

制定 令和4年2月24日 原規技発第2202246号 原子力規制委員会決定  
建物・構築物の免震構造に関する審査ガイドについて次のように定める。

令和4年2月24日

原子力規制委員会

建物・構築物の免震構造に関する審査ガイドの制定について

建物・構築物の免震構造に関する審査ガイドを別添のとおり定める。

附 則

この規程は、令和4年2月24日から施行する。

# 建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド

令和 4 年 2 月

原子力規制委員会

# 目 次

1.	総則	1
1.1	目的	1
1.2	適用範囲	1
1.3	本ガイドの適用に当たっての留意事項	1
1.4	用語の定義	4
2.	基本事項	6
2.1	免震設計の基本方針	6
2.2	基準地震動	9
2.3	設計用地震力の算定	10
3.	免震構造物の設計に係る事項	10
3.1	使用材料及び材料定数	10
3.2	荷重及び荷重の組合せ	12
3.3	許容限界	12
3.4	地震応答解析	15
3.5	免震構造物の設計	16
4.	免震構造に伴う施設設計	20
4.1	免震構造物と隣接構造物間の取り合い部	21
4.2	免震構造の採用により設計条件が厳しくなる設備の耐震安全性	21
4.3	免震構造の応答性状による影響	21
5.	免震装置の品質管理・維持管理の方針	22
別添-1	免震装置の品質管理	23
別添-2	供用期間中における免震装置の維持管理	23
別添-3	免震装置の製造時における試験による性能確認	23

## 1. 総則

### 1.1 目的

本ガイドは、審査官等が実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第五号）及び実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原規技発第 1306193 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定））並びに実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第六号）及び実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（原規技発第 1306194 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定））（以下総称して「規制基準」という。）の趣旨を十分踏まえ、免震構造に係る設計（以下「免震設計」という。）の審査に活用することが目的であり、審査基準ではない。すなわち、本ガイドは実用発電用原子炉及びその附属施設（以下「実用発電用原子炉施設」という。）の耐震重要施設を間接支持する建物全体を免震構造とした実用発電用原子炉施設（以下「免震構造物」といい、原子炉建屋を除く。以下同じ。）に要求される機能が損なわれるおそれがない場合を例示するものである。なお、本ガイドの基本的な考え方は、その他の原子力施設にも参考となるものである。

### 1.2 適用範囲

本ガイドは、実用発電用原子炉施設の耐震重要施設を間接支持する免震構造物に適用される。設置（変更）許可に係る審査においては、本ガイドを参考に設計の基本的な方針や考え方の妥当性を、設計及び工事の計画の認可に係る審査においては、設置（変更）許可時の審査において確認された基本的な方針や考え方に基づく設計の妥当性を確認する。本ガイドでは、これらの確認事項を例示する。

### 1.3 本ガイドの適用に当たっての留意事項

- ① 本ガイドは、建物全体を免震構造とした実用発電用原子炉施設に適用する。
- ② 免震構造物の審査においては、基本的に本ガイドが参考となるが、それ以外の耐震設計と同様の審査においては、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（原管地発第 1306192 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定））（以下「耐震設計方針ガイド」という。）及び「耐震設計に係る設工認審査ガイド」（原管地発第 1306195 号（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定））（以下「耐震設工認審査ガイド」という。）を参考とする。また、これ

らのガイドに記載のない事項の審査においては、関連する実用発電用原子炉施設のガイドを参考とする。

- ③ 実用発電用原子炉施設の耐震設計に係る審査において適用実績のある規格及び基準（⑤参照）並びに実用発電用原子炉施設への適用実績はないものの、一般産業施設等における免震設計等に係る建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）などの法令（⑥参照）（以下⑤と⑥を総称して「安全上適切と認められる規格・基準等」という。）の適用に際して、⑤については耐震構造と免震構造の違い、⑥については一般産業施設等と原子炉施設との違いを踏まえ、適用条件、適用範囲に留意が必要である。
- ④ 安全上適切と認められる規格・基準等以外の免震設計に係る規格、基準を参考として⑦に示す。これらの適用に際しては、適用条件、適用範囲に留意し、適用の妥当性を確認していくことが重要である。また、免震設計に関わる新たな規格及び基準並びに新たな知見に常に注視し、審査においてそれらを必要に応じて速やかに考慮することも重要である。
- ⑤ 実用発電用原子炉施設の耐震設計に係る審査において適用実績のある規格及び基準を以下に示す。本ガイドにおいては、以下の 3 つの「原子力発電所耐震設計技術指針」を総称して「JEAG4601」という。
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 1987」（社）日本電気協会
  - ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984」（社）日本電気協会
  - ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」（社）日本電気協会
  - ・建築基準法（耐震設計に係る部分）
  - ・建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）（耐震設計に係る部分）
  - ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会、2005/2007）
  - ・地盤工学会基準（JGS1521-2003）地盤の平板載荷試験方法
  - ・地盤工学会基準（JGS3521-2004）剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法
- ⑥ 一般産業施設等における免震設計等に係る建築基準法などの法令を以下に示す。
- ・建築基準法・同施行令（免震設計に係る部分）

