には、角材などでつかい棒を設ける方法が挙げられている。それらの方法は、比較的容易に実施可能であり、一定の効果が期待できると考えられる。しかしながら、それらの効果が定量的には示された例はほとんどない。そこで、残余水平耐力向上策としての仮筋かいを設ける方法に対して、その効果を定量的に示すこととした。実験で用いた試験体を**写真1**に示す。実験パラ

メータは写真1中の筋かいのA部、B部およびC部の固定方法とした。加力方法は、静的加力による一方向単調载荷とした。

表3に筋かいの固定方法と実験で得られた最大耐力を示すとともに、せん断力係数^{※6}を示した。せん断力係数は、想定建築物の屋根荷重、外壁荷重、床荷重などを考慮して算出した42kNで最大耐力を除した値とした。

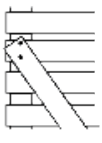
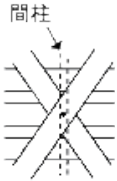
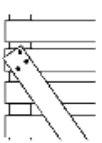
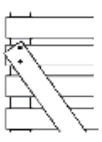

簡易補強を行う以前の試験体の最大耐力は1.22kNであり、せん断力係数に換算すると0.03と非常に小さい値であった。これに対して最も簡便な補強であるタイプAにおいてさえ、最大耐力は6.92kNまで回復している。この耐力をせん断力係数に換算すると0.16になる。この数字は、建築物の一次設計時に用いられるせん断力係数の0.2には及ばないものの、仮設構造物である型枠支保工に求められるせん断力係数の0.05を上回る結果となった。さらにタイプBおよびタイプCにおいては、両補強方法ともにせん断力係数が約0.25となり、建築物の一次設計時に用いられるせん断力係数の0.2を上回る結果となった。これらの結果より、補強方法によっては十分な耐力を発生することがわかった。しかしながら、いずれの補強方法によっても、最大耐力を発生した後の剛性低下は著しかった。これらを総合的に考えると、気象庁が公表している震度階3程度の余震に対しては、タイプB、タイプCの補強方法は、倒壊防止対策として有効

写真1 筋かいによる補強例



※6
せん断力係数
多層建物の地震応答において、r階に生ずる水平せん断力の最大値をr階より上の全質量で割った係数。

表3 補強方法および最大耐力一覧

	A部の固定方法	B部の固定方法	C部の固定方法	最大耐力 (せん断力係数)
タイプA			固定しない	6.92kN (0.16)
タイプB			固定しない	10.70kN (0.25)
タイプC				11.25kN (0.26)

であると判断できるが、それ以上の地震が発生した場合には、倒壊する危険性があると判断される。そのため、震度階5以上の余震が発生している地域においては、余震活動が鎮静化するまで作業を延期するか、さらに効果的な補強方法の提案が望まれる。

6. まとめ

地震によって被害を受けた木造建築物の復旧工事を行う際に、余震などにより当該建築物が倒壊する危険性を推定するためには、当該建築物が保有している残余水平耐力を推定する必要があると考えられる。そこで、最も簡単な判定方法として当該建築物が、すでに最大耐力を発生する程の被害を受けているのか否かの判断を外観上の被害状況から推定することを試みた。その結果、外壁がモルタル仕上げであれば、窓や出入口などの開口部のひび割れ幅が1mmを超えていたら、最大耐力を発生する変形を既に経験しており、外壁がサイディングであれば、サイディングを固定している釘の全数に対する10%程度が2mm以上抜け出していたら、最大耐力を発生する変形を既に経験していると判断できることが分

かった。そのため、それらの損傷を認識したら、そのような損傷を受けた建築物に近接する場合には、十分な注意を要するとともに、建築物内への侵入は避けるべきであるということがわかった。

さらに、それら損傷を受けた建築物に対して、震災後の混乱時においても対応可能であろうと考えられる、簡易な方法によって補強された試験体を用いた加力実験を試みた。その結果、本稿で示した方法は、震度階3の余震に対しては、有効であると考えられるが、それを超える大きさの地震が発生した場合には、倒壊する危険性が残ることがわかった。

参考文献

- 1) 日本の住宅の建築時期別残存率, 松浦晶子, 太田昭夫, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2000年9月, pp.1091-1092
- 2) 建築物残存率曲線のモデル化と推定, 清水貴雄, 大佛俊泰, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2001年9月, pp.217-2181-2
- 3) 高梨成次他: 旧基準で建てられた木造住宅の倒壊に対する安全限界の研究(その15 本震による損傷度と余震の大きさをパラメータとした地震応答解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2012年9月
- 4) 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 財団法人日本建築防災協会, 監修 国土交通省住宅局建築指導課, 2001年9月1日

たかなし●せいし

平成元年日本大学大学院修了後、戸田建設(株)を経て、平成9年4月、産業安全研究所(現(独)労働安全衛生総合研究所)に入省。以降、建設現場の安全に関する研究に従事。博士(工学)、一級建築士。