

Doc. No. MA035A-RC-G01 Rev.1

2020年11月25日

日立造船株式会社

補足説明資料 2-1

Hitz-B52型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の
想定事象に対する安全評価に関する説明資料

目 次

1. 設計方針-----	1
2. 想定事象の選定及び様態-----	2
3. Hitz-B52 型及び付帯設備の仕様-----	4
4. 構造強度解析-----	6
5. 想定事象に対する Hitz-B52 型の閉じ込め機能の健全性-----	8
6. 参考文献-----	9
別紙 1 使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型のハンドリングフロー	
別紙 2 Hitz-B52 型の落下及び転倒事象時に発生する衝撃加速度又は Hitz-B52 型への重量物落下事象時の衝撃荷重について	
別紙 3 構造解析コード (ABAQUS) による密封容器の構造強度解析条件	

1. 設計方針

使用済燃料貯蔵施設は、設計最大評価事故（安全設計上想定される事故のうち、公衆が被ばくする線量を評価した結果、その線量が最大となるものをいう。）が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならない。

Hitz-B52 型は、使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型の取扱いに起因し、Hitz-B52 型の基本的安全機能に影響を及ぼすことが想定される事象（以下「想定事象」という。）に対して、外部へ放射性物質を放出することがなく事故事象に至ることのない設計とする。

2. 想定事象の選定及び様態

(1) 想定事象の選定

使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型のハンドリングフローを別紙 1 に示す。
想定事象として以下を選定した。

- a. 仮置架台への水平落下
- b. 衝撃吸収材への垂直落下
- c. 貯蔵架台への垂直落下
- d. たて起こし架台への転倒衝突
- e. 衝撃吸収材への転倒衝突
- f. 三次蓋の二次蓋への落下

(2) 想定事象の様態

2.(1)「想定事象の選定」にて選定した想定事象の様態を以下に示す。

a. 仮置架台への水平落下

Hitz-B52 型は、上部トラニオン及び下部トラニオンを介して仮置架台に設置される。仮置架台へ設置する際に仮置架台へ水平衝突した場合、上部トラニオン及び下部トラニオンが仮置架台のトラニオン受け部へ衝突する（図 1 参照）。なお、Hitz-B52 型を仮置架台へ設置する際には、金属キャスク本体の上部及び下部に事業所外運搬用の緩衝体に取り付けられた状態である。

b. 衝撃吸収材への垂直落下

Hitz-B52 型は、たて起こし架台上でたて起こされた後、衝撃吸収材の上方を通過し、貯蔵架台の上方に移送される。衝撃吸収材の上方を通過中に Hitz-B52 型が落下した場合、金属キャスク本体の底部が衝撃吸収材へ衝突する（図 2 参照）。なお、Hitz-B52 型が貯蔵架台に移送される際は、三次蓋が取り付けられた状態である。

c. 貯蔵架台への垂直落下

Hitz-B52 型は、たて起こし架台上でたて起こされた後、衝撃吸収材の上方を通過し、貯蔵架台の上方に移送される。Hitz-B52 型が貯蔵架台の上方に位置する際に落下した場合、金属キャスク本体の底部が貯蔵架台へ衝突する（図 3 参照）。なお、Hitz-B52 型を貯蔵架台に移送する際は、三次蓋が取り付けられた状態である。

d. たて起こし架台への転倒衝突

Hitz-B52 型は、仮置架台からたて起こし架台へ移送され、緩衝体を取り外された後、下部トラニオンを回転中心とし、上部トラニオンを使用してたて起こされる。

Hitz-B52 型がたて起こし架台側へ転倒した場合、上部トラニオンがたて起こし架台のトラニオン受け部へ衝突する。(図 4 参照)。なお、Hitz-B52 型をたて起こす際は、三次蓋が取り付けられた状態である。

e. 衝撃吸収材への転倒衝突

Hitz-B52 型は、仮置架台からたて起こし架台へ移送され、緩衝体を取り外された後、下部トラニオンを回転中心とし、上部トラニオンを使用してたて起こされる。

Hitz-B52 型が衝撃吸収材へ転倒した場合、金属キャスク本体の上部が衝撃吸収材へ衝突する(図 5 参照)。なお、Hitz-B52 型をたて起こす際は、三次蓋が取り付けられた状態である。

f. 三次蓋の二次蓋への落下

Hitz-B52 型は、貯蔵架台へ設置された後、搬送台車等により検査架台へ移送され、三次蓋が取り外される。三次蓋が取り外される際に、二次蓋上で落下した場合、三次蓋が二次蓋へ衝突する(図 6 参照)。

3. Hitz-B52 型及び付帯設備の仕様

Hitz-B52 型の仕様及び使用済燃料貯蔵施設における付帯設備である仮置架台、たて起こし架台並びに貯蔵架台の仕様例を以下に示す。

(1) 構造

Hitz-B52 型は、金属キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成される。胴及び蓋部（一次蓋、一次蓋ボルト）は、（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」（以下「金属キャスク構造規格」という。）に基づき密封容器として設計されている。

a. 金属キャスク本体

金属キャスク本体の主要部は、胴及び外筒等で構成されている。また、金属キャスク本体の取扱い及び貯蔵中の固縛のために、上部及び下部の各々に 2 対のトラニオンが取り付けられている。

b. 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。一次蓋及び二次蓋は、ともにボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

一次蓋及び二次蓋のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持するために金属ガスケットが取り付けられている。

また、使用済燃料貯蔵施設への搬入時及び使用済燃料貯蔵施設からの搬出時には三次蓋が取り付けられる。三次蓋は、ボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

c. 付帯設備の構造及び Hitz-B52 型との取合い

仮置架台及びたて起こし架台は、Hitz-B52 型の 1 対の上部トラニオン及び 1 対の下部トラニオンを使用して Hitz-B52 型を支持する。Hitz-B52 型のたて起こしの際は、たて起こし架台に設置された状態で上部トラニオンにより Hitz-B52 型を吊上げ、1 対の下部トラニオンを回転中心としてたて起こされる。

貯蔵架台は、Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵建屋（以下「貯蔵建屋」という。）の床面に固縛するための支持構造物であり、2 対の下部トラニオンを介して Hitz-B52 型が固縛される。

衝撃吸収材は、たて起こし架台及びその周辺（Hitz-B52 型のたて起こし方向）に敷設され、Hitz-B52 型のたて起こし架台への移送時の万一の転倒・落下時において Hitz-B52 型に発生する衝撃を緩和する。

(2) 材質

Hitz-B52 型の主要な構成部材の材質を表 1 に示す。Hitz-B52 型は、基本的な安全機能を維持する上で重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境、並びにその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定している。

仮置架台、たて起こし架台及び貯蔵架台の主要な材質（例）を表 2 に示す。

(3) 寸法

Hitz-B52 型の構成部材の代表寸法を表 3 に示す。

(4) 質量

Hitz-B52 型の構成部材の質量を表 4 に示す。

4. 構造強度解析

(1) 評価対象

2.(1)「想定事象の選定」にて選定した事象において、Hitz-B52 型が付帯設備（仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架台及び衝撃吸収材）に衝突する際に衝突部の変形により吸収されるエネルギー、あるいは、破断に必要な力を評価することで Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度又は衝撃荷重を算出する。

算出された衝撃加速度又は衝撃荷重を表 5 に示す。また、衝撃加速度又は衝撃荷重の算出方法を別紙 2 に示す。想定事象の内、a. 仮置架台への水平落下及び d. たて起こし架台への転倒衝突については、ともにトラニオンへの衝突という事象であるが、事象 a では、水平落下によるトラニオンが破断するときの加速度の評価であり、一方、事象 d では、回転衝突でトラニオンが破断するときの蓋部の加速度の評価となる。事象 a, d ともにトラニオンの破断事象に対する評価であるが、事象 d は回転衝突であり、トラニオン部の加速度は事象 a と同じであるが、密封シール部である蓋部の加速度がトラニオン部に比べて大きくなることから、事象 d では蓋部近傍の評価とし、密封容器全体の評価は事象 a にて代表される。

1

また、b. 衝撃吸収材への垂直落下は、c. 貯蔵架台への垂直落下で発生する衝撃加速度を下回り、衝撃力が作用する位置が同じであるため、c. 貯蔵架台への垂直落下で代表される事象である。

1

なお、c. 貯蔵架台への垂直落下時に Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度は想定設備の貯蔵架台の設計を仮定して評価する。

以上より a. 仮置架台への水平落下、c. 貯蔵架台への垂直落下、d. たて起こし架台への転倒衝突、e. 衝撃吸収材への転倒衝突及び f. 三次蓋の二次蓋への落下の事象を対象に、次項のように構造強度解析を実施する。

1

(2) 解析方法及び解析条件

構造強度解析フローを図 7 に示す。構造強度解析では、Hitz-B52 型に作用する荷重条件を評価事象毎に設定し、貯蔵時に密封境界を構成する部材に発生する応力が金属キャスク構造規格にて定義されている供用状態 D の設計基準以下であることを確認する。

なお、Hitz-B52 型の密封容器に発生する応力は、想定される荷重をもとに Hitz-B52 型の実形状をモデル化し、有限要素法による構造解析コード (ABAQUS) を使用して求める。構造解析コード (ABAQUS) による密封容器の構造強度解析条件を別紙 3 に示す。

(3) 解析結果

a. 仮置架台への水平落下、c. 貯蔵架台への垂直落下、d. たて起こし架台への転倒衝突、e. 衝撃吸収材への転倒衝突及び f. 三次蓋の二次蓋への落下事象における密封容器の構造強度解析結果を表 6 から表 10 に示す。Hitz-B52 型の密封シール部又は密封境界を構成する部材に発生する応力は、設計基準を満足することを確認した。

なお、b. 衝撃吸収材への垂直落下の事象については、c. 貯蔵架台への垂直落下時に作用する衝撃加速度を下回り、表 6 に示される設計基準以下となる。したがって、上記 b. の事象においても、密封境界を構成する部材に発生する応力は設計基準を満足する。

5. 想定事象に対する Hitz-B52 型の閉じ込め機能の健全性

4. (3) 「解析結果」に示す構造強度解析結果より、密封境界を構成する部材に発生する応力は設計基準を満足しており、閉じ込め機能の健全性は維持される。したがって、使用済燃料貯蔵施設において Hitz-B52 型を使用する場合、取扱いに起因する事象を考慮しても公衆に対し放射線被ばくを及ぼす可能性のある事故に至ることはなく、使用済燃料貯蔵施設への影響はない。

6. 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年12月)

表 1 Hitz-B52 型の主要な構成部材の材質

構成部材	材 質
金属キャスク本体	
洞	炭素鋼
外筒	炭素鋼
上部トラニオン	析出硬化型ステンレス鋼
下部トラニオン	析出硬化型ステンレス鋼
蓋部*1	
一次蓋	ステンレス鋼
二次蓋	炭素鋼
三次蓋	炭素鋼
一次蓋ボルト	合金鋼
二次蓋ボルト	合金鋼
三次蓋ボルト	合金鋼

注記*1：使用済燃料貯蔵施設への搬入時及び使用済燃料貯蔵施設からの搬出時には、ゴム
Oリングをシール材とした三次蓋を装着する。

表 2 仮置架台、たて起こし架台及び貯蔵架台の主要な材質（例）

付帯設備	材質
仮置架台	炭素鋼
たて起こし架台	炭素鋼
貯蔵架台	炭素鋼

表 3 Hitz-B52 型の代表寸法

構成部材	寸法 (mm)
金属キャスク本体	
胴内径	1550
板厚	224
外筒外径	2410
板厚	16
底板厚さ	265
全長	5466
全幅	2770
一次蓋	
蓋外径	1776
厚さ	136
ボルト	
呼び径×本数	<input type="text"/>
二次蓋	
蓋外径	2042
厚さ	163
ボルト	
呼び径×本数	<input type="text"/>
三次蓋*1	
蓋外径	2304
厚さ	40
ボルト	
呼び径×本数	<input type="text"/>

注記*1：使用済燃料貯蔵施設への搬入時及び使用済燃料貯蔵施設からの搬出時には、ゴム O リングをシール材とした三次蓋を装着する。

表 4 Hitz-B52 型の質量

項目	質量 (トン)
A. 金属キャスク本体 (バスケット含む)	93.8
B. 一次蓋	4.1
C. 二次蓋	3.7
D. 三次蓋	1.9
E. 緩衝体 (上部及び下部の合計)	11.3
F. 使用済燃料集合体 (チャンネルボックスを含む)	16.0
G. 貯蔵建屋内での天井クレーンによる取扱い質量 (垂直吊上時) $A + B + C + D + F$ (水平吊上時) $A + B + C + D + E + F$	119.5 以下 130.8 以下
H. 貯蔵時質量 $A + B + C + F$	117.6 以下

表 5 Hitz-B52 型の落下及び転倒事象時に発生する衝撃加速度
又は Hitz-B52 型への重量物落下事象時の衝撃荷重

No.	想定事象	衝撃加速度 又は衝撃荷重	評価方法	評価結果
a	仮置架台への 水平落下	22G	<u>ABAQUS コードによる解析</u> <u>(衝撃加速度 22G)</u>	表 6
b	衝撃吸収材への 垂直落下	12G	貯蔵架台への垂直落下の衝撃加 速度 48G 以下であることを確認	表 7
c	貯蔵架台への 垂直落下	48G	ABAQUS コードによる解析 (衝撃加速度 48G)	表 7
d	たて起こし架台 への転倒衝突	33G	<u>ABAQUS コードによる解析*1</u> <u>(衝撃加速度 33G)</u>	表 8
e	衝撃吸収材への 転倒衝突	36G	ABAQUS コードによる解析 (衝撃加速度 36G)	表 9
f	三次蓋の二次蓋 への落下	4.1×10^6 N	ABAQUS コードによる解析 (衝撃荷重 4.1×10^6 N)	表 10

注記*1：評価は蓋部近傍のみとし、その他の密封部については事象 a で代表される。

表 6 仮置架台への水平落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	22G	2	267
		$P_L + P_b$		13	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		6	401
		$P_L + P_b$		14	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		223	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		418	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		40	161
		$P_L + P_b$		53	161
		$P_L + P_b + Q$		62	161
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		55	377
		$P_L + P_b$		95	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		16	251
		$P_L + P_b$		23	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		43	377
		$P_L + P_b$		112	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		3	251
		$P_L + P_b$		6	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		40	377
		$P_L + P_b$		79	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		34	162
		$P_L + P_b$	68	162	
		$P_L + P_b + Q$	63	162	
-	上部トランニオン近傍 の胴部の応力強さ	P_m	150	251	
		$P_L + P_b$	340	377	
-	下部トランニオン近傍 の胴部の応力強さ	P_m	136	251	
		$P_L + P_b$	308	377	

注記*1：応力評価位置は、図 8 及び図 9 参照。

△1

表 7 貯蔵架台への垂直落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	48G	4	267
		$P_L + P_b$		27	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		7	401
		$P_L + P_b$		19	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		219	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		355	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		36	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		46	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		51	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		11	377
		$P_L + P_b$		23	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		17	251
		$P_L + P_b$		17	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		36	377
		$P_L + P_b$		51	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		5	251
		$P_L + P_b$		49	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		28	377
		$P_L + P_b$		44	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		32	162
		$P_L + P_b$	57	162	
		$P_L + P_b + Q$	61	162	
-	胴の軸方向に 発生する圧縮応力	圧縮応力 (一次)		27	127

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

表 8 たて起こし架台への転倒衝突時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	33G	2	267
		$P_L + P_b$		14	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		9	401
		$P_L + P_b$		16	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		224	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		438	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		51	161
		$P_L + P_b$		68	161
		$P_L + P_b + Q$		77	161
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		81	377
		$P_L + P_b$	140	377	
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m	35	162	
		$P_L + P_b$	69	162	
		$P_L + P_b + Q$	65	162	

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

1

表 9 衝撃吸収材への転倒落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	36G	4	267
		$P_L + P_b$		15	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		7	401
		$P_L + P_b$		13	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		220	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		444	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		37	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		50	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		52	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		37	377
		$P_L + P_b$		74	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		15	251
		$P_L + P_b$		20	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		19	377
		$P_L + P_b$		54	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		1	251
		$P_L + P_b$		4	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		17	377
		$P_L + P_b$		37	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		33	162
		$P_L + P_b$	68	162	
		$P_L + P_b + Q$	71	162	

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

1

1

表 10 三次蓋の二次蓋への落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件*2 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	$4.1 \times 10^6 \text{N}$	2	267
		$P_L + P_b$		13	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		4	401
		$P_L + P_b$		10	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		220	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		350	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		32	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		45	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		51	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		12	377
		$P_L + P_b$		16	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		5	251
		$P_L + P_b$		6	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		3	377
		$P_L + P_b$		8	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		1	251
		$P_L + P_b$		2	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		3	377
		$P_L + P_b$		4	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		32	162
		$P_L + P_b$	58	162	
		$P_L + P_b + Q$	60	162	
-	胴の軸方向に 発生する圧縮応力	圧縮応力 (一次)	7	127	

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

*2：表 5 に示す荷重条件（ $4.1 \times 10^6 \text{N}$ ）を二次蓋中央への作用荷重として設定した。

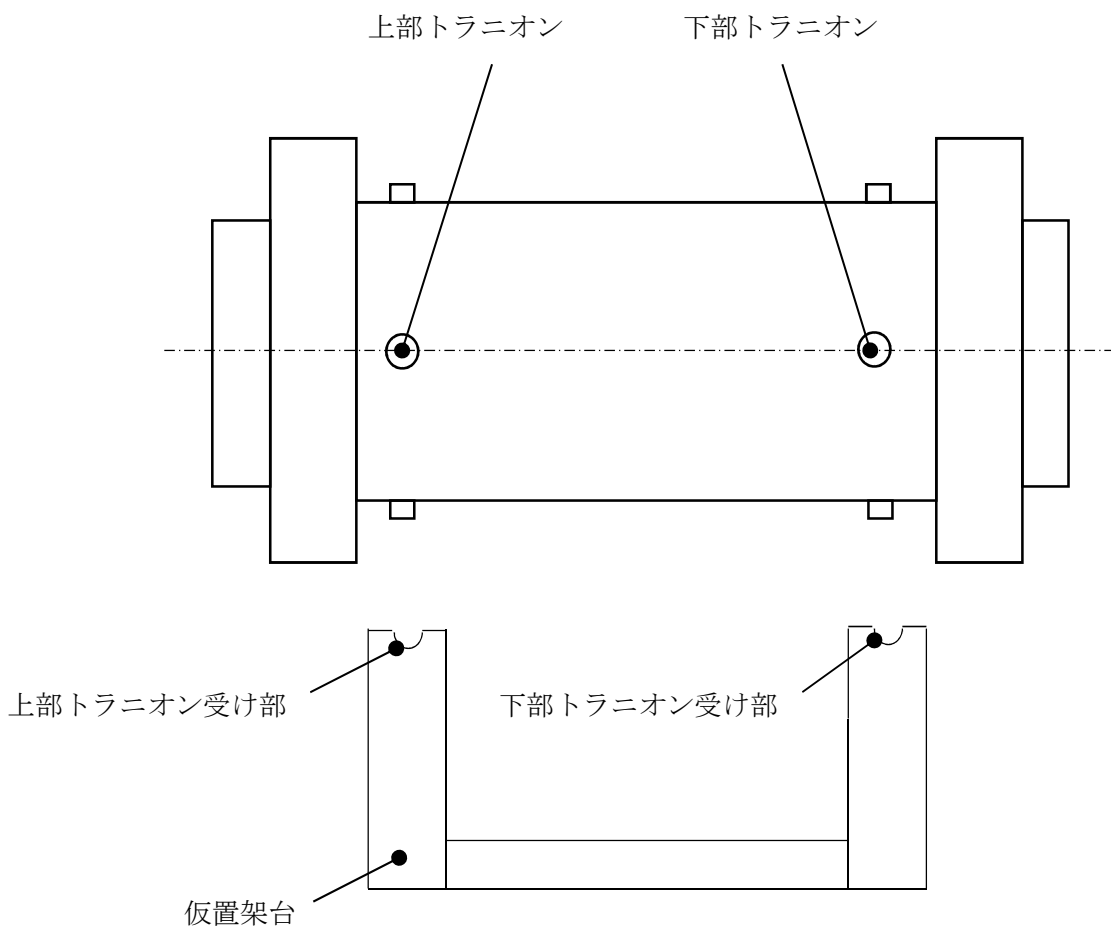


図 1 仮置架台への水平落下

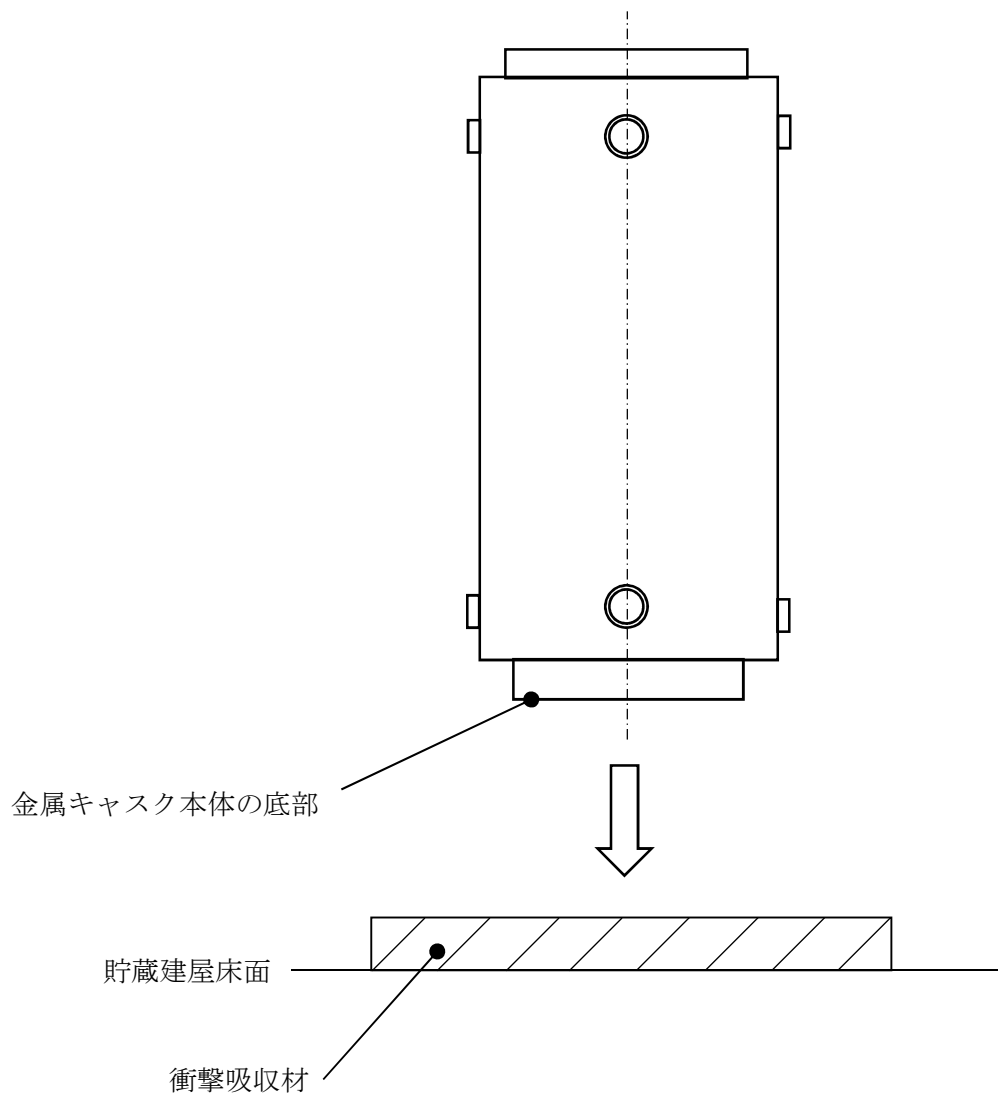
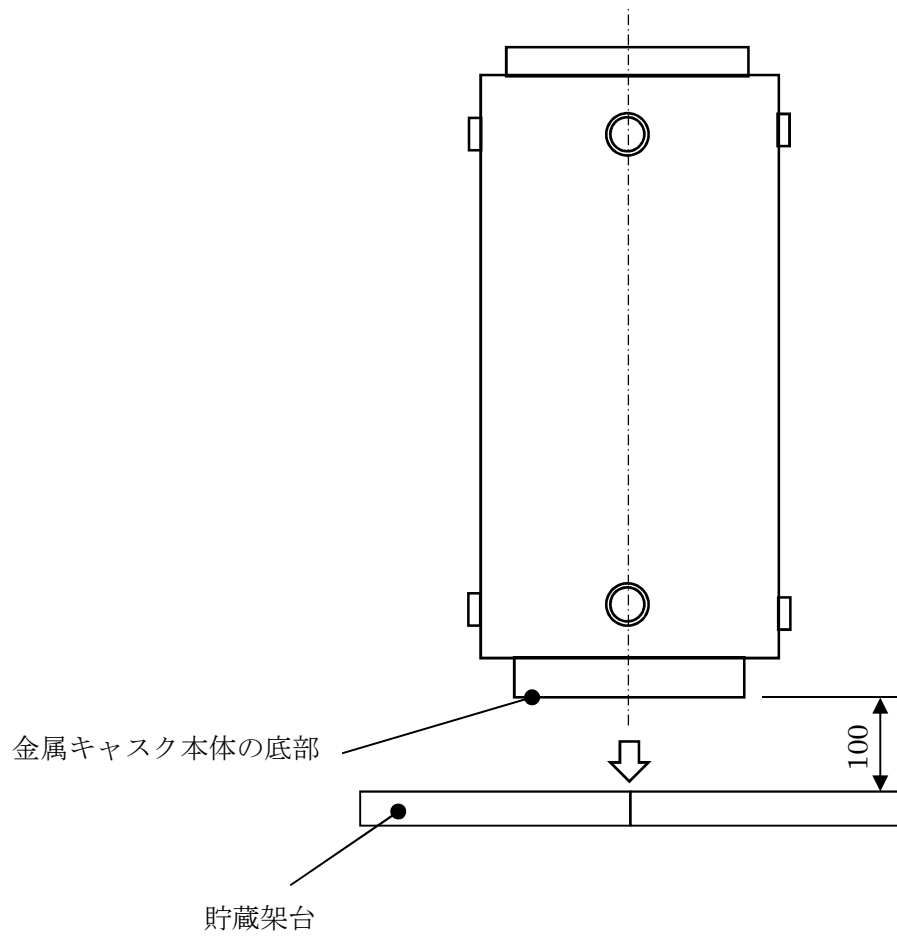


図2 衝撃吸収材への垂直落下



(単位：mm)

図 3 貯蔵架台への垂直落下

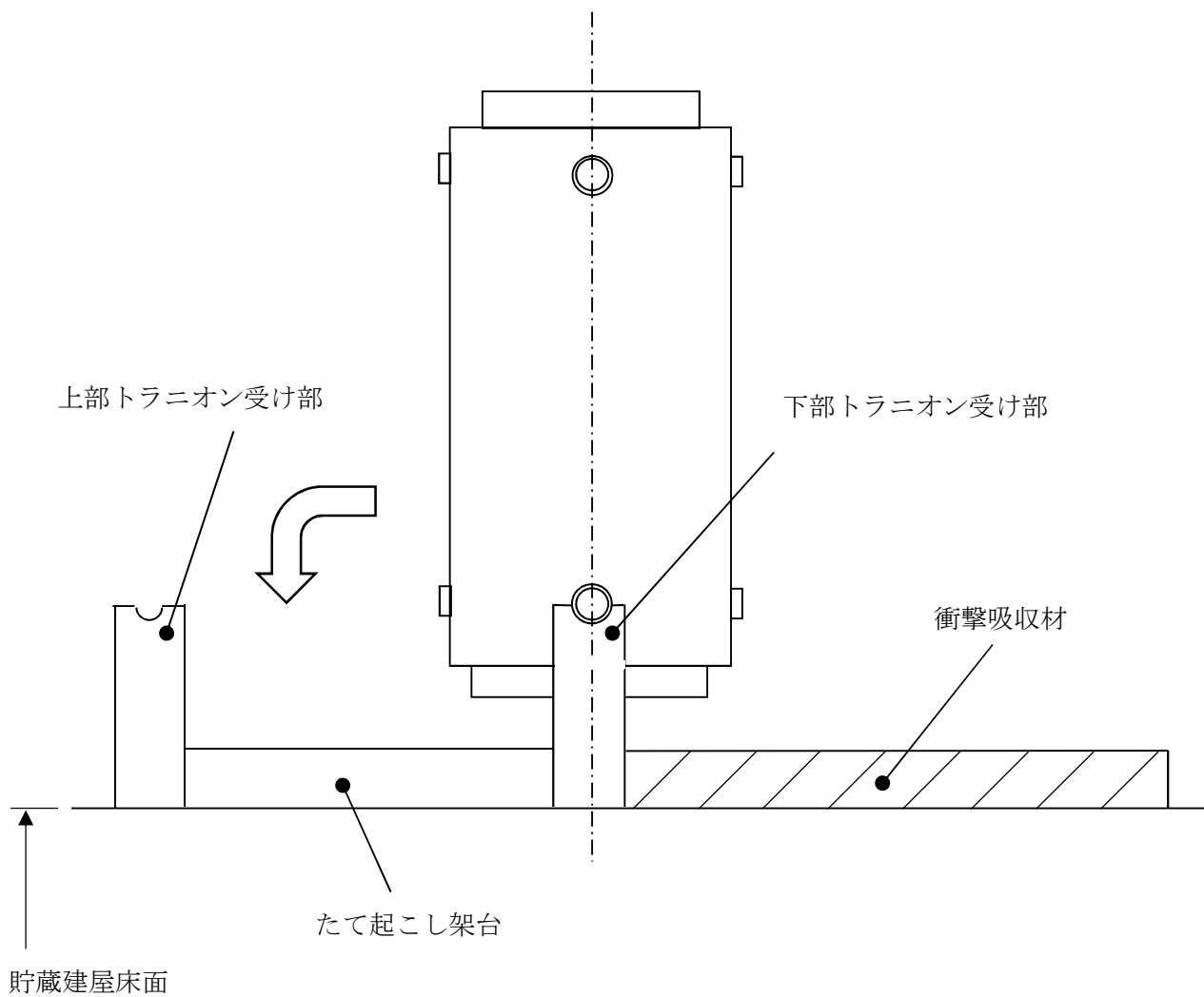
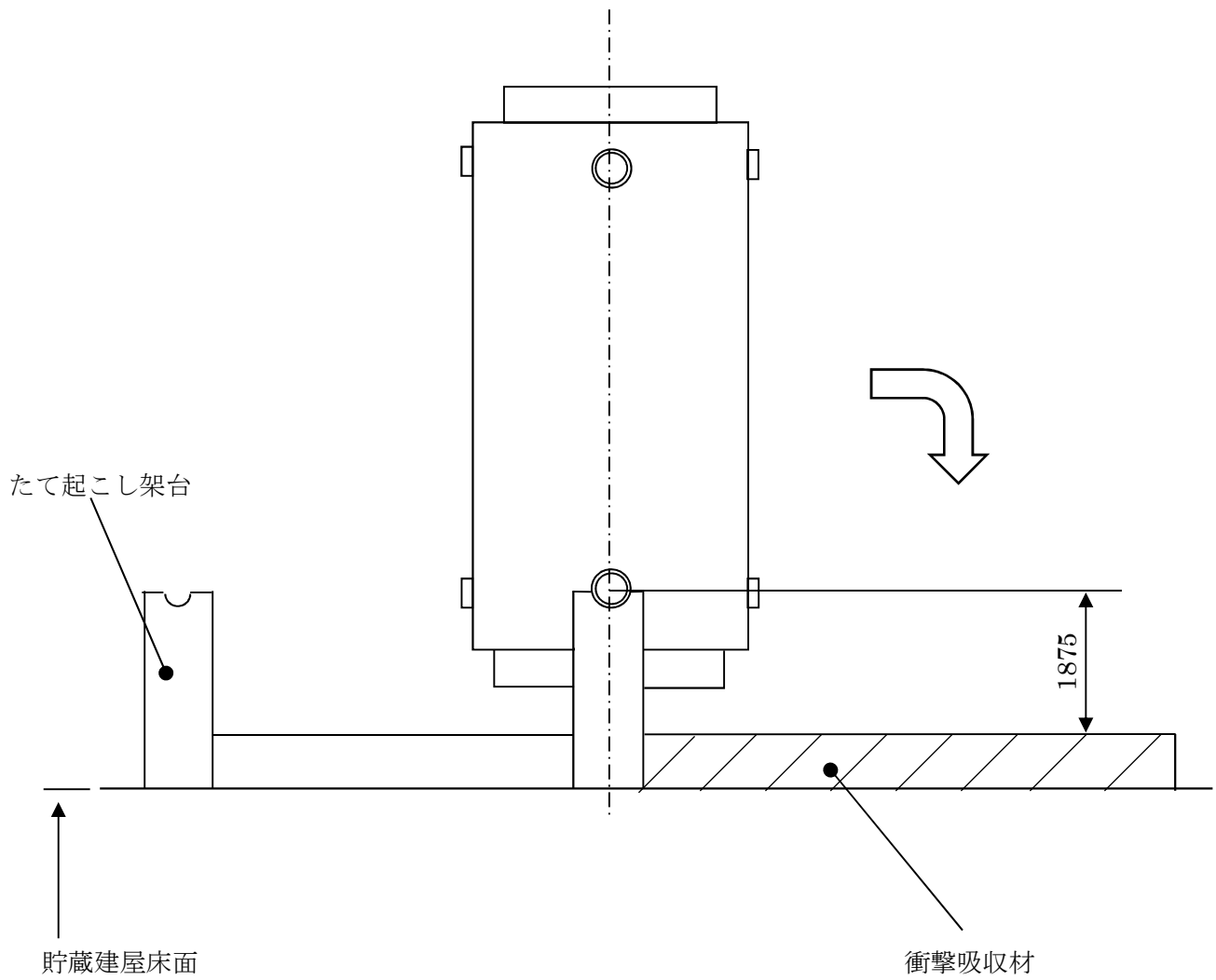
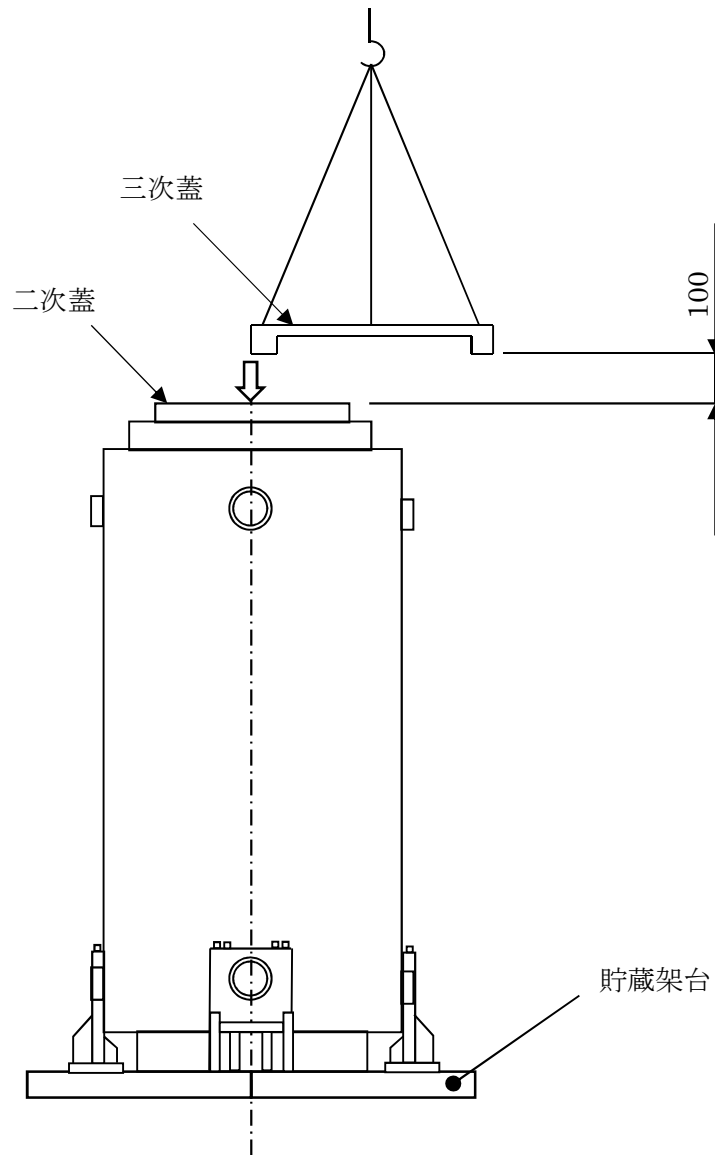


図4 たて起こし架台への転倒衝突



(単位：mm)

図5 衝撃吸収材への転倒衝突



(単位：mm)

