

建物・構築物の免震構造に関する審査ガイド(ドラフト)に対する検討事項の整理

検討事項	審査ガイド(ドラフト)の記載の解釈	検討事項の論点	一般建築物での対応状況	発電用原子炉施設への適用において課題となる事項	規制側の考え方(方針案)
① 免震構造の設計に用いている基準地震動	<ul style="list-style-type: none"> 国土交通省の技術的助言[*]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 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 	<ul style="list-style-type: none"> 国土交通省の技術的助言の反映の必要性及び反映の考え方 <ul style="list-style-type: none"> -各地域で策定している速度応答スペクトルの特性(長周期帯域のスペクトル振幅)の適用範囲・適用性。原子力発電所が対象区域に立地する場合は、基準地震動の速度応答スペクトルが国土交通省の技術的助言の速度応答スペクトルを上回っていることを確認すればよいか。 -模擬地震波の作成方法(特に継続時間500秒の扱い、信頼性確保のための長周期側の周期範囲等) ⇒付録(①) <ul style="list-style-type: none"> a) 発電用原子炉施設と一般建築物で考慮する地震動等の比較 	<ul style="list-style-type: none"> 一般建築物では、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動の影響が大きいと考えられる区域内^{*1}の超高層建築物等に対して、極めて稀に発生する地震動として国土交通省の技術的助言に基づく長周期地震動(基整促波等)を1波以上検討して、建築認定を得ることとしている。 *1: 関東地方1区域、静岡地方3区域、中京地方3区域、大阪地方3区域 〈国土交通省の技術的助言による〉 	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動の策定における国土交通省の技術的助言の反映の要否 基準地震動と国土交通省の技術的助言における基整促波の時刻歴(振幅、継続時間)、速度応答スペクトルの関係 	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に、設置許可基準規則解釈 別記2に基づいた免震設計用の基準地震動で国土交通省の技術的助言において要求する地震動を包絡できるものとする。 但し、基準地震動の長周期成分を十分に励起できる継続時間を有していることの確認は必要。(技術的助言の継続時間500秒のうち、主要動部分は200秒前後) また、速度応答スペクトルについては、基準地震動の速度応答スペクトルが国土交通省の技術的助言におけるスペクトルを包絡することの確認も必要。 信頼性確保のための長周期側の周期範囲については、免震層のターゲット周期の2倍程度の周期までをカバーできるよう10秒程度まで設計用スペクトルを規定し、模擬地震波の設計用スペクトルに対する適合度を確認すること。
	<ul style="list-style-type: none"> 耐震設計と免震設計の双方の基準地震動(水平方向及び鉛直方向)を設定 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直方向地震動は、耐震設計用の基準地震動の策定方法を準用することによいか。 	<ul style="list-style-type: none"> 一般建築物では、国土交通省告示波、観測波、基整促波等により、免震設計用入力地震動を設定する。なお、鉛直方向の地震応答解析は必須ではない(鉛直方向地震動入力時に積層ゴムに発生する変動軸力または大スパンの梁や床に生じる応力評価のために実施する場合がある)。 	<ul style="list-style-type: none"> 免震設計の鉛直方向地震動の作成方法、耐震設計の鉛直方向地震動の適用性 	<ul style="list-style-type: none"> 免震設計の鉛直方向地震動の作成は耐震と同様とする。但し、水平方向地震動と同様の配慮の下、作成されていること。 上部構造及び設備の設計において鉛直方向の基準地震動を適用する場合には、耐震設計用と免震設計用のそれぞれの基準地震動に基づく応答解析を実施し、双方の解析結果を考慮して鉛直方向の設計用地震荷重を設定すること。なお、免震装置の設計においては、水平方向及び鉛直方向の同時入力を考慮した時刻歴解析を適用するなど、免震構造物のロッキング挙動及び鉛直方向の応答挙動並びにそれらの組合せを適切に考慮すること。

※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)、国土交通省 H28.6.24 (以下、「国土交通省の技術的助言」という。)

