

参考

重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引

平成25年10月

文化庁文化財部参事官

第三章 耐震補強

第1節 耐震補強の概説

耐震診断の結果、必要耐震性能に比べ建造物が保有する耐震性能が不足していることが明らかになった場合には、耐震補強を検討する。耐震補強とは建造物に耐震要素を付加する、もしくは部材を耐震性能の高いものに置換するなど、建造物の耐震性能を向上させる措置である。地震時の被害を軽減する方法には、この耐震の考え方に基づく方法以外に、制震・免震の考え方に基づくものがあり、耐震補強は、狭義の意味では耐震の考え方に基づく方法を示すが、本手引では制震、免震の考え方に基づく方法も含むものとする。

耐震補強は地震時の人命の安全確保にとって必要な措置であるばかりでなく、地震被害の軽減、地震後の復旧工事の規模縮小にもつながるため、文化財建造物の保存に対しても適切な措置といえる。

一方で、文化財建造物に耐震補強を行う場合、耐震性の確保だけでなく、補強によって文化財的価値を損なわないように配慮しなければならない。その上で最も重要なことは、対象となる建造物の文化財的価値の把握である。文化財的価値は建造物ごとに異なり、したがって重要となる部分・部位も建造物ごとに異なる。文化財的価値の文脈をしっかり把握し、伝えるべき価値を優先的に保存することが重要である。

また、今日、工学技術の進展とともに、様々な補強技術が提案されており、様々な耐震性の課題に対し、きめ細やかな対策を講じることが可能となってきた。文化財建造物には様々な構造種別のものであり、その架構や部材接合部等も多種多様である。このため、各建造物の構造特性にとって適切な補強を現代の技術を駆使して十分に検討するべきである。

どのような補強を実施できるかは、その建造物の修理方針にも左右される。根本修理が予定されている建造物と、根本修理を行う必要のない建造物では、補強に係る工事を行うことができ範囲が大きく異なる。これは、修理が必要とされない部分については極力解体を行わない方が、文化財的価値の保存上の観点からも、経済的観点からも望ましいからである。将来どのような修理を行うのかを留意した上で補強計画を立てることが重要である。上記の観点から本格的な耐震補強が難しい場合には、第3節で説明する経過的補強を施すこともある。

また、第4章で説明するような耐震補強以外の対策も併せて行うべきであり、耐震補強を施すことが難しいと判断された場合には、耐震補強以外の対策のみを講じることもある。

文化財的価値に配慮

高匠を損なわないこと
部材を傷めないこと
可逆的であること
区別可能であること
最小限の補強であること

→第2節 1

構造特性に応じた考え方

耐震・制震・免震
構造種別・補強部位

→第2節 2, 3

耐震補強の検討のながれ

補強方法・箇所の設定

第2節 耐震補強の概説

1 文化財建造物の耐震補強の原則

(1) 原則

文化財の価値は建造物によって異なり、高匠が優れているもの、歴史的に価値の高いもの、技術的に価値が高いものなど、様々な価値を有する。文化財建造物の保存修理は、文化財の価値を恒久的に維持し後世に伝えることを目的とし、そのために必要な保存措置を行うものである。文化財の価値の保存のためには、元の材料・仕様・工法・意匠を残すことが原則であり、保存のために必要な措置は最小限の範囲としなければならない。

文化財建造物の耐震補強も文化財の保存に必要な措置の一つであり、当然、耐震性能を向上するだけでなく、文化財としての価値を損なわないものとする必要がある。個々の文化財建造物について重要な価値は何かを把握し、できる限りその価値を損なわないように、補強の方法、位置、数量などを検討しなければならない。

一方で、耐震診断、耐震補強の技術はまだ発展途上であり、現時点で考え得る最良の方法をとりあえず採用するという仮設的な側面がある。今後の研究や技術開発により、将来もっと良い方法が見つかる可能性があるため、補強は取り外せば元に戻せるようできるだけ可逆的な方法としておくことが求められる。

また、文化財建造物を正しく理解する上で補強等の付加物は、本来の部材と誤解されないようにしなければならない。

以上のような考え方から、文化財建造物の耐震補強においては、修理における原則に加え、以下のような原則に配慮する必要がある。

- 意匠を損なわないこと
- 部材を傷めないこと

既製品だけでなく特別発注で作成した補強部材を用いることも検討する。
補強部材はできるだけ目立たないようにするのが基本的な手法であるが、どうしても見えてしまう場合は、建造物の意匠レベルに応じたデザインが必要となる場合もあり、文化財建造物の見せ方や内部の展示設備等に補強部材を積極的に活かすようなデザインとするのも一つの考え方である。ただし、主役はあくまで文化財なので過度の装飾を施すなど主張しすぎる意匠の補強部材は望ましくない。