図6 三次蓋の二次蓋への落下

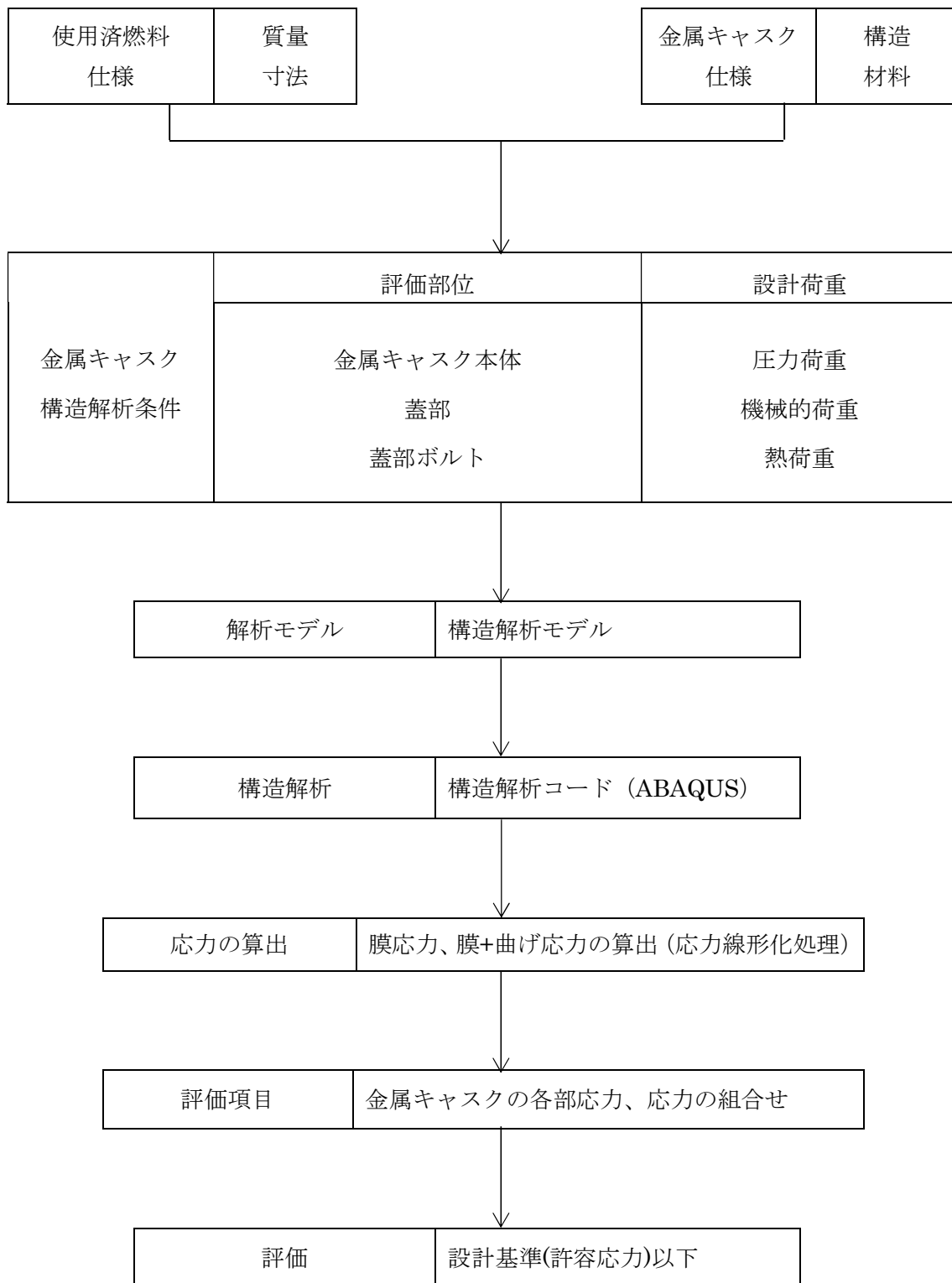


図 7 構造強度解析フロー

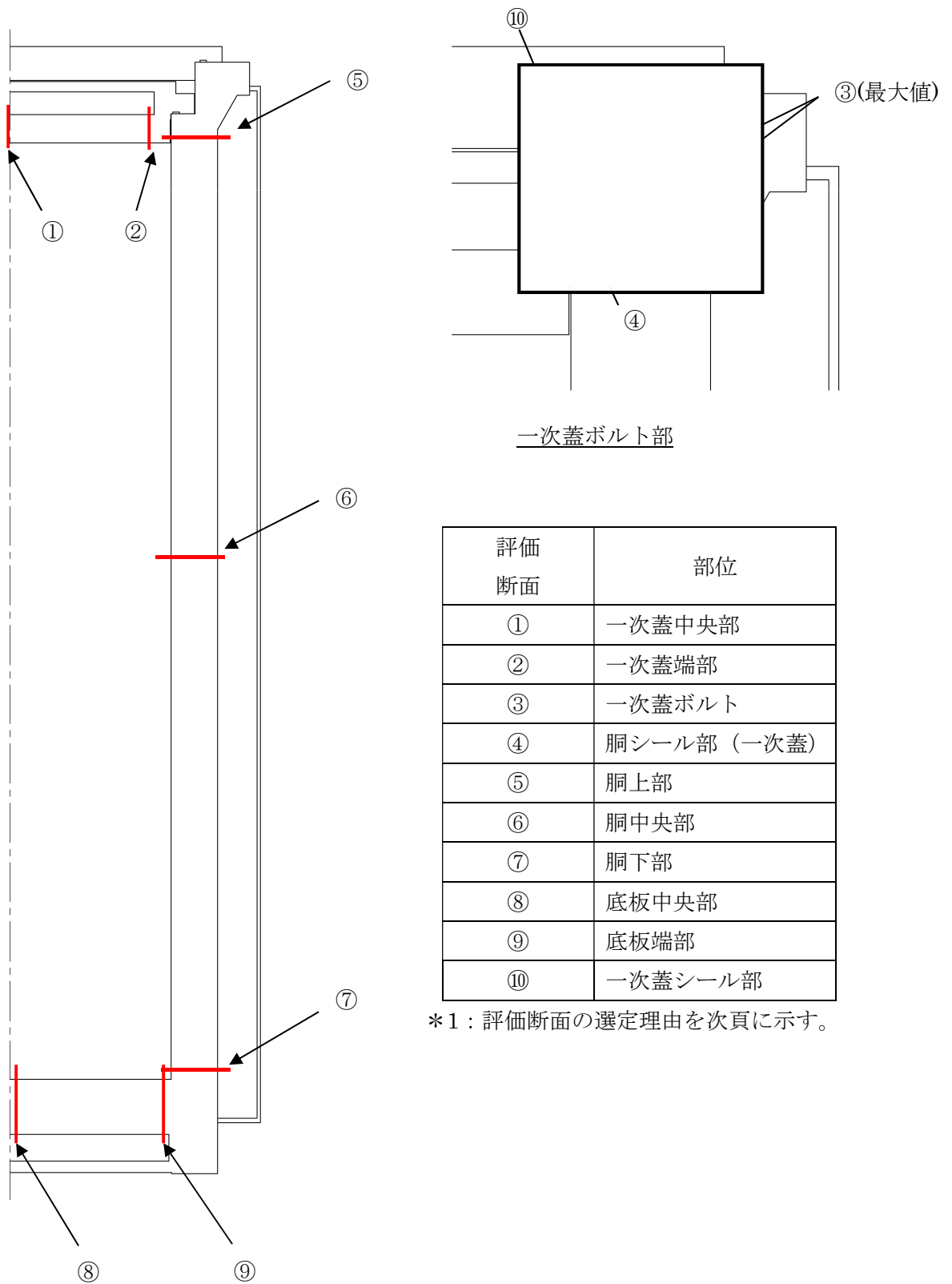
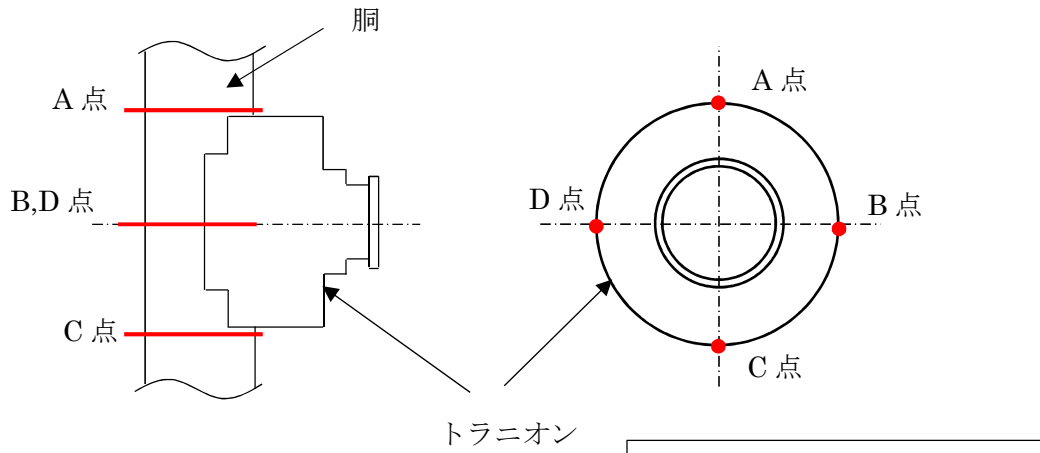


図8 密封容器の応力評価位置 (1/2)

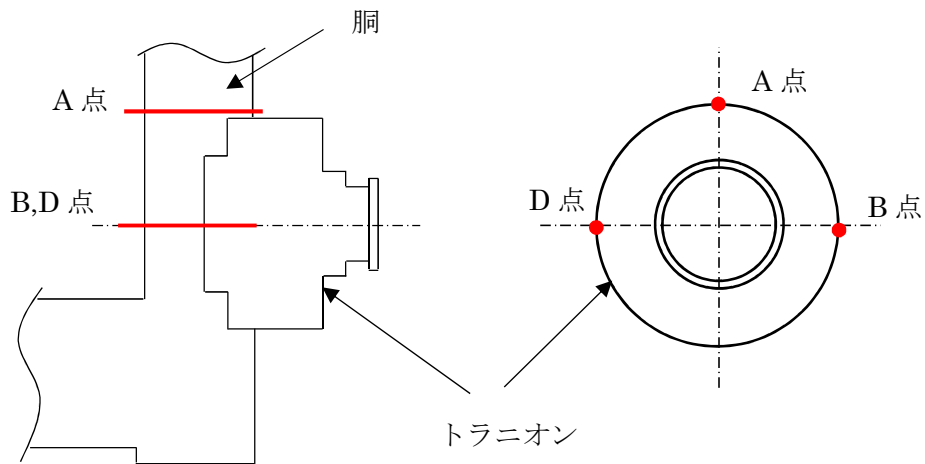
評価断面の選定理由

評価断面	部位	選定理由
①	一次蓋中央部	周辺支持円板として考えたときの曲げ応力最大部位となる一次蓋の中央部とした。
②	一次蓋端部	密封容器の範囲での軸方向板厚最小部となり、かつ形状不連続部の近傍であること、そして周辺固定円板として考えたときの曲げ応力最大部位となる一次蓋の最外部とした。
③	一次蓋ボルト	ボルト軸部のうち非埋め込み部の両端点を評価点とし、最大となるほうを評価値とした。
④	胴シール部 (一次蓋)	胴側のガスケット接触部(シール部)とした。
⑤	胴上部	密封容器の範囲での胴最上部であり、胴フランジテーパ部の直下とした。
⑥	胴中央部	胴の中央部とした。
⑦	胴下部	胴、底板の密封容器範囲での下部であり、かつ形状不連続部の近傍であることから、胴最下部とした。
⑧	底板中央部	周辺支持円板として考えたときの曲げ応力最大部位となる底板の中央部とした。
⑨	底板端部	周辺固定円板として考えたときの曲げ応力最大部位となる底板の最外部とした。
⑩	一次蓋シール部	胴ガスケット接触部の軸方向断面とした。

図 8 密封容器の応力評価位置 (2/2)



<落下方向>
 トラニオン 90° 方向 : D 点
 トラニオン 270° 方向 : B 点



注記：評価結果には各トラニオンの最大値のみを記載する。

図9 トラニオンの応力評価位置

使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型のハンドリングフロー

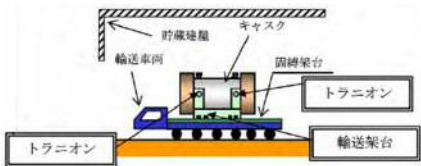
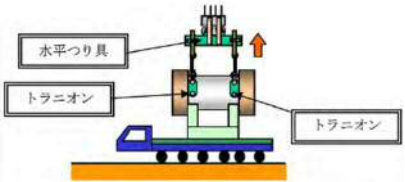
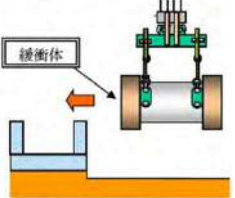

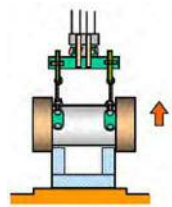
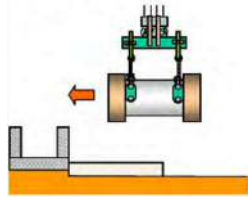
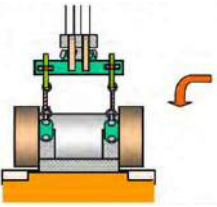
使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型のハンドリングフローを別紙 1-1 図に示す。

輸送車両により貯蔵建屋受入れ区域に搬入された Hitz-B52 型は、輸送用の緩衝体を取り付けた状態で、受入れ区域の天井クレーンで吊上げ、仮置架台又はたて起こし架台に設置される。Hitz-B52 型は輸送架台、仮置架台及びたて起こし架台にトラニオンを介して水平に設置される。なお、金属キャスクの角度は上部緩衝体側から見て、上方向を 0° 側とし、 0° 側から時計回りに 90° 側、 180° 側、 270° 側と定義している。

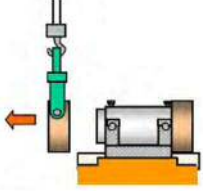
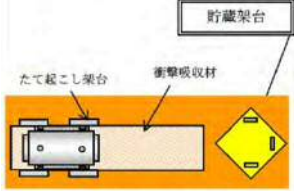
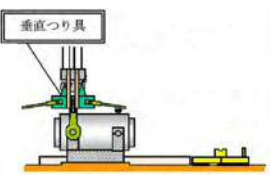
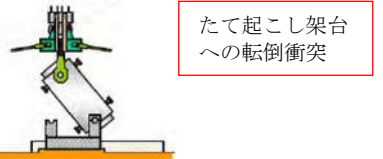
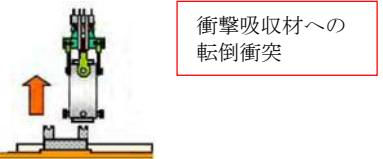
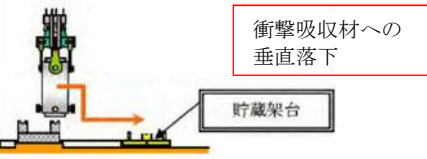

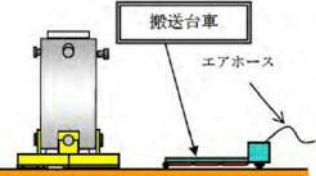
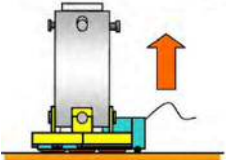
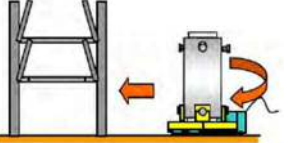
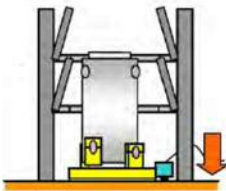
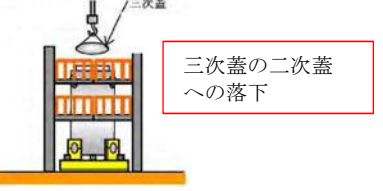
Hitz-B52 型は、たて起こし架台上で緩衝体を取り外し、受け入れ区域の天井クレーンでたて起こし、垂直吊上後に貯蔵架台に移送され、下部トラニオンを介して貯蔵架台上に固縛された後、搬送機器等（搬送台車）により貯蔵架台ごと検査架台へ移送される。

検査架台で三次蓋を取り外した後、Hitz-B52 型は、搬送機器等（搬送台車）により貯蔵架台ごと受入れ区域から貯蔵区域の所定の貯蔵場所まで移送され、貯蔵架台と貯蔵建屋の床面を固縛して貯蔵される。

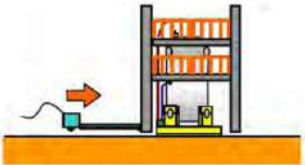
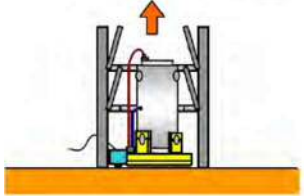
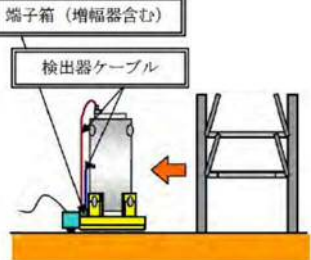
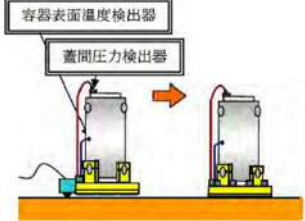
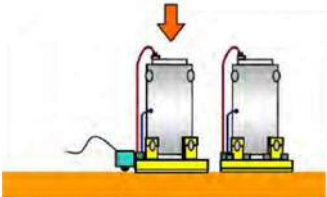
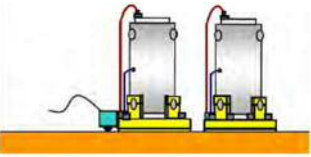
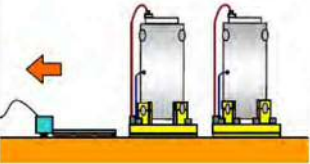
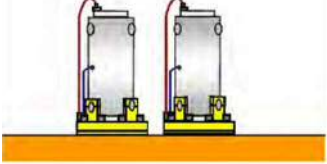
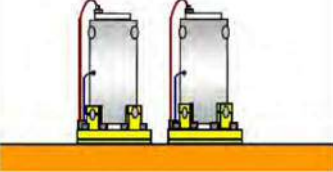
なお、別紙 1-1 図には、使用済燃料貯蔵施設での Hitz-B52 型の受入れから貯蔵場所への設置までの工程を記載しているが、使用済燃料貯蔵施設から搬出される場合においては、本工程と逆の手順にて取り扱うこととなる。

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
1-1	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 輸送車両上にて外観検査、線量当量率測定、表面密度測定等実施 	1-2	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク水平つり上げ 
1-3	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 	1-4	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 
1-5	<ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ 	1-6	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 
1-7	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 		

別紙 1-1 図 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (1/3)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
2-1	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体の取外し 	2-2	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台をたて起こし架台付近に設置 	2-3	<ul style="list-style-type: none"> つり具主アームを上部トラニオンに取り付け 
2-4	<ul style="list-style-type: none"> 主アームの外れ防止金具を取り付けた後、キャスクをたて起こし 	2-5	<ul style="list-style-type: none"> トラニオン押さえを取り外した後、キャスクをつり上げ 	2-6	<ul style="list-style-type: none"> つり上げ高さを制限しながら横行・下降操作を繰り返し、貯蔵架台上まで移送 
2-7	<ul style="list-style-type: none"> キャスクを貯蔵架台に着床、固定 	2-8	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台下部に搬送台車を挿入 	2-9	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上 
2-10	<ul style="list-style-type: none"> 旋回動作、走行動作により検査架台へ移送 	2-11	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け 	2-12	<ul style="list-style-type: none"> 三次蓋（輸送用）の取外し 

別紙 1-1 図 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (2/3)

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
3-1	<ul style="list-style-type: none"> ・蓋間圧力検出器、キャスク表面温度検出器取り付け ・気密漏えい検査 ・貯蔵架台に搬送台車挿入 ・貯蔵架台固定ボルト取り外し 	3-2	<ul style="list-style-type: none"> ・搬送台車浮上 	3-3	<ul style="list-style-type: none"> ・検査架台からキャスク拔出し 
3-4	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵場所まで移送 	3-5	<ul style="list-style-type: none"> ・搬送台車の着床・貯蔵架台の設置 	3-6	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台の固定ボルト一部取り付け 
3-7	<ul style="list-style-type: none"> ・搬送台車の抜取り 	3-8	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵架台の固定ボルト取り付け・確認 	3-9	<ul style="list-style-type: none"> ・表面温度及び蓋間圧力端子箱へケーブル接続 ・二重蓋間圧力検査、表面温度検査、据付検査 

別紙 1-1 図 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (3/3)

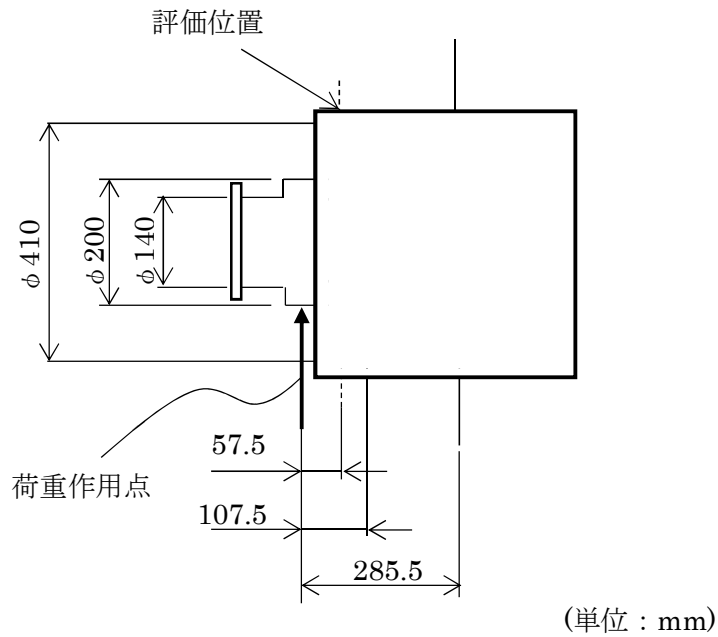
Hitz-B52 型の落下及び転倒事象時に発生する衝撃加速度
又は Hitz-B52 型への重量物落下事象時の衝撃荷重について

1. 概要

使用済燃料貯蔵施設における Hitz-B52 型の取扱いに起因し、Hitz-B52 型の基本的安全機能に影響を及ぼすことが想定される事象（以下「想定事象」という。）として、以下を選定している。

- (1) 仮置架台への水平落下
- (2) 衝撃吸収材への垂直落下
- (3) 貯蔵架台への垂直落下
- (4) たて起こし架台への転倒衝突
- (5) 衝撃吸収材への転倒衝突
- (6) 三次蓋の二次蓋への落下

各事象において Hitz-B52 型に生じる衝撃加速度又は衝撃荷重の算出過程について記載する。



別紙 2-1 図 トラニオン形状図

(ii) 衝撃加速度の算出

仮置架台への水平落下では、上部トラニオン（2 個）及び下部トラニオン（2 個）の塑性崩壊により発生する衝撃力が作用する。したがって、Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度 α (G) は以下の式により求まる。

$$\alpha = \frac{4 \times F_s}{m \times g}$$

ここで、

F_s : トラニオンに生じる最大反力 = 6.713×10^6 N

m : Hitz-B52 型の質量(水平吊上時) = 1.303×10^5 kg

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

である。

したがって、 $\alpha = 22$ G と算出される。

(2) 衝撃吸収材への垂直落下

a. 評価事象

Hitz-B52 型は、たて起こし架台上でたて起こされた後、衝撃吸収材の上方を通過し、貯蔵架台の上方に移送される。衝撃吸収材の上方を通過中に Hitz-B52 型が落下した場合、金属キャスク本体の底部が衝撃吸収材へ衝突する。ここでは、Hitz-B52 型が衝撃吸収材に衝突した場合の衝撃加速度について算出する。

b. 評価条件

金属キャスク本体の底部が衝撃吸収材と衝突する。なお、たて起こし架台近傍の床面に敷設される衝撃吸収材の圧潰応力を 3 MPa とする。

c. 衝撃加速度の算出

衝撃吸収材との衝突により Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度 α (G) は、Hitz-B52 型の落下エネルギーが衝撃吸収材の変形によって全て吸収されるものとして以下の式により算出される。

$$\alpha = \frac{\sigma \times A}{m \times g}$$

ここで、

σ : 衝撃吸収材の圧潰応力 = 3 MPa

A : Hitz-B52 型の衝撃吸収材への貫入面積 = $\pi/4 \times d^2$ (mm²)

d : Hitz-B52 型の外径=2410mm ※底部外径に対して保守的に設定

m : Hitz-B52 型の質量 (垂直吊上時) = 1.176×10^5 kg

g : 重力加速度= 9.80665 m/s²

である。

したがって、 $\alpha = 12$ G と算出される。

(3) 貯蔵架台への垂直落下

a. 評価事象

Hitz-B52 型は、たて起こし架台上でたて起こされた後、衝撃吸収材の上方を通過し、貯蔵架台の上方に移送される。Hitz-B52 型が貯蔵架台の上方に位置する際に落下した場合、金属キャスクの底部が貯蔵架台へ衝突する。ここでは、Hitz-B52 型が貯蔵架台に衝突した場合の衝撃加速度について算出する。

b. 評価条件

金属キャスク本体の底部が貯蔵架台と衝突する。なお、貯蔵架台上方における Hitz-B52 型の吊上げ高さは貯蔵架台上面から 100 mm とする。

c. 衝撃加速度の算出

貯蔵架台との衝突により Hitz-B52 型に作用する加速度 α (G) は、Hitz-B52 型の落下エネルギーが貯蔵架台の変形によって全て吸収されるものとして以下の式により算出される。

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \times v^2}{m \times g^2}}$$

ここで、

K : 貯蔵架台のバネ定数 = 1.23×10^{10} N/m

v : Hitz-B52 型の落下速度 = $\sqrt{2 \times g \times H} = 1.4$ m/s

H : 吊上げ高さ = 100 mm = 0.1 m

m : Hitz-B52 型の質量 (垂直吊上時) = 1.176×10^5 kg

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

である。

したがって、 $\alpha = 48$ G と算出される。

(4) たて起こし架台への転倒衝突

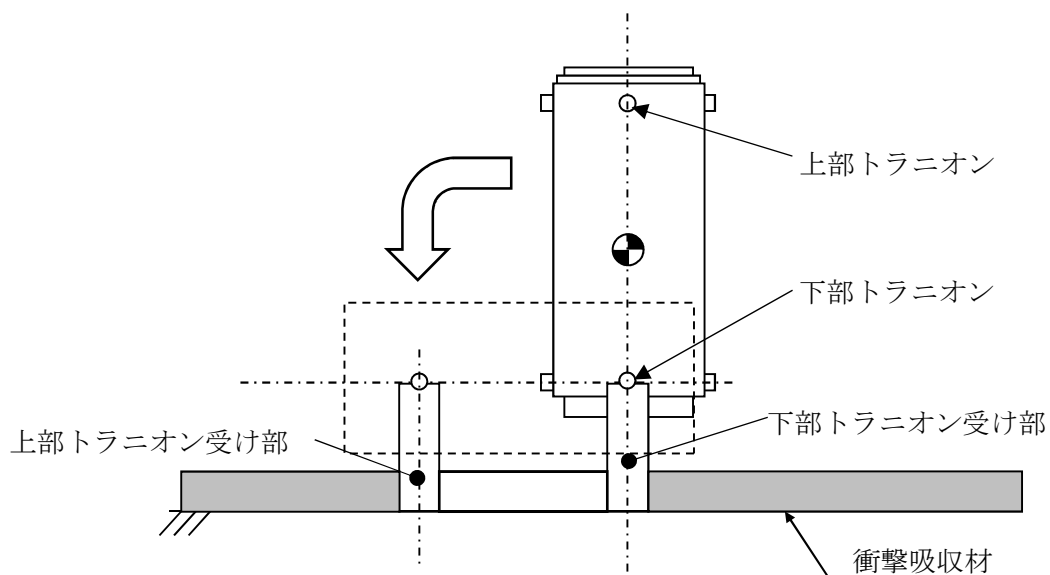
a. 評価事象

Hitz-B52 型は、仮置架台からたて起こし架台へ移送され、緩衝体を取り外された後、下部トラニオンを回転中心とし、上部トラニオンを使用してたて起こされる。

Hitz-B52 型がたて起こし架台側へ転倒した場合、上部トラニオンがたて起こし架台のトラニオン受け部へ衝突する。ここでは、たて起こし架台のトラニオン受け部へ衝突する際に Hitz-B52 型に発生する衝撃加速度について算出する。

b. 評価条件

Hitz-B52 型が直立状態からたて起こし架台へ転倒し、上部トラニオンとたて起こし架台のトラニオン受け部が衝突するものとする（別紙 2-2 図参照）。



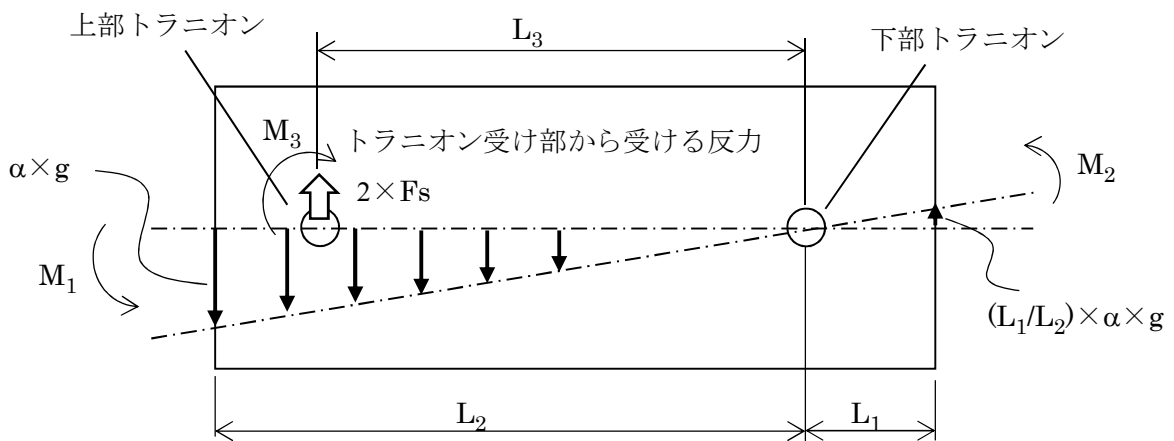
別紙 2-2 図 たて起こし架台への転倒衝突

c. 衝撃加速度の算出

仮置架台への水平落下時と同様にたて起こし架台のトラニオン受け部から受ける反力 F_s を求める。下部トラニオンを回転中心としたたて起こし架台への転倒衝突では、上部トラニオン受け部（2箇所）にそれぞれ荷重 F_s が作用するため、下部トラニオンを回転中心として回転運動するモードにおいてモーメントが釣り合った状態になる。この時の状態図を別紙 2-3 図に示す。

別紙 2-3 図において、 M_1 及び M_2 は下部トラニオンを支点として反時計回り、 M_3 は時計回りであるから、 $M_1 + M_2 = M_3$ となる。

- M_1 : 慣性力によるモーメント（蓋側）
- M_2 : 慣性力によるモーメント（底側）
- M_3 : 荷重（ $2 \times F_s$ ）の作用によるモーメント
- L_1 : Hitz-B52 型底面から下部トラニオンまでの長さ
- L_2 : Hitz-B52 型上面から下部トラニオンまでの長さ
- L_3 : 上部トラニオンから下部トラニオンまでの長さ
- F_s : 上部トラニオンがたて起こし架台の下部トラニオン受け部から受ける反力
- α : 蓋部に生じる衝撃加速度
- g : 重力加速度



別紙 2-3 図 転倒衝突時のモーメント状態図

Hitz-B52 型の質量分布が軸方向に一様であると仮定すると、モーメントは以下の関係にある。

$$\begin{aligned} \text{モーメント} &= \text{距離} \times \text{力} \\ &= \text{距離} \times (\text{衝撃加速度} \times \text{質量}) \\ &= \text{距離} \times (\text{衝撃加速度} \times \text{分布荷重} \times \text{分布長さ}) \end{aligned}$$

また、Hitz-B52 型に生じる衝撃加速度の分布は蓋部を最大として下部トラニオンで 0 になるように直線的に変化するので、下部トラニオンを頂点とした三角形となる。このため、力として全質量に蓋部の衝撃加速度の 1/2 を乗じる。また、距離（モーメントアーム）は全ての力が三角形の重心で作用した場合と等価であるので、蓋部で生じる衝撃加速度を α (G)、質量を m (kg/mm)、分布長さを L_2 (mm) とすると、蓋側に発生するモーメント M_1 は以下のとおりとなる。

$$M_1 = \frac{2}{3} \times L_2 \times \left(\frac{\alpha \times g}{2} \times \frac{m}{(L_1 + L_2)} \times L_2 \right)$$

底側に発生するモーメント M_2 も M_1 と同様に、以下のとおりとなる。

$$M_2 = \frac{2}{3} \times L_1 \times \left(\frac{L_1}{L_2} \times \frac{\alpha \times g}{2} \times \frac{m}{(L_1 + L_2)} \times L_1 \right)$$

上部トラニオンに発生するモーメント M_3 は、 $2 \times Fs$ の荷重が距離 L_3 の位置で作用しているので、以下のとおりとなる。

$$M_3 = 2 \times Fs \times L_3$$

以上の式より、蓋部に生じる衝撃加速度 α (G) は次式のとおりとなる。

$$\alpha = \frac{6 \times Fs \times L_3}{\frac{m}{(L_1 + L_2)} \times g \times (L_2^2 + L_1^3/L_2)}$$

ここで、

- m : Hitz-B52 型の質量 = 1.195×10^5 kg
- M_3 : 荷重 ($2 \times Fs$) の作用によるモーメント
- L_1 : Hitz-B52 型底面から下部トラニオンまでの長さ = 544 mm

L_2 : Hitz-B52 型上面から下部トラニオンまでの長さ = 4922 mm

L_3 : 上部トラニオンから下部トラニオンまでの長さ = 4233 mm

F_s : 上部トラニオンがたて起こし架台の下部トラニオン受け部から受ける反力 = 6.713×10^6 N (別紙 2 2.(1) c.参照)

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

である。

したがって、 $\alpha = 33$ G と算出される。

(5) 衝撃吸収材への転倒衝突

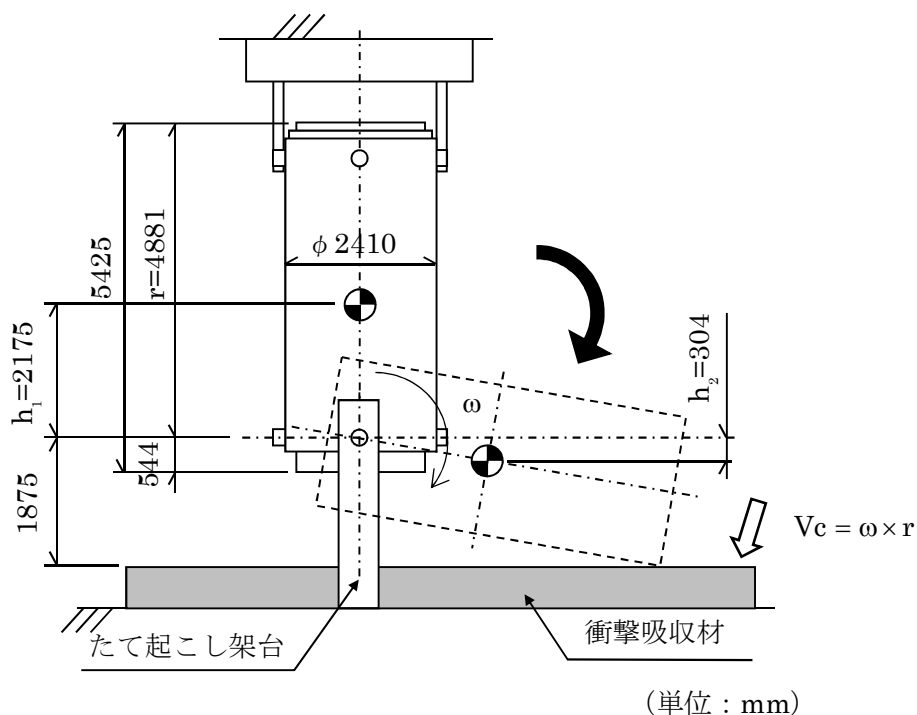
a. 評価事象

Hitz-B52 型は、仮置架台からたて起こし架台へ移送され、緩衝体を取り外された後、下部トラニオンを回転中心とし、上部トラニオンを使用してたて起こされる。

Hitz-B52 型が衝撃吸収材側へ転倒した場合、金属キャスク本体の上部が衝撃吸収材へ衝突する。ここでは、衝撃吸収材へ衝突する際に Hitz-B52 型に発生する衝撃加速度について算出する。

b. 評価条件

Hitz-B52 型は直立状態から衝撃吸収材上面へ転倒するものとし、衝撃吸収材上面から下部トラニオン中心軸までの距離は、1875mm とする（別紙 2-4 図参照）。また、たて起こし架台近傍の床面に敷設される衝撃吸収材の圧潰応力を 3MPa とする。



別紙 2-4 図 衝撃吸収材への転倒衝突

c. 衝撃荷重の算出

(i) 衝突エネルギーEの計算

Hitz-B52 型の位置エネルギー E_p (N・m) が回転系のエネルギーに変換されるものと考え回転速度を求める。ここで、Hitz-B52 型の位置エネルギー E_p (N・m)、回転エネルギー E_t (N・m) 及び運動エネルギー E_m (N・m) は、下式で表わすことができる (別紙 2-4 図参照)。

$$\text{位置エネルギー： } E_p = m \times g \times (h_1 + h_2)$$

$$\text{回転エネルギー： } E_t = \frac{1}{2} \times I \times \omega^2$$

$$\text{運動エネルギー： } E_m = \frac{1}{2} \times m_{\text{eff}} \times V_c^2$$

ここで、

h_1 : 転倒落下前の Hitz-B52 型の重心の下部トラニオン位置からの高さ = 2175 mm

h_2 : 衝撃吸収材への衝突時における Hitz-B52 型の重心の下部トラニオン位置からの高さ = 304 mm

m : Hitz-B52 型の質量 = 1.176×10^5 kg

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

I : 下部トラニオンまわりの慣性モーメント = 8.874×10^5 kg・m²

ω : 角速度 (rad/s)

m_{eff} : Hitz-B52 型の等価質量 (kg)

V_c : Hitz-B52 型が衝撃吸収材に衝突する際の蓋部の速度 (m/s)

$$V_c = \omega \times r$$

r : 下部トラニオンから Hitz-B52 型の上面までの長さ = 4881 mm

である。

以上より、衝撃吸収材への衝突時におけるエネルギーE (N・m) は、 E_p 及び E_m に等しく、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \times m_{\text{eff}} \times V_c^2 \\ &= m \times g \times (h_1 + h_2) \\ &= 2.859 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(ii) 衝撃吸収材への転倒衝突で発生する衝撃加速度と貫入深さの評価

Hitz-B52 型の転倒衝突において、衝撃吸収材に貫入面積 A (m^2) の一様な貫入変形が生じるとすると、蓋部に生じる衝撃加速度 α (m/s^2) は衝撃吸収材の圧潰応力 σ ($= 3\text{MPa}$) 及び Hitz-B52 型の等価質量 m_{eff} (kg) を用いると、下式で表わすことができる。

$$\alpha = \frac{\sigma \times A}{m_{\text{eff}}}$$

また、衝撃吸収材への衝突エネルギー E ($= 2.859 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}$) と衝撃吸収材の圧潰応力 σ の関係より、貫入体積 V (m^3) は、下式で表わすことができる。

$$V = \frac{E}{\sigma}$$

次に、貫入体積 V (m^3) と Hitz-B52 型の幾何学的形状から、貫入深さ D (m) 及び貫入面積 A (m^2) を求める。

1) 貫入深さ D の算出

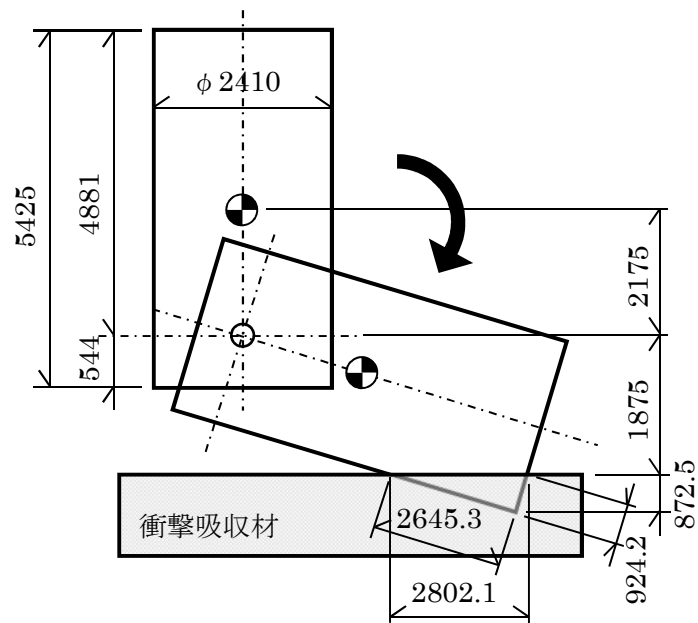
貫入体積 V (m^3) と Hitz-B52 型の幾何学的形状より、貫入深さ D (m) を求めた (別紙 2-5 図参照)。

