

重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引
（改訂版）

平成 29 年 3 月

文化庁文化財部参事官

改訂版 序

本手引は「重要文化財（建造物）耐震診断指針」の解説を主な目的とした「重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引」（平成 25 年 9 月）の改訂版である。

文化庁では平成 20 年度以降、「重要文化財（建造物）の耐震対策のあり方に関する協力者会議」を設置し、重要文化財（建造物）の耐震対策に関する基本的な考え方及び今後の耐震対策の推進に関する検討を行ってきた。その間、成果として検討の成果の一つとして、平成 24 年 6 月に「重要文化財（建造物）耐震診断指針」、「重要文化財（建造物）耐震予備診断（旧所有者診断）実施要領」、「重要文化財（建造物）耐震基礎診断（旧耐震基礎診断）実施要領」の改正を実施し、平成 25 年 9 月に「重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引」を刊行した。

平成 26 年度以降は、これまで木造建築物を主として議論してきた中で、手薄となっていた非木造建造物の耐震対策と、新たに課題となってきた天井材の落下防止対策について議論を行った。委員会本会議の下に木造と非木造の二つのワーキンググループを設置し、木造ワーキンググループでは主に天井材の落下防止対策について、非木造ワーキンググループでは煉瓦造建造物の耐震診断手順、鉄筋コンクリート造建造物の構造体劣化対策等について議論してきた。今回の「重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引」の改訂はこの成果の一つである。

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震では、文化財建造物の被害も数多く発生しており、煉瓦造建造物の大規模な被害や、天井材の落下被害もみられ、こうした被害に対する対策の必要性が再認識されたところである。

本改正では、第Ⅲ章第 2 節 3（5）天井材に「天井落下防止対策」、第Ⅱ章第 3 節 5「煉瓦造建造物の耐震診断の手順」、第Ⅲ章第 2 節 2（6）鉄筋コンクリート造建築物に「鉄筋コンクリート造の構造体劣化対策」をそれぞれ記述を加えるとともに、かつて第Ⅵ章にあった耐震対策の事例を別冊とし、近年完了した対策事例を追加した。

本手引により、重要文化財（建造物）の耐震対策に関する理解を一層深めていただくとともに、耐震対策がより円滑かつ適切に推進されるため、関係各位に活用頂ければ幸いです。

平成 29 年 3 月

文化庁文化財部参事官
熊本達哉

(初版 序)

本手引は「重要文化財（建造物）耐震診断指針」の解説を主な目的とした重要文化財（建造物）の耐震対策に関する手引書である。

耐震診断指針は、重要文化財（建造物）に適用されるものであり、本手引も重要文化財（建造物）を対象として作成されたものである。ただし、重要文化財（建造物）以外の登録有形文化財（建造物）や重要伝統的建造物群保存地区内の伝統的建造物についても、「建築基準法」の適用を受ける場合にはそれを満たした上で指針の主旨を尊重し、地震時における安全性の確保のために本手引を活用していただきたい。

重要文化財（建造物）の耐震対策は、平成 7 年（1995）1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災を契機に、平成 7 年 5 月に「文化財建造物等の地震時における安全性確保に関する指針」、平成 11 年 4 月に「重要文化財（建造物）耐震診断指針」、平成 13 年 4 月に「重要文化財（建造物）耐震予備診断（旧所有者診断）実施要領」と「重要文化財（建造物）耐震基礎診断（旧耐震基礎診断）実施要領」の策定が行われ、主に根本修理の際に耐震補強工事を実施してきた。その間、耐震対策に対する新しい研究も進み、実績も蓄積されてきたが、一方で南海トラフ巨大地震や各地の活断層による直下型地震の危険性が指摘される中、根本修理が行われていないもの、あるいは既に耐震補強工事を行わずに根本修理を完了したのものについては耐震対策が進まずにいた。

そこで文化庁では、平成 20 年以降「重要文化財（建造物）の耐震対策のあり方に関する協力者会議」を設置し、重要文化財（建造物）の耐震対策に関する基本的な考え方及び今後の耐震対策の推進に関する検討を行った。この間、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、広範囲に渡り多くの文化財建造物が被災し、耐震対策を行うことの重要性と緊急性が浮き彫りとなった。検討の成果の一つとして、平成 24 年 6 月に「重要文化財（建造物）耐震診断指針」、「重要文化財（建造物）耐震予備診断（旧所有者診断）実施要領」、「重要文化財（建造物）耐震基礎診断（旧耐震基礎診断）実施要領」の改正を実施した。

この改正では、診断の名称を「所有者診断」から「耐震予備診断」に、「基礎診断」から「耐震基礎診断」に、「専門診断」から「耐震専門診断」に変更した。また、根本的な対策を行うまでの経過措置として、少しでも被害を軽減させるための構造補強として「経過的補強」を進めるよう記述を新たに追加した。

改正に伴い、所有者・管理責任者・管理団体、都道府県・市町村教育委員会等の関係者、さらに実務に携わる文化財建造物修理技術者、建築構造専門家等に対して、その改正の内容の周知を図るとともに、既存の内容についても解説を加え、耐震診断指針及び各実施要領の理念や考え方、取扱いについて理解が深められるよう本手引を作成した。

本手引の基本的な内容は「重要文化財（建造物）耐震診断指針」及び「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」の解説であるが、特にそれぞれの位置付けや考え方、運用に

ついて詳しく解説を行っている。

耐震予備診断、耐震基礎診断、耐震専門診断の各診断に関しては、その位置付けと運用のほか、耐震診断の実施に当たっての留意点等について解説を行った。耐震診断に係る留意点では、蓄積された実績に新たな知見を加えて解説している。耐震診断の解説ではかなり専門的で難しい内容に踏み込む記述もあるので、必要に応じて読み込んで頂きたい。

耐震補強に関しては考え方と具体例を紹介するとともに、経過的補強についても解説を行っており、さらに耐震補強以外の対策として、管理面における対策等についても具体例を紹介している。

また、耐震対策を進めるための支援策として各種の国庫補助事業があるが、耐震診断や耐震補強に係る国庫補助事業に関して、各事業の概要及び運用の流れについて解説を加え、ニーズに応じて事業の円滑な選択や運用ができるよう配慮した。

本手引により、重要文化財（建造物）の耐震対策に関する理解を一層深めていただくとともに、耐震対策がより円滑かつ適切に推進されるため、関係各方面の多くの方に活用いただければ幸いである。

平成 25 年 9 月

文化庁文化財部参事官
村田健一

「文化財建造物の耐震対策の在り方に関する協力者会議」（平成 26～28 年度）

[本会議]

| | | |
|----|-------|--------------------------|
| 主査 | 坂本功 | 東京大学名誉教授 |
| 委員 | 金箱温春 | 工学院大学建築学部建築デザイン学科特別専任教授 |
| 委員 | 河合直人 | 工学院大学建築学部建築学科教授 |
| 委員 | 木林長仁 | 一般財団法人日本建築センター建築技術研究所審議役 |
| 委員 | 木村勉 | 元長岡造形大学教授 |
| 委員 | 後藤治 | 工学院大学建築学部建築学科教授 |
| 委員 | 斎藤英俊 | 京都女子大学教授 |
| 委員 | 長谷川直司 | 独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ長 |
| 委員 | 花里利一 | 三重大学教授 |
| 委員 | 村田信夫 | OFFICE 萬瑠夢 |

[木造ワーキンググループ]

| | | |
|----|------|------------------|
| 主査 | 後藤治 | 工学院大学建築学部建築学科教授 |
| 委員 | 河合直人 | 工学院大学建築学部建築学科教授 |
| 委員 | 鈴木律 | 文化財建造物保存技術協会構造担当 |
| 委員 | 藤田香織 | 東京大学大学院准教授 |
| 委員 | 村田信夫 | OFFICE 萬瑠夢 |
| 委員 | 山辺豊彦 | 日本建築構造技術者協会木質部会 |

[非木造ワーキンググループ]

| | | |
|------|-------|--------------------------|
| 主査 | 斎藤英俊 | 京都女子大学教授 |
| 委員 | 岩田昌之 | 文化財建造物保存技術協会構造担当 |
| 委員 | 木林長仁 | 一般財団法人日本建築センター建築技術研究所審議役 |
| 委員 | 木村勉 | 元長岡造形大学教授 |
| 委員 | 腰原幹雄 | 東京大学生産技術研究所教授 |
| 委員 | 長谷川直司 | 独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ長 |
| 委員 | 花里利一 | 三重大学教授 |
| 臨時委員 | 今本啓一 | 東京理科大学教授 |

目次

序

第Ⅰ章 耐震診断・耐震補強の概要

第1節 耐震診断・耐震補強の目的と考え方

- 1 耐震診断・耐震補強の一般論 1
- 2 文化財建造物の耐震診断 2
- 3 文化財建造物の耐震補強 3
- 4 重要文化財（建造物）の耐震対策における所有者等の責任 3

第2節 耐震診断・耐震補強の流れ

- 1 所有者等と国、地方公共団体の役割 4
- 2 実施時期 4
- 3 技術者との連携の重要性 5
- 4 適切な手順の重要性 6
- 5 保存活用計画との連携 6

第Ⅱ章 耐震診断

第1節 耐震診断の概説・構成

- 1 耐震診断の概説 8
- 2 耐震診断の構成 9
- 3 耐震診断・耐震補強の指針と参考となる法令等 10

第2節 3段階の耐震診断

- 1 3段階の耐震診断の概説 11
- 2 耐震予備診断の位置付けと運用 12
- 3 耐震基礎診断の位置付けと運用 13
- 4 耐震専門診断の位置付けと運用 14

第3節 耐震診断の解説

- 1 必要耐震性能の設定 14
 - (1) 機能維持水準 15
 - (2) 安全確保水準 15
 - (3) 復旧可能水準 15
- 2 構造調査 16
 - (1) 現地確認・資料及び史料調査 16
 - (2) 地盤調査 17
 - (3) 破損調査 18

| | |
|--------------------|----|
| (4) 形状・仕様調査 | 18 |
| (5) 物性調査 | 18 |
| 3 構造解析 | 19 |
| (1) 解析方法・解析モデルの選択 | 19 |
| (2) 荷重の設定 | 25 |
| (3) 地震力の設定 | 28 |
| (4) 許容応力度の設定 | 31 |
| (5) 耐震要素の設定 | 32 |
| (6) 限界変形の設定 | 33 |
| (7) 建造物の地震時の挙動の推定 | 35 |
| (8) 地盤の地震時の挙動の推定 | 35 |
| 4 耐震性の判定方法 | 36 |
| 5 煉瓦造建造物の耐震診断の手順 | 37 |
| (1) 煉瓦造建造物の構造的特徴 | 37 |
| (2) 煉瓦造建造物の耐震診断の概説 | 37 |
| (3) 構造調査 | 37 |
| (4) 構造解析 | 38 |
| | |
| 第Ⅲ章 耐震補強 | |
| 第1節 耐震補強の概説 | 42 |
| 第2節 耐震補強の解説 | |
| 1 文化財建造物の耐震補強の原則 | 43 |
| (1) 原則 | 43 |
| (2) 留意点 | 47 |
| 2 構造特性に応じた補強の考え方 | 47 |
| (1) 伝統的木造建築物 社寺建築 | 48 |
| (2) 伝統的木造建築物 住宅系建築 | 48 |
| (3) 洋風木造建築物 | 49 |
| (4) 木骨煉瓦造建築物 | 50 |
| (5) 煉瓦造・石造建築物 | 50 |
| (6) 鉄筋コンクリート造建築物 | 50 |
| (7) その他 | 52 |
| 3 部位に応じた補強方法 | 52 |
| (1) 地盤・基礎 | 52 |
| (2) 木造建築物 | 53 |
| (3) 煉瓦造建築物 | 55 |

| | |
|------------------------|----|
| (4) 鉄筋コンクリート造建築物 | 56 |
| (5) 天井材 | 56 |
| (6) その他の非構造部材 | 60 |
| 第3節 経過的補強 | |
| 1 経過的補強の概説 | 61 |
| 2 経過的補強の事例 | 62 |
| 第IV章 耐震補強以外の対策 | |
| 第1節 耐震補強以外の対策の概説 | 63 |
| 第2節 耐震補強以外の対策の事例 | 65 |
| 第V章 耐震対策に関する補助事業 | |
| 第1節 耐震対策に関する補助事業の概要 | |
| 1 重要文化財（建造物）耐震診断事業 | 66 |
| 2 重要文化財（建造物）緊急防災性能強化事業 | 66 |
| 3 重要文化財（建造物）保存修理事業 | 66 |
| 第2節 補助事業の概要と運用の流れ | |
| 1 運用の流れ | 67 |
| 2 運用上の留意点 | 69 |
| (1) 事業の立ち上げ | 69 |
| (2) 事業の進め方 | 69 |

(別冊 事例集)

第 I 章 耐震診断・耐震補強の概要

第 1 節 耐震診断・耐震補強の目的と考え方

1 耐震診断・耐震補強の一般論

我が国は世界有数の地震国であり、近年は特に巨大地震の危険性が指摘され、耐震対策の必要性が高まっている。一般建築物の耐震対策の必要性は言うまでもないが、文化財建造物といえども例外ではない。耐震対策の方法等に違いはあるが、基本的な考え方には共通点が多い。そこで文化財建造物の耐震診断・耐震補強の解説に先立ち、まず、事務所ビルや戸建住宅などの一般建築物の耐震診断・耐震補強の概要について説明する。

建築物の安全性を確保するためには、構造性能として、固定荷重（建築物の重量）と積載荷重（人と物の重量）のように、常に建築物に加わっている重量を安全に支持するということと、地震荷重（地震力）、風荷重（風力）、積雪荷重のように、一時的に建築物に加わる力に対して、倒壊しないということが要求される。このような安全性を確保するために、建築基準法に構造関係の規定があり、国内で新築される建築物は、この規定を満たす必要がある。

建築基準法は、昭和 25 年にそれまでの市街地建築物法が衣替えしてできたものであり、当初から上記の固定、積載、地震、風、積雪の各荷重に対する構造設計上の規定が盛り込まれている。しかし耐震設計を例にとると、強い地震が起こるたびに、新しい被害形態が見られたり、これまでの設計の方法では不十分なことが分かり、その都度、建築基準法における耐震設計法（耐震規定、耐震基準）が改正されてきた。そして、昭和 56 年に施行された改正内容が非常に画期的であったため、それ以降の耐震設計法を「新耐震基準」と呼ぶようになった。この新耐震基準は、その後多少の改正を経ているが、基本的には変わっておらず、今も新耐震基準と呼ばれ、現行の耐震基準となっている。

したがって、新耐震基準より前、すなわち昭和 56 年以前に設計された建築物は、当然ながら新耐震基準を満たしていないことが多い。このような状態を「既存不適格」と呼んでおり、法令違反ではないがそのまま放置するのは好ましくないということになる。そこで、既存の建築物のうち新耐震基準より前の建築物が、新耐震基準以降のものと比べて、どの程度の耐震性能を持っているかを調べる必要がある。そのための方法が「耐震診断」であり、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造、木造について、それぞれ耐震診断法が作られている¹⁾。診断の結果は、耐震指標（鉄筋コンクリート造建築物の診断に用いられる I_s 値等）で表される。

現在、官公庁、学校、集合住宅、事務所ビル、戸建木造住宅などの一般建築物に対して、このような方法で耐震診断が進められている。そして、耐震診断の結果、その建築物が新耐震基準で設計されたものと同程度の耐震性能を持っていることが分かれば、合格ということになる。

しかし、耐震基準は概して改正のたびごとにより高い耐震性能を持つよう要求されるので、既存の建築物の耐震診断の結果は不合格となる場合が多い。こういった場合、耐

震補強を行い新耐震基準と同等の耐震性能を持つようにすることが必要となる。その補強方法についてはこれまでに一般的な方法（耐力壁を増設するなど）や特殊な方法（制震構造、あるいは認定工法など）が実用化されている。これらの中から補強方法を検討し、補強後の耐震性能についても耐震診断法によって確認する。

我が国では現在、耐震診断、すなわち地震に対する安全性の診断のみが盛んに行われているが、これは度重なる地震被害により、建築物単体としての耐震化が要求されているのと同時に、大都市では建築物の倒壊により地震火災や交通遮断などが発生し、大災害になる恐れが高いことが強く認識されてきたためと思われる。一方で、我が国においては、台風等の強風による被害や大雪による被害などもあり、これらに対しても建築物は安全でなければならない。したがって、耐震診断の際にはこれらに対する安全性についても検討する必要がある。

- 1) 鉄筋コンクリート造の最初の診断法は、新耐震基準を先取りする形で昭和 52 年に作られた。

2 文化財建造物の耐震診断

文化財建造物は、そのほとんどが建築基準法施行以前から建てられているものであるため、現代的な耐震設計の考え方によって建てられてはいない。地震国である我が国において長い期間残ってきたこと自体が耐震性を担保しているようにも思えるが、現行の耐震基準で想定しているような地震に遭遇しているとは限らないし、歴史的にも地震で倒壊した建造物は無数にあり、近年の地震でも多くの文化財建造物が被害に遭っている。

したがって、個々の文化財建造物の耐震性能がどの程度であるかは、不明といわざるをえず、その耐震性能を把握するために、工学的な視点から耐震診断を行う必要がある。しかし、我が国の文化財建造物は伝統的な構法で建てられた木造建造物が多く、同じ木造でも戸建住宅を主な対象とした一般的な診断方法にはなじみにくい。そこで、平成 7 年に発生した阪神・淡路大震災をきっかけとして、重要文化財（建造物）の診断方法として策定されたのが、「重要文化財（建造物）耐震診断指針」である。

この指針においては、伝統木造建築を中心に耐震診断の要領が示されているが、それらは多種多様な文化財建造物の特性を包括して耐震性を判断できるものではない。あらかじめ仕様が決められ、それを前提にした構造計算によって設計される一般建築物とは異なるため、その建造物固有の耐震要素（例えば土壁）などに関する様々な研究成果を応用したり、場合によっては構造実験等を行うなどして、耐震性能を評価することが必要になる。

耐震診断の結果、耐震性能が十分でないことが判明した場合には、その不足を補うために何らかの耐震対策が必要となり、耐震補強を行うかどうかや、どの程度補強するか、あるいはどのように補強するかが問題になる。

この場合、確保すべき必要な耐震性能は、建造物の活用状況や文化財的価値に応じて個別に設定することになる。

3 文化財建造物の耐震補強

文化財建造物の耐震補強に当たっては、事務所ビルや戸建住宅などの一般建築物と異なり、文化財的価値に配慮した対策とする必要がある。

まずは、建造物を構造体として健全な状態にすることが重要である。文化財となる建造物は、建築後長い年月を経ており、柱の傾斜や梁のたわみ、部材の腐朽、接合部の弛緩、軒の垂下などがしばしば見られる。修理を行い構造体としての健全性を回復させることは耐震性能を高めるための有効な手段となる。

しかし、全ての建造物において、構造的に健全な状態とすることだけで必要な耐震性能を満足できるとは限らない。建造物の持つ架構自体が必要な耐震性能を保有していない場合には、健全な状態にするだけでは耐震対策として不十分であり、耐震性能の不足を補うために耐震補強を行う必要がある。

耐震補強に当たって重要なことは、耐震性能を向上させるだけでなく、その建造物が本来持っている文化財的価値を損なわない補強方法を選択するということである。ただ、守るべき文化財的価値は、外観や内観などの意匠だけではなく、材料自体や仕様の歴史的価値など様々な角度から見た価値が複合されて構成されており、全ての価値を全く損ねずに補強を行うことは非常に難しい。そのため、文化財としてどの価値が優先されるべきかを考えて補強を計画する必要がある。すなわち、意匠を損なわない補強、部材を傷めないような補強、将来に取り外すことが可能な可逆性のある補強、元の部材と区別できるような補強、安全性を確保できる範囲で必要最小限とした補強等が求められる。

