

HDP-69BCH(B)型が兼用キャスクであることの
説明資料

<目次>

1. 概要
2. 輸送物の構造
3. 輸送時の評価について
 - 3.1 0.3m 落下時
 - 3.2 9m 落下時
4. 参考文献

【参考資料】

特になし

1. 概要

兼用キャスクは、使用済燃料を工場等内に貯蔵する乾式キャスクとしてだけでなく、使用済燃料の工場等外への運搬に使用する容器に兼用することができることを要求されるため、HDP-69BCH(B)型は、三次蓋、輸送用緩衝体等を装着した状態（以下、「輸送物」という。）で運搬し、外運搬規則に適合するよう設計する。

使用済燃料の工場等外への運搬に使用することができる容器であることを示すには、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（以下「外運搬規則」という。）の第六条（BM型輸送物に係る技術上の基準）又は第七条（BU型輸送物に係る技術上の基準）及び第十一条（核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準）に適合していることを示す必要がある。また、外運搬規則では、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に課する技術上の基準に係る細目を定める告示（以下「告示」という。）に試験要件が定められており、その試験要件に基づき、落下等の評価を行う必要がある。これらの詳細は、後段の型式指定申請において説明するが、第四条（地震）、第五条（津波）及び第六条（竜巻）の基準適合性を説明するために、HDP-69BCH(B)型の輸送時の評価条件や評価結果を引用することから、HDP-69BCH(B)型の輸送物の構造、輸送で評価する落下時の評価条件及び評価結果を以下に示す。

2. 輸送物の構造

HDP-69BCH(B)型の輸送物縦断面図を図1-1に示す。HDP-69BCH(B)型の輸送物は、兼用キャスク（バスケット、一次蓋及び二次蓋含む）、モニタリングポートカバープレート（輸送用）、三次蓋及び輸送用緩衝体から構成される。

(1) モニタリングポートカバープレート（輸送用）

二次蓋の構造を図1-2、モニタリングポートカバープレート（輸送用）の構造を図1-3に示す。二次蓋には、一次蓋と二次蓋で形成される空間にヘリウムを充填するため、この空間の圧力を検出するための貫通孔が設けられており、貫通孔にはモニタリングポートバルブが設置されている。輸送物の状態では、その外側にステンレス鋼製のモニタリングポートカバープレートが取り付けられる。モニタリングポートカバープレートと二次蓋との間にはOリングが設けられている。

(2) 三次蓋

三次蓋の構造を図1-4に示す。三次蓋は炭素鋼製で、表面は塗装が施されている。三次蓋はボルトで兼用キャスク本体上部に取り付けられる。三次蓋と兼用キャスクの本体上部との接合面には蓋側に二重Oリングが設けられており、この二重のOリングの内側Oリングにより輸送中の密封境界を形成する。

(3) 輸送用緩衝体

上部緩衝体を図 1-5 に、下部緩衝体を図 1-6 に示す。

上部緩衝体は兼用キャスク本体上部に、下部緩衝体は兼用キャスク本体下部に各々ボルトで取り付けられ、落下等により兼用キャスクに加わる衝撃を吸収して兼用キャスクを保護する。上・下部緩衝体は、ステンレス鋼のカバープレートとリブから構成される溶接構造物の内部に緩衝材である木材を充填したものである。