2) 貫入面積 A の算出

貫入長さ a (mm) 及び貫入幅 b (mm) についても貫入体積 V (m^3) 及び Hitz-B52 型の幾何学的形状から求め、貫入面積 A は、別紙 2-6 図に示す放物線で囲まれる面積として以下の式により求めた。

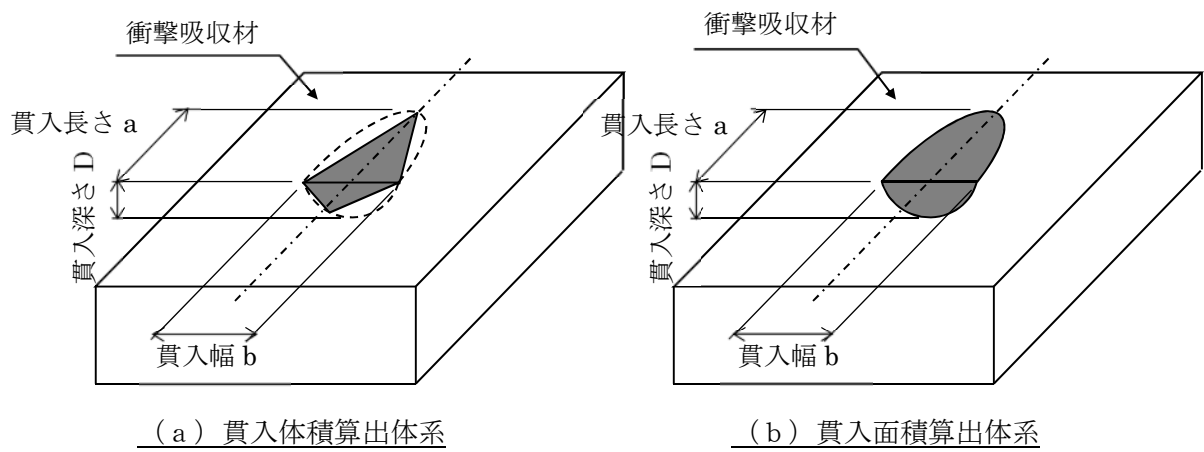
$$\begin{aligned} A &= \frac{2}{3} \times a \times b \\ &= 4.38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

以上より、 $\alpha = 36 \text{ G}$ と算出される。



(単位:mm)

別紙 2-5 図 衝撃吸収材への転倒時における位置関係



(a) 貫入体積算出体系

(b) 貫入面積算出体系

別紙 2-6 図 衝撃吸収材への貫入状況

(6) 三次蓋の二次蓋への落下

a. 評価事象

Hitz-B52 型は貯蔵架台へ設置された後、搬送台車等により検査架台へ移送され、三次蓋が取り外される。三次蓋が取り外される際に、二次蓋上で落下した場合、三次蓋が二次蓋へ衝突する。その場合の Hitz-B52 型の二次蓋に作用する衝撃力について算出する。

b. 評価条件

三次蓋の吊上げ高さを二次蓋上面から 100mm と設定する(別紙 2-7 図参照)。

c. 衝撃荷重の算出

二次蓋を周辺固定の円板として、二次蓋中央に集中荷重が作用するものとする。二次蓋をバネ定数 k のばねとみなし、その変形量からひずみエネルギーを算出する。このひずみエネルギーが位置エネルギーと等しくなる際の衝撃力 P を算出する。

中心に衝撃荷重(集中荷重) P を受ける半径 r の円板中心のたわみ w は、以下のとおり算出される⁽¹⁾。

$$w = \frac{P \times r^2}{16\pi D}$$

ここで、

$$D : \text{板の曲げ剛性 } D = \frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2)} = 8.051 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$E : \text{二次蓋の縦弾性係数} = 2.03 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\nu : \text{ポアソン比} = 0.3$$

$$r : \text{二次蓋ボルト中心径の } 1/2$$

$$h : \text{二次蓋の厚さ} = 163 \text{ mm}$$

弾性範囲内で、この円板はバネ定数 $k = 16\pi D/r^2$ のバネとして考えられるので、円板の全ひずみエネルギー U と位置エネルギーの関係は下式で表わされる。

$$U = \frac{1}{2} P \times w = m \times g \times (H + w)$$

ここで、

たわみ w とエネルギーの関係式を整理し、衝撃荷重 P についてまとめたものが下式で表わされる。

$$P = m \times g \times \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2k \times H}{m \times g}} \right)$$

ここで、

k : バネ定数 = $\frac{16\pi D}{r^2} =$

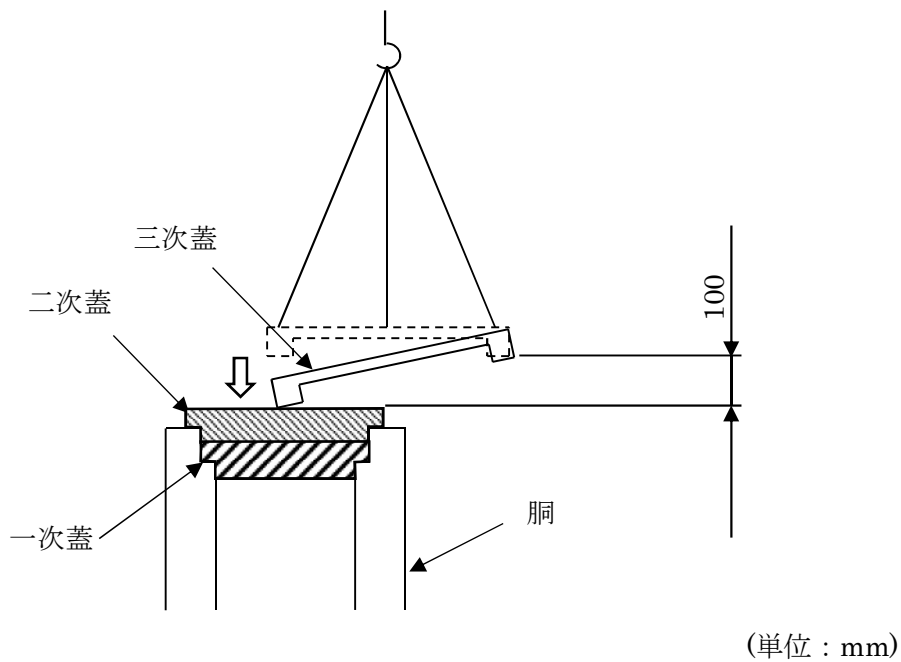
r : 二次蓋ボルト中心径の 1/2 =

m : 三次蓋の質量 = 1.90×10^3 kg

H : 三次蓋吊上げ高さ = 100 mm

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

以上より、 P = N → 4.1×10^6 N と算出される。



別紙 2-7 図 三次蓋の二次蓋への落下

3. まとめ

想定事象において Hitz-B52 型に発生する衝撃加速度又は衝撃荷重について算出した結果を別紙 2-1 表に示す。

別紙 2-1 表 Hitz-B52 型の落下及び転倒事象時に発生する衝撃加速度又は衝撃荷重

No.	想定事象	衝撃加速度又は衝撃荷重
a	仮置架台への水平落下	22G
b	衝撃吸収材への垂直落下	12G
c	貯蔵架台への垂直落下	48G
d	たて起こし架台への転倒衝突	33G
e	衝撃吸収材への転倒衝突	36G
f	三次蓋の二次蓋への落下	4.1×10^6 N

4. 参考文献

- (1) (一社) 日本機械学会、「機械工学便覧 α 3 編 材料力学」(2007 年)

構造解析コード (ABAQUS) による密封容器の構造強度解析条件

1. 概要

Hitz-B52 型の貯蔵架台への垂直落下、衝撃吸収材への転倒衝突及び三次蓋の二次蓋への落下における密封容器の構造強度解析条件を示す。

2. 解析条件

(1) 解析モデル

Hitz-B52 型の密封容器の解析は、有限要素法による解析コード (ABAQUS) を使用する。解析モデルを別紙 3-1 図～別紙 3-6 図に示す。

Hitz-B52 型が貯蔵架台へ垂直落下及び衝撃吸収材へ転倒衝突する事象では三次蓋が取り付けられているが、貯蔵架台への垂直落下事象においては三次蓋の取り付く容器上部への影響はほとんどなく、また衝撃吸収材への落下に関しても、密封部近傍の胴が直接衝撃吸収材に衝突することになるため、三次蓋が胴及び一次蓋の密封部に及ぼす影響は小さいと考えられることから、これらの事象において三次蓋はモデル化せず解析を実施する。

解析モデルは、Hitz-B52 型の胴、底板、外筒、一次蓋、二次蓋等によりモデル化される。蓋ボルト以外の構成部材にはソリッド及びシェル要素を、また蓋ボルトについては、頭部にはソリッド要素を、ボルト部にはビーム要素を適用した。モデル寸法は、公称寸法を用いた。一次蓋、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。なお、使用済燃料集合体及びバスケット (以下「内部収納物」という。) はモデル化せず胴内部に作用する荷重として考慮した。また、解析モデルは三次元 360° モデルとした。

Hitz-B52 型の構成部材の物性値として入力する縦弾性係数及び線膨張係数には、発電用原子力設備規格 材料規格 2012 年版 (2013 年追補含む) の Part3 第 2 章表 1 及び表 2 に示される値を使用した。

(2) 荷重条件

a. 貯蔵架台への垂直落下の荷重条件

荷重条件を別紙 3-7 図に示す。

(i) 慣性力

貯蔵架台への垂直落下時に発生する加速度として、別紙 3-7 図に示すとおり、金属キャスク本体の底部が貯蔵架台へ衝突する加速度が 48G となるよう入力し、その加速度による自重の慣性力を考慮する。

(ii) 圧力荷重

圧力荷重として、胴内圧、一次蓋—二次蓋間の圧力、中性子遮蔽材部（蓋部、側部、底部）の圧力を考慮する。

(iii) 機械的荷重

貯蔵架台への垂直落下時に発生する加速度による内部収納物の慣性力を機械的荷重として考慮する。また、ボルトの初期締付力、一次蓋及び二次蓋の金属ガスケットの締付反力を機械的荷重として考慮する。

(iv) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃とする。貯蔵架台への垂直落下時には、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

1

b. 衝撃吸収材への転倒衝突

荷重条件を別紙 3-8 図に示す。

(i) 反力

金属キャスクは転倒により衝撃吸収材に 872.5mm 埋まって静止することとし、金属キャスク蓋部近傍加速度が 36G となるように反力分布を設定する。

(ii) 圧力荷重

圧力荷重として、胴内圧、一次蓋—二次蓋間の圧力、中性子遮蔽材部（蓋部、底部）の圧力を考慮する。

(iii) 機械的荷重

衝撃吸収材への転倒衝突時に発生する加速度による内部収納物の慣性力を機械的荷重として考慮する。また、衝撃吸収材からの反力を機械的荷重として考慮する。

さらに、ボルトの初期締付力、一次蓋及び二次蓋の金属ガスケットの締付反力を機械的荷重として考慮する。

(iv) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃とする

1

る。衝撃吸収材への転倒衝突時においては、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

c. 三次蓋の二次蓋への落下

荷重条件を別紙 3-9 図に示す。

(i) 慣性力

Hitz-B52 型がたて置きの状態を考慮し、別紙 3-9 図に示すとおり、モデル化した構成部材に対して、鉛直方向 1G を設定し、その加速度による自重の慣性力を設定する。

(ii) 圧力荷重

圧力荷重として、胴内圧、一次蓋—二次蓋間の圧力、中性子遮蔽材部（蓋部、側部、底部）の圧力を考慮する。

(iii) 機械的荷重

三次蓋の二次蓋への落下時に生じる荷重 4.1×10^6 N を二次蓋中央に作用させる。また、ボルトの初期締付力、一次蓋及び二次蓋の金属ガスケットの締付反力を機械的荷重として考慮する。

(iv) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20°C とする。三次蓋の二次蓋への落下時においては、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

d. 仮置架台への水平落下の荷重条件

荷重条件を別紙 3-10 図に示す。

(i) 慣性力

モデル化した構成部材に対して、仮置架台への水平落下時に発生する加速度としては、水平姿勢で下方向（180° 側）に 22G を考慮し、その加速度による自重の慣性力を考慮する。

(ii) 圧力荷重

圧力荷重として、胴内圧、一次蓋—二次蓋間の圧力、中性子遮蔽材部（蓋部、側部、底部）の圧力を考慮する。

1

1

(iii) 機械的荷重

仮置架台への水平落下時に発生する下方向（180° 側）22G の加速度による内部収納物、中性子遮蔽材（蓋部、底部）の慣性力を機械的荷重として考慮する。また、ボルトの初期締付力、一次蓋及び二次蓋の金属ガスケットの締付反力を機械的荷重として考慮する。

(iv) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃ とする。仮置架台への水平落下時には、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

e. たて起こし架台への転倒衝突の荷重条件
荷重条件を別紙 3-11 図に示す。

(i) 慣性力

モデル化した構成部材に対して、たて起こし架台への転倒衝突時に発生する加速度としては、本来は蓋部の加速度が最大となる回転衝突であるが、保守的にモデル全体に、水平姿勢で下方向（180° 側）の加速度が負荷されるものとする。したがって水平姿勢で下方向（180° 側）に 33G を考慮し、その加速度による自重の慣性力を考慮する。

(ii) 圧力荷重

圧力荷重として、胴内圧、一次蓋—二次蓋間の圧力、中性子遮蔽材部（蓋部、側部、底部）の圧力を考慮する。

(iii) 機械的荷重

たて起こし架台への転倒衝突時に発生する下方向（180° 側）33G の加速度による内部収納物、中性子遮蔽材（蓋部、側部、底部）の慣性力を機械的荷重として考慮する。また、ボルトの初期締付力、一次蓋及び二次蓋の金属ガスケットの締付反力を機械的荷重として考慮する。

(iv) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃ とする。たて起こし架台への転倒衝突時には、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

(3) 境界条件

a. 貯蔵架台への垂直落下時

境界条件を別紙 3-1012 図に示す。

境界条件として、Hitz-B52 型と貯蔵架台の衝突面であるキャスク本体の底面の変位を拘束する。

1

b. 衝撃吸収材への転倒衝突時

境界条件を別紙 3-1113 図に示す。

境界条件として、転倒衝突時の回転中心となる 1 対の下部トラニオンの変位を拘束する。

1

c. 三次蓋の二次蓋への落下時

境界条件を別紙 3-1012 図に示す。

境界条件として、Hitz-B52 型と貯蔵架台の接続面であるキャスク本体の底面の変位を拘束する。

1

d. 仮置架台への水平落下時

境界条件を別紙 3-14 図に示す。

境界条件として、Hitz-B52 型と仮置架台の衝突面である上部及び下部トラニオンの変位を拘束する。

1

e. たて起こし架台への転倒衝突時

境界条件を別紙 3-14 図に示す。

境界条件として、Hitz-B52 型と仮置架台の衝突面である上部トラニオンに加え、下部トラニオンの変位も拘束する。これは、本来は下部トラニオンを回転中心とした上部トラニオンのみの衝突であるが、保守的に水平落下の条件と同様とし、全体に転倒衝突時の蓋部の加速度を負荷するためである。

(4) 設計基準

金属キャスク構造規格 MCD-1311、MCD-1317、MCD-1318 及び MCD-1321 に示される供用状態 D の設計基準に基づき以下のとおりとする。

a. 一次蓋（シール部除く）

一次蓋（材質：）に発生する応力強さが以下を満足すること。

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

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

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

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

$P_L + P_b$: 一次膜+一次曲げ応力強さ

S_m : 設計温度(一次蓋 : 120°C)における設計応力強さ

S_u : 設計温度(一次蓋 : 120°C)における設計引張強さ

b. 胴 (シーリング部除く)

胴 (材質 :) に発生する応力強さが以下を満足すること。

$$P_m \leq 2/3S_u$$

$$P_L \leq S_u$$

$$P_L + P_b \leq S_u$$

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

$P_L + P_b$: 一次膜+一次曲げ応力強さ

S_u : 設計温度(胴 125°C、底板 150°C)における設計引張強さ

また、胴の軸方向に圧縮荷重を受ける場合に発生する圧縮応力が以下を満足すること。

$$\sigma_c (\text{一次}) \leq \text{MIN}[1.5S_m, 1.5B]$$

ここで、

S_m : 設計温度(胴 125°C、底板 150°C)における設計応力強さ

B : 材料規格に示される材料の物性値

c. 一次蓋シーリング部及び胴シーリング部

一次蓋シーリング部 (材質 :) 及び胴シーリング部 (材質 :) に発生する応力強さが以下を満足すること。

$$P_m \leq S_y$$

$$P_L + P_b \leq S_y$$

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

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

$P_L + P_b$: 一次膜+一次曲げ応力強さ

$P_L + P_b + Q$: 一次+二次応力強さ

S_y : 設計温度(一次蓋 : 120°C、胴 125°C、底板 150°C)における設計降伏点

d. 一次蓋ボルト

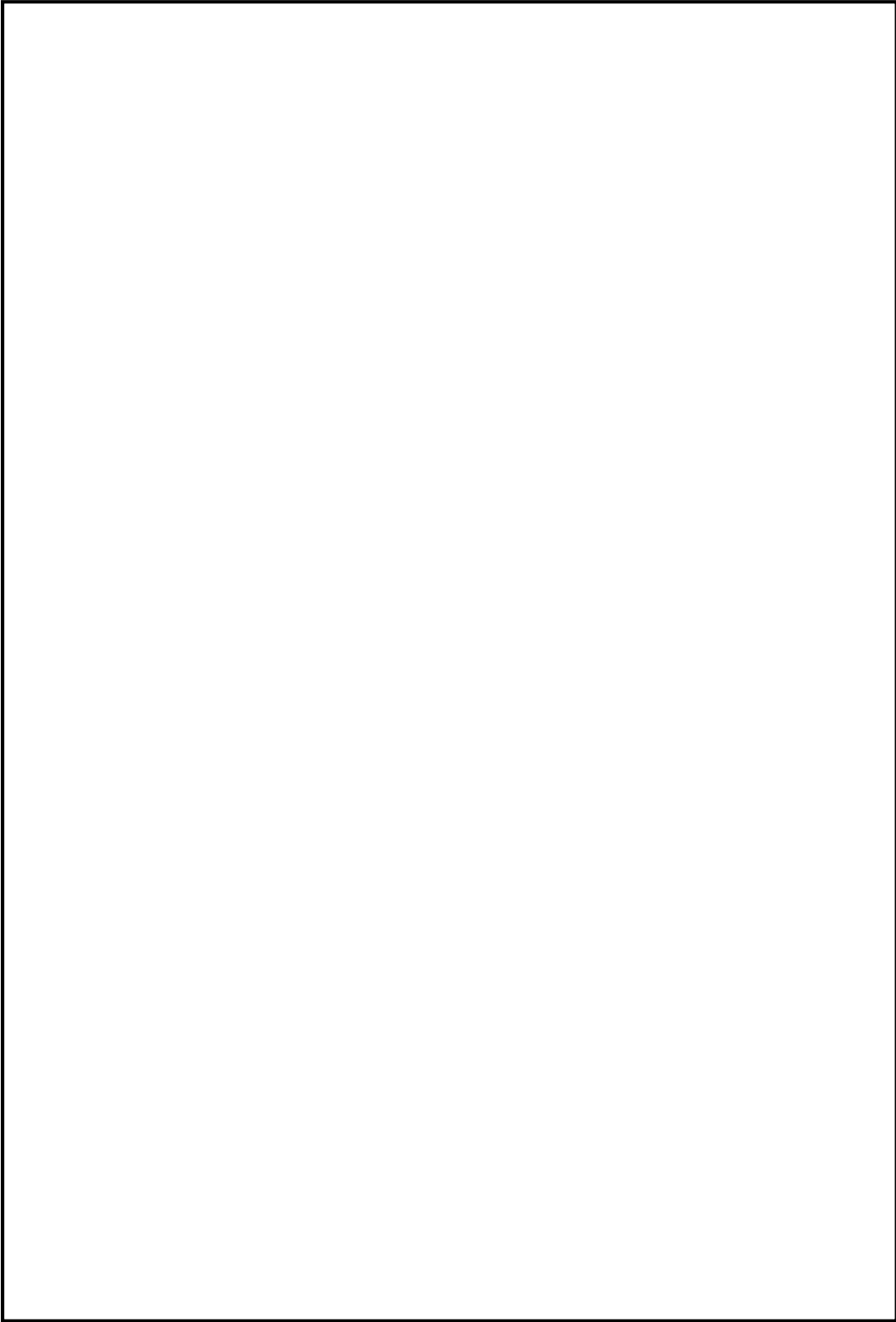
一次蓋ボルト (材質 :) に発生する各応力が以下を満足すること。

(平均引張応力) $\leq S_y$

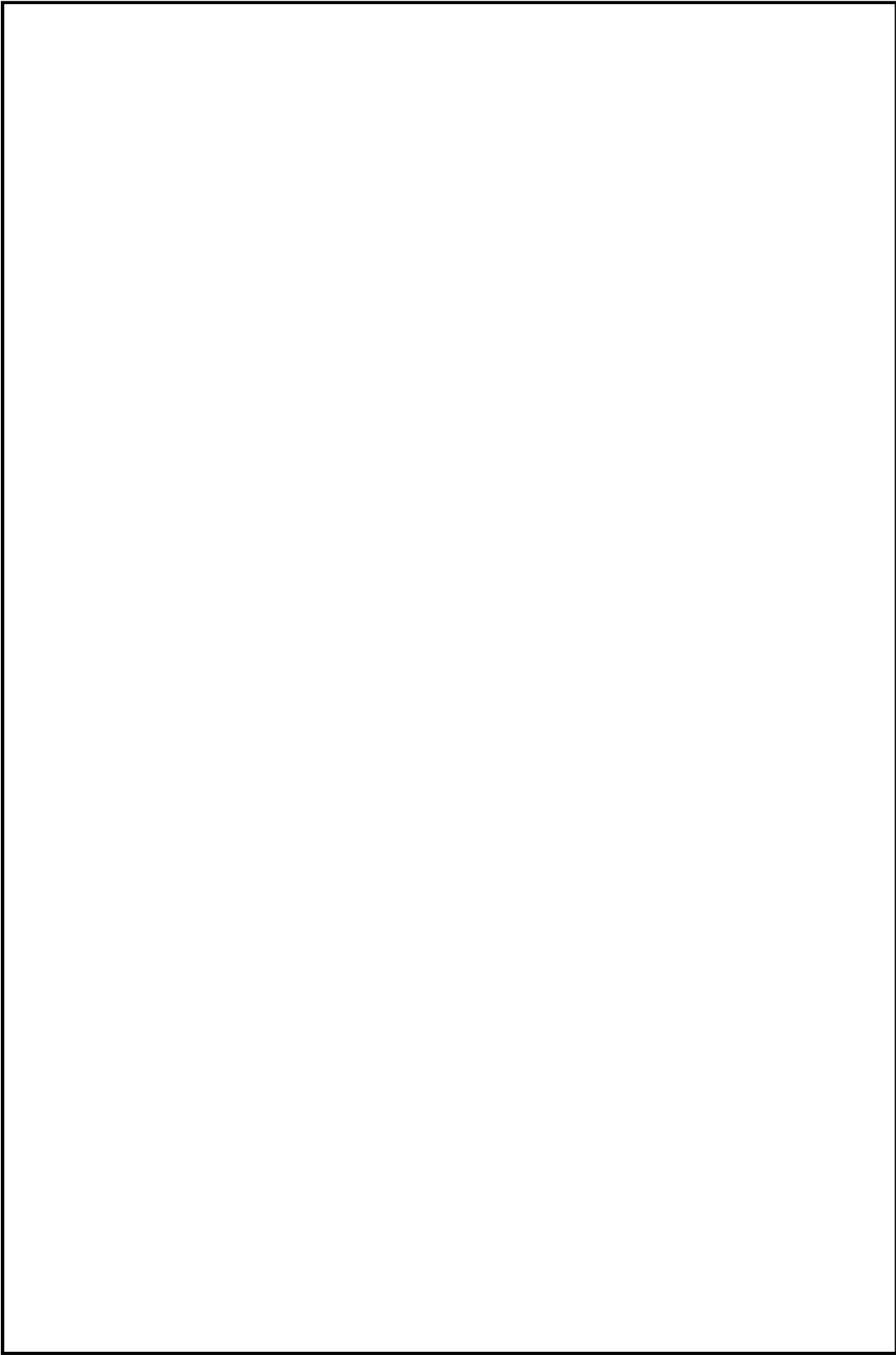
(平均引張応力+曲げ応力) $\leq S_y$

ここで、

S_y : 設計温度 (一次蓋ボルト : 100°C) における設計降伏点



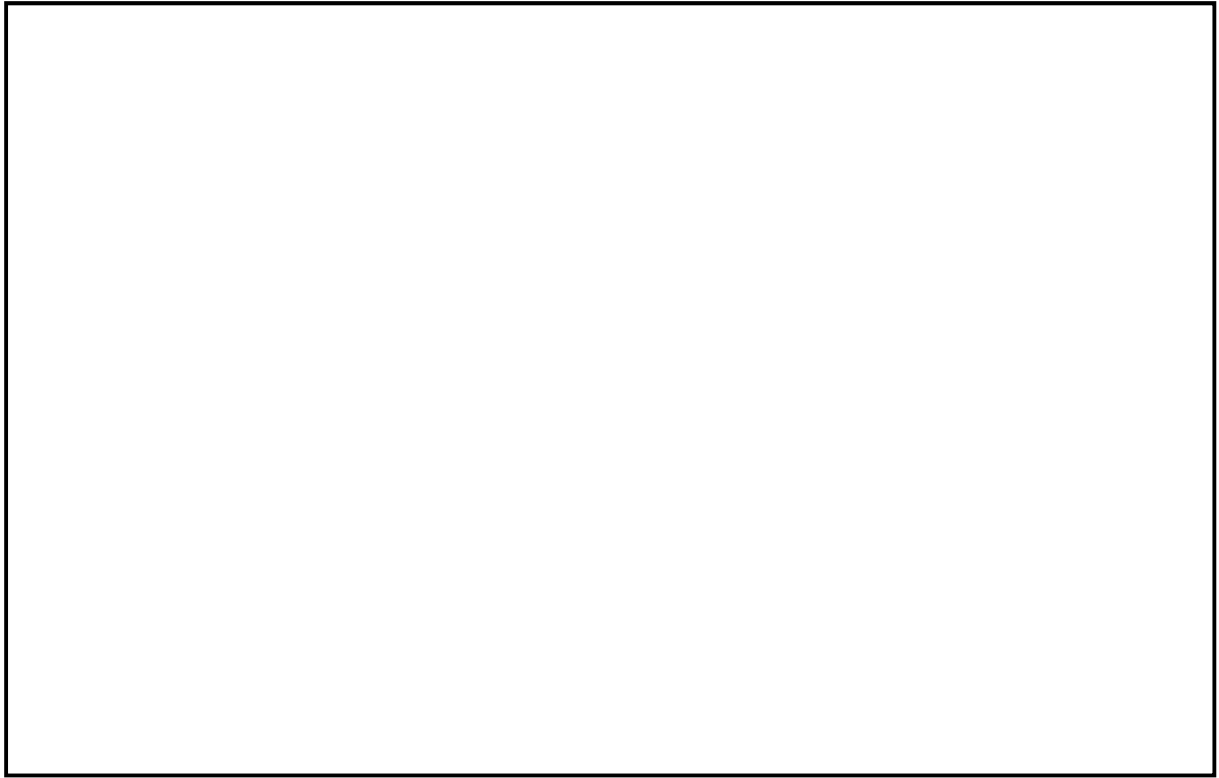
別紙 3-1 図 密封容器評価用解析モデル（全体図鳥瞰図その 1）



別紙 3-2 図 密封容器評価用解析モデル（全体鳥瞰図その 2）

別紙 3-9

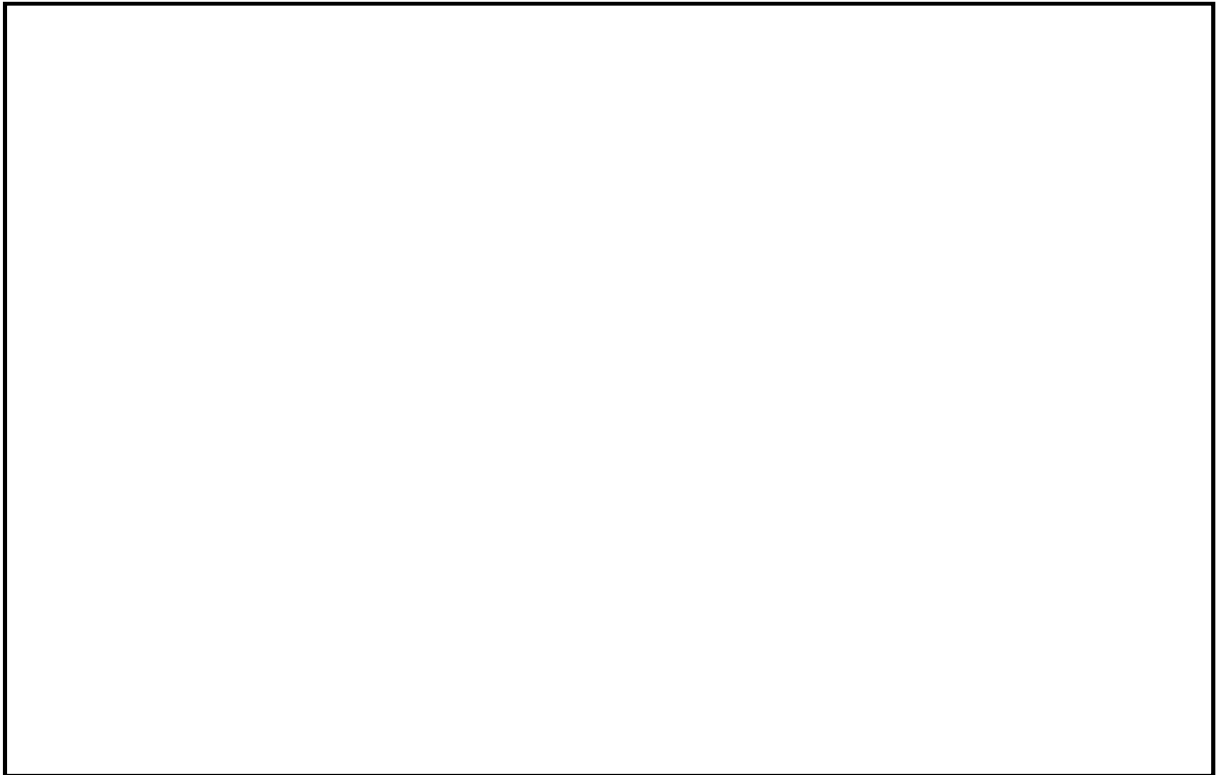
内は商業機密のため、非公開とします。



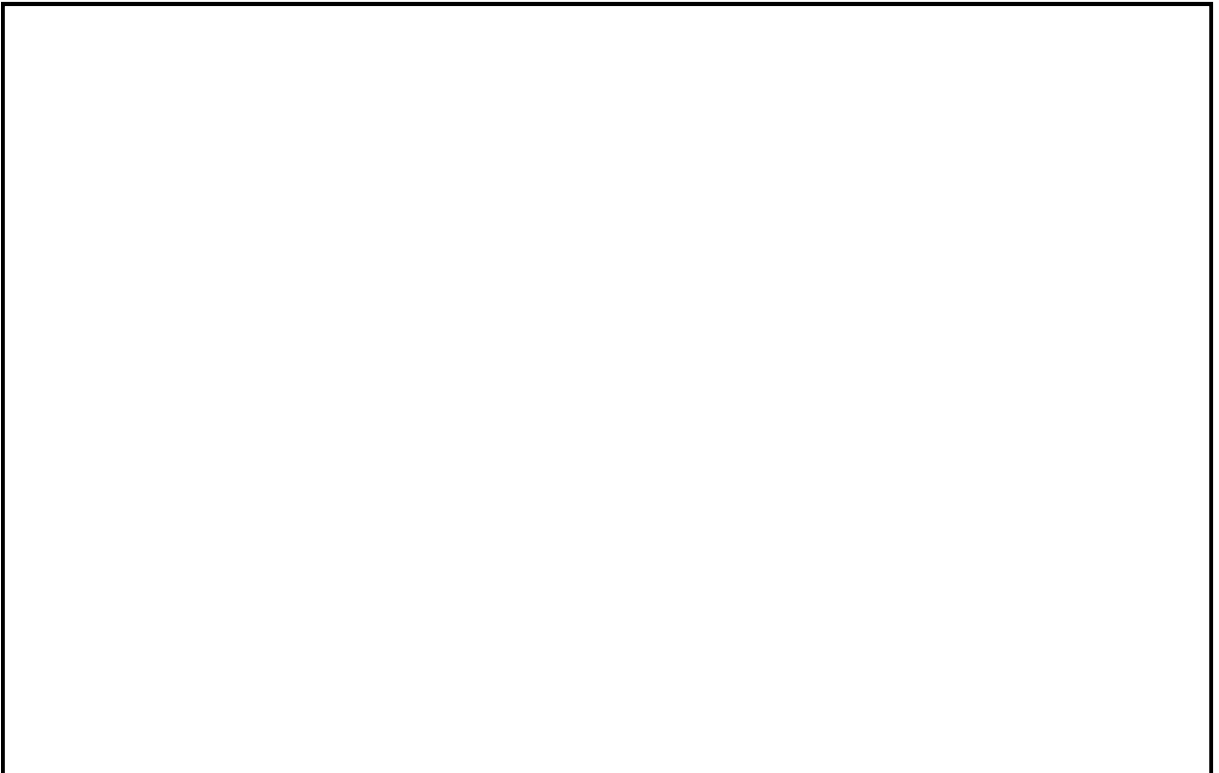
別紙 3-3 図 密封容器評価用解析モデル（上部詳細図）



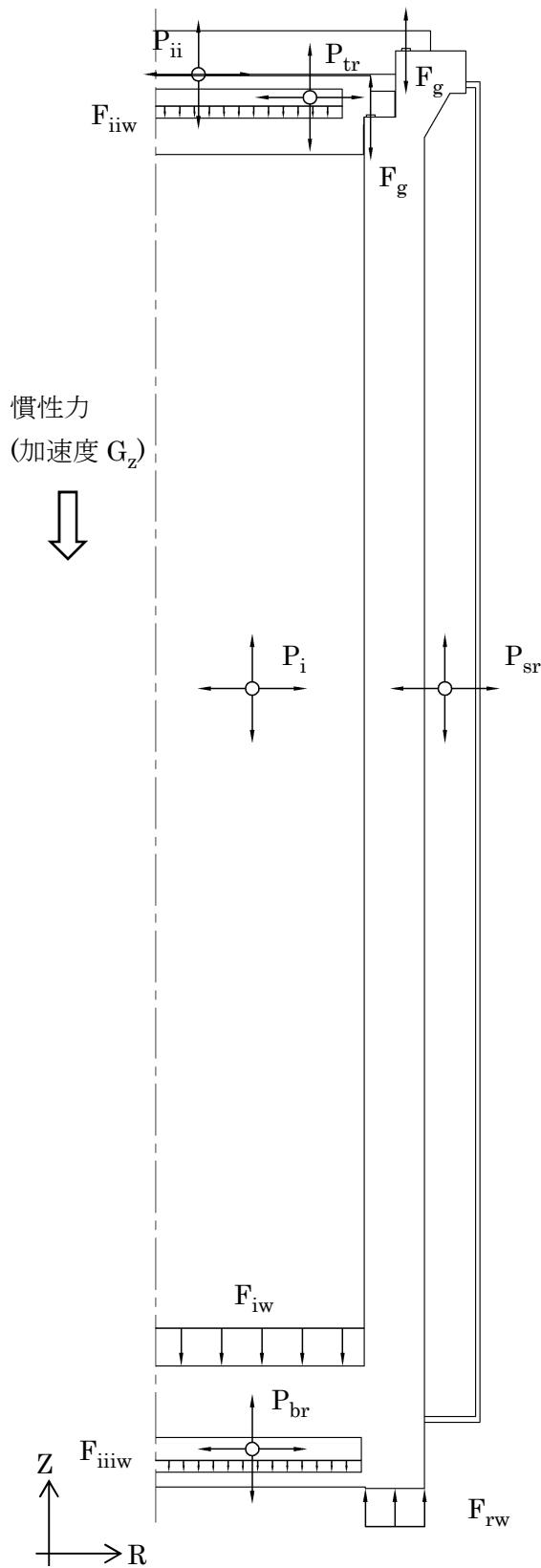
別紙 3-4 図 密封容器評価用解析モデル（上部詳細図、二次蓋非表示）



別紙 3-5 図 密封容器評価用解析モデル（上部詳細図、一次蓋及び二次蓋非表示）

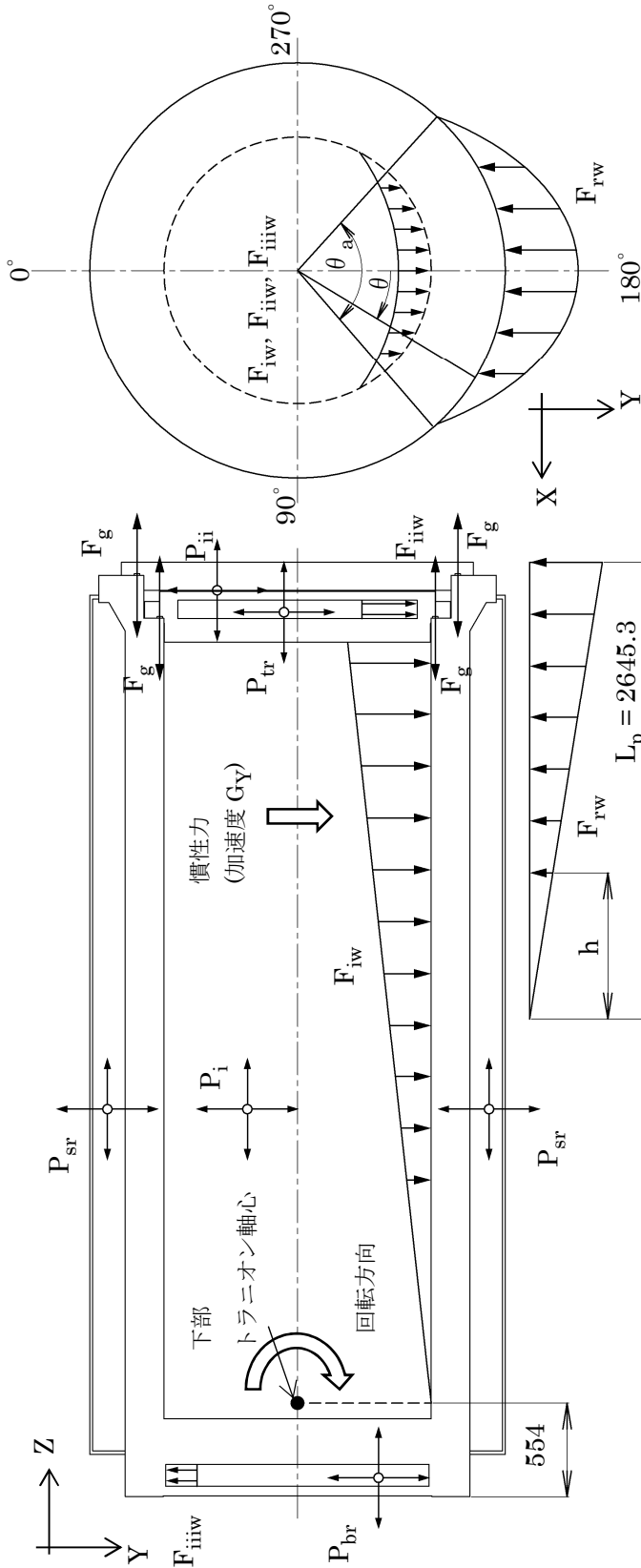


別紙 3-6 図 密封容器評価用解析モデル（下部詳細図）



慣性加速度(Z 方向)	$G_z = -471.00 \text{ [m/s}^2\text{]}$
洞内内圧	$P_i = -0.101325 \text{ [MPa G]}$
一次蓋—二次蓋間圧力	$P_{ii} =$ <input type="text"/>
側部中性子遮蔽材部圧力	$P_{sr} =$ <input type="text"/>
蓋部中性子遮蔽材部圧力	$P_{tr} =$ <input type="text"/>
底部中性子遮蔽材部圧力	$P_{br} =$ <input type="text"/>
ガスケット反力(等分布荷重)	$F_g =$ <input type="text"/>
内部収納物慣性力 (等分布荷重)	$F_{iw} =$ <input type="text"/>
蓋部中性子遮蔽材慣性力(等分布荷重)	$F_{iiw} =$ <input type="text"/>
底部中性子遮蔽材慣性力(等分布荷重)	$F_{iiiw} =$ <input type="text"/>
支持面反力(等分布荷重)	$F_{rw} =$ <input type="text"/>
熱荷重	温度分布：貯蔵時

