

資料1-9

Doc No. 22-180-I-108 Rev. 0

2023年8月29日

トランスニュークリア株式会社

#### 補足説明資料4-1

#### 4条

#### 地震による損傷の防止

地震に対する安全機能維持に関する説明資料

本資料のうち、枠囲みについては商業機密のため非公開とします。

## 目 次

1. 要求事項 .....	1
2. 要求事項への適合性 .....	8
3. 参考文献 .....	26

別紙1 地震時のトラニオン構造健全性評価

別紙2 地震時の特定兼用キャスクの機能維持評価

## 1. 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、特定兼用キャスクの地震に対する要求事項は、以下のとおりである。

### (1) 設置許可基準規則要求事項

#### a. 設置許可基準規則第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
- 二 基準地震動による地震力

#### b. 設置許可基準規則解釈別記4第4条第2項

第4条第6項に規定する「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」ことを満たすために、兼用キャスクの設計に当たっては、以下の方針によること。

- 一 第6項に規定する地震力(以下「第6項地震力」という。)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。ただし、輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれがないものとし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部へ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とする。
- 二 兼用キャスクについては、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。また、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。ただし、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。
- 三 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。この波及的影響の評価に当たっては、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の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。また、上記の「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」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクがその安全機能を損なわないことを確認すること。

- ・設置地盤、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
- ・兼用キャスク間の相互影響
- ・兼用キャスクと周辺施設との相互影響(周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。)

c. 設置許可基準規則解釈別記4第4条第3項第1号

第6項地震力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」については、次のとおりとする。
  - ・兼用キャスクが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(平成31年原子力規制委員会告示第2号。以下「兼用キャスク告示」という。)第1条によるものとする。
  - ・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。

d. 兼用キャスク告示第1条

設置許可基準規則第4条第6項第1号の原子力規制委員会が別に定める地震力は、次の表に掲げる加速度及び速度による地震力とする。

加速度	水平2300Gal及び鉛直1600Gal
速度	水平2m/s及び鉛直1.4m/s

- (2) 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  
審査ガイド確認事項

「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」に記載されている地震に対する【審査における確認事項】及び【確認内容】は  
以下のとおりである。

- a. 「4.2 考慮する自然現象等の設定方針 4.2.1 地震」

【審査における確認事項】

『

第6項地震力を適用していること。

』

【確認内容】

『

- (1) 設置許可基準規則の解釈別記4第4条第3項に基づき、第6項地震力を定めていること。  
(2) 第6項地震力として、以下のいずれかを適用していること。

①兼用キャスク告示で定める地震力

地震力を算出するために必要な加速度及び速度は以下のとおり。

- ・加速度：水平2300Gal 及び鉛直1600Gal
- ・速度：水平200cm/s 及び鉛直140cm/s

②基準地震動による地震力

解放基盤表面から兼用キャスク設置位置まで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求めた地盤応  
答加速度に基づく地震力

』

- b. 「4.3.1 地震に対する設計方針 4.3.1.1 基本方針」

【審査における確認事項】

『

- (1) 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。  
(2) 輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれが

ないこととし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部へ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こととする。

」

#### 【確認内容】

『

兼用キャスクの評価は、以下によること。（別表中「兼用キャスク本体評価」欄）

- (1) 兼用キャスクは、第6項地震力の作用に対する評価が行われていること。ただし、輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれがないこととし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部へ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こととする。
- (2) 兼用キャスクを基礎等に固定しない場合、兼用キャスクの設置方法に応じて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。特に、蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法であるときは、当該衝突に対して安全機能が維持される設計であること。
- (3) 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。
- (4) 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。この波及的影響の評価に当たっては、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の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。また、上記の「兼用キャスクが、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」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクの安全機能への影響がないことを確認すること。
  - 1) 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
  - 2) 兼用キャスク間の相互影響
  - 3) 兼用キャスクと周辺施設との相互影響(周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。)
- (5) 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

安定性を評価していること。斜面の安定性評価に当たっては、「6. 地盤及び周辺斜面の安定性評価」を参考にしていること。

」

c. 「4.3.1 地震に対する設計方針 4.3.1.2 荷重及び荷重の組合せ」

**【審査における確認事項】**

『

兼用キャスクに作用する地震力と地震力以外の荷重を適切に組み合わせていること。

』

**【確認内容】**

『

(1) 荷重及び荷重の組合せの考え方が、以下を踏まえ妥当であること。

1) 地震力以外の荷重

兼用キャスクに作用する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。

2) 荷重の組合せ

兼用キャスクについて、耐震性評価を行う際、JEAG4601等の安全上適切と認められる規格等を参考に、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。

(2) 設計上、転倒等を想定する場合は、これらによる荷重と同時に想定されるその他の荷重とを組み合わせた評価を行っていること。

』

d. 「4.3.1 地震に対する設計方針 4.3.1.3 許容限界」

**【審査における確認事項】**

『

兼用キャスクの設置方法に応じて、安全上適切と認められる規格等に基づき許容限界を設定していること。

』

**【確認内容】**

『

許容限界の設定が、以下を踏まえ妥当であること。

- 1) 兼用キャスクの許容限界は、安全上適切と認められる規格等に基づき設定すること。加えて、兼用キャスクの閉じ込め機能及び臨界防止機能に関しては以下のとおりとすること。
  - a. 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。
  - b. 兼用キャスクの臨界防止機能をバスケットで担保している場合、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。

」

- e. 「4.3.1 地震に対する設計方針 4.3.1.4 静的解析及び地震応答解析」

#### 【審査における確認事項】

『

- (1) 第6項地震力による兼用キャスクの安全機能の評価に際しては、兼用キャスクの設置方法に応じて、静的解析又は地震応答解析を行っていること。
- (2) 兼用キャスクの静的解析及び地震応答解析においては、設置方法及び適用する地震力の種類に応じて、適切な解析モデル及び解析手法を設定していること。
- (3) 地震応答解析を行う場合は、兼用キャスクの地震応答解析モデルへの入力地震動は兼用キャスクの設置位置の地震応答に基づき算定していること。

』

#### 【確認内容】

『

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 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。なお、各方向の入力地震動の位相特性及び兼用キャスクの応答特性により、必要に応じ、応答の同時性を考慮していること。

」

f. 「4.3.1 地震に対する設計方針 4.3.1.5 耐震性評価」

【審査における確認事項】

『

- (1) 第6項地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果得られる応力等が「4.3.1.3 許容限界」で設定する許容限界を超えていないこと。
- (2) 密封境界部以外の部位は、(1)の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。

』

【確認内容】

『

- (1) 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。
- (2) 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「4.3.1.3 許容限界」で設定する許容限界を超えていないこと。
- (3) 密封境界部以外の部位は、(2)の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。
- (4) 設計上、転倒等を想定する場合は、その影響を考慮していること。
- (5) 兼用キャスクの臨界防止機能をバスケットで担保しており、兼用キャスクの転倒又は衝突、貯蔵建屋の天井の落下等によりバスケットに塑性変形が生ずる場合は、バスケットの形状及び使用済燃料の状態を考慮しても未臨界が維持されること。

』

## 2. 要求事項への適合性

### (1) 設置許可基準規則への適合性

TK-26型の地震による損傷防止に関する設計は、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

#### a. 設置許可基準規則第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

#### b. 設置許可基準規則解釈別記4第4条第2項

第4条第6項に規定する「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」ことを満たすために、兼用キャスクの設計に当たっては、以下の方針によること。

- 一 第6項に規定する地震力（以下「第6項地震力」という。）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。ただし、輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれがないものとし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は、第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部へ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とする。
- 二 兼用キャスクについては、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。また、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。ただし、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。
- 三 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。この波及的影響の評価に当たっては、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の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。また、上記の「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」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクがその安全機能を損なわないことを確認すること。

- ・設置地盤、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
- ・兼用キャスク間の相互影響
- ・兼用キャスクと周辺施設との相互影響（周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。）

c. 設置許可基準規則解釈別記4第4条第3項第1号

第6項地震力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」については、次のとおりとする。
- ・兼用キャスクが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（平成31年原子力規制委員会告示第2号。以下「兼用キャスク告示」という。）第1条によるものとする。
- ・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。

d. 兼用キャスク告示第1条

設置許可基準規則第4条第6項第1号の原子力規制委員会が別に定める地震力は、次の表に掲げる加速度及び速度による地震力とする。

加速度	水平2300Gal及び鉛直1600Gal
速度	水平2m/s及び鉛直1.4m/s

TK-26型は、地盤の十分な支持を想定し、縦置きで貯蔵架台等に固定された特定兼用キャスクを基礎等に固定する設計とする。また、TK-26型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と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地震力を組み合わせた荷重条件に対して、特定兼用キャスクの貯蔵架台等に固定する支持部（下部トランニオン）は、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、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。

さらに、上記荷重条件に対して、特定兼用キャスクの安全機能を担保する部位のうち、閉じ込め機能を担保する密封境界部は、おおむね弾性状態に留まるようにし、臨界防止機能を担保するバスケット格子材は、臨界防止上有意な変形を起こさ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し、特定兼用キャスクの安全機能が維持される設計とする。

後述する2 (2) 審査ガイドへの適合性の説明に示すとおり、耐震性評価（機能維持評価）に用いる荷重及び荷重の組合せとして、兼用キャスク告示で定める地震力（加速度）について水平地

震力と鉛直地震力を同時に不利な方向の組合せで作用させることに加え、供用中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を組み合わせることとしている。また、安全上適切と認められる規格等で妥当性が確認されている値を許容限界とすることに加え、上記によ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留まって破断延性限界に十分な余裕を有すること、及び、特定兼用キャスクの密封境界部についてはおおむね弾性状態に留まる値を許容限界とした。上記条件に基づく耐震性評価の結果、TK-26型を支持するトラニオン及び特定兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材に発生する応力が許容限界を満足することから、地震力に対して安全機能が維持されることを確認した。

なお、設置許可基準規則解釈別記4第4条第2項第3号に示される周辺施設からの波及的影響評価については、型式証明申請の範囲外(設置(変更)許可時に別途確認)である。

(2) 審査ガイドへの適合性

審査ガイドでは、兼用キャスクの有する安全機能を維持するために自然現象等に対する基本方針の妥当性を確認することが定められており、兼用キャスクの地震に対する設計は、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

<1. (2)a. に対する適合性>

【確認内容】

- (1) 設置許可基準規則の解釈別記4第4条第3項に基づき、第6項地震力を定めていること。
- (2) 第6項地震力として、以下のいずれかを適用していること。

①兼用キャスク告示で定める地震力

地震力を算出するために必要な加速度及び速度は以下のとおり。

- ・加速度：水平2300Gal 及び鉛直1600Gal
- ・速度：水平200cm/s 及び鉛直140cm/s

②基準地震動による地震力

解放基盤表面から兼用キャスク設置位置まで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求めた地盤応答加速度に基づく地震力