4 重要文化財（建造物）の耐震対策における所有者等の責任

重要文化財（建造物）の安全管理は、「文化財保護法」における所有者・管理責任者・管理団体（以下「所有者等」という）の管理責任の範囲で行う行為である。したがって、火災などに対する安全性の確保についても、所有者等が責任を持って行わなければならない。当然、地震に対しても例外ではない。

所有者等は、地震に対する安全性を確保するために、耐震対策を実施するなどの地震に対するリスク管理を行わなければならない。そのリスクを顕在化するための手段が耐震診断であり、リスクに対する対策の一つが耐震補強である。所有者等は管理する重要文化財（建造物）に対して「重要文化財（建造物）耐震診断指針」に従い、耐震診断や耐震補強等を実施することが求められる。

しかしながら、耐震診断や耐震補強等を実施するためには文化財建造物修理や建築構造学などの専門的な知識が必要となるため、専門家の関与が不可欠である。地震被害の想定及びその被害を防ぐための対処案の作成等の専門的な事項については、専門家の意見を参考に進めるのが望ましい。

第2節 耐震診断・耐震補強の流れ

1 所有者等と国、地方公共団体の役割

文化財建造物の耐震対策は、まず、耐震診断を実施して耐震性能を把握することに始まる。その結果が要求される必要耐震性能を満たさないものであれば、耐震補強を施す等の耐震対策を実施する。

前述のとおり、重要文化財（建造物）の修理や管理は所有者等が行うものであり、耐震対策も所有者等が主体となって行うものである。しかしながら、耐震診断や耐震補強の設計は多分に専門的知識を必要とする。このため、耐震対策を適切に実施できるよう、所有者等は、修理や管理と同様に耐震対策についても、都道府県及び市町村の教育委員会や文化庁へ技術的指導を求めることができる。重要文化財（建造物）の耐震診断は、耐震予備診断、耐震基礎診断、耐震専門診断の3段階に分けられているが、各診断において、所有者等は以下のように指導助言を受けることができる。

耐震予備診断は、原則所有者等が自ら実施するものであるが、必要に応じて市町村教育委員会の協力を得るものとする。また、所有者等は診断書を都道府県教育委員会に提出し、指導助言を受けることができ、その際、都道府県教育委員会は市町村教育委員会及び文化財保護指導委員、その他の建築専門家の意見を聴取し、必要に応じて文化庁と協議する。

耐震基礎診断と耐震専門診断は、都道府県教育委員会の指導助言を受け、専門家の協力を得て実施するものである。所有者等は診断書を都道府県教育委員会及び文化庁に提出し、指導助言を受けることができ、その際、都道府県教育委員会は専門家の意見を聴取し、必要に応じて文化庁と協議する。

また、文化財保護法の規定により所有者等から文部科学大臣や文化庁長官に提出される申請書、届出書その他の書類等は都道府県及び市町村の教育委員会を経由する必要があるが、特に国庫補助金の交付に関しては種々の業務が国から都道府県教育委員会に委任されている。

なお、重要文化財（建造物）の耐震診断・耐震補強について多額の経費を要し、所有者等がその負担に堪えない場合等には、国は所有者等に対し補助金を交付することができる。それらの国庫補助事業の詳細については、第V章を参照されたい。

2 実施時期

文化財建造物の耐震診断は、構造的な性能が不明である場合や、構造的な不安がある場合には早急を実施し、耐震性能が不足することが判明すれば、早急に耐震補強等を実施するのが望ましい。

しかしながら、耐震診断・耐震補強は所有者等に多額な負担を伴う場合も多いことから、これまでは解体修理、半解体修理等の根本修理に併せて診断、補強を実施することが多かった。根本修理に併せ診断、補強を施した場合、建造物を全体的もしくは部分的

に解体するので、架構の詳細等が判明した上で診断できることや、壁体内部を耐震壁とするなど見え隠れとなる部分に補強を施しやすいこと、補強のためだけに解体する範囲を広げる必要がないことなどの利点があるからである。

今後も根本修理を実施するものに関しては、これまでと同様に原則、耐震診断を実施し、修理の中で耐震補強等の対策を講じるものとする。

しかしながら、根本修理の機会のみ耐震対策を実施していると、既に根本修理が完了し当面修理の必要のないものや、根本修理の予定がないものなどの耐震対策が進まず、地震時に大きな被害を受ける恐れがある。こういった当面根本修理の機会がないものについては根本修理とは別に耐震対策を実施することが望ましい。この際、本格的な耐震補強が難しい場合は、少しでも被害を軽減させるような補強を実施するのが望ましい。これを「経過的補強」と呼ぶ。経過的補強は根本的な耐震対策を行うまでの経過措置であり、詳細については第Ⅲ章第3節で解説する。

根本修理の機会が当面ない建造物についても、屋根葺替、部分修理等の小修理の機会が多い。文化財建造物への影響や費用を少しでも軽減するためにはこれらの小修理の機会に耐震対策を行うのが有利である。

なお、地震時に機能を維持しなければならない建造物や、不特定多数の人が出入りする建造物、人が常駐している建造物、煉瓦造や石造などのように構造的に不安がある建造物については、安全性確保の観点から、修理のタイミングにかかわらず、特に早急に耐震対策を実施する必要がある。

また、耐震診断の結果、耐震性能が不足することが明らかになった場合、耐震補強が完了するまで、使用方法の見直しが必要となったり、補強工事を行う間、建造物を使用できなくなることもあるので、これらも考慮し耐震対策の計画を立てる必要がある。

3 技術者との連携の重要性

文化財建造物の耐震対策は耐震性能を向上するだけでなく、文化財的価値を損なわないよう配慮しなければならないため、文化財建造物修理と耐震工学の両方の高度な知識と経験、技術を要する。このため、耐震対策にはそれぞれの専門家である文化財建造物修理技術者、建築構造専門家が携わる必要がある。耐震補強を検討するに当たっては、文化財的価値の保存と耐震性の確保についてバランス良く検討する必要があるとともに、修理の方針と耐震補強の方針は密接に関わるので、両技術者が互いに連携を密にする必要がある。したがって、所有者等は、適切な文化財建造物修理技術者、建築構造専門家に耐震対策の検討を依頼することが望ましい。

建築構造専門家は、文化財建造物の耐震性能を適確に評価し、必要な性能を満たしつつも文化財に与える影響が最小限となるような耐震診断、耐震補強を実施するよう努めるべきである。

文化財建造物修理技術者は、耐震対策を建築構造専門家に任せきりにするのではなく、

診断方法や補強方法を適切に把握し、文化財に適切なものとなるよう指導助言しなければならない。例えば、耐震診断において、構造解析による耐震性能の把握などは建築構造専門家が主となって行うべき部分だが、必要耐震性能の設定、診断方法の選択、補強案の策定等については、文化財的価値の保存に大きく関わる部分であるので、文化財建造物修理技術者も積極的に関与する必要がある。

前述のように耐震対策は所有者等が実施するものであり、耐震対策の責任は所有者等が負うこととなる。建築構造専門家、文化財建造物修理技術者は必要耐震性能や診断結果、補強方法などについて所有者等に十分説明し、所有者等関係者が全員理解の上で対策を進めるべきである。

4 適切な手順の重要性

文化財建造物の耐震対策は、安全性の確保と文化財的価値の保存の両面を満たさなければならないため、実施に当たっては慎重な検討を必要とする。それらを適切に進めるには、しかるべき手順を踏むことが重要となる。

本手引の第Ⅱ章・第Ⅲ章では、耐震診断・耐震補強のそれぞれの手順について詳述する。これらの手順のどこかを省略、あるいは逆転してしまうと文化財建造物の保存に対して悪影響を与える恐れがある。

例えば、構造調査を省略して耐震診断、補強案の策定を行った後で、工事時に行った調査結果により補強案が変更となった場合、その診断や補強案策定に割いた費用と時間は無駄になってしまう。ほかにも、耐震性能が不明な部材等に対して構造調査を行わず、耐震性能がないものとみなして補強案を策定した結果、補強が過大になることもある。また、簡単な解析方法を用いたために、補強方法が解析によって限定されてしまうこともある。さらに、事前に活用計画や必要耐震性能について協議を行わなかったために、工事後に活用のために必要な安全性が確保できておらず、急遽補強を追加せざるを得なくなることもある。

適切な構造調査を行い耐震診断を進めることで、建造物の状態を正確に把握し、建造物を管理していく上での必要な安全性を吟味し、文化財的価値に配慮しながら耐震補強を施し、保存する上でのリスク管理を行う。これらの一連の流れを常に意識しながら、手順を一つずつ確実に消化することが、結局は最も合理的で早い道であり、時間的、経済的な節約へとつながる。建造物の耐震性能を正確に把握するにはどのような構造調査や解析方法が必要となるのかを、事前に適切な専門家や関係者と協議し、耐震診断の計画を立案することも重要である。

5 保存活用計画との連携

文化財的価値を損なわない補強を行うためには、補強案を策定する前に保存活用計画を策定しておくことが望ましい。保存活用計画は保存管理計画、環境保全計画、防災計

画、活用計画からなる¹⁾。

このうち保存管理計画は、今後活用を行う上で文化財的価値を整理し、建造物において保護すべき部分を把握することを目的の一つとしている。例えば、保護の方針のレベルに応じて、保存部分、保全部分、その他部分といった部分に各部屋単位で設定したり²⁾、基準1～5といった部位に部材などの単位で設定したりする³⁾。

これらの調査を行うことによって、耐震補強工事において文化財の保存に与える影響の大きい部分・部位、影響の少ない部分・部位の区別が可能になり、文化財的価値に極力影響を与えないためにはどうすればよいのか、具体的にはどこに補強を設置すれば影響が少なくできるかなどを考えるための重要な資料となる。

また、防災計画において、どのような構造調査が耐震診断で必要となるかなど耐震診断に関する計画を策定することも重要である。耐震診断の計画を修理計画とともに立案することによって、修理工事と補強工事を合理的に行うことが可能である。例えば、根本修理に際し、事前に耐震基礎診断を行って補強案を立てた上で修理工事に着手し、解体中に得られた知見を用いて耐震専門診断を実施し、補強案を見直した上で組立に併せて耐震補強を行うといった計画であったり、根本修理が既に実施済みの場合には耐震基礎診断にて経過的補強を行うという計画を立てることができる。

このように耐震診断と保存活用計画の策定は、連携して実施することが望ましい。

- 1) 「重要文化財（建造物）保存活用計画策定指針」（文化庁文化財保護部 1999年）
- 2) 保存部分：材料自体の保存又は形状や材質などの保存を行う部位により構成され、文化財的な価値を守るために厳密な保存が要求される部分
保全部分：主たる形状などの保存又は意匠上の配慮を行う部位により構成され、維持及び保全することが要求される部分
その他部分：意匠上の配慮を行う又は所有者等の自由裁量に委ねられる部位により構成され、活用又は安全性の向上のために改変が許される部分)
- 3) 基準1：材料自体の保存を行う部位
基準2：材料の形状・材質・仕上げ・色彩の保存を行う部位
基準3：主たる形状及び色彩を保存する部位
基準4：意匠上の配慮を必要とする部位
基準5：所有者等の自由裁量に委ねられる部位

第Ⅱ章 耐震診断

第1節 耐震診断の概説・構成

1 耐震診断の概説

耐震診断とは、建造物の有する現状の耐震性能を把握し、必要な耐震性能（以下、必要耐震性能）を満足しているのかどうかを判断することであり、想定する地震力に対してどのように変形し、どの部分に不具合が生じるのかなど、地震被害について推定し、許容される被害の程度に収まるかを検証する。なお、本章で特記せずに解説を行う耐震診断とは、第2節で説明する耐震予備診断・耐震基礎診断・耐震専門診断の3段階の診断のうち、耐震基礎診断・耐震専門診断のことを指す。

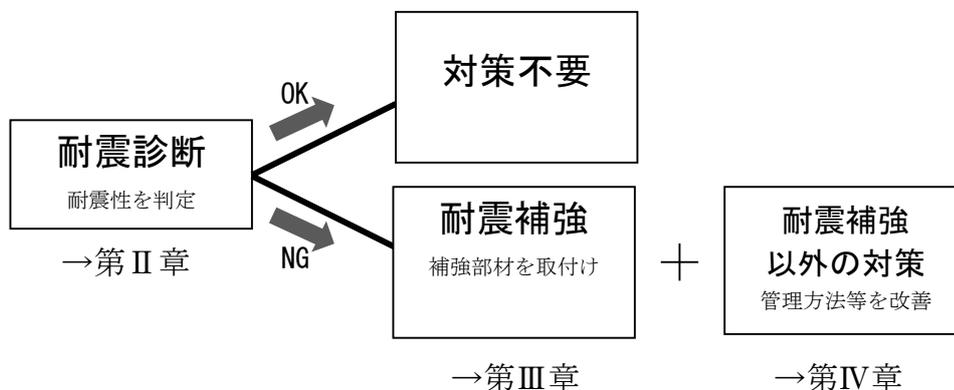
耐震診断の結果、耐震性能が不足するようであれば、地震被害を軽減させるために、第Ⅲ章や第Ⅳ章で説明する耐震補強や耐震補強以外の対策を講じる。耐震診断で得られる知見は、耐震補強の方法等を検討する上で必要な情報となるが、耐震補強を実施しない場合にも、建造物の耐震性能がどの程度で、地震時にどこが危険となり得るかなどを把握しておくことは安全管理上重要である。そのため、いかなる建造物でも、まず、耐震診断を実施することは重要である。

文化財建造物の場合、建造物の種別や時代、地域によって、様々な材料、仕様、構法が用いられるため、構造的に個別性が強く、複雑な構造を有するものも少なくない。このため、一般建築物に比べ、耐震性能の評価が難しい場合が多い。

一方で、文化財建造物に過大な耐震補強を行うことは、文化財的価値を損なうことになるため、建造物が本来持っている耐震性能をできる限り正確に評価することで、耐震補強を必要最小限にとどめる必要がある。

このため、文化財建造物の耐震診断では、個別性の強い複雑な構造を有する建造物の耐震性能を正確に把握するために、構造実験や材料試験などの構造調査を行ったり、複雑な解析モデルを用いた構造解析を行ったりすることもある。また、建設から長い期間を経ているため、その期間中に大地震を経験し、過去に地震被害を受けているものもある。このような場合には、耐震性能を把握する上で直接的な手掛かりとなるので、過去の地震被害を分析することも有効である。

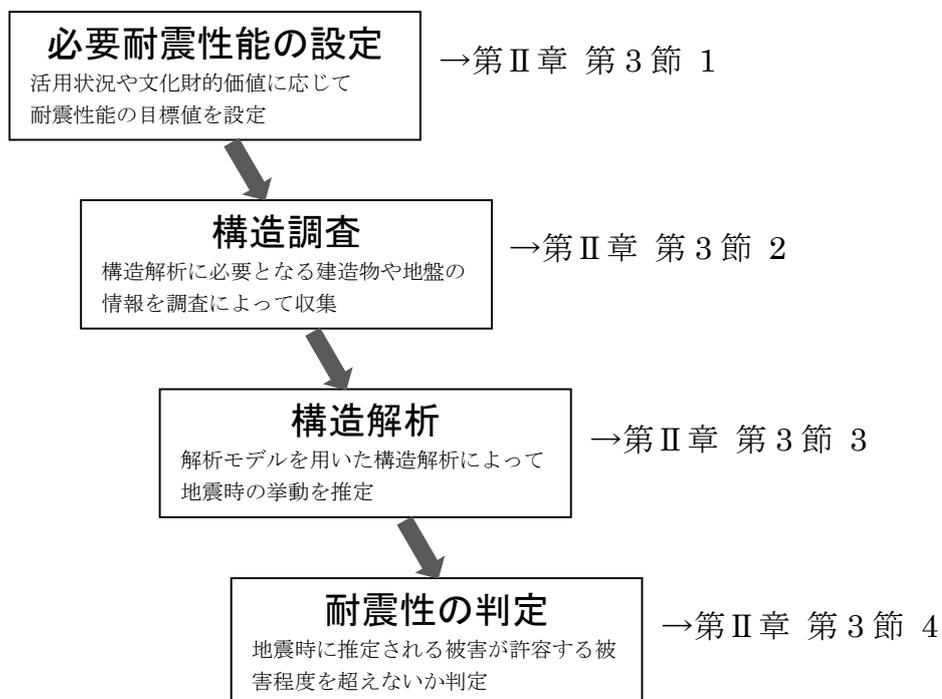
なお、建造物の安全性確保の観点から、地震力だけでなく自重や積雪荷重、風力など想定される他の荷重に対しても、必要に応じて十分な構造性能を有するか確認しておく必要がある。



耐震対策のながれ

2 耐震診断の構成

耐震診断は、必要耐震性能の設定、構造調査、構造解析、耐震性の判定の4つから構成される。手順としては、まず、耐震診断における判断基準となる必要耐震性能を、建造物の活用状況や文化財的価値等に応じて設定する。次に、耐震性能に関わる建造物の構造的特徴や地盤等の周辺環境の状況を把握するための構造調査を行ない、これらの調査結果を基に解析モデルを作成して構造解析を実施、地震時の被害の程度を推定する。最終的に地震時の被害が許容される被害の程度に収まっているかを確認して、耐震性を判定する。



耐震診断のながれ

3 耐震診断・耐震補強の指針と参考となる法令等

重要文化財（建造物）の耐震診断・耐震補強の指針としては、以下のものがある。

「文化財建造物等の地震時における安全性確保に関する指針」（文化庁文化財保護部 1996年）

「重要文化財（建造物）耐震診断指針」（文化庁文化財部参事官 2012年改正）

「重要文化財（建造物）耐震予備診断実施要領」（文化庁文化財部参事官 2012年改正）

「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」（文化庁文化財部参事官 2012年改正）

重要文化財（建造物）は、原則としてこれらの指針や要領に則って耐震診断を実施すべきである。しかし、この中で具体的に耐震診断の手法を記載したものは「重要文化財（建造物）耐震予備診断実施要領」と「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」のみであるが、これらはどちらも木造建築物を対象としている。重要文化財（建造物）の構造種別は多様であるため、ここに記載した手法だけでは適切な耐震性の判定ができない場合も多い。その際には、「建築基準法」や「建築物の耐震改修の促進に関する法律」など一般建築物に適用される法令や指針を参考に診断することもできる。ただし、注意しなければならないのは、重要文化財（建造物）のほとんどはこれらの法令等ができる以前に建てられたものであるため、完全に法令等が適用できるものではないことである。そのため、各建造物の持つ構造の特徴を把握し、各法令等の適用範囲を理解した上で、設計者の工学的な判断によって組み合わせて参照することとなる。

以下に関連する法令等の一部を示す。診断対象となる重要文化財（建造物）の評価には適切な法令等で示される方法を選択し、工学的に正確と考えられる方法を構築することが重要である。

・建築物全般

「建築基準法」（「建築基準法施行令」、「建設省告示」、「国土交通省告示」）、「建築物の耐震改修の促進に関する法律」など

・木造

『木造住宅の耐震診断と補強方法』（（財）日本建築防災協会 2012年改訂）、『木質構造設計規準・同解説』（（社）日本建築学会 2006年改訂）、『木質構造接合部設計マニュアル』（（社）日本建築学会 2009年）、『伝統的な軸組構法を主体とした木造住宅・建築物の耐震性能評価・耐震補強マニュアル』（（社）日本建築構造技術者協会関西支部 2011年改訂）、『木造軸組工法住宅の許容応力度設計』（（財）日本住宅・木材技術センター 2008年改訂）、『土壁・格子壁・落とし込み板壁』（（財）日本住宅・木材技術センター 2004年）など

