

発電用原子炉施設に係る 特定機器の設計の型式証明申請

設置許可基準規則への適合性について (第四条、第五条、第六条関連)

2023年10月6日
トランスニュークリア(株)



TN TOKYO

目次

1. 設置許可基準規則への適合性の一覧
- 2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)
- 2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)
- 2.3 設置許可基準規則への適合性(第六条 外部からの衝撃による損傷防止)
3. 今後の想定スケジュール



1. 設置許可基準規則への適合性の一覧

□ 設置許可基準規則での要求事項に対する評価項目の概要

設置許可基準規則		特定兼用キャスクの安全機能				長期健全性	構造強度	波及的影響
		臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め			
第三条								
第四条	地震による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-
第五条	津波による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	-	-	-	-	-	○	-
第七条～第十五条								
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	○	○	○	○	○	-
第十七条～第三十六条								

(注) ○: 設計方針及び安全性能評価を説明する項目、: 申請の範囲外

2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 設置許可基準規則^(注1)(第四条)に対する適合性の概要

安全機能	要求事項	設計方針	設計の妥当性確認	備考
地震力に対する安全機能維持	<p>第4条第6項 6 兼用キャスクは、次のいずれかの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> <p>一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの</p> <p>二 基準地震動による地震力</p>	<p>TK-26型は、兼用キャスク告示^(注2)において、合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定める地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれのない設計とする。</p>	<p>兼用キャスク告示^(注2)で定める加速度による地震力を作用させた場合の構造健全性評価により、TK-26の構造健全性が維持されるため、地震時にTK-26型の安全機能は損なわれない。</p>	<p>特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じ。</p>

(注1)「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」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 設置許可基準規則の要求事項(1/2)

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の地震による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

法令等	要求事項	地震による損傷防止設計への対応
設置許可基準規則 ^(注1) 則 第4条第6項	兼用キャスクは、次のいずれかの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。 一 兼用キャスクが地震力により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な地震力として原子力規制委員会が別に定めるもの 二 基準地震動による地震力	原子力規制委員会が別に定めるもの(兼用キャスク告示 ^(注3) で定められる地震力)を考慮する。
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第4条第1項第1号	1 周辺施設を設置する場合、第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、当該周辺施設は、静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えること。その際、以下のとおりとすること。 一 耐震設計については、本規程別記2第4条第3項第3号の規定を準用すること。 二 (略)	
設置許可基準規則 ^(注1) 第4条第7項	兼用キャスクは、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。	型式証明申請の範囲外とする。

(注1)「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」

(注2)「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

(注3)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 設置許可基準規則の要求事項(2/2)

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の地震による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

法令等	要求事項	地震による損傷防止設計への対応
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第4条第2項	第4条第6項に規定する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないものであること。	貯蔵架台等に下部トラニオンで固定する設置方法(縦置き)とし、地震力に対して下部トラニオンが、破断延性限界に十分な余裕を有することで、特定兼用キャスクが転倒せず、その安全機能に影響を及ぼさない設計とする。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該兼用キャスクに要求される機能を保持すること。 ● 上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、当該兼用キャスクに要求される機能に影響を及ぼさないこと。 ● 兼用キャスクの閉じ込め機能を担保する部位は、上記の荷重条件に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件を考慮する。 ● 閉じ込め機能を担保する部位は、おおむね弾性状態にとどまる設計とする。 ● 臨界防止機能を担保するバスケットは、臨界防止機能上有意な変形が生じないように設計する。 ● その他の部位については、塑性ひずみが生じる場合であっても、破断延性限界に十分な余裕を有するように設計する。
	兼用キャスクは、周辺施設から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こと。	型式証明申請の範囲外とする。
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第4条第3項	兼用キャスク告示 ^(注3) において原子力規制委員会が別途定める水平地震力及び鉛直地震力については、同時に不利な方向の組合せで作用させること。	水平地震力及び鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用することを考慮する。

(注1)「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」

(注2)「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

(注3)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 審査ガイドの確認内容(1/3)

審査ガイド^(注1)の確認内容に対するTK-26型の地震による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

