

「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」の検討結果について

令和 2 年 1 1 月 2 5 日
原 子 力 規 制 庁

1. 経緯

免震構造を採用する発電用原子炉施設の建物・構築物について、合理的かつ効率的に設置許可及び工事計画認可に係る審査を実施するためには、実用発電用原子炉施設に関する基準規則の解釈¹(以下「現行解釈」という。)のうち免震構造に係る規定の改正及び建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド(以下「審査ガイド」という。)の策定を行う必要がある。

このため、原子力規制庁において、現行解釈との整合性を考慮した上で審査ガイドに係る検討を進め、審査ガイドのドラフトを作成した。

令和元年 12 月 4 日の原子力規制委員会において、原子力規制庁は、審査ガイドのドラフトを示すとともに、その完成に向け「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」を設けて所要の検討を進めることを諮り了承を得た(参考を参照)。

2. 検討チームの取りまとめ

令和 2 年 2 月から 10 月にかけて計 4 回の検討チーム会合を開催し、免震構造に関する技術的事項(免震構造の審査の考え方、基準地震動、設計に関する基本事項、免震装置の品質管理)を主な論点として検討を行った。

検討チーム会合では、主な論点に係る検討に加え、免震装置メーカー、原子力エネルギー協議会(ATENA)及び事業者から意見を聴取したうえで、本年 11 月 9 日²に別添資料のとおり「建物・構築物の免震構造に関する検討チームでの主な論点とその対応の基本方針・考え方」を取りまとめた。

〈別添資料〉

別添 建物・構築物の免震構造に関する検討チームでの主な論点とその対応の基本方針・考え方

¹ 実用発電用原子炉施設に関する基準規則の解釈は以下を指す。

- ・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))
- ・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))

² 建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 第 4 回会合での資料の修正について外部専門家の確認が得られた日。

3. 審査ガイド（ドラフト）の修正及び現行解釈の改正について

検討チームにおける検討結果を踏まえ、審査ガイド（ドラフト）の修正の方針案及びこれと関連する現行解釈の改正について以下に示す。

3. 1 審査ガイド（ドラフト）の修正の方針案

検討チームでの議論及びその結果を踏まえ、審査ガイド（ドラフト）の修正の方針案を別紙に示す。

3. 2 現行解釈の改正について

現行解釈の改正については、審査ガイド（ドラフト）の修正内容を踏まえたうえで、免震構造の設計方針等、耐震構造を対象とした現行解釈で規定されていない事項の追加及び免震構造に適用する基準地震動の策定等、現行解釈の記載の充実を検討する。

4. 今後の予定

上記3. の審査ガイド（ドラフト）の修正の方針案について原子力規制委員会の了承が得られれば、当該方針を踏まえた現行解釈の改正案及び審査ガイド案を作成し、令和3年2月頃を目途に改めて原子力規制委員会に諮ることとしたい。

検討チームの結果を踏まえた審査ガイド（ドラフト）の修正の方針案

(1) 免震構造の審査の考え方

| 審査ガイド（ドラフト）の概要 | 修正の必要性・理由 | 修正方針 |
|---|--|---|
| <p>①対象構造物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発電用原子炉施設のうちSクラスの設備の間接支持構造物である建屋を対象とする。 | <ul style="list-style-type: none"> ・免震構造は、上部構造に対する地震力の低減、地震時の作業環境の向上等の効果が期待できる一方、免震装置の機能喪失が上部構造の機能に大きな影響を及ぼすおそれがある。 ・免震構造は、設計時の許容限界を超えた場合の鉛直荷重の支持機能の喪失までの余裕が耐震構造ほど大きくない。 | <ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動 S_s に対する耐震性が要求される施設において、機能を代替する設備が複数存在し、それらのうち一部の設備を間接支持する建屋を対象とする。 ・また、免震構造とすることのメリットが大きいと考えられる施設（例えば、耐震構造に比べ、作業員の居住性の向上が期待される緊急時対策所等）についても対象とする。 ・なお、重要な安全機能を担う設備を多数支持する原子炉建屋は対象としないものとする。 |
| <p>②設計方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ・積層ゴムは、基準地震動による応答値が既往の研究等を参考に設定した許容限界未満であること。 ・履歴系ダンパーは、設計で期待している減衰性能を維持できる制限値を累積疲労損傷度や変位等により評価していること。 <p>【現行解釈 別記2 第4条第6項第一号 関連事項】</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・積層ゴムは、ハードニングやボイド等の発生による機能の低下が上部構造の機能喪失につながるおそれがないよう基準地震動に対して弾性範囲に留まる必要がある。 ・履歴系ダンパーは、装置の塑性化によって地震動を減衰することから、既往の地震経験や試験等の実績を踏まえ、累積疲労損傷度等により評価する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・積層ゴムは、基準地震動に対して弾性範囲を許容限界として設計する。ただし、試験等により妥当性が確認された許容限界も適用可能とする。この場合、地震後における積層ゴムの機能保持の確認を敏速に行い必要に応じて取替えを行う等、維持管理を的確に行う必要がある。 ・履歴系ダンパーは、累積疲労損傷度を評価指標として適用し、この評価指標における許容限界に対して十分な余裕を確保する設計とする。また、履歴系ダンパーは、積層ゴムの許容限界としている水平変形量まで変形が追随し、必要な減衰性能を有する設計とするとともに、地震発生後の維持管理により、履歴系ダンパーの減衰性能が維持されていることを確認する。 |

(2) 免震構造の設計に用いる基準地震動

| 審査ガイド（ドラフト）の概要 | 修正の必要性・理由 | 修正方針 |
|---|---|---|
| <p>①基準地震動の策定</p> <ul style="list-style-type: none"> 国土交通省の技術的助言¹を参考に、やや長周期（2秒程度以上10秒程度以下を対象）における敷地への影響に着目した地震の想定及び検討用地震の選定について検討が必要である。 免震構造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の確認が必要である。 <p>【現行解釈 別記2 第4条第5項第二号⑧ 関連事項】</p> | <ul style="list-style-type: none"> 国土交通省の技術的助言で設定している地震動は、比較的軟らかく厚い堆積層がある主に4つの地域（関東地方、静岡地方、中京地方、大阪地方）に立地する超高層建築物等における長周期地震動対策を対象としたものであり、このような地域に設置される原子力発電所において免震構造を採用する場合の対応を検討する必要がある。 やや長周期の地震動の大きさ（スペクトル振幅）や主要動部分の継続時間等、地震動の評価における留意事項を明確にする必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 国土交通省の技術的助言で検討している地域に立地する原子力発電所において免震構造を採用する場合は、国土交通省の技術的助言で設定している地震動に対する影響を確認する。 やや長周期帯域の地震動レベル（スペクトル振幅）については、断層モデルを用いた手法による評価結果、地震ハザード評価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する。 応答スペクトルに基づく地震動（模擬地震動）の算定に当たっては、継続時間の設定について、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果との比較により妥当性を検証する。 |
| <p>②地震動の組合せ</p> <ul style="list-style-type: none"> 水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せは、免震構造の特性を考慮し、適切な方法を用いる。 時刻歴波を用いて、建屋の三次元応答解析を行う場合は、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、応答の同時性を考慮する。 <p>【現行解釈 別記2 第4条第7項 関連事項】</p> | <ul style="list-style-type: none"> 免震装置の設計においては、建屋の斜め方向に地震動を入力した場合に建屋隅角部に配置された免震装置の応答が大きくなることが想定されることから、応答スペクトル波の水平1方向及び鉛直方向の地震動による建屋の斜め方向からの入力による影響について確認する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 建物の平面直交主軸2方向に加えて免震装置にとって最も厳しくなる方向に対し、応答スペクトル波の水平1方向及び鉛直方向地震動の入力による影響を確認する。 |

¹ 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（技術的助言）（平成28年6月24日、国住指第1111号、国土交通省）

(3) 免震構造の設計に関する基本事項

| 審査ガイド（ドラフト）の概要 | 修正の必要性・理由 | 修正方針 |
|---|---|--|
| <p>①許容限界</p> <ul style="list-style-type: none"> 免震装置の許容限界は、適切な方法等により設定する。 | <ul style="list-style-type: none"> 免震装置の許容限界は、品質の信頼性や一般建築物での実績等を踏まえ適切に設定する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 一般建築物で広く適用されている国土交通大臣認定の免震装置の許容限界を適用する。 ただし、試験等で妥当性が確認された許容限界も適用可能とする。この場合、地震後における積層ゴムの機能保持の確認を敏速に行い必要に応じて取替えを行う等、維持管理を的確に行う必要がある。 |
| <p>②フェールセーフの取り扱い</p> <ul style="list-style-type: none"> フェールセーフ²機構を設置する場合、当該機構を設置することで、内包する機器設備や免震装置の機能に及ぼす影響を確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> 審査ガイドは基準地震動に対する免震構造の成立性を確認するものであり、それを超える地震動を想定した検討を確認するものではないことから、免震装置とは別の鉛直荷重支持機能を担保する装置の設計を要求するものではないことを明確にする必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 基準地震動に対する設計において、免震装置に加えて鉛直荷重の支持機能を担保する装置等（フェールセーフ機構）を設置する必要はないこととする。 なお、安全性のより一層の向上等の観点から、鉛直荷重の支持機能を担保する装置等を設置する場合には、その設置による内包する設備等への影響を確認する。 |

² 本審査ガイドでは、安全性のより一層の向上を目的に、設計を超える水平方向の過大な変形により免震装置に損傷等が生じて荷重支持機能を喪失するおそれがある場合を想定し、これに対する鉛直荷重支持機能を担保する装置等を設置することをフェールセーフの対象とする。

(4) 免震装置の品質管理・維持管理

| 審査ガイド（ドラフト）の概要 | 修正の必要性・理由 | 修正方針 |
|--|---|--|
| <p>①別置き試験体の設置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際に設置されている免震装置での計測が容易に行えないことから同種の免震装置を別置き試験体として用意するなど、維持管理について検討する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・一般建築物における免震構造の採用実績や地震経験等を通じ、免震構造の信頼性が向上してきたこと、工場における別置き試験体を用いた管理が普及していること等を踏まえて原子炉施設での維持管理の方法を検討する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・免震装置（主に積層ゴム）の別置き試験体の設置については、別置き試験体による維持管理に代わる適切な手段等（工場での別置き試験体管理、加振等による振動特性評価等）による維持管理のしくみが一般産業分野において既に確立され普及していることから、原子炉施設において免震構造の建屋を採用する場合においても要求しないこととする。 |

建物・構築物の免震構造に関する検討チームでの主な論点とその対応の基本方針・考え方

令和2年11月9日

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム

建物・構築物の免震構造に関する検討チームは、今後免震構造を採用する発電用原子炉施設の建物・構築物について合理的かつ効率的に設置（変更）許可、設計及び工事の計画の認可に係る審査を実施するため、免震構造に関する技術的事項（免震構造の審査の考え方、基準地震動、設計に関する基本事項、免震装置の品質管理）を主な論点として検討し、規制要求に関する基本的考え方を以下のとおりとりまとめた。検討に際しては、公開の会合を開くとともに、外部専門家、免震装置メーカー、原子力エネルギー協議会(ATENA)及び事業者から意見を聴取した。

1. 免震構造に関する技術的事項

- ・免震構造の審査の考え方（免震装置の役割、要求性能等）
- ・免震構造の設計に用いる基準地震動（長周期成分、継続時間等）
- ・免震構造の設計に関する基本事項（免震装置の許容限界、他施設や設備への影響等）
- ・免震装置の品質管理（特に地震後の維持管理）に関する留意事項

2. 免震構造の審査の考え方

(1) 対象構造物

(論点)

- ・免震構造のメリット、デメリットを踏まえた、審査の対象とすべき建物・構築物について

(基本方針)

- ・一部の安全上重要な施設、重大事故等対処施設を間接支持する建屋等、限定された範囲の建屋を対象とする。
- ・原子炉建屋等の多くの安全上重要な施設を支持する建屋は対象としないものとする。

(考え方)

- ・免震構造は、免震構造建屋の上部構造に対する地震力の低減、地震時の作業環境の向上等の効果が期待できる。一方、免震構造は、基礎－免震層－上部構造が直列に接続するシステムであり、免震層（免震装置）の機能の喪失が間接支持する上部構造の機能に大きな影響を及ぼすおそれがある。設計時の許容限界を超えた場合の冗長性は耐震構造程大きくはないと考えられるため、安全上重要な施設等を支持する建屋を免震構造とするには、原子炉施設における設計等の実績を積み重ねる必要がある。そのため、本検討チームの議論を踏まえ作成する建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（以下「審査ガイド」という。）では、多様性等の観点から機能を代替する施設等である重大事故等対処施設を間接支持する建屋及び緊急時対策所等を対象とする。
- ・ただし、多くの安全上重要な施設等を間接支持するような建屋については、本審査ガイドの適用対象としないが、本審査ガイドの考え方を参考とすることは可能なものとする。
- ・また、免震装置については、品質の信頼性や一般建築物での実績等を踏まえ国土交通大臣認定を得た装置を用いることを基本とする。ただし、大臣認定と同等の確認を行うことで新たに開発した装置又は大型化等した装置も適用できるものとする。

