

核燃料輸送物設計承認申請書の一部補正について

熊原第22-002号

令和4年3月17日

原子力規制委員会 殿

住所 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目33番5号

氏名 原子燃料工業株式会社

取締役社長 伊藤 義章

令和4年1月26日付熊原第21-021号をもって申請した核燃料輸送物設計承認申請書について、下記のとおり一部補正します。

記

核燃料輸送物設計承認申請書を次のとおり変更し、別紙を添付のとおり変更する。

1. 核燃料輸送物の名称

TNF-XI型

2. 輸送容器の外形寸法、重量及び主要材料

(1) 輸送容器の外形寸法

長さ：約1.10m

幅：約1.10m

高さ：約1.04m

(2) 輸送容器の重量

660kg以下

(3) 核燃料輸送物の総重量

1,050kg以下

(4) 輸送容器の概略を示す図

図1の通り

詳細形状は、本核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請書（令和4年1月26日付熊原第21-021号（令和4年3月17日付第22-002号をもって一部補正））に係る別紙1の(イ)－第1図から(イ)－第11図までに示されている。

(5) 輸送容器の主要材料

表1の通り

3. 核燃料輸送物の種類

A型核分裂性輸送物

4. 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量

表2～11の通り

5. 輸送制限個数

- (1) 輸送制限個数：100個（ケース1、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）
制限なし（ケース2、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）
制限なし（ケース3、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納）
- (2) 配列方法：任意
- (3) 臨界安全指数：0.5（ケース1、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）
0（ケース2、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納）
0（ケース3、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納）

6. 運搬中に予想される周囲の温度の範囲

−40℃から38℃まで

7. 収納物の臨界防止のための核燃料輸送物の構造に関する事項

収納物の臨界防止のため、核燃料物質が収納される内容物がステンレス鋼の連結パイプで強固に固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。また、内容物の側面、底面及び外蓋に中性子吸収材が配置されている。

8. 臨界安全評価における浸水の領域に関する事項

臨界安全評価において内容器内を含む輸送物全体に浸水するものとして評価している。

9. 収納物の密封性に関する事項

本輸送容器の密封境界である内容器は、内容器本体、内蓋及びガスケットで構成され、ガスケットにはEPDM（エチレン・プロピレンゴム）が用いられている。

10. BM型輸送物にあっては、BU型輸送物の設計基準のうち適合しない基準についての説明

該当しない。

11. 輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱いに関する事項

輸送容器の保守及び定期自主検査並びに核燃料輸送物の取扱いについては、本核燃料輸送物設計承認申請書（令和4年1月26日付熊原第21-021号（令和4年3月17日付第22-002号をもって一部補正））に係る別紙のとおり。

12. 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する事項

輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）については、本核燃料輸送物設計承認申請書（令和4年1月26日付熊原第21-021号（令和4年3月17日付第22-002号をもって一部補正））に係る別紙のとおり。

13. その他特記事項

(1) 使用予定年数

40年

別紙

- 1 輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の核燃料輸送物の安全性に関する説明書
- 2 輸送容器に係る品質管理の方法等（設計に係るものに限る。）に関する説明書

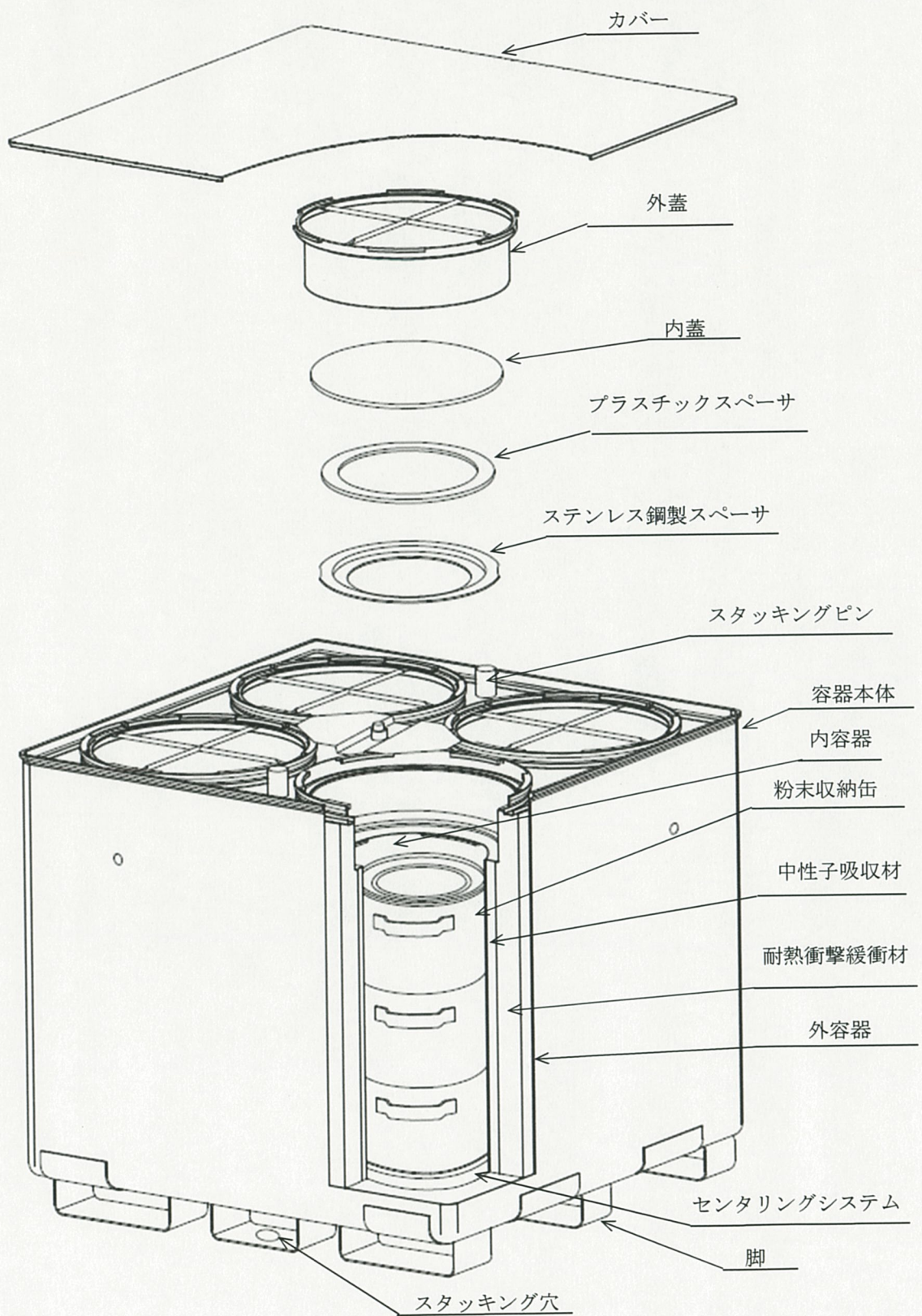


図1 TNF-XI型輸送物外観図

表 1 輸送容器の主要材料

容 器 部 位	材 質
外容器	ステンレス鋼
内容器	ステンレス鋼
耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム
中性子吸収材	ボロン入りレジン、ボロン入りステンレス鋼
外蓋外殻	ステンレス鋼
外蓋補強材	アルミニウム合金
内蓋	ステンレス鋼
ガスケット	エチレン・プロピレンゴム

表2 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース1）

種類	ウラン酸化物（ UO_2 , U_3O_8 又は UO_3 ）及び添加物（表3）		
性状	固体（粉末、焼結体又はスクラップ）		
重量	表4の通り		
放射能の量	総量	4.012×10^{10} Bq 以下	
	主要な核種	^{232}U	1.440×10^8 Bq 以下
		^{234}U	2.895×10^{10} Bq 以下
		^{235}U	2.004×10^9 Bq 以下
		^{236}U	1.499×10^8 Bq 以下
		^{238}U	8.873×10^9 Bq 以下
		^{99}Tc	1.571×10^6 Bq 以下
濃縮度	5.0%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量			
冷却日数			
濃縮ウラン中の不純物仕様	^{232}U	$\leq 0.0001 \mu g/gU$	
	^{234}U	$\leq 10 \times 10^3 \mu g/g^{235}U$	
	^{236}U	$\leq 250 \mu g/gU$	
	^{99}Tc	$\leq 0.01 \mu g/gU$	
	ただし、 $^{236}U < 125 \mu g/gU$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外		

表3 添加物（ケース1）

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	$Mg(C_{17}H_{35}COO)_2$	
B	ステアリン酸亜鉛	$(CH_3(CH_2)_{16}COO)_2Zn$	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	$C_{17}H_{35}CONHCH_2CH_2NHCOC_{17}H_{35}$	
D	ガドリニア	Gd_2O_3	
E	エルビア	Er_2O_3	
F	アゾジカルボンアミド	$C_2H_4N_4O_2$	

表4 内容器の収納制限 (ケース1)

(ポリエチレン製袋、添加物 A、B、C の合計重量が 390g 以下)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	71.00
4.65%以下	71.00	63.50	68.75
4.75%以下	71.00	63.50	65.00
4.85%以下	71.00	62.50	62.50
5.00%以下	71.00	58.75	58.75

(ポリエチレン製袋、添加物 A、B、C の合計重量が 390g を超えて 1620g 以下)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	67.50
4.65%以下	71.00	63.50	65.25
4.75%以下	71.00	61.75	61.75
4.85%以下	71.00	59.25	59.25
5.00%以下	71.00	55.75	55.75

- *装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物 (A~F) の合計重量を記載している。
- *輸送容器には、4 個の内容容器があるため最大重量は、それぞれ 4 倍した値となる。
- *各内容器に最大 4.0 kg のブロッキングシステムを収納する。
- *焼結体を収納する場合は、各内容器に最大 7.5 kg ステンレス鋼製の波板等を収納する。
- *輸送容器には、収納する核燃料物質等の有無に関係なく、各内容器に 3 個 (輸送容器 1 基で計 1 2 個) の粉末収納缶が収納される。
- *粉末収納缶には、表 5 に記載する仕様のボロン入りステンレス鋼製リングが粉末収納缶内側に接着固定される。
- *ウラン酸化物を収納した粉末収納缶 (ケース 1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶 (ケース 2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) は同一輸送容器内に混載しない。

表5 ボロン入りステンレス鋼製リング仕様

外径	[] mm		高さ	[] mm
板厚	[] mm		重量	[] 4kg
材料	ボロン入りステンレス鋼	化学成分	Cr	[]
			Ni	
			B	

表6 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース2）

種類	ウラン酸化物 (UO ₂ , U ₃ O ₈ 又は UO ₃) 及び添加物 (表7)		
性状	固体 (粉末、焼結体又はスクラップ)		
重量	表8の通り		
放射能の量	総量	1.413×10 ⁹ Bq 以下	
	主要な核種	²³² U	5.070×10 ⁶ Bq 以下
		²³⁴ U	1.019×10 ⁹ Bq 以下
		²³⁵ U	7.057×10 ⁸ Bq 以下
		²³⁶ U	5.277×10 ⁶ Bq 以下
		²³⁸ U	3.124×10 ⁸ Bq 以下
		⁹⁹ Tc	2.765×10 ⁵ Bq 以下
濃縮度	5.0%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量			
冷却日数			
濃縮ウラン中の不純物仕様	²³² U	≤0.0001 μg/gU	
	²³⁴ U	≤10×10 ³ μg/g ²³⁵ U	
	²³⁶ U	≤250 μg/gU	
	⁹⁹ Tc	≤0.05 μg/gU	

表7 添加物（ケース2）

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO) ₂ Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C ₁₇ H ₃₅ CONHCH ₂ CH ₂ NHCOC ₁₇ H ₃₅	
D	ガドリニア	Gd ₂ O ₃	
E	エルビア	Er ₂ O ₃	
F	アゾジカルボンアミド	C ₂ H ₄ N ₄ O ₂	

表8 内容器の収納制限 (ケース2)

装荷制限条件(kg)			
ウラン酸化物量 (濃縮度 5%以下)	添加物、緩衝材合計	袋、瓶合計	合計
10.00	5.00	5.00	20.00

* 収納物を装荷する内容器は1つのみであり、その中に1個の長尺粉末収納缶を装荷する。

* 装荷制限条件は粉末、焼結体、スクラップ全て同じものである。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶 (ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶 (ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

表9 収納する核燃料物質等の種類、性状、重量及び放射能の量（ケース3）

種類	ウラン化合物及びその他含有物（表10の通り）		
性状	固体		
重量	表11の通り		
放射能の量*	総量	3.206×10 ⁹ Bq以下	
	主要な核種	²³² U	1.150×10 ⁷ Bq以下
		²³⁴ U	2.313×10 ⁹ Bq以下
		²³⁵ U	1.601×10 ⁸ Bq以下
		²³⁶ U	1.197×10 ⁷ Bq以下
		²³⁸ U	7.089×10 ⁸ Bq以下
		⁹⁹ Tc	1.255×10 ⁵ Bq以下
濃縮度	20.0wt%以下		
燃焼度	該当しない		
発熱量			
冷却日数			
濃縮ウラン中の不純物仕様	濃縮度 5.0wt%以下	²³² U	≤0.0001 μg/gU
		²³⁴ U	≤10×10 ³ μg/g ²³⁵ U
		²³⁶ U	≤250 μg/gU
		⁹⁹ Tc	≤0.01 μg/gU
		ただし、 ²³⁶ U≤125 μg/gUの場合は、 ²³² U及び ⁹⁹ Tcは適用外	
	濃縮度 20.0wt%以下	²³² U	≤0.0004 μg/gU
		²³⁴ U	≤10×10 ³ μg/g ²³⁵ U
		²³⁶ U	≤1000 μg/gU
		⁹⁹ Tc	≤0.04 μg/gU

表10 ウラン化合物及びその他の含有物（ケース3）

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

表 1 1 内容器の収納制限 (ケース 3)

濃縮度	装荷制限条件	
	kg-U	kg-ウラン残渣
5.00%以下	5.00	71.0
20.00%以下	0.50	71.0

* 輸送容器には、4 個の内容容器があるため最大重量は、それぞれ 4 倍した値となる。

* 輸送容器には、収納する核燃料物質等の有無に関係なく、各内容器に 3 個 (輸送容器 1 基で計 12 個) の粉末収納缶が収納される。

* 各内容器に最大 4.0 kg のブロッキングシステムを収納する。

* 粉末収納缶には、表 5 に記載する仕様のボロン入りステンレス鋼製リングが粉末収納缶内側に接着固定される。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶 (ケース 1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶 (ケース 2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶 (ケース 3) は同一輸送容器内に混載しない。

以上

別紙 1

輸送容器の設計及び核燃料物質等を当該輸送容器に収納した場合の
核燃料輸送物の安全性に関する説明書

TNF-XI 型 輸送物安全解析書

令和 4 年 3 月

原子燃料工業株式会社

目 次

(イ)章 核燃料輸送物の説明	(イ)-1
(イ)-A 目的及び条件	(イ)-1
(イ)-B 輸送物の種類	(イ)-1
(イ)-C 輸送容器	(イ)-1
(イ)-D 輸送容器の収納物	(イ)-13
(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析	(ロ)A-1
(ロ)-A 構造解析	(ロ)A-1
A.1 構造設計	(ロ)A-1
A.1.1 概 要	(ロ)A-1
A.1.2 設計基準	(ロ)A-2
A.2 重量及び重心	(ロ)A-6
A.3 材料の機械的性質	(ロ)A-8
A.4 輸送物の要件	(ロ)A-10
A.4.1 化学的及び電氣的反応	(ロ)A-10
A.4.2 低温強度	(ロ)A-13
A.4.3 密封装置	(ロ)A-13
A.4.4 吊上装置	(ロ)A-13
A.4.5 固縛装置	(ロ)A-13
A.4.6 圧 力	(ロ)A-14
A.4.7 振 動	(ロ)A-18
A.5 一般の試験条件	(ロ)A-19
A.5.1 熱的試験	(ロ)A-19
A.5.1.1 温度及び圧力の要約	(ロ)A-19
A.5.1.2 熱 膨 張	(ロ)A-19
A.5.1.3 応力計算	(ロ)A-20
A.5.1.4 許容応力との比較	(ロ)A-24
A.5.2 水 噴 霧	(ロ)A-24
A.5.3 自由落下	(ロ)A-24
(a) 解析モデル	(ロ)A-24
(b) 原型試験	(ロ)A-24
(c) モデル試験	(ロ)A-25
A.5.4 積み重ね試験	(ロ)A-25
A.5.5 貫 通	(ロ)A-29
A.5.6 角又は縁落下	(ロ)A-29

A.5.7 結果の要約及びその評価	(ロ)A-29
A.6 特別の試験条件	(ロ)A-30
A.7 強化浸漬試験	(ロ)A-30
A.8 放射性収納物	(ロ)A-31
A.9 核分裂性輸送物	(ロ)A-38
A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	(ロ)A-38
A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	(ロ)A-39
(ロ)A 付属資料 1 1. 予備落下試験	
(ロ)A 付属資料 2 2. 原型容器設計変更	
(ロ)A 付属資料 3 3. 落下試験	
(ロ)A 付属資料 4 4. 追加落下試験	
(ロ)A 付属資料 5 5. 主要材料の温度特性	
(ロ)A 付属資料 6 6. 輸送物総重量の検討	
(ロ)A 付属資料 7 7. 固有振動数導出に係る補足説明資料	
(ロ)A 付属資料 8 8. ブロッキングシステムの落下健全性及びブロッキングシステム装荷による輸送物 への健全性	
(ロ)-B 熱解析	(ロ)B-1
B.1 概 要	(ロ)B-1
B.2 材料の熱的性質	(ロ)B-4
B.3 構成要素の仕様	(ロ)B-7
B.4 一般の試験条件	(ロ)B-7
B.4.1 熱解析モデル	(ロ)B-7
B.4.1.1 解析モデル	(ロ)B-7
B.4.1.2 試験モデル	(ロ)B-10
B.4.2 最高温度	(ロ)B-11
B.4.3 最低温度	(ロ)B-13
B.4.4 最大内圧	(ロ)B-13
B.4.5 最大熱応力	(ロ)B-13
B.4.6 結果の要約及びその評価	(ロ)B-13
B.5 特別の試験条件	(ロ)B-15
B.5.1 熱解析モデル	(ロ)B-15
B.5.1.1 解析モデル	(ロ)B-15
B.5.1.2 試験モデル	(ロ)B-15
B.5.2 輸送物の評価条件	(ロ)B-16
B.5.3 輸送物温度	(ロ)B-18
B.5.4 最大内圧	(ロ)B-18
B.5.5 最大熱応力	(ロ)B-18
B.5.6 結果の要約及びその評価	(ロ)B-19

(ロ)B 付属資料 1	1. 予備耐火試験	
(ロ)B 付属資料 2	2. JTACO-3D : 有限要素法熱伝導解析コード	
(ロ)B 付属資料 3	3. 耐火試験	
(ロ)B 付属資料 4	4. 一般の試験条件解析結果	
(ロ)-C	密封解析	(ロ)C-1
C.1	概 要	(ロ)C-1
C.2	密封装置	(ロ)C-1
C.2.1	密封装置	(ロ)C-1
C.2.2	密封装置の貫通部	(ロ)C-1
C.2.3	密封装置のガスケット及び溶接部	(ロ)C-1
C.2.4	蓋	(ロ)C-1
C.3	一般の試験条件	(ロ)C-3
C.3.1	放射性物質の漏えい	(ロ)C-3
C.3.2	密封装置の加圧	(ロ)C-4
C.3.3	冷却材汚染	(ロ)C-4
C.3.4	冷却材損失	(ロ)C-4
C.4	特別の試験条件	(ロ)C-4
C.4.1	核分裂生成ガス	(ロ)C-5
C.4.2	放射性物質の漏えい	(ロ)C-5
C.5	結果の要約及びその評価	(ロ)C-6
(ロ)C	付属資料 1	1. 落下試験後の気密試験結果
(ロ)-D	遮蔽解析	(ロ)D-1
D.1	概 要	(ロ)D-1
D.2	線源仕様	(ロ)D-3
D.2.1	ガンマ線源	(ロ)D-3
D.2.2	中性子源	(ロ)D-3
D.3	モデル仕様	(ロ)D-5
D.3.1	解析モデル	(ロ)D-5
D.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	(ロ)D-10
D.4	遮蔽評価	(ロ)D-11
D.5	結果の要約と結果	(ロ)D-11
(ロ)D	付属資料 1	最大線量当量率を与える評価点の検討
(ロ)-E	臨界解析	(ロ)E-1
E.1	ケース 1(粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合)	(ロ)E-1
E.1.1	概 要	(ロ)E-1
E.1.2	解析対象	(ロ)E-1
E.1.2.1	収 納 物	(ロ)E-1

E.1.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-2
E.1.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-2
E.1.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-4
E.1.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-4
E.1.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-6
E.1.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-15
E.1.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-15
E.1.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-15
E.1.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-15
E.1.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-16
E.2	ケース 2(長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納する場合)	.....	(ロ)E-18
E.2.1	概要	.....	(ロ)E-18
E.2.2	解析対象	.....	(ロ)E-18
E.2.2.1	収納物	.....	(ロ)E-18
E.2.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-18
E.2.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-18
E.2.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-20
E.2.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-20
E.2.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-21
E.2.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-30
E.2.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-30
E.2.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-30
E.2.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-30
E.2.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-30
E.3	ケース 3(粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納する場合)	.....	(ロ)E-32
E.3.1	概要	.....	(ロ)E-32
E.3.2	解析対象	.....	(ロ)E-32
E.3.2.1	収納物	.....	(ロ)E-32
E.3.2.2	輸送容器	.....	(ロ)E-32
E.3.2.3	中性子吸収材	.....	(ロ)E-32
E.3.3	モデル仕様	.....	(ロ)E-34
E.3.3.1	解析モデル	.....	(ロ)E-34
E.3.3.2	解析モデル各領域における原子個数密度	.....	(ロ)E-36
E.3.4	未臨界評価	.....	(ロ)E-46
E.3.4.1	計算条件	.....	(ロ)E-46
E.3.4.2	輸送物への水の浸入等	.....	(ロ)E-46
E.3.4.3	計算方法	.....	(ロ)E-46
E.3.4.4	計算結果	.....	(ロ)E-47
E.4	ベンチマーク試験	.....	(ロ)E-48
E.5	結果の要約及びその評価	.....	(ロ)E-49

(ロ)E 付属資料 1	サーベイ計算の結果	
(ロ)E 付属資料 2	ケース 2 及びケース 3 における均質体系の評価に対する非均質体系の影響度	
(ロ)F	核燃料輸送物の経年変化の考慮	(ロ)F-1
F.1	考慮すべき経年劣化要因	(ロ)F-1
F.2	安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価	(ロ)F-2
F.3	安全解析における経年変化の考慮内容	(ロ)F-10
(ロ)G	規則及び告示に対する適合性の評価	(ロ)G-1
(ハ)章	輸送容器の保守及び核燃料輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
(ハ)-A	輸送物の取扱い方法	(ハ)-1
A.1	装荷方法	(ハ)-1
A.2	輸送物の発送前検査	(ハ)-4
A.3	取出し方法	(ハ)-10
A.4	空容器の準備	(ハ)-10
(ハ)-B	保守条件	(ハ)-15
B.1	外観検査	(ハ)-15
B.2	耐圧検査	(ハ)-15
B.3	気密漏えい検査	(ハ)-15
B.4	遮蔽検査	(ハ)-15
B.5	未臨界検査	(ハ)-15
B.6	熱検査	(ハ)-15
B.7	吊上検査	(ハ)-15
B.8	作動確認検査	(ハ)-16
B.9	補助系の保守	(ハ)-16
B.10	密封装置の弁、ガスケット等の保守	(ハ)-16
B.11	輸送容器の保管	(ハ)-16
B.12	記録の保管	(ハ)-16
B.13	その他	(ハ)-16
(ニ)章	安全設計及び安全輸送に関する特記事項	(ニ)-1

(イ)章 核燃料輸送物の説明

(イ)A 目的及び条件

(1) 使用目的

軽水炉向け燃料等の濃縮度 5%以下のウラン酸化物(粉末、焼結体又はスクラップ)、濃縮度 5%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣、並びに濃縮度 20%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣の国内及び国際輸送に使用する。

(2) 輸送容器の型名

TNF-XI 型

(3) 輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

(4) 輸送制限個数

(ケース 1 : 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

100 個

(ケース 2 : 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

制限なし

(ケース 3 : 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

制限なし

(5) 輸送指数

0.3

(6) 臨界安全指数

(ケース 1 : 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0.5

(ケース 2 : 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納)

0

(ケース 3 : 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納)

0

(イ)B 輸送物の種類

A 型核分裂性輸送物

(イ)C 輸送容器

(1) 総重量

輸送容器の総重量 660 kg 以下

輸送物の総重量 1,050 kg 以下

(2) 構造材料及び中性子吸収材

本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されている。各構造材料及び中性子吸収材を(イ)-第1表に示す。

(3) 中性子減速材

該当なし

(4) 遮蔽材

該当なし

(5) 主要部分の寸法及び構造

(a) 概要

本輸送物の全体図を(イ)-第1図に示す。本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されている。

容器本体には、粉末収納缶、又は長尺粉末収納缶を収納する内容器が4個あり、粉末収納缶は内容器1つに対しそれぞれ3缶ずつ、長尺粉末収納缶は内容器1つに対し1缶のみ収納する。粉末収納缶にはウラン酸化物若しくはウラン残渣、長尺粉末収納缶にはウラン酸化物を収納する。また、長尺粉末収納缶は輸送容器1基に対し1缶のみ収納する。なお、ウラン酸化物を収納した粉末収納缶、長尺粉末収納缶、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶は同一輸送容器内に混載しない。以下、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納した場合をケース1、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納した場合をケース2、粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納した場合はケース3とする。

各内容器に対して、内蓋、外蓋がそれぞれ1個あり、バイオネット構造により密封する仕組みになっている。

(b) 構造

① 容器本体

(イ)-第2図及び第3図に輸送容器の構造図を示す。容器本体は、外容器、中性子吸収材を含む内容器、耐熱衝撃緩衝材等から構成されている。

外容器は、厚さ□mmのステンレス鋼板から溶接により成型された箱型であり、外寸は約1,100×1,100mm、高さ約1,040mmの立方体である。外容器上面には外蓋を取り付けるステンレス鋼製のフランジ4個とステンレス鋼製の高さ□mm、外径□mmのスタッキングピンが2本取付けられており、底面には厚さ□mmのステンレス鋼板で加工された高さ100mmの脚が3組取付けられている。外容器上面中央には、ステンレス鋼製の外蓋回り止めデバイスが取付けられている。

内容器は、厚さ□mmのステンレス鋼板製の内壁、外壁からなる円筒型二重構造を有し、中間部分にはBORAレジジン製の中性子吸収材が挿入されている。内容器の収納部形状は、内径約φ354mm、内高約674mmであり、底には中性子吸収材として厚さ□mm

の \square wt% ボロン入りステンレス鋼板製のディスクが固定されている。最上部にはステンレス鋼製フランジが溶接により固定されている。4 個の容器は、それぞれがステンレス鋼製の連結パイプで固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。

外容器と内容器の間には耐熱衝撃緩衝材としての機能を有するフェノリックフォームが充填されている。容器本体に用いられるフェノリックフォームには 2 種類のタイプがあり、容器本体上部コーナー部と底面エッジ部全周には高密度 (\square kg/m³; \square g/cm³) のフォーム \square 、残りの部分には中密度 (\square kg/m³; \square g/cm³) のフォーム \square が使用されている。

② 外 蓋

(イ) 第 4 図に外蓋の構造図を示す。外蓋は、外殻、中性子吸収材、補強材及び耐熱衝撃緩衝材等から構成されている。

外殻は、上面が厚さ \square mm、側面及び底面が厚さ \square mm のステンレス鋼板であり、内部は上側から耐熱衝撃緩衝材としてフェノリックフォーム、補強材としてアルミニウム合金製ディスク、さらにフェノリックフォーム、そして中性子吸収材として厚さ \square mm の \square wt% ボロン入りステンレス鋼板製のディスクが積み重ねられている。ここで用いられているフェノリックフォームは、低密度 (\square kg/m³; \square g/cm³) のフォーム \square である。

外蓋上面には、バイオネット構造を有するステンレス鋼製フランジが溶接され、下面にはネオプレン製のパッキンが取り付けられている。また、開閉用ハンドルが十文字に取り付けられている。

③ 内 蓋

(イ) 第 5 図に内蓋の構造図を示す。ステンレス鋼製の内蓋は、厚さ \square mm のディスクであり、裏面にバイオネット構造を有している。内蓋下面には内容器の密封性を維持するため EPDM (エチレン・プロピレンゴム) 製のガスケットが取り付けられている。

④ 付属品

輸送容器上面全体をホコリ避けのポリエチレン製のカバーにより覆う。

⑤ 可融栓

(イ) 第 2 図に示すように容器本体上面及び側面並びに外蓋の上面には火災時における内圧上昇を防ぐため、 ϕ \square mm の可融栓用穴を 22 個設けている。これらの孔にはポリエチレン製可融栓を埋め込んでおり、雨水の浸入を防止している。

⑥ バイオネット構造

輸送容器の外蓋、内蓋の締付けは、ともにボルト等を使用しないバイオネット構造である。(イ) 第 6 図にバイオネット構造の概略図を示す。この構造は、蓋側の突起とフランジ側の突起がそれぞれ噛合い、パッキン若しくはガスケットを締め込み、密封性を得る構造となっている。

これらのバイオネット構造の蓋については、外蓋は外蓋回り止めデバイスにより、また内蓋は内蓋回り止めストッパーにより容易に緩まない構造になっている。なお、本容器の密封境界は内容器と内蓋である。

(6) 熱除去の方法

該当なし

(7) 冷却材の種類及び量

該当なし

(8) 試料採取口

該当なし

(9) 内部及び外部の突出物

輸送容器の内容器には、突出物はない。容器本体外部では底部の脚と積み重ね用スタッキングピンのみである。

(10) 吊上装置及び固縛装置

(a) 吊上装置

本輸送容器には、特別な吊上装置は取付けられていない。なお、吊上げは、輸送容器底部のフォークリフトパスにリフティングベルトを通して行う。

(b) 固縛装置

本輸送容器には海上コンテナ、トラック積載用の固縛装置はない。

(11) 圧力逃がし弁

該当なし

(12) 密封装置

本輸送容器の内容器は、(イ)－第 5 図及び第 6 図に示すようにフランジと内蓋との間に EPDM 製のガスケットが設置されており、バイオネット構造で締付けることにより密封性が保持されている。

内蓋の正規の位置に内蓋回り止めストッパーが入っていないとストッパーが飛び出た状態となり、外蓋が内容器内に入らないため、常に内蓋は正しい位置まで回転し密封性を維持することが保証される。

(イ)-第1表 主要構成材料及び中性子吸収材 (1/2)

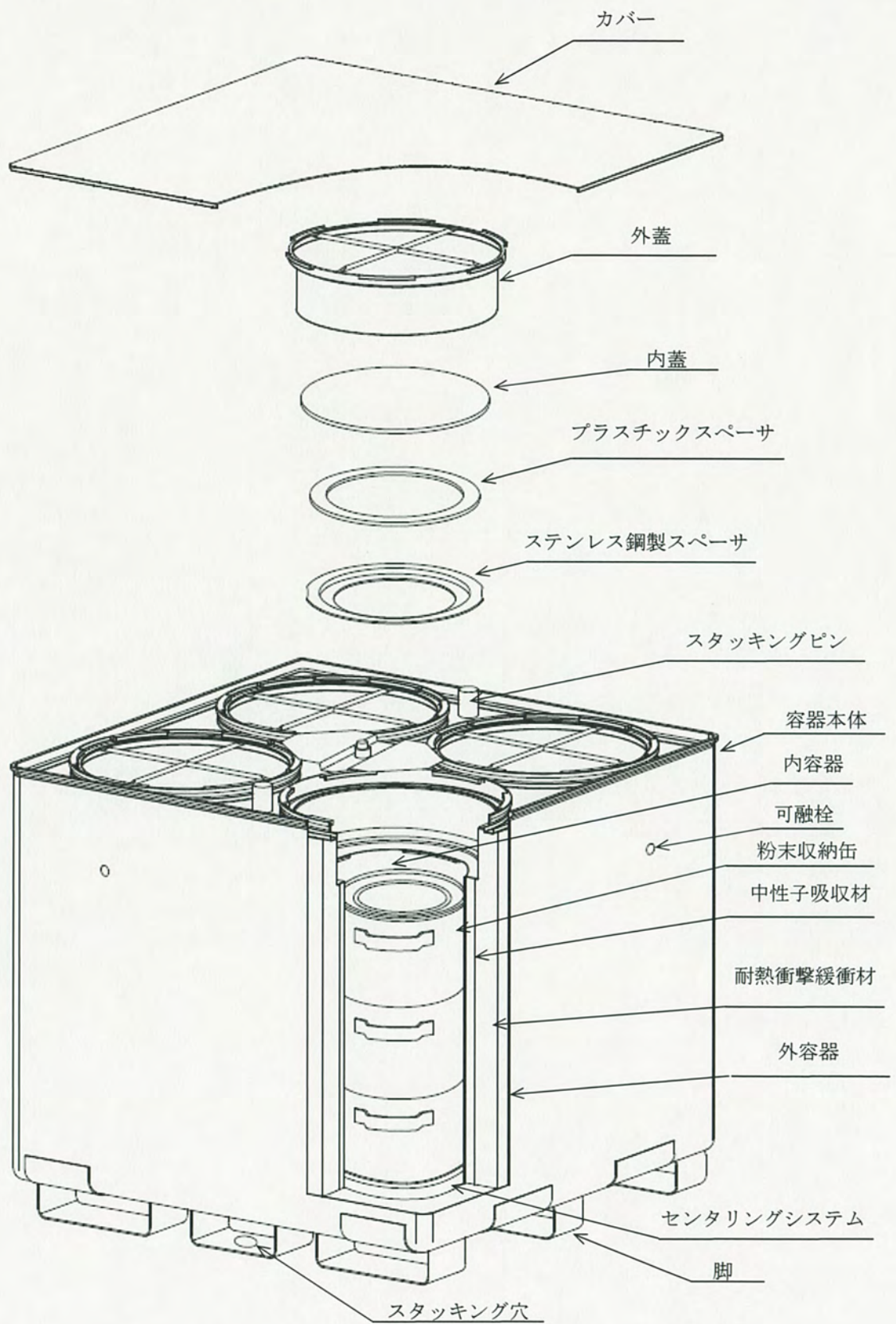
区分	主要構成要素名	材質	規格*	寸法 (mm)	個数	参照図
容器本体	外容器側面	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L	[]	1	(イ)-第2図
	上面	同上	同上		1	(イ)-第2図
	底面	同上	同上		1	(イ)-第2図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第6図
	内容器内壁	同上	同上		4	(イ)-第3図
	外壁	同上	同上		4	(イ)-第3図
	底面	同上	同上		4	(イ)-第3図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第6図
	中性子吸収材 (側面)	BORA レジン	—		4	(イ)-第3図
	中性子吸収材 (底面)	ボロン入りステンレス鋼	[]		4	(イ)-第3図
	内容器連結パイプ	ステンレス鋼	NF A49-117 Z2CN18-10/Z3CN19-09		8	(イ)-第2図
	脚	同上	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L		3	(イ)-第1図
	スタッキンググピン	同上	同上		2	(イ)-第1図
	外蓋回り止めデバイス	同上	同上		1	(イ)-第2図
内蓋回り止めストッパー	同上	同上	4	(イ)-第5図		

*相当品を含む

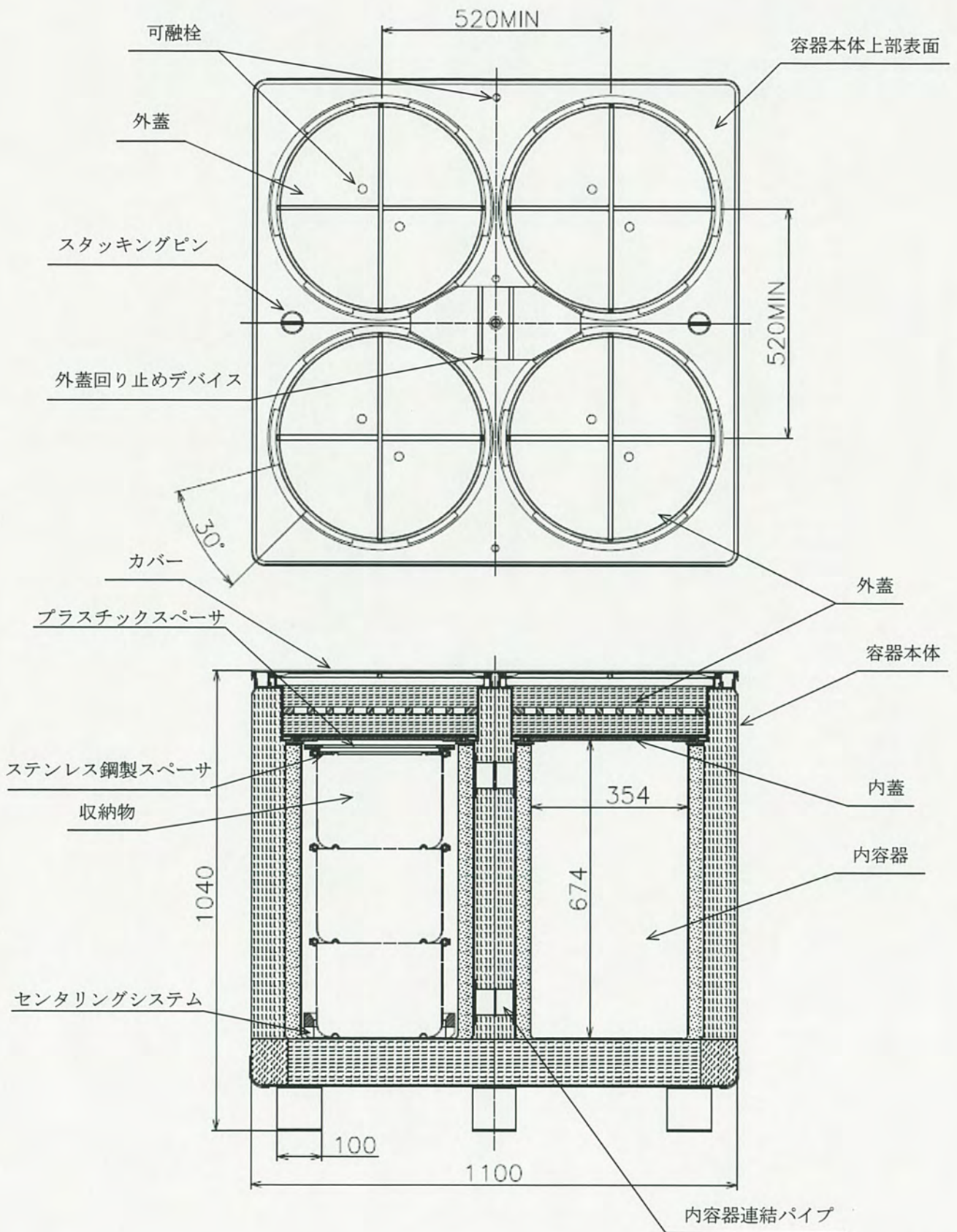
(イ)-第1表 主要構造材料及び中性子吸収材 (2/2)

区分	主要構成要素名	材質	規格*	寸法 (mm)	個数	参照図
外蓋	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		1	(イ)-第3図
	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		1	(イ)-第3図
	可融栓	ポリエチレン	—		14	(イ)-第1図
	側面	ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L		4	(イ)-第4図
	上面	同上	同上		4	(イ)-第4図
	底面	同上	同上		4	(イ)-第4図
	フランジ	同上	同上		4	(イ)-第4図
	ハンドル	同上	NF A49-117 Z2CN18-10/Z3CN19-09		4	(イ)-第4図
	パッキン	ネオプレン	—		4	(イ)-第4図
	補強材	アルミニウム合金	EN 485-2 Grade 2017A 又は JIS H4000 KA2017AP		4	(イ)-第4図
	耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム	フォーム		8	(イ)-第4図
	中性子吸収材	ボロン入りステンレス鋼			4	(イ)-第4図
	内蓋	可融栓	ポリエチレン		—	8	(イ)-第2図
内蓋		ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は ASTM A240 type 304L 又は JIS G 4305 SUS304L	4	(イ)-第5図	
ガスケット		EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	—	4	(イ)-第3図	
カバー		ポリエチレン	—	1	(イ)-第1図	

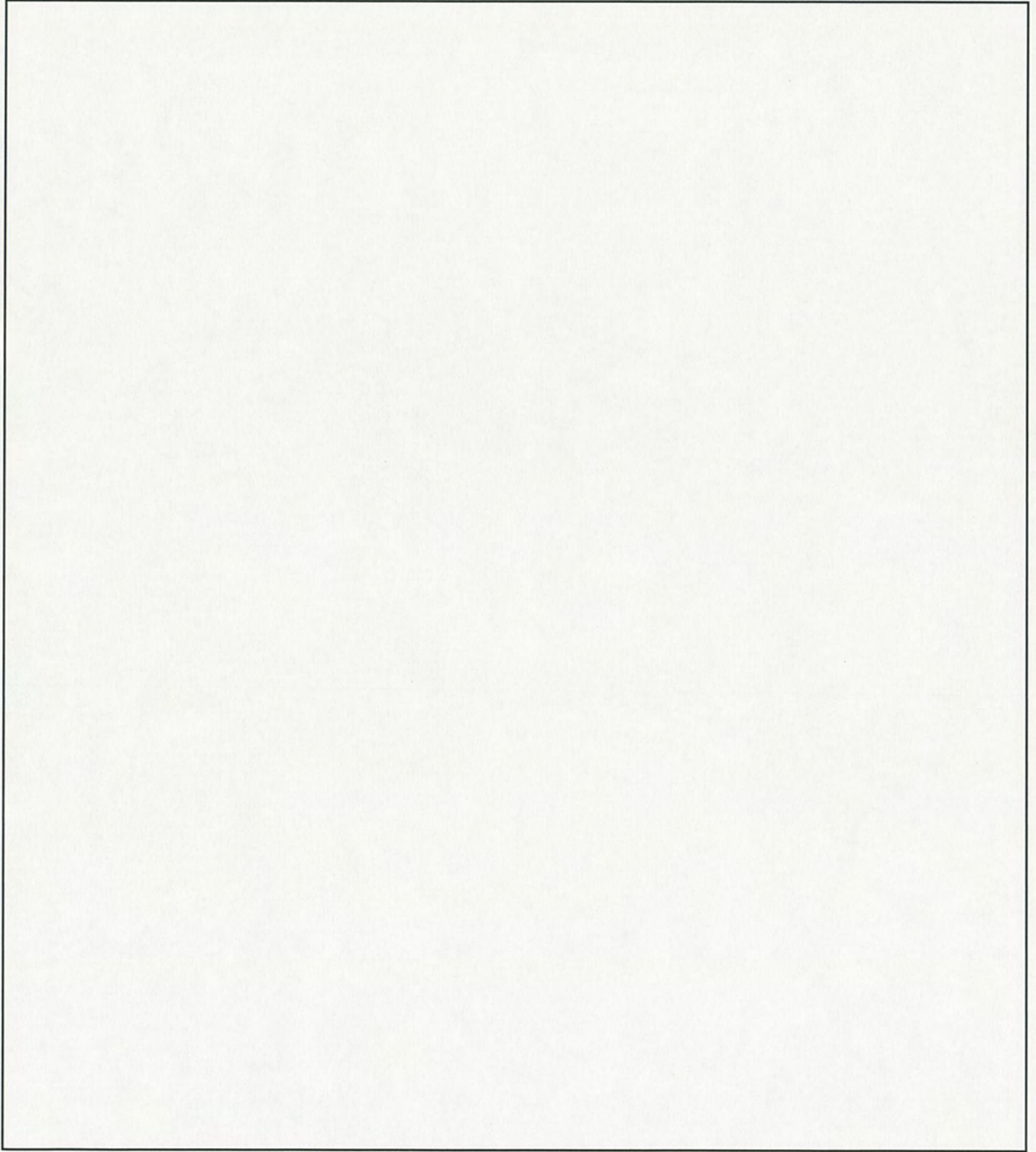
*相当品を含む



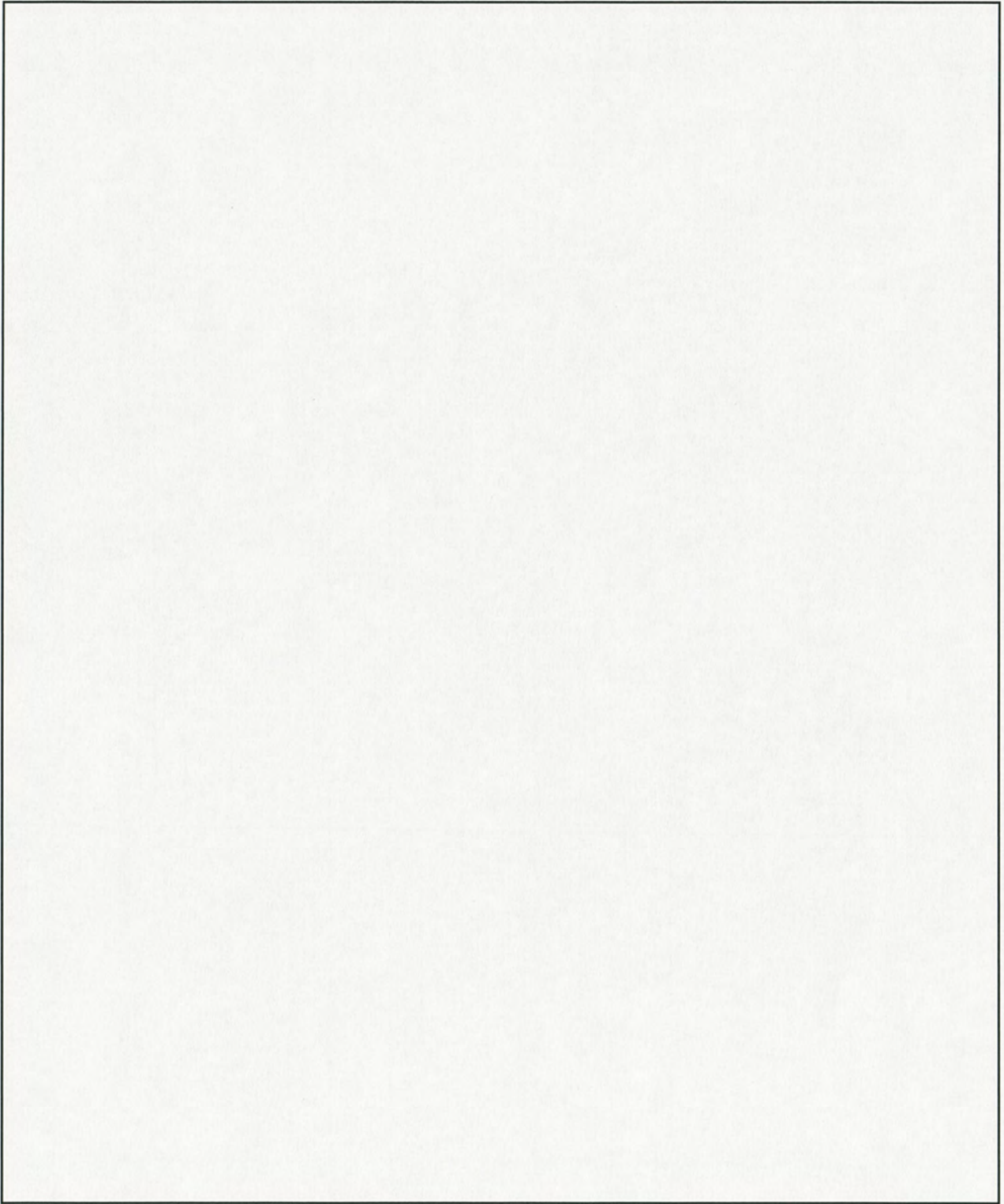
(イ)-第1図 TNF-XI型輸送物外観図



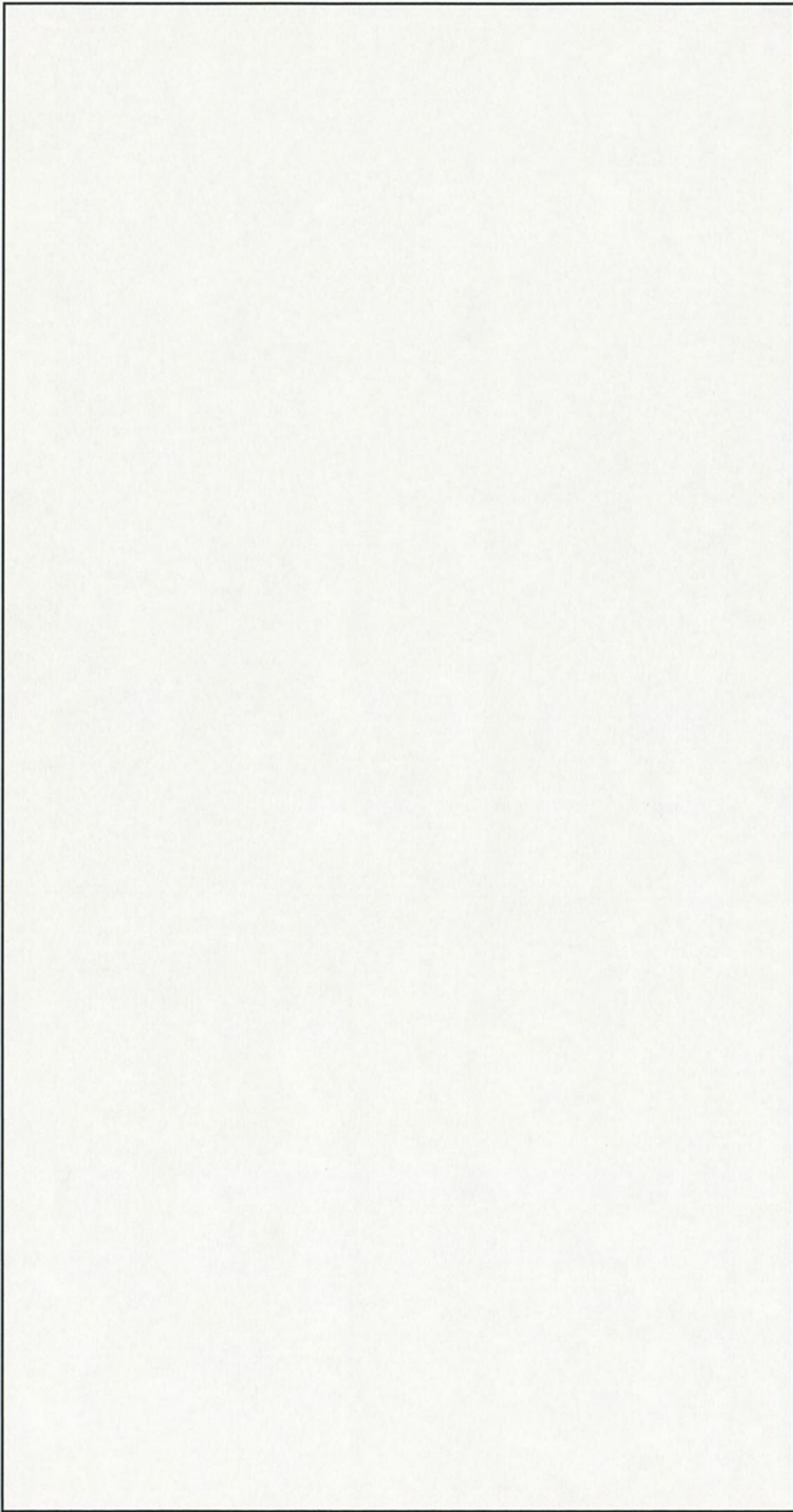
(イ)-第2図 TNF-XI型輸送物概略図



(イ)－第 3 図 容器本体構造詳細図



(イ)-第4図 外蓋概略図

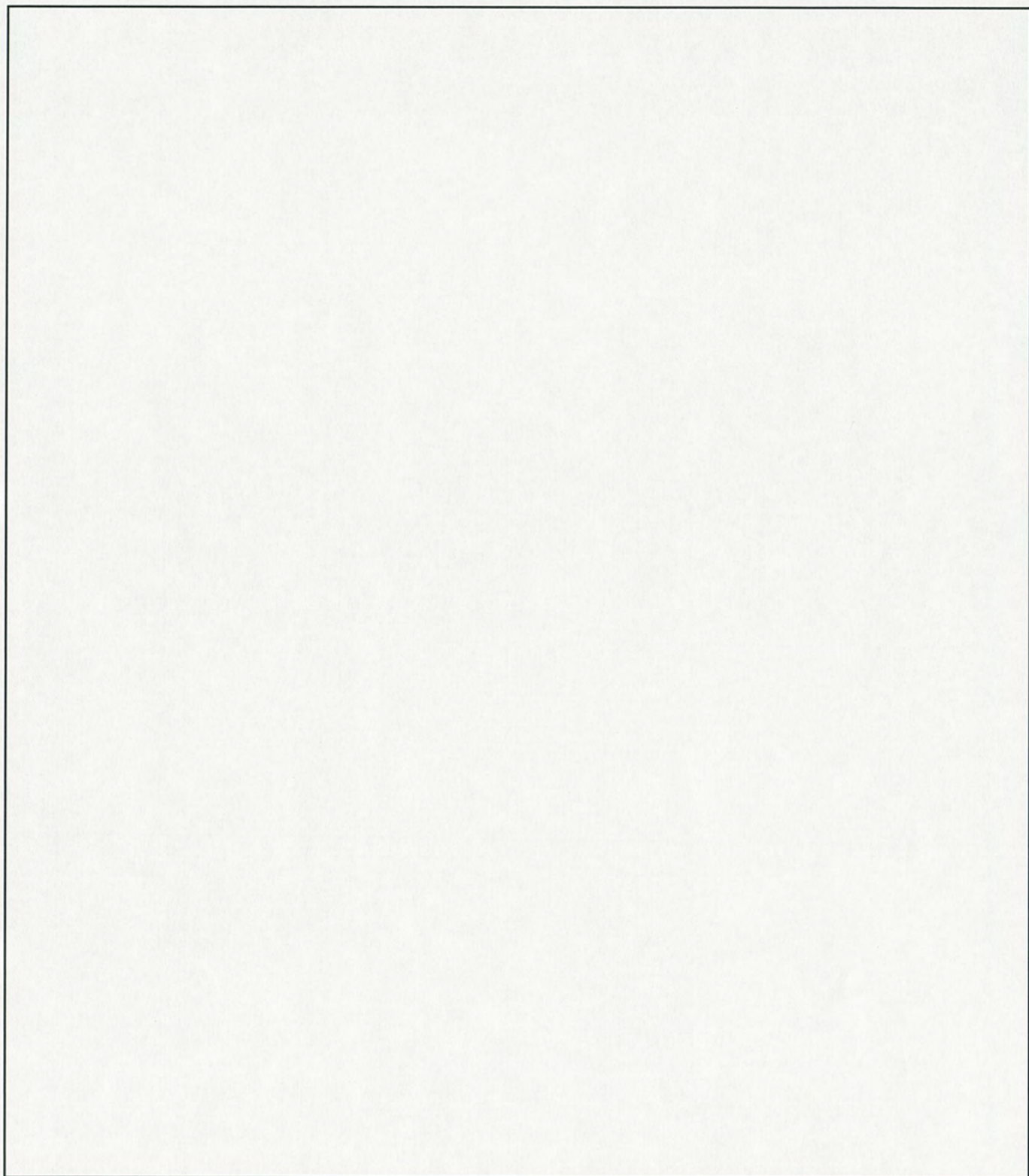


内蓋（裏面）

内蓋—フランジ嵌合図

フランジ

(イ)－第5図 内蓋バイオネット構造



(イ)–第 6 図 バイオネット構造図

(イ)D 輸送容器の収納物

輸送容器の収納物は、粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 1)、長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 2)、及び粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納するケース(ケース 3)がある。

D.1 粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 1)

本輸送容器の収納物は、(イ)第 7 図(a)に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製袋、(イ)第 1 図及び(イ)第 2 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステム(以下ステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、センタリングシステムを一括して「ブロッキングシステム」と称す)からなる。焼結体収納時には、さらに(イ)第 7 図(b)に示すようにステンレス鋼製の波板、ポリウレタン製の緩衝材、梱包材(ボール紙)からなる。

D.1.1 ウラン酸化物

(1) 主要な核種及び放射能の量

核種	²³² U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹⁹ Tc	合計
放射能(Bq)	1.440×10 ⁸ 以下	2.895×10 ¹⁰ 以下	2.005×10 ⁹ 以下	1.499×10 ⁸ 以下	8.874×10 ⁹ 以下	1.571×10 ⁶ 以下	4.012×10 ¹⁰ 以下

(2) 物理的形狀

ウラン酸化物(UO₂, U₃O₈, UO₃)の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO) ₂ Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C ₁₇ H ₃₅ CONHCH ₂ CH ₂ NHCOC ₁₇ H ₃₅	
D	ガドリニア	Gd ₂ O ₃	
E	エルビア	Er ₂ O ₃	
F	アゾジカルボンアミド	C ₂ H ₄ N ₄ O ₂	

(3) 化学的性質

ウラン酸化物及び添加物は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

(4) 材料密度

- i) 粉末かさ密度 . . . 5 g/cm³以下
- ii) 成型体密度 . . . 8 g/cm³以下
- iii) 焼結体密度 . . . 8~11 g/cm³

(5) 減速比

該当せず。

(6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は無視し得る。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)―第2表、(イ)―第3表に示す。

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン（再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠）

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、²³⁶U < 125 μg/gU の場合は、²³²U 及び ⁹⁹Tc は適用外

D1.2 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

(1) 物理的形狀

粉末収納缶の形状は、(イ)―第9図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

粉末収納缶は以下の仕様である。

外 径：約 310 mm

高 さ：約 220 mm

重 量：約 7kg(ボロン入りステンレス鋼製リング含む)

材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは、以下の仕様である。

外 径：約 mm
高 さ： mm 以上
板 厚： mm 以上
重 量： kg 以下
化学成分：Cr
Ni
B

袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

焼結体収納時に使用される波板、梱包材、緩衝材の材質は以下の通りである。

波板：ステンレス鋼

梱包材：ボール紙

緩衝材：ポリウレタン

ポリエチレン袋を使用する場合は最大添加量の値に適合するように制限する。波板、梱包材、緩衝材を合わせた重量は最大 7.5kg である。

ブロッキングシステムの形状を(イ)–第 10 図に示す。内蓋と粉末収納缶の間のギャップにより、落下時に内蓋にかかる衝撃力が大きくなる可能性がある。衝撃力を低減するための措置として、(イ)–第 2 図に示すように内容器内にブロッキングシステムを収納する。ステンレス鋼製スペーサ及びプラスチックスペーサは内蓋と粉末収納缶のギャップを低減し、センタリングシステムは粉末収納缶の偏心を防ぎステンレス鋼製スペーサと内容器との干渉を防止する。ブロッキングシステムは繰返し使用する。

ブロッキングシステムの材質は以下の通りである。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料であり、使用可能温度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ ¹⁾、融点 165°C ¹⁾、圧縮強度 100MPa ²⁾の材料特性を有している。

(2) 化学的性質

粉末収納缶及びステンレス鋼製スペーサ(ステンレス鋼)、ボロン入りステンレス鋼リング(ボロン入りステンレス鋼)、袋(ポリエチレン、ポリウレタン)、緩衝材(ポリウレタン)、梱包材(ボール紙)、プラスチックスペーサ及びセンタリングシステム(ポリオキシメチレン)は、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

- i) ステンレス鋼 約 7.9 g/cm³
- ii) ボロン入りステンレス鋼 約 7.8 g/cm³

(4) 装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングを、ウラン酸化物の有無に係わらず 3 組ずつ収納する。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを 1 つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を 0 から 3 枚の間で調整して収納する。

D.2 長尺粉末収納缶を使用しウラン酸化物を収納するケース(ケース 2)

本輸送容器の収納物は(イ)第 8 図に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の長尺粉末収納缶、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製の袋、瓶からなる。また、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン製の緩衝材を使用する。なお長尺粉末収納缶は 4 つの内容器のうち 1 つにしか装荷しない。

D.2.1 ウラン酸化物

(1) 主要な核種及び放射能の量

核種	²³² U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹⁹ Tc	合計
放射能(Bq)	5.070×10 ⁶ 以下	1.019×10 ⁹ 以下	7.057×10 ⁸ 以下	5.277×10 ⁶ 以下	3.124×10 ⁸ 以下	2.765×10 ⁵ 以下	1.413×10 ⁹ 以下

(2) 物理的形狀

ウラン酸化物 (UO₂, U₃O₈, UO₃) の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO) ₂ Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C ₁₇ H ₃₅ CONHCH ₂ CH ₂ NHCOC ₁₇ H ₃₅	
D	ガドリニア	Gd ₂ O ₃	
E	エルビア	Er ₂ O ₃	
F	アゾジカルボンアミド	C ₂ H ₄ N ₄ O ₂	

(3) 化学的性質

ウラン酸化物及び添加物は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることはなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

(4) 材料密度

- i) 粉末かさ密度 . . . 5 g/cm³以下
- ii) 成型体密度 . . . 8 g/cm³以下
- iii) 焼結体密度 . . . 8~11 g/cm³

(5) 減速比

該当せず。

(6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン酸化物は未使用の新燃料であり、その崩壊熱量は無視し得る。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容容器1つの装荷制限量を(イ)―第4表に示す。

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \mu\text{g/gU}$$

D.2.2 長尺粉末収納缶、袋等

(1) 物理的形狀

長尺粉末収納缶の形状は、(イ)―第11図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

長尺粉末収納缶の仕様を以下に示す。

外 径 : 約 310 mm

高 さ : 約 660 mm

重 量 : 9kg 以下

材 質 : ステンレス鋼

緩衝材、袋、瓶は以下の材質である。

緩衝材：ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン

袋、瓶：ポリエチレン、ポリウレタン

緩衝材、添加物全てを合わせた重量は最大 5kg、袋、瓶の重量の合計は最大 5kg である。

(2) 化学的性質

長尺粉末収納缶（ステンレス鋼）、袋（ポリエチレン、ポリウレタン）及び緩衝材（ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン）は、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

長尺粉末収納缶の材料密度は以下の通りである。

ステンレス鋼 約 7.9 g/cm³

(4) 装荷制限

長尺粉末収納缶は 4 つの容器のうち 1 つのみに装荷する。

D.3 粉末収納缶を使用しウラン残渣を収納するケース(ケース 3)

本輸送容器の収納物は、(イ)第 7 図(a)に示すようにウラン残渣、ウラン残渣を収納するステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン残渣を収納するポリエチレン製袋、粉末収納缶と輸送容器内蓋との間に収納するブロッキングシステムからなる。

D.3.1 ウラン残渣

(1) 主要な核種及び放射能の量

核種	²³² U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹⁹ Tc	合計
放射能量(Bq) [※]	1.150×10 ⁷ 以下	2.313×10 ⁹ 以下	1.601×10 ⁸ 以下	1.197×10 ⁷ 以下	7.089×10 ⁸ 以下	1.255×10 ⁵ 以下	3.206×10 ⁹ 以下

※濃縮度 5wt%、20kg-U を装荷した場合の放射能量を記載

(2) 物理的形狀

ウラン残渣は、ウラン化合物及びその他の含有物からなり、固体である。

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

またステンレス鋼製スペーサ、プラスチックスペーサ、及びセンタリングシステムの形状は(イ)第 1 図に示す形状である。

(3) 化学的性質

ウラン残渣は、化学的に安定な性質を有しており、他の収納物と相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることはないので電気化学反応は発生しない。

(4) 材料密度

ウラン化合物のかさ密度 ・ ・ ・ 19.05 g/cm³以下

(5) 減速比

該当せず。

(6) 最大崩壊熱量

収納物であるウラン残渣は未照射であり、その崩壊熱量は無視し得る。

(7) 密封装置の最大圧力

本輸送物への収納物装荷は常温常圧で行われるため、密封装置が加圧されることはない。

(8) 装荷制限

i) 最大濃縮度

20.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン残渣及びそれに含まれるウラン化合物の内容器あたりの装荷制限量を(イ)－第5表に示す。

iii) 濃縮ウランの種類

a) 濃縮度 5%以下

濃縮ウラン（再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠）

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外

b) 濃縮度 20%以下

$$^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}$$

D3.2 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及びポリエチレン袋等

(1) 物理的形狀

粉末収納缶の形状は、(イ)－第8図に示す形状であり、ステンレス鋼板から成型されている。

中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは、以下の仕様である。

外 径：約 mm

高 さ： mm 以上

板 厚： mm 以上

重 量： kg 以下

化学成分：Cr

Ni

B

袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン

なお、ポリエチレン袋の収納制限はない。

ブロッキングシステムの形状を(イ)－第 10 図に示す。内蓋と粉末収納缶の間のギャップにより、落下時に内蓋にかかる衝撃力が大きくなる可能性がある。衝撃力を低減するための措置として、(イ)－第 2 図に示すように内容器内にブロッキングシステムを収納する。ステンレス鋼製スペーサ及びプラスチックスペーサは内蓋と粉末収納缶のギャップを低減し、センタリングシステムは粉末収納缶の偏心を防ぎステンレス鋼製スペーサと内容器との干渉を防止する。ブロッキングシステムは繰り返し使用する。

ブロッキングシステムの材質は以下の通りである。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料であり、使用可能温度 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ ¹⁾、融点 165°C ¹⁾、圧縮強度 100MPa ²⁾の材料特性を有している。

(2) 化学的性質

ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼、ポリエチレン、ポリオキシメチレンは、ともに化学的に安定な性質を有しており、相互に化学反応を生じることなく、耐食性上問題となることはない。また、接触しても電位差を生じることないので電気化学反応は発生しない。

(3) 材料密度

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| i) ステンレス鋼 | 約 7.9 g/cm^3 |
| ii) ボロン入りステンレス鋼 | 約 7.8 g/cm^3 |

(4) 装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングを、ウラン酸化物の有無に係わらず 3 組ずつ収納する。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを 1 つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を 0 から 3 枚の間で調整して収納する。

(イ)－第2表 内容物の装荷制限条件 (ケース1)

(ポリエチレン製袋、添加物 が g 以下の場合)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	71.00
4.65%以下	71.00	63.50	68.75
4.75%以下	71.00	63.50	65.00
4.85%以下	71.00	62.50	62.50
5.00%以下	71.00	58.75	58.75

* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。各内容器に最大4.0kgのブロッキングシステムを収納する。焼結体を収納する場合は、各内容器に最大7.5kgステンレス鋼製の波板等を収納する。

* 装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物(A~F)の合計重量を記載している。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第3表 内容物の装荷制限条件 (ケース1)

(ポリエチレン製袋、添加物 が g を超えて g 以下の場合)

濃縮度	装荷制限条件(kg)		
	粉 末	焼結体	スクラップ
4.45%以下	71.00	63.50	71.00
4.55%以下	71.00	63.50	67.50
4.65%以下	71.00	63.25	65.25
4.75%以下	71.00	61.75	61.75
4.85%以下	71.00	59.25	59.25
5.00%以下	71.00	55.75	55.75

* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。各内容器に最大4.0kgのブロッキングシステムを収納する。焼結体を収納する場合は、各内容器に最大7.5kgステンレス鋼製の波板等を収納する。

* 装荷制限条件には、ウラン酸化物と添加物(A～F)の合計重量を記載している。

* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第4表 内容物の装荷制限条件 (ケース2)

装荷制限条件(kg)			
ウラン酸化物量 (濃縮度5%以下)	添加物、緩衝材合計	袋、瓶合計	合計
10.00	5.00	5.00	20.00

* 収納物を装荷する内容器は1つのみであり、その中に1個の長尺粉末収納缶を装荷する。

* 装荷制限条件は粉末、焼結体、スクラップ全て同じものである。

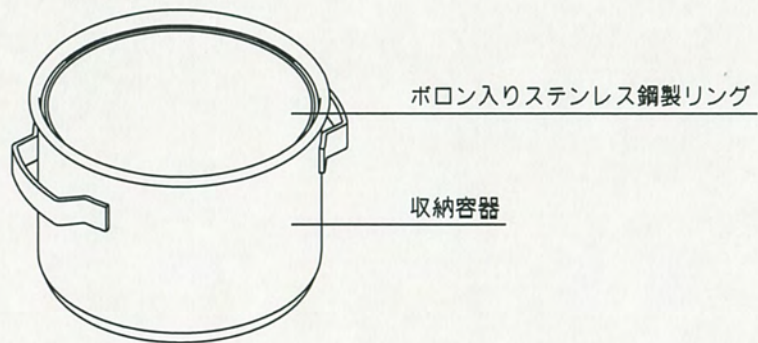
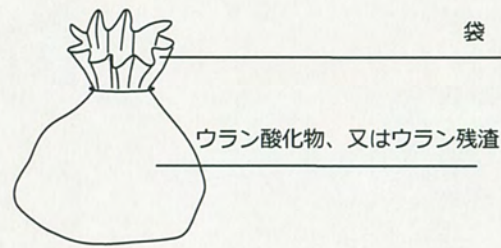
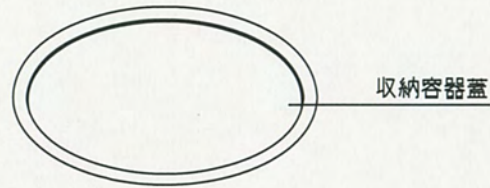
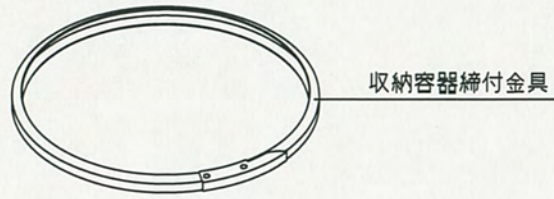
* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。

(イ)－第5表 内容器の装荷制限条件 (ケース3)

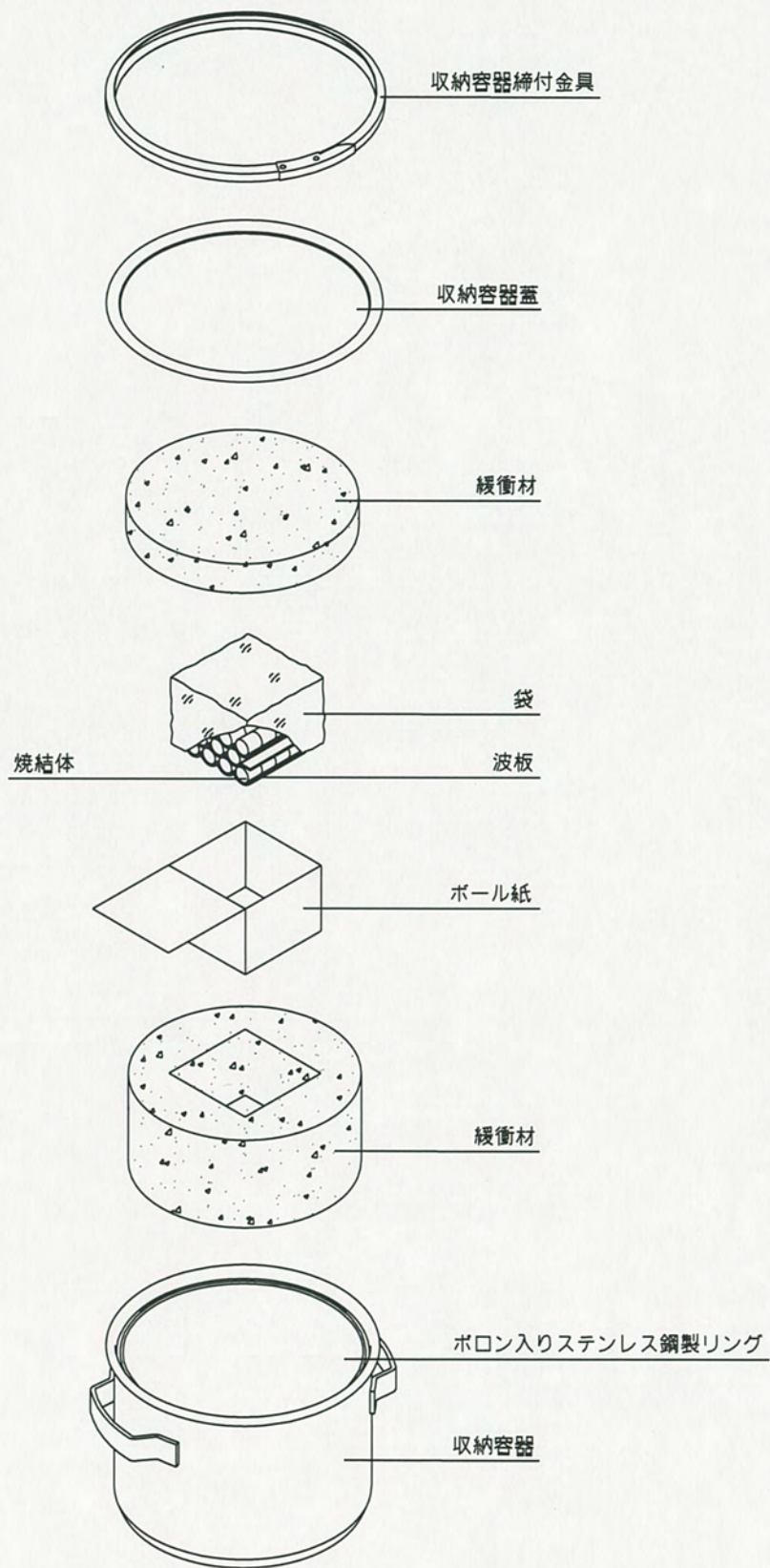
濃縮度	装荷制限条件	
	kg-U	kg・ウラン残渣
5.00%以下	5.00	71.0
20.00%以下	0.50	71.0

* 輸送物当たりの最大重量はそれぞれ4倍した値である。各内容器に最大4.0kgのブロッキングシステムを収納する。

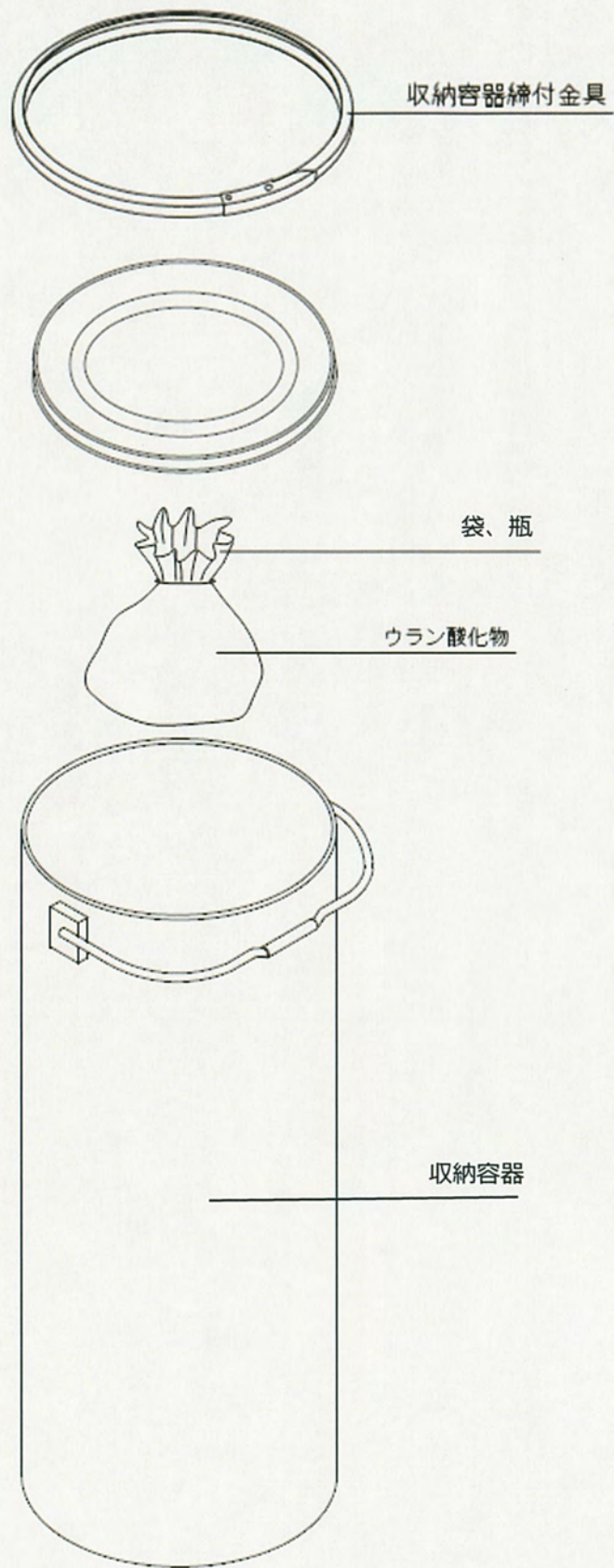
* ウラン酸化物を収納した粉末収納缶(ケース1)、ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶(ケース2)、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶(ケース3)は同一輸送容器内に混載しない。



(イ)－第7図(a) 収納物概略図 (ケース1、ケース3における粉末、スクラップ、及びウラン残渣収納時)

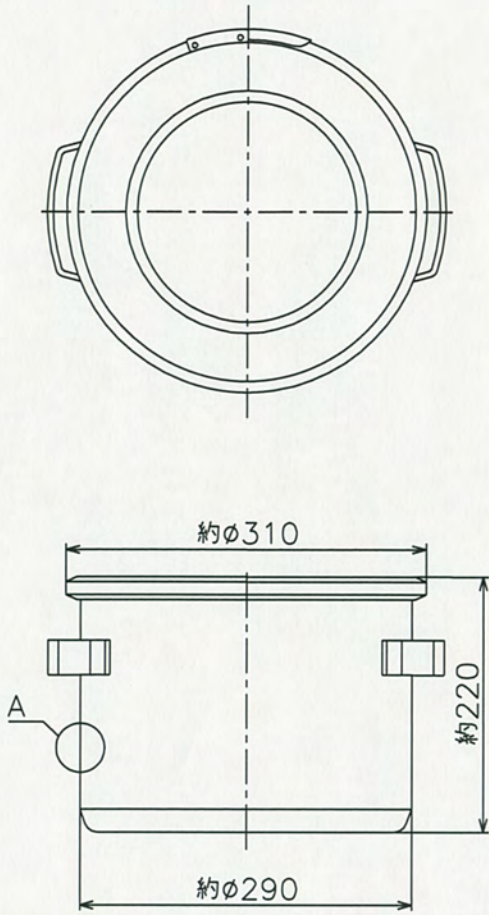


(イ)-第7図(b) 収納物概略図 (ケース1における焼結体収納時)

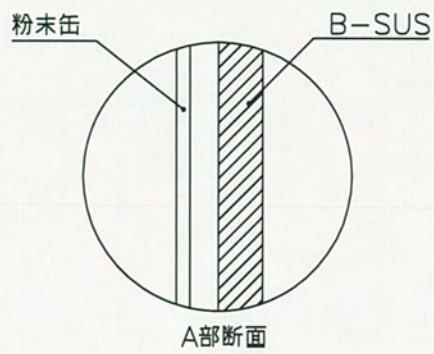
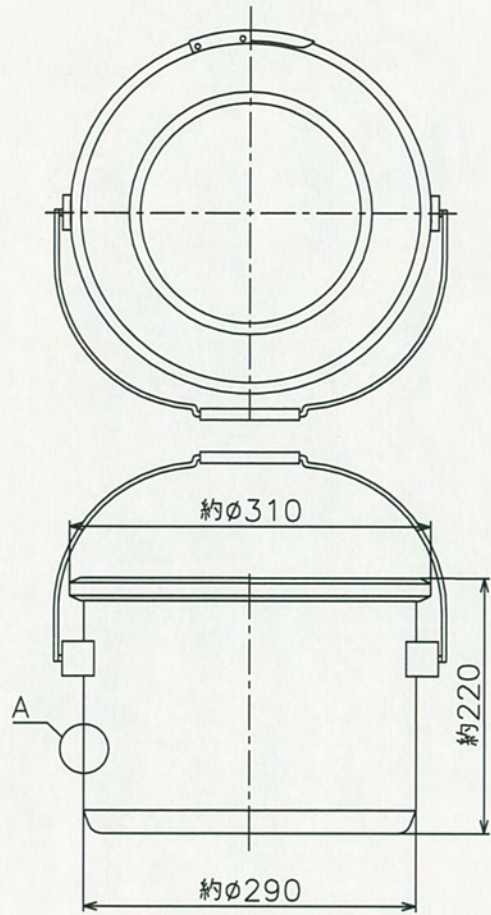


(イ)-第8図 収納物概略図 (ケース2)

