



JY-135-1

第4条（地震による損傷の防止）に係る説明資料
【その2：第4条第3、4項】

2022年4月26日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部

第4条（地震による損傷の防止）第3、4項に係る要求事項と対応概要

要求事項	対応の概要
<p>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐震重要施設は、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。 ・ Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に係る耐震設計の基本方針を以下に示す。なお、耐震設計は、日本産業規格（JIS）、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）、発電用原子力設備規格（設計・建設規格）等の基準・規格に準拠する。 <ul style="list-style-type: none"> > 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する。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する。なお、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。動的地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。 > Bクラスの施設は、静的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する。また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。 > Cクラスの施設は、静的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する。 > 耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように、以下の項目について、耐震重要施設への影響がないことを確認する。なお、波及的影響の評価に当たっては、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用する。 <ul style="list-style-type: none"> - 設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響 - 耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響 - 建物内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響 - 建物外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
<p>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉施設を設置する敷地に該当する斜面はない。

耐震設計の基本方針

(1) 原子炉施設は、耐震重要度に応じて、以下の耐震重要度分類に分類する。なお、設計にあつては、水冷却型試験研究炉との構造上の相違（低圧、薄肉、高温構造）を考慮するとともに、耐震重要度分類はその設計の特徴を十分踏まえて行うものとする。また、耐震重要施設は、Sクラスの施設とする。

Sクラス 安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある設備・機器等を有する施設（「過度の放射線被ばくを与えるおそれのある」とは、安全機能の喪失による周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSvを超えることをいう。）

Bクラス 安全施設のうち、その機能を喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設

Cクラス Sクラス、Bクラス以外であつて、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設

(2) 原子炉施設は、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

(3) 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する。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する。なお、静的地震力は、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。動的地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

(4) Bクラスの施設は、静的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する。また、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。その場合、検討に用いる地震動は、弾性設計用地震動に1/2を乗じたものとする。なお、当該地震動による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。

(5) Cクラスの施設は、静的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する。

(6) 耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

地震力の算定法

静的地震力	動的地震力
<p>静的地震力は、Sクラス、Bクラス及びCクラスの施設に適用することとし、それぞれの耐震重要度分類に応じて、以下の地震層せん断力係数C_i及び震度に基づき算定する。</p> <p>(1) 建物・構築物 水平地震力は、地震層せん断力係数C_iに、以下に示す耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定する。</p> <p style="margin-left: 40px;">Sクラス 3.0 Bクラス 1.5 Cクラス 1.0</p> <p>ここで、地震層せん断力係数C_iは、標準せん断力係数C_0を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する際に用いる必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数C_iに乘じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、耐震重要度分類の各クラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数C_0は1.0とする。</p> <p>Sクラスの建物・構築物については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。</p> <p>(2) 機器・配管系 静的地震力は、上記(1)に示す地震層せん断力係数C_iに施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度とし、当該水平震度及び鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求める。なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。</p>	<p>動的地震力は、Sクラスの施設に適用し、基準地震動及び弾性設計用地震動から定める入力地震動を入力として、動的解析により、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせて算定する。Bクラスの施設のうち、共振のおそれのある施設については、弾性設計用地震動に1/2を乗じた動的地震力を適用する。</p> <p>(1) 入力地震動 建物・構築物の地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義された基準地震動又は弾性設計用地震動を用いて、敷地の地質・地質構造の調査及び地盤の調査の結果に基づき、解放基盤表面からの地震波の伝播特性を適切に考慮するとともに、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して算定する。</p> <p>(2) 動的解析法 (i) 建物・構築物 動的解析は、スペクトル・モーダル解析法又は時刻歴応答解析法を用いて行うものとする。解析にあたっては、建物・構築物と地盤との動的相互作用を考慮するとともに、建物・構築物の剛性について、それらの形状、構造、特性等を十分考慮して評価し、集中質点系に置換した解析モデルを設定する。動的解析に用いる地盤のばね定数及び減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験及び地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を設定する。</p> <p>動的解析は、弾性設計用地震動に対して弾性応答解析を行う。基準地震動に対しては、主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、規格・基準又は実験式等に基づき、該当する部分の構造特性に応じて、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。また、Sクラスの施設を支持する建物・構築物の支持機能を検討するための動的解析において、建物・構築物等の主要構造要素がある程度以上弾性範囲を超える場合には、その弾塑性挙動を適切に模擬した復元力特性を考慮した応答解析を行う。</p> <p>(ii) 機器・配管系 機器の動的解析については、その形状を考慮した1質点系若しくは多質点系等に置換した解析モデルを設定し、設計用床応答スペクトルを用いたスペクトル・モーダル解析又は時刻歴応答解析により応答を求める。また、配管系の動的解析については、その仕様に応じて適切なモデルに置換し、設計用床応答スペクトルを用いたスペクトル・モーダル解析又は時刻歴応答解析により応答を求める。</p> <p>動的解析に用いる機器・配管系の減衰定数は、安全上適切と認められる規格及び基準、既往の振動実験、地震観測の調査結果等を考慮して適切な値を設定する。</p> <p>剛性の高い機器・配管系は、その機器・配管系が設置された床面の最大床応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算定する。</p>