地震に対する評価に用いる地震力は、兼用キャスク告示で定める地震力とし、地震力を算出するために必要な加速度及び速度は以下のとおりとする。

- ・加速度：水平2300Gal 及び鉛直1600Gal
- ・速度：水平200cm/s 及び鉛直140cm/s

<1. (2)b. の(1)～(3)に対する適合性>

**【確認内容】**

- (1) 兼用キャスクは、第6項地震力の作用に対する評価が行われていること。ただし、輸送荷姿により設置する場合は第6項地震力によって安全機能が損なわれるおそれがないこととし、輸送荷姿以外の兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、緩衝体の装着等により兼用キャスク蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置する場合は第6項地震力による兼用キャスク蓋部の金属部へ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こととする。
- (2) 兼用キャスクを基礎等に固定しない場合、兼用キャスクの設置方法に応じて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。特に、蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法であるときは、当該衝突に対して安全機能が維持される設計であること。
- (3) 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。

TK-26型は、特定兼用キャスクを基礎等に固定することにより、兼用キャスク告示に定める地震力に対して転倒せず、安全機能が維持される設計とする。

<1. (2)b. の(4)に対する適合性>

**【確認内容】**

(4) 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。この波及的影響の評価に当たっては、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の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。また、上記の「兼用キャスクが、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」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクの安全機能への影響がないことを確認すること。

- 1) 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
- 2) 兼用キャスク間の相互影響
- 3) 兼用キャスクと周辺施設との相互影響(周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。)

周辺施設からの波及的影響は、型式証明申請の範囲外である。本確認事項に対する確認は、設置(変更)許可申請時に別途確認されるものとする。

<1. (2)b. の(5)に対する適合性>

**【確認内容】**

(5) 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していること。斜面の安定性評価に当たっては、「6. 地盤及び周辺斜面の安定性評価」を参考にしていること。

特定兼用キャスク設置位置周辺の斜面の影響評価は、型式証明申請の範囲外である。

<1. (2)c. に対する適合性>

**【確認内容】**

(1) 荷重及び荷重の組合せの考え方が、以下を踏まえ妥当であること。

1) 地震力以外の荷重

兼用キャスクに作用する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。

2) 荷重の組合せ

兼用キャスクについて、耐震性評価を行う際、JEAG4601等の安全上適切と認められる規格等を参考に、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。

(2) 設計上、転倒等を想定する場合は、これらによる荷重と同時に想定されるその他の荷重とを組み合わせた評価を行っていること。

TK-26型の地震力による機能維持評価は、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)<sup>0)</sup>(以下「金属キャスク構造規格」という。)を基に、TK-26型に作用する地震力に加え、地震力以外の荷重として、供用中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を組み合わせ実施する。



<1. (2)d に対する適合性>

**【確認内容】**

許容限界の設定が、以下を踏まえ妥当であること。

- 1) 兼用キャスクの許容限界は、安全上適切と認められる規格等に基づき設定すること。加えて、兼用キャスクの閉じ込め機能及び臨界防止機能に関しては以下のとおりとすること。
  - a. 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。
  - b. 兼用キャスクの臨界防止機能をバスケットで担保している場合、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。

TK-26型の地震力による耐震性能評価(機能維持評価)は、金属キャスク構造規格を基に、実施する。

TK-26型は転倒せず、特定兼用キャスクの安全機能に影響を及ぼさない設計とする。兼用キャスク告示で定められる地震力が作用した場合に転倒しないためには、TK-26型を支持するトラニオンの健全性を維持する必要があることから、金属キャスク構造規格のトラニオンの規定を適用して評価を行う。

TK-26型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)、遮蔽機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持する部位)、臨界防止機能を担うバスケット、除熱機能を担う伝熱フィンを評価対象として機能維持評価を行う。

なお、閉じ込め機能を担う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、金属キャスク構造規格に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とする。臨界防止機能を担うバスケットは、金属キャスク構造規格<sup>①</sup>に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とし、塑性変形が生じる場合はバスケットの変形量を考慮した臨界解析により臨界防止上有意な変形が生じていないことを確認する。また、外筒については日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第I編 軽水炉規格>(JSME S NCI-2012)<sup>②</sup> (以下「設計・建設規格」という。)のクラス1支持構造物の規定に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とし、伝熱フィンについては破断しないことを確認し、部材が欠損せず安全機能が損なわれないことを確認する。

<1. (2)e. に対する適合性>

**【確認内容】**

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 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。なお、各方向の入力地震動の位相特性及び兼用キャスクの応答特性により、必要に応じ、応答の同時性を考慮していること。

TK-26型の地震力による機能維持評価は、兼用キャスク告示で定められる地震力を使用し、静的解析により実施する。また、地震力は、水平地震力及び鉛直地震力を同時に不利な方向の組合せで作用させる。

なお、TK-26型は兼用キャスク告示で定められる地震力に対して転倒しない設計とすることから、転倒等に伴う衝突が生じることはない。また、地震力の算定において、スペクトルモーダル解析又は時刻歴応答解析は実施しない。さらに、地震力には、基準地震動による地震力を用いない。

<1. (2)f. に対する適合性>

**【確認内容】**

- (1) 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。
- (2) 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「4.3.1.3 許容限界」で設定する許容限界を超えていないこと。
- (3) 密封境界部以外の部位は、(2)の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。
- (4) 設計上、転倒等を想定する場合は、その影響を考慮していること。
- (5) 兼用キャスクの臨界防止機能をバスケットで担保しており、兼用キャスクの転倒又は衝突、貯蔵建屋の天井の落下等によりバスケットに塑性変形が生ずる場合は、バスケットの形状及び使用済燃料の状態を考慮しても未臨界が維持されること。

TK-26型の耐震性評価では、金属キャスク構造規格等に基づき、TK-26型に作用する地震力と供用中に作用する荷重(圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重)を組み合わせ実施し、許容限界を超えないことを確認する。

型式証明における設計方針の妥当性確認として、特定兼用キャスクを支持するトランニオンに加え、TK-26型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)、遮蔽機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持する部位)、臨界防止機能を担うバスケット、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う。

なお、閉じ込め機能を担う密封境界部は金属キャスク構造規格に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とする。臨界防止機能を担うバスケットは金属キャスク構造規格に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とし、塑性変形が生じる場合はバスケットの変形量を考慮した臨界解析により臨界防止上有意な変形が生じていないことを確認する。また、外筒については設計・建設規格のクラス1支持構造物の規定に定める供用状態Dの許容応力を許容限界とし、伝熱フィンについては破断しないことを確認し、部材が欠損せず安全機能が損なわれないことを確認する。TK-26型の地震力による機能維持評価の概要を以下に示す。

a. トラニオンの構造健全性評価

TK-26型は下部トラニオンにより貯蔵架台に固定され、縦置き姿勢で貯蔵される。したがって、地震時の下部トラニオンの構造健全性を評価する。

TK-26型の地震時におけるトラニオンの構造健全性評価フローを図1に示す。地震時にTK-26型に生じる加速度(水平2.35G(2300Gal)及び鉛直1.64G(1600Gal))による地震力を基に、トラニオンに生じる応力を応力評価式にて算出し、構造健全性を評価する。

トラニオンの構造健全性評価の詳細を別紙1に、各応力評価位置(図2参照)におけるトラニオンの構造健全性評価結果を表1に示す。表1に示すとおり、地震時にトラニオンに生じる応力は評価基準を満足しており、構造健全性は維持される。

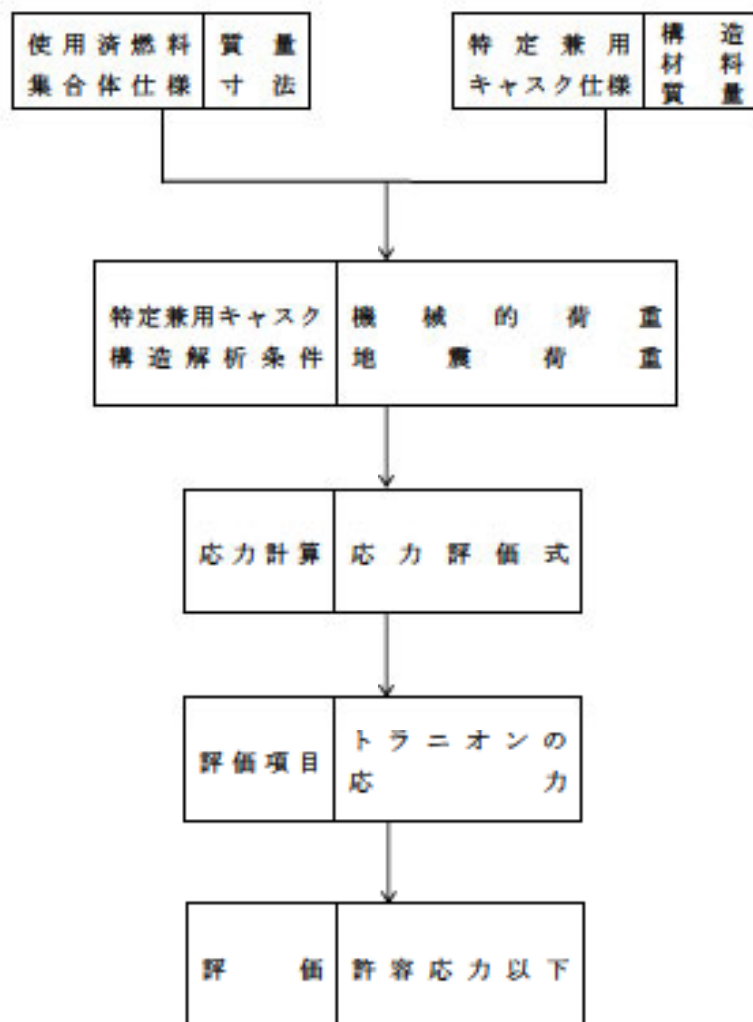
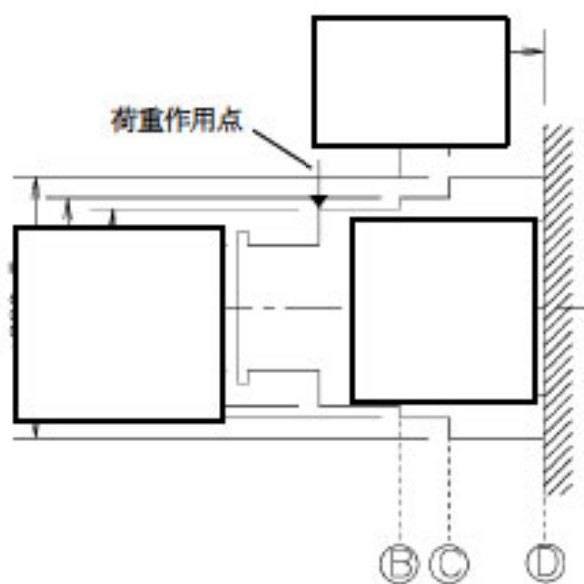
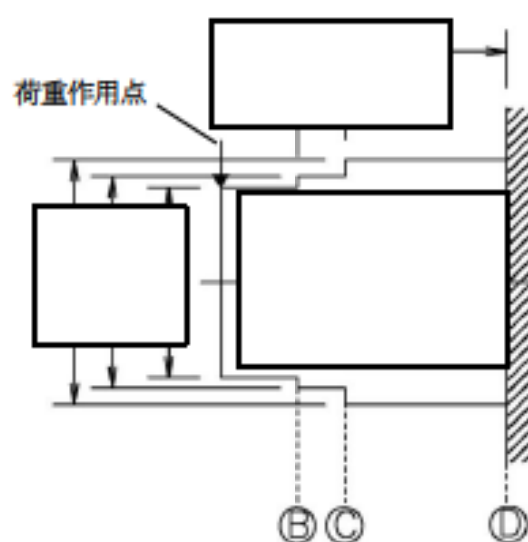


