

資料 1-3

Doc No. GK04-SC-A02 Rev.0

2023 年 2 月 22 日

日立造船株式会社

補足説明資料 5-1

5 条

津波による損傷の防止

津波に対する安全機能維持に関する説明資料

目 次

1. 特定機器型式証明申請に係る要求事項への適合性のための設計方針……………	1
2. 要求事項 ……………	3
3. 要求事項への適合性……………	7
4. 津波荷重による Hitz-B69 型の機能維持評価……………	12
5. 参考文献 ……………	25

別紙 1 津波荷重作用時のキャスクの機能維持評価

1. 特定機器型式証明申請に係る要求事項への適合性のための設計方針

(1) 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

Hitz-B69型は、使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の工場等外への運搬に用いる輸送容器としての機能を併せ持つ特定兼用キャスク（以下「キャスク」という。）である。

発電用原子炉施設に使用する特定機器の設計の型式証明申請に係る Hitz-B69 型の安全設計について、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への適合のための設計方針を以下に示す。

(津波による損傷の防止)

第五条 設計基準対象施設（兼用キャスク及びその周辺施設を除く。）は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）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。

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

二 基準津波

適合のための設計方針

1 について

型式証明申請の範囲外とする。

2 について

Hitz-B69型は、第一号に規定する「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設計とする。

Hitz-B69型は、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と上記の遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、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設計とし、臨界防止機能を担保するバスケットは、臨界防止上有意な変形が生じない設計とする。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、破断延性限界に対して十分な余裕を有し、キャスクの安全機能を維持する設計とする。

(2) 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

Hitz-B69 型は、Hitz-B69 型を発電用原子炉施設において使用した場合に発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさない設計とする。以下、Hitz-B69 型を発電用原子炉施設において使用した場合に発電用原子炉施設の安全性を損なうような影響を及ぼさないことを、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に沿って確認する。

(津波による損傷の防止)

第五条 設計基準対象施設（兼用キャスク及びその周辺施設を除く。）は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波（以下「基準津波」という。）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。

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

二 基準津波

適合のための設計方針

1 について

型式証明申請の範囲外とする。

2 について

Hitz-B69 型は、第一号に定める津波による遡上波の波力及び漂流物の衝突による荷重を組み合わせた荷重条件に対して、キャスクの安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

Hitz-B69 型は、上記の荷重条件に対して、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設計とし、臨界防止機能を担保するバスケットは、臨界防止上有意な変形が生じない設計とする。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、破断延性限界に対して十分な余裕を有し、キャスクの安全機能を維持する設計とする。

以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない

2. 要求事項

特定機器の設計の型式証明申請において、キャスクの津波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5条第2項

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

二 基準津波

b. 設置許可基準規則解釈別記4第5条第1項第1号

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」については、兼用キャスク告示第2条によるものとする。

c. 設置許可基準規則解釈別記4第5条第2項第1号

第5条第2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」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 兼用キャスク告示第2条に定める津波に対する兼用キャスクの設計については、次のとおりとする。

- ・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。
- ・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。
- ・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。

d. 兼用キャスク告示第2条

設置許可基準規則第5条第2項第1号の原子力規制委員会が別に定める津波は、浸水深が10メートルで、流速が20メートル毎秒である津波とする。

(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」に記載されている津波に対する【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 4.2.2 津波」

【審査における確認事項】

『

設置変更許可基準規則第5条第2項に規定する津波による作用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5条第1項及び第2項に基づき、兼用キャスク告示で定める津波又は基準津波を定めていること。
- (2) 設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波として、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津波による作用力

キャスクの設置位置への津波の遡上を前提とし、兼用キャスクに作用する津波荷重として、波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。これらを算出するために必要な浸水深、流速及び漂流物質量は以下のとおり。

- ・浸水深 : 10m
- ・流速 : 20m/s
- ・漂流物質量 : 100t

②基準津波による作用力

設置許可基準規則の解釈別記3に基づく基準津波を用いた津波伝播解析及び遡上解析により兼用キャスクへの入力津波を評価する。

』

b. 「4.3.2 津波に対する設計方針 4.3.2.1 基本方針」

【審査における確認事項】

『
兼用キャスクは、「4.2.2 津波」に示す津波による作用力に対して安全機能が維持されること。

』

【確認内容】

『
(1) 兼用キャスク告示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。
(2) 津波に対する評価に際しては、必要に応じて「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を参考にしていること。

』

c. 「4.3.2 津波に対する設計方針 4.3.2.2 設計・評価の方針」

【審査における確認事項】

『
兼用キャスクに対する津波の影響については、兼用キャスクの設置方法に応じて適切な評価を実施し、津波による作用力に対して兼用キャスクの安全機能が維持される設計であること。

』

【確認内容】

『
以下を踏まえたものであること。また、工事計画認可においては、津波荷重の設定、施設の寸法、構造及び強度が要求事項に適合するものであること。
(1) 兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合
1) 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。
2) 1) において考慮する荷重としては、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。
3) 津波波力及び漂流物荷重は、以下の指針等を参考に設定することができる。
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）

4) 津波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うこと。

(2) 基準津波を適用する場合

遡上解析の結果、兼用キャスクの設置地盤の高さや津波防護施設等により、兼用キャスクの設置位置への津波の遡上がない場合、津波による作用力に対する評価は不要とする。

』

3. 要求事項への適合性

(1) 設置許可基準規則への適合性

Hitz-B69 型の津波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 5 条第 2 項

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

二 基準津波

b. 設置許可基準規則解釈別記 4 第 5 条第 1 項第 1 号

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」については、兼用キャスク告示第 2 条によるものとする。

c. 設置許可基準規則解釈別記 4 第 5 条第 2 項第 1 号

第 5 条第 2 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」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 兼用キャスク告示第 2 条に定める津波に対する兼用キャスクの設計については、次のとおりとする。

- ・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。
- ・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。
- ・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。

d. 兼用キャスク告示第 2 条

設置許可基準規則第 5 条第 2 項第 1 号の原子力規制委員会が別に定める津波は、浸水深が 10 メートルで、流速が 20 メートル毎秒である津波とする。

Hitz-B69 型は、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よる荷重が作用する荷重条件に対して、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設計とし、臨界防止機能を担保するバスケットは、臨界防止上有意な変形が生じない設計とする。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、破断延性限界に対して十分な余裕を有し、キャスクの安全機能を維持する設計とする。

津波荷重が作用した場合の評価に用いる津波荷重として、兼用キャスク告示で定める津波による作用力とし、浸水深に基づく津波波力及び質量 100 トンの漂流物の衝突による漂流物衝突荷重を作用させるとともに、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、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。上記条件に基づく機能維持評価の結果、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、津波に対して安全機能が維持されることを確認した。

(2) 審査ガイドへの適合性

審査ガイドでは、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、キャスクの津波に対する設計は、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

<2. (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5条第1項及び第2項に基づき、兼用キャスク告示で定める津波又は基準津波を定めていること。
- (2) 設置許可基準規則第5条第2項に規定する津波として、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津波による作用力

兼用キャスクの設置位置への津波の遡上を前提とし、兼用キャスクに作用する津波荷重として、波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。これらを算出するために必要な浸水深、流速及び漂流物質量は以下のとおり。

- ・浸水深 : 10m
- ・流速 : 20m/s
- ・漂流物質量 : 100t

②基準津波による作用力

置許可基準規則の解釈別記3に基づく基準津波を用いた津波伝播解析及び遡上解析により兼用キャスクへの入力津波を評価する。

Hitz-B69型に津波荷重が作用した場合の評価に用いる津波荷重は、兼用キャスク告示で定める津波による作用力とし、波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。これらを算出するための条件は以下のとおりである。

- ・浸水深 : 10m
- ・流速 : 20m/s
- ・漂流物質量 : 100t

<2. (2) b.に対する適合性>

【確認内容】

- (1) 兼用キャスク告示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。
- (2) 津波に対する評価に際しては、必要に応じて「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を参考にしていること。

Hitz-B69型に津波荷重が作用した場合の評価は、津波がキャスクの設置位置へ遡上することを前提として耐津波設計に係る工認審査ガイドを参考に実施し、キャスクの安全機能が維持されることを確認する。

<2. (2) c.に対する適合性>

【確認内容】

以下を踏まえたものであること。また、工事計画認可においては、津波荷重の設定、施設の寸法、構造及び強度が要求事項に適合するものであること。

(1) 兼用キャスク告示で定める津波を適用する場合

- 1) 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。
- 2) 1) において考慮する荷重としては、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。
- 3) 津波波力及び漂流物荷重は、以下の指針等を参考に設定することができる。
 - 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）
- 4) 津波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うこと。

津波波力は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、漂流物衝突荷重は、道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV下部構造編）に基づきそれぞれ設定する。

津波荷重が作用した場合の評価においては、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が作用することに加え、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、Hitz-B69 型の評価上最も厳しくなる位置へ作用させる。

津波荷重に対するキャスクの詳細評価は、FEM 解析に基づく応力評価等により実施する。

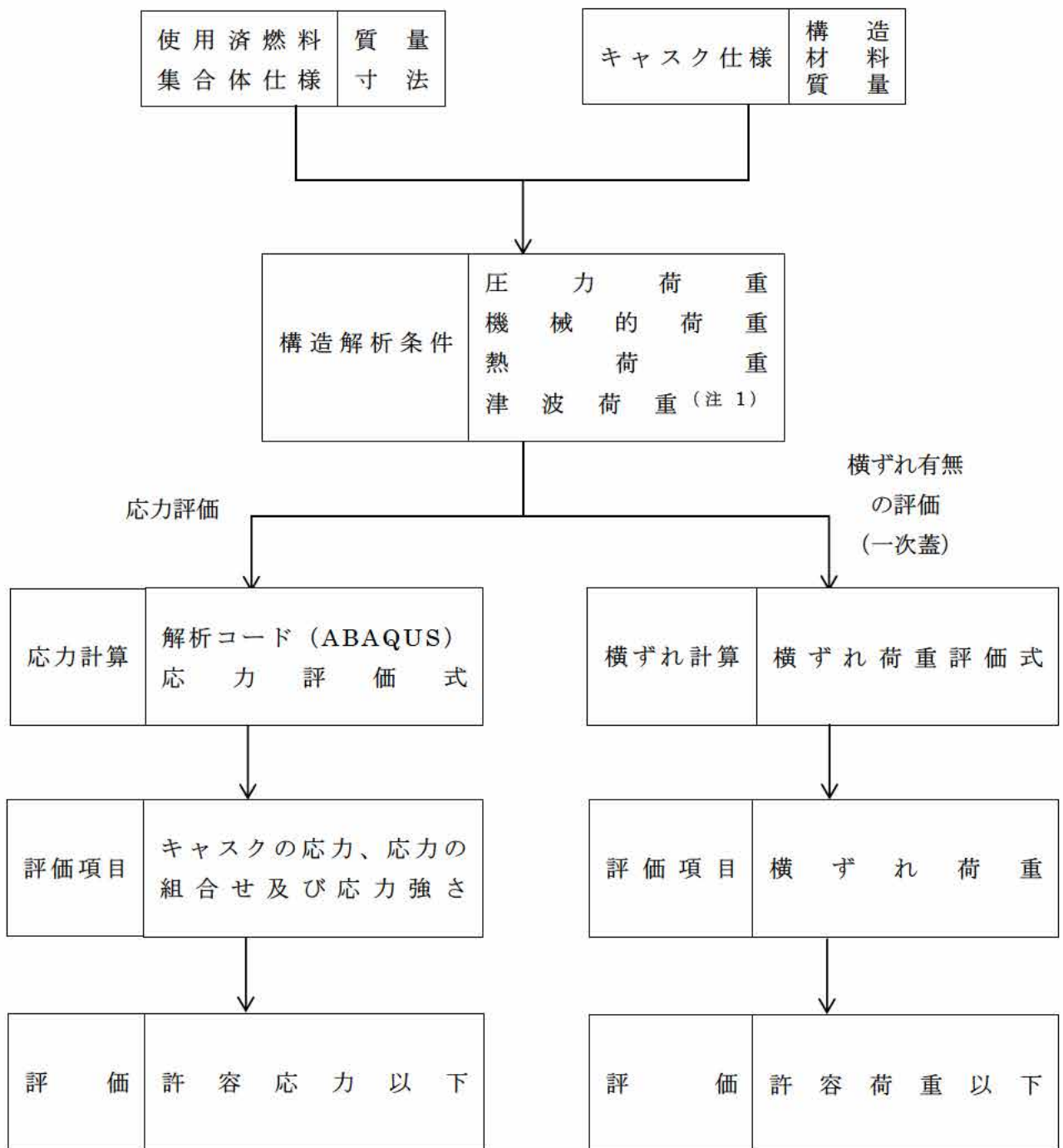
型式証明における設計方針の妥当性確認として、津波荷重が作用した場合の機能維持評価を実施し、Hitz-B69 型の安全機能が維持される設計であることを確認する。機能維持評価の概要を 4.項に示す。