項目		確認内容	地震による損傷防止設計への対応
基本方針	地震力	兼用キャスクは、「4.2.1 地震」に示す第6項地震力に対して安全機能が維持されること。	兼用キャスク告示 ^(注2) で定める加速度を考慮して評価する。 ● 水平2300Gal ● 垂直1600Gal
	安全機能維持	兼用キャスクを基礎等に固定する場合、兼用キャスク告示第1条に定める加速度による地震力又は基準地震動による地震力に対して安全機能が維持される設計であること。	基礎等に固定する設置方法(縦置き)とし、地震力に対してその安全機能が損なわれないように設計する。
	波及的影響	兼用キャスクは、周辺施設から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こと。	型式証明申請の範囲外とする。
	設置位置周辺の斜面	兼用キャスクの設置位置周辺の斜面が兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼす可能性については、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」を参考に必要な離隔の有無等によって判断するとともに、必要な離隔が確保されない場合は、当該斜面の安定性を評価すること。	型式証明申請の範囲外とする。
荷重及び荷重の組合せ	地震力以外の荷重	地震力以外の荷重は、安全上適切と認められる規格等に基づいて、貯蔵時に想定される荷重を考慮していること。	金属キャスク構造規格 ^(注3) に基づいて、貯蔵時に想定される荷重を考慮する。
	荷重の組合せ	兼用キャスクの設置方法に応じて、兼用キャスクに作用する地震力と地震力以外の荷重を組み合わせていること。	TK-26型に作用する地震力と地震力以外の荷重による組合せを考慮する。

(注1)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」

(注3)「日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 審査ガイドの確認内容(2/3)

項目	確認内容	地震による損傷防止設計への対応
許容限界	安全上適切と認められる規格等に基づき設定すること。	金属キャスク構造規格 ^(注3) に基づき、密封境界部に生じる応力の許容限界は、弾性範囲内に留まるように設計する。 バスケットが臨界防止上有意な変形を起こさないように設計する。
	密封境界部がおおむね弾性範囲内となる許容限界としていること。 バスケットが臨界防止上有意な変形を起こさない許容限界としていること。	
静的解析及び地震応答解析	静的解析及び地震応答解析に用いる解析モデル及び解析手法は、JEAG4601の規定を参考に設定していること。	JEAG 4601の規定を参考に以下のとおり静的解析で評価する。 下部トランニオン、本体、バスケット、伝熱フィン：応力評価式
	兼用キャスクの転倒等に伴う衝突解析を行う場合は、兼用キャスク告示で定める地震力又は兼用キャスクの設置位置の地震応答に基づき、エネルギー保存則等を用いることにより、衝突時の速度を適切に算定していること。	下部トランニオンを固定することにより、TK-26型が転倒しないように設計する。
	静的解析において、兼用キャスク告示で定める地震力を用いる場合の水平地震力及び鉛直地震力については、同時に不利な方向の組合せで作用させること。	水平地震力及び鉛直地震力については、同時に不利な方向の組合せで作用させる。
	スペクトルモーダル解析又は時刻歴応答解析を用いる場合は、入力地震力として、基準地震動に基づいて兼用キャスクの設置位置の設計用床応答スペクトル又は加速度時刻歴応答波を算定していること。	スペクトルモーダル解析又は時刻歴応答解析は用いない。
	基準地震動による水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せは、各方向の入力地震動の位相特性並びに兼用キャスクの構造及び応答特性に留意し、保守的な評価となる組合せ方法を適用すること。	基準地震動は採用しない。

(注1)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかににかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」

(注3)「日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条)(地震による損傷防止)

□ 審査ガイドの確認内容(3/3)

項目	確認内容	地震による損傷防止設計への対応
耐震性評価	兼用キャスクの耐震性を評価する上で必要な箇所を評価対象部位として選定し、安全上適切と認められる規格等の規定を参考に、当該評価対象部位の応力評価及び疲労評価を行っていること。	本体、バスケット、トラニオンについて、金属キャスク構造規格 ^(注3) を参考に応力評価する。なお、疲労評価については、同規格に基づき不要であることを確認。 外筒について、設計・建設規格 ^(注4) を参考に応力評価する。 伝熱フィン ^(注3) は設計・建設規格を参考に安全機能が損なわれないように設計する。
	兼用キャスクの耐震性評価において、地震力とそれ以外の荷重を組み合わせ、その結果得られる応力等が許容限界を超えていないこと。	地震力とそれ以外の荷重を組み合わせ得られる応力が許容限界を超えないように設計する。
	密封境界部以外の部位は、組合せ荷重により塑性ひずみが生ずる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に対して十分な余裕を有すること。	密封境界部以外の部位(本体、バスケット、トラニオン、伝熱フィン)は、組合せ荷重により塑性ひずみが生ずる場合であっても、その量が小さなレベルで破断延性限界に対して十分な余裕を有するように設計する。

(注1)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」

(注3)「日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」

(注4)「日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(JSME S NC1-2012)」



2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 地震力に対する安全評価について(1/3)

(1) 地震力に対する安全評価の概要

- ✓ 特定兼用キャスクを支持する下部トラニオンの構造健全性評価を行った。
- ✓ 特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケット格子材)、遮蔽・除熱機能を担う外筒及び除熱機能を担う伝熱フィンの評価対象として機能維持評価を行った。
- ✓ 評価は、金属キャスク構造規格及び設計・建設規格を基に、地震力に加え、供用中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を考慮して実施した。

