

金澤町家改修セミナー 「伝統構法木造建築物の耐震化技術」

日時 2025年2月8日（土）10時～11時半

会場 金澤町家情報館／オンライン配信

講師 須田 達 金沢工業大学・教授（木構造・耐震工学）

司会 永野 紳一郎（NPO法人金澤町家研究会理事／金沢工業大学 建築学科 教授）

【能登半島地震被害の状況】

これまでの伝統木造*¹に対して調査や実験から得られた知見にもとづいて、2024年能登半島地震の実際の被害事例についてお話します。

能登半島地震では木造建築さらには伝統的な構法*²で建てられた能登らしい多くの建物が大きな被害を受けました。

今回の被害の特徴は、かなり大きな地震で、広範囲に広がっており、能登半島はほぼ全域で震度6以上、震度5クラスは近隣4県にまたがっており、非常に大きな地震でした。能登半島の被害が中心ですが、新潟でも液状化や建物倒壊、富山でも建物が瓦礫化するような非常に強い揺れがありました。

特徴の2番目は地震の揺れによる被害以外に津波や火災、地盤変状による被害も発生し、それらが複合的に作用して被害が拡大しました。

3番目の特徴として、今回2024年1月1日の8ヶ月前2023年5月5日に奥能登地震で最大震度6強、そのさらに11ヶ月前の2022年6月には最大震度6弱の地震が同じような場所で起こっており、約1年半の間に建物に被害を及ぼすような巨大地震が連続して起こっていたため、建物への損傷が蓄積することにより被害が拡大したと言えます。

非常に大きな地震動によって大きな揺れが発生し建物を壊したということ、複合的な災害で被害が拡大し、連続した大地震により建物に損傷が蓄積したことによって多くの建物が被害を受けました。

【伝統木造建築物の被害】

建築学会として、被害の大きな地区の6,000棟を対象に調査を行いました。図に示すように、どの地区も戸建ての木造住宅の被害が目立ち、伝統木造も

それなりの棟数が各地にあり、特に輪島の黒島は伝統的建造物群保存地区（以下、伝建地区）ですから、他地区に比べ特に伝統木造も多いです。

現在、チームを組んで黒島の復旧支援プロジェクトを進めています。能登の文化、建築を守るというところで、黒島を守るというのは一つのポイントと思っています。

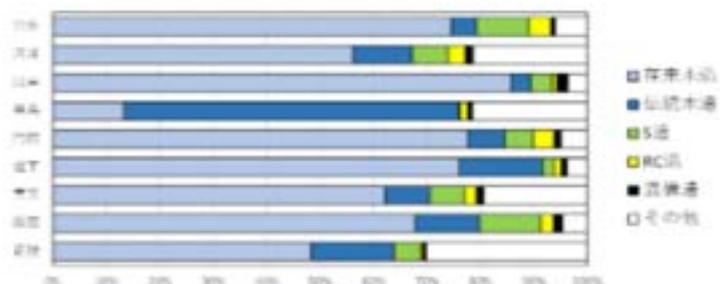
実際建物の中に入り、被害の状況を確認しながら、まず、詳細な調査をし、応急補強をする。この後、耐震診断をし、耐震設計を行い、恒久的な補強に繋げていくところです。

【応急補強の設計】

柱の折損の応急補強をするにあたり、新しい柱を入れるというのが本来の補強の方法ですが、とにかく今にも倒れそうな建物を何とかしないといけないというところで、折れた柱をどう補強すればよいか急遽実験しながら、応急補強を考えていきました。基本的に耐震設計は大規模から中規模の地震に対して耐震設計をするのですが、応急補強ですから、余震で倒れないようにしたいと考え、余震相当の地震を考えてそれに対応する耐力を考え、それに対応するような補強を行い

【集計結果】 地区別の構造種別

※2024年8月23日集計時点



*1, 2: 「伝統木造」や「伝統的な構法」は、建築基準法が施行される1950（昭和25）年までに建築されて来た、わが国の木造の建築技術で、主な特徴は、柱は礎石の上に直接乗せ（石場建て）、柱と梁は加工して組み合わせる。全体として、釘などの金物は使用せず、筋かいも用いない。地震力に対しては、全体としてしなやかに揺れながらエネルギーを吸収して耐える。