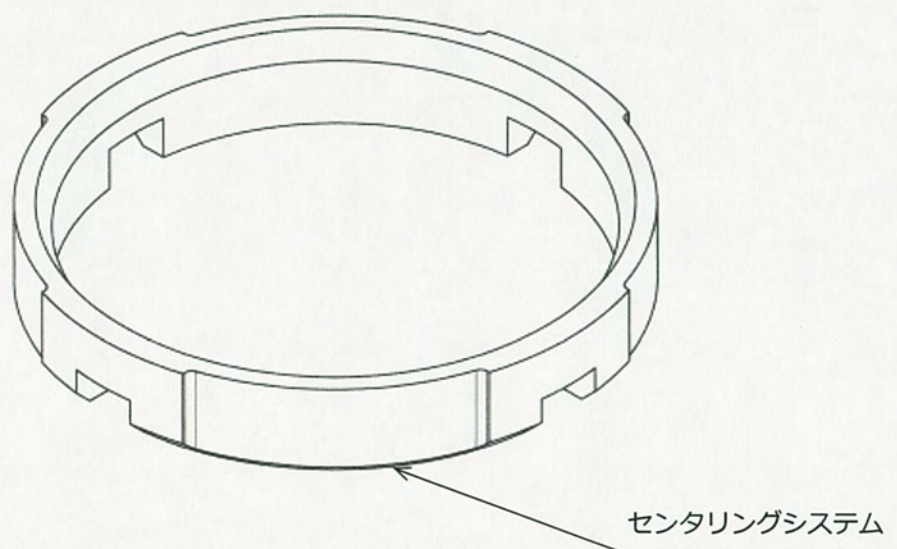
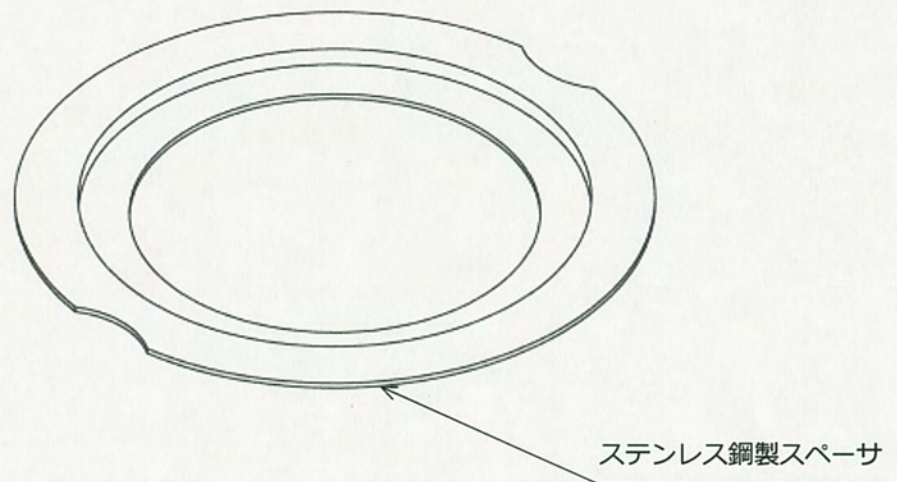
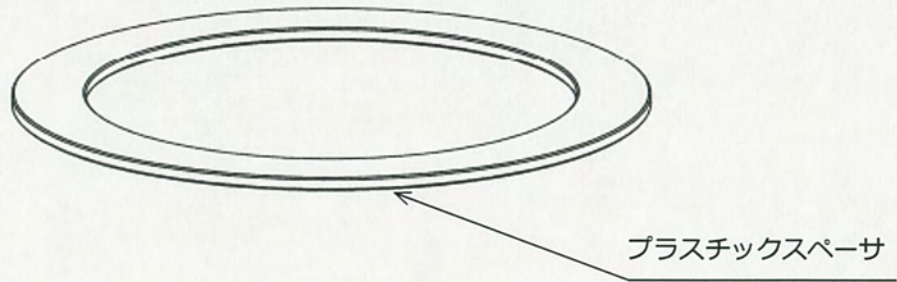
タイプ K



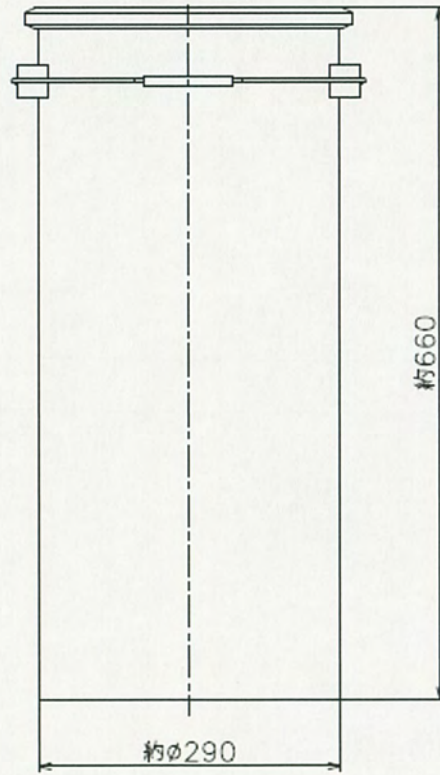
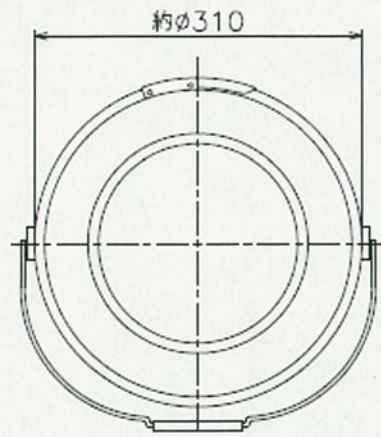
タイプ T



(イ)-第9図 粉末収納缶概略図



(イ)-第 10 図 ブロッキングシステム概略図



(イ) - 第 11 図 長尺粉末収納缶概略図

参考文献

- (1)日本トライボロジー学会 固体潤滑研究会「新版固体潤滑ハンドブック」(2010年3月)
- (2)プラスチックエージ「プラスチック読本」(2019年4月)

(ロ)章 核燃料輸送物の安全解析

本章では、本輸送物の設計が「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（昭和53年総理府令第57号）」（以下「規則」と呼ぶ）及び「平成2年科学技術庁告示第5号（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技術上の基準に係る細目等を定める告示）」（以下「告示」と呼ぶ）に定められるA型核分裂性輸送物の技術基準に適合していることを示す。

(ロ)－A 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

本輸送容器は、軽水炉向け燃料等の濃縮度5%以下のウラン酸化物（粉末、焼結体又はスクラップ）、濃縮度5%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣、及び濃縮度20%以下のウラン化合物を含んだウラン残渣を輸送するためのものである。本輸送容器は、外容器、中性子吸収材を含む内容容器及び耐熱衝撃緩衝材等からなる容器本体と外蓋、内蓋から構成されており、粉末収納缶又は長尺粉末収納缶を収納する内容容器が4個ある。粉末収納缶は内容容器1つに対しそれぞれ3缶ずつ、長尺粉末収納缶は内容容器1つに対し1缶のみ収納する。粉末収納缶にはウラン酸化物若しくはウラン残渣、長尺粉末収納缶にはウラン酸化物を収納する。また、長尺粉末収納缶は輸送容器1基に対し1缶のみ収納する。なお、ウラン酸化物を収納した粉末収納缶、長尺粉末収納缶、及びウラン残渣を収納した粉末収納缶は同一輸送容器内に混載しない。各内容容器に対して、内蓋、外蓋がそれぞれ1個あり、バイオネット構造により密封する仕組みになっている。また、4個の内容容器は、それぞれがステンレス鋼製の連結パイプで固定され、所定の間隔が保たれるようになっている。

容器本体は、ステンレス鋼板製の外殻と内容容器の間には耐熱衝撃緩衝材としての機能を有するフェノリックフォームが充填されている。容器本体に用いられるフェノリックフォームには2種類のタイプがあり、容器本体上部コーナ一部と底面エッジ部全周には高密度のフォーム (kg/m³ ; g/cm³)、残りの部分には中密度のフォーム (kg/m³ ; g/cm³) が使用されている。

外蓋は、ステンレス鋼板製の外殻に内部は上側から耐熱衝撃緩衝材としてフェノリックフォーム、補強材としてアルミニウム合金製ディスク、さらにフェノリックフォーム、そして中性子吸収材のボロン入りステンレス鋼板製のディスクが積み重ねられている。ここで用いられているフェノリックフォームは、低密度のフォーム (kg/m³ ; g/cm³) である。外蓋上面には、バイオネット構造を有するステンレス鋼製フランジが溶接され、天然ゴム製のパッキンが取り付けられている。この内蓋には内容容器の密封性を維持するため EPDM（エチレン・プロピレンゴム）製のガスケットが取り付けられている。

輸送容器には、特別な吊上装置は取り付けられておらず、吊上げる場合は輸送容器底部のフォークリフトパスにリフティングベルトを通して行う。

輸送容器外形は立方体構造であり、外表面の突起物は積み重ね用のスタッキングピンと容器本体底部の脚のみであり、ステンレス鋼板で覆われているため除染は容易である。

A.1.2 設計基準

本解析では、規則及び告示に規定される A 型核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下における輸送容器の構造を解析し、技術上の基準に適合することを示す。

解析の結果は、安全率を用いて整理し、安全率が 1 以上となることを確認する。

$$\text{安全率} = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析値}}$$

(ロ)A-第 1 表には、解析項目ごとに、対象となる部分の参照図、材質、設計温度及び対象となる部分に加わる設計負荷について記述している。また、解析方法に関しては、本文中で適用した式や手法を、その解析基準とともに記述している。解析基準値としては、引張応力に対して降伏応力を、また、せん断応力に対して降伏応力の 0.577 倍 ($\times 1/\sqrt{3}$) の値を使用する。

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (1/3)

解析項目	条件							備考	
	参照図	材質	温度	種類	設計負荷		解析方法		
					種別	負荷係数	要素		適用式又は要素	解析基準
1. 化学的及び電気的反応 (1) 化学的反応 (2) 電気的反応	—	—	-40~38 °C	腐食	—	反応性	反応性の有無	—	—
	—	—	-40~38 °C	腐食	—	電位性	異種材質間の電位差の有無	—	—
2. 低温強度 (1) 構造材 (2) 補強材 (3) 耐熱衝撃緩衝材 (4) ガスケット (5) 中性子吸収材	—	SUS304L	-40 °C	最低温度	1	低温強度	性能低下の有無 (低温脆性)	—	—
	—	Al alloy A2017	-40 °C	最低温度	1	低温強度	性能低下の有無 (低温脆性)	—	—
	—	フェノリックフォーム	-40 °C	最低温度	1	性能低下	性能低下の有無	—	—
	—	EPDM	-40 °C	最低温度	1	性能低下	性能低下の有無	—	—
	—	BORA レジン	-40 °C	最低温度	1	性能低下	性能低下の有無	—	—
3. 密封装置 (1) 内蓋 (2) 外蓋	(イ)-第4図	SUS304L	20 °C	—	—	密封機能	密封機能の有無	—	—
	(イ)-第6図	SUS304L	20 °C	—	—	密封機能	密封機能の有無	—	—
4. 吊上装置									該当せず
5. 固縛装置									該当せず
6. 圧力 (1) 内容器胴部 (2) 内容器底面 (3) 内容器内蓋 (4) バイオネット嵌合部	(ロ)A-第2図	SUS304L	52 °C	内圧	1	引張応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_T \sigma_\theta$	σ_y (155 MPa)	—
	(ロ)A-第3図	SUS304L	52 °C	内圧	1	圧縮応力	内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$	圧縮強度 (2.0 MPa)	—
	(ロ)A-第4図	SUS304L	52 °C	内圧	1	引張応力	$\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2}(3+\nu)$	σ_y (155 MPa)	—
	(ロ)A-第5図	SUS304L	52 °C	内圧	1	せん断応力	$\tau = \frac{F}{A}$	0.577 σ_y (89 MPa)	—
7. 振動	—	—	—	—	—	振動	亀裂、破損の有無	—	—

(ロ)A 第 1 表 構造解析設計基準 (2/3)

解析項目	条 件							備 考	
	参照図	材質	温度	設計負荷		要素	解析方法		
				種類	負荷係数		適用式又は要素		解析基準
1. 圧力 (1) 内容器胴部 (2) 内容器底面 (3) 内容器内蓋 (4) バイオネット嵌合部	(ロ)A-第 2 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	引張応力	$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_2 \sigma_\theta$ 内圧 + $\frac{MG}{\pi(d/2)^2}$ $\sigma = \frac{3Pr^2}{8t^2}(3+\nu)$ $\tau = \frac{F}{A}$	σ_y (155 MPa) 圧縮強度 (2.0 MPa) σ_y (155 MPa)	
	(ロ)A-第 3 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	圧縮応力			
	(ロ)A-第 4 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	引張応力			
	(ロ)A-第 5 図	SUS304L	52 °C	内 圧	1	せん断応力			
2. 水噴霧	—	—	20 °C	水噴霧	—	水吸収 水切り	同左 同左	— —	
3. 自由落下 (1) 垂直落下 (2) 水平落下 (3) コーナ一落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	垂直に 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	垂直に 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	60° で 1.2 m より落下	1	変形	原型容器試験	収納物 漏えい	
4. 積み重ね (1) 容器上部 (2) 容器下部 (3) 脚部	—	SUS304L	20 °C	輸送物重量	5	座屈荷重	$W = A\sigma_c \left(1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$	座屈荷重	
	—	SUS304L フェノリックフォーム	20 °C	輸送物重量	5	座屈荷重	$P = \frac{W_a/4}{\pi(d/2)^2}$	座屈荷重	
	(ロ)A-第 8 図	SUS304L	20 °C	輸送物重量	5	座屈応力	$\sigma = K \times E \times (t/b)^2 \times 1/(1-\nu^2)$	座屈応力	
5. 貫通	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	丸棒の 1 m から落下	1	容器貫通	容器の貫通の有無	—	

(ロ)A-第1表 構造解析設計基準 (3/3)

解析項目	条 件							備 考
	参照図	材質	温度	設計負荷		解析方法		
				種類	負荷係数	要素	適用式又は要素		解析基準
1. 落下試験 I (1) 水平落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	9 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	9 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
2. 落下試験 II (1) 水平落下	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
	(ロ)A 付属資料 3	SUS304L	20 °C	ターゲットへ 1 m より落下	1	変形	原型容器試験	—
3. 耐火試験	(ロ)B 付属資料 3	フェノリックフォーム	800 °C	—	—	—	原型容器試験	—
4. 浸漬試験	—	SUS304L EPDM	—	0.9 m の水頭 下浸漬	—	水の浸入 の有無	同左	—

特別の試験条件 (核分裂性輸送物)

A.2 重量及び重心

輸送物及びその主な構成物の最大重量について、ケース 1 を(ロ)A-第 2 表、ケース 2 を(ロ)A-第 3 表、ケース 3 を(ロ)A-第 4 表に示す。ケース 1 及びケース 3 とケース 2 の最大重量を比較した際、ケース 1 及びケース 3 の最大重量がケース 2 より大きいため、ケース 1 及びケース 3 において構造解析を行う方がより厳しい結果となる。よって以降は、ケース 1 及びケース 3 の最大重量を元に構造解析を行う。輸送物の重心位置は(ロ)A-第 1 図に示す通りである。

(ロ)A-第 2 表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 1)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
粉末収納缶+袋	86
ブロッキングシステム	16
粉末収納缶内容物*	284
総重量	1,050

(*)袋を除いた粉末収納缶の内容物 (ウラン酸化物、添加物、波板、緩衝材及び梱包材の合計重量)

(ロ)A-第 3 表 輸送物の重量 (最大重量 : ケース 2)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
長尺粉末収納缶+袋、瓶	14
長尺粉末収納缶内容物*	15
総重量	693

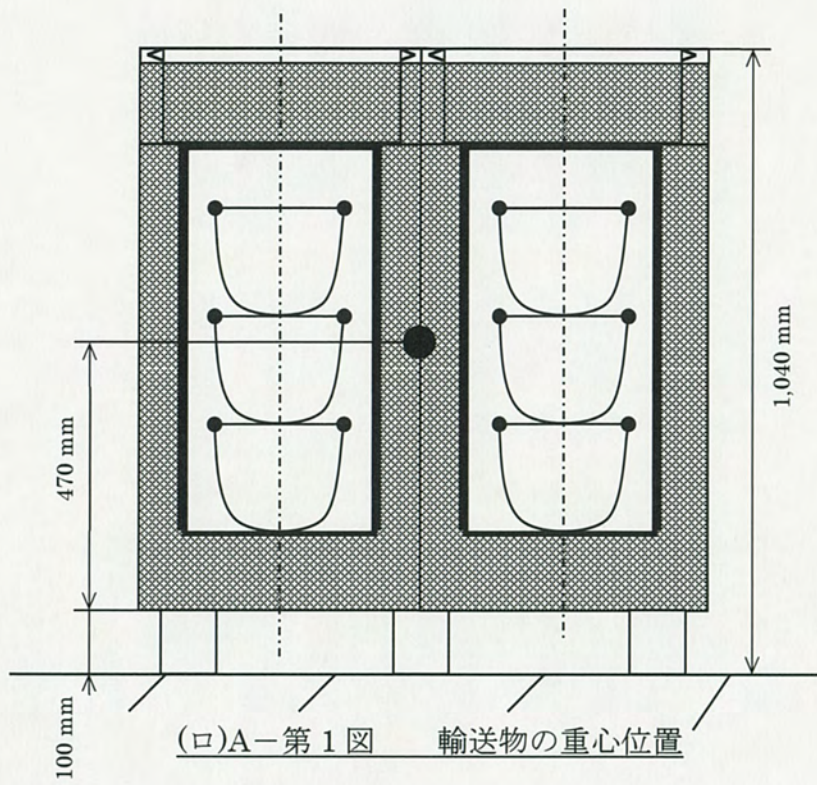
(*)袋、瓶を除いた長尺粉末収納缶の内容物 (ウラン酸化物、添加物、緩衝材の合計重量)

(ロ)A-第 4 表 輸送物の重量 (最大重量) : ケース 3)

(単位 : kg)

輸送容器本体	660
カバー	4
粉末収納缶	86
ブロッキングシステム	16
粉末収納缶内容物*	284
総重量	1,050

(*)粉末収納缶の内容物 (ウラン残渣、袋の合計重量)



A.3 材料の機械的性質

輸送容器を構成する主要構造材料の機械的性質を(口)A-第5表に示す。

(ロ)A-第5表 主要構造材料の機械的性質

材料名	仕様	密度 (kg/m ³) 20 °C	熱伝導率 (W/m・K) 20 °C	降伏応力 (MPa) 20 °C	降伏応力 (MPa) 75 °C	引張強さ (MPa) 20 °C	引張強さ (MPa) 75 °C	伸び (%) 20 °C	ヤング率 (MPa) 20 °C
ステンレス鋼	NF EN 10088-2 / 3 Grade X2 Cr Ni 18.09 又は、ASTM A240 type 304L 又は、JIS G 4305 SUS304L	7850	36	175	155	480	431	40	1.95×10 ⁵
アルミニウム合金	EN 485-2 Grade 2017A 又は、 JIS H4000 KA2017AP	2800	150	250	—	390	—	12	—
耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム (水分含有率□%)	□							
		□							
		□							
中性子吸収材	BORA レジン								

A.4 輸送物の要件

A.4.1 化学的及び電氣的反応

輸送容器内及び輸送容器と収納物の相互に接触する異種材料の一覧をケース 1 及びケース 3 の場合は(ロ)A-第 6 表、ケース 2 の場合は(ロ)A-第 7 表に示す。

ステンレス鋼と接触するフェノリックフォーム及び BORA レジンは塩素等ハロゲンを含んでおらず、吸収性及び腐食性がなく、化学的に安定している。

このように輸送容器に使用されている材料の組合せで、化学的又は電氣的反応を生じるおそれはない。

(ロ)A-第6表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース1及びケース3)

接触異種金属		主要接触部材	
ステンレス鋼	— フェノリックフォーム	構造材	— 耐熱衝撃緩衝材
ステンレス鋼	— BORA レジン	構造材	— 中性子吸収材
ステンレス鋼	— アルミニウム合金	構造材	— 補強材
ステンレス鋼	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	構造材	— ガスケット
ステンレス鋼	— 天然ゴム	構造材	— パッキン
ステンレス鋼	— ポリエチレン	構造材 構造材 粉末収納缶 波板	— カバー — 可融栓 — ポリエチレン袋 — ポリエチレン袋
ステンレス鋼	— ポリウレタン	粉末収納缶 波板	— ポリウレタン袋 — ポリウレタン袋
ステンレス鋼	— ナイロン	構造材	— リフティングベルト
ステンレス鋼	— ポリウレタン	粉末収納缶	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ボール紙	粉末収納缶	— 梱包材
アルミニウム合金	— フェノリックフォーム	補強材	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃緩衝材
ボール紙	— ポリエチレン	梱包材	— ポリエチレン袋
ボール紙	— ポリウレタン	梱包材	— ポリウレタン袋
ボール紙	— ポリウレタン	梱包材	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリオキシメチレン	粉末収納缶 構造材 ステンレス鋼製 スペーサ	— センタリングシステム — センタリングシステム — プラスチックスペーサ

(ロ)A-第7表 輸送容器と収納物の接触する異種材料(ケース2)

接触異種金属		主要接触部材	
ステンレス鋼	— フェノリックフォーム	構造材	— 耐熱衝撃緩衝材
ステンレス鋼	— BORA レジン	構造材	— 中性子吸収材
ステンレス鋼	— アルミニウム合金	構造材	— 補強材
ステンレス鋼	— EPDM(エチレン・プロピレンゴム)	構造材	— ガasket
ステンレス鋼	— 天然ゴム	構造材	— パッキン
ステンレス鋼	— ポリエチレン	構造材 構造材 長尺粉末収納缶 長尺粉末収納缶	— カバー — 可融栓 — ポリエチレン袋 — 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリウレタン	長尺粉末収納缶 長尺粉末収納缶	— ポリウレタン袋 — 緩衝材
ステンレス鋼	— ナイロン	構造材	— リフティングベルト
ステンレス鋼	— ポリスチレン	長尺粉末収納缶	— 緩衝材
ステンレス鋼	— ポリプロピレン	長尺粉末収納缶	— 緩衝材
アルミニウム合金	— フェノリックフォーム	補強材	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリエチレン	— フェノリックフォーム	可融栓	— 耐熱衝撃緩衝材
ポリスチレン	— ポリエチレン	緩衝材	— ポリエチレン袋
ポリスチレン	— ポリウレタン	緩衝材	— ポリウレタン袋
ポリウレタン	— ポリエチレン	緩衝材 ポリウレタン袋	— ポリエチレン袋 — 緩衝材
ポリプロピレン	— ポリエチレン	緩衝材	— ポリエチレン袋
ポリプロピレン	— ポリウレタン	緩衝材	— ポリウレタン袋

A.4.2 低温強度

輸送容器に使用されている金属材料は、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304L 相当）及びアルミニウム合金であり、ともに低温になるほど引張強さが増し、伸びについても -200 °C以上で著しい低下を起こすことはない。したがって、 -40 °Cの環境において機能を損なうことはない。（「(ロ)A 付属資料 5 5.1 及び 5.2」参照）

耐熱衝撃緩衝材として使用しているフェノリックフォームは、使用温度が \square ~ \square °Cであり、 -40 °Cの環境においても変質を起こすことはない。（「(ロ)A 付属資料 5 5.3」参照）

ガスケットに使用している EPDM は、ガラス遷移温度（結晶化を起こしガラス状になりゴム状弾性を失う温度）が -40 °C以下であり、 -40 °Cの環境においても十分使用に耐え、機能を損なうことはない。（「(ロ)A 付属資料 5 5.4」参照）

中性子吸収材として使用している BORA レジンは、 -40 °Cの環境においても脆化することはない。（「(ロ)A 付属資料 5 5.5」参照）

なお、輸送容器及び収納物に液体は使用されておらず凍結はない。

以上のことから、本輸送容器は -40 °Cの環境において、亀裂、破損等を生じるおそれはない。

A.4.3 密封装置

本輸送容器は内蓋が密封装置に該当する。（(イ)－第 5 図及び第 6 図参照）

輸送容器の内蓋の締付けは、ボルト等を使用しないバイオネット構造であり、この構造は、蓋側の突起とフランジ側の突起がそれぞれ嵌め合い EPDM 製のガスケットを締め込み、密封性を得る構造となっており、内蓋回り止めストッパーにより緩むことはない。

また、この内蓋回り止めストッパーは、同じくバイオネット構造の外蓋を外さなければ外れない構造となっている。外蓋は外蓋回り止めデバイスとその止めピンにより緩まない構造となっており、誤操作により開かれるおそれはない。

A.4.4 吊上装置

本輸送容器には吊上装置は装備されていない。

A.4.5 固縛装置

本輸送容器には固縛装置は装備されていない。

A.4.6 圧力

周囲の圧力が絶対圧で 60 kPa まで低下した場合の輸送物の健全性について評価する。収納物の梱包は屋内で実施されることから初期条件を 0°C とし、評価時の温度は(ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下で内容物の最高温度 52°C とする。0°C で梱包し、内容物温度が 52°C に達した際の内容物内圧を求めると絶対圧 120 kPa となる。周囲の圧力が絶対圧で 60 kPa まで低下すると、内容物内圧との差圧である 60 kPa のゲージ圧が内容物に作用することになる。

A.4.6.1 内容物胴体部

内圧により胴体部に生じる応力を(ロ)A-第 2 図に示す。これらの応力は以下の式によって表される。

$$\sigma_z = \frac{Pd}{4t} \quad \sigma_\theta = \frac{Pd}{2t}$$

また、ミゼスの最大応力式より以下の式で表せる。¹⁾

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2} - \sigma_z \sigma_\theta$$

ここで

$$P = 0.060 \text{ MPa} \quad \text{内圧}$$

$$d = 354 \text{ mm} \quad \text{内容物内径}$$

$$t = \square \text{ mm} \quad \text{内容物内壁板厚}$$

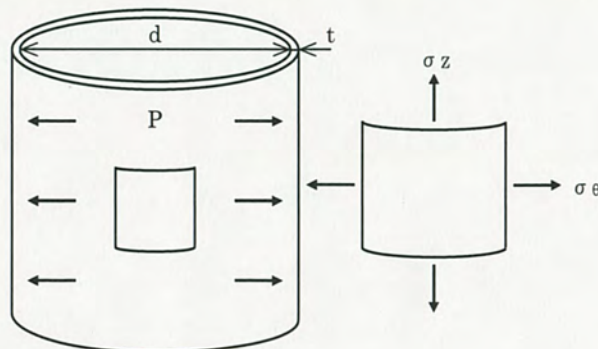
よって、胴体部に及ぼす引張応力は、

$$\sigma = \square \text{ MPa}$$

となる。

したがって、内容物胴体部に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$



(ロ)A-第 2 図 内容物胴体部解析モデル

A.4.6.2 内容器底面

(ロ)A-第3図に示すように内容器底面は全面に渡ってフェノリックフォーム () によって支えられている。そのため、内容器からの応力がフェノリックフォームの圧縮強さを超えない限り、内容器底面が変形、破損することはない。

ここでは、内容器の内圧 0.060MPa 及び収納物による応力を考慮する。収納物によって内容器底面に与えられる応力 σ は

$$\sigma = \frac{MG}{\pi(d/2)^2}$$

ここで、

$M = 96.5 \text{ kg}$ 粉末収納缶、ブロッキングシステム、袋も含めた内容器当たりの収納物重量

$G = 9.81 \text{ m/s}^2$ 重力加速度

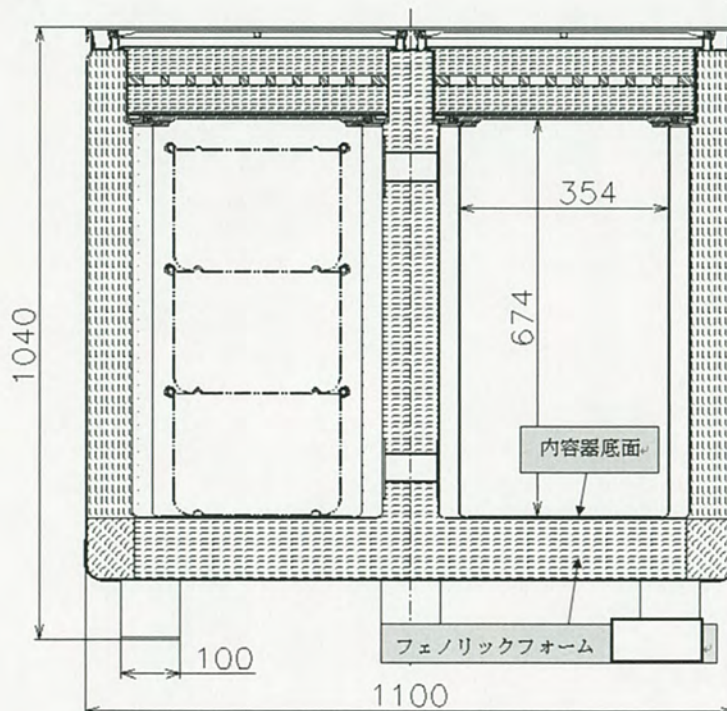
$d = 310 \text{ mm}$ 粉末収納缶外径

よって、

$$\sigma = 0.013 \text{ MPa}$$

内容器の内圧と収納物によって内容器底面に与えられる応力の合計は 0.073MPa である。フェノリックフォーム () の圧縮強度 () MPa (70°C) より、安全率は以下の値となる。

安全率 = ()



(ロ)A-第3図 内容器底面の構造

A.4.6.3 内容器内蓋

内圧により内容器内蓋に生じる応力を(ロ)A-第4図に示す。周辺単純支持の薄板円板に対するこれらの応力は、次式によって表される。²⁾

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} (3 + \nu) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} \left((3 + \nu) - (1 + 3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right)$$

ここで底面半径 $r=0$ のとき、 σ_{\max} となる。

よって、

$$\sigma = (\sigma_r)_{(r=0)} = (\sigma_\theta)_{(r=0)} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2 \cdot (3 + \nu)}{8 \cdot t^2}$$

ここで、

$P = 0.060$ MPa 内圧

$a = 177$ mm 内容器内径

$\nu = 0.3$ ポアソン比

$t = \square$ mm 内蓋板厚

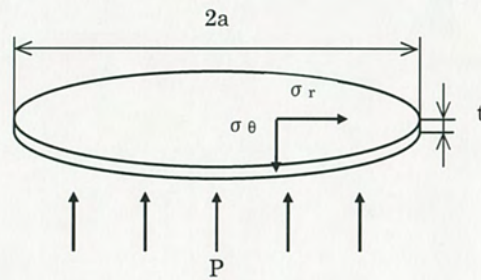
よって、内容器内蓋に及ぼす曲げ応力は、

$$\sigma = \square \text{ MPa}$$

となる。

したがって、内容器内蓋に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =



(ロ)A-第4図 内容器内蓋解析モデル

次に、バイオネット嵌合部に加わる応力について評価する。(ロ)A-第5図にバイオネット嵌合部の概略図を示す。内容器フランジ部円周上にそれぞれ45°の角度を持つ4個の嵌合部があり、この部分に加わるせん断応力は次式によって表される。

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{P \cdot \pi \cdot a^2}{\pi \cdot a \cdot t}\end{aligned}$$

ここで

P = 0.060MPa 内圧

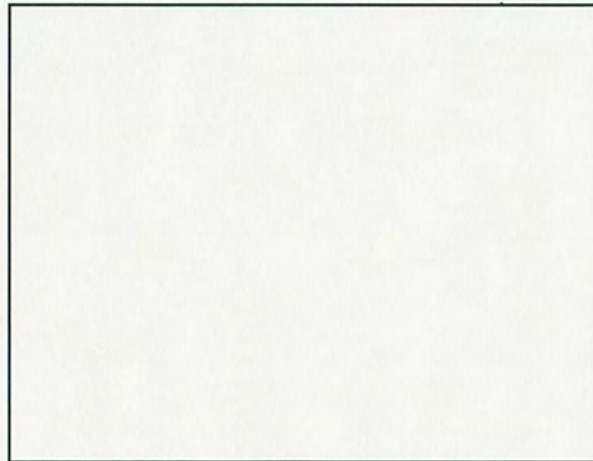
a = 176 mm 内蓋内径

t = mm バイオネット嵌合部肉厚

よって、バイオネット嵌合部に及ぼすせん断応力は、 $\tau =$ MPa となる。

したがって、内容器バイオネット嵌合部に発生する応力は基準値である構造材であるステンレス鋼板のせん断許容応力 89MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

安全率 =

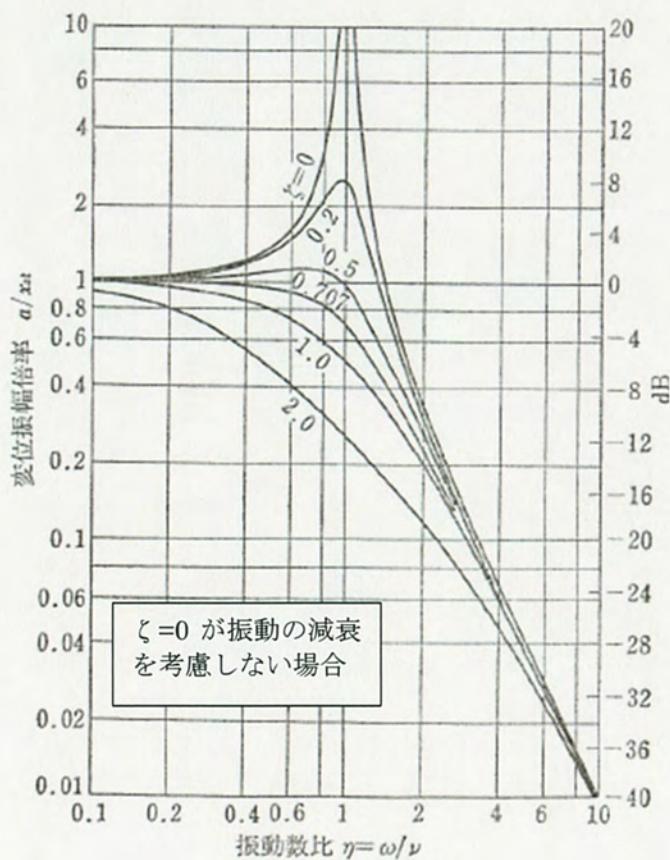


(ロ)A-第5図 内容器内蓋バイオネット嵌合部解析モデル

A.4.7 振動

固有振動数解析の結果、本輸送物の固有振動数は□Hzである(詳細は、「(ロ)A 付属資料7」参照)。一般的に運搬中にトラック、トレーラー等から受ける励振力の周波数は最大でも□Hz未満であり、本輸送物の固有振動数と差がある。(ロ)A-第6図に示すように、振動数比□の場合、減衰を保守的に考慮しない場合でも変位振幅倍率は□%程度である。一般的に輸送中にトラック、トレーラーに発生する振動の加速度は、段差等の通過を考慮しても□G未満であることから、増幅を保守的に□%考慮しても輸送容器に負荷される荷重は輸送物の□倍未満である。

一般の試験条件における積み重ね評価((ロ)-A.5.4)において自重の5倍荷重がかかった評価においても輸送容器に変形は生じないことを考慮しても、輸送中に発生する振動によって輸送容器に破損、亀裂が生じるおそれはない。



(ロ)A-第6図 力による強制振動の共振曲線³⁾

A.5 一般の試験条件

A.5.1 熱的試験

熱的試験の評価は太陽熱による加熱を考慮して(ロ)B.4 一般の試験条件で行い、内容物の最高温度は 52℃、外容器の最高温度は 72℃となる。また最低温度としては-40℃までを考慮する。熱的試験の詳細については、(ロ)B 熱解析で記述する。

A.5.1.1 温度及び圧力の要約

一般の試験条件における温度及び圧力は、太陽放射熱による輸送物の最高温度とその温度上昇による最高圧力から求める。

(ロ)B 項に示す解析結果より一般の試験条件下で内容物の最高温度はガスケット部で 52℃である。また、収納物の梱包は屋内で実施されることから梱包時の環境温度が 0℃未満になる可能性はないが、ここでは初期温度条件を保守的に最低温度の-40℃とする。

内容物温度が初期条件の-40℃から 52℃まで上昇したときに、周辺圧力が 1 気圧 (101 kPa) とした場合の内容物の最大内外圧力差を求めると 40 kPa となる。

A.5.1.2 熱膨張

輸送容器の温度上昇は小さく、また構造材が金属であるため熱伝導が良いので、輸送容器各部の温度差は小さく、温度差による熱膨張差は発生しない。また、容器の内外板、外蓋、内蓋といった主要の構造材はステンレス鋼から成るため、異種材料による熱膨張差は発生しない。

収納物に係る熱膨張の影響について、ブロッキングシステムを収納するケース 1 及びケース 3、ブロッキングシステムを収納しないケース 2 の二つに分け、収納物ごとに記載する。

ケース 1 及びケース 3

ステンレス鋼製スペーサは輸送容器の構造材と同じくステンレス鋼製であることから熱膨張によって内容器側面及び内蓋と接触することはない。

センタリングシステムは内容器底に収納され、内容器側面及び粉末収納缶と □ mm 以上のギャップが空いているため熱膨張によって内容器側面と接触することはない。

プラスチックスペーサは粉末収納缶と内蓋との間に収納される。内容器側面とは □ mm 以上のギャップが空いているため熱膨張により接触することはない。

高さ方向について、輸送容器構造材であるステンレス鋼とプラスチックスペーサのポリオキシメチレンの異種材料による熱膨張差を確認する。なお、ここでは保守的にステンレス鋼の熱膨張量を □ と仮定し、プラスチックスペーサの熱膨張量のみを考慮する。

- ・最低温度 □ まで上昇
- ・1枚当たりのプラスチックスペーサ厚み: □ mm
- ・最大収納枚数 □ 枚を考慮

熱膨張量は以下の式で表される。

$$\Delta L = \alpha \Delta T L_0$$

ΔL : 熱膨張量 mm

α : 線熱膨張係数 1/K

ΔT : 温度変化 K

L_0 : 初期長さ mm

ここで、

温度変化 ΔT : 92 K

ポリオキシメチレンの線熱膨張係数 α : 1.2×10^{-4} 1/K⁴⁾

プラスチックスペーサ厚み合計 L_0 : mm \times 3(最大収納枚数) = mm

から

$$\Delta L = \text{} \text{ mm}$$

なお、mm の熱膨張差を考慮しても内蓋と接触しないように、内容器に収納するプラスチックスペーサの枚数を調整するため、熱膨張により接触することはない。

ケース 2

長尺粉末収納缶は輸送容器の構造材と同じくステンレス鋼製であり、内容器側面とは 60 mm 以上、内蓋とは 10 mm 以上の十分なギャップが存在するため、熱膨張によって内容器側面及び内蓋と接触することはない。

以上のことから、いずれの収納物を収納した場合でも、熱膨張による顕著な応力は発生せず、亀裂・破損の生じるおそれはない。

A.5.1.3 応力計算

内容器の初期圧力は -40 °Cのもとで絶対圧 101 kPa であるとする、太陽放射熱による内容器の内部温度が 52 °Cまで上昇した ((ロ)B.4 項参照) 時の内容器内圧は、

$$P = \frac{273 + 52}{273 - 40} \times 101 = 141$$

となる。したがって、内容器には内外圧力差分のゲージ圧 40 kPa (=141-101) が作用することになる。

以下、内容器に及ぼす応力について記述する。

A.5.1.3.1 内容器胴体部

内圧により胴体部に生じる応力を(ロ)A-第 2 図に示す。これらの応力は以下の式によって表される。¹⁾

$$\sigma_z = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} \quad \sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t}$$

また、ミゼスの最大応力式より以下の式で表せる。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_z \cdot \sigma_\theta}$$

ここで

$$P = 0.040 \text{ MPa} \quad \text{内圧}$$

$$d = 354 \text{ mm} \quad \text{内容器内径}$$

$$t = \square \text{ mm} \quad \text{内容器内壁板厚}$$

よって、胴体部に及ぼす引張応力は、

$$\sigma = \square \text{ MPa}$$

となる。

したがって、内容器胴体部に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75℃) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$

A.5.1.3.2 内容器底面

(ロ)A-第 3 図に示すように内容器底面は全面に渡ってフェノリックフォーム (□) によって支えられている。そのため、内容器からの応力がフェノリックフォームの圧縮強さを超えない限り、内容器底面が変形、破損することはない。

内容器の内圧 0.040MPa 及び収納物による応力 0.013MPa ((ロ)A.4.6.2 参照) より、内容器の内圧と収納物によって内容器底面に与えられる応力の合計は 0.053MPa である。フェノリックフォーム (□) の圧縮強度 □MPa (□) より、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \square$$

A.5.1.3.3 内容器内蓋

内圧により内容器内蓋に生じる応力を(ロ)A-第 4 図に示す。周辺単純支持の薄板円板に対するこれらの応力は、次式によって表される。²⁾

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} (3 + \nu) \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3 \cdot P \cdot r^2}{8 \cdot t^2} \left((3 + \nu) - (1 + 3\nu) \frac{r^2}{a^2} \right)$$

ここで底面半径 $r=0$ のとき、 σ_{\max} となる。

よって、

$$\sigma = (\sigma_r)_{(r=0)} = (\sigma_\theta)_{(r=0)} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2 \cdot (3 + \nu)}{8 \cdot t^2}$$

ここで、

$$P = 0.040 \text{ MPa} \quad \text{内圧}$$

$$a = 177 \text{ mm} \quad \text{内容器内径}$$

$$\nu = 0.3 \quad \text{ポアソン比}$$

$$t = \square \text{ mm} \quad \text{内蓋板厚}$$

よって、内容器内蓋に及ぼす曲げ応力は、

$$\sigma = \boxed{} \text{MPa}$$

となる。したがって、内容器内蓋に発生する応力は基準値であるステンレス鋼板の耐力 155 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \boxed{}$$

次に、バイオネット嵌合部に加わる応力について評価する。(ロ)A-第 5 図にバイオネット嵌合部の概略図を示す。内容器フランジ部円周上にそれぞれ $\boxed{}$ の角度を持つ 4 個の嵌合部があり、この部分に加わるせん断応力は次式によって表される。

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{P \cdot \pi \cdot a^2}{\pi \cdot a \cdot t} \end{aligned}$$

ここで

$$P = 0.040 \text{ MPa} \quad \text{内圧}$$

$$a = 176 \text{ mm} \quad \text{内蓋内径}$$

$$t = \boxed{} \text{ mm} \quad \text{バイオネット嵌合部肉厚}$$

よって、バイオネット嵌合部に及ぼすせん断応力は、

$$\tau = \boxed{} \text{MPa}$$

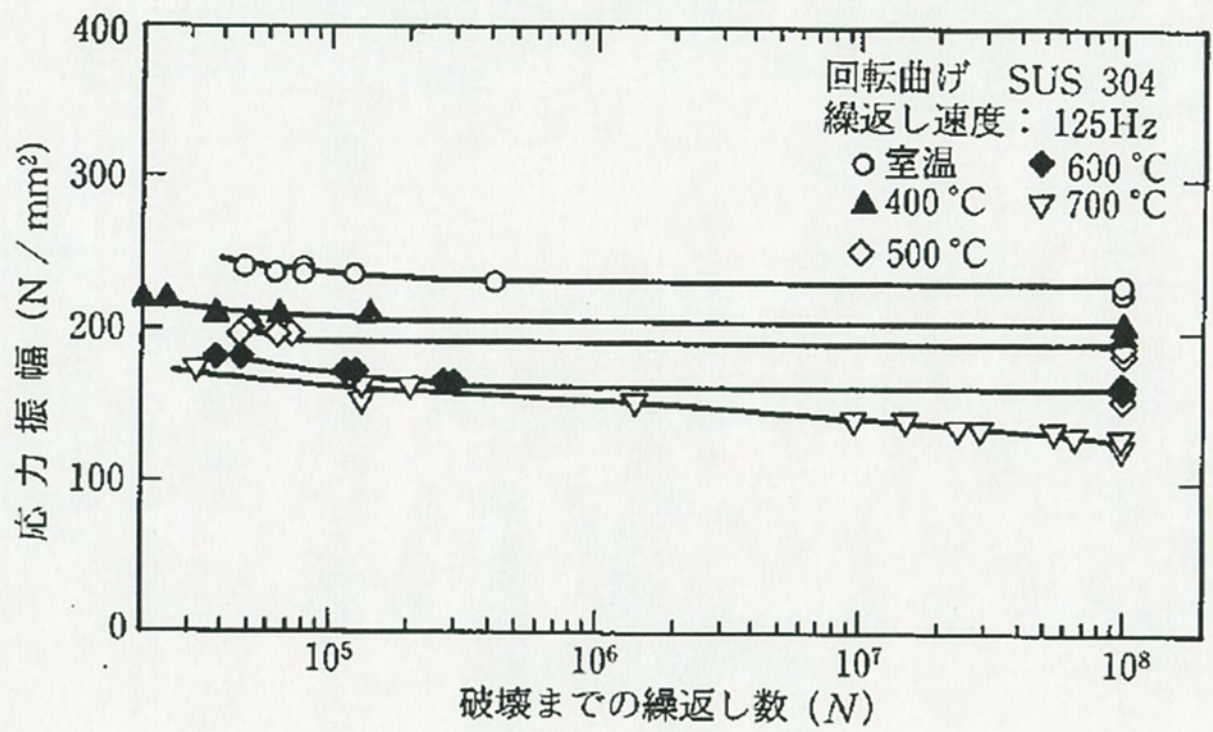
となる。

したがって、内容器バイオネット嵌合部に発生する応力は基準値である構造材であるステンレス鋼板のせん断許容応力 89 MPa (75°C) より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \boxed{}$$

A.5.1.3.4 繰り返し応力の評価

A.5.1.3.1~A5.1.3.3 にて内容器に及ぼす応力を評価した結果、最大 $\boxed{}$ MPa の応力が内蓋に生じることが確認された。40 年間の使用期間を想定し、年間 365 回温度変化による応力が発生すると仮定すると、40 年間の繰り返し応力の発生回数は 40(年) × 365(回) = 14600 回となる。(ロ)A-第 7 図のステンレス鋼の疲労曲線によると、少なくとも 100 N/mm² 以下の応力では室温から 700°C の環境下において 10⁷ 回以上繰り返し応力が発生しても疲労破壊が生じることはない。



(ロ)-A 第7図 ステンレス鋼疲労曲線

(出典) ステンレス鋼便覧-第3版-ステンレス協会(1995年1月)

A.5.1.4 許容応力との比較

許容応力と解析値の比較を(ロ)A-第 12 表に示す。いずれの解析結果も解析基準値を満足しており安全である。

A.5.2 水噴霧

本輸送容器の外殻はステンレス鋼板で覆われ、接合は全て溶接されている。また、内容器のガスケットが密封性を維持し、内容器内には水が入らない構造となっている。したがって、水噴霧による輸送容器内への水の浸透なく、材料劣化は生じない。なお、臨界解析においては内容器への水の浸入を考慮している。

A.5.3 自由落下

(a) 解析モデル

落下試験を実施しており、解析は実施していない。

(b) 原型試験

本輸送物は、総重量が 5,000 kg 以下であるので、告示別記第三第一号ロ(1)に基づき、落下の高さは 1.2 m として、原型容器試験にて安全性を示す。

本試験に供した原型容器内にはウラン酸化物の粉末重量を模擬するために鉄粉を入れたステンレス製粉末収納缶を 12 缶装荷（純鉄粉末重量 300kg）し、総重量を 1,050kg とした。また、内容器ガスケット部から収納物が漏えいしていないかを目視で確認する目的で最上段の粉末収納缶の蓋上には消石灰を配置した。なお、原型容器にはブロッキングシステム（最大重量 16 kg）を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

原型容器試験に先立ち、予備試験において 2 基の原型容器を用いて“密封境界に熱的に厳しい”又は“臨界解析に影響を及ぼす”最大の損傷を及ぼす落下姿勢を検討した。（「(ロ)A 付属資料 1」参照）

その結果、原型容器試験として 2 基の原型容器に対して、輸送物側面（落下角度 ）、輸送物コーナー部（落下角度 ）を下向きとした落下試験を行った。なお、落下角度 は、なる角度である。

本試験によって原型容器コーナー部には三角錘状に X, Y, Z 方向それぞれに mm の変形を生じた。原型容器の外形寸法は一辺が 1,100mm、高さが 1,040mm であるため、変形量を差し引いた寸法は、保守的に見積もって一辺 mm である。上記の変形を容積減少率に換算すると % 以下である。

これらの試験においても以下の(ロ)A-第 8 表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、収納物の漏えいは認められなかった。したがって本条件にお

いて規則に定める基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料 3」に示す。

(ロ)A-第 8 表 自由落下試験結果

試験項目	損傷箇所	試験結果
原型容器 P3	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	変形なし
原型容器 P4	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	コーナー部に局所的変形 容積減少約 <input type="text"/> %

(c) モデル試験

モデル試験は実施していない。

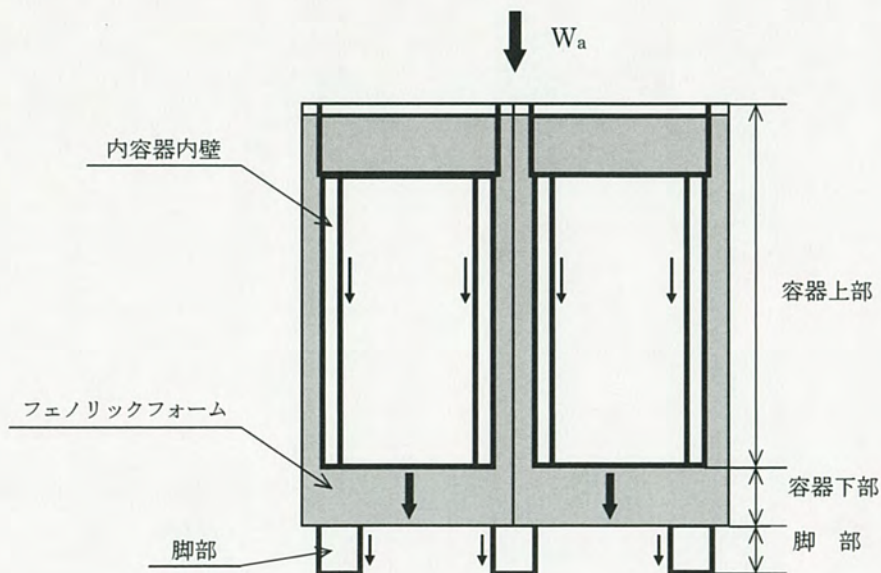
A.5.4 積み重ね試験

告示別記第三第一号ロ(3)で、要求されている圧縮試験については、計算により評価した。輸送物の自重の 5 倍荷重又は輸送物の鉛直投影面積に 13 kPa を乗じた荷重のいずれか大きい方の荷重に等しい圧縮力を供試物の底面及びその対面に均一に加える場合を考える。ここで輸送物の 5 倍の荷重を W_a 、 $13 \text{ kPa} \times$ 鉛直投影面積の荷重を W_b とすると

$$W_a = 5 \times 1,050 \times 9.81 = 51,502.5 \text{ N}$$

$$W_b = 13,000 \times 1.1 \times 1.1 = 15,730 \text{ N}$$

$W_a > W_b$ であるので、 $W_a = 51,502.5 \text{ N}$ の荷重を用いて、下図に示す輸送容器上部、容器下部及び脚部について以下の解析を行った。



A.5.4.1 容器上部

容器上部は、外蓋、内容器、断熱材及び容器本体外殻からなるが、ここでは、内容器の座屈荷重について評価する。各内容器は輸送容器上部外殻及び連結パイプによって固定されていることから、両端固定の円筒柱として評価する。また、内容器は内壁及び外壁からなるが、安全側の評価として内壁のみ考慮する。

両端固定の柱の座屈荷重は以下のジョンソンの式によって求められる。¹⁾

$$W = A\sigma_c \left(1 - \frac{\sigma_c}{4n\pi^2 E} \lambda^2 \right)$$

ここで

A : 断面積

E = 195,000 MPa ヤング率

l = mm 円筒高さ

$\lambda = l/k$ 細長比

n = 両端固定の係数

$\sigma_c = 175$ MPa 圧縮強さ

また、断面二次半径 k は、次式によって求められる。¹⁾

$$k = \frac{\sqrt{d_2^2 + d_1^2}}{4}$$

ここで

$d_1 = 354$ mm 内壁内径

$d_2 =$ mm 内壁外径

であり、断面二次半径は、

$$k =$$

となる。よって、細長比 λ は、

$$\lambda =$$

となる。よって、座屈荷重は、

$$W =$$
 N

したがって、1つの内容器内壁の座屈荷重は、一つの内容器の負荷荷重の 12,876 N より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} =$$

A.5.4.2 容器下部

1つの内容器下のフェノリックフォーム 単位面積当たりに負荷される応力は、

$$P = \frac{W_a}{\pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2} =$$
 MPa

となる。

したがって、1つの内容器底面の単位面積当たりの負荷応力は、フォーム の座屈応力である MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \text{$$

A.5.4.3 脚部

脚部の軸方向板に負荷される圧縮応力は以下の式によって求められる。

$$P = \frac{W_a}{Nbt}$$

ここで

$N = 18$ 枚 軸方向鋼板（脚3組×6枚）

$t = \text{$ mm 板厚

$b = 100$ mm 板幅

であり、圧縮応力は

$$P = \text{} \text{ MPa}$$

となる。

また、(ロ)A-第8図に示す脚部の座屈応力は、以下の式によって求められる。²⁾

$$\sigma = K \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{t}{h} \right)^2$$

ここで

$K = 3.29$ 角型に対する係数

$E = 195,000$ MPa ヤング率

$t = \text{$ mm 板厚

$h = 100$ mm 高さ

$\nu = 0.3$ ポアソン比

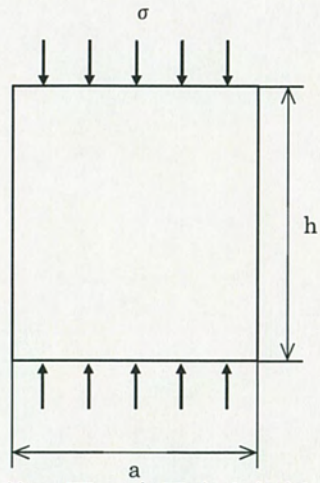
よって、脚部の座屈応力は、

$$\sigma = \text{} \text{ MPa}$$

となる。

したがって、脚部の座屈応力は、負荷される圧縮応力 MPa より小さく、安全率は以下の値となる。

$$\text{安全率} = \text{$$



(ロ)A-第8図 座屈応力解析モデル

A.5.5 貫 通

告示別記第三第一号(ロ)(4)で要求されている貫通試験については、2基の原型容器を用いた落下試験において、輸送物側面、輸送物底面、外蓋上面、外蓋バイオネット嵌合部及び外蓋回り止めデバイス止めピンに対して行った。これらの試験においても(ロ)A-第9表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、したがって本項目の場合にも基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料3」に示す。

(ロ)A-第9表 貫通試験結果

試験項目	損傷箇所	試験結果
原型容器 P3	・外蓋回り止めデバイス止めピン ・輸送物底面 <input type="text"/> の中心	貫通はなく、わずかな痕跡のみ 貫通はなく、凹みのみ
原型容器 P4	・輸送物側面 <input type="text"/> の中心 ・外蓋上面 ・外蓋バイオネット嵌合部間	貫通はなく、凹みのみ 同上 貫通はなく、わずかな痕跡のみ

A.5.6 角又は縁落下

該当せず

A.5.7 結果の要約及びその評価

一般の試験条件について評価をした結果、熱的試験、水噴霧及び積み重ね試験は、収納物に影響を及ぼすことがなく、また、自由落下及び貫通試験は輸送容器に局所的な変形を及ぼすが収納物には変形等の影響は見られず、密封境界である内容器から漏えいは認められなかった。

A.6 特別の試験条件

本輸送物は、A型核分裂性輸送物であるため、該当しない。

A.7 強化浸漬試験

本輸送物は核燃料物質の収納量が A_2 値以下となる A 型輸送物であり、 A_2 値の十万倍を超える量の放射能を収納しないため該当しない。

A.8 放射性収納物

A.8.1 収納物の仕様

ケース 1 における放射性収納物の構造を(イ)－第 7 図及び第 9 図に示す。本輸送容器の収納物は、ウラン酸化物、ステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製袋、(イ)－第 1 図及び(イ)－第 10 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、及び粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステムからなる。焼結体収納時には、さらにステンレス鋼製の波板、ポリウレタン製の緩衝材、梱包材（ボール紙）からなる。

ケース 2 における本輸送容器の収納物は(イ)－第 8 図及び第 10 図に示すようにウラン酸化物、ステンレス鋼製の長尺粉末収納缶、ウラン酸化物を収納するポリエチレン製若しくはポリウレタン製の袋、瓶からなる。また、ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン製の緩衝材を使用する。なおウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶は 4 つの内容器のうち 1 つにしか装荷しない。

ケース 3 における放射性収納物の構造を(イ)－第 7 図及び第 9 図に示す。本輸送容器の収納物は、ウラン残渣、ウラン残渣を収納するステンレス鋼製の粉末収納缶、中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リング、ウラン残渣を収納するポリエチレン製袋、(イ)－第 1 図及び(イ)－第 10 図に示すように粉末収納缶と輸送容器内蓋との隙間に収納するステンレス鋼製スペーサとプラスチックスペーサ、及び粉末収納缶の位置決めのため内容器底に収納するセンタリングシステムからなる。

A.8.1.1 ケース 1 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . . ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{99}Tc

ii) 放射能の量 . . . 40.2GBq 以下

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン（再生濃縮ウランを除く：ASTM C996-04 ECGU に準拠）

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度

5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)－第 2 表、第 3 表に示す。輸送物当たりの装荷制限量は(イ)－第 2 表の値を 4 倍した量である。

iii) 物理的形状

ウラン酸化物(UO₂, U₃O₈, UO₃)の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。

- ・粉末嵩密度 5 g/cm³以下
- ・成型体密度 8 g/cm³以下
- ・焼結体密度 8~11 g/cm³

ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO) ₂ Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C ₁₇ H ₃₅ CONHCH ₂ CH ₂ NHCOC ₁₇ H ₃₅	
D	ガドリニア	Gd ₂ O ₃	
E	エルビア	Er ₂ O ₃	
F	アゾジカルボンアミド	C ₂ H ₄ N ₄ O ₂	

(3) 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

粉末収納缶並びに中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは以下の仕様である。

粉末収納缶

- 材 質：ステンレス鋼板
- 外 径：約 310 mm
- 高 さ：約 220 mm
- 板 厚：1.0 mm 以上
- 重 量：約 7 kg (中性子吸収材装着時)
- 材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材

材 質：ボロン入りステンレス鋼

化学成分：Cr

Ni

B

外 径：約 mm

高 さ： mm 以上

板 厚： mm 以上

重 量： kg 以下

粉末及びスクラップ収納時に使用される袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

焼結体収納時に使用される袋、波板、梱包材、緩衝材の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン、ポリウレタン

波板：ステンレス鋼

梱包材：ボール紙

緩衝材：ポリウレタン

ポリエチレン袋を使用する場合は最大添加量の値に適合するように制限する。波板、梱包材、緩衝材を合わせた重量は最大 7.5kg である。

またブロッキングシステムは以下の材質である。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

なお、ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料である。

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

装荷制限

本輸送容器の各内容器には粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングが、ウラン酸化物の有無に係わらず 3 組ずつ収納される。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを 1 つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を 0 から 3 枚の間で調整して収納する。

A.8.1.2 ケース 2 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . . ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{99}Tc

ii) 放射能の量 . . . 1.41GBq 以下

iii) 濃縮ウランの種類

濃縮ウラン

$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$

$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$

$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$

$^{99}\text{Tc} \leq 0.05 \mu\text{g/gU}$

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度 5.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン酸化物の内容器当たりの装荷制限量を(イ)ー第 4 表に示す。

iii) 物理的性状

ウラン酸化物(UO₂, U₃O₈, UO₃)の形状は、粉末、焼結体又は粉末、焼結体、成型体からなるスクラップであり、固体である。

- ・粉末嵩密度 5 g/cm³ 以下
- ・成型体密度 8 g/cm³ 以下
- ・焼結体密度 8~11 g/cm³

ウラン酸化物には、以下の添加物を含む。

	添加物	化学式	最大添加量
A	ステアリン酸マグネシウム	Mg(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	
B	ステアリン酸亜鉛	(CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO) ₂ Zn	
C	エチレンビスステアリン酸アミド	C ₁₇ H ₃₅ CONHCH ₂ CH ₂ NHCOC ₁₇ H ₃₅	
D	ガドリニア	Gd ₂ O ₃	
E	エルビア	Er ₂ O ₃	
F	アゾジカルボンアミド	C ₂ H ₄ N ₄ O ₂	

(3) 長尺粉末収納缶、袋等

粉末収納缶は以下の仕様である。

長尺粉末収納缶

- 外 径：約 310 mm
- 高 さ：約 660 mm
- 重 量：9kg 以下
- 材 質：ステンレス鋼

緩衝材、袋、瓶は以下の材質である。

- 緩衝材：ポリスチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、ポリウレタン
- 袋、瓶：ポリエチレン、ポリウレタン

緩衝材、添加物全てを合わせた重量は最大 5kg、袋、瓶の重量の合計は最大 5kg である。

装荷制限

ウラン酸化物を収納した長尺粉末収納缶は 4 つの内容器のうち 1 つのみに装荷する。

A.8.1.3 ケース 3 の場合における収納物の仕様

(1) 主要な核種及び放射能の量

i) 主要な核種 . . . ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{99}Tc

ii) 放射能の量 . . . 3.21 GBq 以下

iii) 濃縮ウランの種類

a) 濃縮度 5%以下

濃縮ウラン (再生濃縮ウランを除く : ASTM C996-04 ECGU に準拠)

$$^{232}\text{U} \leq 0.0001 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 250 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.01 \mu\text{g/gU}$$

ただし、 $^{236}\text{U} < 125 \mu\text{g/gU}$ の場合は、 ^{232}U 及び ^{99}Tc は適用外

b) 濃縮度 20%以下

$$^{232}\text{U} \leq 0.0004 \mu\text{g/gU}$$

$$^{234}\text{U} \leq 10 \times 10^3 \mu\text{g/g}^{235}\text{U}$$

$$^{236}\text{U} \leq 1000 \mu\text{g/gU}$$

$$^{99}\text{Tc} \leq 0.04 \mu\text{g/gU}$$

(2) 装荷制限

i) 最大濃縮度

20.0%

ii) 最大収納量

本輸送容器の収納物であるウラン残渣の内容器当たりの装荷制限量を(イ)－第 5 表に示す。輸送物当たりの装荷制限量は(イ)－第 5 表の値を 倍した量である。

iii) 物理的形状

ウラン残渣は、ウランの化合物及びその他の含有物からなり、固体である。

項目	含有物
ウラン化合物の化学形態	
その他の含有物	

(3) 粉末収納缶、中性子吸収材、ブロッキングシステム及び袋等

粉末収納缶並びに中性子吸収材であるボロン入りステンレス鋼製リングは以下の仕様である。

粉末収納缶

材 質：ステンレス鋼板
外 径：約 310 mm
高 さ：約 220 mm
板 厚：1.0 mm 以上
重 量：約 7 kg（中性子吸収材装着時）
材 質：ステンレス鋼

中性子吸収材

材 質：ボロン入りステンレス鋼
化学成分：Cr
Ni
B
外 径：約 mm
高 さ： mm 以上
板 厚： mm 以上
重 量： kg 以下

使用される袋の材質は以下の通りである。

袋：ポリエチレン

なおポリエチレン袋の重量制限はない。

またブロッキングシステムは以下の材質である。

ステンレス鋼製スペーサ：ステンレス鋼

プラスチックスペーサ、センタリングシステム：ポリオキシメチレン

なお、ポリオキシメチレンは水より水素密度の低い材料である。

1つの内容器に収納するブロッキングシステム重量は最大 4.0 kg である。

各内容器にセンタリングシステム、ステンレス鋼製スペーサを1つずつ収納する。

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶及び内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、プラスチックスペーサは、ギャップ量が所定の範囲に収まるように、枚数を0から3枚の間で調整して収納する。

A.8.2 一般の試験条件における放射性収納物の挙動

一般の試験条件における放射性収納物の挙動については、1.2 m 落下試験によって、粉末収納缶は破損せず、さらに密封境界の容器からウラン酸化物及びウラン残渣が漏れないことを「(ロ)A 付属資料 3」に示しており、収納物の健全性が損なわれることはない。

A.8.3 特別の試験条件における放射性収納物の挙動

特別の試験条件における放射性収納物の挙動については、臨界解析において内容容器内への水の浸入を仮定して評価しており、その場合を仮定しても十分未臨界であることを確認している。

A.9 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性物質（ウラン 235）を 15 グラム以上収納するため、核分裂性輸送物に該当する。本輸送物は、輸送中において臨界に達しないものであるほか、以下に記述するように規則第十一条に規定される技術基準に適合しているものである。

A.9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

告示の別記第十一に示す核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下において、以下に記述する要件に適合している。

A.9.1.1 水噴霧

本輸送容器の外殻はステンレス鋼板で覆われ、接合は全て溶接されている。また、内容器のガスケットが密封性を維持し、内容器内には水が入らない構造となっている。したがって、水噴霧による輸送容器内への水の浸透なく、材料劣化は生じない。なお、臨界解析においては内容器への水の浸入を考慮している。

A.9.1.2 1.2 m 落下試験

A.5.3 に示すように、本試験において本輸送物に最も大きな変形を与えるのはコーナー落下である。この試験によって、原型容器コーナー部には三角錘状に X,Y,Z 方向それぞれ mm の変形を生じた。原型容器の外形寸法は、一辺が 1,100mm、高さが 1,040mm であるため、変形量を差し引いた寸法は、保守的に見積もって一辺 mm となる。上記の変形を容積減少率に換算すると %以下である。よって、これらの試験においては構造部に大きな損傷は見られず、臨界解析に影響を及ぼすような変形はない。

A.9.1.3 積み重ね試験及び貫通試験

A.5.4 に示すように、積み重ね試験は輸送物に発生する応力が許容応力の基準値を十分下回っている。

告示別記第十一第三号（告示別記第三第一号ロ(4)）で要求されている貫通試験については、2 基の原型容器を用いた落下試験において、輸送物側面、輸送物底面、外蓋上面、外蓋バイオネット嵌合部及び外蓋回り止めデバイス止めピンに対して行った。これらの試験においても(ロ)A-第 6 表に示すように大きな損傷は見られず輸送容器は健全性を保っており、したがって本項目の場合にも基準に合致する。

詳細は、「(ロ)A 付属資料 3」に示す。

よって、これらの試験においては構造部に損傷は見られず臨界解析に影響を及ぼすような変形はない。

A.9.1.4 結果

以上の結果より、核分裂性輸送物に関わる一般の試験条件下における本輸送物の状態を(ロ)A-第10表に示す。同表より、臨界の評価に与える本輸送物の容積に有意な減少は見られなかった。具体的には構造部に1辺10cmの立方体を包含するようなくぼみは生じず、また輸送容器に外接する直方体の各辺は10cm以上であった。

これらの試験においては構造部に大きな損傷は見られず、臨界解析において中性子増倍率を有意に増加させるような変化はない。

(ロ)A-第10表 一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備考
水噴霧	損傷なし	—
□m 落下	容積減少□%以下	コーナー落下
積み重ね	損傷なし	—
6 kg 棒貫通	損傷なし	—

A.9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

告示の別記第十二に示す核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の試験手順のうち15m浸漬を含む試験よりも強度試験並びに耐火試験を実施する方が試験後の輸送物の変形が大きく、臨界評価に最も大きな影響を及ぼすと考えられる。このため、強度試験の本試験実施前に落下姿勢を検討するために本試験と同一仕様の原型容器2基(P1及びP2)を用いて予備落下試験を実施し、落下姿勢の検討を行った。(「(ロ)A 付属資料1」参照)

予備試験は、それぞれ“密封境界に熱的に厳しい損傷”及び“臨界解析に影響を及ぼす損傷”を与える落下姿勢を考慮し実施した。なお、落下試験Ⅱ(ターゲット、高さ1m)については、落下試験Ⅰ(高さ9m)の衝撃によるステンレス鋼板並びにフェノリックフォームの硬化を考慮し、落下試験Ⅰの前後に実施した。

(1) 密封境界に熱的に厳しい損傷(原型容器P1)

①根拠

輸送物に対して“密封境界に熱的に厳しい損傷”を与えるため、密封境界の中で熱的に厳しいガスケット部が近い容器上面への局所的な損傷、又はフォーム全体への損傷を与える落下姿勢を考慮し、試験を実施した。

②選定理由

1.2mからの落下試験及び落下試験Ⅰについて、傾斜落下(エッジ部)とコーナー落下を実施した結果、コーナー落下の方が傾斜落下(エッジ部)に比べ損傷が大きく、

ガスケット部近傍への影響が大きいため、本試験に採用した。

落下試験Ⅱについては、落下試験Ⅰ実施前後の外蓋上面 (□°) への損傷を比較した場合、落下試験Ⅰによる外殻の変形を考慮すると、試験後に落下試験Ⅱを実施した方がより損傷が厳しく、また、外蓋バイオネット嵌合部間 (□°) と 外蓋上面 (□°) を比較した場合、前者の方が外蓋の割れが大きく、耐火試験時のフォーム損傷が大きくなるため、落下試験Ⅰ実施後の落下試験Ⅱは、外蓋バイオネット嵌合部間への落下姿勢を本試験に採用した。

また、落下試験Ⅰ実施前の落下試験Ⅱについては、輸送物側面中央 (□°) と 輸送物底面中央付近 (□°) の落下姿勢のうち変形の大きな側面中央への落下姿勢を本試験に採用した。

なお、本試験でのコーナー落下については、輸送物を逆さにした場合の収納物の移動による重心移動を考慮し、落下角度は□° とした。

(2) 臨界解析に影響を及ぼす損傷（原型容器 P2）

①根拠

輸送物に対して“臨界解析に影響を及ぼす損傷”を与えるため、輸送容器外形寸法の変化又は□□□□変形を与える落下姿勢、又は外殻鋼板に裂け目を与え未臨界性担保において重要な中性子吸収材（BORA レジン）に対して熱的に影響を及ぼす落下姿勢、さらに外蓋が外れるような損傷を与える落下姿勢を考慮し、試験を実施した。

②選定理由

落下試験Ⅰについては、側面への水平落下姿勢の方が、上面及び底面への垂直落下姿勢に比べ輸送容器外形寸法の変化が大きく容器間隔が減少するため、本試験に採用した。

落下試験Ⅱについては、落下試験Ⅰ前後の輸送物底面中央付近 (□°) への損傷を比較した場合、試験後には外殻の加工硬化が起り、より損傷が厳しくなるため、輸送物底面中央付近に対しては試験後に行うことにした。

また、落下試験Ⅰ前に行う落下試験Ⅱについては、外蓋ハンドル部 (□°)、外蓋回り止めデバイス止めピン (□°) の落下については、大きな変形を与えなかったため、輸送物側面 □□□□中心 (□°) への落下姿勢を本試験に採用した。

(3) 特別の試験条件試験実施フロー

予備落下試験の結果を基に決定した特別の試験条件のもとでの試験実施フローを (ロ)A-第 11 表に示す。(「(ロ)A 付属資料 3」参照)

なお、本試験に供した原型容器内には前述の一般の試験条件下での試験 (A.5.2～A.5.5 項) と同様、ウラン酸化物の粉末重量を模擬するために鉄粉を入れたステンレス製粉末収納缶を 12 缶装荷（純鉄粉末重量 300 kg）し、総重量を約 1,050 kg とした。また、内容器ガスケット部からの収納物の漏えいの有無を目視で確認する目的で最上段の収納容器の蓋上には消石灰を配置した。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16

kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。9m 落下時の衝撃によりブロッキングシステムが破損することはなく、ブロッキングシステム装荷によって輸送物に悪影響を与えることはない。(「(ロ)A 付属資料 8」参照)

(ロ)A-第 11 表 原型容器試験順序

試験項目	原型容器 P3	原型容器 P4
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	・輸送物底面中央付近 (落下角度□)	・輸送物側面中心 (落下角度□)
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	・輸送物側面 (落下角度□)	・輸送物上面コーナー部 (落下角度□)
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	・輸送物側面□の中心 (落下角度□)	・外蓋バイオネット嵌合部間
耐火試験	(800 °C, 30 分)	(800 °C, 30 分)
0.9 m 浸漬試験	——	——

A.9.2.1 強度試験・落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)

落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) は、落下試験Ⅰ (高さ 9 m) の前に実施され、また、その試験の後に再び繰返された。試験は、(ロ)A-第 8 表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器 P3 については、角度□による輸送物底面への衝撃、原型容器 P4 については、角度□による輸送物側面への衝撃を受ける落下方向で実施した。なお、この落下角度□は、落下試験Ⅱにおいて輸送容器外殻薄板に最もダメージを与える角度である。⁵⁾

試験の結果、(ロ)A-第 12 表に示すように P3 については衝撃点における外殻の割れ、P4 については変形のみ認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

A.9.2.2 強度試験・落下試験Ⅰ (高さ 9 m)

試験は、(ロ)A-第 11 表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器 P3 については、角度□による輸送物側面への衝撃、原型容器 P4 については、角度□による輸送物上面コーナーへの衝撃を受ける落下方向で実施した。

試験の結果、(ロ)A-第 12 表に示すように、P3 については水平落下により平均□mm 圧縮変形 (最大約□mm) があり、容積減少は約□%であった。P4 については水平落下により圧縮変形はコーナー部□mm であり、容積減少は約□%であった。

また、本試験による密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

A.9.2.3 強度試験・落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ1 m）

本試験は、(ロ)A-第11表に示すように予備落下試験の結果より、原型容器 P3 については、角度□による輸送物側面への衝撃、原型容器 P4 については、外蓋バイオネット嵌合部への衝撃を受ける落下方向で実施した。

試験の結果、(ロ)A-第12表に示すように衝撃点において輸送物外殻の割れが認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。

A.9.2.4 耐火試験

落下試験に供した原型容器 P3 及び P4 に対して耐火試験を行った。（「(ロ)B 付属資料 3」参照）

試験の結果から、B.5 に記述しているように内容器内蓋の EPDM 製ガスケットの最高温度は□℃で EPDM の使用可能温度□℃を超えず、特別の試験条件下で密封性が損なわれることはない。また、臨界管理上重要な BORA レジンの最高温度は□℃となり、使用可能温度である□℃以下であることから、臨界解析における損傷モデルにおいて BORA レジンの劣化を考慮する必要はない。

輸送物側面のフェノリックフォーム炭化層厚さは、P3 及び P4 とともに平均□mm であり、底部についても P4 において平均□mm が観察された。また、外蓋の上部フェノリックフォームについては全て炭化し、コーナー落下を受けた P4 の外蓋については下部フェノリックフォームも一部炭化していた。

A.9.2.5 浸漬試験

臨界安全解析は内容器内部への水の浸入を考慮に入れているため、規則に基づく 0.9 m の水頭下の浸漬試験は実施していない。

(ロ)A-第12表 原型容器試験の条件と結果の一覧表

試験項目	原型容器 P3		原型容器 P4	
	損傷箇所	試験結果	損傷箇所	試験結果
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ1 m)	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度□)	圧縮変形：変形深さ最大□mm 割れ寸法：長さ約□mm	・ 輸送物側面中心 (落下角度□)	圧縮変形：変形深さ最大□mm
落下試験Ⅰ (9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度□)	圧縮変形：最大□mm 平均約□mm 容積減少：約□%	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度□)	圧縮変形：コーナー部□mm 容積減少：約□%
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ1 m)	・ 輸送物側面□の中心 (落下角度□)	圧縮変形：変形深さ最大□mm 割れ寸法：長さ約□mm 最大幅□mmの割れ	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：長さ約□mm 最大幅□mm
耐火試験	(800 °C, 30 分)	炭化層厚さ：平均□mm 外蓋フェノリックフォーム 上部：炭化	(800 °C, 30 分)	炭化層厚さ：平均□mm 外蓋フェノリックフォーム 上部：炭化 下部：コーナー落下部炭化
浸漬試験	0.9 m	—	0.9 m	—

A.9.2.6 輸送物の損傷状態の要約

以下、特別の試験条件下における損傷状態を要約する。また、通常の輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件下の解析結果を(ロ)A-第13表に示す。

- ・輸送物側面への落下試験 I (高さ 9 m) により、輸送容器は平均約 mm の圧縮変形を生じ、約 % の容積減少を生じた。
- ・輸送物上部コーナー部への落下試験 I (高さ 9 m) により、コーナー部は約 mm の圧縮変形を生じ、約 % の容積減少を生じた。
- ・落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、落下試験 I (高さ 9 m) の前後に実施され、衝撃点における外殻の割れが認められたが、密封境界から消石灰の漏れは認められなかった。
- ・耐火試験の結果から、密封性を維持する内容器内蓋の EPDM 製ガスケットの最高温度は °C (使用可能温度 °C) と評価された。
- ・臨界管理上重要な BORA レジンの最高温度は °C (使用可能温度 °C 以下) と評価された。
- ・輸送物側面のフェノリックフォーム炭化層の平均厚さは mm であり、外蓋の上部フェノリックフォームは全て炭化し、コーナー落下を受けた外蓋については下部フェノリックフォームも一部炭化していた。
- ・水平落下により、 が mm から mm に減少していた。
- ・密封境界である内容器の密封性は損なわれず、放射性物質の損失又は散逸はない。
- ・これらの結果は(ロ)-E 臨界評価に用いられる。

以上のことから、特別の試験条件下における輸送物の変形及び損傷の程度は設計想定範囲内であり、安全上問題はない。本破損条件に対する臨界評価は、(ロ)-E 臨界解析において行う。

A.9.2.7 追加落下試験

原型容器 P4 に対するコーナー落下試験において、内容器内蓋フランジの変形並びに外蓋溶接部において亀裂が認められたため、以下の改善を行い、密封性を高めた。それにともない、追加試験を実施し、健全性を確認した。(「(ロ)A 付属資料 4」参照)

・内蓋ガスケット位置の変更

変形時においても締付け圧力を保つために、内蓋と内容器フランジ部間のガスケットを水平方向 (内蓋外周) から垂直方向 (内蓋裏側) に変更した。

・外蓋構造の変更

衝撃により外蓋の側面と上面との溶接部における開口を防ぐために、側面の鋼板を内側に折り曲げ、溶接位置を変更した。また耐衝撃性向上のため、フェノリックフォーム層を厚くし、アルミニウム合金ディスクを薄くした。

試験は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 を用いて、輸送物コーナー部（落下角度□）に対して、自由落下試験（高さ□m）、落下試験 I（高さ 9 m）及び落下試験 II（ターゲット、高さ 1 m）を実施した。

その結果、輸送容器コーナー部は変形し約□%の容積減少が生じたが、外蓋溶接部に裂け目は見られなかった。さらに、全ての落下試験後、衝撃を受けた外蓋を切断して取り除き、輸送物上面を下方にし揺さぶったが、輸送物内容器からの消石灰の漏えいは見られなかった。

なお、試験に供した原型容器 P5 は、内蓋ガスケット位置の変更及び外蓋構造の変更を行ったものであり、落下試験の結果においても変形量の減少及び外蓋溶接部に亀裂は見られないため、原型容器 P4 で実施した耐火試験が保守的な結果となることから、原型容器 P5 では耐火試験を実施していない。

A.9.2.8 輸送物総重量

本輸送物の総重量は 1,050 kg 以下に制限されているため、原型容器試験では 1,050 kg 以上の重量に総重量を調整すべきであったが、原型容器総重量は以下に示すように、原型容器 P3 のみ 1,050 kg 未満である。

原型容器 P3 の落下試験結果を安全解析に使用する妥当性については、「(ロ)A 付属資料 6」に説明する。

原型容器試験に用いた原型容器総重量

試験内容	原型容器番号	輸送物総重量
予備試験	P1	□ kg
	P2	□ kg
本試験	P3	□ kg
	P4	□ kg
追加落下試験	P5	□ kg

(ロ)A-第13表 構造解析結果 (1/2)

条件	項目	設計要件	解析基準	結果	安全率
通常輸送時	1. 化学的及び電氣的反応				
	(1) 化学的反應	反応性	反応性の有無	無	—
	(2) 電氣的反應	電位性	異種金属間の電位差の有無	無	—
	2. 低温強度				
	(1) 構造材	低温強度	性能低下の有無	無	—
	(2) 補強材	低温強度	性能低下の有無	無	—
	(3) 耐熱衝撃緩衝材	性能低下	性能低下の有無	無	—
	(4) ガスケット	性能低下	性能低下の有無	無	—
	(5) 中性子吸収材	性能低下	性能低下の有無	無	—
	3. 密封装置				
	(1) 内蓋	密封機能	密封機能の有無	無	—
	(2) 外蓋	密封機能	密封機能の有無	無	—
	6. 圧力				
	(1) 内容器胴部	引張応力	σ_y (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(2) 内容器底面	圧縮応力	圧縮強度 (<input type="text"/> MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(3) 内容器内蓋	引張応力	σ_y (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(4) バイオネット嵌合部	せん断力	$0.577 \sigma_y$ (89 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
7. 振動	振動	亀裂、破損の有無	—	—	
一般の試験条件	1. 圧力				
	(1) 内容器胴部	引張応力	σ_y (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(2) 内容器底面	圧縮応力	圧縮強度 (<input type="text"/> MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(3) 内容器内蓋	引張応力	σ_y (155 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	(4) バイオネット嵌合部	せん断力	$0.577 \sigma_y$ (89 MPa)	<input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	2. 水噴霧	水吸収・水切り	—	無	—
	3. 自由落下				
	(1) 水平落下	変形	収納物漏えい	無	—
	(2) コーナー落下	変形	収納物漏えい	無	—

(ロ)A-第13表 構造解析結果 (2/2)

条件	項目	設計要件	解析基準	結果	安全率
一般の試験条件	4. 積み重ね (1) 容器上部 (2) 容器下部 (3) 脚部	座屈荷重 座屈応力 座屈応力	座屈荷重 座屈応力 座屈応力	<input type="text"/> N <input type="text"/> MPa <input type="text"/> MPa	<input type="text"/>
	5. 貫通	容器の貫通	容器貫通の有無	無	—
特別の試験条件 (核分裂性輸送物)	1. 落下試験Ⅰ 水平落下、コーナー落下	変形	変形量	最大 <input type="text"/> mm 最大容積減少 <input type="text"/> %	—
	2. 落下試験Ⅱ 水平落下、傾斜落下、 コーナー落下	変形	変形量	最大 <input type="text"/> mm	—
	3. 耐火試験	変形、破損	破損の有無	破損なし 炭化層平均 <input type="text"/> mm	—
	4. 浸漬試験	—	—	臨界解析で浸 水を考慮	—

参考文献

- (1) 機械工学便覧第9編, 日本機械学会, 1984,6,25
- (2) Roark's Formulas for Stress and Strain - 7th Edition, Mc Graw Hill(2002)
- (3) 実用 機械振動学, 國枝正春著, 1984
- (4) プラスチック読本, プラスチックエージ, 2019
- (5) Technical mail DSIN/GRE/SD1/N°214/97 of 17/09/1997.