- ・「免震建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件」平成 12 年建設省告示第 2009 号（以下「免震技術基準告示」という。）
  - ・「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」平成 12 年建設省告示第 1461 号（以下「構造計算基準告示」という。）
  - ・「建築物の基礎、主要構造部等に使用する建築材料並びにこれらの建築材料が適合すべき日本工業規格又は日本農林規格及び品質に関する技術的基準を定める件」平成 12 年建設省告示第 1446 号（以下「建築材料技術的基準告示」という。）
- ⑦ ⑤、⑥以外の免震設計に係る規格、基準の例を以下に示す。以下の規格、基準を含め技術的な裏付けがとられているものについては、実用発電用原子炉施設への適用性を検討した上で、支障がなければ、参考とすることができる。
- ・原子力発電所免震構造設計技術指針 JEAG4614-2019（（一社）日本電気協会）（以下「JEAG4614」という。）
  - ・免震構造施工標準-2021-（（一社）日本免震構造協会、2021 年版）（以下「JSSI 施工標準」という。）
  - ・免震部材標準品リスト<改訂版>-2009-（（社）日本免震構造協会、2009 年版）（以下「JSSI 免震部材標準品リスト」という。）
  - ・免震建物の維持管理基準<改訂版>-2018-（（一社）日本免震構造協会、2018 年版）（以下「JSSI 維持管理基準」という。）
  - ・時刻歴応答解析による免震建築物の設計基準・同マニュアル及び設計例（（一社）日本免震構造協会、2018 年版）（以下「JSSI 時刻歴応答解析設計基準」という。）
  - ・免震建築物のための設計用入力地震動作成ガイドライン<改訂版>（（一社）日本免震構造協会、2018 年版）
  - ・免震部材の接合部・取付け躯体の設計指針<第 3 版>（（一社）日本免震構造協会、2020 年版）
  - ・免震エキスパンションジョイントガイドライン（（一社）日本免震構造協会、2013 年版）
  - ・免震建物の耐火設計ガイドブック<改訂版>（（一社）日本免震構造協会、2019 年版）
  - ・免震建築物の耐風設計指針（（一社）日本免震構造協会、2017 年版）
  - ・免震構造設計指針（（一社）日本建築学会、2013 年版）
- ⑧ 上記⑤の実用発電用原子炉施設の耐震設計に係る審査において

適用実績のある規格及び基準は、必要に応じて規制基準で定めた用語に読み替えること。また、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日原子力安全委員会決定）」（以下「昭和 56 年耐震設計審査指針」という。）と規制基準との要求事項の相違点<sup>※1</sup>に留意して適用すること。

※1 昭和 56 年耐震設計審査指針と規制基準との要求事項の相違点のうち耐震重要度分類及び設計方針に係るものについては、以下のとおりである。

- ・耐震重要度分類に係る相違点として、昭和 56 年耐震設計審査指針の A<sub>s</sub>クラスを含む A クラス全体を規制基準では S クラスとし、それに伴って従来の A<sub>s</sub>クラスに適用されていた設計方針を規制基準の S クラスに適用している。
- ・鉛直方向の地震力の算定方法に係る相違点として、昭和 56 年耐震設計審査指針では、水平方向の地震動（A<sub>s</sub>クラスは S<sub>2</sub>及び S<sub>1</sub>、A クラスは S<sub>1</sub>）の最大加速度振幅の 1/2 を鉛直方向の地震力の算定に用いていたが、規制基準では、鉛直方向の地震動を策定するとともに同地震動に対して地震応答解析を実施して、鉛直方向の地震力を算定している。

⑨ 本ガイドは、「1.2 適用範囲」に示すとおり、免震構造物の設置（変更）許可に係る審査、設計及び工事の計画の認可に係る審査において適用するものであるが、免震構造は主に免震層において、支承装置が上部構造の支持機能及び上部構造が間接支持する耐震重要施設の支持機能を担保していること並びに減衰装置及び復元装置が免震構造物全体の減衰機能及び復元機能をそれぞれ担保していることから、供用期間中の免震装置の品質管理及び維持管理が重要となる。そのため、設計段階における免震装置の品質管理及び維持管理の方針について、確認事項及び確認内容の例を本ガイドの「5. 免震装置の品質管理・維持管理の方針」に示している。

#### 1.4 用語の定義

本ガイドで用いる用語の定義及び用法については、原則として規制基準に従うこととし、更に以下によるものとする。免震構造物の各部名称の例を図 1 に示す。

- 免震構造物 耐震重要施設を間接支持する建物・構築物であって、免震装置を介して水平方向の変形性能が確保されているものをいう。免震装置、上部構造及び下部構造からなる。
- 免震装置 支承装置、減衰装置及び復元装置（支承装置が復元装置

	に相当する機能を持つ場合は、支承装置に含む。) から構成されるものをいう。
上部構造	免震構造物のうち、免震装置によって支持されている部分をいう。
下部構造	免震構造物のうち、免震装置を支持している部分及び擁壁をいう。
支承装置	上部構造の鉛直荷重を支持し、地震発生時における上部構造の水平方向に対する変形性能を確保するものをいう。
減衰装置	速度又は変形の程度に応じた減衰の作用により上部構造に作用する振動エネルギーを吸収するものをいう。
復元装置	変形の程度に応じた復元の作用により建物・構築物の固有周期を調整するものをいう。
ペDESTAL	上部基礎版から支承装置、支承装置から下部基礎版へ鉛直荷重を伝達するための台座をいう。
上部基礎版	上部構造の下部に位置する版状の構築物をいう。
下部基礎版	地盤上に位置する版状の構築物をいう。
免震層	上部構造と下部構造との間で免震装置が設置されている層をいう。
基準面圧	積層ゴムの基本性能を測定する際に定める積層ゴムの水平変位が生じていない時の単位面積あたりの鉛直軸応力をいう。
渡り配管	免震構造物と隣接構造物間を跨ぐ配管、ケーブル等をいう。