評価対象	地震力	評価方法
下部トラニオン	兼用キャスク告示で定める 加速度による地震力 ^(注) ・水平 2300Gal (2.35G) ・鉛直 1600Gal (1.64G)	地震時に下部トラニオンに生じる応力を応力評価式により算出し、金属キャスク構造規格の供用状態Dの評価基準を満足することを示す。
<ul style="list-style-type: none"> ・密封境界部 (一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト) ・バスケット(バスケット格子材) ・外筒 ・伝熱フィン 		地震時に密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれの有無を、横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットは金属キャスク構造規格の供用状態Dの評価基準を、外筒は設計・建設規格のクラス1支持構造物の供用状態Dの評価基準をそれぞれ満足することを示す。また、伝熱フィンは破断しないことを確認する。

(注)地震力は、水平地震力及び鉛直地震力が同時に不利な方向に作用させる。

2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

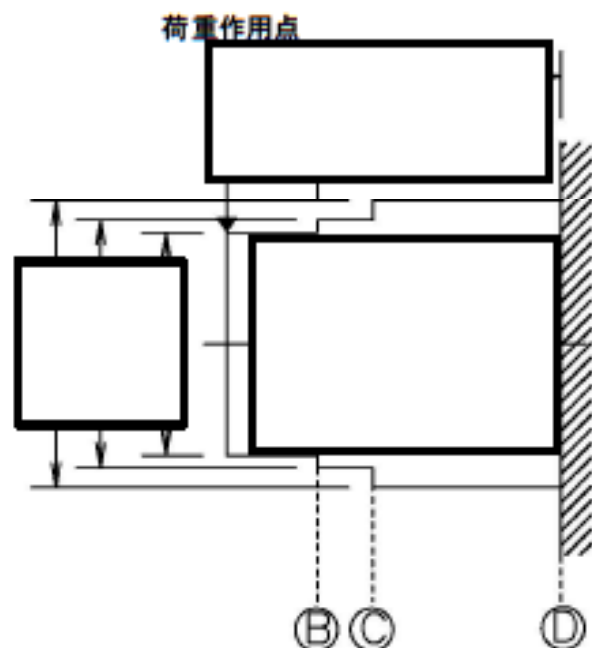
□ 地震力に対する安全評価について(2/3)

(2) トラニオンの構造健全性評価

✓地震時に下部トラニオンに生じる応力は、応力評価式により算出した。

✓下部トラニオンに生じる応力は、金属キャスク構造規格の評価基準を満足しており、下部トラニオンの構造健全性は維持される。

表4-1 下部トラニオン(0° - 180° 側)の応力評価結果



下部トラニオン(0° - 180° 側)の応力評価位置

評価位置	応力の種類		計算値(MPa)	評価基準 ^(注) (MPa)
トラニオン本体 (B断面)	一次応力	曲げ応力	248	588
		せん断応力	112	339
		組合せ応力	315	588
	一次+二次応力	曲げ応力	495	1177
		せん断応力	224	679
		組合せ応力	619	1177
トラニオン本体 (C断面)	一次応力	曲げ応力	358	588
		せん断応力	122	339
		組合せ応力	416	588
	一次+二次応力	曲げ応力	716	1177
		せん断応力	244	679
		組合せ応力	960	1177
トラニオン本体 (D断面)	一次応力	曲げ応力	418	588 (1.5f _b *)
		せん断応力	65	339 (1.5f _v *)
		組合せ応力	433	588 (1.5f _t *)
	一次+二次応力	曲げ応力	835	1177 (3f _b *)
		せん断応力	130	679 (3f _v *)
		組合せ応力	965	1177 (3f _t *)
トラニオン接続部 (おねじ部)	一次応力	せん断応力	124	339 (1.5f _v *)
	一次+二次応力	せん断応力	248	678 (3f _v *)

(注) 1.5f_b*: 金属キャスク構造規格における一次圧縮応力の供用状態Dの許容応力
 1.5f_v*: 金属キャスク構造規格における一次せん断応力の供用状態Dの許容応力
 1.5f_t*: 金属キャスク構造規格における一次引張応力の供用状態Dの許容応力

2.1 設置許可基準規則への適合性(第四条 地震による損傷防止)

□ 地震力に対する安全評価について(3/3)

(3) 密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンの機能維持評価

- ✓地震時に密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、バスケット(バスケット格子材)、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は、応力評価式により算出した。
- ✓地震時の一次蓋の横ずれの有無は、一次蓋に生じる慣性力と一次蓋ボルトの初期締付力による摩擦力の比較により評価した。
- ✓表4-2に示すとおり密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力は評価基準を満足する。また、表4-3に示すとおり地震時に一次蓋には横ずれが生じない。したがって、地震時において安全機能は維持される。