○部材を傷めないこと

文化財建造物を構成する部材は、それ自身が文化財的価値を有する物的証製品であり、できるだけそのままの状態の後世に伝えていくことが文化財保存の原則である。したがって、補強部材を取り付ける場合にも、耐震補強として有効に機能する範囲で、できるだけ部材を傷めないようにすることが求められる。

・補強部材の取付けに際し、できる限り文化財的価値を有する部材に穴を開ける、切り欠く等して傷つけるようなことを極力減らすよう工夫を行う。

例えば柱、梁など部材に補強部材を取り付ける場合は、釘やビスなどでなく、バンドのような形で部材をつかんで取り付けられるようにしたり、部材を彫り込んで補強部材を埋め込むのではなく、出っ張っても埋め込まない形としたりする。

・当初部材のような特に保存の優先順位が高い部材については、傷めることのないよう配慮する。

補強部材の設置により部材を傷めざるを得ない時は、補強の配置を検討し、できるだけ保存の優先順位の低い部材に設置するなどの工夫をする。建造物によって保存の優先順位は異なるが、一般的に建設当初からある部材（当初材）の方が建設後に取り替えられた部材（中古材）より優先順位が高く、また柱や梁などの主要な構造材の方が敷居や鴨居などの造作材よりも優先順位が高い。また、部材を傷める範囲を最小限とするようにも工夫する。

・将来の修理において補強も更新されることに留意する。

文化財建造物を保存していくためには、定期的な修理が必須となる。そのため、補強部材や補強を取り付けた部材も修理が行われることが前提となる。ビスなどで取り付けた補強は、一度解体した場合同じ穴を再用することができず、新たに穴を開ける必要があり、結果としてさらに部材を傷つけることとなる。その補強がボルトによる取付けであれば、再度同じ穴を用いることができるので、新たに穴を開ける必要がない。このように部材に穴を開けることは、その時点での部材に対する影響は大きいの、将来の取替えを考えると影響が少ない場合もある。補強の取付けで部材に加工を行う際には、将来の更新も考慮した上でその方法を決定する必要がある。

住宅等の一般建築物に用いられる補強方法は、たくさんの釘やビスで固定する、接

- 可逆的であること
- 区別可能であること
- 最小限の補強であること

以下にそれぞれ原則について解説する。

○意匠を損なわないこと

多くの文化財建造物にとって、その意匠的価値は重要な要素であり、補強はその意匠的価値を極力損ねないように実施されなければならない。具体的には、見えない位置に隠すことが望ましく、隠すことができなければ意匠に配慮したものとすることを必要とする。

・可能な限り見えない位置で補強を行う。

例えば、小屋組内や床下、壁の内面などの見えない位置で補強を行ったり、補強の設置位置を公開する場所ではなく、押入の中など普段は公開しない場所にする。

・見える位置に補強を行う場合は、文化財的価値に与える影響が小さい部分に設け、違和感が生じないように配慮する。

例えば、複数部屋を有する建造物に見える位置に補強を設けざるを得なくなった場合、部屋の重要度を文化財的価値に配慮して検討し、できるだけ重要度の低い部屋に補強を集中させる。耐震壁を増設せざるを得ない場合は、もともと壁のある位置に沿わせて設ける、あるいは建具のうち、あまり動かさない建具の位置に設け、意匠的に違和感のない仕上げとする。

文化財建造物は外観を損ねない補強を求められることが多いが、外観を損ねない補強が常に最適解であるとは限らない。内部空間が極めて優れた建造物の場合は、外観をある程度犠牲にしてでも内部空間に補強を見せないこともある。

・補強部材の素材・形状・色等を工夫し、できるだけ文化財的価値に与える影響の少ないデザインとする。

見える位置に補強部材を取り付けざるを得ない場合は、デザインを工夫し目立たない、あるいは違和感のないものとする必要がある。従来、補強部材の形状は必要な造形能力から断面を算定し決定されることが多い。見えない位置の補強であれば問題ないが、見える位置の補強はこれに加え意匠的観点からも検討する必要がある。