検討事項	審査ガイド(ドラフト)の記載の解釈	検討事項の論点	一般建築物での対応状況	発電用原子炉施設への適用において課題となる事項	規制側の考え方(方針案)
<p>②免震構造の設計に関する基本事項</p> <p>許容限界</p> <ul style="list-style-type: none"> 積層ゴムの許容限界評価 履歴系ダンパーの累積塑性 	<p>・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</p> <p>[積層ゴムの許容限界]</p> <p>・積層ゴム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引張応力度等の許容限界を設定</p> <p>[履歴系ダンパーの許容限界]</p> <p>・設計で期待している減衰性能を維持できる許容限界(制限値)として設定</p> <p>・例えば、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。</p>	<p>・一般建築物で使用される免震装置の許容限界の適用性</p> <p>[積層ゴム]</p> <p>・一般建築物で使用される積層ゴムのせん断ひずみ及び引張面圧の許容値(1N/mm²)の設定経緯。また、これを上回る許容値の設定の可能性、他指標(ひずみ等)による設計評価の適用性はあるか。</p> <p>⇒付録(②)</p> <p>a) 積層ゴムの許容限界(1N/mm²設定の経緯、ひずみ評価に関する検討事例等)</p> <p>b) 発電用原子炉施設での評価事例</p> <p>[履歴系ダンパー]</p> <p>・鋼材ダンパー等の履歴系ダンパーに対して疲労の累積を考慮して減衰性能を評価する際、基準地震動の継続時間が及ぼす影響(「①免震構造の設計に用いる基準地震動」に関連)、供用期間中の余震の影響等、留意すべき事項があるか。</p> <p>⇒付録(②)</p> <p>c) 履歴系ダンパーの許容限界に関連した実際の地震経験事例</p>	<p>・既往の試験等から以下の許容限界を設定している。</p> <p>[積層ゴム]</p> <p>・以下の許容限界が例示されている。</p> <p>-せん断線形限界ひずみ(ハードニングが生じない範囲)</p> <p>日本免震構造協会(JSSI)</p> <p>: せん断ひずみ $\gamma=200\sim300\%$</p> <p>-許容引張面圧</p> <p>国土交通省の大臣認定を受けた製品の基準値とされている 1N/mm²(せん断ひずみ $\gamma=100\%$時)を多用</p> <p>[履歴系ダンパー]</p> <p>・積層ゴムに設定される線形限界までの変形領域(範囲)において、必要な減衰性能を維持していることとしている。</p> <p>・累積疲労損傷による評価として、Miner則に基づき許容限界を設定している。</p> <p><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による></p>	<p>・積層ゴム、履歴系ダンパーの既往の試験等から設定された許容限界の発電用原子炉施設への適用性(許容限界を超えた場合においても直ちに免震機能を喪失せず、その結果として発電用原子炉施設の安全機能に影響を与えることがないことの見通しを得る必要がある。)</p> <p>[積層ゴム]</p> <ul style="list-style-type: none"> 引張面圧の許容値 1N/mm²の適用性 その他指標(ひずみ等)の適用性 積層ゴムの種類と許容限界との関係 せん断線形限界ひずみの規程における安全余裕の考え方 <p>[履歴系ダンパー]</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼材ダンパーの地震による繰り返し作用への適用性、設計成立性 免震機能の地震後の継続維持が求められる場合、敷地における震源想定及び地下構造の特性を踏まえた余震、誘発地震が及ぼす影響 	<p>・一般建築物の許容限界の妥当性、発電用原子炉施設への適用性を確認した上で、一般建物の考え方を準用する。</p> <p>[積層ゴム]</p> <ul style="list-style-type: none"> 積層ゴムの引張に対する評価において、他の指標を採用する場合は、当該指標の妥当性、発電用原子炉施設への適用性を確認した上で適用する。 <p>[履歴系ダンパー]</p> <ul style="list-style-type: none"> 鋼材ダンパーについては、基準地震動による累積疲労損傷がダンパーの限界値に対して、十分な安全余裕を有することを確認する。 鋼材ダンパーの累積疲労損傷に対して十分な安全余裕を確保するとの観点から、免震機能の地震後の継続維持が求められる場合は、敷地における震源想定及び地下構造の特性を踏まえ余震、誘発地震が及ぼす影響を確認する。