図1 地震時のトラニオンの構造健全性評価フロー



(単位：mm)

(a) 下部トラニオン (90° - 270° 側)



(単位：mm)

(b) 下部トラニオン (0° - 180° 側) <sup>(注)</sup>

(注) 下部トラニオンはいずれも同様の荷重が作用するが、モーメントアームの大きい0° - 180°側のトラニオンを評価対象とする。

図2 トラニオンの応力評価位置

表1 トラニオンの構造健全性評価結果

(a) 下部トラニオン本体及びトラニオン接続部(おねじ部)

評価位置	応力の種類		応力 (MPa)	評価基準値 <sup>(注)</sup> (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
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
トラニオン本体 (D断面)	一次応力	曲げ応力	418	588
		せん断応力	65	339
		組合せ応力	433	588
	一次+二次応力	曲げ応力	835	1177
		せん断応力	130	679
トラニオン接続部 (おねじ部)	一次応力	せん断応力	124	339
	一次+二次応力	せん断応力	248	678

(注) 金属キャスク構造規格のトラニオンの供用状態Dにおける許容応力を評価基準とした。

一次応力の曲げ応力に対する基準値は $1.5f_s^*$ 、せん断応力に対する基準値は $1.5f_s^*$ 、組合せ応力に対する基準値は $1.5f_s^*$ である。

一次+二次応力の曲げ応力に対する基準値は $3f_s^*$ 、せん断応力に対する基準値は $3f_s^*$ である。

(b) トラニオン接続部(めねじ部)

評価位置	応力の種類	応力 (MPa)	評価基準値 <sup>(注)</sup> (MPa)
トラニオン接続部 (めねじ部)	せん断応力	102	150

(注) 金属キャスク構造規格の密封容器の供用状態Dにおける許容応力を評価基準とした。

せん断応力に対する基準値は $0.4S_u$ である。

#### b. 機能維持評価

TK-26型の地震時における密封境界部及びバスケットの機能維持評価フローを図3に示す。地震時にTK-26型に生じる加速度(水平2.35G(2300Gal)及び鉛直1.64G(1600Gal))による地震力を基に、密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)及びバスケットについて応力評価式により応力を計算し、機能維持評価を行う。さらに、密封境界部の評価として、一次蓋の横ずれの有無を評価する。

地震時の特定兼用キャスクの機能維持評価の詳細を別紙2に、地震時の密封境界部、外筒、バスケット及び伝熱フィンの応力評価結果を表2に、密封境界部の横ずれ評価結果を表3に示す。表2に示すとおり、地震時に密封境界部及びバスケットに生じる応力は、金属キャスク構造規格の密封容器及びバスケットそれぞれにおける供用状態Dの基準を満足し、外筒に生じる応力は設計・建設規格のクラス1支持構造物の供用状態Dの基準を満足する。また、表3に示すとおり、一次蓋の横ずれは生じないことを確認した。よって、閉じ込め機能、遮蔽機能及び臨界防止機能が損なわれることはない。また、伝熱フィンについては破断及び部材の欠損は生じず、除熱機能が損なわれることはない。したがって、地震時にTK-26型の安全機能は維持される。



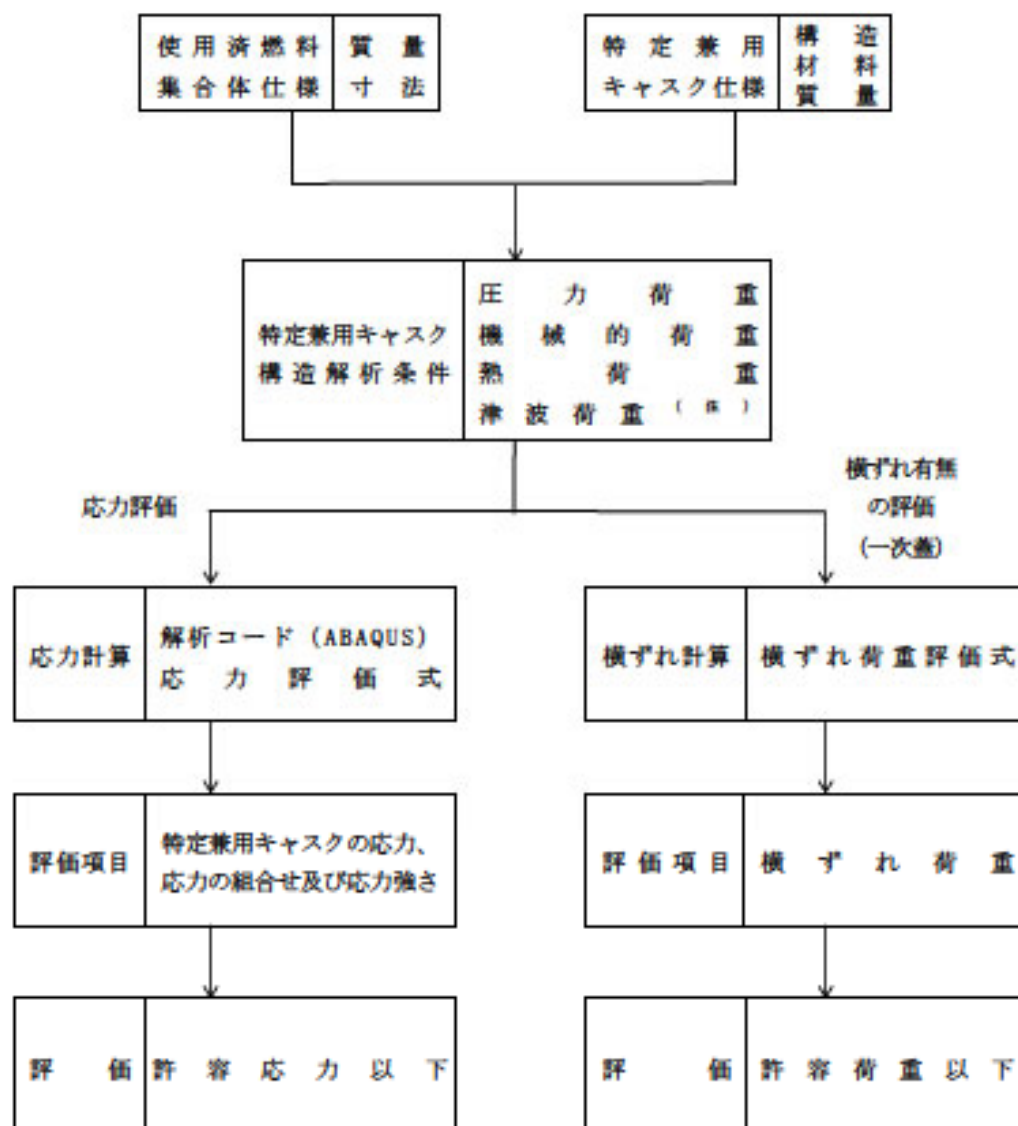


図3 地震時のTX-26型の機能維持評価フロー

表2 地震時の密封境界部、外筒、バスケット及び伝熱フィンの応力評価結果(1/2)

(a) 密封境界部

評価部位	応力の種類 <sup>(注1)</sup>	計算値 (MPa)	評価基準値 <sup>(注2)</sup> (MPa)
一次蓋密封シール部	$P_L + P_b$	19	185
一次蓋ボルト	$\sigma_a + \sigma_b$	275	973

(注1)  $P_L$ : 一次局部膜応力強さ、 $P_b$ : 一次曲げ応力強さ、 $\sigma_a$ : 平均引張応力、 $\sigma_b$ : 曲げ応力

(注2) 金属キャスク構造規格の密封シール部、蓋ボルトにおける供用状態Dの許容応力を評価基準とした。一次蓋密封シール部、及び一次蓋ボルトの評価基準は $S_y$ である。

(b) 外筒

評価部位	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準値 <sup>(注)</sup> (MPa)
外筒中央部	引張	36	280

(注) 設計・建設規格のクラス1支持構造物における供用状態Dの許容応力を評価基準とした。引張応力に対する評価基準は $1.5f_t^*$ である。

(c) バスケット

地震力作用方向	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準値 <sup>(注)</sup> (MPa)
鉛直	$P_a$	1	52
水平	$P_a$	2	52
	圧縮	2	54
	応力強さ	2	57

(注) 金属キャスク構造規格のバスケットにおける供用状態Dの許容応力を評価基準とした。 $P_a$ に対する評価基準は $2/3S_u$ 、圧縮応力に対する評価基準は $1.5f_c^*$ 、応力強さに対する評価基準は $2/3\alpha S_u$ である。なお、 $\alpha$ は矩形中空断面部材の形状係数 ( $\alpha=1.1$ ) である。

表2 地震時の密封境界部、外筒、バスケット及び伝熱フィンの応力評価結果(2/2)

(d) 伝熱フィン

評価部位	応力の種類	計算値(MPa)	評価基準値(MPa)
溶接部のど部	応力強さ	1	86 <sup>(注)</sup>

(注)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3 地震時の密封境界部の横ずれ評価結果

評価項目	計算値(N)	評価基準値 <sup>(注)</sup> (N)
一次蓋の慣性力	$1.25 \times 10^6$	$1.73 \times 10^6$

(注)一次蓋ボルトの締付力による摩擦力。

### 3. 参考文献

- (1) (一社)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(2007年版)(JSME S FA1-2007)」、(2007)
- (2) (一社)日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)〈第I編 軽水炉規格〉(JSME S NC1-2012)、(2012)

## 地震時のトラニオンの構造健全性評価

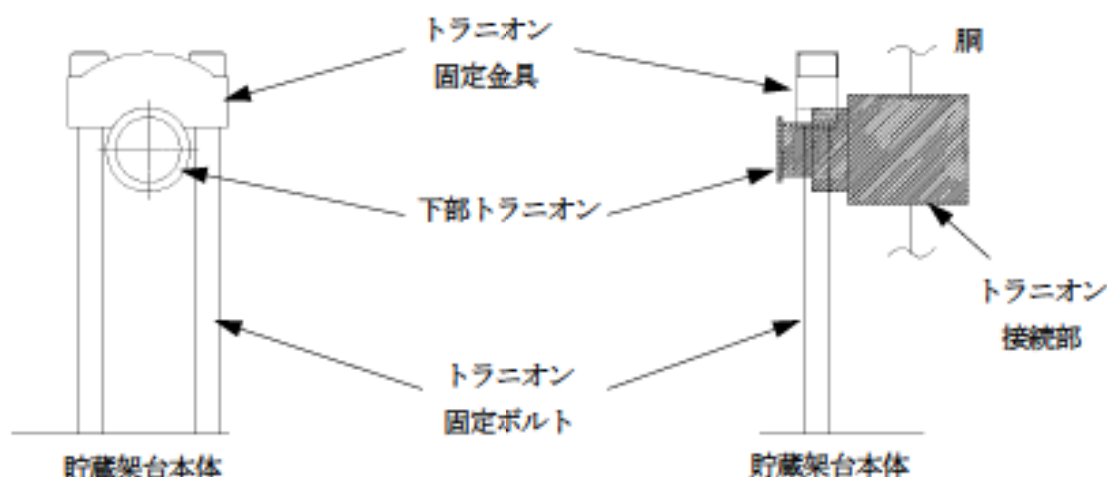
### 1. 概要

TK-26型は、基礎等に固定する設置方法においては、縦置き状態で下部トラニオン4個が貯蔵架台に固定される。本資料は、下部トラニオンを対象として金属キャスク構造規格<sup>(1)</sup>に基づき地震時の構造健全性について評価した結果についてまとめたものである。評価の詳細を以下に示す。