- ・組積造

『組積造設計規準・同解説』（(社)日本建築学会 1952 年）、『無補強煉瓦造建築及び市街地建築物法期の鉄筋コンクリート造建築耐震性能評価ガイドライン』（(財)国土開発技術研究センター 1998 年）、『建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復研究委員会報告書』（(社)日本コンクリート工学協会 2007 年）、『歴史的煉瓦造建造物の構造検討のための調査方法』（(財)文化財建造物保存技術協会 2009 年）、『レンガ・石積み・無筋コンクリート建造物の補修・補強の手引き』（(財)鉄道総合技術研究所 1987 年）、『Guidelines for evaluation and mitigation of seismic risk to cultural heritages』（Ministry for Heritage and Activities, Italy 2007 年）など

- ・鉄筋コンクリート造

『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』（(社)日本建築学会 2010 年改訂）、『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準改修設計指針同解説』（(財)日本建築防災協会 2001 年改訂）、『官庁施設の総合耐震診断・改修基準及び同解説』（(財)建築保全センター 1996 年）など

- ・鉄骨造

『耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断及び耐震改修指針同解説』（(財)日本建築防災協会 2011 年改訂）など

- ・鉄骨鉄筋コンクリート造

『既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準改修設計指針同解説』（(財)日本建築防災協会 2009 年改訂）など

第 2 節 3 段階の耐震診断

1 3 段階の耐震診断の概説

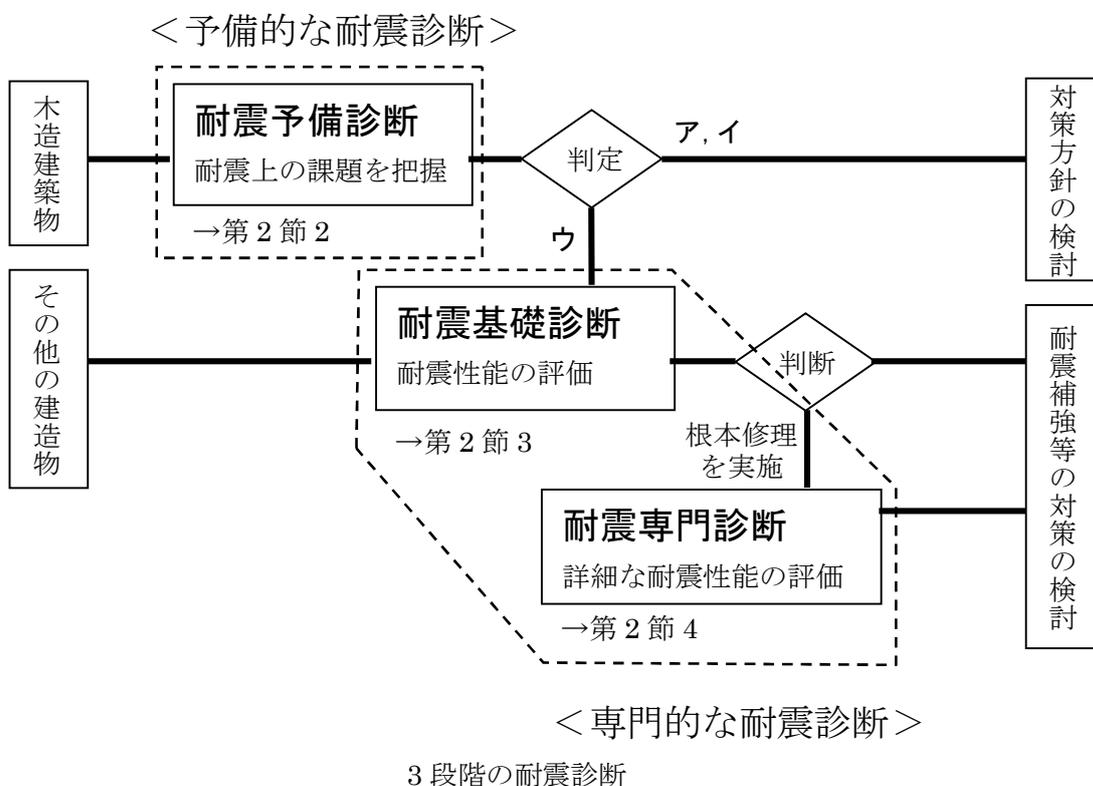
「重要文化財（建造物）耐震診断指針」では「耐震予備診断」、「耐震基礎診断」、「耐震専門診断」の 3 段階の診断方法を示している。大まかに言えば、耐震予備診断は簡易な診断方法で、耐震性に関する基礎的情報を把握し、その結果に基づき修理や耐震基礎診断・耐震専門診断を実施する緊急性について判定することができるものである。これに対し、耐震基礎診断・耐震専門診断はどちらも建築構造学的に専門性の高い診断方法で、耐震性能を定量的に評価し、その結果に基づき耐震補強等を設計することができるものである。このうち、耐震専門診断は根本修理時に併せて実施する診断のことを指し、修理時に行う調査の知見を加え、診断を実施する。

耐震診断を行う際には、まず耐震予備診断を実施し、耐震基礎診断・耐震専門診断を実施する緊急性を把握する。緊急性が高い場合には、できる限り早期に耐震基礎診断を

実施し、もしくは根本修理を行う時期と合えば耐震専門診断を実施し、これらの診断結果に基づき耐震補強等の対策を行う。ただし、根本修理に合わせ耐震専門診断を実施する場合には、耐震予備診断・耐震基礎診断を省略することもある。

「重要文化財（建造物）耐震予備診断実施要領」、「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」では、各診断の診断方法について具体的かつ詳細に説明している。診断方法が適用できる範囲は木造建築物に限っているが、その他の建造物についても、各実施要領の趣旨を尊重し、当該建造物の構造特性に応じた方法で診断を行うこととしている。

なお、耐震基礎診断や耐震専門診断を行う場合には、必要に応じて、都道府県教育委員会及び文化庁と協議の上、学識経験者もしくはそれに準ずる専門家を委員とした専門委員会を設置することが望ましい。



2 耐震予備診断の位置付けと運用

耐震予備診断は耐震対策の最初のステップとして行う簡易な診断である。当該診断は、耐震性能を定量的に評価するものではなく、あくまで修理や耐震基礎診断・耐震専門診断を実施する緊急性について判定するものである。診断対象は木造建築物に限られる。

当該診断は所有者が自ら実施することもできるが、専門的な知識を有していない所有者が行った場合には、十分に信頼できる調査とならない可能性があるため、建築専門家等が実施することが望ましい。

当該診断は、土地に係る事項、構造特性に係る事項のうち、規模・形状に係る事項、

軸部構造に係る事項、屋根構造に係る事項並びに健全性に係る事項の 5 項目に関する選択式の質問に答えて評価点を付け、この評価点に応じて以下の 3 段階に判定する。

- ア. 重要文化財（建造物）がおおむね耐震性を確保しているとみなされる。
- イ. 重要文化財（建造物）本来の構造的な健全性を回復するための措置（簡単な応急的補強を含む）、または管理・活用方法の改善措置を行う必要がある。
- ウ. 重要文化財（建造物）の根本的な修理（補強を含む）または使用方法の見直しが必要となる可能性が高く、速やかに耐震基礎診断を実施する必要がある。

大まかに言えば、アと判定されたものは構造の健全性及び耐震性をある程度確保していると思われる状態、イと判定されたものは主に修理が必要な状態、ウと判定されたものは主に耐震対策が求められ、早急に耐震基礎診断・耐震専門診断を実施する必要がある状態といえる。ただし、耐震予備診断はあくまでも簡易な診断であるため、アもしくはイと判定された場合であっても、耐震性を正確に把握するためには、念のため、耐震基礎診断・耐震専門診断を実施することが望ましい。

3 耐震基礎診断の位置付けと運用

耐震基礎診断とは、耐震性能を定量的に評価する専門的な診断である。根本修理に併せて行なわないため、解体しなければ分からない柱梁仕口や接合部、壁の内部など構造体の詳細については判明しないまま診断を行わなければならないこともある。耐震基礎診断の「基礎」という文言は、将来実施される「耐震専門診断」に対応して基礎的という位置付けであり、簡易な診断であることを示しているのではない。建造物の構造特性に合わせて適切な診断方法を選択して実施しなければならない。

当該診断は、活用方法等に応じて設定した必要耐震性能に対し、どれだけ耐震性能を有しているかを定量的に評価する。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、診断結果に基づき、必要耐震性能が確保できるように、耐震補強等の対策を行うことを検討する。

当該診断及び診断結果に基づく耐震補強等の対策の検討は、建築構造専門家が実施するが、特に耐震補強の検討においては、耐震性能の確保だけを目的にするのではなく、文化財的価値の保存にも配慮した対策となるように、文化財建造物修理技術者の技術的指導を受けることとしている。また、耐震診断の結果に基づき検討される耐震補強は、診断で実施される構造調査や構造解析の方法によって選択できる補強方法が限定されることもある。さらに、構造調査では、部分的に解体して行うものや試験体を採用することもあるので、文化財建造物の保存上、問題のないよう慎重に調査を行う必要がある。そのため、診断の開始時期から文化財建造物修理技術者に技術的指導を受けることが望ましい。

また、当該診断は、基本的に外形的な観察により得られる情報や既往の資料に基づき実施する。すなわち、部材の接合部や壁体の下地等について、既に実測図面や調査報告等があって分かる場合にはよいが、不明な場合には、類例から推測する等で情報を補足し、検討を行うこともある。そのため、将来実施する根本修理時の耐震専門診断で診断内容を見直す必要が出てくる可能性もある。この際に耐震基礎診断の結果を評価することができるように、どのように仮定を行ったかなど、第三者が検討過程を追跡できるような記録を作成する必要がある。さらに、診断のために実施した構造調査や構造実験についても記録を報告書としてまとめ、技術情報の公開に努めることが望ましい。

4 耐震専門診断の位置付けと運用

耐震専門診断は、耐震基礎診断と同様、耐震性能について定量的な評価を行うが、根本修理に併せて実施するため、耐震基礎診断で用いる情報の他、修理時の調査で得られる情報を盛り込み、診断を実施する。

修理時の調査により得られる情報とは、部材の接合部や壁体の下地等、耐震要素のモデル化等をより正確に行うために必要な情報であったり、当初部材の残存状況等、補強箇所の選定において文化財的価値に配慮するために有用な情報である。

このため、既に耐震基礎診断を実施し補強案等が提案されている場合にも、根本修理の実施に伴い新たな知見が得られた場合には、耐震専門診断を改めて行い、補強案を見直すこととする。

また、大規模な仕様の変更が生じたり、外観及び内観の意匠に大きな影響を及ぼすような補強については、文化財的価値を十分調査した上で補強方法を検討する必要があるので、耐震専門診断を実施した際に施すことが望ましい。

当該診断及び診断結果に基づく耐震補強等の検討は、耐震基礎診断同様、文化財建造物修理技術者の技術的指導を受け建築構造専門家が実施する。

第3節 耐震診断の解説

1 必要耐震性能の設定

必要耐震性能とは、各建造物に必要とされる耐震性能であり、建造物の文化財的価値や活用方法に応じて設定され、耐震性判定の水準となる。必要耐震性能は耐震診断の最初の段階で設定されるが、構造調査や構造解析を進めていく中で、必要となる耐震補強が文化財的価値に与える影響が著しく大きいと判断された場合などに、活用方法を見直し設定した必要耐震性能を下げることもある。

必要耐震性能は、「重要文化財（建造物）耐震診断指針」において、「機能維持水準」、「安全確保水準」、「復旧可能水準」の3段階の水準が設定されている。これらの水準は、地震時に文化財的価値が損なわれないよう、また活用上十分な安全性が確保できるよう、地震時に許容される被害程度の水準を定めたものである。耐震診断では文化財建造物の

耐震性能が必要耐震性能を満たすかどうかで耐震性を判定し、満たさない場合には耐震補強等の対策を検討することとなる。

必要耐震性能の設定は、本質的には所有者等の判断すべき事項である。それは、文化財保護法において建造物の安全管理が所有者等の管理責任の範囲であることによる。各水準が設定している耐震性能と地震時のリスクをしっかりと所有者等が理解した上で選択する必要があるが、その内容には専門的な見解も必要となるため、所有者等は設計者や市町村及び都道府県の教育委員会、文化庁と協議を行った上で水準を選択することが望ましい。また、各水準を満たすために必要な工学的な耐震性能は、建造物の構造特性や活用方法を考慮して、設計者が適切に設定する必要がある。

(1) 機能維持水準

「機能維持水準」とは、「大地震動時に機能が維持できる水準」である。これは、大地震動時に機能を維持しなければならない建造物に適用する水準である。防災拠点となる官庁施設や避難施設、橋やダムなどのインフラ施設などで、その建造物の機能が失われると社会に大きな影響を与えるものなどが該当する。また、内部に復旧が容易でない仏像等、貴重な資産を収蔵する施設については、資産価値を損ねない性能が必要となる。

(2) 安全確保水準

「安全確保水準」とは、「大地震動時に倒壊しない水準」である。内部や付近に人が立ち入るような建造物が大地震動時に倒壊すると人命が失われる可能性が高い。大地震動時に倒壊しないということは、大地震動時に建造物によって人的被害を出さないことを意味している。現行の「建築基準法」に沿って建てられる一般建築物は、大地震動時に一定の安全性を確保できることを目標に建てられていることを考えると、それらと同等の目標といえる。

文化財とはいえ、社会的に建造物として用いられるものにおいて人的被害が出るようでは、所有者等が負うべき管理上のリスクは高い。そのため、内部を公開している建造物では、ほとんどの場合にこの水準が選択される。

また、大地震動時に倒壊しない場合でも、あまりに大きな変形を許容すると、屋根材や天井材の落下などの非構造部材による人的被害の危険性がある。安全確保水準の中でも建造物の構造特性や活用方法を踏まえた上で、許容する地震時の変形量等を設定すべきである。

(3) 復旧可能水準

「復旧可能水準」とは、「大地震動時に倒壊の危険性があるが文化財として復旧できる水準」である。これは、安全でなくてよいという選択肢ではなく、「小規模で倒壊しても人的被害がでない」、「ほとんど人が近寄ることがない」などと別の形で人的安全性に対

する担保が取れている建造物の場合に選択するものである。また、この水準は文化財建造物が倒壊したとしても主要な文化財的価値を失わないという判断に基づいている。しかし、建造物によっては倒壊によって著しく文化財的価値を失う場合もあるため、文化財的価値の高い部分が失われないよう、耐震性能を設定しなければならない。この水準を選択した建造物の所有者等は、地震時の危険性に十分配慮して管理しなければならない。

2 構造調査

構造調査とは、地盤等の周辺環境の性状や建造物の構造的特徴を把握するための調査で、耐震性能を検討するために必要な情報を得るために行われる。

耐震性能の検討に必要な情報は、どのような検討を行うかによって異なり、特に文化財建造物の場合は、建造物の構造的特徴が多様であり、その検討に必要な情報は様々である。必要な情報が不足することが無いよう、耐震診断全体の計画を立て、調査結果をどのような検討に使うか見通しを持って、調査項目を選択する必要がある。

構造調査は、現地確認・資料及び史料調査、地盤調査、破損調査、形状・仕様調査、物性調査等に分類できる。

(1) 現地確認・資料及び史料調査

現地確認・資料及び史料調査は、本格的な調査に入る前に地盤や建造物に関する情報を収集する調査である。

地盤については、現地を踏査し目視によって地質の状況を確認する地表地質調査や、現地及び周辺での過去に行われた地盤調査の資料調査、活断層の有無に関する資料調査、過去に起きた地震の履歴に関する資料調査等がある。

建造物については、調査報告書や修理報告書等に関する資料調査、類例となる建造物の資料調査、建設時の図面や仕様書等の史料調査、地震被害の履歴や修理・増改築の履歴に関する聞き取り、古写真・古記録等の史料調査等がある。

これらの情報によって地盤と建造物の概要を把握することは、耐震診断全体の計画を立案する上でも重要であり、また本格的な調査に入る前に、これらの情報を整理し、耐震診断で必要な情報の有無を確認することで、不必要な調査を省略することができるなど、調査項目を計画する上でも有効である。

文化財建造物の場合、修理・増改築の履歴に関する調査を行うことで、建設時には想定していなかった増改築による荷重が加わっていたり、構造的に問題のあるような工事を行っていることが明らかになることがある。また、地震被害の履歴に関する調査が一般建築物よりも有効となることも多い。これは、文化財建造物の場合、建設から長い期間を経ているものが多く、この期間中に大地震を経験し、過去に地震被害を生じたものも多いためである。過去の地震被害は、内容が具体的であるほど、耐震性能を把握する

上で直接的な手掛かりとなる。過去の地震被害を構造解析によって推定した地震被害と比較することで、解析の妥当性を検証したり、解析で想定した被害内容に漏れがないかを確認することができる。

(2) 地盤調査

地盤調査とは、建造物を支える地盤の性状を把握するための調査で、支持地盤の耐力や地盤の地震被害の危険性の検討に必要な情報を調査するとともに、表層地盤の地震動の増幅特性の検討に必要な情報についても調査する。

文化財建造物の場合、敷地が史跡や名勝等の文化財に指定されていることや、埋蔵文化財包蔵地であることがあり、その場合、地盤調査の内容により予め許可や届出などが必要となる。

地盤調査の方法は多岐に渡るが、以下、主な調査方法の概要について紹介する。

・標準貫入試験と土の試料採取

地盤に穴を開け（ボーリング孔）、所定の重さのハンマーでロッドを打撃し、一定深さを貫入させるのに必要な打撃回数（N値）から地盤の硬軟を測定するとともに、土質構成や水位を確認する。また、土の性質を調査するための室内土質試験のサンプリングを併せて行うこともある。深い深度まで測定が可能で得られる情報の信頼性も高いが、資材の搬入や作業スペースも必要であるため測定箇所が限られる。

・スウェーデン式サウンディング試験

スクリューの付いたロッドを所定の重さをかけた状態で回転させ、一定深さを貫入するのに必要な回転数（N_{sw}値）から地盤の硬軟を測定する。調査可能な深度が限られるとともに硬質層に当たると測定不能となるが、軽微な機器で測定できるため、測定箇所を多くすることで地盤の硬軟のばらつきや地層の傾斜を測定できる。標準貫入試験と併用することが多い。また、土質が確認できないため、ハンドオーガーパーリング（掘削器具を用いて人力で孔を開け、土の試料採取等を行う調査）などと組み合わせて行う方がよい。

・弾性波探査（PS検層）

ボーリング孔を利用して地盤内を伝播する弾性波（P波・S波）の深さ方向の速度分布を測定し、地震動の増幅特性を精度よく推定する際に用いられる。

・サンプリング試料の土質試験

ボーリング孔から採取した試料を用いて、土質を調査する。物理的な試験を行うことで、液状化の判定、粘性土の強度、地震時の土質の変形状態など様々な情報を知ることができる。

・常時微動測定

地表又は地中の常時微動を測定することで、地盤の卓越周期を推定することができる。卓越周期は（3）3-1）で説明する第1種地盤、第2種地盤、第3種地盤と

いった地盤種別と密接な関係を持つため、簡便に地盤種別を把握する方法として用いられることもある。また時刻歴応答解析に用いる地震波形を作成する際にも必要となる。ただし、大地震時に地盤のひずみレベルが大きくなると剛性が低下して地震動の周期特性が変化することに注意する必要がある。