4. 津波荷重による Hitz-B69 型の機能維持評価

機能維持評価は、Hitz-B69 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（一次蓋シール部、胴フランジ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する。また、緩衝体による津波荷重のエネルギー吸収を無視するとともに、緩衝体の構造体としての剛性を考慮しない条件とする。

津波荷重作用時の Hitz-B69 型の機能維持評価フローを図 1 に示す。

密封境界部は金属キャスク構造規格⁽¹⁾に定める供用状態 D の許容応力を許容限界とする。バスケットは供用状態 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、外筒及び伝熱フィンは金属キャスク構造規格に許容応力の記載がないが、外筒については同規格の中間胴の規定（供用状態 D）を適用し、伝熱フィンについては、破断しないことを確認することで、部材が欠損せず、安全機能が損なわれるおそれがないことを確認する。



(注1) 津波荷重として津波波力及び漂流物衝突荷重を考慮する。

図1 津波荷重作用時の Hitz-B69 型の機能維持評価フロー

(1) 津波荷重の設定

機能維持評価に用いる荷重及び荷重の組み合わせは、以下のとおり設定する。

想定される津波はキャスクの長手方向だけでなく径方向からも到来する可能性があることから、キャスク長手方向（キャスク頭部側）又は径方向（キャスク側部側）の荷重を考慮して評価を行う。

評価対象部位のうち密封境界部と外筒には津波波圧による荷重を等分布荷重として、漂流物衝突荷重を集中荷重として設定する。

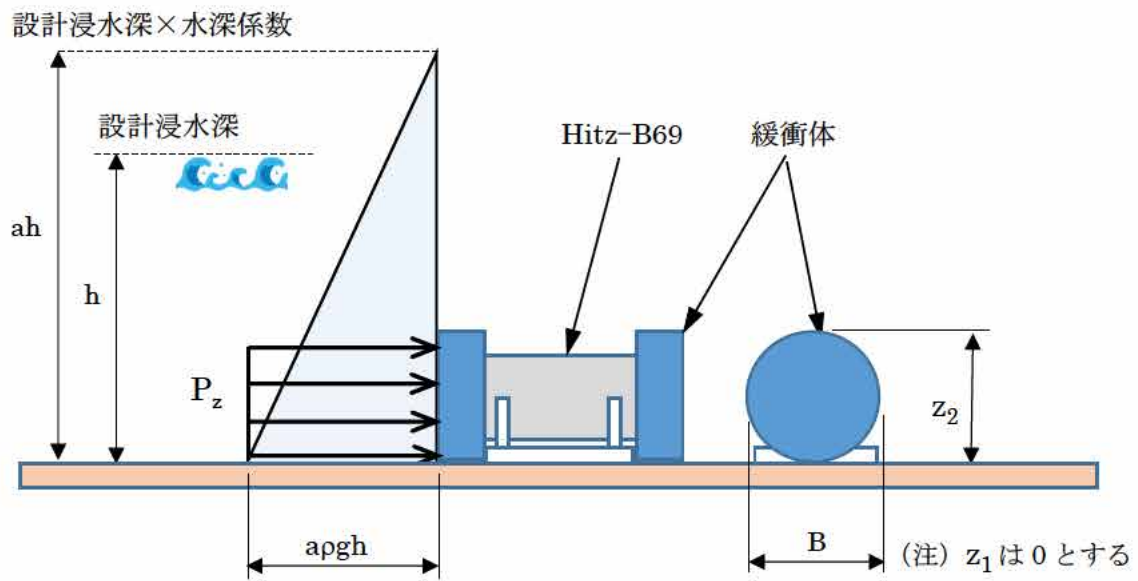
バスケットと伝熱フィンの評価では津波荷重からキャスクに作用する加速度を算出するため、バスケットと伝熱フィンには津波波圧による荷重と漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重を設定する。

評価対象部位は密封境界部、外筒、バスケット及び伝熱フィンであるが、評価する部位に対してそれぞれ荷重条件を設定する。

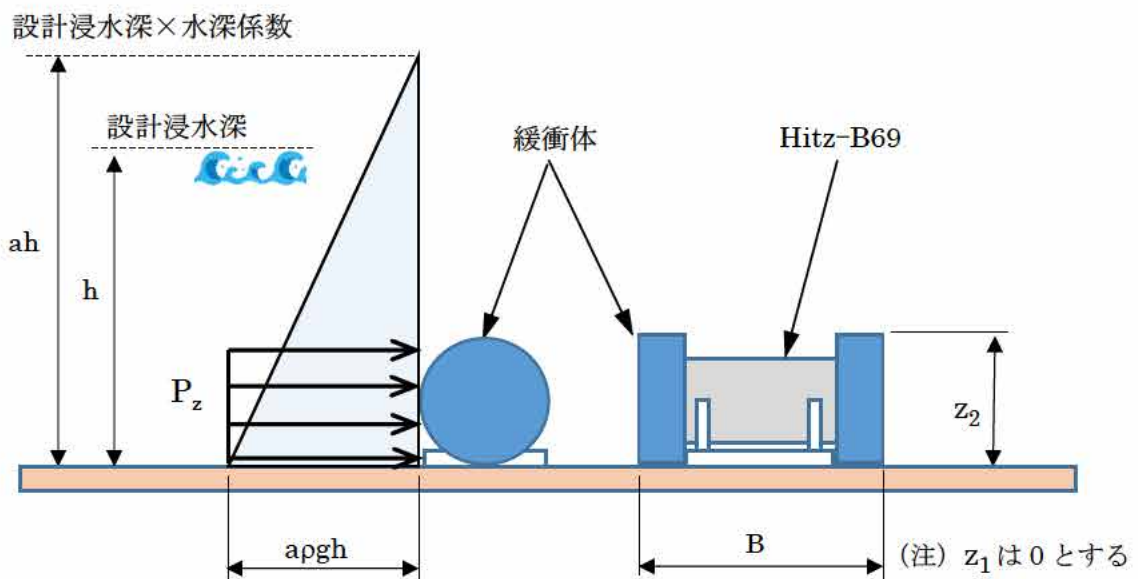
a. 密封境界部及び外筒

①津波波力

キャスクへ作用する津波波力の評価モデルを図 2 に示す。津波波力は、「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」に示される評価式により算定する。津波の設計浸水深は 10m であり、Hitz-B69 型を越流するため、波圧は三角分布となるが、キャスク本体及び外筒には、最深部の波圧による荷重がキャスクの投影面に等分布で作用するものとする。



(a) 長手方向からの津波



(b) 径方向からの津波

図2 津波波力の評価モデル (密封境界部及び外筒)

津波波圧の計算条件及び計算結果を表 1 に示す。

$$P_z = a \cdot \rho \cdot g \cdot h$$

ここで、

ρ : 海水の密度 (=1030 kg/m³)

g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

a : 水深係数 (=3)

h : 設計浸水深 (m)

表 1 津波波圧の計算条件及び計算結果 (密封境界部及び外筒)

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
水深係数	a	—	3
設計浸水深	h	m	10
津波波圧	P_z	N/m ²	3.04×10^5

②漂流物衝突荷重 (P_c)

漂流物衝突荷重 P_c は、「道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)」に示される次の衝突荷重の評価式により算定する。

計算条件及び計算結果を表 2 に示す。

$$P_c = 0.1 \cdot W \cdot v$$

ここで、

W : 漂流物の質量 (N)

v : 表面流速 (m/s)

表 2 漂流物衝突荷重の計算条件及び計算結果

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
漂流物の質量	W	N	9.80665×10^5 (注 1)
表面流速	v	m/s	20
漂流物衝突荷重	P_c	N	1.97×10^6