### 2. 地震時のトラニオンの構造健全性評価

#### 2.1 固定方法

TK-26型の貯蔵時の固定方法を別紙1-1図に示す。特定兼用キャスクを貯蔵架台に固定する固定装置は、下部トラニオンを鉛直下方向に押し付けることで、地震力が特定兼用キャスクに作用した場合にも特定兼用キャスク底部が貯蔵架台から浮き上がらない構造であることを前提とする。



別紙1-1図 TK-26型の貯蔵時の固定方法

## 2.2 荷重条件

地震時にTK-26型に生じる加速度(水平2.35G(2300Gal)及び鉛直1.64G(1600Gal))が同時に作用した場合、別紙1-2図に示す下部トラニオンBに作用する荷重F(N)は次式により求められる。

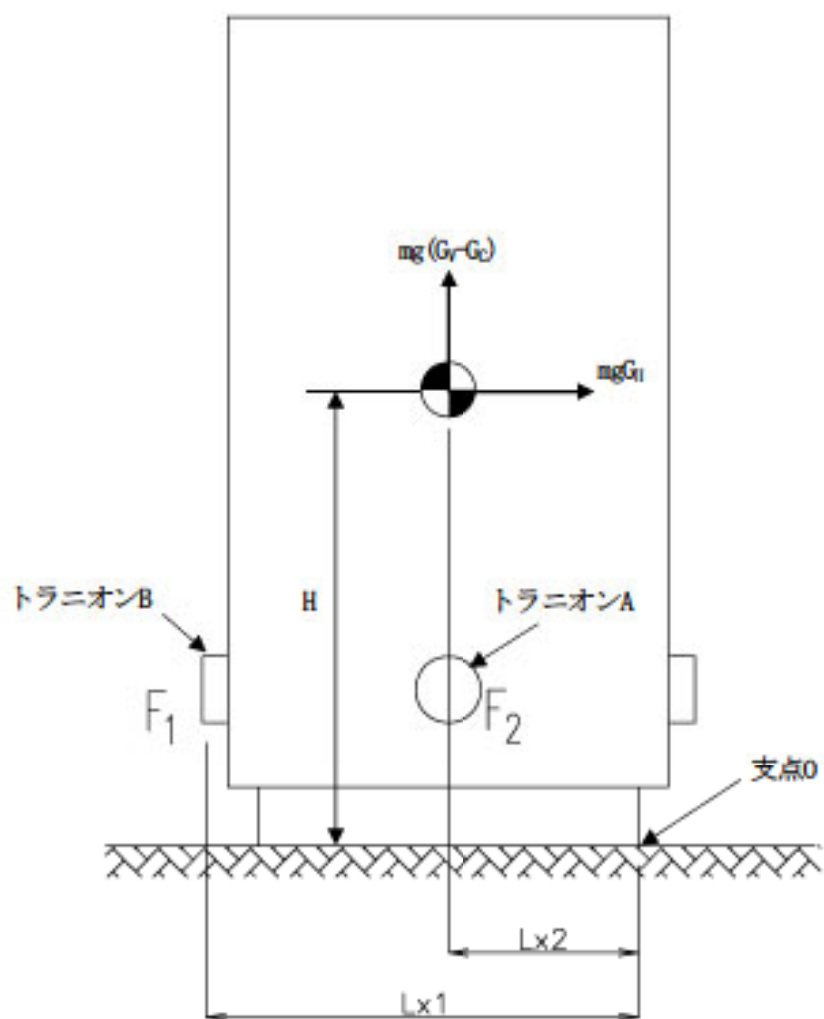
$$F_1 = \frac{\{G_H \cdot H + (G_V - G_C) \cdot L_{X2}\} \cdot m \cdot g}{L_{X1} + 2 \cdot \frac{L_{X2}^2}{L_{X1}}}$$

ここで、

- $F_1$  : 下部トラニオンに作用する地震荷重 (N)
- $m$  : TK-26型の質量 =  $1.18 \times 10^5$  kg
- $H$  : TK-26型の底面から重心位置までの高さ =  mm
- $L_{X1}$  : 支点0からトラニオンBまでの距離 =  mm
- $L_{X2}$  : 支点0からトラニオンAまでの距離  
= 支点0からTK-26型の重心位置までの距離 =  mm
- $G_H$  : 地震による水平方向の設計加速度 = 2.35G
- $G_V$  : 地震による鉛直方向の設計加速度 = 1.64G
- $G_C$  : 自重 = 1.0G
- $g$  : 重力加速度 =  $9.80665 \text{ m/s}^2$

したがって、

$$F_1 = 2.22 \times 10^6 \text{ N}$$

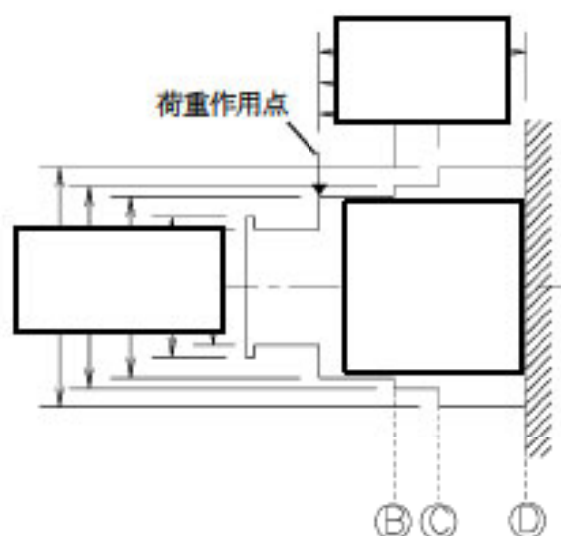


別紙1-2図 地震時にトラニオンに作用する荷重の評価モデル

### 2.3 評価方法

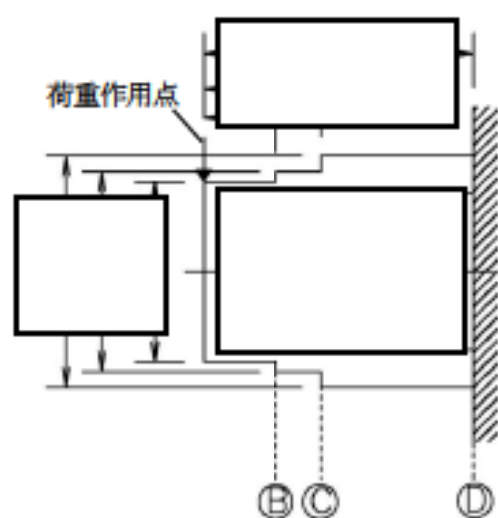
トラニオンの応力計算モデルを別紙1-3図に示す。トラニオン本体及びトラニオン接続部の応力評価方法を以下に示す。

なお、荷重作用点については、トラニオンの評価が安全側となるよう、固定金具と接する範囲のうちモーメントアームが最大となる位置に作用させる。また、下部トラニオン( $90^\circ - 270^\circ$ )と下部トラニオン( $0^\circ - 180^\circ$ )で同様の荷重が作用するが、モーメントアームの大きい $0^\circ - 180^\circ$ 側のトラニオンを評価対象とする。



(単位：mm)

(a) 下部トラニオン ( $90^\circ - 270^\circ$  側)



(単位：mm)

(b) 下部トラニオン ( $0^\circ - 180^\circ$  側)

別紙1-3図 トラニオンの応力計算モデル



(1) トラニオン本体

a. 一次応力

(a) 曲げ応力

別紙1-3図に示すトラニオンの断面に発生する曲げ応力 $\sigma_b$ は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{MC}{I}$$

$$M = FX$$

ただし、

M : 曲げモーメント (N・mm)

F : 地震時の荷重 (N)

X : モーメントアーム (mm)

C : 中立軸からの距離 (mm)

I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

ここで、 $I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$

$d_o$  : トラニオン外径 (mm)

$d_i$  : トラニオン内径 (mm)

(b) せん断応力

別紙1-3図に示すトラニオンの断面に発生するせん断応力 $\tau$ は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)$$

(c) 組合せ応力

上述の曲げ応力 $\sigma_b$ とせん断応力 $\tau$ による組合せ応力 $\sigma$ は次式で与えられる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

b. 一次+二次応力

(a) 曲げ応力

地震力による曲げ応力の全振幅は、一次応力で求めた曲げ応力 $\sigma_b$ の2倍とする。

(b) せん断応力

地震力によるせん断応力の全振幅は、一次応力で求めたせん断応力 $\tau$ の2倍とする。

## (2) トラニオン接続部

### a. 一次応力

トラニオン接続部であるトラニオンおねじ部及び特定兼用キャスク本体胴のめねじ部には地震時の荷重によりせん断応力が生じる(別紙1-4図参照)。おねじ部及びめねじ部のせん断応力は次式で表される。

$$\tau_1 = \frac{H_1}{W_1 n}$$

$$H_1 = \frac{FX}{\frac{\pi}{4} D_c^2}$$

$$W_1 = 0.75P$$

$$\tau_2 = \frac{H_2}{W_2 n}$$

$$H_2 = \frac{FX}{\frac{\pi}{4} d_c^2}$$

$$W_2 = 0.875P$$

ここで、

$\tau_1$  : おねじ部せん断応力(MPa)

$H_1$  : おねじ部に作用する周方向単位長さ当りの最大せん断力(N/mm)

$W_1$  : おねじ部1山当たりのせん断長さ(mm)

$\tau_2$  : めねじ部せん断応力(MPa)

$H_2$  : めねじ部に作用する周方向単位長さ当りの最大せん断力(N/mm)

$W_2$  : めねじ部1山当たりのせん断長さ(mm)

$F$  : トラニオンに作用するせん断荷重(N)

$X$  : モーメントアーム(mm)

$D_c$  : めねじ内径(mm)

$d_c$  : おねじ呼び径(mm)

$P$  : ねじピッチ(mm)

$n$  : ねじ山数(-)

上式によって評価される $\tau_2$ は、特定兼用キャスク本体胴のめねじ部上端又は下端におけるせん断応力最大値であり、これを基にめねじ部周方向の平均せん断応力を評価する。