(2) 設計方針

(論点)

- ・ 建屋の用途、荷重組合せに応じた設計クライテリアの使い分けについて

(基本方針)

- ・ 本資料では、免震装置※のうち特に、免震構造設計の成立性の観点で重要となる装置として、支承装置（積層ゴム）及び減衰装置（履歴系ダンパー）を対象とする。
- ・ 支承装置（積層ゴム）は、基準地震動 S_s に対して基本的に弾性範囲で設計する。なお、履歴系ダンパーについては、「4. (5) 履歴系ダンパーの評価、余震・誘発地震による影響」において、基本方針、考え方を示す。
- ・ 弾性範囲として設定する支承装置（積層ゴム）の許容限界は、一般建築物で採用実績のある値を適用できるものとする。ただし、試験等により妥当性が確認された場合、一般建築物で採用される以外の許容限界も設定できるものとする。
- ・ 上部構造、下部構造は、基準地震動 S_s に対し、要求性能に応じて機能を保持する設計とする。

(考え方)

- ・ 原子炉施設の耐震安全性を確保するため、耐震設計と同様に免震構造の建屋及び免震装置に関しても、基準地震動 S_s に対し、安全機能を保持する設計とする。
- ・ 免震層は上部構造の地震力低減及び上部構造を間接支持する機能を有するため、支承装置（積層ゴム）が基準地震動 S_s に対して弾性範囲に留まる設計とする。例えば、積層ゴムについては、ハードニングやボイド等の発生による積層ゴムの機能の低下が上部構造の機能喪失につながるおそれがないようおおむね弾性範囲（例えば、せん断ひずみ 250%以下、引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ 以下）とする。ただし、試験等で妥当性が確認された場合、上部構造の特性、要求性能及び地震動の組合せにより、上記と異なる値を許容限界として適用することができる。この場合、必要に応じて地震時及び地震後においても支承装置（積層ゴム）に必要な機能が保持されていることを、維持管理活動（目視、シミュレーションによる評価等）の中で確認する。
- ・ 上部構造について、緊急時対策所の様に特定の部位に対して居住性（空調性能とあいまった気密性又は遮蔽性）が要求される建屋に関しては、弾性範囲の変形に留めることで居住性を確保することとする。また、特定部位に対して居住性が要求されない建屋であって安全上重要な施設又は重大事故等対処施設が設置される建屋に関しては、部位に要求される機能（間接支持、波及的影響防止）に応じて終局限界に対して妥当な安全余裕を確保することとする。
- ・ 下部構造の許容限界については、免震構造の性能確保の観点から、原則としてほぼ弾性範囲に留める設計とする。
- ・ 表 1 に地震動の組合せと設計評価の考え方の例を示す。

※ 審査ガイド（ドラフト）では、免震装置として、支承装置（支持機能を有する装置、例えば、積層ゴム、すべり支承等）と減衰装置（減衰機能を有する装置、例えば、履歴系ダンパー、流体系ダンパー等）を対象としている。

表1 地震動の組合せと設計評価の考え方（積層ゴムの例）

| 地震動の組合せ | 積層ゴムの許容限界* ¹ | | | | 備考 |
|---------------------------|---|---|---|---|---|
| | せん断ひずみ | | 引張面圧 | | |
| | 一般建築物で 用いられる 弾性範囲 例： 250%程度 以下 | 一般建築物で 用いられる 弾性範囲以上* ² 例： 250%程度 以上 | 部材認定 許容値 例： 1N/mm ² 以下 | 部材認定 許容値以上* ³ 例： 1N/mm ² 以上 | |
| [断層モデル波] 水平1方向+鉛直方向 | ● | — | ● | — | ・緊急時対策所に関しては、居住性確保のため、上部構造は弾性範囲の設計とする。 ・重大事故等対処施設が設置される建屋等に関しては、部位に要求される機能（間接支持、波及的影響防止）に応じて終局限界に対して妥当な安全余裕を確保した設計とする。 |
| [断層モデル波] 水平2方向+鉛直方向 | ● | — | ● | — | |
| [応答スペクトル波] 水平1方向+鉛直方向 | ● | — | ● | — | |
| [応答スペクトル波] 水平1方向(斜め)+鉛直方向 | ● | — | ● | △* ⁵ | |
| [応答スペクトル波] 水平2方向+鉛直方向 | ● | △* ⁴ | ● | △* ⁵ | |

- : 適用
- △ : 条件付で適用
- : 適用外

- *¹ : 支承装置(積層ゴム)は、基準地震動 S_s に対して基本的に弾性範囲で設計する。
- *² : 試験等により、繰り返し载荷での顕著なひずみの蓄積がなく、ほぼ弾性的な挙動が確認された範囲(図1参照)
- *³ : 試験等により、1N/mm²を超える面圧又はひずみによる評価の妥当性が確認された場合に適用(図2参照)
- *⁴ : ひずみ硬化域の挙動をモデル化した解析評価を行う。
併せて、維持管理にて積層ゴムの性能が保持されていることを確認する。
- *⁵ : 許容限界に応じて適切に引張剛性をモデル化した解析評価を行う。
併せて、維持管理で積層ゴムの変形性能、支持性能が保持されていることを確認する。

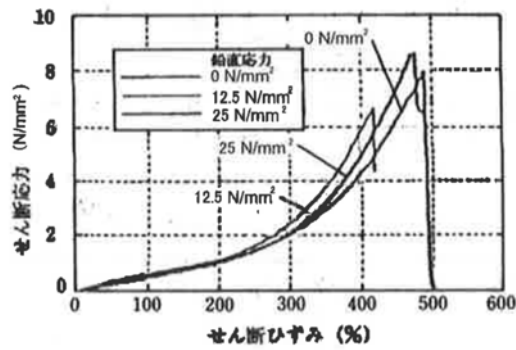
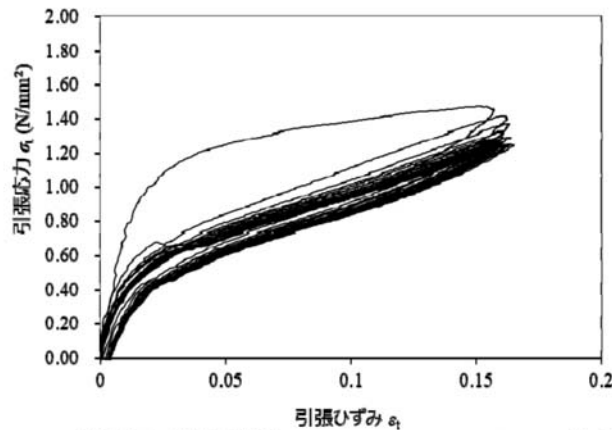
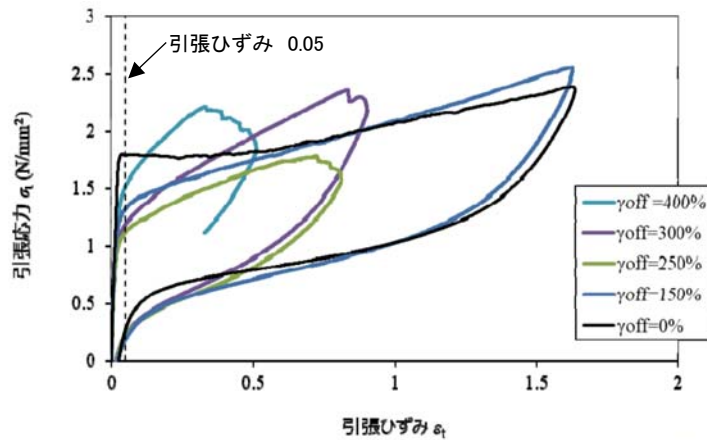


図1 圧縮せん断試験の例

出典：「JSSI 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)



繰り返し引張試験: せん断ひずみ(オフセット)250%, 引張ひずみ 15%, 20 サイクル



せん断ひずみ(オフセット)0,150,250,300,400%における引張試験

図2 引張試験の例

出典：建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 第3回会合 資料2-1 免震用積層ゴム支承の許容引張応力等基準および維持管理について(一部加筆)

3. 免震構造の設計に用いる基準地震動

(1) 基準地震動 S_s の策定

(論点)

- ・免震構造の設計に用いる基準地震動（以下略して「基準地震動」という。）の策定における国土交通省（以下「国交省」という。）の技術的助言※の反映に係る考え方

(基本方針)

- ・免震構造の設計に用いる基準地震動の策定方法は、新規基準の「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価方法を用い、必要に応じて他の施設とは別に策定することで、国交省の技術的助言での検討方法と同等とみなすことが可能である。
- ・ただし、国交省の技術的助言で検討している地域に原子力発電所が立地している場合は、国交省の技術的助言での検討結果の地震動に対する影響を確認する。
- ・基準地震動の策定にあたっては、下記に留意する。
 - + やや長周期の地震動に影響を与える要因を適切に考慮する。
 - + やや長周期帯域の地震動レベルについては、地震ハザード評価結果等を踏まえ適切に設定する。
 - + 応答スペクトルに基づく地震動の継続時間は断層モデルを用いた手法による地震動の継続時間と比較検証する。

(考え方)

- ・原子力発電所には、国交省の技術的助言で検討している関東平野のような比較的軟らかく厚い堆積層は存在しないものと考えられることから、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の評価方法を用いることで、免震構造に適用できる基準地震動を策定することが可能である。
- ・ただし、評価にあたっては、サイトにおける地震観測記録やシミュレーション解析の結果を踏まえ、やや長周期の地震動に影響を与えるサイト固有の要因（やや長周期の地震動に影響を与えるようなパラメータ）を検証、特定した上で、それらの要因の不確かさを考慮することとする。
- ・基準地震動の策定にあたって、やや長周期帯域の地震動レベル（スペクトル振幅）については、サイト固有の要因の不確かさを考慮した評価結果に基づいて設定することとし、断層モデルを用いた手法による評価結果や一様ハザードスペクトルを踏まえて適切に設定する。
- ・応答スペクトルに基づく地震動（模擬地震動）の継続時間の妥当性については、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果の継続時間と比較することにより検証する。
- ・また、免震構造の設計に用いる地震動としては、「震源を特定せず策定する地震動」も考慮する。
- ・本審査ガイドにおいて、「やや長周期」とは2秒程度以上10秒程度以下の周期帯域を対象とする。

※：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)」(平成28年6月)

(2) 基準地震動 S_s の水平方向成分と鉛直方向成分の組合せ

(論点)

- ・基準地震動 S_s の水平方向成分、鉛直方向成分の組合せの考え方

(基本方針)

- ・基準地震動 S_s の水平方向成分及び鉛直方向成分は適切に組み合わせることとする。
- ・応答スペクトル波の水平2方向入力では、組み合わせる地震動の位相特性を適切に設定する。

- ・地震動の入力方向については、建築物の平面直交主軸2方向に加えて免震装置にとって最も厳しくなる方向に対し、応答スペクトル波の水平1方向及び鉛直方向の地震動とする。

(考え方)

- ・基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の地震動を適切に組み合わせることとする。
- ・応答スペクトルに基づく水平方向の地震動は1波のみであることから、水平2方向の評価においては、その位相特性が異なる地震動を適切に設定する。
- ・免震装置の設計においては、建屋の斜め方向に地震動を入力した場合に建屋隅角部に配置された免震装置の応答が大きくなることが想定されることから、応答スペクトル波の水平1方向及び鉛直方向の地震動による建屋の斜め方向からの入力による影響について確認する。ただし、構造上の特徴等によって、これ以外の方向で免震装置の応答が顕著に大きくなる場合については、この方向についても検討を行う。

4. 免震構造の設計に関する基本事項

(1) 許容限界

(論点)

- ・一般建築物で適用される免震装置の許容限界の適用性

(基本方針)

- ・一般建築物で広く適用されている国土交通大臣認定（以下「大臣認定」という。）の免震装置の許容限界を適用する。
- ・ただし、試験等で妥当性が確認された許容限界も設定可能とする。

(考え方)

- ・許容限界について、大臣認定された免震装置が用いられることを前提に、大臣認定において妥当性が確認された許容値を許容限界として定める。
- ・ただし、上記許容限界と異なる値や指標等についても、試験等によりその値や指標等が妥当であることを確認できれば、それを許容限界として設定可能とする。

(2) 積層ゴムの許容限界（せん断ひずみ、引張面圧）

(論点)