表4-2 地震時の構成部材の応力評価結果

評価位置	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準(注1) (MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b$	19	185 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	275	973 (S_y)
バスケット格子材	P_m	2	52 ($2/3S_y$)
外筒	引張応力	36	280 ($1.5f_t^*$)
伝熱フィン	応力強さ	1	86(注2)

(注1) S_y : 設計降伏点、 S_y : 設計引張強さ

(注2) 評価基準値を定める物性値はASME Boiler & Pressure Vessel Codeを準用し、これに設計・建設規格のクラス1支持構造物に規定される溶接部の継手効率(0.45)を考慮した。

表4-3 地震時の一次蓋の横ずれ評価結果

評価項目	計算値 (N)	評価基準(注) (N)
一次蓋の慣性力	1.25×10^6	1.73×10^6

(注) 一次蓋ボルトの初期締付力による摩擦力

□ 評価結果

以上のとおり、地震時にトランニオンの構造健全性及び特定兼用キャスクの安全機能は維持される。したがって、TK-26型は地震による損傷の防止に掛かる設置許可基準規則の要求事項を満足している。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

地震時に貯蔵施設における周辺施設等からの波及的影響によりTK-26型の安全機能が損なわれないこと。



2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 設置許可基準規則^(注1)(第五条)に対する適合性の概要

安全機能	要求事項	設計方針	設計の妥当性確認	備考
津波に対する安全機能維持	<p>第五条 第2項</p> <p>2 兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波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> <p>一 兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定めるもの</p> <p>二 基準津波</p>	<p>TK-26型は、兼用キャスク告示^(注2)において、合理的な津波として原子力規制委員会が別に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して安全機能が損なわれるおそれのない設計とする。</p>	<p>兼用キャスク告示^(注2)で定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突荷重を組み合わせた構造健全性評価により、TK-26の構造健全性が維持されるため、津波荷重の作用時にTK-26型の安全機能は損なわれない。</p>	<p>特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じ。</p>

(注1)「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」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の津波による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

法令等	要求事項	津波による損傷防止設計への対応
設置許可基準規則 ^(注1) 第5条第2項	2 兼用キャスク及びその周辺施設は、次のいずれかの津波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。 一 兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定めるもの 二 基準津波	原子力規制委員会が別に定めるもの(兼用キャスク告示 ^(注3) で定められる津波)を考慮する。
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第5条第1項第1号	1 第5条第2項の津波の設定に当たっては、以下の方針によること。 一 第1号に規定する「兼用キャスクが津波により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる合理的な津波として原子力規制委員会が別に定めるもの」については、兼用キャスク告示第2条によるものとする。	
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第5条第2項第1号	● 津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して、その安全機能が損なわれるおそれがないものであること。	津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突に対して、その安全機能が損なわれないように設計する。
	● 上記の「漂流物の衝突」については、質量100トンの漂流物の衝突とすること。	質量100トンの漂流物の衝突を考慮する。
	● 上記の波力及び衝突による荷重については、同時に作用させること。	波力及び衝突による荷重については、同時に作用させる。

(注1)「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」

(注2)「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

(注3)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかにかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注1)の確認内容に対するTK-26型の津波による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

項目		確認内容	津波による損傷防止設計への対応
基本方針	津波による作用力	兼用キャスク告示 ^(注2) で定める津波を適用する場合は、津波が兼用キャスクの設置位置へ遡上することを前提とした評価が行われていること。	兼用キャスク告示 ^(注2) で定める津波を適用し、津波が兼用キャスクの設置位置へ遡上することを前提とした評価を行う。
	荷重の作用及び組合せ	兼用キャスクの評価において保守的な荷重の作用及び組合せを設定すること。	保守的な荷重の作用及び組合せを設定する。
設計・評価の方針	考慮する荷重	浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重を基本とし、それぞれの荷重については、兼用キャスクの評価上最も厳しくなる位置へ作用させること。	浸水深に基づく津波波力並びに流速及び漂流物質量に基づく衝突荷重を基本とし、それぞれの荷重については、兼用キャスクの評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。
	津波波力及び漂流物荷重	①津波波力(津波波圧) ・東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針 ②漂流物衝突荷重 ・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)	以下の指針等を用いて津波波力及び漂流物荷重を設定する。 ①津波波力(津波波圧) ・東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針 ②漂流物衝突荷重 ・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)
	津波荷重に対する兼用キャスクの評価	既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により行うこと。	既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により行う。

(注1)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 津波荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 津波荷重に対する安全評価の概要

- ✓ 津波荷重に対する特定兼用キャスクの機能維持評価を行った。
- ✓ 評価部位は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケット格子材)、遮蔽・除熱機能を担う外筒及び除熱機能を担う伝熱フィンとする。
- ✓ 津波荷重は、各評価部位に対して最も厳しくなる位置に作用する条件を設定した。