補強方法を平面図や断面図の上でのみ検討した場合、立体となった時に思わぬ印象となる場合があるので注意する。補強部材の色や形状について、写真を加工したり、コンピュータグラフィック (CG) を作成したりして見え方を検討したり、現場に補強部材のモックアップを作成して検討するためのボルトやプレートを露出し、意匠に影響するよう場面もあるので、施工まで考えた補強方法が求められる。必要であれば

着剤で貼り付けるなどが一般的であり、部材の保護や将来の更新について配慮されたものではない。一般的な補強方法を文化財建造物に採用する際には、取付け方法についてよく検討する必要がある。例えば、部材にあて木、銅い物などをあらかじめ最小限の方法で取り付けておき、それらに補強部材を通常の方法で釘止め、ビス止めすることもある。

○可逆的であること

耐震補強は現段階で考え得る最良の方法で実施されなければならない。しかし、耐震工学、補強技術の発展により、将来にはもっと良い補強方法が開発される可能性があり、また耐震基準の見直し、活用方法の変更などにより補強方法の変更が必要となる可能性もある。そのため、補強は取り外せば元の状態に戻せるような可逆的な方法で実施されるべきである。また、補強設置のためにやむを得ず壁や屋根などの仕様を変更する場合は、将来元に戻せるように、元の仕様が分かるような工夫を行う。

- ・付加物として補強を取り付ける場合は取外し可能な方法にする。
可逆的にするためには、耐震補強は付加的な方法で実施されることが望ましい。部材を補強部材に置換するのは、原則避けるべきである。また、部材を傷めないという観点からも、付加的な方法を選択する。
- ・壁や屋根など更新される部材の仕様を変更して補強する時は、元の仕様が分かるよう痕跡を残すようにし、また一部は元の仕様を残す保存部分を設ける。
本来は元の仕様の置換や材料の置換は文化財保存の原則上望ましいことではない。しかし、重量軽減のため瓦葺屋根の重い土葺を軽い空葺に変更したり、土壁の小舞下地を構造用合板などに置換するなど、耐震補強のためにやむを得ず仕様を変更せざるを得ない場合には、一部に元の仕様を残す保存部分を設けたり、元の仕様の痕跡を消さないようにしたり、取り外した部材を保存しておくなどして、元に戻せるようにする。
- ・木造建築物では、可逆性のある補強とするのは比較的容易な条件であるが、煉瓦造や鉄筋コンクリート造等の非木造建築物では、可逆性のある補強とすることが困難な場合もある。補強種別に応じて、適切な判断を行うことが望まれる。

○区別可能であること

見学者に文化財建造物を正しく理解させるといふ観点から、補強部材等の付加物は元からある部材と誤解されないよう区別可能なものとしなければならない。また、将来の修理において、補強部材が後から加えたものであることが分かるようにしておくことも必要である。

例えば、元からある部材と全く同じ仕様で壁や柱などを増設することは、文化財建造物

を理解する上で誤解を与えるため避けるべきである。しかしながら、区別可能とすることに固執しすぎると意匠上あまりにも違和感を与えるものとなってしまう可能性もあるもので、区別可能かつ意匠を損なわない方法となるよう十分検討する。

区別可能とする方法としては、補強部材の材料・形状・色・仕上げを元からある部材と異なるものとしたり、補強材料に焼印・刻印等を付けるなどが考えられる。材料等を変えつつも違和感なく納めるためには、補強部材の意匠を単純なものとしたり、材料は違っても色を元のものに似せる、色を少しだけ違うものを使う、つやを押さえるなどの方法が考えられる。

○最小限の補強であること

耐震補強を行えば、上記のとおり、様々な観点から文化財的価値に与える影響がある。このため、建造物が保有している耐震性能をできるだけ活かす耐震補強計画を行い、耐震性能を満足する範囲で補強部材の量を過剰としないようにし、文化財的価値に与える影響をできるだけ小さくすることが必要である。

また、補強部材の取付けのための工事範囲が大きくなれば、文化財的価値に与える影響が大きくなる。よって、修理に必要な工事範囲とできるだけ重なるように計画するなどして、耐震補強のためだけに必要な工事範囲を最小限とすることも検討する必要がある。

(2) 留意点

上記の耐震補強に関する原則全てを十分に満足することが理想であるが、現実にはこれらの原則が相反することも多い。例えば、意匠を優先すれば部材に加工を施さざるを得なく不可逆的な方法となってしまうたり、可逆的であることを優先すれば意匠を損ねる補強を取り付けざるを得なくなったりすることもある。文化財的価値に配慮して優先順位を考え、価値に与える影響が最小限となるよう、最もバランスの良い方法を選択する必要がある。