(注 1) 漂流物質量 100 t に重力加速度を乗じた値である。

③津波荷重の組合せ

密封境界部及び外筒の評価においては、津波波圧 P_z を等分布荷重として、漂流物衝突荷重 P_c を集中荷重として解析モデルに作用させる。

荷重条件を図 3 に示す。

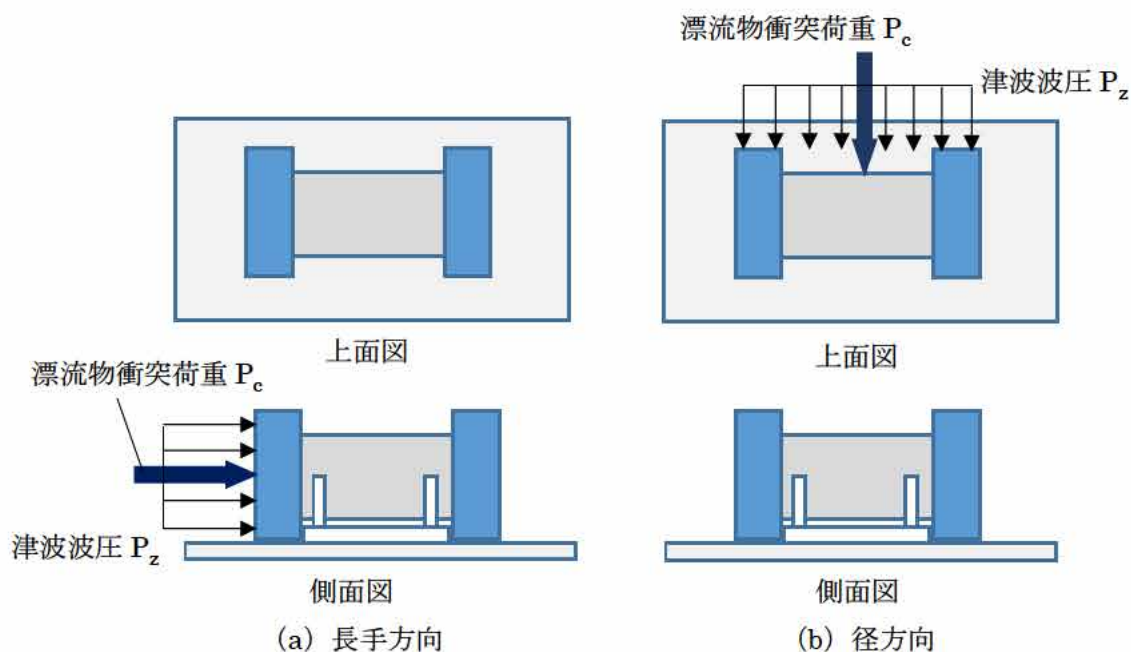


図 3 荷重条件 (密封境界部及び外筒)

b. バスケット及び伝熱フィン

①津波波力

キャスクへ作用する津波波力の評価モデルを図4に示す。津波波力は、「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」に示される評価式により算定する。津波の設計浸水深は10mであり、Hitz-B69型を越流するため波圧は三角分布となり、Hitz-B69型が存在する高さまでの台形分布がHitz-B69型に作用する。また、津波波力は長手方向からの津波によるものを P_{t1} 、径方向からの津波によるものを P_{t2} としてそれぞれ求める。

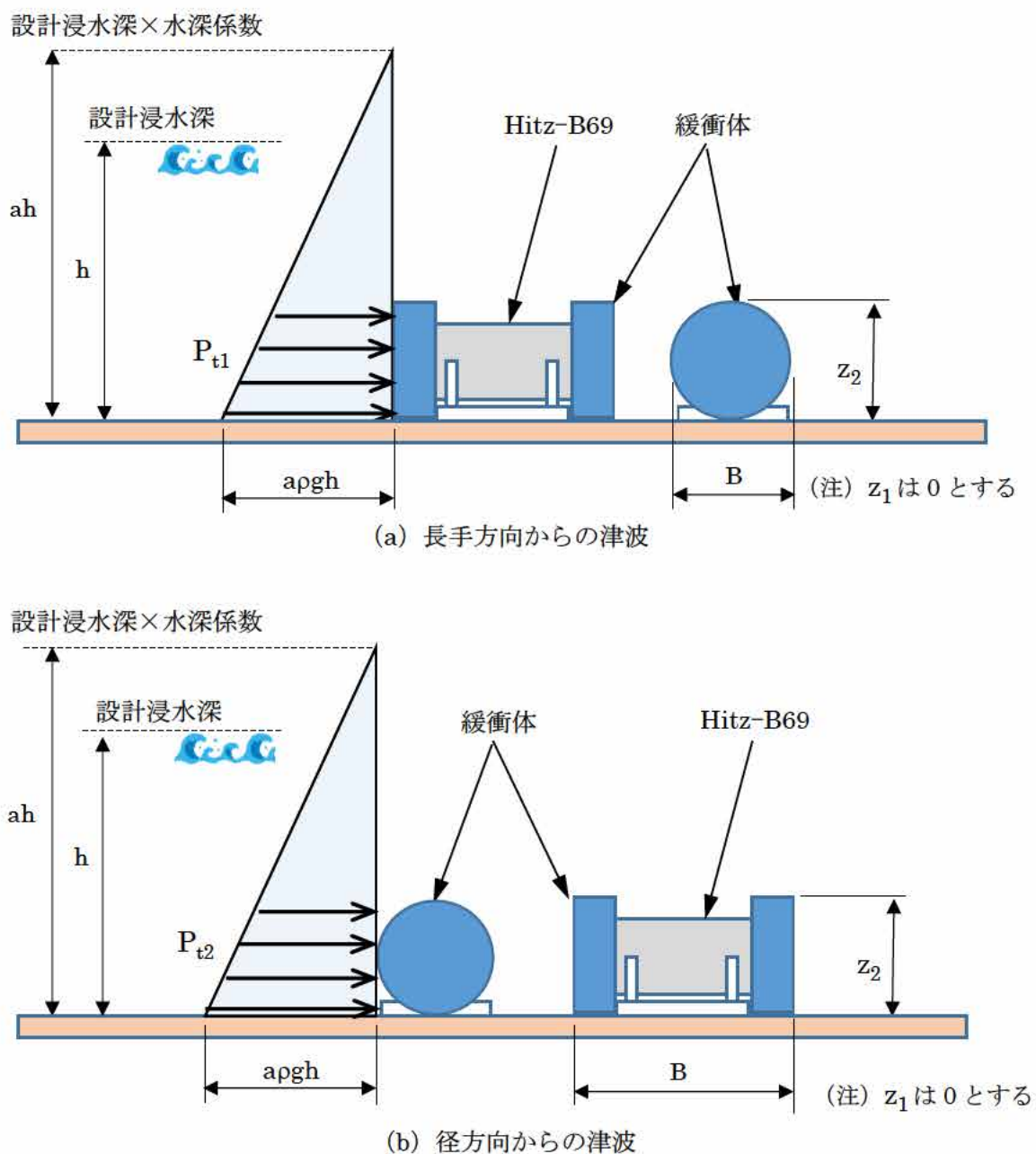


図4 津波波力の評価モデル (バスケット及び伝熱フィン)

計算条件及び計算結果を表 3 に示す。

$$P_t = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) B dz = \rho g B \left\{ \left(ahz_2 - \frac{1}{2} z_2^2 \right) - \left(ahz_1 - \frac{1}{2} z_1^2 \right) \right\}$$

ここで、

ρ : 海水の密度 (=1030 kg/m³)

g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

a : 水深係数 (=3)

h : 設計浸水深 (m)

z_1 : 受圧面の最小高さ ($0 \leq z_1 \leq z_2$) (m)

z_2 : 受圧面の最大高さ ($z_1 \leq z_2 \leq h$) (m)

B : 受圧面の幅 (m)

表 3 津波波力の計算条件及び計算結果 (バスケット及び伝熱フィン)

(a) 長手方向からの津波波力

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
水深係数	a	—	3
設計浸水深	h	m	10
受圧面の最小高さ	z_1	m	0
受圧面の最大高さ	z_2	m	3.6 (注 1)
受圧面の幅	B	m	3.6 (注 1)
津波波力 (長手方向)	P_{t1}	N	3.70×10^6

(注 1) 緩衝体外径とする。(図 4 参照)

(b) 径方向からの津波波力

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
水深係数	a	—	3
設計浸水深	h	m	10
受圧面の最小高さ	z_1	m	0
受圧面の最大高さ	z_2	m	3.6 (注 1)
受圧面の幅	B	m	6.8 (注 2)
津波波力 (径方向)	P_{t2}	N	6.98×10^6

(注 1) 緩衝体外径とする。(図 4 参照)

(注 2) 横置き状態で津波波力が最大となるキャスク軸方向の幅とする。(図 4 参照)

②漂流物衝突荷重 (P_c)

漂流物衝突荷重 P_c は、密封境界部及び外筒と同様、「道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)」に示される次の衝突荷重の評価式により算定する。

計算条件及び計算結果を表 4 に示す。

$$P_c = 0.1 \cdot W \cdot v$$

ここで、

W : 漂流物の質量 (N)

v : 表面流速 (m/s)

表 4 漂流物衝突荷重の計算条件及び計算結果

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
漂流物の質量	W	N	9.80665×10^5 (注 1)
表面流速	v	m/s	20
漂流物衝突荷重	P_c	N	1.97×10^6

(注 1) 漂流物質量 100 t に重力加速度を乗じた値である。

③津波荷重の組合せ

バスケット及び伝熱フィンの評価においては、長手方向からの津波荷重 P_1 は長手方向からの津波波力 P_{t1} と漂流物衝突荷重 P_c を、径方向からの津波荷重 P_2 は径方向からの津波波力 P_{t2} と流物衝突荷重 P_c をそれぞれ組み合わせる。

荷重条件を図 5 に示す。

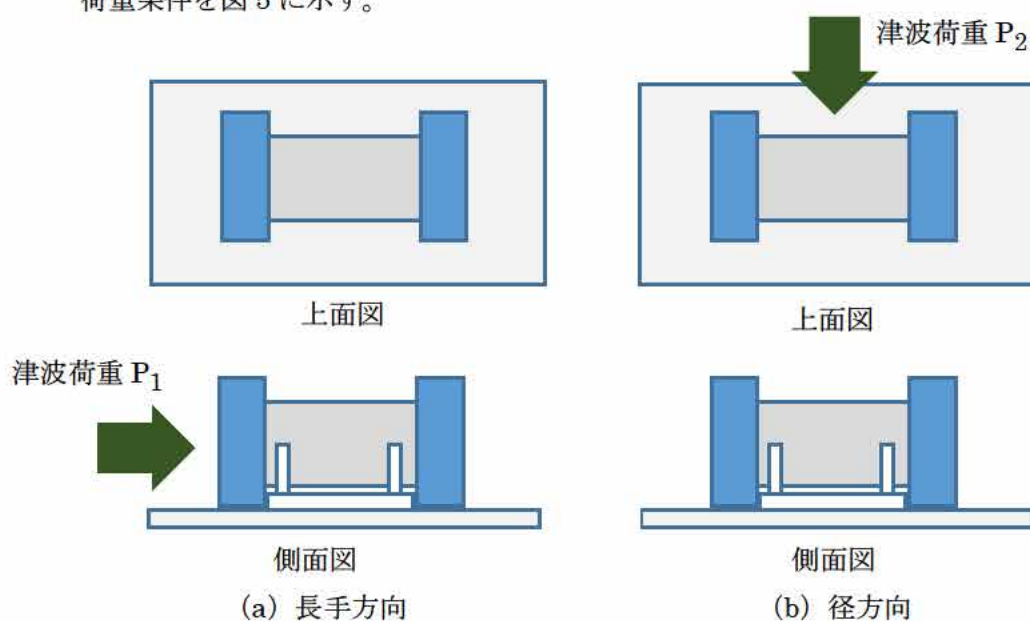


図 5 荷重条件 (バスケット及び伝熱フィン)

計算条件及び計算結果を表 5 に示す。

$$P = P_t + P_c$$

表 5 津波荷重の組合せ (バスケット及び伝熱フィン)

(a) 長手方向からの津波荷重

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
津波波力 (長手方向津波)	P_{t1}	N	3.70×10^6
漂流物衝突荷重	P_c	N	1.97×10^6
津波荷重 (長手方向)	P_1	N	5.67×10^6