評価対象	津波荷重	評価方法
<ul style="list-style-type: none"> ・密封境界部 (一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト) ・バスケット(バスケット格子材) ・外筒 ・伝熱フィン 	兼用キャスク告示で定める津波による作用力 <ul style="list-style-type: none"> ・浸水深 10m ・流速 20m/s ・漂流物質量 100t 	津波荷重作用時に密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれの有無を、横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットは金属キャスク構造規格の供用状態Dの評価基準を、外筒は設計・建設規格のクラス1支持構造物の供用状態Dの評価基準をそれぞれ満足することを示す。また、伝熱フィンは破断しないことを確認する。

2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 津波荷重に対する安全評価について(2/3)

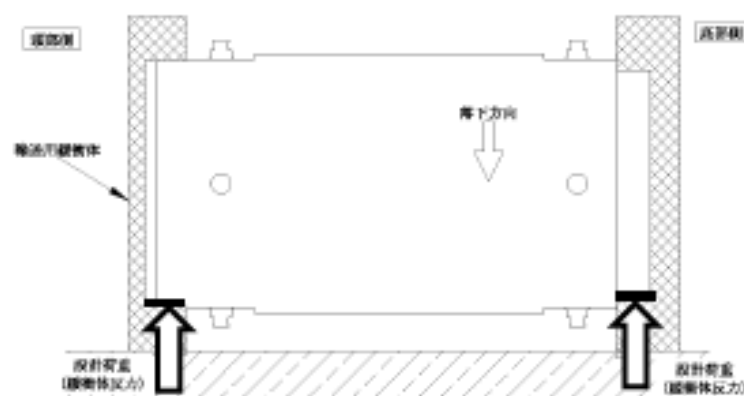
(2) 一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材の評価方法

- ✓ 津波荷重を包絡する設計荷重を設定し、設計荷重が作用した場合の一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材を応力評価式により評価する。
- ✓ 設計荷重は、輸送用緩衝体を装着したTK-26型が水平落下した場合に、設計荷重が緩衝体反力としてフランジ側面及び底板側面に作用する状態を想定する。
- ✓ 津波荷重 ($5.77 \times 10^3 \text{kN}$) がすべてフランジ側面に作用する保守的な条件を想定しても、設計荷重によりフランジ側面に作用する荷重 ($1.50 \times 10^4 \text{kN}$) に包絡される。

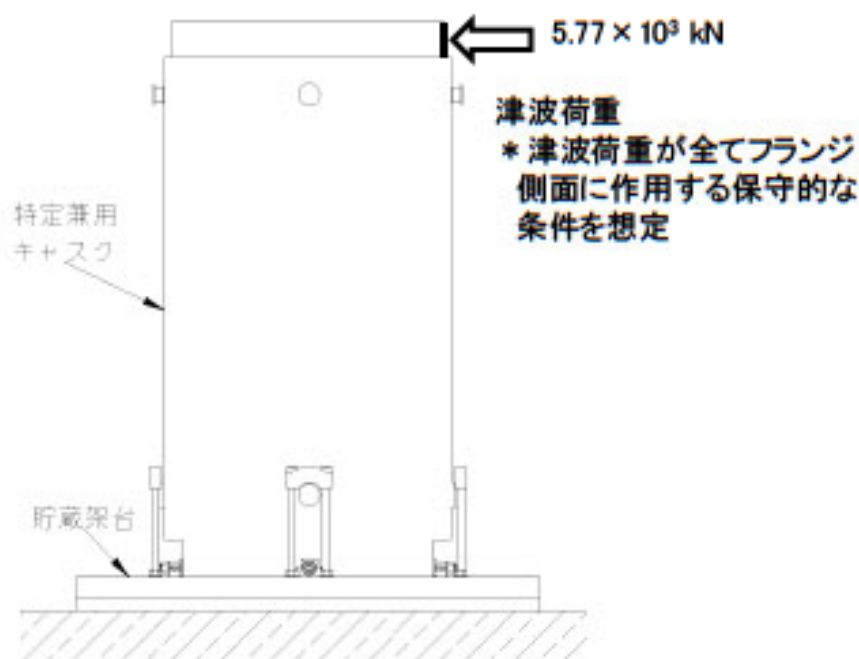
表5-1 津波荷重と設計荷重の比較

津波荷重 (kN)	設計荷重 (kN)
5.77×10^3	2.88×10^4 [フランジ側面: 1.50×10^4 底板側面 : 1.38×10^4] (注)

(注) 設計荷重作用時のモーメントのつり合いにより算出した値



<設計荷重作用時>



<津波荷重作用時>

2.2 設置許可基準規則への適合性(第五条 津波による損傷防止)

□ 津波荷重に対する安全評価について(3/3)