(3) 破損調査

破損調査とは、修理を計画する際などに建造物の破損状況を把握するために行われる調査であるが、耐震診断で行われる破損調査では、建造物の耐震性能に寄与する主要な構造部材を主な対象とする。

文化財建造物の場合、破損箇所は修理することを前提とし、構造解析は主要な構造部材が健全と仮定した上で、耐震性能を評価することが多い。そのため、修理が困難であるなどの理由で修理を行わない場合には、破損箇所による耐震性能の低下を考慮に入れて評価する必要がある。

破損調査には、主要な構造部材の破損箇所の目視調査、不陸測定（床などの水平面がどの程度傾いているかを測定）及び傾斜測定（柱などの直立部材がどの程度傾いているかを測定）などがある。構造部材の破損状況を調査することで、建造物の構造的な欠陥も把握することができる。

(4) 形状・仕様調査

形状・仕様調査は、建造物の構造形式や仕様など構造的特徴について行う調査である。形状・仕様調査には、構造図作成のための実測調査や、壁や接合部などの耐震性能に寄与する耐震要素の構造的特徴についての目視調査、目視のみでは把握できない壁体内部の仕様など内部仕様についての調査、建造物の振動特性の把握のために行う常時微動測定などがある。

内部仕様についての調査には、部分的に壁を解体し内部の構造を直接確認するような解体を伴う調査だけでなく、X線撮影や赤外線撮影といった非破壊調査、もしくは必要最小限の穴を開けマイクロスコープで内部を確認するといった微破壊を伴う調査などもある。

文化財建造物の場合、極力破壊を伴わない調査を実施することが望ましいが、耐震性能の把握上やむを得ない場合には、必要最小限の範囲で解体を行い、確実に仕様を調査することもある。調査位置や範囲については、文化財的価値を十分配慮した上で、決定する必要がある。

(5) 物性調査

物性調査とは、建造物の耐震要素の力学特性等の物性に関する調査である。特に材料の強度や剛性、変形性能といった力学特性は構造解析を行う際に必要となる情報である。

文化財建造物の場合、材料の強度等の力学特性は、材質や施工精度、経年劣化の程度によってばらつきが大きいいため、法令等に定められる基準値や既往の実験結果を用いたりする他、必要に応じて、非破壊調査や微破壊調査、建造物から採取した試験体の材料実験などを行うことがある。

また、文化財建造物の耐震要素は、部材の接合部や架構の形式など仕様や構法が様々であり、剛性や耐力といった力学特性を一般建築物に用いられる理論式や既往の実験結果で評価できない場合がある。この場合、必要に応じて、対象となる接合部や架構といった耐震要素のモデルを作成し、載荷実験や振動実験といった構造実験を行う。実験を行う場合には、耐震要素が地震力に抵抗するメカニズムを適切に評価できる実験方法を検討するとともに、モデルはできる限り実物の仕様を忠実に再現したものとする配慮が必要である。

これらの材料実験、構造実験を行う際には、個体差などを考慮した適切なデータ処理を行う必要がある。

3 構造解析

ここで説明する構造解析とは、外力による建造物の挙動を数値計算によって推定することであり、外力として地震力を対象とした解析について解説する。

建造物に関しては、構造調査の結果を基に、各耐震要素をモデル化し、耐震要素を組み合わせた建造物全体の解析モデルを構築し、解析モデルを用いた数値計算によって地震時に生じる変形や各部材の応力を算出し、倒壊や部材の破損といった建造物の地震時の挙動を推定する。

また、地盤に関しても、液状化や地滑りといった地盤の地震時の挙動を推定する。

以下、構造解析について、解析方法・解析モデルの選択、荷重の設定、許容応力度の設定、耐震要素の設定、限界変形の設定、地震力の設定、建造物の地震時の挙動の推定、地盤の地震時の挙動の推定という順で説明する。

(1) 解析方法・解析モデルの選択

構造解析には様々な手法があり、用いる解析方法・解析モデルによって評価も変わってくることが多い。一般に、簡略な解析方法・解析モデルほど、評価が粗くなるとともに、安全率を大きく掛けるため、耐震性能が低く評価されることとなる。また、補強後の耐震性能を評価する際にも同じ解析方法・解析モデルを用いることが多いが、簡略な解析方法・解析モデルの場合、評価できる耐震要素に限られるため、補強方法が限定されてしまうこととなる。

文化財建造物の場合、現状の耐震性能をできるだけ評価し補強量を必要最小限とすることや、文化財建造物に相応しい補強方法を選択することで、耐震補強が文化財的価値に与える影響を可能な限り小さくすることが求められる。そのため、文化財建造物に相

応しい耐震補強が検討できるよう、建造物の構造特性に応じて適切な解析方法・解析モデルを選択する必要がある。

1) 解析方法

木造建築物に用いられる解析方法には壁量計算法や許容応力度計算法、エネルギー一定則に基づく解析方法、保有水平耐力計算法、等価線形化法に基づく解析方法（限界耐力計算法）、時刻歴応答解析などがある。以下、木造建築物の各解析方法の特徴を説明する。

・壁量計算法

壁量計算法は、地震力に抵抗するために必要な壁量を求める方法で、壁が主な耐震要素となる一般の木造建築物、特に木造住宅において、用いられることが多い。地震力は、建造物の重量によって決まるため、床面積や屋根材の種類等に応じて求められる。壁量は壁面長さに抵抗力の大小を表す壁倍率を乗じて求められる。地震力によって求められた必要壁量に対して、梁間方向・桁行方向の各方向の壁量が多いことや、壁の配置に偏りが無いこと（偏心）、接合部の強度が十分であることなどについて確認する。

・許容応力度計算法

建造物の重量や地震力などの荷重により各部材に加わる応力が、許容応力以内であること等を確認する方法であり、長期荷重、短期荷重のそれぞれに対し、長期許容応力、短期許容応力以内となっていることを確認する。

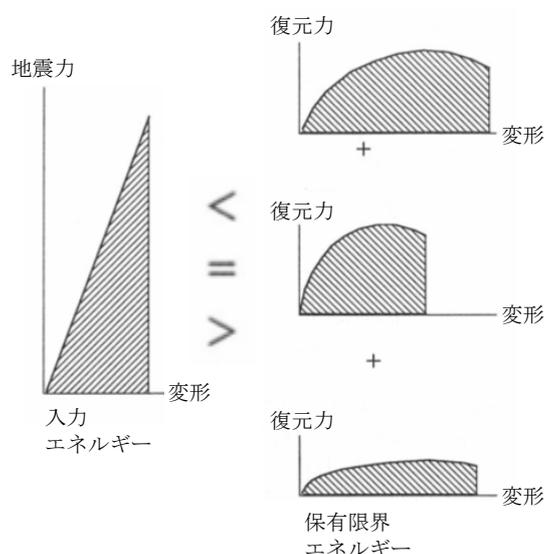
地震力については、建造物の重量の0.2倍に相当する水平力（中地震動（稀に発生する地震））を基本として求め¹⁾、地震力に対し、各部材に加わる応力が短期許容応力を超えないことや変形が許容値以下であること等を確認する。また、偏心の検討や水平構面の耐力確保などについても確認する。

・エネルギー一定則に基づく解析方法

地震によって建造物に入力されるエネルギー（入力エネルギー）と、建造物の変形することによって蓄えるエネルギー（保有エネルギー）は等しいとする考え方に基づいた方法であり、地震力については建造物の重量の1.0倍に相当する水平力（大地震動（極めて稀に発生する地震））を基本とし²⁾、地震力の入力エネルギーを求める。また、建造物が限界変形に至るまでに蓄えるエネルギー（保有限界エネルギー）を求め、保有限界エネルギーが入力エネルギー以上であること等を確認する。

ただし、限界変形において柱の折損等が生じたりして架構が成立しないような状態となっていないかや、耐震要素の偏在によるねじれや水平構面の強度不足による局部

的な変形が問題とならないかについて、別途確認が必要である。



エネルギー一定則に基づく解析の概念図

- 保有水平耐力計算法

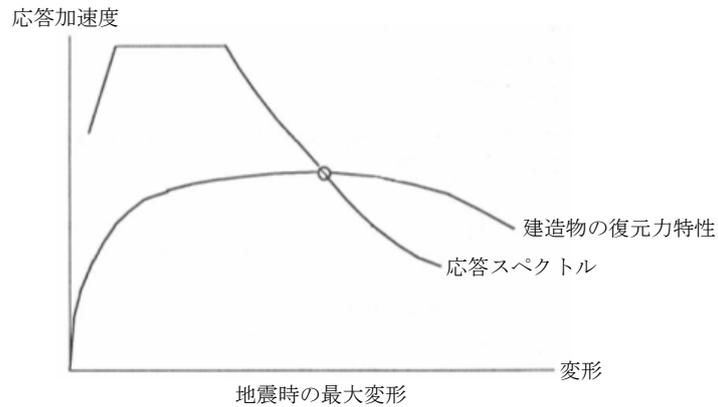
保有水平耐力計算法は、エネルギー一定則の考え方に基づく略式の方法である。地震力は建造物の重量の 1.0 倍に相当する水平力（大地震動（極めて稀に発生する地震））を基本とし建造物の靱性（変形能力）に応じた係数（構造特性係数）を乗じることで求める³⁾。また、保有水平耐力として建造物が倒壊に至る水平力を求め、保有水平耐力が地震力以上であること等を確認する。

- 等価線形化法に基づく解析方法（限界耐力計算法）

等価線形化法に基づく解析方法は、応答スペクトル⁴⁾を用いて地震時の最大変形を求め、応答値が限界変形に収まっていることを確認する方法である。建造物の復元力特性と重量から固有周期⁵⁾と減衰定数⁶⁾を求め、固有周期と減衰定数に応じた地震時の最大変形を応答スペクトルから算出し、応答値が限界変形に収まっていることを確認する。中地震動（稀に発生する地震）・大地震動（極めて稀に発生する地震）の 2 段階の応答スペクトルに対して検討を行う。

建造物の減衰性能を評価できるため、減衰性能を向上させるダンパー等の制震装置を用いることを検討できる。エネルギー一定則と同様に、限界変形における架構の状況等について別途確認が必要である。

限界耐力計算法は等価線形化法の手法を用いた方法であり、建造物が保有水平耐力に相当する水平力を受けた場合の変形とその変形における固有周期・減衰定数を求め、固有周期・減衰定数に応じた地震力を応答スペクトルから算出し、地震力が保有水平耐力を超えないこと等を確認する。

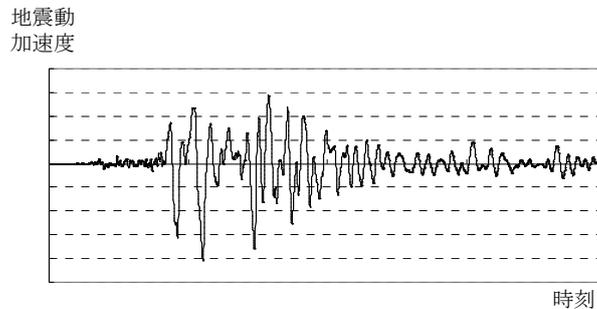


等価線形化法に基づく解析の概念図

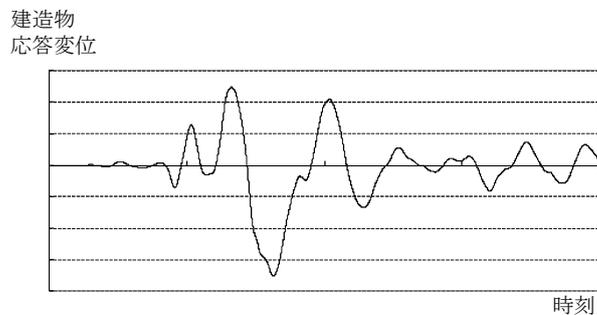
・時刻歴応答解析

時刻歴応答解析は、検討用入力地震動を直接診断に用いて、建造物の変位・速度・加速度の応答波形を求める方法である。一般に超高層ビル設計などに用いられている。地震時の応答変形から求めた最大変形が限界変形を超えていないこと等を確認する。

建造物の地震時の挙動を実状に近い形で確認できる反面、解析の仮定条件や用いる検討用入力地震動の種類等によって、得られる結果がばらつきやすいので、その点は十分に考慮して検討する必要がある。



入力地震波形



地震時の応答波形 (変位)

時刻歴応答解析の概念図

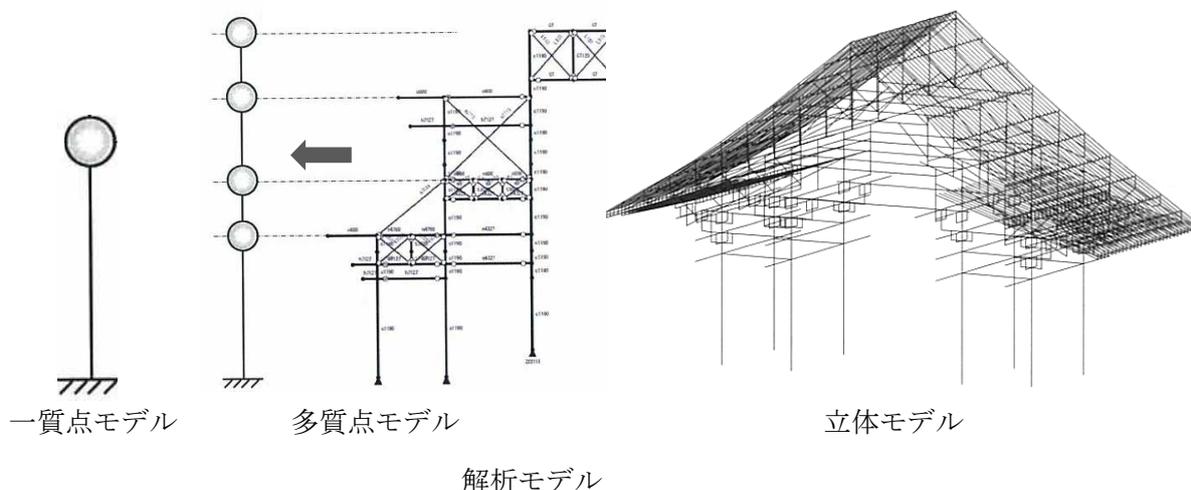
2) 解析モデル

解析モデルには、質点系モデル（一質点モデル・多質点系モデル）や立体モデルなどがある。

質点系モデルとは、建造物を代表点に縮約しモデル化するもので、各階を一点に縮約する場合、重量や力学特性は各部の重量、各耐震要素の力学特性を積算し求め、さらに複数階を一点に縮約する場合には、各階の重量、剛性から振動モードを求め、モード比に基づき、縮約する。

質点系モデルで解析を行なった場合、立体モデルに比べ計算量を抑えることができる。しかし、縮約しているので地震時の代表点における変形しか分からないため、建造物全体や各階が一体的に変形するような建造物には適しているが、各部がばらばらに挙動し、局所的に変形が大きくなるような建造物には適していない。例えば、地震時に大きくねじれるような建造物については、剛性率⁷⁾及び偏心率⁸⁾によって決定する割増係数などを用いて、ねじれによる変形の増大分を検証する必要がある。また、質点系モデルでは地震時の建造物全体の変形は推定できるが、各部材に加わる応力等については検証できないため、柱の折損など局所的な破壊が全体に影響を及ぼすような建造物では、別途、検討を行う必要がある。

立体モデルとは、耐震要素を実物の建造物と同じように三次元で組み合わせモデル化したもので、各部の重量や各耐震要素の力学特性を設定する。複雑なモデルとなるため、モデルの設定や解析には、質点系モデルに比べて手間を要する。しかし、立体モデルで解析を行った場合、各部の挙動が推定できるため、局所的に変形が大きくなるような建造物や大きくねじれるような建造物にも適しており、また、各部材に加わる応力も分かるため、部材毎の破損の危険性等についても推定でき、局部的な部材の破壊が全体に影響を与えるような建造物にも適している。ただし、各部の設定の集積によって全体の力学特性が決定されるので、各部の設定条件の実状とのずれが集積し、建造物全体の力学特性が実状と大きくずれる可能性もあるので注意する必要がある。



3) 留意点

「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」では、解析方法・解析モデルとして、一質点モデルを用いたエネルギー一定則に基づく解析方法と等価線形化法に基づく解析方法について解説しているが、必要な場合にはこれらの方法に限定せず、建造物の構造特性に応じた方法を選択することが望ましい。また、選択した方法では検討項目が不足する場合には、工学的判断に基づきいくつかの方法を組み合わせることで不足分を補うなど、工夫することも重要である。

例えば、偏心が大きかったり、水平構面の剛性が低かったり、向拝などの平面上の突出部がある場合に、建造物が一体で変形することが前提の解析の結果をそのまま評価することはできないし、天守や塔などの層状の建造物には、一質点モデルを用いた限界耐力計算よりも、多質点モデルや立体モデルを用いた時刻歴応答解析法を行う方が実状に近い評価を行いやすい。

また、補強を必要最小限に抑えるためには、まずどここの部材に大きな応力がかかり、どのように変形し、どこから破壊するのかを正確に把握することが重要である。特別貴重な意匠を有する部材など文化財的価値の高い部材がある場合、それらを地震被害から守るために、部材ごとの破壊性状を把握できる解析方法・解析モデルを選ぶことが望ましい。

さらに、耐震補強を検討する場合においても、解析方法・解析モデルによっては補強方法が限定され、文化財的価値に配慮した補強方法が採択できない可能性があるので留意する。

例えば、壁量計算法で壁の少ない木造建造物を評価した場合には、小壁や貫の回転剛性などの耐震要素を評価することができず耐震性能を過小評価することとなる。また、偏心や水平構面の剛性についての詳細な検討が不足するため、建造物によっては耐震要素が有効に働かなかつたり、向拝などの突出部が部分的に破壊してしまう可能性もある。補強案の検討においても、壁量計算法では壁を設置する以外の補強方法を提案することが難しくなる。

立体モデルを用いた等価線形化法に基づく解析を行えば、弾塑性の増分解析を用いた許容応力度計算法を併用することで、偏心や水平構面の剛性を考慮した上で検討することができる。部材ごとの破壊性状等も評価できるので、補強方法についても小壁や床下での補強など、選択できる方法の幅が広がる可能性がある。

このように解析方法・解析モデルは建造物自体の耐震性能評価や補強方法の選択に与える影響が大きく、文化財的価値に影響を及ぼすものである。また、耐震診断や補強案策定にかかる費用にも影響を与えるものでもある。どのような解析方法・解析モデルを採用するかについては、慎重に判断することが必要である。

- 1) 地震力は建造物の重量の0.2倍の水平力に、地域係数や振動特性係数、形状係数等を乗じて求める。

- 2) 地震力は建造物の重量の1.0倍の水平力に、地域係数や振動特性係数、形状係数等に乗じて求める。
- 3) 地震力は許容応力度計算、エネルギー一定則と同様の各種係数及び構造特性係数に乗じて求める。
- 4) 応答スペクトルとは固有周期・減衰定数と地震時の最大変形や最大加速度（地震力）の関係を表すグラフ。
- 5) 固有周期とは建造物を自由振動させた時の振動の周期。
- 6) 減衰定数とは建造物の減衰性能、すなわちエネルギーの吸収性能を示す値。
- 7) 剛性率とは、建造物が多層である場合に各層の剛性のばらつきを示す値。値の低い層に変形が集中する危険性がある。
- 8) 偏心率とは、建造物の重心と剛心のずれの大きさを示す値。値が大きいほどねじれやすい。

(2) 荷重の設定

荷重とは建造物に作用する力のことで、建造物の安全性を検討する際に考慮する必要がある荷重の種類は、以下の表のとおりである。地震力は建造物の重量に応じて決定されるが、建造物の重量は常時荷重である固定荷重と積載荷重を合わせたもの、「建築基準法施行令」が定める多雪区域においては、これに積雪荷重を加えるものとする。以下、これらの荷重について説明する。