(口)A 付属資料 1

1. 予備落下試験

1. 予備落下試験

1.1 主題

本文書は、TNF-XI 型輸送物にウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300kg を収納する輸送容器の原型容器 P1 及び P2 に関する予備落下試験の結果を示す。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

平常の輸送条件及び事故時の輸送条件を表す試験は、仏国トランスニュークリア社所有ロダン試験施設において実施された。

なお、試験は、IAEA 放射性物質安全輸送規則¹⁾に準拠して実施された。

平常の輸送条件

- ・高さ 1 m からの 6 kg 丸棒の自由落下
- ・高さ 1.2 m からの自由落下

事故時の輸送条件

- ・高さ 1 m からターゲットへの自由落下
- ・高さ 9 m からの自由落下

1.2 試験施設

1.2.1 ロダン試験施設

試験のために用いられる落下試験台は、表面から底部まで、以下のように構成されている：

- ・落下試験台（鋼製プレート+鉄筋コンクリート製ベース）

－重量：トン

－深さ×幅×長さ：m×m×m

- ・鋼製プレート

－材質：構造用鋼板 ()

－質量：kg

－厚さ：cm

－プレートの寸法：m×m

- ・コンクリート製ベース

－深さ×幅×長さ：m×m×m

－地面の重量：kg

鋼製プレートを固定するため、コンクリート製ベースに鋼製支柱ロッド（長さ□m；□本、長さ□m；□本）を埋め込んでいる。また、コンクリート製ベースは、□cmのピッチで並べられたφ□mmの丸鋼によって補強されている。

この落下試験台は、IAEA 放射性物質安全輸送規則（§ 717.1 及び § 717.2）¹⁾に基づき、規則要件（§ 717）²⁾に適合している。

原型容器は、2つのセミフックからなる機械的システムによって切り離され、そのセミフックは、ケーブルにより遠隔操作で開かれる。落下高さは、原型容器の最も低い衝撃点と落下点の間の長さとして測定される。

貫通試験に用いられる直径□mmの半球形端部が付いた□kgの丸棒は、原型容器の上方で放され、その端部が原型容器の最も弱い部分の中心に衝突するように誘導される。

落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1m）に用いられるターゲットは、直径150mm、高さ□mmの軟鋼製丸棒であり、この丸棒は、水平の鋼製プレートに垂直に溶接されている。水平の鋼製プレート自体は、上で説明した落下試験台に固定されている。

1.3 試験

1.3.1 供試体

供試体は、TNF-XI型輸送物の2つのフルスケール原型容器（以下、P1及びP2という）であり、収納物には原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶にウラン酸化物の粉末と同じ見掛け密度（約1.7g/cm³）の純鉄粉末25kg入れ、12缶（計300kg）を収納した。

写真 1.1 に粉末収納缶の内部並びにボロン入りステンレス鋼製のリング、写真 1.2 に純鉄粉末を示す。

これらの原型容器は試験用のためであり、輸送容器の安全性に悪影響を与えない計測器用電線の隙間及び識別板を除くと、輸送物設計を完璧に代表するものである。

TNF-XI型輸送物は、主に、外部環境からの保護材である輸送容器外殻が、耐熱衝撃緩衝材であるフェノリックフォームを取り囲む形になっている。フェノリックフォームは、4つの内容器それぞれのまわりにある中性子吸収材であるBORAレジンを取り囲んでいる。

輸送物の主要な寸法：

- ・全高 : 1,040 mm
- ・総断面積 : 1,100×1,100 mm
- ・内容器寸法 : φ354 mm×H674 mm

輸送物を構成する主要材料：

- ・内・外部の鋼板 : ステンレス鋼板
- ・耐熱衝撃緩衝材 : フェノリックフォーム
- ・中性子吸収材 : BORA レジン

原型容器P1は、「(ロ)B 付属資料 1」で説明する試験炉で行われる較正耐火試験のために用いる原型容器である。よって、容器内に熱電対を取り付けられている。

原型容器 P1 の場合、4つの内容物は全て、内蓋によって閉じられる。この内蓋は、厚さが□mm のステンレス鋼製ディスクを機械加工して作られている。

原型容器 P2 の場合、原型容器 P1 と同一の内蓋によって閉じられる内容物が□あり、その他の2つの内蓋は、中央部の厚さが□mm、外周付近の厚さが□mm のステンレス鋼製ディスク上に、内蓋バイオネット嵌合部を溶接している。

写真 1.3 にバイオネット嵌合部が機械加工された設計の内蓋、写真 1.4 にバイオネット嵌合部が溶接加工された設計の内蓋を示す。

原型容器 P2 では、内容物ガasketに密封性があることを（目視で）確認できるようにするため、各内容物の最上部粉末収納缶の上に消石灰が置かれた。原型容器 P1 においては、落下試験 I（高さ 9 m）の際に衝撃を受けるコーナー部に最も近い内容物の最上部粉末収納缶の上のみ、消石灰が置かれた。

TNF-XI 型輸送物の内容物は、粉末収納缶 3 缶を収納できるように設計されており、原型容器 P1 及び P2 それぞれ 12 缶入れられた。

1.3.2 試験の日程

原型容器 P1 の落下試験は、2001 年 6 月 20 日～22 日、原型容器 P2 の落下試験は、6 月 26 日～29 日に実施された。

1.3.3 試験手順

以下の2つの表は、原型容器 P1 及び P2 について実施された落下試験の順序を表 1.1 及び 1.2 に示す。輸送物の落下方向及び衝撃点の位置については、図 1.1～1.25 に示す。

表 1.1 原型容器 P1 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ 輸送物側面 1 内容器 <input type="text"/>	1
	・ 外蓋上面	2
	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	3
落下試験 (高さ 1.2 m)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/>)	4
	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	5
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物側面中央 (落下角度 <input type="text"/>)	6
	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	7
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>)	8
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/>)	9
	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	10
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 外蓋バイオネット嵌合部間 (落下角度 <input type="text"/>)	11
	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>)	12

表 1.2 原型容器 P2 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン	1
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	2
落下試験 (高さ 1.2 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	3
	・ 輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/>)	4
	・ 輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/>)	5
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	6
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	7
	・ 外蓋ハンドル部 (落下角度 <input type="text"/>)	8
	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン (落下角度 <input type="text"/>)	9
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	10
	・ 輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/>)	11
	・ 輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/>)	12
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	13

1.4 原型容器 P1 の落下試験の結果

落下試験の実施に先立ちその重量を計った。輸送物の総質量は□ kg で、熱電対及びケーブルの総重量は□ kg と推定される。

写真 1.5 に粉末収納缶を□ 缶入れた原型容器 P1 の内容器、写真 1.6 に内蓋によって閉じられた原型容器 P1 の内容器を示す。

1.4.1 平常の輸送条件を表わす試験

1.4.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

・落下試験 No.1~3

輸送物への落下方向を図 1.1~1.3 に示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を写真 1.7~1.9 に示す。

1.4.1.2 落下試験 (高さ 1.2 m)

・落下試験 No.4 : 角度□ による輸送物上面エッジ部への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.4 に示す。輸送物の上面外周エッジ部が、衝撃を受けたエッジ部根元で折れ曲っていた。その衝撃の後、輸送物は回転し、上面が下となり、その結果、□ のスタッキングピンが曲った。上面外周エッジ部が折れ曲がったことにより、衝撃を受けたエッジ部に沿った□ の外蓋バイオネット部が局所的に変形した。

試験結果を写真 1.10~1.12 に示す。

・落下試験 No.5 : 角度□ による輸送物上面のコーナー部への衝撃

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験 No.4 の落下の際に衝撃を受けたエッジ部とは反対側のエッジ部にある。

輸送物の落下方向を図 1.5 に示す。衝撃を受けたコーナー部の近くでは、輸送物外殻に波状の変形が見られるが、外殻の裂けはない。この落下による容積減少は、□ %以下である。平常の輸送条件を表す落下試験中では、この落下が最も大きな変形を与えた。

試験結果を写真 1.13 及び 1.14 に示す。

1.4.2 事故時の輸送条件を表す試験

1.4.2.1 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)

・落下試験 No.6 : 角度□ による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.6 に示す。輸送物側面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面に沿ってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□ mm となっている。

試験結果を写真 1.15 及び 1.16 に示す。

- ・落下試験 No.7：角度□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.7 に示す。輸送物底面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□mm となっている。

試験結果を写真 1.17 及び 1.18 に示す。

- ・落下試験 No.8：角度□による輸送物外蓋の 1 つへの衝撃

輸送物の落下方向を図 1.8 に示す。外蓋上面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。しかし、ハンドル部が破損しており、外蓋バイオネット嵌合部のいくつかで局所的変形が生じている。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□mm となっている。

試験結果を写真 1.19 及び 1.20 に示す。

1.4.2.2 落下試験 I (高さ 9 m)

- ・落下試験 No.9：角度□による輸送物上面エッジ部への衝撃

この試験の衝撃を受けるエッジ部及び輸送物の落下方向は、落下試験 (高さ□ m) により、衝撃を受けたエッジ部と同一である (図 1.9 参照)。

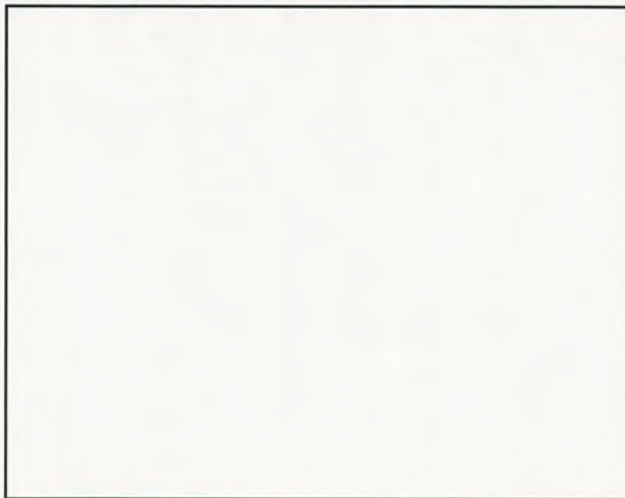
この試験の後、衝撃を受けたエッジ部が、輸送物上面に対して垂直方向に□mm 後方に押されているのがわかる。この値は、高さ□ m 及び 9 m の落下試験により、受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□%である。

試験結果を写真 1.21～1.23 に示す。

- ・落下試験 No.10：角度□による輸送物上面のコーナー部への衝撃

この落下試験の衝撃を受けるコーナー部及び輸送物の落下方向は、落下試験 (高さ□ m) により、衝撃を受けたコーナー部と同一である (図 1.10 参照)。

衝撃を受けたコーナー部の周囲では輸送物外殻に波状の変形が見られた。下図での変形領域の程度は下記の通りである。



衝撃を受けた輸送物のコーナー部（C点）の落下方向に対する変形は、垂直方向に□ mmである。この値は、高さ□ m及び9 mの落下試験により、輸送物上面のコーナー部が受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□ %である。

試験結果を写真 1.24 に示す。

1.4.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

ターゲットへの最後の2回の落下試験Ⅱは、損傷の影響を強めるため、落下試験Ⅰ（高さ9 m）の後に再度実施した。

・落下試験 No.11：角度□による輸送物外蓋バイオネット部への衝撃

落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、衝撃を受けたエッジ部近傍の1つの外蓋において、2つのバイオネット嵌合部の間が開き始めているのが観察された。この落下試験の目的は、さらにこの開口部を悪化させることにある。

輸送物の落下方向を図 1.11 に示す。この落下試験により、外蓋のバイオネット嵌合部の間に観察された開口部がさらに広がり、パッキンがあらわになり始めていることが確認された。最大開口部（半径方向）は□ mmである。

試験結果を写真 1.25 及び 1.26 に示す。

・落下試験 No.12：角度□による輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅰ（高さ9 m）により、衝撃を受けた輸送物上面コーナー部に最も近い外蓋外殻が部分的に隆起しているのが観察された。この落下試験の目的は、この外殻を貫通させることにある。この衝撃点は、落下試験Ⅱ（高さ9 m）より衝撃を受けたコーナー部の近傍にある外蓋の平らな面である（写真 1.24 の衝撃点参照）。

輸送物の落下方向を図 1.12 に示す。バイオネット嵌合部の近くの衝撃を受けた外蓋上面に、きわめて局所的な裂け目が確認された。

試験結果を写真 1.27 及び 1.28 に示す。

1.5 原型容器 P2 の落下試験の結果

落下試験の実施に先立ち、P2 の重量を計った。輸送物の総質量は kg である（この原型容器には、熱電対は取り付けられていない）。

1.5.1 平常の輸送条件を表す試験

1.5.1.1 貫通試験（6 kg 丸棒）

- ・落下試験 No.1、2

輸送物への落下方向を図 1.13 及び 1.14 に示す。輸送物には、貫通を伴わないわずかな痕跡若しくは凹みのみが見られる。

試験結果を写真 1.29 及び 1.30 に示す。

1.5.1.2 落下試験（高さ m）

- ・落下試験 No.3：角度 による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.15 に示す。この落下試験の後、衝撃を受けた面の変形は見られない。

試験結果を写真 1.31 及び 1.32 に示す。

- ・落下試験 No.4：角度 による輸送物上面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.16 に示す。

2 つのスタッキングピンが押し込まれ、その結果、ピン底部近傍で輸送物上面外殻が裂け、フェノリックフォームがあらわになった。

試験結果を写真 1.33～1.35 に示す。

- ・落下試験 No.5：角度 による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.17 に示す。この落下試験の後、輸送物脚部がゆがんだが、輸送物底面外殻が裂けることはなかった。

試験結果を写真 1.36 及び 1.37 に示す。

1.5.2 事故時の輸送条件を表す試験

1.5.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）

- ・落下試験 No.6：角度 による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.18 に示す。ターゲットの衝撃点は、最初の衝撃時にターゲットが脚部に当たることがないように選択された。

輸送物底面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面に沿ってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で mm となっている。

試験結果を写真 1.38 及び 1.39 に示す。

- ・落下試験 No.7：角度□□による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.19 に示す。輸送物側面はターゲットによって変形したが、外殻の貫通は生じなかった。最も変形の大きな断面にそってブラッシュ表面分析計で測定した変形の深さは、最大で□□mm となっている。

写真 1.40 及び 1.41 に示す。

- ・落下試験 No.8：角度□□による外蓋ハンドル部の衝撃

輸送物の落下方向を図 1.20 に示す。この落下試験の目的は、ハンドル部にぶつけることにより、外蓋の回転を確認することにある。

この落下試験の後、ハンドル部の端の 1 つが外蓋から外れた。外蓋が回転し始めた形跡があるが、外蓋回り止めデバイスのリミット・ストップに到達する以前であり、この回り止めデバイスがなくても、外蓋が事故により開くことはありえないと考えるのが合理的である。

試験結果を写真 1.42 及び 1.43 に示す。

- ・落下試験 No.9：角度□□による外蓋回り止めデバイス止めピンへの衝撃

輸送物の落下方向を図 1.21 に示す。この落下試験後も、外蓋回り止めデバイス及びピンは、輸送物から離れターゲットの上に残った。輸送物上面中央の止めピン跡からフェノリックフォームがあらわになった。

試験結果を写真 1.44 及び 1.45 に示す。

1.5.2.2 落下試験 I (高さ 9 m)

- ・落下試験 No.10：角度□□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受けた側面は、落下試験 (高さ□□ m) において衝撃を受けた側面と同じである。輸送物の落下方向を図 1.22 に示す。

この落下試験の後、側面に平均□□mm の圧縮変形が見られる。この値は、高さ□□m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□□%である。落下試験台にぶつかった上面外周エッジコーナー部の 1 つに、わずかな裂け目がある。

試験結果を写真 1.46 及び 1.47 に示す。

- ・落下試験 No.11：角度□□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.23 に示す。この落下試験の後、輸送物の 1 つのコーナー部に裂け目が確認された。この裂け目は、輸送物の溶接部に限定されており、また輸送物底面に溶接されている脚部は、完全に平らになっていた。平均変形は□□mm である。この値は、高さ□□m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□□%である。

試験結果を写真 1.48 及び 1.49 に示す。

- ・落下試験 No.12 : 角度 による輸送物上面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.24 に示す。バイオネット部に変形が見られ、大きな応力を受けたことがわかる。しかし、外蓋バイオネット嵌合部は曲っているが、外蓋は全て依然として適切な位置にあった。

試験結果を写真 1.50~1.52 に示す。

1.5.2.3 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)

- ・落下試験 No.13 : 角度 による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 1.25 に示す。この落下試験は、落下試験 No.7 の落下方向と同じであり、落下試験Ⅰ (高さ 9 m) の際に衝撃を受けた面に対して行われる。この落下試験の際、ターゲットは輸送物外殻を貫通し、フェノリックフォームがあらわになった。

開口角度 の場合、輸送物の貫通の幅は最高で約 mm である。

試験結果を写真 1.53 及び 1.54 に示す。

1.6 試験結果

予備落下試験結果を表 1.3 及び 1.4 に示す。また、これらの事故時の輸送条件を表す落下試験の後、内容器のガasketを通じた消石灰の漏えいは確認されなかった。

原型容器 P1 に対する予備試験の結果は、表 1.6 に示す原型容器 P4 による落下試験に反映される。

P4 に対する貫通試験 (6 kg 丸棒) は、P1 で行われた落下試験と同じものとする。(落下試験 No.1~3)

高さ m 及び 9 m の落下試験については、輸送物上面コーナー部が衝撃を受ける落下方向とする。それは、エッジ部が衝撃を受ける落下試験に比べて、その後の耐火試験に関して、苛酷な損傷を引き起こすためである。(落下試験 No.5~10)

落下試験 I (高さ 9 m) 前に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) については、輸送物底面への落下に比べて大きな変形をもたらす、側面への落下方向とする。(落下試験 No.6)

最後に、落下試験 I (高さ 9 m) 後に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、衝撃を受けたコーナー部に最も近い外蓋への落下方向とする。外蓋外殻の裂ける現象を再現するためである。(落下試験 No.12)

原型容器 P2 に対する予備試験の結果は、表 1.5 に示す原型容器 P3 による落下試験に反映される。

P3 に対する貫通試験 (6 kg 丸棒) は、P2 で行われた落下試験と同じものとする。(落下試験 No.1 及び 2)

高さ m 及び 9 m の落下試験については、最大変形をもたらす側面が衝撃を受ける落下方向とする。(落下試験 No.3 及び 10)

落下試験 I (高さ 9 m) 前に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、衝撃において最大の変形がもたらされる角度 による輸送物底面の落下とする。(落下試験 No.6)

落下試験 I (高さ 9 m) 後に行われる落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、高さ 9 m からの落下の際に衝撃を受けた側面に対する角度 による落下とし、それによりターゲットの貫通の影響を確認する。(落下試験 No.13)

表 1.3 原型容器 P1 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/> ・ 外蓋上面 ・ 外蓋バイオネット嵌合部間 	貫通なく、凹みのみ 同上 貫通なく、わずかな痕跡のみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/>) 	エッジ部のみ変形
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>) 	容積減少 <input type="text"/> %以下
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物側面中央 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>) 	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm
落下試験 I (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物上面エッジ部 (落下角度 <input type="text"/>) 	容積減少：約 <input type="text"/> %
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>) 	容積減少：約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外蓋バイオネット嵌合部間 (落下角度 <input type="text"/>) 	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：最大幅 <input type="text"/> mm
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>) 	深さ方向変形、局所的 割れ寸法：局所的

表 1.4 原型容器 P2 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・外蓋回り止めデバイス止めピン	貫通なく、わずかな痕跡のみ
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	変形なし
	・輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/>)	スタッキングピン根元で局所的割れ
	・輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/>)	脚部のみ変形
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm
	・外蓋ハンドル部 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 局所的
	・外蓋回り止めデバイス止めピン (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 局所的
落下試験 I (高さ 9 m)	・輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	容積減少: 約 <input type="text"/> %
	・輸送物底面 (落下角度 <input type="text"/>)	容積減少: 約 <input type="text"/> %
	・輸送物上面 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 局所的
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	深さ方向変形、局所的 割れ寸法: 最大幅 <input type="text"/> mm

表 1.5 原型容器 P3 の落下試験順序

試験項目	衝撃点
貫通試験 (6 kg 丸棒)	<ul style="list-style-type: none"> ・外蓋回り止めデバイス止めピン ・<input type="text"/> 内容器の<input type="text"/>
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物底面中央付近 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・<input type="text"/> 内容器<input type="text"/> (落下角度<input type="text"/>)

表 1.6 原型容器 P4 の落下試験順序

試験項目	衝撃点
貫通試験 (6 kg 丸棒)	<ul style="list-style-type: none"> ・<input type="text"/> 内容器の<input type="text"/> ・外蓋上面 ・外蓋バイオネット嵌合部間
落下試験 (高さ 1.2 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物上面コーナー部 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物側面中心 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅰ (高さ 9 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・輸送物上面コーナー部 (落下角度<input type="text"/>)
落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・外蓋バイオネット嵌合部間

1.7 参考文献

- (1) Advisory Material for the Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (1996 Edition) – IAEA Safety Standards Series No. ST-2.
- (2) IAEA Safety standards series, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition, n° TS-R-1.