(b) 径方向からの津波荷重

項目	記号	単位	計算条件又は計算結果
津波波力 (径方向津波)	P_{t2}	N	6.98×10^6
漂流物衝突荷重	P_c	N	1.97×10^6
津波荷重 (径方向)	P_2	N	8.95×10^6

(2) 機能維持評価

津波荷重作用時に Hitz-B69 型に生じる津波荷重を基に、密封境界部（一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルト）については有限要素法を用いた ABAQUS コードにより評価を行う。また、外筒、バスケット及び伝熱フィンについては工学式により応力を計算し、機能維持評価を行う。さらに、一次蓋については横ずれ有無の評価を行う。

津波荷重作用時の密封境界部、外筒、バスケット及び伝熱フィンの応力評価結果を表 6 (a) ～ (d) に示す。表 6 (a) ～ (d) に示すとおり、津波荷重作用時に密封境界部、外筒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、中間胴及びバスケットそれぞれにおける供用状態 D の基準を満足する。バスケットに生じる応力は、供用状態 D の基準を満足しており、臨界防止機能が損なわれることはない。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、使用済燃料集合体を収納するコンパートメントに生じる応力強さは、設計降伏応力より小さいため、コンパートメントは塑性変形せず、臨界防止上有意な変形は生じない。伝熱フィンについても許容応力以下となり、部材は欠損せず、除熱機能が損なわれることはない。一次蓋の横ずれ評価結果を表 6 (e) に示す。表 6 (e) 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。したがって、津波荷重作用時に Hitz-B69 型の安全機能は維持される。

竜巻荷重作用時のキャスクの機能維持評価の詳細を別紙 1 に示す。

表 6 津波荷重作用時の機能維持評価結果

(a) 密封境界部

津波荷重 作用方向	評価部位		応力の種類 (注 1)	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa) (注 2)
長手方向	一次蓋	一次蓋部	P_L+P_b+Q	45	162
	密封シール部	胴フランジ部	P_L+P_b+Q	54	183
	一次蓋ボルト		$\sigma_m+\sigma_b$	359	846
径方向	一次蓋	一次蓋部	P_L+P_b+Q	62	162
	密封シール部	胴フランジ部	P_L+P_b+Q	74	183
	一次蓋ボルト		$\sigma_m+\sigma_b$	432	846

(注 1) 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、

σ_m : 平均引張応力、 $\sigma_m+\sigma_b$: 平均引張応力+曲げ応力

(注 2) 一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルトの基準値は S_y である。

(b) 外筒

津波荷重 作用方向	評価部位	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa) (注 1)
径方向	外筒中央部	曲げ	19	284
	外筒端部	曲げ	19	284
		せん断	53	163

(注 1) せん断応力に対する基準値は f_s 、曲げ応力に対する基準値は f_b である。

(c) バスケット

津波荷重 作用方向	評価部位	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa) (注 1)
長手方向	コンパートメント	圧縮	5	265
径方向	コンパートメント	せん断	6	171
		曲げ	7	391
		応力強さ	14	391
	サポートプレート	圧縮	10	157

(注 1) せん断応力に対する基準値は $1.2S_m$ 、曲げ応力に対する基準値は S_u 、応力強さに対する基準値は S_u 、圧縮応力に対する基準値は f_c である。

(d) 伝熱フィン

津波荷重 作用方向	評価部位	応力の種類	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa) (注1)
長手方向	溶接部	応力強さ	1	205

(注1) 基準値は S_u である。

(e) 一次蓋の横ずれ

評価項目	計算値 (N)	評価基準 (N) (注1)
一次蓋の慣性力	3.17×10^5	2.75×10^6

(注1) 一次蓋ボルトの締付力による摩擦力

5. 参考文献

- (1) (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)

津波荷重作用時のキャスクの機能維持評価

1. 概要

本資料は、Hitz-B69 型を対象として金属キャスク構造規格⁽¹⁾に基づき津波荷重作用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）、臨界防止機能を担うバスケット、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）、除熱機能を担う伝熱フィンを評価対象として実施した。

2. 津波荷重作用時の機能維持評価

(1) 密封境界部

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）については、有限要素法を用いた ABAQUS コードにより各部位に生じる応力を評価する。

a. 解析モデル

津波荷重作用時の Hitz-B69 型の解析モデルとして、別紙 1-1 図に示す三次元解析モデルを用いる。本解析モデルは、胴、底板、外筒、底部中性子遮蔽材カバー、一次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー、二次蓋及びトラニオンより構成される。なお、一次蓋及び二次蓋は蓋ボルトにより胴に接続され、蓋と胴との接触が考慮されている。

b. 荷重条件及び境界条件

密封境界部と外筒の機能維持評価における荷重条件は以下のとおり。

- ・ 等分布荷重である津波波圧 P_z 及び集中荷重である漂流物衝突荷重 P_c がそれぞれ作用する。
- ・ 漂流物衝突荷重 P_c は評価するうえで最も厳しくなる箇所へ作用させる。
- ・ 蓋部、底部中性子遮蔽材等の非強度部材は相当質量に応じた荷重を考慮して、その荷重受面に分布させる。
- ・ 胴内部圧力、一次二次蓋間圧力、側部中性子遮蔽材部圧力、一次蓋中性子遮蔽材部圧力及び底部中性子遮蔽材部圧力が作用する。
- ・ 温度は貯蔵状態の熱解析結果を使用する。

境界条件として、トラニオンの固定位置における節点の軸方向変位、径方向変位、及び鉛直方向変位を拘束する。

荷重条件と境界条件を別紙 1-2 図及び別紙 1-3 図に示す。

c. 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）に発生する応力の評価基準は、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適用した。

i. 一次蓋密封シール部

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

$$P_L + P_b + Q \leq S_y$$

ここで、

P_m : 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

ii. 一次蓋ボルト

$$(\text{軸方向に垂直な断面の平均引張応力}) \leq S_y$$

$$(\text{軸方向に垂直な断面の平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq S_y$$

d. 評価結果

別紙 1-4 図に示す応力評価位置に対する津波時におけるキャスク本体の一次応力強さ及び蓋ボルトの応力の評価結果を別紙 1-1 表に示す。別紙 1-1 表に示すように、一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルトに生じる応力は解析基準を満足する。

別紙 1-1 表 津波時におけるキャスク本体の応力評価結果（密封境界部）

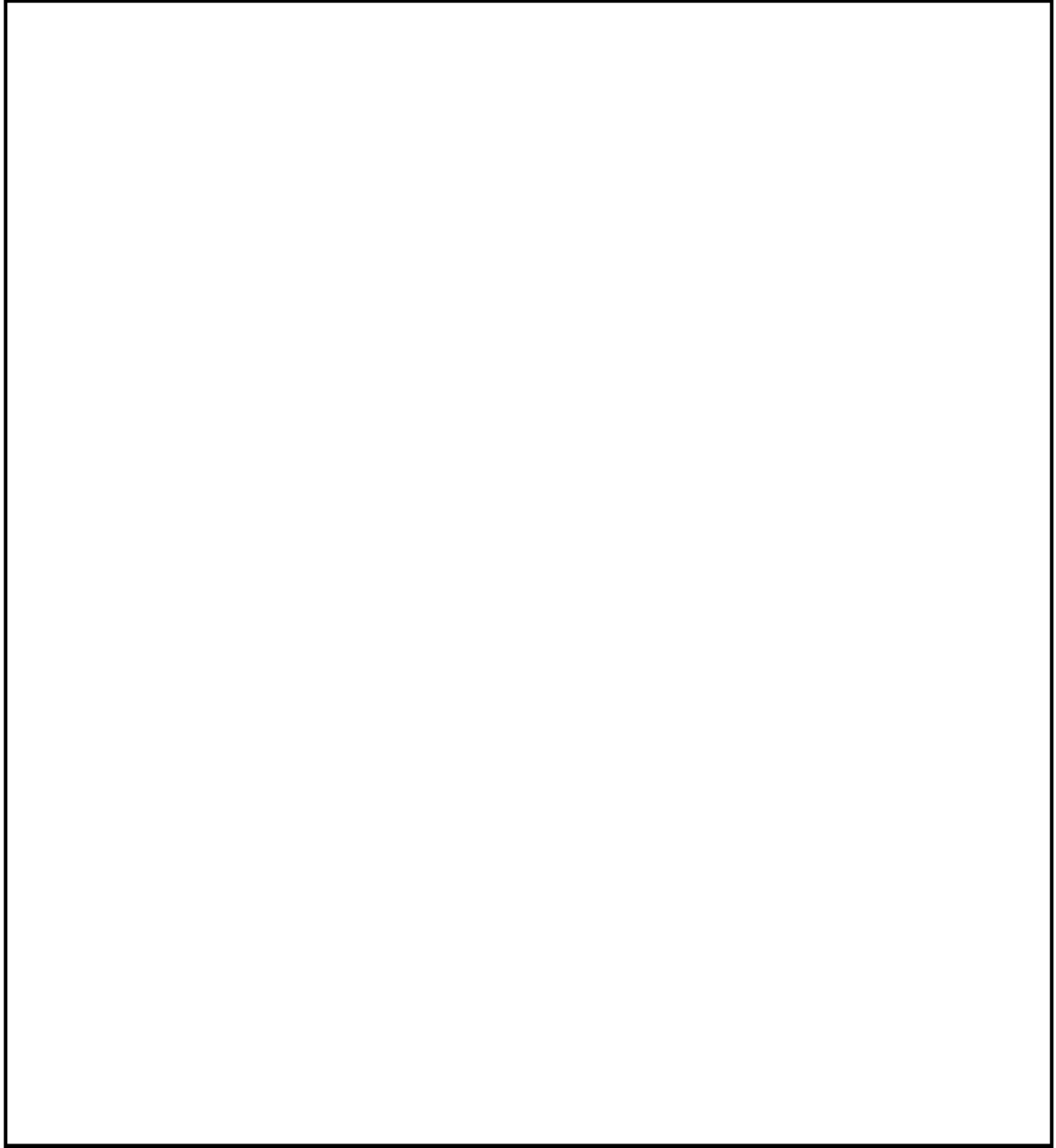
津波荷重の作用方向	部位	評価断面 (注 1)	応力の種類 (注 2)	計算値 (MPa)	温度 (°C) (注 3)	評価基準値 (MPa) (注 4)
長手方向	一次蓋 密封シール部	1	P_L+P_b+Q	45	120	162
		2	P_L+P_b+Q	54	145	183
	一次蓋 ボルト	—	$\sigma_m+\sigma_b$	359	115	846
径方向	一次蓋 密封シール部	1	P_L+P_b+Q	62	120	162
		2	P_L+P_b+Q	74	145	183
	一次蓋 ボルト	—	$\sigma_m+\sigma_b$	432	115	846

(注 1) 別紙 1-4 図参照

(注 2) P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ、 σ_m : 平均引張応力
 $\sigma_m+\sigma_b$: 平均引張応力+曲げ応力