基準地震動（1/2：応答スペクトル）



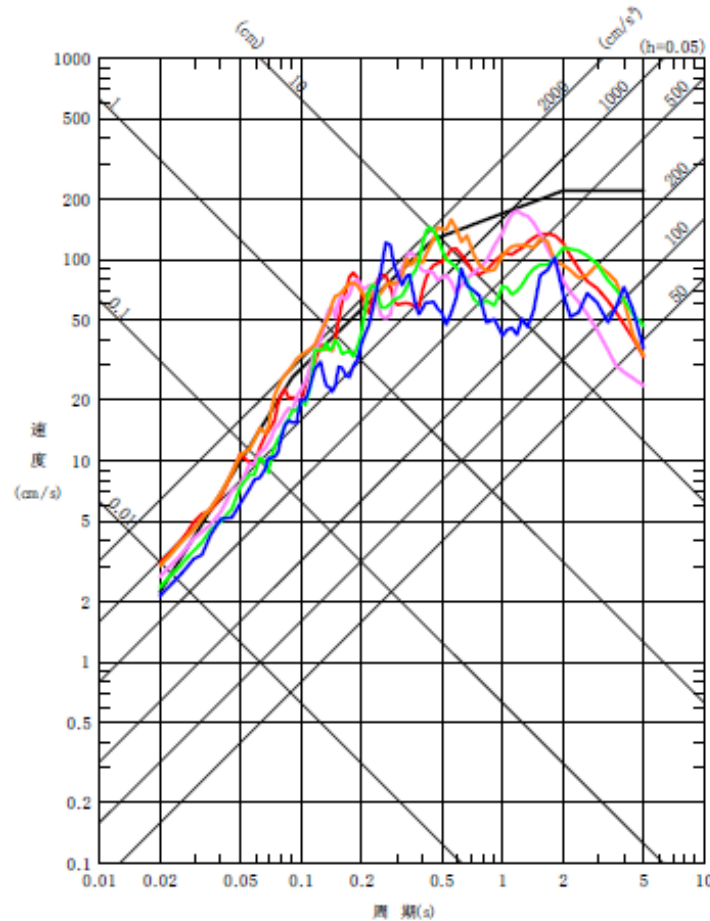
6. 基準地震動Ssの策定

基準地震動Ss：応答スペクトル

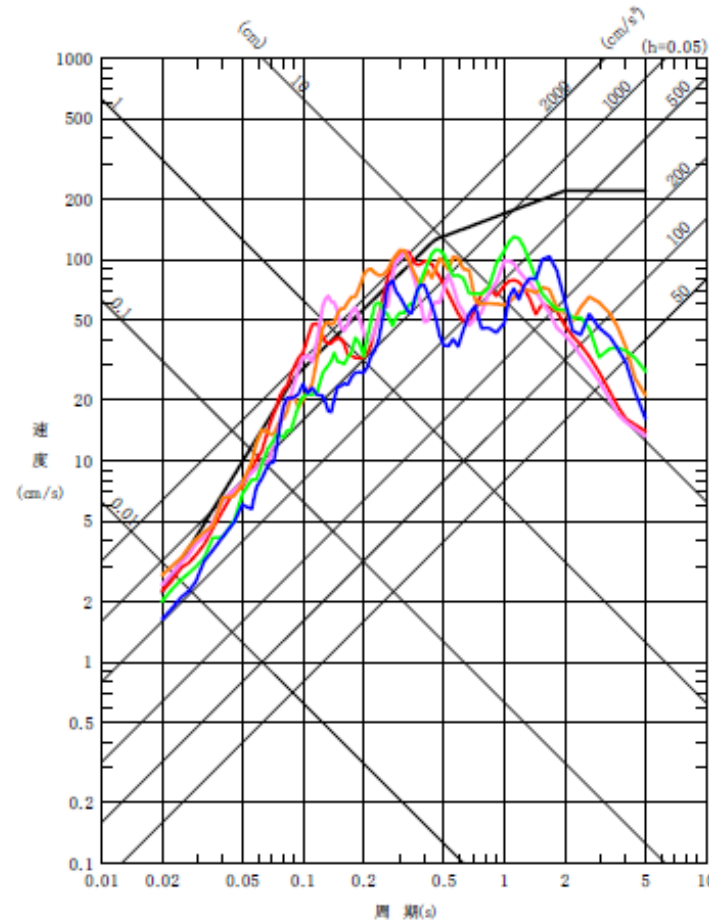
HTTR
と同様

■ 基準地震動Ssの応答スペクトル

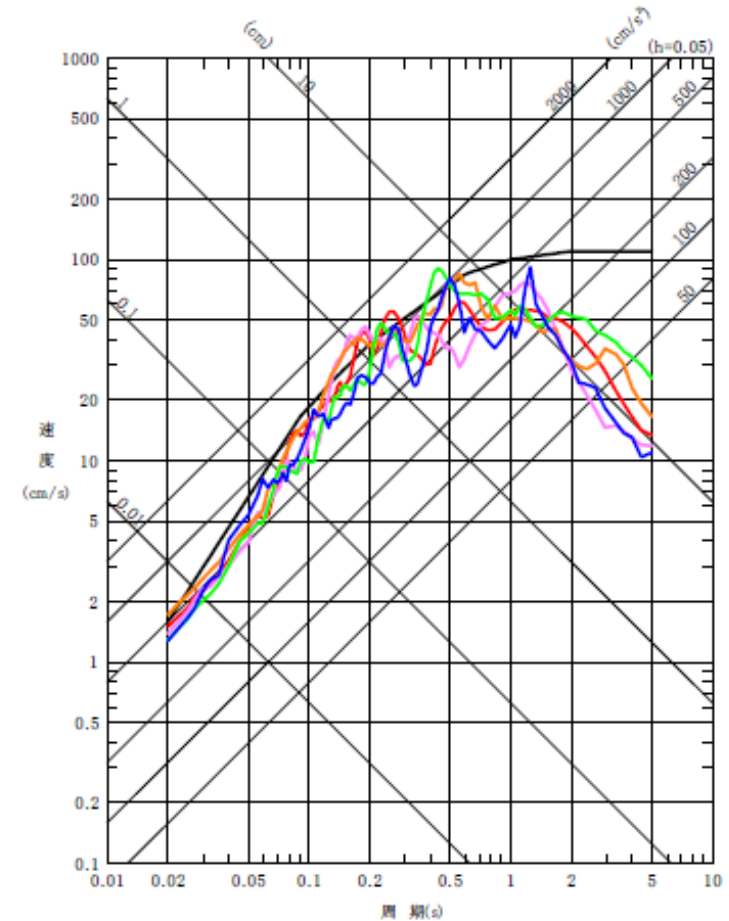
- Ss-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-1 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-2 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-3 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-4 F3断層～F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)