検討事項	審査ガイド(ドラフト)の記載の解釈	検討事項の論点	一般建築物での対応状況	発電用原子炉施設への適用において課題となる事項	規制側の考え方(方針案)
②免震構造の設計に関する基本事項 他施設・設備への影響等	免震構造の採用に伴う設備等への影響について、以下の事項の検討を行うこと。 ・上部構造物と周辺構造物間の地震時の相対変位(水平・鉛直)に対するクリアランスの確保	免震構造を採用することに対して、特に留意すべき事項 ・免震構造物の上部構造の設計に係る確認事項(構造物と擁壁等とのクリアランス等) ⇒付録(②) d) 免震構造物の地震時最大変位、残留変位の観測例	・水平方向のクリアランスについては、上部構造物の地震時最大応答変位に余裕(1.5倍程度とする事が多い)を持った離隔幅を設定している。 ・鉛直方向のクリアランスについては、クリープや温度変化による変形、地震時の沈み込み等を考慮し、積層ゴムの層厚の数%を必要な離隔幅として設定している。 <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による>	・基準地震動による上部構造の大きな振幅に対し、一般建築物で考慮しているクリアランスの考え方の適用性 ・地震等の荷重による相対変位が大きい場合、設計上、フェールセーフ機構に期待する場合の他設備等への影響	・想定される水平方向及び鉛直方向の相対変位に対して十分なクリアランスがあることを確認する。但し、地震等の荷重による変位が大きいため、設計上フェールセーフ機構に期待する場合、想定される損傷モードに応じて、免震構造物及び周辺構造物への影響を評価する。また、安全上重要な設備を間接支持する場合、当該設備への影響についても検討が必要となる。
	・免震構造物-非免震構造物の接続部の相対変位に対する機能保持	・免震構造物に支持された設備の設計に係る確認事項(免震構造物-非免震構造物間の渡り配管等のインターフェイス部の健全性) ⇒付録(②) e) 発電所施設の渡り配管の構造仕様例	・一般建築物では、ガス管・給水管/給湯管等の設備配管に可撓継手(ボールジョイント等)を用いて、免震層での相対変位に対応している。 <設計者のための免震・制震構造ハンドブック JSSI 編等による>	・免震構造物-非免震構造物間の相対変位に対する接続部等の評価 ・大口径配管を用いる場合の設計上の留意事項(技術的課題の有無、設計方法、解析条件)	・免震構造物-非免震構造物間の渡り配管等のインターフェイス部については、水平方向及び鉛直方向の変位に追随できる構造仕様であること、水平方向及び鉛直方向の変位を考慮した適切な方法、条件を用い設計、評価していることを確認する。
	・非免震時よりも耐震設計条件が厳しくなる設備の健全性、波及的影響の防止	・免震構造物の振動特性が設備設計に与える影響(プールのスロッシング等) ⇒付録(②) f) 発電用原子炉施設における波及的影響評価の事例	—	・免震構造に伴う建屋応答の長周期化がスロッシング荷重の増大に及ぼす影響 ・免震構造を採用した場合に、発電用原子炉施設の設備に大きな影響を与える可能性がある免震装置の振動特性(スロッシング以外に留意すべきものの有無等)	・免震構造物の振動特性が設備設計に大きな影響を与える要因がある場合は、当該の影響要因への対応策を確認する。例えば、免震構造とすることでスロッシング評価が厳しくなる場合、免震装置の構造や仕様で対応する、またはプール等の補強対策を検討する等。