(注 3) Hitz-B69 型の除熱解析の結果（補足説明資料 16-4 「除熱機能に関する説明資料 (GK04-SC-B01)」）から設定

(注 4) 一次蓋密封シール部及び一次蓋ボルトの基準値は S_y である。

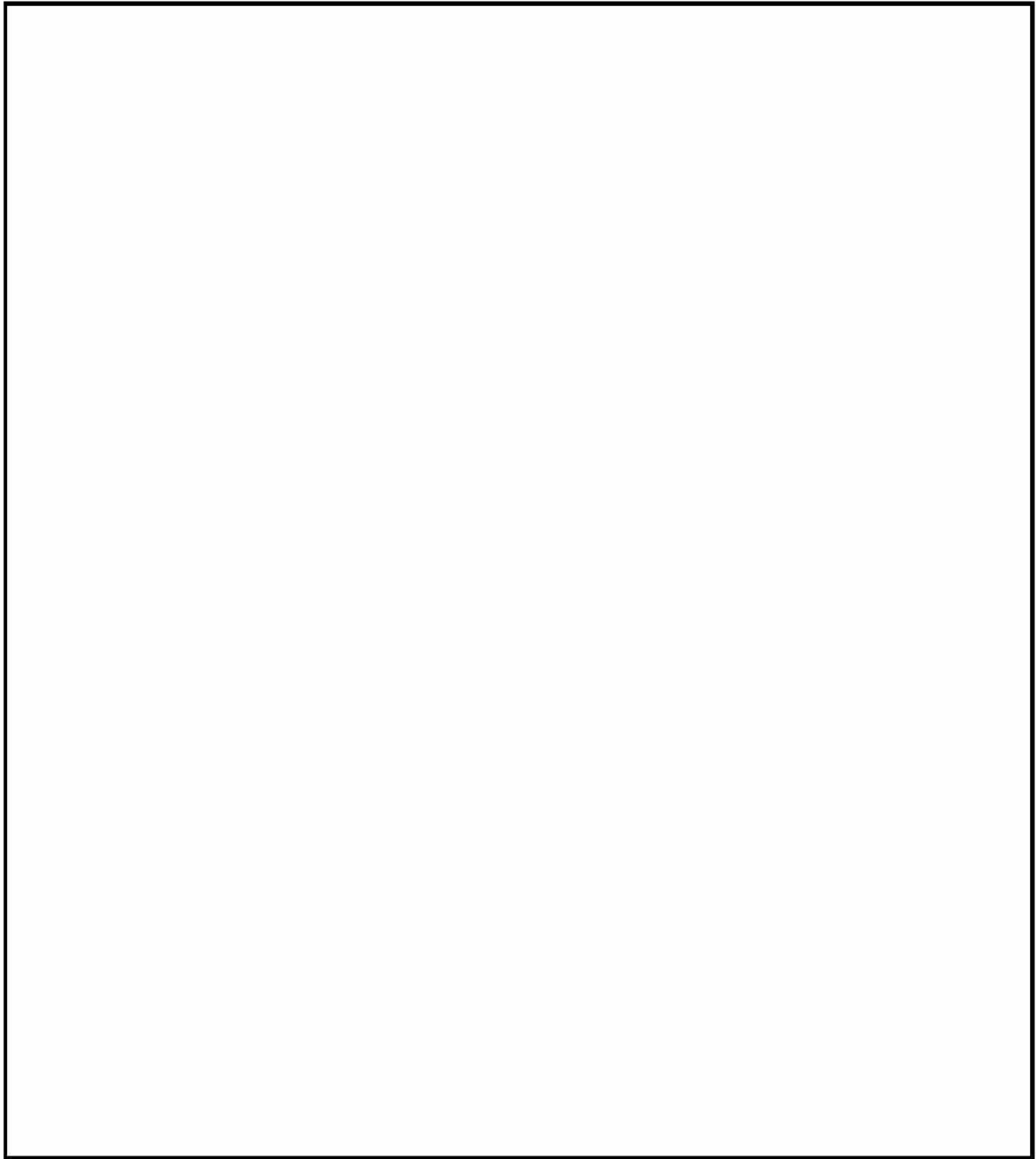


別紙 1-1 図 Hitz-B69 の三次元解析モデル

別紙 1-4



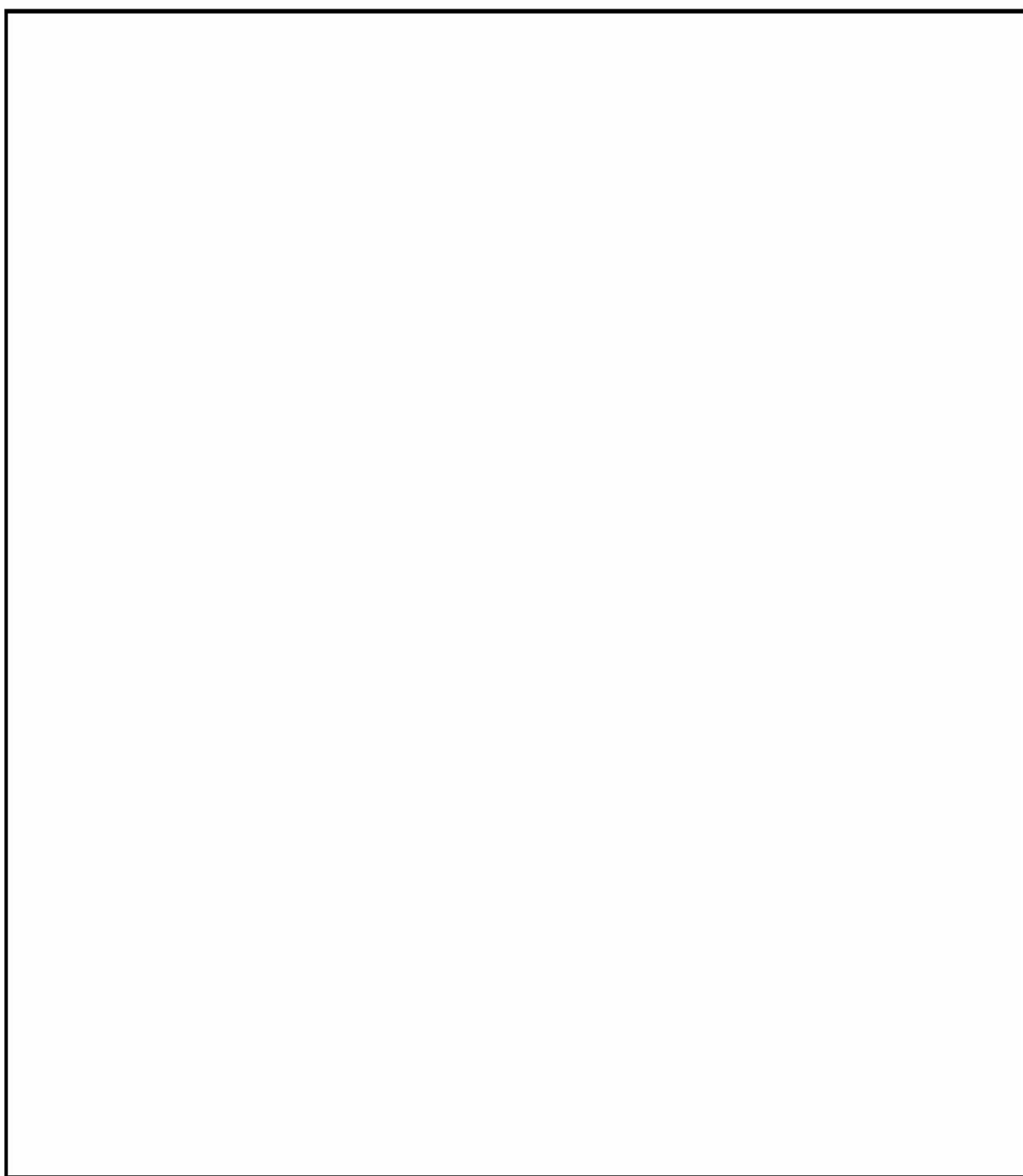
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 1-2 図 津波荷重作用時における荷重条件及び境界条件（長手方向からの津波）

別紙 1-5

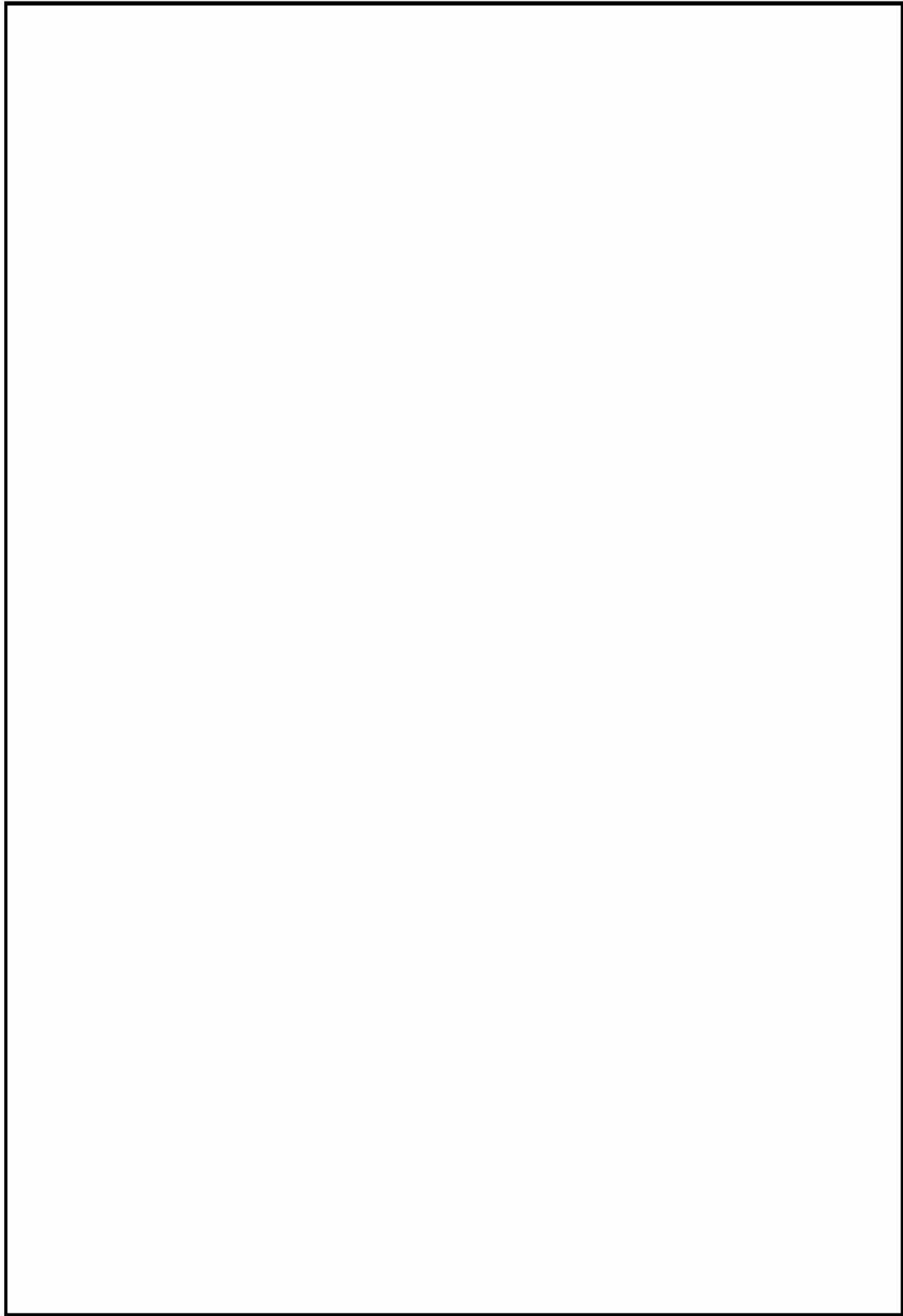
内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 1-3 図 津波荷重作用時における荷重条件及び境界条件（径方向からの津波）