また、コスト、施工性、耐久性、維持管理の容易性も十分考慮し、最適な補強方法を選択しなければならぬ。文化財建造物は半永久的に保護していくものなので、補強部材も十分耐久性のあるものを選定するとともに、万が一、補強部材が劣化しても建造物に悪影響を及ぼすことがないよう十分配慮する。維持管理の容易性についても十分検討し、耐用年数に達した場合に更新可能な方法を選択する。特に、耐震装置や免震装置は継続的なメンテナンスが実施されるように配慮する。

補強方法は日進月歩で様々な技術が開発されており、多くの事例を参考にして補強方法を選択するのが望ましい。ただし、新しい補強方法を用いる際には十分検討した上でできる限り実績のあるものを採用する。実績の少ない特殊な補強方法を検討する場合には、専門委員会を設置し、十分に協議を行った上で方針を決定することが望ましい。

2 構造特性に応じた補強の考え方

耐震補強は建造物の構造特性を正しく理解し、構造特性に応じた補強方法を選択する必要がある。

地震時の被害を軽減する考え方には、耐震、制震、免震がある。耐震とは、建造物が地震力に対し抵抗する際の耐力（破壊に至る力）と剛性（硬さ）、靱性（変形能力）を補強部材によって増強する方法であり、制震とは、地震によって建造物に入力される振動エネルギーを制震部材によって吸収する方法であり、免震とは、地震によって地盤から建造物に入力するエネルギーを地盤と建造物の間等に設置した免震装置によって減少させる方法である。

この三つの考え方の中で耐震は最も一般的であるが、技術の発展に伴い、特に阪神・淡路大震災以降、制震や免震も多く用いられるようになってきた。文化財建造物の対策においては主に耐震が用いられてきたが、制震の考えに基づき方法が選択された事例も増えており、また近年では免震を採用した事例もある。

建造物の構造特性に応じた補強の考え方を確保することは、安全性を確保する上で必要なだけでなく、建造物が保有している耐震性能を最大限活用し補強量をできる限り少なくすることにもつながる。また、建造物自体の構造特性を文化財的価値の側面として尊重し保存するといった観点からも望ましい。

参考として、以下に各種別ごとに留意すべき構造特性を示す。実施に当たってはこれらの他にも配慮すべき項目があるから十分検討する。

(1) 伝統的木造建築物（社寺建築）

仏堂、社殿などの社寺建築のうち、柱径が太く柱の折損の危険性が低い場合、地震時に大きく変形しても倒壊しにくい。これらの変形能力が高い建造物に適した耐震補強は、木材のめり込みや土壁などのように高い変形能力を有する補強部材の設置や、大きく変形することで効率的にエネルギー吸収を行うダンパーなどの制震部材の設置が挙げられる。

また、社寺建築には軒の出が深く、屋根が重いものも多く、特に大規模な本瓦葺の建造物は相当な重量となる。これに対して、瓦の葺土を減らす、もしくは無くするなどして重量を軽減し地震力を小さくすることがある。

さらに、南面に開口を設けるなどして耐震要素が偏在している場合や、向拝などの突出部がある場合、地震時のねじれや局所的な揺れの増大が問題となる。これらに対しては小屋組内などにおいて水平構面の補強を行うことが多い。

加えて、大変形時には柱が礎石から滑り落ちる危険性があり、そうなった場合でも梁帯が構造的に一体となって抵抗するよう、足固めを付加するなどして柱の足元をつなぐこともある。

(2) 伝統的木造建築物（住宅系建築）

書院、客殿、方丈、庫裏、民家などの住宅系建築の場合、基本的には(1)の考え方に近いが、社寺建築に比べて柱径が細く、柱の曲げ耐力に期待することができない。特に、全面壁のない建造物の場合、小壁や床下で補強を行うことになるが、その場合には壁より先に柱が折損してしまふ可能性があり、倒壊の危険性が高いので注意が必要である。意匠的には多少の問題があったとしても、耐震壁や鉄骨フレームなどを付加するような補強が必要となることもある。

また、書院や方丈などには、壁が少なく上に、背面などに壁が集中するものがあり、地震時にねじれが発生し、開放的な面の変形が局所的に大きくなり破損する危険性もある。このような場合、水平構面の補強のほか、剛性の偏りを是正するような補強を行う必要がある。