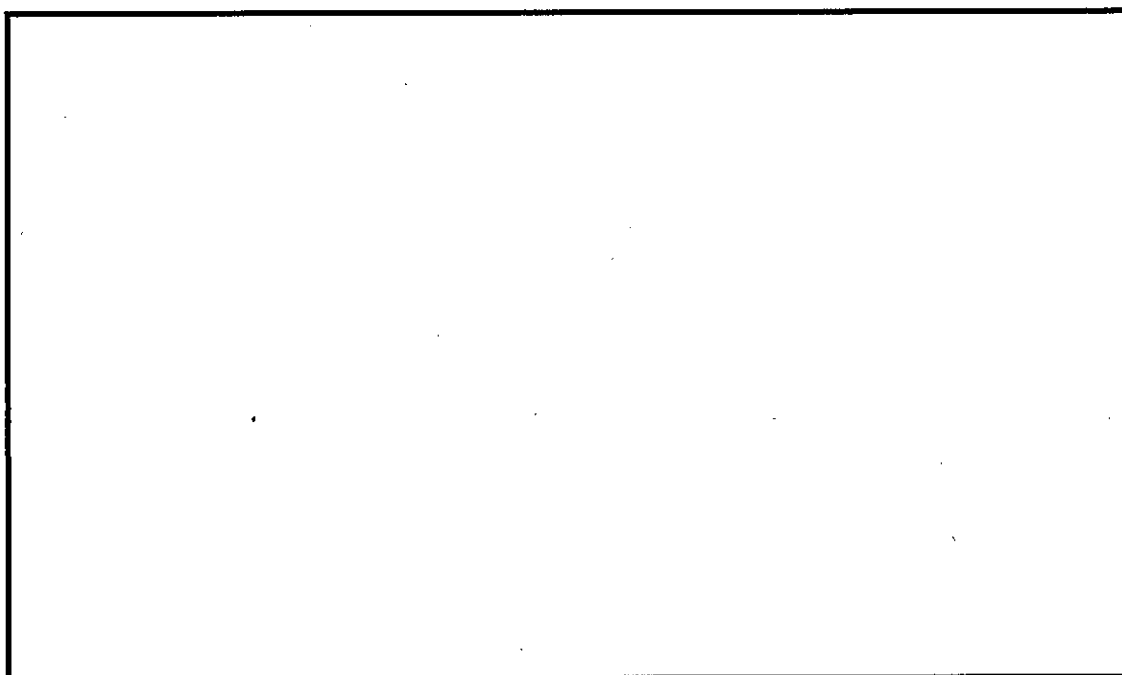


図 1-1 輸送物縦断面図

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

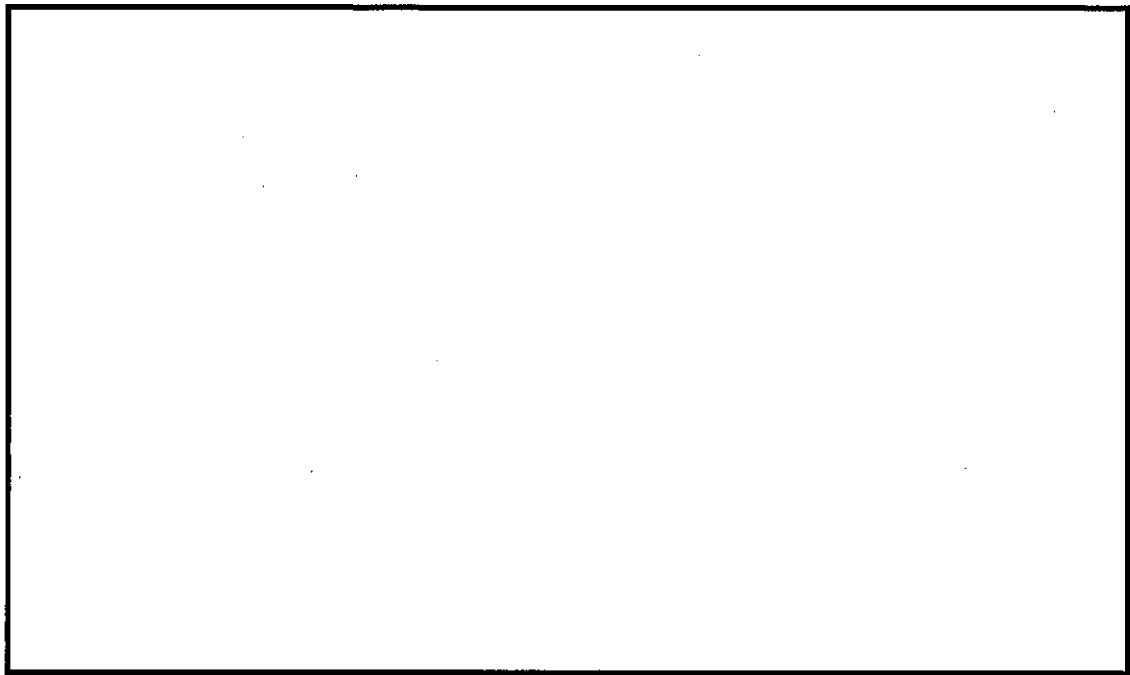


図 1-2 二次蓋の構造

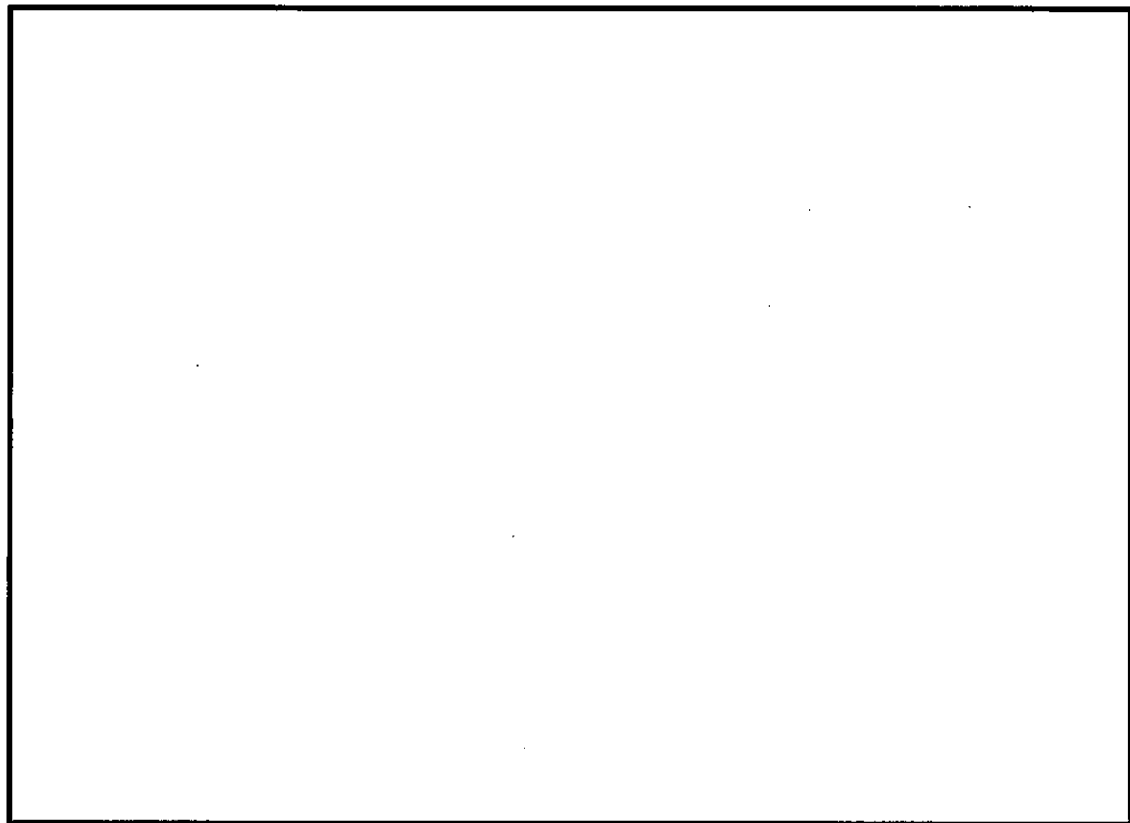



図 1-3 モニタリングポートカバープレート（輸送用）の構造

 内は商業機密のため、非公開とします。

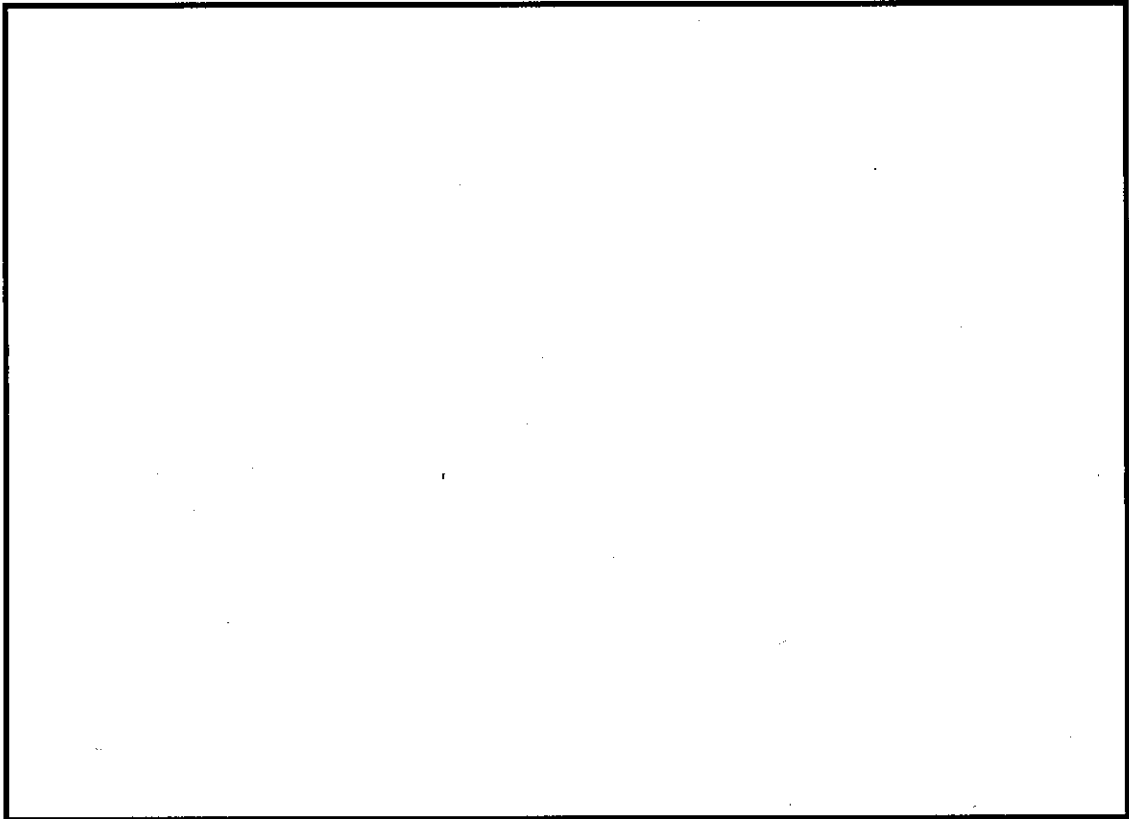



図 1-4 三次蓋の構造

 内は商業機密のため、非公開とします。

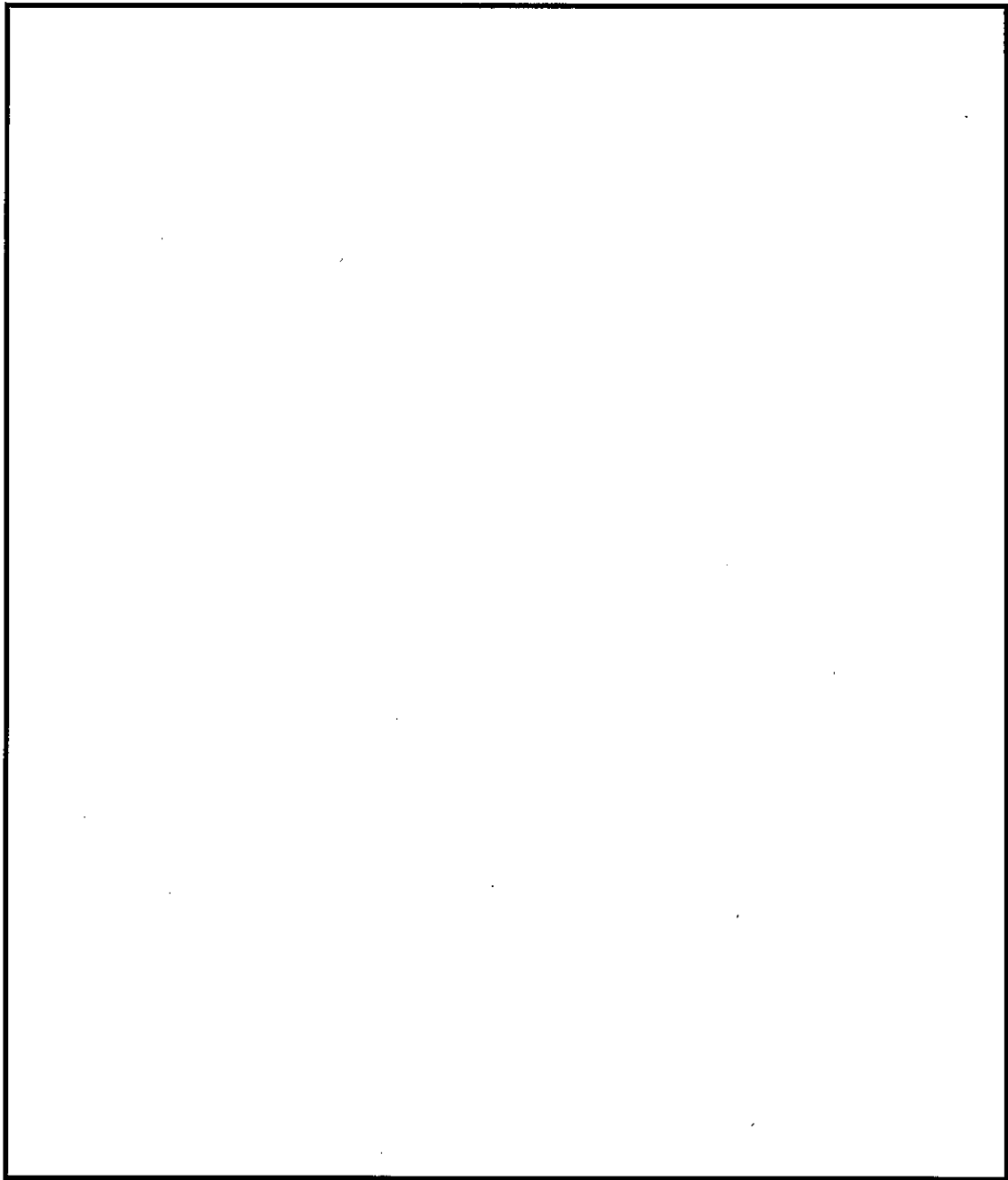



図 1-5 上部緩衝体の構造

 内は商業機密のため、非公開とします。

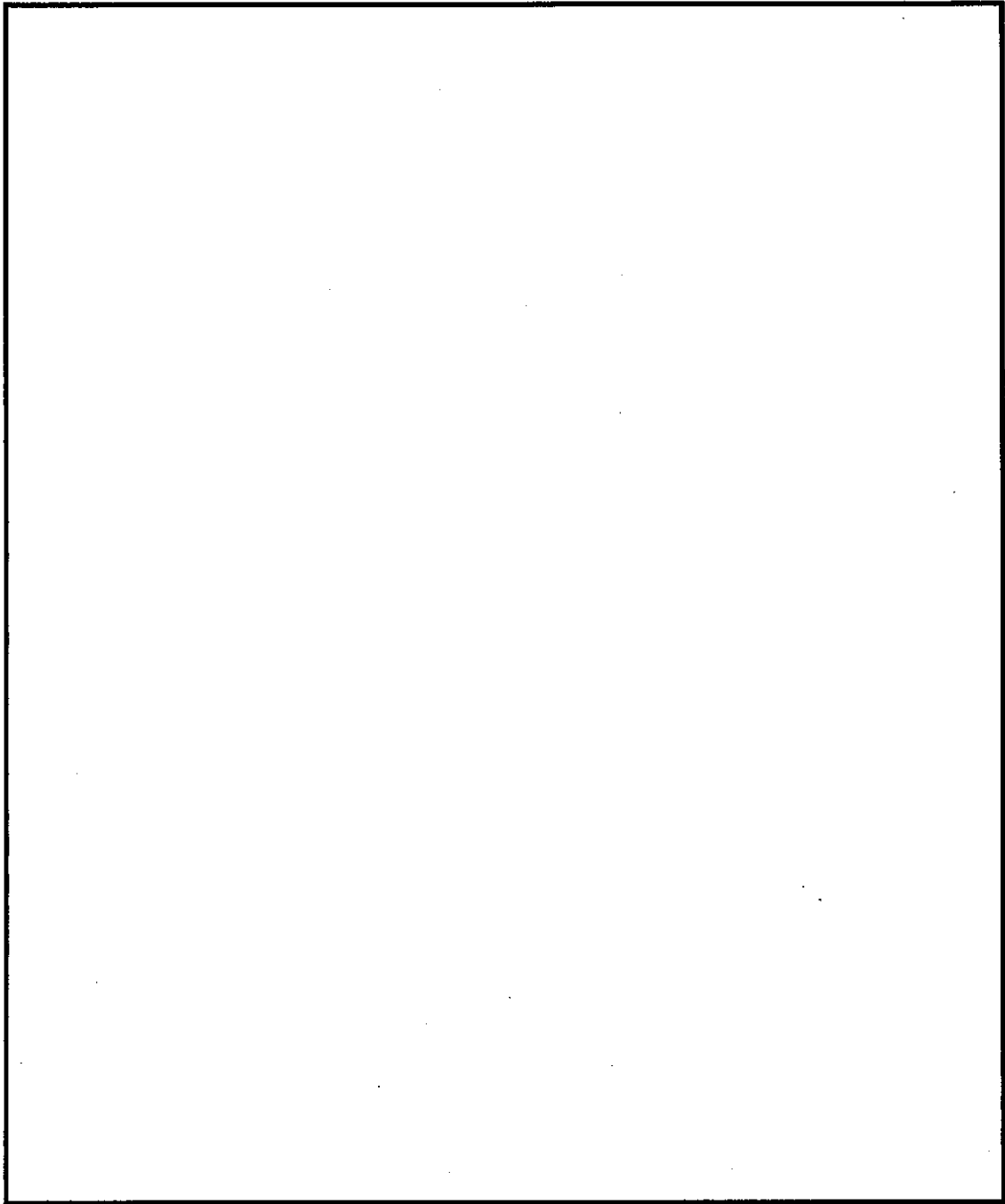



図 1-6 下部緩衝体の構造

 内は商業機密のため、非公開とします。

3. 輸送物の評価について

3.1 0.3 m 落下時

(1) 輸送物の評価方法

HDP-69BCH(B)型の輸送物の総重量は、132.2 tであり、告示に基づき、輸送時の評価として、0.3 m 落下時の構造強度評価を行う。

落下時の輸送物の姿勢を図 3.1-1 に示す。図 3.1-1 に示すように、輸送物が 0.3m 落下した場合、落下エネルギーは兼用キャスク本体の上下部に取り付けられた輸送用緩衝体の変形によって吸収される。姿勢によって、生じる輸送用緩衝体の変形量や衝撃力は異なり、落下時の評価では、輸送用緩衝体の変形量及び輸送物に生じる衝撃加速度を算出し、その衝撃加速度を包絡する設計加速度を入力条件として、兼用キャスク各部の応力評価を行う。なお、兼用キャスクは、有限要素法による三次元モデルを用いて評価する。解析コードには、ABAQUS コードを用いる。また、バスケットは、材料力学による工学式を用いて評価する。