NS成分



EW成分



UD成分

基準地震動（2/2：最大加速度値）



6. 基準地震動Ssの策定

基準地震動Ss：最大加速度値

HTTR
と同様

■ 基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

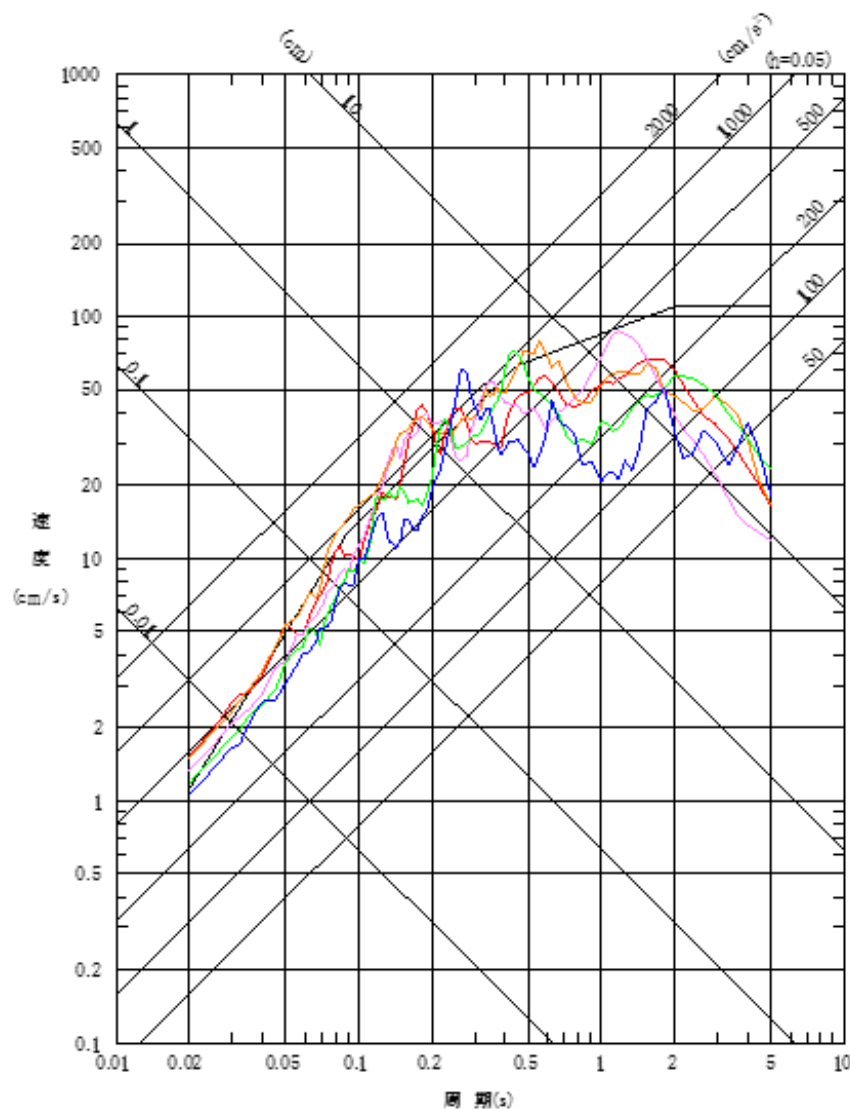
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700		500
Ss-1	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)	973	711	474
Ss-2	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)	835	761	436
Ss-3	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)	948	850	543
Ss-4	F3断層～F4断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点3)	740	630	405
Ss-5	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	670	513	402

※表中のグラフは各基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(縦軸:加速度[cm/s²], 横軸:時間[s])

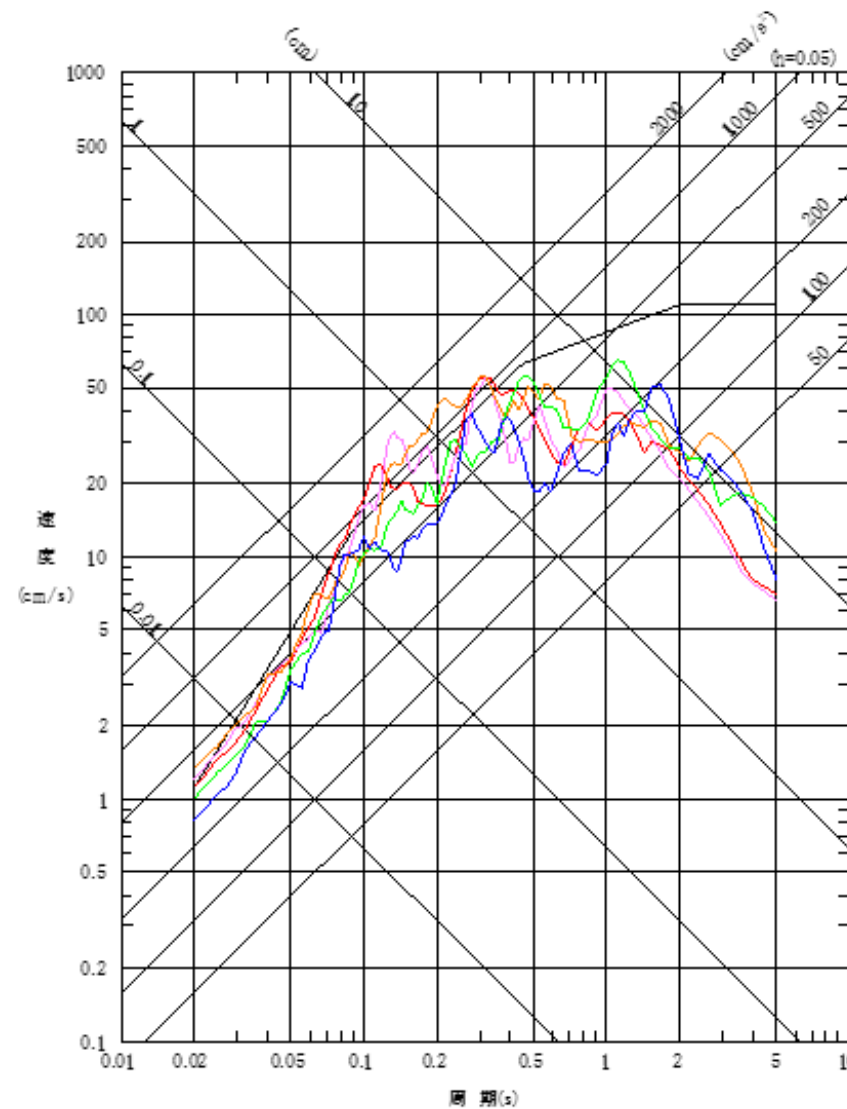
弾性設計用地震動（1/4：応答スペクトル）

弾性設計用地震動は、基準地震動との応答スペクトルの比率の値が目安として0.5を下回らないように、「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）」における基準地震動S1を踏まえ、工学的判断から基準地震動に係数0.5を乗じて設定する。