- ・一般建築物で使用される積層ゴムの許容限界（せん断ひずみ、引張面圧）の適用性
- ・積層ゴムの引張面圧に係る評価として、ひずみ指標による評価の適用性

(基本方針)

- ・積層ゴムのせん断ひずみは、一般建築物で弾性範囲として適用実績のある値を許容限界とする。
- ・積層ゴムの引張評価は、面圧による評価を基本とし、一般建築物で弾性範囲として適用実績のある値を許容限界とする。
- ・ただし、「2. (2) 設計方針」の（考え方）に示された事項を前提に、試験等により妥当性が確認された場合、上記と異なる許容限界を適用できるものとする。

(考え方)

- ・積層ゴムのせん断ひずみにおける許容限界については、装置メーカー等により妥当性が確認され一般建築物での適用実績があり弾性範囲として用いられている値（例えば、250%程度）を用いる。
- ・ただし、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場合、この確認された範囲まではせん断ひずみの許容限界として適用可能とする。
- ・積層ゴムの引張応力の許容限界については、装置メーカー等により妥当性が確認され一般建

建築物において適用実績がある値（例えば、 $1\text{N}/\text{mm}^2$ ）を適用する。ただし、試験等の応力-ひずみ関係により発生ひずみの状態確認を含め積層ゴムの性能が維持されていることが確認された値については、許容限界として設定できる。

- ・また、引張ひずみ指標による評価等、他の指標による評価については、実大規模の試験等によるデータを蓄積し、許容限界として設定することの妥当性が確認された指標については、許容限界として設定可能とする。

（３）積層ゴムの軸力再配分

（論点）

- ・一部の積層ゴムの性能の低下による他の積層ゴムの軸力再配分を考慮した設計の適用性

（基本方針）

- ・一部の積層ゴムの性能の低下による他の積層ゴムの軸力再配分（軸力負担の変化）を考慮した設計を適用する場合は、必要に応じて適切に評価すること。ただし、その影響度がサイト固有の条件により異なることから、個別の審査において検討する。

（考え方）

- ・一部の免震装置（主に積層ゴム）において免震性能の低下又は材料特性の変化が生じた場合、他の免震装置による軸力の再配分を考慮した評価については、サイト固有の条件（採用する免震装置の構造・仕様及び配置、上部構造の構造計画、設備の設置状況、建屋の応答性状等）を踏まえて個別の審査において検討する。

（４）長時間継続する地震動による影響

（論点）

- ・長時間継続する地震動による免震装置の力学特性の変化等

（基本方針）

- ・長時間継続する地震動の影響については、必要に応じて適切に評価すること。ただし、その影響度がサイト固有の条件により異なることから、個別の審査において検討する。

（考え方）

- ・免震装置（主に鉛プラグ入り積層ゴム）の長時間継続するやや長周期の地震動による積層ゴムの力学特性への影響は、サイト固有の条件（サイトのやや長周期の地震動が支配的になる震源の有無、そのような震源と敷地との位置関係、採用する免震装置の構造・仕様及び配置、建屋の応答性状等）を踏まえて個別の審査において検討する。なお、大臣認定を受けた積層ゴムの力学特性の変化については、既往のデータに基づいて評価するとともに、必要に応じて試験又は解析により検証する。

（５）履歴系ダンパーの評価、余震・誘発地震による影響

（論点）

- ・鋼材ダンパー等の履歴系ダンパーの累積疲労を考慮した評価の考え方
- ・地震動の作用により累積疲労するような履歴系ダンパーの余震や誘発地震による影響

（基本方針）

- ・履歴系ダンパーを採用する場合には、累積疲労損傷度の評価指標を適用し許容限界に対して十分な余裕を確保する設計とする。また、履歴系ダンパーは、積層ゴムの許容限界としている水平変形量に対し減衰性能を有する設計とする。
- ・上記に加え、地震発生後の維持管理により、履歴系ダンパーの減衰機能を維持していることが確認できる設計とする。

- ・なお、余震・誘発地震による影響については、その影響度がサイト固有の条件により異なることから、個別審査において検討する。

(考え方)

- ・鋼材ダンパー等の履歴系ダンパーは、既往の地震経験や試験等の実績を踏まえ、累積疲労損傷度等を評価指標として許容限界を設定し、許容限界に対して十分な余裕を確保していることを設計で確認する。
- ・また、地震発生後の維持管理体制を構築し、地震後速やかに点検等を実施し、必要に応じ補修を行うなど、減衰機能を維持することを確認する。
- ・余震や誘発地震の考慮に係る具体的な確認内容については、サイト固有の条件（採用する減衰装置の構造、サイトのやや長周期の地震動が支配的になる震源の有無、その様な震源と敷地との位置関係等）を踏まえて個別の審査において検討する。

(6) フェールセーフの取り扱い

(論点)

- ・原子炉施設の免震構造建屋におけるフェールセーフの取り扱い

(基本方針)

- ・基準地震動 S_s に対する設計の範囲において、免震装置以外の鉛直荷重支持機能を担保する装置等は必要としないものとする。
- ・なお、安全性のより一層の向上の観点から、鉛直荷重支持機能を担保する装置等を設置する場合については、その設置による他施設等への影響を確認する。

(考え方)

- ・一般建築物におけるフェールセーフは、想定を超える地震動に対して、免震部材が荷重支持機能を喪失しないように変形を抑制するもの又は免震部材が荷重支持機能を喪失しても別の機構が荷重支持機能を肩代わりするものとしている。本審査ガイドでは、安全性のより一層の向上を目的に、設計を超える水平方向の過大な変形により免震装置に損傷等が生じて荷重支持機能を喪失するおそれがある場合を想定し、これに対する鉛直荷重支持機能を担保する装置等を設置することをフェールセーフの対象とする。
- ・なお、審査ガイドは基準地震動 S_s に対して免震構造の成立性を求めており、それ以上の地震動を想定することを求めるものではないことから、免震装置とは別の鉛直荷重支持機能を担保する装置の設計を要求するものではない。ただし、事業者が上部構造の機能喪失までの冗長性を確保するため、安全性のより一層の向上の観点から鉛直荷重支持機能を担保する装置等を設置する場合、その装置等の設置による免震性能や機器設備等への影響を確認する。

(7) 免震構造に伴う設備設計への影響

(論点)

- ・免震構造物と非免震構造物の間の渡り配管等のインターフェース部の健全性評価、免震構造を採用することによる他施設、設備への影響

(基本方針)

- ・渡り配管や大口径配管については、免震-非免震構造物間の相対変位への追随性を十分に検討する。
- ・プールやタンク等の流体を内包する設備については、スロッシングの影響について検討する。

(考え方)

- ・免震構造物と非免震構造物間での振動特性等の相違から、両構造物間の相対変位に追随できる渡り配管等の検討が必要となる。

- ・免震構造物を採用することにより建物の固有周期が長周期側へシフトすることでプールやタンク等の流体のスロッシングの影響が顕著となるおそれがある。このため、流体を内包するような建屋については免震構造を採用する事による水平方向周期の長周期化の程度を確認するとともにスロッシングの影響について検討するものとする。

5. 免震装置の品質管理（特に地震後の維持管理）に関する留意事項

（１）地震観測装置等の維持管理への活用

（論点）

- ・これまでの大地震後の免震装置の継続使用の実績を踏まえた地震後の免震装置の確認方法
- ・地震中、地震後の免震装置の挙動をリアルタイムで計測、管理する地震観測装置等（例えば、一般建築物で採用事例のあるヘルスマonitoring等）の適用性

（基本方針）

- ・免震装置の維持管理として、大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の評価を行うものとする。

（考え方）

- ・緊急時対策所のように地震後においても使用を継続できる設計とする場合は、損傷の有無を即時に確認する場合のリアルタイムの評価、地震後の状態確認として、計測した地震動の時刻歴データによるシミュレーション解析の実施等、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とする。また、観測した記録について、上書き等によりデータが消失しないよう留意する。

（２）別置き試験体の設置

（論点）

- ・原子力発電所サイトの免震構造建屋における別置き試験体による維持管理の考え方

（基本方針）

- ・免震装置（主に積層ゴム）の維持管理に係る別置き試験体については、これに代わる手段等で適切に管理することで、免震構造の建屋個別に試験体を設置することは要求しないものとする。

（考え方）

- ・個別サイトに別置き試験体を設置しなくとも工場にて別置き試験体を設置し、管理するあるいは地震観測の結果や免震構造の建屋の加振等により、得られる免震層の振動特性を評価することで免震装置の維持管理を行うことができると考えられるため、免震構造の建屋において各々別置き試験体を設置することは要求しないものとする。
- ・なお、免震装置の経年劣化については、発電所施設の高経年化技術評価においても評価対象になるものと考えられる。

6. その他

【B、Cクラスの免震構造建屋の設計方針】

（論点）

- ・審査ガイドにおけるB、Cクラスの建屋の取り扱い

（基本方針）

- ・Bクラスの建屋については、Sクラス建屋を対象とした審査ガイドのうち地震動や許容限界をBクラスとして読み替えて準用する。
- ・Cクラスの建屋については、一般建築物と同等の設計が行われていることを確認する。

(考え方)

- ・ B、Cクラスの建屋及び同クラスの設備の間接支持構造物である建屋に免震構造を採用する場合、基本的な設計方針を確認することとするが、Bクラスについては免震構造の建屋の建築確認申請で要求される地震力が原子炉施設に要求される地震力を上回ることが確認（図3参照）できれば、Bクラスの建屋及び免震層並びに設置される設備等の詳細設計の確認は不要とする。ただし、B、Cクラスの建物が近接するSクラス施設へ波及的影響を与える可能性がある場合については、基準地震動 S_s に対する評価を行うこととする。

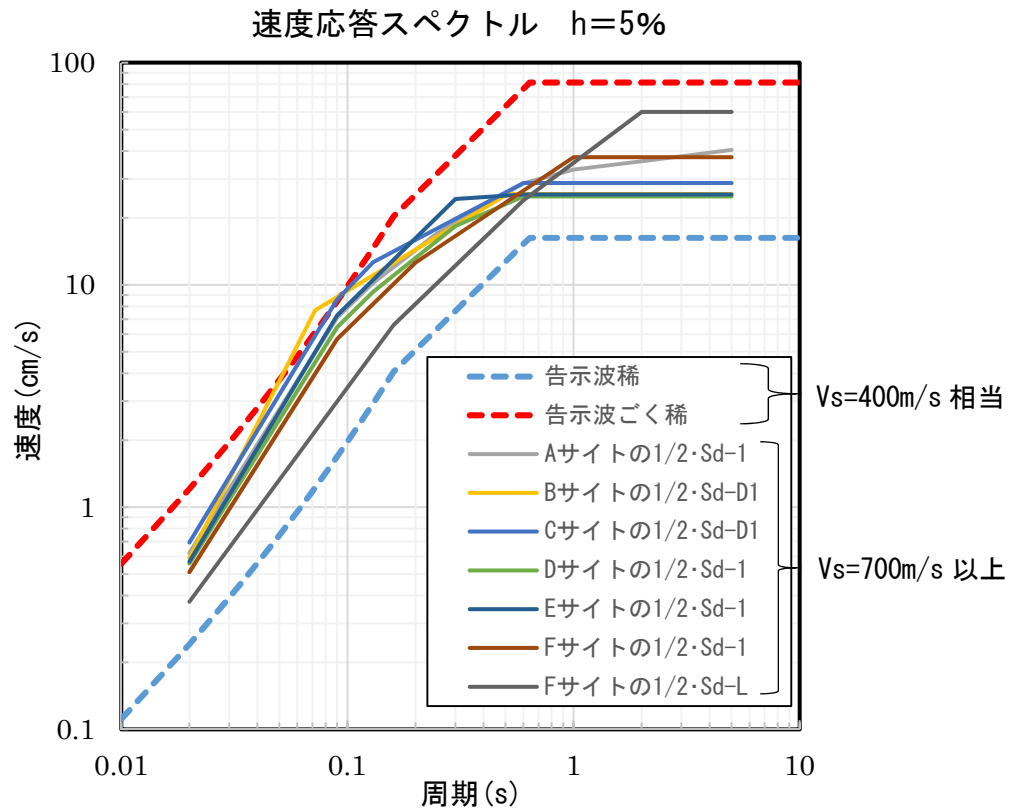


図3 警告波と $1/2S_d$ の速度応答スペクトルの比較の例

外部専門家、装置メーカー、事業者等からのご意見等

1. 免震構造の審査の考え方

(1) 対象構造物

【久田先生】

○免震構造と耐震構造のメリットとデメリットについて

- ・免震構造は、想定内の地震に対しては高いレベルで居住性を確保し、機能継続が可能（中越沖地震、東北地方太平洋沖地震等での実績）。
- ・一方、発生頻度が低く規模が大きい地震（ 10^{-5} 程度以下）に対して脆弱性あり（フェールセーフ機能の付加や、代替施設として耐震構造の併用による多重化でリスクは低減可能）。
- ・耐震構造 ⇒長周期地震動に有利
- ・免震構造 ⇒短周期地震動に有利