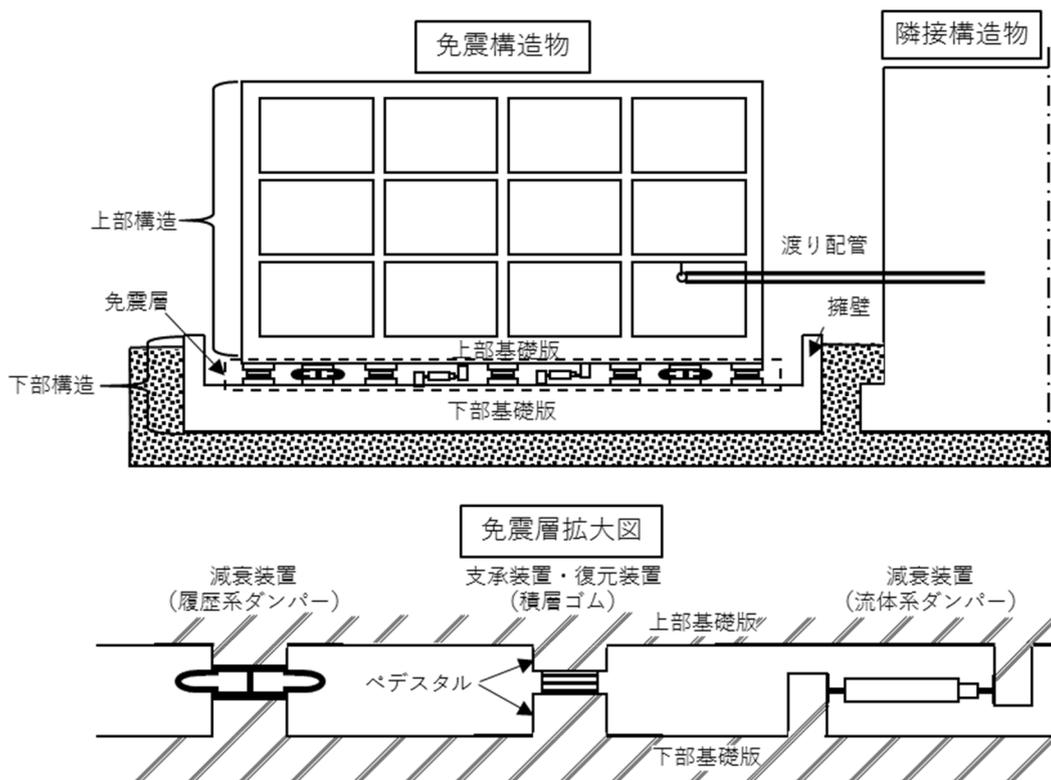


図 1 免震構造物の各部名称の例

## 2. 基本事項

### 2.1 免震設計の基本方針

#### 【審査における確認事項】

免震設計の基本方針については以下を確認する。

- (1) 免震設計における耐震重要度分類については、耐震設計上の重要度分類を適用し、設備区分上の分類として免震構造物が間接支持構造物として位置付けられていること。
- (2) 免震構造物は、基準地震動による地震力に対して、その要求されている機能が損なわれるおそれがないよう設計されていること。
- (3) 免震構造物に設置される耐震重要施設は、下位の分類に属するものの波及的影響により、その機能を損なわないこと。

#### 【確認内容】

免震設計の基本方針については以下を確認する。

- (1) 免震構造物を構成する各部について、以下の方針に基づき設計されていること。
  - ・ 免震装置のうち支承装置及び復元装置については、基準地震動による地震力に対しておおむね弾性状態にとどまること。免震装置

のうち減衰装置については、基準地震動による地震力に対して減衰機能を保持できること。

- ・下部構造については、免震装置の機能を十分に保持するため、基準地震動による地震力に対して、要求される機能が十分に保持できること。
  - ・上部構造については、基準地震動による地震力に対して、耐震重要施設に要求される機能が十分に保持できること。
- (2) 波及的影響に係る設計の確認では、少なくとも次の i)～iv) に示す事項について、耐震重要度分類の下位クラスに属する施設の波及的影響によって、上位クラスに属する施設の安全機能を損なわないこと。また、影響評価に当たっての敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等が適切に示され、事象選定及び影響評価の結果の妥当性が示されているとともに、免震構造物に設置される耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用した場合に波及的影響を与えないことも技術的検討にて示されていること。
- i) 設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位、不等沈下による影響
  - ii) 上位クラスと下位クラスの施設との接続部における相互影響
  - iii) 建屋内における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等による上位クラスの施設への影響
  - iv) 建屋外における下位クラスの施設の損傷、転倒、落下等による上位クラスの施設への影響

#### 【免震設計の審査における留意事項】

免震設計の審査において留意すべき事項を以下に示す。

- (1) 耐震構造は、地震力に対して、構造部材の剛性、強度及び耐力により耐震安全性を確保するのに対して、免震構造は、免震装置により水平方向の変位応答を制御した上で水平方向の地震動に対する加速度応答を低減することにより耐震安全性を確保するものである。そのため、耐震構造との違い、免震構造の特徴等に留意した設計が行われていることを確認することが、審査においては重要である。審査における設計上の留意事項の具体例を以下に示す。
- ・免震構造は、免震装置のうち支承装置の支持機能の喪失が、支持している耐震重要施設の安全機能の喪失に直結する可能性がある。また、下部構造が塑性変形した場合、免震装置の機能に影響を与える可能性がある。さらに、上部構造は、比較的長い周期で振動し上部構造に準静的な荷重が作用するため、上部構造が塑性変形し

た場合、急激に塑性変形が進展する可能性がある。このため、下部構造及び上部構造並びに上部構造が間接支持している耐震重要施設が、基準地震動による地震力に対して、やや長周期の揺れによる影響を考慮したとしても、要求される機能が十分に保持できるような設計が行われていることを確認する。