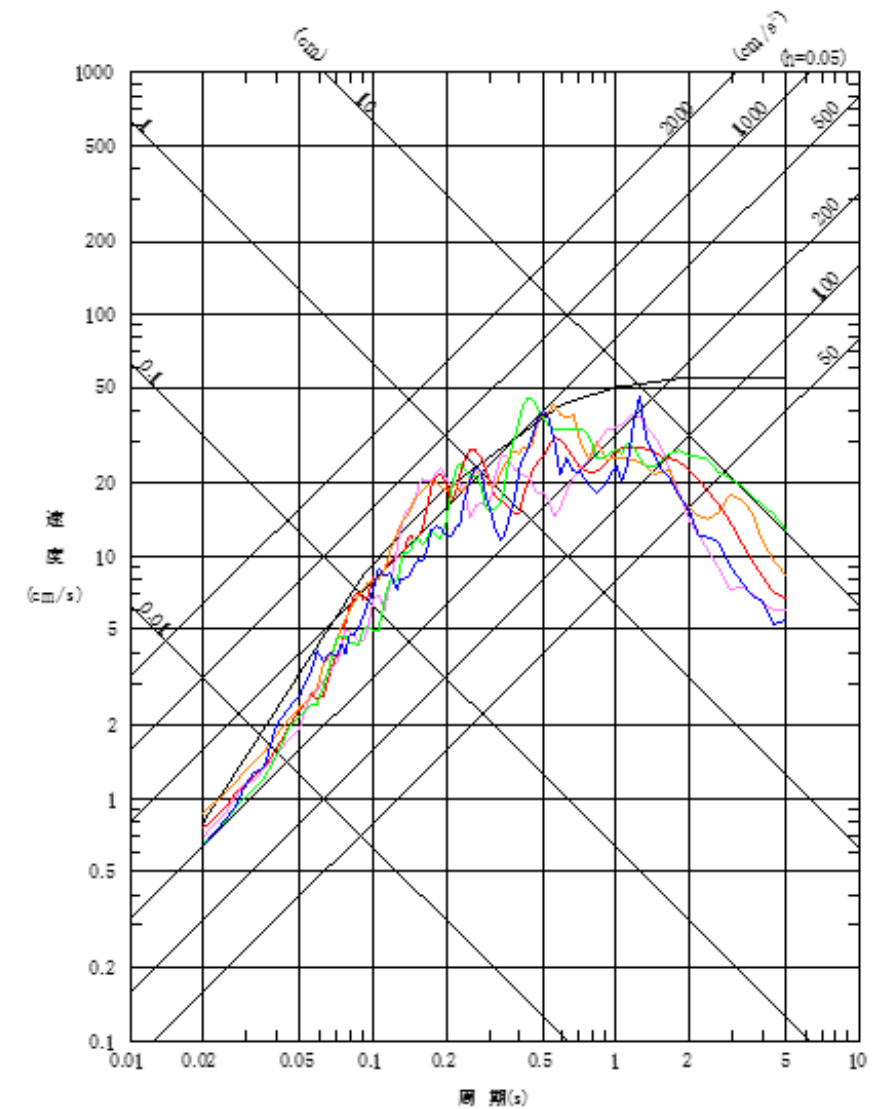
- 弾性設計用地震動 Sd-D
- 弾性設計用地震動 Sd-1
- 弾性設計用地震動 Sd-2
- 弾性設計用地震動 Sd-3
- 弾性設計用地震動 Sd-4
- 弾性設計用地震動 Sd-5



NS成分

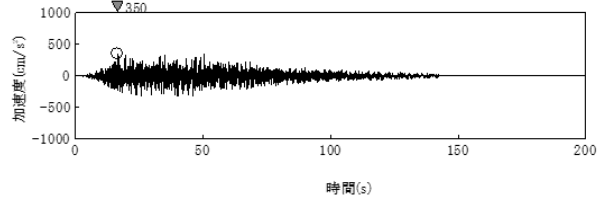
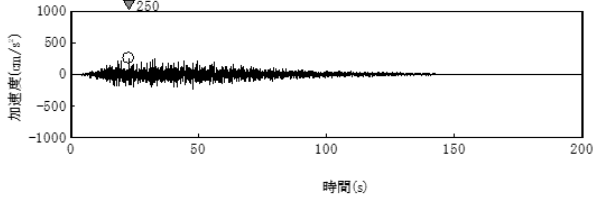
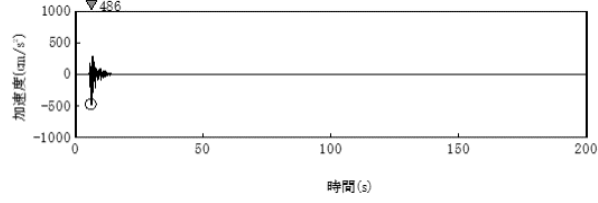
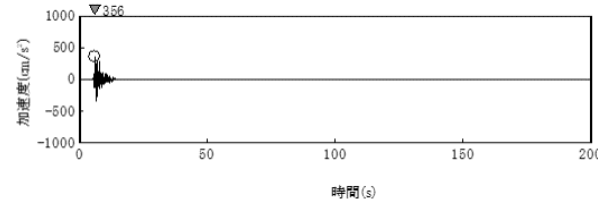
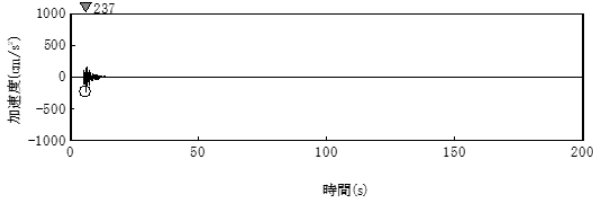
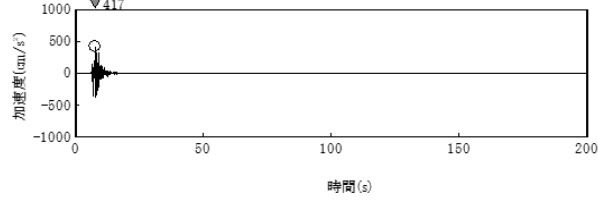
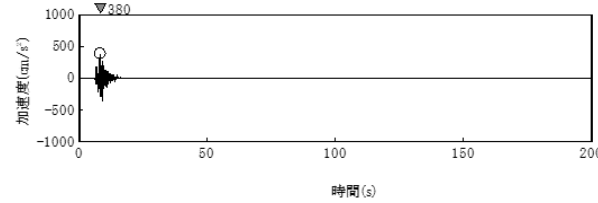