○施設の用途や構造特性を考慮した安全対策の推進

- ・代替不可能な施設（原子炉建屋等）→免震構造は慎重に判断
- ・代替可能な施設（緊急時対策所、S A設備等建屋）→耐震構造と免震構造の多重化によるリスク低減

○基準地震動 S_s の策定過程において保守性を考慮することによるデメリット

- ・基準地震動は認識論的不確実さが大きく、保守性の考慮により過度に大きな地震動を設定すると、免震設計の自由度が阻害され、基準地震動よりも発生頻度の高い小さな地震動に対する免震構造の優位性（上部構造に対する地震力の低減効果、地震時の作業環境の向上効果等）が低減。

2. 免震構造の設計に用いる基準地震動

(1) 基準地震動 S_s の策定

【久田先生】

- ・国交省の基整促波は、関東平野や大阪盆地など軟弱で厚い堆積層があるサイトの長周期地震動で、非常に長い継続時間となるが、静岡の主要動は100~200秒程度。
- ・連動地震や余震への配慮は必要（免震装置の経時劣化等）。
- ・免震設計用の長周期、長継続時間の地震動の作成については、現行の S_s の策定方法でカバーできている。
- ・ローカルな影響はケースバイケースで絶対無いとはいえないが、観測記録とシミュレーションを合わせて総合的に考えることで対応可能と考える。

(2) 基準地震動 S_s の水平方向成分と鉛直方向成分の組合せ

【久田先生】

- ・「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の3成分を考慮することで良いと考える。
- ・理論的手法（活断層など震源近傍など）や数値解析手法（差分法、有限要素法、遠地巨大地震等）による長周期地震動の数値シミュレーションを用いることで、諸特性（震源特性・伝播特性・サイト特性）への配慮が可能。

【菊地先生】

- ・水平2方向にはSRSSを適用してもよいが、水平+上下へのSRSSの適用には疑問あり（水平動固有周期3~5秒の振動モデルと上下動固有周期0.3秒前後の振動モデルでは、同時刻に最大値が重なることが十分に考えられる）。
- ・水平+上下には、絶対値とか時刻歴波形の重ね合わせを用いる。

- ・水平、上下同時入力では、各方向の減衰を独立に設定できないのであれば、別々に解析して重ね合わせる。
- ・引張側の復元力特性の設定に注意（引張剛性を圧縮剛性の1/10程度に低下させる）。
- ・引張剛性が圧縮剛性と同じなら、過度であっても安全側には変わらない。
- ・引張剛性をゼロと想定することは、引張を過小評価し危険側の想定となる。
- ・積層ゴムのせん断成分と軸成分の間に、せん断変形に応じて軸剛性が変化する（P- Δ 効果など）という相互作用があるため、2次形状係数の小さい積層ゴムでは要考慮。
- ・水平2方向変形に対する破断クライテリアについては今後検討が必要ではないか（高減衰ゴム系積層ゴムでは検討済み、他の履歴減衰型免震装置では要確認）。

【古屋先生】

- ・三方向成分の同時性を考慮した解析・設計は、設備機器への影響を考える際には不要と考える。
- ・設計では、水平・鉛直地震力の2方向同時入力で解析・評価するが、免震装置の力学特性に方向依存性を有する場合、水平2方向及び鉛直方向の3方向を考慮した解析を実施する。
- ・水平と鉛直地震力の組合せは、単独方向の最大応答解析結果を妥当な組合せ方法で足し合わせるか、もしくは同時入力解析を行う。
- ・機器・配管の設計での水平・鉛直地震力の組み合わせは、水平・鉛直地震力を別々に解析する場合、絶対値和を基本とする（水平・鉛直地震力を同時入力し、計算時刻毎に代数和する方法も適用可能）。
- ・三方向同時入力は、免震層の剛性低下による免震構造物の長周期化に寄与する可能性があるものの、上部構造物への地震力等の影響は逆に小さくなる可能性がある。
- ・免震設計用の地震動を作成した場合、免震層の上部構造（機器・配管等含む）での耐震安全余裕について考え方をまとめておく必要がある。耐震安全性評価においては、PRAなどを用いて安全評価上の同一指標により判断することが考えられる。

3. 免震構造の設計に関する基本事項

(1) 許容限界

【菊地先生】

- ・一般建築物
 - +せん断と軸力との組み合わせは、圧縮領域のみを対象
 - +引張は面圧（単体、全体、平均など）のみで確認
 - +メーカーの評価実績は豊富、ただし、実構造物の地震時挙動を動的に考慮した試験は難しくスケールダウンした装置による静的な試験を実施する程度
- ・原子炉施設
 - +せん断と軸力との組み合わせは、引張～圧縮の全領域を対象
 - +電共研「免震システムの評価手法開発」での検討対象積層ゴム（1600mm径LRBなど）に限れば、かなり踏み込んだ検討実績あり
- ・線形限界を超える挙動追跡では、以下の事項について確認が必要
 - +動的加力時の挙動（ひずみ速度、繰り返し変形の影響）
 - +水平2方向、水平変形+軸力の連成効果

(2) 積層ゴムの許容限界、せん断評価、引張評価

【菊地先生】

- ・引張載荷時の面圧（=軸力/断面）とは、あくまでも平均値であり、断面内で面圧は一様分布し

ているとは限らない。

- ・フランジプレートの面外変形の影響としては、フランジ外周部で局部的に大きな引張面圧になっていると考えられる。
- ・一般建築物において、(平均)引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ を引張限界強度とした評価実績は豊富にある。
- ・原子炉施設に関する検討では、(平均)引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ を引張限界強度とする前提で、データが分析・整理されている。
- ・(平均)引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ では剛性低下するだけであり、直ちに破断するわけではない(ただし、大きく変形する)。
- ・理想的には、せん断変形をオフセットとして与えた状態における引張試験において、引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ をチェックすべき。
- ・引張力が発生する状況では、転倒モーメントの影響が入り、せん断変形も発生している。そのような状況を再現する試験は、試験機能力・実験の安全性から非常に難しく、実施例がまだ少ない。

【ブリヂストン 室田主幹専任部員】

- ・積層ゴムに発生する引張応力が $1\text{N}/\text{mm}^2$ を超えるとポイドが発生する可能性があるが、そのポイドが、その後の水平方向の特性に与える影響は小さく免震装置の性能が急激に低下するとは考えられない。ただし、安全余裕の観点で見た場合、その余裕が十分であるかについては発生ひずみの状態も踏まえて評価すべき。

(3) 積層ゴムの軸力再配分

【菊地先生】

- ・剛性低下すれば免震装置間で軸力の再配分が生じるため、上部構造にそれを伝達できる耐力や剛性が担保できれば、引張面圧 $1\text{N}/\text{mm}^2$ の許容限界は安全側の評価と考えられる。
- ・軸力の再配分が評価できるように解析モデルの精度を十分に検討する。
- ・引張により破断が生じたとすると水平剛性の検討も必要。
- ・構造物全体として転倒しないまでも、軸力再配分で成立するなら、設計として成立すると考えられる。

(4) 長時間継続する地震動による影響

【久田先生】

- ・連動地震や余震に対して免震装置の経時劣化等の配慮が必要

【菊地先生】

- ・長周期大変形繰返しにより影響を受ける免震装置は、原子炉施設への適用を考える場合、国交省の技術的助言の対象地域外であっても繰返し変形の影響により線形限界を超える可能性が考えられる。
- ・鉛プラグ入り積層ゴムの熱・力学連成挙動解析事例によると、積層ゴムが変位した際に、大口径積層ゴムほど熱がたまりやすいため、大口径積層ゴムを利用すると考えられる原子炉施設では、熱による影響の有無について要注意。
- ・積層ゴムの発熱は体積、放熱は面積に比例するため、サイズが2倍なら発熱は8倍、放熱は4倍となる。

(5) 履歴系ダンパーの評価、余震・誘発地震による影響

【菊地先生】

○履歴系ダンパー（免震U型ダンパー）の評価事例

- ・時刻歴応答変位にレインフロー法を適用して変位ごとの疲労回数を求め、これにマイナー則を適用して累積損傷度を評価している。
- ・累積損傷度の評価式は、実験値の回帰式に対して安全係数 0.7704（非破壊確率 95%）が乘じられている。

○累積損傷度による評価方法

- ・実測や実験結果の比較から、累積損傷度の評価法は十分妥当なものと判断。
- ・安全余裕度については、他の免震装置との整合性をもって設定する。
- ・ダンパーの設計では、累積損傷度ではなく、最大応答変位でサイズや台数が決まる。累積損傷度の数値では余裕があるが、これで設計が決まった訳ではない。
- ・累積損傷度による評価は、地震によりどの程度損傷が累積したかを確認するのに十分妥当なものと考えている。
- ・このような評価が容易になるようにするためにも、モニタリングシステムを設置すべき。

【古屋先生】

○履歴系ダンパーの設計時の安全余裕の考え方

- ・弾塑性ダンパーの許容限界変形については、免震装置のばらつき（最大剛性，最小剛性）を考慮した上で、基準地震動 S_s による最大応答値に対して上回ることを確認する。
- ・弾塑性ダンパーの繰り返し耐力については、鋼材の一般的な疲労照査と同様にマイナー則に基づく累積疲労損傷度を適用し破断に至るまでの繰り返し変形性能を確認する。形状によっては水平 2 方向での変形性能も考慮する。
- ・弾塑性ダンパーの多くは、終局状態に向けて純せん断成分から軸力成分が作用し始めるため、骨格曲線にはハードニングが生じる。このため、JEA4614-2013 での免震装置のハードニング特性を考慮した安全余裕の考え方に準拠し、ハードニング開始点に対して 1.5 以上の安全余裕を確保する（ハードニングの免震実効周期への寄与を避ける）。
- ・繰り返し変形性能の安全性を評価するうえで最新の専門知見をもとに過剰な指標にならないよう留意する。
- ・免震層での減衰要素の多様性を持たせることで安全余裕の確保に留意する。
- ・弾塑性ダンパー接合要素等、免震層の長期使用上での経年対策に留意する。

【日鉄エンジニアリング 渡辺シニアマネージャー】

- ・履歴系ダンパー（鋼材ダンパー）の累積損傷評価の原子炉施設への適用性について、一般建築物に比べて設計用地震動は大きいですが、東北地方太平洋沖地震の実測データや各種実験データを踏まえると累積損傷度による評価は、原子炉施設においても適用の可能性は高いと考える。

（6）フェールセーフの取り扱い

【菊地先生】

○フェールセーフの適用性

- ・建物が擁壁に衝突すると上部構造に過大な応答加速度が生じ、機器の損傷が危惧されるため、擁壁への衝突を前提とした設計はすべきではない。
- ・緩衝材のようなクリアランスを小さくするものは不要。原子炉施設では、一般建築物以上に免震クリアランスには余裕はあるはず。
- ・積層ゴムの破断変形以上の水平クリアランスを設けられれば、擁壁には衝突しない（衝突する前に、積層ゴムが損傷し荷重支持能力を喪失する）。
- ・ただし、積層ゴムの荷重支持能力喪失は何らかの方法で防ぐべき。

○免震層の過大変形と限界状態

- ・フェールセーフの設計における限界状態の設定については、擁壁への衝突及び上部建物過大応答は回避し、免震層が損傷する状態である限界状態3を選択するのが良い。
- ・積層ゴムの荷重支持能力喪失の対策要。
- ・破断変形を防止する高変形性能支承や変位抑制装置の導入。
- ・設計を超える地震力による免震装置（積層ゴム）の荷重支持能力喪失への対策としては、以下の様な例があげられる。
- ・高変形性能支承
 - 支承の径を大きくして変形能力を高める。
 - 複数の積層ゴムを組合せて、トータルで変形を大きくする。
- ・変位抑制装置
 - 可変減衰機構をもつオイルダンパー
(通常の減衰係数は低めで、大変形では減衰が大きくなる)
 - ソフトランディング
(積層ゴムの沈み込みによって、荷重の支持を分担する装置。
摩擦によって変形を押さえる。)

(7) 免震構造に伴う設備設計への影響

【古屋先生】

○渡り配管

- ・渡り配管等の免震構造物－非免震構造物間の設備については、地震時の相対変位が大きくなることに十分留意し、相対変位に追従できる構造とする。
- ・端部のノズル部等は座屈による損傷がないことを確認する。
- ・伸縮継手、ケーブルなどについては、これまでの専門知見が集約されている免震構造協会等の資料を参考に確認項目を設定する。