ました。

具体的には、実際に折れた柱に対して添え柱を入れ、水平力に対し仮の筋交い*3を入れて、余震相当の耐力に抵抗するようにしました。外壁の方は、表の街道に面している下屋の部分が倒れてしまっているため、繋ぎ材を入れて補強し、下屋の倒壊を防止しています。また、外れそうな2階の床は、あらためてホゾを作ることはできないため、梁の幅を簡易的に深くして床の脱落防止の補強をしました。

参加8大学（関西大、金沢工大、大阪工大、奈良女子大、香川大、京都府立大、立命館大、東大）の木造専門家が集まり、耐震診断、応急補強をしながら、今後、恒久的な補強を考えています。現在30棟の調査が終わり、順次、耐震診断、補強設計へ繋げていこうと考えています。

【被害の要因】

能登の特徴的な吹き抜け空間（ワクノウチ*4）は大きな梁が組まれ、柱も太く差し鴨居*5が入っているので、柱が折れやすいのかなと当初は思いましたが、調査を進めるうちに、新しい壁のある所を開けてみました。すると、2007年の能登半島地震の補強として剛性ブレース*6が入っていました。耐力補強ではありますが、伝統構法は変形しながらエネルギーを吸収する変形性能も重要で、耐力補強はできていても、変形性能は減少してしまい、高耐力なものが突っ張るため、その突っ張りを支えきれず柱が折れ、柱脚も折れてしまっている状況です。柱脚は断面欠損している状況で、高耐力の壁を支えなければならなかったが支えきれず、折れてしまった状態で、そぐわない補強だったと言わざるを得ません。

別の建物では、外壁に沿った壁が大きく外

れてしまい、荷重を支えきれずにほとんどの柱に折損が見えました。柱の柱頭、足元共に、ホゾがなく、釘で止めてある状態で、こちらも2007年の時に補強で入れた柱のようで、後から入れる柱なので、ホゾが作れず、今回の地震では、この程度の留め付けでは耐えきれず、大きく壁が外れてしまった状況でした。

また別の建物でも、2007年の時に大きな襖の筋かいで補強したものですが、両筋交い*7の交差部を見ると（写真参照）、一方は一本で繋がっているが、もう一方は繋がっておらず、地震の強い軸力*8が作用した時に、他方の筋交いを押したことで折れてしまった状況で、ちゃんと土台に力を伝えるような仕組みになっていればここまで大きな被害になかったのではと思います。

さらに別の建物では、土塗りの垂れ壁（小壁）*9が外れている状況で、垂れ壁は伝統木造では非常に重要な耐震要素で、当時これを耐震要素として見込んだかは分かりませんが、よく見ると下地が二重になり、その下地に両側から薄く土が塗られている状況で、剪断力*10を負担するような壁にはなっておらず、耐震要素として負担できるような壁ではありませんでした。壁は剪断力を伝えるため脱落しないようにしなければな



*3:垂直材（柱、土台）と水平材（梁、桁）で構成される四角形のフレームに、地震による水平力に耐えて変形しないように入れる斜め材である。建築基準法では筋かいを入れ、筋かいとフレームの接合部を金物で補強することが求められている。

*4:ワクノウチは、砺波地方などの伝統的民家に用いらて来たれた構法であり、太い柱と梁・桁で構成される立方体または直方体を構成し、茶の間などとして建物の中心に位置する。構造的に優れているだけでなく、檜材などを用いて気品と美しさを感じさせている。

*5:差し鴨居は、ワクノウチの水平材のことで、柱に接合される。

*6:ブレースとは、鉄骨造などで用いられる、筋かいと同じ役割を果たす斜め材である。剛性ブレースは、金属材料によるブレースで木材に比較して伸縮性がとぼしい。

*7:たすきがけのように入れる筋かい

*8:ここでは筋かいに伝わる力

*9:垂れ壁とは、襖や障子の上の水平材（梁等）の上にある壁で下り壁とも称し、逆に下部にあるものを腰壁と称し、それらを相称して小壁と言う。

*10:剪断力とは、例えば、水平材（柱）を横方向に変形させたり、四角形（壁）を平行四辺形に変形させたりする力

りませんが、別の建物の鴨居^{*11}の跡を見るとホゾ^{*12}がなく、釘の跡があり、地震で壁が落ちてしまいました。

最後に紹介する建物の事例では、2007年の時に軸組で作られた枠に木ずり板^{*13}を貼ることで剛性の高そうな耐震壁とし新しい方法として考え入れたと思われませんが、痕跡を見ると、細い釘による、粗めのピッチで留めており、高剛性を持つような壁とするには不十分で、容易に外れてしまっていました。