別紙 1-6

 内は商業機密のため、非公開とします。



別紙 1-4 図 キャスクの応力評価位置

別紙 1-7



内は商業機密のため、非公開とします。

(2) 外筒

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）の評価は、工学式により発生する応力を評価する。

なお、外筒はキャスク上部のフランジ部と下部端板によって固定されており、長手方向からの津波荷重に対してはフランジ部と下部端板によって支持されるため、有意な応力は発生しないことから評価を省略することとし、径方向からの津波荷重により発生する応力のみ評価する。

a. 評価モデル

外筒に津波荷重が作用したときの外筒の評価モデルを別紙 1-5 図に示す。

津波波圧は緩衝体を考慮せず、外筒のみに等分布荷重として作用させる。また、漂流物衝突荷重は、外筒の長さ方向（キャスク軸方向）の中央位置に保守的に集中荷重として作用させる。



別紙 1-5 図 外筒の評価モデル

b. 評価基準

外筒に発生する応力の評価基準は、金属キャスク構造規格の中間胴の供用状態 D における許容応力を適用する。なお、各評価式の F は S_u (設計引張強さ) とした値を用いる。

i. 引張応力

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

ii. 圧縮応力

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

ここで、

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

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

iii. せん断応力

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

iv. 曲げ応力

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

c. 評価結果

別紙 1-5 図に示す外筒中央部には曲げ応力 σ_{b1} が、外筒端部には曲げ応力 σ_{b2} 及びせん断応力 τ が生じる。曲げ応力 (σ_{b1} 及び σ_{b2}) 及びせん断応力 τ は次式で与えられる。

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z}$$

$$\tau = \frac{P_z \cdot D \cdot L}{A} + \frac{P_c}{A}$$

ここで、

M_1 : 外筒中央部に生じる曲げモーメント (N・mm)

$$M_1 = \frac{1}{24} P_w L^2 + \frac{1}{8} P_c L$$

M_2 : 外筒端部に生じる曲げモーメント (N・mm)

$$M_2 = \frac{1}{12} P_w L^2 + \frac{1}{8} P_c L$$

P_z : 津波波圧 (N/m²)

P_c : 漂流物衝突荷重 (N)

L : 外筒長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

$$Z = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4)$$

A : 外筒断面積 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

D : 外筒外径 (mm)

d : 外筒内径 (mm)

外筒の計算条件と計算結果を別紙 1-2 表に示す。別紙 1-2 表に示すように、外筒に生じる応力は評価基準を満足する。

別紙 1-2 表 外筒の応力計算条件及び計算結果

津波波圧 P_z (N/m ²)	漂流物衝突荷重 P_c (N)
3.04×10^5	1.97×10^6

外筒長さ L (mm)	外筒外径 D (mm)	外筒内径 d (mm)	断面係数 Z (mm ³)	断面積 A (mm ²)
4953	2454	2426	6.51×10^7	1.07×10^5

外筒中央部の 曲げモーメント M_1 (N・mm)	外筒中央部の 曲げ応力 σ_{b1} (MPa)	評価基準値 f_b (MPa)
1.22×10^9	19	284

外筒端部の 曲げモーメント M_2 (N・mm)	外筒端部の 曲げ応力 σ_{b2} (MPa)	評価基準値 f_b (MPa)	外筒端部の せん断応力 τ (MPa)	評価基準値 f_s (MPa)
1.22×10^9	19	284	53	163

(3) バスケット

臨界防止機能を担うバスケットについては、工学式により発生する応力を評価する。

バスケットには津波波力と漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重による慣性力が作用するものとし、長手方向からの津波荷重が作用した場合と、径方向からの津波荷重が作用した場合をそれぞれ評価する。

(3-1) コンパートメント

a. 評価モデル

長手方向からの津波荷重が作用した場合のコンパートメントの評価モデルを別紙 1-6 図(a)に、径方向からの津波荷重が作用した場合のコンパートメントの評価モデルを別紙 1-6 図(b)に示す。

b. 荷重条件

バスケットの機能維持評価においては、津波波力と漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重が作用した場合の評価を行う。津波荷重が作用した場合の Hitz-B69 型に生じる衝撃加速度 G は次式により求められる。

津波荷重が作用した場合の衝撃加速度を別紙 1-3 表に示す。

$$G = \frac{P}{m}$$

ただし、 P : 津波荷重 (N)

m : キャスク質量 (=131000kg)

別紙 1-3 表 津波荷重が作用した場合の衝撃加速度

津波荷重の 作用方向	津波荷重 (N)		キャスク質量 m (kg)	衝撃加速度 (m/s^2)	
	P_1	P_2		G_1	G_2
長手方向	P_1	5.67×10^6	131000	G_1	44
径方向	P_2	8.95×10^6		G_2	69

c. 評価基準

コンパートメン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する。

i. せん断応力

$$\tau \leq 1.2S_m$$

ここで、

S_m : 設計応力強さ

ii. 曲げ応力

$$\sigma_b \leq S_u$$

ここで、

S_u : 設計引張強さ

iii. 応力強さ

$$s \leq S_u$$

iv. 圧縮応力

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

ここで、

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

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

d. 評価結果

①長手方向からの津波荷重により発生する応力

長手方向からの津波荷重による慣性力がコンパートメントに作用し、圧縮応力 σ_c が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_s G}{A_c}$$

ただし、

W_s : 評価対象のコンパートメントに作用する合計質量 (kg)

G : 長手方向からの津波荷重による加速度 (m/s²)

A_c : コンパートメントの断面積 (mm²)

コンパートメントの計算条件及び計算結果を別紙 1-4 表に示す。別紙 1-4 表に示すように、コンパートメントに生じる応力は解析基準値を満足する。

別紙 1-4 表 コンパートメントの計算条件及び計算結果 (長手方向からの津波荷重)

合計質量 W_s (kg)	長手方向からの津波荷重 による衝撃加速度 G (m/s ²)	コンパートメントの 断面積 A_c (mm ²)	圧縮応力 σ_c (MPa)	基準値 f_c (MPa)
6700	44	6.45×10^4	5	265

②径方向からの津波荷重により発生する応力

径方向からの津波荷重による慣性力がコンパートメントに作用し、せん断応力 τ と曲げ応力 σ_b が生じる。

$$\tau = \frac{5}{8} \frac{W_s G_h}{A_s}$$

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

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

ただし、

W_s : 評価対象のコンパートメントに作用する合計質量 (kg)

G : 径方向からの津波荷重による加速度 (m/s²)

A_s : コンパートメントの断面積 (mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm³)

s : 応力強さ (MPa)

コンパートメントの計算条件及び計算結果を別紙 1-5 表に示す。別紙 1-5 表に示すように、コンパートメントに生じる応力は解析基準値を満足する。

コンパートメントに生じる応力強さは、設計降伏応力 S_y (=266MPa) より小さいため、コンパートメントは塑性変形せず、臨界防止上有意な変形は生じない。

別紙 1-5 表 コンパートメントの計算条件及び計算結果（径方向からの津波荷重）

(a) せん断応力の計算条件及び計算結果

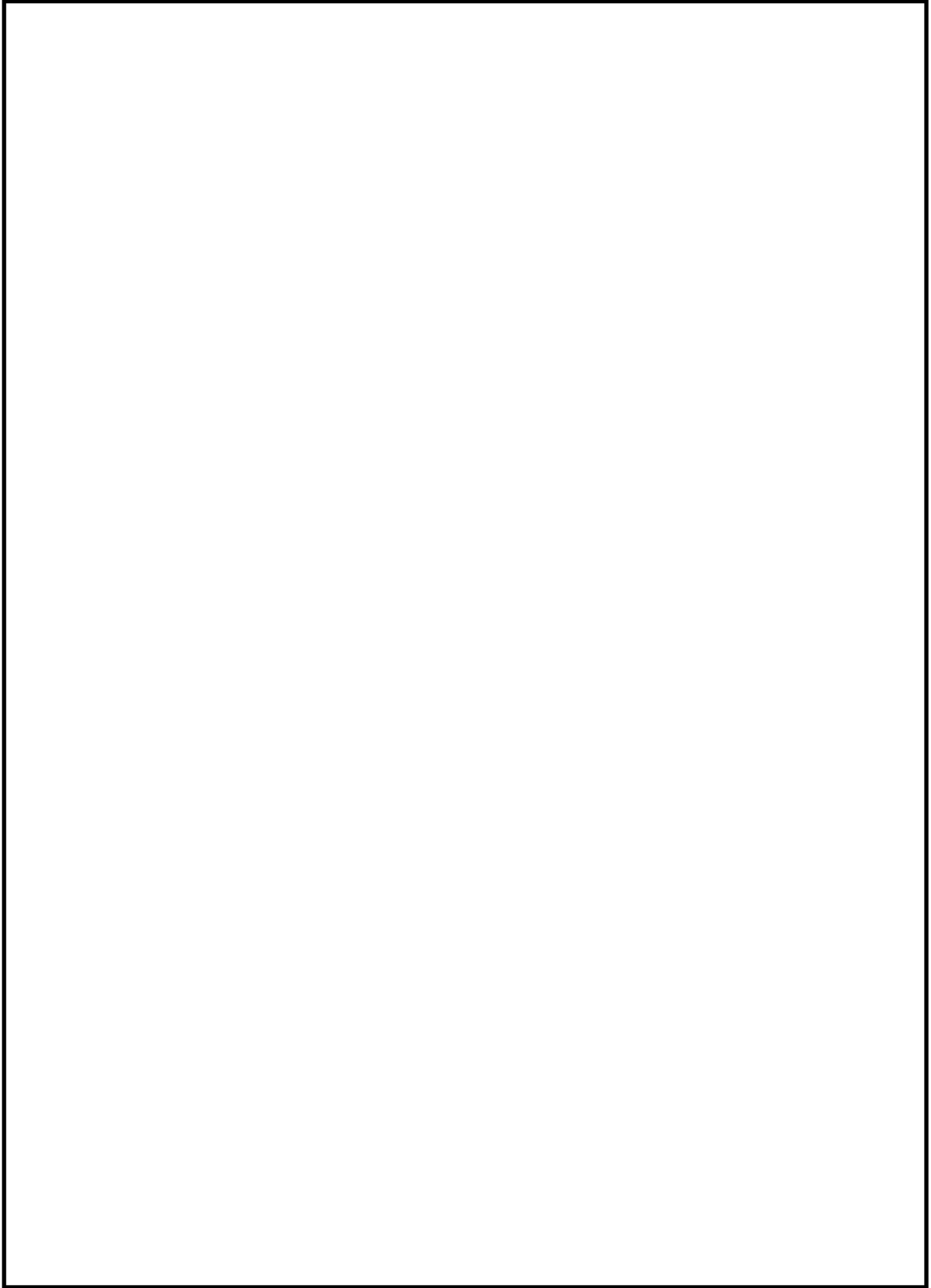
合計質量 W_s (kg)	径方向からの津波荷重 による加速度 G (m/s ²)	コンパートメントの 断面積 A_s (mm ²)	せん断応力 τ (MPa)	評価基準値 $1.2S_m$ (MPa)
1700	69	1.34×10^4	6	171