0.3 m 落下時の輸送物に生じる衝撃力、衝撃加速度及び輸送用緩衝体の変形量を表 3.1-1 に示す。表 3.1-1 に示す衝撃力は、兼用キャスクと輸送用緩衝体の接触面において兼用キャスク側に生じる力である。この衝撃力を輸送物の総重量で割ることにより、衝撃加速度が求められ、衝撃加速度に余裕を持たせて設計加速度を設定する。

(2) 評価条件

a. HDP-69BCH(B)型の評価

HDP-69BCH(B)型の三次元モデル図を図 3.1-2 に、落下姿勢ごとの荷重条件及び境界条件を図 3.1-3 から図 3.1-5 に、応力評価位置を図 3.1-6 に示す。図 3.1-2 に示すように、HDP-69BCH(B)型は 1/2 でモデル化する。また、落下姿勢ごとの荷重条件及び境界条件は図 3.1-3 から図 3.1-5 のように設定し、圧力及び温度分布を考慮して評価を行い、図 3.1-6 に各部の応力を算出する。

b. バスケットの評価（垂直落下時）

垂直落下時にバスケットには自重による慣性力が作用し、圧縮応力 σ_c (MPa) が生じる。圧縮応力 σ_c (MPa) は以下の式から求められる。

$$\sigma_c = \rho \cdot L \cdot G_V \quad (1)$$

ここで、

ρ : バスケット材料(ほう素添加ステンレス鋼)の密度 (kg/mm³)

L : バスケット全長 (mm)

G_V : 垂直落下時の衝撃加速度 (m/s²)

c. バスケットの評価（水平落下時、横板）

水平落下時のバスケットプレート(横板)の解析モデルを図 3.1-7 に示す。水平落下

時に、バスケットプレートの横板には、燃料集合体、伝熱プレート、バスケットプレート自体の慣性力により曲げ応力が生じる。バスケットプレートを、図 3.1-7 に示すように両端固定で、兼用キャスク軸方向には単位幅の梁とすると、両端部断面に生じる曲げ応力 σ_b (MPa) は以下の式で求められる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (2)$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm/mm)

Z : 断面係数 (mm³/mm)

曲げモーメントは、以下の式で求められる。

$$M = \frac{1}{12} \cdot (w_1 + w_2 + w_3) \cdot G_H \cdot \ell^2 \quad (3)$$

ここで、

w_1 : 燃料集合体の単位面積あたりの重量 (kg/mm²)

w_2 : 伝熱プレートの単位面積あたりの重量 (kg/mm²)

w_3 : バスケットプレートの単位面積あたりの重量 (kg/mm²)

G_H : 衝撃加速度 (m/s²)

ℓ : バスケットプレート幅 (mm)

また、バスケットプレートは、その 1/2 の幅でスリットが存在し、縦板がはめ込まれており、荷重を受け持つ幅は 1/2 であることを考慮して断面係数 Z は以下の式で求められる。

$$Z = \frac{t^2}{6} \cdot 0.5 \quad (4)$$

ここで、

t : バスケットプレートの板厚 (mm)

式(2)から式(4)を用いて、バスケットプレートに生じる曲げ応力を求める。

また、図 3.1-7 に示すバスケットプレートの断面に生じるせん断応力 τ は、単位長さあたりに作用する荷重 F (N/mm)、単位長さあたりのせん断断面積 A (mm²/mm) とすると、以下の式で求められる。

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (5)$$

単位長さあたりのせん断断面積 A は、バスケットプレートの板厚 t と同じである。また、単位長さあたりに作用する荷重 F は、以下の式で求められる。

$$F = (w_1 + w_2 + w_3) \cdot G_H \cdot \ell \quad (6)$$

式(4)から式(6)を用いて、バスケットプレートに生じるせん断応力を求める。

図 3.1-7 に示すバスケットプレートの断面に生じる応力強さ S は、以下の式で求められる。

$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (7)$$

式(2)から得られた曲げ応力 σ_b 、式(5)から得られたせん断応力 τ を式(7)に代入し、応力強さ S を算出する。

d. バスケットプレート (水平落下時、縦板)

水平落下時のバスケットプレート (縦板) の解析モデルを図 3.1-8 に示す。図 3.1-8 に示すようにバスケットプレートの縦板最下面には自重、 の燃料集合体の重量、 の横板及び の伝熱プレートの重量による慣性力が荷重として作用する。したがって、バスケットプレートの縦板に生じる圧縮応力 σ_c (MPa) は以下の式で求められる。

$$\sigma_c = (w_v + \square w_f + \square \cdot w_{hc} + w_{ha}) \cdot G_H / (L \cdot t) \quad (8)$$

ここで、

w_v : 縦板 1 枚分の重量 (kg)

w_f : 燃料集合体 1 体分の重量 (kg)

w_{hc} : のバスケットプレート横板 1 枚の重量 (kg)

w_{ha} : の伝熱プレート の重量 (kg)

G_H : 衝撃加速度 (m/s^2)

L : バスケットプレートの軸方向長さ (mm)

t : バスケットプレートの板厚 (mm)

式(8)を用いて、バスケットプレートの縦板に生じる圧縮応力を算出する。

内は商業機密のため、非公開とします。

(3) 評価基準

兼用キャスクの評価基準を以下に示す。評価基準は、金属キャスク構造規格の値を用いる。

- a. 各蓋ボルト以外の輸送容器の胴、底板、一次蓋、二次蓋、三次蓋及び底部中性子遮蔽材カバーは発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_L \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b \leq 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3 S_m$$

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_m : 金属キャスク構造規格¹⁾別表 5-1 に示される設計応力強さ

- b. 各蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2 S_m$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq 3 S_m$$

ここで、

S_m : 金属キャスク構造規格¹⁾別表 5-2 に示される設計応力強さ

- c. 一次蓋密封シール部及び二次蓋密封シール部は発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

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

ここで、

S_y : 金属キャスク構造規格¹⁾別表 5-8 に示される設計降伏点

ただし、一次蓋密封シール部に対して上記基準は熱的試験のみ適用する。

- d. バスケットにおいては、以下の基準を適用する。

(a) 各部位の応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_m + P_b \leq 1.5 S_m$$

ここで、

S_m : 金属キャスク構造規格 事例規格²⁾表 2 に示される設計応力強さ

(b) 各部位の平均圧縮応力は以下に示す f_c を超えないこととする。

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

ここで、

$$F = \text{MIN}[1.35 S_y, 0.7 S_u, S_y(RT)]$$

S_y : 金属キャスク構造規格 事例規格²⁾ 表3に示される設計降伏点

$S_y(RT)$: 金属キャスク構造規格 事例規格²⁾ 表3に示される 40℃における設計降伏点

(4) 評価結果

評価結果を以下に示す。

a. HDP-69BCH(B)型の評価結果

落下姿勢ごとの応力評価結果を表 3.1-2 から表 3.1-7 に示す。落下姿勢ごとの一次応力、一次応力+二次応力について、兼用キャスクの密封境界を構成する部位、シール部及びボルトで評価を行い、評価結果は解析基準値を満足する。

b. バスケットの評価結果

落下姿勢ごとのバスケットプレートの評価条件及び評価結果を表 3.1-8 から表 3.1-10 に示す。落下姿勢ごとのバスケットプレートの評価を行い、評価結果は解析基準値を満足する。