これらの被害事例から、何らかの被害を受けた原因は、力の流れを想像できておらず、地震力に対して、基礎等に伝える大きな力の流れが途切れてしまっているような補強の仕方になってしまっていました。伝統木造に適した診断をして、構造的にも意匠的にも適した補強改修補強が重要と思います。

【前半・質疑応答】

Q. 黒島の2007年の耐震建物で被災した例を紹介いただきましたが、当時は耐震壁やブレースなど、伝統構法の改修では避けるような一部を補強するような改修がされたのでしょうか^{*14}。

A. 今回の被害を受けた後の改修の進み方を見ても、余裕が無い、時間的な余裕、予算的な余裕、気持ちの余裕もそうですが、その中で何とかできることをやったのだと思います。手軽な方法を選択しがちですが、今回、2007年を超えるような地震がまた起こるとは当時誰も思わずに、結果的には被害がでてきてしまったと思います。当時の黒島は伝建地区ではなかったので、その背景もあるかもしれません。

悪い例のように聞こえますが、やらないよりはよい、何もしないよりは筋交いや構造用合板を入れた方がいいと思います。入れたことに対して悪いと言っているわけではなく、入れるのであれば、今はもう少し知見が進んでいるので、今後適したものを選択したらよいと思い紹介しています。



【意匠的にも、構造的にも伝統木造に適した設計・改修について】

地震の被害を受けて、伝統木造の町家の補強をどのように考えるか、一つの事例として紹介させていただければと思います。

対象としたのは、京都市内に現存する京町家で、間口が約6m奥行12m、延床面積127㎡の建物を持ち主の方に提供いただき、実際の建物を振動体に移築し振動実験をしました。典型的な京町家で、2階建て1列3室^{*15}の試験体です。

町家というものが地震によってどのような挙動を示すのか、大地震に対してどのような補強をすれば持つのか、実験をしました。

先程、伝統木造にとって小壁は重要な耐震要素と話しましたが、試験体の町家は間口方向にほとんど全面壁が無く、小壁を耐震要素と考えないと、町家の構造が成立しないので、そういう意味で小壁が重要な構造要素であると言えるわけです。

「復元力特性」^{*16}を耐力と変形の関係で示し、全面壁^{*17}の土壁、小壁、柱を数値に置き換えて耐力を評価します。復元力特性は耐震診断や耐震設計に使うために、耐力を数値的に評価します。奥行き（梁間）方向は壁があるので、間口（桁行）方向よりも2~3倍の耐力を持っていると言えます。壁の劣化度合いについては今の研究、知見から考慮することは難しいですが、劣化した土壁は地震力に対して崩れてしまい、構造要素としては見込めない、ということを見ながら、耐力の評価をしなければならないと思います。

*11:鴨居とは、例えば、障子や襖の上部にある水平材

*12:ホゾは、鴨居と柱を接合するための木材の加工部分。通常、柱側に加工して溝を作成

*13:木ずりとは、通常、幅3cm程度の板を5mm間隔程度で釘で打ち付け、面上の壁とすること。外壁などにモルタルを塗るための下地とすることが多い。

*14:伝統構法の木造住宅は、全体としてしなやかに揺れながら地震力を吸収するため、一部のみ固く補強してしまうとその部分に力が集中して破壊されるため良くないとされる。