民家などでは土間部と居間部で、壁の量や柱径などの違いにより構造特性が異なる場合があるので注意する。

土蔵などの大壁を用いた建築物は、壁厚さをそのまま耐力壁として評価できるかどうか検討が必要である。真壁は土壁が柱に挟まれ拘束されているので耐力壁として効果を発揮するが、大壁のように柱面より外に塗られている場合には、軸組の受ける地震力が大壁全体に伝えられず、全壁厚分を耐力壁として評価できないうものもある。

(3) 近代木造建築物

近代木造建築物は、主要な耐震要素が壁であることが多いが、壁の構造も様々で、土壁、木摺壁などがあり、筋違が入っているものもある。壁の構造を外観からは確認することが難しい場合が多く、史資料の調査や詳細な観察、部分的な解体を伴う調査などから可能な限り正確に構造を把握する必要がある。

筋違が用いられているものでも、その筋違の構造は様々である。端部が十分に止められていない、筋違材が薄く座屈の恐れがあるなど、有効な耐震要素となっていない場合もある。また、筋違が主要な耐震要素である建築物の場合、変形が大きくなると脆性的に破損することがあるので、限界変形の設定に関しては慎重に判断する。

二階建以上の場合、通し柱が用いられているものもそうでないものがある。通し柱でないものは強度的に問題となることもあるが、一方で通し柱であるものは二階床高さでの柱の折損が問題となることもある。

明治後期以降に建てられた建造物は工学的知見に基づき建てられたものもあるが、現在社会的に要求されている性能と比べると耐震性能が不足する場合もある。例えば、地震時に崩壊の恐れがある石や煉瓦などの組積造の基礎となつていて、I形に筋違が入れられており筋違が柱の折損を招くような危険性がある場合には構造的弱点となるので、補強する必要がある。

また、煉瓦造の煙突がある場合には地震時に折れて崩落する恐れが高いため、対策が

必要である。

(4) 木骨煉瓦造建築物

木造架構に煉瓦壁をばめ込んだ構造を有する木骨煉瓦造建築物は、煉瓦壁が通常の煉瓦造建築物に比して薄く、地震時に木造架構から煉瓦壁が面外方向へ崩落する恐れや耐力壁として有効に働かない可能性がある。木造架構と煉瓦壁が一体として挙動せず、別々に動いて崩壊を助長する恐れもあり、耐震的に課題が多い。構造的弱点を十分把握した上で必要な補強を行う。

(5) 煉瓦造建築物

煉瓦造建築物（石造建築物を含む）は、鉄筋コンクリート造建築物と異なり、その壁面は圧縮には強いが引張や曲げ、せん断には弱く、地震時に躯体が崩壊する恐れがある。特に、壁頂部が固められていない場合には、主に壁頂部からの破壊が問題となる。その他、壁隅部からの破壊、長い壁や妻壁の面外方向への破壊、煙突等の突出部の折損、開口部廻りの破壊などが想定される。

したがって、壁頂部などに鉄筋コンクリート造の臥梁や鉄骨ブレースなどを設置して固め、面外方向への崩壊を拘束したり、床面などの水平構面を固め、壁中腰部からの破壊を抑制したり、妻壁や煙突などの突出部は別途補強したりする。

また、壁の面内方向についても、せん断等の耐力が不足すると、開口部廻りに亀裂が生じたりするので、鉄骨フレーム等を設置したり、壁体内部に鉄筋等を挿入したり、目地部分に補強材を挿入することで壁自体を補強することができる。

なお、煉瓦や目地の強度については、ばらつきが非常に大きく、材料試験等の結果に基づき個別に判断することが必要となる。傾向としては明治初期から中期のものは目地に用いられるセメントが少なく強度が低いといえるが、例外も多いので注意が必要である。

(6) 鉄筋コンクリート造建築物・鉄骨鉄筋コンクリート造建築物

文化財建築物となっている鉄筋コンクリート造建築物・鉄骨鉄筋コンクリート造建築物には、我が国に技術が導入され始めた黎明期のもも多く含まれ、材料強度のばらつきも大きく、配筋方法や鉄筋の種類なども現在とは異なる。このため、一般建築物で行われている耐震診断法をそのまま適用することが適切かどうかを検討する必要がある。また、中性化等の経年劣化が躯体強度に及ぼす影響も大きいので注意が必要である。

(7) その他

・門、扉

門は通行に供するために桁行方向は壁が少なく、二重門の場合には上部が重くなるので、桁行方向や初層において、耐震要素が不足する場合がある。また、二重門や扉は、幅に対する高さの比率が大きいため、外力として地震力よりも風力が問題になったり、建築物全体の転倒が問題となったりする。