(b) 曲げ応力の計算条件及び計算結果

曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm ³)	曲げ応力 σ_b (MPa)	評価基準値 S_u (MPa)
4.60×10^6	657930	7	391

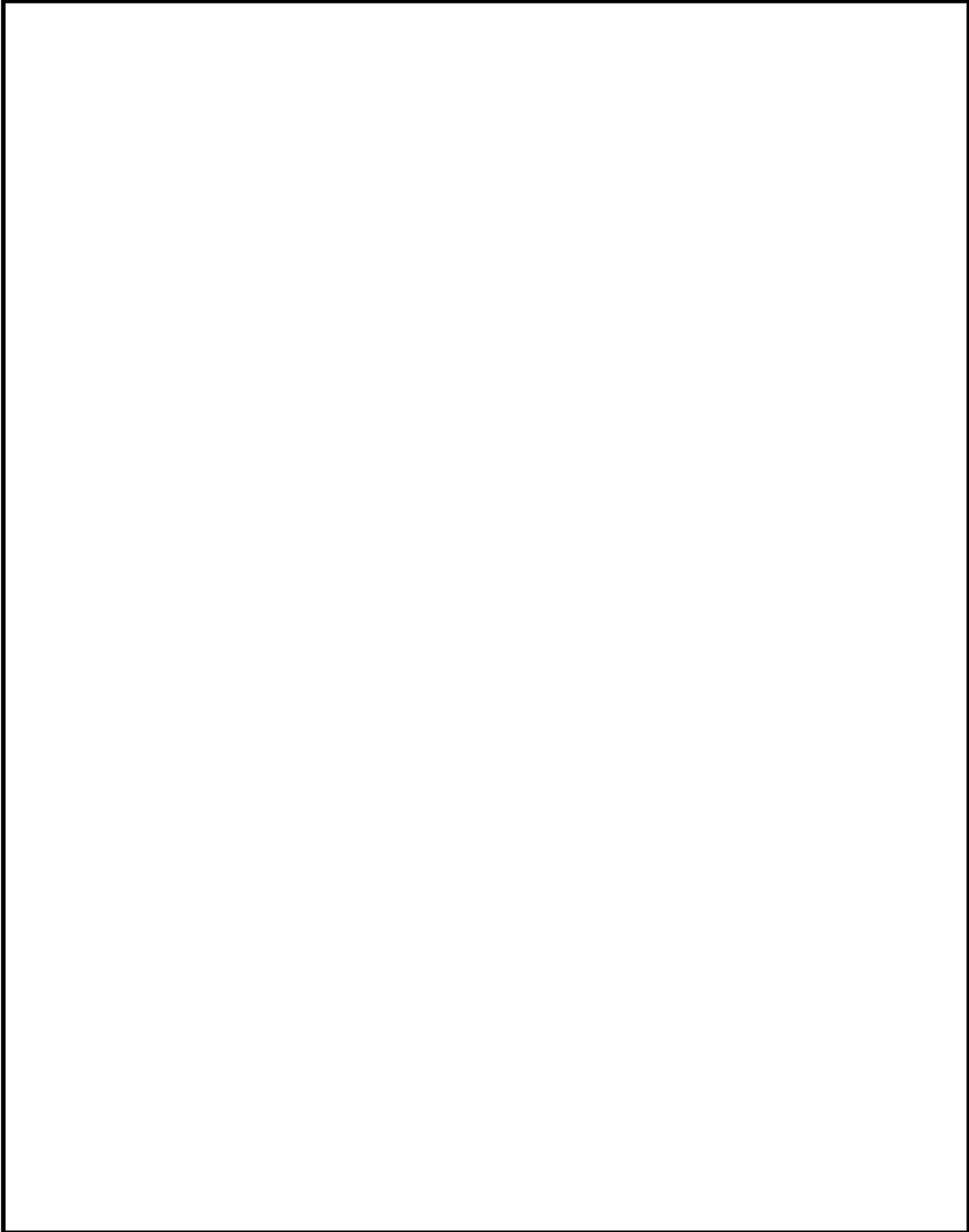
(c) 応力強さの計算条件及び計算結果

せん断応力 τ (MPa)	曲げ応力 σ_b (MPa)	応力強さ s (MPa)	評価基準値 S_u (MPa)
6	7	14	391



別紙 1-6 図 コンパートメントの評価モデル





別紙 1-6 図 コンパートメントの評価モデル

(3-2) サポートプレート

a. 評価モデル

サポートプレートでは径方向からの津波荷重が作用した場合の評価を行う。

径方向からの津波荷重が作用した場合のサポートプレートの評価モデルを別紙 1-7 図に示す。

b. 荷重条件

コンパートメントと同様、津波荷重が作用した場合に生じる衝撃加速度 G を用いる。

c. 評価基準

サポートプレー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する。

i. せん断応力

$$\tau \leq 1.2S_m$$

ここで、

S_m : 設計応力強さ

ii. 曲げ応力

$$\sigma_b \leq S_u$$

ここで、

S_u : 設計引張強さ

iii 圧縮応力

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

ここで、

λ : 有効細長比

Λ : 限界細長比

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

d. 評価結果

径方向からの津波荷重による慣性力がサポートプレートに作用し、圧縮応力 σ_c が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_s G_h}{A_c}$$

ただし、

W_s : 評価対象のサポートプレートに作用する合計質量 (kg)

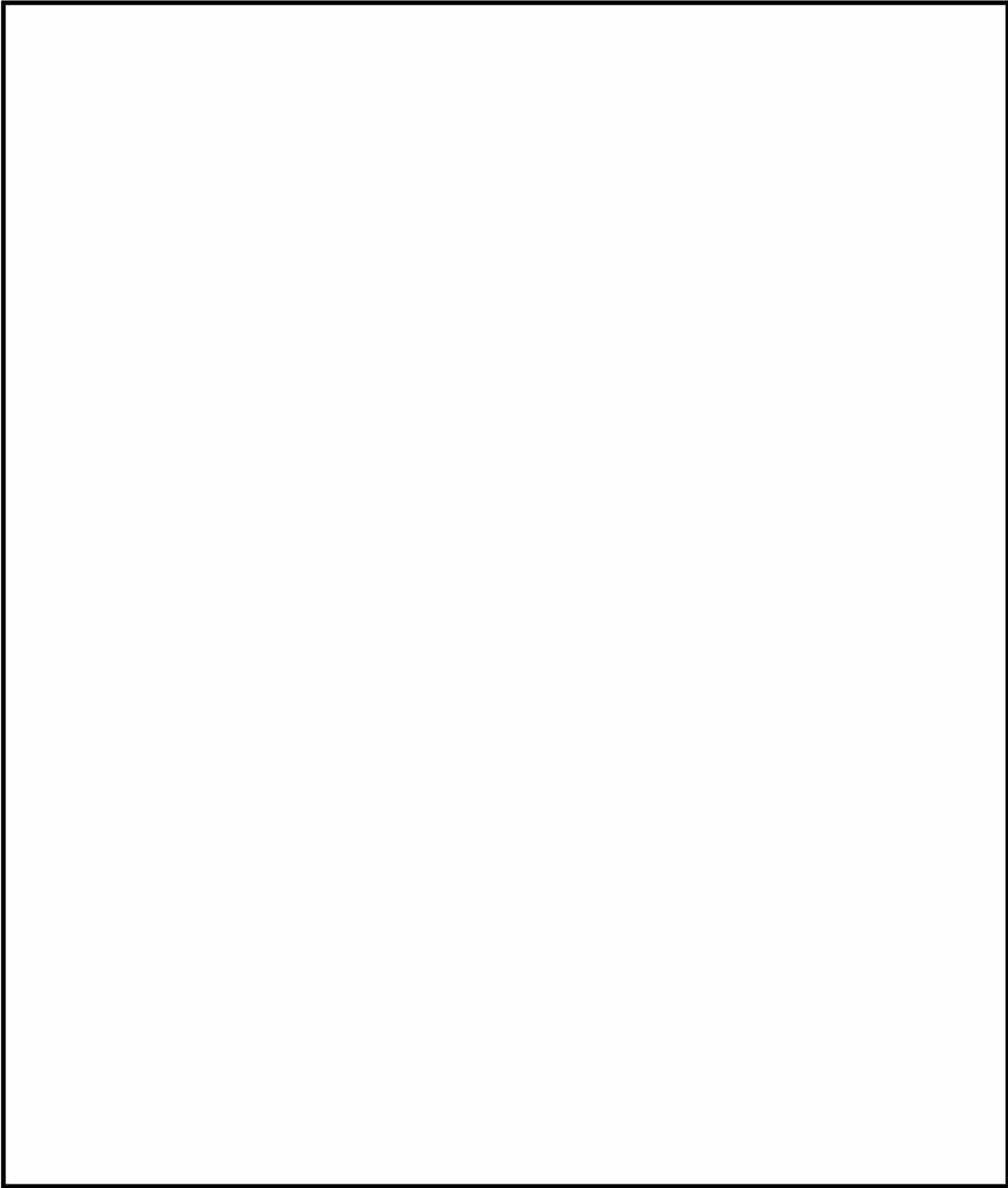
G_h : 径方向からの津波荷重による加速度 (m/s²)

A_c : サポートプレートの断面積 (mm²)

計算条件と計算結果を別紙 1-7 表に示す。別紙 1-7 表に示すように、サポートプレートに生じる応力は解析基準値を満足する。

別紙 1-7 表 サポートプレートの計算条件及び計算結果 (径方向からの津波荷重)

合計質量 W_s (kg)	径方向からの津波荷重 による加速度 G (m/s ²)	サポートプレートの 断面積 A_c (mm ²)	圧縮応力 σ_c (MPa)	評価基準値 f_c (MPa)
21000	69	1.44×10^5	10	157



別紙 1-7 図 サポートプレートの評価モデル (径方向からの津波荷重)