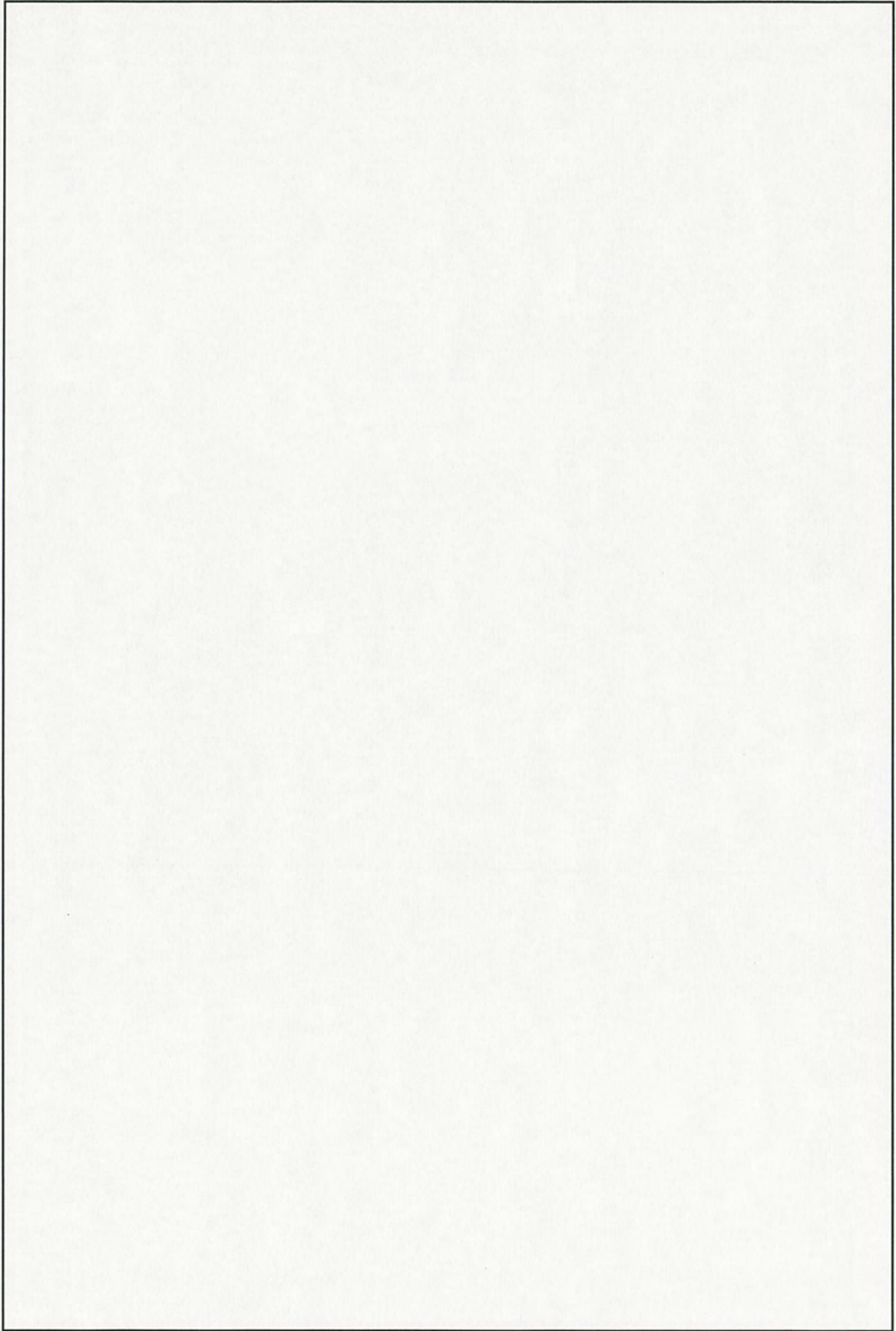


図 1.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P1

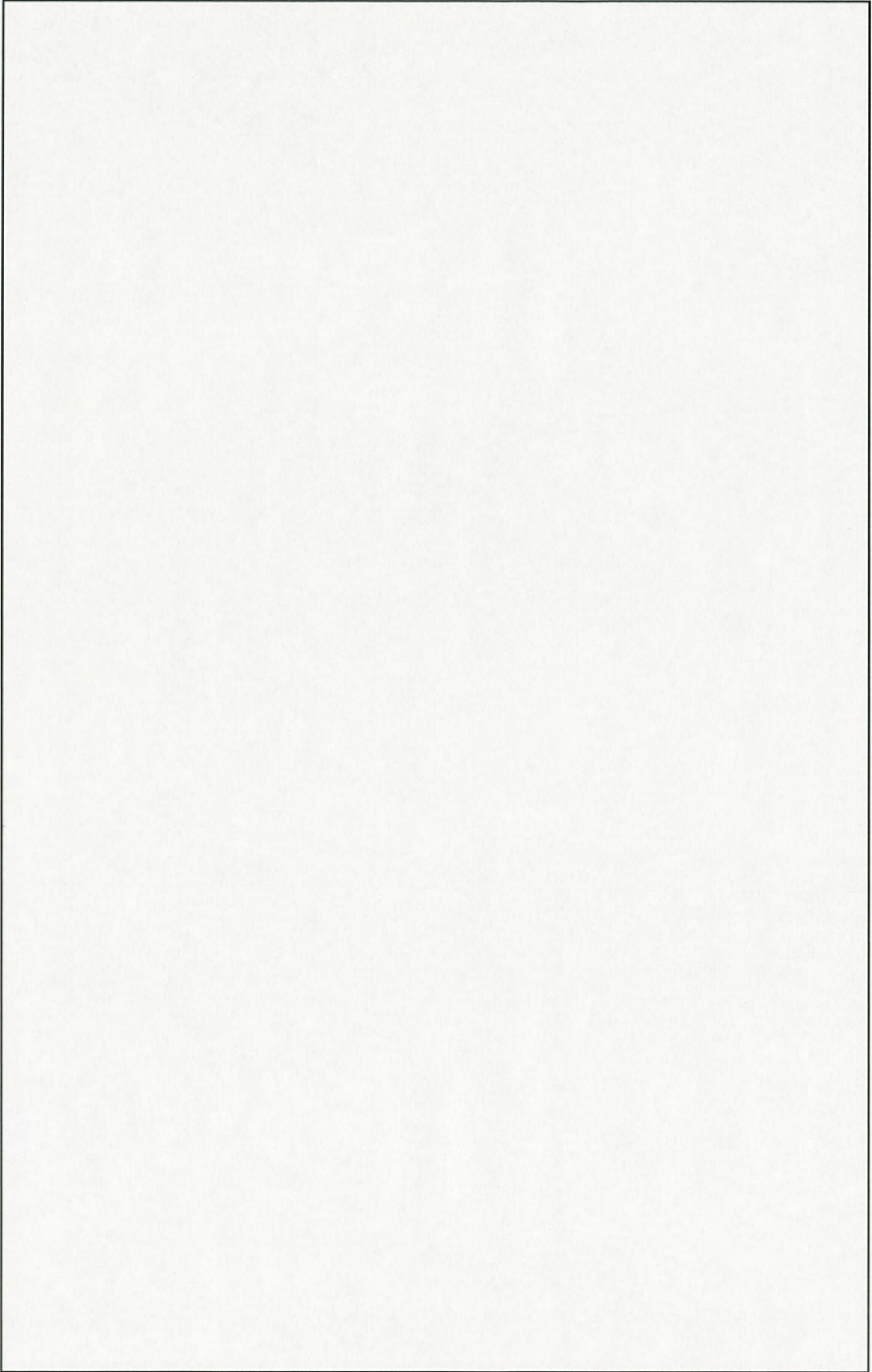


図 1.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P1

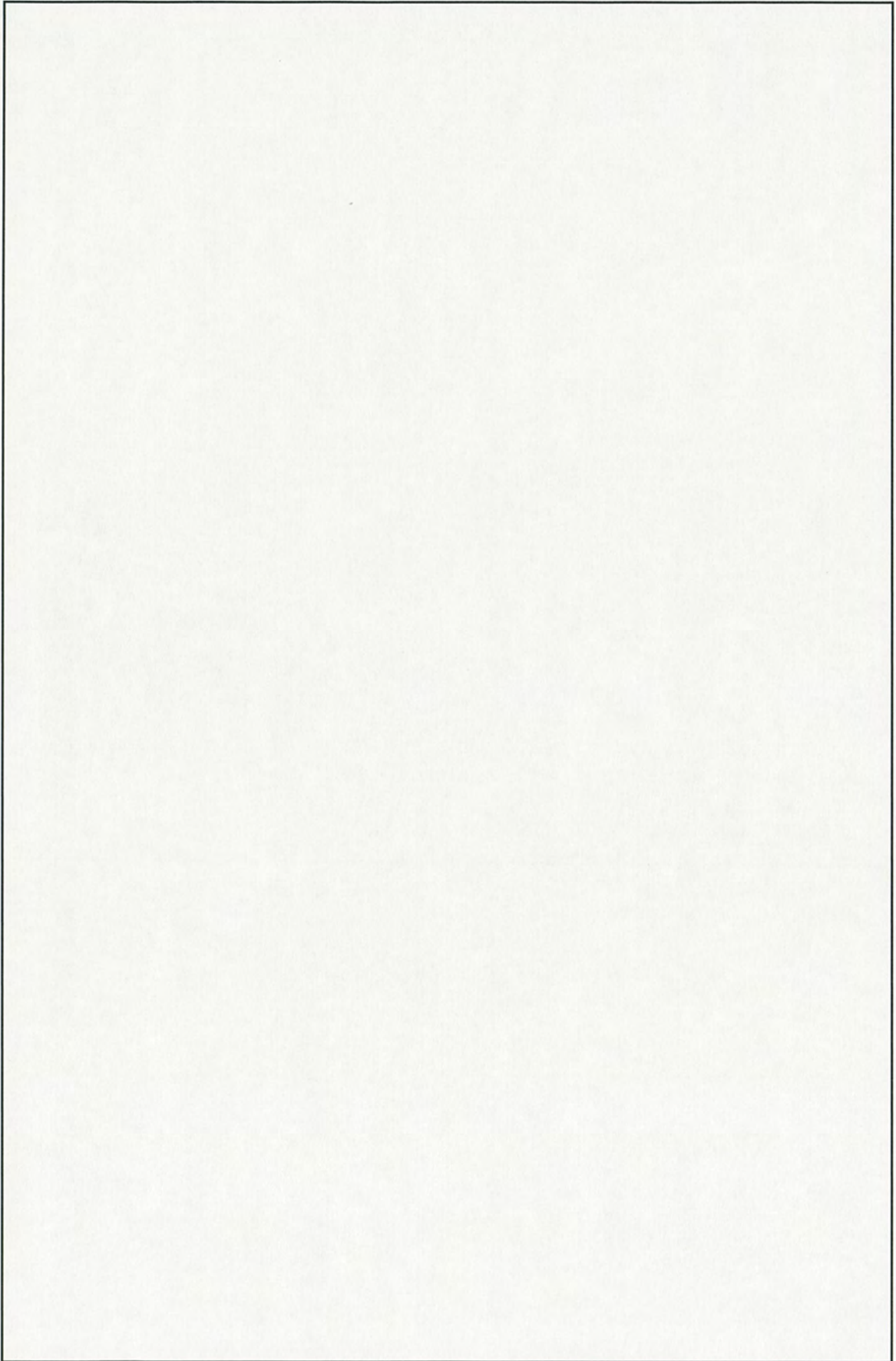


図 1.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P1

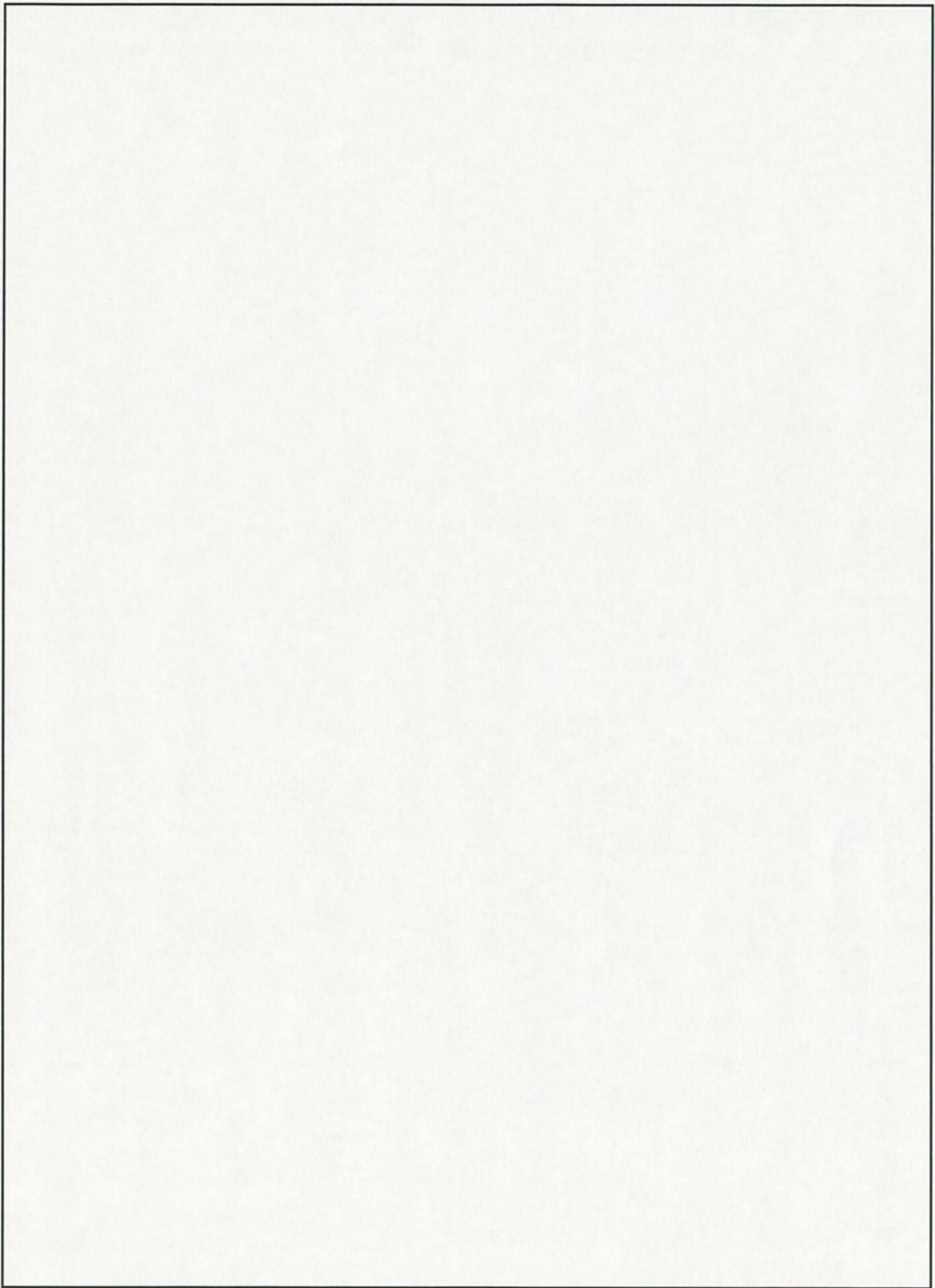


図 1.4 落下試験 No.4・原型容器 P1

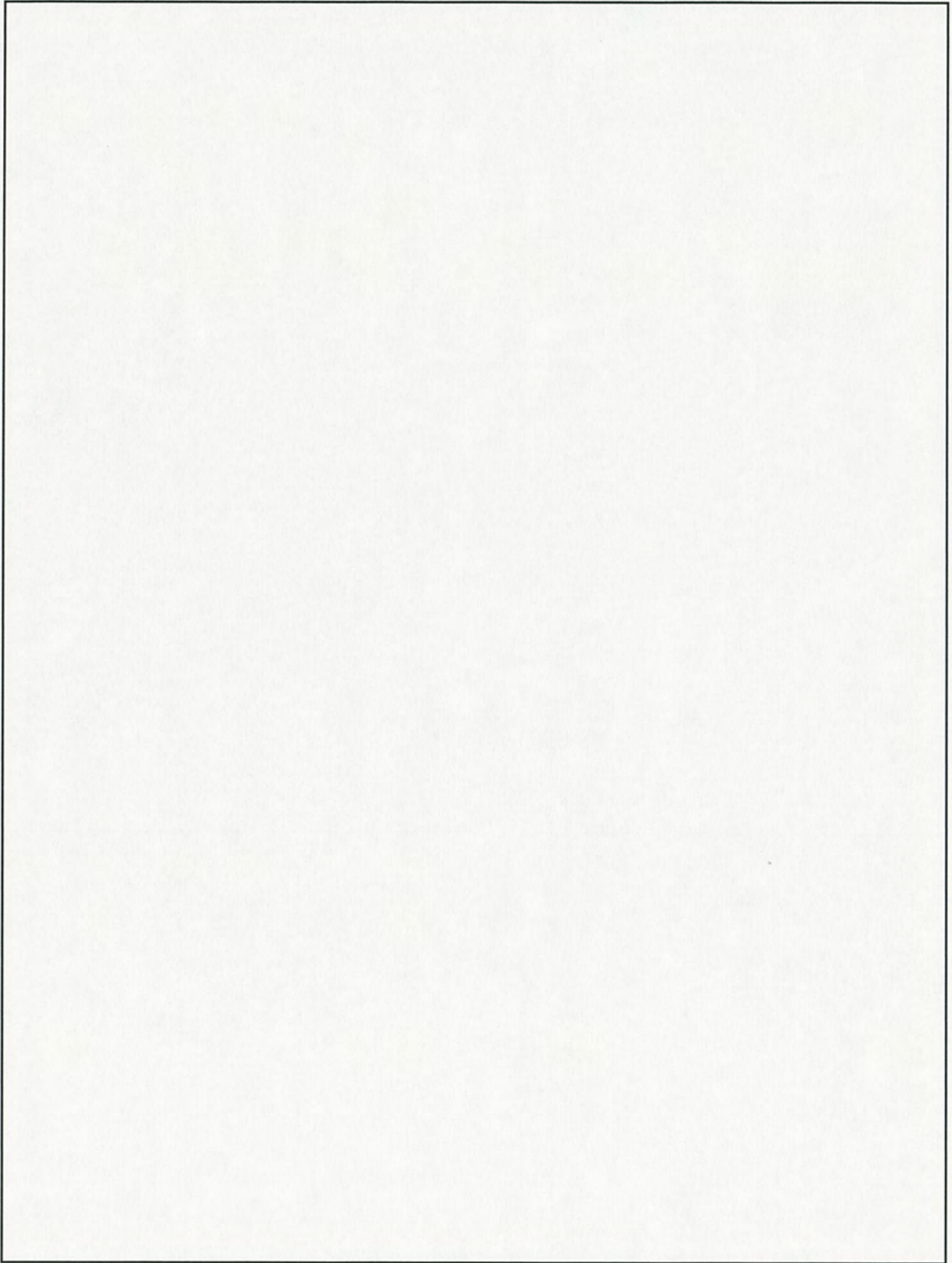


図 1.5 落下試験 No.5 - 原型容器 P1

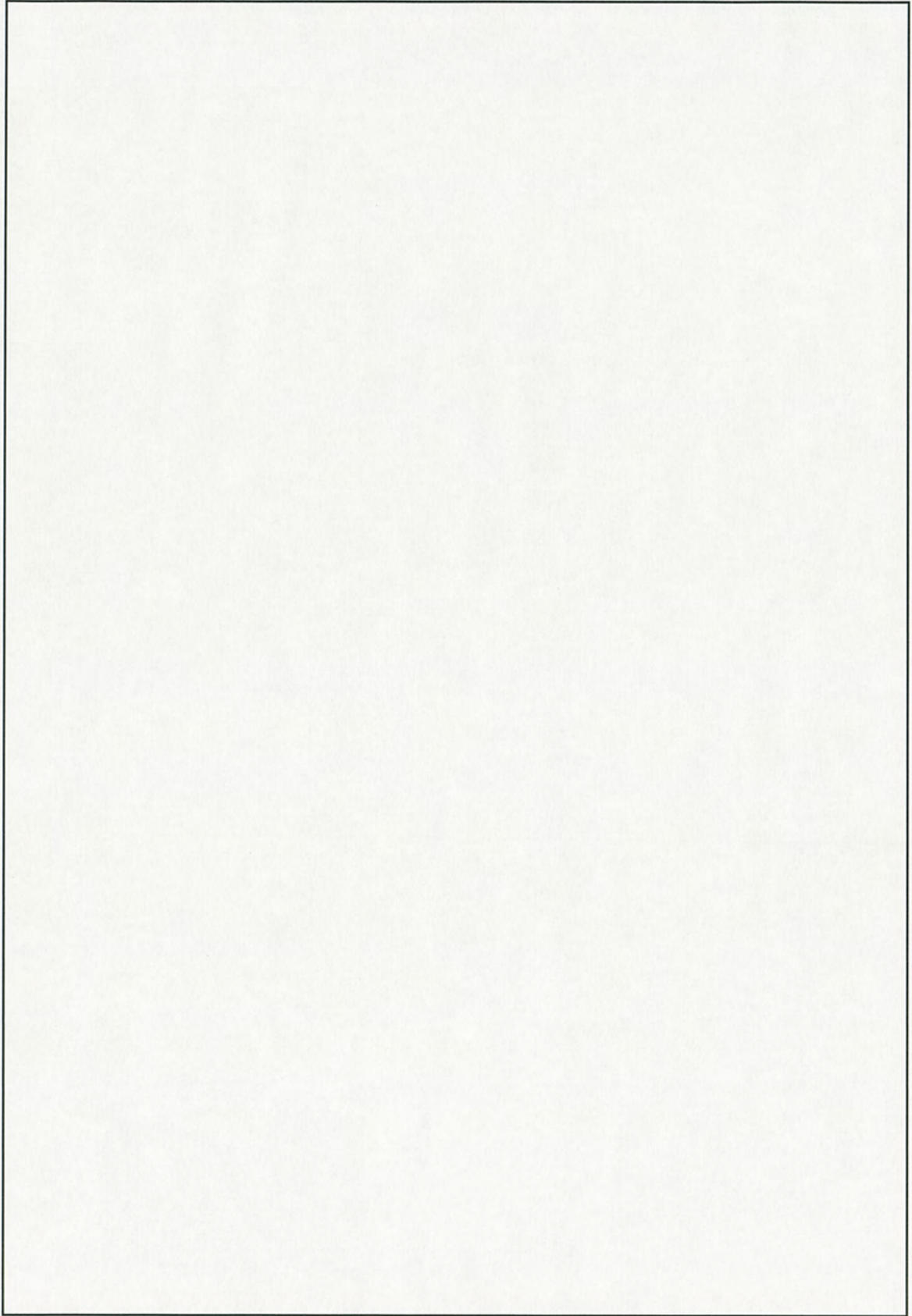


図 1.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P1

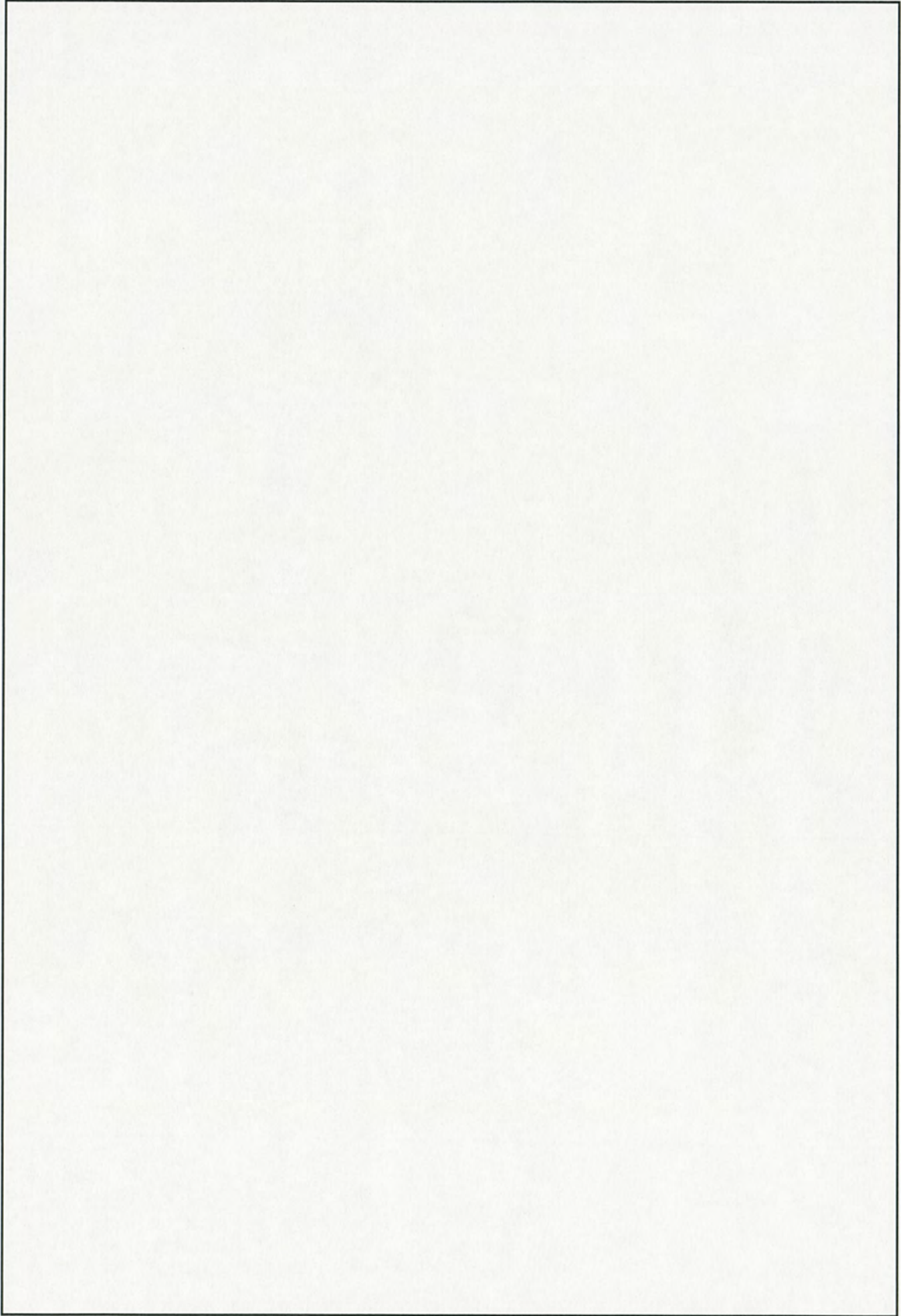


図 1.7 落下試験 No.7 - 原型容器 P1

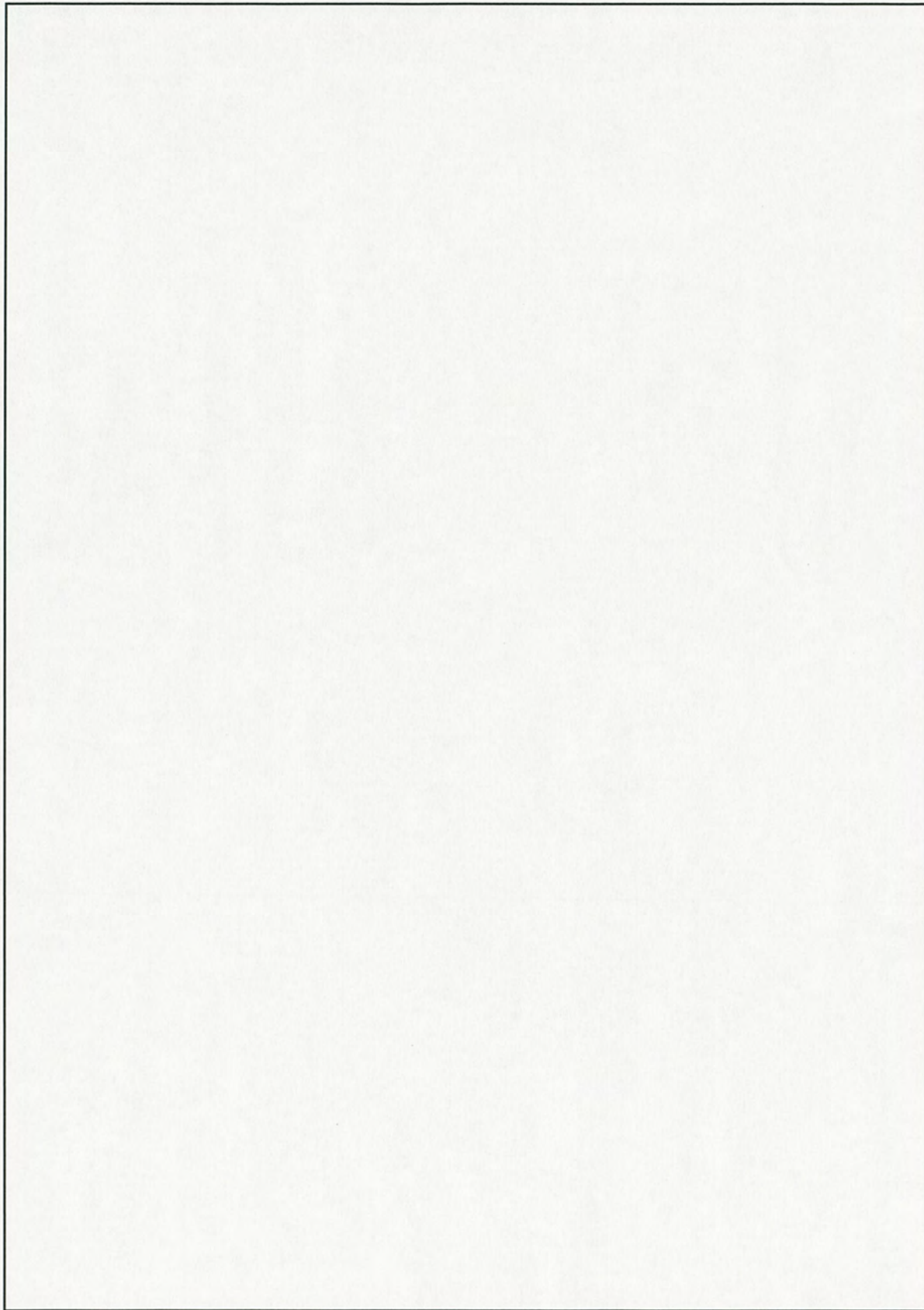


図 1.8 落下試験 No.8・原型容器 P1

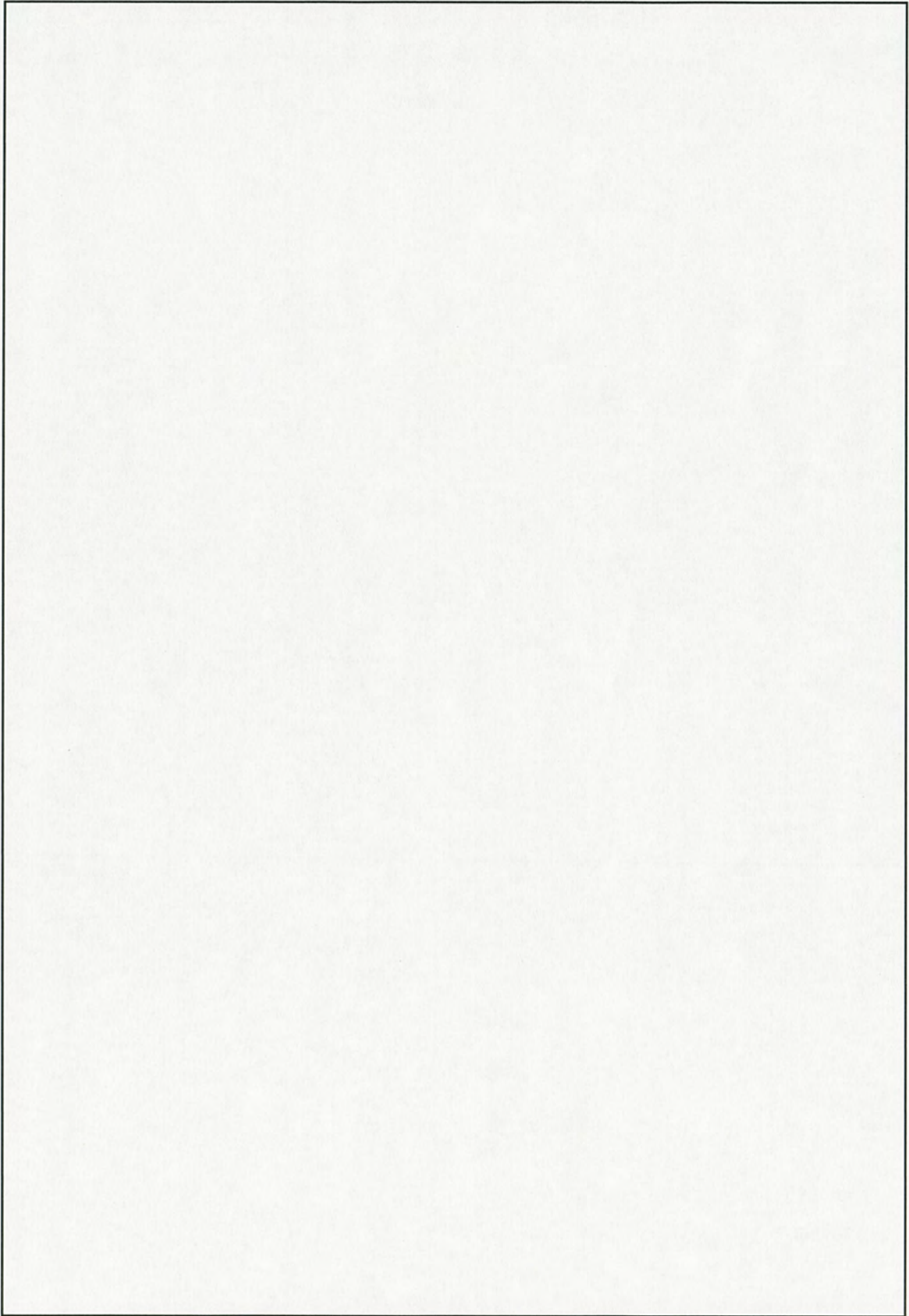


図 1.9 落下試験 No.9・原型容器 P1

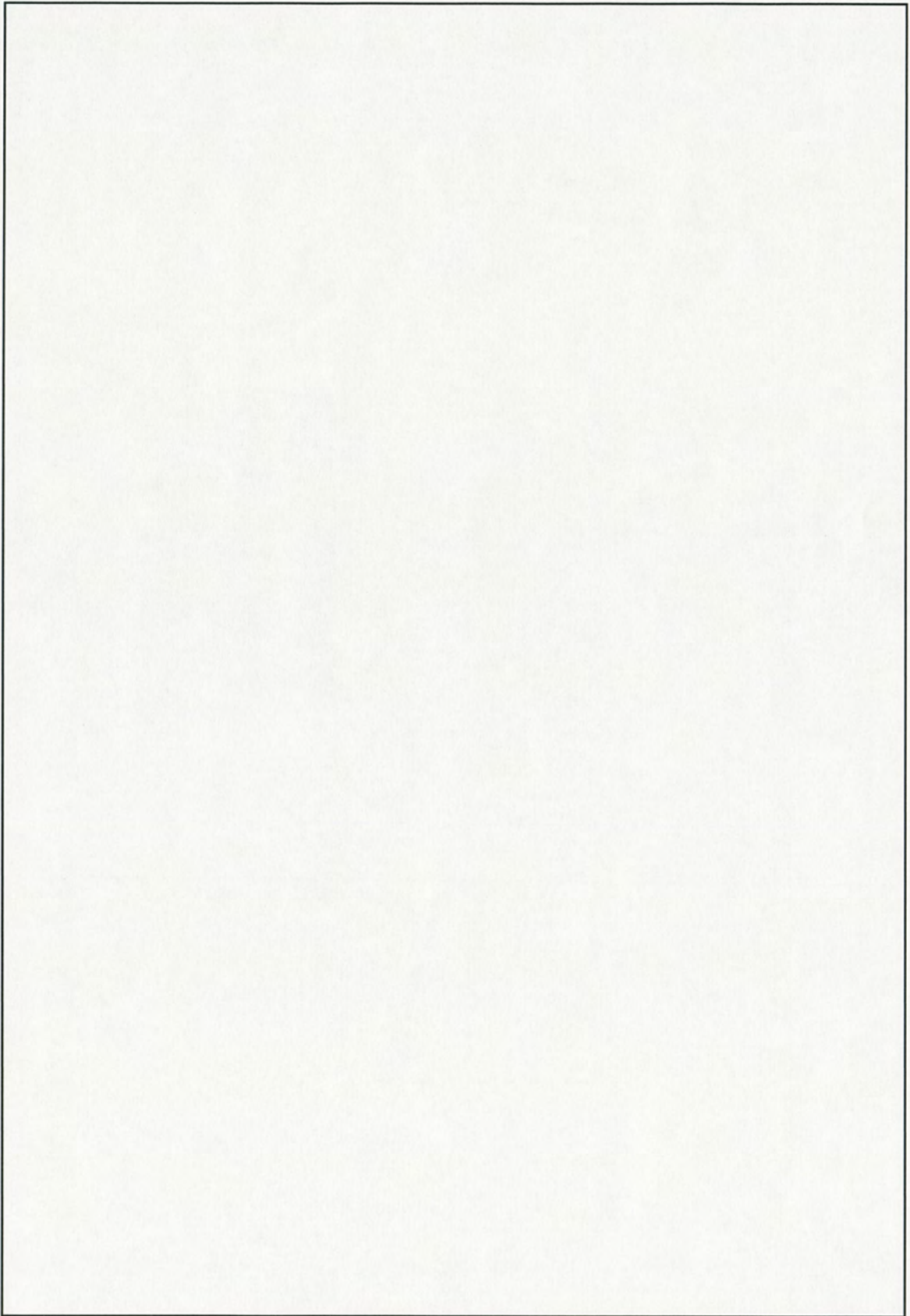


図 1.10 落下試験 No.10 - 原型容器 P1

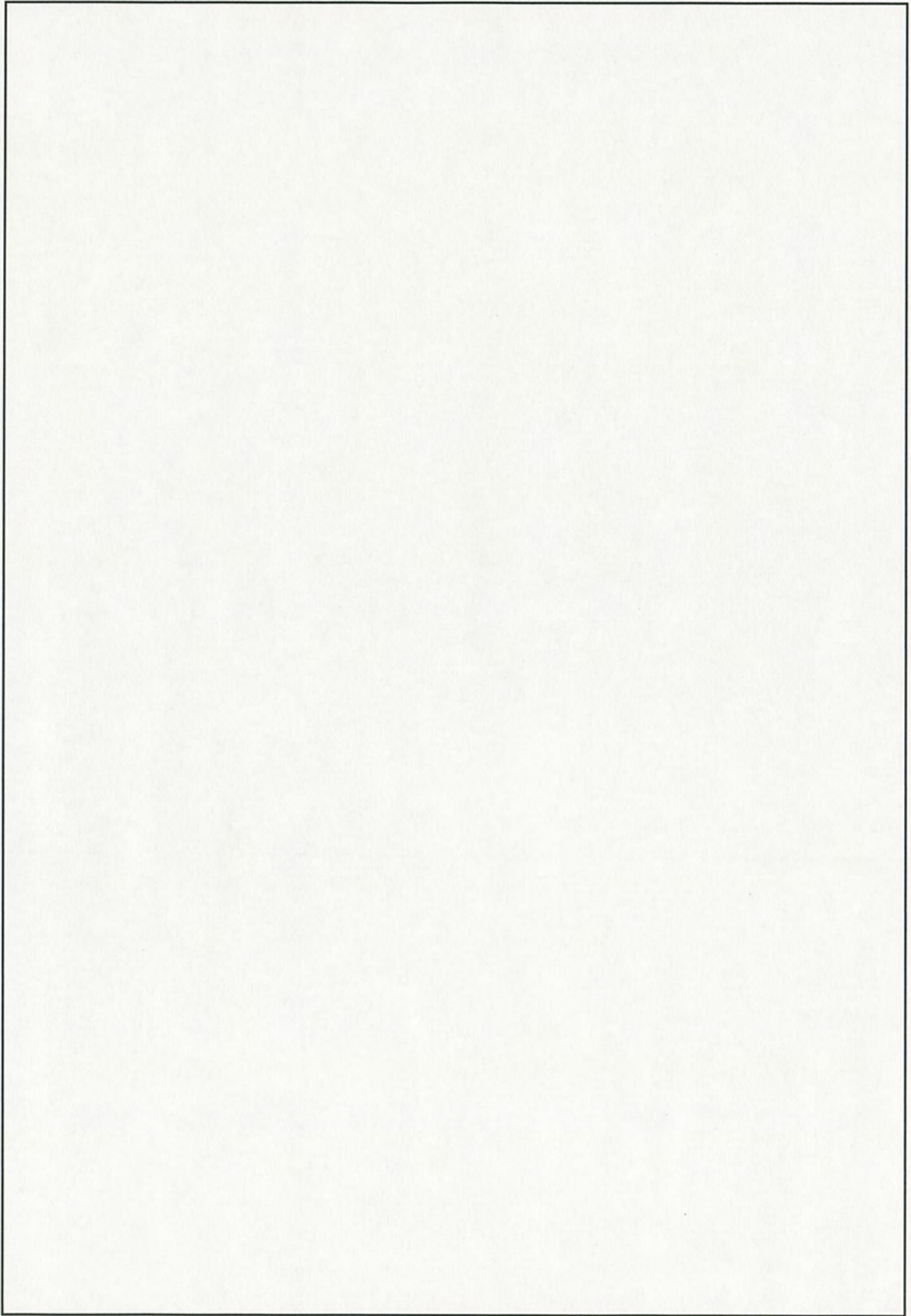


図 1.11 落下試験 No.11 - 原型容器 P1

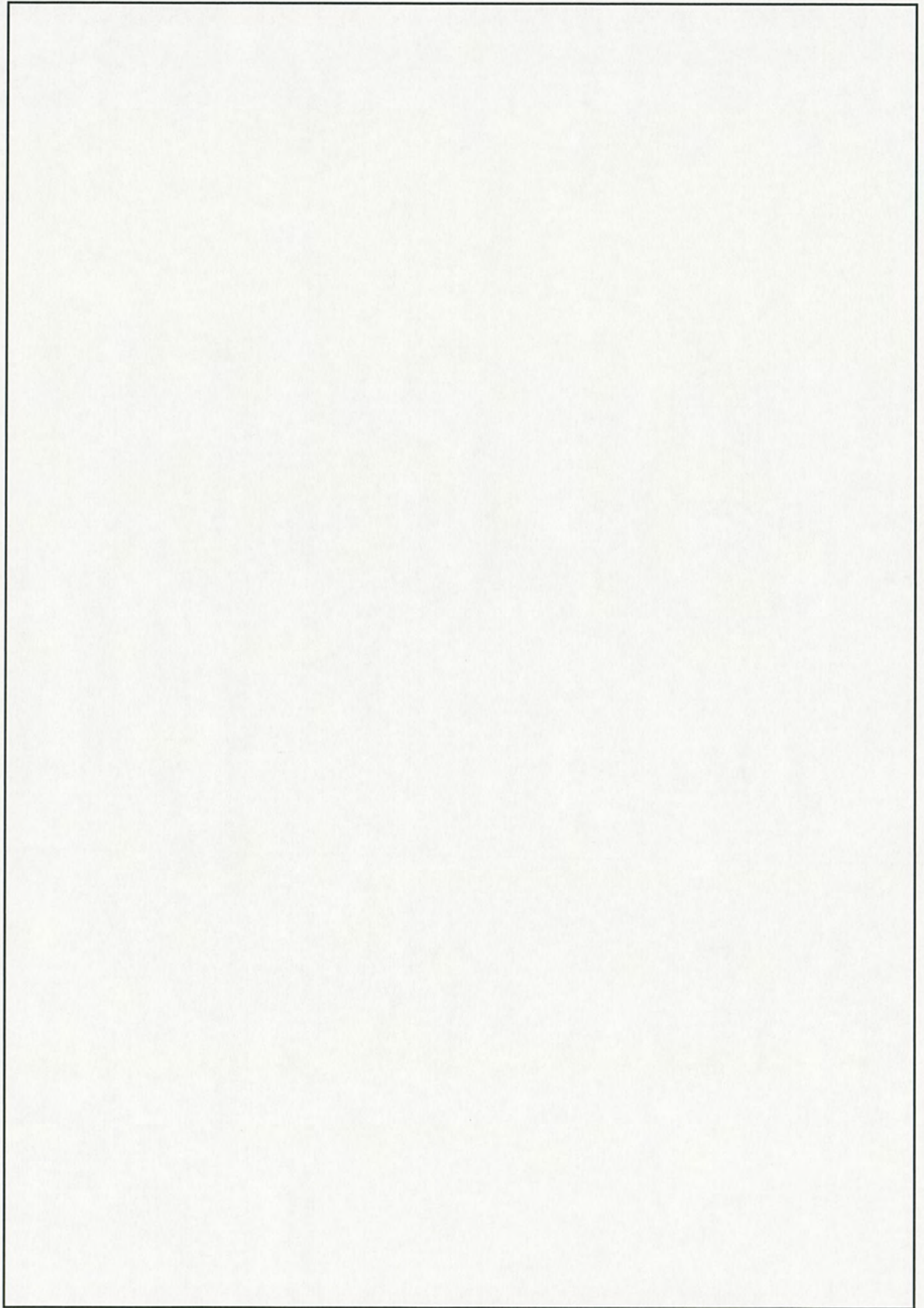


図 1.12 パンクチャー試験 No.12・原型容器 P1

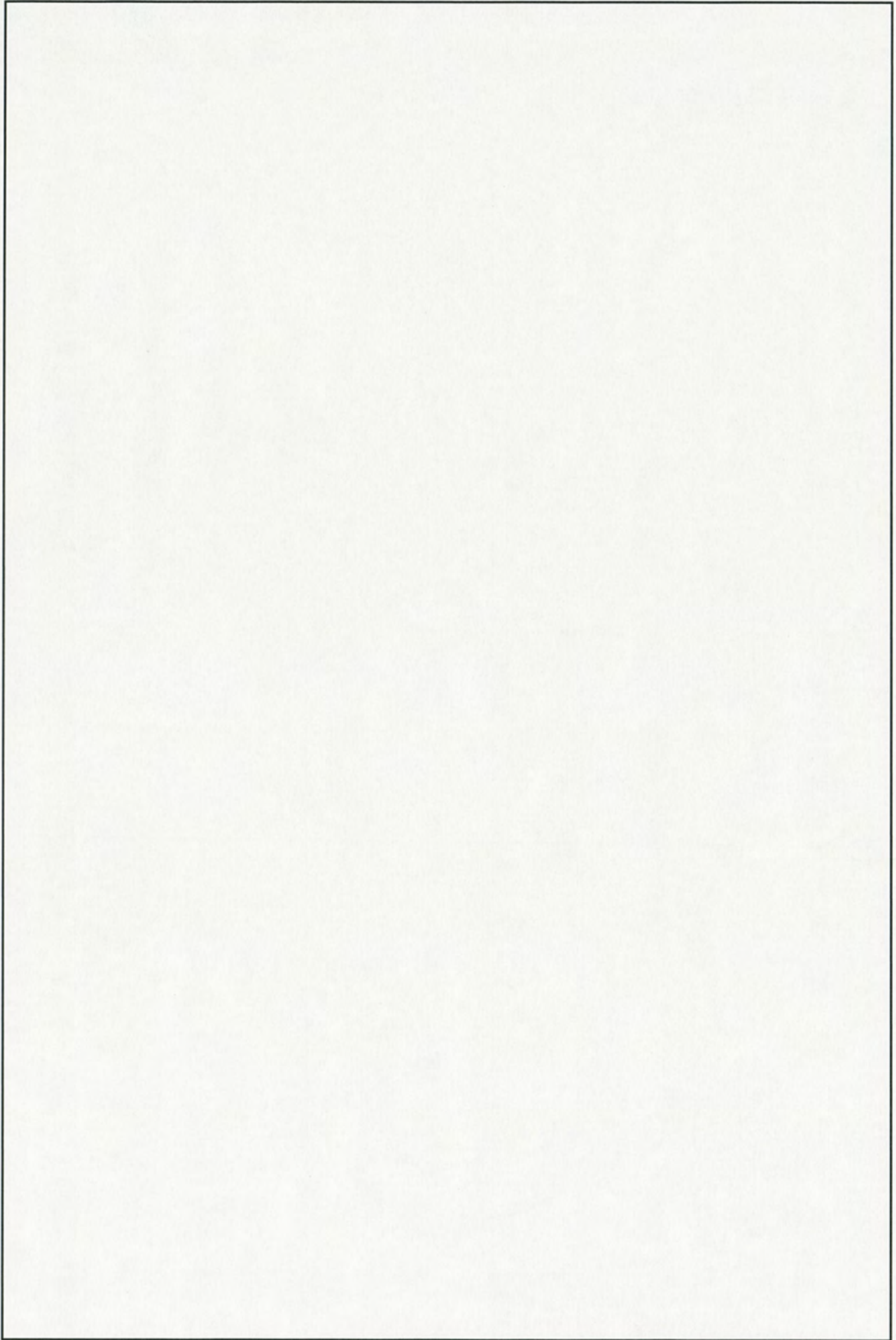


図 1.13 貫通試験 No.1 - 原型容器 P2

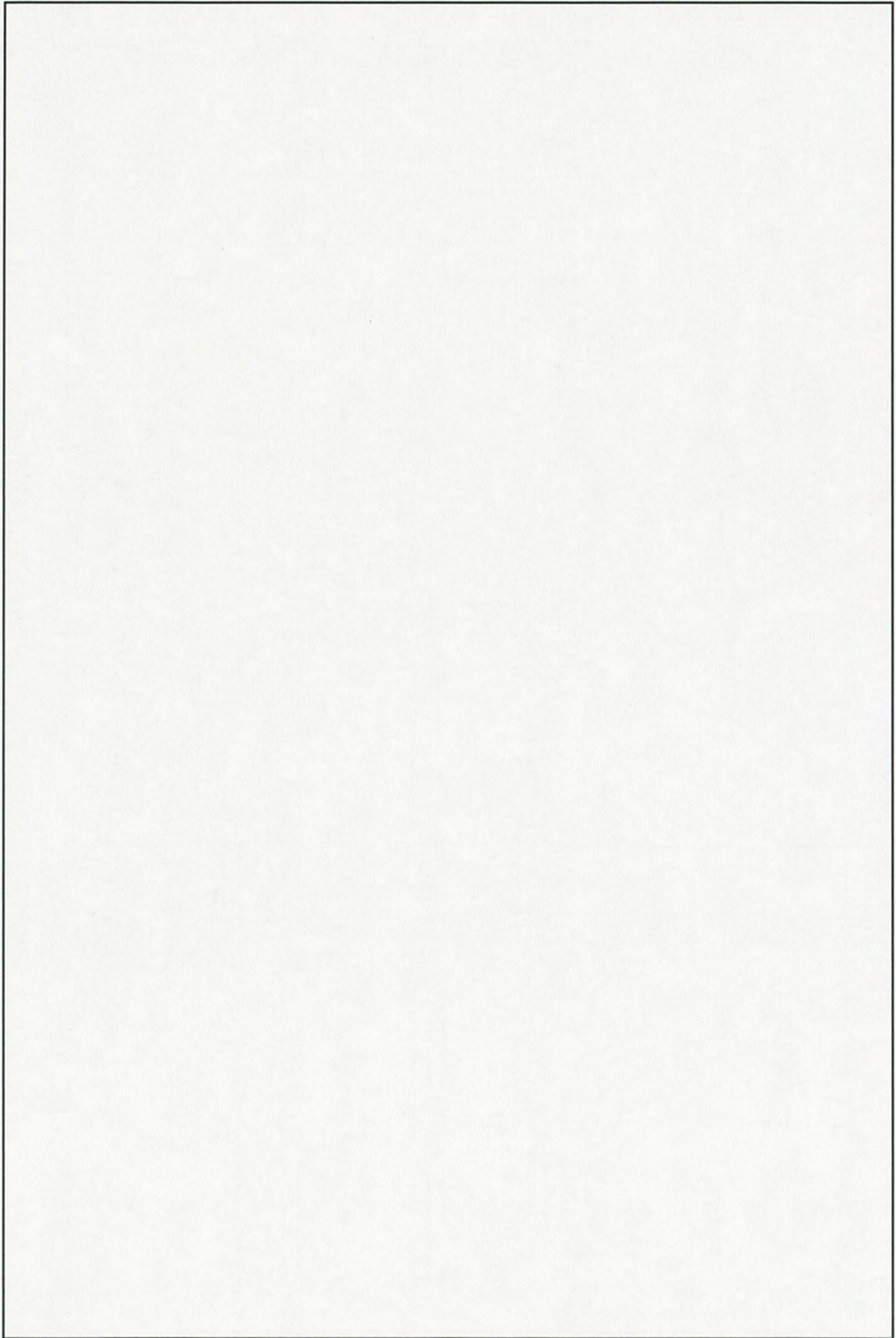


図 1.14 貫通試験 No.2 - 原型容器 P2

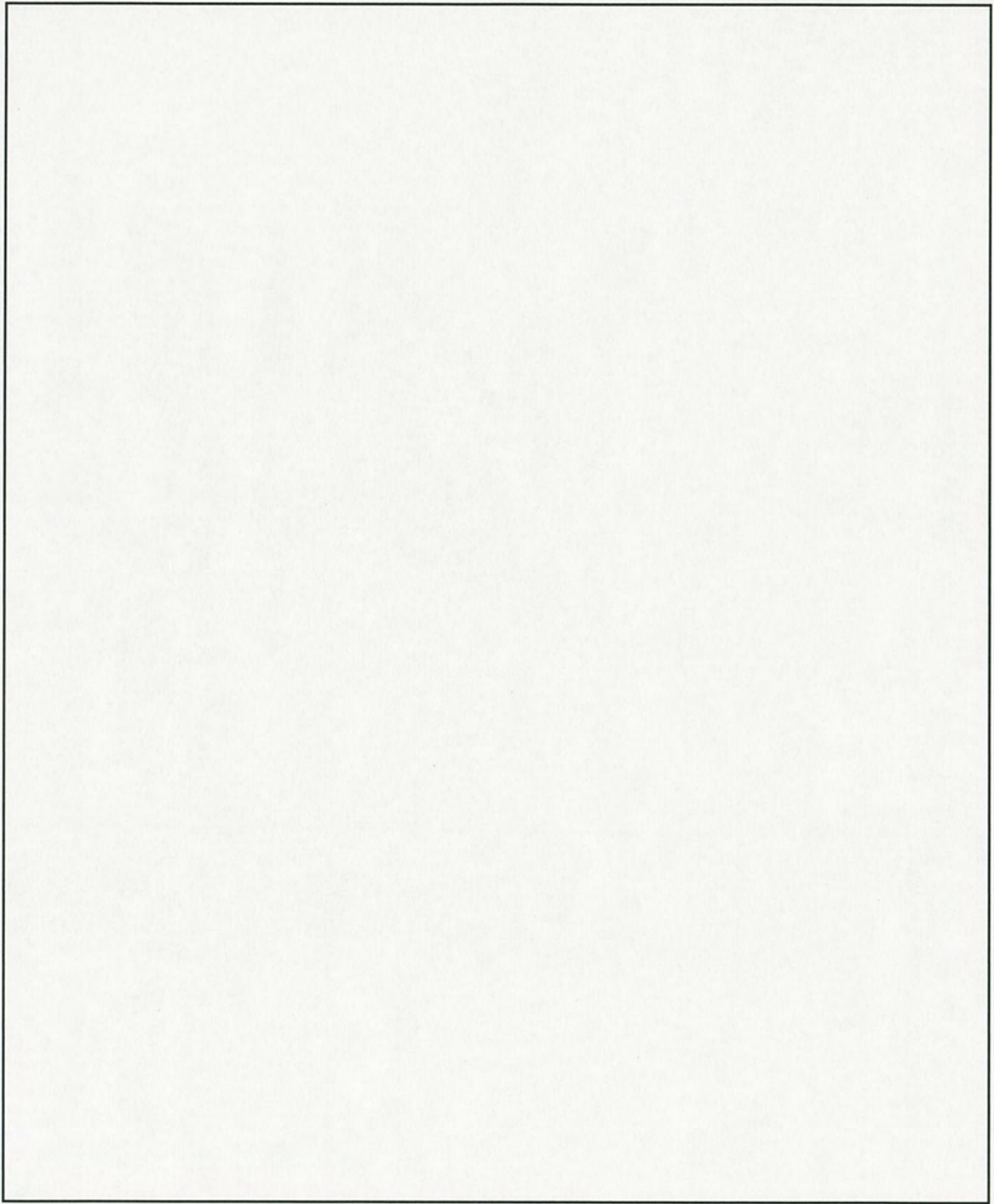


図 1.15 落下試験 No.3 - 原型容器 P2

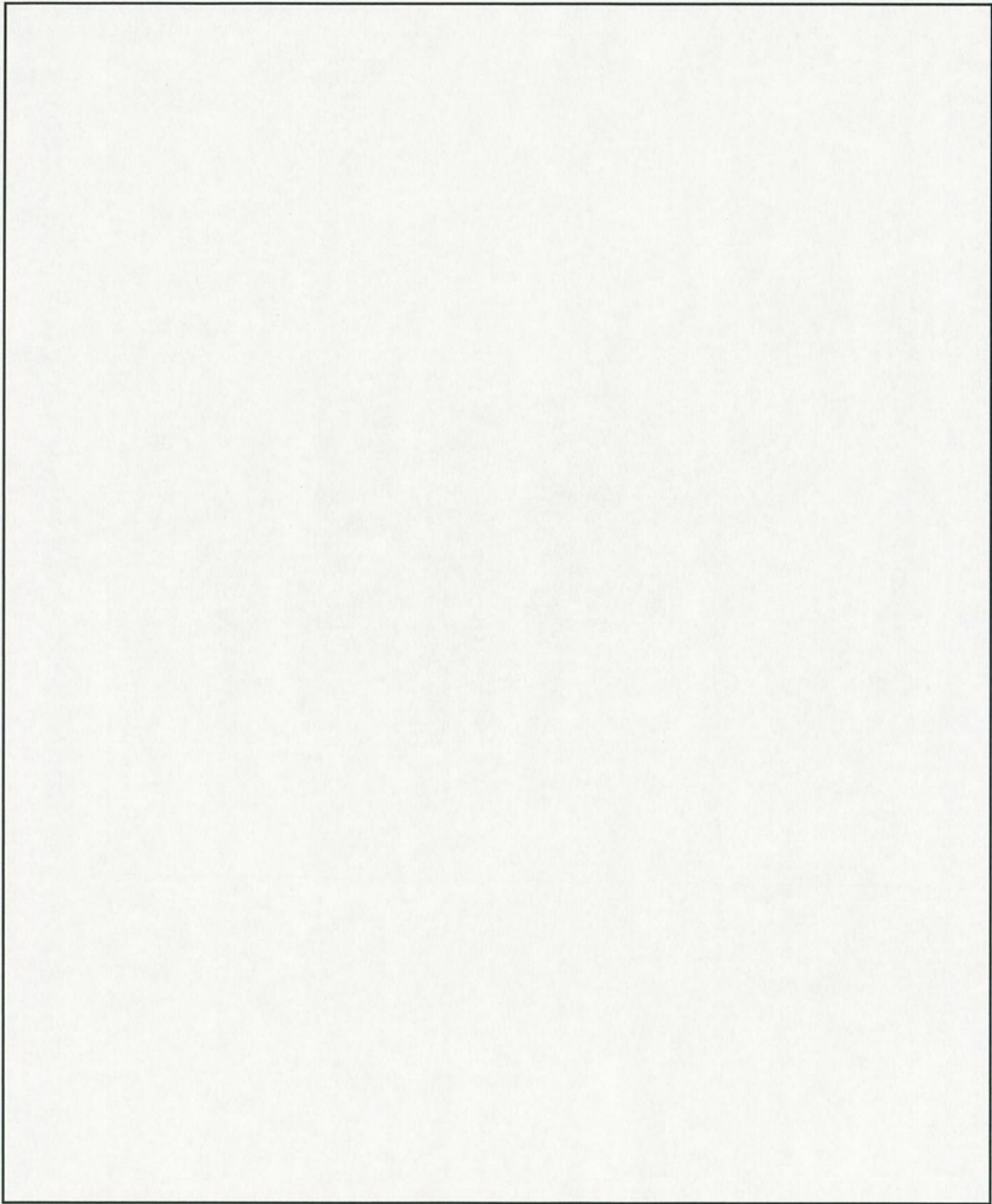


図 1.16 落下試験 No.4 - 原型容器 P2

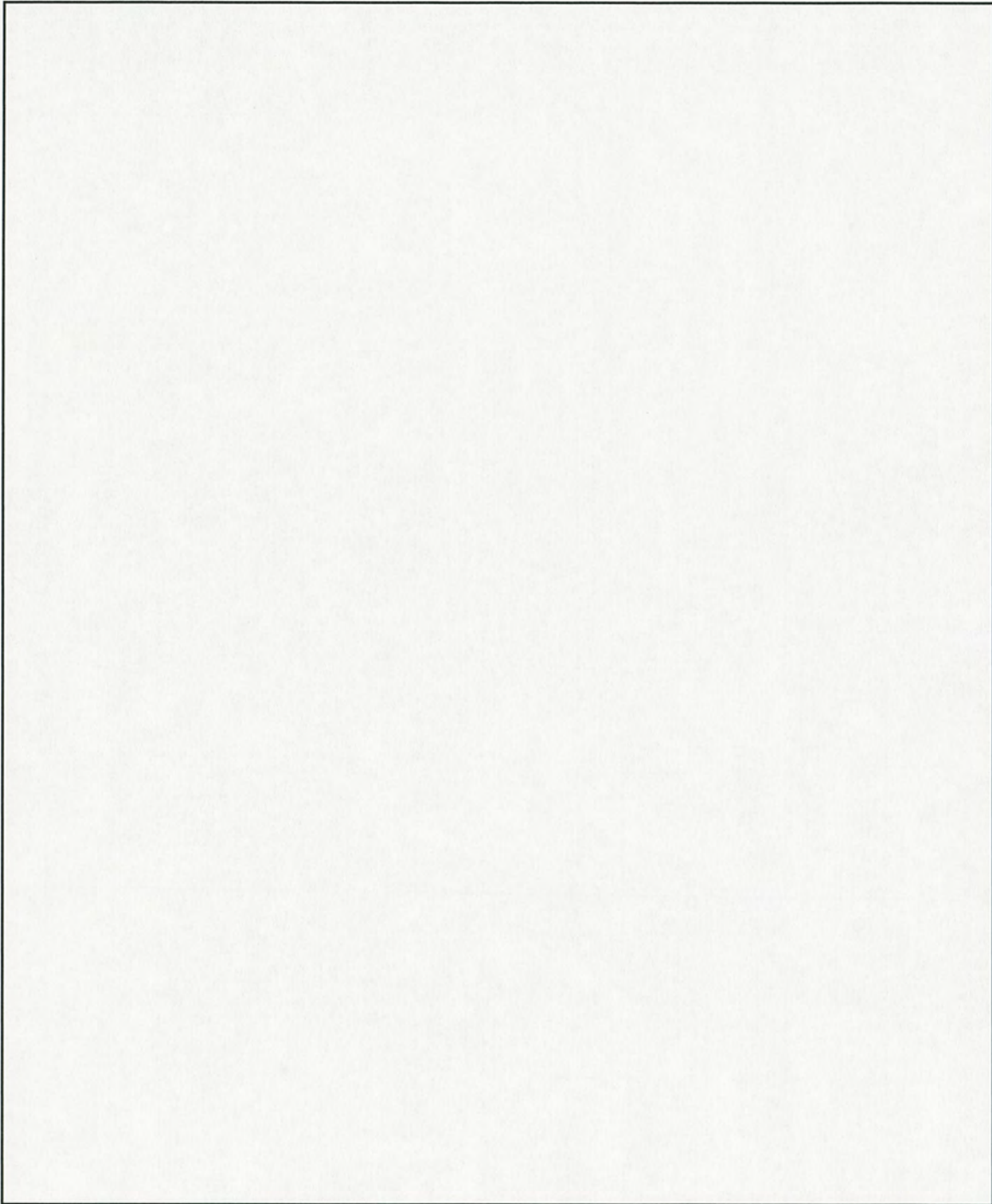


図 1.17 落下試験 No.5 - 原型容器 P2

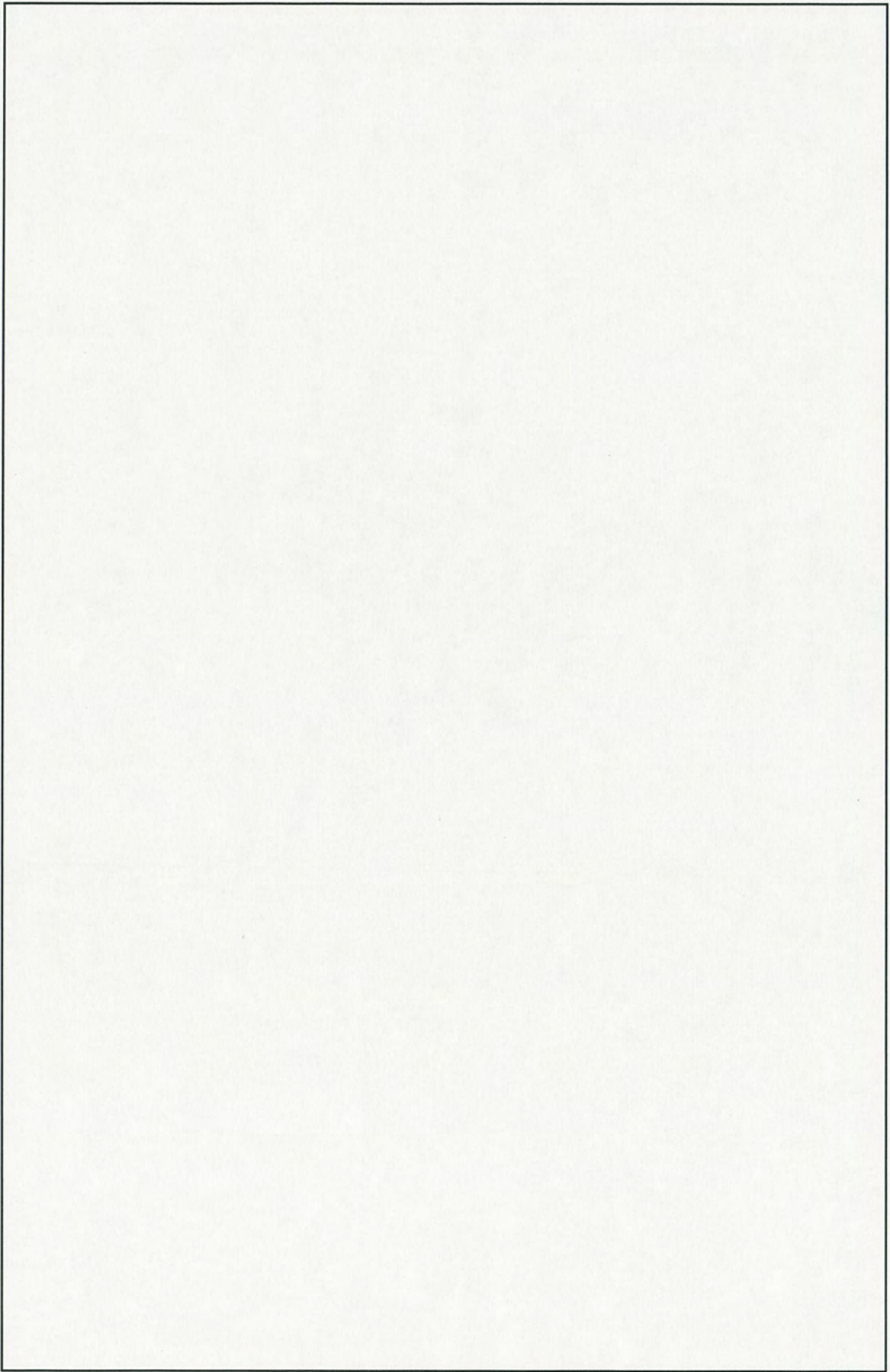


図 1.18 落下試験 No.6 - 原型容器 P2

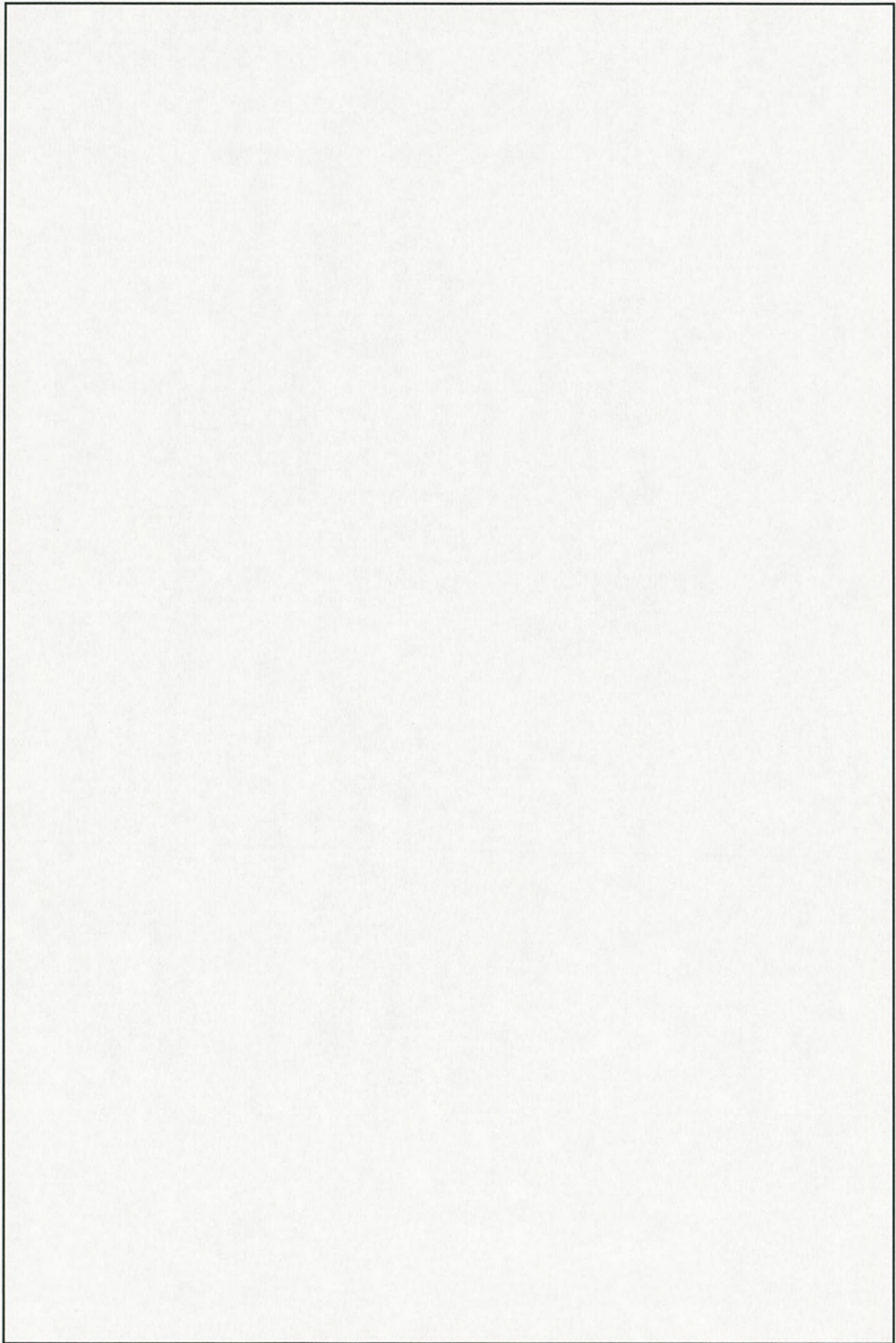


図 1.19 落下試験 No.7 - 原型容器 P2

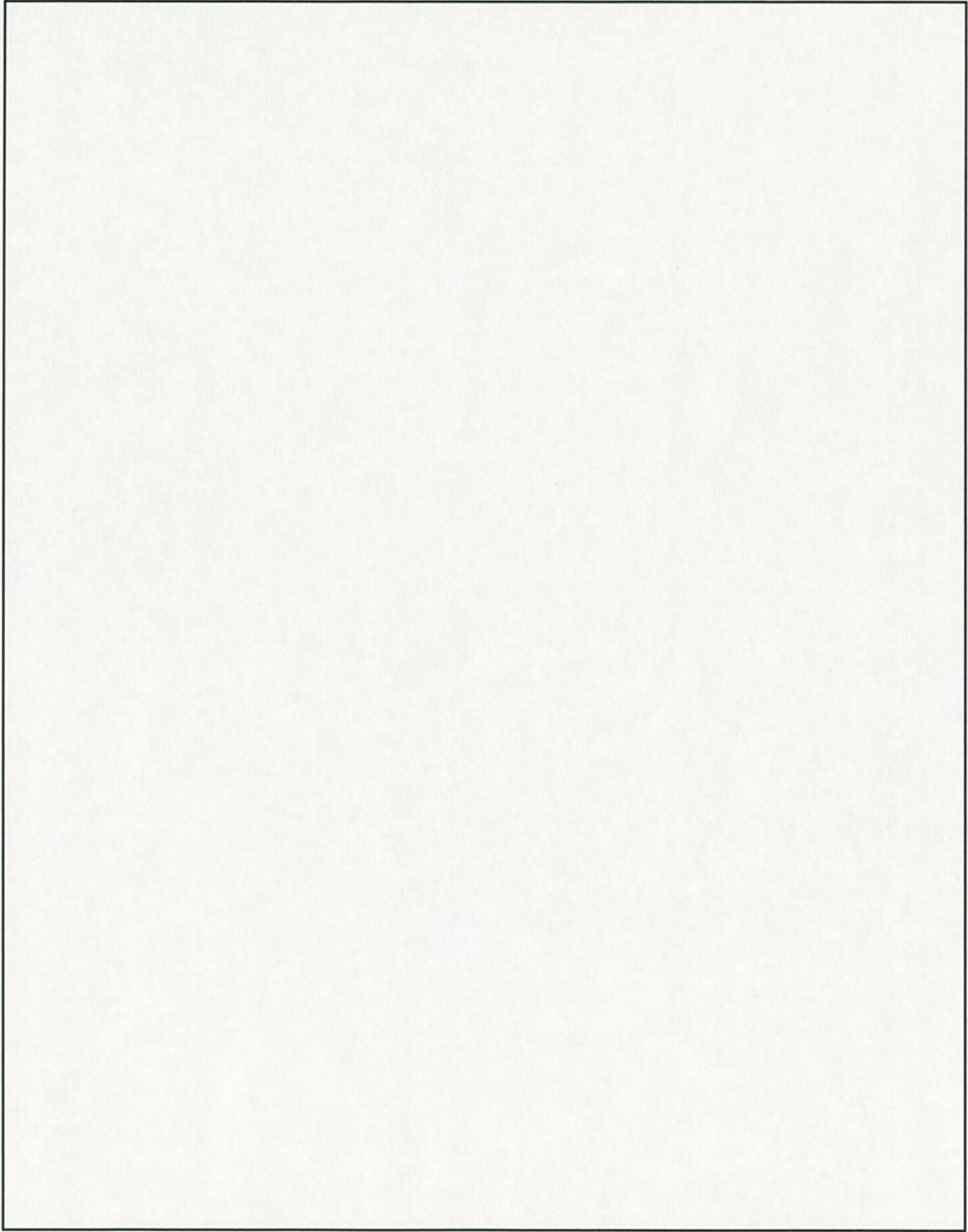


図 1.20 落下試験 No.8 - 原型容器 P2

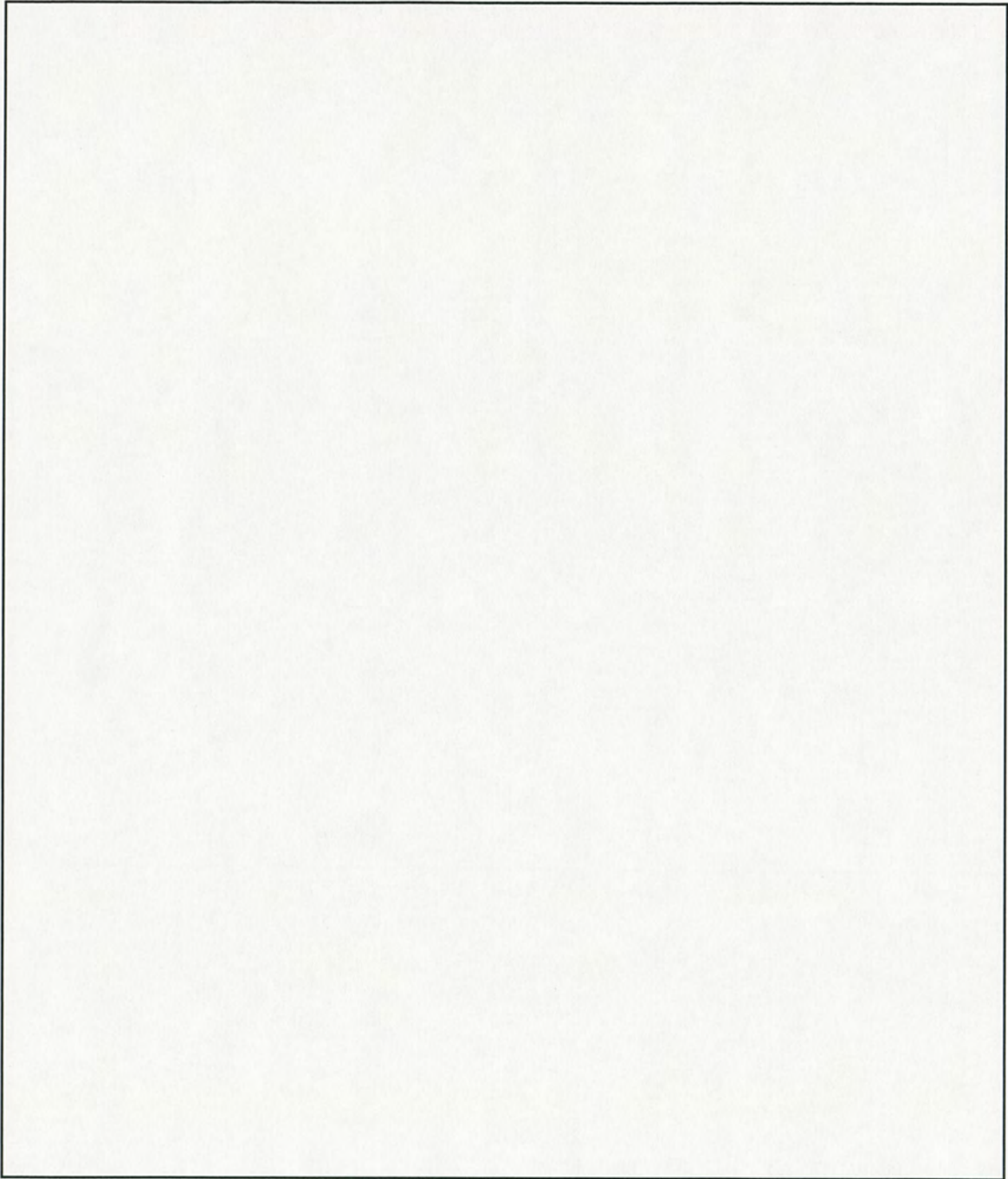


図 1.21 落下試験 NO.9 - 原型容器 P2

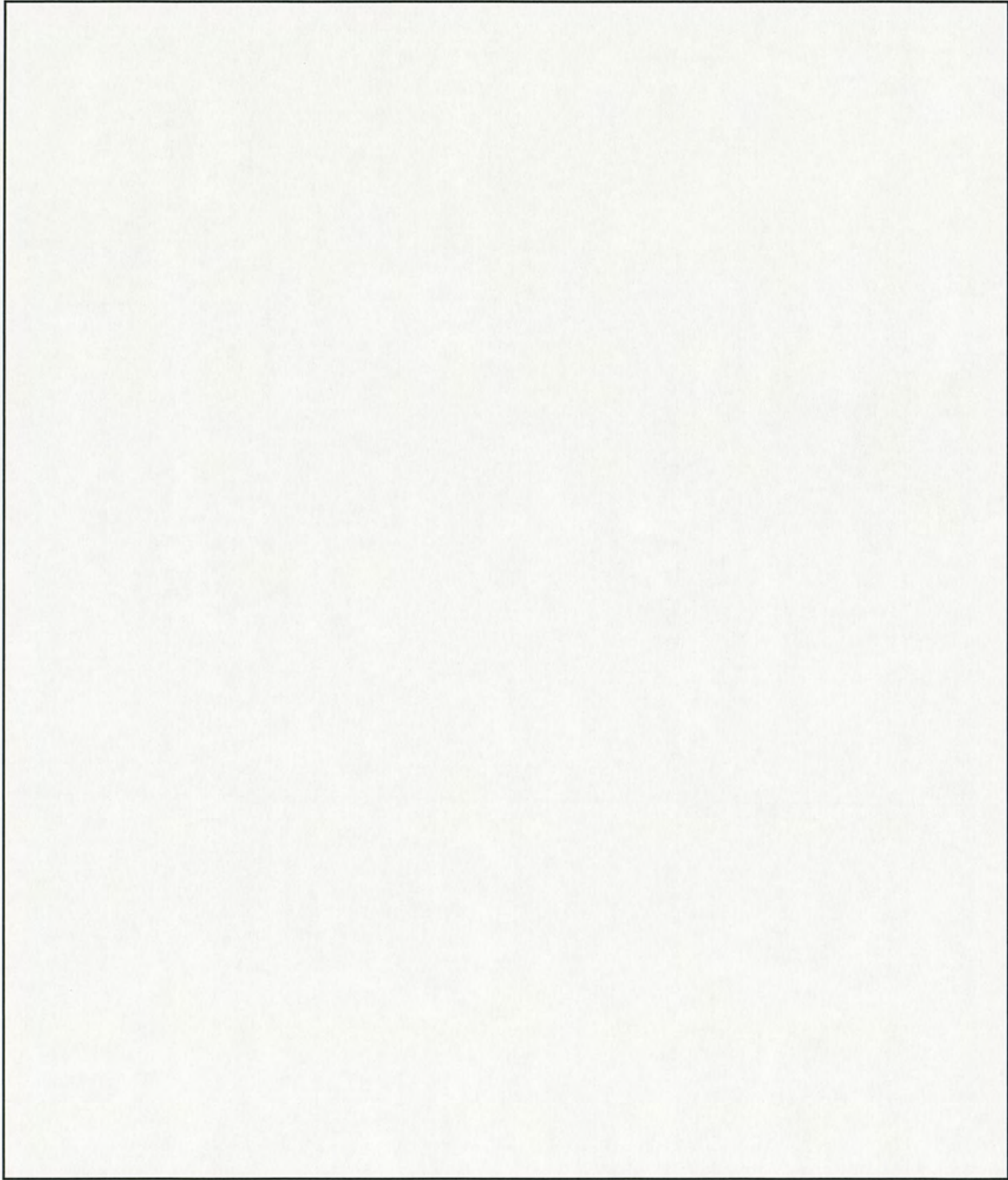


図 1.22 落下試験 No.10 - 原型容器 P2

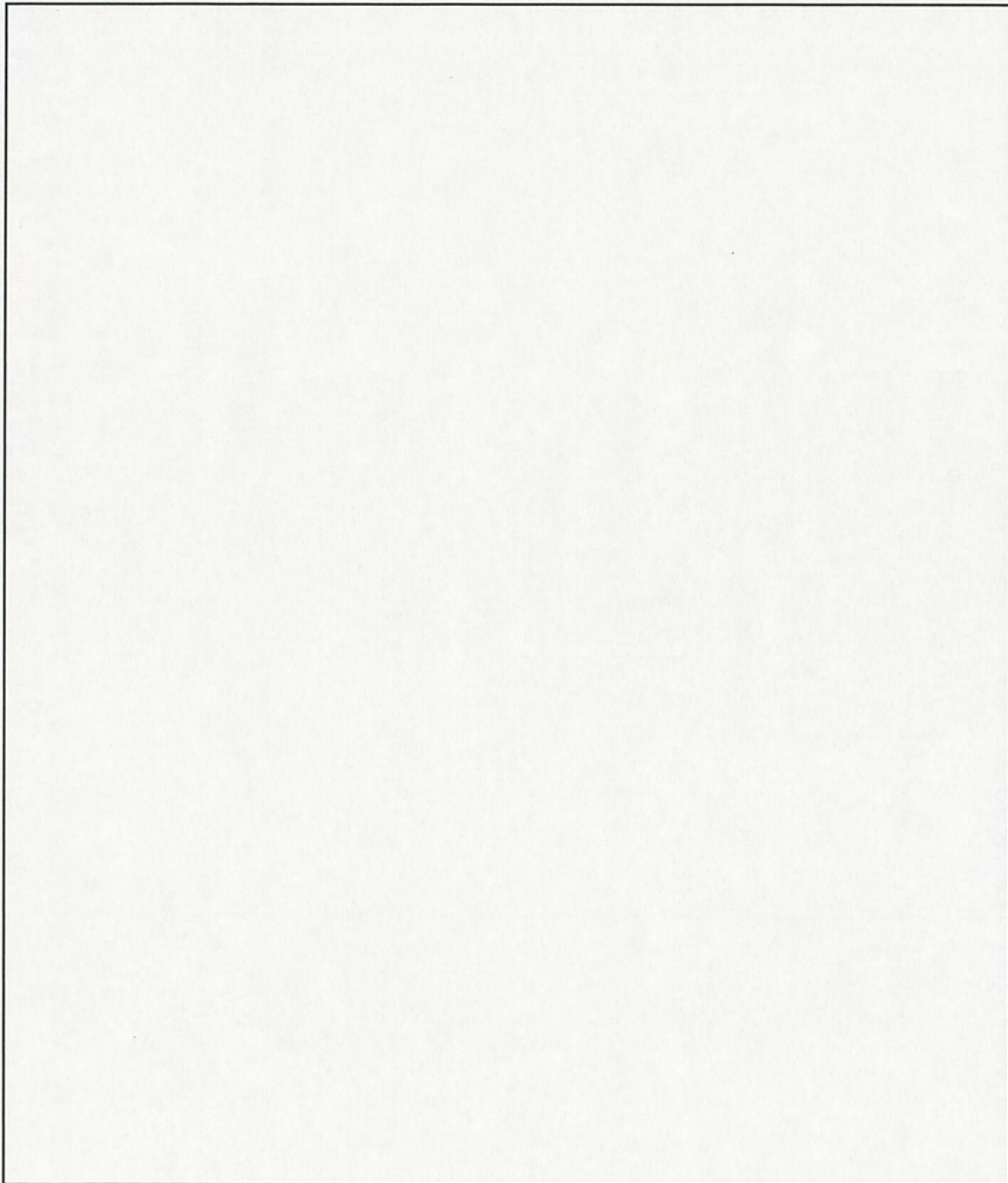


図 1.23 落下試験 No.11 - 原型容器 P2

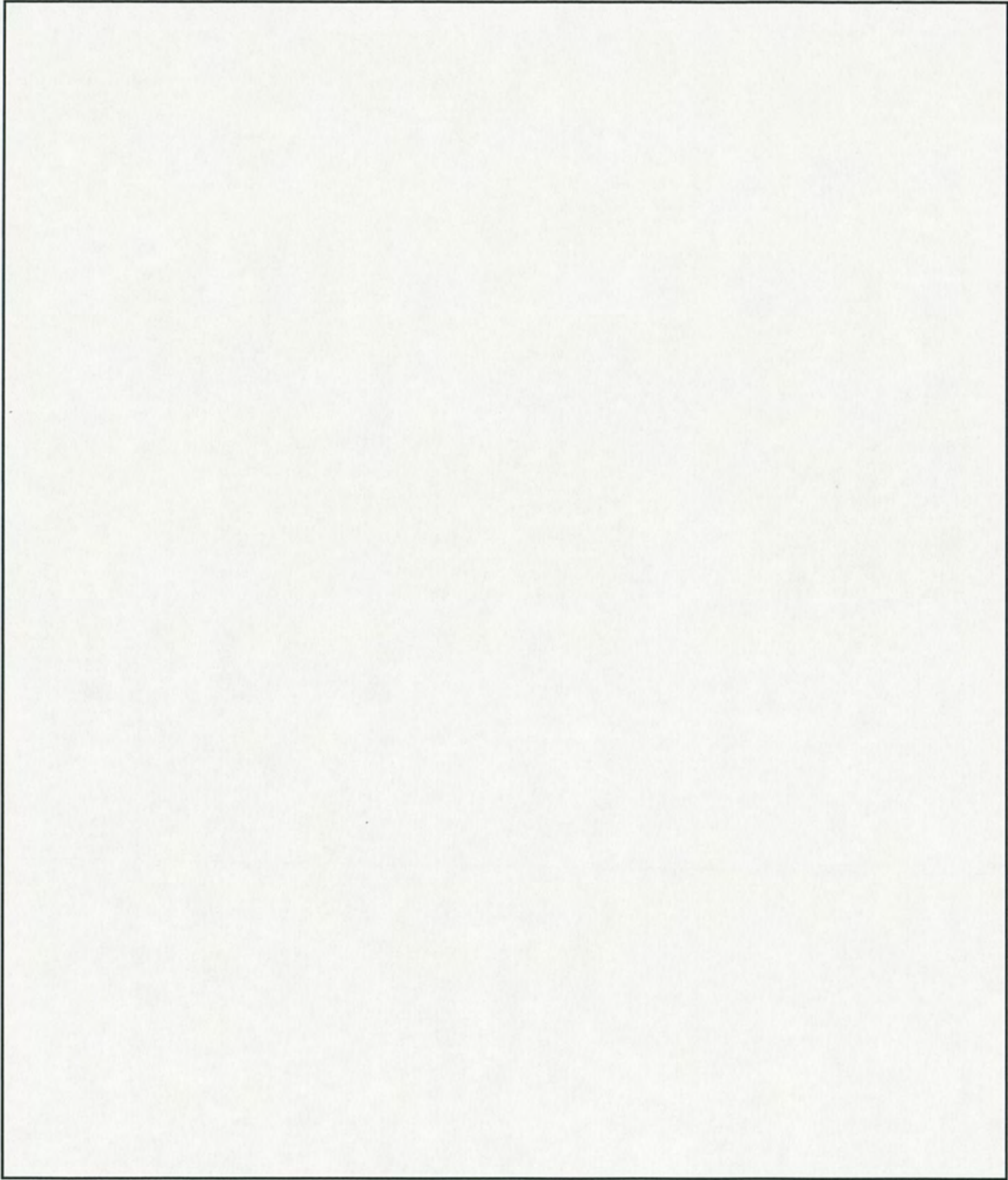


図 1.24 落下試験 No.12 - 原型容器 P2

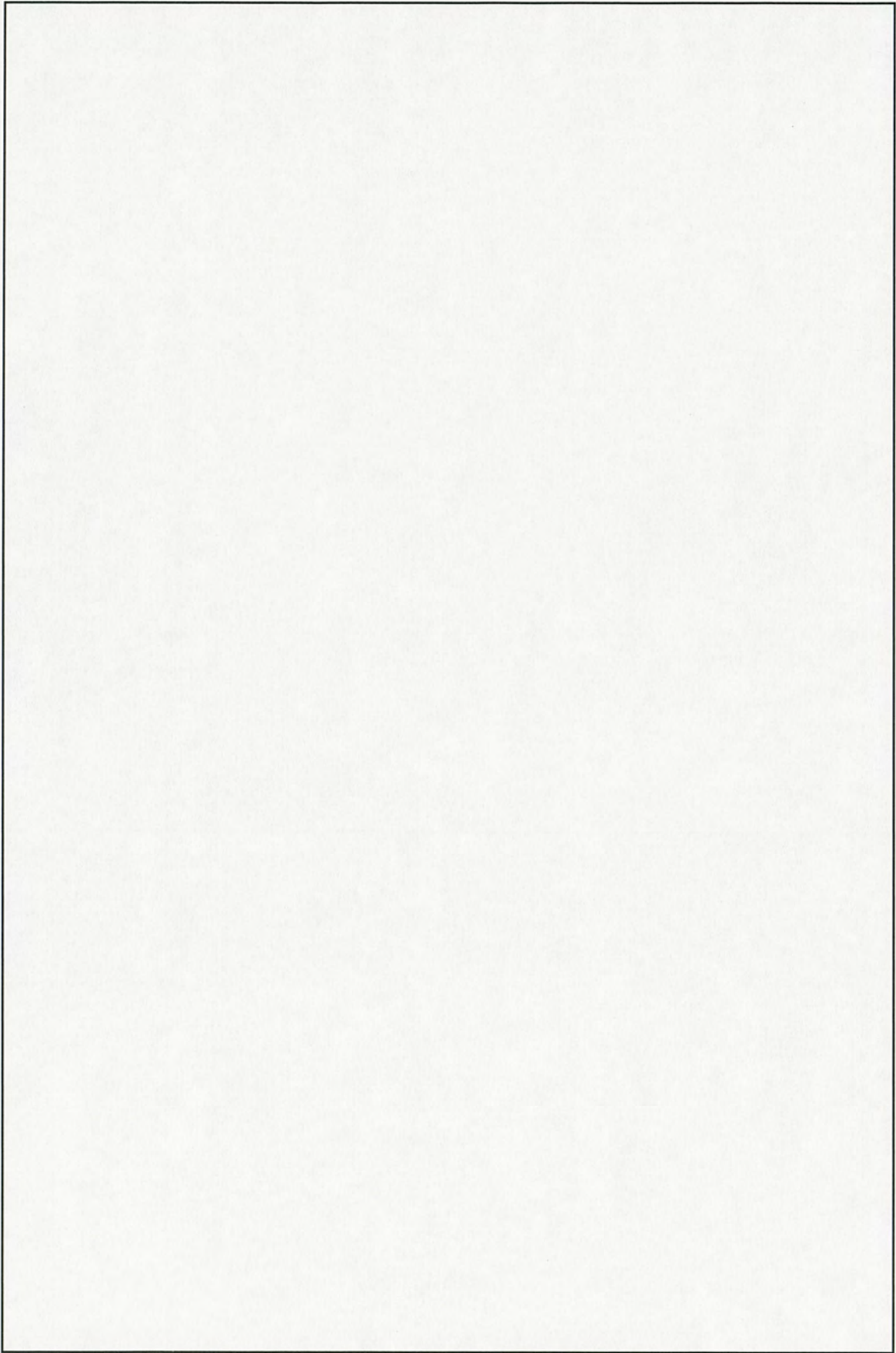


図 1.25 落下試験 No.13 - 原型容器 P2

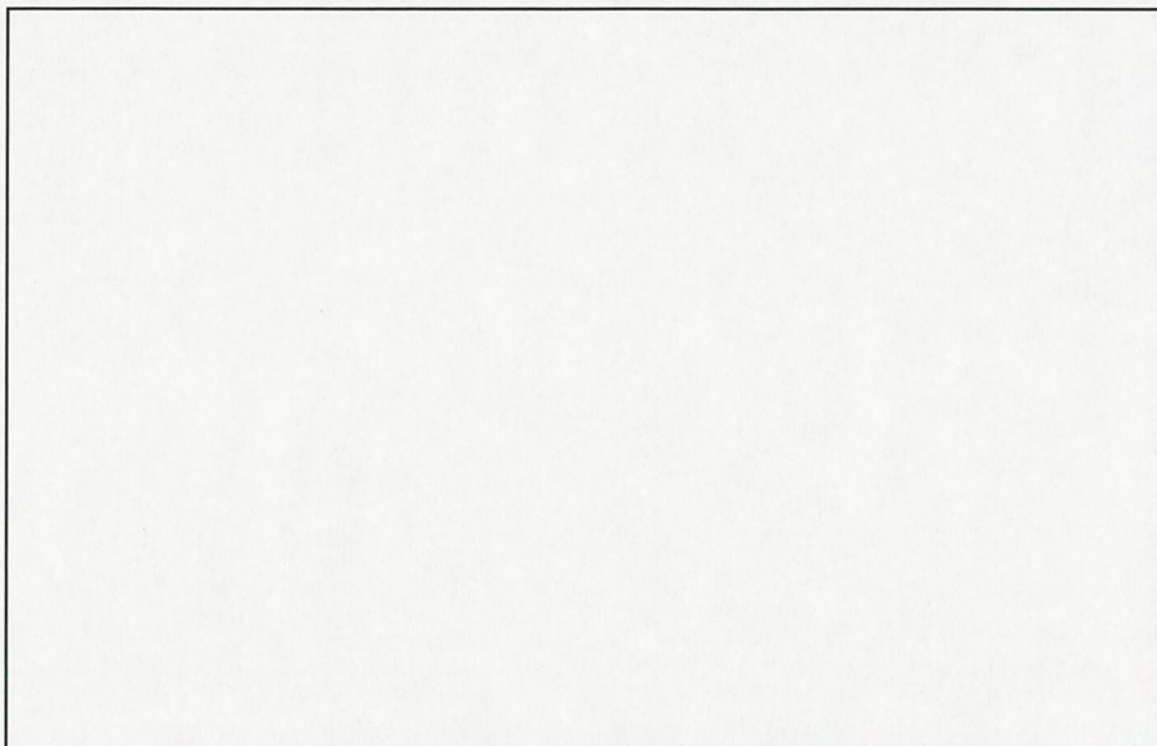


写真 1.1 粉末収納缶及びボロン入りステンレス鋼製リングの外観

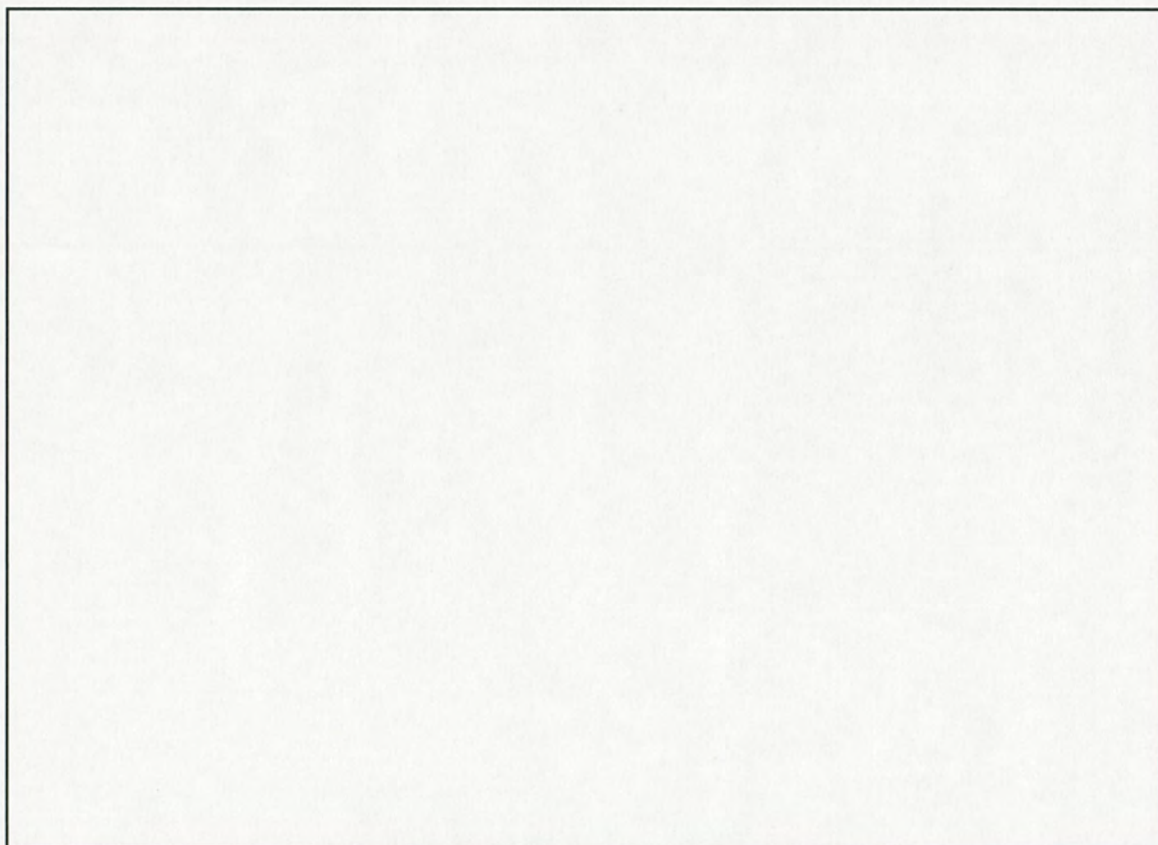


写真 1.2 純鉄粉末の外観

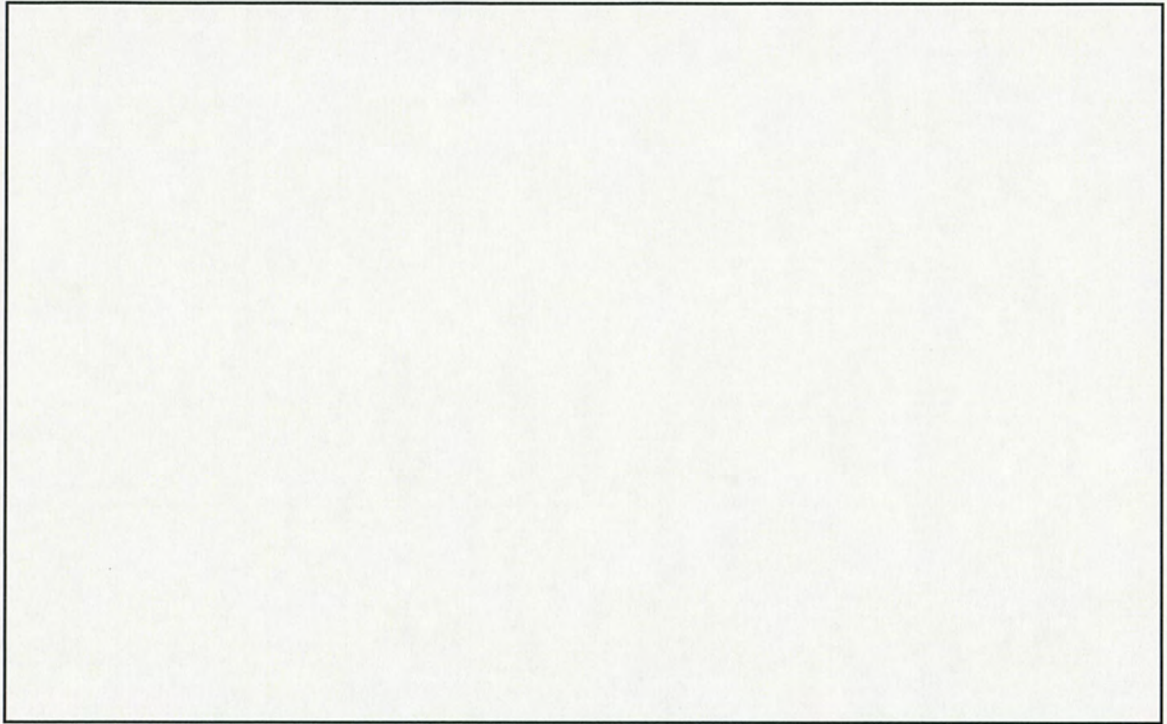


写真 1.3 内蓋 (機械加工バイオネット嵌合部)

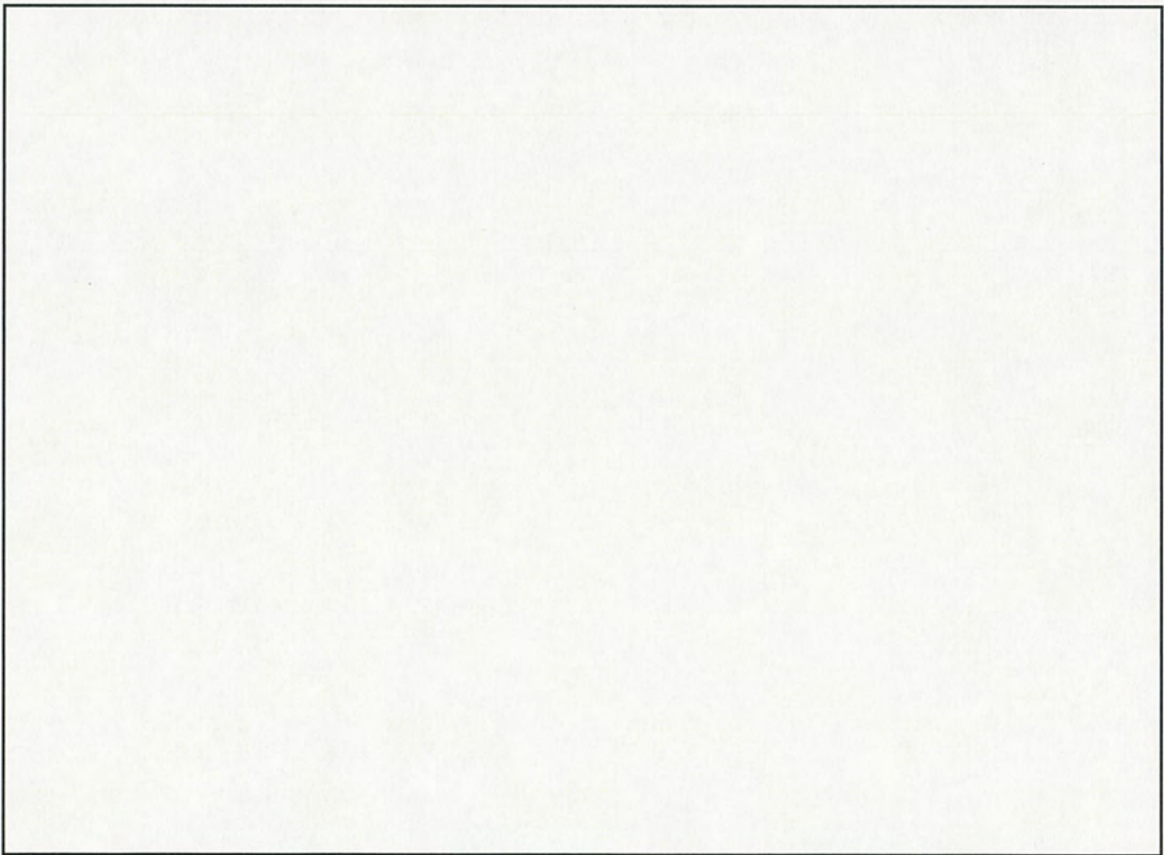


写真 1.4 内蓋 (溶接加工バイオネット嵌合部)