荷重・外力の種類と分類

| 時間 方向 | 常時 | 非常時 | |
|----------|-----------|------|-----|
| | | 長期 | 短期 |
| 鉛直 方向 | 固定荷重 | 積雪荷重 | |
| | 積載荷重 | | 風圧力 |
| 水平 方向 | 水圧・ 土圧 | | 地震力 |

1) 常時荷重

鉛直方向の常時荷重には固定荷重と積載荷重があり、いずれも建造物の実状に応じて荷重を設定する。

文化財建造物の場合、必要に応じて、長期鉛直荷重に対し、床を支える梁や軒を支える垂木などの部材に加わる応力が長期許容応力度を超えないこと、部材の変形が過大にならないことを確認し、安全性や機能性について検証する。

1-1) 固定荷重

固定荷重は、構造部材や仕上げ材などを含む建造物自体の重量で、原則として、実状に応じて比重や体積等から求めた各部の重量を積算することにより正確な固定荷重を得る。

重量の積算根拠としては、以下の文献 1)～3)に示されている表の値を用いることもできる。文献 1)、2)は一般建築物に用いられている材料や部材について、文献 3)は文化財建造物によく用いられる部材について示されている。

文化財建造物では特殊な材料や部材が用いられていることがあるが、この場合には標本を採取して重量測定を行い、これを積算根拠とすることもある。

1-2) 積載荷重

積載荷重は固定荷重に含まれない、家具や設備機器などといった移動が困難ではない物品や人などの重量を総称している。

重量の積算根拠としては、文献 4)に示されている以下の表の値を用いることもできる。この表は一般建築物の積載荷重として、居室の用途に応じた単位面積当たりの積載荷重を示しており、荷重は床の構造計算、大梁・柱・基礎の構造計算、地震力の計算それぞれで用いる値が異なり、後ろに挙げたものほど小さい値となる。また、多層建造物の下層を設計する場合には、配置の偏りの影響が小さくなるため、支える層（床）の数に応じて積載荷重を低減することができる（支える層の数が 2 の場合は 0.95、3 の場合は 0.9 など）。

文化財建造物の場合、実状の使われ方に応じて積載荷重を設定することもある。例えば、物置の積載荷重を実際に置かれている物品の重量に基づき設定したり、人数制限を行いながら内部公開している建造物の積載荷重を制限人数に基づき設定することもある。この場合には、今後の活用において所有者等の管理がしっかりと行われることが前提となる。

積載荷重表

| 室の種類 | 構造計算の対象 (N/m ²) | | |
|--|----------------------------------|-------------------|------------|
| | 床の 構造計算用 | 大梁・柱・基礎の 構造計算用 | 地震力 計算用 |
| (1) 住宅の居室 | 1,800 | 1,300 | 600 |
| (2) 事務室 | 2,900 | 1,800 | 800 |
| (3) 教室 | 2,300 | 2,100 | 1,100 |
| (4) 百貨店または店舗の売場 | 2,900 | 2,400 | 1,300 |
| (5) 劇場・映画館・演芸場・観 覧場・公会堂・集会場その 他これらに類する用途に 供する建築物の客席また は集会室 | 固定席 | 2,900 | 2,600 |
| | その他 | 3,500 | 3,200 |
| (6) 自動車車庫・自動車通路 | 5,400 | 3,900 | 2,000 |
| (7) 廊下・玄関・階段 | (3)～(5)に連絡するものは、(5)のその他の数値。 | | |
| (8) 屋上広場 | (1)の数値。 ただし、学校または百貨店では(4)の数値。 | | |

*倉庫業を営む倉庫における床の積載荷重は、実況に応じて計算した数値が 3,900N/m²未満であっても 3,900N/m²とする。

2) 積雪荷重

積雪荷重は屋根面などに積もった雪の重量によって作用する鉛直方向の荷重であり、積雪の単位荷重に屋根の水平投影面積及びその地方における垂直積雪量を乗じて求める。一般の地域では積雪量 1cm ごとに 20N/m²とするが、多雪区域では自治体により異なる値とするため注意が必要である⁵⁾。積雪荷重は、屋根の勾配が急になるほど低減でき、60°を超えると積雪荷重を考慮しなくてよいことになる。また、雪下しを行う慣習のある地方では、積雪量を低減することができ、その地方における積雪量が 1 m を超える場合でも、実況に応じて積雪量を 1 m まで低減することができる。

ただし、雪おろしを想定して設計用の積雪量を低減した建造物は、この想定積雪量を上回らないように十分管理する必要がある。積雪荷重の算定は、文献 6)、7) に詳述している。

- 1) 「建築基準法施行令」第 84 条
- 2) 『建築物荷重指針・同解説』(日本建築学会 2004 年改訂)
- 3) 大野敏「文化財建造物の重量計算について」『重要文化財(建造物)耐震診断参考資料集』(文化庁文化

財保護部建造物課 2000 年)

- 4) 「建築基準法施行令」第 85 条
- 5) 「建設省告示」平成 12 年建告第 1455 号
- 6) 「重要文化財（建造物）耐震診断指針」（文化庁文化財部参事官 2012 年改正）
- 7) 「建築基準法施行令」第 84 条

（3）地震力の設定

地震力は地震時に建造物に加わる荷重である。重要文化財（建造物）の耐震診断では、大地震動と中地震動の 2 段階の地震力のうち、基本的に大地震動に対し検討を行い、必要に応じて中地震動に対しても検討を行う。解析方法によって地震力の概念は異なり、地震力を静的な力として扱う場合と、準動的な力として扱う場合、動的な力として扱う場合があり、それぞれの解析方法に応じて地震力を設定する。また、地震動は建造物の直下の表層地盤によって増幅されるため、これを考慮して地震力を設定するが、この増幅特性を求める方法として、略算法と精算法がある。

1) 中地震動・大地震動の定義

「重要文化財（建造物）耐震診断指針」では、中地震動・大地震動を「建築基準法」で示されている稀に起こる地震（または中程度の地震荷重）・極めて稀に起こる地震（または最大級の地震荷重）に相当するものとして定義している。

「建築基準法」では、中地震動に対し建築物が損傷しないことを、大地震動に対し建築物が倒壊したり崩壊しないことを必要な耐震性能としている。想定している地震動の大きさからいえば、極めて単純な仮定を踏まえると、中地震動は震度Ⅴ程度、大地震動は震度Ⅵ強程度に相当する。震度は、もともと、人体感覚や家具等の揺れ方、家屋の被害状況等から判定するものであったが、現在は器械観測による計測震度（観測波形の解析による値）が気象台から発表され用いられている。一方、中地震動・大地震動の地震力の大きさは、昭和 56 年の「建築基準法施行令」の改正で保有水平耐力計算が規定され際に、中地震動で建築物の重量の 0.2 倍、大地震動で 1.0 倍を基本とすることとなった^{1),2)}。平成 12 年に新たな検証法として限界耐力計算法が規定された際にも、これらと同等の地震力の大きさになるように応答スペクトルが規定されている。

2) 地震力の大きさ

2-1) 静的な水平荷重として検討する場合

許容応力度計算や保有水平耐力計算、エネルギー一定則に基づく解析方法では、地震力を静的な力として扱う。この場合、中地震動は建造物の重量の 0.2 倍の水平力、大地震動は建造物の重量の 1.0 倍の水平力を標準の地震力とし、これに地域の地震発生頻度に応じた係数(地震地域係数)、建造物と地盤の振動特性に応じた係数(振動特性

係数)、建造物の重量の高さ方向の分布に応じた係数(Ai 分布)、建造物の変形能力に応じた係数(構造特性係数)、偏心率・剛性率など建造物の剛性バランスに応じた係数などを乗じ、地震力を決定する。

2-2) 準動的な力として検討する場合

等価線形化法に基づく解析方法(限界耐力計算)では、地震力を準動的な力として扱う。準動的な力とは、建造物の固有周期・減衰定数と地震時の最大変形や最大加速度の関係を表した応答スペクトルのことを示す。この場合、表層地盤の下にある硬い地盤の上面(工学的解放基盤面³⁾)での応答スペクトルを標準応答スペクトルとし、中地震動・大地震動それぞれの標準応答スペクトル⁴⁾に表層地盤の増幅特性を乗じ⁵⁾、検証用応答スペクトルを決定する。

2-3) 動的な力として検討する場合

時刻歴応答解析では、地震動を動的な力として扱う。動的な力とは、地動加速度の時刻歴波形(以下、地震波形)を示す。地震波形には、標準応答スペクトルに適合するように作成する模擬地震動(告示波と呼ぶ)、一般によく用いられている実地震記録(観測標準波と呼ぶ)、当該地周辺の活断層の規模や距離から最新の地震工学の知見に基づき作成する地震動(サイト波⁶⁾と呼ぶ)がある。

時刻歴応答解析は、特に非線形応答解析(建造物の変形の増大に伴う剛性低下等を考慮した解析)を行う場合、用いる地震波形によって解析結果がばらつくので、複数の地震波形を用いて解析を行い、解析結果を比較検討することが望ましいため、地震波形は3波以上準備することとする。

3) 表層地盤の増幅特性

3-1) 略算法

表層地盤の増幅特性を略算法で求める場合には、表層地盤の種別が第1種地盤(硬質な地盤)、第2種地盤(第1種地盤及び第3種地盤以外のもの)、第3種地盤(軟弱な地盤)のいずれに該当するか、地形分類や地盤調査の結果などから判断し、地盤種別に応じて表層地盤の増幅特性を示す割増係数⁷⁾を決定する。

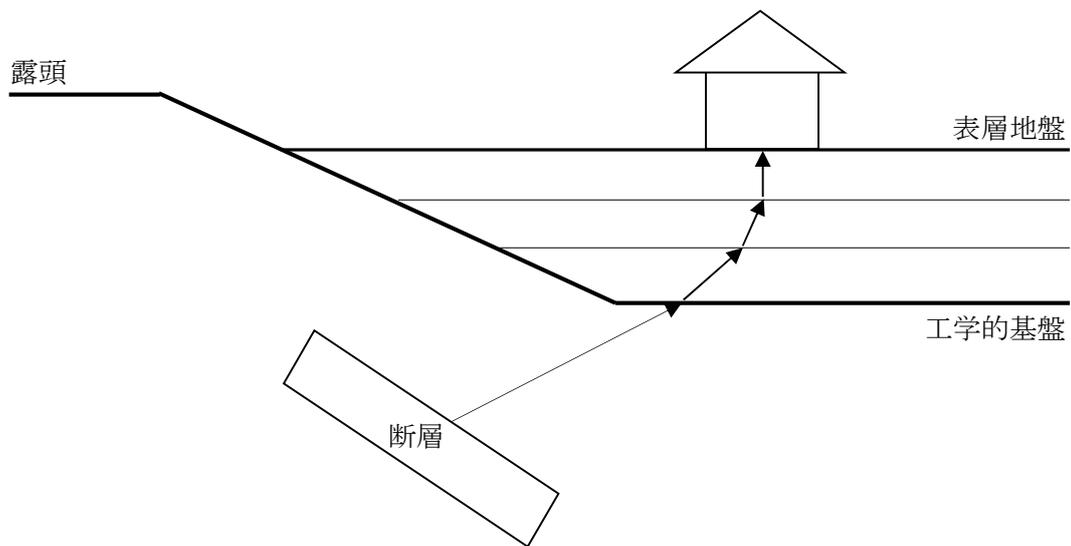
3-2) 精算法

表層地盤の増幅特性を精算法で求める場合には、表層地盤を水平成層⁸⁾からなる解析モデルに置換し、地盤調査の結果に基づき各層の厚さやせん断波速度、密度等を設定し、1次元せん断波動論を用いて、地震動の周期に応じた表層地盤の増幅特性を算出する⁹⁾。敷地が崖地であるなど不整形な地形であるため水平成層とみなすことが困難な場合には、他の方法で検討することが望ましい。

文化財建造物の場合、一般に固有周期は数秒以下であり、いわゆる長周期地震動が問題になることはないと考えられる。一方で、組積造建造物や土蔵などの固有周期の短い構造物の場合、短周期地震動が地震時の応答を増大させる危険性がある。このた

め、短周期構造物の場合には、上記の検討に加え、地盤の振動観測などを行い、短周期地震動の増幅特性を確認することが望ましい。

- 1) 地震によって生じる水平力を建造物の重量で除した値をベースシャ係数と呼び、保有水平耐力計算を行う際の標準ベースシャ係数 C_0 は、中地震動で $C_0=0.2$ 、大地震動で $C_0=1.0$ となっている。
- 2) 中地震動・大地震動の地震力の大きさは、地震動による建造物の応答特性も考慮したもので定義される。ごく単純な仮定として、最大加速度を指標とすれば、以下のように示される。建造物の加速度応答倍率(建造物の最大応答加速度を地震動の最大加速度で除した値)を2とすれば、 $C_0=0.2$ のとき、弾性応答で評価できる中地震動は建造物の応答が約 200Gal、地震動は約 100Gal となる。剛性が高い建造物で加速度応答倍率が1に近ければ、地震動は 200Gal に近い値となる。すなわち、地震動と建造物の両方の性質に依存するが、中地震動はおおむね震度V程度に対応する。大地震動時には、建造物の応答は一般に弾性域を超える応答になることが想定されるが、弾性応答における加速度応答倍率を2と仮定すれば、 $C_0=1.0$ として、地震動のピーク加速度は約 500Gal となる。これは、震度VI強程度に対応する。
- 3) 工学的解放基盤面とは、せん断波速度がおおむね 400m/s 以上の地盤(軟岩の砂岩・泥岩におおむね相当する硬い地層)の上面である。
- 4) 標準応答スペクトルは「建築基準法施行令」に規定されている。大地震動の標準応答スペクトルは中地震動のその5倍となっている。
- 5) 「重要文化財(建造物)耐震診断指針」は略算法を示しているが、必要に応じて精算法を用いることとする。
- 6) 「重要文化財(建造物)耐震診断指針」では、検討用入力地震動は建築基準法施行令及び同告示で規定される評価法によることを基本とするが、特別な調査や研究による場合は、その規定に従わなくてもよいとする。
断層パラメータが分かっている、当該地付近で地震記録が得られている場合に適用できる経験的グリーン関数法(中小地震の観測波形を用いて大地震の地震波形を予測する方法)もその一つである。
- 7) 「重要文化財(建造物)耐震診断指針」では、表層地盤の割増係数を第1種地盤で1倍、第2種地盤で1.2倍、第3種地盤で1.5倍としている。『木造住宅の耐震診断と補強方法』でも、地盤が著しく軟弱な場合に1.5倍としている。
- 8) 地層の傾斜が約5度以下であれば、工学的にみて水平成層と仮定してよいとされている。
- 9) 精算法は地盤調査に基づく方法として建築基準法告示に示されている。



地震動伝播の概念図

(4) 許容応力度の設定

強度とは部材に用いた材料が破壊に至る応力度（単位面積当りに加わる応力）のことで、これに対し許容応力度とは、設計上、材料に加わることを許容する応力度のことで、長期許容応力度と短期許容応力度からなる。

建造物に地震力等の短期荷重が作用した際に、各部材に発生する圧縮・引張・せん断・曲げの応力度が、短期許容応力度以下であることを検討する。これに加え、必要に応じて、屋根荷重等の長期荷重が作用した際に、軒や梁といった部材に発生する応力度が、長期許容応力度以下であることも検討する。特に、既にクリープによる変形が認められる部材については、変形が更に進行して破壊に至る場合もあるため十分注意が必要である。また、長期荷重に対しては、使用上の支障（建具の開閉障害など）をきたすような過大な変形を生じないように、十分な剛性を保有していることを確認することもある。

例えば、木材の許容応力度は、樹種や等級によって定められている基準材料強度（標準試験から得られた木材の強度を統計的に処理した値）に荷重継続期間に応じた安全率や各種補正係数を乗じて求められる。短期許容応力度は基準材料強度の $2/3$ の値を基本とし、これに使用状況や断面寸法等の補正係数を必要に応じて乗じて求める。長期荷重に対する長期許容応力度は、一般建築物では基準材料強度の $1.1/3$ としている。これは、建築物の耐用年数を 50 年と想定した値であり、文化財建造物のように耐用年数が長い場合は、長期許容応力度は基準材料強度の $1/3$ （250 年相当）とすることが望ましい¹⁾。

構造上主要な部材あるいはその主要な部分に蟻害や腐朽等の劣化が確認される場合は、修理工事の際に部材の取り替えや補修を行い、健全な状態とすることを基本としている。ただしこれが困難な場合には、状況に応じて劣化部分の断面寸法を減じた場合の安全性を

確認する。

また、煉瓦造については、材料強度などの基準値を明確に定めた法令等はない。煉瓦及び目地の強度を確認する必要があるが、煉瓦の質、目地の材料や配合、施工方法などのばらつきが大きい。このため、建造物から試験体を採取し、物性調査を行なうことが多い。試験体を採取する際には、文化財的価値の高い箇所や意匠的に目立つ箇所を避けて採取するなどの配慮が必要である。

- 1) この他、中短期（3日）、中長期（3か月）の許容応力度がそれぞれ基準材料強度の1.6/3、1.43/3と与えられており、積雪に対する検討において荷重継続期間に応じて用いることがある。『木質構造設計規準・同解説』に詳しい説明がある。

（5）耐震要素の設定

耐震要素とは、建造物の構造要素のうち、地震力に対し変形しながら抵抗しエネルギーを吸収する要素である。

伝統的木造建築物の耐震要素としては、土壁や板壁の全面壁、垂れ壁付きの独立柱、柱と貫や柱と梁の接合部（仕口）などが挙げられる。また、社寺建築で見られるような太くて短い柱は（目安としては柱径／柱長が1/15以上）、柱上から加わる鉛直荷重により柱の傾斜を戻そうとする抵抗力（以下、柱傾斜復元力）を有しており、耐震要素となる。このうち、全面土壁、垂壁付き独立柱、柱傾斜復元力については、「重要文化財（建造物）耐震基礎診断実施要領」で力学特性のモデル化の説明を行っている。

板壁は、縦張りで壁厚が薄いような場合は抵抗力が小さかったり、仕様によって力学特性もばらつくため、モデル化が困難であったりするが、太柄付きの落とし込み板壁等の実験データも蓄積されてきており、これらを参照してモデル化することもある。

柱と貫の接合部は、貫の断面が大きければ、柱の傾斜に伴い接合部でめり込み変形を生じながら柱の傾斜を拘束するので、耐震要素となる。木材のめり込みの力学特性に関する理論を用いたり、実験データ等を参照してモデル化する。

柱と梁の接合部も、柱の傾斜を拘束することで抵抗力を発揮するが、柄の形状など接合部内部の詳細が不明であったり、他の耐震要素に比べ抵抗力が小さいなどの理由で、耐震要素として扱わないこともある。

また、屋根面や天井面、床面といった水平構面も耐震要素である。これらの抵抗力が大きく剛性も高ければ、建造物が地震力に対し一体で抵抗することができる。しかし、伝統的木造建築物の水平構面は抵抗力が小さく剛性も低いことがある。この場合、建造物の各部がばらばらに挙動するので、水平構面の耐震要素の力学特性をしっかりと把握した上で、建造物の耐震性能を評価することが必要となる。水平構面の耐震要素の力学特性については、近年、実験データが蓄積されてきており、これらを参照してモデル化を行うこともある。

上記の耐震要素以外にも、耐震要素となりそうな構造要素がある場合には、調査研究等に基づき、耐震要素とすることがある。また、必要に応じて対象となる接合部や架構といった耐震要素のモデルを作成し、載荷実験や振動実験といった構造実験を行い、この実験データを基にモデル化を行うこともある。