○大口径配管

- ・規格基準に準拠し、SUS 等の実績がある材料を用いれば大口径配管の課題は少ないと思われる。ただし、口径に関わらず、異材配管溶接、減肉のモニタリング方法、適切なメンテナンス時期の設定などについては、留意する必要がある。
- ・JEAG4614-2019 での主な留意事項として、免震と非免震の渡り部に大口径配管を適用した場合の確認として配管要素の大変位試験が参照されている。この結果、破壊モードが疲労であり評価法としては既往の疲労評価が適用できることが確認されている。

○スロッシング以外に影響を与える可能性のある振動特性

- ・免震層によるフィルタ効果、および、加速度軽減効果により、免震層上部の耐震設計された構造物については、耐力的に課題が生じることはないと考ええる。
- ・スロッシング、渡り部の変位影響以外に特に留意事項はないと考える。
- ・相対的に固有周期が大きくなる機器や原子炉建屋の振動モードを抽出し、免震層の振動特性により有意な応答増幅がないことを確認する。
- ・プールやタンクなど流体を内包する設備については、地震時のスロッシングによる設計条件が非免震時よりも厳しくなる可能性があることに留意する。

4. 免震装置の品質管理（特に地震後の維持管理）に関する留意事項

(1) 地震観測装置等の維持管理への活用

【久田先生】

- ・強震計によるモニタリングはクライシスマネジメントだけでなく、メンテナンスやサイト固

有の地震動評価等に有効。ただし、多様なシステムがあり、施設の重要度や費用対効果などから適宜選択する。

【菊地先生】

- ・目視以上の点検には、変位履歴が必要。
- ・けがき変位計記録を用いた免震U型ダンパーの残存疲労性能評価事例は多数あるが、原点付近の変位履歴の読み取りが困難。
- ・変位時刻歴データが得られれば、免震装置のリアルタイム損傷評価が可能。

【古屋先生】

○履歴ダンパーの維持管理における減衰の観点での確認方法

- ・地震中および地震後の健全性を確認するために地震観測を実施することも考える。

(2) 別置き試験体の設置

【菊地先生】

- ・数十年にわたる運転期間において、積層ゴムの経年による力学性能の評価は必要（以下の2要因）。
 - クリープ変形による特性変化
 - ゴムの酸化による特性変化
- ・縮小試験体：クリープ変形の検証のための軸力導入が容易。
- ・実機：ゴムの酸化による特性変化を直接的に評価可能（縮小試験体ではスケール効果を考慮する必要あり）。
- ・理想的には実大を置きたいが、試験時のハンドリングが困難である、試験をする場所まで運ぶことが難しい等の問題もある。

【ブリヂストン 室田主幹専任部員】

- ・開発初期は、性能変化をモニタリングする目的で、製品と同じゴム材料による縮小体を製作して免震層に設置(サイト別置き)していたが、1990年後半以降、工場での代表製品(工場別置き)によるモニタリングとなり、工場別置き初期のものでも20年を経過している。おおむね、加熱劣化促進による推定範囲に収まっている。工場別置きを設置により、サイト別置きはほとんどなくなってきている。

(3) 発電所における免震構造建屋の設計、地震時及び地震後の対応状況等

【事業者】

- ・女川原子力発電所においては、地上8階建の鉄骨造の事務所を免震構造で建設(2011年8月竣工)しており、既往の強震観測記録、告示3波及びサイト波で設計を行い、さらに告示波レベル2の1.5倍の地震動を用いて余裕度の確認を行った。2011年東北地方太平洋沖地震では、当建屋は建設中(躯体工事が終了し内装仕上げを工事中)であったが、目視点検により、上部構造、下部構造及び免震装置に異常が無いことを確認した。
- ・福島第一原子力発電所においては、地上2階建のSRC造の緊急時対策室を免震構造で建設(2010年6月竣工)しており、告示3波を1.5倍した地震波と基準地震動 S_s (S_{s1} 、最大加速度450Gal、水平1方向を適用)を用いて設計を行った。2011年東北地方太平洋沖地震では、地震観測記録が得られており、基礎上端で756Gal、建物1階で213Galを確認した。地震後の目視点検では、建物及び免震装置に異常が無いことを確認した。また、建物内に設置されていた機器等の転倒も無かった。
- ・福島第二原子力発電所においては、地上3階建のRC造の緊急時対策室を免震構造で建設(2010年3月竣工)しており、告示3波を1.5倍した地震波と基準地震動 S_s (S_{s1} 、最大加

速度 450gal、水平 1 方向を適用)を用いて設計を行った。2011 年東北地方太平洋沖地震では、地震観測記録が得られており、基礎上端で 411Gal、建物 1 階で 184Gal を確認した。地震後の目視点検では、建物及び免震装置に異常が無いことを確認した。また、建物内に設置されていた機器等の転倒も無かった。

- ・ 東海第二発電所においては、地上 3 階建の RC 造の緊急時対策所を免震構造で建設 (2011 年 3 月竣工) しており、告示波 3 波及び観測波 3 波並びに告示波レベル 2 の 1.5 倍の地震動、基準地震動 (当時) を用いて設計を行った。2011 年東北地方太平洋沖地震では、当建屋は竣工前で未使用であったが、事務本館で執務していた職員は本震発生後、免震構造建屋に一時的に避難し地震後の対応を行った。地震後の目視点検では、建物周辺の外構仕上げの一部に不具合が確認されたものの建物構造体や免震装置には異常が無く、補修・交換といった対応は不要であった。

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 構成員名簿

原子力規制委員会

山中 伸介 原子力規制委員会委員
石渡 明 原子力規制委員会委員

外部専門家（順不同、敬称略）

菊地 優 北海道大学大学院 工学研究院 建築都市部門 教授
久田 嘉章 工学院大学 建築学部まちづくり学科 教授
古屋 治 東京電機大学 理工学部機械工学系 教授

原子力規制庁

大村 哲臣 審議官
川内 英史 技術基盤グループ安全技術管理官（地震・津波担当）
大浅田 薫 原子力規制部安全規制管理官（地震・津波審査担当）
大橋 守人 技術基盤グループ地震・津波研究部門 首席技術研究調査官
山崎 宏晃 技術基盤グループ地震・津波研究部門 統括技術研究調査官
猿田 正明 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官
小林 恒一 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官
日高 慎士郎 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官
名倉 繁樹 原子力規制部地震・津波審査部門 安全管理調査官
江崎 順一 原子力規制部地震・津波審査部門 企画調査官
三浦 宣明 原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官
井上 超 原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官
大野 佳史 原子力規制部地震・津波審査部門 安全審査官

（所属及び役職は、令和 2 年 10 月時点のもの。）

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 開催経過

第1回 令和2年2月5日（水）

- (1) 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について
(免震構造の規制に係る経緯等)
- (2) 「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」の目的、主な検討事項等について
- (3) その他

第2回 令和2年6月18日（木）

- (1) 第1回会合での外部専門家からのご意見に対する対応方針
- (2) 検討事項に対する外部専門家からのご意見

第3回 令和2年7月28日（火）

- (1) 第2回会合での外部専門家からのご意見に対する対応方針
- (2) 免震装置メーカー等からの検討事項に関する技術的な観点での意見
- (3) 免震構造に対する事業者のこれまでの取組状況等

第4回 令和2年10月22日（木）

- (1) 第3回会合での外部専門家からのご意見に対する対応方針
- (2) フェールセーフに対する考え方
- (3) 建物・構築物の免震構造に関する検討チームでの主な論点の取りまとめ

「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」について

令和元年12月4日
原子力規制庁

1. 趣旨

現行の実用発電用原子炉施設に関する基準規則の解釈¹(以下「現行の解釈」という。)では、免震構造の特性を考慮した基準地震動の策定、緊急時対策所や特定重大事故等対処施設に対する免震構造の採用に関して言及されているものの、これらの施設の建物・構築物に免震構造を採用した場合の審査の考え方及び具体的な確認事項は示されていない。

免震構造については、一般建築物における設計、施工、運用の実績が豊富にあり、発電用原子炉施設の建物・構築物においても民間規格の整備がなされ、新たに免震構造を採用する動きがみられる。

しかし、免震構造は発電用原子炉施設における工事計画認可実績がなく、当該実績を有する耐震設計とも設計思想が異なる。このため、今後免震構造を採用する発電用原子炉施設の建物・構築物について合理的かつ効率的に設置許可並びに工事計画認可に係る審査を実施するため、原子力規制委員会として現行の解釈のうち免震構造に係る規定の改正及び建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド(以下「審査ガイド」という。)の策定を行う必要がある。

このため、現行の解釈との整合性を考慮した上で、原子力規制庁において審査ガイドに係る検討を進め(別紙1)、審査ガイドのドラフト(別紙2)を作成した。今後、審査ガイドの完成に向け、免震構造に関する技術的事項を公開の場で議論するため「建物・構築物の免震構造に関する検討チーム」(別紙3)を設け、所用の検討を行うこととしたい。

¹ 実用発電用原子炉施設に関する基準規則の解釈は以下を指す。

- ・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))
- ・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))

2. 検討の進め方

- ①検討チームは、別紙3に示す原子力規制委員会委員、原子力規制庁職員及び外部専門家で構成する。
- ②検討チーム会合は、公開の場で議論するとともに、資料も原則公開とする。
- ③検討の過程において、事業者及び免震装置メーカー等から、技術的観点の意見を聴取する。

3. 今後の予定

1月中 第1回検討チーム会合の開催（以降順次開催）

検討チームにおける免震構造に関する技術的事項に係る検討結果も踏まえ、現行の解釈のうち免震構造に係る規定の改正案及び審査ガイドの案を作成し、改めて原子力規制委員会に諮ることとする。

「建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド（ドラフト）」について

1. 免震構造の規制に係る経緯について

(1) 免震構造の規制に関する技術的事項の検討

原子力発電所における免震構造の採用については、2007年の新潟県中越沖地震を契機として、独立行政法人原子力安全基盤機構（以下「JNES」という。）が、外部専門家を含めた検討会を JNES 内に設置し、平成 22 年度に免震構造の審査に資する規制の考え方の検討を開始した。

その後、「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）」では、基準地震動の策定に関し免震構造を適用する場合の留意点が記載されるなど、原子力発電所における免震構造適用のための規制上の整備を進めた。

こうした背景の下、JNES は、具体的な審査案件が出てきた場合を念頭に、平成 25 年 12 月に「免震構造の審査手引きの提案」を作成した。

(2) 免震構造に係るこれまでの審査

平成 25 年 7 月に九州電力（株）川内原子力発電所 1、2 号炉の設置変更許可の申請があり、免震構造の建屋内に設置される緊急時対策所の設置変更許可に係る審査を行った。当該施設の審査については、上記の「免震構造の審査手引きの提案」を参考に進め、平成 26 年 9 月に設置変更許可を行った。

しかし、平成 28 年 3 月に九州電力（株）から、建屋に設置する免震装置の仕様では基準地震動 S_s に対する設計の成立性に見通しを得ることができないことから、緊急時対策所の設置を免震構造の建屋内から実績のある耐震構造の建屋内に変更する設置変更許可申請があった。当該施設の審査においては、耐震構造の建屋内に設置する緊急時対策所の設計方針が審査基準に適合することを確認し、平成 29 年 2 月に設置変更許可を行った。

なお、川内原子力発電所を含め、これまで免震構造の建屋に係る複数の申請事例のいずれも工事計画認可申請に係る審査まで完了に至った事例はないが、事業者の中には、これまでの経験と知見を踏まえて免震構造の施設を導入しようとする動きがある。

2. 審査ガイドのドラフトの作成について

(1) 審査ガイドのドラフトの作成の方針

審査ガイドのドラフトの作成にあたっては、以下の点に留意して検討を進めた。

- ・「免震構造の審査手引きの提案」を基に、免震構造の建物・構築物を対象に設計方針や詳細設計に係る審査における確認事項を明確化し、免震構造を採用した施設に関する審査を合理的かつ効率的に行えること
- ・経験が少ない免震構造の審査を効率的に行うため、「耐震設計に係る工認審査ガイド²⁾」の構成と整合し、かつ同規定と対比できるよう配慮すること

- ・工事計画認可の審査を対象とした審査ガイドの構成をとるものの、設計の基本方針の妥当性を設置許可に係る審査において確認し、設計の詳細の妥当性を工事計画認可に係る審査において確認できること
- ・川内原子力発電所等での審査実績を踏まえ、審査において課題となった事項や免震構造に特有な事項に関する記載を充実すること

(2) 審査ガイドのドラフトの作成にあたっての技術的ポイント

免震構造は、建屋等の構造物とその設置地盤等の間に免震装置を設置することで地震荷重を低減するものであり、従来の耐震構造とは大きく異なることから、審査ガイドのドラフトの作成においては、以下の観点での検討を行った。