(4) 伝熱フィン

除熱機能を担う伝熱フィンについては、工学式により発生する応力を評価する。

伝熱フィンには津波波力と漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重による慣性力が作用するものとし、長手方向からの津波荷重が作用した場合と、径方向からの津波荷重が作用した場合をそれぞれ評価する。

a. 評価モデル

伝熱フィンの評価モデルを別紙 1-8 図に示す。

b. 荷重条件

伝熱フィンの機能維持評価においてはバスケットと同様、津波波力と漂流物衝突荷重を組み合わせた津波荷重が作用した場合に生じる衝撃加速度 G を使用する。

c. 評価基準

伝熱フィンの評価基準値は S_u とする。 S_u を定める物性値は、ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2021 Section II part B ⁽²⁾ から、C1020P 材に相当する C10200 材の Tensile Strength の値を使用する。

d. 評価結果

①長手方向からの津波荷重により発生する応力

長手方向からの津波荷重による慣性力により伝熱フィンに生じるせん断応力 τ (MPa) 及び応力強さ s (MPa) は、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{(W_1 + W_2)G}{A}$$

$$S = 2\tau$$

ここで、 W_1 : 伝熱フィンの軸方向単位長さあたり質量 (kg/mm)

W_2 : 側部中性子遮蔽材の軸方向単位長さあたり質量 (kg/mm)

G : 長手方向からの津波荷重による加速度 (m/s^2)

A : 伝熱フィンの軸方向単位長さあたりの溶接部面積 (mm^2/mm)

計算条件と計算結果を別紙 1-8 表に示す。別紙 1-8 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。

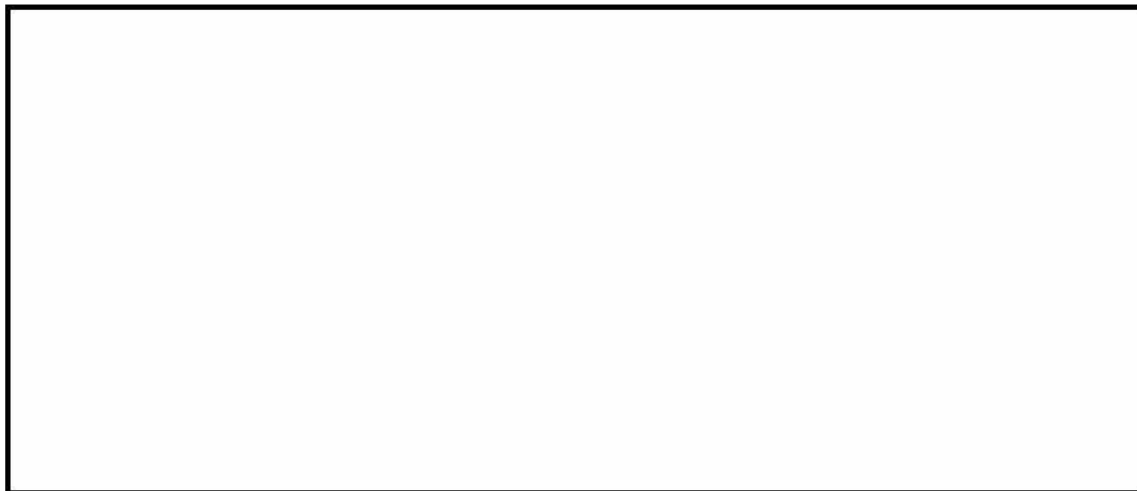
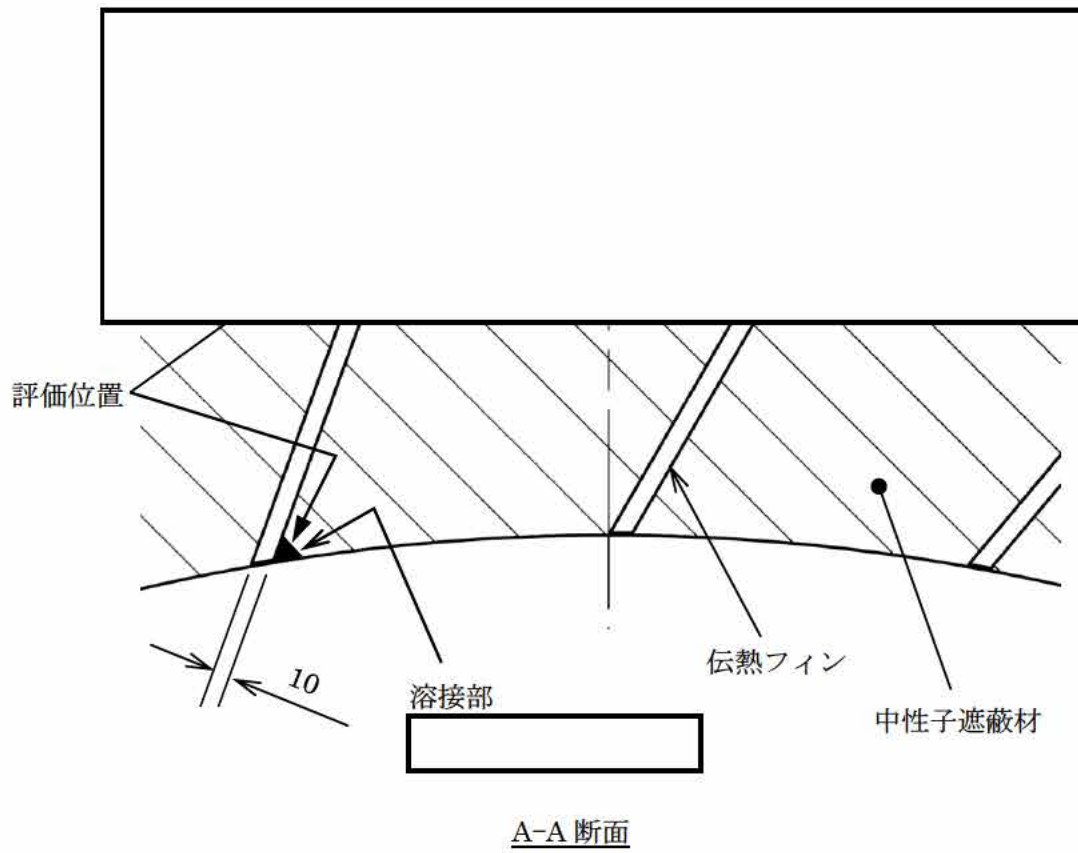
別紙 1-8 表 伝熱フィンの応力計算条件及び計算結果（長手方向からの竜巻荷重）

伝熱フィンの軸方向 単位長さあたりの質量 W_1 (kg/mm)	中性子遮蔽材の軸方向 単位長さあたりの質量 W_2 (kg/mm ²)	長手方向からの津波 荷重による加速度 G (m/s ²)
0.631	1.96	44

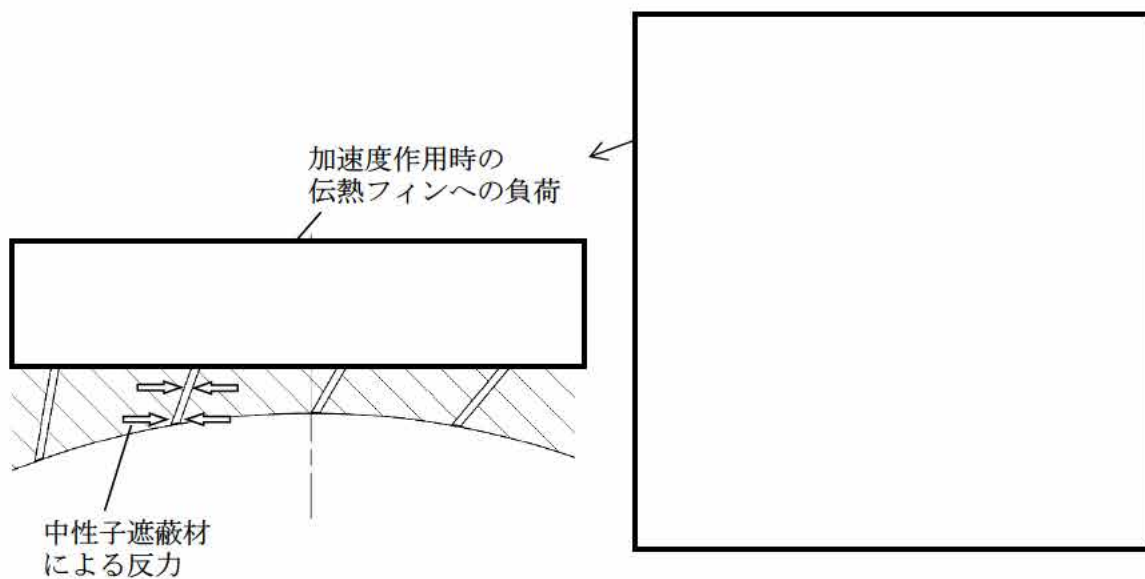
伝熱フィンの軸方向単位長さ あたりの溶接部面積 A (mm ² /mm)	せん断応力 τ (MPa)	応力強さ s (MPa)	評価基準値 S_u (MPa)
360	0.318	1	205

②径方向からの津波荷重により発生する応力

伝熱フィンには径方向からの津波荷重による慣性力が作用するが、別紙 1-9 図に示すとおり、伝熱フィンの両側に位置する中性子遮蔽材により支えられるため、伝熱フィンへ慣性力の影響はない。



別紙 1-8 図 伝熱フィンの評価モデル



別紙 1-9 図 径方向からの津波荷重により伝熱フィンに作用する荷重

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

(5) 一次蓋の横ずれ

津波荷重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 (N) は次式で与えられる。一次蓋慣性力の計算条件及び計算結果を別紙 1-9 表に示す。

$$F = M \cdot G$$

ここで、

M : 一次蓋の質量 (kg)

G : 径方向からの津波荷重による加速度 (m/s^2)

別紙 1-9 表 一次蓋慣性力の計算条件及び計算結果

一次蓋質量 M (kg)	径方向加速度 G (m/s^2)	一次蓋慣性力 F (N)
4600	69	3.17×10^5

一次蓋とフランジの間に作用する摩擦力 R (N) は次式で与えられる。

$$R = \mu \cdot N$$

$$N = F_B \cdot n$$

ここで、

μ : 摩擦係数 (-)

N : 一次蓋の締付力 (N)

F_B : 一次蓋ボルトの初期締付力 (N)

n : ボルト本数 (-)

摩擦力の計算条件及び計算結果を別紙 1-10 表に示す。一次蓋に作用する慣性力は別紙 1-10 表に示すとおり 3.17×10^5 (N) であり、摩擦力より小さい。よって、一次蓋の横ずれは発生しない。

別紙 1-10 表 摩擦力の計算条件及び計算結果

摩擦係数 μ (-)	一次蓋ボルトの 初期締付力 F_B (N)	一次蓋ボルトの 本数 n (-)	一次蓋摩擦力 R (N)
			2.75×10^6



3. 参考文献

- (1) (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) ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2021 Section II part B (ASME BPVC. II. B-2021)、The American Society of Mechanical Engineers (2021)