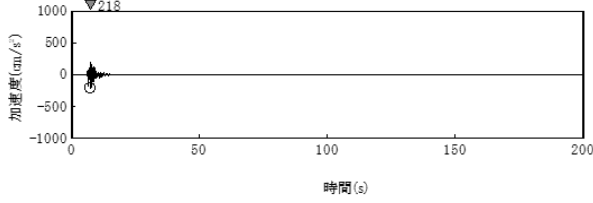
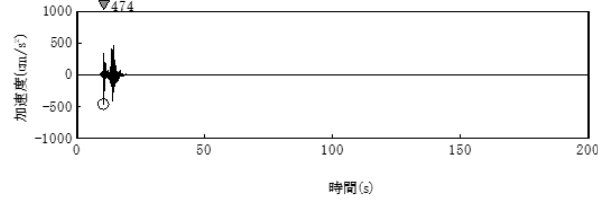
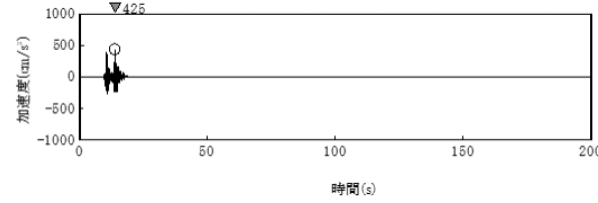
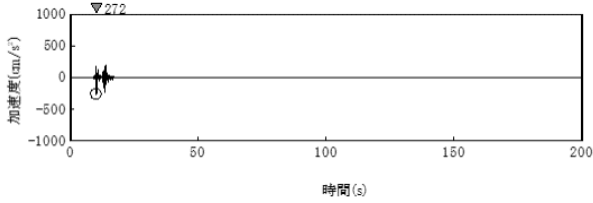
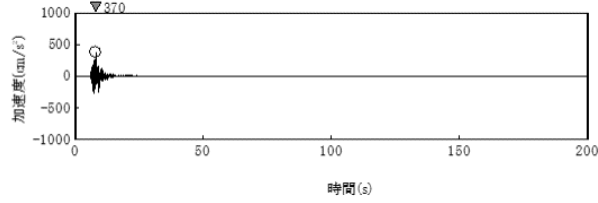
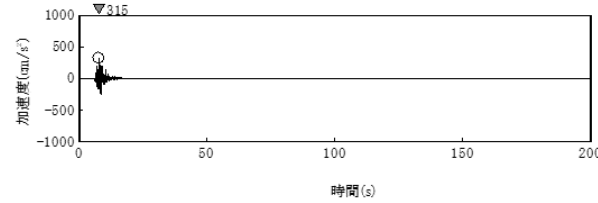
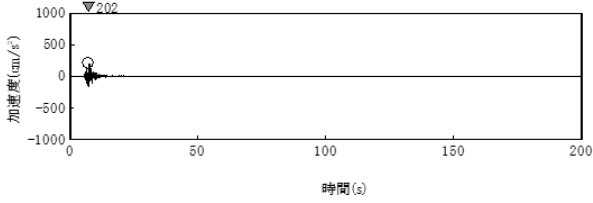
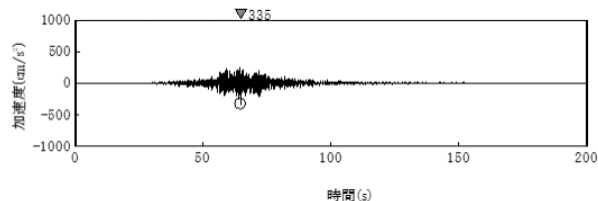
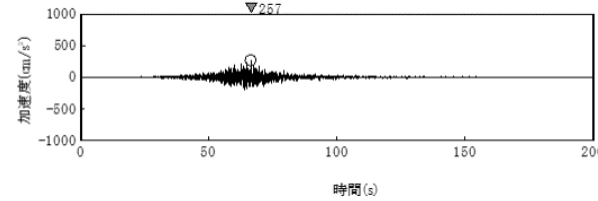
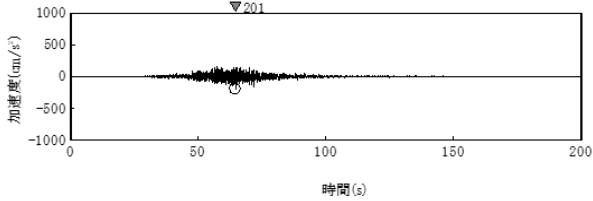