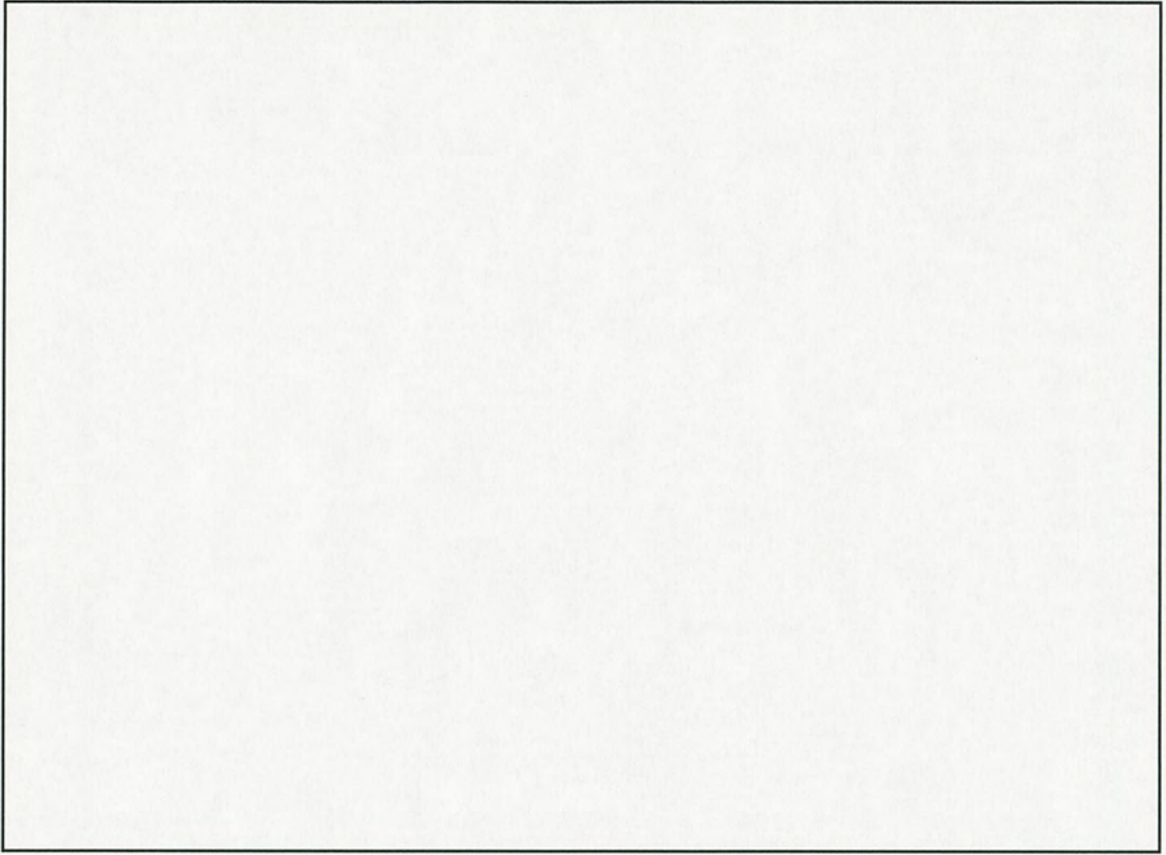


写真 1.5 内容器フランジ（重厚型）及び粉末収納缶の外観

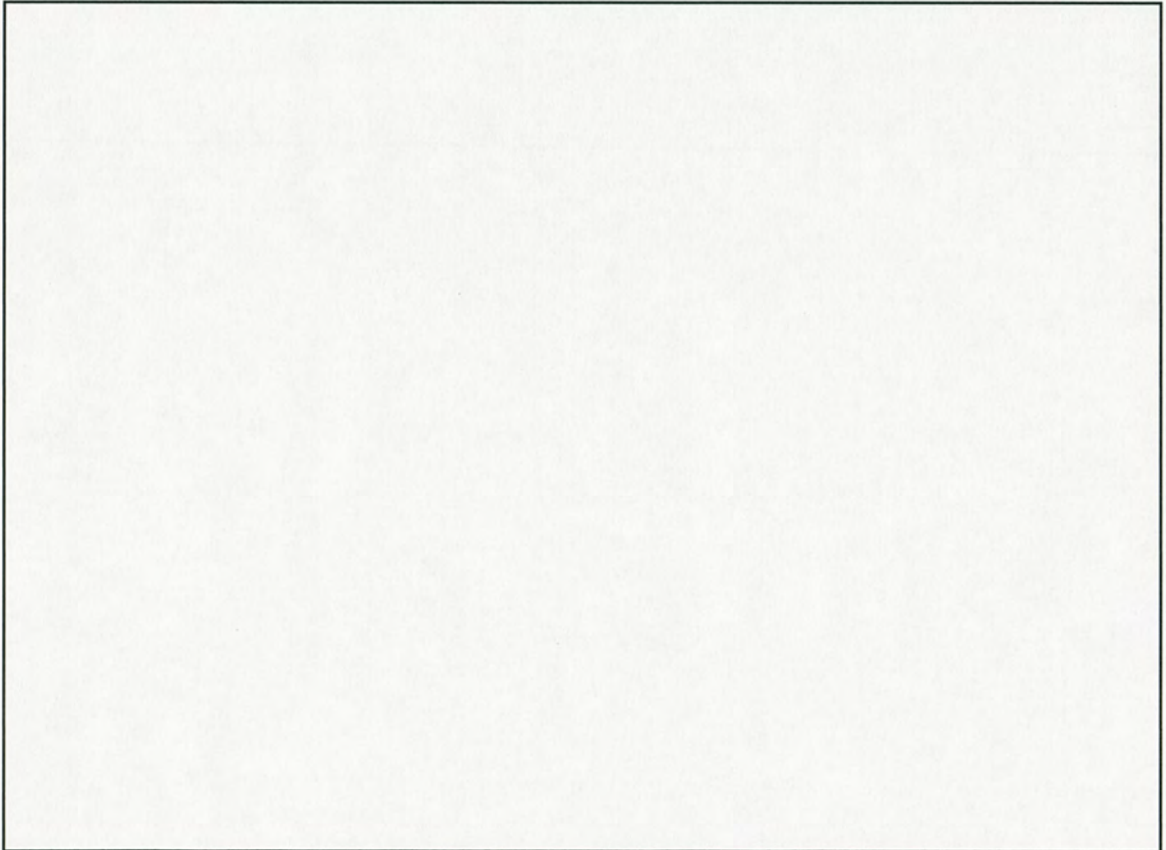


写真 1.6 内蓋の外観

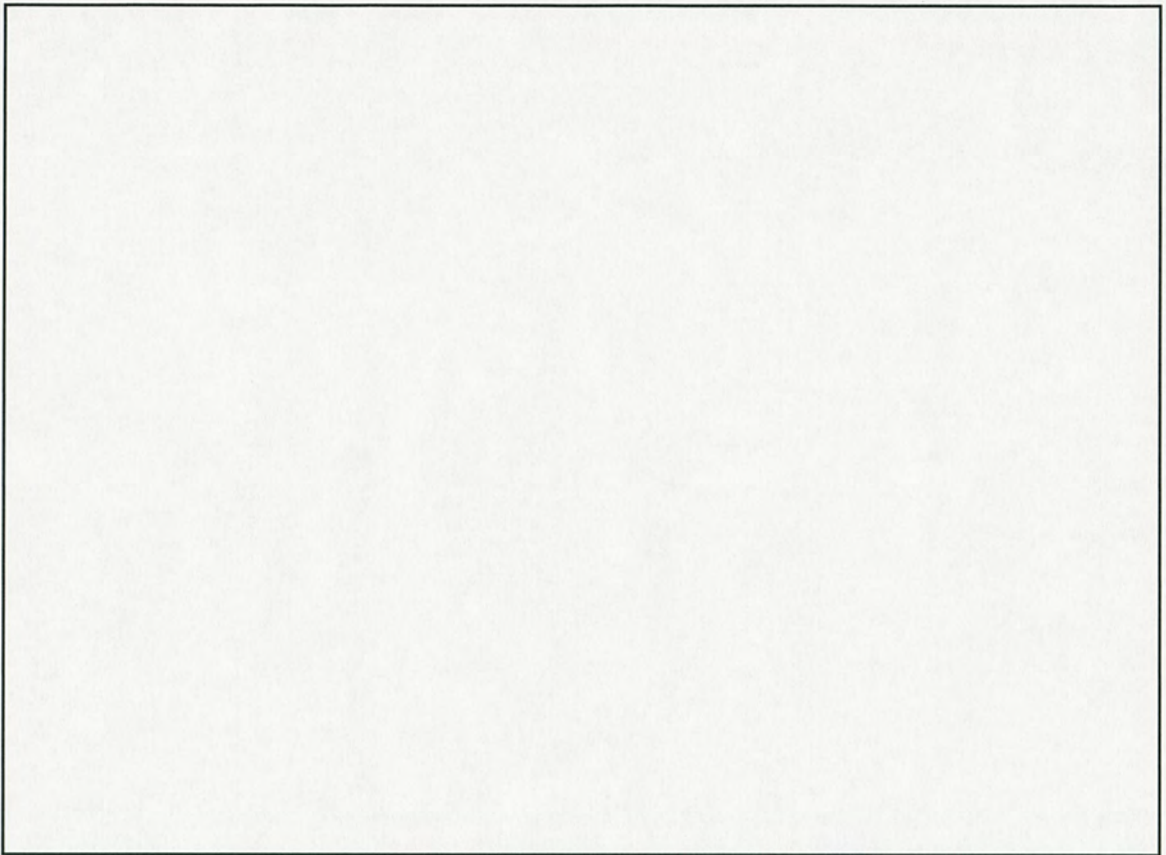


写真 1.7 貫通試験 (6 kg) 後

--

 内容器

--

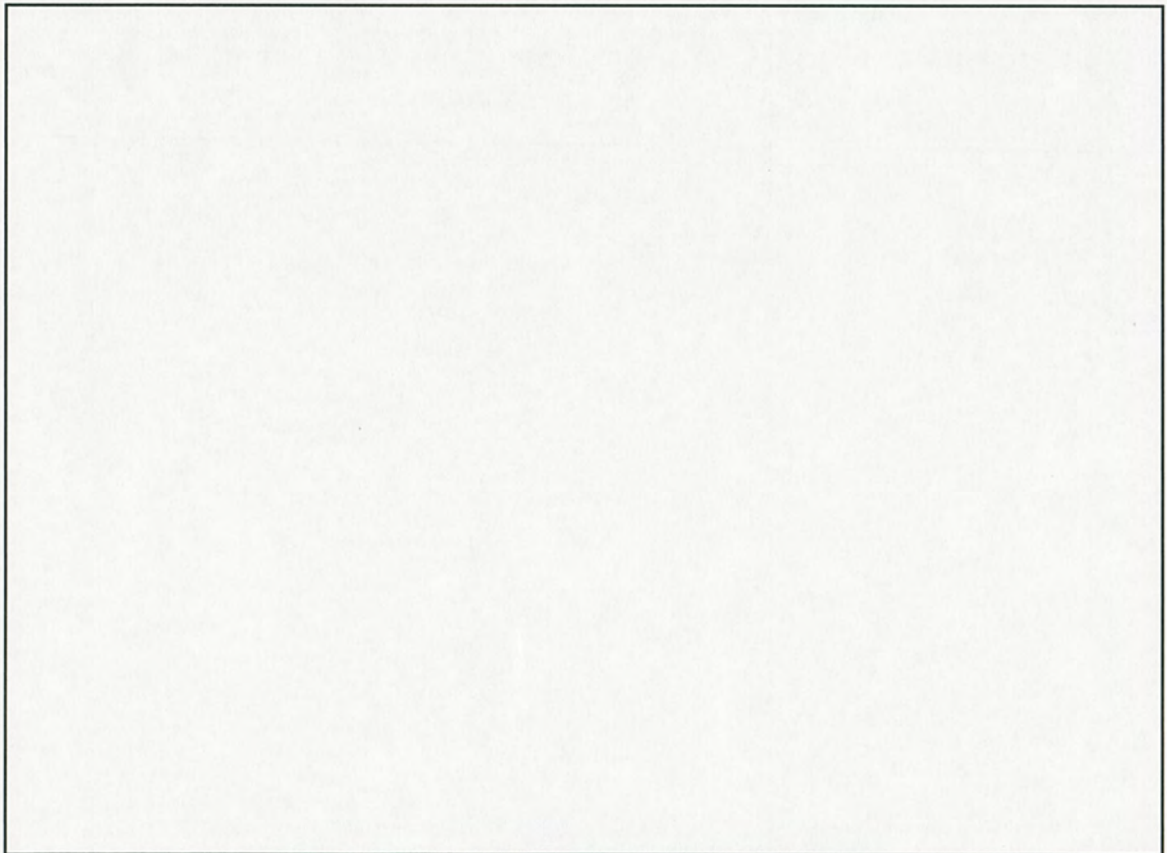


写真 1.8 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

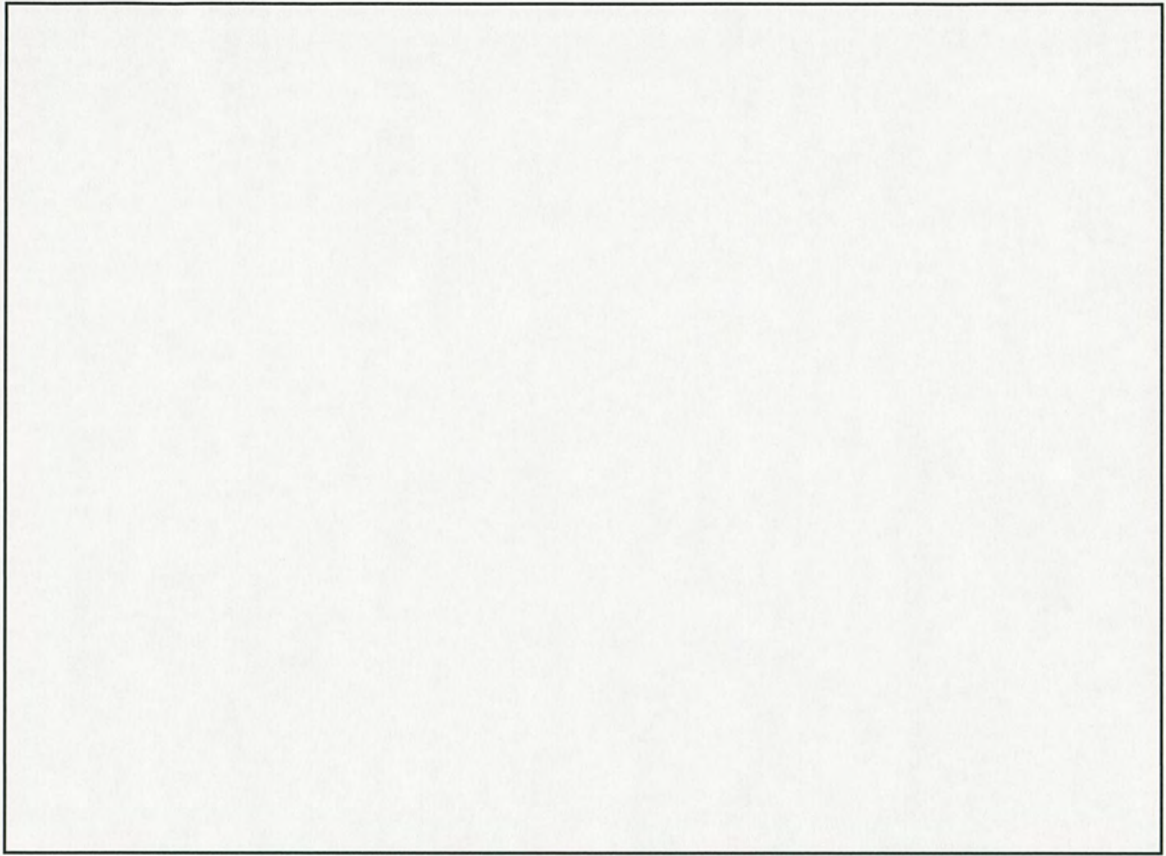


写真 1.9 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

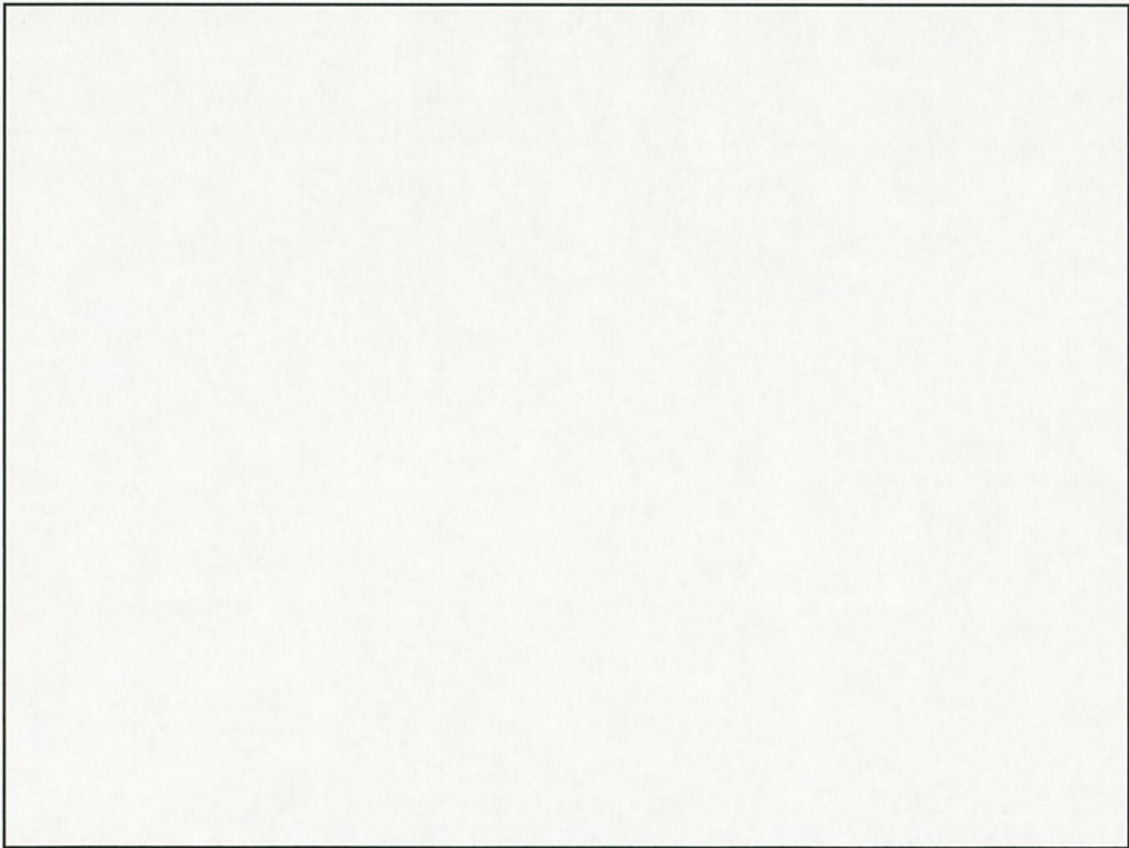


写真 1.10 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 上面エッジ部

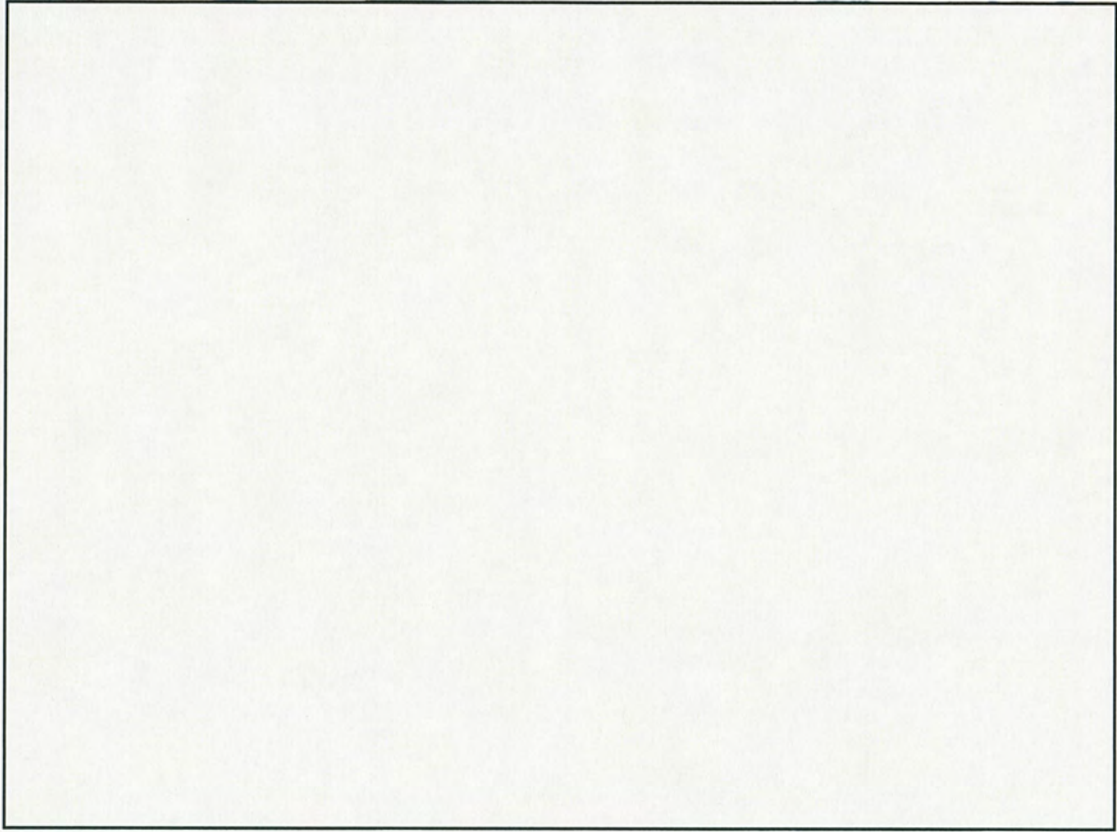


写真 1.11 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面エッジ部

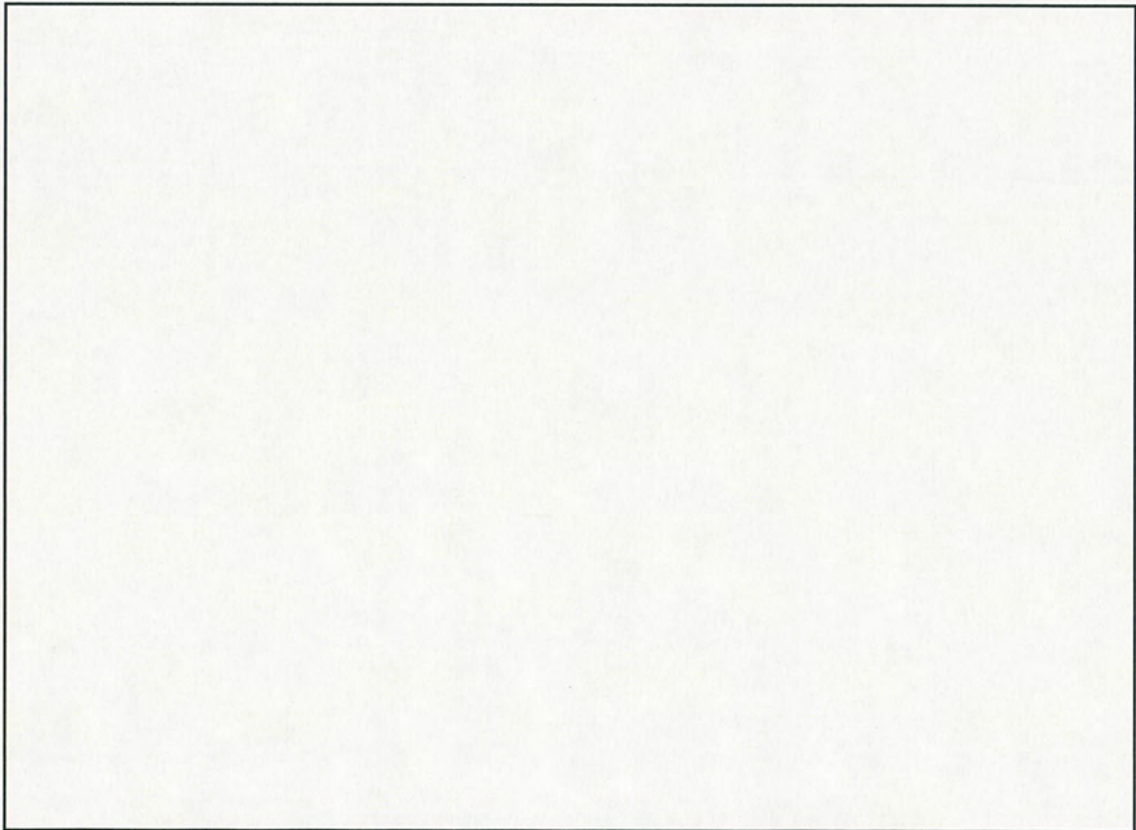


写真 1.12 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面エッジ部

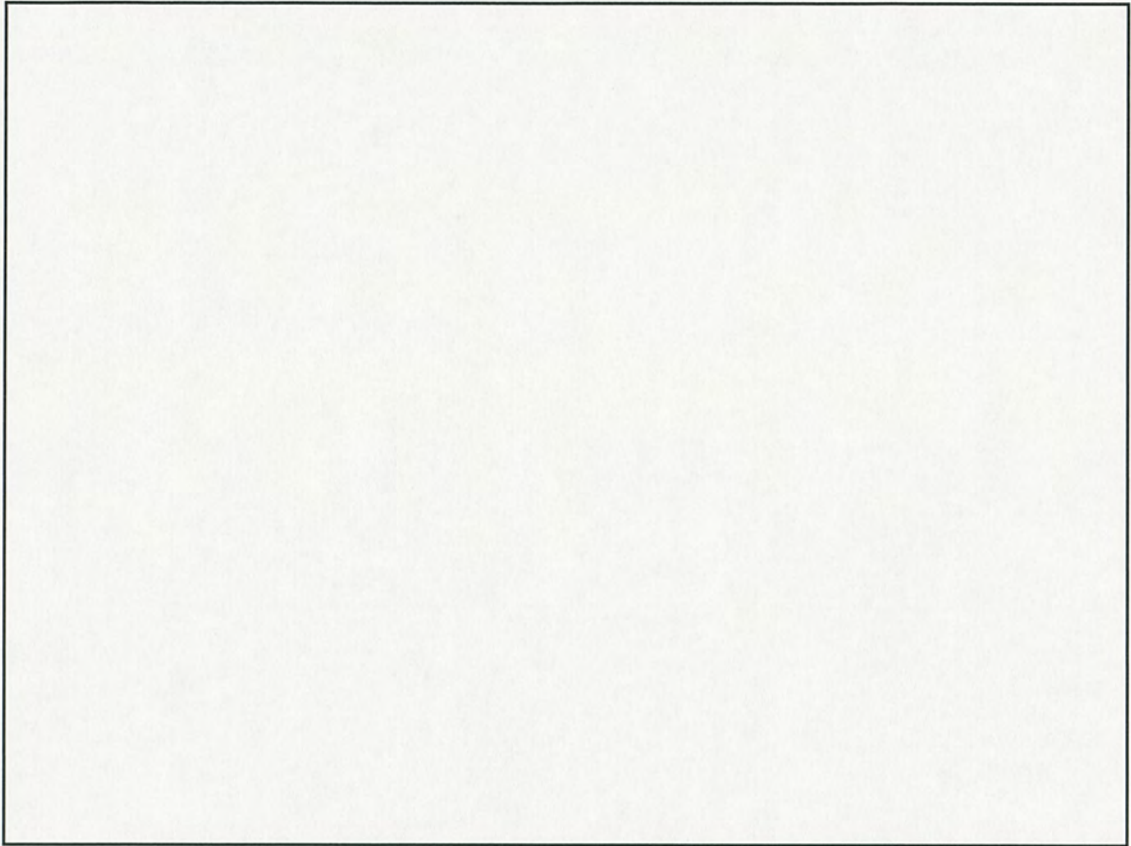


写真 1.13 落下試験（高さ 1.2 m）前 上面コーナー部

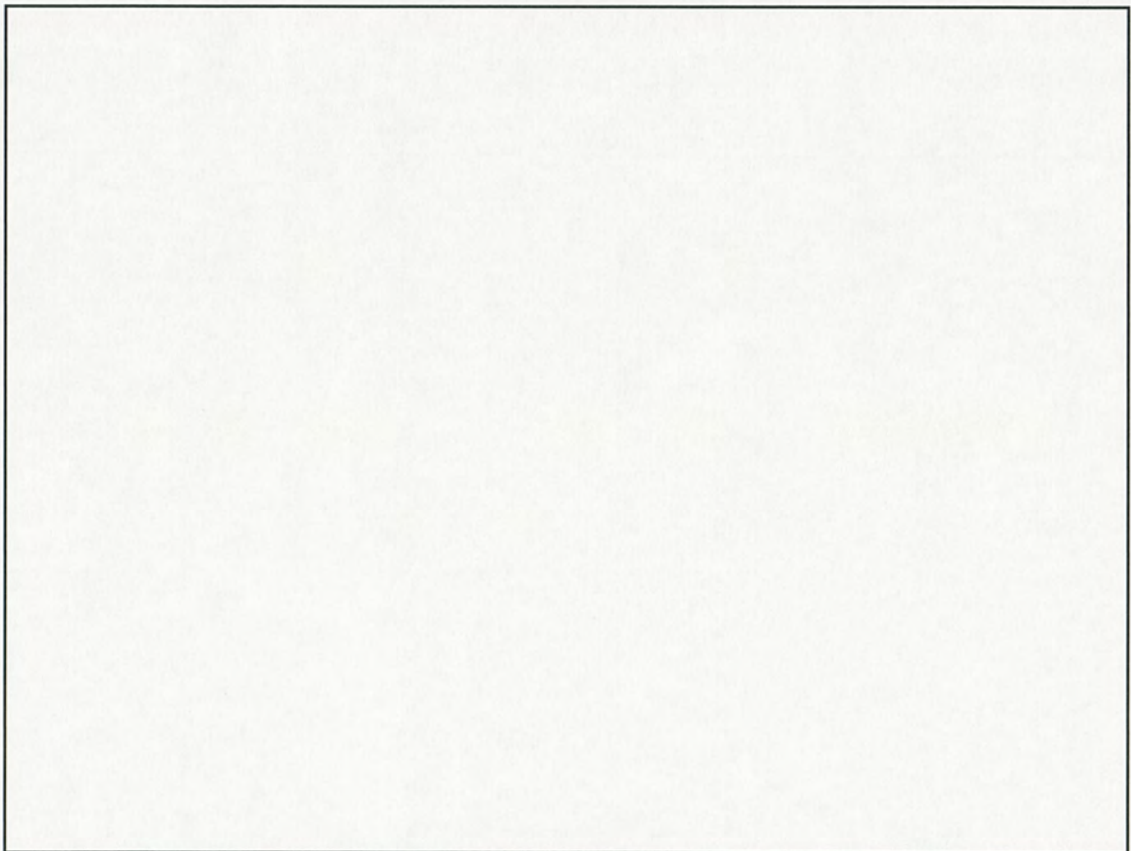


写真 1.14 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部

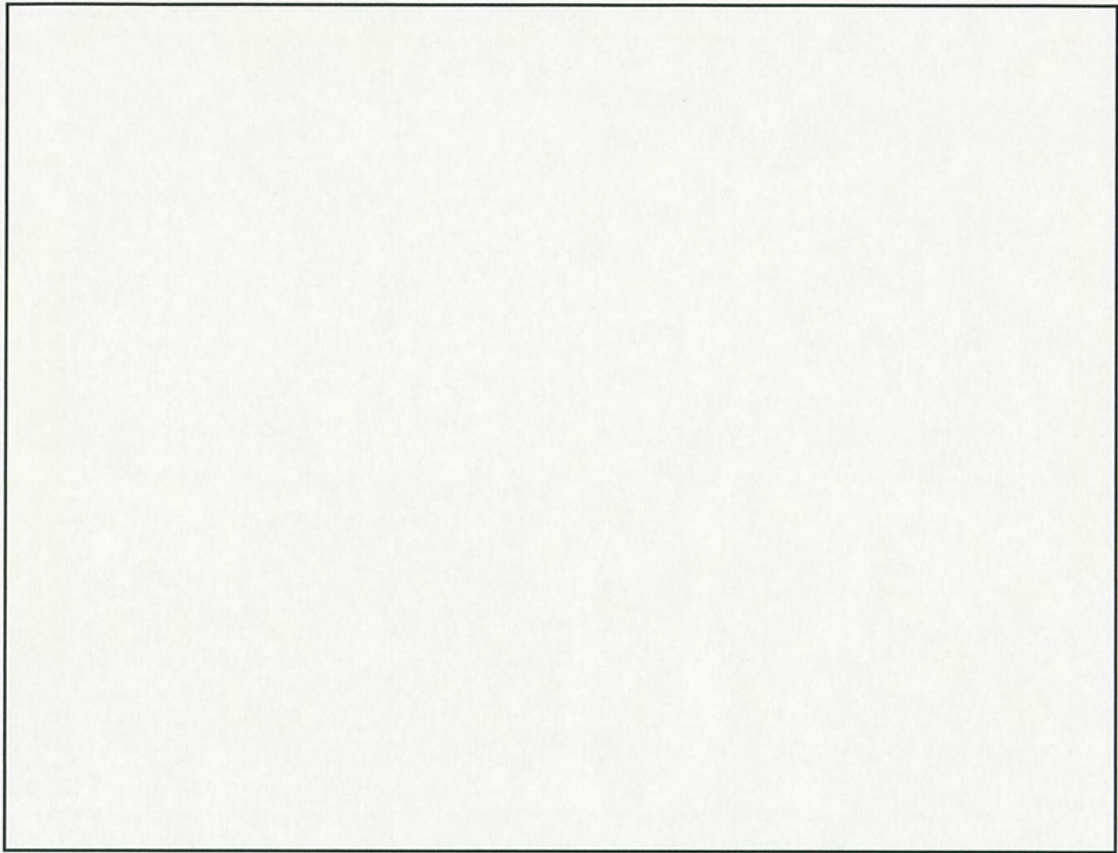


写真 1.15 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 側面中央

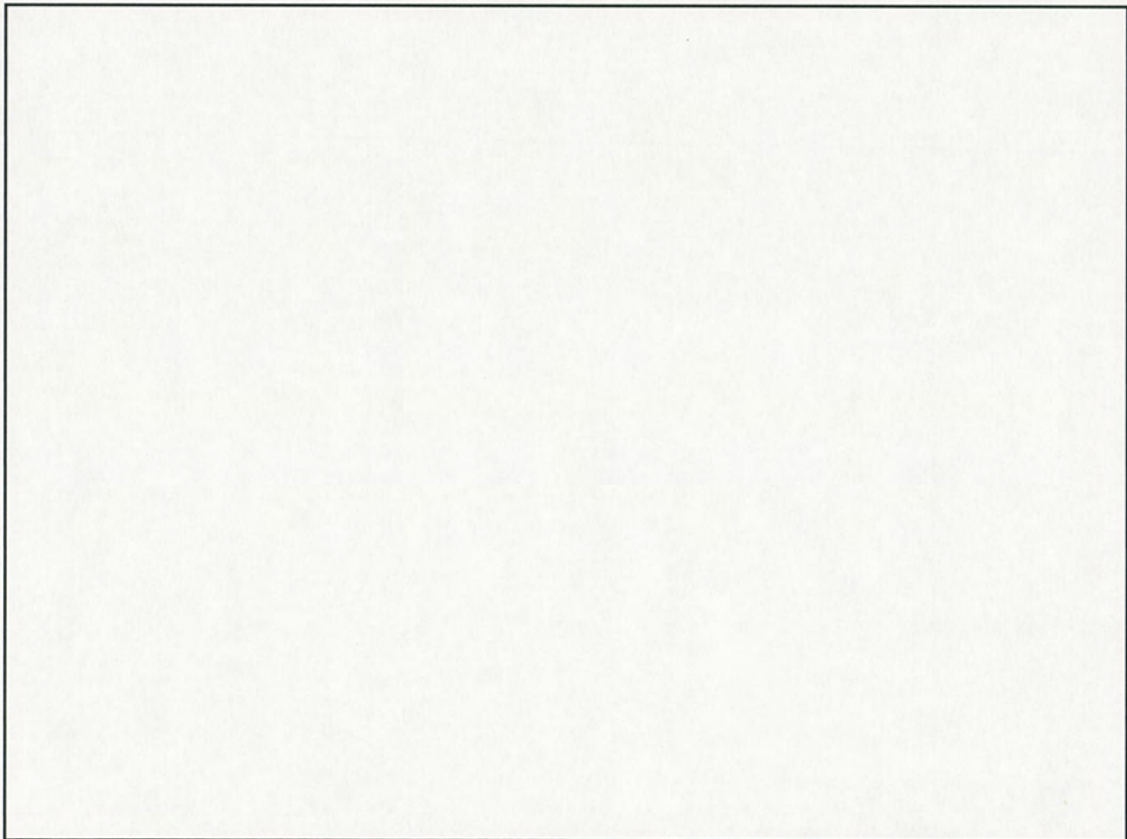


写真 1.16 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 側面中央

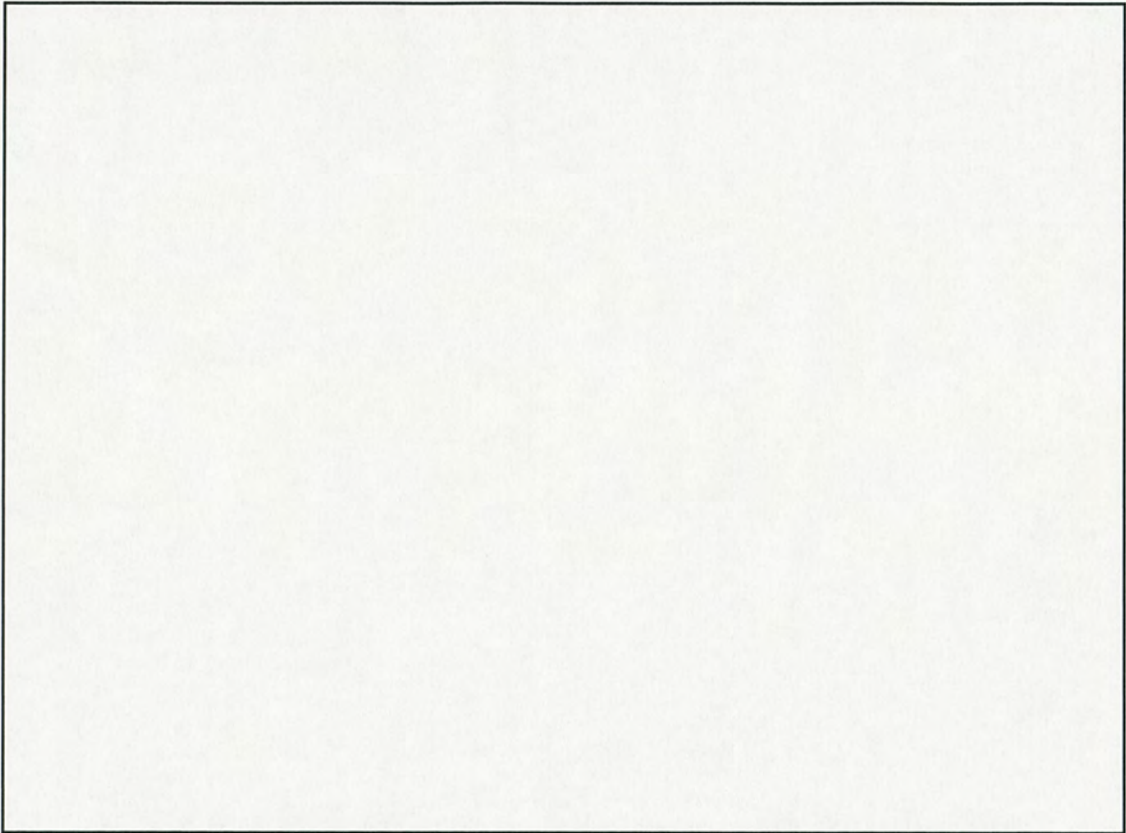


写真 1.17 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 底面中央付近

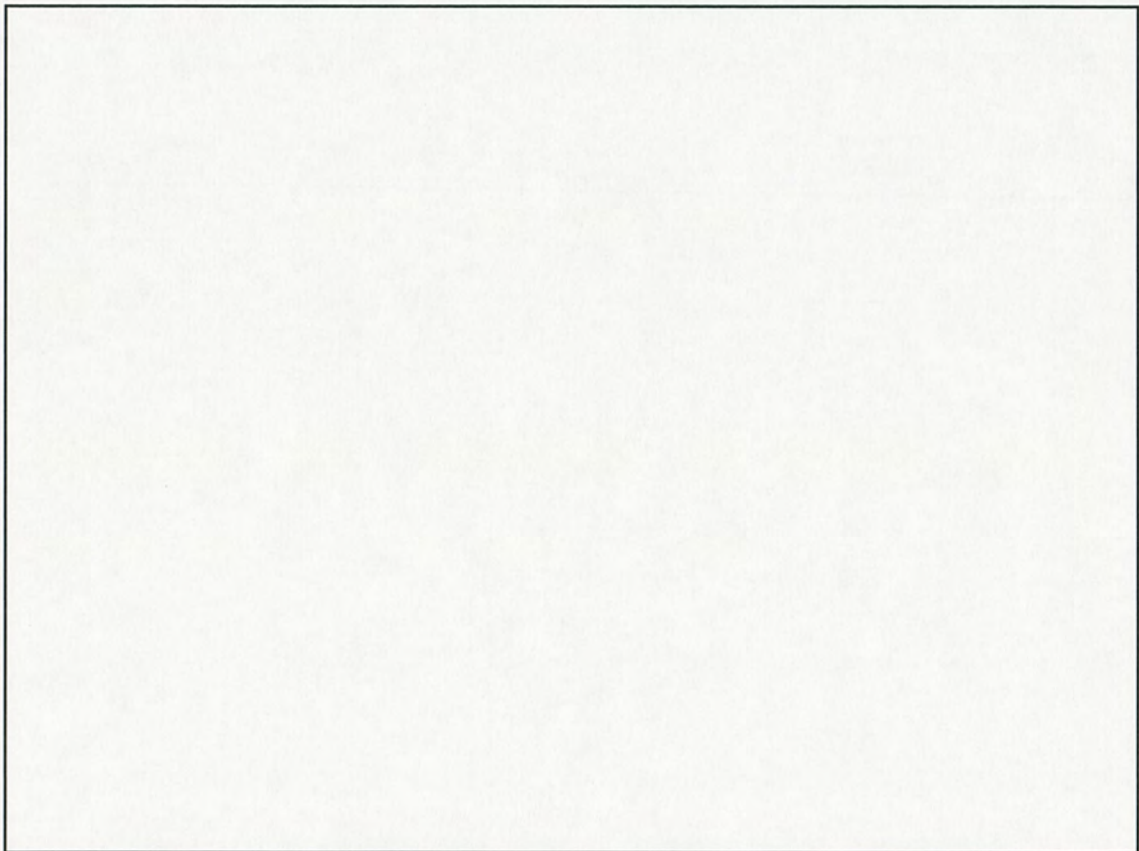


写真 1.18 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

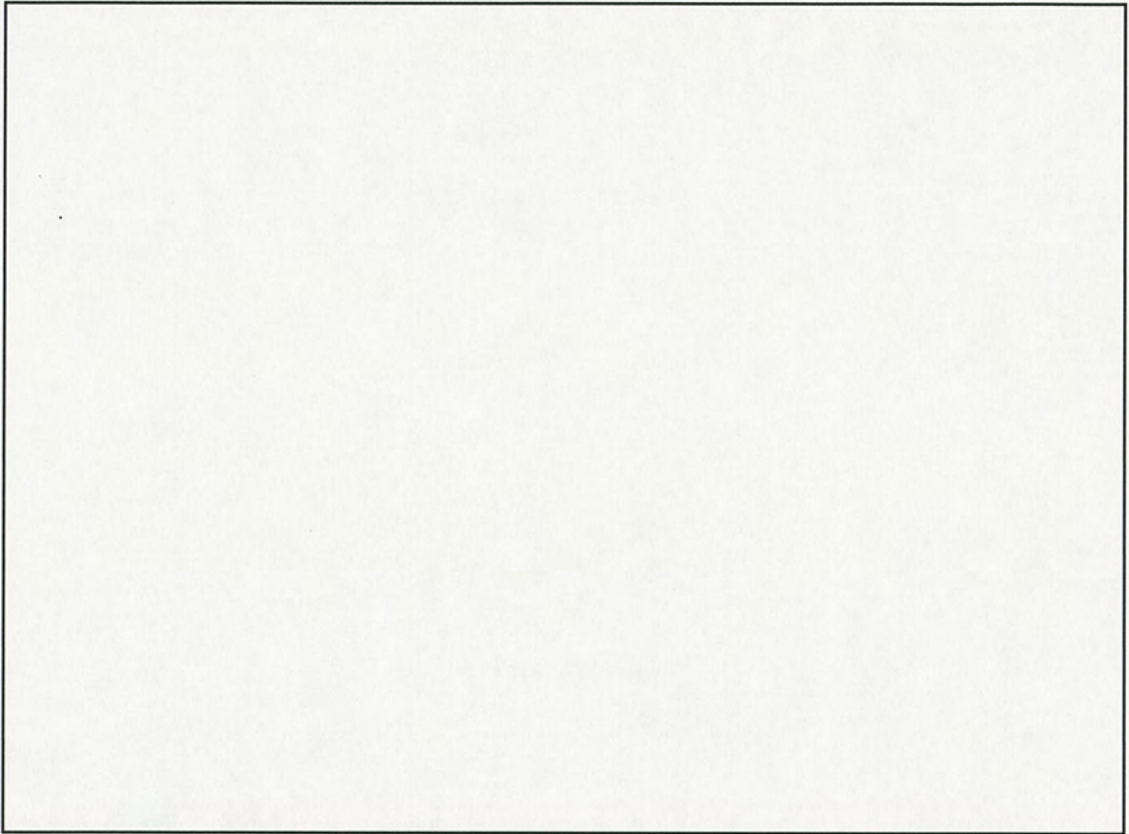


写真 1.19 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋上面

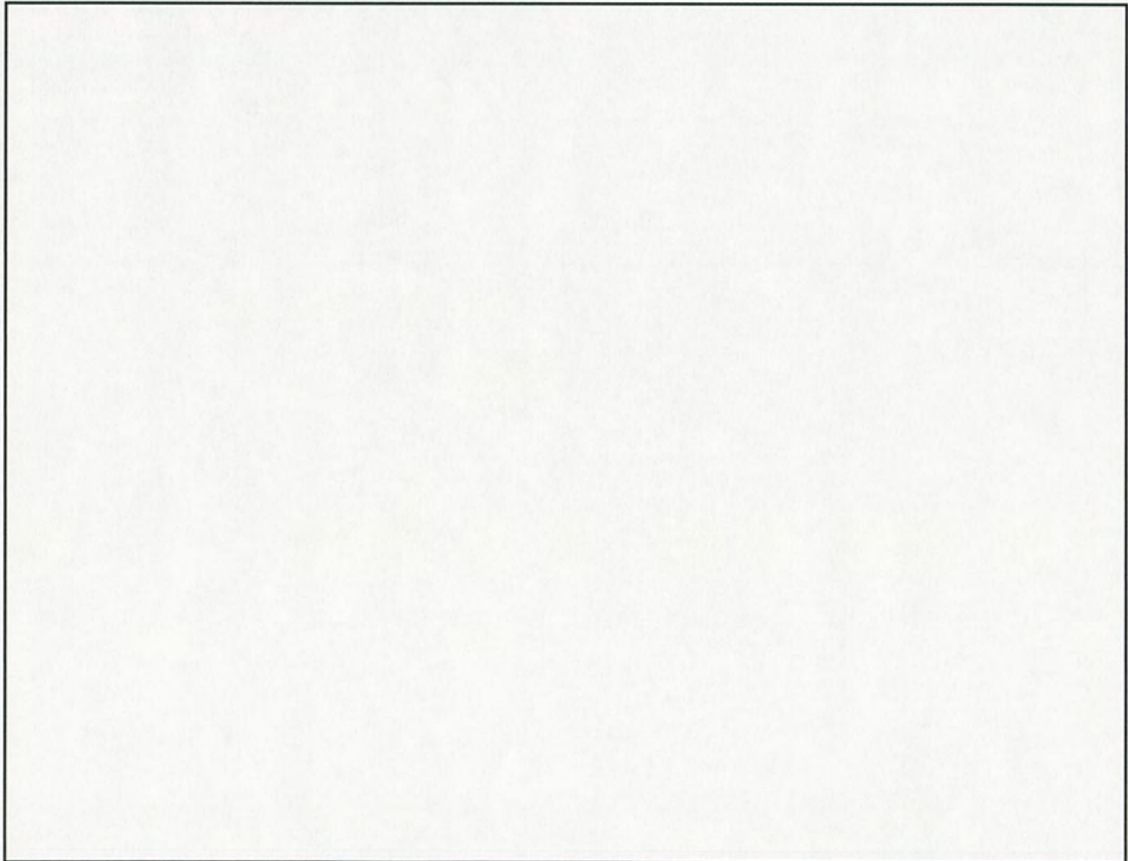


写真 1.20 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋上面

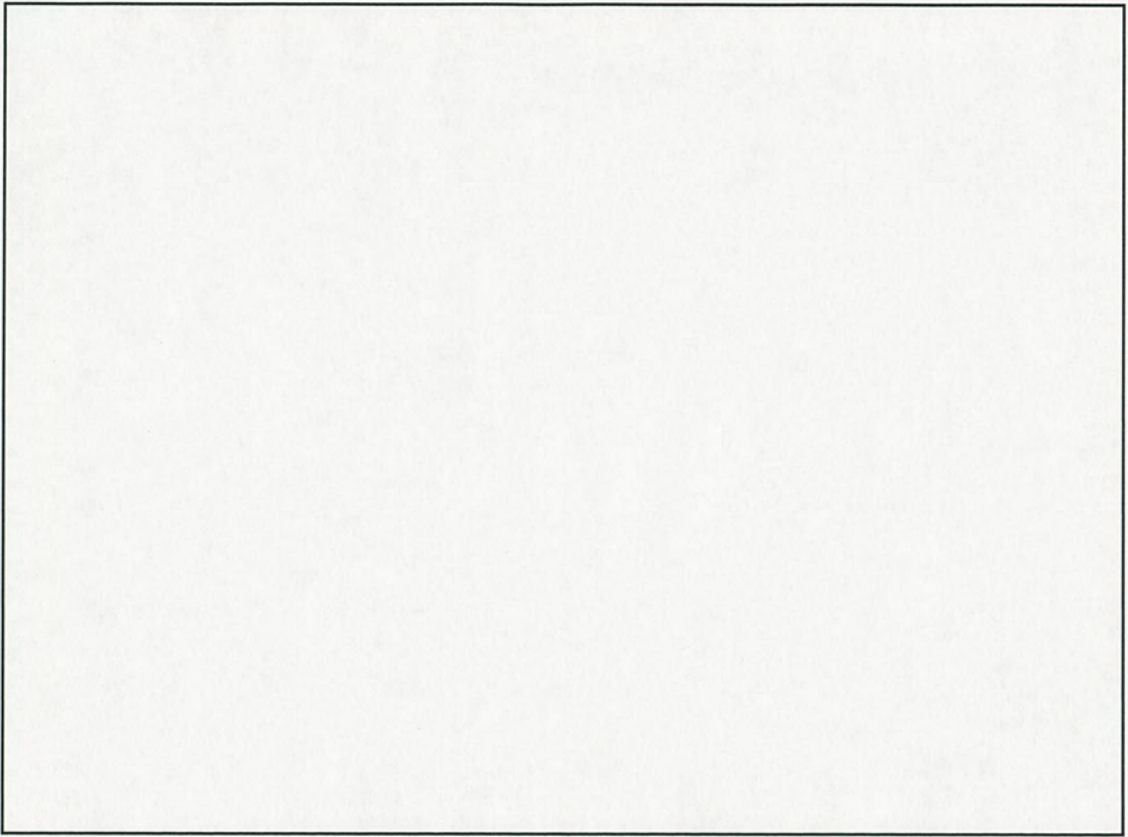


写真 1.21 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面エッジ部

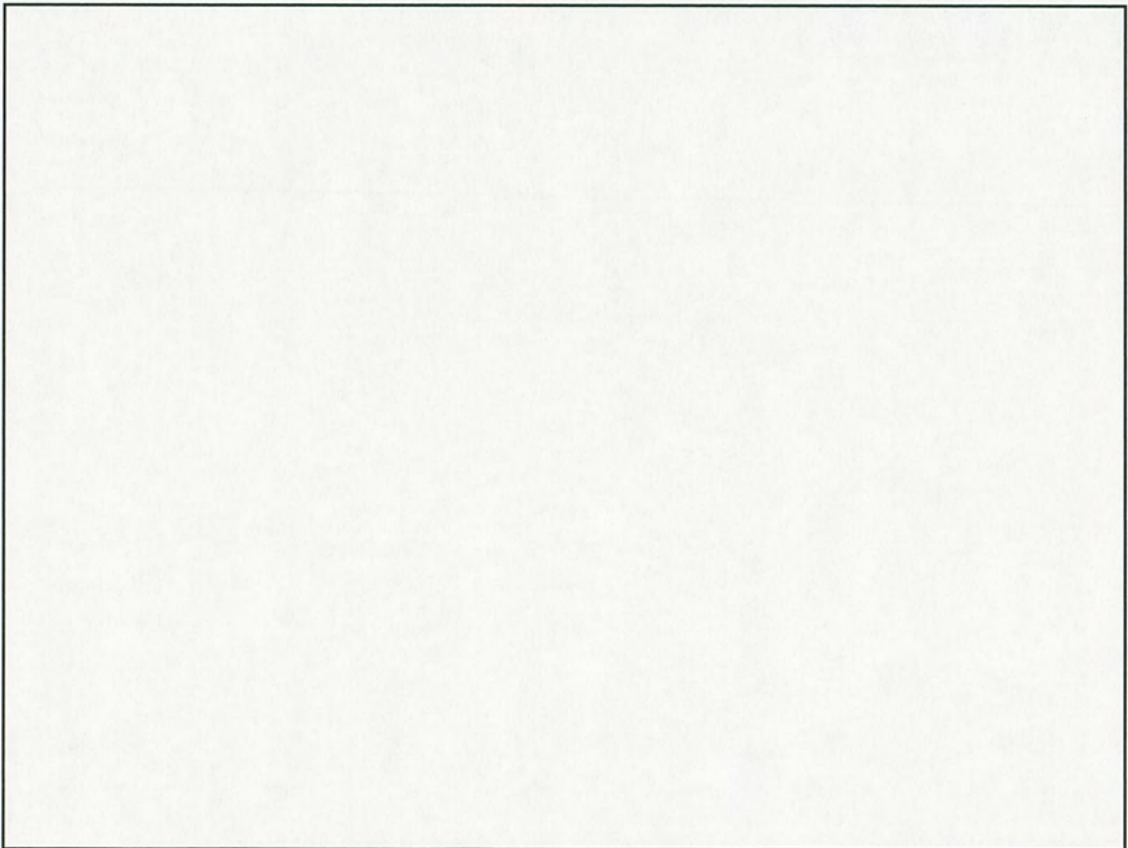


写真 1.22 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部

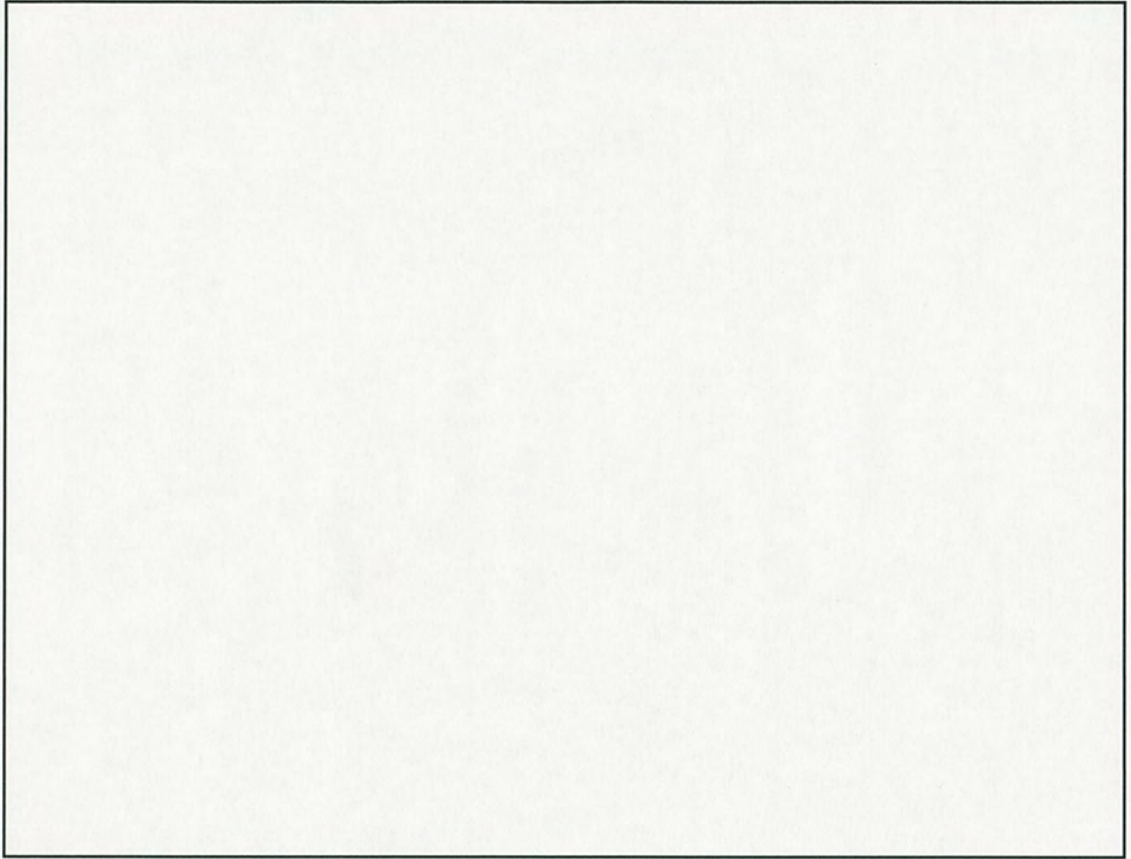


写真 1.23 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面エッジ部

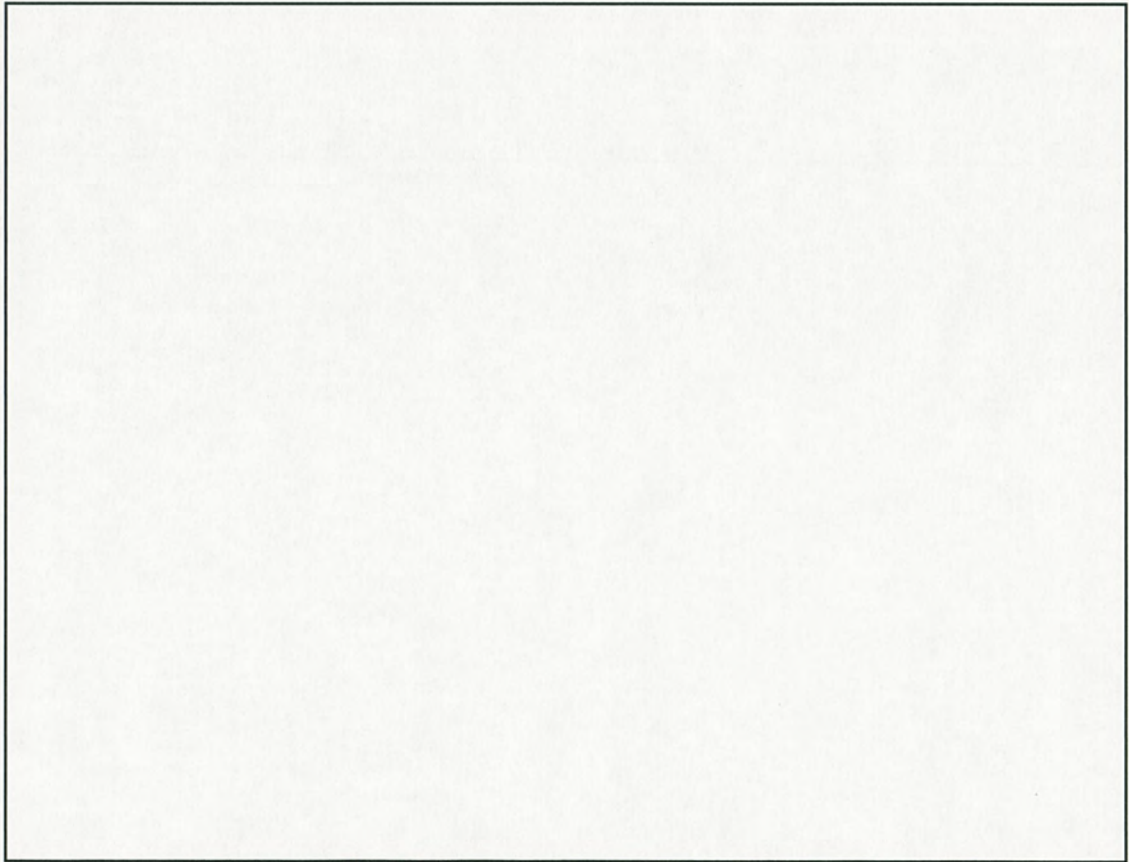


写真 1.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

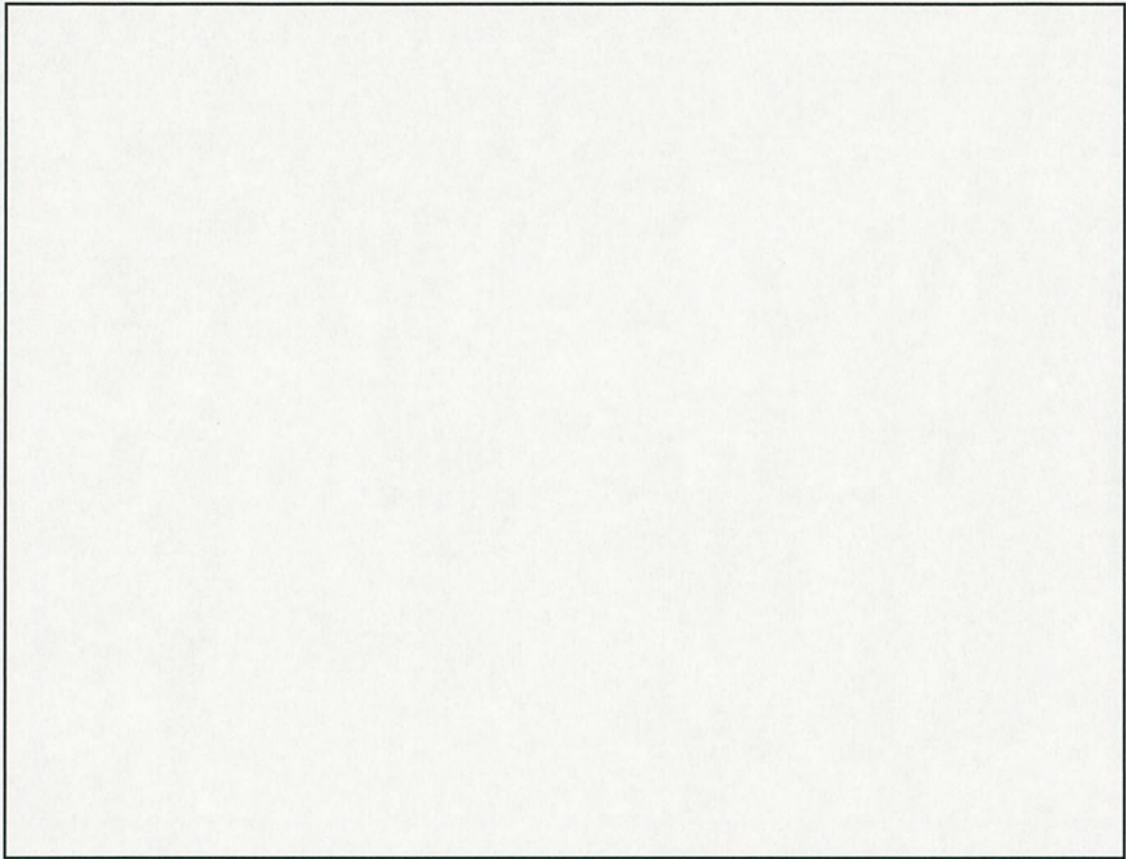


写真 1.25 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋バイオネット嵌合部間



写真 1.26 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋バイオネット嵌合部間

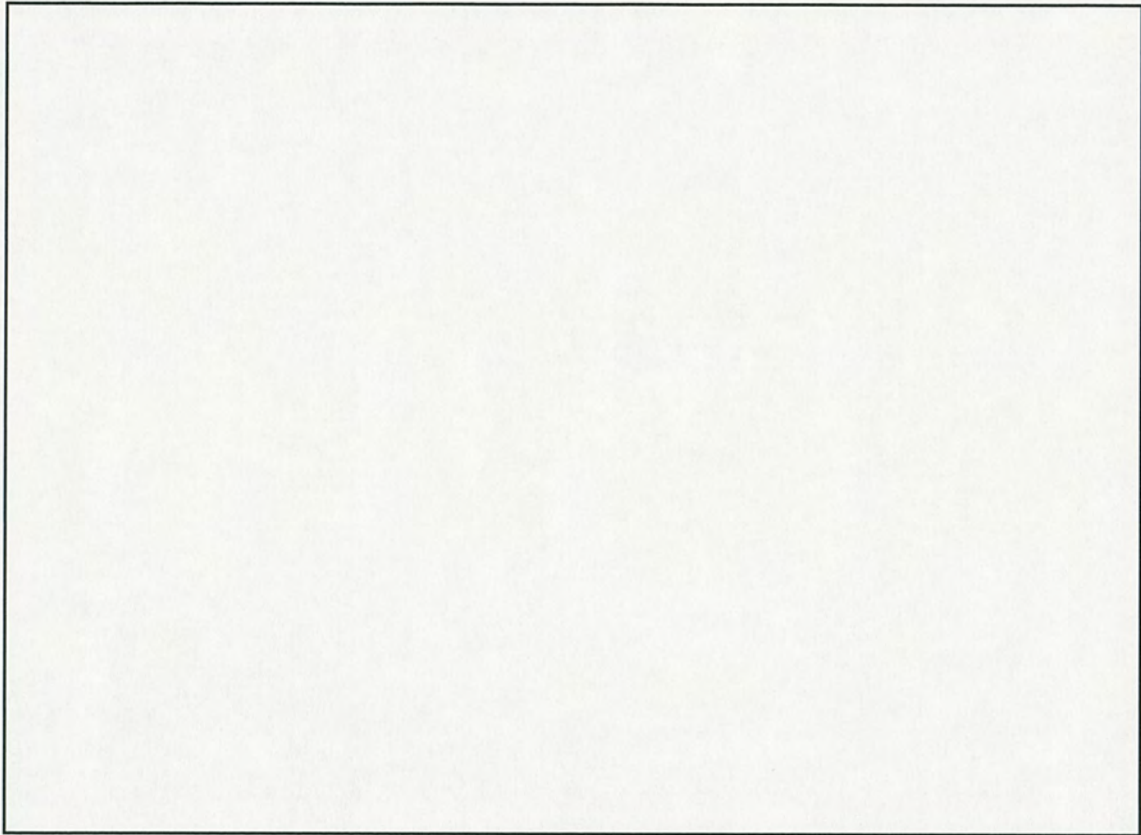


写真 1.27 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋上面

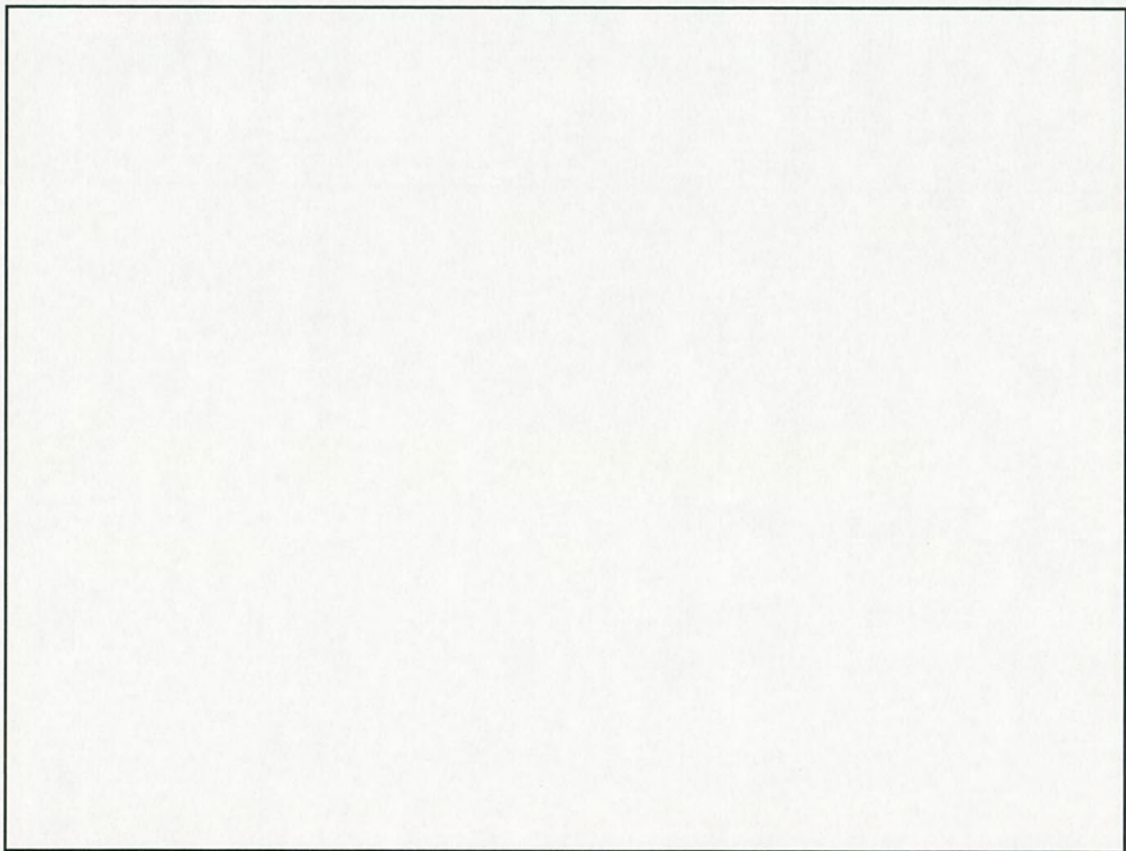


写真 1.28 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋バイオネット嵌合部間

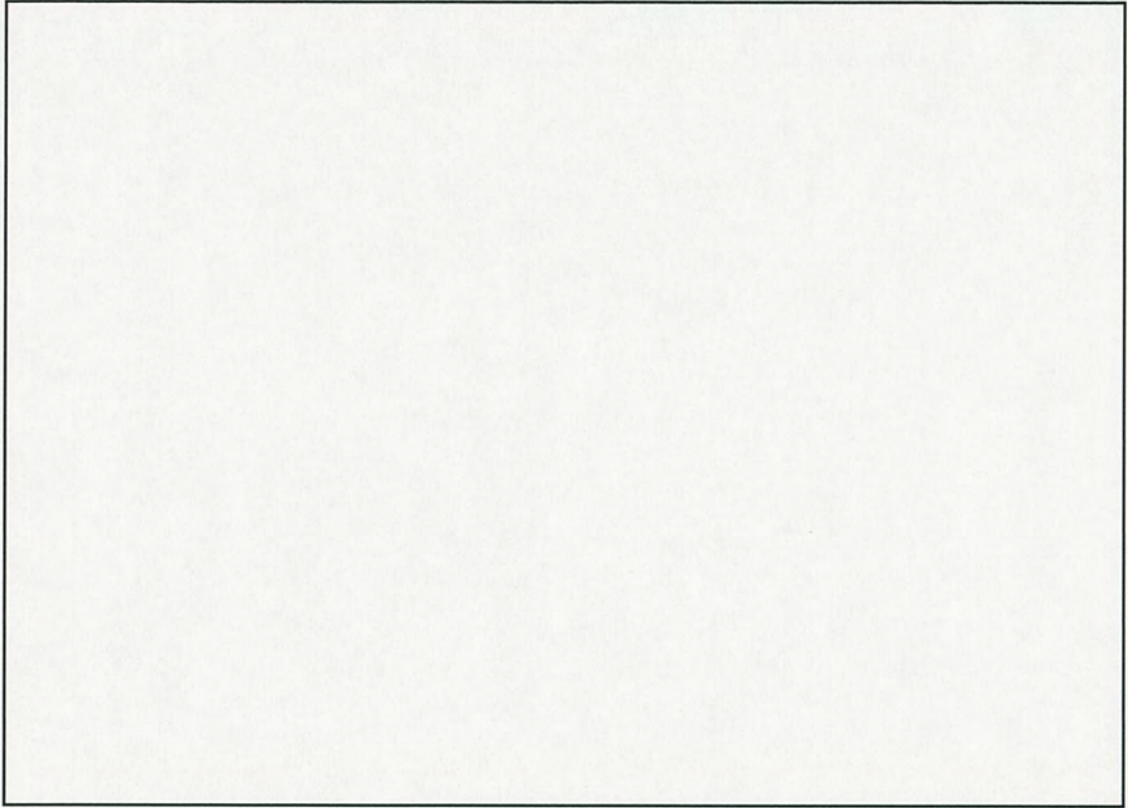


写真 1.29 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

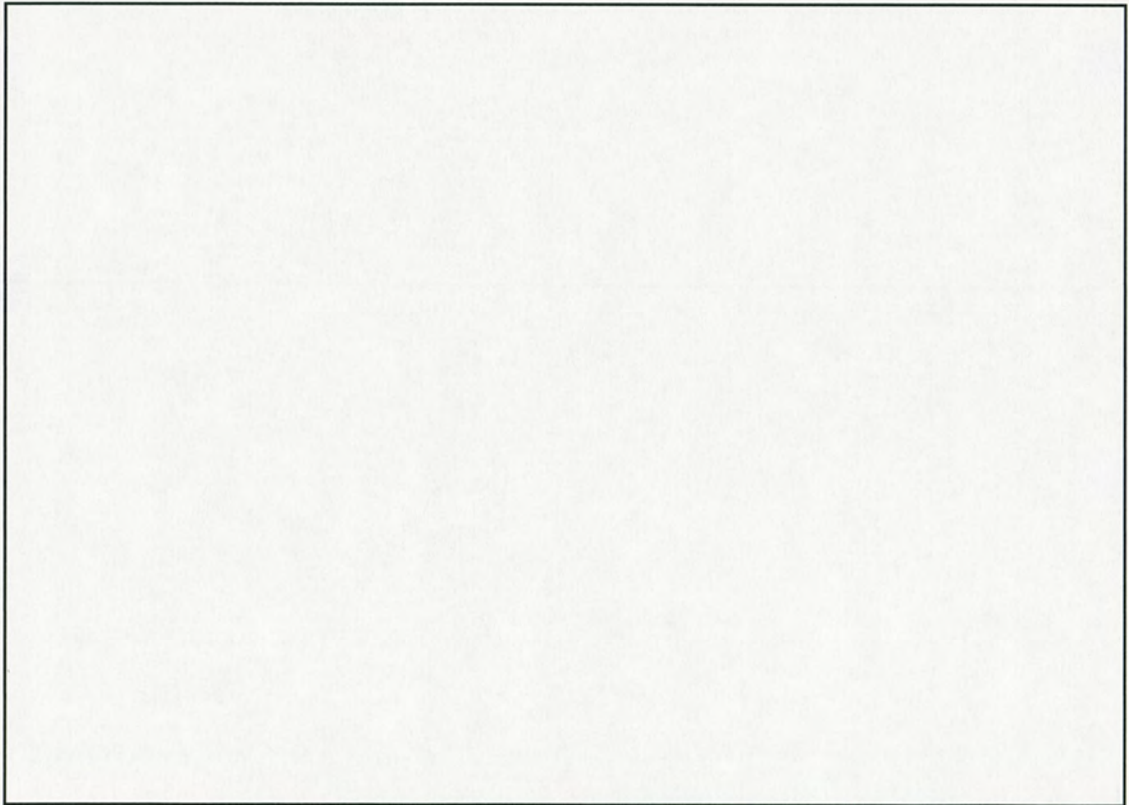


写真 1.30 貫通試験 (6 kg) 後 内容器

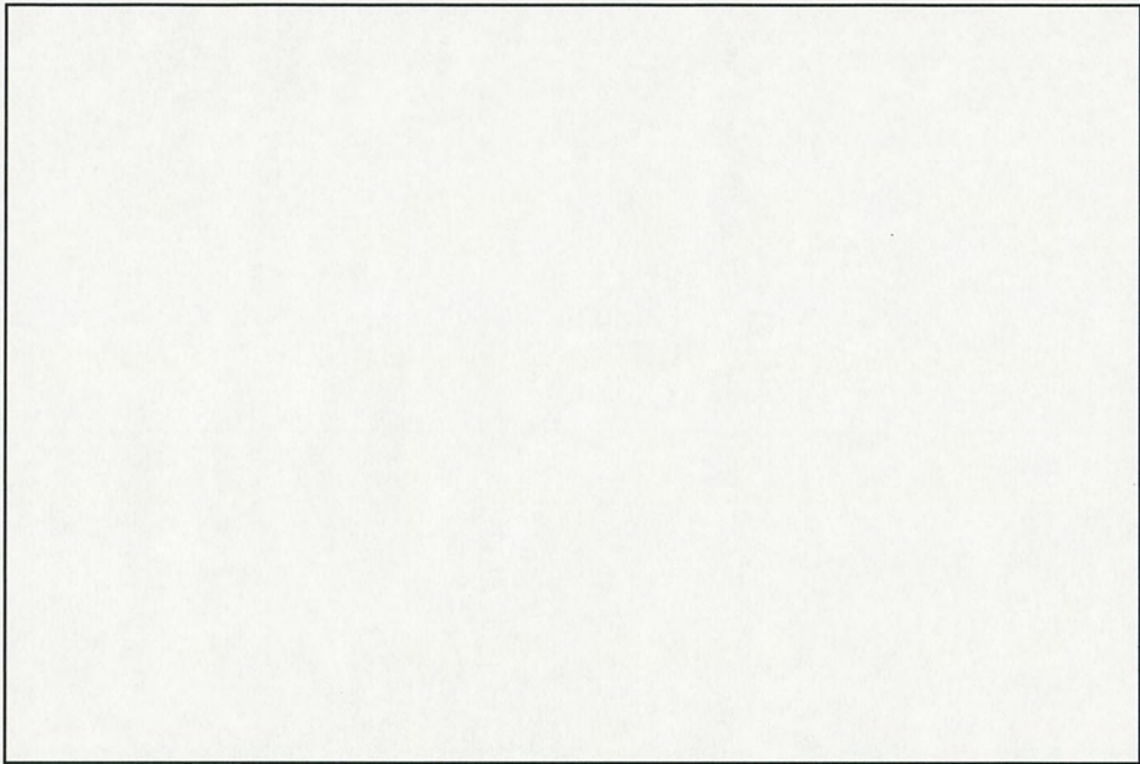


写真 1.31 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 側面

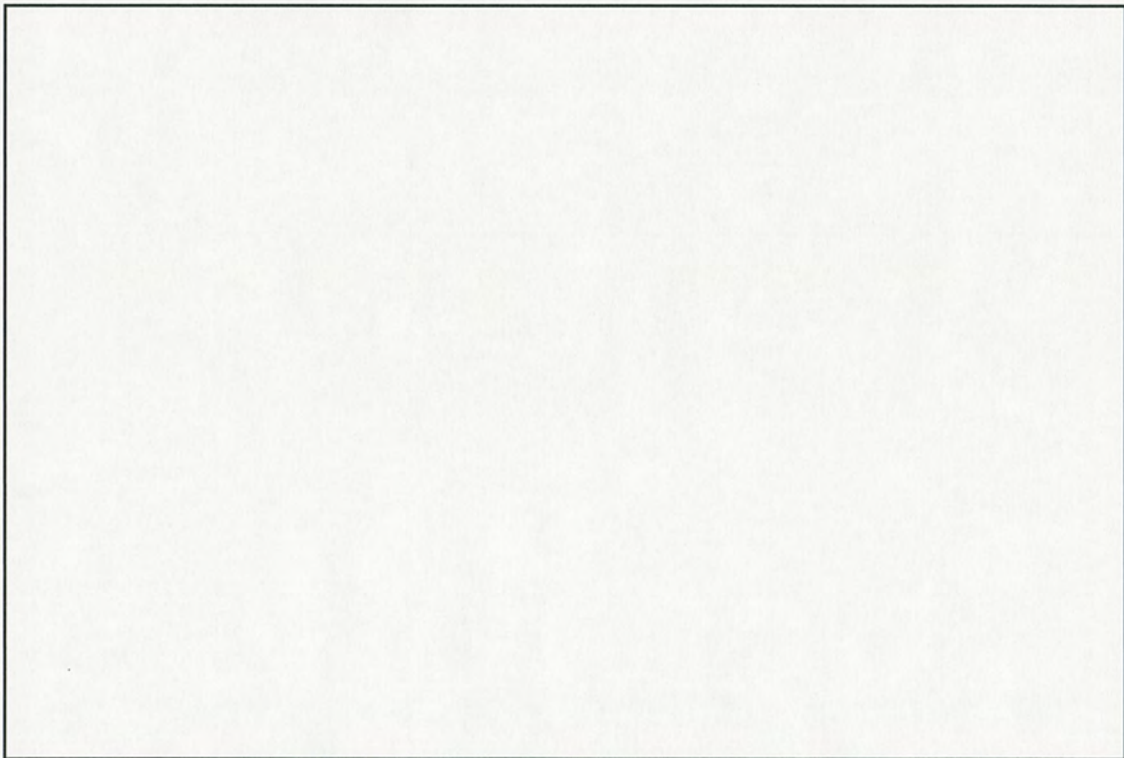


写真 1.32 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 側面

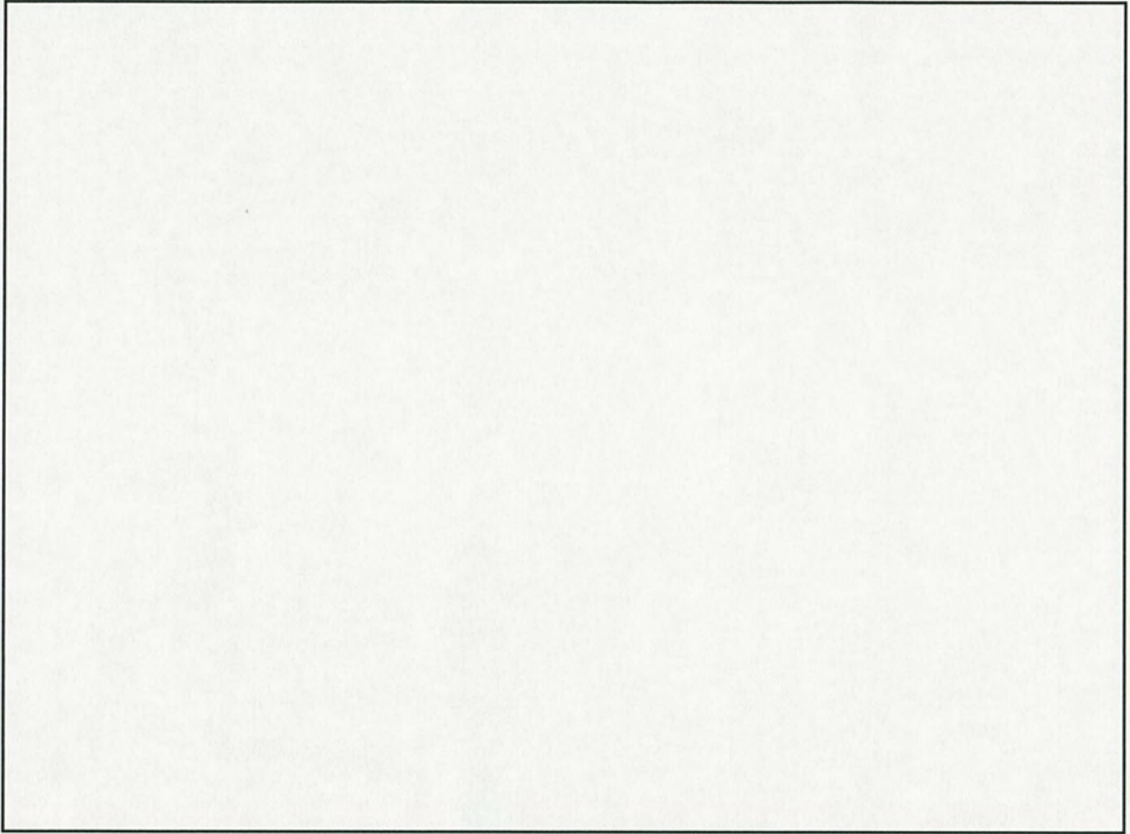


写真 1.33 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 上面

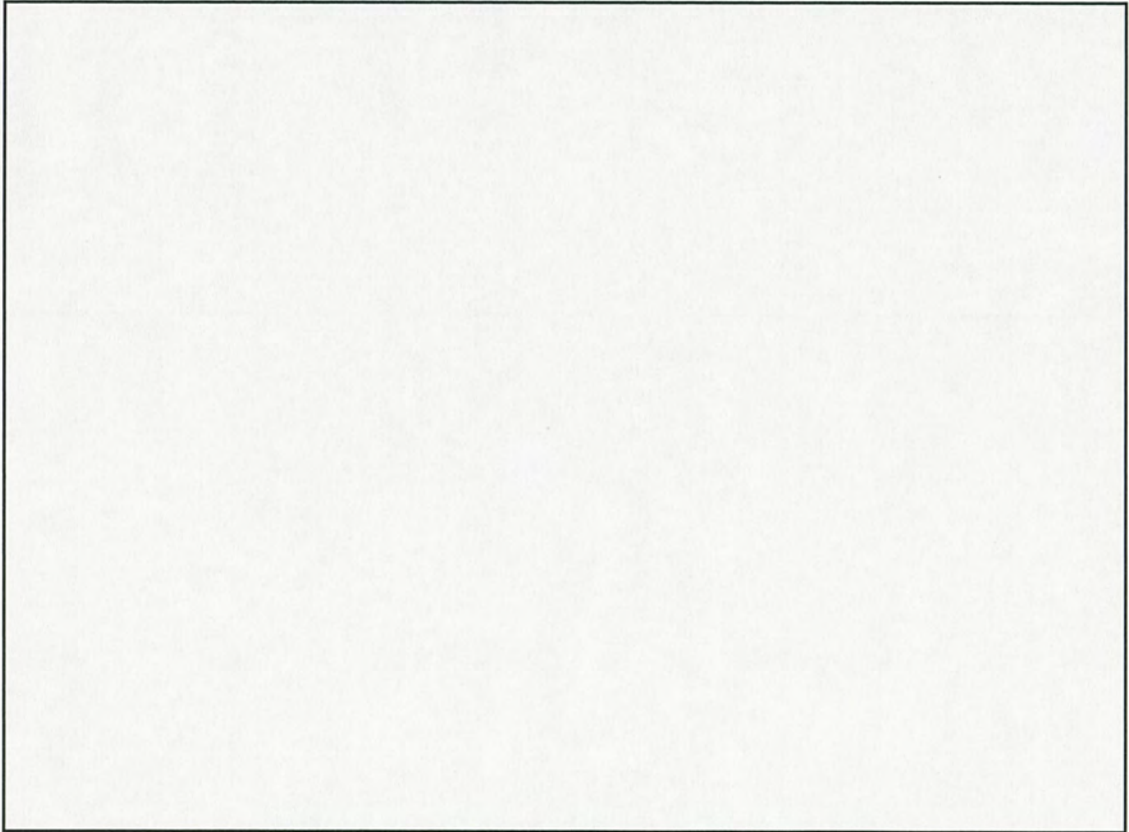


写真 1.34 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 上面

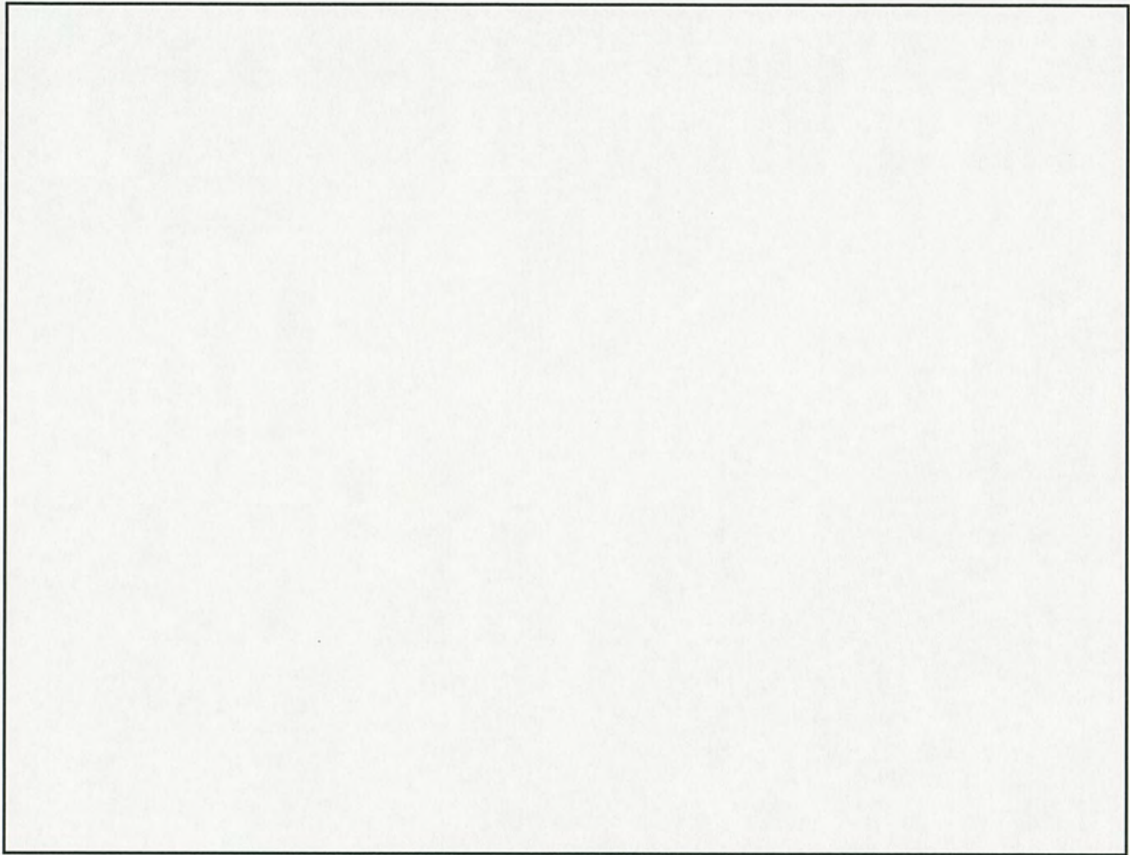


写真 1.35 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 上面

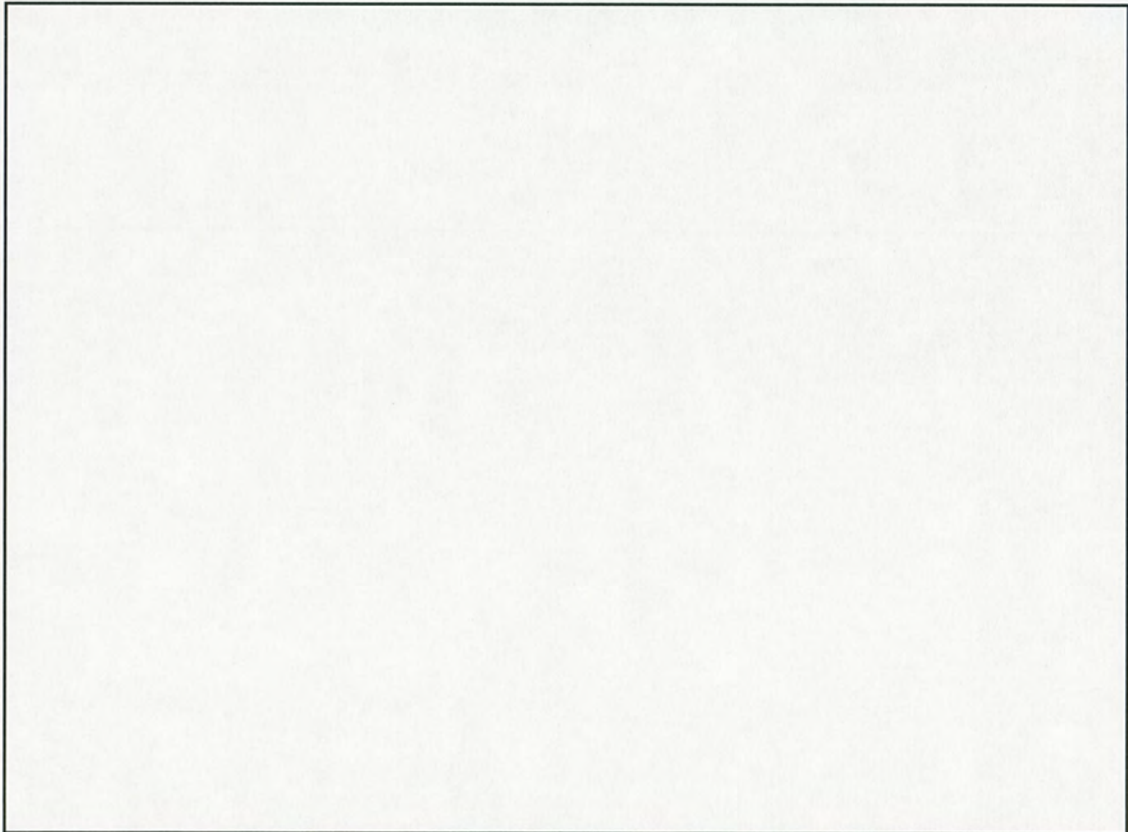


写真 1.36 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 底面

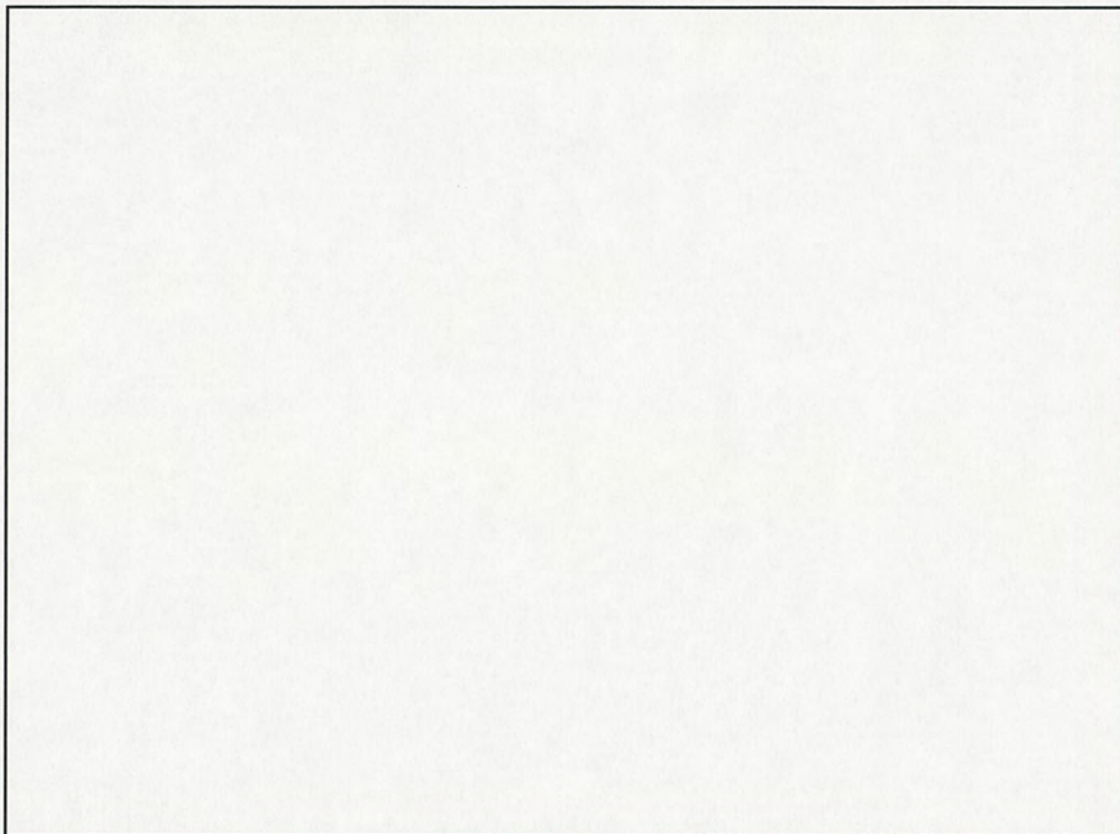


写真 1.37 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 底面

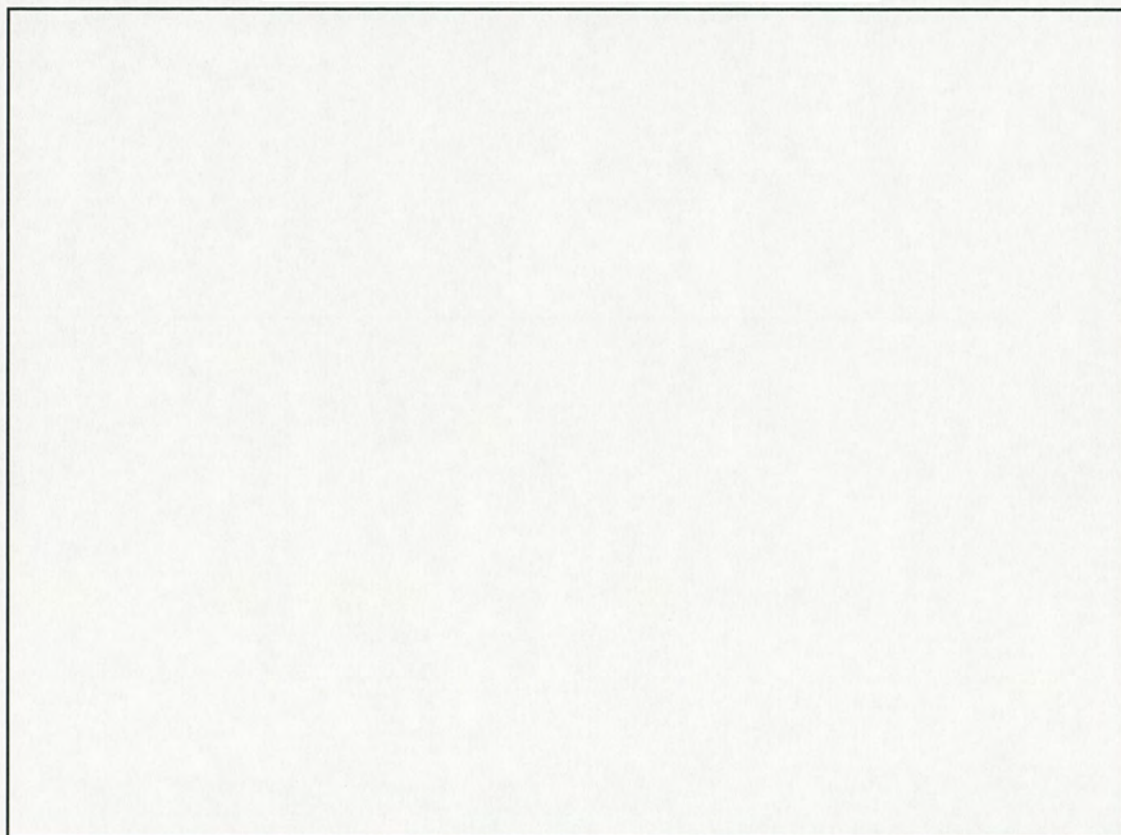


写真 1.38 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 底面中央付近

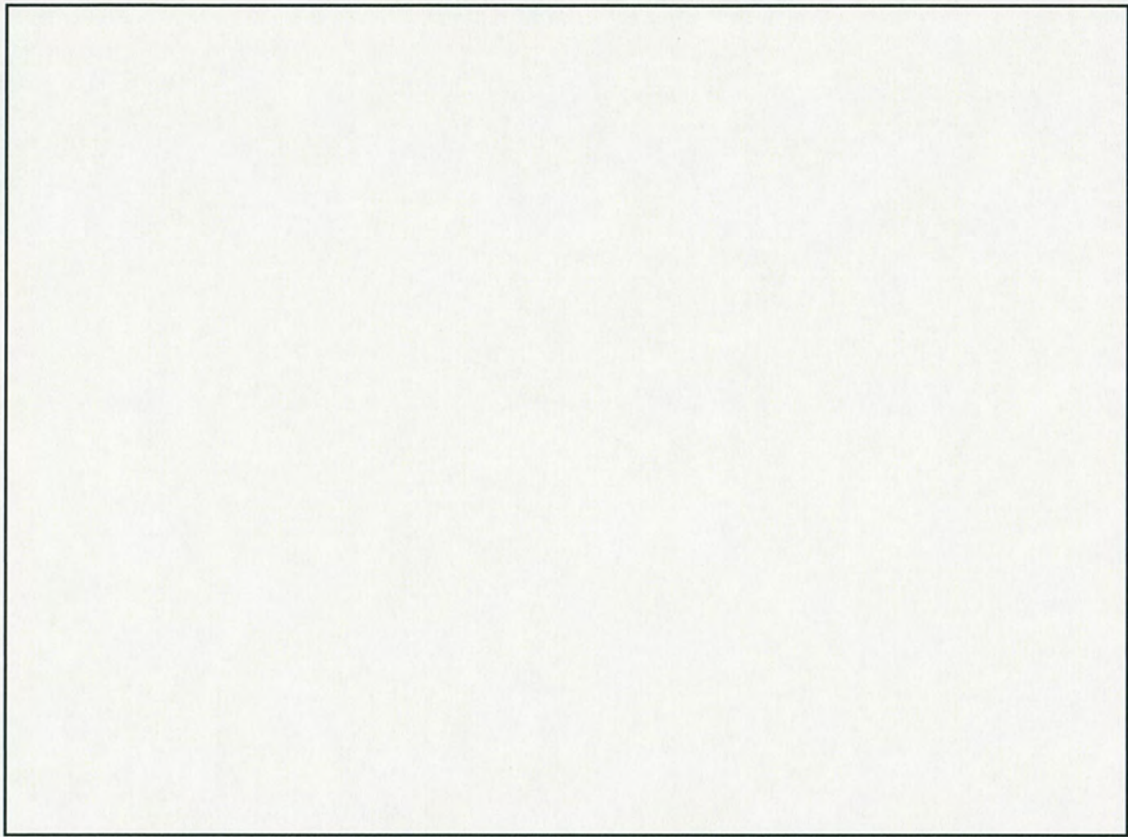


写真 1.39 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

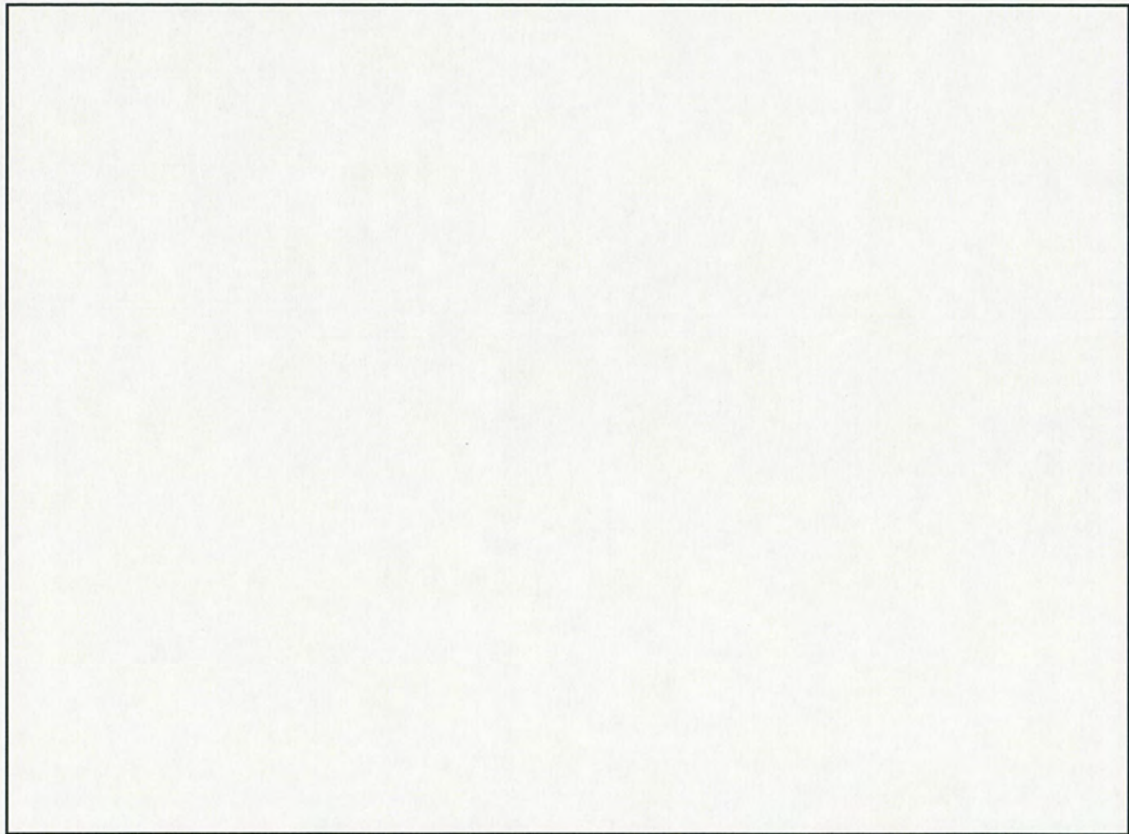


写真 1.40 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 内容器

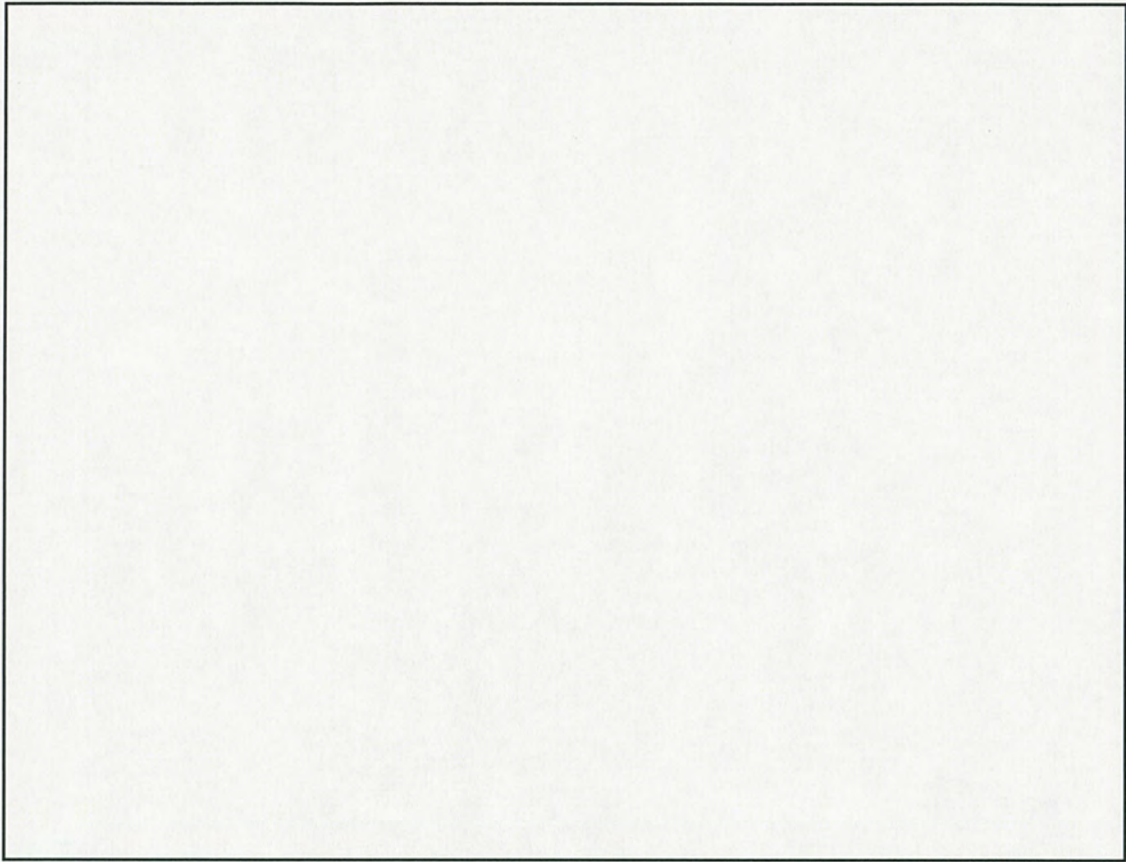


写真 1.41 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 内容器

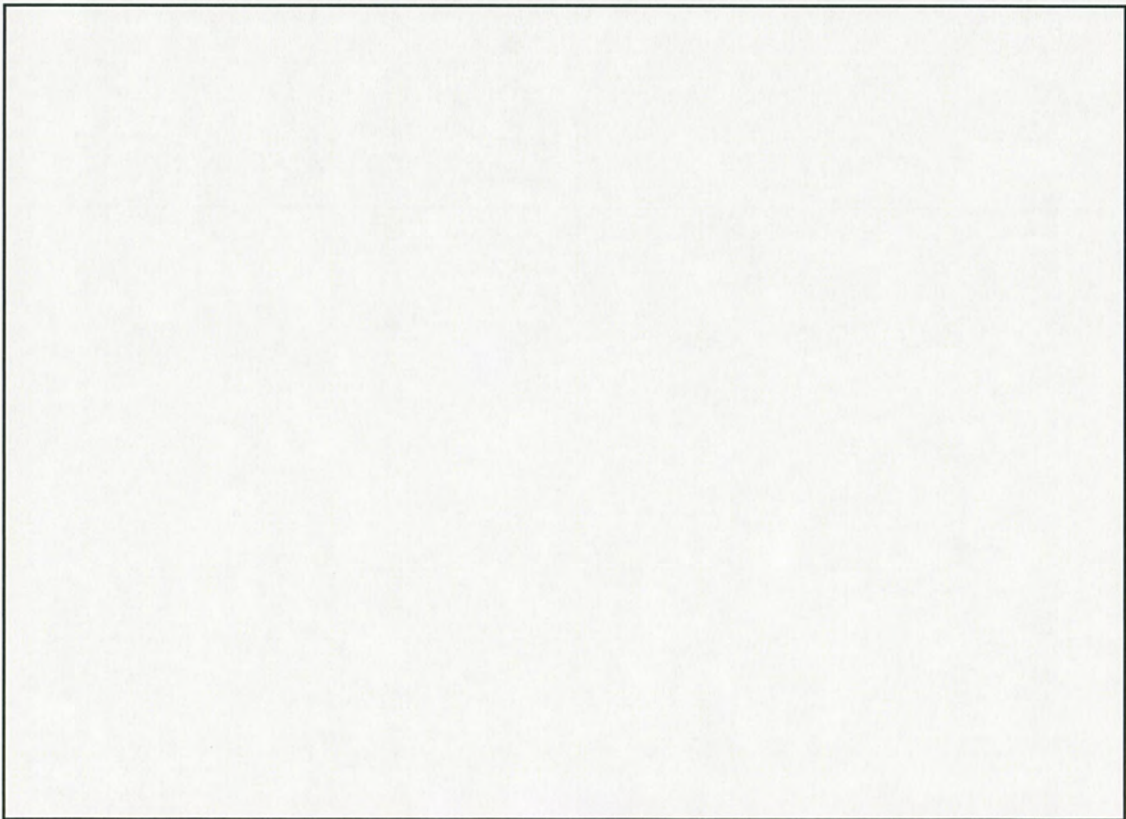


写真 1.42 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋ハンドル部

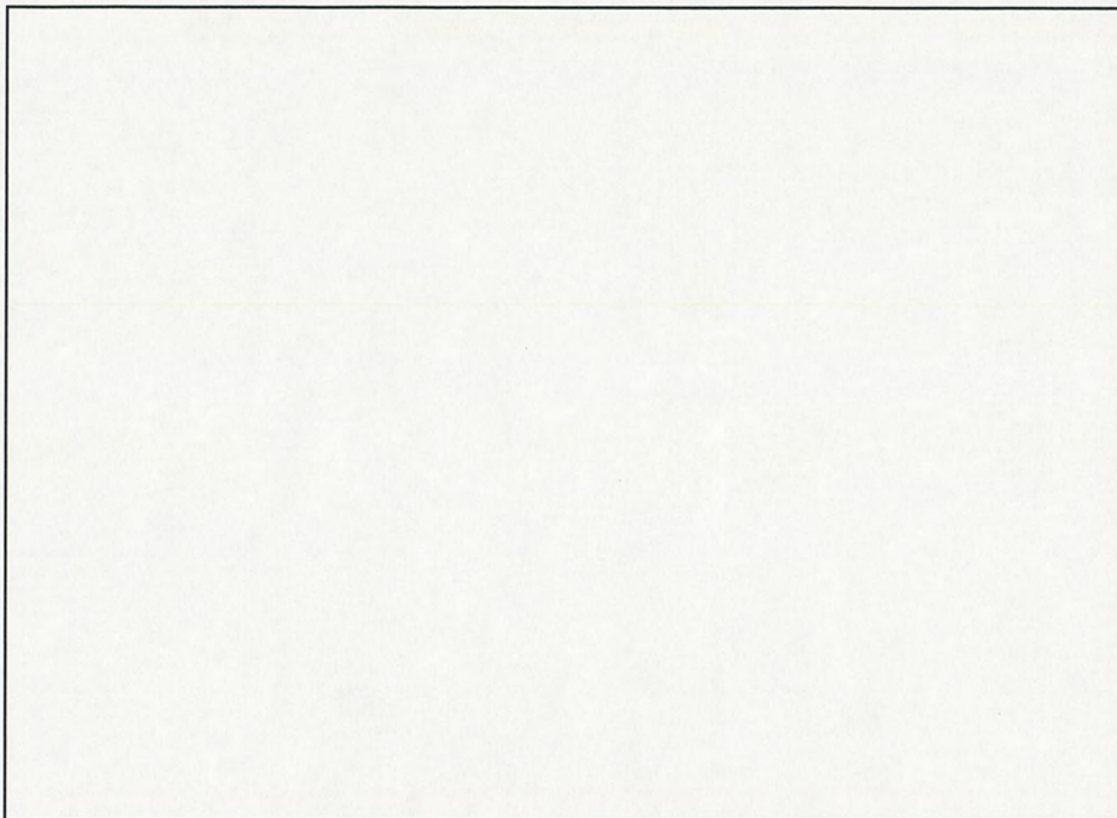


写真 1.43 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋ハンドル部

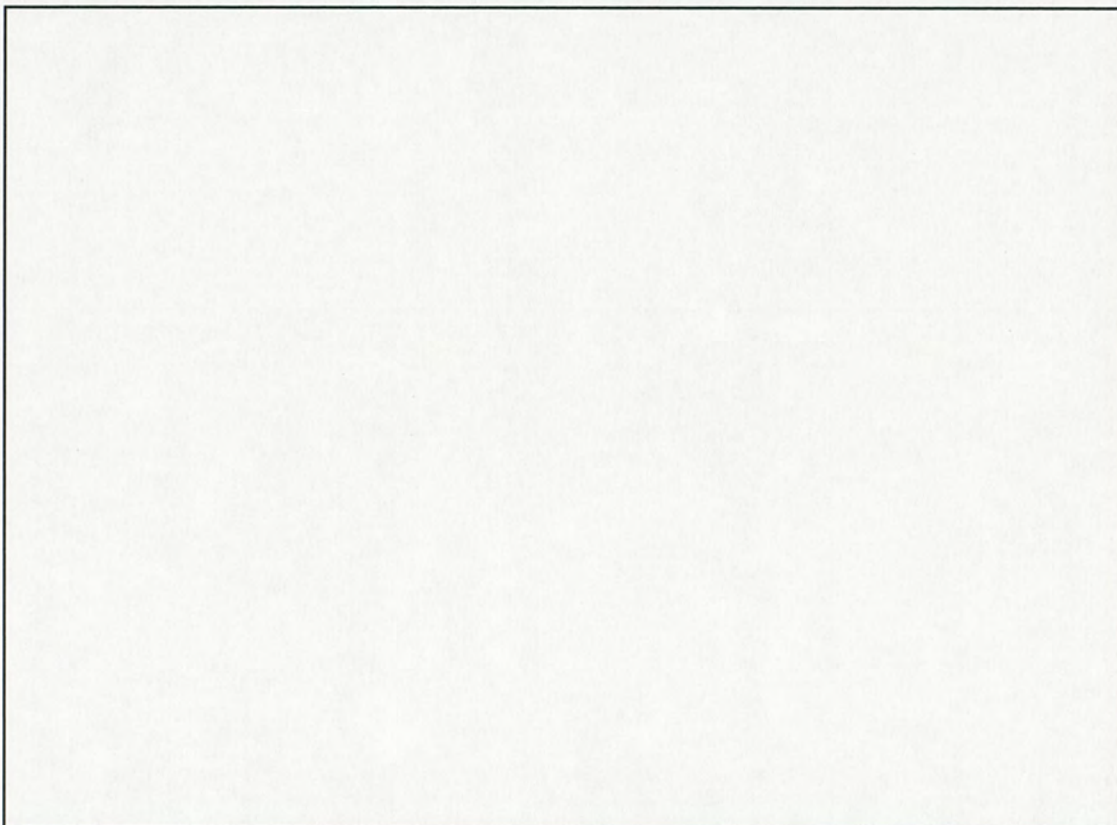


写真 1.44 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 外蓋回り止めデバイス止めピン

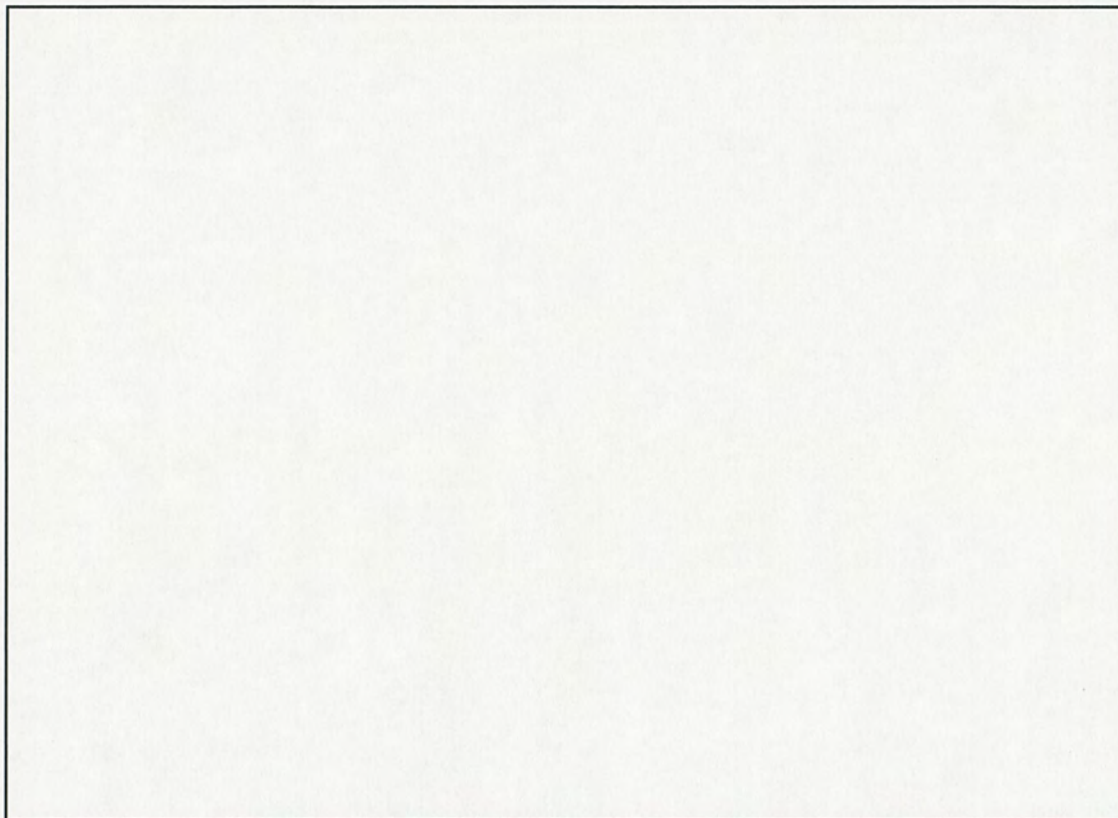


写真 1.45 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋回り止めデバイス止めピン

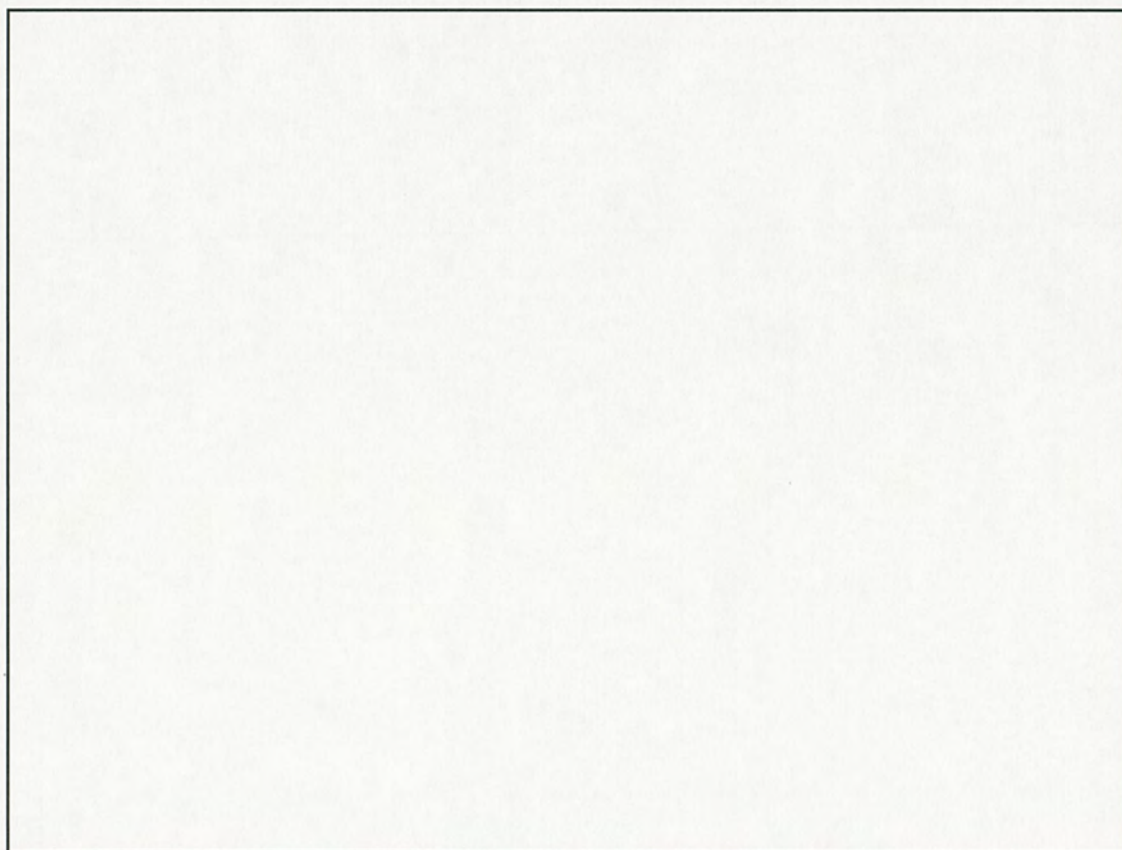


写真 1.46 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）後 側面

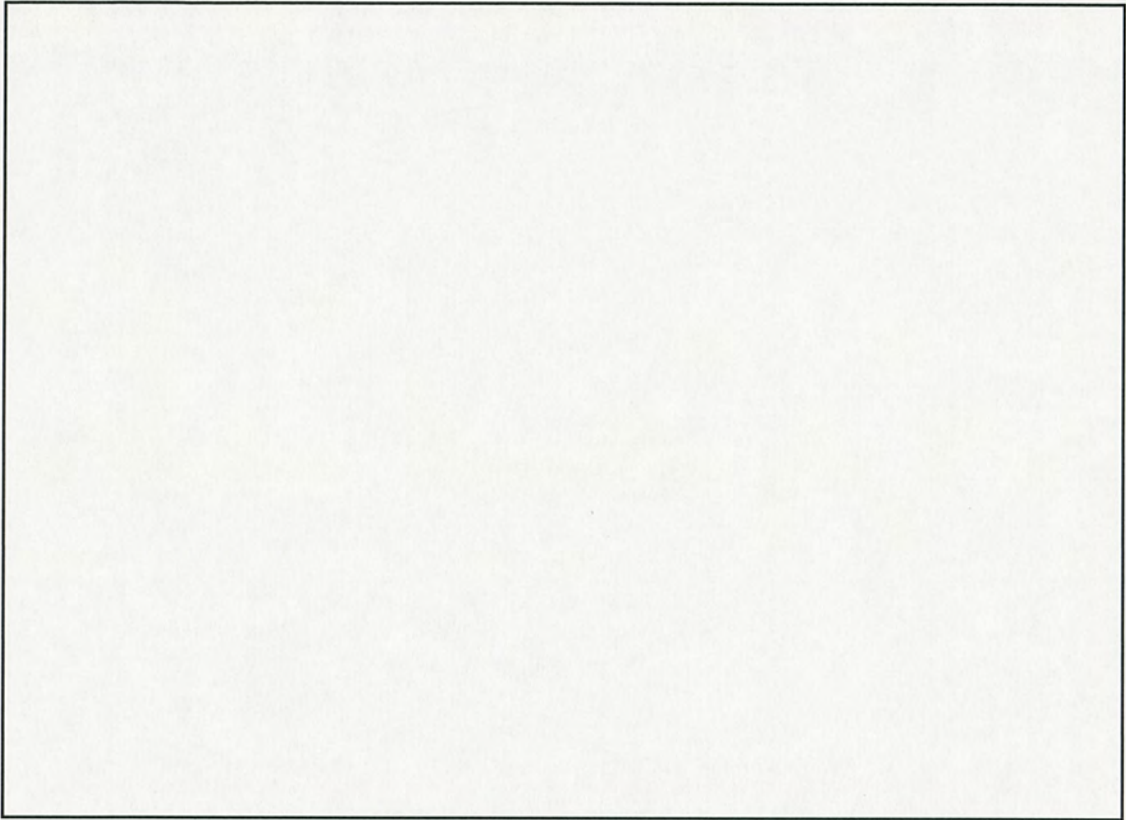


写真 1.47 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

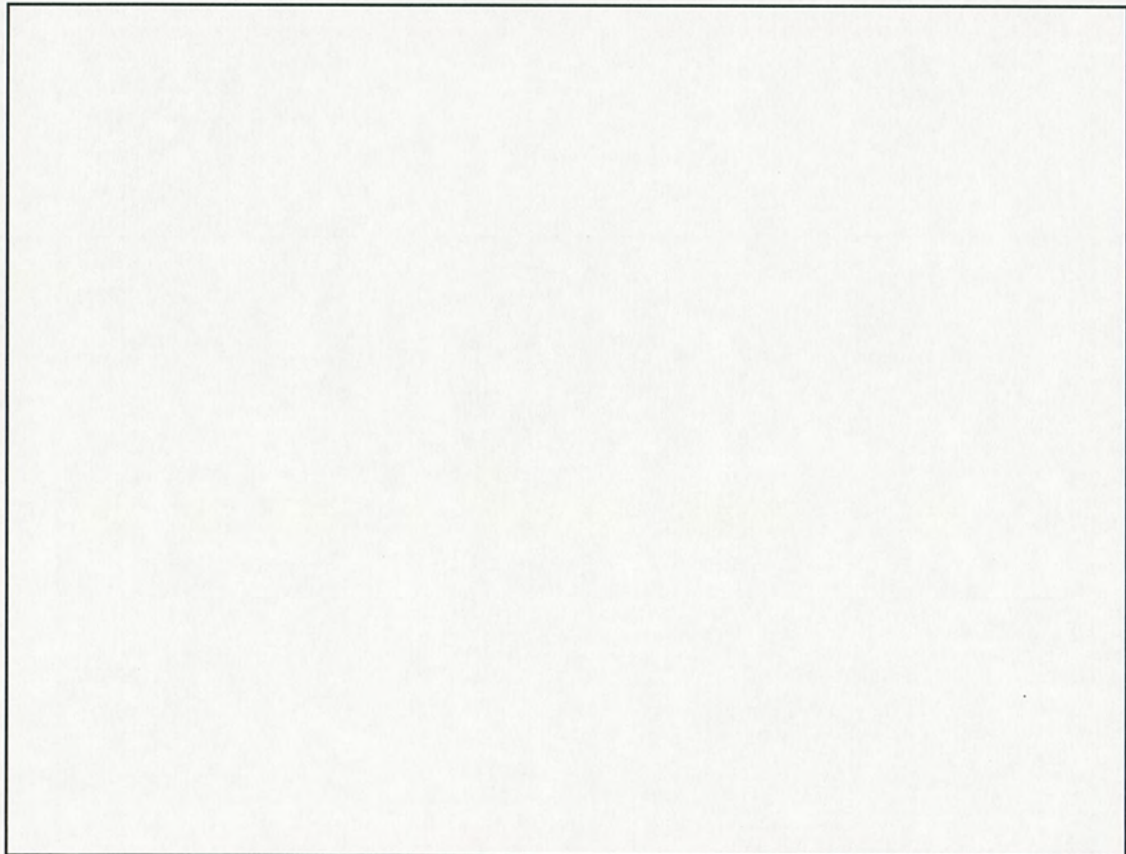


写真 1.48 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

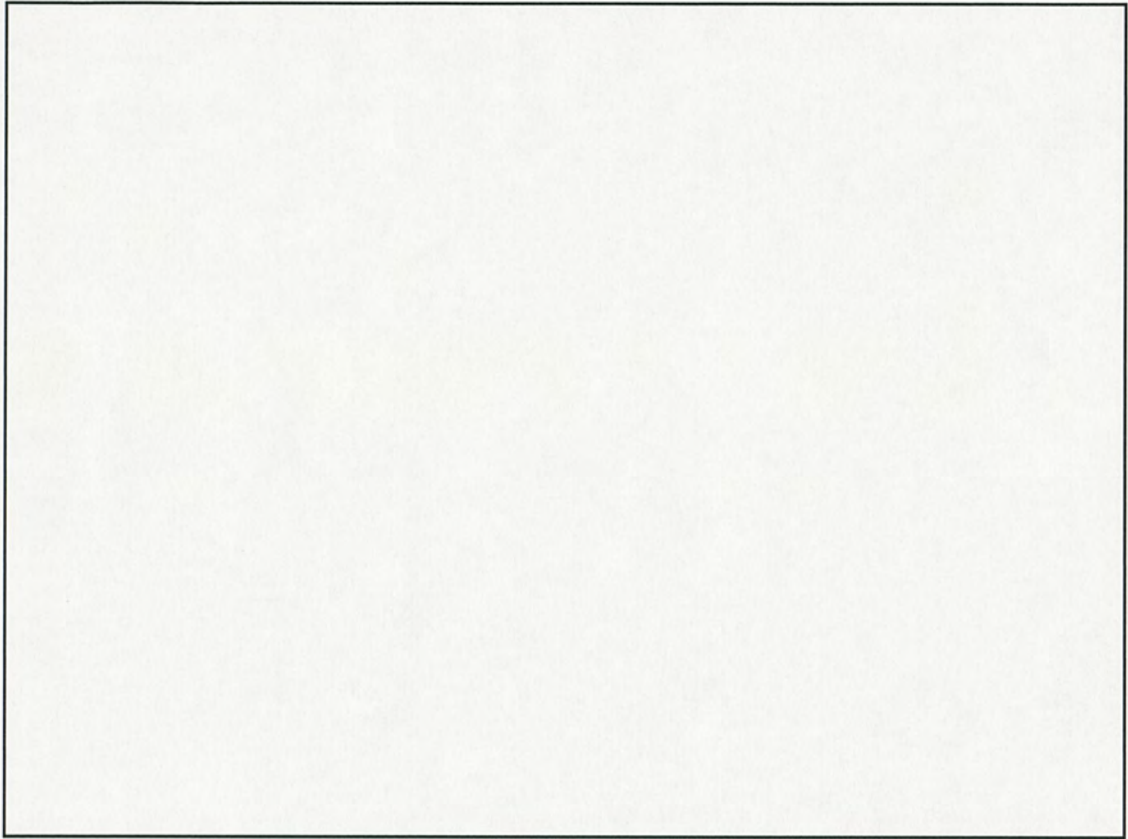


写真 1.49 落下試験 I (高さ 9 m) 後 底面

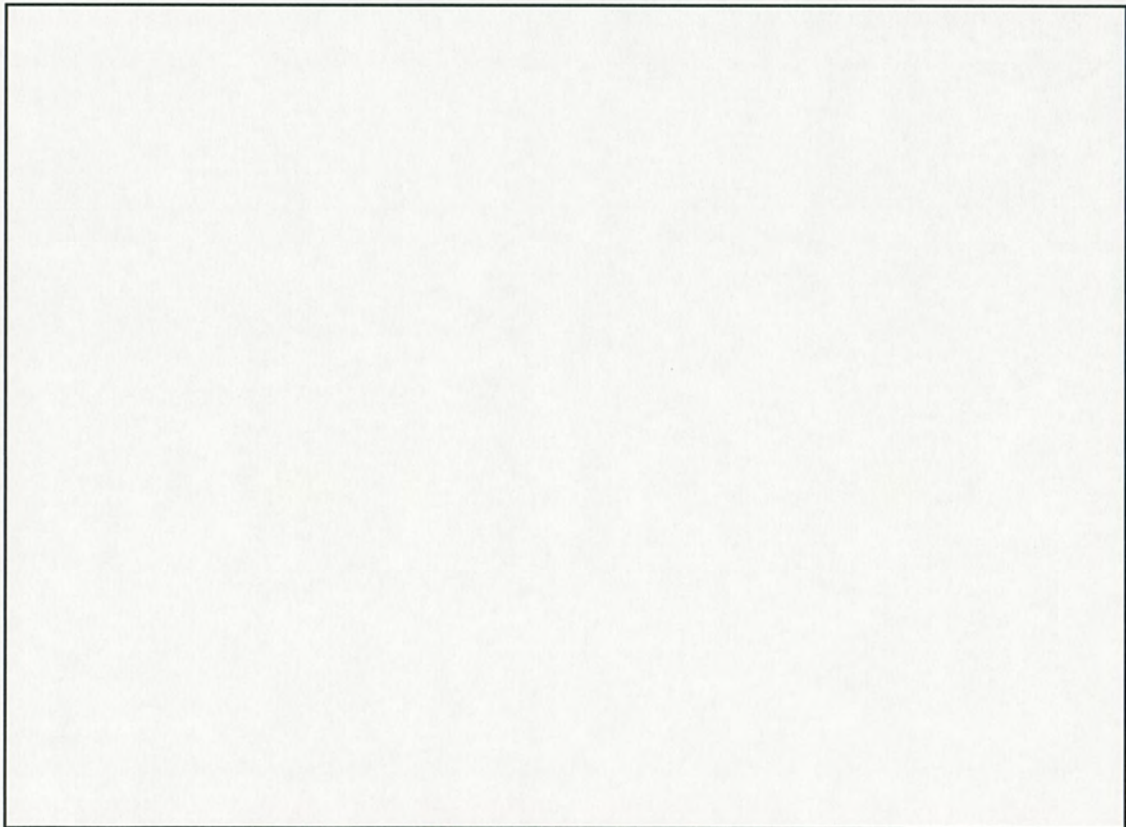


写真 1.50 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面

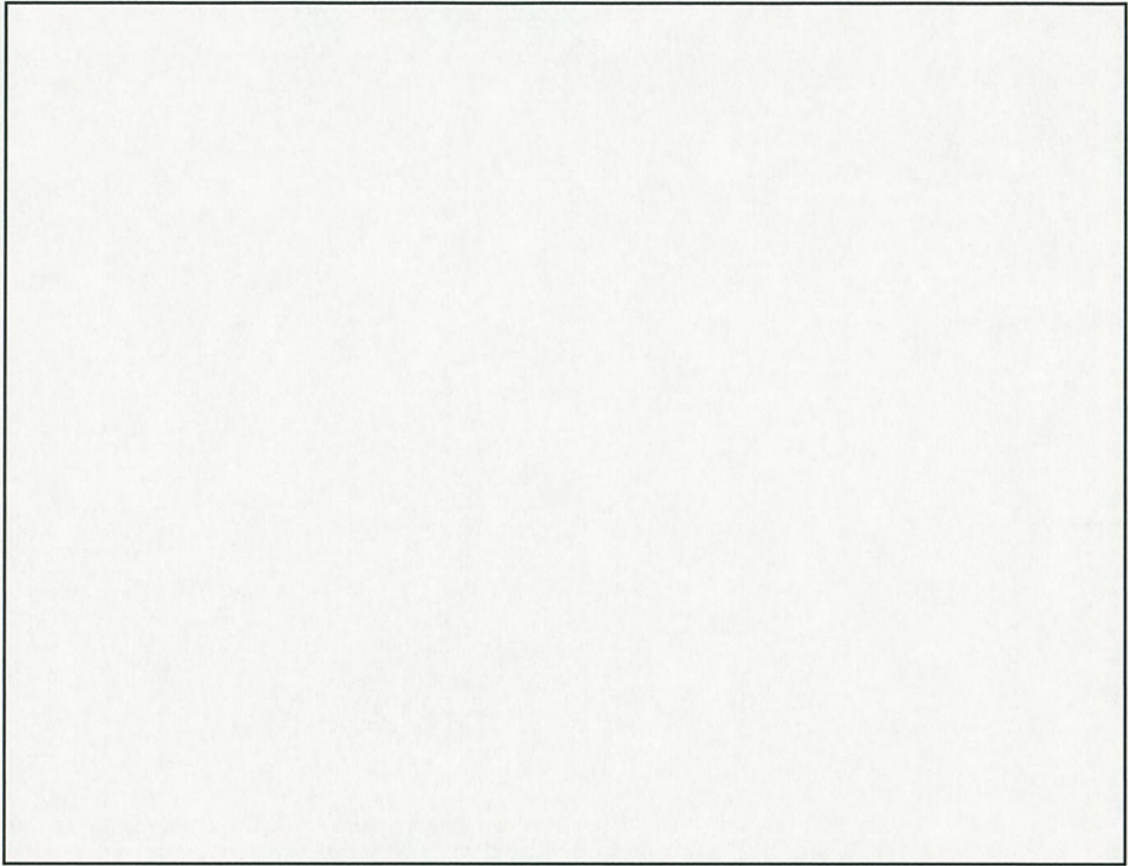


写真 1.51 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

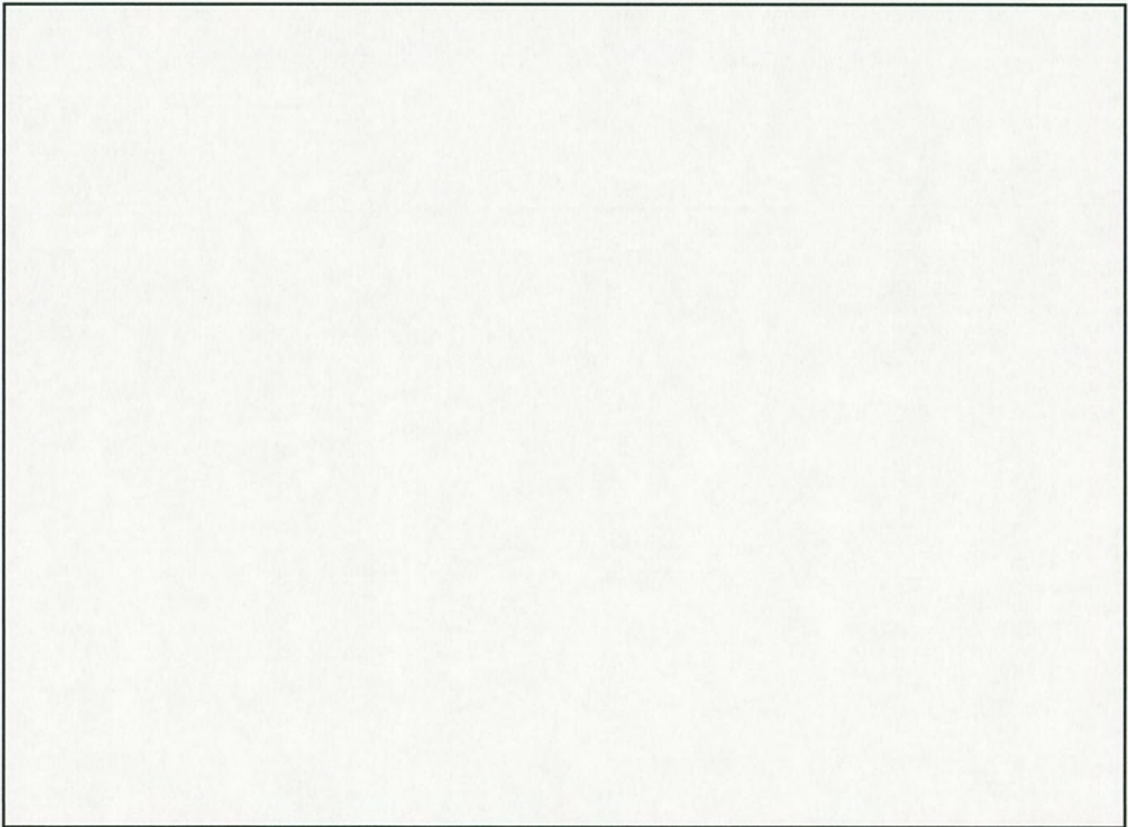


写真 1.52 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面

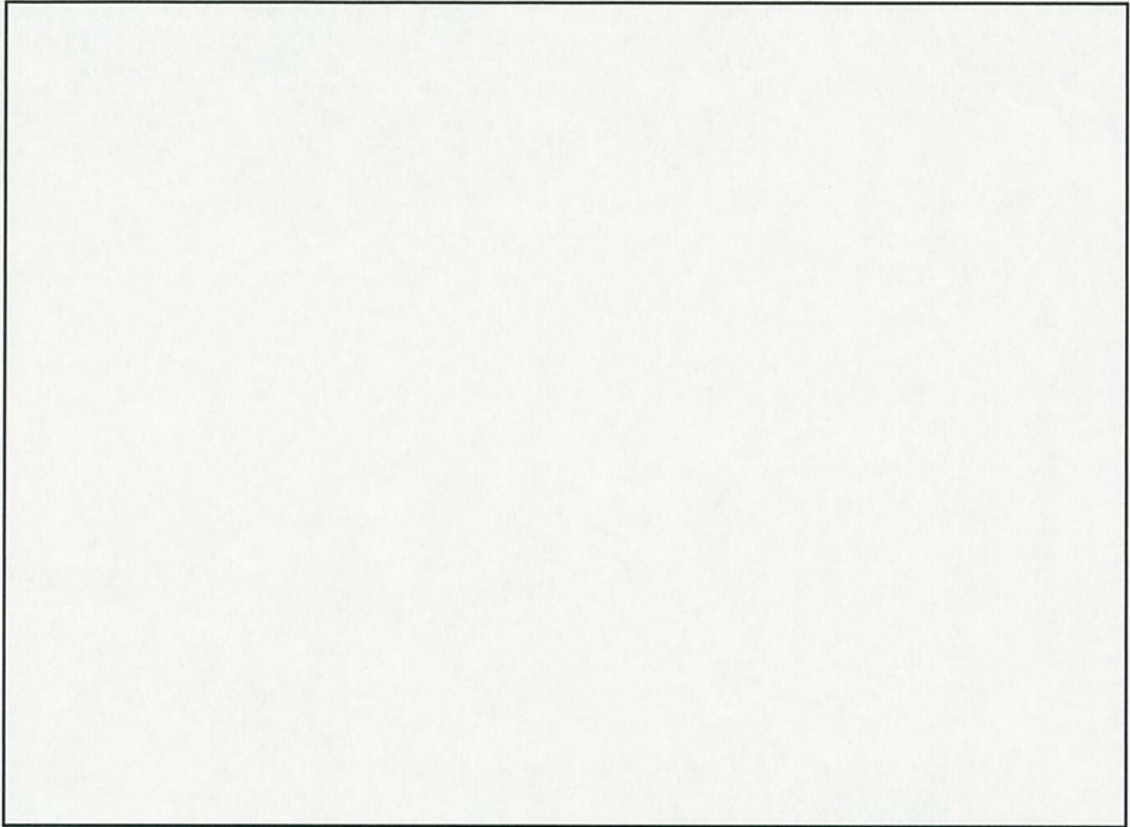


写真 1.53 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 内容器

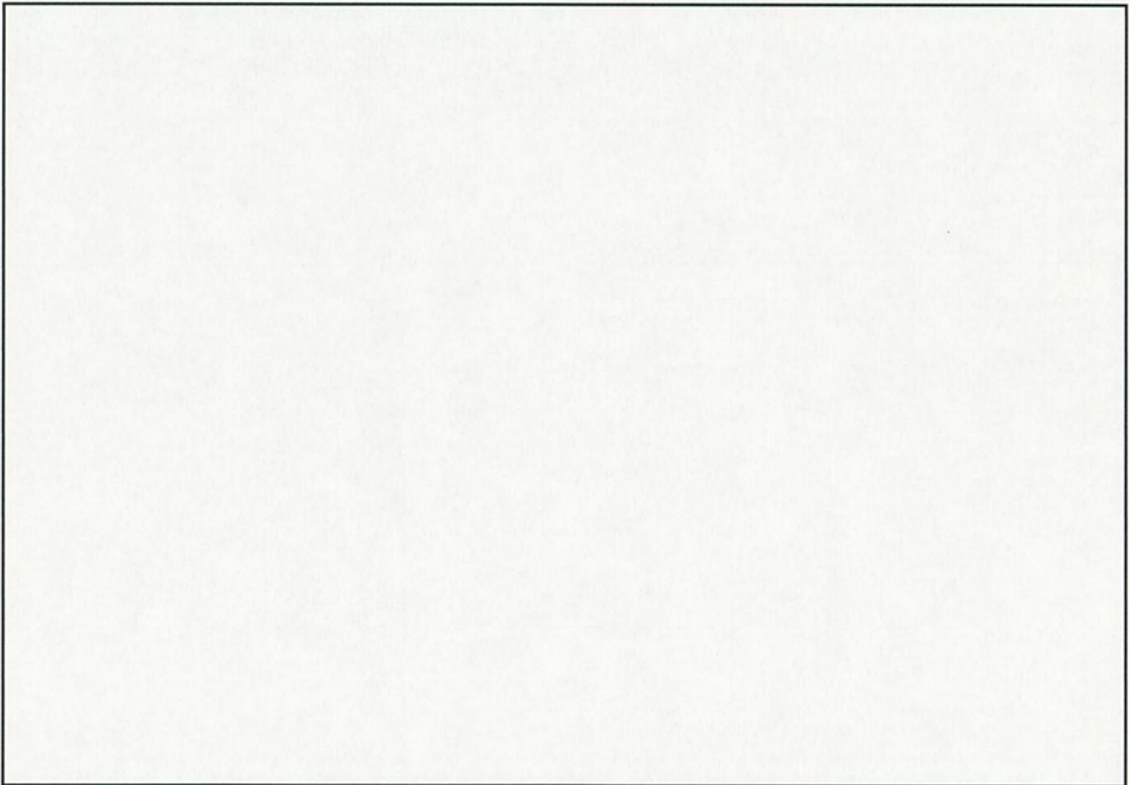


写真 1.54 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 内容器

(口)A 付属資料 2

2. 原型容器設計変更

2. 原型容器設計変更

原型容器 P1 及び P2 による予備落下試験の後、落下試験時（及び／又は耐火試験時）の輸送物の挙動を改善し、あるいは輸送物の質量を減少させるため、部分的に概念設計に修正が加えられ、落下試験のための原型容器 P3 及び P4 に取り入れられた。原型容器 P3 及び P4 には、原型容器 P1 及び P2 同様ウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300 kg が収納されている。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

2.1 可融栓の変更

予備落下試験及び予備耐火試験の結果をもとに、可融栓の形状、数量の変更を行った。

- ・予備落下試験において、可融栓が離脱したため、可融栓の寸法が修正された。(図 2.1 参照)
- ・予備耐火試験の挙動を改善するため、輸送物側面下部に位置する可融栓（計 8 ケ）、輸送物上面コーナー部に位置する可融栓（計 4 ケ）を除去した。
上面コーナー部に位置する可融栓については、コーナー部に高密度フェノリックフォームを注入するため、φ□mm タップ付き穴に置き換えられた。

これらの変更は、落下試験における輸送物の挙動を変化させるものではない。

2.2 スタッキングピンの変更

輸送物上面への軸方向落下試験におけるスタッキングピンの押し込みによる輸送物上面の変形を改善するため、□□に変更した。□□にすることにより落下による衝撃をスタッキングピン自身の変形にて吸収し、原型容器の予備落下試験の際に観察されたピン底部での輸送物上面外殻の破れを減少させることを目的とした。(図 2.2 参照)

また、その位置についても、落下による衝撃により、スタッキングピンの変形による外蓋バイオネット嵌合部への影響をなくすために、□□中心に移動させた。

2.3 脚部の変更

取扱いによる脚部の変形を改善するため、脚部中間部に補強板が追加された。この修正により落下試験時の輸送物の性能が変化する可能性はない。(図 2.3 参照)

2.4 上部コーナーのフェノリックフォーム変更

落下試験による輸送物上部コーナーの変形を減少させるため、コーナー部の耐熱衝撃緩衝材を高密度フェノリックフォームに変更し、耐衝撃性能を高めた。コーナー部へのフェノリックフォーム注入は輸送物上面の□□のφ□mm タップ付き穴を通じて行われる。

2.5 フランジ概念設計の改良

輸送物質量を減らすため、フランジ表面側と裏面側を□に加工した軽量フランジを設計し、原型容器 P3 及び P4 の□内容器に取り付けた。残りのフランジは、原型容器 P1 及び P2 で使用された重厚フランジである。(図 2.4 参照)

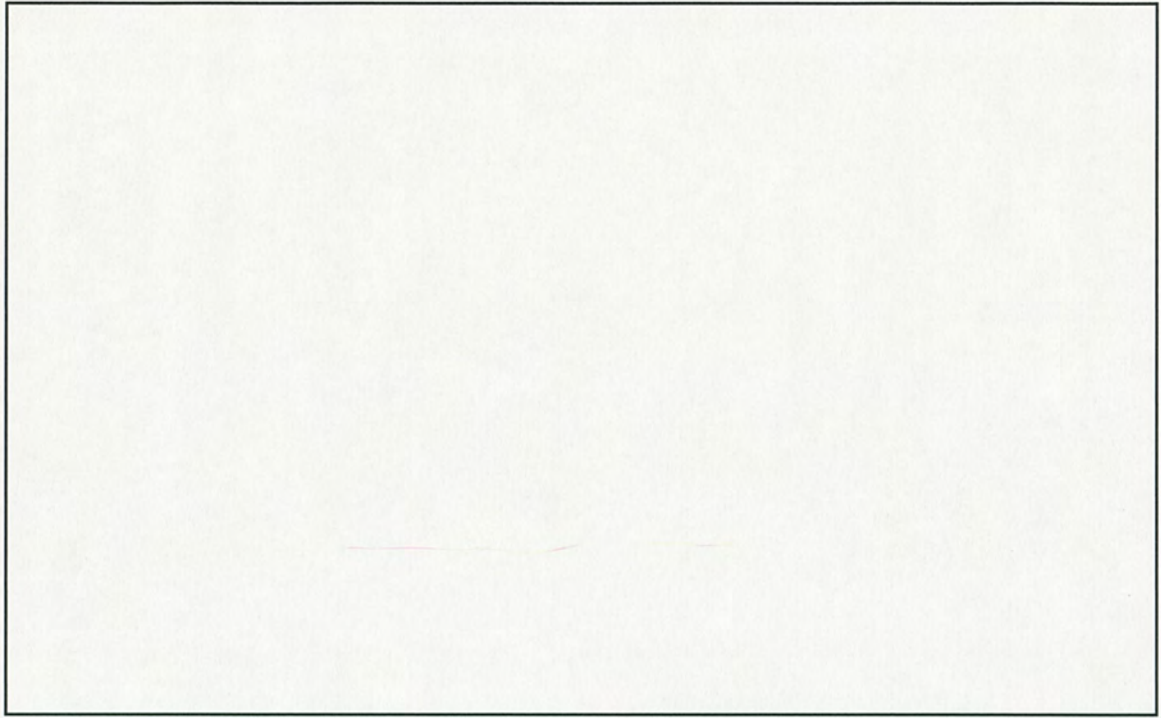


図 2.1 可融栓の変更

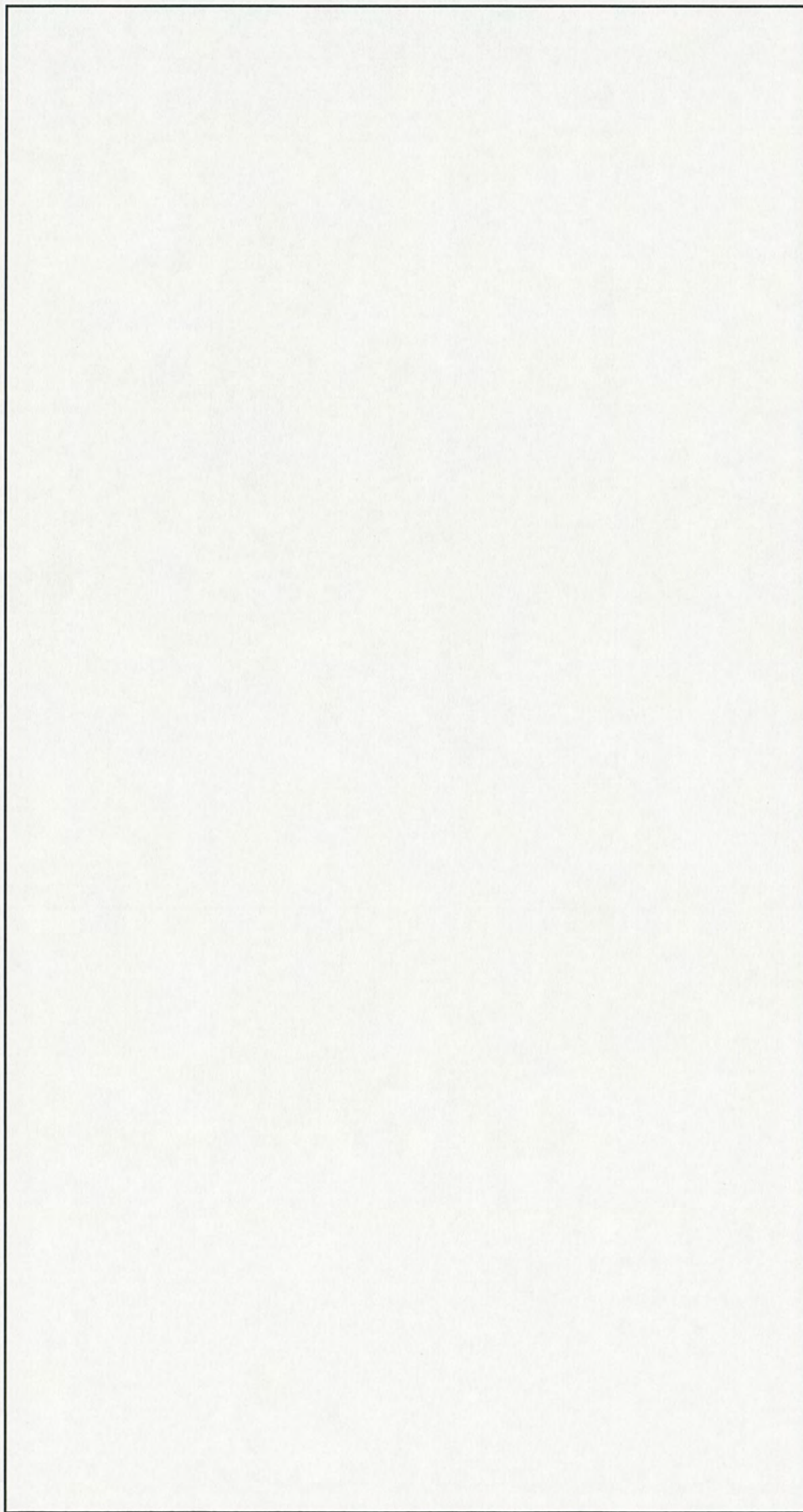


図 2.2 スタッキングゲピンの変更

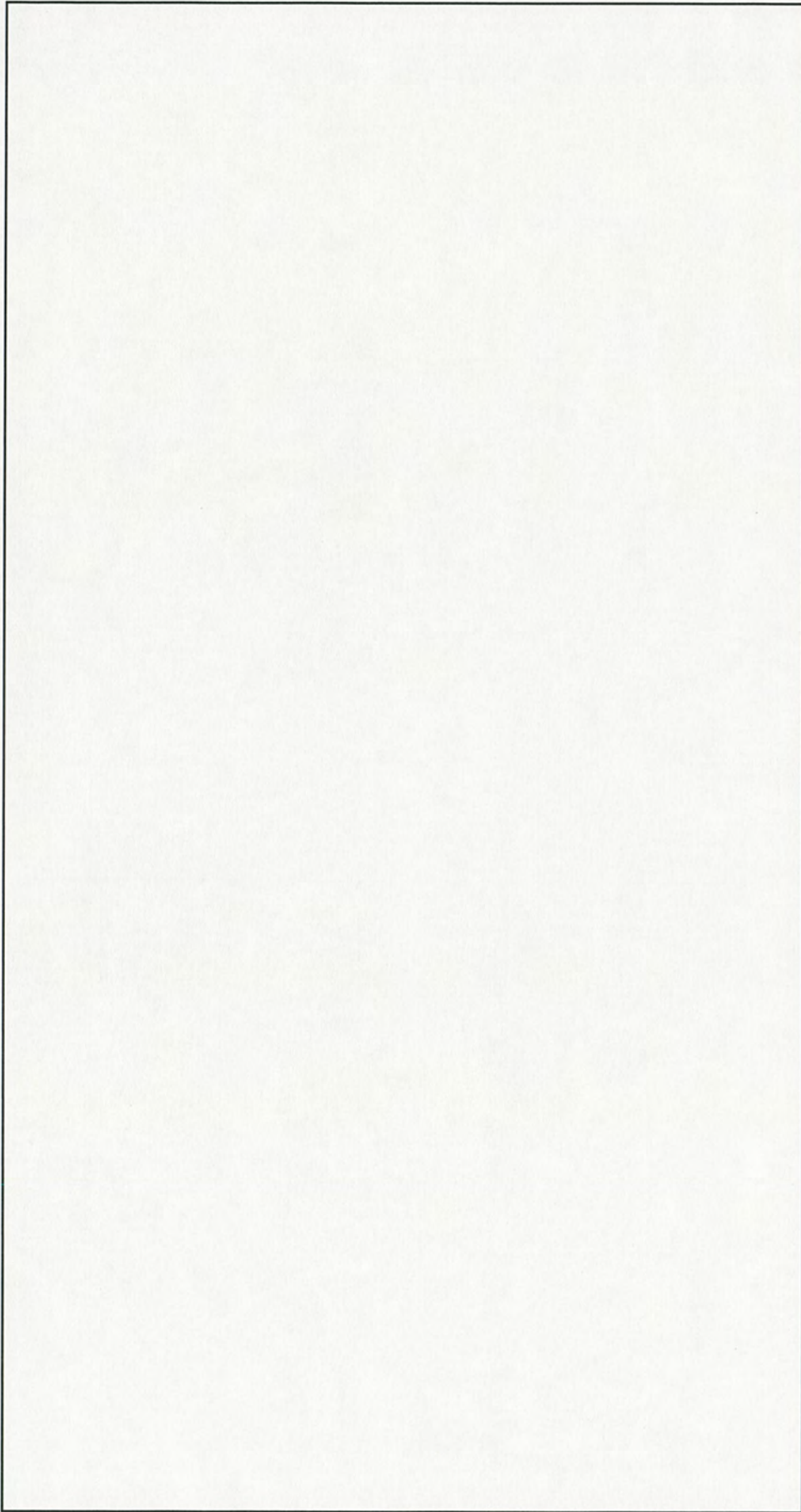


図 2.3 脚部の変更

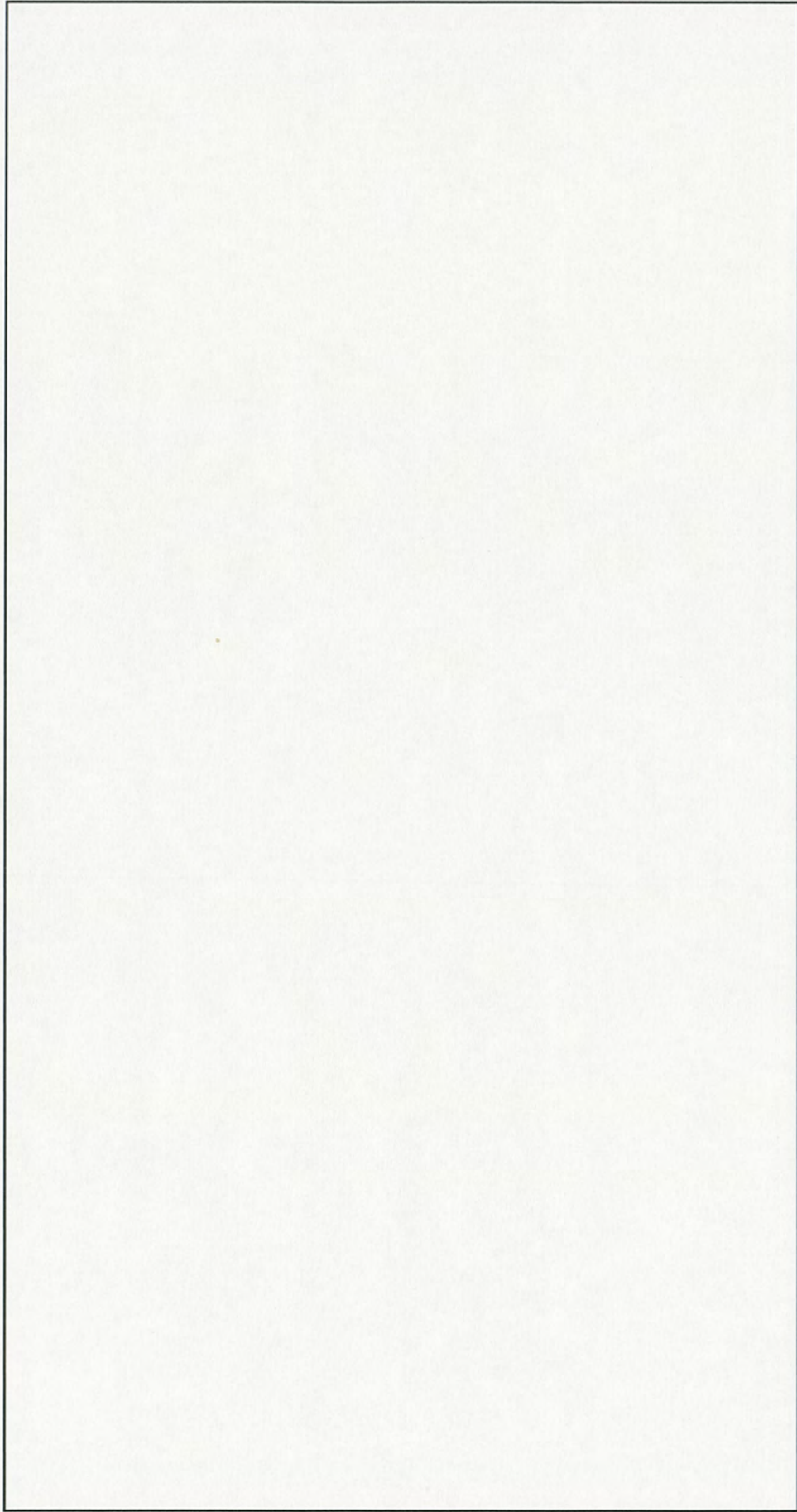


図 2.4 フランジの改良

(口)A 付属資料 3

3. 落下試験

3. 落下試験

3.1 主題

本書は、TNF-XI 型輸送容器の 2 基のフルスケール原型容器について実施した落下試験の結果を示す。これらの落下試験は、仏国のロダン試験施設において、2001 年 7 月 24 日から 27 日の間に実施された。原型容器にはウラン酸化物を模擬した純鉄粉末 300 kg が収納されている。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。

試験の順序は、平常の輸送条件に耐え得る能力を実証するための試験と、事故時の輸送条件に耐え得る能力を実証するための試験からなり、臨界リスクに関連する最大規模の損傷を意味する組合せに従うものである。