検討事項	審査ガイド(ドラフト)の記載の解釈	検討事項の論点	一般建築物での対応状況	発電用原子炉施設への適用において課題となる事項	規制側の考え方(方針案)
②免震構造の設計に関する基本事項 他施設・設備への影響等	<ul style="list-style-type: none"> 上部構造物(免震建屋)の用途に応じた設計の考え方 -上部構造物については、Sクラス設備の間接支持構造物としての機能の保持を要求している。 -上部構造物の許容限界は、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を踏まえ、原則として、ほぼ弾性(鉄筋コンクリート構造の場合、鉄筋が降伏しない範囲等)に留めることとしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 建屋の用途の多様性及びその多様性に応じた設計クライテリアの使い分けの考え方 具体的には、建屋及びその部位に要求される機能を踏まえ、許容限界の使い分けは可能か。 <p>⇒付録(②)</p> <ul style="list-style-type: none"> g) 原子力発電所にある建屋の特徴について h) 日本建築構造技術者協会(JSCA)における耐震性能グレードの考え方 	<ul style="list-style-type: none"> 一般建築物では、建築基準法に則り人命保護を満足する耐震性能が要求されるが、地震後の建物の機能維持等については要求されていない。 日本建築構造技術者協会(JSCA)では、地震後の建物の機能維持や事業継続性の観点から耐震性能グレードとして、地震動レベルに対する建物の状態を想定し、建物に要求する機能に応じて、その評価レベルの考え方を示している。 <p><JSCA 性能設計【耐震性能編】日本建築構造技術者協会による></p>	<ul style="list-style-type: none"> 免震建屋において、建屋の部位(上部基礎を除く上部構造)への要求機能が波及的影響の防止等、限定的な場合における合理的な許容限界の設定の可能性。 具体的には、弾性範囲を超過する場合の許容される塑性変形の程度、鉄筋降伏する様な場合の塑性変形の進展の程度、局所的な塑性化の許容しうる範囲等。 	<ul style="list-style-type: none"> 建屋及びその部位への要求機能が限定的な場合(波及的影響防止等)、耐震設計における許容限界の相対関係を踏まえ、「終局耐力に対して妥当な安全余裕を有していること」とし、局所的な塑性化に対して、その進展が無いことを確認する。 免震建屋に設置される設備の機能について、多重性、多様性の観点で代替設備対応が可能等、地震後の継続的な維持が要求されない場合も、同様の確認とする。

検討事項	現ガイド(ドラフト)の記載の解釈	論点	一般建築物の対応状況	発電用原子炉施設への適用において課題となる事項	規制側の考え方(方針案)
③免震装置の品質管理(地震後の維持管理)に関する基本方針	<ul style="list-style-type: none"> 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 通常点検、定期点検、応急点検等による維持管理 	<ul style="list-style-type: none"> 発電用原子炉施設の特徴を踏まえた維持管理の考え方 一般建築物における大地震後の免震装置の継続使用の実績(原子力発電所の免震事務棟における実績を含む)を踏まえた、地震後の免震装置の健全性の判断をする際の点検、確認事項等の明確化 <p>⇒付録(③)</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 一般建築物での品質管理、維持管理の考え方(特に、地震後の点検、機能維持の確認方法) b) 別置き試験体の実施の現状 c) 地震計等による免震構造物での計測事例 	<ul style="list-style-type: none"> 一般建築物では、国土交通省大臣認定の免震装置を用いることが決められており、品質基準に則り全数の特性試験により製品検査を実施している。また、JSSI「免震建物の維持管理基準-2018-」等に基づき、施工時・通常・定期・災害時の点検により維持管理が行われている。別置き試験体は、積層ゴムの使用実績により、メーカーでのロット管理に代えることが出来るようになり、設置しない事例が増えてきている。残留変位等の確認のため、下げ振りや罫書き変位計の設置を推奨している。 	<ul style="list-style-type: none"> 地震後の構造物の安全性を判断するための指標(免震装置の機能維持の確認項目及び製品検査の方法等) 装置の取替が必要な場合の機能維持確保の考え方 	<ul style="list-style-type: none"> 一般建築物と同様に、品質保証計画、維持管理を行うものとし、地震後の安全性確認は、目視による応急点検を行うものとする。 詳細点検として構造物の安全性を判定するための地震観測等により免震装置の挙動を数値的に確認する。 諸性能の測定方法として、別置き試験体による評価や地震観測記録の分析評価等により要求機能が保持されていることを確認する。 免震装置の取替時の状態を踏まえても他の装置により免震層全体として機能が維持されていることを確認する。