EW成分



UD成分

彈性設計用地震動 (2/4 : 最大加速度值)

彈性設計用 地震動	最大加速度 (cm/s ²)		
	NS成分	EW成分	UD成分
Sd-D	<p>350</p> 		<p>250</p> 
Sd-1	<p>486</p> 	<p>356</p> 	<p>237</p> 
Sd-2	<p>417</p> 	<p>380</p> 	<p>218</p> 
Sd-3	<p>474</p> 	<p>425</p> 	<p>272</p> 
Sd-4	<p>370</p> 	<p>315</p> 	<p>202</p> 
Sd-5	<p>335</p> 	<p>257</p> 	<p>201</p> 

弾性設計用地震動（3/4：設定の考え方）

- 弾性設計用地震動は、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見⁽¹⁾を踏まえ、また、弾性設計用地震動を原子炉建家設計時より保守的な設定とするため、応答スペクトルに基づく基準地震動 S_s-D に係数0.5を乗じた弾性設計用地震動 S_d-D が、設計時に用いた「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）」に基づく基準地震動 S_1 の応答スペクトルを下回らない（右図参照）ものとして、工学的判断により基準地震動に係数0.5を乗じて設定する。

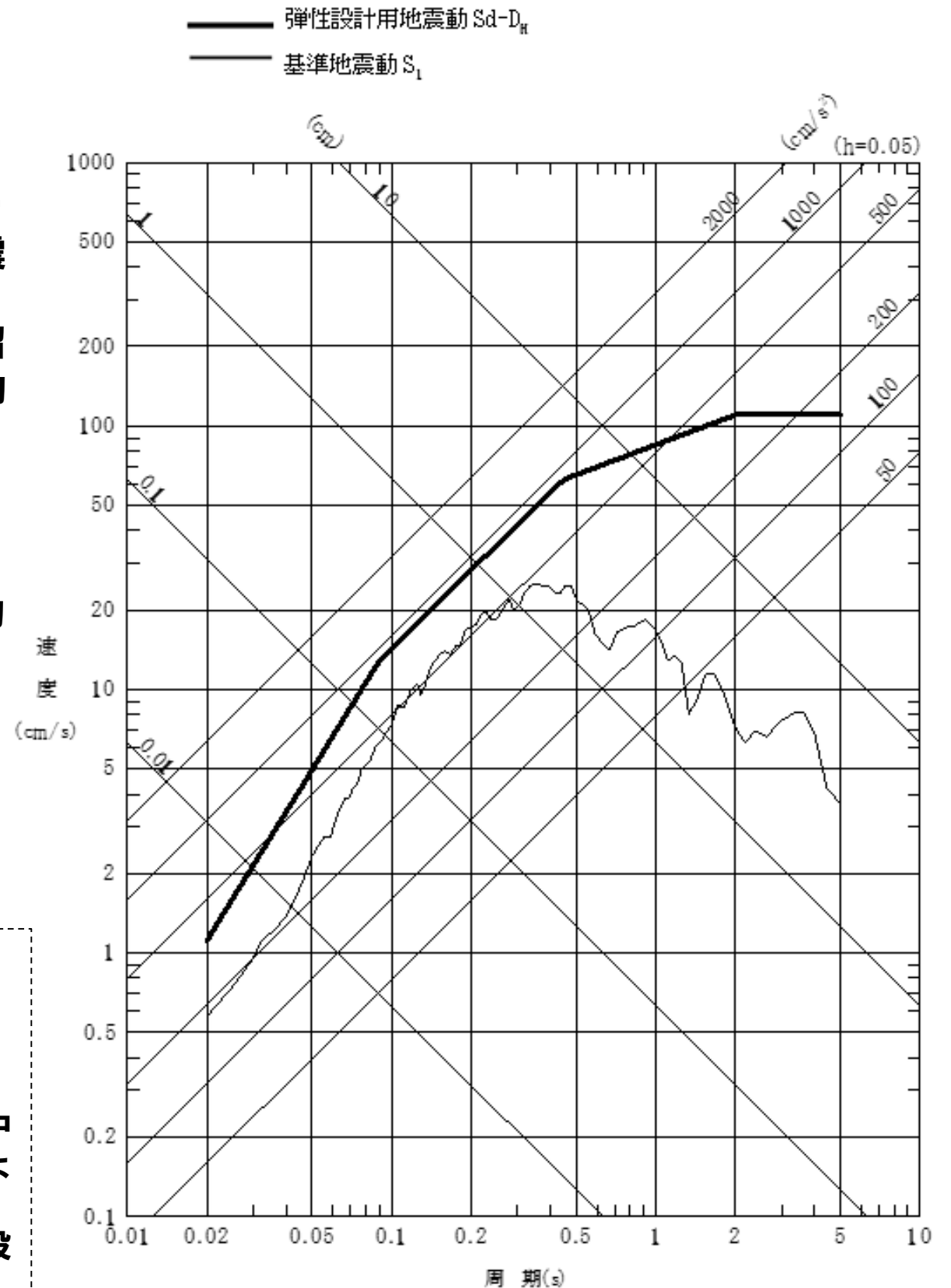
(1) 社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会；「静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）」（1994年）

- 当該係数は、「实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」の別記2の要求を満足する。

「实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」の別記2より抜粋

一 弾性設計用地震動による地震力

- 弾性設計用地震動は、基準地震動（第4条第3項の「その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震」による地震動をいう。以下同じ。）との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定すること。
（以下、省略）



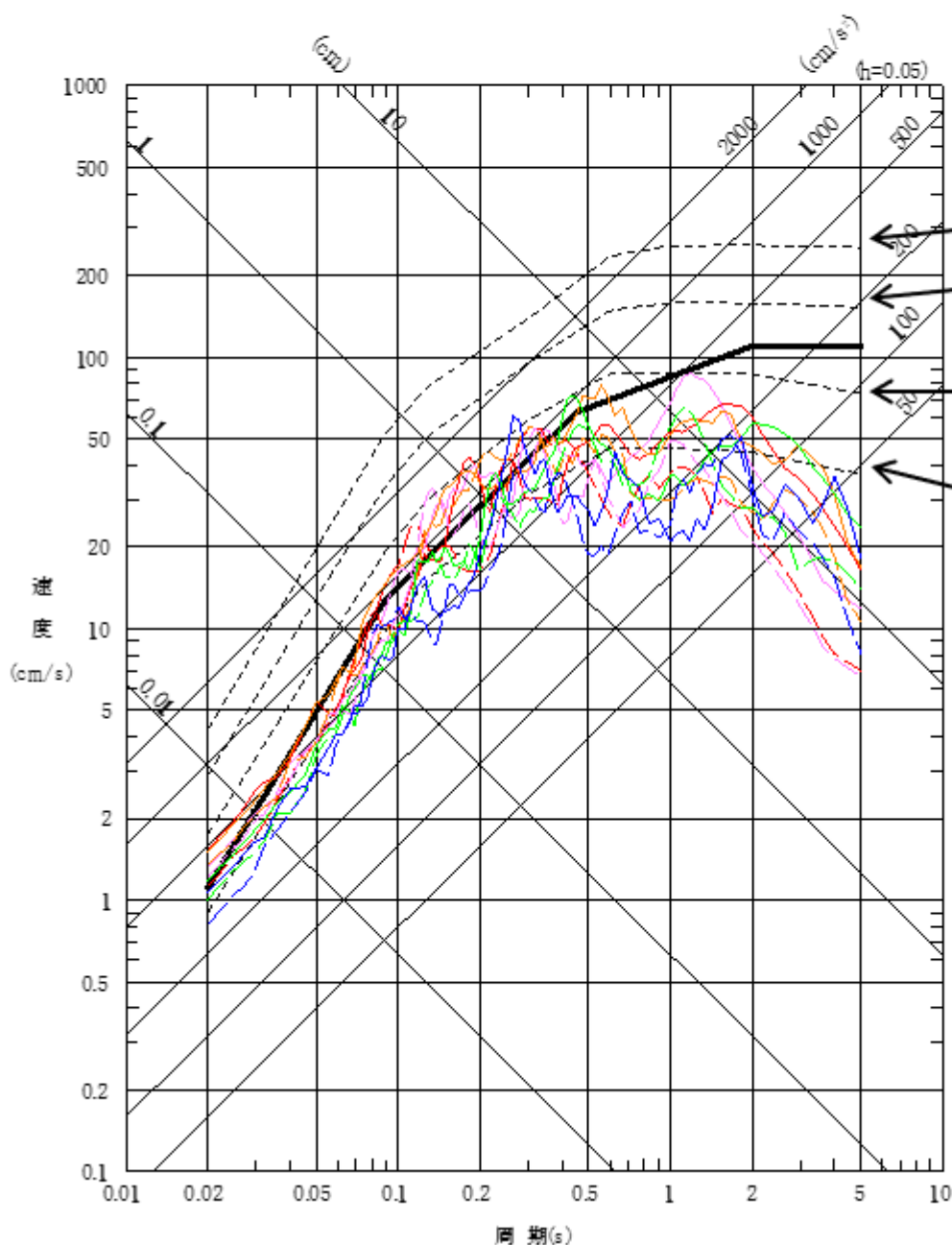
弾性設計用地震動 S_d-D と基準地震動 S_1 の応答スペクトルの比較（水平方向）