別紙 3-7 図 貯蔵架台への垂直落下時の荷重条件



慣性加速度(Z 方向)

$$G_Z = 354.00 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

胴内内圧

$$P_i = -0.101325 \text{ [MPa G]}$$

一次蓋—二次蓋間圧力

$$P_{ii} = \boxed{}$$

側部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{sr} = \boxed{}$$

蓋部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{tr} = \boxed{}$$

底部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{br} = \boxed{}$$

ガスケット反力(等分布荷重)

$$F_g = \boxed{}$$

内部収納物慣性力 (偏分布荷重、最大)

$$F_{iw} = \boxed{}$$

蓋部中性子遮蔽材慣性力

(偏分布荷重、最大)

$$F_{iiw} = \boxed{}$$

底部中性子遮蔽材慣性力

(偏分布荷重、最大)

$$F_{iiiw} = \boxed{}$$

衝撃吸収材反力(偏分布荷重、最大)

$$F_{rw} = \boxed{}$$

熱荷重

温度分布：貯蔵時

※内部収納物の慣性力

キャスク軸方向：線形分布

キャスク周方向：cos 分布(範囲 180°)

※蓋部・底部中性子遮蔽材慣性力

キャスク軸方向：等分布

キャスク周方向：cos 分布(範囲 180°)

※衝撃吸収材反力

キャスク軸方向：線形分布

キャスク周方向：cos 分布(範囲 θ_a)

$$\theta_a = 2 \cos^{-1}[(R_0 - d_p \cdot h/L_p)/R_0]$$

ただし、

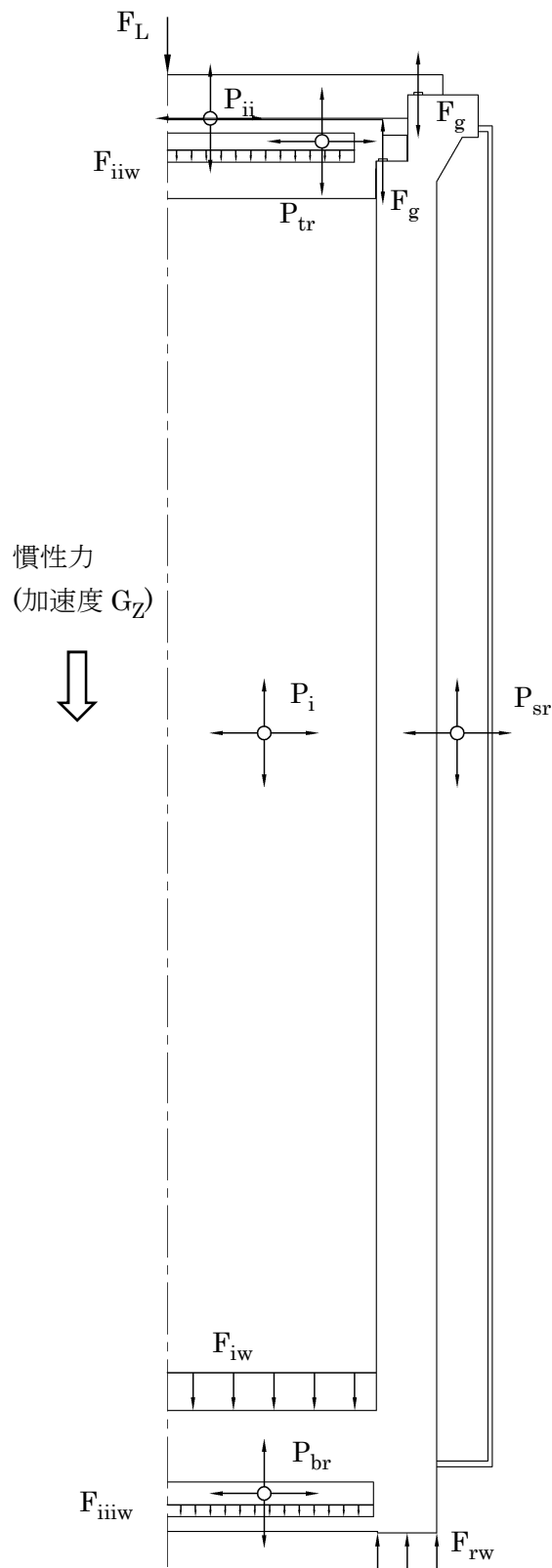
d_p ：貫入深さ(二次蓋頂部) [mm]

L_p ：貫入深さ [mm]

R_0 ：外筒外半径 [mm]

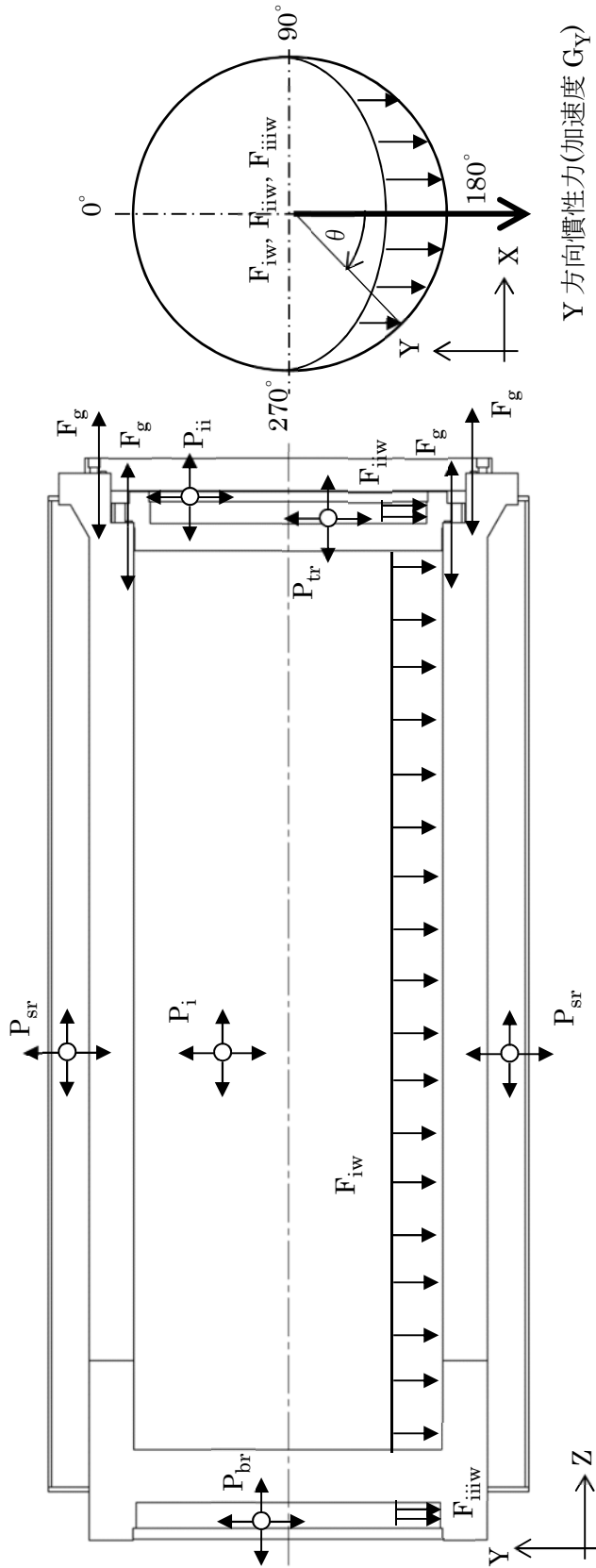
(単位：mm)

別紙 3-8 図 衝撃吸収材への転倒衝突時の荷重条件



慣性加速度(Z 方向)	$G_Z = -9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$
胴内内圧	$P_i = -0.101325 \text{ [MPa G]}$
一次蓋—二次蓋間圧力	$P_{ii} =$ <input type="text"/>
側部中性子遮蔽材部圧力	$P_{sr} =$ <input type="text"/>
蓋部中性子遮蔽材部圧力	$P_{tr} =$ <input type="text"/>
底部中性子遮蔽材部圧力	$P_{br} =$ <input type="text"/>
ガスケット反力(等分布荷重)	$F_g =$ <input type="text"/>
内部収納物慣性力 (等分布荷重)	$F_{iw} =$ <input type="text"/>
蓋部中性子遮蔽材慣性力(等分布荷重)	$F_{iiw} =$ <input type="text"/>
底部中性子遮蔽材慣性力(等分布荷重)	$F_{iiiw} =$ <input type="text"/>
三次蓋衝突荷重	$F_L = 4.100 \times 10^6 \text{ [N]}$
支持面反力(等分布荷重)	$F_{rw} =$ <input type="text"/>
熱荷重	温度分布：貯蔵時

別紙 3-9 図 三次蓋の二次蓋への落下時の荷重条件



Y方向慣性力(加速度 G_Y)

慣性加速度(Y方向)

$$G_Y = -216.00 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

洞内内圧

$$P_i = -0.101325 \text{ [MPa G]}$$

一次蓋-二次蓋間圧力

$$P_{ii} = \text{[]}$$

側部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{sr} = \text{[]}$$

蓋部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{tr} = \text{[]}$$

底部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{br} = \text{[]}$$

ガスケット反力(等分布荷重)

$$F_g = \text{[]}$$

内部収納物慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

$$F_{iw} = \text{[]}$$

蓋部中性子遮蔽材慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

$$F_{iiw} = \text{[]}$$

底部中性子遮蔽材慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

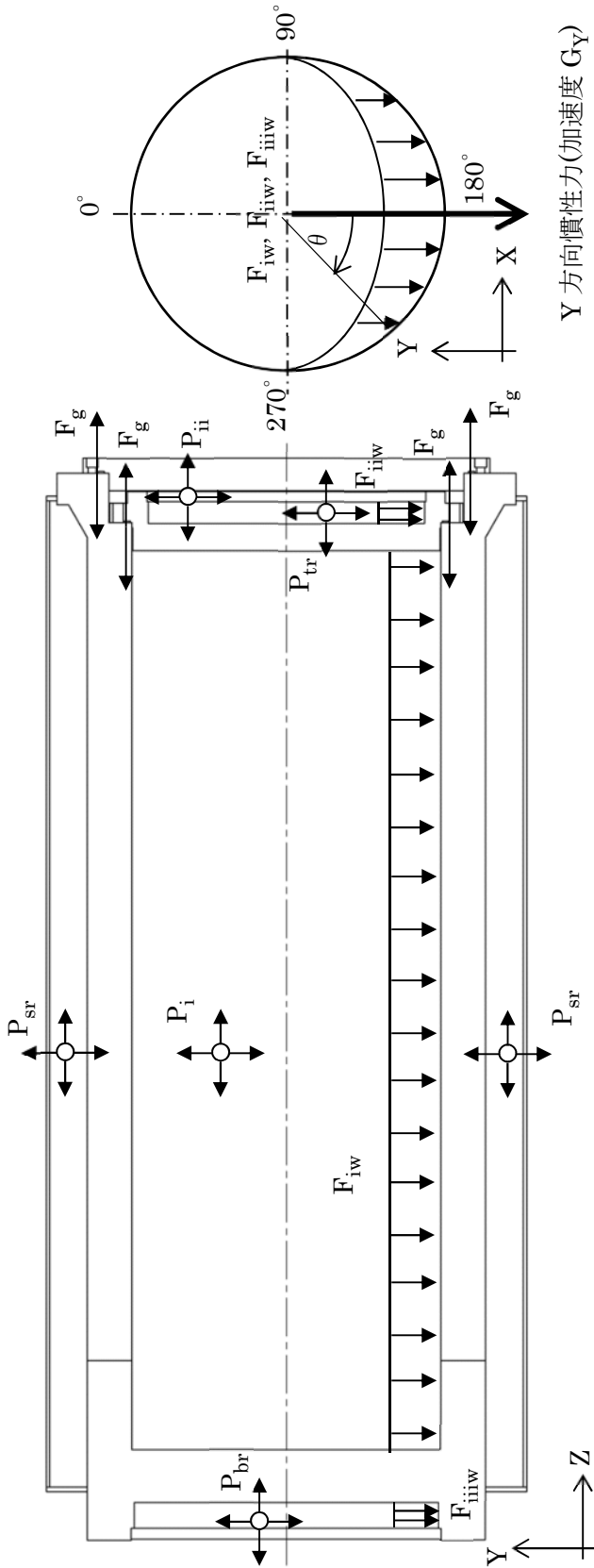
$$F_{iiiw} = \text{[]}$$

熱荷重

温度分布：貯蔵時

※内部収納物、蓋部中性子遮蔽材及び底部中性子遮蔽材の慣性力
金属キャスク周方向:cos分布(範囲 180°)

別紙 3-10 図 仮置架台への水平落下時の荷重条件



Y方向慣性力(加速度 G_Y)

慣性加速度(Y方向)

$$G_Y = -324.00 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

洞内内圧

$$P_i = -0.101325 \text{ [MPa G]}$$

一次蓋-二次蓋間圧力

$$P_{ii} = \text{[]}$$

側部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{sr} = \text{[]}$$

蓋部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{tr} = \text{[]}$$

底部中性子遮蔽材部圧力

$$P_{br} = \text{[]}$$

ガスケット反力(等分布荷重)

$$F_g = \text{[]}$$

内部収納物慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

$$F_{iw} = \text{[]}$$

蓋部中性子遮蔽材慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

$$F_{iiw} = \text{[]}$$

底部中性子遮蔽材慣性力

Y方向(偏分布荷重、最大)

$$F_{iiiw} = \text{[]}$$

熱荷重

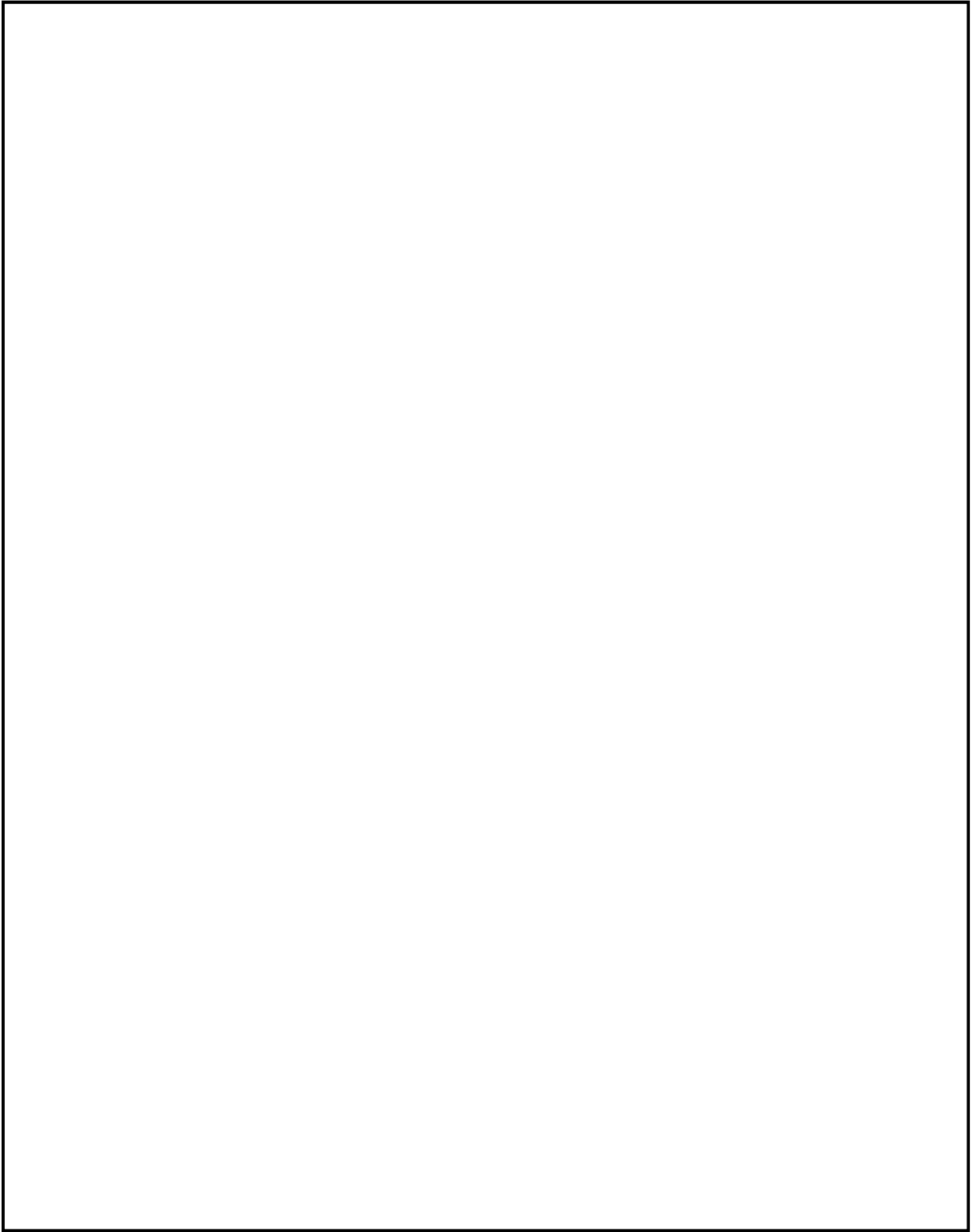
温度分布：貯蔵時

※内部収納物、蓋部中性子遮蔽材及び底部

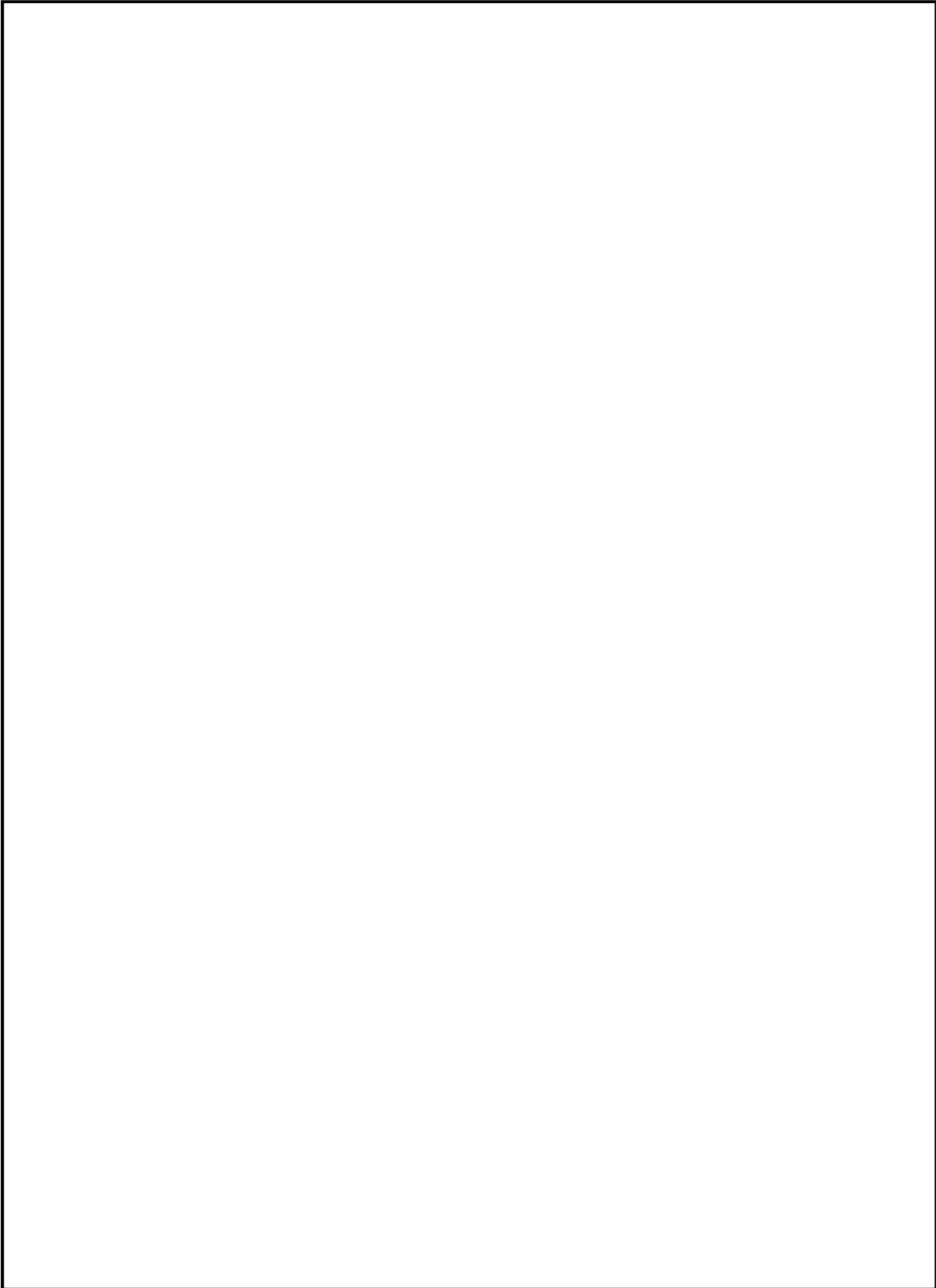
中性子遮蔽材の慣性力

金属キャスク周方向:cos分布(範囲 180°)

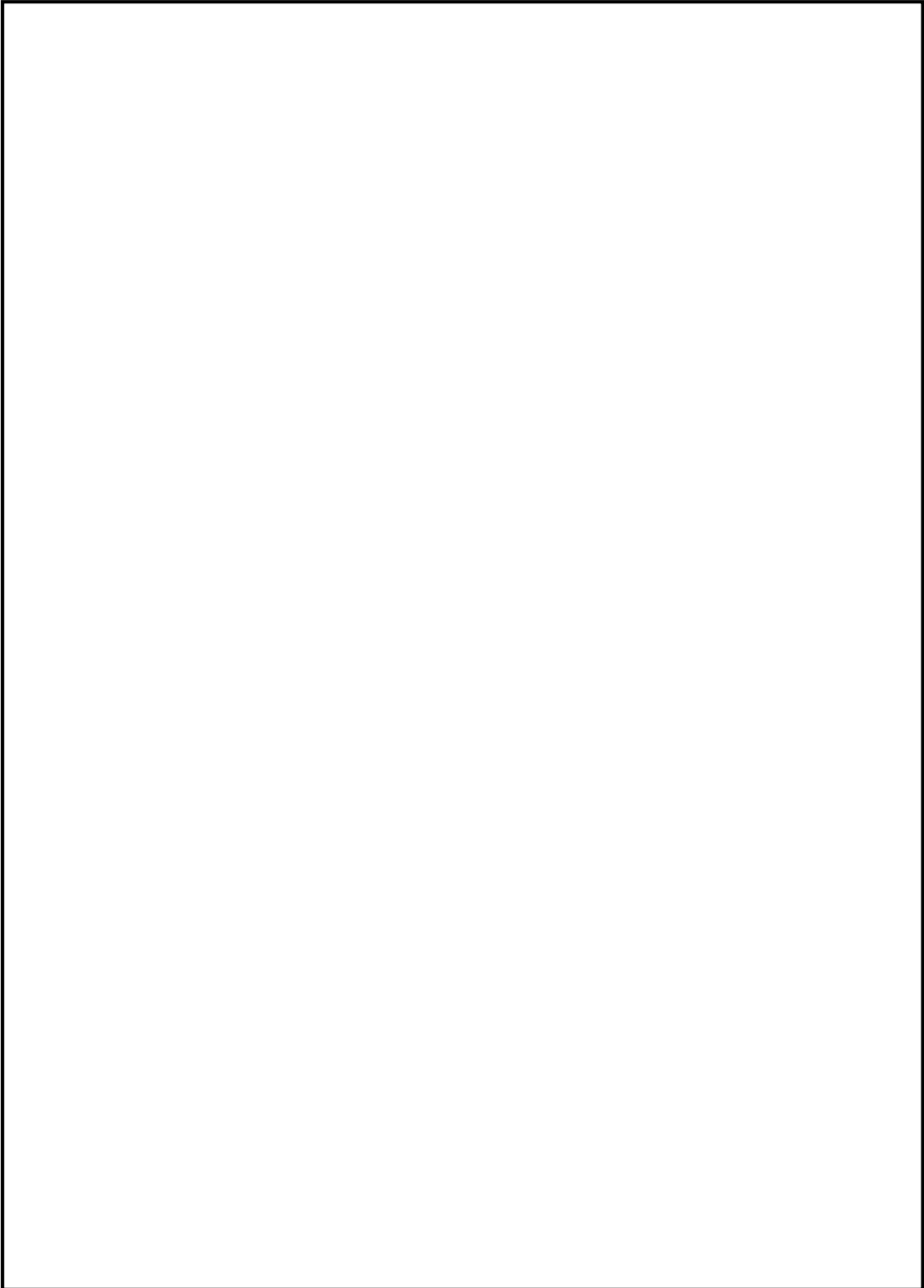
別紙 3-11 図 たて起こし架台への転倒衝突時の荷重条件



別紙 3-1012 図 貯蔵架台への垂直落下時及び三次蓋の二次蓋への落下時の境界条件



別紙 3-1113 図 衝撃吸収材への転倒衝突時の境界条件



別紙 3-14 図 仮置架台への水平落下時及びたて起こし架台への転倒衝突時の境界条件

Doc. No. MA035A-RC-G02-1 Rev.1

2020年11月25日

日立造船株式会社

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（Hitz-B52型）

質問管理票に対する回答（想定事象関連）（その1）

番号	項目	質問日	コメント内容
84	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <ul style="list-style-type: none"> 別紙 2-14 c.衝撃荷重の算出における「二次蓋を周辺固定」と記載があるが、一次蓋中央のたわみ量が固定支持より大きくなるピン支持としない理由を説明すること。

(回答) - 2019/3/16 回答済み

胴と二次蓋の取合いを図 84-1 に示す。

二次蓋は十分な初期締付力で取付けられていること、さらに胴と二次蓋は嵌合構造であり隙間はわずかとしており、蓋の曲げによる変形が抑制されることから固定支持とした。

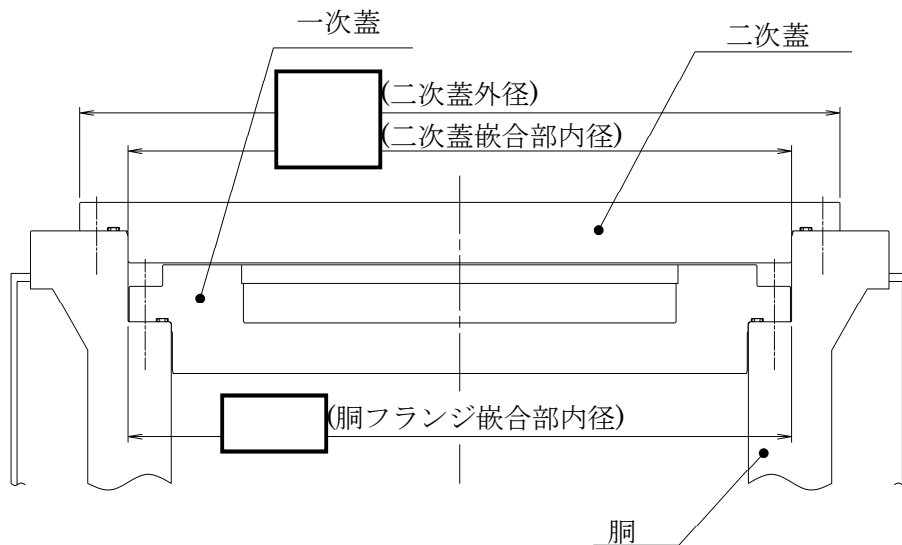


図 84-1 本体及び二次蓋の取合い

番号	項目	質問日	コメント内容
85	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 3-2 (iv) 熱荷重 において、熱ひずみ算出の基準温度を記載すること。</p>

(回答)

熱ひずみ算出の基準温度を 20℃としていることから、MA035-RC-G01_Rev.0 想定事象に対する安全評価に関する説明の別紙 3-10 頁～別紙 3-12 頁別紙 3-2 頁及び別紙 3-3 頁に次のとおり追記する。なお、別紙 3-10 頁～別紙 3-12 頁の訂正は取り消すものとする。

1

<別紙 3-2 頁、2.(2)a.(iv)>

(i) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃とする。貯蔵架台への垂直落下時においては、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

<別紙 3-2 頁、2.(2)b.(iv)>

(i) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃とする。衝撃吸収材への転倒衝突時においては、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

<別紙 3-3 頁、2.(2)c.(iv)>

(i) 熱荷重

除熱解析結果から得られる Hitz-B52 型の温度分布を入力することで、モデル化した構成部材の熱荷重を考慮する。この時の基準温度を 20℃とする。三次蓋の二次蓋への落下時においては、貯蔵時における除熱解析結果を用いる。

番号	項目	質問日	コメント内容
86	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 3-11 「※内部収納物の慣性力」において、内部収納物の挙動と内部収納物が一次蓋に衝突する場合は、その荷重を含めた一次蓋の応力評価も説明すること。</p>

(回答) - 2019/3/16 回答済み

Hitz-B52 型が衝撃吸収材へ転倒して衝突する際に、Hitz-B52 型は衝撃吸収材から反力を受ける。内部収納物である燃料集合体及びバスケットも同様に Hitz-B52 型の胴内面から反力を受け、この反力によって胴内面との摩擦力が発生し、内部収納物が一次蓋側へ移動する際の抵抗力として作用する。したがって、この抵抗力によって一次蓋に作用する荷重は小さくなり、一次蓋の密封性に影響を及ぼすほどの荷重が発生することは無いと考えられる。しかし、本評価では、保守的にこの抵抗力を無視し、一次蓋の密封性への影響を評価する。

衝突時には、内部収納物に以下の力が作用する。

- ・転倒時の回転による遠心力
- ・重力加速度による慣性力

(1) 転倒時の回転による遠心力によって内部収納物から一次蓋に作用する荷重

衝撃吸収材に衝突した際の Hitz-B52 型の下部トラニオンを中心とした回転によって、内部収納物には遠心力が作用し、この遠心力によって、内部収納物から一次蓋に垂直に作用する荷重が発生する。

転倒時の回転の角速度 ω は、衝撃吸収材に衝突する直前がもっとも大きいことから、この時の ω は、図 86-1(a)の寸法から以下のように計算される。

$$\omega = \sqrt{\{2 \times m \times g \times (h1 + h2)\} / I} = 2.54 \text{ rad/s}$$

ここで、

m : Hitz-B52 型の質量 (=1.176×10⁵ kg)

g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

$h1$: 下部トラニオンから Hitz-B52 型重心までの距離 (=2.175 m)

$h2$: 衝撃吸収材に衝突する直前の Hitz-B52 型重心の下部トラニオンからの落下高さ (=0.304 m)

I : 下部トラニオン周りに回転する Hitz-B52 型の回転モーメント (=8.874×10⁵ kg・m²)

したがって、内部収納物に作用する遠心力 F_r は、以下のように計算される。

$$F_r = (M_f + M_b) \times \ell_f \times \omega^2 = 4.12 \times 10^5 \text{ N}$$

ここで、

ℓ_f : 下部トランシオンから Hitz-B52 型に収納する内部収納物全体の重心までの距離 (= 2.048 m)

M_f : Hitz-B52 型に収納する燃料集合体の全質量

M_b : バスケットの質量

$$(M_f + M_b = 3.12 \times 10^5 \text{ kg})$$

(2) 重力加速度による慣性力によって内部収納物から一次蓋に作用する荷重

重力加速度による慣性力によって内部収納物から一次蓋に作用する荷重 F_f は、重力加速度による慣性力のうち Hitz-B52 型の軸方向の成分である。したがって F_f は、衝撃吸収材に貫入して静止した状態で、Hitz-B52 型の転倒角度 θ (図 86-1(a)参照) が最大となり、最も大きな値となる。この状態での θ は、(図 86-1(a)及び (図 86-1(b)) に示す寸法から、 $\theta = 0.337 \text{ rad}$ となる。したがって、荷重 F_r は以下のように計算される。

$$F_f = (M_f + M_b) \times g \times \sin \theta = 1.02 \times 10^5 \text{ N}$$

(3) 一次蓋ボルトに発生する平均引張応力

本評価では内部収納物と胴内壁の間の摩擦力を保守的に無視し、重力加速度による慣性力や回転による遠心力によって内部収納物に作用する荷重がそのまま一次蓋に拭かされると想定した。なお、安全側にそれぞれの荷重が最大となる状態で評価することとして、重力加速度による慣性力は、転倒角度 θ が最大となる衝撃吸収材に貫入した状態、遠心力は角速度 ω が最大となる衝撃吸収材に衝突する直前の状態での値とする。

内部収納物から一次蓋に作用する荷重によって、一次蓋ボルトに発生する平均引張応力 σ_m は、上記で計算した荷重から以下のように計算される。

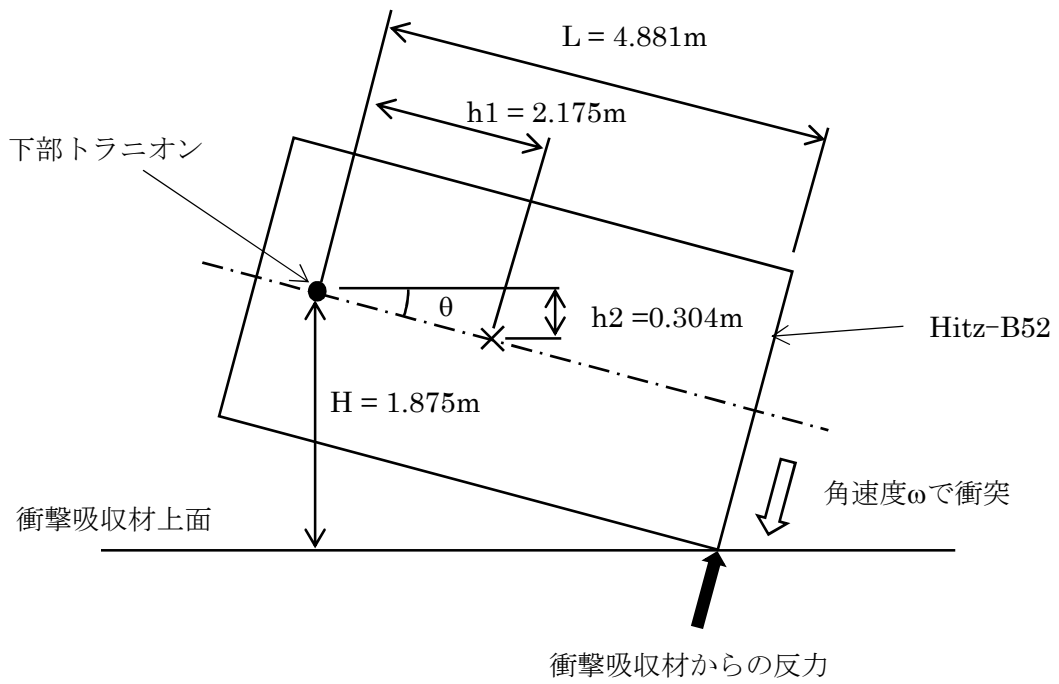
$$\sigma_m = (F_f + F_r) / (n \times A) = 6.1 \text{ MPa}$$

ここで、

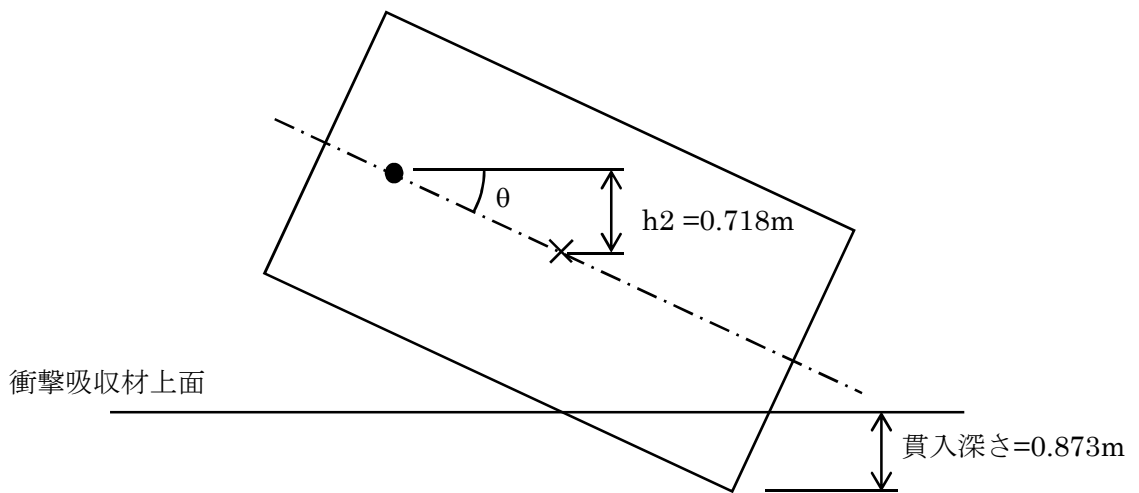
M_f : 一次蓋ボルトの本数 (= 本)