(3) 外筒及び伝熱フィンの評価方法

- ✓津波荷重作用時の外筒の評価は、外筒の全体挙動に関する評価と、漂流物が外筒に衝突する局所の評価を応力評価式により実施する。
- ✓伝熱フィンについては、その外側に取付けられる外筒が津波波力及び漂流物衝突荷重によって破断した場合、除熱機能に影響を及ぼすことから、外筒に対する評価結果をふまえて伝熱フィンが破断しないことを確認する。

(4) 評価結果

- ✓津波荷重を包絡する設計荷重作用時に、一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材に生じる応力は、表5-2に示すとおり評価基準を満足する。また、一次蓋の慣性力は、表5-3に示すとおり一次蓋の締付力による摩擦力より小さく、一次蓋には横ずれは生じない。
- ✓津波波力及び漂流物衝突荷重作用時に外筒に生じる応力は、表5-4に示すとおり評価基準を満足する。なお、漂流物が外筒に衝突する局所において、外筒に塑性変形が生じる可能性があるが、押し抜きせん断により外筒が破断することはない。
- ✓漂流物の衝突により外筒に局所的な塑性変形が生じる場合は、伝熱フィンにも局所的に塑性変形が生じる可能性があるが、伝熱フィンは外筒よりも大きな延性を有するため、伝熱フィンが破断することはない。よって、評価基準を満足する。
- ✓以上のとおり、TK-26型は津波荷重による損傷の防止に係る設置許可基準規則の要求事項を満足している。

表5-2 津波荷重を包絡する設計荷重作用時の構成部材の
応力評価結果

評価位置	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準 (MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b + Q$	59	182 (S_y)
一次蓋ボルト	$\sigma_m + \sigma_b$	399	972 (S_y)
バスケット格子材	P_m	16	52 ($2/3S_y$)

表5-3 津波荷重作用時の一次蓋の横ずれ評価結果

評価項目	計算値 (N)	評価基準 ^(注) (N)
一次蓋の慣性力	1.33×10^6	1.74×10^6

(注)一次蓋ボルトの初期締付力による摩擦力

表5-4 津波荷重作用時の構成部材の応力評価結果

評価位置	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準 ^(注) (MPa)
外筒	せん断応力	32	162 ($1.5f_s^*$)

- 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件なし



2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 設置許可基準規則^(注1) (第六条)に対する適合性の概要

安全機能	要求事項	設計方針	設計の妥当性確認	備考
外部からの衝撃に対する安全機能維持	<p>第6条 第4項</p> <p>4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの</p> <p>二 (略)</p>	<p>TK-26型は、兼用キャスク告示^(注2)において、合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定める竜巻による飛来物の衝突に対して安全機能が損なわれるおそれのない設計とする。</p>	<p>兼用キャスク告示^(注2)で定める竜巻による荷重及び設計飛来物の衝突による荷重を組合せた荷重条件に対する構造健全性評価により、TK-26の構造健全性が維持されるため、竜巻荷重の作用時にTK-26型の安全機能は損なわれない。</p>	<p>特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じ。</p>

(注1)「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」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の外部からの衝撃による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

法令等	要求事項	外部からの衝撃による損傷防止設計への対応
設置許可基準規則 ^(注1) 第6条第4項	4 兼用キャスクは、次に掲げる自然現象が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。 一 兼用キャスクが竜巻により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるもの	原子力規制委員会が別に定めるもの(兼用キャスク告示 ^(注3) で定められる竜巻)を考慮する。
	二 想定される森林火災	型式証明申請の範囲外とする。
設置許可基準規則 ^(注1) 第6条第6項	6 兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。 一 工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発 二 工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性損なわせる原因となるおそれがある火災	
設置許可基準規則 ^(注2) 別記4第6条第2項	兼用キャスク告示第3条によるものとする。	左記に規定される竜巻を考慮する。
	竜巻による飛来物の衝突に対して、その安全機能を損なわないものであること。	竜巻による飛来物の衝突に対してその安全機能が損なわれないように設計する。
	第2号に規定する「森林火災」については、本規程第6条第2項及び第3項のとおりとする。	型式証明申請の範囲外とする。

(注1)「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」

(注2)「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」

(注3)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」



2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注1)の確認内容に対するTK-26型の外部からの衝撃による損傷防止設計への対応を下表に示す。なお、特定機器の型式の設計について型式証明の変更(C-SE-2110271)を受けたMSF-24P(S)型と同じである。