(6) 限界変形の設定

限界変形角とは、地震時に許容する変形角（各階で生じた水平変位を階高で割った値）の大きさで、建造物の耐震性を判定する基準となる数値の一つである。限界変形角には、建造物が損傷せずにいられる非損傷限界変形角、建造物の持つ機能を保持することができる機能維持限界変形角、建造物が倒壊せずにいられる非倒壊限界変形角があり、後に挙げたものほど大きい。構造解析によって求めた地震時の変形角をこれらの限界変形角と比較することで、地震時の建造物の挙動を推定することができる。

限界変形角は、建造物を構成する耐震要素によって異なるので、主要な耐震要素の力学特性を十分に考慮した上で、設定する必要がある。

伝統的木造建築物の場合、倒壊にいたるのは $1/5\sim 1/3$ ともいわれているが、非倒壊限界変形角の目安は通常 $1/30$ とされている。これは、変形が増大し抵抗力が低下し始めると地震時の挙動が不安定になり、予測が困難となることなどから、通常、診断上の非倒壊限界変形角は、抵抗力が最大値の80%まで低下する変形角とされているためである。抵抗力が最大値の80%まで低下する変形角は、全面土壁の場合、 $1/30$ またはそれ以下となる恐れがある。一方で、垂壁付き独立柱の場合、柱に曲げ変形が生じるため、 $1/30$ 以上となることもある。

また、柱の折損は倒壊の要因の一つとなるが、垂壁付き独立柱の内法高さでの折損や、通し柱の二階床高さでの折損は、既往の実験結果によれば、変形角が $1/15$ 程度で生じている。

以上を踏まえ、柱の曲げ変形等による変形能力があり、柱の折損等による急激な抵抗力の低下が生じない場合には、伝統的木造建築物の非倒壊限界変形角を $1/15$ 程度まで大きく設定することもある。

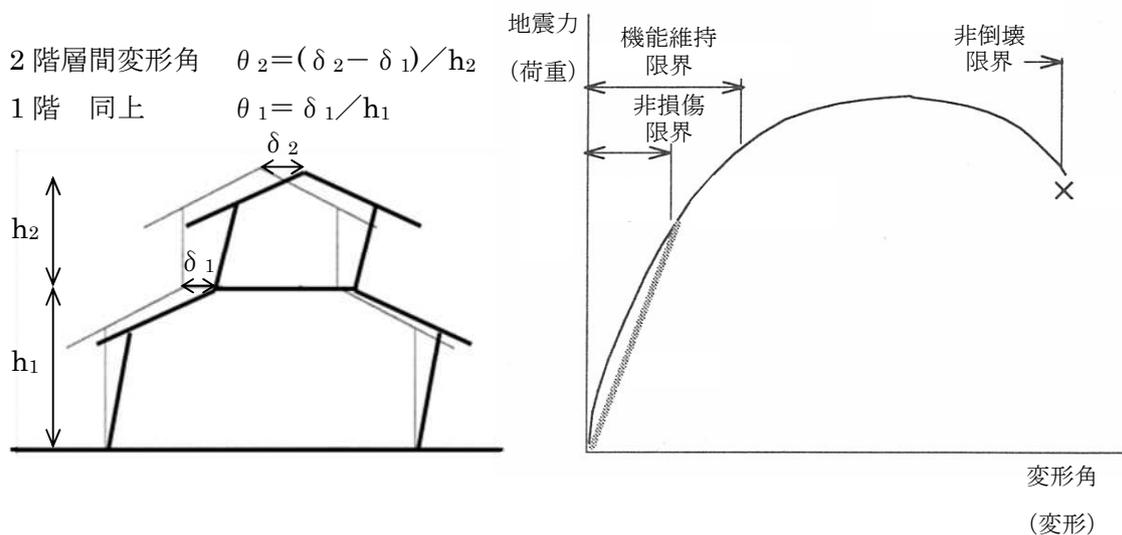
また、伝統的木造建築物の機能維持限界変形角の目安は通常 $1/60$ とされている。これは、全面土壁が変形角 $1/60$ 程度で最大の抵抗力を示し、これより変形が大きくなると土壁の剥離が顕著となることや、変形角 $1/60$ 以上となると建具の開閉に支障が出始めること等が根拠となっている。ただし、建造物の用途や仕上げ材の種類、設備機器などから、機能維持限界変形角が決まることもあるので、このような場合には実状に応じて設定する必要がある。

非損傷限界変形角は、換言すれば建造物の剛性が低下せずにいられる限界の変形角（荷重変形関係の図において直線域と見なせる限界の変形角）であり、全面土壁の場合、通常 $1/120$ 程度である。

筋違などを用いるような洋風木造建築物の場合、現代の木造建築物の設計における限界変形角の目安を用いて大過ないと考えられるので、非倒壊限界変形角の目安は1/30程度、非損傷限界変形角の目安は1/150~1/120程度である。

鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建造物の場合、現代の鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建築物の設計において、非倒壊限界変形角の目安は1/75で、それよりも大きい変形角を採用する場合には特別な調査又は研究が必要とされており、文化財建造物においても同様の考え方で非倒壊限界変形角を設定するものとする。

その他、組積造の建造物の場合、限界変形角の目安はまだ提案されていないが、構造特性に即して設定することとする。ただし、壁体の応力によって検証するなど、構造特性に応じて、変形角以外による耐震性能の検証を行うこともある。



限界変形角の概念図

(7) 建造物の地震時の挙動の推定

地震力を解析モデルに加えた場合の建造物の変形等を構造解析によって求め、地震時の変形と限界変形を比較するなどして、建造物の地震時の挙動を推定する。例えば、地震時の変形が非倒壊限界以上であれば地震によって倒壊する危険性がある。一方、非倒壊限界以下であっても機能維持限界以上であれば、地震時における建造物の継続的使用が困難となる危険性がある。一方で、非損傷限界以下であれば地震時に損傷する危険性は低い。

これに加え、質点系モデルを用いて構造解析を行った場合、代表点における地震時の変形が得られるので、偏心が大きくなじれて変形が大きくなるような建造物や、水平構面の剛性が低く局部的に大きく揺れる部分のある建造物の場合には、代表点よりも変形が大きくなる箇所についても検討する必要がある。

また、立体解析モデルを用いて構造解析を行った場合、各部の変形を確認するとともに、各部材の応力も確認し局所的に破壊するような部材がないか、ある場合にはその破壊が建造物全体に影響を与えないかなどを検証する必要がある。

例えば、向拝や車寄などの平面における突出部や、煙突や塔屋など立面における突出部は、局所的に変形が大きくなりやすいので確認を行う必要がある。また、垂壁付独立柱の内法高さでの折損や通し柱の二階床高さでの折損も、局所的な破壊が起こりやすい箇所なので確認を行う必要がある。

さらに、土葺の瓦屋根や漆喰塗りの天井、そのほか大型の天蓋や照明器具などの非構造部材について、落下して人命に危害を与える危険性がないかなどもについても確認する必要がある。

耐震的に問題となりそうな箇所について、選択した解析方法・解析モデルで検証できない場合には、別途追加で検証を行うなどの配慮が必要である。

(8) 地盤の地震時の挙動の推定

建造物を支える地盤は地震時に液状化現象や斜面崩壊などを生じることがあり、これらは上に建つ建造物の不同沈下や傾斜、倒壊などを引き起こす。このため、地盤の地震時の挙動についても推定し、建造物の挙動に与える影響を検証する必要がある。

地盤の地震時の挙動の推定に当たっては、現地調査、資料調査、地盤調査などを行い、液状化現象や斜面崩壊などが生じる危険性について検証する。現地調査等の結果、下記に示すような地域であることが確認された場合には、特に液状化現象や斜面崩壊が生じやすいことに留意する¹⁾。

- ・付近は液状化の可能性があるとされている地域である。
- ・ハザードマップ（危険性の高い地域を示した地図）などで、液状化の可能性があるとされている地域である。

- ・河川、湖沼、池などの埋立地である。
- ・スウェーデン式サウンディング試験等で、地耐力 30kN/m² 以下の層が 3 m 以上ある。
- ・敷地が傾斜地盤で、敷地内に盛土、切土部分がある
- ・建造物の周囲に 1.5m 以上の擁壁がある。

液状化現象については、地下水位や N 値及び土質の柱状図、土粒子の粒度分布など地盤調査から得られる情報を基に、液状化の危険性について工学的に検討する液状化判定を行う。また、地盤の堆積年代や過去に液状化現象が発生しているかなどの情報も有効な判断材料となる。なお、当該地周辺の地盤がおおむね成層とみなすことができる場合には、周辺における地盤調査の結果を検証に用いることもできる。

斜面や擁壁の地震時の安全性については、土質力学の考え方に基づいて、円弧形などのすべり面を仮定して安全性を評価することが行われる。地盤調査で地盤の強度定数を求めておく必要があり、地下水位も安定性に関わることや、擁壁では水抜きや裏込め土についても留意する。また、一般に二次元すべり面より三次元すべり面での検討の方がより精度の高い判断ができるようになることが知られている。

斜面や擁壁に関連するものとして、石垣が挙げられる。城郭建築の石垣の地震時安全性の評価は研究レベルであり、過去の地震における被害の有無などを調べるとともに、専門家による調査が望まれる。

1) 『木造住宅の耐震診断と補強方法』「精密診断法 1」

4 耐震性の判定方法

耐震性の判定については、構造解析によって推定された建造物や地盤の地震時の挙動が、設定した必要耐震性能の許容する被災程度に収まるかによって、判定する。判定は、地震によって起こりうる危険性を余すことなく検証した上で、多角的な観点から総合的に行われることが求められる。

例えば、安全確保水準が求められる建造物が、構造解析によって大地震動時に倒壊する危険性があることが分かれば、耐震性を満足していないという判定となるし、倒壊しなくとも、局所的な破壊や非構造部材の落下等が発生する危険性があり、これらの被害が人命に危害を与えるものであれば、これもまた耐震性を満足していないという判定となる。

一方で、復旧可能水準の建造物が、構造解析によって大地震動時に倒壊する危険性があることが分かったとしても、推定される被害内容と文化財的価値及び活用方法を照らし合わせた結果、修理によって文化財的価値が復旧可能であり、かつ、人命に危害を与える危険性はないと判断できれば、耐震性を満たしているという判定になる。

5 煉瓦造建造物の耐震診断の手順

この手順は、煉瓦壁によって構成される壁式構造の建造物を対象とする（以下、煉瓦造建造物）。ただし、煉瓦壁以外の石積壁等からなる組積造建造物に対しても、部分的に適用可能である。

（１）煉瓦造建造物の構造的特徴

煉瓦造建造物には特有の構造的弱点がある。まず、煉瓦壁はせん断・引張りに弱く、亀裂等が生じやすい。また、木造等の小屋組を煉瓦壁の上に載せているだけで壁頂部がしっかりと固まっておらず、壁が面外に振られやすかったり、揺れが増幅されやすい妻面や煙突といった突出部を持つものが多い。

過去の地震では、（イ）開口廻りや直交する壁の取り合い部等の亀裂や破壊、（ロ）壁頂部の面外方向への崩壊、（ハ）妻面や煙突等の突出部の崩落がしばしば発生している。こうした被害は死傷者を出したり、建物の倒壊に結び付く危険性が極めて高い。

明治 24 年に発生した濃尾地震では、数多くの煉瓦造建造物に上述のような地震被害が生じている。このため、その後建てられた煉瓦造建造物には、目地にセメントモルタルを用いたり、壁を厚くするなど、耐震性に配慮したものもみられるようになり、大正 8 年の市街地建築物法には、壁厚等に関する構造規定が盛り込まれ、関東大震災後にはこの規定が強化されている。一方で、現在残る煉瓦造の文化財建造物には、濃尾地震後のものも含め、目地に強度の乏しい石灰モルタルを用いていたり、壁厚の薄いものもみられる。

（２）煉瓦造建造物の耐震診断の概説

煉瓦造建造物の耐震診断では、上述の被害傾向を踏まえ地震時の安全性を確認する。しかし煉瓦造建造物の耐震診断には、一般的な診断方法が確立されていないため、過去の地震被害の傾向や既往の構造実験の結果など、様々な情報に基づいて、設計者の工学的判断で行わなければならない。ここでは、これまでに実施されてきた診断事例を基に、煉瓦造建造物の耐震診断における留意点をまとめる。

（３）構造調査

煉瓦造建造物の構造調査においては、煉瓦壁の物性調査における 1) 煉瓦・目地の強度試験が、破損調査における 2) 壁の亀裂調査等が特に重要となる。

1) 煉瓦・目地の強度試験

煉瓦・目地の強度は、耐震診断で重要となる煉瓦壁の物性値であり、既往の実験結果等を参照することもあるが、煉瓦強度は焼成温度等による差が大きく、目地強度は目地材料による差が大きいなど、ばらつきが著しい。鉄筋コンクリート造建造物の耐震診断においてもコンクリート躯体から採取した試験体で強度実験を行うことが原則となっており、それ以上に強度にばらつきがある煉瓦造建造物においては、強度実験を行うことがより一層重要となる。強度実験は煉瓦単体及び煉瓦・目地からなる組積体等について行う。同じ建物でも場所によって強度が異なるため、試験体の採取位置に注意するとともに、鉛直荷重による拘束圧によって剪断強度が異なるので、強度実験の方法も慎重に計画する。

2) 壁の亀裂調査

破損調査では、壁に生じた亀裂等の調査を実施する。亀裂パターン等からその発生原因を分析することは、構造的弱点を把握するために有用である。特に過去の地震で生じた亀裂がある場合、地震被害の傾向を把握する上で特に重要である。そのほか、破損状況に経時的な変化がある場合は長期的な観測が必要になることもある。

(4) 構造解析

構造解析では、1) 建物全体の破壊と2) 局所的な破壊のそれぞれについて検討する。

1) 建物全体の破壊についての検討

この検討では、建物全体の保有水平耐力や変形を確認し判断する。解析は、煉瓦壁のせん断変形能力が極めて小さいため、弾性応力解析で行われることが多い。耐力評価は保有水平耐力計算で行うが、鉄筋コンクリート造の耐震診断方法を準用し I_s 値の確認を行うこともある。煉瓦造建造物の構造特性に配慮し、必要保有水平耐力や I_{s0} 値は慎重に設定することが求められる。

保有水平耐力計算等を行う際の解析モデルは、剛床、平面・立面が整形、開口も少ない建物の場合、各層を1質点に集中した集中質点系モデルとする。建物全体を一体とみなすことが困難である場合には、一体とみなせる部分毎に分けて検討する。また、非剛床の場合、各構面毎に質点を集中した多質点系モデルとすることもある。保有水平耐力は各壁の面内方向の耐力の総和から求めるが、壁の耐力は、数パターンの破壊モード（滑り破壊、目地に沿う斜め破壊、煉瓦・目地を貫通する斜め破壊等）が想定される場合、各破壊モードの耐力を比較し算出することが望ましい。

複雑な形状であったり、開口の多い建物の場合には、立体モデルを用いて保有水平耐力計算等を行う。立体モデルには有限要素法やブレース置換法、壁エレメント法等がある。有限要素法を用いると、メッシュを細かく切ることで各部位の応力を詳細に確認することができるが、計算量が多くなる。ブレース置換法や壁エレメント法は、計算量を抑えることができるが、モデル化によっては開口廻りや直交する壁の取り合い部等の局所的な応力集中が確認できないこともあるので注意を要する。立体モデルを用いた検討の場合、各部の応力等を確認した上で、建物全体の崩壊が生じないと判断できる限界の層せん断力を、保有水平耐力としている。

免震装置の設置を検討する際などには時刻歴応答解析が用いられる。この場合、立体モデルによる検討と集中質点系モデルによる検討を組み合わせ、立体モデルで建物全体の荷重変位関係や保有水平耐力を決定した後、集中質点系モデルで時刻歴応答解析を行い、地震時の最大応答せん断力が保有水平耐力以下となっていることを確認するような方法も採られている。

また、壁の浮上り等によって生じる剛体回転を考慮した解析を行う場合には、耐力評価をエネルギー一定則に基づく解析等で行い、壁の浮上りを要素間の境界条件で反映した立体モデルを用いたりしている。この場合、各部の応力等の確認に加え、各構面の変形が限

界変形以下となっているかについても確認する。

2) 局所的な破壊についての検討

この検討では、スパンの長い壁の面外方向への崩壊や煙突のような突出部の折損などが生じる危険性を、各部の応力度を確認し判断する。

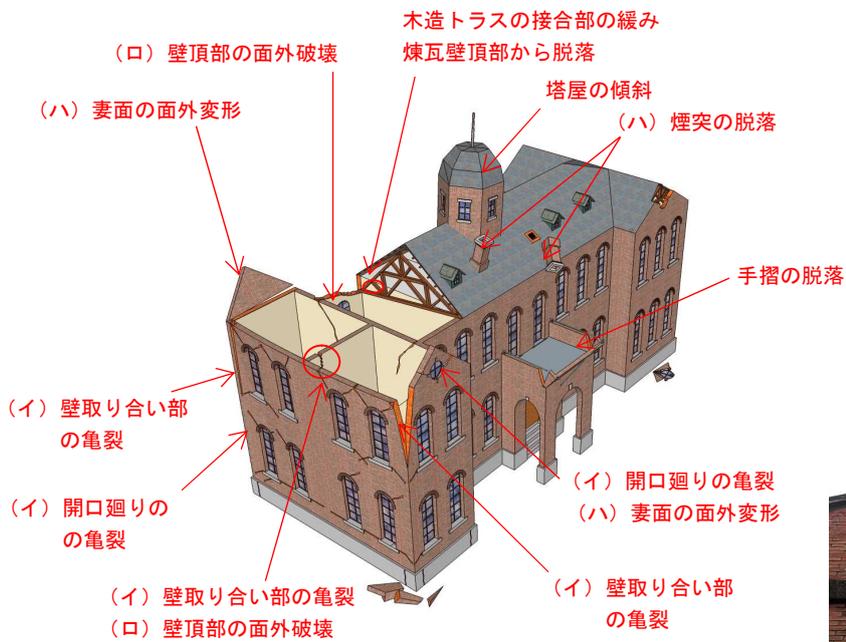
検討用地震力には、1) の検討における必要保有水平耐力や保有水平耐力に相当する層せん断力が採用され、突出部については局部震度 ($k=1.0$ 以上) が用いられている。

解析は、破壊の生じやすい箇所のみを部分的にモデル化する部分モデルで検討する場合と、建物全体をモデル化する全体モデルで検討する場合がある。

部分モデルで検討する場合、破壊の危険性の高い箇所を漏れなく対象とし、適切な範囲でモデル化することが必要である。面外方向への崩壊が生じやすいスパン中央部分の壁を部分的に取り出し、線材に置換したモデルで検討するなど、単純なモデルによる検討も可能となるが、連続する壁や周辺の直交壁による立体的な補剛効果を考慮することができない等の欠点もある。

全体モデルの検討には、面外方向の変形を再現できるよう適切に要素分割や境界条件の設定をした有限要素法に基づく立体モデルを用いることが多い。立体的な補剛効果を考慮した上で、網羅的に破壊の危険性のある箇所がないか確認することができる。特にスパンの長い壁の中央部分や煙突の屋根との取り合い部分、妻面の立ち上がり部分などには大きな応力が加わりやすいので、注意が必要である。