- ・木造屋根
- ・門、扉と同様、外力として風力が問題となる場合がある。

3. 部位に応じた補強方法

以下に各部位に応じた補強方法の事例と解説を示すが、補強方法の採用に当たっては文化財建築物の耐震補強の原則に則って適切な方法を選択する。

(1) 地盤・基礎

地盤の対策としては、液状化や斜面崩壊に対する対策、免震装置の設置が挙げられる。液状化の対策には、地盤改良やベータ基礎の設置などがあり、解体修理に併せて行う必要があるものも多いが、方法によっては床板など建築物の一部を解体して実施することが可能なものもある。

斜面崩壊の対策には、アースアンカーや杭基礎の設置などがあり、大掛かりなものとなることが多いが、敷地周辺の環境整備も併せて計画する必要がある。

なお、地盤や基礎の補強、免震装置の設置に際しては、地下遺構の有無や遺構保存の必要性に十分留意する。発掘調査が必要となったり、工法の変更などが必要となる場合もある。また、特に免震装置を設置する場合、既存の基礎の構造を大きく変更する可能性があるが、基礎の保存にも配慮する必要がある。そのほか、地盤の高さの変更は原則として避ける。

・地盤改良

液状化の危険性のある表層部の軟弱な砂地盤を、モルタル固化材を混合することで改良するなど。

地盤改良には浅層混合改良処理工法、柱状改良工法（高圧噴射攪拌工法など）などがある。

・アースアンカーによる補強

斜面に建つ建築物において、斜面崩壊を防止するためにアースアンカーを設置するなど。

・鉄筋コンクリート造ベータ基礎の設置

液状化現象が生じた際に上部の建築物に強制的な変位が加わらないよう、盤の上に敷設するための鉄筋コンクリート造ベータ基礎を設置するなど。

・既存の布基礎の補強

煉瓦造や石造といった組積造布基礎を、内側から鉄筋コンクリート造布基礎で補強するなど。

・杭基礎の設置

液状化現象が生じた際に建造物が不同沈下を生じないよう、基礎下に鋼管杭を設置するなど。

近年は小型の機材で鋼管杭を打ち込む技術も開発されてきている。

・免震装置の設置

上部の建造物の補強を軽減するため、基礎下に地震力を軽減する免震装置を設けるなど。

免震装置には積層ゴムや滑り支障を用いたものがあり、制震装置も併用することが多い。

免震は地震力そのものを軽減可能なため、根本的な対策となり得るが、実現に当たっての課題は多く、慎重に検討すべきである。例えば、その機構上、基礎の周囲に変形クリアランスを確保しなければならず、また接続する建造物がある場合、エキスパンションジョイントが必要となる。また、重量が大きく、剛性の高い建造物の方が免震に適しており、重量が軽く、剛性の低い木造建造物は不向きである場合が多い。

(2) 木造建築物

1) 軸部、接合部(仕口)

・足固めによる補強

床下において長押状の足固めを追加し、柱脚を一体化するなど。

・金物による補強

柱から梁が脱落しないよう、接合部を金物で補強するなど。

・制震装置

粘性ダンパーを柱と梁の接合部に設置するなど。

制震装置は地震エネルギーを吸収するもので、粘性ダンパー、履歴ダンパー、摩擦ダンパーなどがあり²⁾、木造建造物の場合、柱と足固めなどの接合部に取り付けられることが多い。

2) 継手、劣化等により強度が不足する部材

・添え木による補強

柱に添え木を添わせ、ボルトやバンドで固定するなど。

・鉄骨による補強

たわんだ梁の横に鉄骨梁を設置し、荷重を分担するなど。

・鋼板による補強

貫の継手の上下端に鋼板を添わせビスで固定するなど。

・連続繊維シートによる補強

柱の継手に炭素繊維等を接着剤で接着するなど。

3) 壁

・土壁の厚さ増し

真壁の土壁の厚さを柱に収まる範囲で増し、耐力を向上するなど。

・面材による補強

土壁の竹木舞下地を構造用合板に置換し、上から土壁を塗るなど。

補強には構造用合板の他、木造面格子壁、乾式土壁パネル、無機質材料パネル、銅板壁なども用いられる。耐震性能以外に耐久性なども考慮し材料を選択することが必要である。

既存の壁を補強する場合には元の壁と同じ仕上げとすることで意匠的な配慮を行うことが多く、新たに壁を設ける場合には、違和感のない範囲で周辺の壁と仕上げを変え、後から加えたものと区別できるよう、配慮することもある。また、意匠的な配慮からガラスを用いた耐震壁を用いた事例もある。