めねじ部のせん断応力の分布は、めねじ部上端及び下端を最大値として、めねじ部周方向に余弦分布すると仮定する。この場合、最大値に対する周方向平均値の比(R)は次式で計算される。

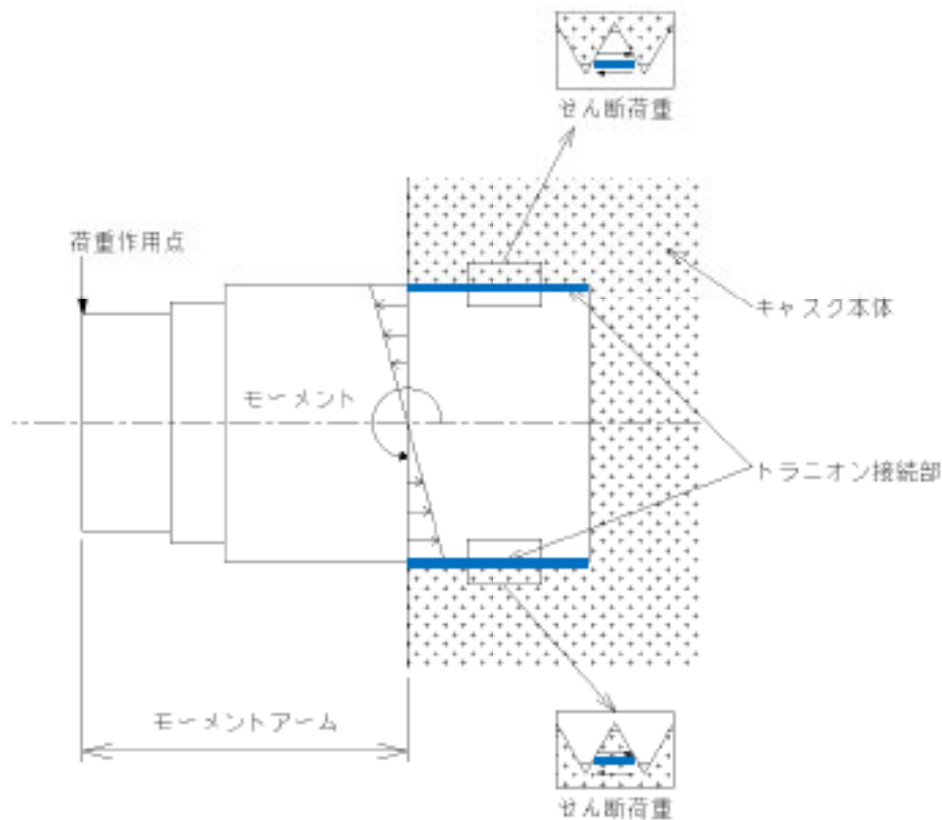
$$R = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos \theta}{\pi} d\theta \approx 0.637$$

したがって、特定兼用キャスク本体胴のめねじ部の平均せん断応力 $\tau_{S2}$ は、 $\tau_2$ にRを乗じる  
ことによって計算する。

$$\tau_{S2} = R \cdot \tau_2$$

b. 一次+二次応力

地震力によるせん断応力の全振幅は一次応力で求めたせん断応力 $\tau$ の2倍とする。



## 2.4 評価基準

トラニオンの評価基準は、金属キャスク構造規格のトラニオンにおける供用状態Dの規定に基づき別紙1-1表のとおりとする。ただし、トラニオン接続部のめねじ部については、金属キャスク構造規格の密封容器の純せん断荷重の供用状態Dにおける許容応力を適用する。

なお、トラニオン本体及びトラニオン接続部の設計温度は、安全側に胴体の設計温度と同じ160℃とする。

別紙1-1表 トラニオンの評価基準

(a) トラニオン本体及びトラニオン接続部(おねじ部)

部位	種類	評価基準 <sup>(注)</sup>	
		一次応力	一次+二次応力
トラニオン本体	曲げ応力	$1.5f_b^*$	$3f_b^*$
	せん断応力	$1.5f_s^*$	$3f_s^*$
	組合せ応力	$1.5f_t^*$	—
トラニオン接続部 (おねじ部)	せん断応力	$1.5f_s^*$	$3f_s^*$

(注) 金属キャスク構造規格のトラニオンにおける供用状態Dの許容応力

- $1.5f_b^*$  : 一次応力における許容曲げ応力 (MPa)
- $1.5f_s^*$  : 一次応力における許容せん断応力 (MPa)
- $1.5f_t^*$  : 一次応力における許容引張応力 (MPa)
- $3f_b^*$  : 一次+二次応力における許容曲げ応力 (MPa)
- $3f_s^*$  : 一次+二次応力における許容せん断応力 (MPa)

(b) トラニオン接続部(めねじ部)

部位	種類	評価基準 <sup>(注)</sup>
トラニオン接続部(めねじ部)	せん断応力	$0.4S_u$

(注) 金属キャスク構造規格の密封容器における供用状態Dの許容応力

- $0.4S_u$  : せん断応力に対する許容応力 (MPa)

## 2.5 評価結果

トラニオンの応力評価結果を別紙1-2表に示す。トラニオン本体及びトラニオン接続部に生じる応力は評価基準を満足する。

別紙1-2表 トラニオンの応力評価結果

(a) 下部トラニオン本体及びトラニオン接続部(おねじ部)

評価位置	応力の種類		応力 (MPa)	評価基準値 (MPa)
トラニオン本体 (E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
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
トラニオン本体 (D断面)	一次応力	曲げ応力	418	588
		せん断応力	65	339
		組合せ応力	433	588
	一次+二次応力	曲げ応力	835	1177
		せん断応力	130	679
トラニオン接続部 (おねじ部)	一次応力	せん断応力	124	339
	一次+二次応力	せん断応力	248	678

(b) トラニオン接続部(めねじ部)

評価位置	応力の種類	応力 (MPa)	評価基準値 (MPa)
トラニオン接続部 (めねじ部)	せん断応力	102	150

### 3. 参考文献

- (1) (一社)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(2007年版)(JSME S FAI-2007)」、(2007)

地震時の特定兼用キャスクの機能維持評価

## 1. 概要

本資料は、特定兼用キャスク本体を対象として金属キャスク構造規格<sup>①</sup>に基づき地震時の機能維持評価を行った結果についてまとめたものである。

本評価は、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)、遮蔽機能を担う外筒(ガンマ線遮蔽材で最も板厚が薄く、中性子遮蔽材を支持する部位)、臨界防止機能を担うバスケット、除熱機能を担う伝熱フィンを評価対象として実施した。評価の詳細を以下に示す。

## 2. 地震時の機能維持評価

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として、地震時の慣性力に対する応力評価を応力評価式により実施した。また、密封境界部の評価として、一次蓋金属ガスケットの横ずれによりリークパスが生じることによる漏えいの有無を確認するために、横ずれ荷重の評価式により一次蓋の横ずれの有無を評価した。

## 2.1 固定方法

TK-26型の貯蔵時の固定構造は別紙1-1図に示すとおりである。

## 2.2 荷重条件

TK-26型に発生する加速度として、以下に示す値を設計条件として設定し、水平方向加速度と鉛直方向加速度による地震力が同時に特定兼用キャスクに作用するとして評価を行う。

- ・水平方向加速度：2.35G (2300Gal)
- ・鉛直方向加速度：1.64G (1600Gal) \*鉛直下方向は自重を考慮して2.64Gとする

また、地震力以外の荷重として、供用中に作用する圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を組合せて評価する。

## 2.3 評価基準

密封境界部(一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト)の評価基準は金属キャスク構造規格の密封容器部の供用状態Dにおける許容応力を適用した。バスケットに発生する応力の評価基

準は、金属キャスク構造規格のバスケットの供用状態Dにおける許容応力を適用した。外筒に発生する応力の評価基準は、設計・建設規格<sup>②</sup>のクラス1支持構造物の供用状態Dにおける許容応力を準用した。伝熱フィンについては、地震時に破断しないことを確認する。

また、一次蓋の横ずれの有無を評価するための評価基準は、地震時に一次蓋に作用する慣性力に対して、一次蓋ボルトの締付力により一次蓋に作用する摩擦力の方が大きいことを確認する。

(1) 一次蓋密封シール部

$$P_a \leq S_y$$

$$P_l \leq S_y$$

$$P_l + P_b \leq S_y$$

$$P_l + P_b + Q \leq S_y$$

ここで、

$P_a$  : 一次一般膜応力強さ

$P_l$  : 一次局部膜応力強さ

$P_b$  : 一次曲げ応力強さ

$Q$  : 二次応力強さ

$S_y$  : 設計降伏点

(2) 一次蓋ボルト

$$(\text{平均引張応力}) \leq S_y$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq S_y$$

(3) バスケット

$$P_a \leq 2/3 S_u$$

$$P_a + P_b \leq 2/3 \alpha S_u$$

ここで、

$\alpha$  : 矩形中空断面部材の形状係数 ( $\alpha = 1.1$ )

一次圧縮応力は以下に示す $f_c^*$ の1.5倍を超えないこと。

$$f_c^* = \left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F^*}{v}$$

ここで



$\lambda$  : 有効細長比

$\Lambda$  : 限界細長比

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

(4) 外筒

- a. 各部位の一次引張応力は以下に示す $f_t^*$ の1.5倍を超えないこと。

$$f_t^* = \frac{F^*}{1.5}$$

ここで、

$$F^* = \text{MIN}[1.2S_y, 0.7S_u]$$

- b. 各部位の一次圧縮応力は以下に示す $f_c^*$ の1.5倍を超えないこと。

$$f_c^* = \left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F^*}{\nu}$$

ここで

$\lambda$  : 有効細長比

$\Lambda$  : 限界細長比

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

- c. 各部位の一次せん断応力は以下に示す $f_s^*$ の1.5倍を超えないこと。

$$f_s^* = \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

- d. 各部位の一次曲げ応力は以下に示す $f_b^*$ の1.5倍を超えないこと。

$$f_b^* = \frac{F^*}{1.5}$$

(5) 伝熱フィン

応力強さ $\leq S_u$

ここで、

$S_u$  : 設計引張強さ

(6) 一次蓋の横ずれ

一次蓋に作用する慣性力 $\leq$ 一次蓋ボルトの締付力により一次蓋に作用する摩擦力

## 2.4 応力評価

### (1) 密封境界部

地震時の密封境界部の応力計算は、応力評価式により行う。

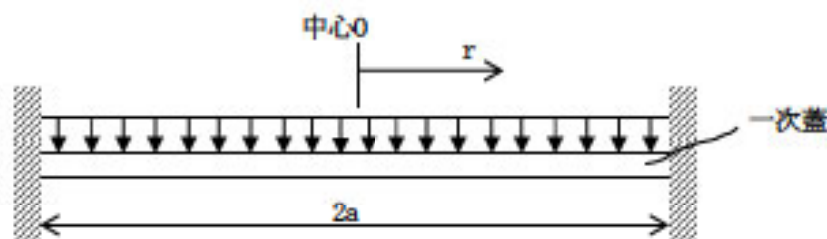
#### a. 一次蓋密封シール部

応力計算モデル図を別紙2-1図に示す。地震時の一次蓋密封シール部には、内圧（蓋間圧力と胴内空間の圧力差）、及び地震時の慣性力による一次膜＋一次曲げ応力（ $\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$ 、 $\sigma_z$ ）が作用する。一次膜＋一次曲げ応力は以下の式で表され、式中の添え字1,2はそれぞれ内圧による応力成分、慣性力による応力成分を示す。なお、一次蓋密封シール部における部材内部の温度差は小さく、熱荷重の影響は無視できることから考慮しない。

$$\sigma_r = \sigma_{r1} + \sigma_{r2}$$

$$\sigma_\theta = \sigma_{\theta1} + \sigma_{\theta2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z1} + \sigma_{z2}$$