本落下試験の落下方向は、予備落下試験の結果に基づき、最も損傷の大きい落下方向を決定し、2 基の原型容器 P3 及び P4 を用いて実施した。(「(ロ)A 付属資料 1」参照)

平常の輸送条件に対応する規則試験に耐え得る能力については、以下のように評価される。

- ・水の吹きつけは、ステンレス鋼板製輸送容器に影響を与えることがなく、その上、TNF-XI 型輸送物モデルの臨界解析は輸送物が完全な冠水に基づいているため、水の吹きつけ試験は考慮されていない。
- ・落下試験(高さ m)は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。
- ・積重ね試験は実施されなかったが、損傷を起こさずに当該試験に耐え得る TNF-XI 型輸送物の能力を実証するために、応力評価にて実施された。
- ・貫通試験は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。

事故時の輸送条件に対応する規則試験に耐え得る能力については、以下のようにして評価される。

- ・落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) は、落下試験 I (高さ 9 m) の前に実施され、また、その試験の後に再び繰返された。落下方向については、表 3.1 及び 3.2 において説明する。
- ・落下試験 I (高さ 9 m) は、表 3.1 及び 3.2 で説明される落下方向により実施された。
- ・臨界安全解析は内容器内部の水の存在を考慮に入れているため、規則に基づく 0.9 m の水頭下の浸漬試験は実施していない。

表 3.1 原型容器 P3 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ 外蓋回り止めデバイス止めピン	1
	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	2
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	3
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	4
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	5
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	6

表 3.2 原型容器 P4 の落下試験順序

試験項目	衝撃点	落下試験 No.
貫通試験 (6 kg 丸棒)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/>	1
	・ 外蓋上面	2
	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	3
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	4
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物側面中心 (落下角度 <input type="text"/>)	5
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	6
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	7

*) 落下角度 : 落下試験 II において、輸送容器外殻薄板に最もダメージを与える角度。²⁾

***) 落下角度 :

3.2 原型容器の構成

試験は、TNF-XI 型輸送物の 2 基のフルスケール原型容器で実施された。フルスケール原型容器のために利用された材料は、輸送物のために規定されたものと同等のものである。(写真 3.1 及び 3.2 参照)

輸送物の収納物であるウラン酸化物及びウラン残渣は有意な量の熱を放出しないため、温度が材料特性に与える影響を考慮する必要はない。よって、ウラン酸化物及びウラン残渣は、同密度 (約 1.7 g/cm³) の純鉄粉末に置き換えた。この粉末は、原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶中にそれぞれ [] kg、輸送物中には [] kg が収納されている。

原型容器 P3 及び P4 には、上面には PEHD 製カバーが取り付けられていない。この構成要素は輸送物に機械的に連結されているわけではなく、輸送物の落下挙動を変化させ得る「ハード・ポイント」を有しているわけではない。加えて、ターゲットへの落下の際にこの構成要素によってもたらされる保護や、落下の際にこの構成要素によって吸収される可能性の高い変形エネルギーが考慮されないという点では、これらの原型容器での落下試験は安全側の評価を意味する。

原型容器においては、耐火試験の準備として輸送物内部に適合するように熱電対のワイヤを挿入するため、輸送物上面にある [] の可融栓の中、[] の可融栓を除去しているが、落下時の輸送物の挙動に影響を与えない。

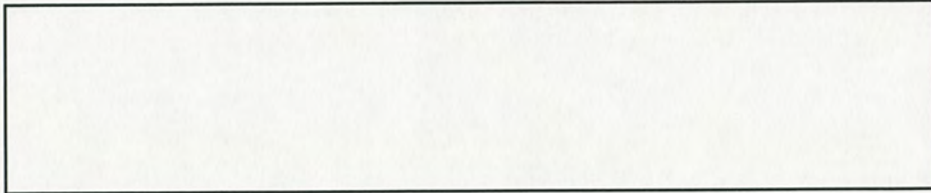
したがって、原型容器 P3 及び P4 は、TNF-XI 型輸送物を代表するものであり、設計又は製造上の差異が、ターゲットへの落下又は高さ 9 m からの落下に対する原型容器の挙動に顕著な影響を与えることはない。

原型容器の内蓋には [] 設計を採用しており、[] からなる。写真 3.3 に軽量フランジの外観を示す。

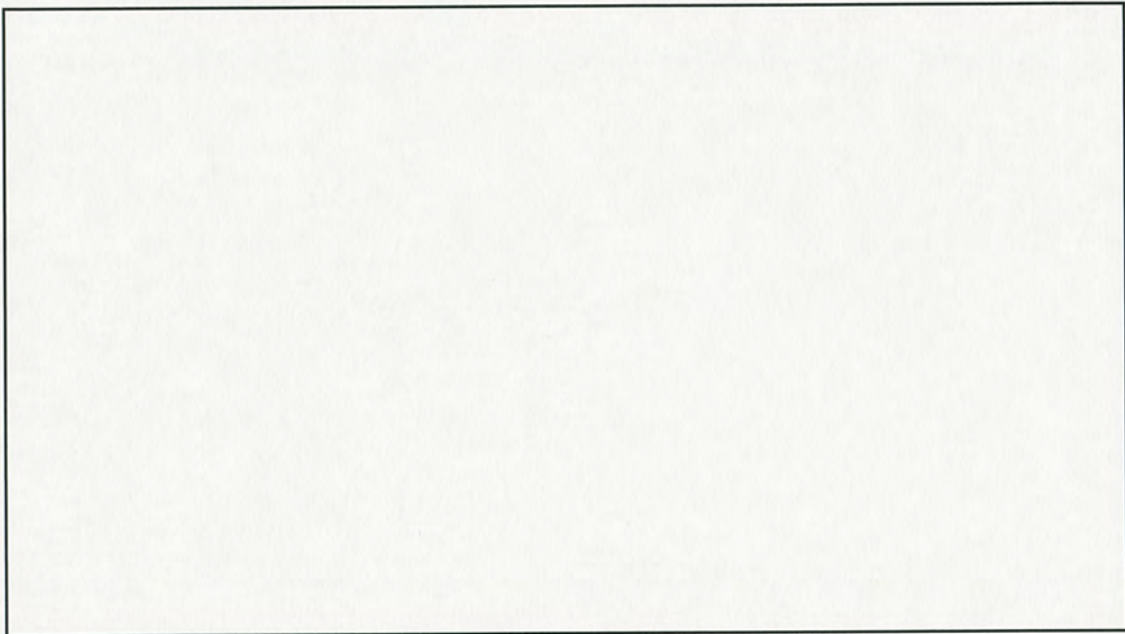
内容器のガスケットを通じた漏えいを目視で確認できるように、最上部の粉末収納缶上に消石灰を置いている (写真 3.4 参照)。また、それぞれの原型容器には、熱電対及び温度表示ラベルが取り付けられている。

3.3 原型容器 P3 の落下試験の結果

原型容器 P3 は、熱電対を含む輸送容器重量は kg であり、純鉄粉末 kg を収納した輸送物の総重量は kg である。また、原型容器 P3 は、下記の図に示すように
 内容物が以下のような設計になっている。



原型容器 P3 の上面図を下記に示す。



原型容器 P3 の上面図

3.3.1 平常の輸送条件を表す試験

3.3.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

・落下試験 No.1 及び 2

輸送物への落下方向は、図 3.1 及び 3.2 で示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を 写真 3.5 及び 3.6 に示す。

3.3.1.2 落下試験（高さ□m）

- ・落下試験 No.3：角度□による輸送物側面への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.3 に示す。衝撃を受ける面は「F2」であり、落下試験により、衝撃を受けた面に変形は見られない。

試験結果を写真 3.7 及び 3.8 に示す。

3.3.2 事故時の輸送条件を表す試験

3.3.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ 1 m）

- ・落下試験 No.4：角度□による輸送物底面への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.4 に示す。ターゲットの衝撃点は、最初の衝撃時にターゲットが輸送物脚部に衝突しないように選択される。輸送物底面は、ターゲットによって変形し、外殻に長さ約 □ mm の非常に狭い裂け目が生じた。ターゲットによる変形深さの最大値は、□ mm であった。

試験結果を写真 3.9 及び 3.10 に示す。

3.3.2.2 落下試験Ⅰ（高さ 9 m）

- ・落下試験 No.5：角度□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受ける面は、落下試験（高さ□m）で衝撃を受けたのと同じ面である。輸送物の落下方向を図 3.5 に示す。衝撃を受けた面の下部コーナー部は曲がり、圧縮変形の最大値は□mm、平均値は約□mm であり、容積減少は約□%であった。

試験結果を写真 3.11～3.13 に示す。

3.3.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

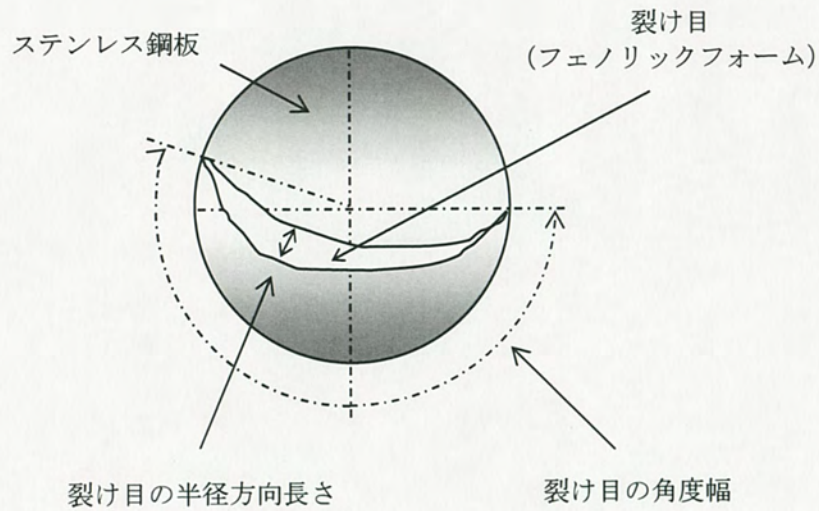
- ・落下試験 No.6：角度□□による輸送物側面への衝撃

衝撃を受ける面は、落下試験Ⅰ（高さ9 m）で衝撃を受けたのと同じ面である。輸送物の落下方向を図3.6に示す。衝撃を受ける容器は□□である。

輸送物側面は、ターゲットによって変形し外殻に裂け目を生じた。裂け目の角度幅は□□を超え、最大半径方向幅は□□mm、深さの最大値は□□mmであった。

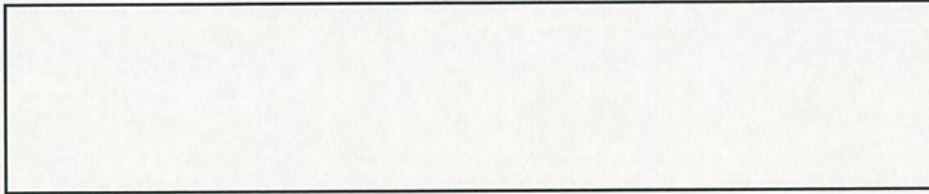
試験結果を写真3.14及び3.15に示す。

いずれの落下試験においても、輸送物からの消石灰の漏れは認められなかった。

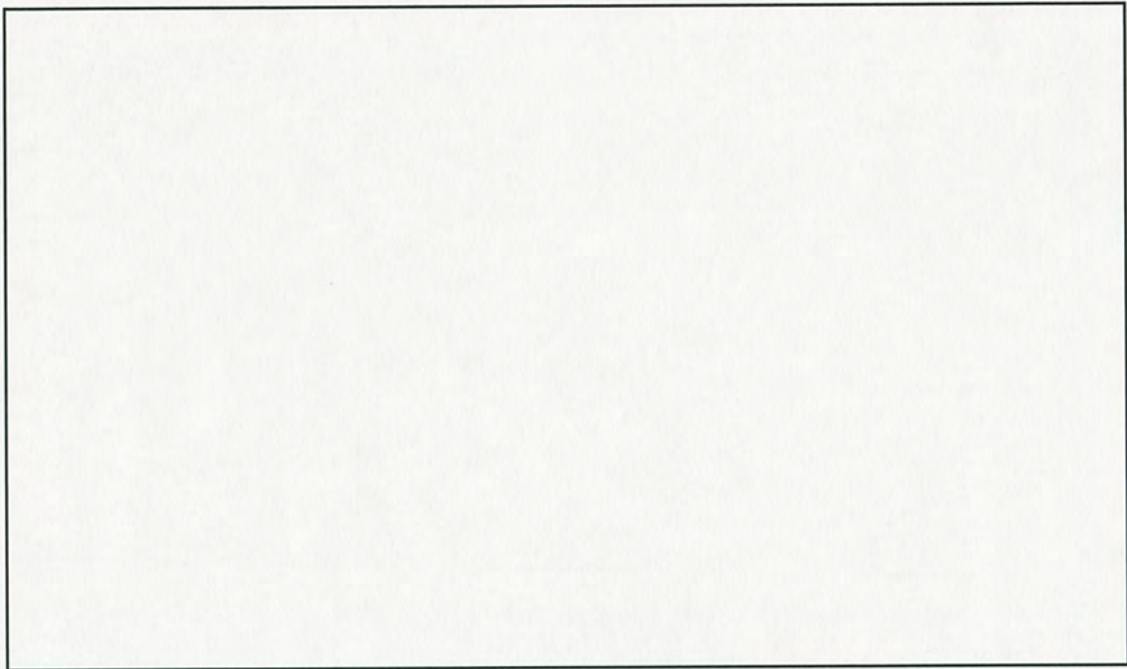


3.4 原型容器 P4 の落下試験の結果

原型容器 P4 は、熱電対を含む輸送容器重量は kg であり、純鉄粉末 kg を収納した輸送物の総重量は kg である。また、原型容器 P4 は、下記の図に示すように、
 内容器が以下のような設計になっている。



原型容器 P4 の上面図を下図に示す。



原型容器 P4 の上面図

3.4.1 平常の輸送条件を表す試験

3.4.1.1 貫通試験 (6 kg 丸棒)

・落下試験 No.1~3

輸送物への落下方向を 図 3.7~3.9 に示す。輸送物の貫通はなく、わずかな痕跡若しくは凹みのみ認められた。

試験結果を 写真 3.16~3.18 に示す。

3.4.1.2 落下試験（高さ□m）

- ・落下試験 No.4：角度□による輸送物上面コーナー部への衝撃

輸送物の落下方向を図 3.10 に示す。衝撃を受ける上面コーナー部は、□に近いコーナー部である。

衝撃を受けたコーナー部の付近で輸送物外殻の波状の変形が見られるが、外殻の裂け目は見られない。この落下による容積減少は、□%以下である。平常の輸送条件を表す落下試験のうちで、この落下試験が最も大きな変形を与えるものだった。

試験結果を写真 3.19 及び 3.20 に示す。

3.4.2 事故時の輸送条件を表す試験

3.4.2.1 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1m）

- ・落下試験 No.5：角度□による輸送物側面への衝撃

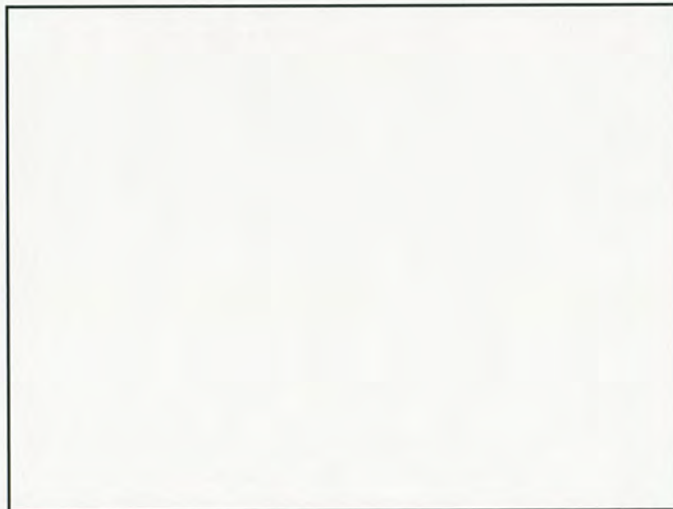
輸送物の落下方向を図 3.11 に示す。衝撃を受けた面は「F2」であり、輸送物側面はターゲットにより変形したが、外殻の貫通はなかった。ターゲットによってできた変形深さの最大値は、□mm である。

試験結果を写真 3.21 及び 3.22 に示す。

3.4.2.2 落下試験Ⅰ（高さ9m）

- ・落下試験 No.6：角度□による輸送物上面コーナー部への衝撃

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験（高さ□m）で衝撃を受けたコーナー部と同じである。輸送物の落下方向を図 3.12 に示す。衝撃を受けたコーナー部周囲の外殻で波状の変形が見られる。下記の図における変形領域の程度は以下のとおりである。



これらの値は、高さ□m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約□%である。平らな表面に垂直に測定した輸送物の衝撃を受けたコーナー部（C点）の変位は、□mm である。

試験結果を写真 3.23 及び 3.24 に示す。

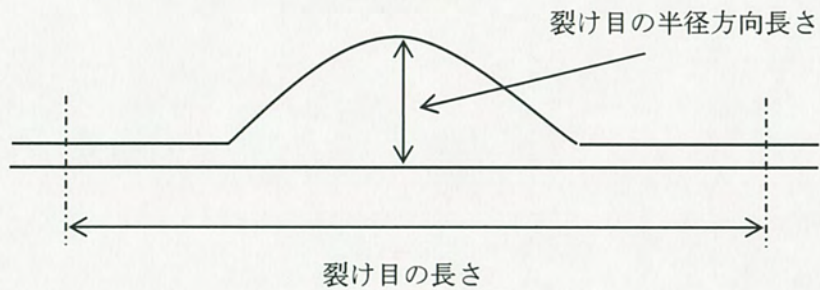
3.4.2.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

・落下試験 No.7：輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅱ（高さ9 m）により、輸送物上面コーナー部に衝撃を受けたコーナー部付近の外蓋バイオネット部の2つのバイオネット嵌合部間が開き始めているのが観察された。したがって、この落下試験の目的は、この開口部を悪化させることにある。

輸送物の落下方向を図 3.13 に示す。この落下の衝撃により外蓋外殻に裂け目が生じた。裂け目の最大半径方向サイズは□mm で、目に見える長さは約□mm である。

試験結果を写真 3.25 及び 3.26 に示す。



3.5 試験結果

原型容器 P3 及び P4 に対する試験結果を表 3.3 及び 3.4 に示す。全ての落下試験において、輸送物からの消石灰の漏れは発見されなかった。この 2 基の試験原型容器 P3 及び P4 について耐火試験が行われた。

表 3.3 原型容器 P3 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・ 外蓋回り止めデバイス ・ <input type="text"/> 内容器の <input type="text"/>	貫通なく、わずかな痕跡のみ 貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	変形なし
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物底面中央付近 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物側面 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 最大 <input type="text"/> mm 平均約 <input type="text"/> mm 容積減少: 約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm の割れ

表 3.4 原型容器 P4 の落下試験結果

試験項目	衝撃点	落下試験結果
貫通試験	・ <input type="text"/> 内容器 <input type="text"/> ・ 外蓋上面 ・ 外蓋バイオネット嵌合部間	貫通なく、わずかな痕跡のみ 同上 貫通なく、凹みのみ
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面コーナ一部 (落下角度 <input type="text"/>)	容積減少 <input type="text"/> % 以下
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 輸送物側面中心 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形: 変形深さ最大 <input type="text"/> mm
落下試験 I (高さ 9 m)	・ 輸送物上面コーナ一部 (落下角度 <input type="text"/>)	容積減少: 約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 外蓋バイオネット嵌合部間	深さ方向変形、局所的 割れ寸法: 長さ約 <input type="text"/> mm 最大幅 <input type="text"/> mm

3.6 参考文献

- (1) IAEA Safety standards series, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition, No. TS-R-1.
- (2) Technical mail DSIN/GRE/SD1/N°214/97 of 17/09/1997.