全面壁でなく、小壁や床下部分の壁を補強する場合には、補強壁の剛性が高いと地震時の柱の折損の原因となるので注意する。

・筋違による補強

木摺壁の内側に木造筋違や鋼棒ブレースを設置するなど。

既存の木造筋違を有効に働かせるために筋違端部の接合部を金物で補強することもある。

・建具による補強

開閉の少ない板戸を耐震性の高い板戸型耐震壁にするなど。

4) 水平構面

・面材による補強

床面に構造用合板を張り、その上に仕上げ材を張るなど。

屋根の下地や天井上で補強することもあり、補強には3)で挙げたような面材が用いられる。

・木造トラスによる補強

小屋組内の水平面に木造トラスや鋼棒プレースを設置するなど。
木造の火打ち梁を設置することもある。

5) 固定荷重の軽減

- ・屋根重量の軽減
瓦屋根の葺土を軽減したり、軽量化した瓦を用いるなど。

6) 別構造による補強

- ・鉄骨フレームによる補強
公開しない部屋の内部に鉄骨フレームを設け、建造物の梁と接続するなど。

- ・鉄骨バットレスによる補強

意匠的に影響の少ない背面側に鉄骨バットレスを設け、建造物の梁と接続するなど。

1) 木造建造物に用いられる制震装置には、耐震的な効果を含むものも多く、明確に区別せずに耐震要素に含めて考えられることも多い。

2) 粘性ダンパーは、変形速度が大きくなるに従い抵抗が増大し、建造物の減衰性能を高めるものである。そのため、制震装置の効果を実験的に確認するには、速度を変えて高速加力まで行った実験データが必要である。また、温度によって性能が変わるものも多いので、温度依存性に関するデータも性能評価には必要となる。履歴ダンパーは、部材の塑性変形による履歴減衰によって地震エネルギーを吸収するものであり、鋼材ダンパー等がある。摩擦ダンパーは、部材間の摩擦により熱エネルギーに変換することで地震エネルギーを吸収するものである。

(3) 煉瓦建造建築物

1) 壁

- ・鉄筋コンクリート造耐震壁の添え打ち
- ・鋼板パネル壁による補強
- ・鋼板張による補強
- ・連続繊維シートによる補強
- ・壁体内部に鉄筋等を挿入
- ・壁体内部にPC鋼棒を挿入し、プレストレスを導入

2) 目地

- ・目地材料の置換
- ・目地部分に連続繊維ロッドを挿入

3) 水平構面

- ・鉄筋コンクリート造梁による壁体頂部の補強
- ・鉄骨プレースによる補強

4) 別構造による補強

- ・鉄骨フレームによる補強
- ・鉄骨バットレスによる補強

(4) 鉄筋コンクリート造建築物・鉄骨鉄筋コンクリート造建築物

1) 柱

- ・柱増し打ち
- ・鋼板巻による補強
- ・連続繊維巻による補強

2) 壁

- ・壁増し打ち
- ・耐震壁による補強
- ・鋼板パネル壁による補強
- ・鉄骨プレースによる補強
- ・連続繊維シートによる補強
- ・耐震スリット設置

3) 水平構面

- ・スラブ増し打ち
- ・鉄骨プレースによる補強

4) 別構造による補強

- ・鉄骨フレームによる補強
- ・鉄骨バットレスによる補強

(5) 非構造部材

屋根材や天井材といった非構造部材についても、必要に応じて補強等の対策を行う必要がある。しかしながら、文化財建造物における対策の必要な非構造部材は多岐に渡り、また、文化財として元の仕様を尊重するという観点から、一般的な方法で補強等すれば良いというものではない。他の補強と同様に、文化財的価値に配慮し、個別に検討を行う必要がある。

一般建築物の非構造部材の耐震対策については、タイル張りや天井、瓦葺屋根に関する対策方法が示されており¹⁾²⁾、文化財建造物の対策方法の検討においても、これらを参照することができる。