- ・ 上部構造及び上部構造が間接支持している耐震重要施設に伝わる水平方向の地震動は、免震装置を介することで下部構造及び免震装置に入力される地震動とは変化することに留意する。
  - ・ 免震構造は、耐震重要施設を支持する上部構造と下部構造との間及び周辺地盤との間に、耐震構造に比して大きな相対変位が生じることから、周辺斜面の崩壊、擁壁や周辺建物の倒壊等による上部構造及び免震装置への波及的影響が耐震重要施設を支持する機能及び耐震重要施設の機能の喪失に直結する場合がある。そのため、免震構造物の設計においては、土木構造物、建物・構築物、機器・配管系等の施設に関わる複数の分野を統合した調査及び検討が必要であり、必要に応じて各分野の技術者が対等に議論した上で実施された調査及び検討がされていることを確認する。
  - ・ 免震構造の応答特性上、免震構造物の水平方向の固有周期は耐震構造よりも長く（例えば2～5秒程度）、鉛直方向の固有周期は耐震構造と同等（例えば0.1秒前後）となることから、水平方向と鉛直方向の地震力の最大応答が同時に発生する可能性が高くなる。したがって、水平方向と鉛直方向の地震力の組合せについて、耐震設計で用いられるSRSS（Square Root of Sum of Squares）を用いて組み合わせる場合には、最大応答が同時発生する可能性について留意する。
  - ・ 免震構造物が支持している耐震重要施設の設計用地震力の設定（ $3C_i$ による静的地震力、 $C_i$ は地震層せん断力係数）に当たっては、免震構造の振動特性に留意する。
- (2) 一般産業施設又は公共施設等の免震設計においては、想定を超える地震動等に対して免震装置が支持機能を喪失しないように、変形を抑制する装置又は免震装置が支持機能を喪失しても別の機構が支持機能を代替する装置等を設ける設計（一般産業施設又は公共施設等の免震設計においてフェールセーフと呼ばれる。）とすることがある。一方、規制基準では、基準地震動に対してフェールセーフを用いることなく免震構造が成立することを要求するものであり、基準地震動以上の地震動を想定した免震設計を要求していない。

ただし、安全性のより一層の向上等を目的に、免震装置とは別に鉛直荷重を支持する機能を担保する装置等を設置する場合は、当該装置の設置による耐震重要施設の有する安全機能への影響を確認すること。

## 2.2 基準地震動

### 【審査における確認事項】

免震設計に用いる基準地震動は、規制基準の要求事項に基づき他の耐震構造の施設とは別に、必要に応じて策定していることを確認する。

### 【確認内容】

免震設計に用いる基準地震動の策定にあたっては、基本的に「耐震設計方針ガイド」を参照するものとするが、免震設計に用いる基準地震動の策定において、留意すべき事項として以下を確認する。

- (1) 免震構造物は、やや長周期の地震応答が卓越するため、免震構造物の周期特性を踏まえ、免震構造物の固有周期の2倍程度までのやや長周期に着目して地震動評価を実施し、必要に応じて免震設計に用いる基準地震動を策定していること。
- (2) 耐震設計に用いる基準地震動が短周期における敷地又は施設への影響に着目している一方で、免震設計に用いる基準地震動の策定においては、やや長周期における敷地又は施設への影響に着目した地震の想定及び検討用地震を検討していること。具体的には、敷地からの距離は離れているが地震規模の大きな地震を選定し、やや長周期における敷地又は施設への影響をその他の検討用地震と比較して、免震設計に用いる基準地震動に係る検討用地震としての選定可能性を検討していること。また、免震構造物の固有周期がやや長周期であることを踏まえ、地震規模に対して十分な継続時間を有していること。
- (3) 応答スペクトルに基づく地震動評価により免震設計に用いる基準地震動を策定する場合、やや長周期の応答スペクトルは、断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価結果、地震ハザード解析における一様ハザードスペクトルに係る評価結果等を踏まえて適切に設定していること。また、この場合、地震動の継続時間について断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価結果の継続時間等と比較することにより検証していること。
- (4) 国土交通省の技術的助言<sup>※2</sup>で南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策の対象区域にある原子力発電所において免震構

造を採用する場合、国土交通省の技術的助言を参照の上、免震設計に用いる基準地震動の策定を検討していること。

※2 国土交通省国住指第 1111 号「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について（技術的助言）」

## 2.3 設計用地震力の算定

### 【審査における確認事項】

免震設計に用いる地震力は、次に掲げるとおり算定していることを確認する。

- (1) 免震構造物に対する基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平 2 方向及び免震装置の評価上最も厳しくなる方向並びに鉛直方向について適切に算定していること。

### 【確認内容】

免震設計に用いる地震力の算定方針については以下を確認する。

- (1) 基準地震動により免震構造物に作用する荷重は、「3.4 地震応答解析」に基づき、適切に設定されていること。
- (2) 基準地震動による地震力については、水平 2 方向及び免震装置の評価上最も厳しくなる方向並びに鉛直方向について適切に算定することとしているが、施設の構造、応答性状に応じた応答解析手法、解析条件を考慮して非安全側にならない組合せを用いて算定されていること。

## 3. 免震構造物の設計に係る事項

### 3.1 使用材料及び材料定数

#### 【審査における確認事項】

地震応答解析及び構造設計に用いる使用材料及び材料定数については以下を確認する。

- (1) 地震応答解析及び構造設計においては、安全上適切と認められる規格・基準等に基づく材料及び材料定数が使用されていること。
- (2) 地震応答解析に用いる材料定数について、その変動幅が免震機能に及ぼす影響をそれぞれ確認した上で、適切に設定していること。