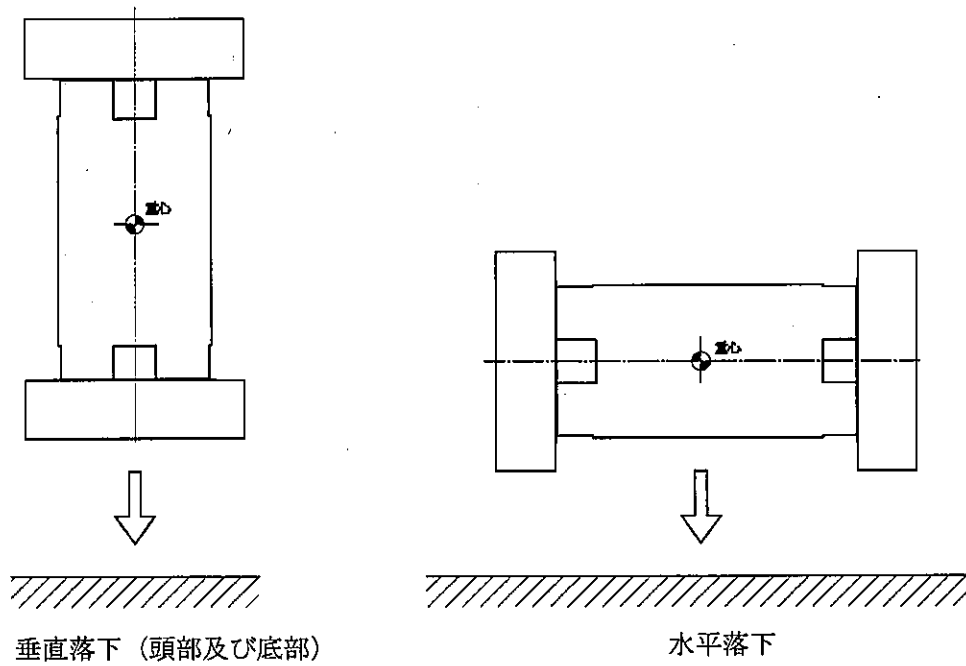


図 3.1-1 落下評価時の姿勢

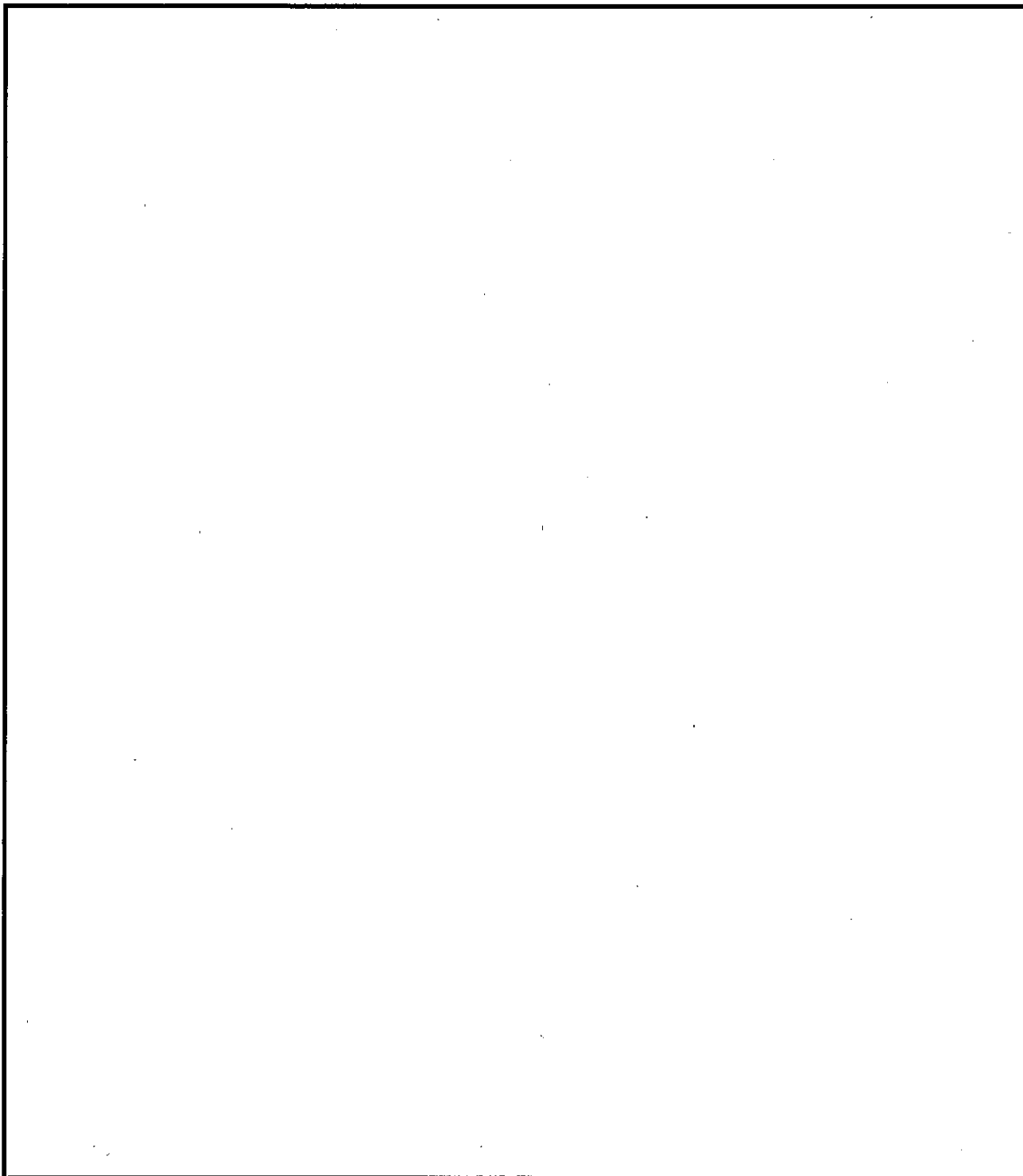



図 3.1-2 三次元 1/2 解析モデル

 内は商業機密のため、非公開とします。

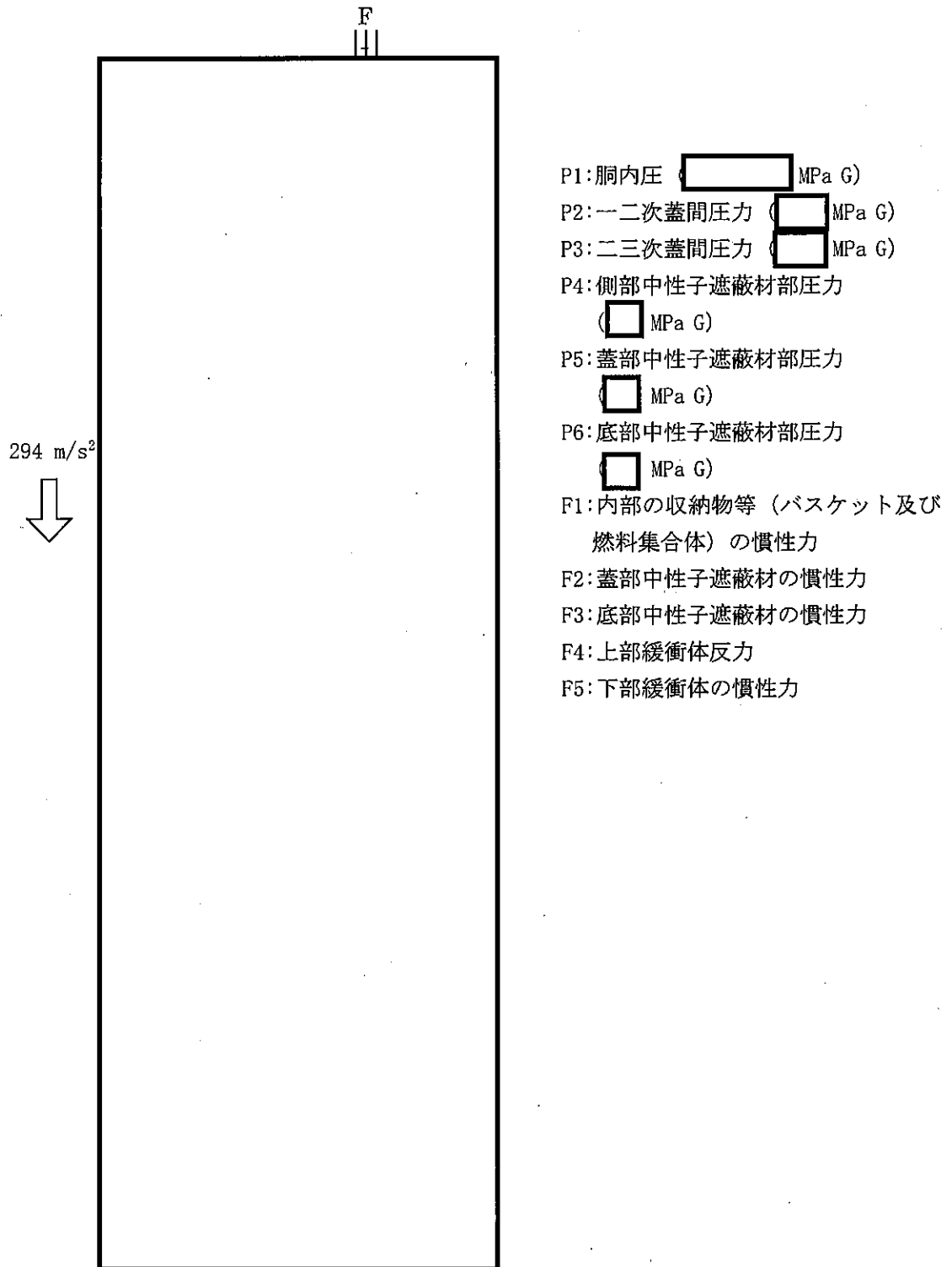


図 3.1-3 頭部 0.3 m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

内は商業機密のため、非公開とします。

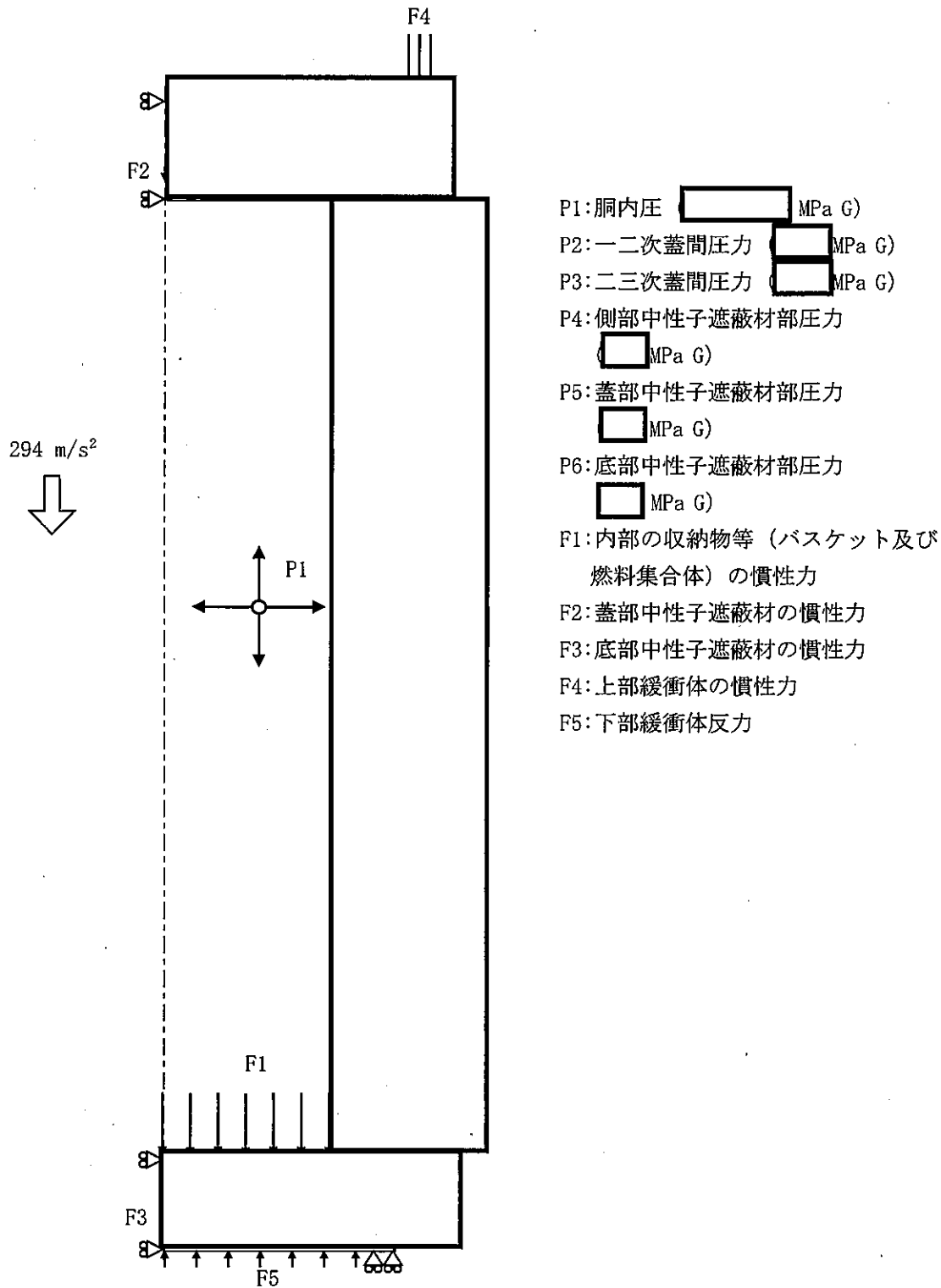
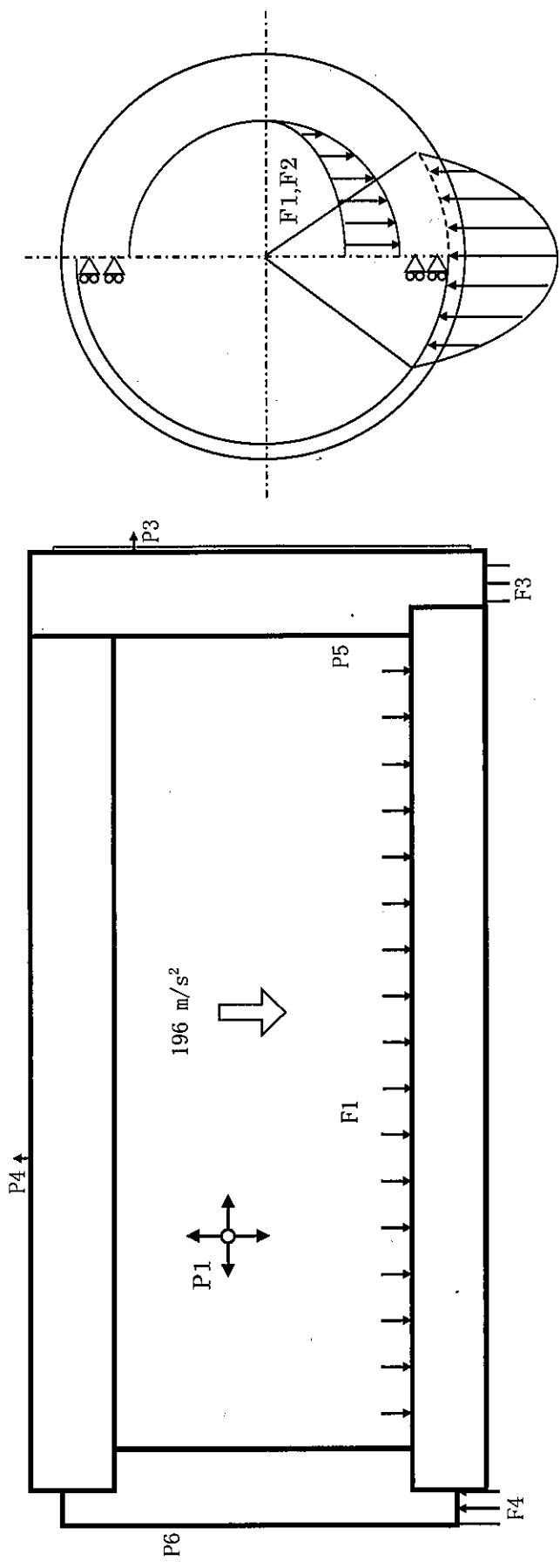