項目	確認内容	外部からの衝撃による損傷防止設計への対応
設計・評価の方針	竜巻による飛来物の衝突荷重及び衝突による評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参考にしていること。	兼用キャスク告示 ^(注2) で定められる竜巻を考慮し、竜巻による設計飛来物は、「原子力発電所の竜巻影響評価好、ガイド」を参考にする。
	設計竜巻に対する飛来物及び最大速度は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に記載の値を参考に設定し、飛来物の衝突荷重を算定(例えば、建築物の耐衝撃設計の考え方((一社)日本建築学会2015.1)を参考に飛来物の圧潰挙動を無視してRieraの式等で算定)していること。	竜巻による設計飛来物は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」解説表4.1に基づき、TK-26型に与える影響が最大となるものを選定し、飛来物の圧壊挙動を無視し、Rieraの式を用いて算出する。
	竜巻荷重に対する兼用キャスクの評価は、既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により行われていること。	既往の研究事例や機能確認試験等の結果との対比、FEM解析に基づく応力評価等により実施する。

(注1)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

(注2)「兼用キャスクが地震力等により安全機能を損なうかどうかをその設置される位置のいかんにかかわらず判断するために用いる地震力等を定める告示」

2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 竜巻荷重に対する安全評価について(1/3)

(1) 竜巻荷重に対する安全評価の概要

- ✓ 竜巻荷重に対する特定兼用キャスクの機能維持評価を行った。
- ✓ 評価部位は、特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材として、閉じ込め機能を担う密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)、臨界防止機能を担うバスケット(バスケット格子材)、遮蔽・除熱機能を担う外筒及び除熱機能を担う伝熱フィンとする。
- ✓ 竜巻荷重は、各評価部位に対して最も厳しくなる位置に作用する条件を設定した。

評価対象	津波荷重	評価方法
<ul style="list-style-type: none"> ・密封境界部 (一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト) ・バスケット(バスケット格子材) ・外筒 ・伝熱フィン 	兼用キャスク告示で定める津波による作用力 <ul style="list-style-type: none"> ・最大風速 100m/s ・設計飛来物 (表6-1) 	竜巻荷重作用時に密封境界部、バスケット、外筒及び伝熱フィンに生じる応力を応力評価式により評価する。また、一次蓋の横ずれの有無を、横ずれ荷重評価式により評価する。密封境界部及びバスケットは金属キャスク構造規格の供用状態Dの評価基準を、外筒は設計・建設規格のクラス1支持構造物の供用状態Dの評価基準をそれぞれ満足することを示す。また、伝熱フィンは破断しないことを確認する。

表6-1 設計飛来物

項目	棒状物		板状物	塊状物	
	鋼製パイプ	鋼製材	コンクリート板	コンテナ	トラック
寸法 (m)	長さ×直径 2×0.05	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15	長さ×幅×奥行 2.4×2.6×6	長さ×幅×奥行 5×1.9×1.3
質量 (kg)	8.4	135	540	2300	4750
最大水平速度 (m/s)	49	51	30	60	34
最大鉛直速度 (m/s)	33	34	20	40	23

2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 竜巻荷重に対する安全評価について(2/3)

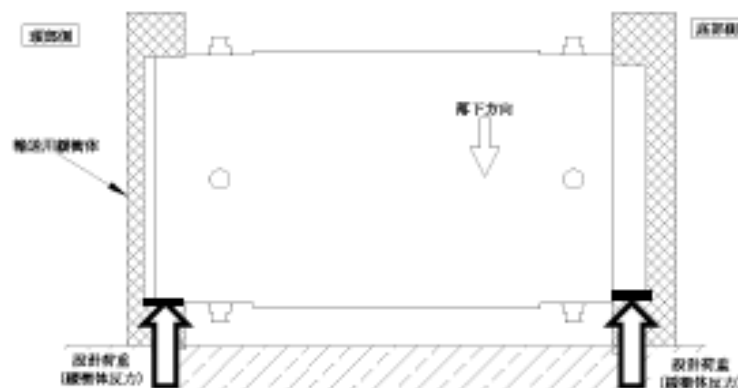
(2) 一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材の評価方法

- ✓ 竜巻荷重を包絡する設計荷重を設定し、設計荷重が作用した場合の一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材を応力評価式により評価する。
- ✓ 設計荷重は、輸送用緩衝体を装着したTK-26型が水平落下した場合に、設計荷重が緩衝体反力としてフランジ側面及び底板側面に作用する状態を想定する。
- ✓ 表6-2に示すとおり、評価した竜巻荷重は、津波荷重による機能維持評価に用いた設計荷重よりも小さい。よって、竜巻荷重による機能維持評価は津波荷重による評価結果に包絡される。