A : 一次蓋ボルト (1 本) の断面積 (= mm^2)

以上より、Hitz-B52 型が衝撃吸収材へ転倒して衝突する際に、保守的に内部収納物と胴内壁の間の摩擦による抵抗力を無視した場合でも、内部収納物から一次蓋に負荷される荷重は十分小さく、MA035A-RC-G01 Rev.0 の表 7 に示される一次蓋ボルトの平均引張応力 220 MPa 及び平均引張応力+曲げ応力 444 MPa にこの荷重を考慮しても、設計基準値の 853 MPa に比べて十分小さく、一次蓋の密封性には影響しないと考えられる。



(a) 衝撃吸収材に衝突する直前の状態（転倒角度 ω が最大の状態）



(b) 衝撃吸収材に貫入後の状態（転倒角度 θ が最大の状態）

図 86-1 Hitz-B52 型が衝撃吸収材へ転倒して衝突した状態の概略図

Doc. No. MA035A-RC-G02-2 Rev.0

2020年11月25日

日立造船株式会社

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（Hitz-B52型）

質問管理票に対する回答（想定事象関連）（その2）

番号	項目	質問日	コメント内容
79	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・P.14 表 5 において、a、b、c 及び d、の評価方法では衝撃加速度、ABAQUS コードを用いているが、これらをそれぞれの評価に用いた理由を説明すること。また、P.6 の「衝撃加速度を下回り」の説明文章との整合性も含めて説明すること。</p>

(回答)

評価方法に関して、衝撃加速度による評価もしくは ABAQUS コードによる評価としているが、荷重点及び衝撃加速度もしくは衝撃荷重の観点から、想定事象について表 79-1 のとおり整理する。

ここで、事象 a、d はトラニオンの衝突という点では同じ事象と考えられるが、事象 d は回転衝突でトラニオンが 22G で破断するときの蓋部の加速度であることから、事象 a ではトラニオン近傍の評価を、事象 d では蓋部近傍の評価を実施することとする。

さらに事象 d では、上部トラニオンのみの衝突となるが、事象 a では、上部トラニオンだけでなく下部トラニオンも衝突することから、事象 a の評価は密封部全体とする。

また、事象 b、c は荷重点が同じで衝撃加速度が上回ることから、事象 b の評価は、事象 c で代表されるものとした。

以上により、評価する事象を事象 a、c、d、e、f とし、上記をふまえて解析コード ABAQUS による応力解析にて評価を行う。

表 79-1 想定事象について

No.	想定事象	状態	事象の説明	荷重点	衝撃加速度 又は衝撃荷重	評価
a	仮置架台への 水平落下 [フロー図 1-4]	水平 吊り	仮置架台へ設置時に仮置架台へ落下、上部及び下部トラニオンが仮置架台のトラニオン受け部に衝突。	上下 トラニオン	22G	トラニオンへの衝突という点では事象 d と同じだが、密封の評価及び破断時のトラニオン近傍の評価という観点で、本事象の評価を行う。
b	衝撃吸収材への 垂直落下 [フロー図 2-6]	垂直 吊り	たて起こしされたキャスクを貯蔵架台に移送時、衝撃吸収材へ落下、キャスク底部が衝撃吸収材に衝突。	キャスク 底部	12G	事象 c と荷重点が同じで衝撃加速度は事象 c で代表される。
c	貯蔵架台への 垂直落下 [フロー図 2-7]	垂直 吊り	たて起こしされたキャスクを貯蔵架台に移送時、貯蔵架台に落下、キャスク底部が貯蔵架台に衝突。	キャスク 底部	48G	事象 b と荷重点が同じだが衝撃加速度が上回るため、本事象の評価を行う。
d	たて起こし架台 への転倒衝突 [フロー図 2-5]	たて起 こし 架台に 設置	たて起こし架台に設置時、下部トラニオンを中心にキャスクが回転し、上部トラニオンが立て起こし架台のトラニオン受け部に衝突。	上部 トラニオン	33G	トラニオンへの衝突という点では事象 a と同様であるため、トラニオン近傍の評価は事象 a で代表される。一方、本事象は回転衝突であり、トラニオン部は事象 a と同様の加速度だが、蓋部では加速度 33G となるため、蓋部近傍に着目し、本事象の評価を行う。
e	衝撃吸収材への 転倒衝突 [フロー図 2-5]	たて起 こし 架台に 設置	たて起こし架台に設置時、下部トラニオンを中心にキャスクが回転し、キャスク本体の上部が衝撃吸収材に衝突。	キャスク 上部	36G	荷重点及び衝撃加速度が他の事象で代表されないため、本事象の評価を行う。
f	三次蓋の二次蓋 への落下 [フロー図 2-12]	検査 架台に 設置	検査架台上でキャスクから三次蓋が取り外され、三次蓋移送時に、三次蓋が二次蓋上で落下、衝突する。	二次蓋 中央	$4.1 \times 10^6 \text{N}$	荷重点及び衝撃荷重が他の事象で代表されないため、本事象の評価を行う。

また、「補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済み燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料」本文の 4.については次のとおり見直しを行う。また構造強度解析条件については、別紙 3 に追加することとする。

<本文 6 頁>

1. 構造強度解析

(1) 評価対象

2.(1)「想定事象の選定」にて選定した事象において、Hitz-B52 型が付帯設備（仮置架台、たて起こし架台、貯蔵架台及び衝撃吸収材）に衝突する際に衝突部の変形により吸収されるエネルギー、あるいは、破断に必要な力を評価することで Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度又は衝撃荷重を算出する。

算出された衝撃加速度又は衝撃荷重を表 5 に示す。また、衝撃加速度又は衝撃荷重の算出方法を別紙 2 に示す。想定事象の内、a. 仮置架台への水平落下及び d. たて起こし架台への転倒衝突については、~~衝撃加速度が「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「事業所外運搬規則」という。）で定める BM 型輸送物に係る特別の試験条件（落下試験 I）（以下「特別の試験条件」という。）で発生する水平落下の衝撃加速度を下回り、衝撃力が作用する位置が特別の試験条件と同じ又は蓋部近傍に荷重が直接作用しないことから、特別の試験条件の構造強度解析条件に包含される事象である。~~ともにトラニオンへの衝突という事象であるが、事象 a では、水平落下によるトラニオンが破断するときの加速度の評価であり、一方、事象 d では、回転衝突でトラニオンが破断するときの蓋部の加速度の評価となる。事象 a, d ともにトラニオンの破断事象に対する評価であるが、事象 d は回転衝突であり、トラニオン部の加速度は事象 a と同じであるが、密封シール部である蓋部の加速度がトラニオン部に比べて大きくなることから、事象 d では蓋部近傍の評価とし、密封容器全体の評価は事象 a にて代表される。

また、b. 衝撃吸収材への垂直落下は、c. 貯蔵架台への垂直落下で発生する衝撃加速度を下回り、衝撃力が作用する位置が同じであるため、c. 貯蔵架台への垂直落下に包絡で代表される事象である。

なお、c. 貯蔵架台への垂直落下時に Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度は想定設備の貯蔵架台の設計を仮定して評価する。

以上より a. 仮置架台への水平落下、c. 貯蔵架台への垂直落下、d. たて起こし架台への転倒衝突、e. 衝撃吸収材への転倒衝突及び f. 三次蓋の二次蓋への落下の事象を対象に、次項のように構造強度解析を実施する。

(2) 解析方法及び解析条件

構造強度解析フローを図 7 に示す。構造強度解析では、Hitz-B52 型に作用する荷重条件を評価事象毎に設定し、貯蔵時に密封境界を構成する部材に発生する応力が金属キャスク構造規格にて定義されている供用状態 D の設計基準以下であることを確認する。

なお、Hitz-B52 型の密封容器に発生する応力は、想定される荷重をもとに Hitz-B52 型の実形状をモデル化し、有限要素法による構造解析コード (ABAQUS) を使用して求める。構造解析コード (ABAQUS) による密封容器の構造強度解析条件を別紙 3 に示す。

(3) 解析結果

a. 仮置架台への水平落下、c. 貯蔵架台への垂直落下、d. たて起こし架台への転倒衝突、e. 衝撃吸収材への転倒衝突及び f. 三次蓋の二次蓋への落下事象における密封容器の構造強度解析結果を表 6 から表 810 に示す。Hitz-B52 型の密封シール部又は密封境界を構成する部材に発生する応力は、設計基準を満足することを確認した。

なお、~~a. 仮置架台への水平落下及び d. たて起こし架台への転倒衝突の事象について、Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度は、特別の試験条件における水平落下の衝撃加速度を下回る。また、b. 衝撃吸収材への垂直落下の事象については、c. 貯蔵架台への垂直落下時に作用する衝撃加速度を下回り、表 6 に示される設計基準以下となる。したがって、上記 a-b. 及び d. の事象においても、密封境界を構成する部材に発生する応力は設計基準を満足する。~~

表 5 Hitz-B52 型の落下及び転倒事象時に発生する衝撃加速度
又は Hitz-B52 型への重量物落下事象時の衝撃荷重

No.	想定事象	衝撃加速度 又は衝撃荷重	評価方法	評価結果
a	仮置架台への 水平落下	22G	ABAQUS コードによる解析 (衝撃加速度 22G)	表 6
b	衝撃吸収材への 垂直落下	12G	貯蔵架台への垂直落下の衝撃加 速度 48G 以下であることを確認	表 67
c	貯蔵架台への 垂直落下	48G	ABAQUS コードによる解析 (衝撃加速度 48G)	表 67
d	たて起こし架台 への転倒衝突	33G	ABAQUS コードによる解析*1 (衝撃加速度 33G)	表 8
e	衝撃吸収材への 転倒衝突	36G	ABAQUS コードによる解析 (衝撃加速度 36G)	表 79
f	三次蓋の二次蓋 への落下	4.1×10^6 N	ABAQUS コードによる解析 (衝撃荷重 4.1×10^6 N)	表 810

注記*1：評価は蓋部近傍のみとし、その他の密封部については事象 a で代表される。

<本文 15 頁以降に追加>

表 6 仮置架台への水平落下時の評価結果 (供用状態 D)

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	22G	2	267
		$P_L + P_b$		13	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		6	401
		$P_L + P_b$		14	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		223	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		418	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		40	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		53	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		62	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		55	377
		$P_L + P_b$		95	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		16	251
		$P_L + P_b$		23	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		43	377
		$P_L + P_b$		112	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		3	251
		$P_L + P_b$		6	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		40	377
		$P_L + P_b$		79	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		34	162
		$P_L + P_b$	68	162	
		$P_L + P_b + Q$	63	162	
-	上部トラニオン近傍 の胴部の応力強さ	P_m	150	251	
		$P_L + P_b$	340	377	
-	下部トラニオン近傍 の胴部の応力強さ	P_m	136	251	
		$P_L + P_b$	308	377	

注記*1 : 応力評価位置は、図 8 及び図 9 参照。

表 67 貯蔵架台への垂直落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	48G	4	267
		$P_L + P_b$		27	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		7	401
		$P_L + P_b$		19	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		219	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		355	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		36	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		46	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		51	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		11	377
		$P_L + P_b$		23	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		17	251
		$P_L + P_b$		17	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		36	377
		$P_L + P_b$		51	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		5	251
		$P_L + P_b$		49	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		28	377
		$P_L + P_b$		44	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		32	162
		$P_L + P_b$	57	162	
		$P_L + P_b + Q$	61	162	
-	胴の軸方向に 発生する圧縮応力	圧縮応力 (一次)		27	127

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

表 8 たて起こし架台への転倒衝突時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	33G	2	267
		$P_L + P_b$		14	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		9	401
		$P_L + P_b$		16	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		224	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		438	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		51	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		68	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		77	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		81	377
		$P_L + P_b$		140	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		35	162
		$P_L + P_b$	69	162	
		$P_L + P_b + Q$	65	162	

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

表 79 衝撃吸収材への転倒落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	36G	4	267
		$P_L + P_b$		15	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		7	401
		$P_L + P_b$		13	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		220	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		444	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		37	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		50	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		52	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		37	377
		$P_L + P_b$		74	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		15	251
		$P_L + P_b$		20	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		19	377
		$P_L + P_b$		54	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		1	251
		$P_L + P_b$		4	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		17	377
		$P_L + P_b$		37	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		33	162
		$P_L + P_b$	68	162	
		$P_L + P_b + Q$	71	162	

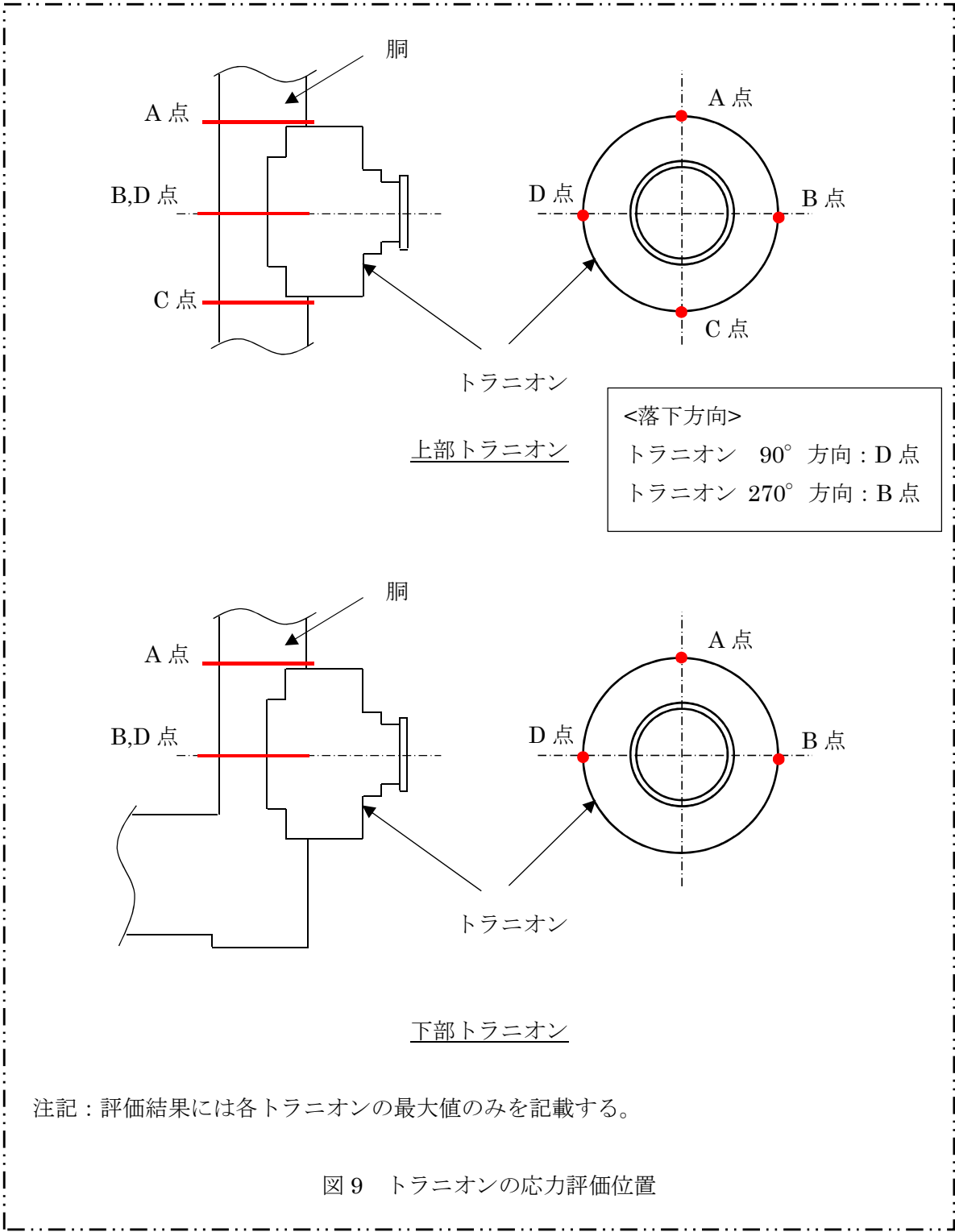
注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

表 810 三次蓋の二次蓋への落下時の評価結果（供用状態 D）

評価*1 位置	項目	応力の種類	評価条件*2 (G)	評価結果 (MPa)	設計基準値 (MPa)
①	一次蓋中央部の 応力強さ	P_m	$4.1 \times 10^6 N$	2	267
		$P_L + P_b$		13	401
②	一次蓋端部の 応力強さ	P_L		4	401
		$P_L + P_b$		10	401
③	一次蓋ボルトの 応力(③)	平均引張応力		220	853
		平均引張応力 + 曲げ応力		350	853
④	胴シール部(一次蓋) の応力強さ	P_m		32	<u>161</u>
		$P_L + P_b$		45	<u>161</u>
		$P_L + P_b + Q$		51	<u>161</u>
⑤	胴上部の応力強さ	P_L		12	377
		$P_L + P_b$		16	377
⑥	胴中央部の応力強さ	P_m		5	251
		$P_L + P_b$		6	377
⑦	胴下部の応力強さ	P_L		3	377
		$P_L + P_b$		8	377
⑧	底板中央部の 応力強さ	P_m		1	251
		$P_L + P_b$		2	377
⑨	底板端部の応力強さ	P_L		3	377
		$P_L + P_b$		4	377
⑩	一次蓋(シール部)の 応力強さ	P_m		32	162
		$P_L + P_b$	58	162	
		$P_L + P_b + Q$	60	162	
-	胴の軸方向に 発生する圧縮応力	圧縮応力 (一次)	7	127	

注記*1：応力評価位置は、図 8 参照。

*2：表 5 に示す荷重条件（ $4.1 \times 10^6 N$ ）を二次蓋中央への作用荷重として設定した。



ここで、参考として、仮置架台への水平落下時及びたて起こし架台への転倒衝突時の荷重条件の算出方法及び、応力コンター図を示す。

(a) 荷重条件の算出

圧力荷重、ガスケット反力においては他の事象と同様であり、質問回答 No.41 に示すとおりである。慣性力の算出方法については、以下に示す。

水平落下時の下向きの加速度により、Hitz-B52 型の内部には内部収納物が、蓋部及び底部中性子遮蔽材が収納される部分にはそれぞれの中性子遮蔽材による慣性力が作用する。

解析モデルには、この慣性力を偏分布荷重（範囲 180° の \cos 分布）として入力するが、その数値を次のとおり算出する。

$$F(\theta) = F_{\max} \times \cos \theta$$

ここで、

$F(\theta)$: 偏分布荷重 [N/mm²]

F_{\max} : 最大分布荷重 [N/mm²]

θ : モデル上の角度位置 [deg]

なお、最大分布荷重 F_{\max} は、次式にて算出される。

$$F_{\max} = F / (2 \times R \times L)$$

ここで、

F : 慣性力 [N]

R : 載荷面半径 [mm]

L : 載荷長さ [mm]

最大分布荷重の計算結果を、表 79-2 に示す。

表 79-2 内部収納物及び蓋部・底部中性子遮蔽材の最大分布荷重

事象	部位	設計加速度		載荷面 半径 R [mm]	載荷 長さ L [mm]	質量 [kg]	慣性力 F [N]	最大分布 荷 F_{max} [N/mm ²]
		[G]	[m/s ²]					
仮置架台への水平落下	内部 収納物	-22	-216.00					
	蓋部中性 子遮蔽材	-22	-216.00					
	底部中性 子遮蔽材	-22	-216.00					
たて起こし架台への転倒衝突	内部 収納物	-33	-324.00					
	蓋部中性 子遮蔽材	-33	-324.00					
	底部中性 子遮蔽材	-33	-324.00					

(b) 応力コンター図

仮置架台への水平落下時の応力コンター図を図 79-1 から図 79-6 に、変形図を図 79-7 及び図 79-8 に示す。たて起こし架台への転倒衝突時の応力コンター図を図 79-9 及び図 79-10 に、変形図を図 79-11 及び図 79-12 に示す。なお、本評価に用いる加速度 22G 及び 33G はトラニオンの破断時の加速度として設定しているため、トラニオン部の応力は参考として取り扱う。

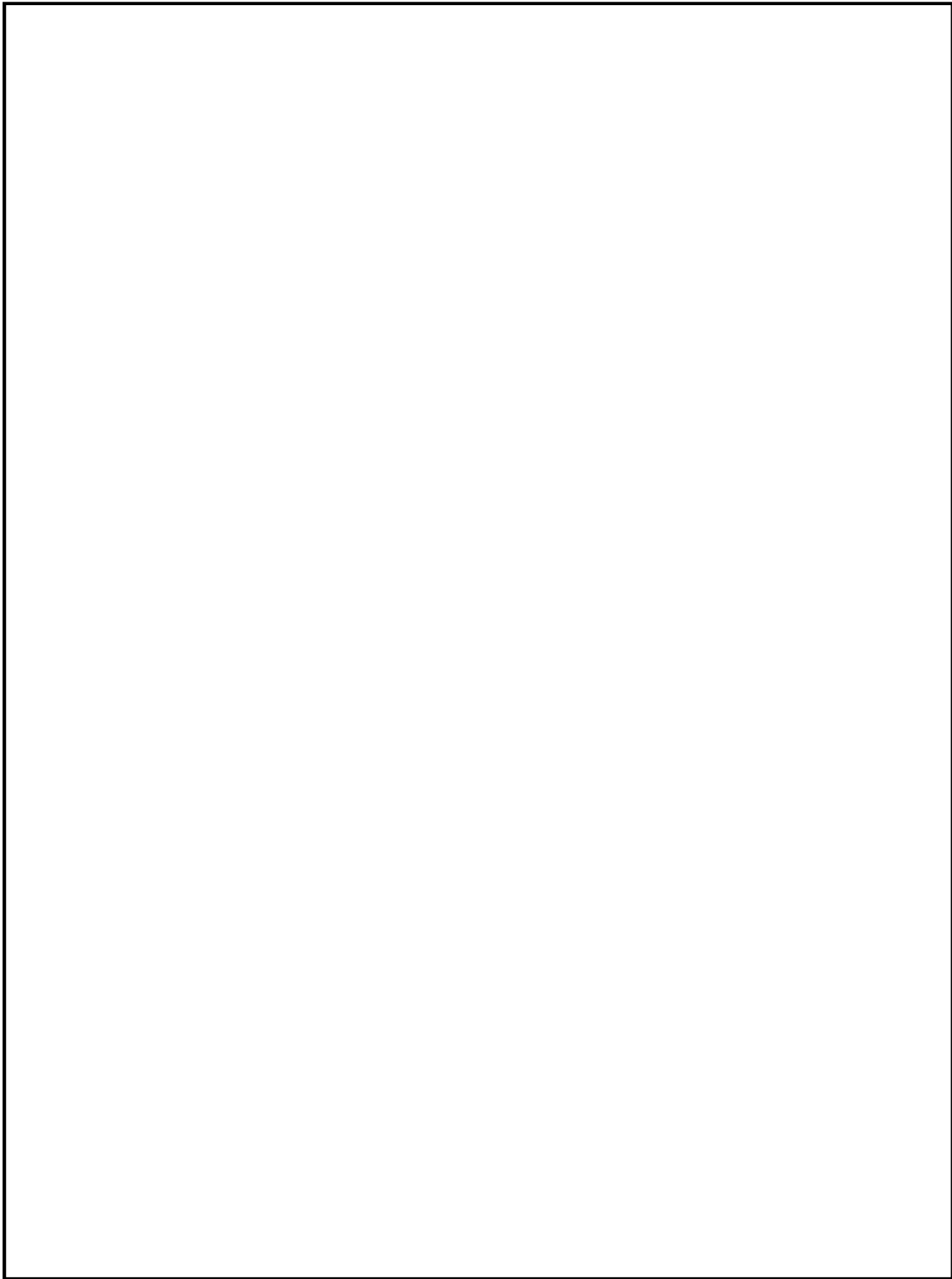


図 79-1 応力コンター図（仮置架台への水平落下時、一次応力）

(MPa)

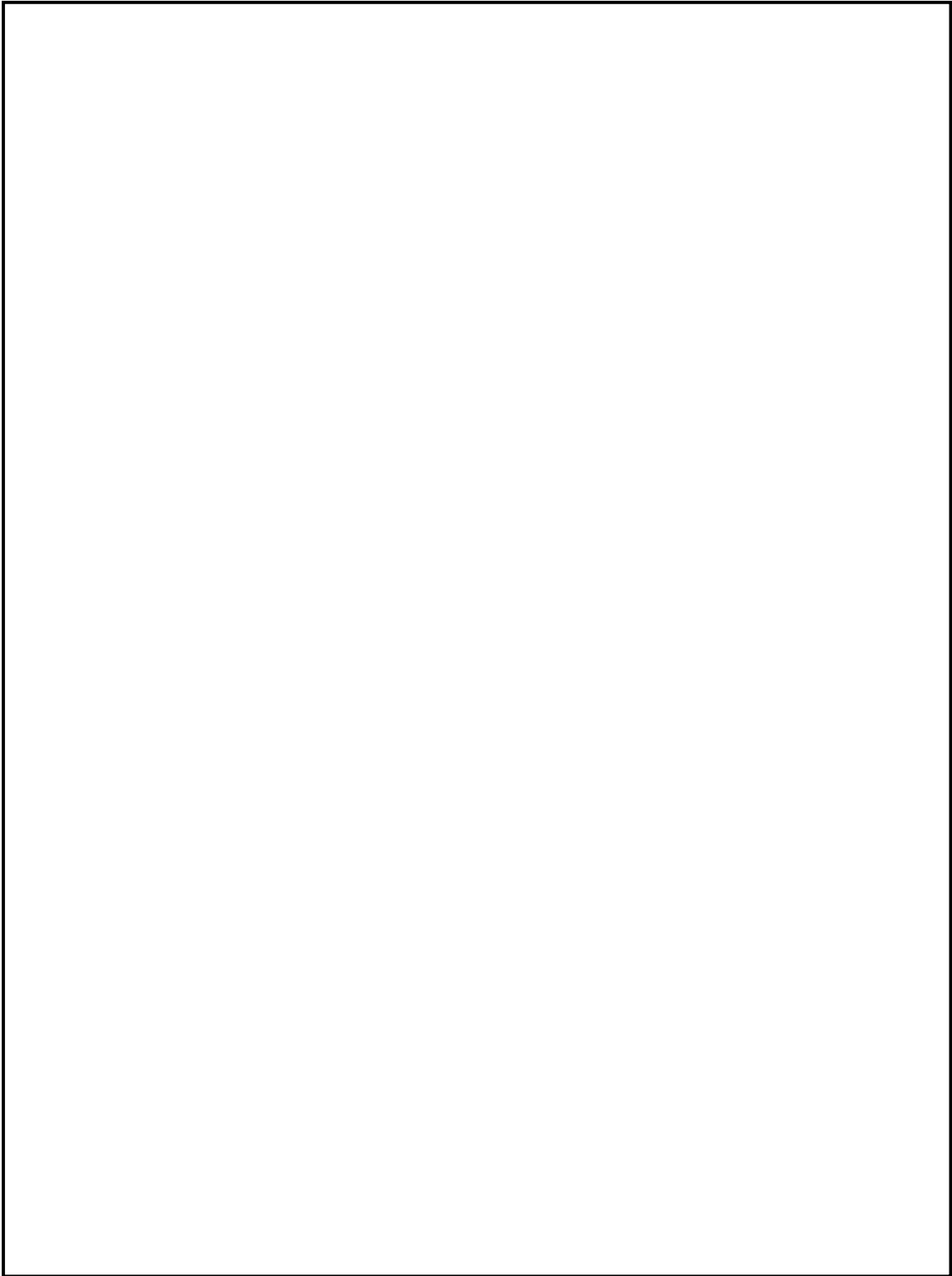


図 79-2 応力コンター図
(仮置架台への水平落下時、上部トラニオン、一次応力)

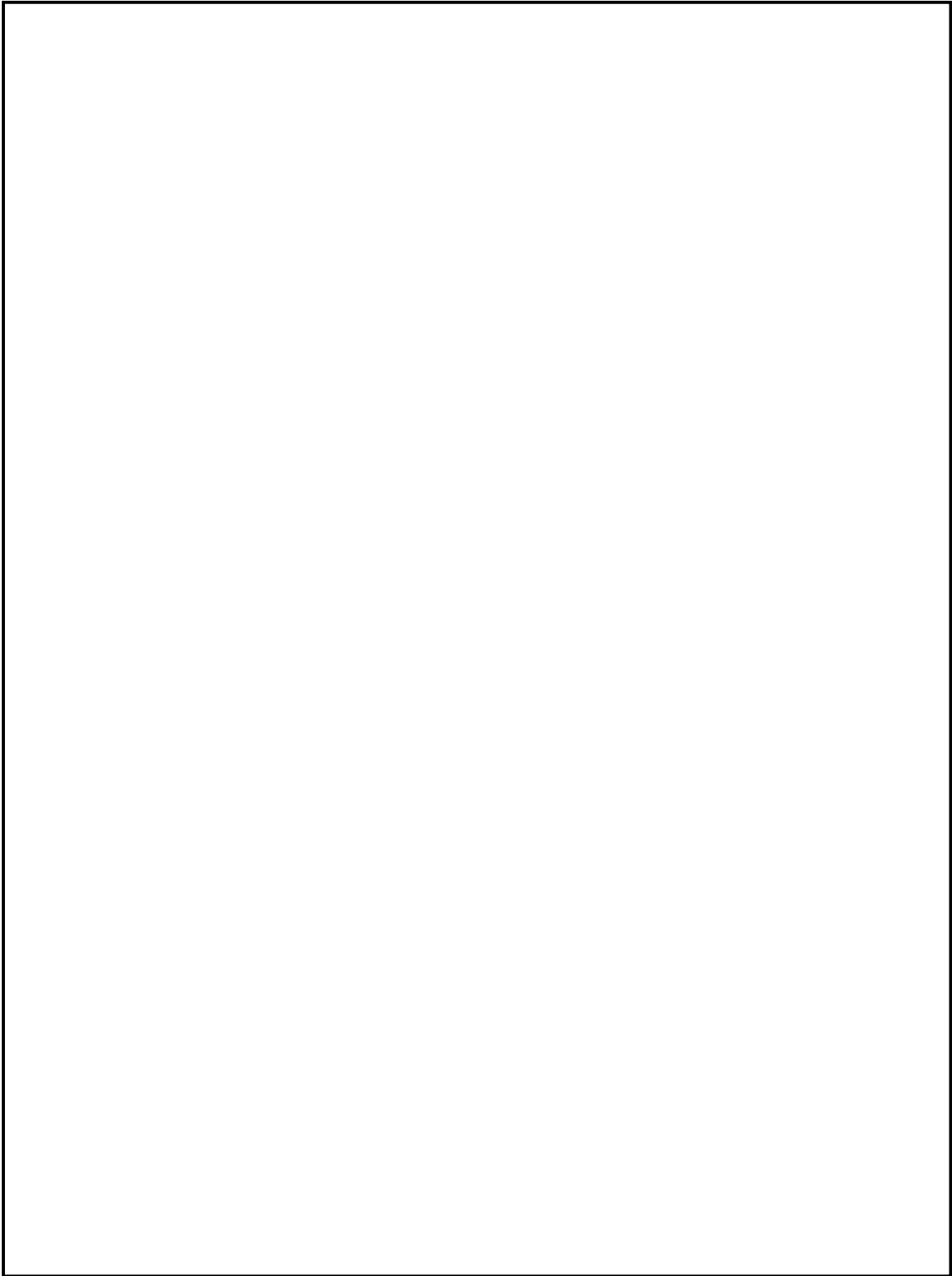


図 79-3 応力コンター図
(仮置架台への水平落下時、下部トラニオン、一次応力)

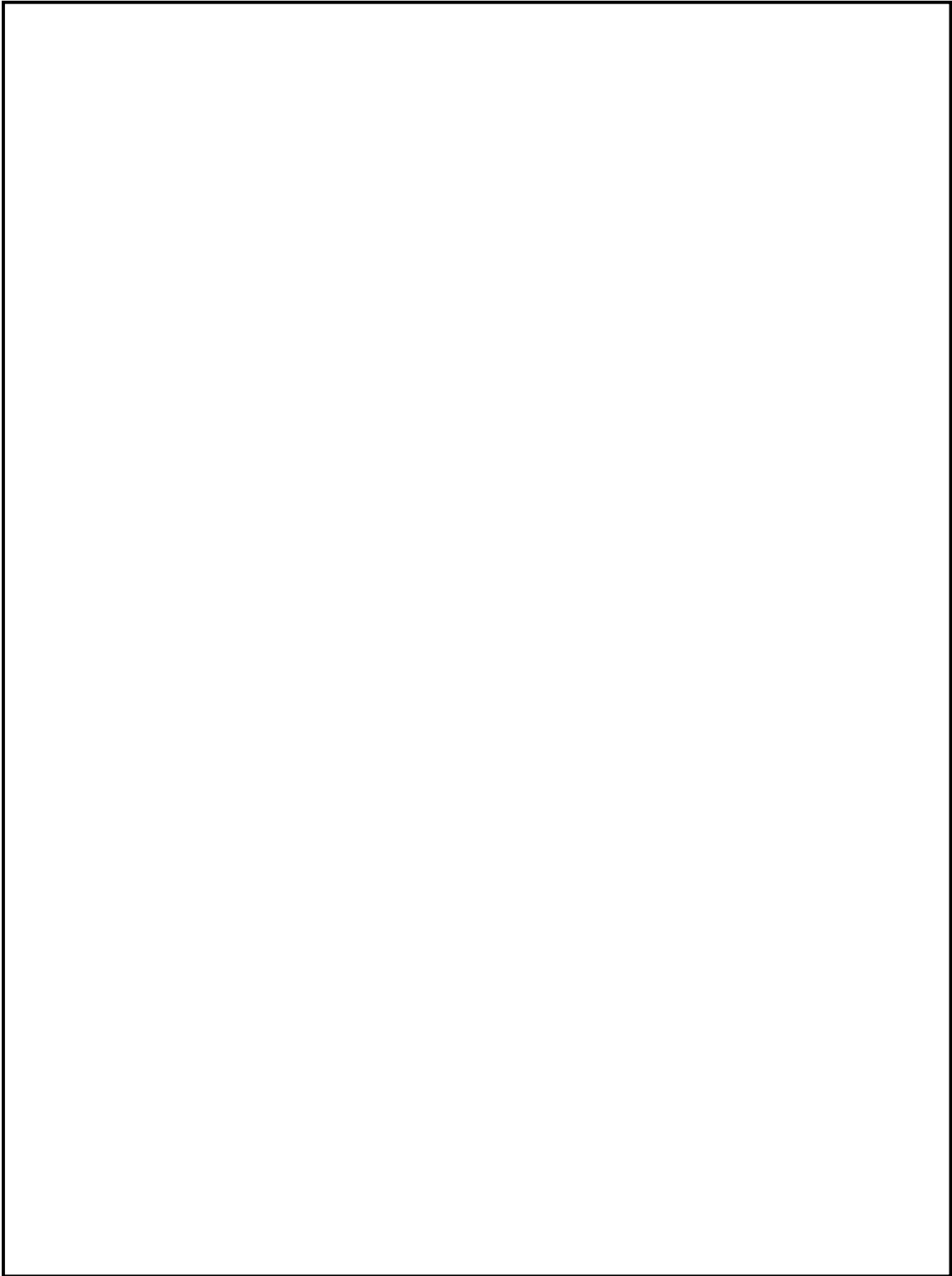


図 79-4 応力コンター図（仮置架台への水平落下時、一次+二次応力）

(MPa)

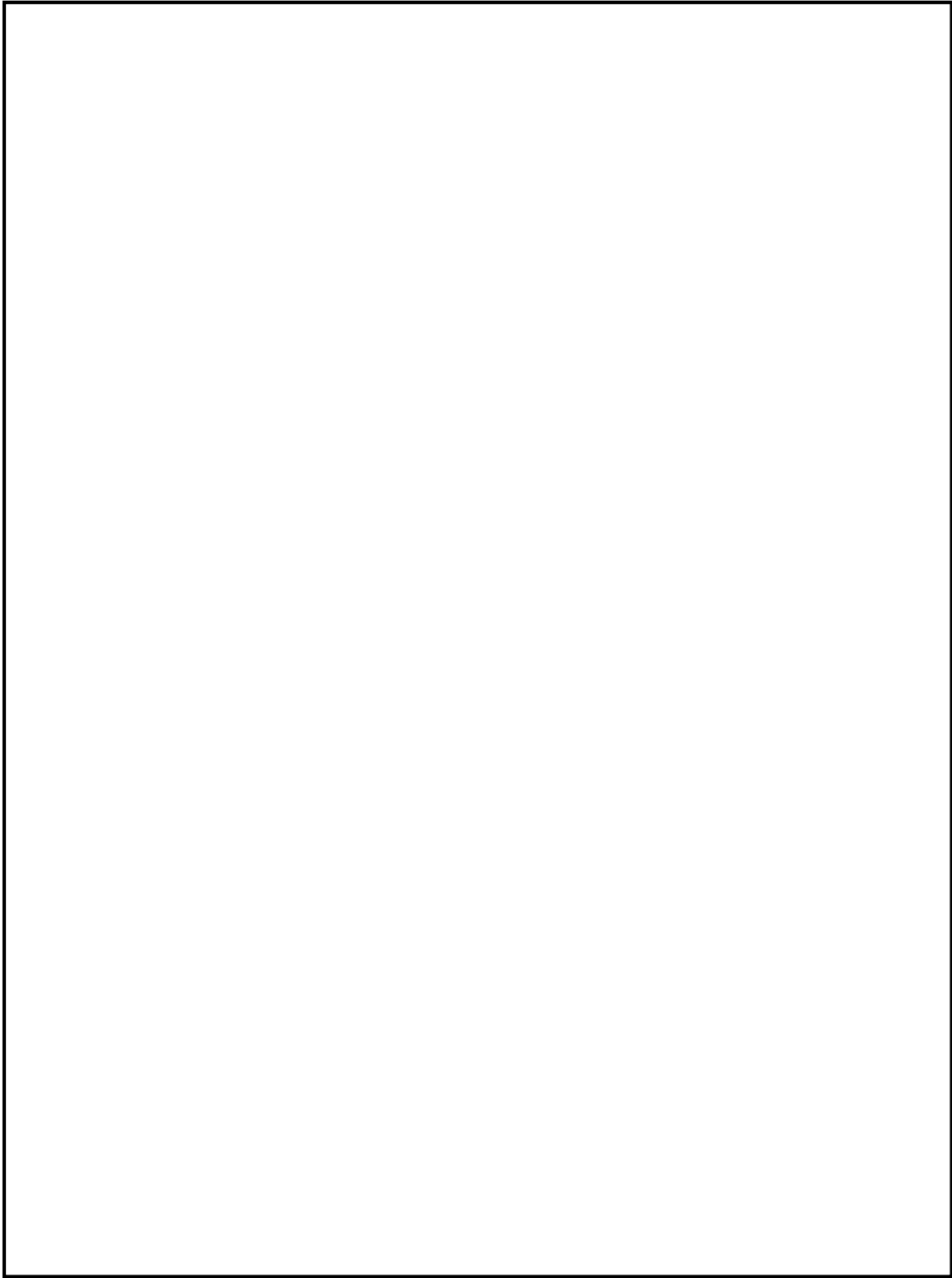


図 79-5 応力コンター図
(仮置架台への水平落下時、上部トラニオン、一次+二次応力)