*15:町家の間取りの分類方法で、一階の部屋が前から奥行方向に三室続いているもの

*16:建物の地震力に対する強度や特徴を分析するために、横方向の力と変形の大きさを破壊されるまで計測し、変化図として表して「復元力特性」を分析する。

*17:垂直材（柱）と水平材（梁等）で構成される四角形全体を壁とするものを全体壁と称し、一部を壁とするものを小壁と称する。

また、軸組^{*18}も柱脚部分の腐り、シロアリ被害があると、折れやすいため、構造要素としては有効ではありません。逆に構造要素として有効にするには、軸組を変えたり、土壁の塗り替えをすることを前提に耐震診断に組み込むという判断をすればと思います。

土壁の床下、天井裏をみると、土を塗っていない状況も比較的良好に見取れます。一般的に土壁の耐力評価をするには、実験の値を参考に耐力評価をしますが、実験は綺麗に土壁を作るので、その値が基準となりますが、実際の現場をみると、床下や天井裏は見えないから塗らないという状況で、上から下まで土壁が塗られた状態に比べると、耐力は低く、崩れやすいと想像できます。

当時は小壁が全面壁の間にあるだろうと思いながら互換評価をし、耐震診断してみると、建物の復元力性能をあらわす線と地震の力を示す線が交わる点まで建物が変形しますよという耐震診断をします。

桁行（長手）方向は土壁の変形性能もあり、十分な耐力があるので、倒壊しないという判断ができますが、梁間行（短手）方向は変形性能はそれなりにありますが、基本的に耐力は足りないのので、大地震に対しては値が出ずに倒壊する危険性があるという判断になります。梁間方向に対して耐震補強が必要と言え、どこに耐震補強をすればよいかを合理的に考えなければなりません。

建物の揺れ方を見ると、玄関の方の変形は小さく、耐震要素が少ないと言われていた奥の方面も、中側に比べると揺れが少ないという変形の状況を見て取れます。

伝統木造というのは、比較的、床剛性^{*19}が少ないので、平面のエリアを区切って部分ごとに耐震診断をすることにより平面的なバランスを考えながら、足りない所に耐震補強を考えることができます。

縦方向のバランスについては、建物の被害を見ると、一層（一階）が崩壊しており、二階はほとんど被害を受けていません。木造の場合、そのような崩壊の仕方が多く、一階は二階の重さを支えており、なおかつ、一階はダイニングや居間など比較的広い部屋があり、二階は子供部屋や、小部屋が多く、一階の方が弱くなってしまうことによって一階の崩壊が起こりやすいと思われます。

古い建物だろうが新しい建物だろうが同じで、一階の変形も二階の変形も同じになるのが合理的で、二階にも地震のエネルギーを吸収させてバランスよく地震に耐えることが必要です。

実際にどのように補強したかという、一番奥の何も



無かった構面に対して門型に壁を設けて補強をしています。トオリニワ^{*20}の中央にハシゴを横にしたような材を組み込んで木材のめり込みにより抵抗するような補強システムを採用しました。

（実験映像）

この時に入力したものが1995年の兵庫県南部地震で観測されたJMA神戸という波です。何回も実験をし、最後の加振で、それなりに損傷の履歴が溜まっている状況で大きな実地震動でやってみた状況です。

（実験映像）

外壁は土壁、屋根は瓦葺きで実験のときは一枚一枚留め付けています。棟は簡易に留めただけなのでズレますが、瓦は一枚一枚今の構法で留め付けているので瓦はズレることなく実験が終わりました。最終的な状況を見ると、壁は全面的にひび割れ、剥落、内壁も剥落、棟瓦はずれ、柱脚もよくみると柱2本分ずれていますが、補強することにより、大地震に対して倒壊はしておらず、無傷ではないが、倒壊を免れることはでき、耐震設計して、見合った施工をすれば、充分大地震には耐えられたと言えると思います。



*18: 軸組とは、柱や梁・桁などで構成される構造的フレーム

*19: 敷居や土台で構成される床組が有する水平的な面としての剛性のこと

*20: トオリニワは、町家タイプの建物にみられる土間で、通常、前面の道路から後ろ側まで通っている。

実験時にはハシゴ型フレームという補強方法を考えました。土壁を補強して残すことも大事だが、色々な選択肢があった方が良くと思っています。近年、制振ダンパー*21補強がいろいろところで使われていて、伝統構法に合ったダンパー補強があるといいなと思い、実験・研究しています。