①耐震構造と免震構造の設計思想の違い

耐震構造の設計は地震力に対して構造部材の強度と靱性により耐えるものである一方、免震構造の設計は、免震装置により地震動に対する加速度応答を低減し変位応答を制御するものであり、このような設計思想の違いを踏まえた検討を行った。

②一般建築物と発電用原子炉施設との要求事項の違い及び発電用原子炉施設の構造・仕様上の特徴

発電用原子炉施設の建物・構築物は、安全上重要な設備を支持する等の重要性から一般建築物よりも高い安全性が要求されるため、一般建築物よりも厳しい要求事項(基準地震動の策定方法、荷重の算定及び組合せの方法、地震時及び地震後の安全機能保持等)を満たす設計が行われている。また、発電用原子炉施設では、安全上重要な設備が複数の建屋に設置され、建屋間をまたいで設置される配管及び管路が多数存在し、その仕様も多様であるといった構造・仕様上の特徴を有する。このような要求事項の違い及び構造・仕様上の特徴を踏まえ、発電用原子炉施設に免震構造を採用する場合の検討を行った。

その上で、特に次の技術的事項に留意しつつ審査ガイドのドラフトを作成した。

- ・免震構造の審査の考え方(免震装置の役割、要求性能等)
- ・免震構造の設計に用いる基準地震動(長周期成分、継続時間等)
- ・免震構造の設計に関する基本事項(免震装置の許容限界、他施設や設備への影響等)
- ・免震装置の品質管理(特に地震後の維持管理)に関する留意事項

なお、今後は、これらの技術的事項について、外部専門家を含めた検討チームにおいて議論を行い、審査ガイドの更なる充実を図るため必要に応じてドラフトへの反映を検討する。

1 平成25年度 第36回原子力規制委員会 資料3 免震構造の審査手引きの提案について、平成25年12月18日、独立行政法人原子力安全基盤機構

2 耐震設計に係る工認審査ガイド(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))

**建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド
(ドラフト)**

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 専門用語の定義 | 4 |
| 2. 基本事項 | 5 |
| 2.1 免震設計の基本方針 | 5 |
| 2.2 免震設計における重要度分類 | 6 |
| 2.3 基準地震動 | 7 |
| 3. 免震構造物の設計に係る事項 | 8 |
| 3.1 使用材料及び材料定数 | 8 |
| 3.2 荷重の組合せ | 10 |
| 3.3 許容限界 | 11 |
| 3.4 地震応答解析 | 12 |
| 3.5 免震構造物の設計 | 15 |
| 3.6 免震構造に伴う設備設計 | 17 |
| 3.6.1 免震構造物－非免震構造物間のインターフェース | 17 |
| 3.6.2 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 | 18 |
| 3.6.3 免震構造の応答性状による影響 | 18 |
| 3.7 その他留意事項 | 19 |
| 4. 免震構造物の品質管理・維持管理に係る事項 | 20 |
| 4.1 免震要素の品質管理 | 20 |
| 4.2 免震要素の製造時における試験による性能確認 | 20 |
| 4.3 免震構造物の使用前検査 | 21 |
| 4.4 供用期間中における免震要素の維持管理 | 21 |
| 5. 附則 | 22 |

1. 総則

1.1 目的

本ガイドは、実用発電用原子炉施設及びその附属施設（以下「実用発電用原子炉施設等」という。）の免震設計に関わる審査において、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六号）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の妥当性を厳格に確認するために活用することを目的とする。

1.2 適用範囲

本ガイドは、実用発電用原子炉施設等に適用される。なお、本ガイドの基本的な考え方は、原子力関係施設及びその他の原子炉施設にも参考となるものである。

設置（変更）許可に係る審査においては、本ガイドに示す設計の基本方針の妥当性を、工事計画認可に係る審査においては、その詳細の妥当性を確認する。

1.3 本ガイドの適用に当たっての留意事項

- ① 本ガイドにおいて使用する用語は、規制基準において使用する用語の例による。また、免震構造に特有な用語は、後述の「1.4 専門用語の定義」に示す。
- ② 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等に適用する。従来の耐震構造が地震力に対して構造部材の強度と靱性により抵抗しつつ耐震安全性を確保するのに対して、免震構造は、地震動に対する加速度応答を低減し変位応答を制御しつつ耐震安全性を確保するものである。

本ガイドにおいて審査対象とする実用発電用原子炉施設等は、後述「2.2 免震設計における重要度分類」のSクラスの施設とし、安全上重要な設備を間接支持する建物全体を免震構造とする場合の設計方法に係る確認事項及び確認内容について主に記載する。

また、当該建物に支持される安全上重要な設備の耐震設計の方法

については、免震構造により低減された地震動等に対して「耐震設計に係る工認審査ガイド」における規定を基本的に適用することとし、本ガイドにおいては、免震構造に伴う設備設計への留意事項を記載する。なお、本ガイドに記載の無い事項については、関連する実用発電用原子炉施設に係るガイドを参考にし、適切な評価がなされていることを確認することとする。

- ③ 本ガイドにおいては、ガイド作成時点で実用発電用原子炉施設等に適用実績のある耐震設計に関わる規格及び基準の規定、並びに既往の研究成果等（以下「規格及び基準等」という。）について適用可能なものを④項に示した。また、実用発電用原子炉施設等に適用実績はないが、同施設等の免震構造物の設計において参考とすべき規格及び基準等についても⑤項に示した。なお、免震構造物の設計に関わる新たな規格及び基準等、耐震設計に関わる新たな規格及び基準等、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とする。
- ④ 実用発電用原子炉施設等に適用実績のある耐震設計に関わる規格及び基準等を示す。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
 - ・ 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 (JGS 1521-2003) 地盤の平板載荷試験方法
 - ・ 地盤工学会基準 (JGS 3521-2004) 剛体載荷板による岩盤の平板載荷試験方法
- ⑤ JEAG4601 以外で、本ガイド作成時点で公表されている免震設計に関わる規格及び基準等として、参考とすべきものを以下に示す。
- ・ 原子力発電所免震構造設計技術指針 JEAG4614-2013 ((社)日本電気協会) (以下「JEAG4614」という。)
 - ・ 免震構造施工標準-2017- ((一社)日本免震構造協会、2017年版)
 - ・ 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)
 - ・ 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)

- 会、2018年版)
- ・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)
 - ・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<改定版> ((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2版> ((一社) 日本免震構造協会、2014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((一社) 日本免震構造協会、2012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)
 - ・設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック<改訂版>-2017- ((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)
- ⑥ 上記④の指針又は⑤の規格及び基準等のうち JEAG4601 及び JEAG4614 における規定については、規制基準に対応し適用可能なものに対して、必要に応じて、規制基準で定めた用語に読み替えて、また、JEAG4601 及び JEAG4614 が適合する「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※に留意して準用することとする。
- ※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、Asクラスを含むAクラス全体をSクラスとし、従来のAsクラスに適用される設計方針をAクラス全体に適用することとしている。
 - ・鉛直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、Asクラス及びAクラスにおいて水平方向の地震動の最大加速度振幅の1/2を高さ方向に一定の震度として考慮(静的地震力と同様に設定)していたが、平成18年の耐震指針改訂以降は、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、動的に地震力を算定することとしている。
- ⑦ 免震構造物の設計に対して上記④の指針又は⑤の規格及び基準等における規定を適用する場合は、適用条件、適用範囲に留意して適

用していくこととする。また、上記④の指針又は⑤の規格及び基準等における規定によらない場合は、既往の研究成果等において試験、解析等により妥当性が確認されている手法、設定等について、適用条件、適用範囲に留意し、その適用性を確認していくこととする。

- ⑧ 免震構造物の設計においては、機器・配管系を内包する上部構造物と下部構造物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、耐震構造とは波及的な影響を及ぼす要因と影響の程度が異なることから、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、検討が必要な場合があるため、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、検討について確認することが重要である。

1.4 専門用語の定義

本ガイドで用いる専門用語の定義を以下に示す。

| | |
|--------|---|
| 免震構造 | 免震装置を導入して地震応答の低減を図る構造（形式）の総称。 |
| 免震要素 | 免震装置を構成する最小単位をいい、例えば積層ゴム、ダンパー等がある。 |
| 免震装置 | 免震機能を果たすための装置をいい、複数の免震要素により構成される。 |
| 免震機能 | 構造物を支持するとともに地震荷重を低減する機能をいう。 |
| 免震構造物 | 上部構造物と下部構造物及び免震装置を合わせたものをいう。 |
| 上部構造物 | 免震構造物のうち免震装置より上の部分をいう。 （免震装置は含まない。） |
| 下部構造物 | 免震構造物のうち、免震装置より下の部分をいう。 （免震装置は含まない。例えば、ペDESTAL、下部基礎版、杭等がある。） |
| 免震層 | 上部構造物と下部構造物との間で免震装置が設置される層。 |
| 非免震構造物 | 免震を導入しない構造物（建物・構築物、設備） |
| 渡り配管等 | 免震構造物と周囲の非免震構造物間を跨ぐ配管、ケーブル等をいう。 |

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】

実用発電用原子炉施設等の免震設計の基本方針に関する要求事項としては、規制基準における耐震設計に関する要求事項と同様に、施設のうち耐震設計上特に重要なものは、その供用中に当該施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震によって作用する地震力に対してその安全機能に大きな影響を及ぼすおそれがないものでなければならないことであり、この要求事項を満たす基本方針として以下を確認する。

- (1) Sクラスの施設は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できるように設計していること。また、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計していること。
- (2) Sクラスの施設は、Sクラスの設計荷重に対して十分な支持機能を有する地盤に設置されていること。
- (3) Sクラスの施設は、下位の分類に属するものの波及的影響により、その安全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) 実用発電用原子炉施設等に免震構造を適用する場合には、これまでに適用実績の無い材料、装置、構造形式が用いられること、また、地震時の施設の応答性状も耐震構造の場合とは異なること等の特徴がある。しかしながら、これらの特徴を考慮しても施設の安全性、信頼性が損なわれてはならず、耐震構造と同程度の安全性、信頼性を確保すること。
- (2) 適用実績のある耐震設計に関わる規格及び基準として JEAG4601 又は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)の規定を準用する場合は、昭和56年耐震設計審査指針によるAsクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設と、昭和56年耐震設計審査指針による基準地震動S2、S1をそれぞれ基準地震動Ss、弾性設計用地震動Sdと読み替え、必要に応じて、規制基準の要求事項に留意して用いていること。
- (3) 免震設計の基本方針として、規制基準の要求事項に基づき、弾性設計用地震動、静的地震力による設計も審査における確認事項として規定したが、免震構造物については、後述(3.3 許容限界)の

とおり基準地震動に対してほぼ弾性範囲の応答に留める等、安全余裕を付与した設計を実施することを想定しており、基準地震動による設計が弾性設計用地震動による設計を包絡していることから、弾性設計用地震動による設計を省略できるものとした。また、この場合、静的地震力については、耐震設計において静的地震力が果たしていたと考えられる、地域によらず一定の耐震性を付与するとの役割を踏まえ、基準地震動による免震設計を補うものとして、免震構造物の設計に考慮することとする。静的地震力の算定に際しては、以下の規格及び基準が参考になる。

・JEAG4601

・JEAG4614

- (4) Sクラスの施設の基礎地盤の支持性能については、基準地震動 S_s により生じる施設の基礎地盤の接地圧が、安全上適切と認められる規格及び基準に基づく限界値に対して妥当な余裕を有していること。規格および基準を以下に示す。

・JEAG4601

・地盤工学会規準 (JGS 1521-2003)

・地盤工学会規準 (JGS 3521-2004)

- (5) 免震設計を実施するに当たっては、耐震設計と同様に、少なくとも次に示す事項について、上位の分類に属するものの安全機能への影響が無いこと、また、影響評価に関して、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果が妥当であること、並びに、影響評価に当たって、上位の分類に属するものの設計に用いる地震動又は地震力を適用し、上位の分類に属するものに波及的影響を与えないことを妥当な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損傷、転倒、落下等による上位クラスへの影響
- iv) 建屋外における下位クラスの損傷、転倒、落下等による上位クラスへの影響

2.2 免震設計における重要度分類

【審査における確認事項】

免震設計における重要度分類について、耐震設計上の重要度分類を

適用することとし、以下を確認する。

- (1) 施設の耐震設計上の重要度を、地震により発生する可能性のある安全機能の喪失及びそれに続く環境への放射線による影響を防止する観点並びにこれらの影響の大きさから、規制基準に則り施設の機能に応じて適切に分類していること。
- (2) 施設を構成する設備を適切に区分し、その区分ごとに耐震設計上の重要度分類を適用していること。