別紙2-1図 一次蓋密封シール部の応力計算モデル図

#### (a) 内圧による応力

別紙2-1図に示すとおり、一次蓋を周辺固定の円板とみなし、特定兼用キャスクの内圧Pが分布荷重として作用するとした場合、一次膜＋一次曲げ応力（ $\sigma_{r1}$ 、 $\sigma_{\theta1}$ 、 $\sigma_{z1}$ ）は次式<sup>③</sup>で計算される。内圧により発生する一次蓋密封シール部（ $r=a$ ）の応力計算条件及び結果を別紙2-1表に示す。

$$\sigma_{r1} = \frac{3Pa^2}{8t_0^2} \left\{ (1+\nu) - (3+\nu) \frac{r^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_{\theta1} = \frac{3Pa^2}{8t_0^2} \left\{ (1+\nu) - (1+3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_{z1} = 0$$

ここで、

$\sigma_r$  : 半径方向応力 (MPa)

$\sigma_\theta$  : 周方向応力 (MPa)

$\sigma_z$  : 板厚方向応力 (MPa)

P : 一次蓋-二次蓋間の圧力 (MPa)

- a : 半径 (mm)  
 r : 蓋中心からの距離 (mm)  
 t<sub>0</sub> : 一次蓋密封シール部の板厚 (mm)  
 ν : ポアソン比 (-)

別紙2-1表 内圧により発生する一次蓋密封シール部の応力計算条件及び結果

項目	一次蓋-二次蓋間の圧力 : P (MPa)	半径 : a (mm)	一次蓋密封シール部の板厚 : t <sub>0</sub> (mm)	ポアソン比 : ν (-)
数値	<input type="text" value="0.10"/>	<input type="text" value="0.20"/>	<input type="text" value=""/>	0.3

項目	一次膜+一次曲げ応力		
	σ <sub>r1</sub> (MPa)	σ <sub>θ1</sub> (MPa)	σ <sub>z1</sub> (MPa)
数値	17	5	0

(注1) 最高使用圧力とする。

(注2) 保守的にボルトピッチ円半径とする。

(b) 慣性力による応力

別紙2-1図に示すとおり、一次蓋を周辺固定の円板とみなし、地震時の慣性力wが分布荷重として作用するとした場合、一次膜+一次曲げ応力 (σ<sub>r1</sub>, σ<sub>θ1</sub>, σ<sub>z1</sub>) は、次式<sup>⑧</sup>で計算される。地震時の慣性力により発生する一次蓋密封シール部(r=a)の応力計算条件及び結果を別紙2-2表に示す。なお、地震時の慣性力のうち、水平方向の慣性力については一次蓋密封シール部に応力は発生しないため、評価は鉛直方向の慣性力のみを考慮する。

$$\sigma_{r2} = \frac{3wa^2}{8t_0^2} \left\{ (1+\nu) - (3+\nu) \frac{r^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_{\theta2} = \frac{3wa^2}{8t_0^2} \left\{ (1+\nu) - (1+3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right\}$$

$$\sigma_{z2} = 0$$

ここで、

w : 一次蓋に作用する慣性力 (MPa)

$$w = \rho \cdot t_1 \cdot G_v \cdot g$$

ρ : 一次蓋の密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

t<sub>1</sub> : 一次蓋中央部の板厚 (mm)

G<sub>v</sub> : 鉛直方向加速度 (G)

g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

別紙2-2表 慣性力により発生する一次蓋密封シール部の応力計算条件及び結果

項目	一次蓋の密度 : $\rho$ (kg/mm <sup>3</sup> )	一次蓋 中央部の板厚 : $t_1$ (mm)	鉛直方向加速度 : $G_y$ (G)	鉛直方向 慣性力 : $w$ (MPa)
数値	$7.85 \times 10^{-6}$	<input type="text"/>	2.64	<input type="text"/>

項目	一次膜+一次曲げ応力		
	$\sigma_{r2}$ (MPa)	$\sigma_{\theta 2}$ (MPa)	$\sigma_{z2}$ (MPa)
数値	2	1	0

(c) 一次蓋密封シール部に発生する応力

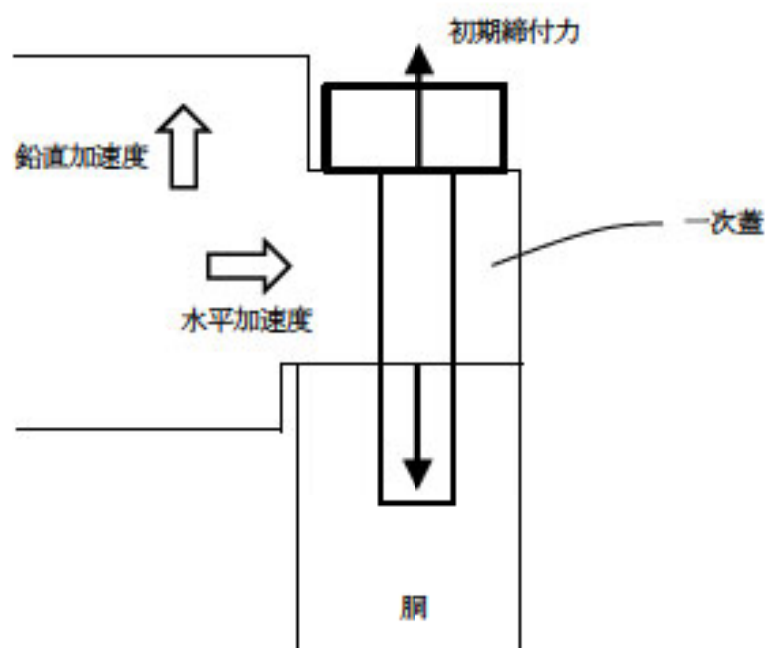
別紙2-1表、及び別紙2-2表より一次蓋密封シール部に発生する応力を算出する。応力計算条件及び結果を別紙2-3表に示す。別紙2-3表に示すとおり、一次蓋密封シール部に発生する応力は評価基準以下である。

別紙2-3表 一次蓋密封シール部に発生する応力の計算条件及び結果

項目	一次膜+一次曲げ応力			評価基準 : $S_y$ (MPa)
	$\sigma_r$ (MPa)	$\sigma_{\theta}$ (MPa)	$\sigma_z$ (MPa)	
数値	19	6	0	185

b. 一次蓋ボルト

応力計算モデル図を別紙2-2図に示す。地震時の一次蓋ボルトには、初期締付力と地震時の慣性力による平均引張応力 $\sigma_a$ 及び曲げ応力 $\sigma_b$ が作用する。ここで、内圧（蓋間と胴内の圧力差）は、一次蓋ボルトの平均引張応力及び曲げ応力を減少させる方向に働くため考慮しない。また、一次蓋ボルト内部の温度差は小さく、熱荷重の影響は無視できることから考慮しない。



別紙2-2図 地震時の一次蓋ボルトの応力計算モデル

(a) 平均引張応力

地震時に一次蓋ボルトに作用する平均引張応力 $\sigma_n$ は、以下の式に示すとおり、初期締付力による平均引張応力 $\sigma_{n1}$ と鉛直方向（ボルト軸方向）慣性力による平均引張応力 $\sigma_{n2}$ の合計値で求められる。別紙2-4表に一次蓋ボルトに作用する平均引張応力の計算条件及び結果を示す。

$$\sigma_n = \sigma_{n1} + \sigma_{n2}$$

$$\sigma_{n1} = P_1$$

$$\sigma_{n2} = \frac{m_1 \cdot G_H \cdot g}{A \cdot n}$$

ここで、

$P_1$  : ボルト初期締付力 (MPa)

$m_1$  : 一次蓋の質量 (kg)

$G_H$  : 鉛直方向加速度 (G)

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$A$  : ボルト断面積 ( $mm^2$ )

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$d$  : ボルト谷径 (mm)

$n$  : ボルト本数 (-)

別紙2-4表 一次蓋ボルトに作用する平均引張応力の計算条件及び結果

項目	ボルト 初期締付力 : $P_1$ (MPa)	一次蓋の 質量 : $m_1$ (kg)	鉛直方向 加速度 : $G_H$ (G)	ボルト 谷径 : $d$ (mm)	ボルト 断面積 : $A$ ( $mm^2$ )	ボルト本 数 : $n$ (-)
数値	<input type="text"/>	5400	0.64	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

項目	平均引張応力 (MPa)		
	$\sigma_{n1}$	$\sigma_{n2}$	$\sigma_n$
数値	218	1	218

(b) 曲げ応力

地震時に一次蓋ボルトには水平方向（ボルト径方向）慣性力による曲げ応力 $\sigma_b$ が作用する。曲げ応力は次式で求められる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M = m_1 \cdot G_H \cdot g \cdot L/n$$

L : ボルト首部長さ (mm)

G<sub>H</sub> : 水平方向加速度 (G)

Z : ボルトの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

別紙2-5表に一次蓋ボルトに作用する曲げ応力の計算条件及び結果を示す。

別紙2-5表 一次蓋ボルトに作用する曲げ応力の計算条件及び結果

項目	ボルト首部長さ : L (mm)	水平方向加速度 : G <sub>H</sub> (G)	曲げモーメント : M (N・mm)	ボルトの断面係数 : Z (mm <sup>3</sup> )	曲げ応力 : $\sigma_b$ (MPa)
数値	<input type="text"/>	2.35	4.29×10 <sup>6</sup>	<input type="text"/>	57

(c) 一次蓋ボルトの応力評価

地震時の一次蓋ボルトの応力評価結果を別紙2-6表に示す。別紙2-6表より、一次蓋ボルトに作用する応力は評価基準を満足する。

別紙2-6表 一次蓋ボルトの応力評価結果

項目	発生応力 (MPa)		評価基準 : S <sub>y</sub> (MPa)
	$\sigma_n$	$\sigma_n + \sigma_b$	
数値	218	275	973

(2) バスケット

臨界防止機能を担うバスケットの応力計算は、応力評価式により行う。

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

鉛直方向加速度により、バスケット格子材の最下端に自重の慣性力による圧縮応力を生じる。この圧縮応力 $\sigma_c$ は、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \rho \cdot G_V \cdot g \cdot L$$

ここで、

$\rho$  : バスケット格子材の密度(kg/mm<sup>3</sup>)

$G_V$  : 鉛直方向加速度(G)

$L$  : バスケットの全長(mm)

$g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

計算条件及び計算結果を別紙 2-7 表に示す。別紙 2-7 表に示すように、評価基準値を満足する。なお、バスケットに生じる応力は設計降伏点 (49MPa) より小さいため、バスケット格子材は塑性変形しない。