図 3.1-4 底部 0.3 m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

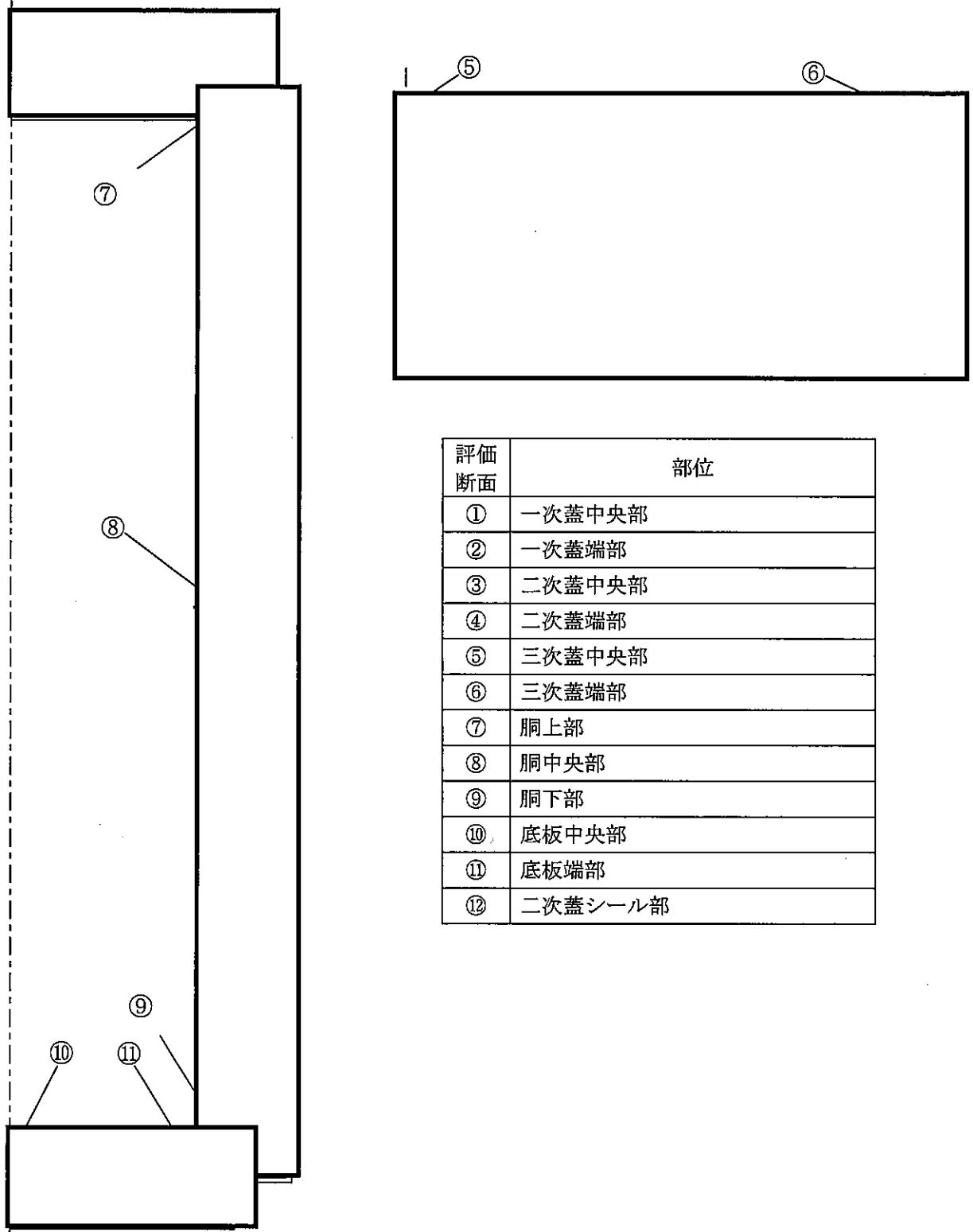
内は商業機密のため、非公開とします。



- P1: 胴内圧 (MPa G)
- P2: 一二次蓋間圧力 (MPa G)
- P3: 二三次蓋間圧力 (MPa G)
- P4: 側部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P5: 蓋部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- P6: 底部中性子遮蔽材部圧力 (MPa G)
- F1: 内部の収納物等 (バスケット及び燃料集合体) の慣性力
- F2: 底部中性子遮蔽材の慣性力
- F3: 上部緩衝体反力
- F4: 下部緩衝体反力

図 3.1-5 0.3 m 水平落下時の荷重条件及び境界条件

内は商業機密のため、非公開とします。



評価断面	部位
①	一次蓋中央部
②	一次蓋端部
③	二次蓋中央部
④	二次蓋端部
⑤	三次蓋中央部
⑥	三次蓋端部
⑦	胴上部
⑧	胴中央部
⑨	胴下部
⑩	底板中央部
⑪	底板端部
⑫	二次蓋シール部

図 3.1-6 応力評価位置

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

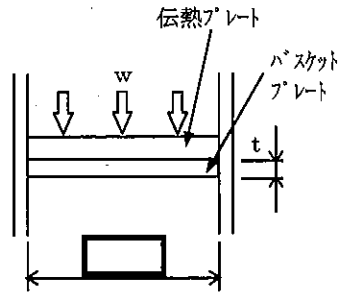


図 3.1-7 水平落下時のバスケットプレート（横板）の解析モデル

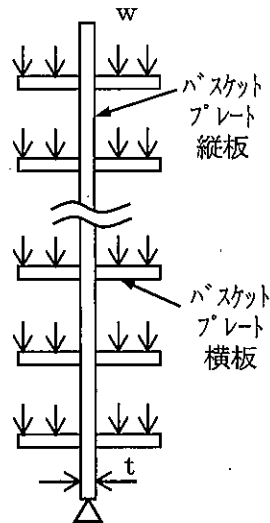


図 3.1-8 水平落下時のバスケットプレート（縦板）の解析モデル

内は商業機密のため、非公開とします。

表 3.1-1 0.3 m 落下時の輸送物に生じる衝撃力、衝撃加速度及び緩衝体の変形量

落下姿勢		衝撃力*1 : F (N)	衝撃加速度 : G _A (m/s ²)	設計加速度 : G _D (m/s ²)	緩衝体の 変形量: δ (mm)
垂直落下	頭部	3.41×10 ⁷ []	259	294	25.2
	底部	3.53×10 ⁷ []	268	294	24.4
水平落下		2.13×10 ⁷ []	161	196	51.3

注記*1: () 内の数値は、衝撃力のうち輸送用緩衝体の内部リブによって発生する衝撃力を示す。

[] 内は商業機密のため、非公開とします。

表 3.1-2 頭部 0.3 m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	36	110	S_m	124
		$P_L + P_b$	内	80		$1.5 S_m$	186
			外	16		$1.5 S_m$	186
	②	P_L	—	46		$1.5 S_m$	186
二次蓋	③	P_m	—	8	110	S_m	158
		$P_L + P_b$	内	20		$1.5 S_m$	237
			外	35		$1.5 S_m$	237
	④	P_L	—	24		$1.5 S_m$	237
三次蓋	⑤	P_m	—	20	100	S_m	160
		$P_L + P_b$	内	65		$1.5 S_m$	240
			外	27		$1.5 S_m$	240
	⑥	P_L	—	64		$1.5 S_m$	240
胴	⑦	P_L	—	16	130	$1.5 S_m$	184
	⑧	P_m	—	9		S_m	123
	⑨	P_L	—	4		$1.5 S_m$	184
底板	⑩	P_m	—	1	140	S_m	122
		$P_L + P_b$	内	10		$1.5 S_m$	183
			外	10		$1.5 S_m$	183
	⑪	P_L	—	6		$1.5 S_m$	183
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	51	130	S_y	184
		$P_L + P_b$	内	53		S_y	184

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : 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

表 3.1-3 頭部 0.3 m 垂直落下時の容器本体に対する（一次＋二次）応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. *1	応力の種類*2	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準	解析 基準値 (MPa)
一次蓋	①	—	内	100	110	3 S _m	372
			外	24			
	②	—	内	41			
			外	95			
二次蓋	③	—	内	22	110	3 S _m	474
			外	34			
	④	—	内	25			
			外	28			
三次蓋	⑤	—	内	66	100	3 S _m	480
			外	29			
	⑥	—	内	74			
			外	70			
胴	⑦	—	内	30	130	3 S _m	369
			外	58			
	⑧	—	内	28			
			外	12			
底板	⑨	—	内	30	140	3 S _m	366
			外	18			
	⑩	—	内	27			
			外	33			
⑪	—	内	31				
		外	13				
二次蓋 シール部	⑫	—	内	55	130	S _y	184
一次蓋 ボルト	—	σ_m	—	351	110	2 S _m	564
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	492		3 S _m	846
二次蓋 ボルト	—	σ_m	—	245	100	2 S _m	568
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	358		3 S _m	852
三次蓋 ボルト	—	σ_m	—	187	100	2 S _m	568
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	265		3 S _m	852