【確認内容】

免震設計における重要度分類について、耐震設計上の重要度分類を適用することとし、以下を確認する。

- (1) 施設の耐震設計上の重要度分類は、JEAG4601の規定を参考に、昭和56年耐震設計審査指針によるAsクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設と読み替え、必要に応じて、規制基準の要求事項に留意して用いていること。
- (2) 施設を構成する設備は、JEAG4601の規定を参考に、主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物及び設備相互間の影響を考慮すべき設備に区分していること、また、設備の区分ごとに、JEAG4601の規定を参考に、昭和56年耐震設計審査指針によるAsクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設と読み替え、必要に応じて、規制基準の要求事項に留意して、耐震設計上の重要度分類を適用していること。免震構造物を構成する上部構造物、下部構造物及び免震装置は、いずれもSクラスの設備の間接支持構造物として位置付けられ、Sクラスの施設には含まれないが、基準地震動に対して支持機能、免震機能及び支持する設備の有する安全機能の保持が要求される。

2.3 基準地震動

【審査における確認事項】

実用発電用原子炉施設等の免震設計に用いる基準地震動については、以下に示すとおり、耐震設計に用いる基準地震動と組み合わせてSクラスの施設の設計に適用していることを確認する。

- (1) 耐震設計に用いる基準地震動に加えて、規制基準の要求事項に基づき、免震設計に用いる基準地震動を必要に応じて策定していること。
- (2) 耐震設計に用いる基準地震動と免震設計に用いる基準地震動の双方について、水平方向及び鉛直方向の基準地震動を免震構造物の設計に適用していること。なお、「3. 免震構造物の設計に係る事項」以降において

は、耐震設計に用いる基準地震動と免震設計に用いる基準地震動の双方を「基準地震動」と総称する。

【確認内容】

実用発電用原子炉施設等の免震設計に用いる基準地震動については以下を確認する。

- (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に着目して地震動評価を実施し、必要に応じて他の施設とは別に免震設計に用いる基準地震動を策定していること。
- (2) 免震構造物の周期特性に着目した基準地震動の策定においては、従来の基準地震動が短周期における敷地または施設への影響に着目していることを踏まえ、国土交通省の技術的助言^{※1)}を参考に、やや長周期（一般的には2～5秒程度）における敷地への影響に着目した地震の想定及び検討用地震の選定について検討が必要である。具体的には、従来の基準地震動の策定における検討用地震に対して、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検討用地震として選定し、やや長周期における敷地または施設への影響を比較する等して、免震設計に用いる基準地震動に係る検討用地震の選定可能性を検討すること等が考えられる。また、策定過程の配慮として、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の確認が必要である。
- (3) 耐震設計に用いる基準地震動と免震設計に用いる基準地震動の双方について、水平方向及び鉛直方向の基準地震動を免震構造物の設計に適用していることを確認する。

※1) 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）」

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】

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 免震装置の構造設計においては、安全上適切と認められる規格及び基準等に基づく材料及び材料定数を使用していること。
 - ② 免震装置を構成する免震要素の材料定数について、ばらつきによる変動幅を適切に設定していること。

- (2) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）
- ① 上部構造物及び下部構造物の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及び基準等に基づく材料及び材料定数を使用していること。
 - ② 上部構造物及び下部構造物の材料定数について、ばらつきによる変動幅を適切に考慮していること。

【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 「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、参考になる規格及び基準等を以下に示す。
 - ・ JEAG4614
 - ・ 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)
 - ・ 設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック<改訂版>-2017-((社)日本免震構造協会、2017年版)
 - ② 免震要素の地震応答解析に用いる材料定数の諸元及び変動幅については、免震要素特性確認試験等に基づいて適切に設定されていること。例えば、これらについては以下に示す規格及び基準等を参考とする。また、材料定数の変動が免震機能に及ぼす影響を検討していること。
 - ・ JEAG4614
 - ・ 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)
 - ・ 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)
- (2) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）
- ① 「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、適用可能な規格及び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 ー許容応力度設計法ー ((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)

- 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、材料のばらつきによる定数の変動幅が既往の実績に基づき適切に設定されていること。また、材料定数の変動が建物・構築物の振動性状（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、建物・構築物の地震力や機器・配管系への入力地震動等に及ぼす影響を検討していること。

3.2 荷重の組合せ

【審査における確認事項】

地震力と地震力以外の荷重の組合せについては以下を確認する。

- ・ 地震力と地震力以外の荷重は、規制基準の要求事項に基づき、適切に組み合わせていること。
- ・ 免震構造の適用に起因する荷重がある場合は、必要に応じて荷重の組合せに反映していること。

【確認内容】

地震力と地震力以外の荷重の組合せについては以下を確認する。

- ・ 建物・構築物について、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、必要に応じて、基準規則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、地震力とそれ以外の荷重とを組み合わせていること。
- ・ 地震力以外の荷重として事故時の荷重（温度荷重、圧力荷重、機器・配管反力荷重）等を考慮する場合においては、施設の設計あるいは施設の状態を踏まえて事象を想定した上で、事象の発生確率、継続時間、荷重発生の同時性などを考慮して、地震とそれ以外の荷重の組合せを適切に行うこと。

また、地震力以外の荷重として自然現象による荷重を考慮する場合においても、上記の事故時の荷重と同様に、事象の発生確率、継続時間、荷重発生 の同時性などを考慮して適切に組み合わせること。

例えば、多雪地域では運転時、暴風時、事故時、地震時にも積雪荷重を考慮すること。

- ・ 免震構造物特有の荷重として、免震装置の取替え時に生じる荷重について、必要に応じて考慮すること。

3.3 許容限界

【審査における確認事項】

基準地震動による地震力に対して免震装置、上部構造物及び下部構造物がそれぞれに要求される機能を保持するための許容限界については、以下を確認する。

(1) 免震装置

免震装置の許容限界は、適切な方法等により設定していること。

(2) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）

上部構造物及び下部構造物の許容限界は、免震構造の特性を考慮し、安全上適切と認められる規格及び基準等に基づき許容限界を設定していること。

【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

- ① 免震装置の許容限界は、当該装置を構成する免震要素に応じて、上部構造物の保有すべき安全余裕及び免震装置の特性のばらつき等の影響を考慮した上で設定していること。一般的な免震要素として、積層ゴム、ダンパー及び鋼材（フランジ、ボルト等）の許容限界を以下に例示する。
 - a) 積層ゴムの許容限界については、免震要素の個体ごとの特性のばらつき等を考慮し、既往の研究等を参考に、せん断ひずみ、圧縮応力度及び引張応力度を適切に設定していること。
 - b) ダンパーの許容限界については、ダンパーの構造、仕様に応じた特性値（例えば累積疲労損傷度（鋼材ダンパー、鉛ダンパー等）、変位（摩擦ダンパー等）、速度（粘性ダンパー等））において設計で期待している減衰性能を維持できる制限値として設定していること。例えば、免震要素としての積層ゴムとともに設置されるダンパーは、積層ゴムに設定される線形限界まで設計で考慮した減衰性能を維持していることを確認する。
 - c) 鋼材の許容限界は、間接支持構造物である建物・構築物に適用実績のある規格・基準に準じて設定していること。

- ② 免震装置の許容変位の設定にあたっては、上記①の規定に加えて、後述の「3. 免震構造物に係る設計 3.6 免震構造に伴う設備設計、3.7 その他留意事項」を考慮していること。
- (2) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）

上部構造物については、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することから、上部構造物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とを考慮して、原則としてほぼ弾性範囲（鉄筋コンクリート造の場合は鉄筋が降伏しない範囲等）に留める必要がある。

また、下部構造物の許容限界については、免震構造の性能確保の観点から、原則としてほぼ弾性範囲に留めることとし、耐震設計において適用実績のある規格及び基準等を参考に設定していること。

3.4 地震応答解析

【審査における確認事項】

免震構造物の地震応答解析については、以下の(1)～(5)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、上部構造物、下部構造物及び免震装置等の振動性状に応じた適切な地震応答解析手法を用いていること。
- (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、上部構造物及び下部構造物の振動性状を適切に評価できるモデルを適用していること。また、下部構造物と周辺の地盤との相互作用についても適切にモデル化していること。
- (3) 入力地震動の取扱い
- ・免震構造物の地震応答解析モデルへの入力地震動を適切に算定していること。
- (4) 設計用地震力
- ・免震構造物の設計用地震力の設定にあたっては、基準地震動を用いて算定した動的地震力を適用していること。また、設計用地震力の設定にあたり、免震要素等の物性値のばらつきによる変動幅を適切に考慮していること。
 - ・上部構造物及び下部構造物の設計用地震力の設定にあたっては、静的地震力を考慮していること。

- (5) 水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せ
- ・水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せは、免震構造の特性を考慮し、適切な方法を用いていること。

【確認内容】

地震応答解析については以下の(1)～(5)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、基本的に時刻歴地震応答解析手法を用いていること。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することができる。
- ② 地震応答解析手法の設定にあたっては、JEAG4601、JEAG4614の規定及び既往の研究等を参考とするとともに、手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、適切な手法を検討すること。地震応答解析手法の妥当性については、地震観測記録や試験の再現性解析等による検討及び評価等で確認していること。

(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、採用する免震装置の剛性及び減衰特性等を免震要素確認試験等に基づいて適切にモデル化していること。
 - ② 上部構造物及び下部構造物の地震応答解析モデルは、基準規則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モデル化していること。
 - ③ 上部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を採用していること。
 - ④ 下部構造物と周辺地盤の相互作用のモデル化にあたっては、周辺地盤の物性値に基づいて算定した剛性及び減衰特性を考慮していること。
- ①～④の確認に当たっては、地震応答解析モデルの例として以下の規格及び基準を参考とする。

- ・ JEAG4601
- ・ JEAG4614
- ・ 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)
- ・ 免震構造設計指針 ((一社) 日本建築学会、2013年版)

(3) 入力地震動の取扱い

- ① 入力地震動は、解放基盤表面レベルと下部構造物下端の位置関係を考慮し、JEAG4601の規定を参考に算定していること。
- ② 解放基盤表面から下部構造物下端への地震波の伝播を考慮する場合には、必要に応じて地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する

こと。なお、伝播特性については、敷地における地震観測記録のシミュレーション解析等に基づいて、科学的・技術的知見を踏まえ、その妥当性を確認していること。

- ③ 入力地震動の算定に用いる地盤の地震応答解析モデルの物性値は、JEAG4601の規定を参考に設定していること。また、物性値の変動幅について適切に考慮していること。

(4) 設計用地震力

- ① 基準地震動に対して、上記(1)、(2)及び(3)を踏まえて実施した地震応答解析結果に基づいて、設計用地震力(動的)を設定していること。この場合は、免震装置、上部構造物及び下部構造物に関する物性値のばらつき等をそれぞれ考慮し、安全側の評価になるような設計用地震力(動的)を設定していること。例えば、免震要素の物性値のばらつきについては以下に示す規格及び基準等を参考とする。

・ JEAG4614

・ 免震部材標準品リスト<改訂版>-2009-((社)日本免震構造協会)

・ 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)

・ 設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック<改訂版>-2017- ((一社)日本免震構造協会、2017年版)

- ② 静的地震力は規制基準に準拠し、免震構造物の応答性状を考慮して、水平及び鉛直方向の設計用地震力(静的)を設定していること。この場合、水平方向の静的地震力の設定に際しては、例えば、以下に示す規格及び基準等が参考になる。

・ JEAG4614

また、鉛直方向の静的地震力の設定に際しては、一般的には鉛直方向に非免震であり、従来の耐震構造と同様の考え方から、規制基準に準拠していること。

- ③ 免震構造の設計に用いる設計用地震力は、一般産業施設又は公共施設等の免震構造物の設計用地震力を下回らないこと。例えば、一般産業施設又は公共施設等の免震構造物の設計用地震力については以下に示す規格及び基準等を参考とする。

・ 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)

・ 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)

・ 免震構造設計指針 ((一社)日本建築学会、2013年版)

(5) 地震力の組合せ

水平2方向及び鉛直方向の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を適用していること。（例えば、水平2方向についてはSRSS（Square Root of Sum of Squares）法、荷重係数法等で組合せ、水平と鉛直方向については絶対値和等で組合せる等）

また、時刻歴波（例えば断層モデルにより求めた基準地震動）等を入力地震動として用いて、建屋の三次元応答解析を行う場合は、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、応答の同時性を考慮していること。

3.5 免震構造物の設計

【審査における確認事項】

(1) 免震装置の配置設計

免震構造物は、免震層において剛心と重心の位置が大きく相違していると、地震時にねじれ挙動が生起されることがあるため、剛心及び重心の位置に大きな相違が無いことを確認する。