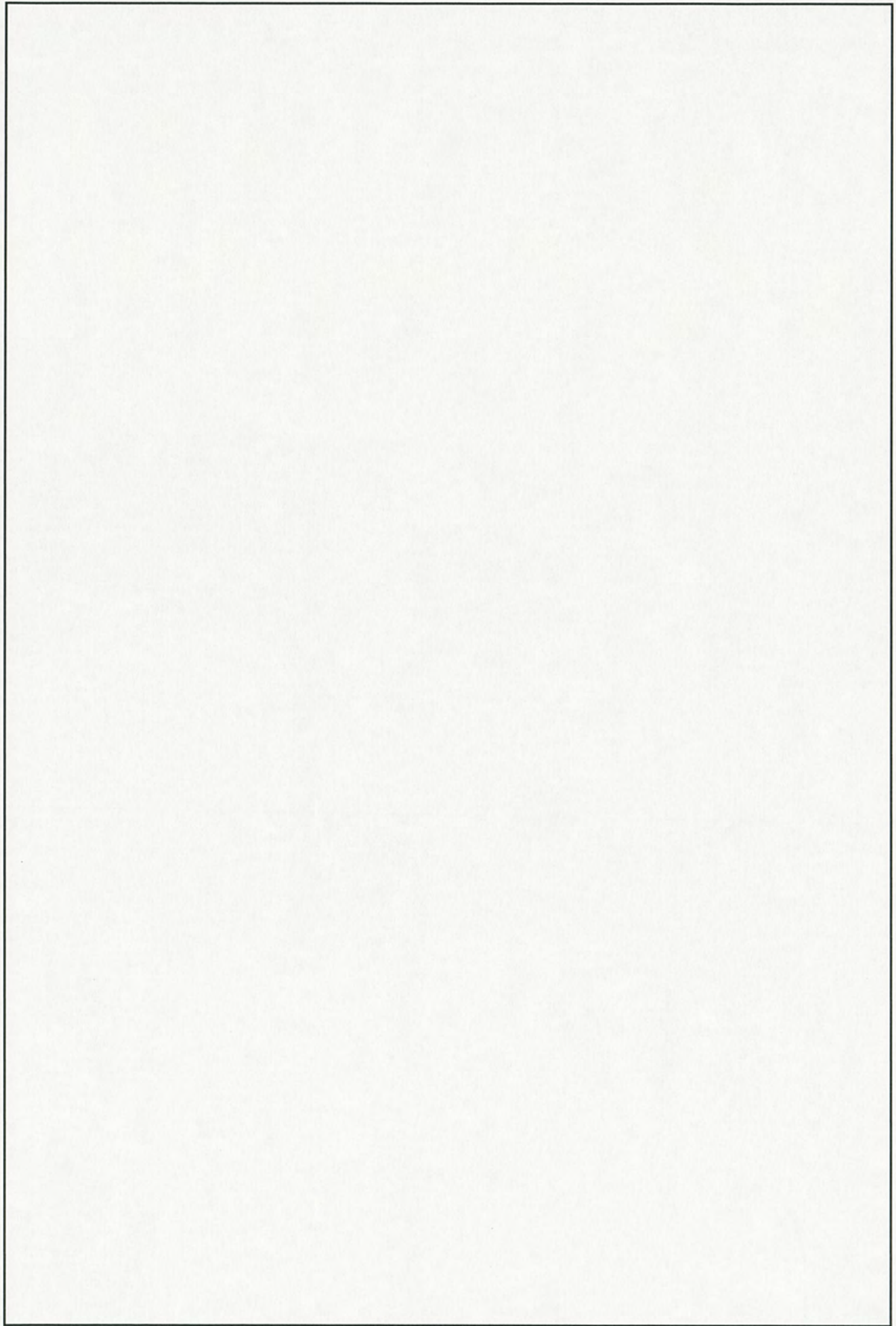


図 3.1 落下試験 No.1 - 原型容器 P3

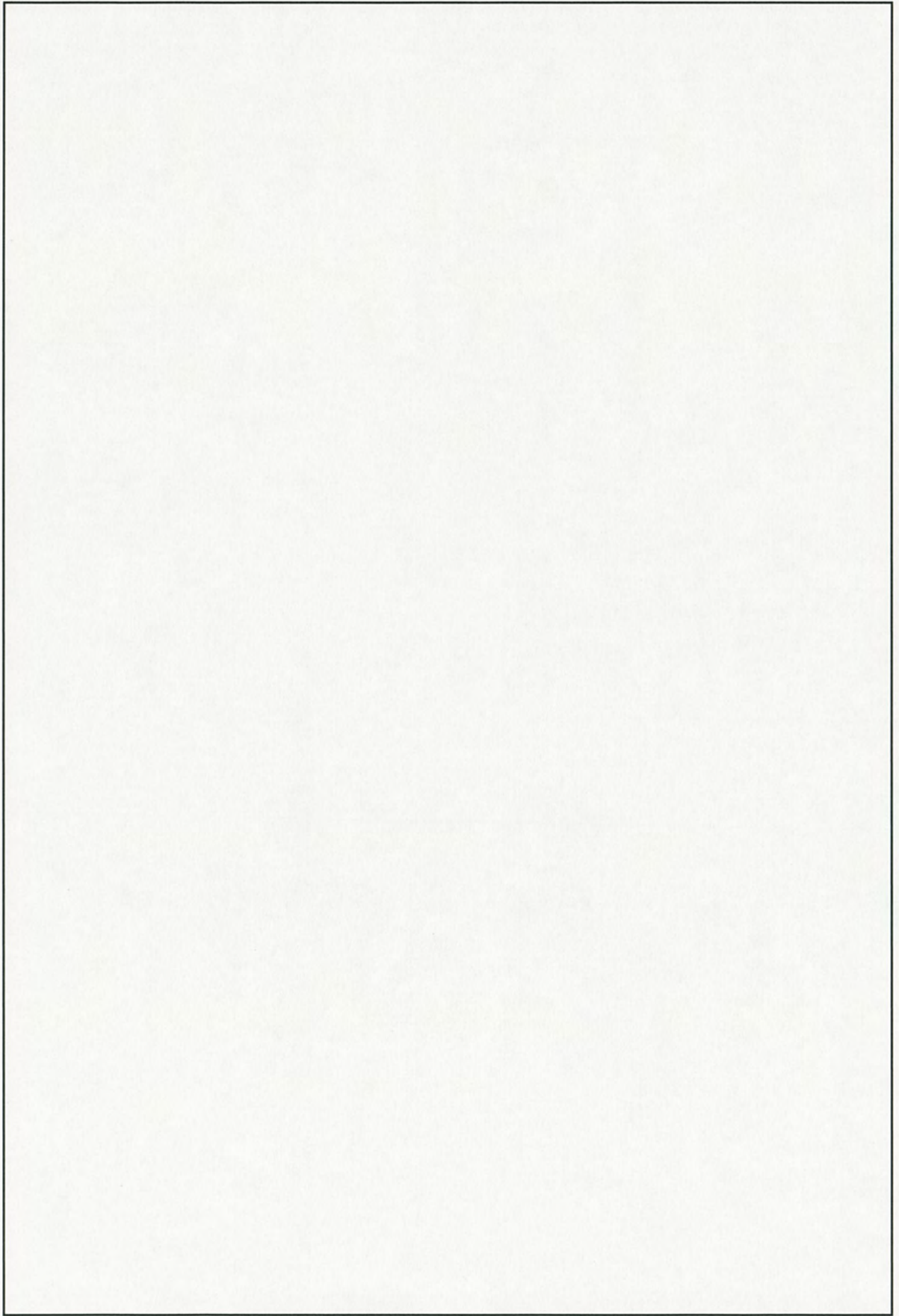


図 3.2 落下試験 No.2 - 原型容器 P3

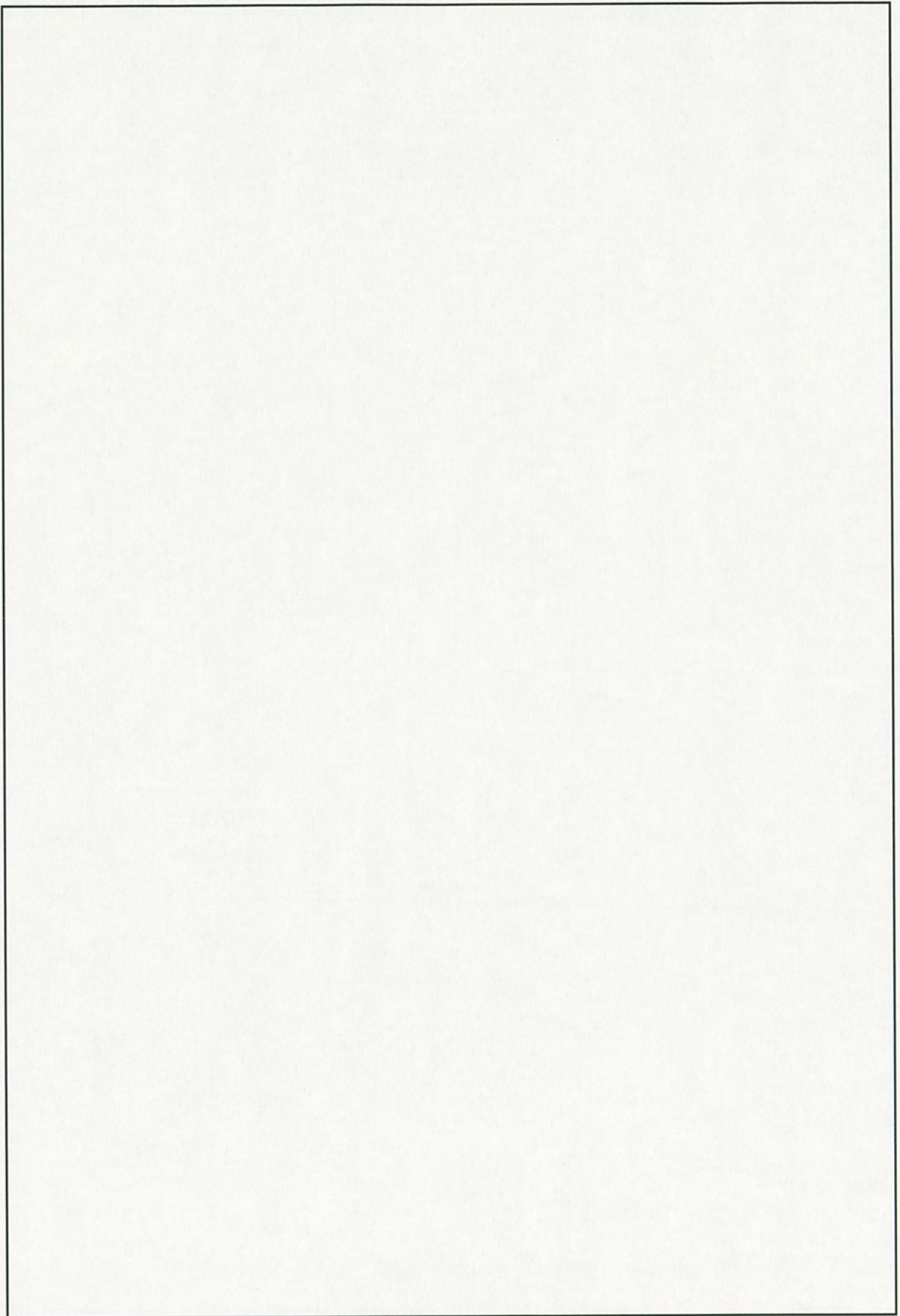


図 3.3 落下試験 No.3 - 原型容器 P3

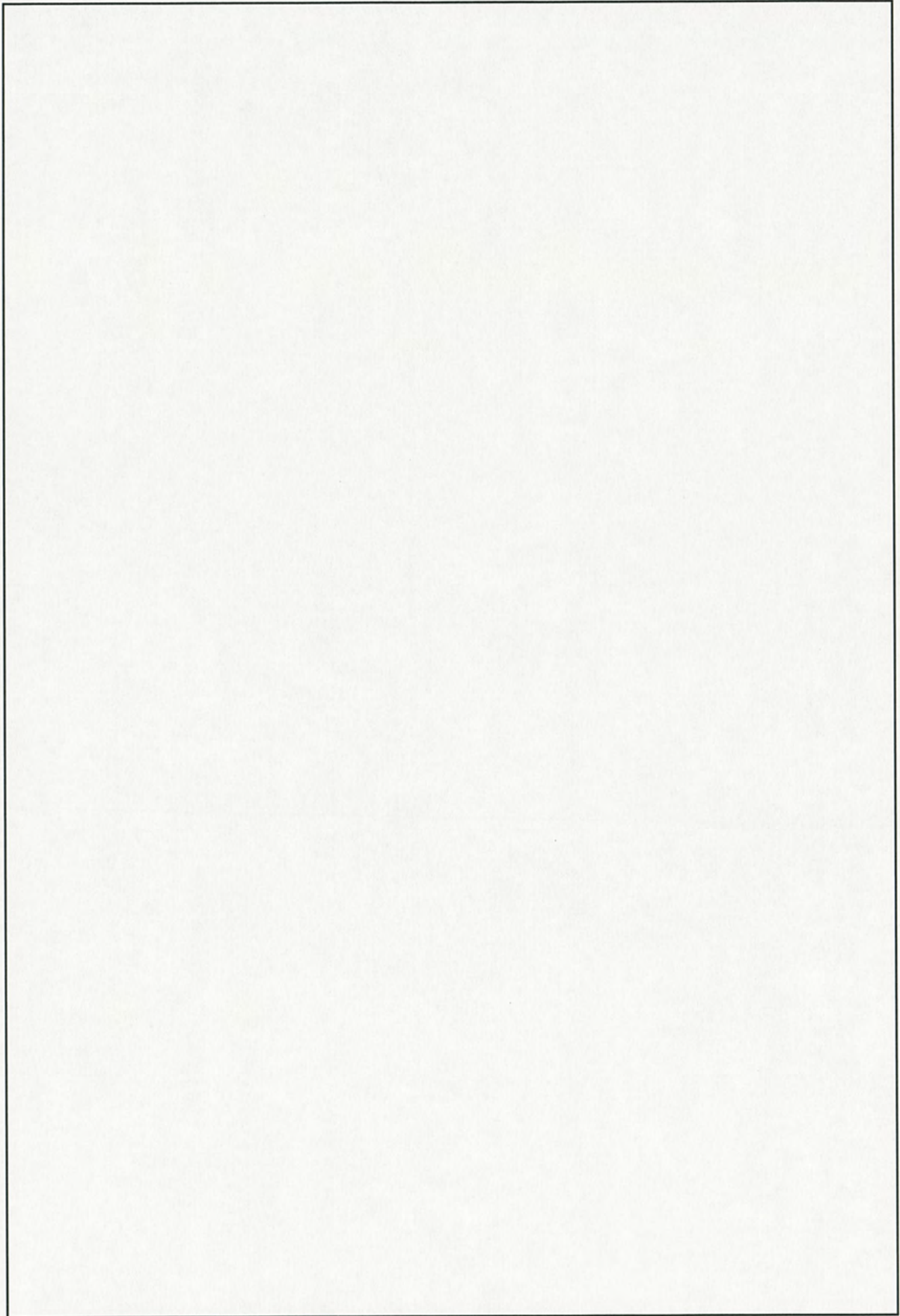


図 3.4 落下試験 No.4 - 原型容器 P3

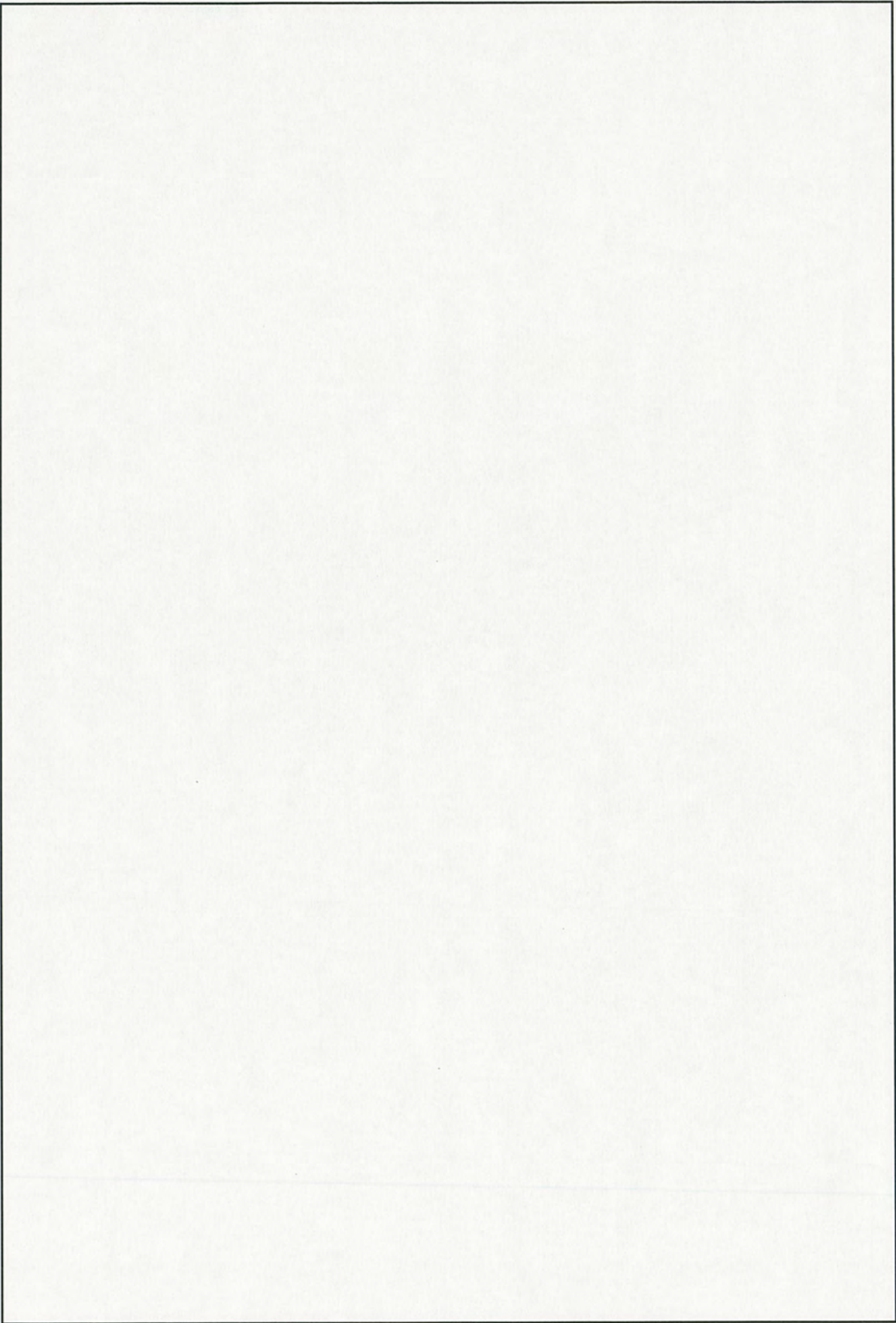


図 3.5 落下試験 No.5 - 原型容器 P3

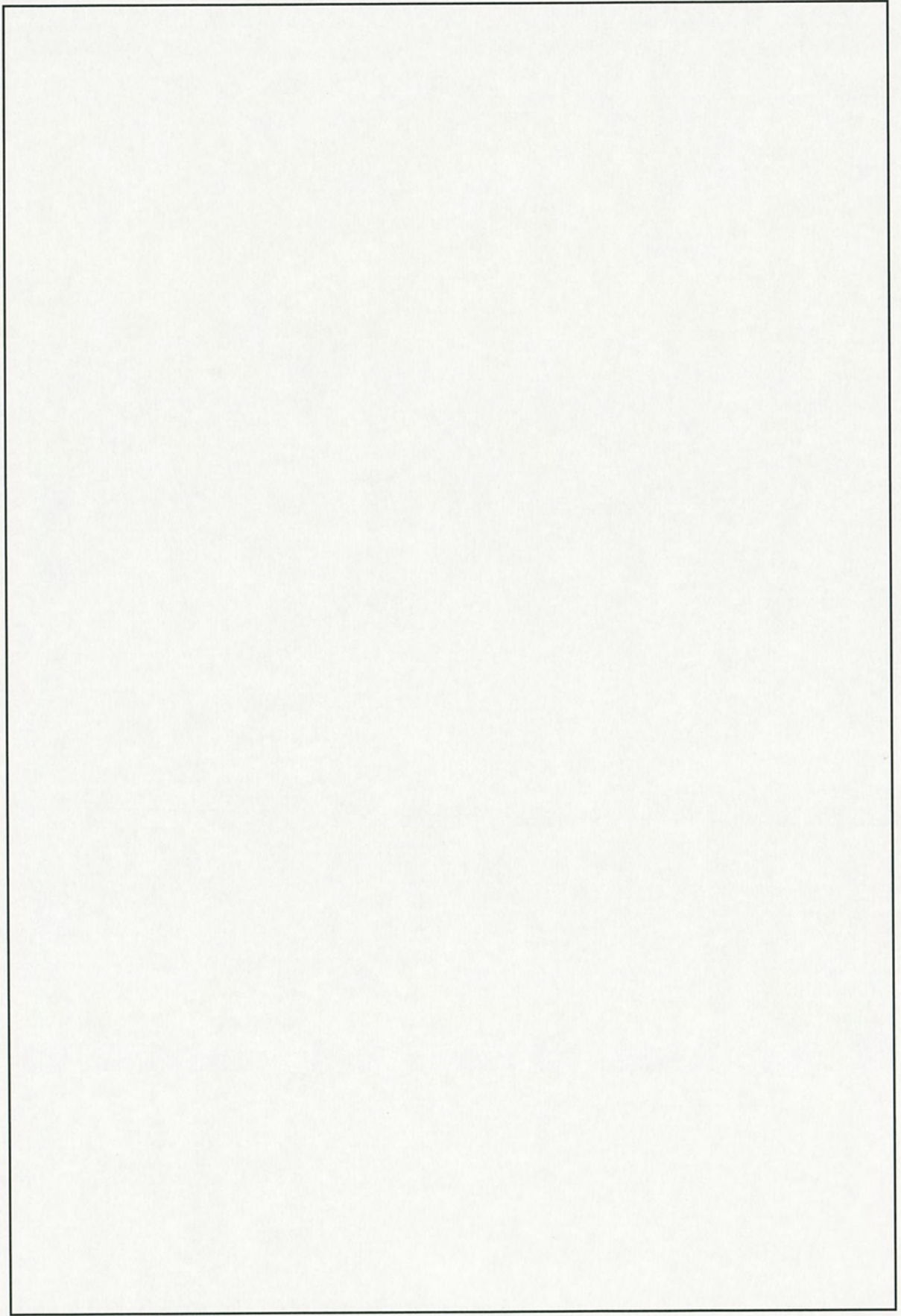


図 3.6 落下試験 No.6 - 原型容器 P3

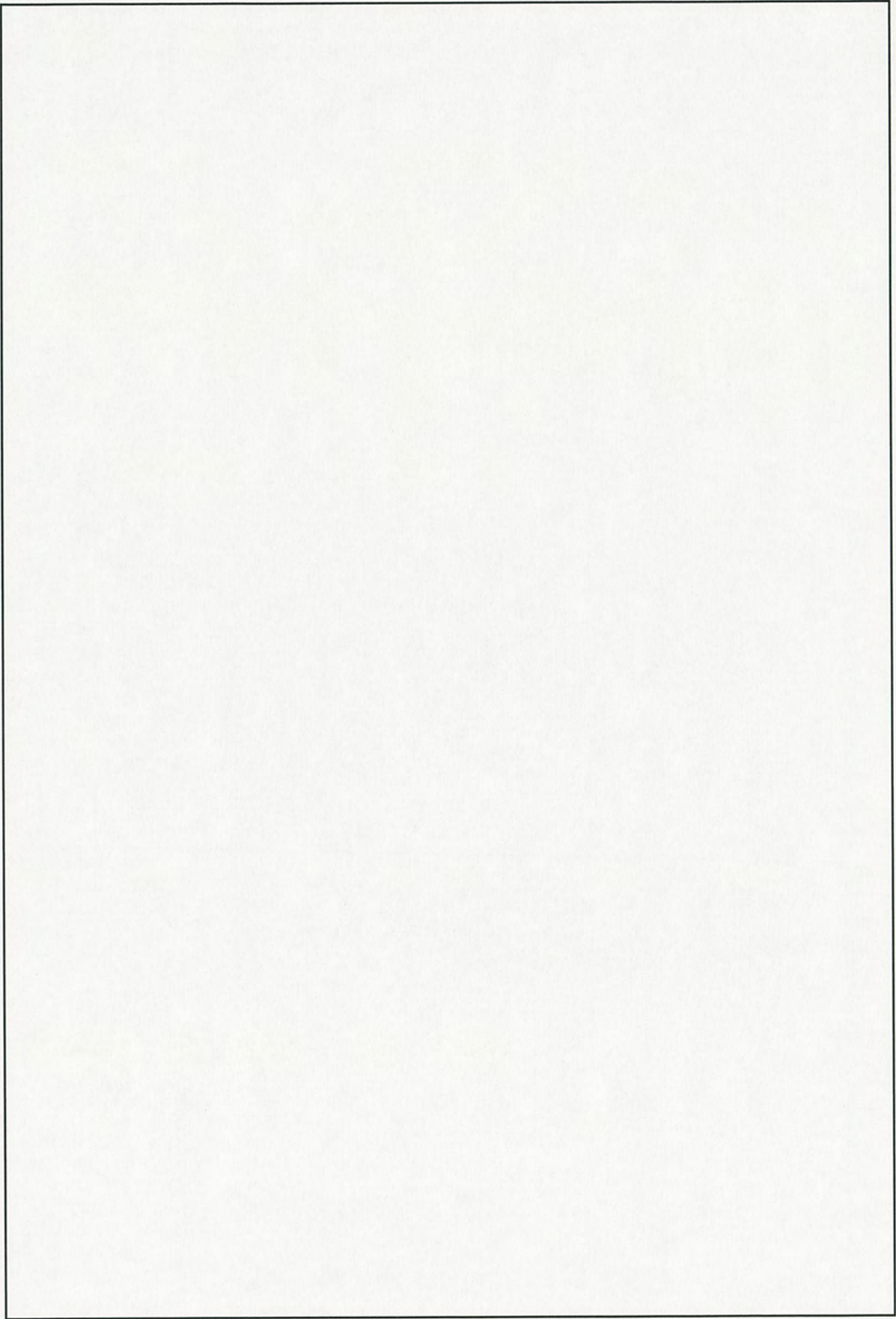


図 3.7 落下試験 No.1 - 原型容器 P4

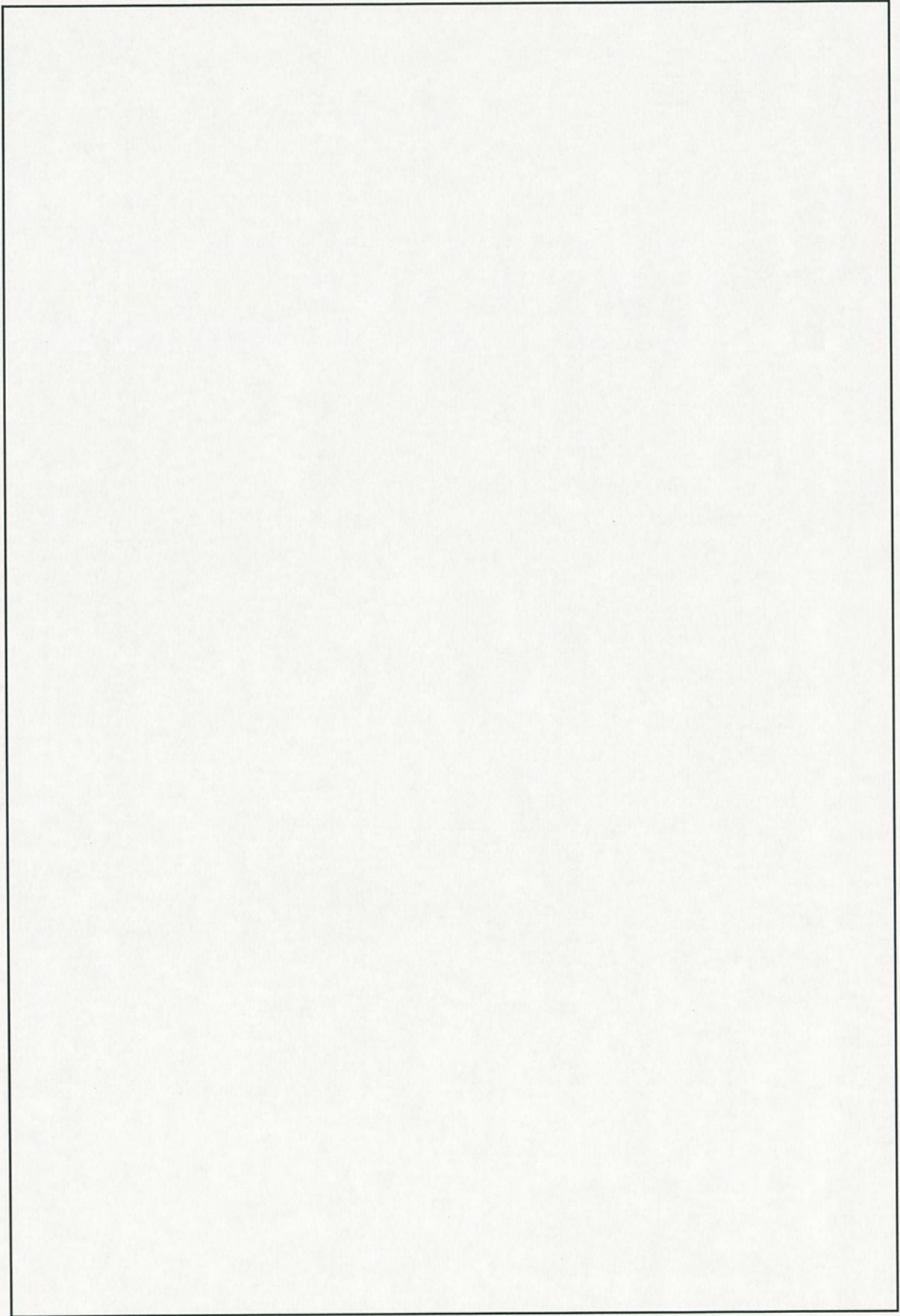


図 3.8 落下試験 No.2 - 原型容器 P4

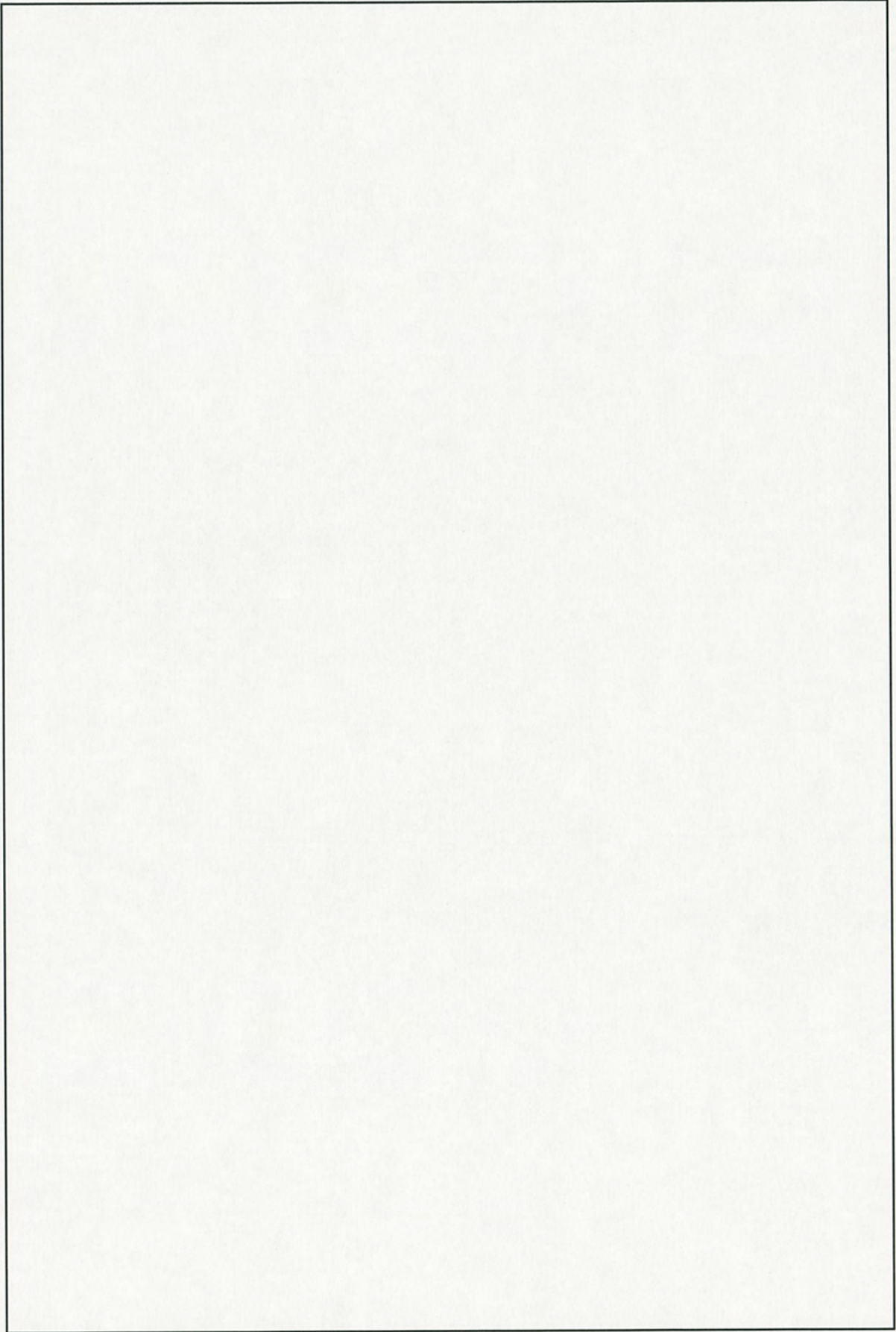


図 3.9 落下試験 No.3 - 原型容器 P4

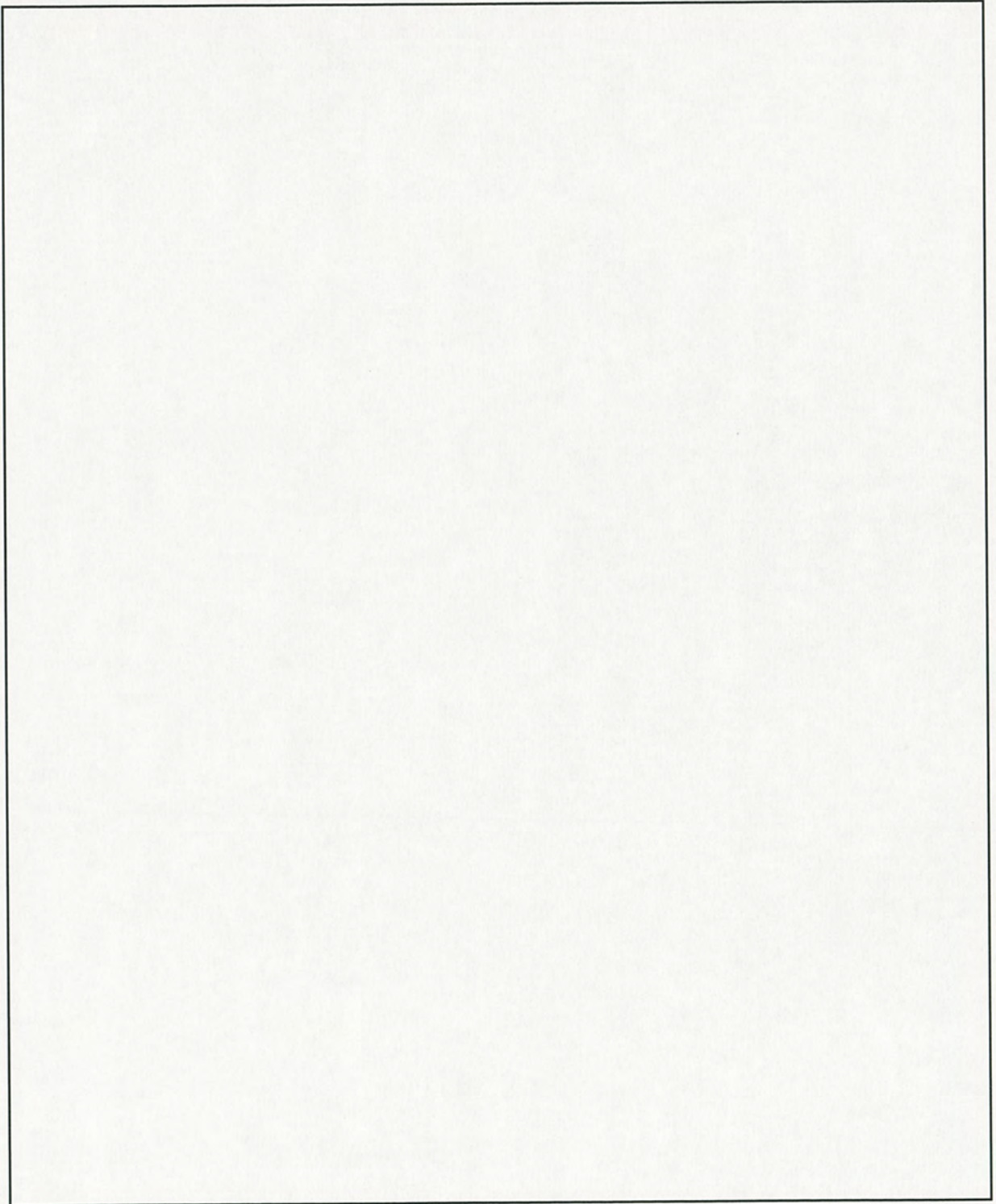


図 3.10 落下試験 No.4 - 原型容器 P4

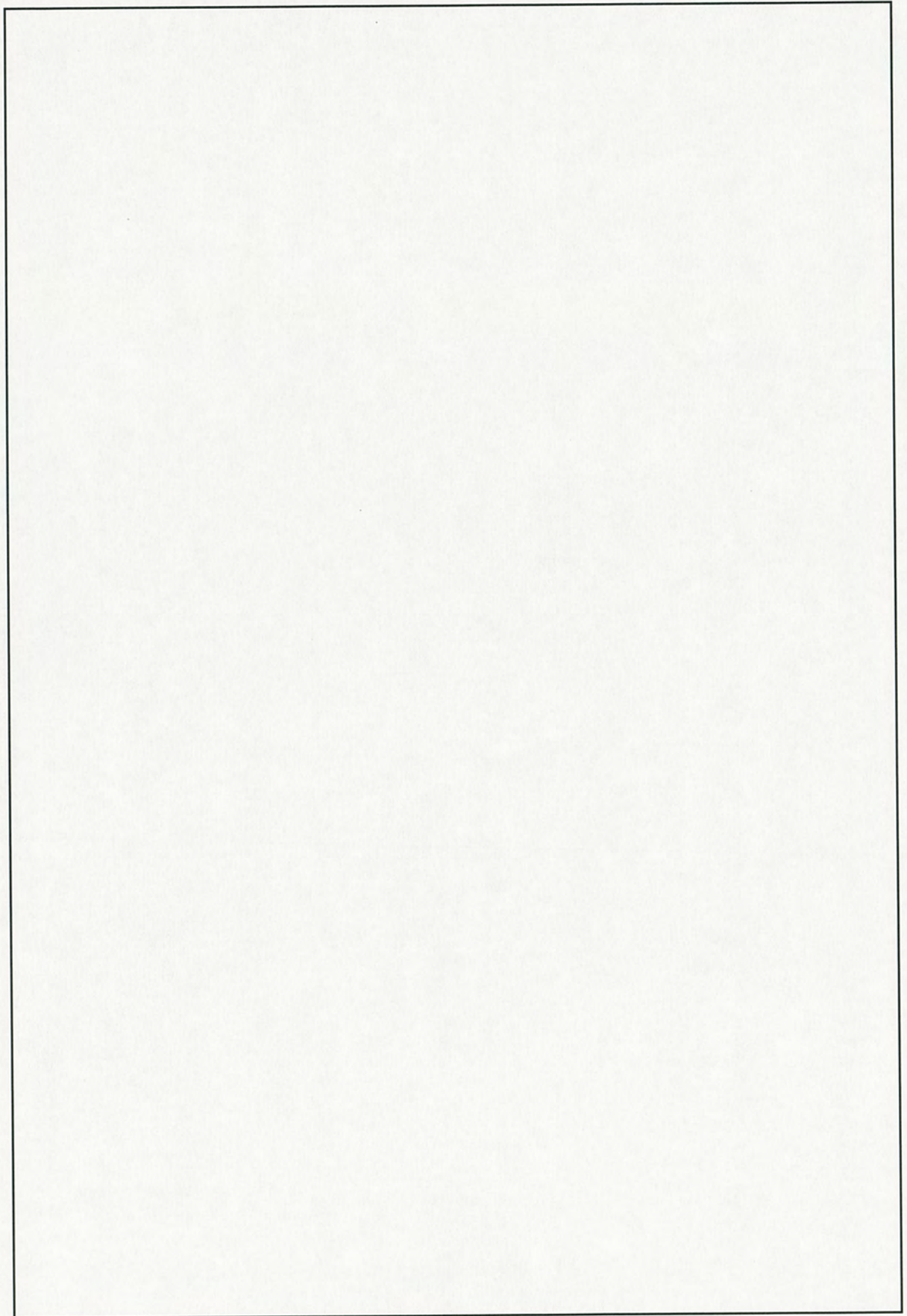


図 3.11 落下試験 No.5 - 原型容器 P4

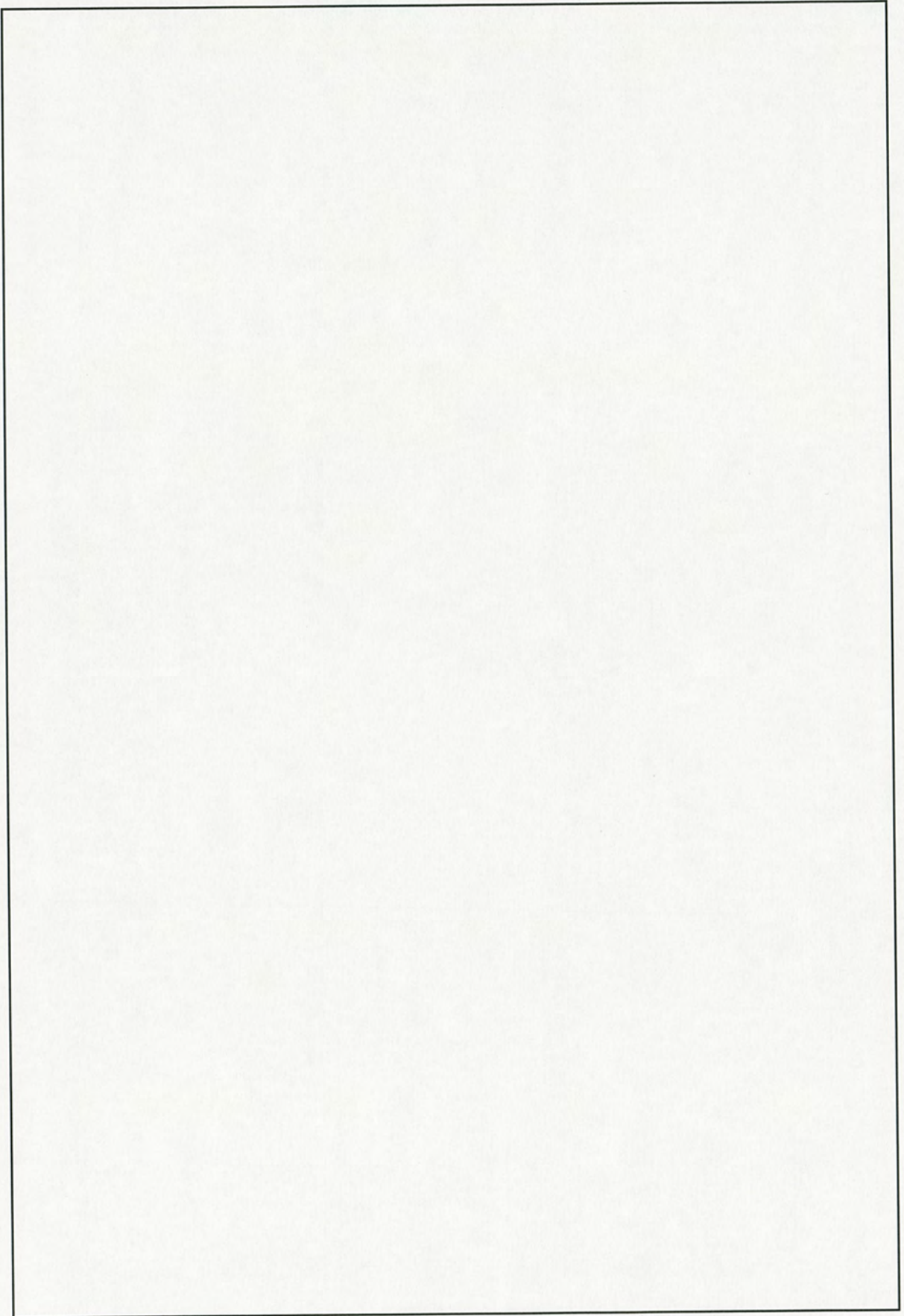


図 3.12 落下試験 No.6 - 原型容器 P4

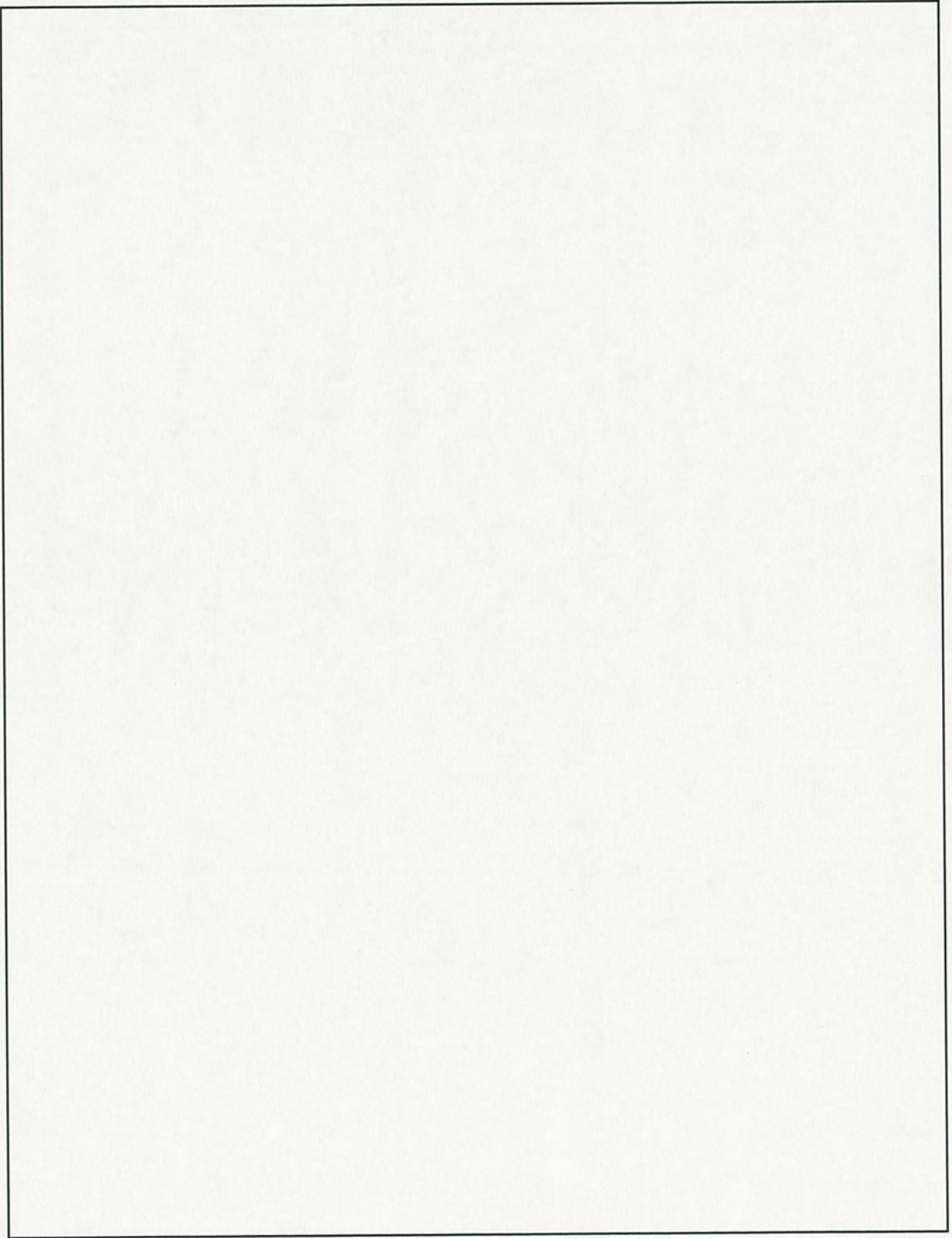


図 3.13 落下試験 No.7- 原型容器 P4

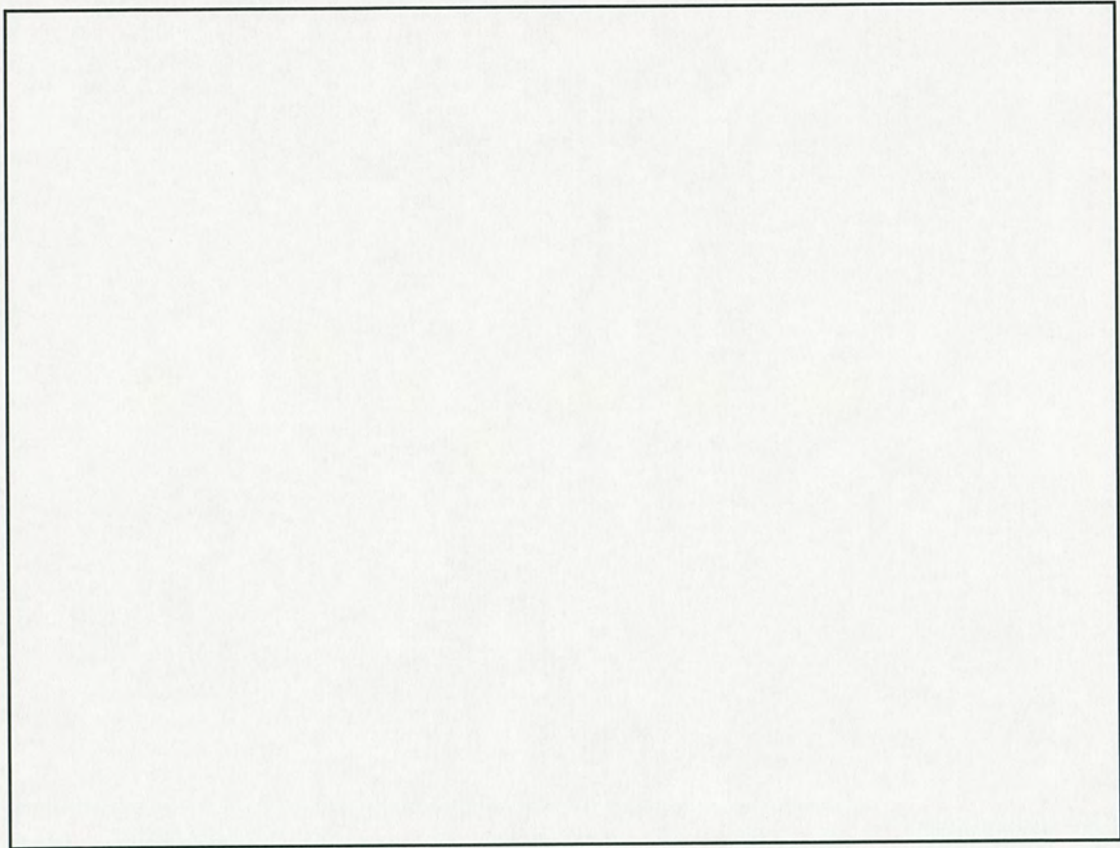


写真 3.1 試験前の供試体 (P3) の外観

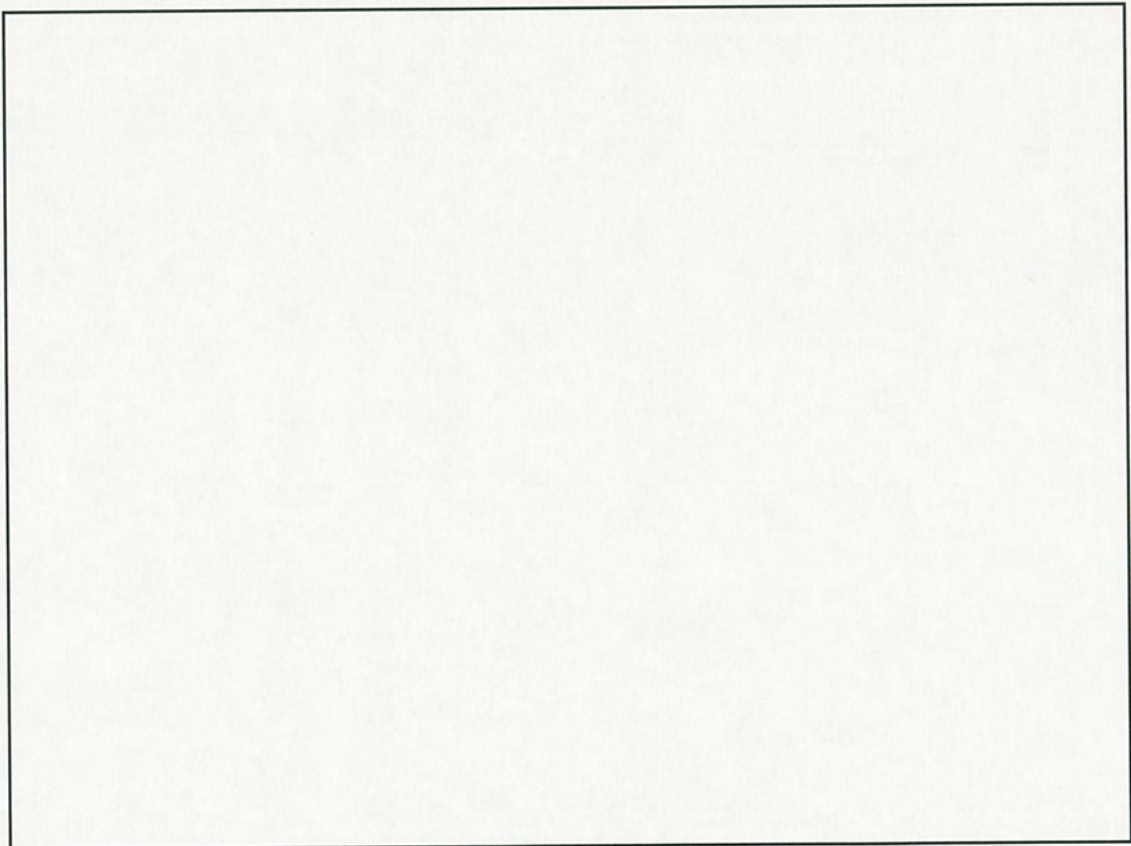


写真 3.2 外蓋底面の外観

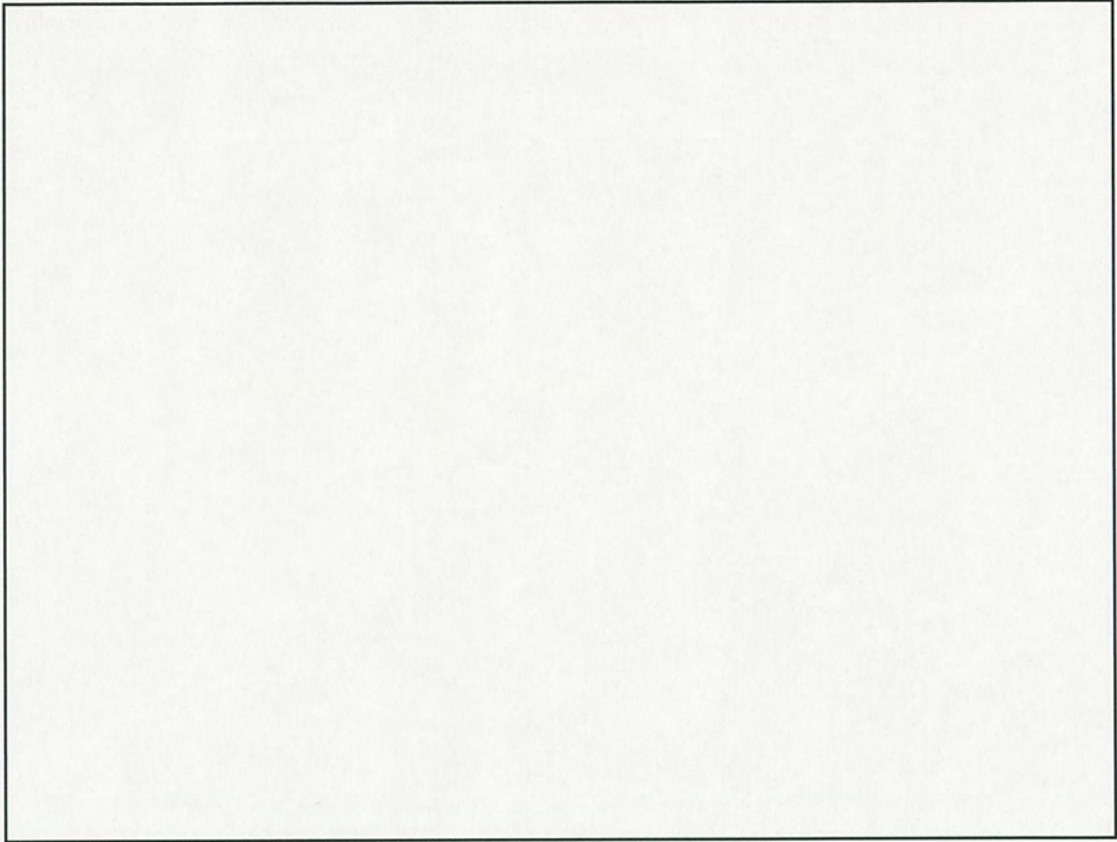


写真 3.3 軽量フランジ及び粉末収納缶の外観

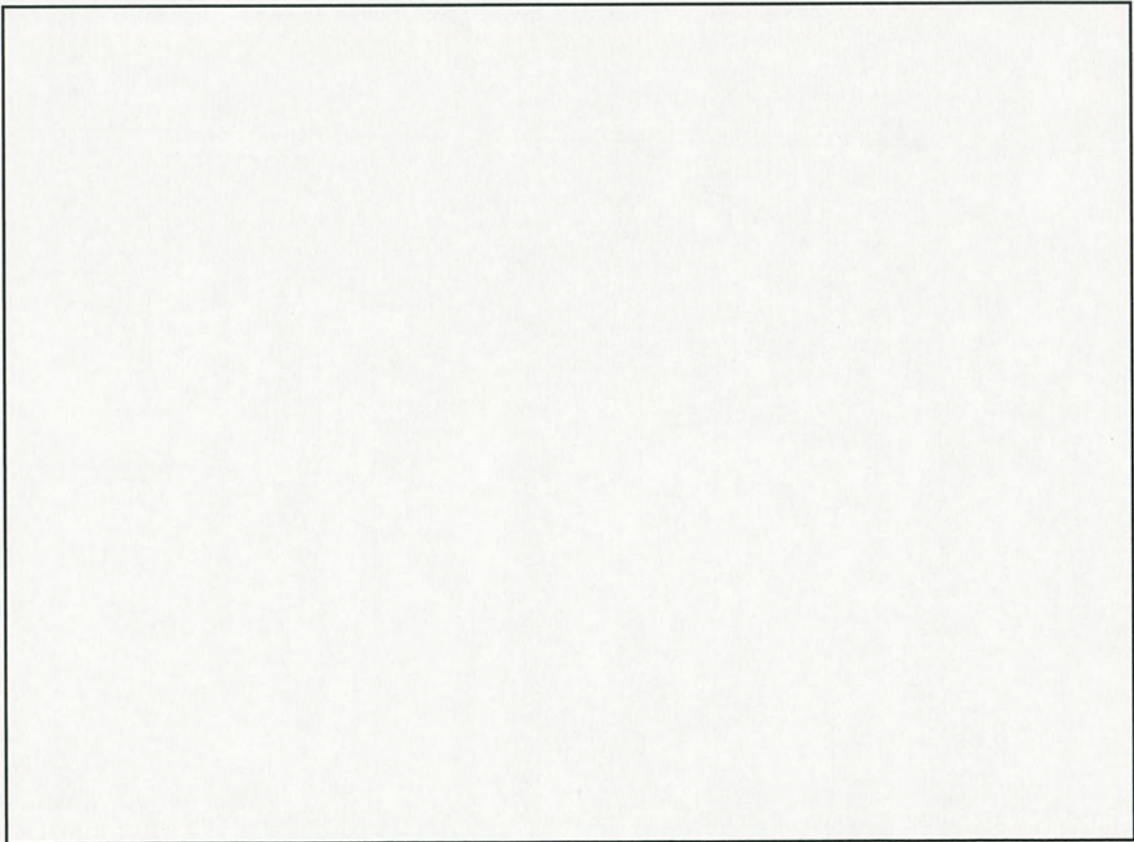


写真 3.4 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

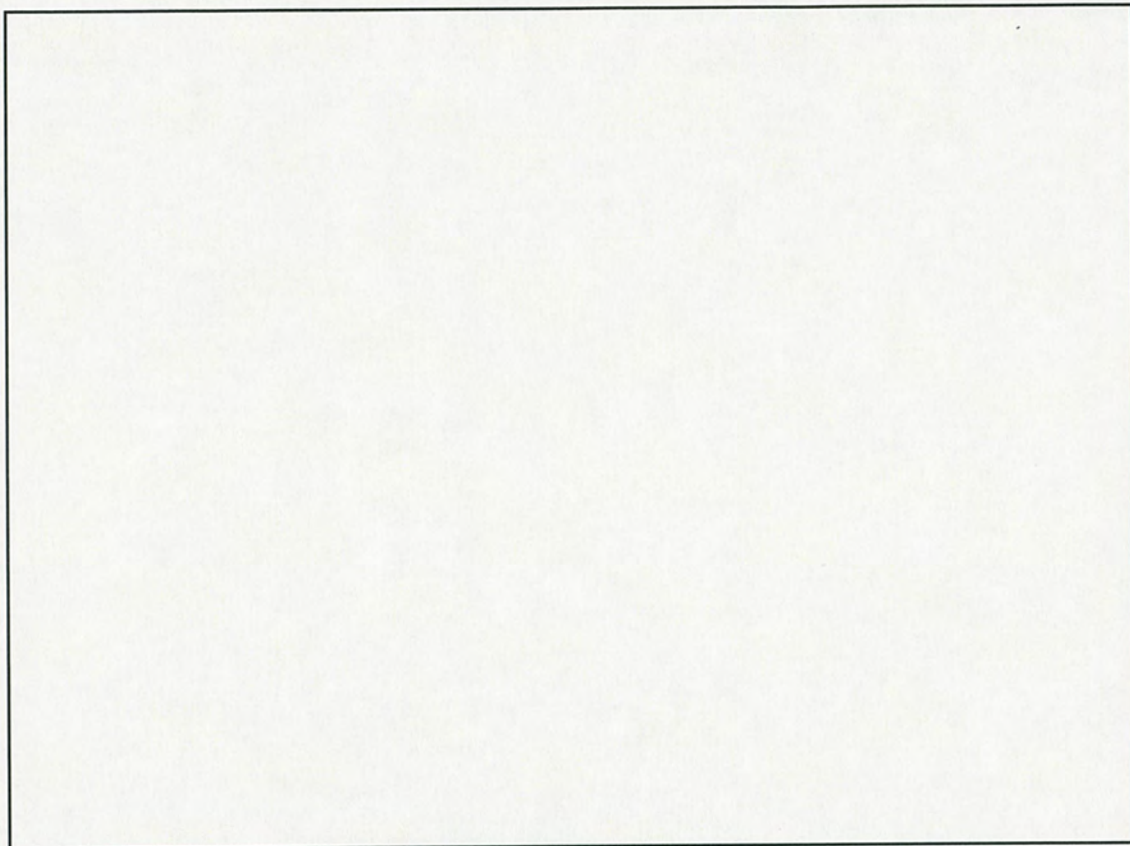


写真 3.5 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋回り止めデバイス止めピン

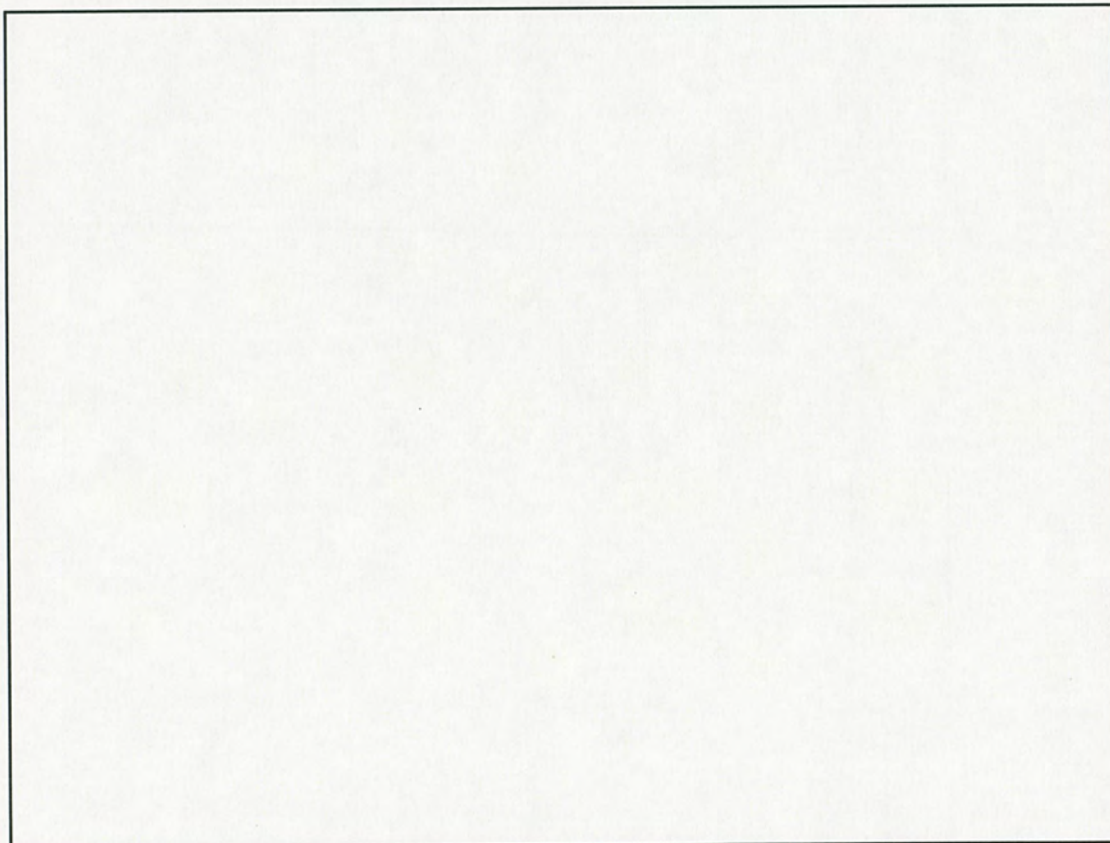


写真 3.6 貫通試験 (6 kg) 後 底面 1 内容器の中心

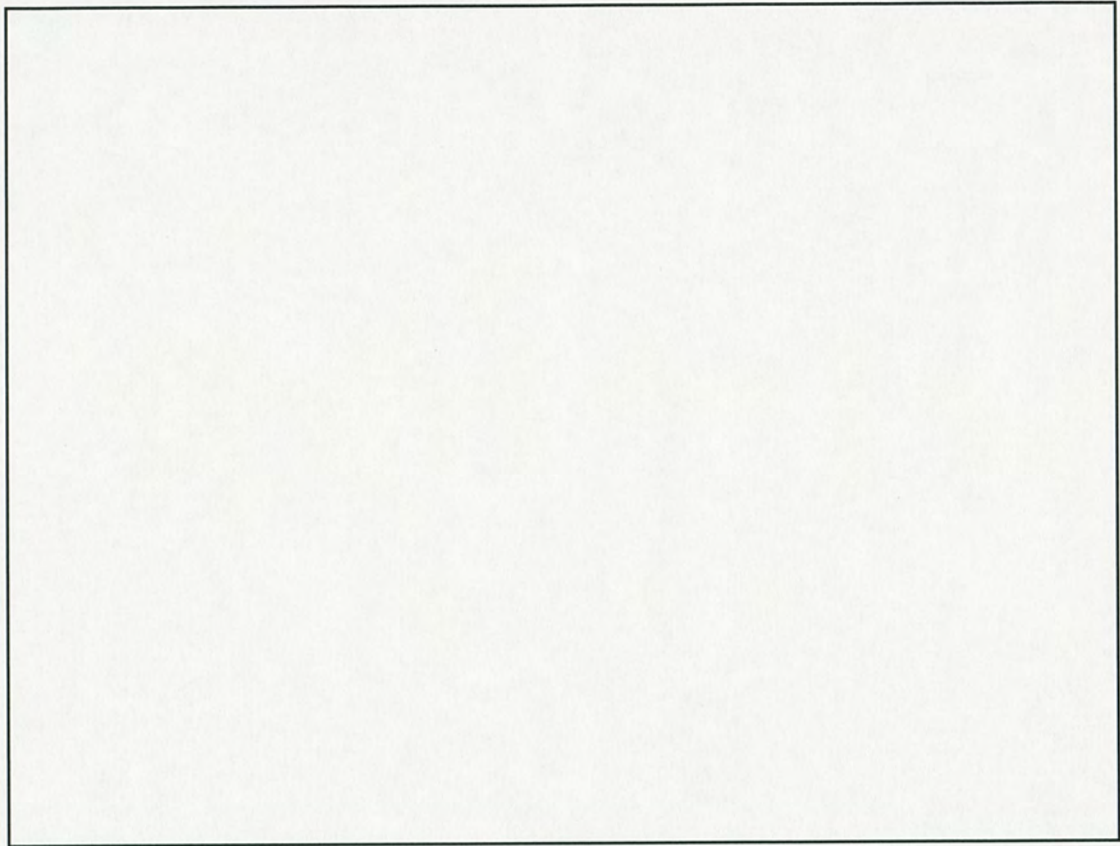


写真 3.7 落下試験 (高さ 1.2 m) 前 側面

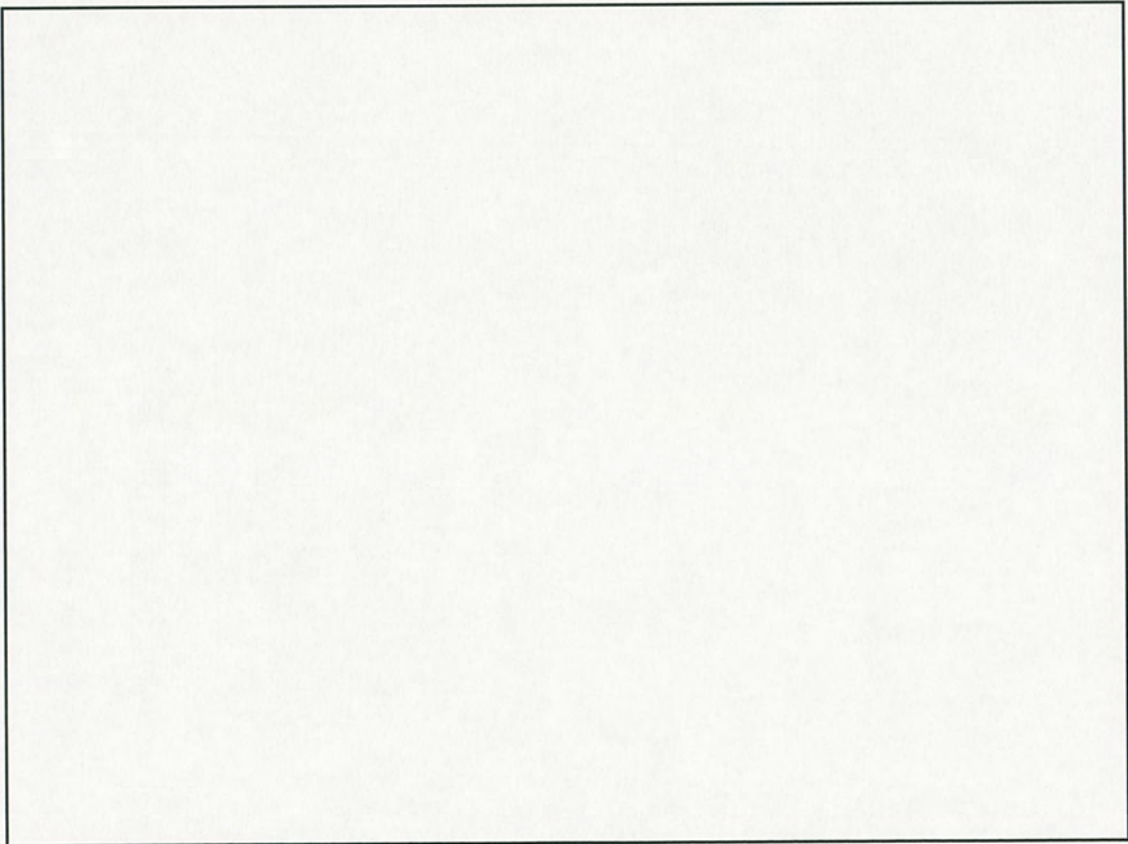


写真 3.8 落下試験 (高さ 1.2 m) 後 側面

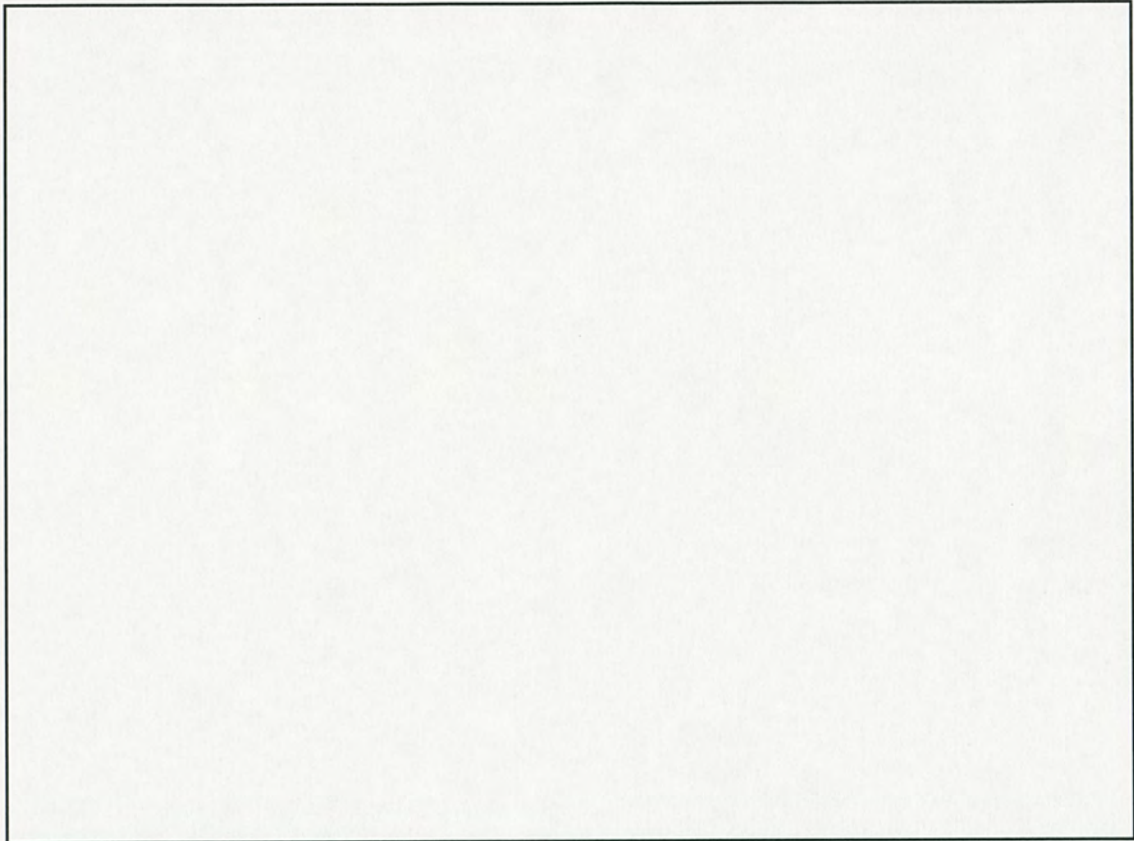


写真 3.9 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）前 底面中央付近

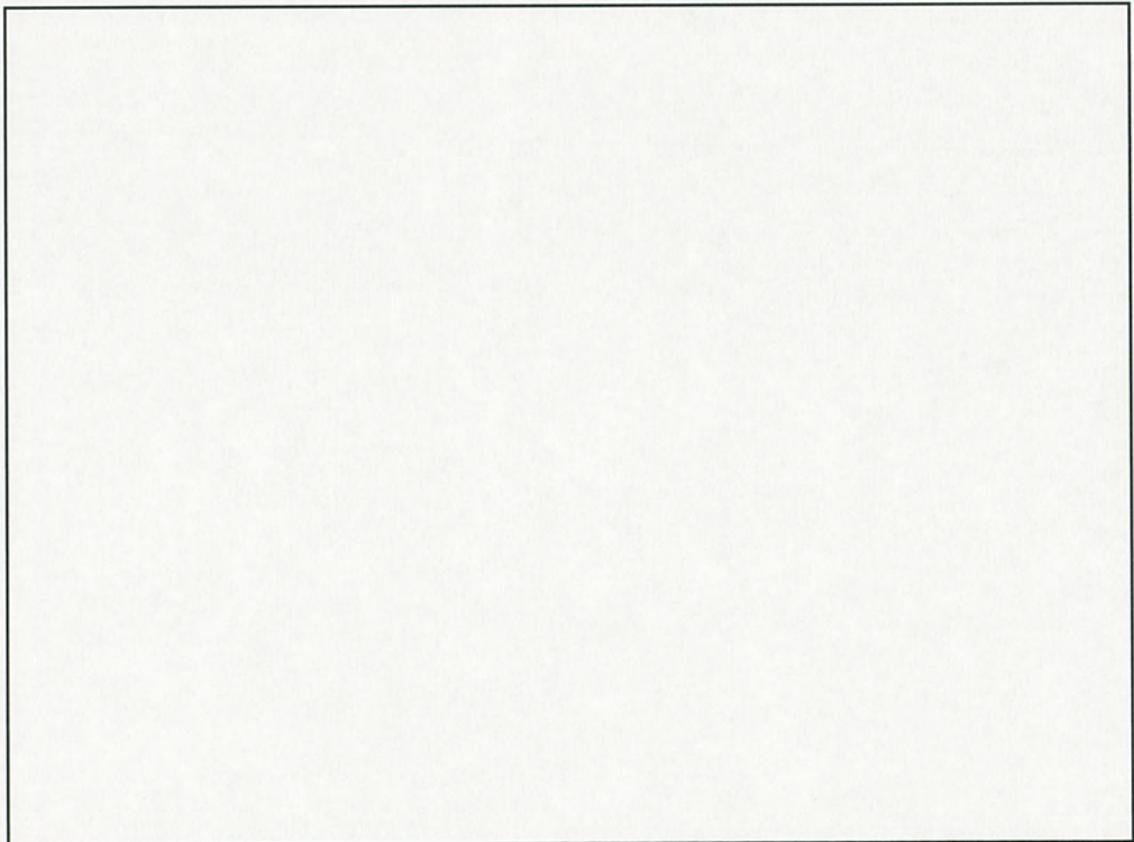


写真 3.10 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 底面中央付近

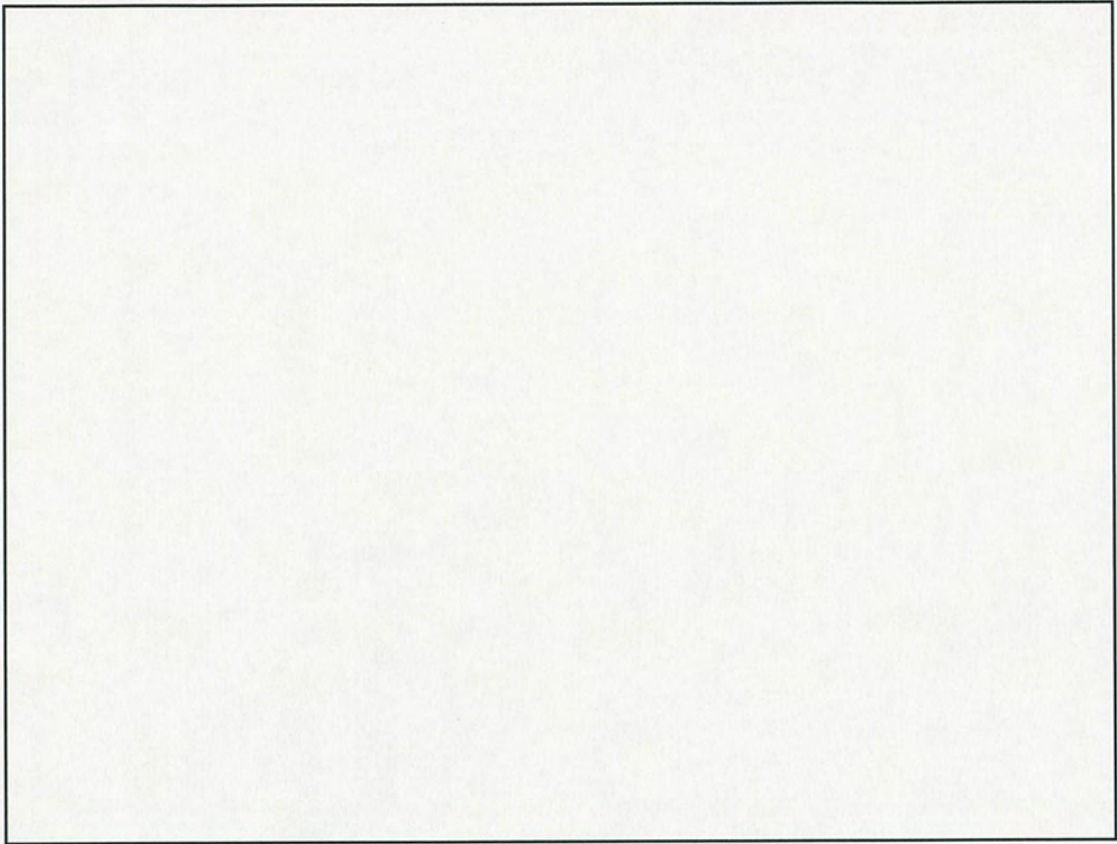


写真 3.11 落下試験 I (高さ 9 m) 前 側面

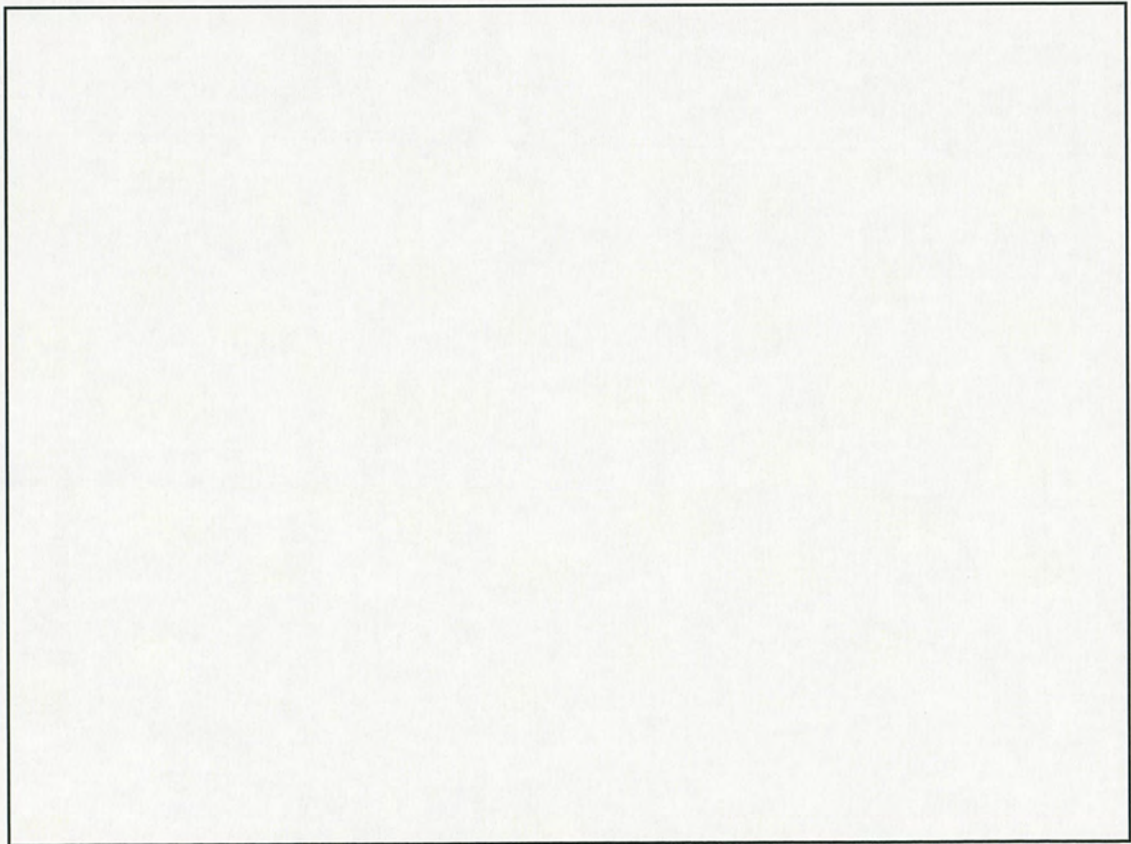


写真 3.12 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面



写真 3.13 落下試験 I (高さ 9 m) 後 側面

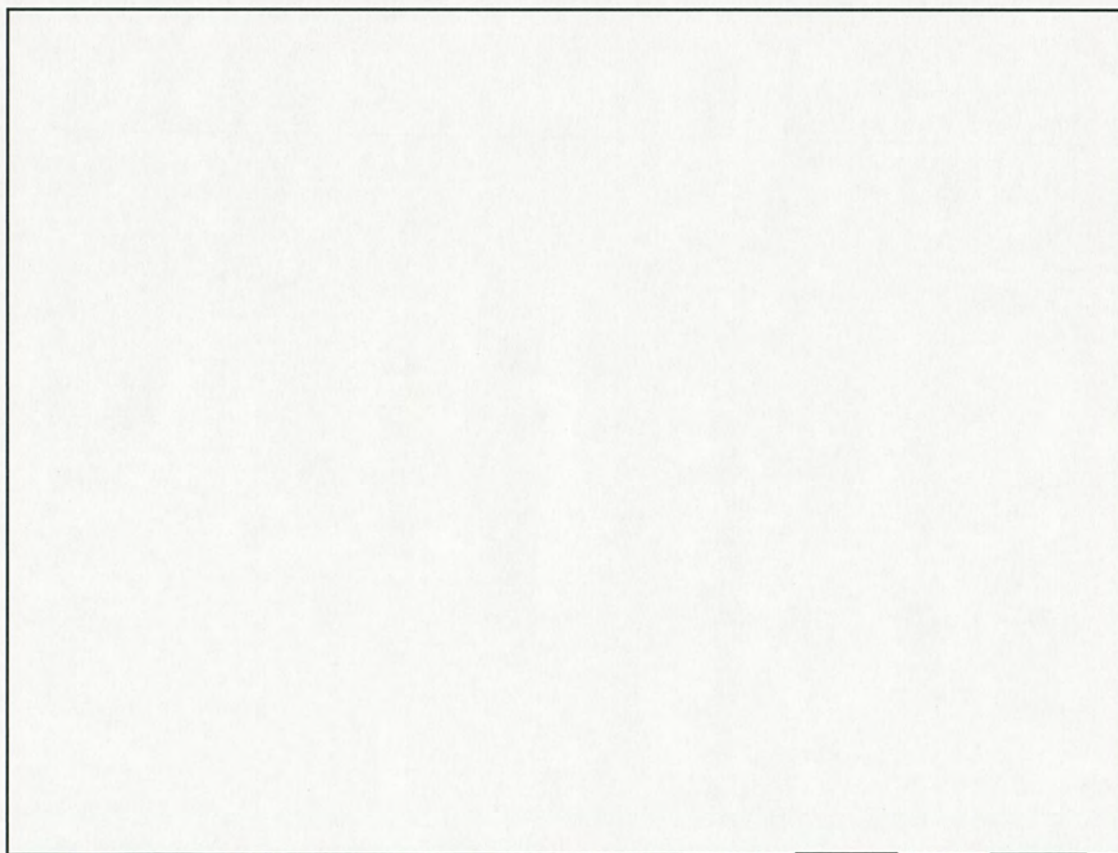


写真 3.14 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前 内容器

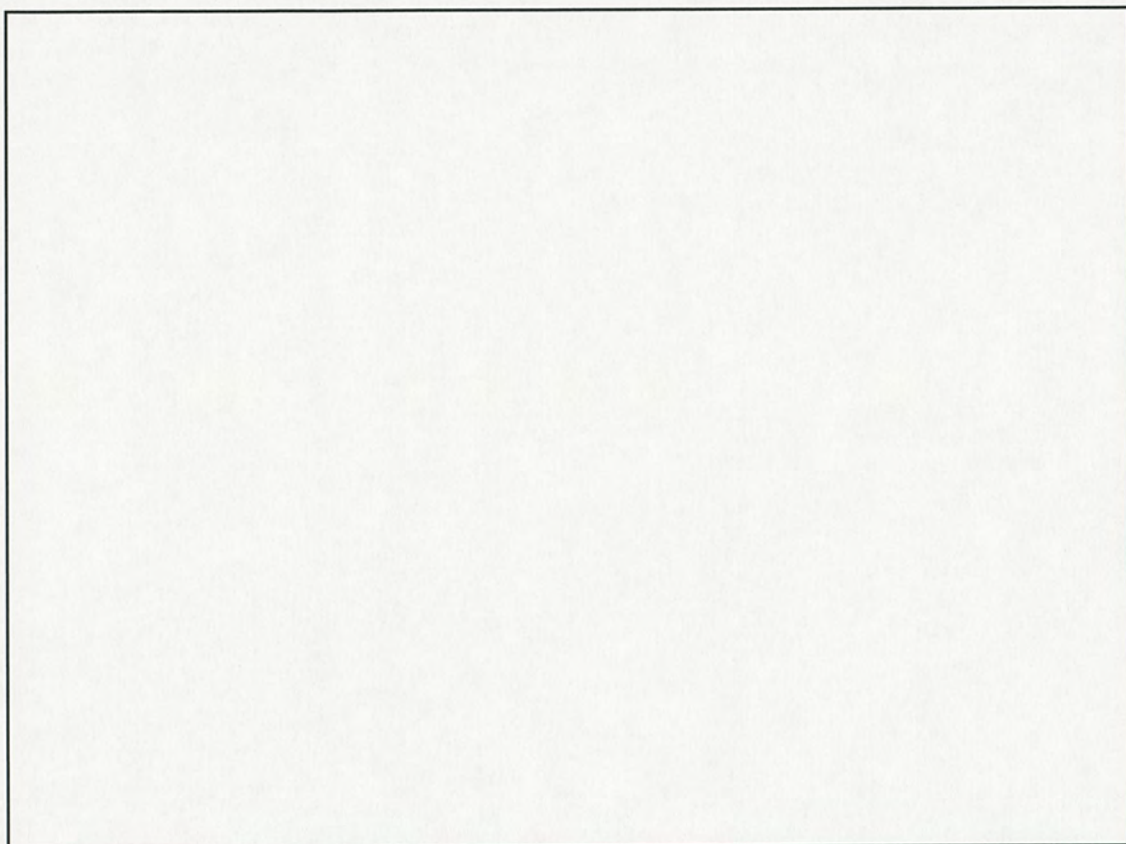


写真 3.15 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 内容器

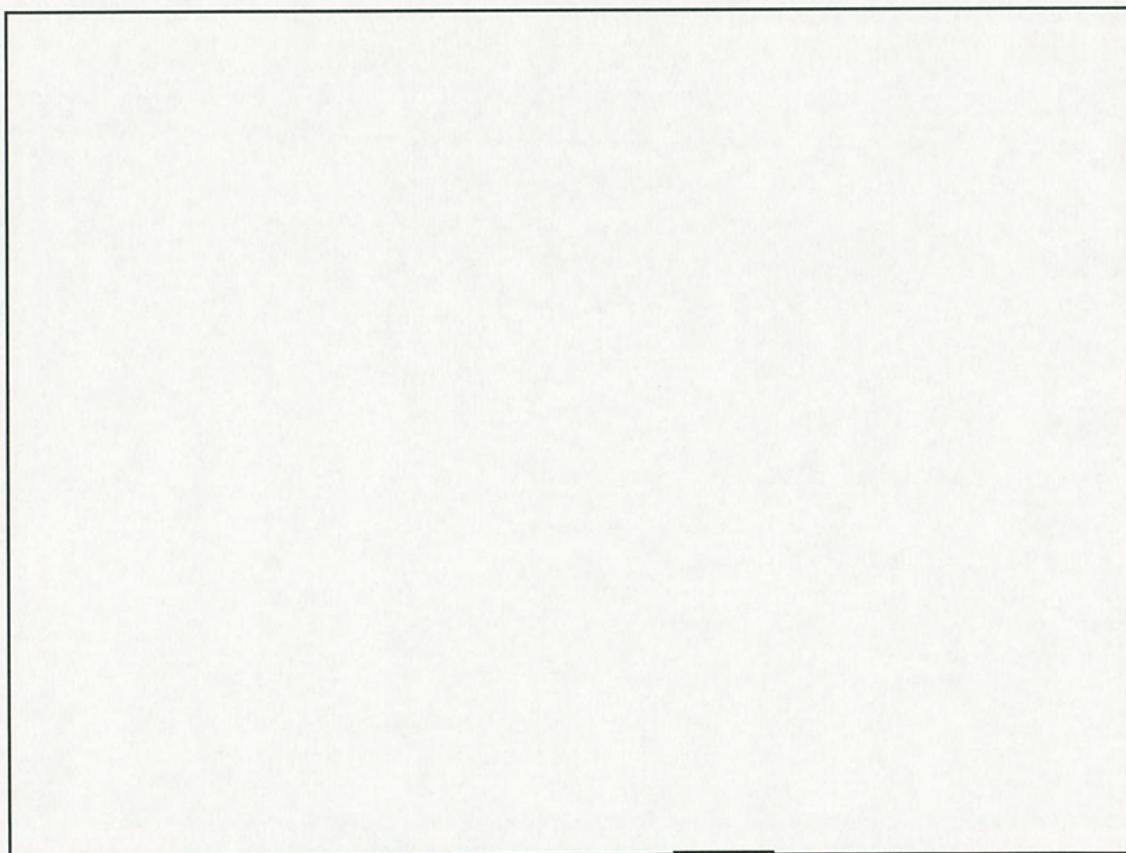


写真 3.16 貫通試験（6 kg）後 内容器

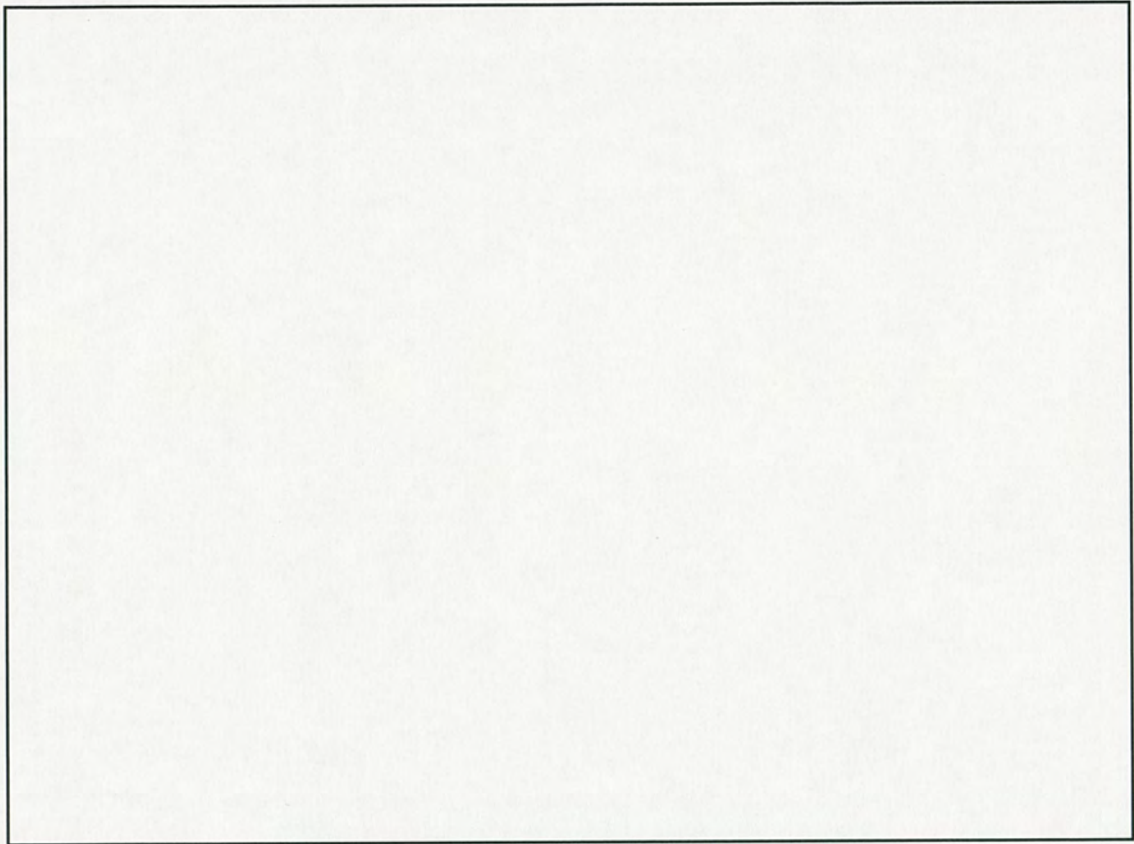


写真 3.17 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋上面

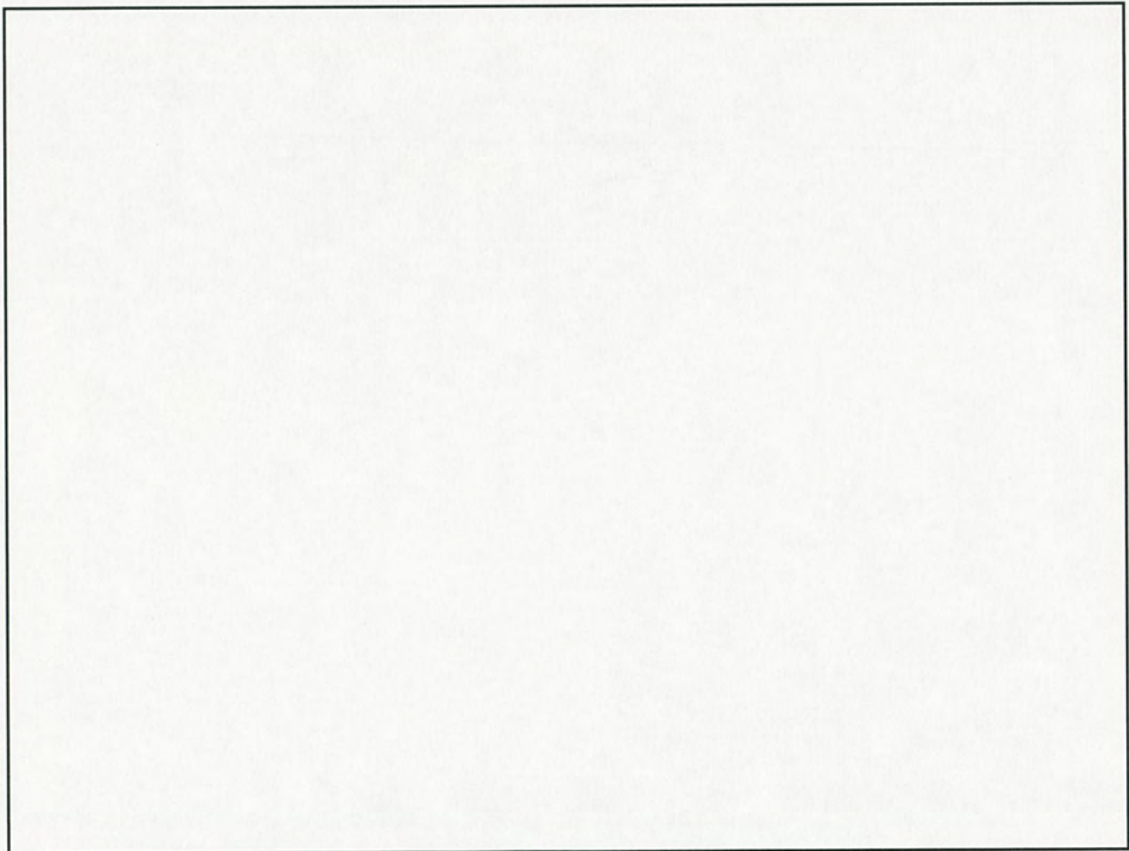


写真 3.18 貫通試験 (6 kg) 後 外蓋バイオネット嵌合部間

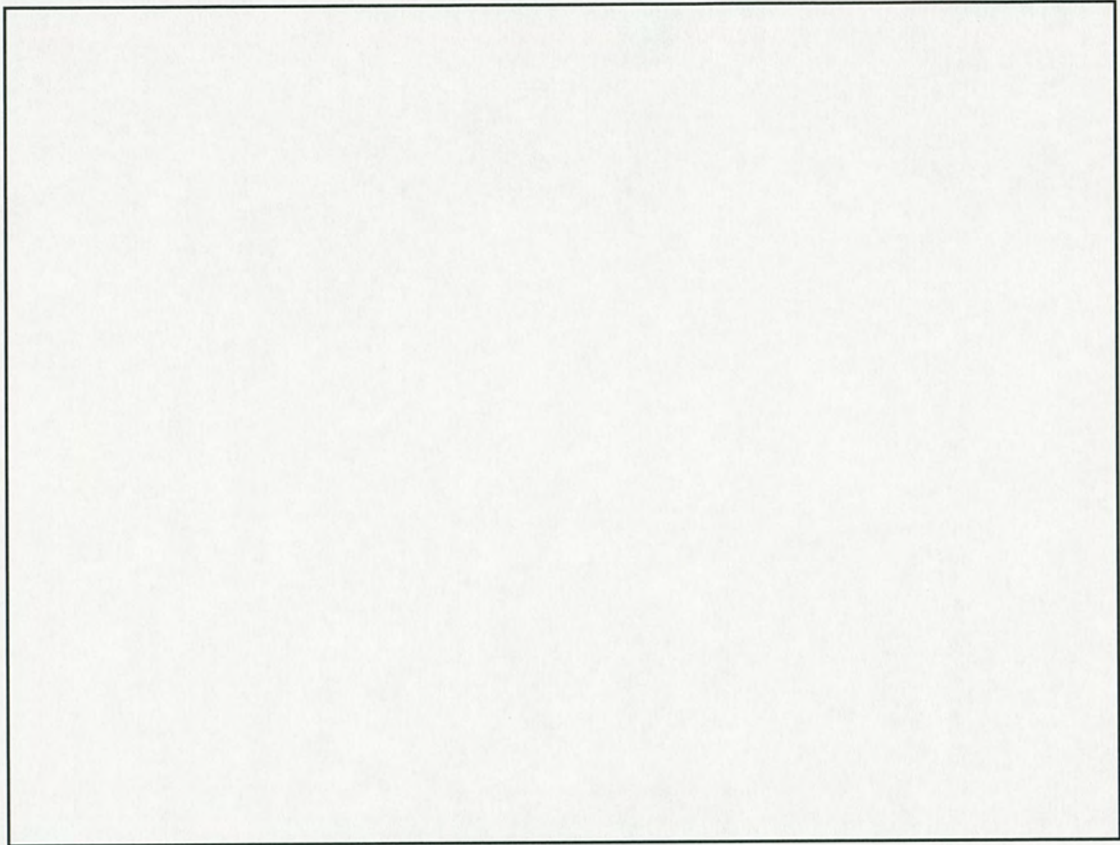


写真 3.19 落下試験（高さ 1.2 m）前 上面コーナー部

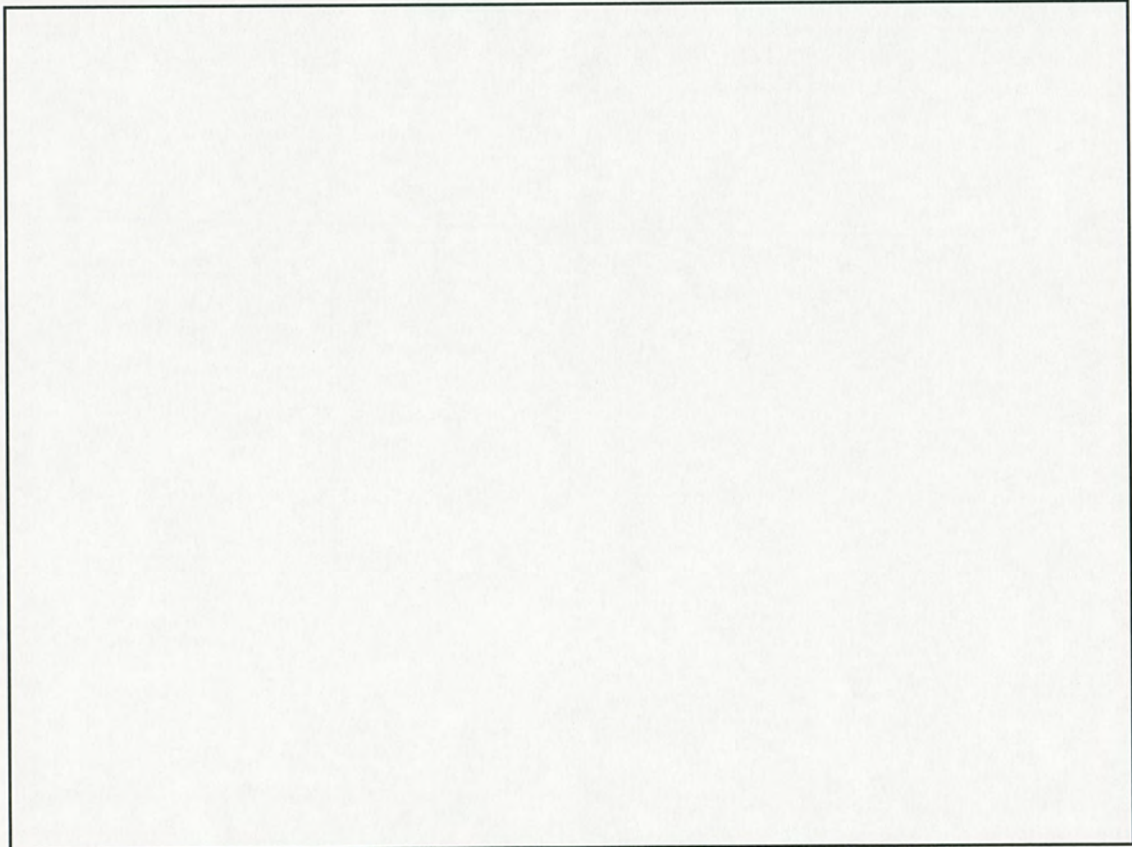


写真 3.20 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部

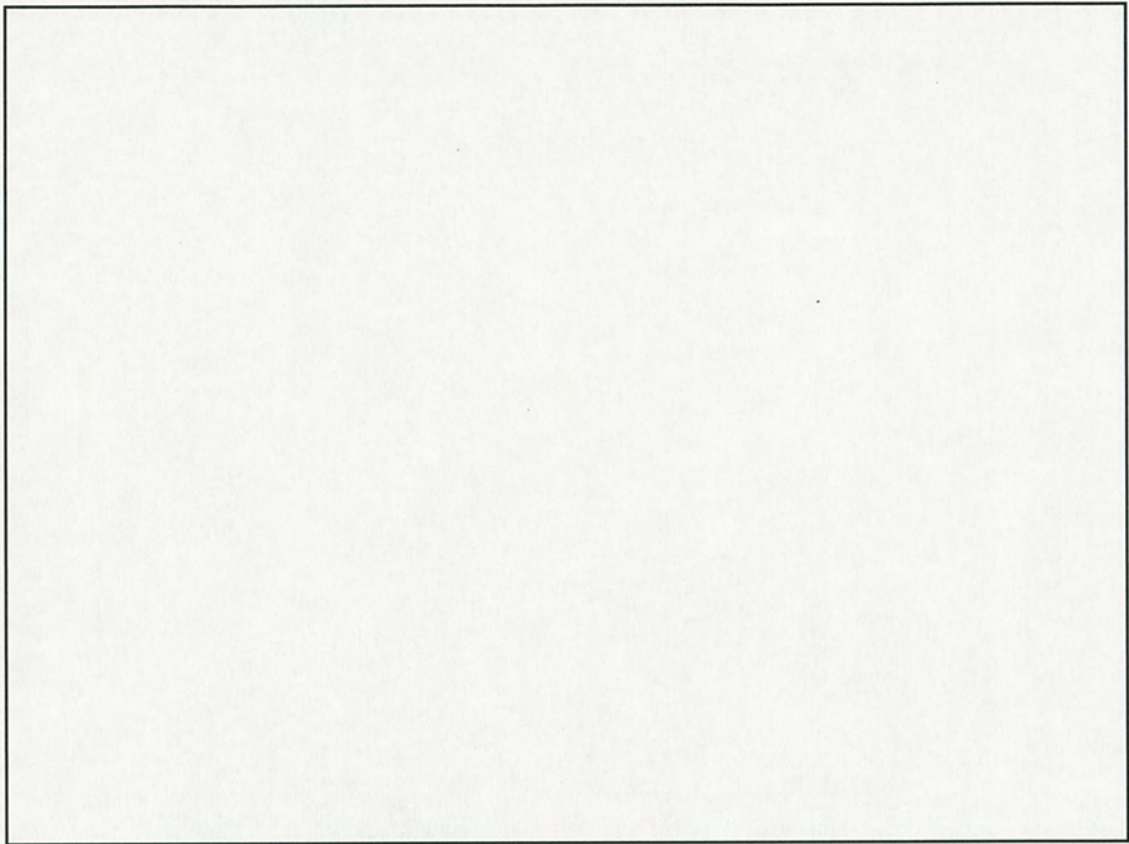


写真 3.21 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 側面中心

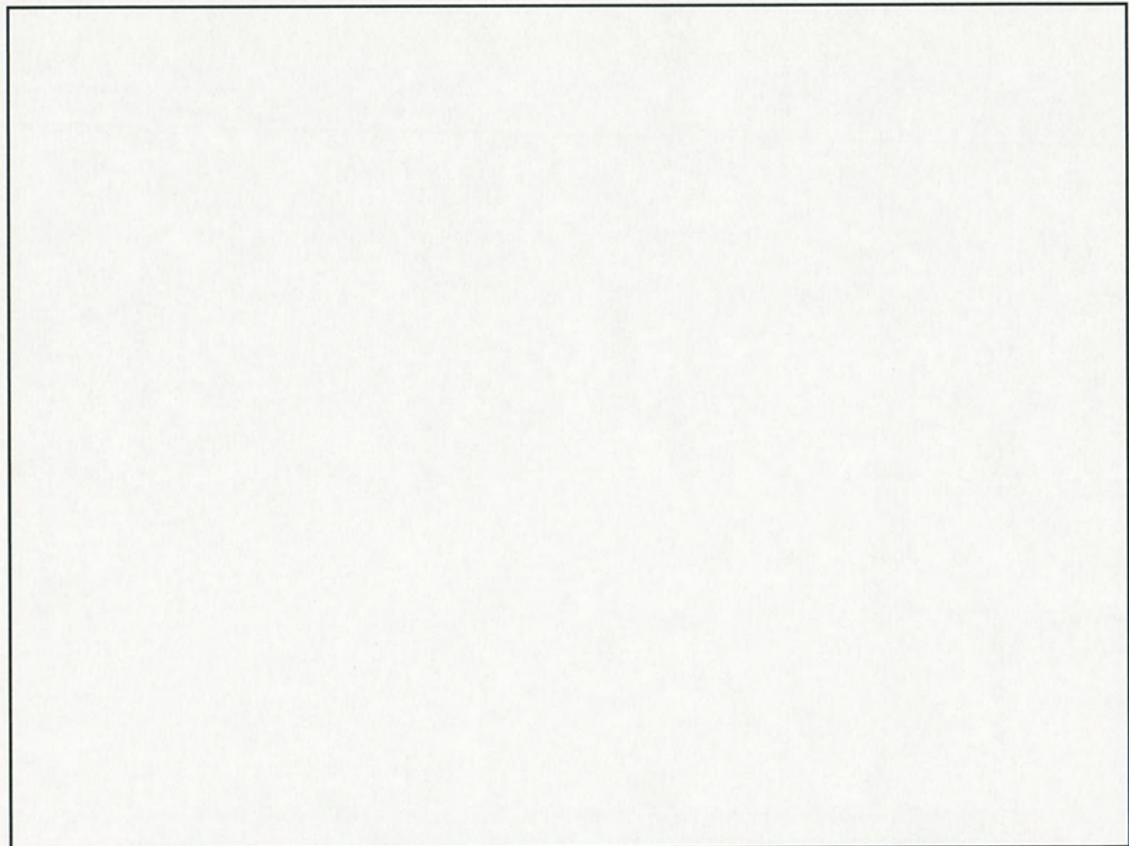


写真 3.22 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 側面中心

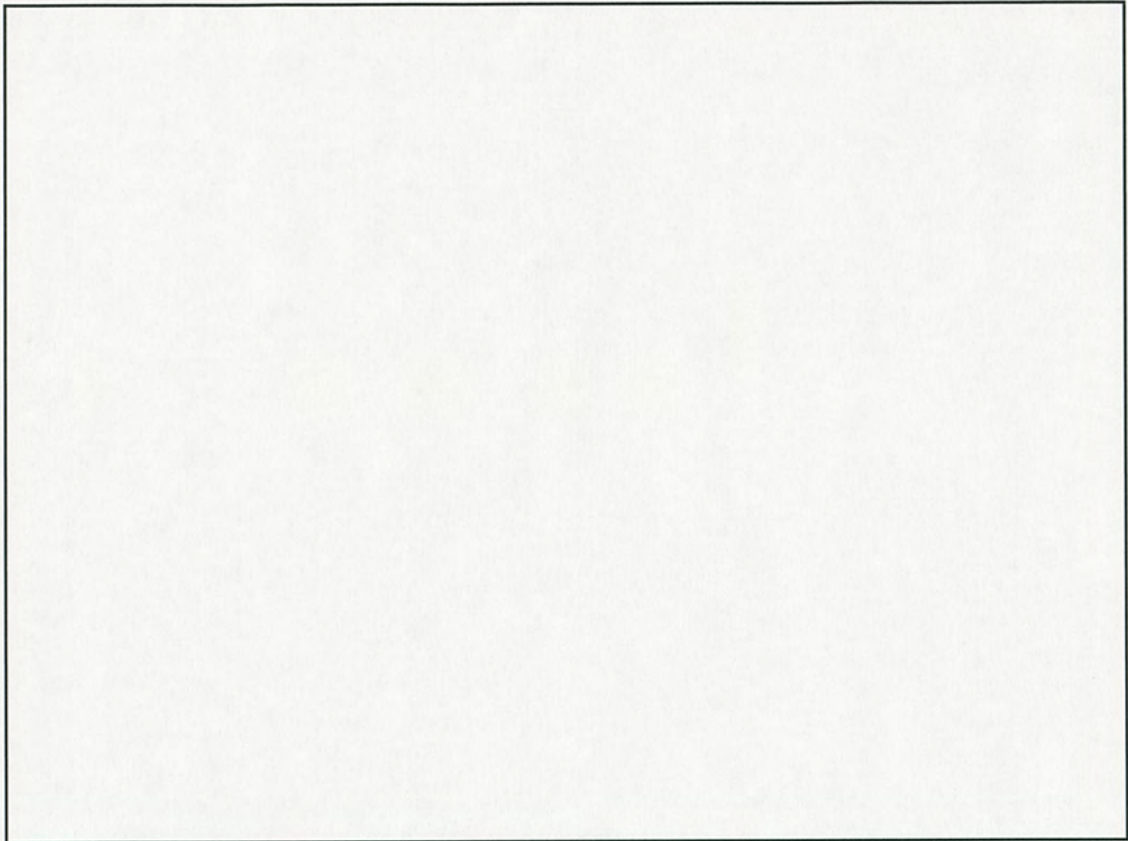


写真 3.23 落下試験 I (高さ 9 m) 前 上面コーナー部

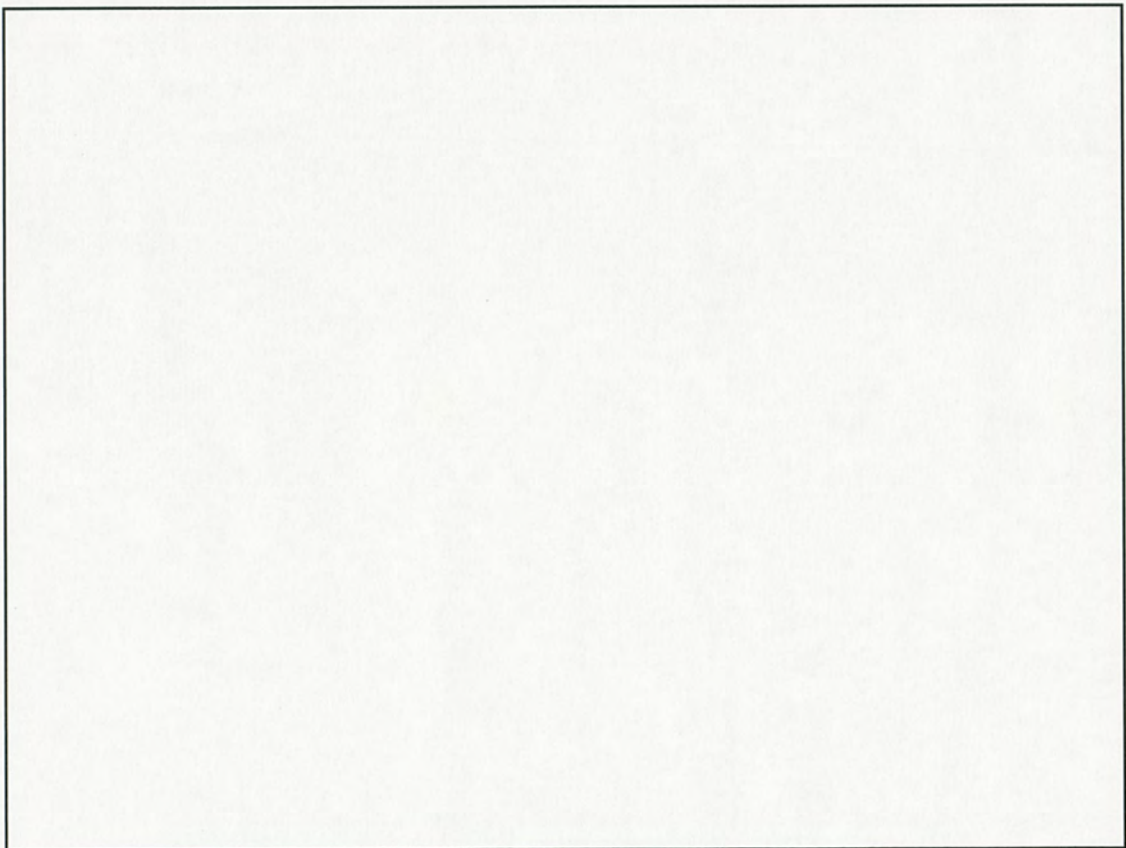


写真 3.24 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

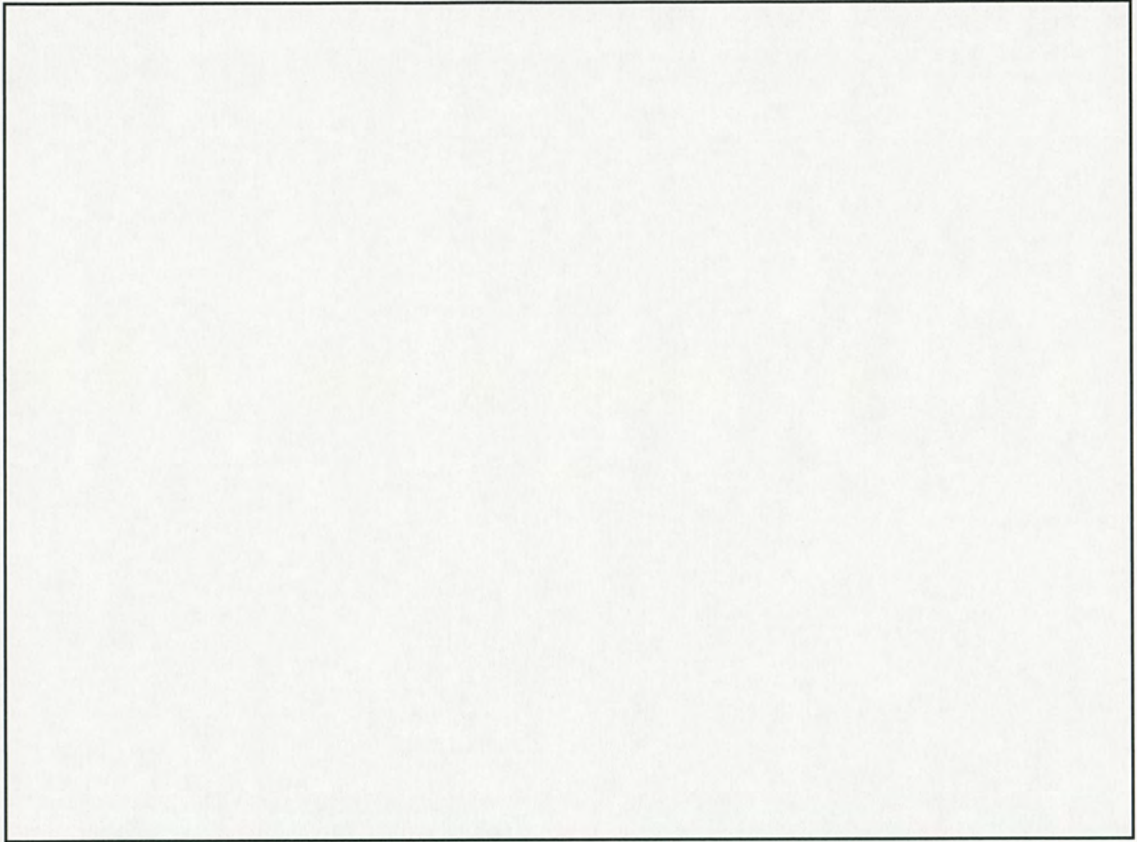


写真 3.25 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 前 上面コーナー部

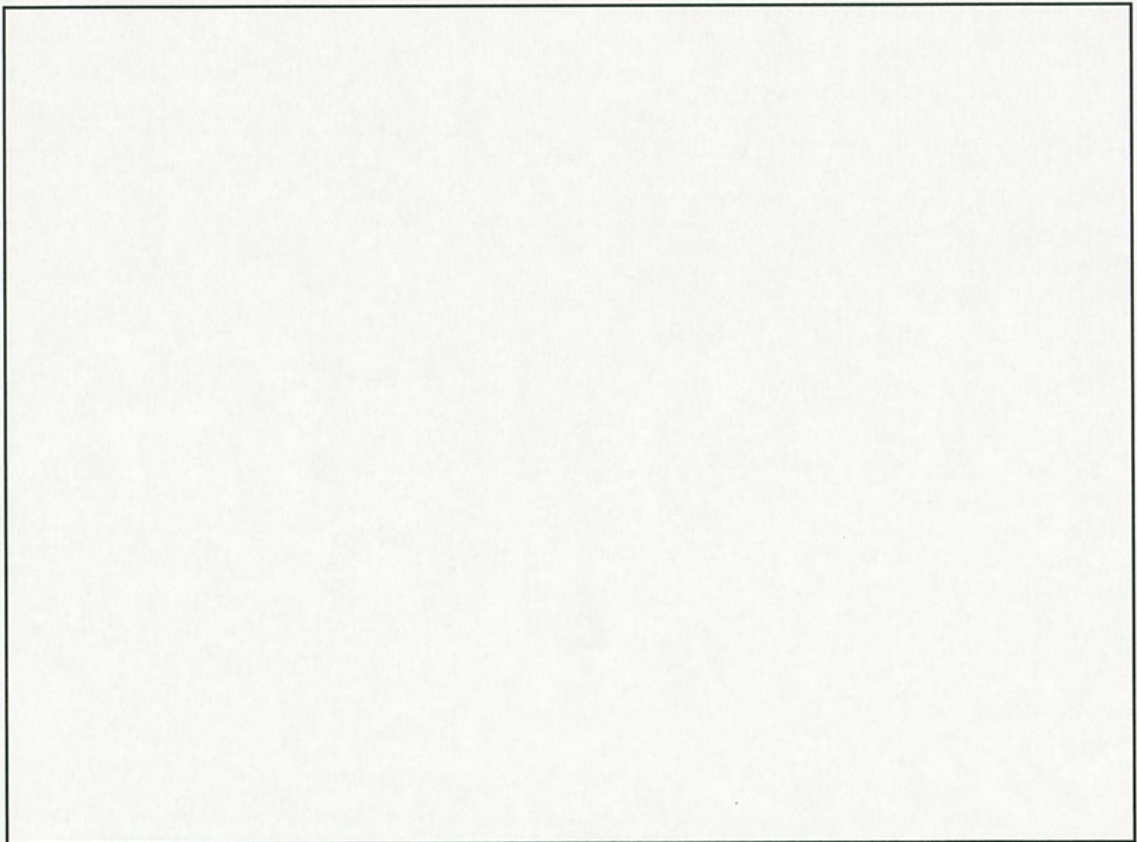


写真 3.26 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) 後 上面コーナー部

(口)A 付属資料 4

4. 追加落下試験

4. 追加落下試験

4.1 主題

本文書は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 について実施された補足的な落下試験の結果を示す。これらの落下試験は、仏国のロダン試験施設において、2001年11月26日から27日の間に実施された。

追加落下試験は、「(ロ)B 付属資料 3 3.5.4」に記述されているように、原型容器 P4 の内容器フランジ部に変形が見られたため、見直した一部設計の健全性を確認するためのものである。