別紙2-7表 バスケット格子材の応力計算条件及び計算結果

項目	バスケット格子材の密度 : $\rho$ (kg/mm <sup>3</sup> )	鉛直方向 加速度 : $G_V$ (G)	バスケット の全長 : $L$ (mm)	重力加速度 : $g$ (m/s <sup>2</sup> )	圧縮応力 : $\sigma_c$ (MPa)	評価基準値 : $2/3S_u$ (MPa)
数値	<input type="text"/>	2.64	<input type="text"/>	9.80665	1	52

b. 水平方向加速度に対する応力評価

(a) バスケット格子材 (縦板)

バスケット格子材に水平方向加速度が作用した場合、別紙 2-3 図に示すように、バスケット格子材 (縦方向) の下部には、バスケットの自重と、最大 6 体分の使用済燃料集合体の自重が、荷重として作用する。バスケット格子材 (縦方向) に生じる圧縮応力 $\sigma_{c0}$ は、次式で与えられる。

$$\sigma_{c0} = \frac{(w_v + 6w_f + 6w_{h1} + w_{h2} + w_{h3}) \cdot A_a \cdot G_H \cdot g}{A_a}$$

ここで、

$w_v$  : バスケット格子材縦板 1 枚分の質量 (kg)

$w_f$  : バスケット格子材横板に掛かる使用済燃料集合体 1 体の質量 (kg)

$w_{h1}$  : 高さ  のバスケット格子材 1 枚分の質量 (kg)

$w_{h2}$  : 高さ  のバスケット格子材 1 枚分の質量 (kg)





計算条件及び計算結果を別紙2-8表(1/2)に示す。別紙2-8表(1/2)に示すように、バスケットに生じる応力は評価基準を満足する。

別紙2-8表(1/2) バスケット格子材縦板の応力計算条件及び計算結果

項目	バスケット格子材 縦板1枚分の質量 : $W_v$ (kg)	使用済燃料集合体 1体の質量 : $W_f$ (kg)	高さ□のバスケット 格子材1枚分の質量 : $W_{s1}$ (kg)	高さ□のバスケット 格子材1枚分の質量 : $W_{s2}$ (kg)
数値	20	40	3.1	3.5

項目	バスケットサポ ートの質量 : $W_{s3}$ (kg)	水平方向 加速度 : $G_H$ (G)	バスケット格 子材の断面積 : $A$ (mm <sup>2</sup> )	圧縮応力 : $\sigma_{\omega}$ (MPa)	評価基準 : $2/3S_u$ (MPa)
数値	53	2.35	4432	2	52

次に、座屈強度について検討する。

バスケット格子材の有効細長比 $\lambda$ は、次式により与えられる。

$$\lambda = \frac{L_k}{i}$$

ここで、

$L_k$  : 座屈長さ (mm)

$i$  : 座屈軸についての断面二次半径 (mm)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$I$  : 断面二次モーメント

$$I = \frac{BH^3 - (B-2t) \cdot (H-2t)^3}{12}$$

$B$  : バスケット格子材の幅 (矩形中空部) (mm)

$H$  : バスケット格子材の高さ (矩形中空部) (mm)

$t$  : バスケット格子材の板厚 (mm)

$A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>/mm)

$$A = 2t \cdot (B + H - 2t)$$

また、バスケット格子材 (矩形中空部) の限界細長比 $\Lambda$ は、次式により与えられる。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

ここで、

$E$  : バスケット格子材の縦弾性係数 (MPa)

$F^*$  : 230°Cにおける設計降伏点の 1.2 倍又は設計引張強さの 0.7 倍のいずれか小さい方の値(MPa)

バスケット格子材（矩形中空部）の有効細長比は、限界細長比より小さいので、許容圧縮応力  $f_c^*$  は、

$$f_c^* = \left(1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right) \cdot \frac{F^*}{\nu}$$

ここで、

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

であり、圧縮応力基準値は  $1.5f_c^*$  である。

計算条件及び計算結果を別紙 2-8 表 (2/2) に示す。別紙 2-8 表 (2/2) に示すように、バスケットに生じる応力は評価基準を満足する。なお、バスケットに生じる応力は、設計降伏点 (49MPa) より小さいため、バスケット格子材は塑性変形しない。したがって、臨界防止上有意な変形は生じない。

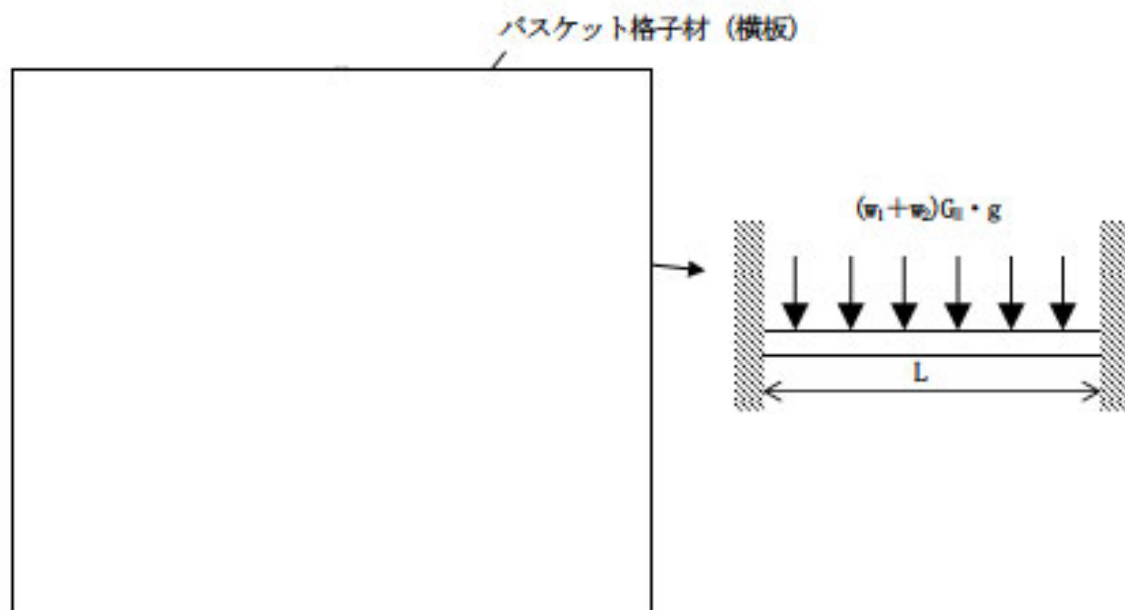
別紙 2-8 表 (2/2) バスケット格子材縦板の応力計算条件及び計算結果

項目	座屈長さ : $L_k$ (mm)	バスケット 格子材の幅 (矩形中空部) : $B$ (mm)	バスケット 格子材の高さ (矩形中空部) : $H$ (mm)	バスケット 格子材の板厚 : $t$ (mm)	バスケット格子材 の縦弾性係数 : $E$ (MPa)
数値	28.9	<input type="text"/>	<input type="text"/>	8	$7.14 \times 10^4$

項目	$F^*$ 値 (MPa)	一次圧縮応力 : $\sigma_c$ (MPa)	評価基準 : $1.5f_c^*$ (MPa)
数値	55	2	54

(b) バスケット格子材（横板）

バスケット格子材に水平方向加速度が作用した場合、別紙 2-4 図に示すように、バスケット格子材横板にはバスケット格子材及び使用済燃料集合体の自重による慣性力により曲げ応力  $\sigma_b$  及びせん断応力  $\tau$  が生じる。ここでは、曲げ応力が大きくなる高さ  のバスケット格子材で評価した。



別紙2-4図 バスケット格子材 (横板) の応力計算モデル

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{1}{12} \cdot (w_1 + w_2) \cdot G_0 \cdot g \cdot L^2$$

$$Z = \frac{t^2}{6}$$

ここで、

- M : 曲げモーメント (N・mm/mm)
- w<sub>1</sub> : 使用済燃料集合体の単位面積当たりの質量 (kg/mm<sup>2</sup>)
- w<sub>2</sub> : バスケット格子材の単位面積当たりの質量 (kg/mm<sup>2</sup>)
- G<sub>0</sub> : 水平方向加速度 (G)
- g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- L : 燃料格子幅 (mm)
- Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)
- t : バスケット格子材の板厚 (mm)

当該断面に生じるせん断応力  $\tau$  は以下で表される。

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot (w_1 + w_2) \cdot G_0 \cdot g \cdot L$$

$$A = t$$

ここで、

F : 単位長さ当りに作用するせん断力(N/mm)

A : 単位長さ当りのせん断断面積(mm<sup>2</sup>/mm)

当該断面の応力強さ S は以下で示される。

$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$$

バスケット格子材横板の応力計算条件及び計算結果を別紙 2-9 表に示す。別紙 2-9 表に示すように、バスケットに生じる応力は評価基準を満足する。なお、バスケットに生じる応力は設計降伏点 (49MPa) より小さいため、バスケット格子材は塑性変形しない。したがって、臨界防止上有意な変形は生じない。

別紙2-9表 バスケット格子材（横板）の応力計算条件及び計算結果

項目	使用済燃料集合体の 単位長さ 当たりの質量 : $w_1$ (kg/mm)	バスケット格子材の 単位長さ当たりの質量 : $w_2$ (kg/mm)	水平方向 加速度 : $G_0$ (G)	バスケット格子材 の格子内幅 : L(mm)
数値	$1.78 \times 10^{-1}$	$1.08 \times 10^{-2}$	2.35	224

項目	バスケット格子 材の断面積 : A (mm <sup>2</sup> )	曲げ応力 : $\sigma_b$ (MPa)	せん断応力 : $\tau$ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	評価基準値 : $2/3 \alpha S_u$ (MPa) <sup>(注)</sup>
数値	2064	2	1	2	57

(注)  $\alpha$ は矩形中空断面部材の形状係数であり、 $\alpha = 1.1$ 。

(3) 外筒

地震時の外筒の応力計算は、応力評価式により行う。外筒の応力計算の詳細は、以下に示すとおりである。

地震時の慣性力が作用した場合、外筒には側部中性子遮蔽材部圧力（径方向）及び側部中性子遮蔽材の慣性力（鉛直方向及び水平方向）が作用する。外筒の応力計算モデルを別紙2-5図に示す。なお、鉛直方向の慣性力については、外筒が特定兼用キャスク上部端板部と下部端板部により固定されているため有意な応力は発生しないことから、評価を省略する。

最大応力は外筒中央部で発生し、外筒中央部に発生する周方向応力 $\sigma_{\theta}$ は、薄肉円筒が内圧を受けるときの応力評価式を用いて、以下のとおり表せる<sup>①</sup>。

$$\sigma_{\theta} = \frac{q \cdot R}{t}$$

ここで、

R : 外筒内半径 (mm)

t : 外筒板厚 (mm)

q : 等分布荷重 (MPa)

$$q = p_R + p_Y$$

$p_R$  : 側部中性子遮蔽材部圧力（径方向）(MPa)

$p_Y$  : 地震時の水平方向加速度により作用する側部中性子遮蔽材の面圧 (MPa)