(MPa)

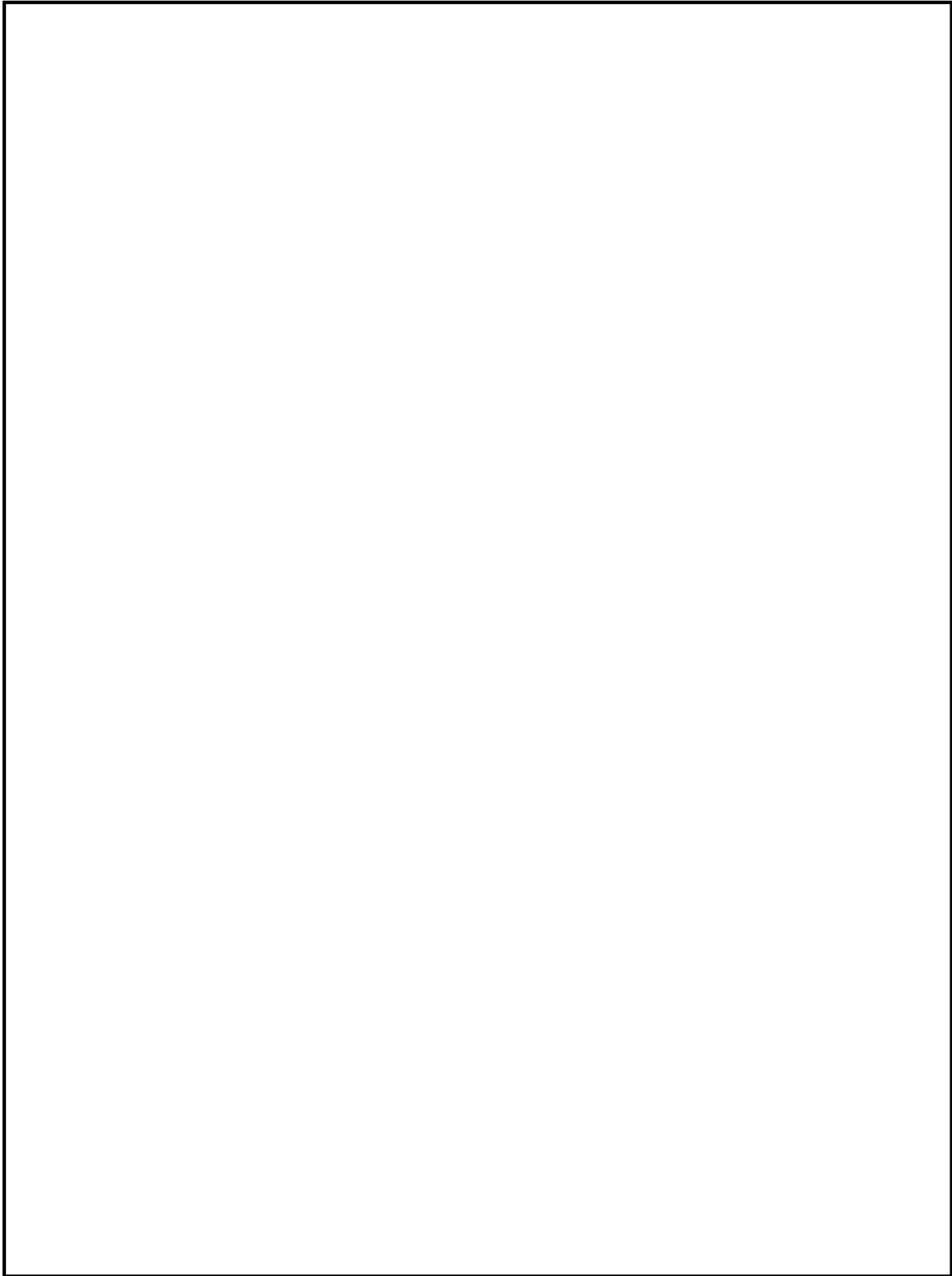


図 79-6 応力コンター図
(仮置架台への水平落下時、下部トラニオン、一次+二次応力)

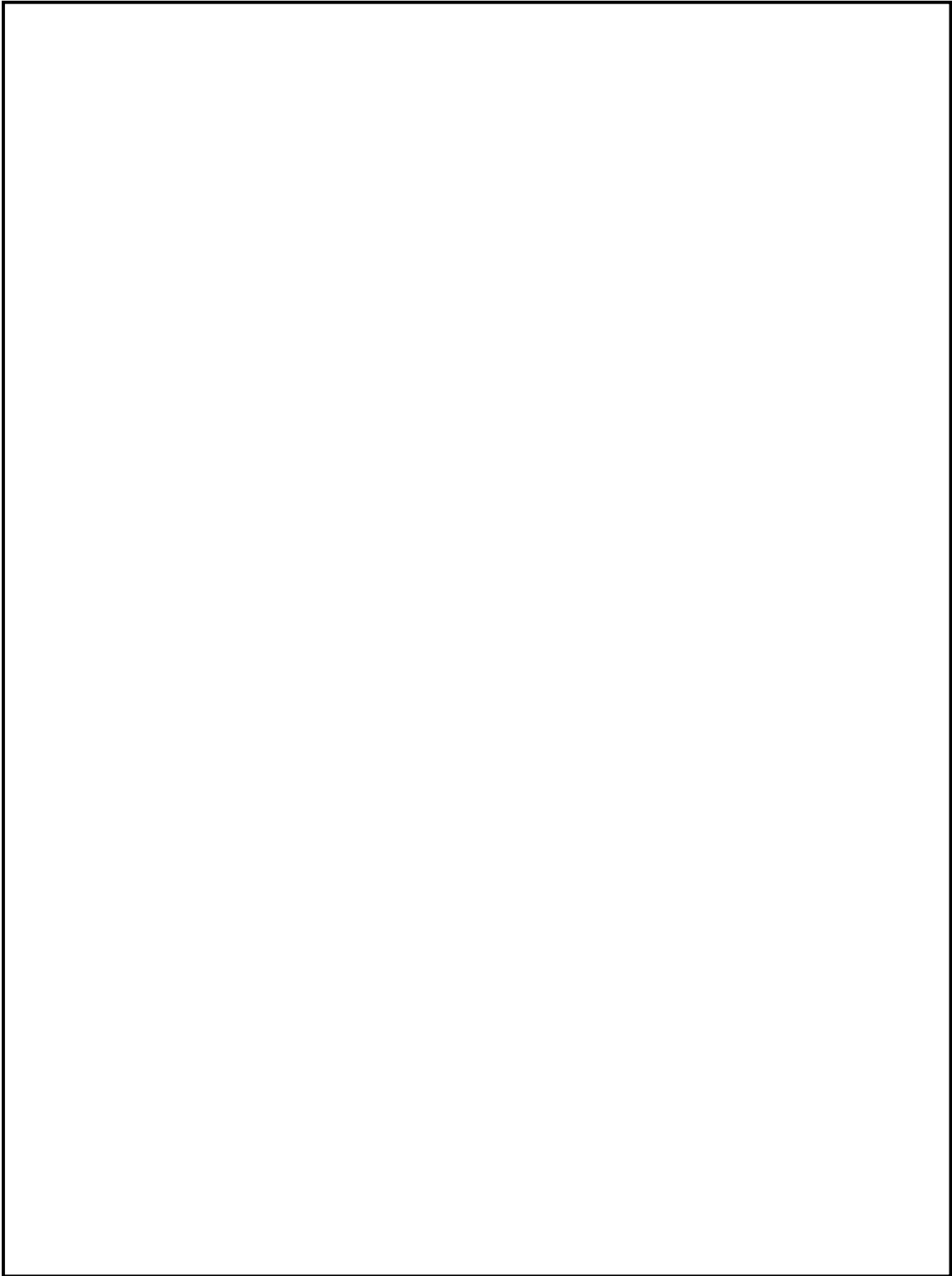


図 79-7 変形図（仮置架台への水平落下時、一次応力）[変形倍率 10 倍]

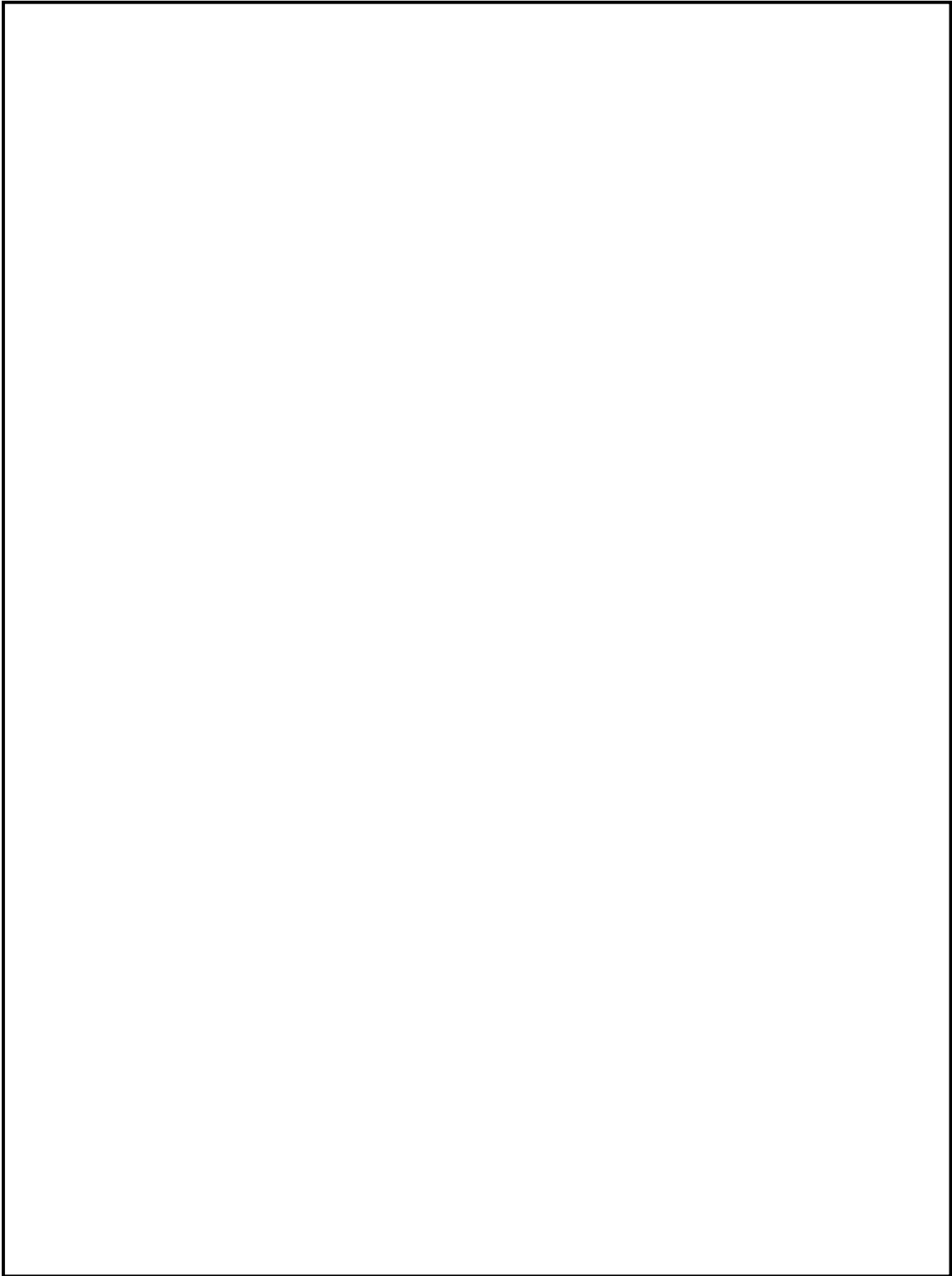


図 79-8 変形図（仮置架台への水平落下時、一次+二次応力）[変形倍率 10 倍]

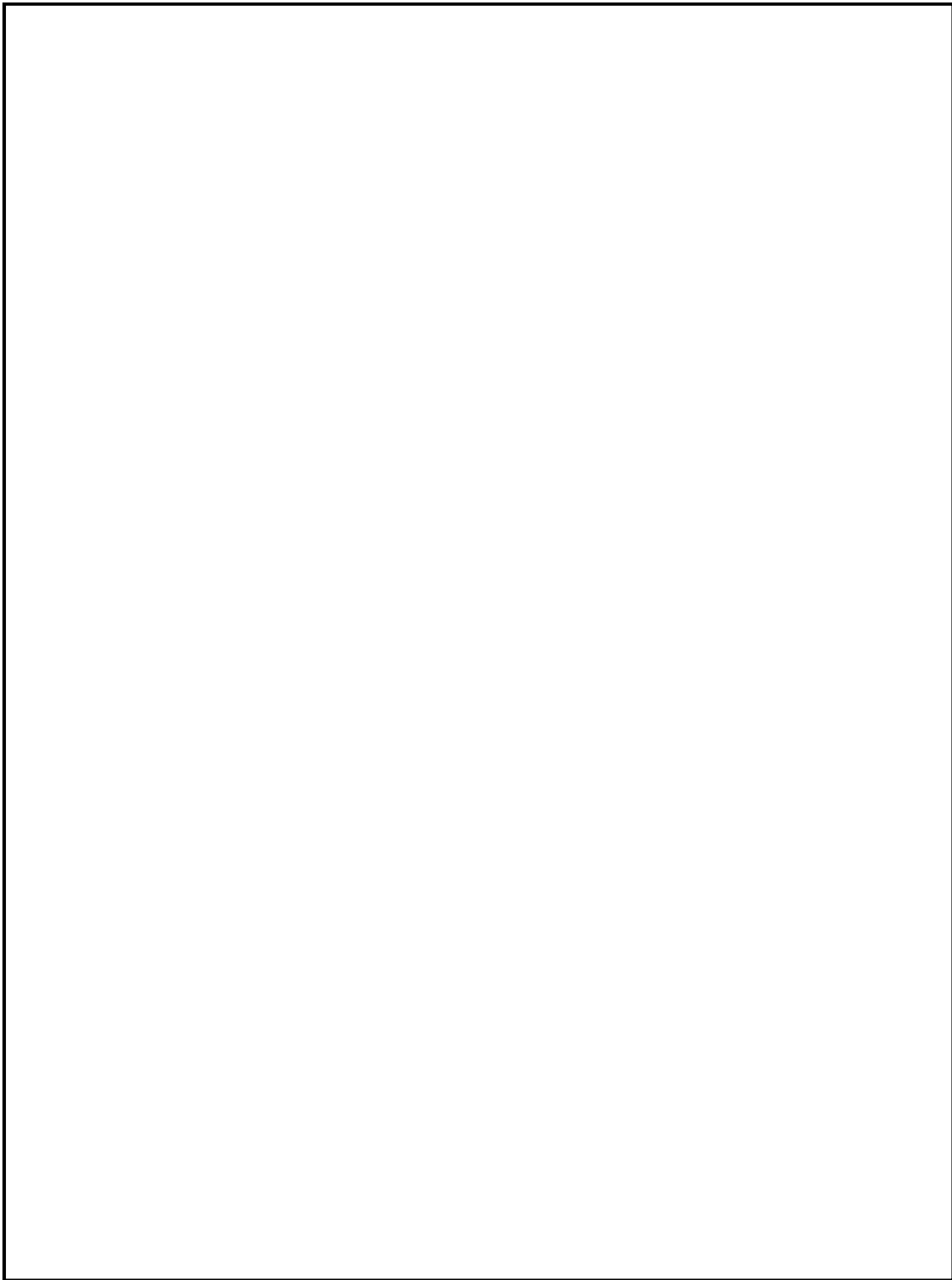


図 79-9 応力コンター図（たて起こし架台への転倒衝突時、一次応力）

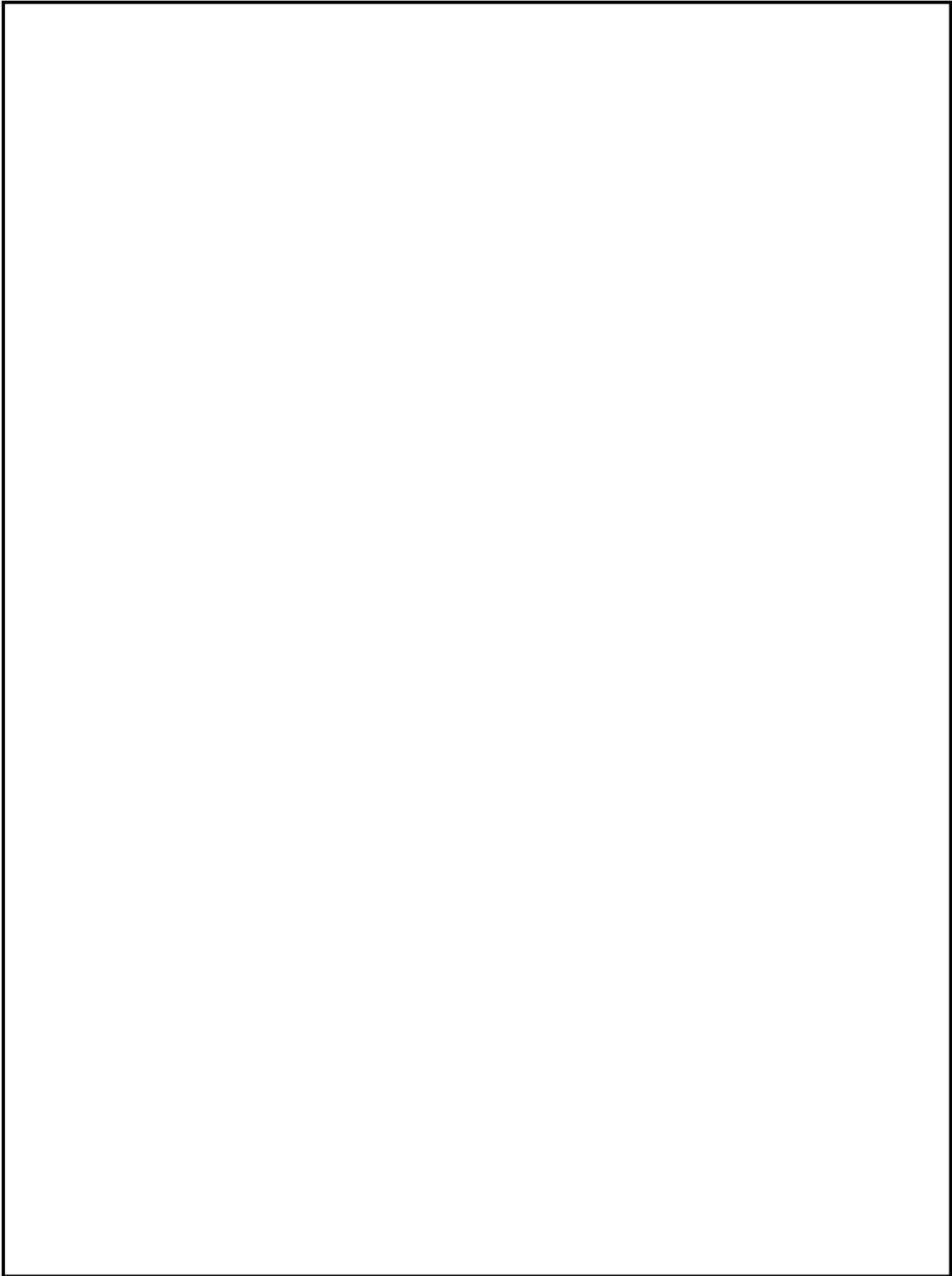


図 79-10 応力コンター図（たて起こし架台への転倒衝突時、一次+二次応力）

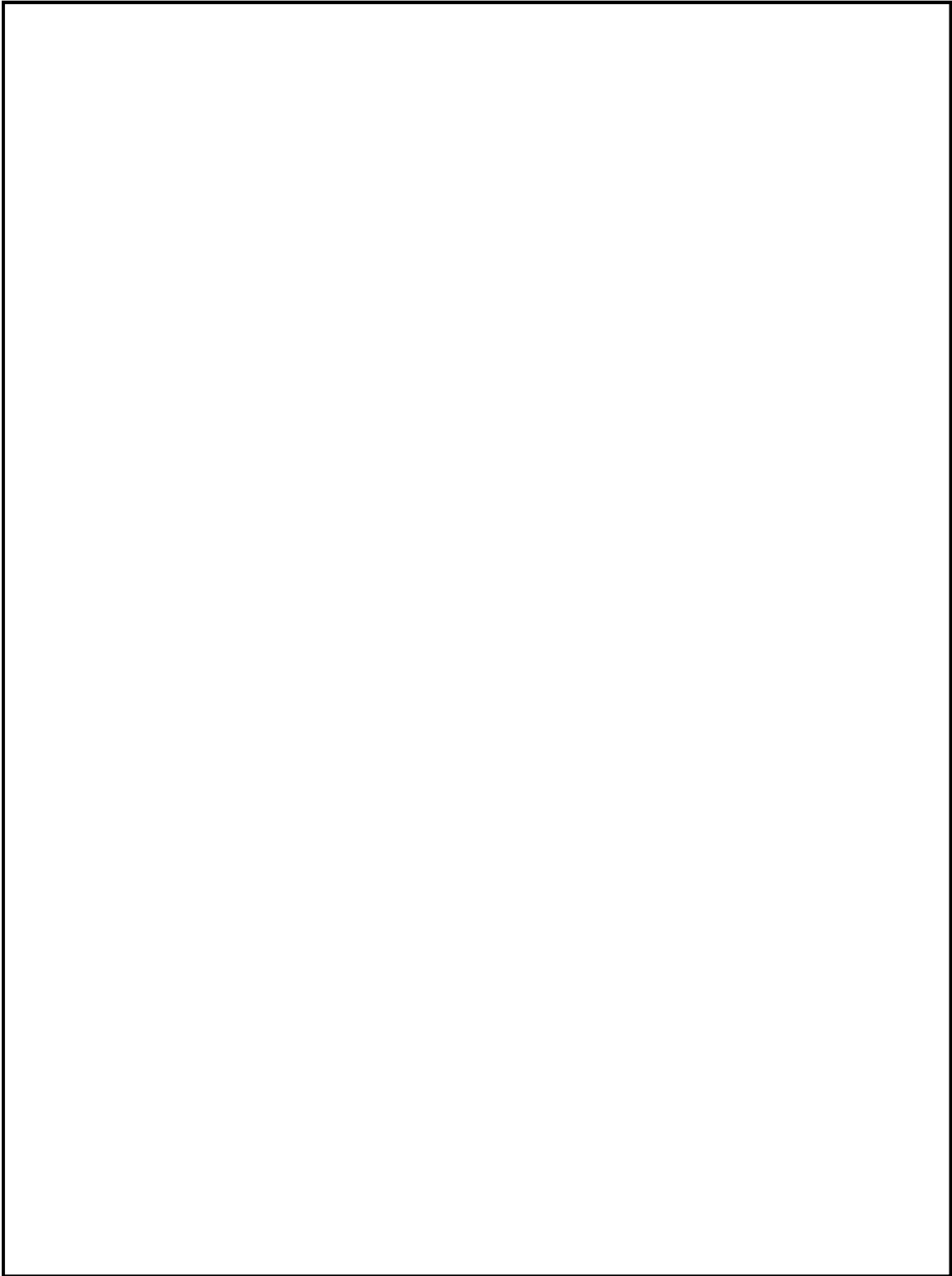


図 79-11 変形図（たて起こし架台への転倒衝突時、一次応力）[変形倍率 10 倍]

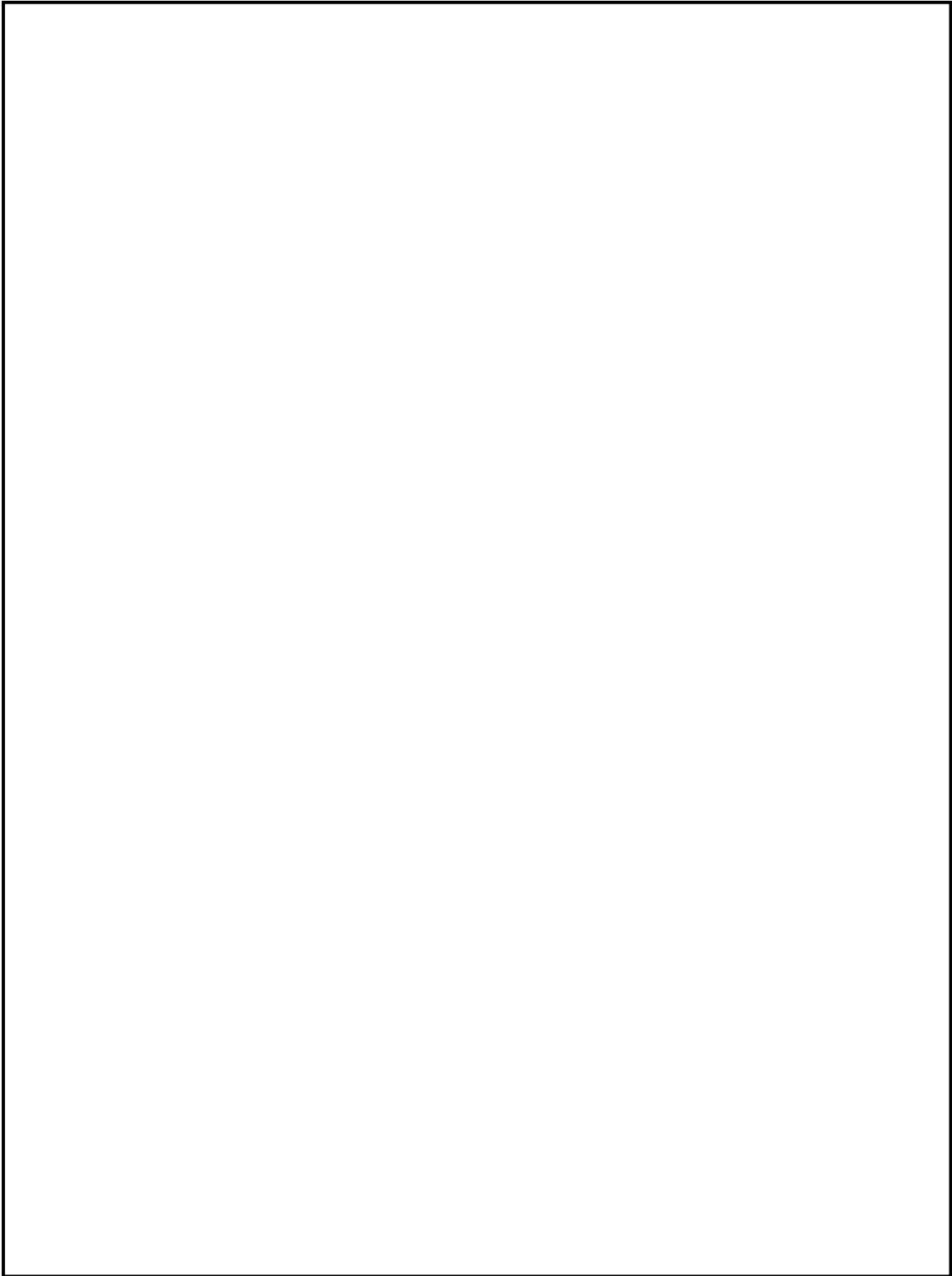


図 79-12 変形図（たて起こし架台への転倒衝突時、一次+二次応力）[変形倍率 10 倍]

番号	項目	質問日	コメント内容
80	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 1-3 別紙 1-1 図 No.2-4 から No.2-5 において、2 点つりから 4 点つりに移行する際に、金属キャスクを垂直に立て起こす必要がある。その際、下部トラニオンはたて起こし架台に接地したままか、つり上げられるか確認すること。</p>

(回答)

金属キャスクは水平状態から立て起こしを行う際には、以下のとおり取り扱われるものとする。

- ・2 点吊りにより金属キャスクを水平状態からたて起こす際は、たて起こし架台トラニオン受け部に下部トラニオンが着床した状態（たて起き状態）でキャスクの鉛直状態を確認し、吊り具補アームを開操作後、4 点吊りにより貯蔵架台上面に干渉しない高さまで巻き下げ移送する。
- ・また鉛直状態からのよこ倒しの際は、金属キャスクを 4 点吊りにて貯蔵架台上面に干渉しない高さまで吊り上げ、たて起こし架台に移送し、たて起こし架台トラニオン受け部に下部トラニオンが着床し（たて起き状態）キャスクの鉛直状態を確認後、吊り具補アームを開操作し、2 点吊りによりよこ倒しを行う。

番号	項目	質問日	コメント内容
81	想定 事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 2-2 「～トラニオン受け部は剛とし、別紙 2-1 図に示す評価位置においてトラニオンが損傷すると考える。」について、「トラニオンが剛とし、受け部が損傷する」となった場合についても評価出来ているか、これを考慮しても保守的に評価出来ているか説明すること。</p>

(回答)

別紙 2-2 頁及び図 81-1 に示される仮置架台への水平落下事象において、トラニオンを剛とした場合、仮置架台との衝突により Hitz-B52 型に作用する衝撃加速度 α (G) は、Hitz-B52 型の落下エネルギーが仮置架台の変形によって全て吸収されるものとする。

その場合の衝撃加速度 α (G) は、以下の式により算出される。

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{K \times v^2}{m \times g^2}}$$

ここで、

K : 仮置架台支持脚のバネ定数 = 1.86×10^{10} N/m

v : Hitz-B52 型の落下速度 = $\sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 8.86$ m/s

m : Hitz-B52 型の質量 (仮置架台への移動時) = 1.308×10^5 kg

H : 仮置架台への移動時の吊上げ高さ = 4 m

G : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

である。

したがって、 $\alpha = 342$ G と算出される。

一方、トラニオン受け部を剛とした場合の加速度は、補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料 (Doc. No. MA035A-RC-G01)、別紙 2-3 頁に示すとおり 22G となる。

以上より、トラニオンを剛とした場合の加速度は、トラニオンが破断する加速度を大きく上回るためトラニオンが先に破断すると考えられることから、仮置架台への水平落下事象においては、トラニオン受け部を剛とした場合の加速度 22G にて評価を行うこととした。

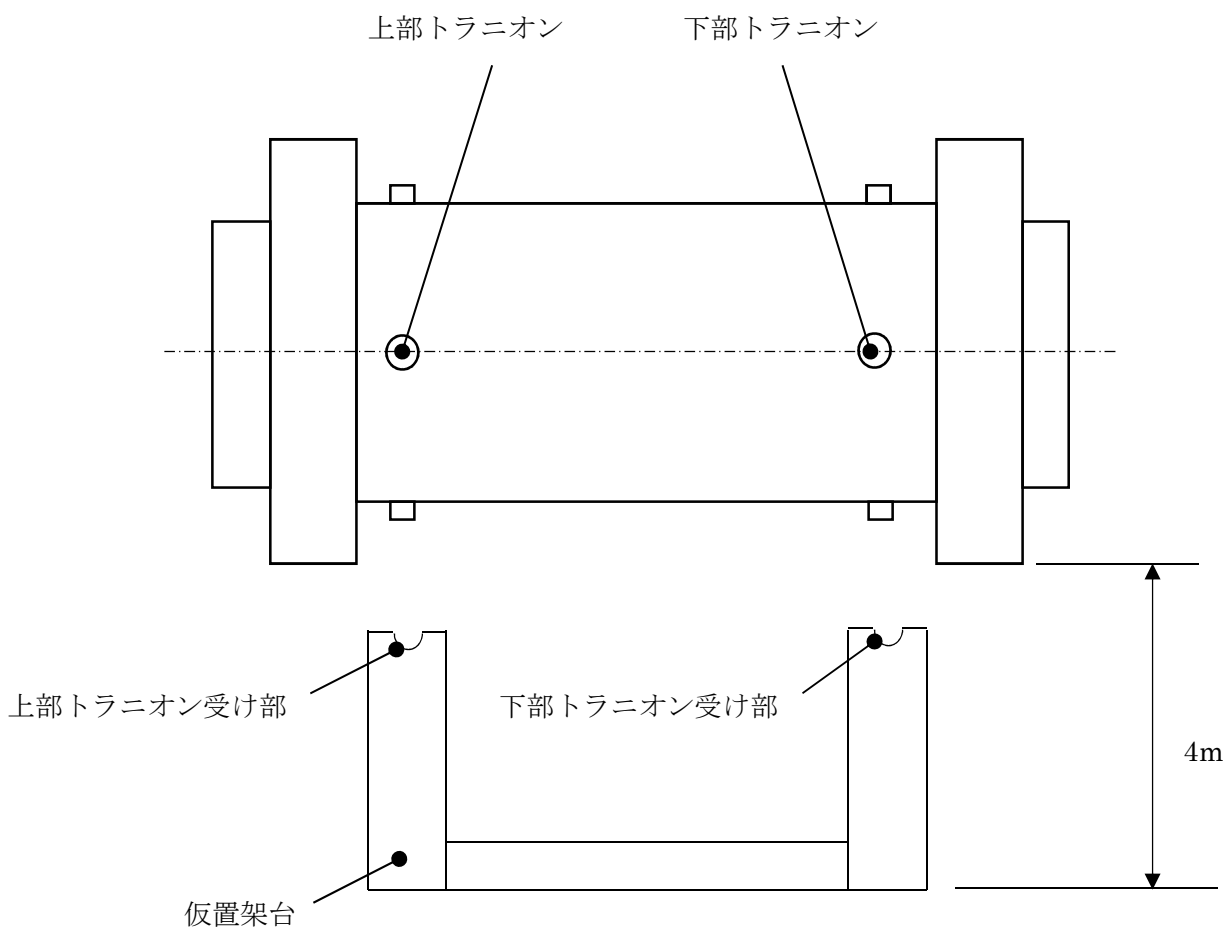


図 81-1 仮置架台への水平落下

なお、バネ定数の算出例を以下に示す。

仮置架台トラニオン受け部の支持脚の断面形状は高さ方向に変化することから、部材を高さ方向に分割して、それぞれのバネによる反力と部材物性の関係からバネ定数 K を算出する。バネ定数はフックの法則により、複数のバネが直列に接続するものと考え、次の式で表わされる。

$$K = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{K_i}}, \quad K_i = E \times \frac{A_i}{L_i} \text{ より、} \quad K = n \times \frac{E}{\sum_i \frac{L_i}{A_i}}$$

ここで、

K : 仮置架台支持脚のバネ定数

n : 支持脚の脚数 (4脚 (全て同一形状、寸法とする))

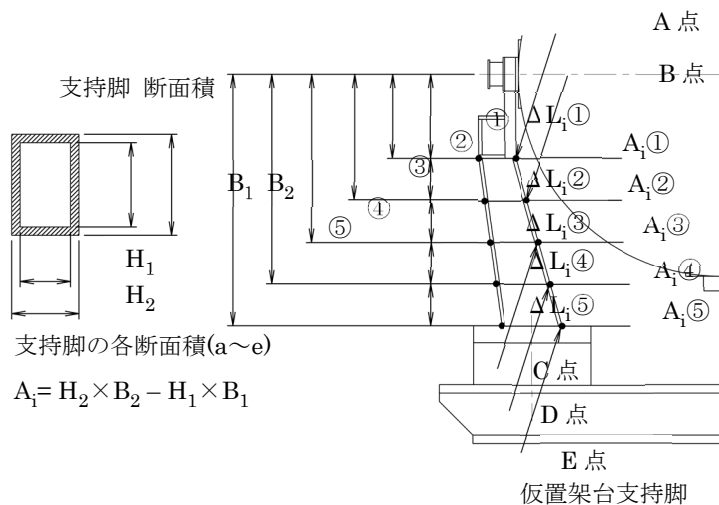
E : 支持脚部材のヤング率 (炭素鋼 : $2.03 \times 10^{11} \text{N/m}^2$)

L_i : 各部材の長さ (m)

A_i : 各部材の断面積 (m^2)

表 81-1 支持脚に対するバネ定数の計算

	長さ L_i (m)	断面積 A_i (m^2)	L_i / A_i (1/m)
A 点	①-トラニオン半径 (ΔL_i ①とする)	A_i ①	ΔL_i ①/ A_i (α とする)
B 点	②-① (ΔL_i ②とする)	A_i ②	ΔL_i ①/ A_i (β とする)
C 点	③-② (ΔL_i ③とする)	A_i ③	ΔL_i ①/ A_i (γ とする)
D 点	④-③ (ΔL_i ④とする)	A_i ④	ΔL_i ①/ A_i (δ とする)
E 点	⑤-④ (ΔL_i ⑤とする)	A_i ⑤	ΔL_i ①/ A_i (ϵ とする)
$\Sigma L_i / A_i$ (1/m)			$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon$ (Ω とする)
支持脚バネ定数 K (N/m^2)			$4 \times (2.03 \times 10^{11} / \Omega)$



番号	項目	質問日	コメント内容
82	想定事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 2-4 衝撃吸収材の圧潰応力=3MPa と設定した根拠を説明すること。また、別紙 2-6 別紙 2-5 図において、衝撃吸収材への貫入深さ=872.5mm と評価されているが、圧潰応力=3MPa の設定で評価した貫入深さになるのか、衝撃吸収材の材質と併せて保守的に評価したことを説明すること。</p>

(回答)

衝撃吸収材の圧潰応力を、どのひずみにおいても 3MPa と仮定して評価した。ここで、緩衝材用木材の圧潰応力については、「Development of Dual-Purpose metal Cask for Interim Storage of Spent Nuclear Fuel (2) Evaluation of Structural Integrity of Dual-Purpose Cask 9 Meter Drop Test, 11th International Conference on Nuclear engineering, Tokyo, Japan, April 20-23, ICONE11-36547⁽¹⁾ (以下、「ICONE11-36457」という。)」の Fig.7 に示されるバルサ材のデータ (図 82-1 参照) を用いて、以下のとおり評価を行う。この衝撃吸収材厚さを 1m と仮定する。

1. 木材 (バルサ材) のデータについて

本評価では、衝撃吸収材は積層直行方向のバルサ材が使用されていると仮定し、検討を行う。ICONE11-36547 の Fig.7 (図 82-1) に示された積層直行方向のバルサ材のデータ (Wood B、(Low ρ)) から読み取った応力ひずみ関係を、表 82-1 に示す。

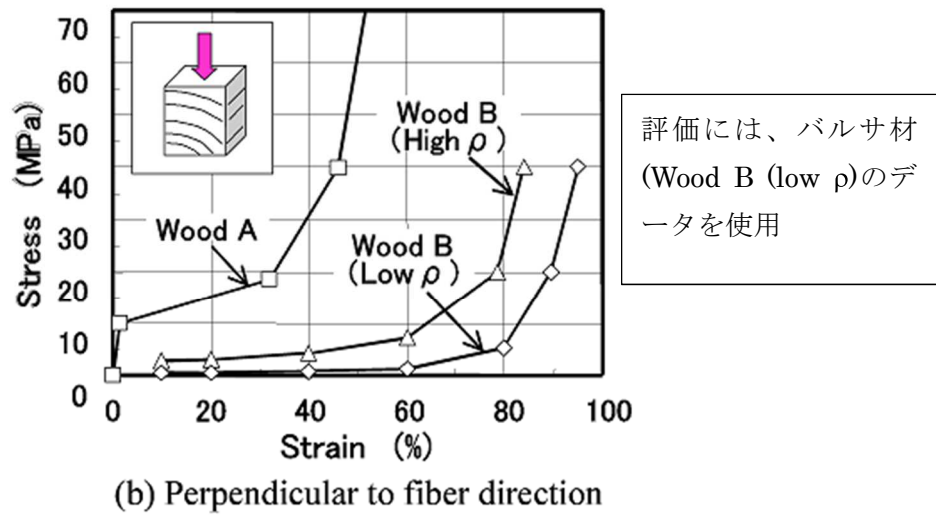


Fig.7 Stress-strain curves for fir plywood and balsa.