弾性設計用地震動（4/4：一様ハザードスペクトル）

弾性設計用地震動の年超過確率は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度

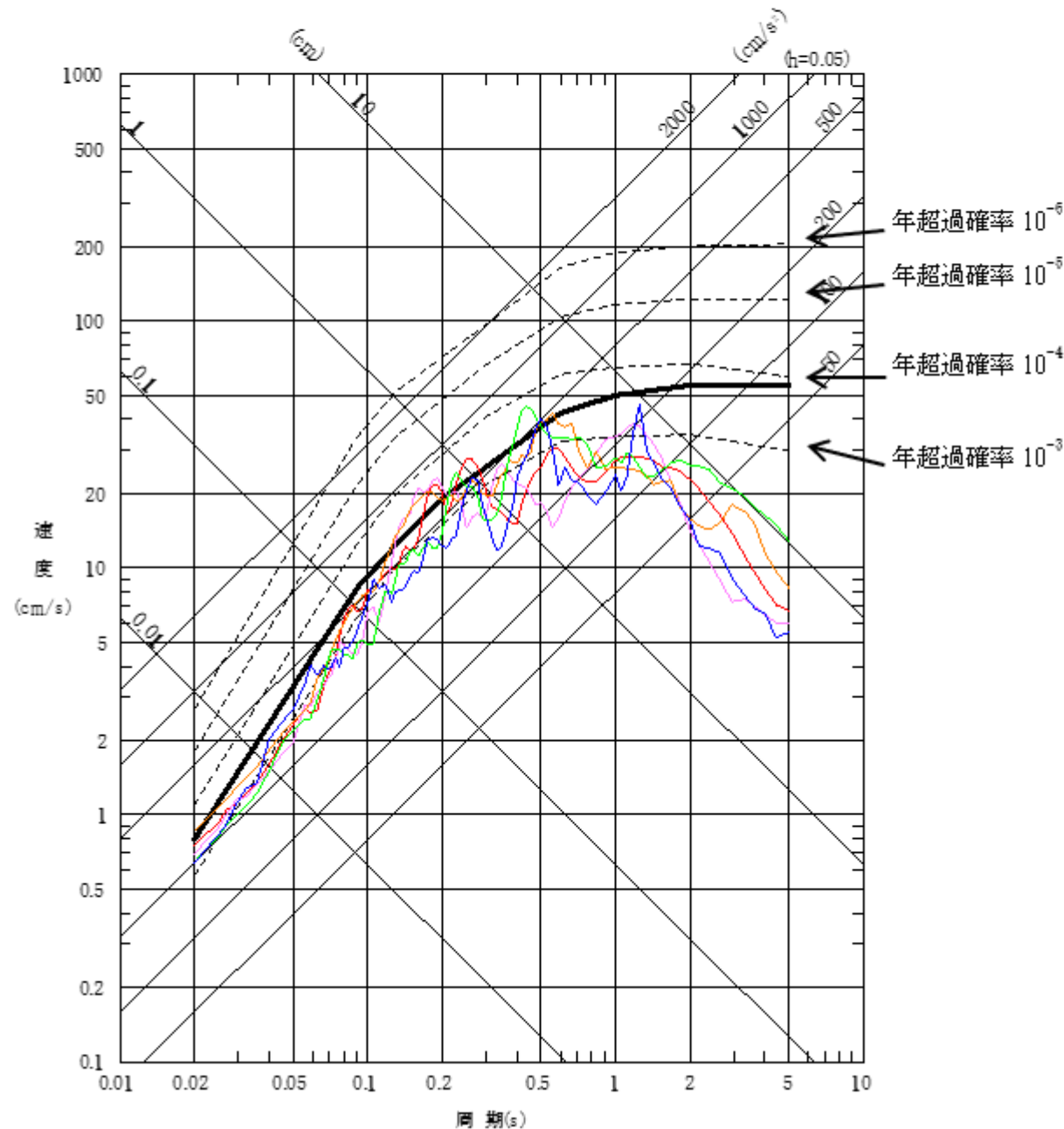
- 一様ハザードスペクトル
- 弾性設計用地震動 Sd-D
- 弾性設計用地震動 Sd-1^{※1}
- 弾性設計用地震動 Sd-2^{※1}
- 弾性設計用地震動 Sd-3^{※1}
- 弾性設計用地震動 Sd-4^{※1}
- 弾性設計用地震動 Sd-5^{※1}

※1 実線はNS成分、破線はEW成分



水平方向

- 一様ハザードスペクトル
- 弾性設計用地震動 Sd-D
- 弾性設計用地震動 Sd-1
- 弾性設計用地震動 Sd-2
- 弾性設計用地震動 Sd-3
- 弾性設計用地震動 Sd-4
- 弾性設計用地震動 Sd-5



鉛直方向

荷重の組合せの考え方

(1) 建物・構築物

- (i) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。
- (ii) Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と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を組み合わせる。
- (iii) Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時の状態で作用する荷重と静的地震力を組み合わせる。

(2) 機器・配管系

- (i) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重、及び運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と基準地震動による地震力を組み合わせる。
- (ii) Sクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重、又は運転時の異常な過渡変化時の状態若しくは設計基準事故時の状態で作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と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を組み合わせる。
- (iii) Bクラス及びCクラスの機器・配管系については、通常運転時の状態で作用する荷重又は運転時の異常な過渡変化時の状態で作用する荷重と静的地震力を組み合わせる。

(3) 荷重の組合せ上の留意事項

- (i) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてもよいものとする。
- (ii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時刻に明らかになぜがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。
- (iii) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を検討する場合においては、支持される施設の耐震重要度分類に応じた地震力と常時作用している荷重、運転時の状態で作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

許容限界の考え方（1/3：許容限界）

（1）建物・構築物

（i）Sクラスの建物・構築物

a. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

b. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき適切に定めるものとする。

（ii）Bクラス及びCクラスの建物・構築物

常時作用している荷重及び運転時の状態で施設に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

（iii）耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物

上記の「（i）Sクラスの建物・構築物 b. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界」を適用するほか、耐震クラスの異なる施設が、それを支持する建物・構築物の変形等に対して、その機能が損なわれないものとする。

（iv）建物・構築物の保有水平耐力

建物・構築物については、当該建物・構築物の保有水平耐力が、必要保有水平耐力に対して耐震重要度に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。

（2）機器・配管系

（i）Sクラスの機器・配管系

a. 弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

応答が全体的におおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

b. 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

構造物の相当部分が降伏し塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に応力を制限する。なお、地震時又は地震後に動作を要求される動的機器については、基準地震動による応答に対して、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とする、若しくは解析又は実験等により、その機能が阻害されないことを確認する。