#### 【確認内容】

使用材料及び材料定数については以下を確認する。

(1) 免震装置

- ① 免震装置の材料及び材料定数は、建築基準法第 68 条の 25 の規定に基づく国土交通大臣の認定（以下「大臣認定」という。）を取得した装置の諸元等を踏まえた材料及び材料定数を用いて適切に設定されていること。また、大臣認定を取得していない免震装置については、大臣認定に必要とされるものと同等の評価により妥当性が確認された材料及び材料定数を用いて適切に設定されていること。使用材料及び材料定数の設定における安全上適切と認められる規格・基準等を以下に示す。
- ・ 建築基準法・同施行令
  - ・ 建築材料技術的基準告示
- ② 地震応答解析に用いる免震装置の材料定数の変動幅については、大臣認定を取得した装置の諸元等に基づいて、経年変化、温度変化、製造工程等の変動幅が免震機能に及ぼす影響をそれぞれ確認した上で、設定すること。
- (2) 上部構造及び下部構造
- ① 安全上適切と認められる規格・基準等を以下に示す。
- ・ JEAG4601
  - ・ 建築基準法・同施行令
  - ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）
  - ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
  - ・ 鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
  - ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説　－許容応力度設計と保有水平耐力－（（社）日本建築学会，2001 改定）
  - ・ 発電用原子力設備規格　コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）
- ② 地震応答解析に用いる材料定数のうち解析モデルの剛性評価に用いる定数については、材料定数の変動幅が免震装置に及ぼす影響をそれぞれ確認の上で、適切に設定されていること。また、材料定数の変動幅が上部構造及び下部構造の振動性状（固有周期、固有モード等）や応答性状に及ぼす影響を確認し、必要に応じて、上部構造及び下部構造の地震力や機器・配管系への入力地震力等に及ぼす影響が検討されていること。

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 【審査における確認事項】

免震構造物に作用する地震力と地震力以外の荷重が適切に組み合わせられていることを確認する。

#### 【確認内容】

荷重及び荷重の組合せについては以下を確認する。

##### (1) 地震力以外の荷重

免震構造物に作用する地震力以外の荷重は、規制基準の要求事項に留意して、以下に示す安全上適切と認められる規格・基準等に規定されている荷重が考慮されていること。

- ・ JEAG4601
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 — 許容応力度設計法 — ((社) 日本建築学会、1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005 制定)
- ・ 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — ((社) 日本建築学会、2005 改定)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説 — 許容応力度設計と保有水平耐力 — ((社) 日本建築学会、2001 改定)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会、2001 改定)
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会、2003)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会、2005/2007)

##### (2) 荷重の組合せ

免震構造物について、基準地震動による地震力に対し安全機能が保持できるように免震設計する際は、規制基準の要求事項に留意して、JEAG4601 の規定を参考に、地震力と上記(1)の荷重とが組み合わせられていること。

### 3.3 許容限界

#### 【審査における確認事項】

許容限界については、免震構造物の部位ごとに必要な機能を踏まえ、以下のとおり設定されていることを確認する。

##### (1) 免震装置

安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界が設定されていること。

(2) 下部構造

安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界が設定されていること。

(3) 上部構造

上部構造物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有すること。

【確認内容】

許容限界については以下を確認する。

(1) 免震装置

免震装置の基準地震動による地震力に対する許容限界は、大臣認定を取得した装置については、大臣認定を取得した装置の諸元等を踏まえ設定されていること。また、それ以外の値、指標等を許容限界として設定する場合は、試験等により設定の妥当性を確認すること。この場合、基準地震動に相当する地震動レベルの地震発生後に、試験等により妥当性を確認した免震装置の応答挙動を踏まえ、免震装置の残留変形等の状態の確認、性能維持の評価、必要に応じた免震装置の取り換え等の一連の運用方針が整備されていること。

以下、一般的な免震装置として、支承装置のうち積層ゴム、ころがり支承及びすべり支承、復元装置、減衰装置のうちダンパー並びに免震装置と上部構造、下部構造を接続するための鋼材等の許容限界の設定について例示する。

① 積層ゴムの許容限界については、以下を踏まえ適切に設定されていること。

- a) せん断ひずみの許容限界については、大臣認定を取得した装置の諸元等を踏まえ、弾性範囲が許容限界として設定されていること。ただし、それ以外の範囲が許容限界として設定されている場合、繰り返し载荷による顕著なひずみの蓄積がなく、ほぼ弾性的な挙動が試験等で確認された範囲をせん断ひずみの許容限界として設定されていること。
- b) 圧縮応力度の許容限界については、大臣認定を取得した装置の諸元等を踏まえ、圧縮限界強度以下の値かつ免震技術基準告示に基づく基準面圧の2倍以下の値として設定されていること。
- c) 引張応力度の許容限界については、大臣認定を取得した装置の

諸元等を踏まえた値が設定されていること。ただし、それ以外の値を許容限界として設定されている場合、試験等により積層ゴムの性能の維持を確認した値が引張応力度の許容限界として設定されていること。また、引張応力度による評価指標に代わって、引張ひずみによる評価指標を許容限界として設定する場合、試験等により積層ゴムの性能の維持を確認した引張ひずみの値が引張応力度に代わる許容限界として設定されていること。

- ② ころがり支承及びすべり支承の許容限界については、それらの構造及び仕様に応じた指標（例えば水平変位、圧縮応力等）について、設計で期待している支持性能を維持できる範囲の値が許容限界として設定されていること。
- ③ 復元装置の許容限界については、安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界が設定されていること。なお、積層ゴムにより復元装置の機能を担保する場合にあたっては、積層ゴムの許容限界を満たしていること。
- ④ ダンパーの許容限界については、大臣認定を取得した装置の諸元等を踏まえ、ダンパーの構造及び仕様に応じた指標について、設計で期待している減衰性能を維持できる範囲の値が許容限界として設定されていること。また、ダンパーは、積層ゴムの許容限界における水平変位においても減衰性能が維持されるよう許容限界が設定されていること。
- ⑤ 免震装置の接合部等における鋼材及びコンクリートの許容限界は、耐震設計において適用実績のある規格及び基準に準じて設定されていること。

## (2) 下部構造

下部構造は、基準地震動による地震力に対して免震装置の機能を十分に保持できるように支持するため、基準地震動による地震力に対して、やや長周期の揺れによる影響を考慮したとしても、要求される機能が十分に保持できるような設計が行われている必要がある。このため、下部構造については、安全上適切と認められる規格・基準等に基づいて許容限界が設定されていること。

安全上適切と認められる規格・基準等として、適用可能な規格、基準を以下に示す。

- ・ JEAG4601
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－  
（（社）日本建築学会，1999 改定）

- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法 ー（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説 ー許容応力度設計と保有水平耐力ー（（社）日本建築学会，2001 改定）
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）

### (3) 上部構造

上部構造は、免震構造物が比較的長い周期で振動し上部構造に準静的な荷重が作用して塑性変形した場合、急激な塑性変形となる可能性がある。そのため、上部構造のうち耐震重要施設を支持する部位及び安全機能を有する部位（遮へい性、気密性等が必要な部位）については、おおむね弾性範囲（鉄筋コンクリート造の場合は鉄筋が降伏しない範囲等）にとどまる等により基準地震動による地震力に対して、耐震重要施設に要求される機能が十分に保持できるとどめることとし、(2)と同様に安全上適切と認められる規格・基準等に基づいて許容限界が設定されていること。例えば上部構造のうち上部基礎版、上部構造を構成する耐震壁等が耐震重要施設を間接支持又は居住性の機能を維持する場合においては、おおむね弾性範囲としていること。

上部構造のうち耐震重要施設を支持せず耐震重要施設等への波及的影響の検討対象となる部位については、終局耐力に対して妥当な安全余裕を確保できるよう許容限界が設定されていること。例えば上部構造のうち上部構造を構成する耐震壁等が上部基礎版上に設置される耐震重要施設に対して波及的影響の検討対象になる場合においては、支承装置の許容限界が終局限界に対して有する安全余裕と比べて同程度の安全余裕を有するよう当該部位の許容限界が設定されていること。

## 3.4 地震応答解析

### 【審査における確認事項】

免震構造物ー地盤連成系の地震応答解析については、適切な地震応答解析手法及び地震応答解析モデルが設定されていることを確認する。

#### (1) 地震応答解析手法

免震構造物の地震応答解析手法については、免震装置及び上部構造の振動性状に応じた適切な地震応答解析手法が用いられていること。

## (2) 地震応答解析モデル

免震構造物の地震応答解析モデルについては、免震装置及び上部構造の振動性状を適切に評価できるモデルが適用されていること。また、免震構造物と地盤との相互作用並びに免震構造物及び地盤の非線形性についても適切にモデル化されていること。

### 【確認内容】

地震応答解析手法、地震応答解析モデルについては以下を確認する。

#### (1) 地震応答解析手法

- ① 免震構造物の地震応答解析手法については、免震装置及び上部構造の振動性状を適切に評価できる時刻歴地震応答解析手法が用いられていること。なお、その他の地震応答解析手法であっても、妥当性が認められるものであれば適用できるものとする。
- ② 免震構造物と地盤との相互作用並びに免震構造物及び地盤の非線形性については、規制基準の要求事項に留意して設定されていること。なお、この場合 JEAG4601 の規定及び既往の研究成果等が参考となる。
- ③ 地震応答解析手法の設定に当たっては、JEAG4601 等の規定、既往の研究成果等を参考に、手法の適用性、適用限界等に留意し、適切な手法が検討されていること。

#### (2) 地震応答解析モデル

- ① 免震装置の地震応答解析モデルは、大臣認定を取得した装置の諸元、試験等により確認された結果に基づいて免震装置の剛性、減衰特性等が適切に設定されていること。
- ② 上部構造及び下部構造の地震応答解析モデルは、規制基準の要求事項に留意して、JEAG4601 の規定及び既往の研究等を参考に適切に設定されていること。
- ③ 免震構造物がねじれ挙動を起こす可能性がある場合には、ねじれ挙動を表現できる地震応答解析モデルが採用されていること。
- ④ 免震構造物と地盤の相互作用のモデル化に当たっては、地盤の物性値に基づいて算定した剛性及び減衰特性が考慮されていること。安全上適切と認められる規格・基準等として、適用可能な規格、基準を以下に示す。

・ 構造計算基準告示

## 3.5 免震構造物の設計

### 【審査における確認事項】

免震構造物の設計については以下を確認する。

(1) 免震装置の配置設計

免震構造物は、地震時にねじれ挙動が抑制されるよう、免震層における剛心と重心の位置をなるべく一致させるように免震装置の配置設計が行われていること。

(2) 免震装置の設計

支承装置及び復元装置については、基準地震動による地震力に対しておおむね弾性状態にとどまるよう、常時作用している荷重と基準地震動による地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力等が、安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界を超えないこと。

また、減衰装置については、基準地震動による地震力に対して減衰機能を保持するために、常時作用している荷重と基準地震動による地震力とを組み合わせ、その結果発生する応力等に対して、減衰装置の性能の変化が上部構造に要求される機能に影響を及ぼさないよう、安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界を超えないこと。

(3) 下部構造の設計

下部構造については、免震装置の機能を十分に保持するため、基準地震動による地震力に対して、要求される機能が十分に保持できるよう、常時作用している荷重と基準地震動による地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界を超えないこと。

(4) 上部構造の設計

上部構造については、基準地震動による地震力に対して、耐震重要施設に要求される機能が十分に保持できるよう、常時作用している荷重と基準地震動による地震力を組み合わせ、その結果発生する応力等に対して、上部構造物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有すること。

(5) 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せ

水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せは、免震構造物の特性を考慮し適切な方法が用いられていること。具体的には支承装置の配置及び上部構造の応答特性に留意して、水平2方向及び免震装置の評価上最も厳しくなる方向並びに鉛直方向の地震力の組合せによる検討が行われていること。

【確認内容】

免震構造物の設計については以下を確認する。

(1) 免震装置の配置設計

免震層において剛心と重心の位置が大きく相違すると、地震時にねじれ挙動が生じ、免震装置の水平変位の増大等の原因となる。このため、上部構造の重量分布とそれに応じた免震装置の配置に留意し、免震技術基準告示を参考に検討されていること。また、偏心率が $0.03^{*3}$ を超える場合は、ねじれ挙動が表現できるような地震応答解析モデルを用いて解析し、ねじれ挙動の影響が検討されていること。