図 82-1 応力-ひずみ特性の例

表 82-1 応力-ひずみ特性の例

ひずみ (%)	応力 (MPa)
0	0
10	0.5
20	1.0
40	2.0
60	3.0
80	5.0
90	20.0
95	40.0

2. UDM 法を用いた評価方法

金属キャスクの衝撃吸収材への転倒衝突は、金属キャスクが直立状態で持つ位置エネルギーが衝撃吸収材への衝突による圧縮変形により全て吸収され、最終的に金属キャスクが静止状態になるまでの事象である。この衝撃吸収材が吸収するエネルギーの算出手法として、短軸変形法（UDM : Uniaxial Displacement method、以下「UDM 法」とする。）を用いることとする。

評価方法を、以下に示す。

- (a) 設定した木材の応力-ひずみ関係から UDM 法を用いて、ひずみ量毎に単位面積当たりの吸収エネルギーを算出する。このひずみと単位面積当たりのエネルギーの関係を表 82-2 に示す。
- (b) 転倒角度をパラメータとして、金属キャスクの貫入深さを算出する。
- (c) 金属キャスク貫入部の衝撃吸収材が吸収するエネルギーを算出する。金属キャスク貫入部を分割し、各要素に対応して、(a)で算出したひずみ量に対応する単位面積当たりのエネルギーに各要素の表面積を掛け合わせることで、分割した各要素のエネルギー量を求めることができる。詳細を後述の 3 項に示す。
- (d) 貫入部全体のエネルギーの総和が緩衝材の吸収したエネルギーとなることから、このエネルギーの総和と位置エネルギーが等しくなくなるまで、転倒角度を変えて計算を行う。
- (e) エネルギーの総和と位置エネルギーが等しくなったとき、キャスクが静止状態となる。この時のエネルギーの総和、圧潰応力及び貫入深さによって評価を行う。

表 82-2 応力-エネルギーの関係

ひずみ δ (%)	エネルギー e(δ) ^{※1} (N・m/m ²)	ひずみ δ (%)	エネルギー e(δ) ^{※1} (N・m/m ²)	ひずみ δ (%)	エネルギー e(δ) ^{※1} (N・m/m ²)	ひずみ δ (%)	エネルギー e(δ) ^{※1} (N・m/m ²)	ひずみ δ (%)	エネルギー e(δ) ^{※1} (N・m/m ²)
1	5.00×10 ²	21	1.16×10 ⁵	41	4.31×10 ⁵	61	9.46×10 ⁵	81	1.79×10 ⁶
2	1.50×10 ³	22	1.27×10 ⁵	42	4.52×10 ⁵	62	9.78×10 ⁵	82	1.87×10 ⁶
3	3.00×10 ³	23	1.38×10 ⁵	43	4.73×10 ⁵	63	1.01×10 ⁶	83	1.97×10 ⁶
4	5.00×10 ³	24	1.50×10 ⁵	44	4.95×10 ⁵	64	1.05×10 ⁶	84	2.08×10 ⁶
5	7.50×10 ³	25	1.63×10 ⁵	45	5.18×10 ⁵	65	1.08×10 ⁶	85	2.20×10 ⁶
6	1.05×10 ⁴	26	1.76×10 ⁵	46	5.41×10 ⁵	66	1.12×10 ⁶	86	2.34×10 ⁶
7	1.40×10 ⁴	27	1.89×10 ⁵	47	5.64×10 ⁵	67	1.15×10 ⁶	87	2.50×10 ⁶
8	1.80×10 ⁴	28	2.03×10 ⁵	48	5.88×10 ⁵	68	1.19×10 ⁶	88	2.67×10 ⁶
9	2.25×10 ⁴	29	2.18×10 ⁵	49	6.13×10 ⁵	69	1.23×10 ⁶	89	2.85×10 ⁶
10	2.75×10 ⁴	30	2.33×10 ⁵	50	6.38×10 ⁵	70	1.27×10 ⁶	90	3.05×10 ⁶
11	3.30×10 ⁴	31	2.48×10 ⁵	51	6.63×10 ⁵	71	1.31×10 ⁶	91	3.29×10 ⁶
12	3.90×10 ⁴	32	2.64×10 ⁵	52	6.89×10 ⁵	72	1.35×10 ⁶	92	3.57×10 ⁶
13	4.55×10 ⁴	33	2.81×10 ⁵	53	7.16×10 ⁵	73	1.40×10 ⁶	93	3.89×10 ⁶
14	5.25×10 ⁴	34	2.98×10 ⁵	54	7.43×10 ⁵	74	1.44×10 ⁶	94	4.25×10 ⁶
15	6.00×10 ⁴	35	3.15×10 ⁵	55	7.70×10 ⁵	75	1.49×10 ⁶	95	4.65×10 ⁶
16	6.80×10 ⁴	36	3.33×10 ⁵	56	7.98×10 ⁵	76	1.53×10 ⁶	-	-
17	7.65×10 ⁴	37	3.52×10 ⁵	57	8.27×10 ⁵	77	1.58×10 ⁶	-	-
18	8.55×10 ⁴	38	3.71×10 ⁵	58	8.56×10 ⁵	78	1.63×10 ⁶	-	-
19	9.50×10 ⁴	39	3.90×10 ⁵	59	8.85×10 ⁵	79	1.68×10 ⁶	-	-
20	1.05×10 ⁵	40	4.10×10 ⁵	60	9.15×10 ⁵	80	1.73×10 ⁶	-	-

注記※1：エネルギーの算出は次のとおり。

- (1) ひずみの変化量を 1%（衝撃吸収材厚さ 1m に対し 1cm）とし、次式にて各ひずみでの単位面積当たりのエネルギー e(δ) を算出する。

$$e(\delta) = \int \sigma(\delta) d\delta$$

3. 金属キャスク貫入深さについて

幾何学的な関係から、金属キャスクの転倒角度 θ に対する貫入深さ DD、貫入幅 RR 及び貫入長さ LL は、次のとおり表される。

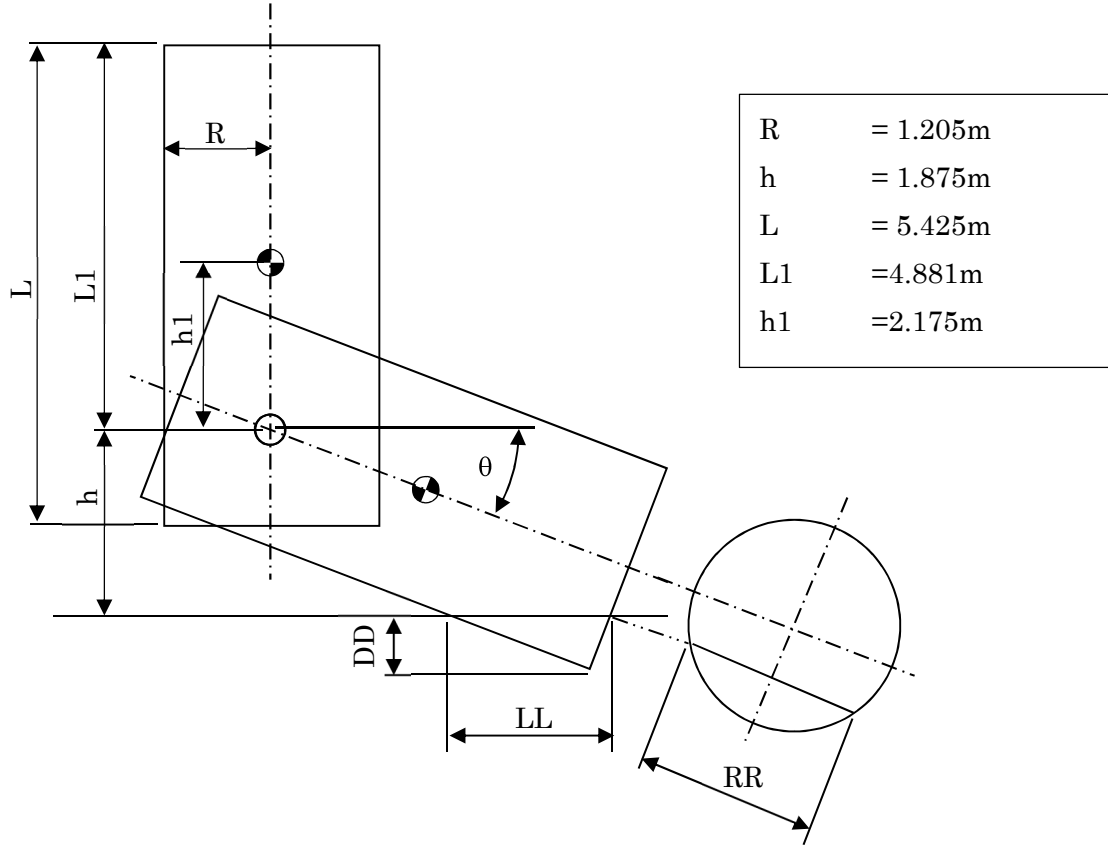


図 82-2 金属キャスクの衝撃吸収材への貫入時の関係図

図 82-2 から貫入深さ DD は、

$$DD = R \times \cos \theta - h + L1 \times \sin \theta$$
 となる。

貫入幅 RR 及び貫入部長さ LL は、それぞれ、

$$RR = 2 \times \sqrt{R^2 - \left(\frac{h}{\cos \theta} - L1 \times \tan \theta \right)^2}$$

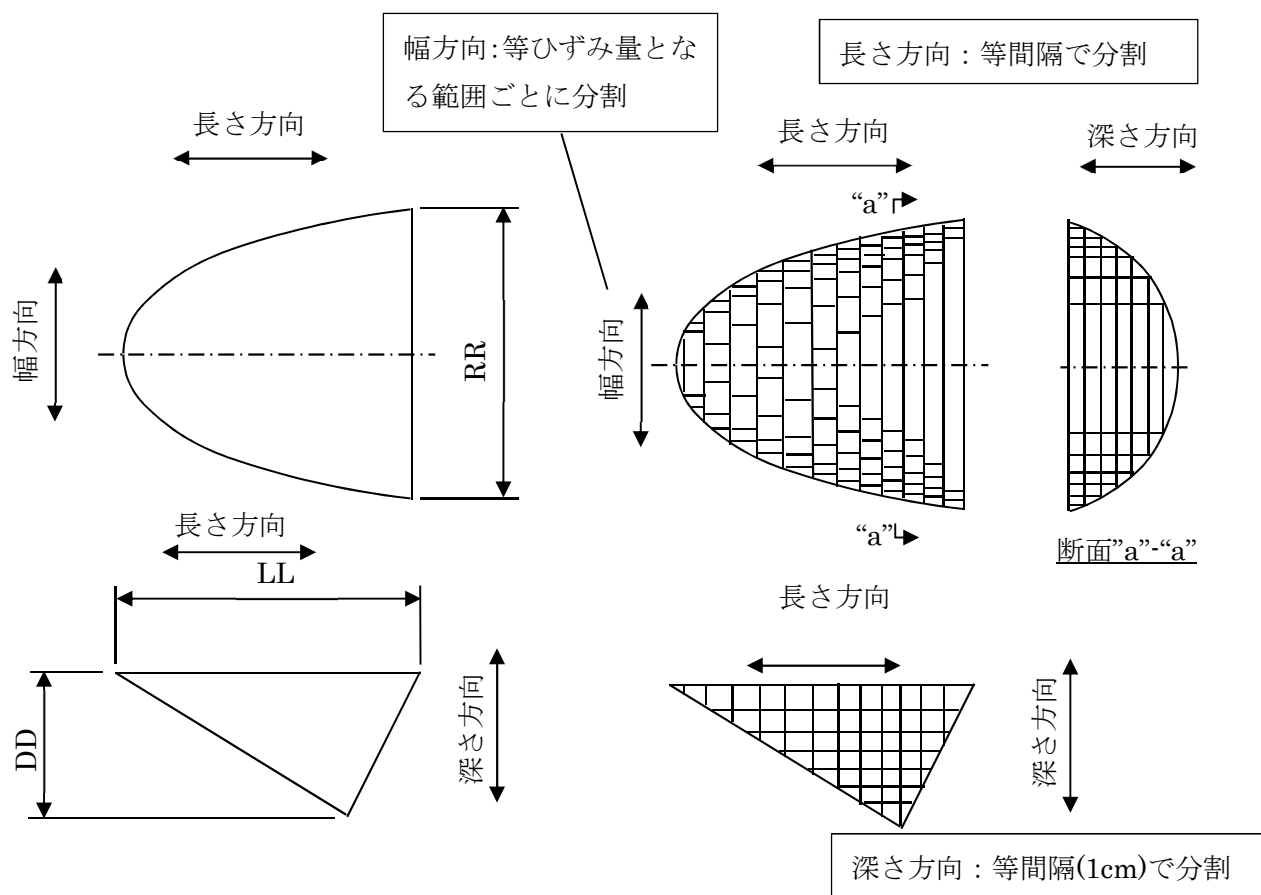
$$LL = \frac{R}{\sin \theta} - \frac{h}{\sin \theta \times \cos \theta} + \frac{L1}{\cos \theta}$$

となる。

次に、吸収エネルギーを算出するため、貫入部をひずみ量ごとに分割する。

この概要を図 82-3 に示す。貫入部の長さ方向は等間隔に、貫入深さ方向は 1cm 刻み (ひずみ量 1%) で等間隔に分割する。そして、ひずみ量が同じとなる範囲毎に、幅方向を分割する。

分割した要素毎に面積を計算し、ひずみに対応するエネルギーを乗じることで要素毎の吸収エネルギーを求める。このエネルギーの総和が、貫入部の吸収エネルギーとなる。



貫入部の概要

ひずみ量による分割 (概念図)

図 82-3 金属キャスクの衝撃吸収材への貫入部概要

転倒角度をパラメータとした計算結果を、図 82-4 及び表 82-3 に示す。

貫入深さについては、衝撃吸収材の圧潰応力を 3MPa で一定とした場合 (=0.873 m) とほぼ同等である。

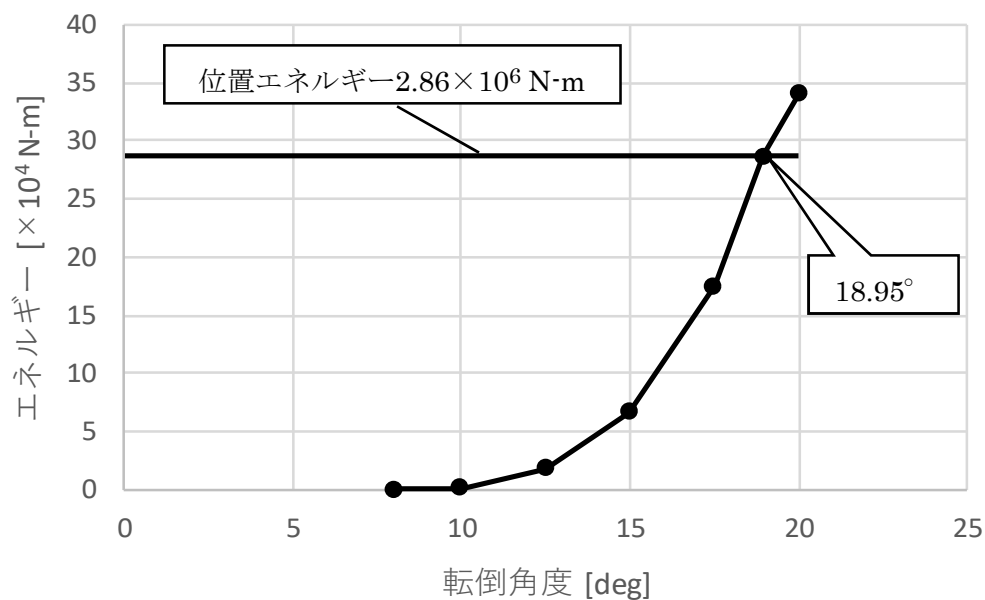


図 82-4 転倒角度とエネルギーの関係

表 82-3 計算結果

項目	単位	計算値
転倒角度	deg	18.95
吸収エネルギー	N-m	2.86×10^6
貫入深さ DD	m	0.850
貫入長さ LL	m	2.767
貫入幅 RR	m	2.331

4. 加速度評価

上記 3 項で算出した貫入深さに対する金属キャスクの衝撃加速度 $\alpha(G)$ は、各領域で金属キャスクに作用する反力 f_i の総和である衝撃荷重 F から、次式にて計算される。

$$\alpha = F / (m_{\text{eff}} \times g)$$

$$F = \sum_i f_i$$

$$f_i = A_i \times \sigma_i$$

ここで、

m_{eff} : 金属キャスクの等価質量 ($= I / r^2 = 3.724 \times 10^4 \text{ kg}$)

F : 金属キャスクに作用する反力の総和 ($= 1.321 \times 10^7 \text{ N}$)

g : 重力加速度 ($= 9.80665 \text{ m/s}^2$)

f_i : 領域 i で金属キャスクに作用する反力 (N)

A_i : 領域 i の表面積 (m^2)

σ_i : 領域 i の圧潰応力 (MPa)

I : 下部トラニオン周りの慣性モーメント ($= 8.874 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$)

r : 下部トラニオンから Hitz-B52 型の上面までの長さ ($= 4.881 \text{ m}$)

以上の結果より、衝撃加速度は $\alpha = 36.2 \text{ G}$ となり、圧潰応力を 3 MPa で一定とした場合の評価結果 ($\alpha = 36 \text{ G}$) とほぼ同等となった。

したがって、実際の木材の圧潰特性から得られた衝撃吸収材としての衝撃加速度と同程度であり、圧潰応力を 3 MPa で一定とした設定は妥当であるといえる。

なお、「補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料」の表 7 (16 ページ) に示す評価において一次蓋ボルトの応力(③)の余裕率が一番厳しくなるが (設計基準値 853 MPa / 評価値 $444 \text{ MPa} = 1.92$)、まだ裕度は十分であることから、実際の木材の圧潰特性による評価 (加速度 36.2 G) の場合でも、容器の密封性には影響しないと判断できる。

5. 参考文献

- (1) Development of Dual-Purpose metal Cask for Interim Storage of Spent Nuclear Fuel (2) Evaluation of Structural Integrity of Dual-Purpose Cask 9 Meter Drop Test, 11th International Conference on Nuclear engineering, Tokyo, Japan, April 20-23, ICONE11-36547

番号	項目	質問日	コメント内容
83	想定 事象	2018/11/21	<p>【補足説明資料 2-1 Hitz-B52 型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価に関する説明資料】(Doc.No.MA035A-RC-G01 Rev.0) (平成 30 年 11 月 21 日説明資料)</p> <p>・別紙 2-5 貯蔵架台のバネ定数=1.23×10¹⁰N/m と設定した根拠を説明すること。</p>

(回答)

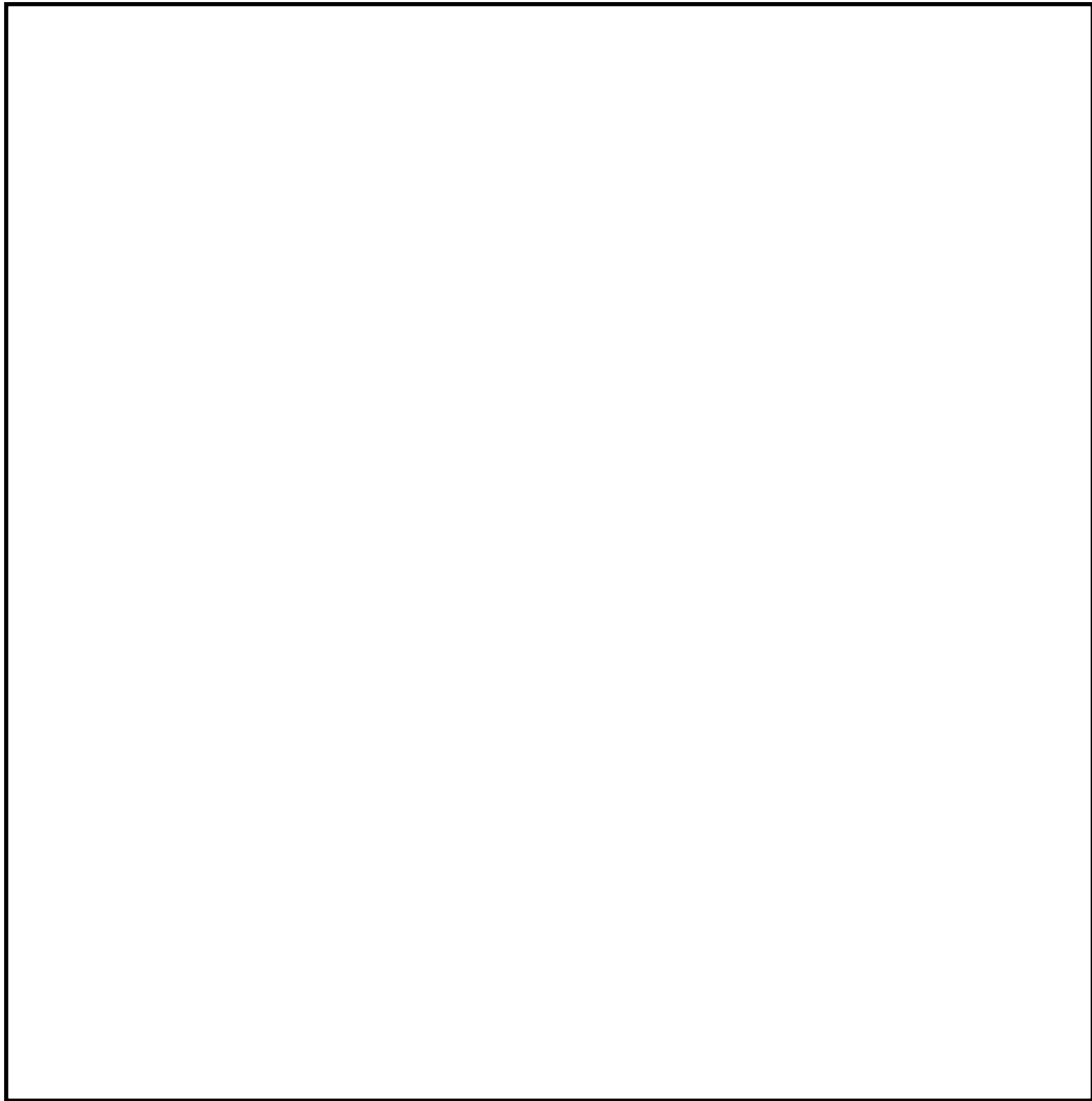
1. バネ定数の根拠

貯蔵架台のバネ定数は、想定する貯蔵架台に対し、下記に示す条件での静解析の結果に保守性を持たせた数値として設定している。ここでは、キャスク底部接触範囲にキャスクの重量荷重を作用させ、接触範囲の変位結果からバネ定数を算出し、設定されたバネ定数(1.23×10¹⁰N/m)と比較し、その妥当性を確認する。

2. 解析モデル

Hitz-B52 型は「補足説明資料 1-5 Hitz-B52 型の構造解析に関する説明資料 (Doc. No.MA035A-RC-A01 Rev.1)」で構造解析に用いたものと同様なモデルを持ち、貯蔵架台はソリッド要素でモデル化し、Hitz-B52 型の底面と貯蔵架台上面は、接触とする。ここで、Hitz-B52 型と貯蔵架台上部の摩擦は考慮しないものとした。

想定する貯蔵架台の概要を図 83-1 に、解析モデルを図 81-2 に示す。



(単位：mm)

図 81-1 貯蔵架台概要図

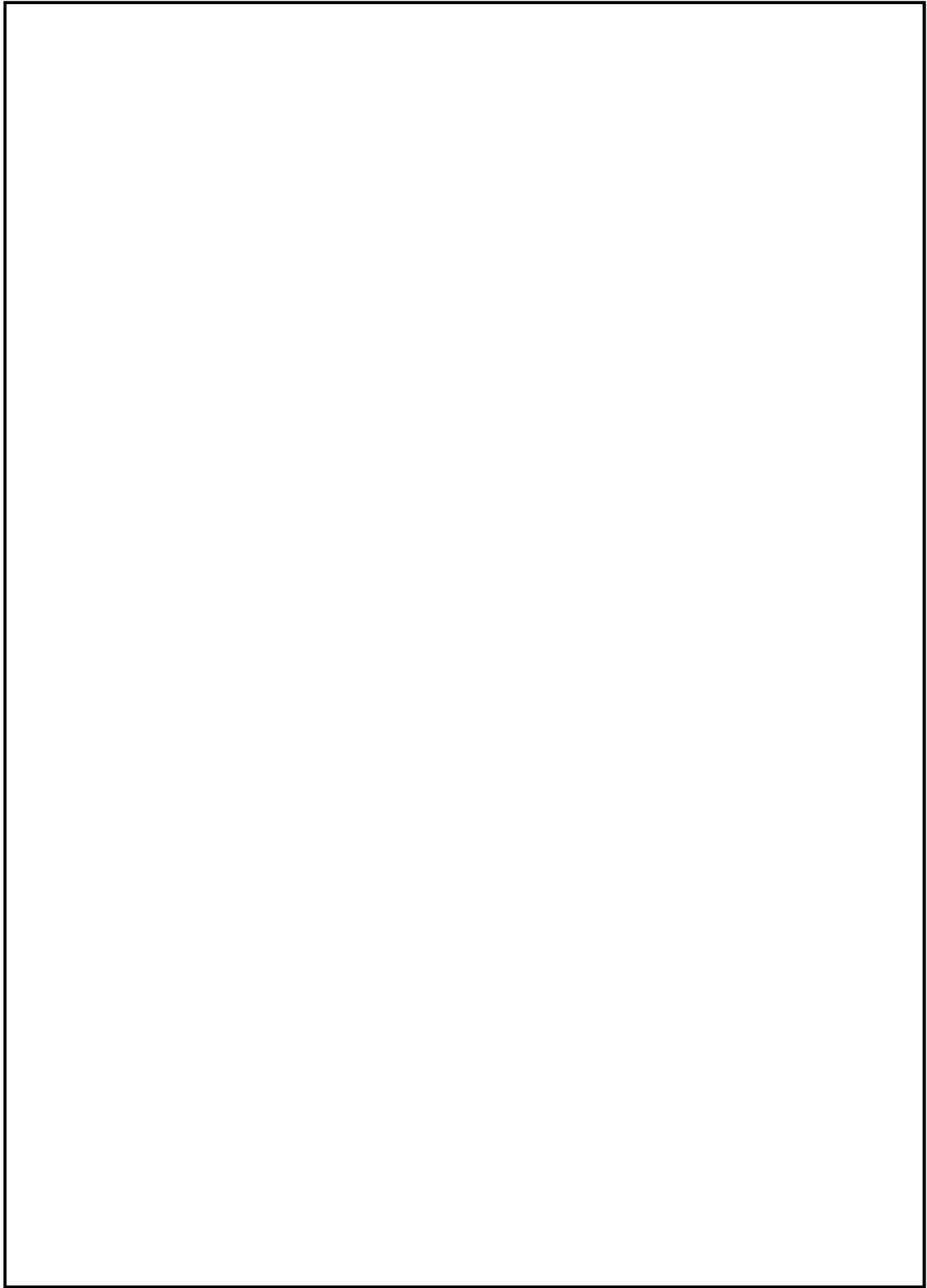


図 81-2 解析モデル (Hitz-B52 型及び貯蔵架台)

3. 荷重条件及び境界条件

貯蔵架台への垂直落下時の加速度として、Hitz-B52 型の鉛直下向きに 1G、2G、5G、10G、20G、30G、40G、50G 及び 60G をそれぞれ与え、荷重-変位特性からバネ定数を求める。なお、貯蔵架台の自重は考慮しない。

境界条件としては、貯蔵架台底面を鉛直方向に拘束し、水平方向はスライドとする。この境界条件を図 81-3 に示す。また、貯蔵架台の物性値は炭素鋼とし、表 81-1 に示す。

表 81-1 炭素鋼の物性値

項目	物性値	出典	備考
密度	7.85 g/cm ³	JIS G3193	(SS400 相当)
縦弾性係数	202000 MPa	材料規格	
ポアソン比	0.3	理科年表等	

4. 解析結果

解析から求めた貯蔵架台の変位を用いて、バネ定数を用いる。なお変位の評価部位としては、容器底面外半径の位置とし、鉛直方向変位の評価を行う。

バネ定数 **K** は以下の式により求める。

$$K = F / \delta$$

ここで、

F : キャスク重量 (加速度を考慮) = $m \times G$

δ : 変位 (m)

m : Hitz-B52 型モデル化部の重量 = kg = N

g : 重力加速度 = 9.80665 m/s²

荷重と変位の関係についての解析結果を表 81-2 及び図 81-4 に示す。また代表として、変位が最も大きくなる加速度 60G の解析結果の変形図を、図 81-5 に示す。

解析によって得られた荷重と変位の関係から、最小二乗法によって算出したバネ値は次のとおり。

$$K = 9.70 \times 10^6 \text{ N/mm} = 9.70 \times 10^9 \text{ N/m}$$

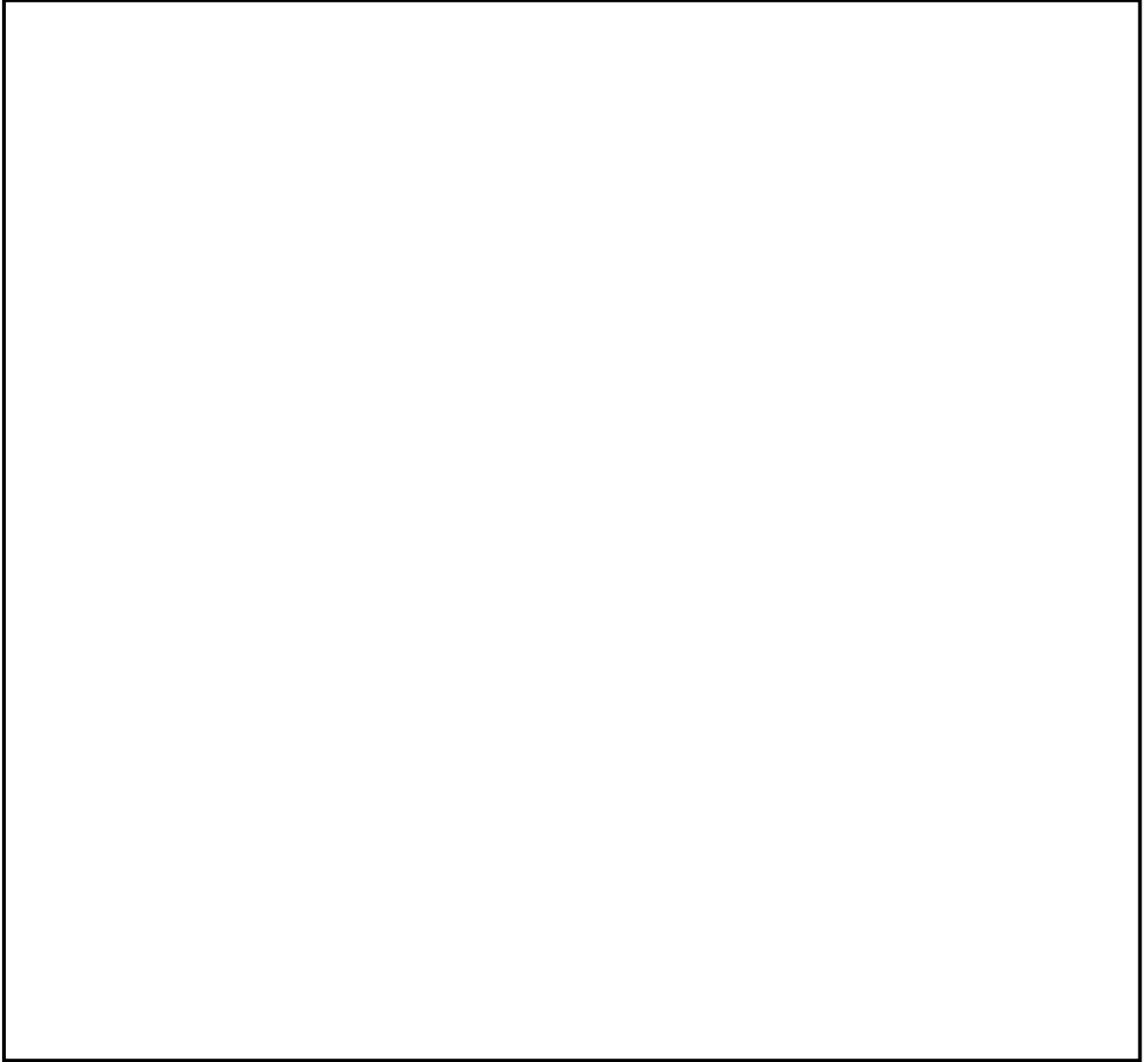


図 81-3 境界条件

表 81-2 荷重-変位関係

No.	加速度 (G)	荷重 (N)	変位 (mm)
1	1.0		
2	2.0		
3	5.0		
4	10.0		
5	20.0		
6	30.0		
7	40.0		
8	50.0		
9	60.0		

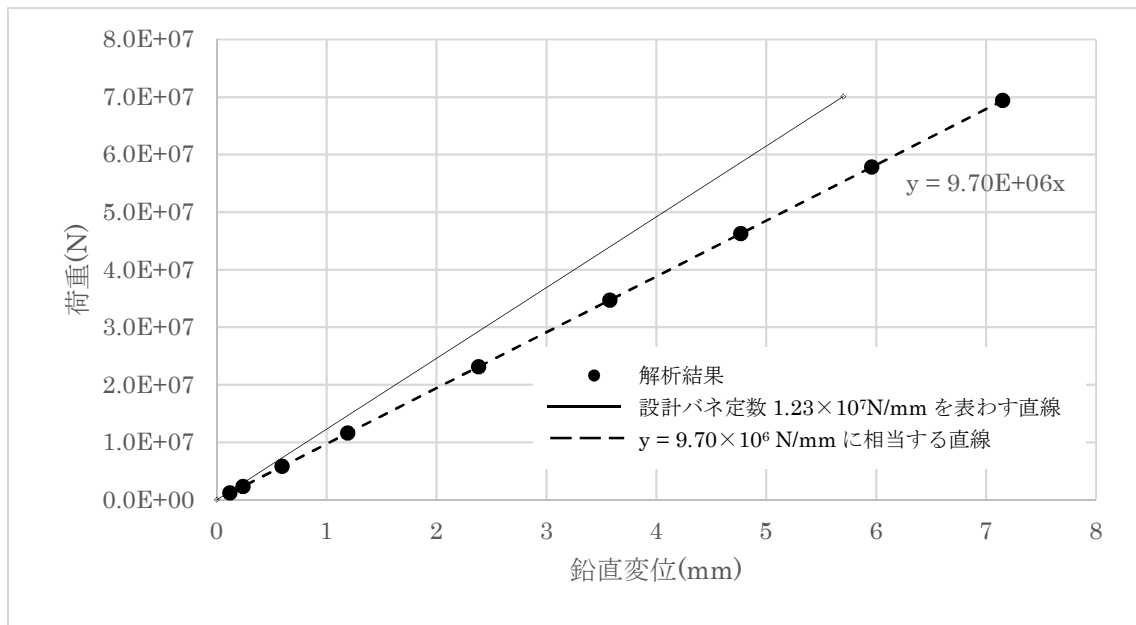


図 81-4 荷重-変位関係

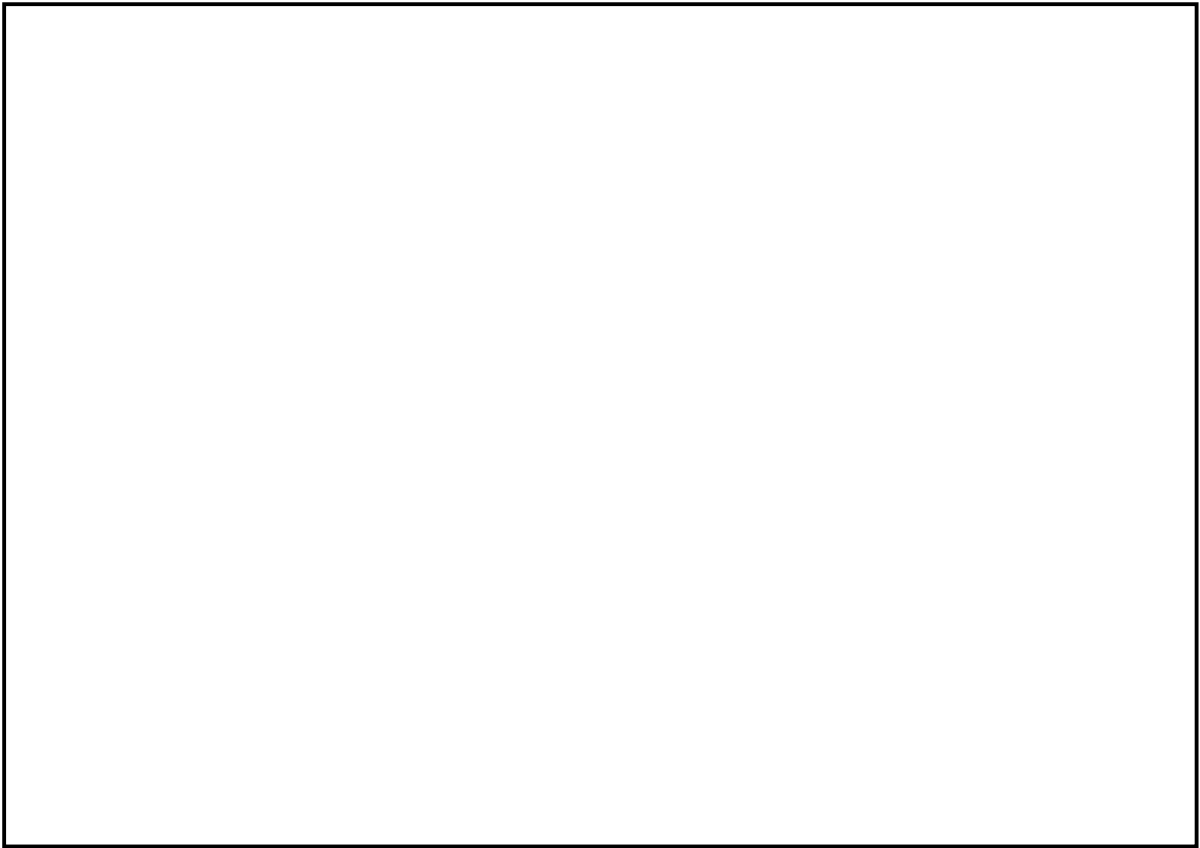


図 81-5 変形図 (加速度 60G、倍率×40 倍)