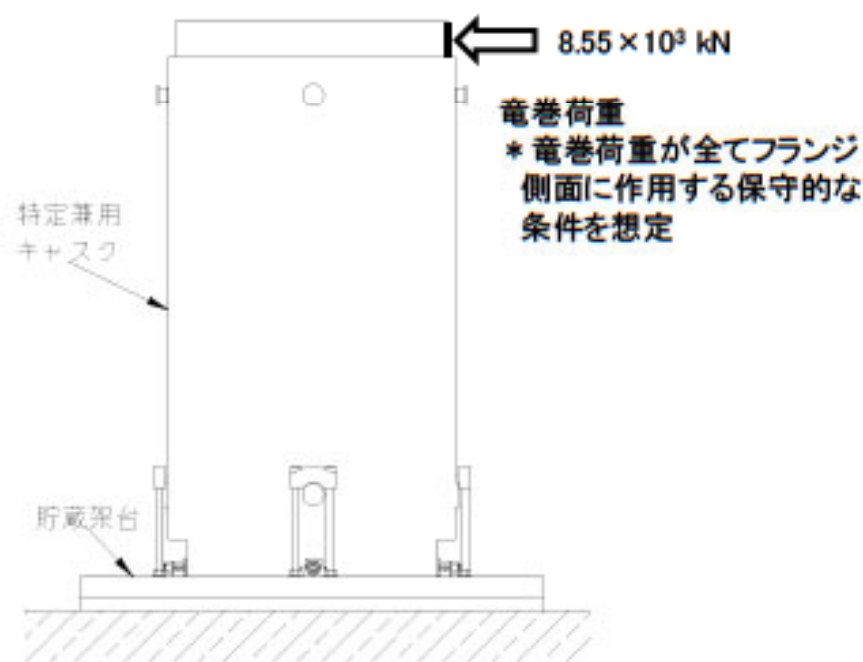
表6-2 竜巻荷重と設計荷重の比較

竜巻荷重 (kN)	設計荷重 (kN)
8.55×10^3	2.88×10^4 [フランジ側面: 1.50×10^4] (注) [底板側面 : 1.38×10^4]

(注) 設計荷重作用時のモーメントのつり合いにより算出した値



<設計荷重作用時>



<竜巻荷重作用時>

2.3 設置許可基準規則への適合性 (第六条 外部からの衝撃による損傷防止)

□ 竜巻荷重に対する安全評価について(3/3)

(3) 外筒及び伝熱フィンの評価方法

- ✓ 竜巻荷重作用時の外筒の評価は、外筒の全体挙動に関する評価(外筒中央部に集中荷重として作用)と、BRL (Ballistic Research Laboratory) 式⁽¹⁾を用いた設計飛来物の限界貫通厚さを評価し、外筒が破損しないことを確認する。
- ✓ 伝熱フィンについては、その外側に取付けられる外筒が竜巻荷重によって破断した場合、除熱機能に影響を及ぼすことから、外筒に対する評価結果をふまえて伝熱フィンが破断しないことを確認する。

(4) 評価結果

- ✓ 竜巻荷重を包絡する設計荷重作用時に、一次蓋密封シール部、一次蓋ボルト及びバスケット格子材に生じる応力は評価基準を満足することは規則適合性(第五条)にて確認されている。
- ✓ 設計飛来物による外筒の全体挙動の評価は、表6-3に示すとおり設計・建設規格のクラス1支持構造物の供用状態Dの評価基準を満足する。また、外筒の限界貫通厚さは、表6-4に示すとおり最大9mm程度であり、外筒の板厚22mmより小さいため、破断しない。
- ✓ 伝熱フィンの外側に取付けられる外筒が破断しないため、伝熱フィンも破断しない。
- ✓ 以上のとおり、TK-26型は飛来物の衝突荷重が作用した場合に生じる応力等が評価基準を上回らないことから、TK-26型の安全機能が損なわれるおそれはない。したがって、TK-26型は外部からの衝撃による損傷の防止に係る設置許可基準規則の要求事項を満足している。

表6-3 外筒の応力評価結果

応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準 (MPa)
曲げ	41	280 (1.5 f_{t0})
せん断	48	162 (1.5 f_{s0})

表6-4 外筒の限界貫通厚さの計算結果

飛来物の種類	計算条件			限界貫通厚さ (mm)
	質量 (kg)	速度 (m/s)	等価直径 (m)	
鋼製板 ^(注)	135	51	0.276	8.9

(注) 設計飛来物のうち、最も厳しい条件を代表して記載した。

参考文献

(1) (公社)土木学会、「構造工学シリーズ6 構造物の衝撃挙動と設計法」、(1993)

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

なし

3. 今後の想定スケジュール

□ 審査での想定説明スケジュールを以下に示す。

	2022年	2023年												2024年
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
全般	▼ 12/23申請	▼	▼	▼	▼	▼▼	▼	▼	▼					▼ 補正申請
型式証明申請の概要		■												
16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
4条 地震による損傷の防止									■	■	■	■	■	
5条 津波による損傷の防止									■	■	■	■	■	
6条 外部からの衝撃による損傷の防止									■	■	■	■	■	
コメント対応			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	