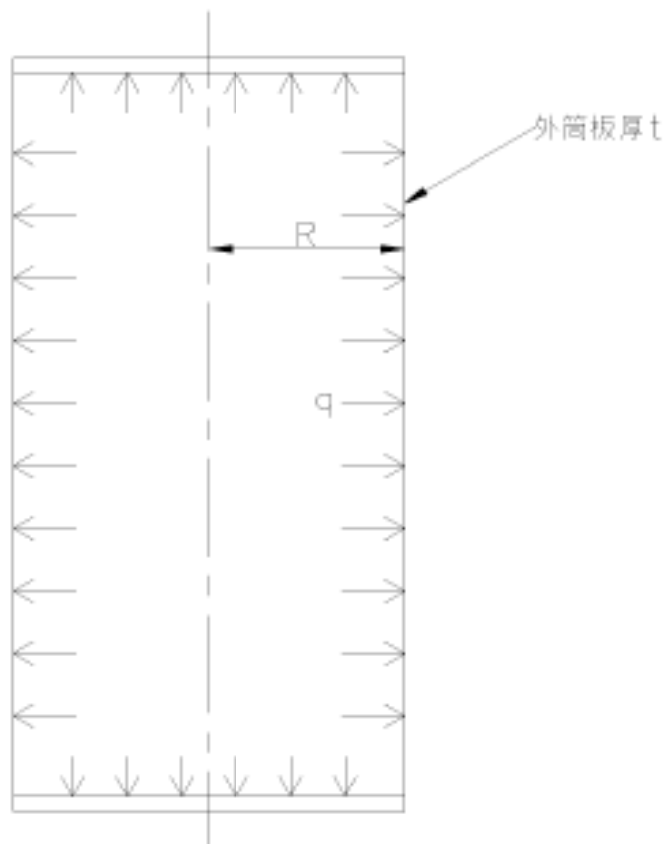
$$p_Y = \rho_R \cdot G_H \cdot g \cdot t_R$$

$\rho_R$  : 側部中性子遮蔽材の密度 (kg/mm<sup>3</sup>)

$G_H$  : 水平方向加速度 (G)

g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$t_R$  : 側部中性子遮蔽材の厚さ (mm)



別紙2-5図 外筒の応力計算モデル

計算条件と計算結果を別紙2-10表に示す。別紙2-10表に示すとおり、外筒に発生する応力は評価基準を満足する。

別紙2-10表 外筒の応力計算及び計算結果

項目	側部中性子遮蔽材部圧力 : $p_R$ (MPa)	側部中性子遮蔽材の密度 : $\rho_R$ (kg/mm <sup>3</sup> )	水平方向加速度 : $G_H$ (G)	側部中性子遮蔽材の厚さ : $t_R$ (mm)
数値	0.6	$1.18 \times 10^{-6}$	2.35	<input type="text"/>

項目	外筒内半径 : $R$ (mm)	外筒板厚 : $t$ (mm)	周方向応力 : $\sigma_\theta$ (MPa)	評価基準 : $1.5f_t^*$ (MPa)
数値	<input type="text"/>	22	36	281

#### (4) 伝熱フィン

除熱機能を担う伝熱フィンの応力計算は、応力評価式により行う。

##### a. 鉛直方向加速度により発生する応力

伝熱フィンの解析モデル及び応力評価位置を別紙2-6図に示す。伝熱フィンの外筒側取付部において伝熱フィンの自重による慣性力が作用し、伝熱フィンにせん断応力 $\tau$ が生じる。

$$\tau = \frac{W_1 \cdot G_H \cdot g}{A}$$

$$S = 2 \tau$$

ここで、

$W_1$  : 伝熱フィンの質量 (kg)

$G_H$  : 鉛直方向加速度 (G)

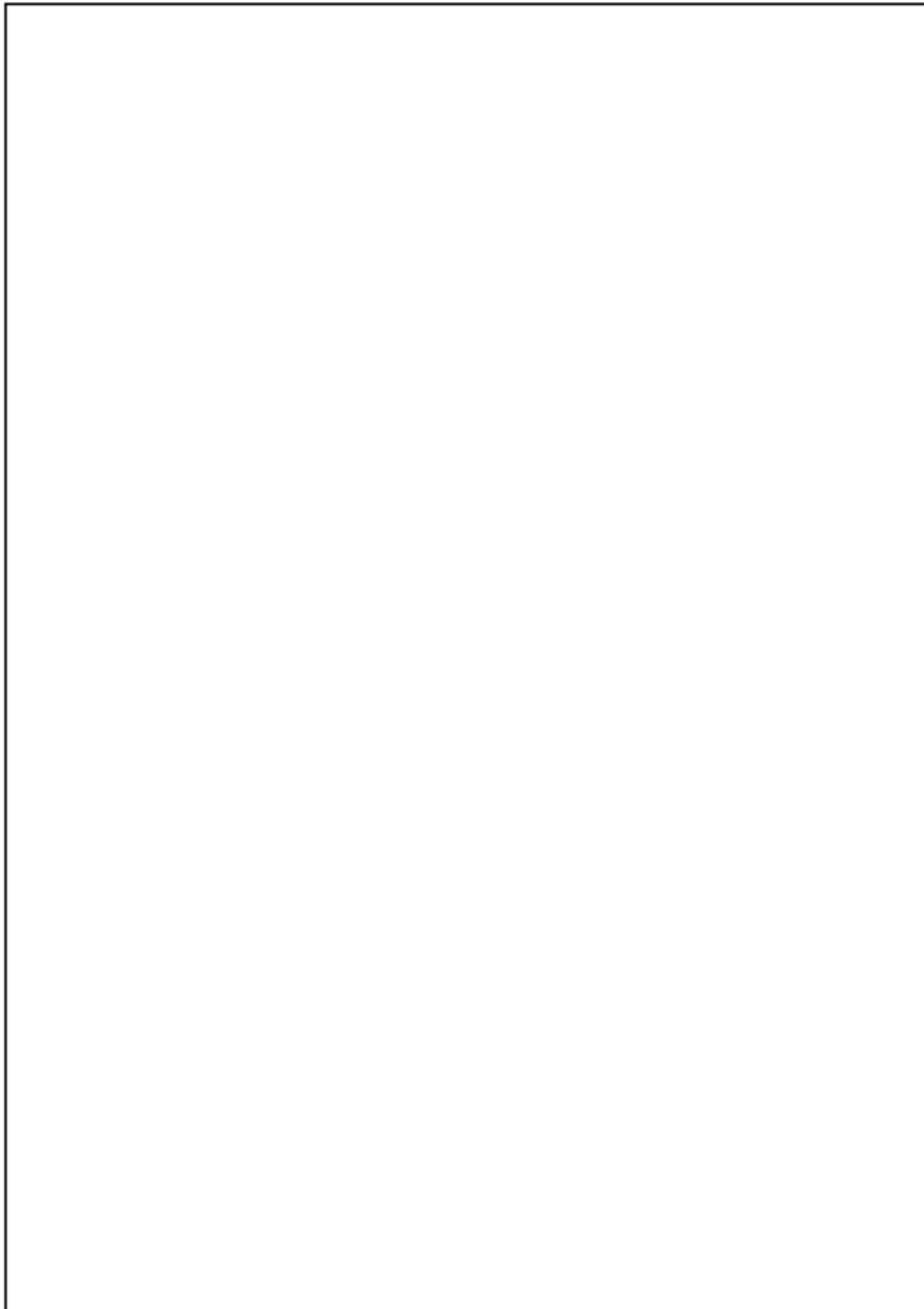
$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$A$  : 伝熱フィン溶接部のど部の面積 (軸方向) ( $mm^2$ )

$S$  : 応力強さ (MPa)

計算条件と計算結果を別紙2-11表に示す。別紙2-11表に示すように、伝熱フィンに生じる応力は評価基準を満足する。





別紙2-6図 伝熱フィンの解析モデル及び応力評価位置

別紙2-11表 伝熱フィンの応力計算条件及び計算結果

項目	伝熱フィンの 質量 : $W_1$ (kg)	鉛直方向 加速度 : $G_1$ (G)	伝熱フィン溶接部 のど部の面積 : $A$ (mm <sup>2</sup> )
数値	$2.17 \times 10^3$	2.64	$1.46 \times 10^5$

項目	せん断応力 : $\tau$ (MPa)	応力強さ : $S$ (MPa)	評価基準値 : $S_0$ (MPa)
数値	1	1	86 <sup>(注)</sup>

(注)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支持構造物の規定される溶接部の継手効率 (0.45) を考慮した。

b. 水平方向加速度により発生する応力

水平方向加速度により伝熱フィンには自重による慣性力が作用するが、伝熱フィンは中性子遮蔽材により支えられるため、伝熱フィンへの影響はない(別紙2-6図参照)。

(5) 一次蓋の横ずれ評価

地震力により一次蓋に慣性力が作用した場合に、閉じ込め機能の維持の観点から、一次蓋に横ずれが生じないことを確認する。

一次蓋に作用する慣性力 $F$ は次式で与えられる。

$$F=M \cdot g \cdot G_1$$

ここで、

$M$  : 一次蓋の質量(kg)

$g$  : 重力加速度( $m/s^2$ )

$G_1$  : 水平方向加速度(G)

一次蓋慣性力の計算条件及び計算結果を別紙2-12表に示す。

別紙2-12表 一次蓋慣性力の計算条件及び計算結果

項目	一次蓋質量 :M(kg)	重力加速度 :g( $m/s^2$ )	水平方向加速度 : $G_1$ (G)	一次蓋慣性力 :F(N)
数値	5400	9.80665	2.35	$1.25 \times 10^6$

一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力 $R$ は次式で与えられる。

$$R=\mu \cdot N$$

$$N=P_b \cdot A \cdot n$$

ここで、

$\mu$  : 摩擦係数(-)

$N$  : 一次蓋の締付力(N)

$P_b$  : 一次蓋ボルトの初期締付力(MPa)

$A$  : ボルトの断面積( $mm^2$ )

$$A=\frac{\pi}{4}d^2$$

$d$  : ボルト最小径(mm)

$n$  : ボルト本数(-)

摩擦力の計算条件及び計算結果を別紙2-13表に示す。一次蓋に作用する慣性力は別紙2-12表に示すとおり $1.25 \times 10^6$ (N)であり、別紙2-13表に示す摩擦力 $1.73 \times 10^6$ (N)より小さい。よって、一次蓋の横ずれは発生しない。

別紙2-13表 摩擦力の計算条件および計算結果

項目	摩擦係数 : $\mu$ (-)	一次蓋ボルト の初期締付力 : $P_0$ (MPa)	ボルト最小径 : $d$ (mm)	ボルト 本数 : $n$ (-)	摩擦力 : $R$ (N)
数値	0.14	218	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$1.73 \times 10^6$

### 3. 参考文献

- (1) (一社)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(2007年版)(JSME S FA1-2007)」、(2007)
- (2) (一社)日本機械学会、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)〈第I編 軽水炉規格〉(JSME S NC1-2012)、(2012)
- (3) (一社)日本機械学会、「機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学」、(2005)