5. 評価

想定事象の評価で設定したバネ定数 1.23×10^{10} N/m は、解析で得られたバネ定数と比較して固めの値となっており、貯蔵架台への衝突に対する加速度評価においては、保守的な設定となる。

Doc. No. MA035A-RC-G02-3 Rev.0

2020年11月25日

日立造船株式会社

使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（Hitz-B52型）

質問管理票に対する回答（想定事象関連）（その3）

番号	項目	質問日	コメント内容
98	想定事象	2019/2/13	<p>【使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（Hitz-B52 型） Hitz-B52 型の異常着床時の評価について】（Doc.No.MA035A-RC-A03 Rev.0）（平成 31 年 2 月 13 日説明資料）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本説明資料の位置づけとして、想定事象のハンドリングフロー図の代表事例に対する説明であることを明確に説明すること。また、このほかの事象についても検討し、説明すること。

(回答)

1. 概要

Hitz-B52 型の使用済燃料貯蔵施設内におけるハンドリングフローに基づき、設計上考慮する事象を選定（以下、「選定事象」とする。）している。

この選定事象のうち、荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、その代表事象について応力評価を実施する。

この代表事象の選定について、本資料で説明する。

2. 選定事象

Hitz-B52 型の使用済燃料貯蔵施設内におけるハンドリングフローを図 98-1 に示す。

輸送車両により貯蔵建屋受入れ区域に搬入された Hitz-B52 型は、輸送用の緩衝体を取り付けた状態で、受入れ区域の天井クレーンで吊上げ、仮置架台又はたて起こし架台に設置される。

Hitz-B52 型は輸送架台、仮置架台及びたて起こし架台にトラニオンを介して水平に設置される。

Hitz-B52 型は、たて起こし架台上で緩衝体を取り外し、受け入れ区域の天井クレーンでたて起こし、垂直吊上後に貯蔵架台に移送され、下部トラニオンを介して貯蔵架台上に固縛された後、搬送機器等（搬送台車）により貯蔵架台ごと検査架台へ移送される。

検査架台で三次蓋を取り外した後、Hitz-B52 型は、搬送機器等（搬送台車）により貯蔵架台ごと受入れ区域から貯蔵区域の所定の貯蔵場所まで移送され、貯蔵架台と貯蔵建屋の床面を固縛して貯蔵される。

なお、図 98-1 には、使用済燃料貯蔵施設での Hitz-B52 型の受入れから貯蔵場所への設置までの工程を記載しているが、使用済燃料貯蔵施設から搬出される場合においては、本工程と逆の手順にて取り扱うこととなる。

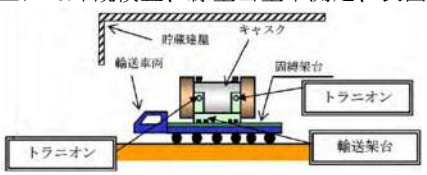
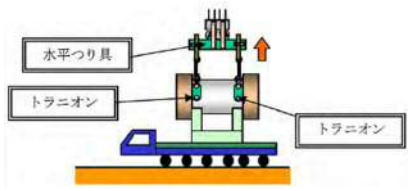
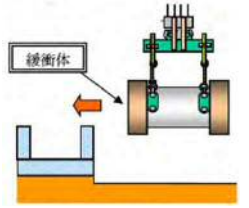
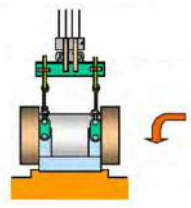
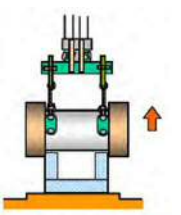
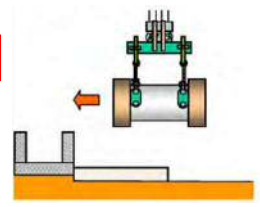
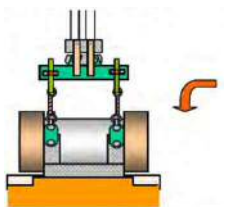
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
1-1	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 輸送車両上にて外観検査、線量当量率測定、表面密度測定等実施 	1-2	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク水平つり上げ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 
1-3	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 	1-4	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 
1-5	<ul style="list-style-type: none"> キャスク水平つり上げ <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 	1-6	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 
1-7	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">吊上げ時</div> 		

図 98-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (1/3)

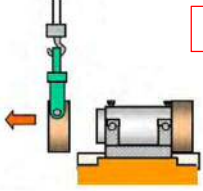
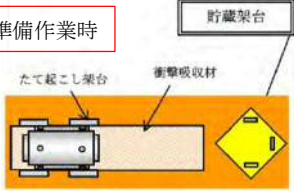
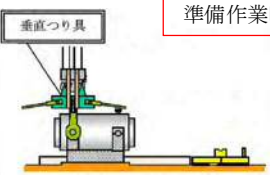
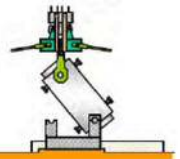
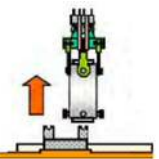
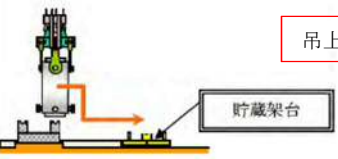
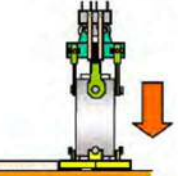
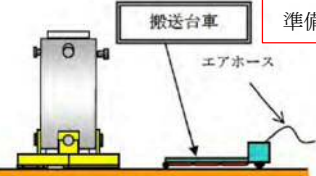
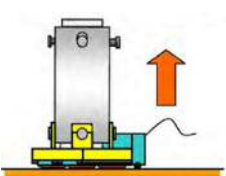
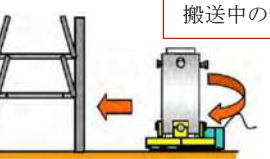
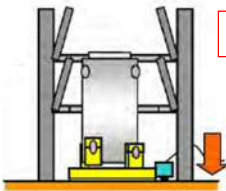

No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
2-1	<ul style="list-style-type: none"> 緩衝体の取外し  <p>準備作業時</p>	2-2	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台をたて起こし架台付近に設置  <p>準備作業時</p> <p>貯蔵架台</p> <p>衝撃吸収材</p> <p>たて起こし架台</p>	2-3	<ul style="list-style-type: none"> つり具主アームを上部トラニオンに取り付け  <p>準備作業時</p> <p>垂直つり具</p>
2-4	<ul style="list-style-type: none"> 主アームの外れ防止金具を取り付けた後、キャスクをたて起こし  <p>吊上げ時</p>	2-5	<ul style="list-style-type: none"> トラニオン押さえを取り外した後、キャスクをつり上げ  <p>吊上げ時</p> <p>たて起こし架台への衝突時</p>	2-6	<ul style="list-style-type: none"> つり上げ高さを制限しながら横行・下降操作を繰り返し、貯蔵架台上まで移送  <p>吊上げ時</p> <p>貯蔵架台</p>
2-7	<ul style="list-style-type: none"> キャスクを貯蔵架台に着床、固定  <p>吊上げ時</p> <p>貯蔵架台への衝突時</p>	2-8	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台下部に搬送台車を挿入  <p>準備作業時</p> <p>搬送台車</p> <p>エアホース</p>	2-9	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上  <p>台車搬送時</p>
2-10	<ul style="list-style-type: none"> 旋回動作、走行動作により検査架台へ移送  <p>台車搬送時</p> <p>搬送中の急停止時</p>	2-11	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車着床、貯蔵架台固定ボルト取り付け  <p>台車搬送時</p>	2-12	<ul style="list-style-type: none"> 三次蓋（輸送用）の取外し  <p>準備作業時</p> <p>三次蓋</p>

図 98-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (2/3)

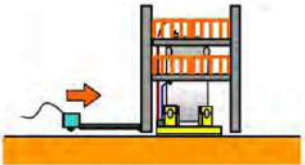
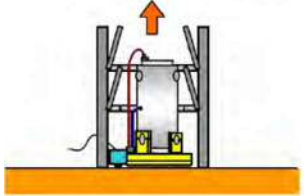
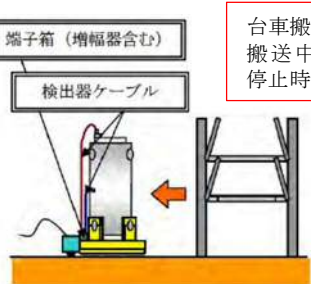
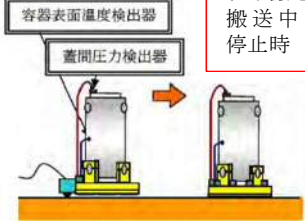
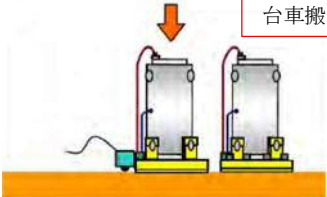
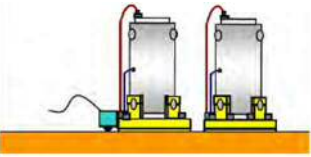
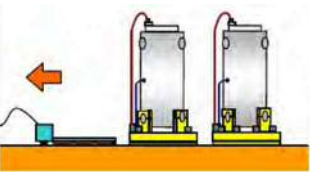
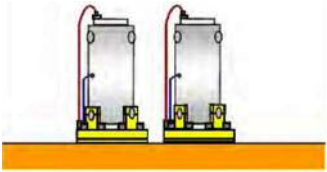
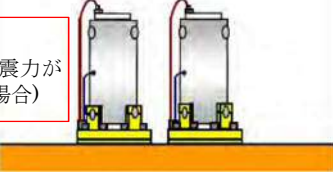
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
3-1	<ul style="list-style-type: none"> 蓋間圧力検出器、キャスク表面温度検出器取り付け 気密漏えい検査 貯蔵架台に搬送台車挿入 貯蔵架台固定ボルト取り外し <p style="text-align: right;">準備作業時</p> 	3-2	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上 <p style="text-align: right;">台車搬送時</p> 	3-3	<ul style="list-style-type: none"> 検査架台からキャスク拔出し <p style="text-align: right;">台車搬送時 搬送中の急 停止時</p> 
3-4	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵場所まで移送 <p style="text-align: right;">台車搬送時 搬送中の急 停止時</p> 	3-5	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の着床・貯蔵架台の設置 <p style="text-align: right;">台車搬送時</p> 	3-6	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト一部取り付け 
3-7	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の抜取り <p style="text-align: right;">準備作業時</p> 	3-8	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト取り付け・確認 <p style="text-align: right;">準備作業時</p> 	3-9	<ul style="list-style-type: none"> 表面温度及び蓋間圧力端子箱へケーブル接続 二重蓋間圧力検査、表面温度検査、据付検査 <p style="text-align: right;">貯蔵時 貯蔵時(地震力が 作用する場合)</p> 

図 98-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクのハンドリングフロー (3/3)

このハンドリングフロー図に基づき、使用済燃料貯蔵施設内及び試験時における選定事象を表 98-1 に示す。

表 98-1 選定事象

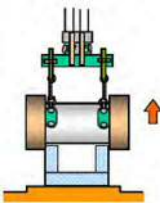
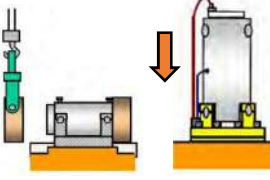
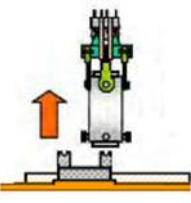
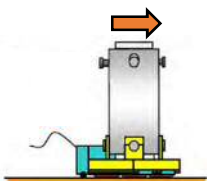
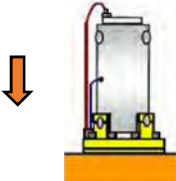
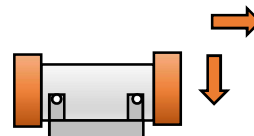
設計事象	供用状態	使用済燃料貯蔵施設内及び試験時における選定事象
I	A	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵（貯蔵時） ・金属キャスクの吊上げ、吊下げ、移動（吊上げ時） ・搬送台車による搬送（台車搬送時） ・貯蔵前作業及び搬出前作業（準備作業時） ・運搬時*1
II	B	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクのたて起こし架台への衝突 （たて起こし架台への衝突時） ・金属キャスクの貯蔵架台への衝突（貯蔵架台への衝突時） ・搬送台車による搬送中の急停止（搬送中の急停止時）
I + Sd*	C	<ul style="list-style-type: none"> ・Sd*相当地震時（貯蔵時（Sd*相当地震力が作用する場合））
I + Ss	D	<ul style="list-style-type: none"> ・Sd*相当地震時（貯蔵時（Sd*相当地震力が作用する場合））
試験状態	試験状態	<ul style="list-style-type: none"> ・耐圧試験（試験時）

注記*1：輸送時の評価事象であり、使用済燃料貯蔵施設内の取扱事象ではないため参考とする。

3. 代表事象

2項で示した使用済燃料貯蔵施設内及び試験時における選定事象のうち、荷重条件（加速度条件）を考慮し、評価対象とする事象（代表事象）を表 98-2 に示すとおり選定した。

表 98-2 評価対象とする事象（1/4）

選定事象（供用状態 A）			
	吊上げ時（水平姿勢） 【代表事象】*1	準備作業時	吊上げ時（垂直姿勢） 【代表事象】
事象			
加速度	鉛直方向：3G	鉛直方向：1G	鉛直方向：3G
説明	供用状態 A において、加速度が最大であるため、代表事象とする。加速度は運搬時と同様であり、運搬時の評価で代表される。	加速度は運搬時及び吊上げ時（垂直姿勢）以下であり、運搬時及び吊上げ時（垂直姿勢）の評価で代表される。	供用状態 A において、加速度が最大であるため、代表事象とする。
	台車搬送時	貯蔵時 【代表事象】	参考：運搬時*1
事象			
加速度	鉛直方向：1G	水平方向：0.05G	鉛直方向：3G, 水平方向：2G
説明	加速度は吊上げ時（垂直姿勢）以下であり、吊上げ時（垂直姿勢）の評価で代表される。	使用済燃料貯蔵施設内において大半の期間を占める事象であるため、代表事象とする。	使用済燃料貯蔵施設内の取扱事象ではないため参考とする。

注記※1：吊上げ時（水平姿勢）の評価においては、参考ではあるがより加速度が厳しい運搬時での解析結果を用いて応力評価を行う。

表 98-2 評価対象とする事象 (2/4)

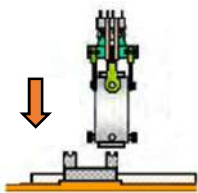
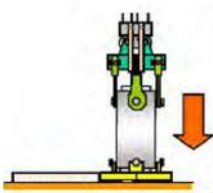
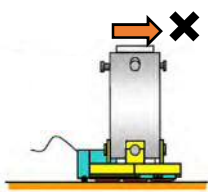
選定事象 (供用状態 B)			
事象	たて起こし架台への衝突時	貯蔵架台への衝突時 [代表事象]	搬送中の急停止時
			
加速度	鉛直方向 : 3G	鉛直方向 : 3G	水平方向 : 0.2G 程度
説明	加速度は運搬時以下であり、運搬時の評価で代表される。	供用状態 B において、加速度が最大であるため、代表事象とする。	重量物のエアパレットでの搬送速度は一般的に 10m/分程度である。急停止時に停止までに要する時間を 0.1 秒とすると加速度は 0.2G 程度であり小さい。

表 98-2 評価対象とする事象 (3/4)

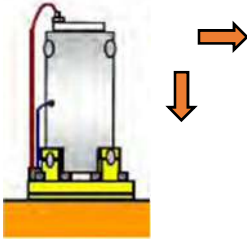
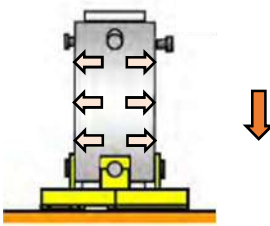
選定事象 (供用状態 C・D)	
貯蔵時 (地震力が作用する場合) [代表事象]	
事象	
加速度	鉛直方向 : 0.87G, 水平方向 : 1.4G
説明	Sd*相当地震力及び Ss 相当地震力が作用する場合を代表事象とする。

表 98-2 評価対象とする事象 (4/4)

選定事象 (試験状態)	
事象	試験時 [代表事象]
	
加速度	鉛直方向 : 1G
説明	耐圧試験圧力が負荷されている状態を代表事象とする。

4. 代表事象の評価

上記 3 項にて選定された代表事象は次のとおりである。

[供用状態 A, B]

- ・ 吊上げ時 (垂直姿勢)
- ・ 貯蔵時
- ・ 運搬時
- ・ 貯蔵架台への衝突時 (以下、「異常着床時」とする。)

[供用状態 C, D]

- ・ 貯蔵時 (地震力が作用する場合)

[試験状態]

- ・ 試験時

供用状態 A 及び B に関しては、貯蔵時は他の事象と比較して発生する応力が小さくなることは明らかであるため、吊上げ時 (垂直姿勢)、吊上げ時 (水平姿勢) 及び貯蔵架台への衝突時 (異常着床時) の各事象について評価を行うが、「Hitz-B52 型の異常着床時の評価について (Doc. No. MA035A-RC-A03 Rev.0)」にて吊上げ時に比べて異常着床時の発生応力のほうが小さくなること、吊上げ時 (水平姿勢) (運搬時の解析結果にて評価を行う) の評価については、質問回答 No.28 で運搬時は輸送時において評価されるものとし、参考として「補足説明資料 1-5 Hitz-B52 型の構造設計に関する説明資料 (Doc. No. MA035A-RC-A01)」の別紙 4 に示していることから、申請書には、吊上げ時を代表として評価を示すこととする。

次に供用状態 C,及び D において、容器本体は供用状態 A 及び B で評価している加速度を超えないこと、供用状態 C 及び D の設計基準値は供用状態 A 及び B と比較して高く設定されることから、発生応力は設計基準値を満足することは明らかである。しかしながら固縛部であるトラニオンにおいては地震時の荷重を受ける箇所であるため、下部トラニオンに着目し、申請書に評価を示すこととする。

試験時においても、使用済燃料貯蔵施設内での取扱事象でないため、申請書に記載は行わない。

上記をふまえて、「補足説明資料 1-5 Hitz-B52 型の構造設計に関する説明資料」別紙 5 の 1.概要について下記のとおり記載を追加する。

<別紙 5、1 頁>

1. 概要

Hitz-B52 型が垂直姿勢で、金属キャスクの貯蔵架台にキャスク底部が衝突する場合（以下「異常着床時」という。）における密封容器の構造強度解析条件および結果を示す。なお、Hitz-B52 型の取扱事象において、供用状態 A 及び B に関しては、吊上げ時（垂直姿勢）に比べて異常着床時の発生応力のほうが小さくなることから、吊上げ時を代表事象とし、異常着床時の評価は参考として取り扱うものとする。

番号	項目	質問日	コメント内容
99	想定事象	2019/2/13	<p>【使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明申請（Hitz-B52 型）Hitz-B52 型の異常着床時の評価について】（Doc.No.MA035A-RC-A03 Rev.0）（平成 31 年 2 月 13 日説明資料）</p> <p>・P.2 「表 1 異常着床時及び吊上時の解析結果の比較」の解析結果が確認できるような変形モード図又は応力コンター図を追記すること。</p>

（回答）

異常着床時の解析結果として、Hitz-B52 型の異常着床時の評価について（Doc. No. MA035A-RC-A03 Rev.0）から引用される補足説明資料別紙 1-5 Hitz-B52 型の構造設計に関する説明資料（MA035A-RC-A01_Rev.3）の別紙 5 に変形図及び応力コンター図を追記する。

追記するコンター図を次頁以降に示す。

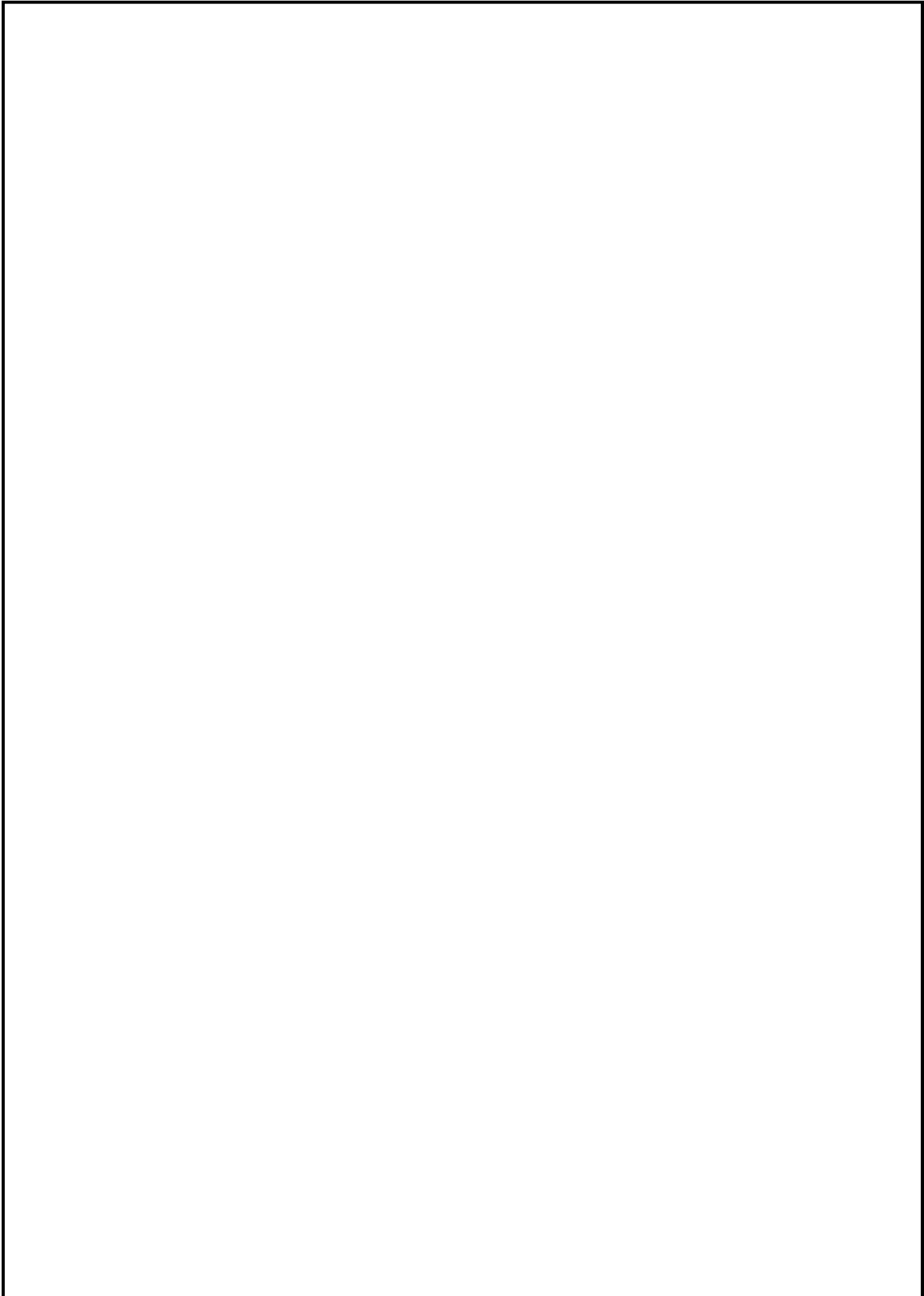


図 99-1 応力コンター図（一次応力、トレスカ応力）

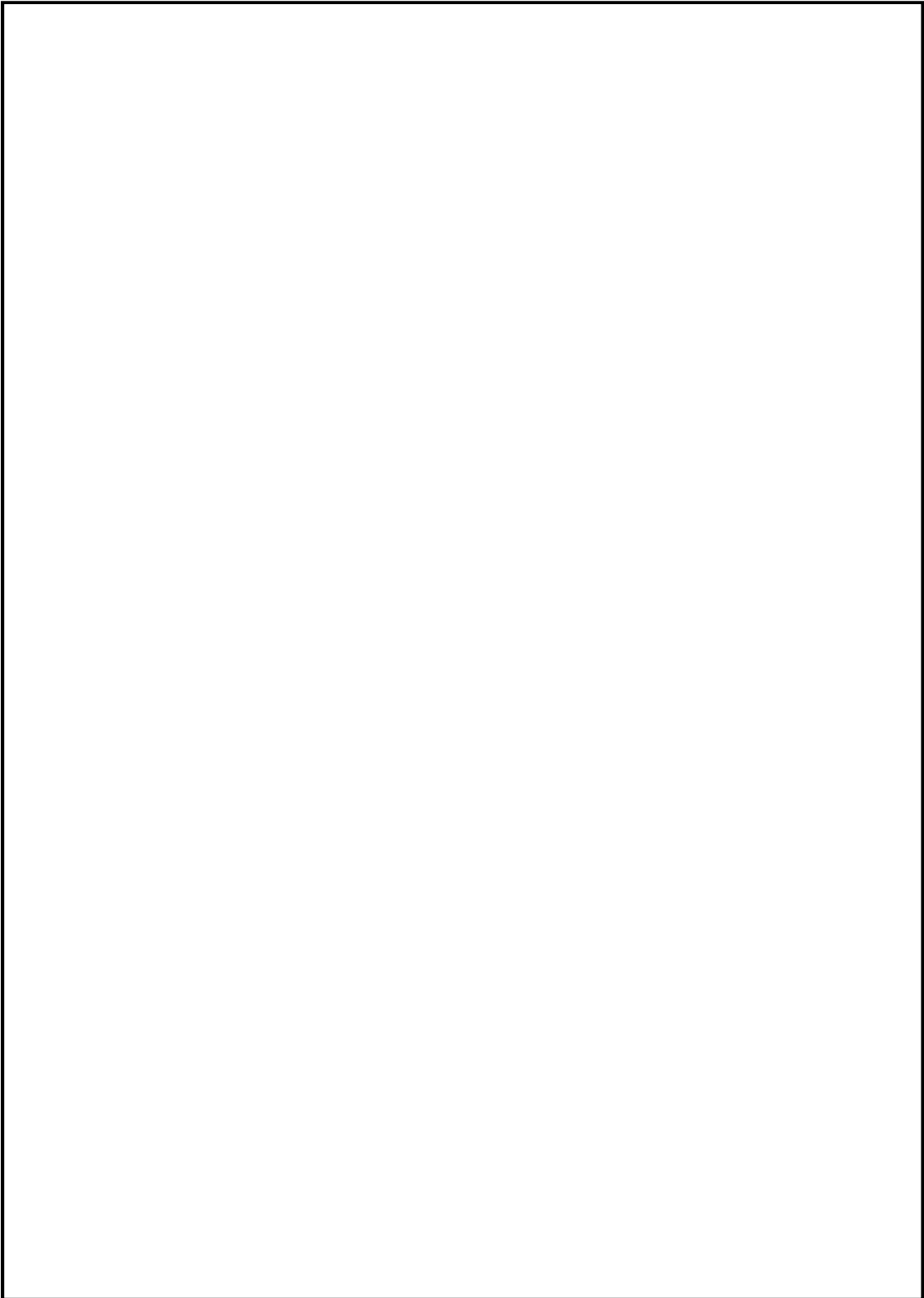


図 99-2 応力コンター図（一次+二次応力、トレスカ応力）

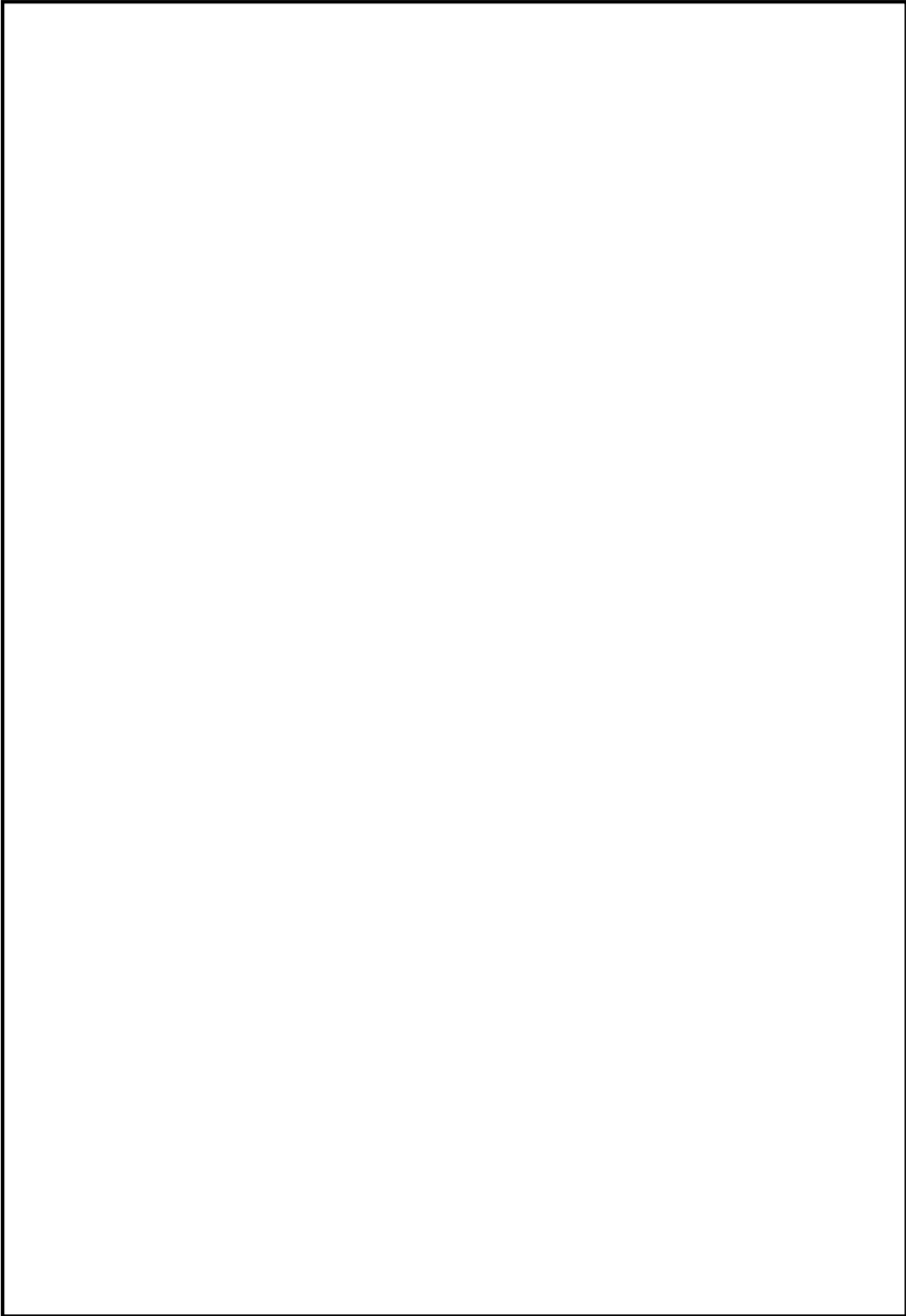


図 99-3 変形図（一次応力）

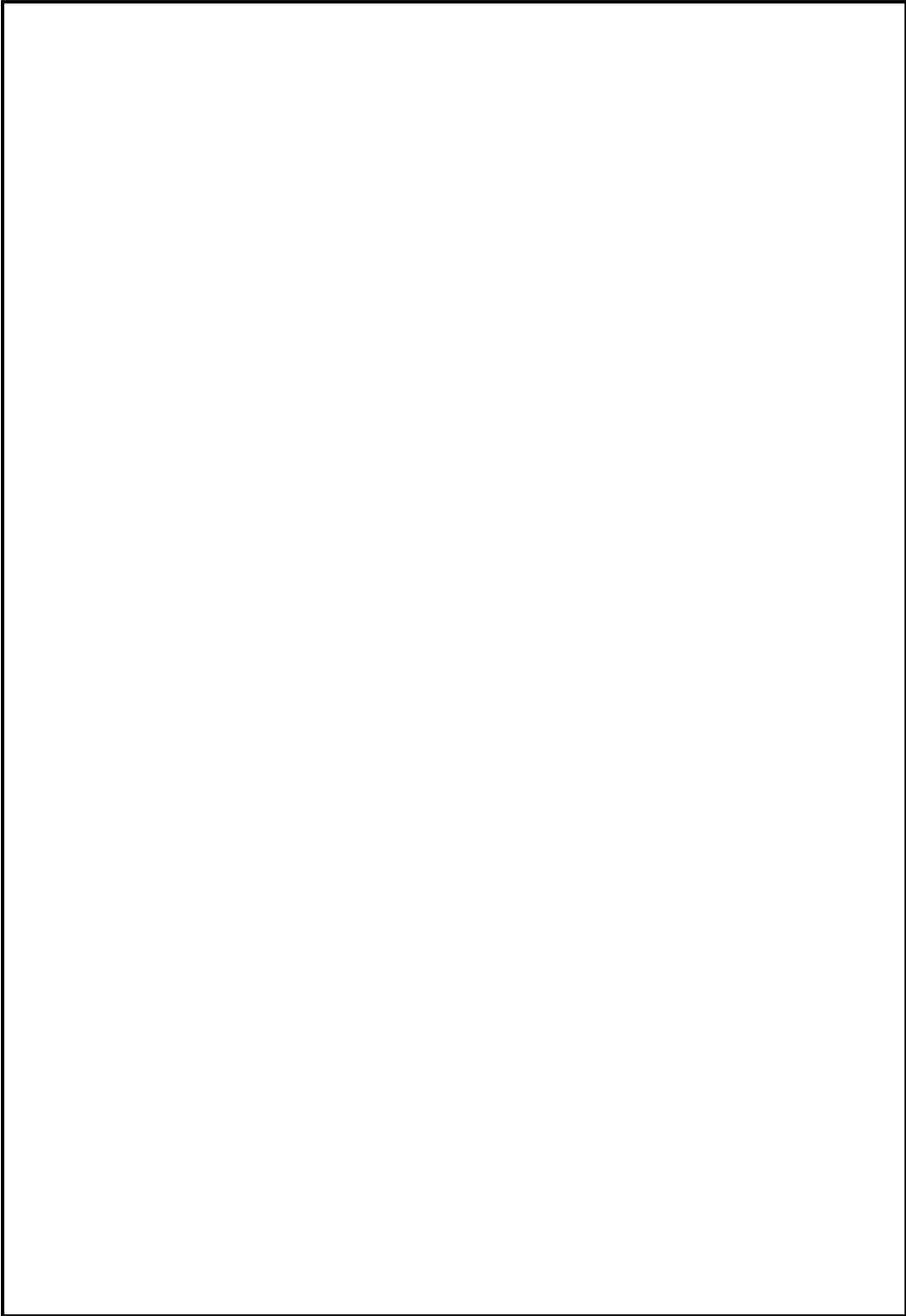


図 99-4 変形図（一次+二次応力）

番号	項目	質問日	コメント内容
100	想定 事象	2019/2/13	<p>【別紙 5 参考-構造解析コード (ABAQUS) による密封容器の異常着床時構造強度解析】(平成 31 年 2 月 13 日説明資料)</p> <p>・別紙 5-4 「別紙 5-1 図 異常着床時の荷重条件」及び別紙 5-5 「別紙 5-2 図異常着床時の境界条件」において、支持反面力 F_{rm} の算出根拠と拘束条件の考え方を説明すること。</p>

(回答)

支持面反力 F_{rm} を次のとおり算出する。

1. 非解析モデル部の慣性力 (内部収納物、蓋部及び底部中性子遮蔽材)

非解析モデル部の反力 F_1 を次のとおり算出する。計算結果を表 100-1 に示す。

$$P = G_z \times M / \{ \pi \times (D_o^2 - D_i^2) / 4 \}$$

$$F_1 = P \times \{ \pi \times (D_o^2 - D_i^2) / 4 \}$$

表 100-1 非解析モデル部の慣性力

部位	設計加速度 G_z (m/s_2)	質量 M (kg)	载荷範囲		慣性力 (等分布荷重) P (N/mm_2)	慣性力 F_1 (N)
			外径 D_o (mm)	内径 D_i (mm)		
内部収納物	-29.50					
蓋部中性子遮蔽材	-29.50					
底部中性子遮蔽材	-29.50					
合計	-					

したがって、 $F_1 = \boxed{} N$ となる。

2. 解析モデル部 (側部中性子遮蔽材及び伝熱フィンを含む) の慣性力

解析モデル部の慣性力 F_2 を次のとおり算出する。

$$F_2 = G_z \times M_2$$

ここで、

$$M_2 : \text{モデル化部の質量} = \boxed{} \text{ kg}$$

したがって、 $F_2 = \boxed{} N$ となる。

3. 支持面反力

支持面反力 F_{rm} を次のとおり算出する。

$$F_{rm} = \frac{F_1 + F_2}{\frac{\pi}{4}(D_o - D_i)}$$

ここで、

D_o : 反力載荷範囲の外径 = mm

D_i : 反力載荷範囲の内径 = mm

したがって、 $F_{rm} =$ N/mm² となる。

4. 拘束条件について

貯蔵架台は剛体ではないものとして加速度を算出していることから、底面の接触部を拘束する条件ではなく、反力の入力とした。そして、剛体移動を防ぐため、底面の 0°、90°、180° 及び 270° の 4 点の回転及び移動を拘束した。