手摺り壁やパラペットも局所的な破壊が生じやすい箇所なので、崩落した場合に人命に危害を与える箇所については、検討対象とすることが必要である。

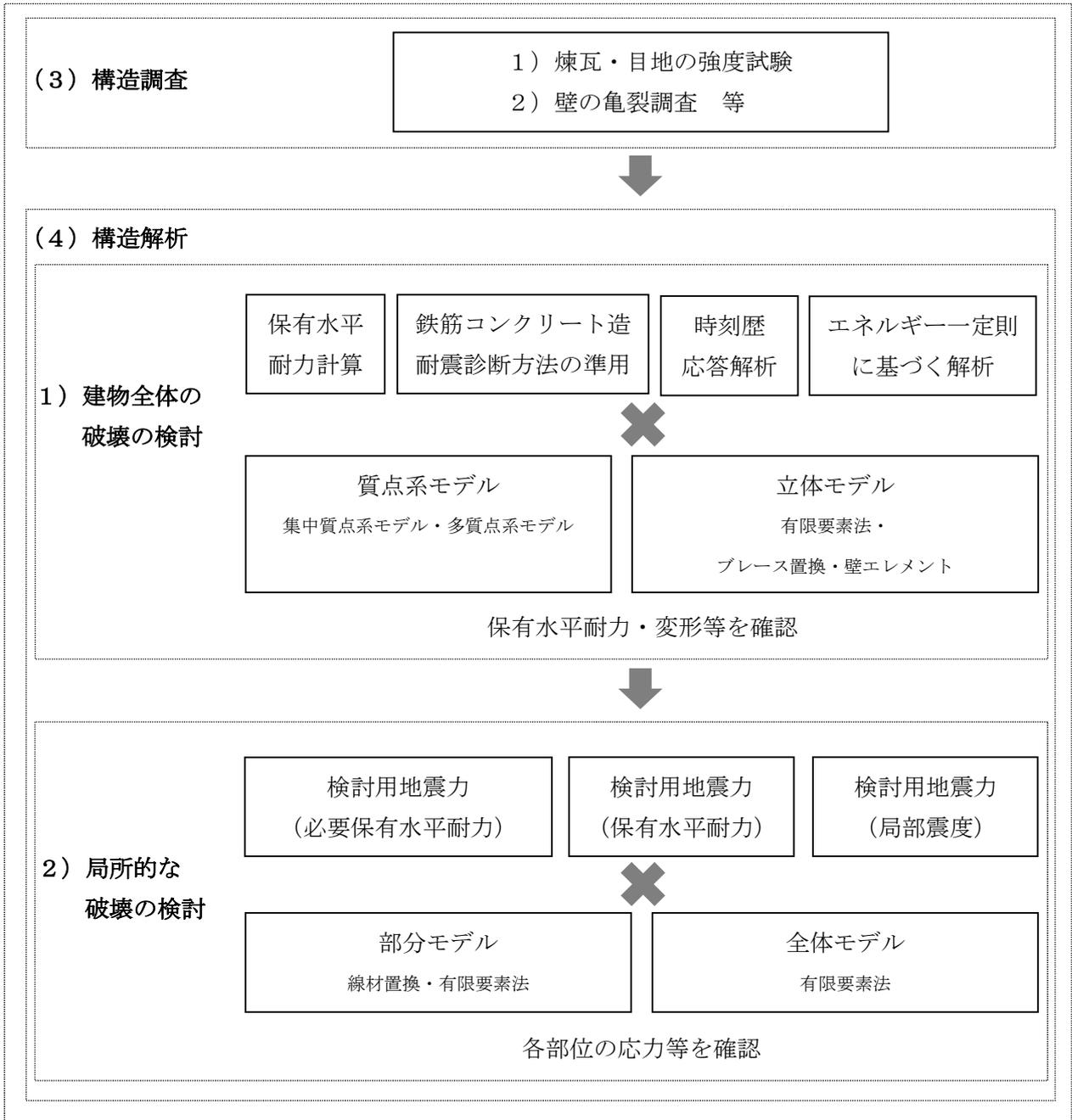


(イ) 妻壁の面外変形
(ハ) 開口廻りの亀裂



(イ) 開口廻りの亀裂 (イ) 壁取り合いの亀裂 (ハ) 煙突の脱落

煉瓦造建造物の地震被害事例



煉瓦造建造物の耐震診断の手順

第Ⅲ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に基づく方法以外に、制震・免震の考え方にに基づくものがあり（第2節2で説明）、耐震補強は、狭義の意味では耐震の考えに基づく方法を示すが、本手引では制震、免震の考えに基づく方法も含むものとする。

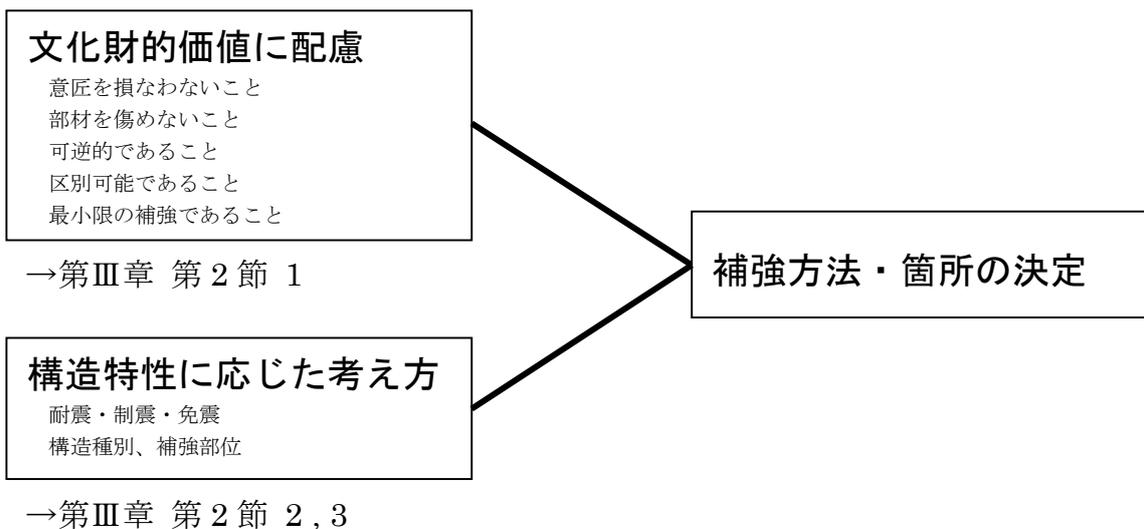
耐震補強は地震時の人命の安全確保にとって必要な措置であるばかりでなく、地震被害の軽減、地震後の復旧工事の規模縮小にもつながるため、文化財建造物の保存に対しても適切な措置といえる。

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と把握し、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があり、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る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Ⅳ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。



耐震補強の検討のながれ

第2節 耐震補強の解説

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、意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のが求められる。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に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

- 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

以下にそれぞれの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必要がある。

- ・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、壁の内部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少ない部分に設け、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の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構造性能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、コンピューターグラフィック（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方法もある。また、施工の都合で、鉄骨の補強部材の継手などに接合のためのボルトやプレートが露出し、意匠に影響するような場合もあるので、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、それ自体が文化財的価値を有する物的証拠品であり、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ものの、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、飼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のが望ましい。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。

本来は元の仕様の変更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。構造種別に応じて、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う観点から、補強部材等の付加物は元からある部材と誤解されることがないように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になってしまう可能性もあるので、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、材料は違うが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ならないようにし、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ったり、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ない。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、制震装置や免震装置は継続的なモニタリング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、制震の考えに基づく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選択することは、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一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、屋根が重いものが多く、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架構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う可能性があり、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、壁が少ない上に、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壊する危険性もある。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ものもある。

(3) 洋風木造建築物

洋風木造建築物は、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壊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と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があるが、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がある。

明治後期以降に建てられた洋風木造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っている場合や、K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は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・石造建築物

煉瓦造・石造建築物は、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、壁中腹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ある。

(6) 鉄筋コンクリート造建築物

文化財建造物となっている鉄筋コンクリート造建築物には、我が国に鉄筋コンクリートの技術が導入され始めた黎明期のものも多く含まれ、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準用することが適切かどうかを検討する必要がある。

鉄筋コンクリート造建造物では、鉄筋の腐食やコンクリートの亀裂・爆裂等による構造体の劣化が、耐震性能を含む構造性能に大きく影響する。劣化要因は、コンクリートの中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害、化学的侵食、長期荷重、地震、火災など、様々である。特にコンクリートの中性化は、経年によって生じるため、建設後長い年月を経ている文化財建造物で生じやすい。ここではコンクリートの中性化に対する対策の留意点を示す。

コンクリートの中性化は空気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し炭酸化反応を起こすことで進行する。コンクリートの中性化の進行によって、鉄筋の周囲のコンクリートが中性化すると鉄筋の不動態皮膜が失われ、そこに水・酸素が供給されると鉄筋の腐食が始まる。鉄筋が腐食により膨張するとかぶり部分のコンクリートに亀裂が生じる。さらに亀裂から水・酸素の供給が増大することで劣化の進行が加速し、かぶり部分のコンクリー

トが爆裂する。

このため、中性化は躯体が二酸化炭素にさらされやすいほど進行が早い。打ち放しコンクリートは中性化の進行が早く、タイルや塗厚の厚いモルタル等の仕上げがある場合は中性化が生じにくい。また、屋外よりも屋内の方が、人の呼吸等によって二酸化炭素の供給が多かったり、乾燥しやすい環境となるため、進行が早い。鉄筋の腐食はコンクリートの中性化深さがかぶり厚以上に進行し、かつ水が供給されると生じるため、雨掛りとなる外部や地盤から水が供給される基礎廻り等で、コンクリートのかぶり厚が不十分であると、生じやすくなる。

対策は、劣化状況や周辺環境などを十分把握した上で、劣化が将来どのように進行するか予測し、今後の維持管理・修理の計画や活用上求められる安全性等を視野に入れ、検討することが望ましい。

留意すべき点は、コンクリートの中性化が即構造体の劣化となるのではなく、そこに水・酸素の供給が加わることで、初めて鉄筋の腐食やコンクリートの爆裂が生じ構造体が劣化するという点である。

このため、対策方法としては、鉄筋の腐食を誘発する水の浸入を防ぐことが重要である。コンクリートが中性化していても水の供給がなければ劣化の進行を防ぐことができる。屋根や樋周り、窓周りなどからの水の浸入を防ぐことが基本的な対策となるが、コンクリート躯体に表面塗布や含浸処理を行うことも有効である。

コンクリートの中性化の抑制には表面塗布が有効である。定期的な塗布等の維持管理を行った場合も中性化の進行が遅くなることが確認されている。また、中性化したコンクリートを含浸処理や電気化学的な方法で再アルカリ化する方法もある。そのほか、電気防食工法で鉄筋表面の電位差を解消し鉄筋腐食を抑制する方法等もある。

対策方法の検討においては、耐震補強の検討と同様、建造物の文化財的価値に配慮しなければならない。

表面塗布や含浸処理は、特に打放しコンクリートの場合、表面の色合いや光沢など、意匠への影響が問題となる。この場合、表面の意匠を大きく変える表面塗布は行えないため、表面の意匠に変化を生じさせない含浸剤等を選定した上で、含浸処理を行う必要がある。一方で、塗布剤は除去することが比較的容易であるが、含浸剤は将来除去することが難しくなるため、含浸剤が残ってしまうことが今後の維持管理・修理にとって問題とならないか等、検討が必要である。

電気化学的な方法は、表面の仕上材がある場合は一旦除去する必要があったり、工事規模も大きくなること等に留意し、検討が必要である。

また、建設当初の設計不良や施工不良により、コンクリートのかぶり厚がほとんどないものなど、今後の保存に著しく不利な場合には、仕様の改良等を検討することが必要となる。ただし、当初の仕様を変更する場合には、文化財的価値に与える影響に十分配慮し、部分的に保存箇所等を設けることも検討する。

(7) その他

・門、塀

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、二重門や塀は、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、建造物全体の転倒が問題となったりする。

・木造層塔

門、塀と同様、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造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造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く、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

斜面に建つ建造物において、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タ基礎の設置

液状化現象が生じた際に上部の建造物に強制的な変位が加わらないよう、盤の上に載

せるための鉄筋コンクリート造ベ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に、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、基礎の周囲に変形の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¹⁾、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、鋼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いが、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に、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ブ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置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
- ・鉄骨ブレースによる補強

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

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
- ・鉄骨ブレースによる補強
- ・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
- ・鉄骨ブレースによる補強

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) 天井材

文化財建造物には様々な天井が用いられているが、天井の高さ・面積・重量、部屋の用途・使用状況、文化財的な価値等を総合的に鑑み、天井材の落下によって、人命に危害を与えたり、文化財的価値を著しく損なう場合には、その対策を検討する必要がある¹⁾。

過去の地震では、特に漆喰塗やモルタル塗といった湿式工法の吊り天井に被害が確認されている。特に中心飾や線形等は仕様によっては相当な重量となるものもあり、落下した場合の危険性が高い。

雨漏り等で天井に傷みが生じている場合、地震時の落下の危険性が著しく高まるのみでなく、自然落下することもある。また亀裂が生じている場合にはその箇所が地震被害の発生起点となる危険性もある。

湿式工法の吊り天井では、以下のような地震被害を生じやすい。

- ①天井材・吊り材の接合部の破損
- ②周囲の壁との衝突による天井材外周部の破損
- ③天井面内のせん断変形による仕上材等の剥離
- ④天井全体の大規模な落下

対策は、上記のような地震被害の傾向を踏まえ、各天井の重量や構造といった仕様を十分調査し、構造計算等で安全性を確認し²⁾、文化財的価値に配慮した上で、各天井の仕様に

適した方法を検討する。①～④の被害に対しては下記のような対策を検討する。

①天井材・吊り材の接合部の破損

天井の仕上から吊元となる梁までの間の天井材・吊り材の安全性を確認し、強度等が不足するようであれば修理・補強を検討する。特に仕上一下地、下地—野縁、野縁—吊木、吊木—梁といった接合部は破損が生じる危険性が高く、これらは直列でつながるため一カ所でも弱点があると被害につながるため、注意が必要である。

②周囲の壁との衝突による天井材外周部の破損

周囲の壁との衝突に対しては、吊り材部分の層間変形を抑え、天井周囲にクリアランスを設けることが一般的である。吊り材部分の層間変形を抑えるために、吊り材に筋違等を追加したり、直接天井材を支える梁等を設置する方法がある。この場合、筋違等の追加により力が加わるようになる接合部や吊元で破損が生じないように注意する。また、天井周囲のクリアランスは、文化財建造物の場合、特に天井周囲に線形がある場合など、意匠的観点から設置することが難しい。このため、天井材外周部分が破損しないように補強したり、破損しても落下して人命に危害を与えることがないように後述のフェイルセーフを施すこと等を検討する。

③天井面内のせん断変形による仕上材等の剥離

天井の面内せん断剛性を高めるために、天井裏で水平構面を補強する。これは建物全体の耐震性能を高めることにもなるので、建物全体の耐震補強と併せて検討することが望ましい。天井とは別にブレース等の補強部材を設置する方法と、天井自体を補強する方法がある。後者の場合、天井の力が加わる部分が破損しないよう配慮する必要がある。

④天井全体の大規模な落下

天井材が破損しても破損材が落下して人命に危害を与えることがないように行う対策をフェイルセーフと呼ぶ。フェイルセーフは将来行う本格的な対策までの経過的措置として用いられることもある。フェイルセーフには、天井下に落下防止ネット等を設置し仕上材等が脱落してもこのネット等で受け止めるようにする方法と、天井裏で下地等を構造材である梁等と繋ぐ落下防止ワイヤー等を設置し、吊り材が破損してもこのワイヤー等で保持する方法がある。天井下に落下防止ネット等を設置する場合には、意匠性の高い室内では目立たないネットを用いる等の意匠上の配慮が必要である。また、天井裏に落下防止ワイヤー等を設置する場合は、フェイルセーフより下の仕上げ・下地・野縁が一体となっている必要がある。一方で、フェイルセーフで対策した場合、天井は地震時に落下しなくとも大きく破損する可能性はあるため、破損した場合にも復旧可能であることも確認しておく必要がある。

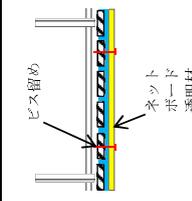
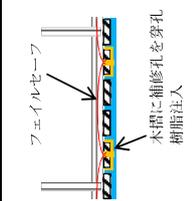
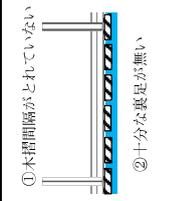
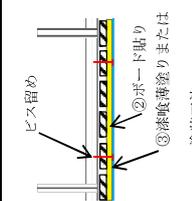
上記の対策のうち、文化財建造物に多くみられる木摺漆喰天井について、漆喰脱落防止の対策方法を次々頁の表に示す。漆喰の下塗からの塗替えを伴わない工事の場合、選択できる対策方法が限られる。また、当初の天井材がよく残っていて材料の保存に重点を置くべき場合や、内部空間の意匠性が高く意匠上配慮すべき場合など、文化財的価値の所在

によっても適切な対策方法が変わってくる。木摺漆喰天井は木摺の間隔や漆喰の塗り方などの仕様によって強度や破壊形式が変わるので、適切な仕様となっているか確認し、修理時には仕様の改良を検討することもある。また、同じ建物や同じ部屋の天井においても、対策方法を組合せたり、部分によって変えることで、文化財的価値に与える影響を最小限に配慮する。

天井対策を行う場合には、補強部材等による重量増で落下の危険性を拡大したり、天井材の一体化により落下した場合の落下物を大規模化する可能性もあるので、安全性を十分確保するように注意する。また、補強等のハード面の対策だけでは十分な安全性を確保することが難しい場合には、避難誘導の体制整備やヘルメット着用等のソフト面の対策も併せて検討する。

- 1) 建築基準法施行令では脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井として、天井高さ 6m 超、天井面積 200m² 超、重量 2kg/m² 超の吊り天井で、人が日常利用する場所に設置されているものを特定天井と規定している。また文部科学省通知「学校施設における天井等落下防止対策の一層の推進について」では総点検の対象を天井高さ 6m 超もしくは天井面積 200m² 超の天井としている。重要文化財建造物の対策においても、これらに準じるものは人命に危害を生じる危険性のある天井として検討する。
- 2) 一般建築物の吊り天井においては、常時荷重に対し天井材・吊り材が十分な性能を保持していること、地震動の水平動に対し吊り材が破損しないことを確認する。またスパンが大きい場合は地震動の上下動が励起されやすいことから、地震動の水平動・上下動に対し天井材・吊り材が破損しないことを確認する。また仮に天井材・吊り材に破損が生じたとしても下に落下しないようフェイルセーフを設ける方法もある。重要文化財建造物の天井においても、上記の内容に準じて対策を検討する。