（ii）Bクラス及びCクラスの機器・配管系

応答が全体的におおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように、降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

許容限界の考え方（2/3：準拠する基準・規格）

- 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準（文部科学省科学技術・学術政策局）
- 研究開発段階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 別紙1 ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録1 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針及び付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等（原子力規制委員会）
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会）
- 日本産業規格（JIS）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601（（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（（社）日本電気協会）
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会）
- 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）
- 鋼構造設計規準（（社）日本建築学会）
- 建築基礎構造設計指針／各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会）
- 煙突構造設計指針（（社）日本建築学会）
- 鋼構造座屈設計指針／鋼構造接合部設計指針／鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会）

許容限界の考え方（3/3：基準・規格の適用性）

<材料規格>

- 本申請において、機器等に使用する材料は、「発電用原子力設備規格（（社）日本機械学会）」及び「ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等」の規格に適合するもの又は同等以上の化学的成分及び機械的強度を有するものとする。

※ 「常陽」が設置許可（昭和45年2月12日：45原第663号）を得た当時の状況において、一部に、ASME Code Section II規格材を使用している。ただし、当該材料は、すでにJIS規格材として制定されている（JIS規格材とASME相当材の対照表：平成2年に通商産業省資源エネルギー庁公益事業部原子力発電安全管理課監修、（社）火力原子力発電技術協会発行の「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 質疑応答集」のp227～p237参照）。

<構造設計規格>

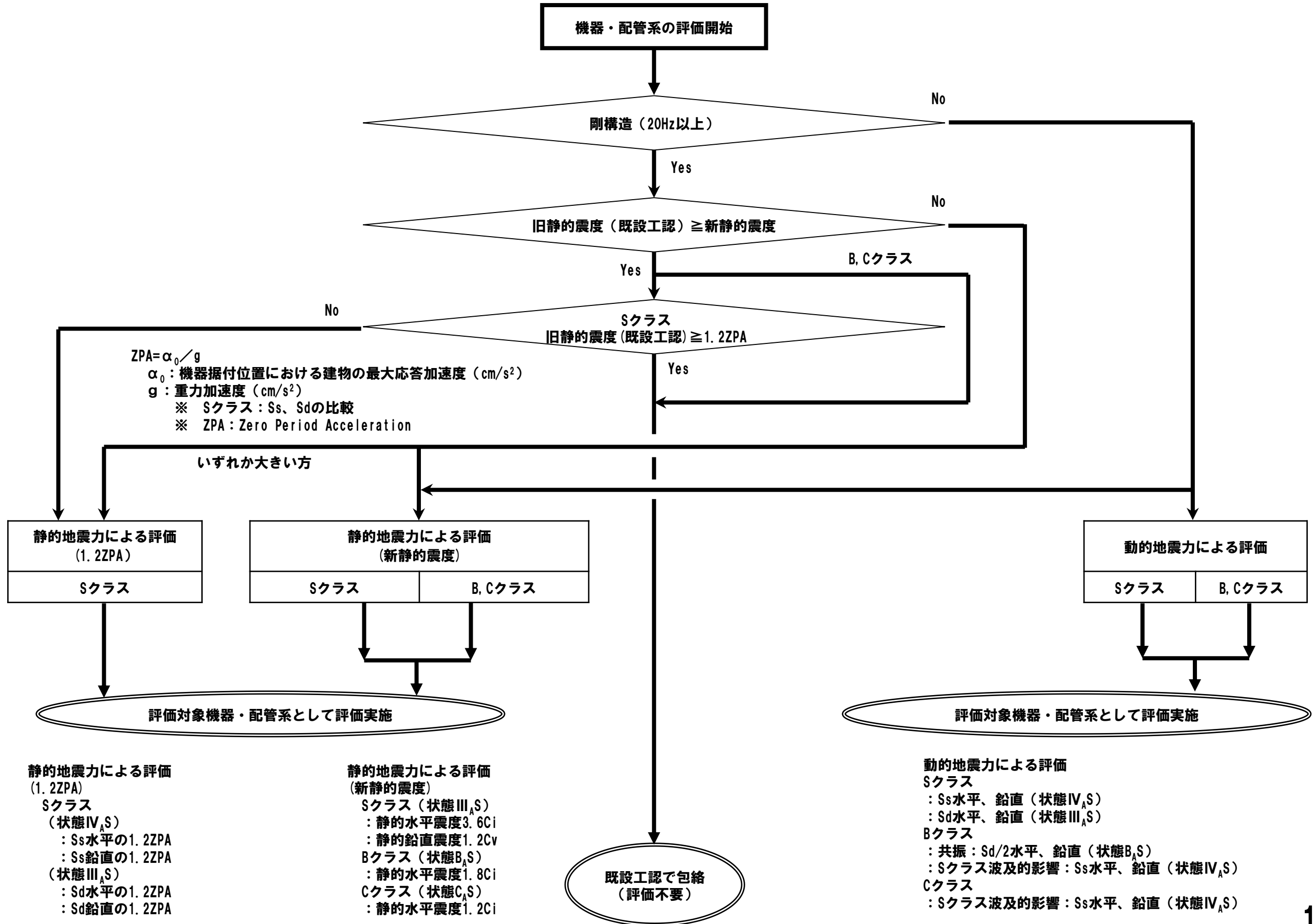
- 本申請において、機器・配管等の構造設計には、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」を適用する。なお、第1種容器及び第1種管は、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」の適用外であり、これらについては「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編 軽水炉規格 JSME S NC1-2005」のクラス1容器及びクラス1配管の規格に従う。

- ただし、使用中の金属温度が「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編 軽水炉規格 JSME S NC1-2005」の付録材料図表 Part5の適用温度範囲を超える場合は、「ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準の付録1 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針及び付録2 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等」を適用する。

※ 既設工認では、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」及び「「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針」を用いている。「「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針」は、軽水炉に比べて低圧である一方で、高温環境下で使用されること、材料の機械的特性にナトリウムが影響を及ぼすこと等を踏まえ、当時のデータ等に基づき、高速実験炉原子炉施設の構造設計用に作成されたものである。「高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針」は、その後の研究開発成果から導かれた知見等を反映し、国内法規に基づく構造設計基準の適用範囲を超える高温環境下における構造設計の指針として作成されたものである。

- なお、これらの構造設計規格の適用方法は、過去に実施してきた高速実験炉原子炉施設の設備更新や改造工事における設計及び工事の認可申請と同様である。

設工認段階における機器・配管系の耐震安全性評価の基本フロー



耐震Sクラスの施設 を有する建物の設置状況

**原子炉施設を設置する敷地に
該当する斜面はない。**