ここでは参考として、文化財建造物においてこれまで実施された対策方法を示す。

1) 屋根

傷んだ状態にある土葺の瓦葺屋根において、近年の地震で全面的に脱落するような被害が発生している。特に大棟や隅棟などは地震時に脱落しやすい。これに対し、屋根の

葺替や棟の補強などの対策が行われている。

・屋根葺替

文化財建造物においては、屋根葺替の際に空壁に変更したり、瓦を釘や銅線で緊結するなどの対策が行われている。修理を行って健全な状態にある屋根では、近年の地震で全面的に瓦が落下するような被害は生じていない。よって対策の第一歩として、屋根材が健全な状態であるか確認し、そうでない場合には屋根葺替を行うことを検討する必要がある。

・棟の補強

瓦を銅線で緊結したり、棟の心木を金物で補強するなどの対策が行われている。

2) 壁、天井

上塗の付着が弱い木摺下地の塗天井や塗壁において、近年の地震で大規模な剥落が生じている。これに対し、下げ葺や下地の仕様の変更、ピンネットによる補強などの対策が行われている。

・下げ葺や下地の仕様の変更

元の仕様を尊重した上で、付着を強化するために下げ葺を増やしたり、下地への食い込みを良くするために木摺の間隔を広げるような対策が行われることもある。

・ピンネットによる補強

モルタル壁の下地に剥落防止のピンネットを付けるなど。

3) そのほか

・落下物対策

大型の天蓋や照明器具に、振れ止めや脱落防止のフェールセーフを設置するなど。

・ガラス窓の飛散防止

ガラス窓に飛散防止のフィルムを貼るなど。

1) 『非構造部材の耐震設計施工指針・同解説及び耐震設計施工要領』（日本建築学会 2003 年改訂）には、

タイル張りや天井に関する対策方法が示されている。

2) 『瓦屋根の標準設計・施工ガイドライン』（社）全日本瓦工業事業連盟 2001 年）には、瓦葺屋根に関する対策方法が示されている。

第3節 経過的補強

1 経過的補強の概説

経過的補強とは、根本的な対策を行うまでの経過的措置として、少しでも被害を軽減させるための耐震補強のことを指す。

本来耐震補強は、それぞれ設定した水準を十分満たすだけの性能を有していなければならないが、それらを根本修理以外の実施しようとする場合、部材を焼めるような取り付け方の補強や、意匠的に目立つ補強を取り付けざるを得なかったり、補強を取り付けるための工事範囲が広くなってしまうとして、文化的価値に与える影響が大きくなる場合がある。

補強は理想的には根本修理の実施すべきものであるが、根本修理は平均 150 年周期で行なわれるものであるため、当分根本修理の必要がない建造物や、既に根本修理が完了した建造物は、補強の機会が来るまで相当長い年月を要することとなる。

こういった建造物に対して、被害を軽減させる「減災」の観点から少しでも補強を行った方がよいと考え、経過的補強を提案するものである。

経過的補強の目的は少しでも耐震性能を向上させることである。しかしながら、経過的補強を行えば必要耐震性能を 100% 満たさなくてもよいということではない。あくまで経過的措置であり、将来的には必要耐震性能を満たす補強が必要となる。

また、経過的補強の方法は、本来必要な耐震性能を把握した上で、修理工事の範囲で実施しうる工事範囲、文化的価値に与える影響、補強によって得られる耐震性能の向上度合いを勘案し、関係者で協議し管理責任を有する所有者等の同意の上、決定する必要がある。

安易な経過的補強では不必要な部分を強化してしまい、かえって全体のバランスを損ねる恐れもあるので、経過的補強といえども構造解析するなど工学的な裏付けを取りながら補強方法を検討することが望ましい。また、本格的な補強を将来行う際に、経過的補強として行った内容をできる限り活かすことができ、手戻りとなるような箇所が少なくなると、全体的な補強計画も見据えながら、補強方法を決定することが望ましい。

2 経過的補強の事例

経過的補強の事例としては次のようなものが考えられる。

- ・耐震診断によって水平構面の補強と耐震壁などの追加が必要と判断されたが、屋根葺替に併せて天井面や屋根面といった水平構面の補強のみを実施する。
- ・屋根葺替に際し瓦屋根の葺土を減らし、屋根荷重を軽減する。
- ・土壁の下地を構造用合板に置換すれば意匠的な影響の少ない方法で耐震性能を満足するが、今回は土壁を解体しない修理なので、意匠的な影響はあるものの必要な補強部材を付加的に設け、将来行う根本修理の際に修正することとする。
- ・煉瓦造の煙突や妻壁など、特に地震被害を被りやすい箇所のみを補強する。
- ・床下など、解体を行わずとも補強を行える箇所のために足固めなどの付加的な補強を施す。