木摺漆喰天井の漆喰脱落防止対策の比較表

| 対応策 | 天井修理 | | | | (E) 現代工法 |
|--|--|---|---|--|---|
| | (A) 現状のまま存置 | (B) 天井下対策 | (C) 天井裏対策 | (D) 漆喰で塗り直し | |
| 現状のまま存置する (漆喰が落下した場合、そのまま) | 現状のまま存置する (漆喰が落下した場合、そのまま) | 天井は現状のまま存置し、その下にフェイリスープを設置 | 天井を一体化し、天井裏にフェイリスープを設置 | D-1 現状の仕様で漆喰塗を施工する | 仕上・下地を現代工法に変更した天井修理 |
| 詳細な仕様 | 当初仕様通り 以下の場合、危険 ①木摺間隔が不十分 ②漆喰の裏足が無い | 漆喰下にネット張り、またはボード・透明材をビス留め | 木摺削りよりアクリル樹脂注入等を行い、天井裏にファイバー等を設置 | 当初仕様通り 以下の場合、危険 ①木摺間隔が不十分 ②漆喰の裏足が無い | ①天井下地を耐震化 ②ボード貼りに置換 ③漆喰薄塗り工法 または塗装工法 |
| 天井補強の概略図 | 補強は行わない |  |  |  |  |
| 仕様・材料 可逆性 工事の 難易度・ 注意点 評価 | 当初仕様・材料が残る | 当初仕様は残る | 当初仕様・材料が残る | 当初仕様が残る | 当初仕様ではなくなる |
| | — | ネット、ボード等の取り外しは可能 容易 | 樹脂等の撤去には木摺のやりかえが必要 天井裏が狭い場合、施工が困難 慎重な施工が必要 | — 容易 | 木摺の形状を戻す場合はやりかえが必要 木摺の切削もしくは交換が必要 |
| 意匠性 | — | 漆喰が見えにくくなる、もしくは見えなくなる 安全を確保 | 当初通り | 当初通り | 当初とは異なる |
| 安全性 | 仕様や劣化によっては危険 | 安全を確保 | 安全を確保 | 仕様によってはほぼ安全を確保 | 安全を確保 |

※新しい補強方法や材料を利用する場合には、実験的に検証するか、既往の実験データを参照する。

(6) その他の非構造部材

天井材以外の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に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、一様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、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、屋根葺替の際に空葺に変更したり、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

天井に限らず上塗の付着が弱い木摺下地の塗壁において、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際に実施しようとする場合、部材を傷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がってしまったりして、文化財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際に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、文化財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を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よう、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、解体を行わなくとも補強を行える箇所のみ足固めなどの付加的な補強を施す。

第IV章 耐震補強以外の対策

第1節 耐震補強以外の対策の概説

耐震補強以外の対策とは、耐震補強以外の地震被害の軽減につながる対策のことをいう。主にソフト面での対策のことであるが、ここでは各種の設備・装備や日常の維持管理も含めて説明する。

地震時の安全性を確保し、文化財の被害や人的被害を軽減するためには、耐震補強によるハード面での対策と合わせて、耐震補強以外の対策も行う必要がある。文化財としての価値を損なわないように耐震補強を行うことが困難な文化財建造物や、耐震性能が不足しているが耐震補強が実施されていない文化財建造物については、なおさら耐震補強以外の対策の必要性が高い。

耐震補強以外の対策としては、以下のような内容が考えられる。

1) 使用方法の工夫

地震時の安全性が懸念される場合には、常時の不特定多数の利用や公開を避け、立ち入りや使用の制限などを検討すべきである。立ち入りや使用の制限に当たっては、危険と判断される箇所の付近に、柵、生垣等で立ち入りを制限したり、看板等で危険性を明示したりすることが有効である。

また、利用や公開に当たって、日時を限定したり、人数を制限することによって、相当程度にリスクの軽減が可能になる。とはいえ、危険性が回避できるわけではないので、管理責任を有する所有者等はその危険性を十分認識した上で避難の誘導や人員配置など、取り得る対策を実施すべきである。

2) 地震時の揺れや被害の想定

管理責任を有する所有者等はもちろん、避難の誘導や管理にあたる人員を含め、文化財建造物の管理を行う各者が、地震時に文化財建造物がどのように揺れ、どの部分が破損する恐れが大きいのかを事前に把握しておくこと、地震時に落ち着いた行動をとることができ、利用者等の安全をより確保しやすくなる。このことは耐震性能を備えた文化財建造物や耐震補強を行った文化財建造物でも有効である。そのほかに、揺れや被害の想定に当たって、建造物の主構造部分に限らず、屋根材や天井材といった非構造部材の落下、家具の転倒、照明器具や建具の落下等についても予め想定し、可能であれば家具の転倒防止やガラス窓への飛散防止フィルムの張り付けなどの対処も行っておくことが望ましい。

地震による揺れや被害を想定するためには、耐震診断を行って構造的弱点となり得る場所を工学的に把握しておくことが理想である。それ以外にも、過去の地震における被害や類似の建造物の被害事例などから被害の想定をしておくことよい。

3) 設備・装備の工夫

地震時の避難誘導に有効と考えられる設備として、緊急地震速報が挙げられる。緊急地震速報は気象庁が中心となって提供している警報で、地震の発生直後に震源に近い地震計でとらえた観測データを解析して震源や地震の規模（マグニチュード）を直ちに推定し、これに基づいて各地での主要動の到達時刻や震度を予測し、可能な限り素早く知らせる地震動の予報・警報である。わずかな時間ではあるが事前に地震の発生を知ることができ（震源地の遠い長周期の地震の場合にはとくに有効）、危険を回避できる可能性が高まる。

また、立ち入る場所や使用する場所に、落下する危険物などを避けることができる装備があれば、危険を回避できる可能性が高まる。例えば、下に逃げ込むことができる机などシェルターとなる装備があれば、そこに避難することで、天井や壁などが落下しても危険を避けることができる。

4) 防災設備・体制の充実

文化財建造物は、日常の火災予防、防火・消火対策のために防災設備を備え、防災訓練が行われている場合も多い。そうした設備や訓練に工夫を加えることで、地震時の安全性を高めることが可能である。

例えば、地震時の使用者や見学者等の安全確保を確実にするためには、管理者は、火災時の場合と同様に、避難の方法や経路について事前に想定し、避難訓練や誘導訓練を日頃から行うよう努めることが有効である。また、緊急地震速報を有効に働かせるためには、防災無線をはじめとした放送設備等の充実が効果的である。さらに、地震時には火災が起こることも想定されるため、地震時でも防災設備が十分機能するように充実させることや、周辺への類焼や周辺からの延焼を防ぐための設備を充実させることも有効である。

5) 維持管理の改善

日常的な維持管理は文化財建造物の健全性を維持するために必要な行為であるが、耐震対策として有効に働くものも多い。

過去の地震においても、維持修理をしっかりと行い構造の健全性を保っていた建造物はそうでないものに比べ被害が小さい。貫の楔のゆるみや土壁の破損などを普段からしっかりと修繕することや、湿気や虫害等による劣化を抑制するために、環境の整備に努めることは有効である。

また、雪国における雪下ろしは、建造物にかかる積雪荷重や積雪時の地震力を軽減する効果がある。

さらに、冬期の積雪によって地震力が増大したり、台風によって大きく風力が加わる危険性がある場合には、一定期間、筋違などの仮設補強を設置することが有効である。

第2節 耐震補強以外の対策の事例

1) 使用方法の工夫

- ・倉庫として使用する場合、収納物の重量を制限し、積載荷重を低減する。
- ・二階に上がる人数を、スリッパの数や整理券によって制限する。
- ・内部まで自由に見学させていたが、外部からの見学のみとする。
- ・関係者等のみの限定的な使用に限り、使用者に地震時の危険性と避難方法を周知する。
- ・地震時に倒壊する危険性がある建造物の周囲に柵を設け、危険性を明示する看板を立てる。
- ・冬期の積雪期間は使用を制限する。
- ・外周部の建具を開けておき、非常時に避難しやすくする。
- ・自由見学をやめてグループ見学とし、係員が誘導する。
- ・ボランティア等の人員を適宜配置し、非常時には避難誘導を行う。

2) 地震の揺れや破損の想定

- ・地震時の危険性が低い経路を想定し、避難経路とする。
- ・倒壊した場合の危険が及ぶ範囲を想定し、その範囲への立ち入りを禁止する。
- ・避難誘導や管理を行う人やボランティアに対する講習会を開催し、地震時の危険性について周知する。

3) 設備・装備の工夫

- ・緊急地震速報設備と放送設備を設置する。
- ・見学者にヘルメットを着用させる。
- ・要所に机等の一時的な避難に使える場所や装備を確保する。

4) 防災設備・体制の充実

- ・消防用の防災訓練に加え、地震時の防災訓練を定期的に行う。

5) 維持管理方法の改善

- ・冬期の積雪期間は雪下ろしを行う。
- ・冬期の積雪期間のみ補強部材を付加する。
- ・ゆるんだ楔を定期的に打ち直す。

第V章 耐震対策に関する補助事業

第1節 耐震対策に関する補助事業の概要

1 重要文化財（建造物）耐震診断事業

重要文化財（建造物）耐震診断事業（以下「耐震診断事業」）は、重要文化財（建造物）の耐震診断についての補助事業である。平成17年度より開始された。補助対象は耐震基礎診断書の作成及び耐震補強等の耐震性能の向上措置に係る提案書の作成費用とする。

本事業は、耐震基礎診断を実施して診断書を作成するとともに、その結果に基づき耐震補強等に係る提案書を作成するものである。

提案書の作成に当たっては、耐震補強が文化財的価値を損なわないものとなるよう、文化庁の承認を得た者の技術指導を受けることが望ましい。

2 重要文化財（建造物）緊急防災性能強化事業

重要文化財（建造物）緊急防災性能強化事業（以下「耐震対策工事事業」）は、重要文化財（建造物）の耐震対策に必要な工事についての補助事業である。平成21年度より開始された。これ以前は、修理を主な目的とし併せて耐震補強を実施する工事について、保存修理事業として補助を行っていたが、耐震補強のみを目的とした工事を補助事業にできなかった。

本事業は、当面根本修理を実施しないものについて、耐震性能の向上及び耐震性能を補完するための措置を講ずるもので、耐震性能強化に必要な工事及び耐震性能の向上措置の策定に必要な委託等を補助対象とすることができる。

本格的な耐震対策については、大規模な補強工事となる可能性があるため、根本修理に併せて行うことが、文化財的価値の保存の観点からすれば望ましい。しかし、早急に耐震対策を実施する必要がある場合には、本格的な耐震補強でなくとも経過的補強を行うことで、地震災害による被害の軽減を図ることが求められる。本事業は、こういった経過的補強も対象とすることができる。

事業の実施に当たっては、設計監理に文化庁の承認を得た者を使用しなければならない。ただし、事業の規模が小さく、内容が簡易で、特に文化庁が認めた事業については、文化庁の承認を得た者の技術指導を受けることでこれに代えることができる。

3 重要文化財（建造物）保存修理事業

重要文化財（建造物）保存修理事業（以下「保存修理事業」）は、重要文化財（建造物）の修理のうち、日常の維持管理を超える修理についての補助事業であり、修理と併せて実施する耐震対策についても補助対象としている。

本事業を利用して修理に併せた耐震対策を行う場合には耐震基礎診断を、もしくは根本修理であれば耐震専門診断を行い、この結果に基づき耐震性能の向上措置を策定し、

耐震補強等を講じる。

第2節 補助事業の概要と運用の流れ

1 運用の流れ

各種補助事業を用いて重要文化財（建造物）の耐震診断・耐震補強を実施する場合、次のような事業の組み合わせが考えられる。

1) 保存修理の機会に耐震診断・耐震補強を行う。

（「保存修理事業」）

近く解体修理、半解体修理などの根本修理が必要なものに適用される。あるいは近く屋根葺替や部分修理が必要で、耐震対策が必要なものにも適用可能である。

文化庁では従来より、根本修理を行う際には耐震診断を実施し、耐震性能が不足する場合には耐震補強等の対策を行うよう指導してきた。

保存修理の中で耐震診断・耐震補強を行う利点としては、特に根本修理の場合、解体調査によって得られる正確で詳細なデータに基づき実状に即した診断ができること、解体に伴って補強を取り付けることができるので、補強のためだけに必要な工事範囲を減らせること、目立たない位置で補強することが可能になることなどが挙げられる。

一方、根本修理ではない屋根葺替や部分修理においても、従来は耐震補強を行うことは少なかったが、修理を実施しない場合よりは文化的価値に及ぼす影響が少ない方法で補強を実施することができるので、耐震診断・耐震補強を実施することが望ましい。この際に、本格的な耐震補強が困難な場合も想定されるが、被害を少しでも軽減させるために、経過的補強として必要な補強のうちの一部を実施したり、本来採るべき方法とは異なる仮設的な方法で補強したりする。この場合、将来的には本格的な補強を実施することとすることが必要となる。

保存修理の中で耐震診断・耐震補強を行う不利な点として、診断結果によっては補強が追加で必要となるため事業費の増加や工期の延長といった事業計画の変更が生じる可能性が高くなることがあるので、こういった点を十分想定しておかなければならない。

2) 耐震診断をまず実施し、その結果を踏まえ保存修理の中で耐震補強を行う。

（「耐震診断事業」＋「保存修理事業」、「保存修理事業（調査工事）」＋「保存修理事業（本工事）」）

近く保存修理も耐震対策も必要で、耐震補強が事業計画に大きく影響する可能性があるものに適用される。

耐震診断事業でまず耐震基礎診断を実施し、耐震補強が必要と判断された場合は補強案策定を行う。補強案策定には、補強方法の提案、補強工事計画の策定、補強工事費の概算算出などが含まれる。続いてその補強案に基づく設計を含んだ保存修理事業

に着手し、保存修理と併せ耐震補強を実施する。ただし保存修理に伴う解体調査により不明であった構造が明らかとなったり、復原等の現状変更により構造が変更となった場合は耐震専門診断を実施し、補強方法の見直しが必要となる。

利点としては、特に大掛かりな補強が必要となりそうなものについては、保存修理に着手する前に耐震診断を実施し補強案を策定しておくことで、事前に補強に係る経費等が見込め、保存修理着手後の計画の変更幅を小さくすることができることである。

不利な点としては、耐震診断事業による耐震基礎診断と保存修理事業での耐震専門診断の2段階の診断が必要となる可能性があることや、2事業に分けることによる事務の煩雑化、工期の長期化が上げられる。

なお、大規模な建造物や特殊な構造の建造物においては、修理前に修理に必要な情報を得るために部分的な解体を伴うような調査を行うことがあり、これと併せて耐震診断を実施することもある。このような場合、耐震診断を含む調査工事を保存修理事業として実施することができる。調査工事が適用されるのは、必要な調査が耐震診断や補強案策定だけでなく、修理に係る様々な調査が必要な場合である。

3) 耐震診断を実施し、その結果を踏まえた耐震対策工事により耐震補強を行う。

(「耐震診断事業」＋「耐震対策工事業」)

当面保存修理の必要はないが、耐震対策の必要があるものに適用される。

耐震診断事業で耐震基礎診断を実施し、補強が必要と判断された場合は補強案を策定し、続いて耐震対策工事業を実施し、耐震補強を行う。

耐震補強については、診断結果に基づき、最良と思われる補強方法が実施可能な場合はそれを実施するが、実施が困難な場合は、経過的補強としてその補強の一部を、もしくはそれに代わる仮設的な補強を実施する。

不利な点としては、耐震対策工事業は耐震対策を主な目的とした工事を対象とするため、大掛かりな修理は事業を分けて行う必要があることである。

また、耐震補強が経過的補強となった場合には、将来行われる根本修理の際に本格的な補強とする必要があることである。

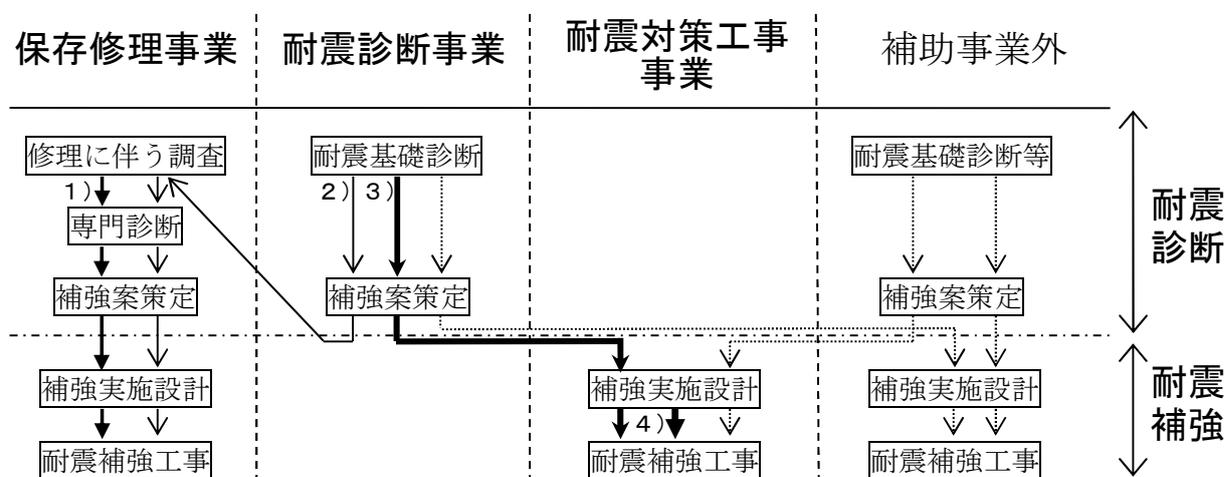
4) 耐震対策工事により被害軽減のための耐震補強を行う。

(「耐震対策工事業」)

当面保存修理の必要はないが、耐震対策の必要があるもののうち、補助事業以外で耐震診断を実施して補強案ができていないもの、あるいは部分的に補強を実施することが必要であったり、主構造の補強とは切り離すことができる非構造部材の補強等が必要な場合に適用される。

ただし、部分的な補強を行う場合は、耐震診断等を実施し全体として必要な補強を把握した上で、その一部として実施するのが望ましい。安易に部分的な補強を行うことは

耐震的に不利に働く場合もあるので、十分留意する。



補助事業運用のながれ

2 運用上の留意点

(1) 事業の立ち上げ

1で挙げた各事業を立ち上げる場合には、事前に市町村教育委員会、都道府県教育委員会を通じ、文化庁文化財部参事官（建造物担当）修理企画部門、震災対策部門と協議することとする。

(2) 事業の進め方

耐震診断事業では耐震診断に必要な構造調査を行うことができるので、まず構造調査を過不足なく行うよう計画を立てることが重要である。調査不足の場合、方針が定められなかったり、方針決定後に新たな事実が判明し方針が大きく変更してしまうことがある。所有者等は事業申請前に建築構造専門家と協議し、構造調査も含めた耐震診断全体の計画を策定する必要がある。

また、耐震診断により安全性が確保されていないことが判明すれば、補強工事を行うまで現在の活用状況が維持できなかつたり、補強工事の間、活用を一時中止しなければならない場合もある。このような場合、閉鎖の告知や許可、従業員の配置替えなど運営上の処理すべき課題が生じる可能性もあるので、所有者等は補強工事までの全体の計画を想定した上で事業に着手する必要がある。

さらに、耐震診断事業の中で、構造調査、耐震診断、補強案策定（補強方法の提案、補強工事計画、補強工事費概算算出）のうちどこまでを実施するかについて決定する必要がある。管理の事情や状況によって判断しなければならないが、診断結果だけでは今後の展開への見通しが立てにくかったり、補強方法の検討には診断で行った解析が必要となるので、最低限として補強方法の提案までは実施しておくことが望ましい。

加えて、事業には一貫して文化庁の承認を得た者が関与することが望ましい。補強案の策定に際し、補強方法が文化財的価値を損なわないものとなるよう、文化庁の承認を得た者の技術指導を受けることについては上述したが、それだけでなく、文化財に相応しい補強方法が検討できるよう適切な診断方法を選択する必要がある。部分的に破壊を伴うような構造調査が必要な場合に文化財的価値に配慮した調査方法や調査箇所を選択することから、事業計画の段階から文化庁の承認を得た者が関与し、適切な計画とすることが重要である。

改訂追記：平成 26 年度以降は「耐震診断事業」と「耐震対策工事事業」は「耐震対策工事事業」に統一された。

重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引
（改訂版）

発行日 平成 25 年 9 月
平成 29 年 3 月改訂
編集発行 文化庁文化財部参事官
〒100-8959
東京都千代田区霞が関 3-2-2
旧文部省庁舎 6 階
電話番号 03-5253-4111