※3 偏心率を目安として $0.03$ 以下とすることは、免震技術基準告示による。

(2) 免震装置の設計

① 支承装置

支承装置については、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重の組合せに対して弾性状態にとどまる範囲で耐え、支持機能が維持されていること。この際、ロッキング荷重の影響が考慮されていること。

代表的な支承装置として、積層ゴム、ころがり支承、すべり支承の設計における確認内容を以下に例示する。

a) 積層ゴム

地震時の積層ゴムの変形が支持機能に影響を与える可能性があるため、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する水平変形時のせん断ひずみが許容限界を超えないこと。また、常時荷重、鉛直方向の地震力による荷重及び水平変形に伴うロッキングによる鉛直荷重の組合せに対する圧縮応力度及び引張応力度が許容限界を超えていないこと。

b) ころがり支承又はすべり支承

基準地震動により発生する最大の水平変位が許容限界を超えていないこと。また、常時荷重、鉛直方向の地震力による荷重及び水平変形に伴うロッキングによる鉛直荷重が許容限界を超えていないこと。

② 復元装置

復元装置については、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重の組合せに対して弾性状態にとどまる範囲で耐え、復元機能が維持されていること。なお、積層ゴムにより復元装置の機能を担保する場合にあたっては、積層ゴムの許容限界を満足していること。

### ③ 減衰装置

装置の構造及び仕様に応じた指標に基づき、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力等により、減衰機能が喪失していないこと。また、積層ゴムの許容限界における水平変位まで設計で考慮した減衰性能が維持されていること。代表的な減衰装置として、履歴系ダンパー、流体系ダンパー及び摩擦系ダンパーの設計における確認内容を以下に例示する。

#### a) 履歴系ダンパー（例えば鋼材ダンパー等）

基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する変位が、許容限界変位を超えていないこと。また、履歴系ダンパーは、基準地震動による繰り返し変形によって疲労が蓄積されることから、累積損傷度<sup>※4</sup>等による疲労評価が行われていること。

※4 一般建築における累積損傷度の評価にあっては、エネルギー吸収能力に着目した評価方法が幾つかあるが、Miner 則（ある応力における部材の疲労寿命が N 回とすると、繰返し数 n での疲労損傷は  $n/N$  で表され、 $n/N=1$  で破壊すると定義するもの）に基づく疲労損傷評価による評価法が適用されている。

#### b) 流体系ダンパー（例えばオイルダンパー等）

基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する変位及び速度が、許容限界変位及び許容限界速度を超えていないこと。

#### c) 摩擦系ダンパー

基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する変位が、許容限界変位を超えていないこと。

### ④ 免震装置の接合部等

免震装置の接合部及びペDESTALについては、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組合せ、その結果発生する応力が安全上適切と認められる規格・基準等による許容限界を超えていないこと。

### (3) 下部構造の設計

下部構造は、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えていないこと。

設計に当たっては、「耐震設工認審査ガイド」3.5.1も参考としていること。

#### (4) 上部構造の設計

上部構造は、基準地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力等が許容限界を超えていないこと。

設計に当たっては、「耐震設工認審査ガイド」3.5.1も参考としていること。

また、上部構造と擁壁等の周辺構造物との離隔について、地震時の免震装置部の最大応答変位に対し妥当な余裕が確保されていること。

#### (5) 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せ

免震構造物においては、水平2方向及び鉛直方向の地震動を用いて、各方向の時刻歴での応答値を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性が考慮されていること。また、水平2方向及び免震装置の評価上最も厳しくなる方向（例えば応答スペクトル波による建物・構築物の斜め方向）並びに鉛直方向の地震動の組合せにより応答の同時性が考慮されていること。なお、地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や免震構造物の応答特性に留意し適切な組合せ方法が適用されていること。

（例えば水平2方向についてはSRSS法、水平と鉛直方向については絶対値和法等で組み合わせる等）

#### (6) その他免震構造物に係る設計

設計を超える事象に対して一定の免震機能の保持の観点から、支承装置とは別に、鉛直荷重を支持する機能を担保する装置等を設置する場合や、免震装置に塵埃防止カバー等を設置する場合、当該装置等の設置が、上部構造、内包する耐震重要施設及び免震装置の機能に及ぼす影響が確認されていること。

### 4. 免震構造に伴う施設設計

上部構造に支持されるSクラスの設備の耐震設計については、免震装置を介して算定された地震力等に対して「耐震設工認審査ガイド」を用いて確認する。耐震設計と異なる、免震構造特有の設備設計については以下を確認する。

なお、免震構造の採用が設備設計に与える影響や、それを踏まえた設計については、免震装置等の仕様、建屋に設置される設備の構造、仕様及びそれらの振動特性並びに相対関係に依存するものであるため、以下の記載事項以外の要因についても確認する等、個別に検討をすること。

#### 4.1 免震構造物と隣接構造物間の取り合い部

##### 【審査における確認事項】

免震構造に伴う設備設計が、地震時における建屋間（上部構造と下部構造間を含む。）の相対変位に追従するよう、渡り配管が適切に設計されていることを確認する。

また、取り合い部により免震装置の機能や上部構造の安全機能等への影響がないよう設計されていることを確認する。

##### 【確認内容】

免震構造物と隣接構造物間の取り合い部に係る設計については以下を確認する。

##### (1) Sクラスの渡り配管の地震時健全性

渡り配管については、JEAG4601の規定、既往の研究等を参考に基準地震動による相対変位に対して機能を維持するよう設計されていること。

##### (2) 免震機能への影響

渡り配管の剛性等が、上部構造の地震応答に大きな影響を与えないよう検討されていること。これらが免震機能や地震応答に影響を与える可能性がある場合は、「3.4 地震応答解析」(2) 地震応答解析モデルのモデル化に反映されていること。