屋根瓦の実験で、高く棟を積み上げた時にどのような挙動をするか、実験をしてみました。棟部分は、先程の実験では崩れてしまっているのですが、今の構法で南蛮漆喰*22を使って瓦を差し込みながら留め付けています。設計用よりも2倍ほど大きい地震で揺らし実験したところ、南蛮漆喰にはほとんどヒビが入ってなくて、瓦のずれも確認できませんでした。大地震であっても、高棟であってもズレることが無いくらいしっかり留め付けられています。

瓦屋さんによれば、南蛮漆喰は数十年すれば劣化は生じるので、そのタイミングで地震の被害は出てしまうかもしれないが、どんなものも、維持管理は必要で、それは瓦じゃなくても30年、40年経てば修繕は必要だし、耐震補強も含め、悪いものは直していく。瓦だから地震被害が大きかったということではなく、劣化が激しかったから、被害が出てしまったのです。昔ながらの構法だと、留め付けが甘く、瓦がズレてしまうことがあるので、今後、葺き直しをして直していくことが必要となります。

黒島での補強は土壁で直していくのがよいと思っていますが、なかなかそれを適用しようとする、左官屋がない、材料がない、直すまでに数年かかってしまうわけで、そこはもう少しスピーディにやらなければならないので、乾式*23で壁を貼っていく方法が簡単ですが、構造用合板をそのまま今の留め付け方でやってしまうと、同じように柱に何らかの被害が出てしまいます。構造用合板で耐力を押しさえながら、変形性能も出るような留め付け方、パネルの貼り付け方、実験により暫定的な補強方法として提案できないかと思っています。あくまでも暫定補強で、黒島の文化財を守るのであれば、5年後、10年後でもよいので、もう一回土壁でやる、それまでの暫定補強として、復旧していこうと考えています。

そして、襖などの開口部の間口方向に壁を入れることは難しいけれども、2間のうち半間だけに壁を入れるとか、襖の出し入れできるけれども、少し壁がついているとか、1間の開口部の半間を補強する間で半間だけ補

強する、普段は襖があって、その裏側で補強がされているということができないか、実験的に研究し、伝統構法の補強に役立てたいと思っています。

補強するにあたり、再三申し上げている通り、悪いところを変えていかないといけない、メンテナンスしないと伝統構法を守ることはできません。

【後半・全体質疑応答】

Q. 伝統木造用の構造用合板と普通の合板の違いは？

A. 素材は構造用合板を使っていますが、貼り付け方がそのままとかなり高耐力になると思うので、釘ピッチを変えるとか、面材のカットの仕方を変えて綺麗に縦貼りにするとか横貼りにするなどパラメーター*24にして、そこそこの耐力でそれなりの変形性能を持つような留め付け方ができなかと実験的に模索しているところです。

Q. 町家情報館に格子壁*25を推奨していますが、それについてどう思いますか？

A. ちゃんと耐震設計ができる状況なので、建物の状況に合わせた格子壁は良いと思う。

何軒か能登でも格子壁で補強をし、効果を発揮しているものも実際にありました。それなりの加工精度が必要で、格子壁が割裂するような破壊をして倒壊した建物もあるので、ちゃんと材料を選び、適切な加工、適切な取り付けは必要と思います。

Q. 半間補強も格子壁に近いですか？

A. 鴨居に力をどう伝えるか、抜けてしまうところをどう留め付けるのか、課題はあります。



*21:地震力を吸収して伸び縮みするものを制振ダンパーという。

*22:南蛮漆喰とは、消石灰に山砂利などを加えてフノリの煮汁で練ったもので、従来の漆喰より防水性に優れ強度が高いことから、現在では屋根に用いられるようになっている。

*23:従来の土壁を湿式工法とし、合板など水を用いない工法を乾式と称する。乾式の場合、乾かす期間が不要なので施工期間を短くして工費も少なくできる。

*24:ここでは、壁の性質を変化させる要素をパラメータと称している。

*25:建物の変形に合わせてしなやかに変形するような壁をつくるため、木材を縦と横に組み合わせ格子状にした壁。金澤町家情報館に実物を展示している。

Q. なるべくコストをかけずに補強するには？

A. 損傷を減らす方法は、耐震診断をし、それみ見合った補強設計をして、取り入れていくプロセスが必要で、2007年の時には今のような設計体制も無かったため、感覚的な補強が多かったです。今は耐震診断して耐震補強設計という仕組みがある程度できているので、そのプロセスを踏めれば、被害は抑えられると思います。