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : σ_m : 平均引張応力 σ_b : 平均曲げ応力

表 3.1-4 底部 0.3 m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. 注1)	応力分類 ^{注2)} 又は応力の 種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準	解析 基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	7	110	S_m	124
		$P_L + P_b$	内	15		$1.5 S_m$	186
	外		2	$1.5 S_m$		186	
	②	P_L	—	21		$1.5 S_m$	186
二次蓋	③	P_m	—	1	110	S_m	158
		$P_L + P_b$	内	6		$1.5 S_m$	237
	外		6	$1.5 S_m$		237	
	④	P_L	—	20		$1.5 S_m$	237
三次蓋	⑤	P_m	—	2	100	S_m	160
		$P_L + P_b$	内	31		$1.5 S_m$	240
	外		34	$1.5 S_m$		240	
	⑥	P_L	—	23		$1.5 S_m$	240
胴	⑦	P_L	—	7	130	$1.5 S_m$	184
	⑧	P_m	—	9		S_m	123
	⑨	P_L	—	28		$1.5 S_m$	184
底板	⑩	P_m	—	10	140	S_m	122
		$P_L + P_b$	内	37		$1.5 S_m$	183
	外		56	$1.5 S_m$		183	
	⑪	P_L	—	22		$1.5 S_m$	183
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	19	130	S_y	184
		$P_L + P_b$	内	40		S_y	184

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : 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

表 3.1-5 底部 0.3 m 垂直落下時の容器本体に対する（一次＋二次）応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. 注1)	応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析 基準	解析 基準値 (MPa)
一次蓋	①	—	内	2	110	3 S _m	372
			外	10			
	②	—	内	37			
			外	49			
二次蓋	③	—	内	5	110	3 S _m	474
			外	7			
	④	—	内	25			
			外	22			
三次蓋	⑤	—	内	31	100	3 S _m	480
			外	32			
	⑥	—	内	32			
			外	16			
胴	⑦	—	内	11	130	3 S _m	369
			外	10			
	⑧	—	内	28			
			外	11			
⑨	—	内	26				
		外	41				
底板	⑩	—	内	74	140	3 S _m	366
			外	32			
	⑪	—	内	37			
			外	52			
二次蓋 シール部	⑫	—	内	40	130	S _y	184
一次蓋 ボルト	—	σ_m	—	296	110	2 S _m	564
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	361		3 S _m	846
二次蓋 ボルト	—	σ_m	—	246	100	2 S _m	568
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	248		3 S _m	852
三次蓋 ボルト	—	σ_m	—	230	100	2 S _m	568
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	279		3 S _m	852

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : σ_m : 平均引張応力 σ_b : 平均曲げ応力

表 3.1-6 0.3 m 水平落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	8	110	S_m	124
			内	11		$1.5 S_m$	186
		外	13	$1.5 S_m$		186	
	②	P_L	—	22		$1.5 S_m$	186
二次蓋	③	P_m	—	17	110	S_m	158
			内	20		$1.5 S_m$	237
		外	20	$1.5 S_m$		237	
	④	P_L	—	30		$1.5 S_m$	237
三次蓋	⑤	P_m	—	5	100	S_m	160
			内	83		$1.5 S_m$	240
		外	91	$1.5 S_m$		240	
	⑥	P_L	—	51		$1.5 S_m$	240
胴	⑦	P_L	—	28	130	$1.5 S_m$	184
	⑧	P_m	—	18		S_m	123
	⑨	P_L	—	23		$1.5 S_m$	184
底板	⑩	P_m	—	9	140	S_m	122
			内	10		$1.5 S_m$	183
		外	17	$1.5 S_m$		183	
	⑪	P_L	—	15		$1.5 S_m$	183
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	55	130	S_y	184
			内	58		S_y	184

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : 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

表 3.1-7 頭部 0.3 m 水平落下時の容器本体に対する（一次＋二次）応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)			
一次蓋	①	—	内	16	110	3 S _m	372			
			外	16						
	②	—	内	40						
			外	52						
二次蓋	③	—	内	20	110	3 S _m	474			
			外	19						
	④	—	内	38						
			外	30						
三次蓋	⑤	—	内	83	100	3 S _m	480			
			外	89						
	⑥	—	内	57						
			外	54						
胴	⑦	—	内	32	130	3 S _m	369			
			外	35						
	⑧	—	内	31						
			外	28						
⑨	—	内	42							
		外	35							
底板	⑩	—	内	39	140	3 S _m	366			
			外	38						
	⑪	—	内	41						
			外	51						
二次蓋 シール部	⑫	—	内	54	130	S _y	184			
			—	—		—	σ _m	313	2 S _m	564
							σ _m + σ _b	471	3 S _m	846
一次蓋 ボルト	—	—	—	—	110	3 S _m	846			
					—	—	—	—	—	σ _m
二次蓋 ボルト	—	—	—	—						100
					三次蓋 ボルト	—	—	—	—	
σ _m + σ _b	602	3 S _m	852							

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : σ_m : 平均引張応力 σ_b : 平均曲げ応力

表 3.1-8 0.3 m 垂直落下時のバスケットプレートの応力計算条件及び応力計算結果

評価位置	バスケット 材料の密度 : ρ (kg/mm ³)	バスケット 全長 : L (mm)	垂直落下時 の衝撃加速 度 : G_V (m/s ²)	圧縮応力 : σ_c (MPa)	解析 基準	解析基準値 (MPa)
バスケット プレート			294	11	S _m	146

表 3.1-9 0.3 m 水平落下時のバスケットプレート(横板)の応力計算条件及び応力計算結果

評価位置	単位面積あたり の重量 (燃料集合体分) : w_1 (kg/mm ²)	単位面積あたり の重量 (伝熱プレート分) : w_2 (kg/mm ²)	単位面積あたり の重量(バスケット プレート分) : w_3 (kg/mm ²)	水平落下時 の衝撃加速度 : G_H (m/s ²)	バスケット プレート幅 : l (mm)
バスケット プレート				196	

評価位置	バスケット プレートの板 厚: t (mm)	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断 応力: τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
バスケット プレート				72	1.5 S _m	219

表 3.1-10 0.3 m 水平落下時のバスケットプレート(縦板)の応力計算条件及び応力計算結果

評価位置	縦板の重量 : w_v (kg)	燃料集合体 の重量 : w_f (kg)	横板の重量 : w_{hc} (kg)	伝熱プレート の重量 : w_{ha} (kg)	水平落下時 の衝撃加速 度: G_H (m/s ²)
バスケット プレート					196

評価位置	軸方向長さ : L (mm)	バスケット プレートの 板厚: t (mm)	圧縮応力 : σ_c (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
バスケット プレート			26	S _m	146

内は商業機密のため、非公開とします。

3.2 9 m 落下時

(1) 輸送物の評価方法

HDP-69BCH(B)型の輸送物の総重量は、132.2 tであり、告示に基づき、輸送時の評価として、9 m 落下時の構造強度評価を行う。評価方法は、3.1 項と同様に、輸送用緩衝体の変形量及び輸送物に生じる衝撃加速度を算出し、その衝撃加速度を包絡する設計加速度を入力条件として、兼用キャスク各部、バスケットを評価する。なお、評価方法は、3.1 と同様である。

9 m 落下時の輸送物に生じる衝撃力、衝撃加速度及び緩衝体の変形量を表 3.2-1 に示す。表 3.2-1 に示す設計加速度を用いて、9 m 落下の評価を行う。

(2) 評価条件

a. HDP-69BCH(B)型の評価

3.1 と同様に、兼用キャスク本体及び蓋部は三次元解析モデルを用いて、圧力及び温度分布を考慮して評価を行う。落下姿勢ごとの荷重条件及び境界条件は図 3.2-1 から図 3.2-3 に示す。

b. バスケットの評価

3.1 と同様に、材料工学による工学式を用いて評価を行う。

(3) 評価基準

兼用キャスクの評価基準を以下に示す。評価基準値は、金属キャスク構造規格の値を用いる。

- a. 各蓋ボルト以外の輸送容器の胴、底板、一次蓋、二次蓋、三次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー及び底部中性子遮蔽材カバーは以下の基準を適用する。なお、蓋部中性子遮蔽材カバーの溶接部分は、溶接効率を考慮する。各部位について発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

i) オーステナイト系ステンレス鋼以外

$$P_m \leq 2/3 S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

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_m : 金属キャスク構造規格¹⁾別表 5-1 に示される設計応力強さ

ii) オーステナイト系ステンレス鋼

$$P_m \leq \text{MIN}[2.4 S_m, 2/3 S_u]$$

$$P_L \leq \text{MIN}[3.6S_m, S_u]$$

$$P_L + P_b \leq \text{MIN}[3.6S_m, S_u]$$

b. 一次蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2/3 S_u$$

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

c. 二次蓋ボルト及び三次蓋ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq S_y$$

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

d. 二次蓋密封シール部に対しては各部位について発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

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

e. 三次蓋と本体のOリング取付け位置での相対口開き変形量が、Oリングの初期締付け代より小さいこと。

f. バスケットにおいては、以下の基準を適用する。ただし、バスケットに塑性変形が生じる場合には、熱荷重も考慮して変形量を算定してその変形量を考慮した上で臨界解析を行うこと。

(a) 各部位の応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq \text{MIN}[2.4S_m, 2/3 S_u]$$

$$P_m + P_b \leq \text{MIN}[3.6S_m, S_u]$$

ここで、 S_u : 金属キャスク構造規格 事例規格³⁾ 表4に示される設計引張強さ

(b) 各部位の一次圧縮応力は以下に示す $f_{c,*}$ の1.5倍を超えないこととする。

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

ここで、 $F^* = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(\text{RT})]$

(4) 評価結果

評価結果を以下に示す。

a. HDP-69BCH(B)型の評価結果

各姿勢の応力評価結果を表3.2-2から表3.2-4に示す。兼用キャスクの密封境界を構成する部位は、設計基準値を満足する。落下姿勢ごとの一次応力について、兼用キャス