(2) 免震装置の設計

免震装置は、間接支持構造物としての機能を保持するための接続部を含む免震装置全体の支持機能及び減衰機能が要求される。供用期間中に継続してこれらの機能が保持できることを確認する。

(3) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）の設計

上部構造物及び下部構造物の設計については、免震機能を考慮した上で基準地震動に対して、適切に設計されていることを確認すること。

【確認内容】

免震構造物の設計については以下の(1)～(3)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、地震時相対変位の増大等の原因となるため、上部構造物の重量分布とそれに応じた免震装置の配置に留意して、剛心と重心の位置が極力一致するように設計されていること。剛心と重心が一致しない場合は、ねじれ挙動が表現できるように、3.4(2)の地震応答解析モデルに反映させること。例えば、免震装置の配置設計については以下に示す規格及び基準等を参考とする。

・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)
- ・免震構造設計指針 ((一社) 日本建築学会、2013年版)

(2) 免震装置の設計

免震装置の設計については以下を確認する。

① 支持機能

免震装置については、常時荷重、鉛直地震力による荷重及び水平変形に伴うロッキング荷重等の組合せに対して上部構造物を支持する機能が維持されていること。

支持機能として要求される免震装置は、一般的には積層ゴムであるので、これを主な規定としているが、その他にころがり支承又はすべり支承が適用又は併用されることもあるため、これらについても規定に含めた。

a) 積層ゴム

地震時変形が支持機能に影響を与える可能性があるため、基準地震動による水平変形時のせん断ひずみが許容限界未満であること。また、基準地震動における上述の荷重の組合せに対する圧縮応力度が許容限界未満であること、および引張応力度が許容限界未満であること。

b) ころがり支承又はすべり支承

基準地震動によるロッキング変形を含む地震荷重及び常時荷重に対し支持機能を維持していること。

② 減衰機能

減衰性能については、ダンパー機構に応じて、基準地震動により発生する変形量等が許容限界 (3.3(1)①b)に示す。) 以下であること。なお、許容限界まで減衰性能を維持できていることが確認されていること。

a) 履歴系ダンパー

履歴系ダンパーの例としては、鋼材ダンパー等があげられる。履歴系ダンパーは、許容限界及び累積疲労損傷度 (3.3(1)①b)に示す。) まで設計で考慮した減衰性能を保持しなければならない。

b) 流体系ダンパー

流体系ダンパーの例としては、オイルダンパーや粘性体ダンパー等があげられる。流体系ダンパーは、許容限界変位及び許容限界速度 (3.3(1)①b)に示す。) まで設計で考慮した減衰性能を保持しなければならない。

c) 摩擦系ダンパー

摩擦系ダンパーは、許容限界変位 (3.3(1)①b)に示す。) まで設計で考慮した減衰性能を保持しなければならない。

また、①支持機能及び②減衰機能に対する免震装置の設計については以下に示す規格及び基準等を参考とする。

- ・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）
 - ・設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック<改訂版>-2017-（（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）
 - ・免震部材標準品リスト<改訂版>-2009-（（社）日本免震構造協会）
- (3) 上部構造物（建屋）及び下部構造物（ペデスタル、下部基礎版、杭等）の設計

基準地震動に対する地震応答解析から求まるロッキング挙動及びねじれ挙動を含む水平応答値及び鉛直応答値から定めた設計用地震力（動的）及び静的設計用地震力に対して、各部材が3.3(2)に示す許容限界以下であることを確認する。また、上部構造物と擁壁等の周辺構造物とのクリアランスが S_s 地震時の免震装置部の応答変形に対し妥当な余裕を有していることを確認する。

3.6 免震構造に伴う設備設計

上部構造物に支持されるSクラスの設備の耐震設計の方法については、免震構造により低減された地震力等に対して「耐震設計に係る工認審査ガイド」の規定を基本的に適用する。耐震設計と異なる免震構造に伴う設備設計については、3.6.1～3.6.3に記載する。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上の配慮事項は、免震装置等の仕様及び建屋に設置される設備の構造・仕様並びにそれらの振動特性及び相対関係に依存するものであるため、3.6.1～3.6.3に記載された事項以外の影響要因及び配慮事項についても確認する等、個別の検討が必要である。

3.6.1 免震構造物－非免震構造物間のインターフェース

【審査における確認事項】

免震構造に伴う設備設計においては、地震時における建屋間（上部構造物と下部構造物間を含む）の相対変位に追従するよう、建屋間のインターフェース部を適切に設計していることを確認する。

【確認内容】

免震構造物－非免震構造物間のインターフェース部については以下を確認する。

(1) Sクラスの渡り配管等の地震時健全性

- ・渡り配管等の免震構造物－非免震構造物間の設備について、基準地震動による相対変位に対する機能保持を検討する際は、

JEAG4614、JEAG4601の規定及び既往の研究等を参考にインターフェース部の健全性を確認していること。

(2) 免震機能への影響

- ・ 渡り配管、ケーブル、渡り床等の剛性等が、上部構造物の地震応答に大きな影響を与えないこと。これらが地震応答に影響を与える可能性がある場合は、3.4(2)の地震応答解析モデルのモデル化に反映させること。
- ・ 免震装置の作動時における上部構造物と擁壁等の周辺構築物との衝突等が免震機能に影響を与えないこと。具体的には、地震応答解析等から上部構造物と周辺構築物間の地震時の相対変位を算定し、配置図により周辺構築物等とのクリアランスが十分にあることを確認する。

3.6.2 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、非免震時よりも耐震設計条件が厳しくなる設備を明示し、これらに対しても耐震性を確保すること。

【確認内容】

非免震時よりも耐震設計条件が厳しくなる設備を明示した上で、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発生値が許容限界内であることを確認する。また、耐震重要度の低い設備がSクラス施設の安全機能に波及的影響を与えないことを確認していること。

免震構造の採用により設備設計への影響検討が必要となる設備の例を以下に示す。

使用済み燃料プール水等のスロッシング（長周期振動）

3.6.3 免震構造の応答性状による影響

【審査における確認事項】

上部構造物に内包される設備の設計に当たっては、水平2方向と鉛直方向の地震動に対する応答の同時性が設備の設計に及ぼす影響を確認すること。

【確認内容】

水平2方向の地震動に対して、必要に応じてねじれ挙動を考慮して、上部構造物に内包される設備の各方向の水平地震力を設定しているこ

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、上部構造物に内包される設備の設計において、同時性が及ぼす影響を考慮すること。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を行った上で、当該地震力に対して、JEAG4601の規定及び既往の研究等を参考に当該設備の健全性を確認すること。

3.7 その他留意事項

【審査における確認事項】

その他留意事項について、以下に記載する。

(1) 免震装置の性能の変化に係る考慮

- ・免震要素の製造工程、経年変化及び温度変化等による免震要素の特性のばらつきを考慮していること。
- ・地震以外の外的事象に対しても、必要に応じて対策を講じていること。

(2) その他

- ・フェールセーフ機構を設置する場合又は塵埃防止カバー等の免震装置の経年化対策を実施する場合には、免震構造を採用した施設の機能への影響を検討していること。

【確認内容】

留意事項については以下を確認する。

(1) 免震装置の性能の変化に係る考慮

- ・免震要素の製造工程に起因する特性（剛性、減衰等）のばらつき並びに経年変化及び温度変化による特性のばらつきを考慮しても、免震装置は必要な免震機能を保持していること。また、これらのばらつきが上部構造物の応答性状に与える影響を把握するとともに、上部構造物及び内包される設備等の設計に反映させること。
- ・免震要素について、性能確認試験等で把握した免震装置特性のばらつきにより渡り配管、ケーブル、渡り床等について、地震応答解析等から地震時の相対変位を確認し、配置図により他の構造物とのクリアランスを比較することで干渉等により免震機能を阻害しないことを確認していること。
- ・地震以外の外的事象に対する対策例を以下に示す。

－風対策－

- －耐雷対策－
- －津波、洪水対策－
- －地震以外による斜面崩壊対策－

(2) その他

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、フェールセーフ機構を設置する場合や免震装置の経年化対策として塵埃防止カバー等を設置する場合、当該機構を設置することで、内包する機器設備や免震装置の機能に及ぼす影響を確認すること。

4. 免震構造物の品質管理・維持管理に係る事項

4.1 免震要素の品質管理

【審査における確認事項】

免震要素の品質管理については、品質保証計画に基づき適切に行われることを確認する。

【確認内容】

- ・ 供用期間中の免震構造物の品質を確実に維持するため、免震要素の品質管理は、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、免震要素の調達、製作、検査、据付、隣接構造物との遊間確保、変位測定装置の設置、免震要素の現場性能試験等が適切に行われていること。例えば、免震要素の品質管理については以下に示す規格及び基準等を参考とする。
 - ・ JEAG4614
 - ・ 免震構造施工標準 2017（（一社）日本免震構造協会、2017年版）
 - ・ 免震建物の維持管理基準-2018-（（一社）日本免震構造協会、2018年版）
 - ・ 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）

4.2 免震要素の製造時における試験による性能確認

【審査における確認事項】

免震要素の性能確認については、免震要素の製品試験等により適切に行われることを確認する。

【確認内容】

- ・ 免震要素の剛性、減衰特性等の諸元については、免震要素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た免震要素諸元の妥当性を確認すること。
- ・ 原則として、免震要素は全数検査とするが、製品試験等において

は、設計条件まで試験を行うと、免震要素特性が設計状態から変化する可能性（例：鋼棒ダンパーの塑性）がある場合等は、可能な範囲で試験を行い、解析結果や他の試験体を用いた試験結果等の知見と合わせて、地震応答解析に用いた免震要素の地震応答解析諸元の妥当性を確認すること。なお、免震要素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る。

4.3 免震構造物の使用前検査

【審査における確認事項】

免震構造物の使用前検査については、免震層の施工および免震要素の設置が適切に行われていることを確認する。

【確認内容】

- ・免震構造物の使用開始にあたっては、免震構造物が適切に施工され、所定の性能を有していることを確認すること。使用前検査方法及び管理値については、以下に示す規格及び基準等が参考になる。
- ・免震建物の維持管理基準-2018-((一社)日本免震構造協会、2018年版)

4.4 供用期間中における免震要素の維持管理

【審査における確認事項】

免震要素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ことを確認する。

【確認内容】

- ・4.1で策定した品質保証計画に基づき、免震要素の保守及び点検活動計画並びに取替え方法が適切に策定されていること。免震要素の維持管理（通常点検、定期点検、応急点検等）については、以下に示す規格及び基準等が参考になる。
- ・免震建物の維持管理基準-2018-((一社)日本免震構造協会、2018年版)
- ・諸性能の測定について、実際に設置されている免震装置での計測が容易に行えないことも考えられるため、同種の免震装置を別置き試験体として用意するなど、維持管理について検討しておくこと。または、地震観測装置を設置し、観測記録に基づいて検討するなど、より現実的な方法を検討すること。

5. 附則

この規定は、令和〇年〇月〇日より施行する。

本ガイドに記載されている手法等以外の手法等であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その手法等を用いることは妨げない。

また、本ガイドは、今後の新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するよう見直していくものとする。

建物・構築物の免震構造に関する検討チーム 構成員名簿

原子力規制委員会

| | |
|-------|------------|
| 山中 伸介 | 原子力規制委員会委員 |
| 石渡 明 | 原子力規制委員会委員 |

原子力規制庁職員

| | |
|--------|-----------------------------|
| 大村 哲臣 | 審議官（技術基盤グループ長） |
| 川内 英史 | 技術基盤グループ安全技術管理官（地震・津波担当） |
| 大浅田 薫 | 原子力規制部安全規制管理官（地震・津波審査担当） |
| 名倉 繁樹 | 原子力規制部地震・津波審査部門 安全管理調査官 |
| 江崎 順一 | 原子力規制部地震・津波審査部門 企画調査官 |
| 三浦 宣明 | 原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官 |
| 井上 超 | 原子力規制部地震・津波審査部門 主任安全審査官 |
| 大橋 守人 | 技術基盤グループ地震・津波研究部門 首席技術研究調査官 |
| 山崎 宏晃 | 技術基盤グループ地震・津波研究部門 統括技術研究調査官 |
| 猿田 正明 | 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官 |
| 小林 恒一 | 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官 |
| 日高 慎士郎 | 技術基盤グループ地震・津波研究部門 主任技術研究調査官 |

外部専門家（敬称略）

| | |
|-------|--------------------------------|
| 菊地 優 | 北海道大学大学院 工学研究院 建築都市空間デザイン部門 教授 |
| 久田 嘉章 | 工学院大学 総合研究所・都市減災研究センター長 教授 |
| 古屋 治 | 東京電機大学 理工学部機械工学系 教授 |

※必要に応じて、適宜メンバーの追加等を行う。