Q. 伝統構法は柔らかく、変形性能だよりの補強というのが一方で独り歩きしているのが、今回の地震のように長周期^{*26}のところでも揺れ、それなりの耐力、変形性能があるということを設計で考えていく必要があるのではないかと？

A. 設計用の地震動だけをみると、長周期のところでは地震力が落ちているのでそれを頼りにしてしまうと小さい耐力でも設計できてしまうため、今回の巨大地震の状況をみるとそれなりの耐力を考えてあげることが必要だと思います。

Q. 今後黒島の復旧を考えると、耐震調査を終え、補強設計の実現性は？

A. 時間のかかることで、構造設計の研究者だけではなく、実務者の方も入っていただき、研究者が事例を示しながら、実務者の方でも流れに沿ってやらざるを得ないと思います。住民の方に寄り添い伴走しながら根気強くやるしかないと思います。

Q. 木造構造設計がわかる人材が圧倒的に少ないような気がします？

A. 木造の構造設計者はS造、RC造に比べると少ないですが、今回の黒島の例が参考になるような取り組みになればと思っています。8大学の木造の設計者が集まるチームに、住民の方々の集まりとか設計事務所の集まりの方々も入っていただいて、一緒に取り組もうとしているので、一つの事例になればよいと思っています。

Q. 筋交いの効かなかった事例が紹介されていましたが、一本は軸力を持っていて、一本は軸力を持っていなかったのは、大丈夫なのでしょうか？

A. あの筋交いは撤去され、応急復旧をしています。一般的なやり方ではなく、なぜあのようなことになってしまったかはわかりません。伝統構法は地震時にどのような挙動をするか、どのような力の流れがあるのか、想像しながらやらないと、感覚的な補強はどこかに無理が生じてきます。

Q. まだ地震が続く中で、地盤面の揺れがよりひどくなっているとすると、被害が見えないうちに現実的な調査の仕方、住民の方々でも出来るメンテナンスの仕組みをやらせないといけないですね？

A. メンテナンス必要だとは言いますが、実際難しいと思いますし、やらなかったら劣化は進むので、その

仕組みを考えないといけないと思います。30年、40年放っておくのはどんな建物でもよくないので、大きな仕組みとして考えなければいけないと思います。

*26:地震動の特性を表わす指標の一つが周期で、揺れが大きいこと。

金澤町家改修セミナー Kanazawa-Machiya Renovation Seminar

石川県には金沢市内の町家や8つの伝建地区など、数多くの伝統木造建築物が存在しており、それぞれ美しい町並みを形成している。文化的・歴史的にも価値があり、今後を残すべき建築物と言える。
二〇二四年一月一日に能登地方で非常に大きな地震が発生し、各地で甚大な被害となった。
本講演では今回の地震被害の概説と共に、これまでの調査・実験研究に基づいて伝統木造建築物の耐震性能や耐震技術を紹介する。



伝統構法木造建築物の耐震化技術



令和7年2月8日(土) 10時～11時30分頃

講師：須田 達 金沢工業大学・教授(木構造・耐震工学)

司会：永野 紳一郎 金沢工業大学 建築学科 教授

会場：金澤町家情報館(金沢市茨木町 53) & オンライン視聴

参加：無料、金澤町家情報館で参加、または、オンライン (Zoom) で視聴

定員：金澤町家情報館での参加は10名程度 申込締切：2月6日(木)まで

右のフォームよりお申込みください <https://forms.gle/8hpNTAbX8pfXvJW6>



参加申込フォーム

「金澤町家改修セミナー」は、令和6年能登半島地震をきっかけとして、歴史的建築物の耐震性、防火性、断熱性、居住性の向上など、伝統構法による改修について考えるセミナーです。

問い合わせ NPO 法人金澤町家研究会 電話：076-254-0647・Mail：kanazawa-machiya@nifty.com