クの密封境界を構成する部位、シール部及びボルトで評価を行い、評価結果は解析基準値を満足する。

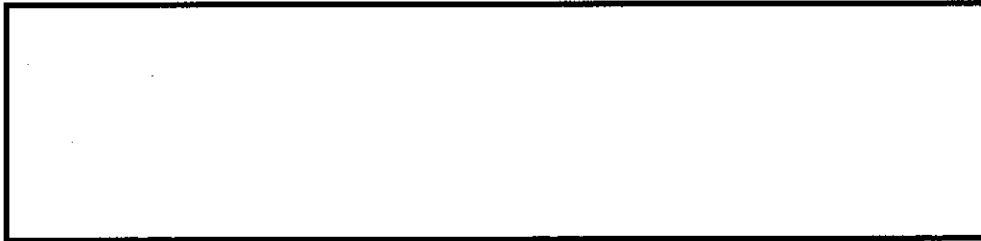
b. バスケットの評価結果

落下姿勢ごとのバスケットプレートの評価を行い、評価結果は解析基準値を満足することを示す。計算条件と計算結果は表 3.2-5 から表 3.2-7 に示す。垂直落下時の評価については、衝撃加速度の大きい底部落下で評価を行う。表 3.2-5 から表 3.2-7 の評価結果は解析基準値を満足している。

なお、250°Cにおけるバスケットプレート材料の設計降伏点 S_y は 204 MPa であるので、バスケットプレート(横板)には塑性変形が生じる。そこで、臨界評価への影響を確認するため、以下のように変形量を評価する。

	(9)
	(10)
	(11)

内は商業機密のため、非公開とします。



(12)

式(9)から式(12)を用いた時の計算条件と計算結果を表3.2-7に示す。バスケットの変形は□と評価される。臨界評価においては、バスケットプレート(横板)に対して上記計算値を安全側に□の塑性変形が生じるものとして評価する。臨界評価の詳細は、16条の適合性説明資料である、「16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設 HDP-69BCH(B)型の臨界防止機能」に示す。

□内は商業機密のため、非公開とします。

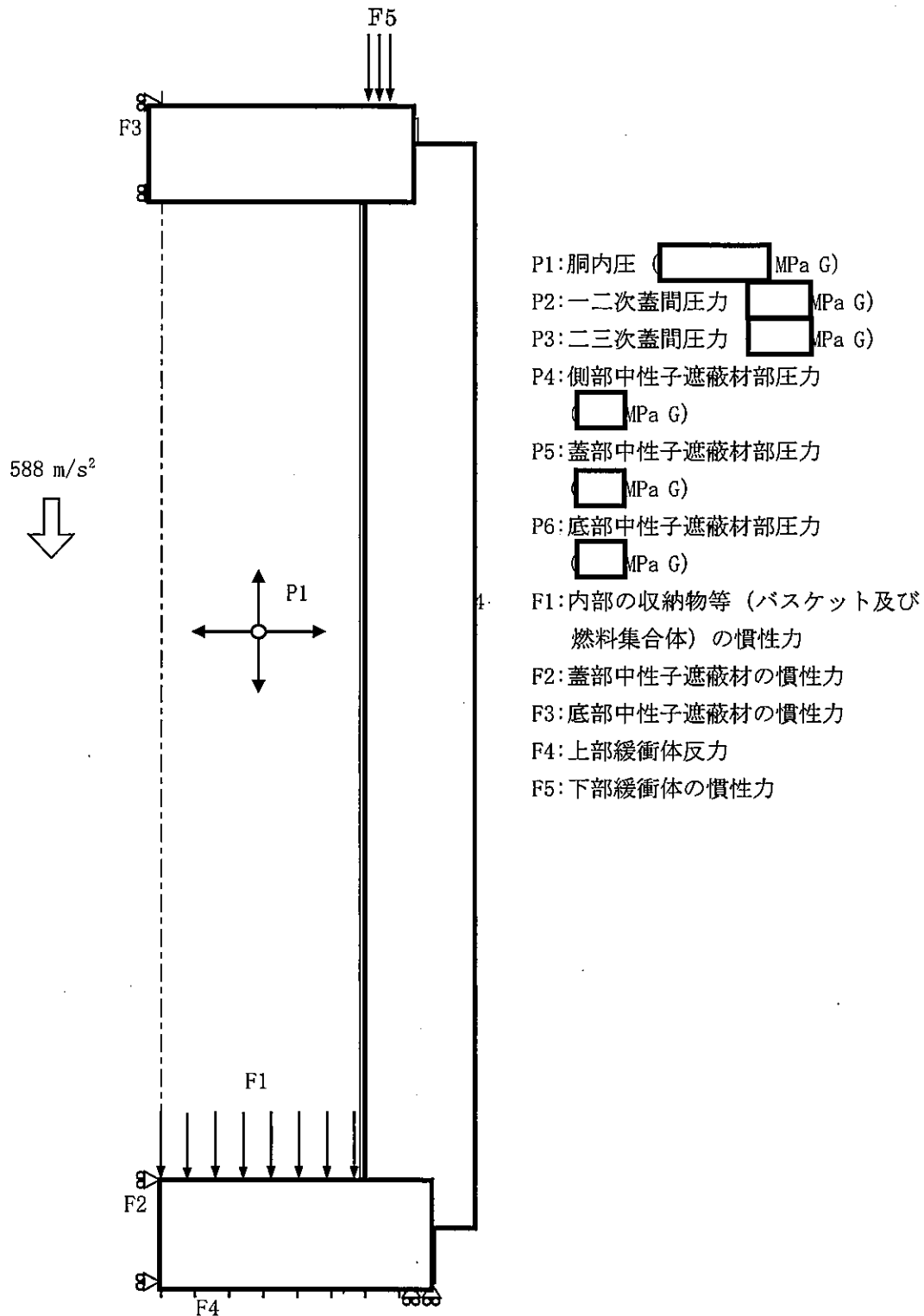


図 3.2-1 頭部 9 m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

内は商業機密のため、非公開とします。

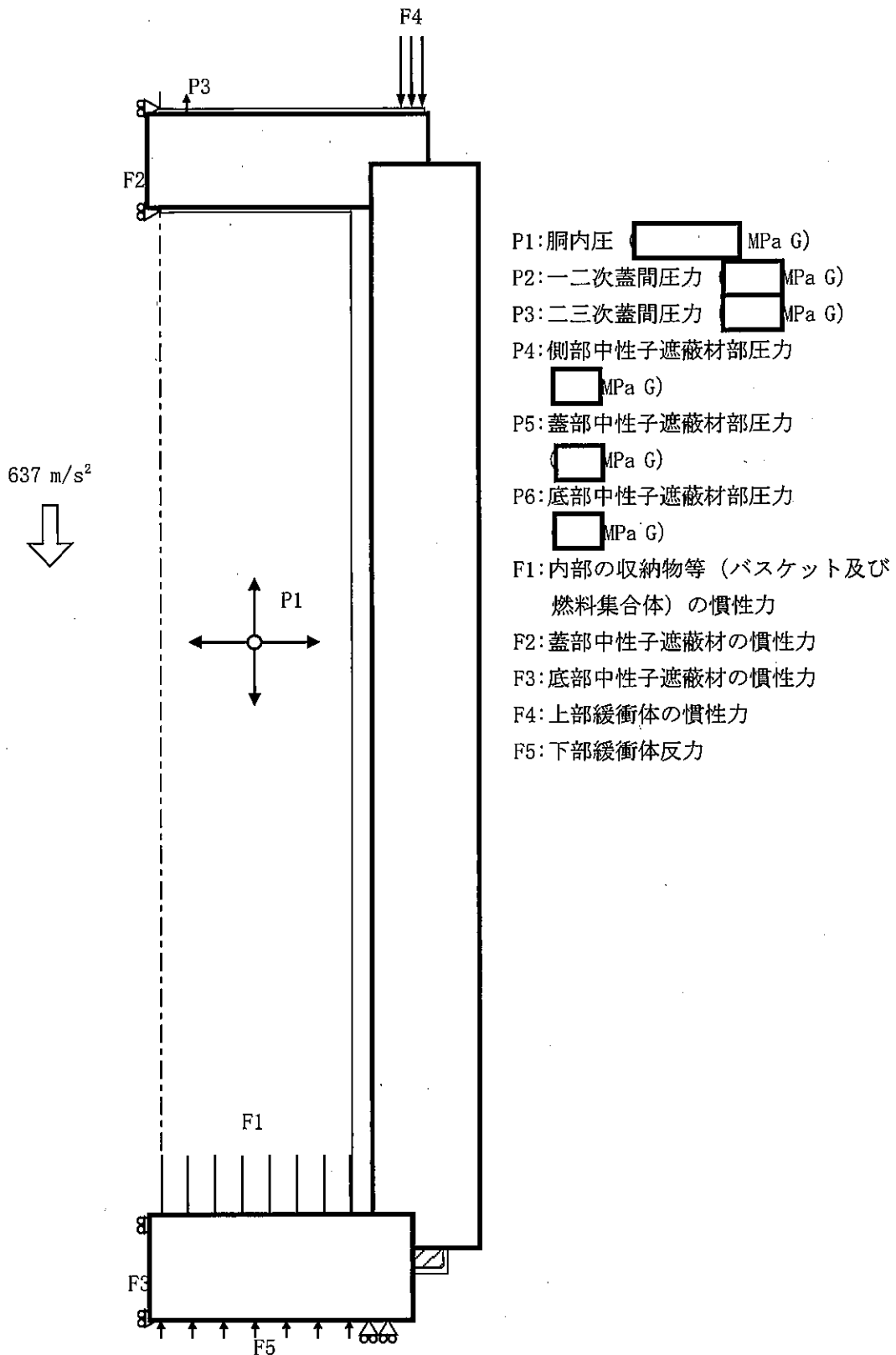
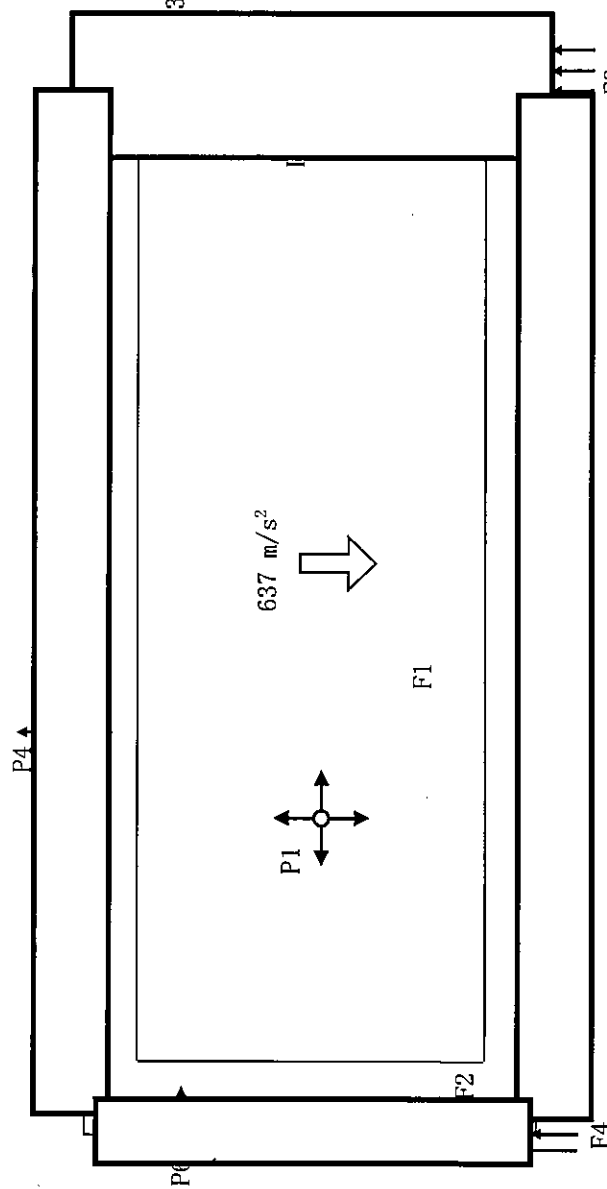
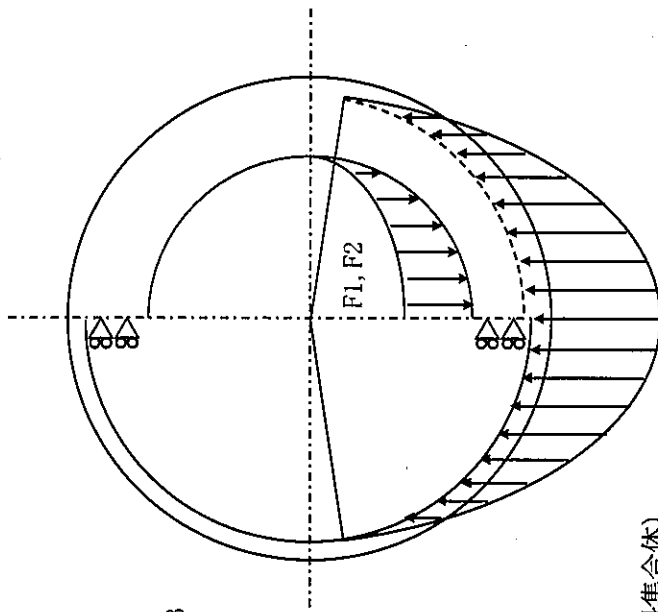