#### 4.2 免震構造の採用により設計条件が厳しくなる設備の耐震安全性

##### 【審査における確認事項】

免震構造を採用したことにより、耐震設計条件が厳しくなる設備を明示し、免震構造とした場合においても耐震性が確保されていることを確認する。

##### 【確認内容】

免震構造を採用することにより耐震設計条件が厳しくなる設備の設計については以下を確認する。

- (1) 免震構造を採用することにより耐震設計条件が厳しくなる設備（例えば流体を貯蔵するタンク等）が明示されていること。また、それらの設備を対象として、試験又は解析により当該設備の応答値が許容限界を超えないよう設計されていること。

#### 4.3 免震構造の応答性状による影響

##### 【審査における確認事項】

上部構造に内包される設備の設計に当たっては、免震構造によるねじれ挙動やロッキング挙動による影響が検討されていることを確認する。

**【確認内容】**

免震層において剛心と重心の位置が大きく相違する場合、ねじれ挙動を考慮して、上部構造に内包される設備の各方向の水平地震力が設定されていること。また、水平方向の地震動に対するロッキング挙動により生じる鉛直方向の地震力と、鉛直方向の地震動により生じる鉛直方向の地震力との同時性について検討した上で、必要に応じて、上部構造に内包される設備の設計において、同時性の及ぼす影響が考慮されていること。同時性が及ぼす影響を考慮する場合は、鉛直方向の応答増幅分を考慮した地震力評価が行われた上で、当該地震力に対して、JEAG4601の規定、既往の研究等を参考に当該設備の健全性が確認されていること。

5. 免震装置の品質管理・維持管理の方針

**【審査における確認事項】**

供用期間中の免震構造物の機能を維持するため、免震装置の品質管理及び維持管理の運用を整備する方針であることを確認する。また、免震装置は、地震後も要求されている免震装置の機能が維持されるよう適切に管理される方針であることを確認する。

**【確認内容】**

免震装置の品質管理は、品質保証計画に基づき適切に行われる方針であることを確認する。また、免震装置の維持管理については、品質保証計画に基づき点検計画を定め、適切に点検等の管理が行われる方針であることを確認する。

免震装置（主に積層ゴム）については建屋個別に別置き試験体を設置又はこれに代わる手段で適切に維持管理が行われる方針であることを確認する。また、地震後の目視による応急点検に加え、地震観測・評価技術等により免震装置の特性変化（例えば履歴ダンパーにおいては累積疲労損傷度）の評価が行われる方針であることを確認する。

参考として免震装置の品質管理及び維持管理の詳細を別添に示す。

#### 別添-1 免震装置の品質管理

供用期間中の免震構造物の機能を確実に維持するため、免震装置の品質管理は、適切な品質保証計画を策定するとともに、同計画に基づいて、免震装置の調達、製作、検査、据付、隣接構造物との離隔確保、変位測定装置の設置、免震装置の現場性能試験等が適切に行われること。免震装置の品質管理については以下に示す規格、基準が参考となる。

- ・ JEAG4614
- ・ JSSI 施工標準
- ・ JSSI 免震部材標準品リスト
- ・ JSSI 時刻歴応答解析設計基準
- ・ JSSI 維持管理基準
- ・ JIS K6410-1 2015 建築免震用積層ゴム支承－第1部：仕様
- ・ JIS K6410-2 2015 建築免震用積層ゴム支承－第2部：試験方法

#### 別添-2 供用期間中における免震装置の維持管理

免震装置の維持管理については、品質保証計画に基づき点検計画を定め、適切に点検等の管理が行われる必要があり、以下の点に留意して確認すること。

- (1) 品質保証計画に基づき、免震装置の保守及び点検活動計画並びに取替方法が適切に策定されていること。
- (2) 免震装置（主に積層ゴム）の維持管理については建屋個別に別置き試験体を設置又はこれに代わる手段で適切に維持管理すること。
- (3) 免震装置の維持管理として、地震後の目視による応急点検に加え、地震観測・評価技術等により免震装置の機能が維持されていることの確認を行うこと。
- (4) 例えば緊急時対策所のように地震後も継続して使用する設計の場合は、免震装置の損傷の有無を即時に確認するためのリアルタイムの評価、計測した地震動の時刻歴データ（加速度、変位等）による再現解析の実施等、各設計方針に応じた計測・評価方法により免震装置の維持管理を行うこと。また、上書き等により計測したデータが消失しないよう留意すること。
- (5) 免震装置の維持管理（通常点検、定期点検、応急点検等）については、以下に示す規格、基準が参考になる。

- ・ JSSI 維持管理基準

#### 別添-3 免震装置の製造時における試験による性能確認

免震装置の性能確認については、免震装置の製品試験等により適切に行

われる必要があり、以下の点に留意して確認すること。

- (1) 免震装置の剛性、減衰特性等の諸元については、免震装置が完成された段階で製品試験等により求め、地震応答解析に用いる免震装置の諸元の妥当性を確認すること。
- (2) 製品試験等は全ての装置において、設計上作用すると想定される荷重レベルでの製品試験等を行うことが原則である。ただし、製品試験等を行うことで、免震装置の特性が設計で想定する初期状態から変化する可能性（例えば履歴系ダンパーの塑性化）がある場合等は、解析結果、他の同種試験体を用いた試験結果等の知見と併せて、諸元の妥当性を確認すること。なお、免震装置の大きさ等の理由で試験実施が困難な場合もこれに準じて確認すること。免震装置の性能確認については以下に示す規格、基準が参考となる。
  - ・ JSSI 施工標準
  - ・ JSSI 免震部材標準品リスト
  - ・ JIS K6410-1 2015 建築免震用積層ゴム支承－第1部：仕様
  - ・ JIS K6410-2 2015 建築免震用積層ゴム支承－第2部：試験方法