図 3.2-2 底部 9 m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

内は商業機密のため、非公開とします。



F1:内部の収納物等(バスケット及び燃料集合体)の慣性力

F2:底部中性子遮蔽材の慣性力

F3:上部緩衝体反力

F4:下部緩衝体反力

P1:胴内圧 () MPa G

P2:一次蓋間圧力 () MPa G

P3:二次蓋間圧力 () MPa G

P4:側部中性子遮蔽材部圧力 () MPa G

P5:蓋部中性子遮蔽材部圧力 () MPa G

P6:底部中性子遮蔽材部圧力 () MPa G

図 3.2-3 9 m 水平落下時の荷重条件及び境界条件

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

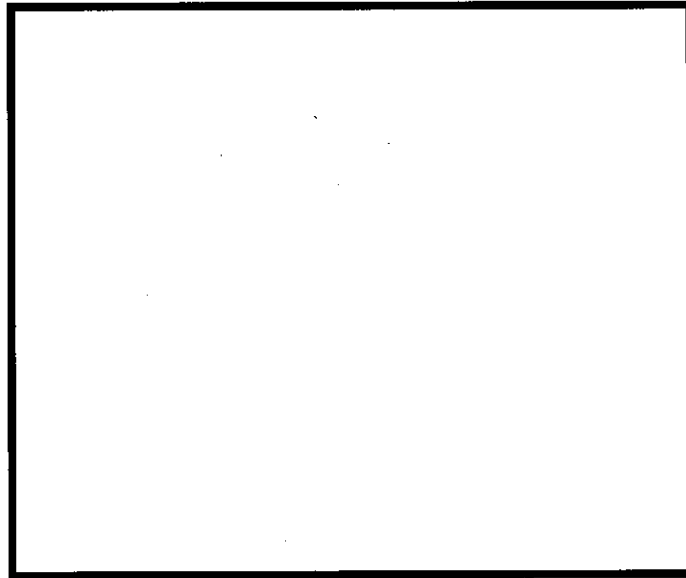


図 3.2-4 バスケットプレート(横板)の変形量計算モデル


 内は商業機密のため、非公開とします。

表 3.2-1 9 m 落下時の輸送物に生じる衝撃力、衝撃加速度及び緩衝体の変形量

落下姿勢		衝撃力 ^{注1)} : F (N)	衝撃加速度 : G _A (m/s ²)	設計加速度 : G _D (m/s ²)	緩衝体の 変形量: δ (mm)
垂直落下	頭部	7.34×10 ⁷ []	555	588	258
	底部	7.71×10 ⁷ []	584	637	257
水平落下		7.56×10 ⁷ []	573	637	338

注記*1: ()内の数値は、衝撃力のうち輸送用緩衝体の内部リブによって発生する衝撃力を示す。

[]内は商業機密のため、非公開とします。

表 3.2-2 頭部 9 m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	79	110	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	173		S_u	377
			外	33		S_u	377
	②	P_L	—	82		S_u	377
二次蓋	③	P_m	—	5	110	$2/3 S_u$	286
		$P_L + P_b$	内	16		S_u	429
			外	7		S_u	429
	④	P_L	—	32		S_u	429
三次蓋	⑤	P_m	—	23	100	$2/3 S_u$	287
		$P_L + P_b$	内	27		S_u	431
			外	19		S_u	431
	⑥	P_L	—	117		S_u	431
胴	⑦	P_L	—	31	130	S_u	377
	⑧	P_m	—	18		$2/3 S_u$	251
	⑨	P_L	—	7		S_u	377
底板	⑩	P_m	—	1	140	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	16		S_u	377
			外	14		S_u	377
	⑪	P_L	—	9		S_u	377
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	94	130	S_y	184
		$P_L + P_b + Q$	内	100		S_y	184
一次蓋 ボルト	—	σ_m	—	459	110	$2/3 S_u$	616
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	664		S_u	924
二次蓋 ボルト	—	σ_m	—	260	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	472		S_y	853
三次蓋 ボルト	—	σ_m	—	144	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	240		S_y	853

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : 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、

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

表 3.2-3 底部 9 m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	11	110	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	22		S_u	377
			外	3		S_u	377
	②	P_L	—	23		S_u	377
二次蓋	③	P_m	—	1	110	$2/3 S_u$	286
		$P_L + P_b$	内	19		S_u	429
			外	18		S_u	429
	④	P_L	—	22		S_u	429
三次蓋	⑤	P_m	—	1	100	$2/3 S_u$	287
		$P_L + P_b$	内	8		S_u	431
			外	7		S_u	431
	⑥	P_L	—	12		S_u	431
胴	⑦	P_L	—	11	130	S_u	377
	⑧	P_m	—	19		$2/3 S_u$	251
	⑨	P_L	—	63		S_u	377
底板	⑩	P_m	—	22	140	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	85		S_u	377
			外	127		S_u	377
	⑪	P_L	—	50		S_u	377
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	26	130	S_y	184
		$P_L + P_b$	内	55		S_y	184
一次蓋 ボルト	—	σ_m	—	293	110	$2/3 S_u$	616
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	345		S_u	924
二次蓋 ボルト	—	σ_m	—	246	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	253		S_y	853
三次蓋 ボルト	—	σ_m	—	228	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	253		S_y	853

注記1：図 3.1-6 参照

注記2： 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、

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

表 3.2-4 9 m 水平落下時の容器本体に対する一次応力及び蓋ボルトの評価

部位	断面 No. *1	応力分類*2 又は応力の種類	表面	応力強さ 又は応力 (MPa)	温度 (°C)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	①	P_m	—	20	110	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	20		S_u	377
	外		38	S_u		377	
	②	P_L	—	28		S_u	377
二次蓋	③	P_m	—	40	110	$2/3 S_u$	286
		$P_L + P_b$	内	41		S_u	429
	外		48	S_u		429	
	④	P_L	—	57		S_u	429
三次蓋	⑤	P_m	—	10	100	$2/3 S_u$	287
		$P_L + P_b$	内	90		S_u	431
	外		98	S_u		431	
	⑥	P_L	—	62		S_u	431
胴	⑦	P_L	—	78	130	S_u	377
	⑧	P_m	—	58		$2/3 S_u$	251
	⑨	P_L	—	74		S_u	377
底板	⑩	P_m	—	22	140	$2/3 S_u$	251
		$P_L + P_b$	内	23		S_u	377
	外		34	S_u		377	
	⑪	P_L	—	41		S_u	377
二次蓋 シール部	⑫	P_L	—	130	130	S_y	184
		$P_L + P_b$	内	106		S_y	184
一次蓋 ボルト	—	σ_m	—	333	110	$2/3 S_u$	616
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	847		S_u	924
二次蓋 ボルト	—	σ_m	—	309	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	743		S_y	853
三次蓋 ボルト	—	σ_m	—	396	100	S_y	853
		$\sigma_m + \sigma_b$	—	726		S_y	853

注記 1 : 図 3.1-6 参照

注記 2 : 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、
 σ_m : 平均引張応力 $\sigma_m + \sigma_b$: 平均引張応力 + 曲げ応力

表 3.2-5 9 m 垂直落下時のバスケットプレートの応力計算条件及び計算結果*

評価位置	バスケット 材料の密度 : ρ (kg/mm ³)	バスケット 全長: L (mm)	垂直落下時の 衝撃加速度 : G_V (m/s ²)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : $2/3 S_u$ (MPa)
バスケット プレート			637	23	292

注記*1: 垂直落下時の衝撃加速度の大きい底部落下時の結果

表 3.2-6 9 m 水平落下時のバスケットプレート(横板)の応力計算条件及び計算結果

評価位置	単位面積あたり の質量 (燃料集合体分) : w_1 (kg/mm ²)	単位面積あたり の質量 (伝熱プレート分) : w_2 (kg/mm ²)	単位面積あたり の質量(バスケット プレート分) : w_3 (kg/mm ²)	水平落下時 の衝撃加速度 : G_H (m/s ²)	バスケット プレート幅: l (mm)
バスケット プレート				637	

評価位置	バスケット プレートの板厚 : t (mm)	曲げ応力 : σ_b (MPa)	せん断応力 : τ (MPa)	応力強さ : S (MPa)	基準値 : S_u (MPa)
バスケット プレート				233	438

表 3.2-7 9 m 水平落下時のバスケットプレート(縦板)の応力計算条件及び計算結果

評価位置	縦板の重量 : w_v (kg)	燃料集合体 の重量 : w_f (kg)	横板の重量 : w_{hc} (kg)	伝熱プレート の重量 : w_{ha} (kg)	水平落下時 の衝撃加速 度: G_H (m/s ²)
バスケット プレート					637

評価位置	軸方向長さ : L (mm)	バスケット プレートの 板厚: t (mm)	圧縮応力 : σ_c (MPa)	基準値 : $2/3 S_u$ (MPa)
バスケット プレート			85	292

内は商業機密のため、非公開とします。

表 3.2-8 バスケットプレートの変位計算条件及び計算結果

評価位置	バスケットプレートの支持幅 : l (mm)	バスケットプレート材料の縦弾性係数 : E (MPa)	単位長さあたりの断面二次モーメント : I (mm ³)	バスケットプレート材料の設計降伏点 : S_y (MPa)	バスケットプレートの板厚 : t (mm)	単位長さあたりの塑性断面係数: Z_P (mm ²)	変形量 : δ (mm)
バスケットプレート		200000		204			

内は商業機密のため、非公開とします。

4. 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) (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、事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定” JSME S FA-CC-004、(2009)