試験は、以下のように評価された。

- ・輸送物上面コーナー部に対して高さ 1.2 m からの自由落下
- ・輸送物上面コーナー部に対して高さ 9 m からの自由落下
- ・輸送物上面コーナー部に対して高さ 1 m からのターゲットへの自由落下

4.2. 原型容器設計変更

原型容器 P3 及び P4 による落下試験及び耐火試験における輸送物の挙動を改善するため、部分的に概念設計に修正が加えられ、落下試験のための原型容器 P5 に取り入れられた。

4.2.1 内容器ガスケット位置の変更

落下試験による内蓋及び内容器フランジ部の変形に対しても密封性を保持するために、内蓋と内容器フランジ部間のガスケットを水平方向（内蓋外側）から垂直方向（内蓋裏側）に変更した。垂直方向にすることにより、変形時においても締付け圧力を保つことを可能とする。

図 4.1 にガスケット部の構造を示す。

4.2.2 外蓋構造の変更

落下試験により外蓋側面と上面との溶接部にて開口部が生じ、フェノリックフォームがあらわになっていたため、側面の鋼板を内側に折り曲げた構造とした。また耐熱衝撃性向上のため、フェノリックフォーム層を厚くし、アルミニウム合金ディスクを薄くした。

図 4.2 に外蓋の構造を示す。

4.2.3 脚部の変更

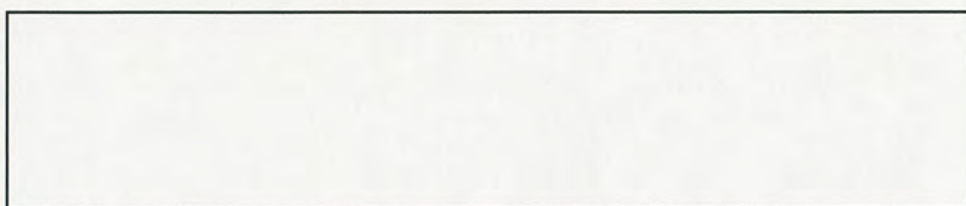
脚部取り付けのための溶接加工による輸送容器底面の変形をなくすために、曲げ加工により脚部を一体化させて溶接加工の少ない構造に変更した。

図 4.3 に脚部の構造を示す。これらの変更は、落下試験における輸送物の挙動を変化させるものではない。

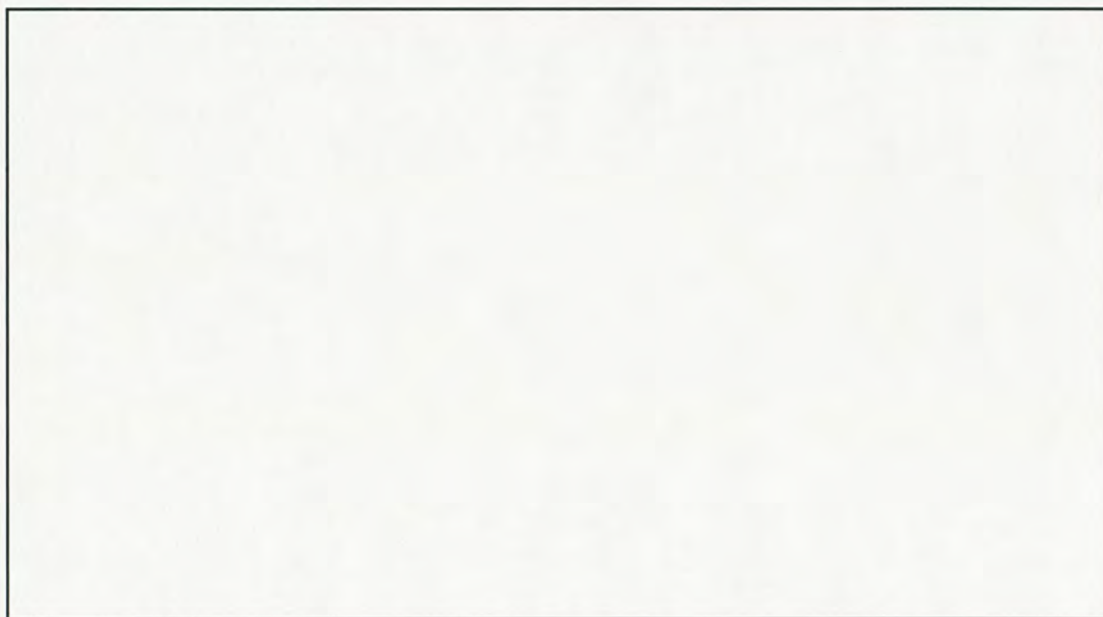
4.3 原型容器の構成

試験は、TNF-XI 型輸送容器のフルスケール原型容器 P5 を用いて実施された。輸送物の収納物には、前述の試験同様にウラン酸化物の粉末と同密度（約 1.7 g/cm³）の純鉄粉末を用いて、原子燃料工業(株)仕様粉末収納缶にそれぞれ 25 kg、輸送物中には計 300 kg を収納した。なお、原型容器にはブロッキングシステム(最大重量 16 kg)を収納していないが、原型容器に収納する純鉄粉末の重量を TNF-XI 型輸送物におけるウラン酸化物若しくはウラン残渣の最大重量 284kg より多い 300kg とすることで、ブロッキングシステム分の重量を考慮している。また、ブロッキングシステムを収納しない方が内蓋と粉末収納缶のギャップ量が大きくなり、内蓋への衝撃力が大きくなるため保守的な条件である。それに加えて、上部の粉末収納缶に消石灰が置かれた。ガスケットを通じた漏えいを目視で点検できるようにするためである（写真 4.1 参照）。

この試験に用いる原型容器について、以下の の内蓋を評価した。



P5 原型容器の上面図を下記に示す。



4.4 P5 原型容器の落下試験の結果

熱電対を含む輸送物の正味重量は kg である。純鉄粉末 kg を収納した輸送物の総重量は kg である。

表 4.1 に落下試験の結果を示す。

4.4.1 落下試験（高さ 1.2 m）

- ・落下試験：輸送物上面コーナー部（C2 近傍）への衝撃を受ける落下

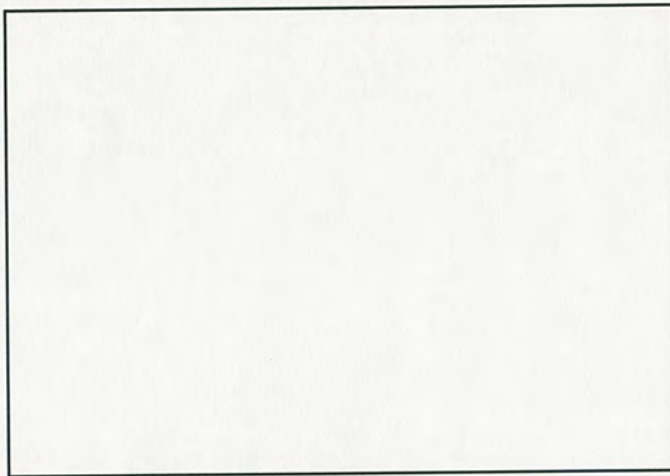
輸送物の落下方向を図 4.4 に示す。落下角度（) は、衝撃点と輸送物重心を結ぶ直線が落下試験台と垂直になるように選択されている（内容器上部での粉末収納缶の移動を考慮に入れる）。衝撃を受けたコーナー部付近で輸送物外殻の波状の変形が見られるが、外殻の裂け目は見られない。

試験結果を写真 4.2～4.5 に示す。

4.4.2 落下試験 I（高さ 9 m）

- ・落下試験：輸送物上面コーナー部が衝撃を受ける落下

衝撃を受けるコーナー部は、落下試験（高さ m）で衝撃を受けたコーナー部と同じである。輸送物の落下方向を図 4.5 に示す。衝撃を受けたコーナー部周りの外殻で波状の変形が見られ、その変形領域の程度は以下のとおりである。



これらの値は、高さ m 及び 9 m の落下試験により受けた衝撃による累積変形に対応するものであり、容積減少は約 % である。

試験結果を写真 4.6 及び 4.7 に示す。

4.4.3 落下試験Ⅱ（ターゲット、高さ1 m）

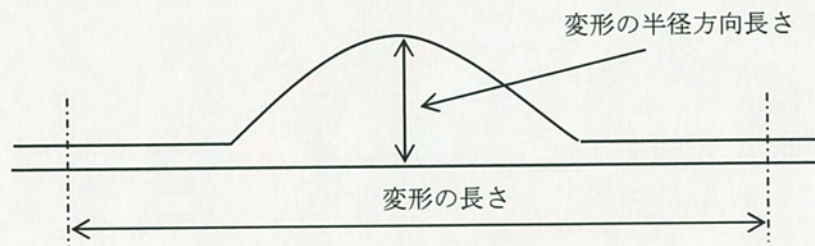
・落下試験：輸送物外蓋への衝撃

落下試験Ⅱ（高さ9 m）により、衝撃を受けた輸送物上面コーナー部付近の外蓋上面外殻が曲がり、フェノリックフォームと離れているのが観察された。したがって、この落下試験の目的は、ターゲットによりこの部分の外殻を裂けさせることにある。

輸送物の落下方向を図4.6に示す。落下角度（)は、
に選択されている。

この落下試験により衝撃を受けた外蓋外殻に大きな変形が見られたが、裂け目は見られず、変形の最大半径方向サイズはmm、目に見える長さは約mmである。

試験結果を写真4.8～4.10に示す。



4.4.4 収納物漏えいの確認

全ての落下試験後、衝撃を受けた外蓋を切断して取り除き、輸送物上面を下方にし揺さぶったが、輸送物内容器からの消石灰の漏えいは認められなかった。

試験結果を写真 4.11 及び 4.12 に示す。

表 4.1 原型容器試験の条件と結果の一覧表

原型容器 P5		
試験項目	損傷箇所	試験結果
落下試験 (高さ <input type="text"/> m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	コーナー部に局所的変形
落下試験 I (9 m)	・ 輸送物上面コーナー部 (落下角度 <input type="text"/>)	体積減少：約 <input type="text"/> %
落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m)	・ 外蓋上面 (落下角度 <input type="text"/>)	圧縮変形：変形深さ最大 <input type="text"/> mm 割れなし

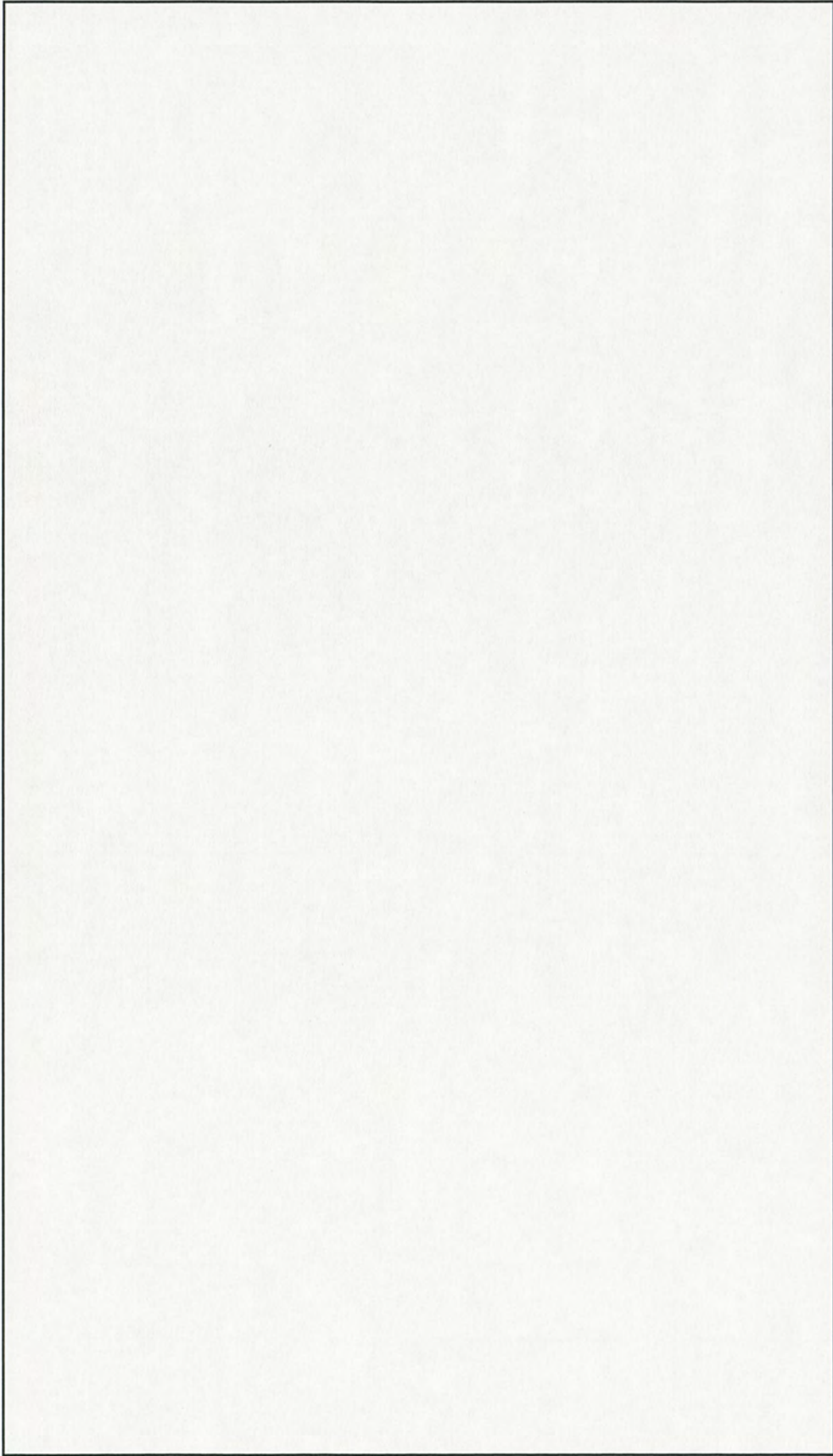


図 4.1 内容器ガスケット位置の変更

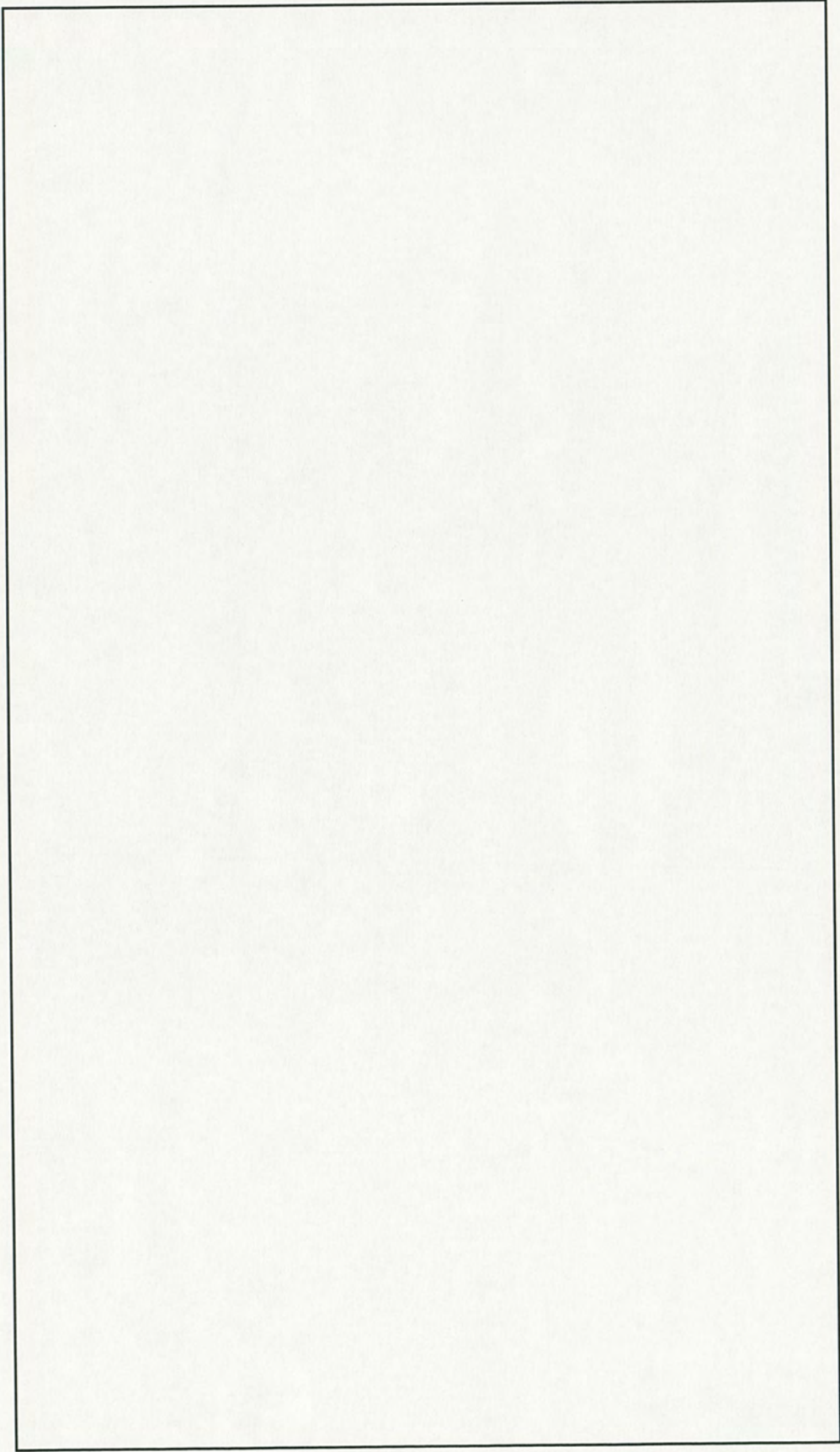


図 4.2 外蓋の変更

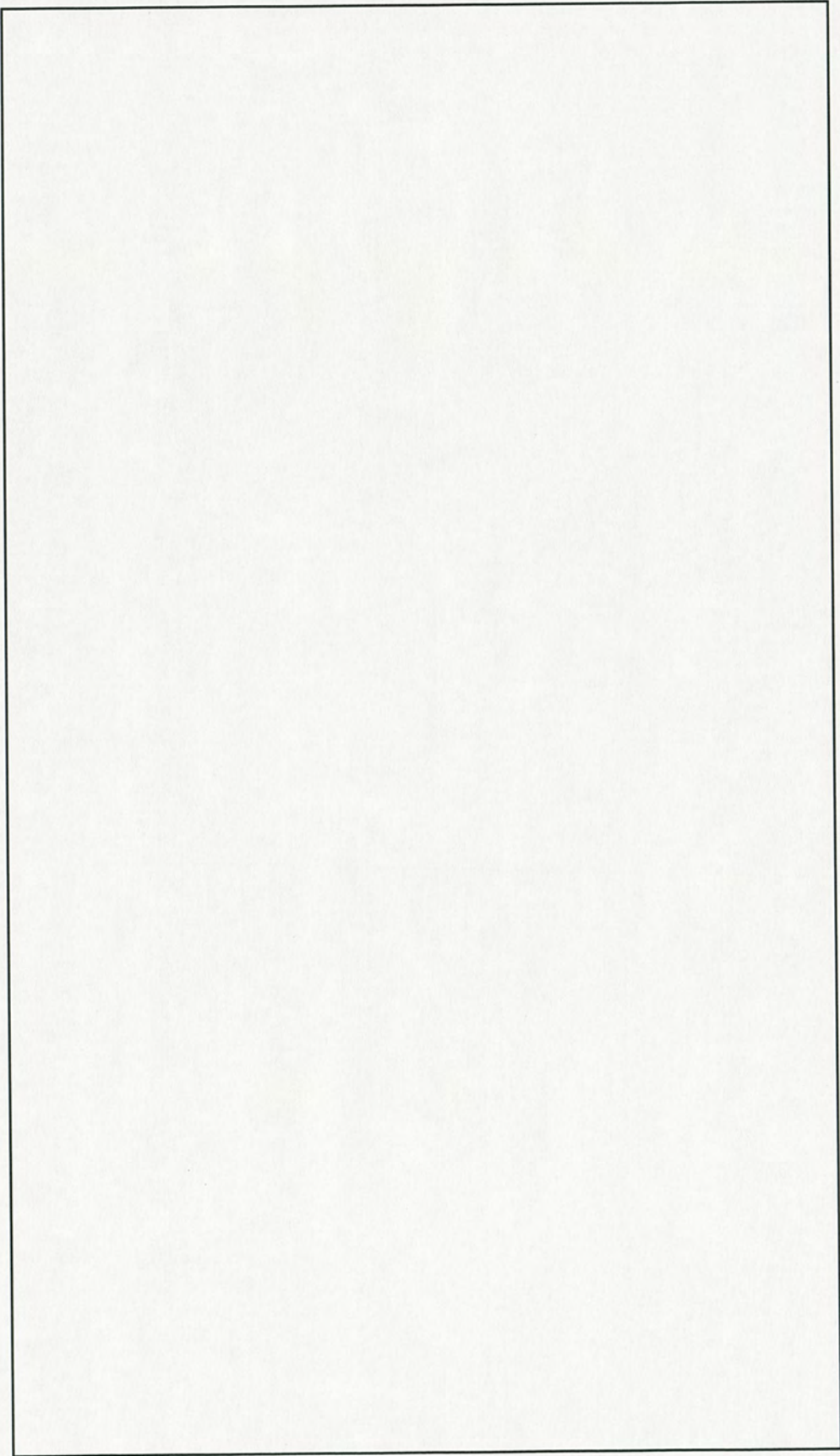


図 4.3 脚部の変更

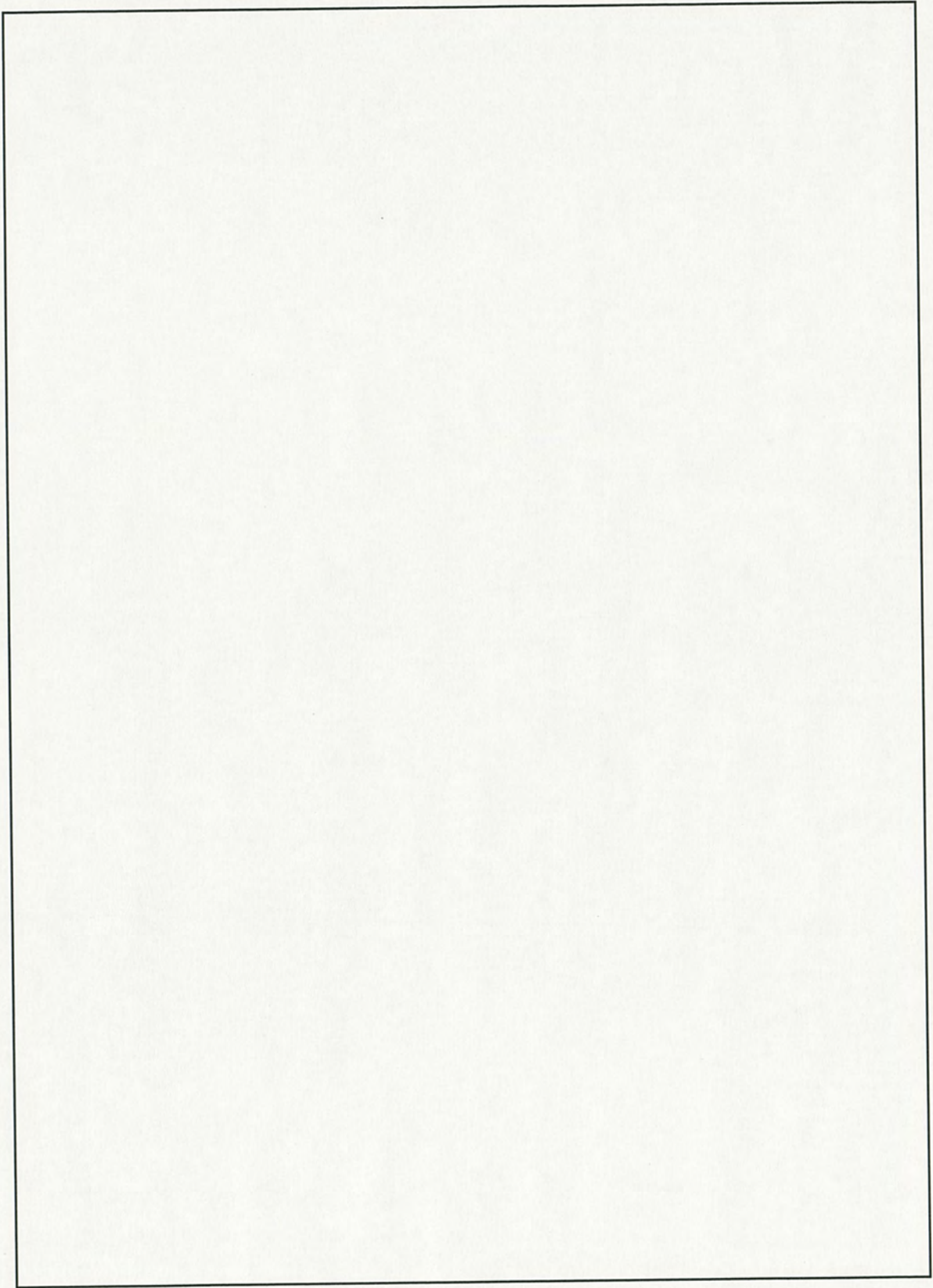


図 4.4 落下試験（高さ m） - 原型容器 P5

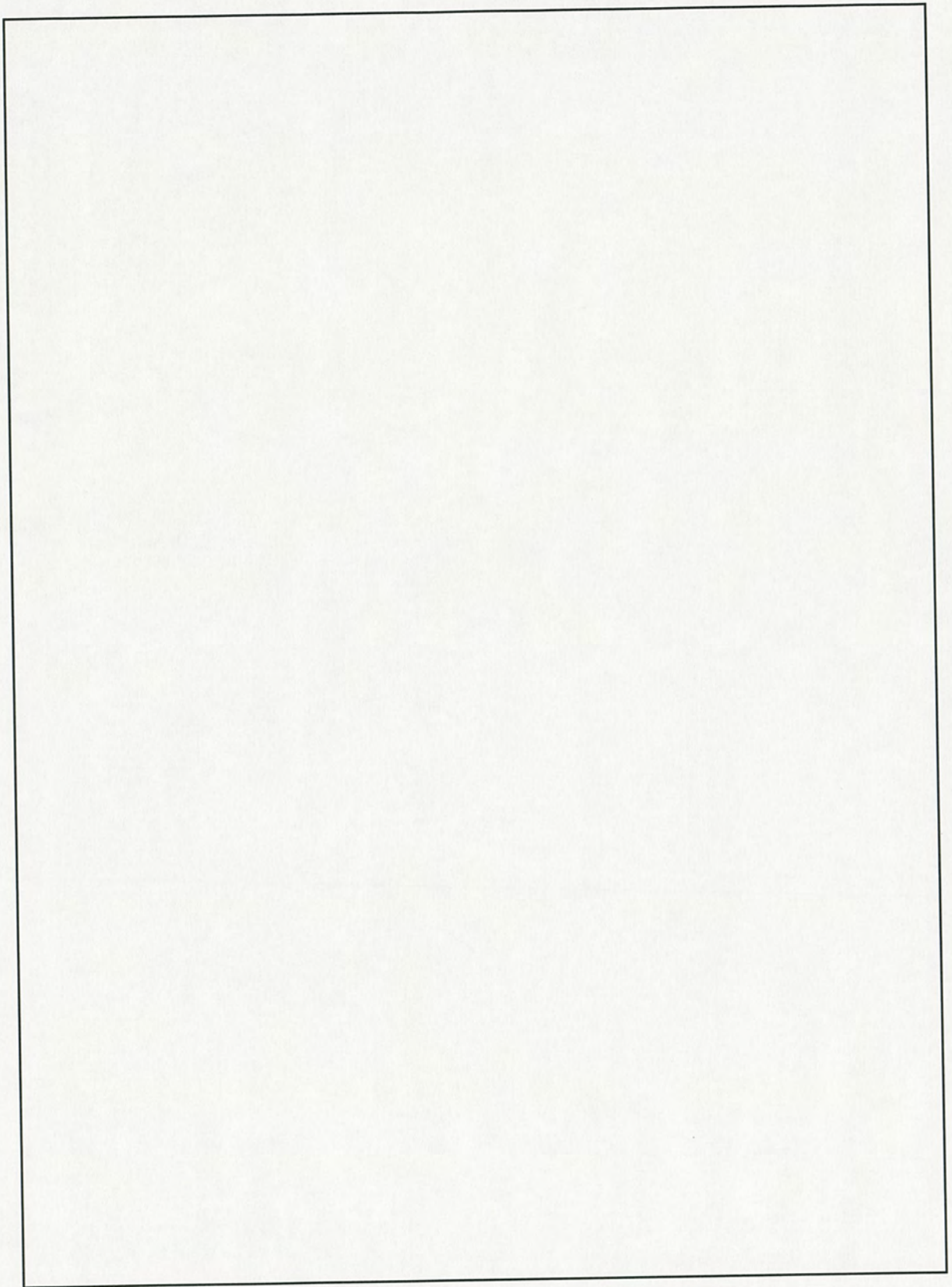


図 4.5 落下試験 I (高さ 9 m) - 原型容器 P5

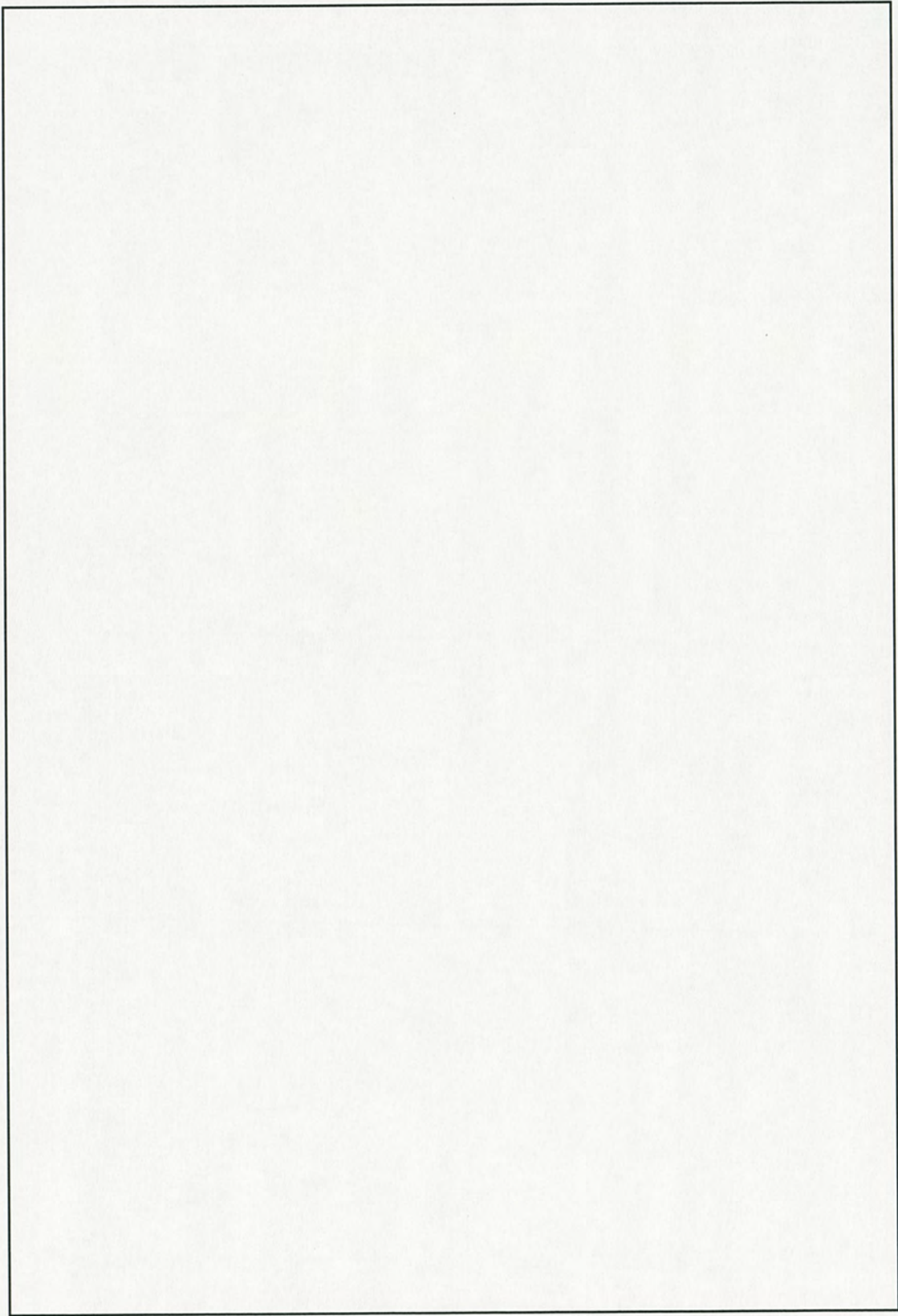


図 4.6 落下試験Ⅱ (ターゲット, 高さ 1 m) - 原型容器 P5

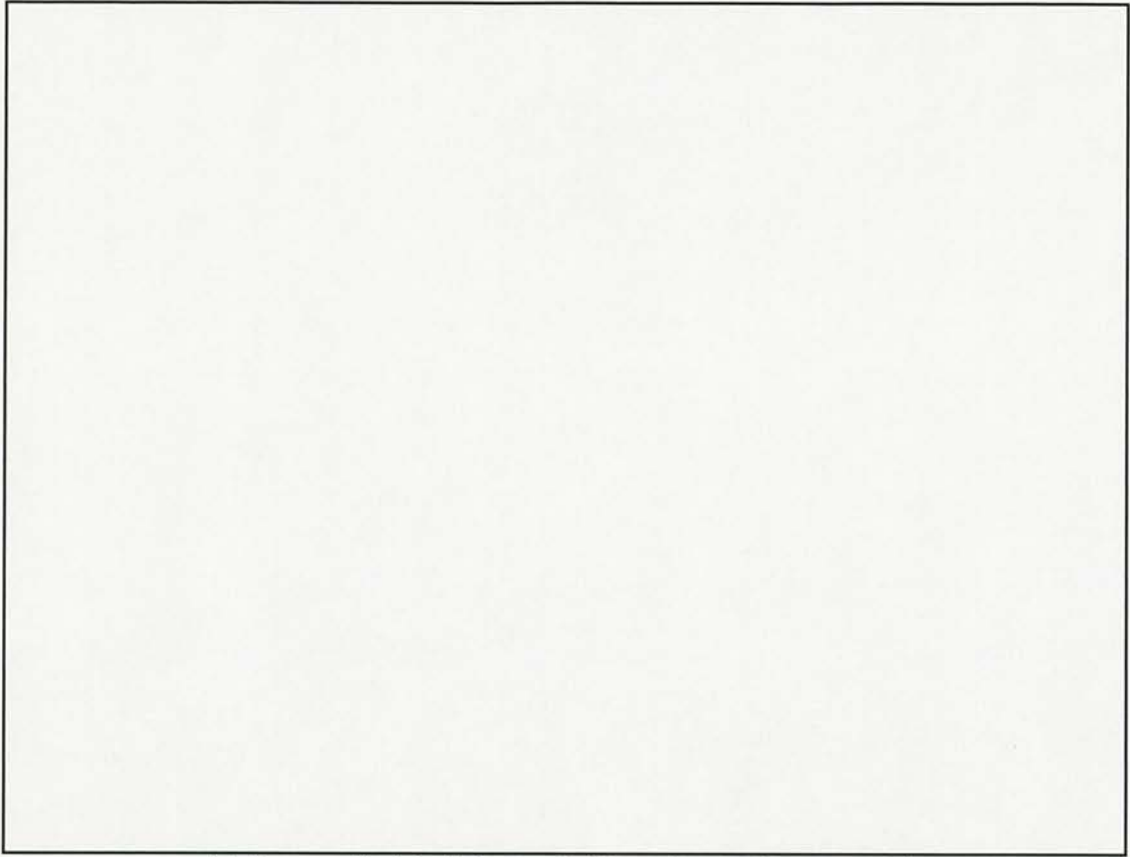


写真 4.1 粉末収納缶及び漏えい確認用消石灰の外観

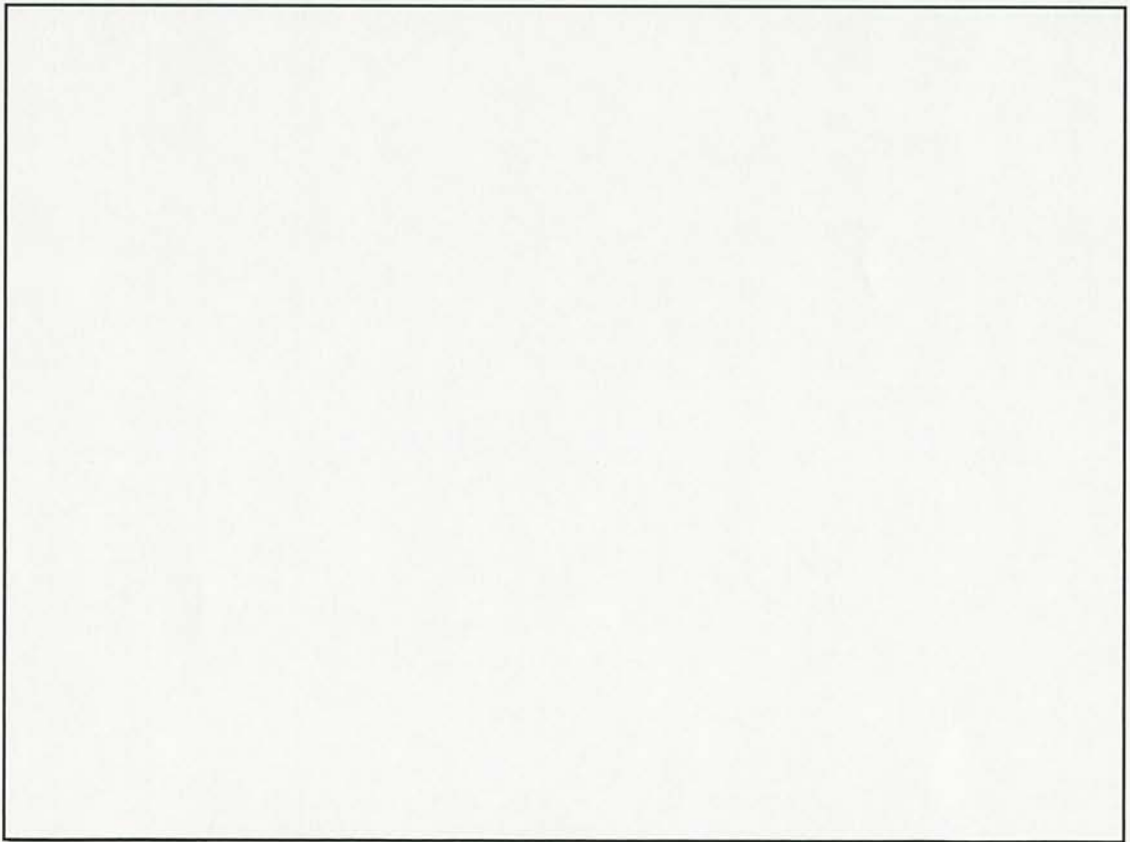


写真 4.2 落下試験（高さ 1.2 m）前

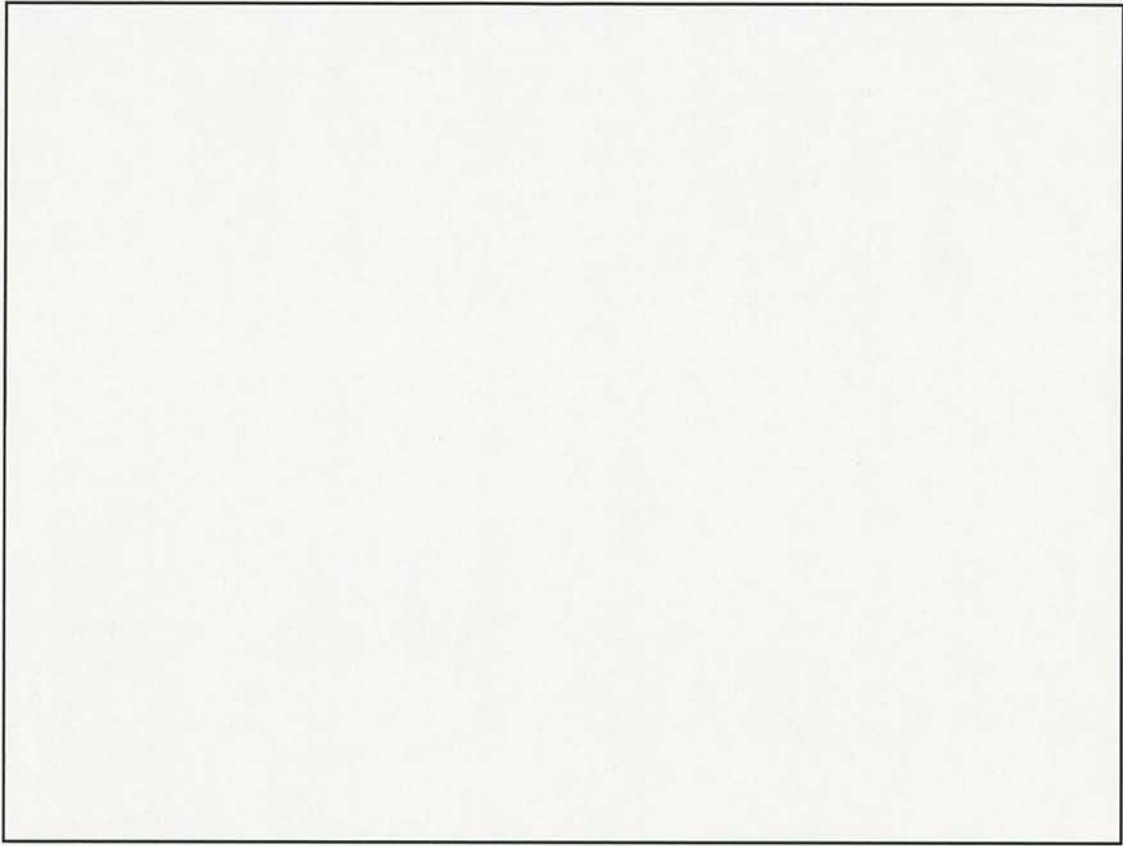


写真 4.3 落下試験（高さ 1.2 m）後

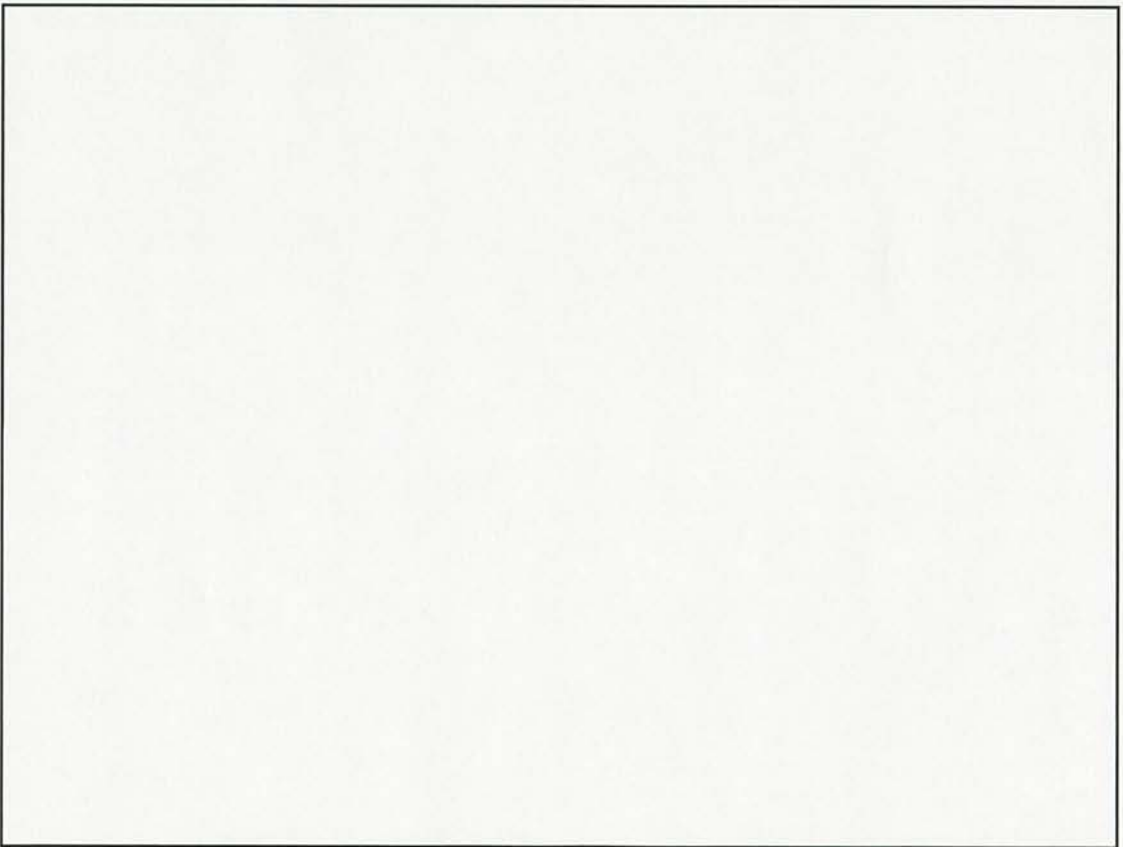


写真 4.4 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部

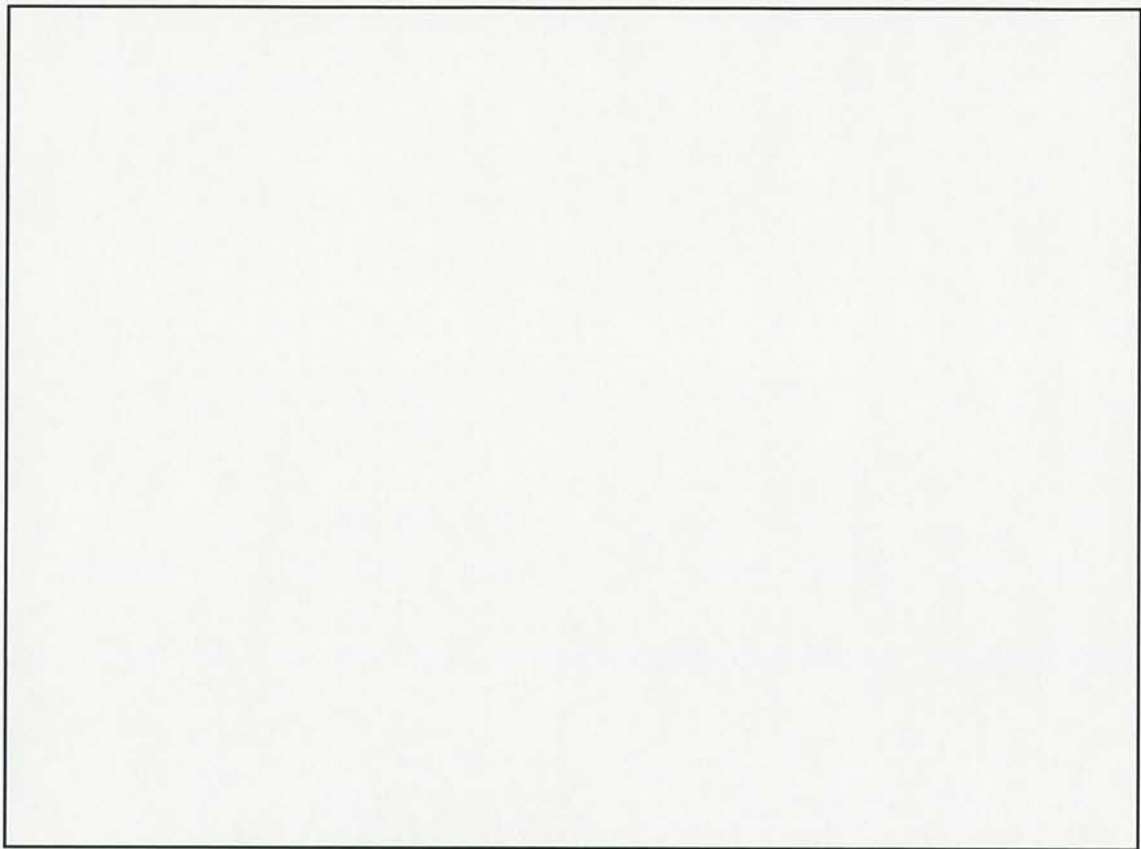


写真 4.5 落下試験（高さ 1.2 m）後 上面コーナー部



写真 4.6 落下試験 I（高さ 9 m）後 上面コーナー部

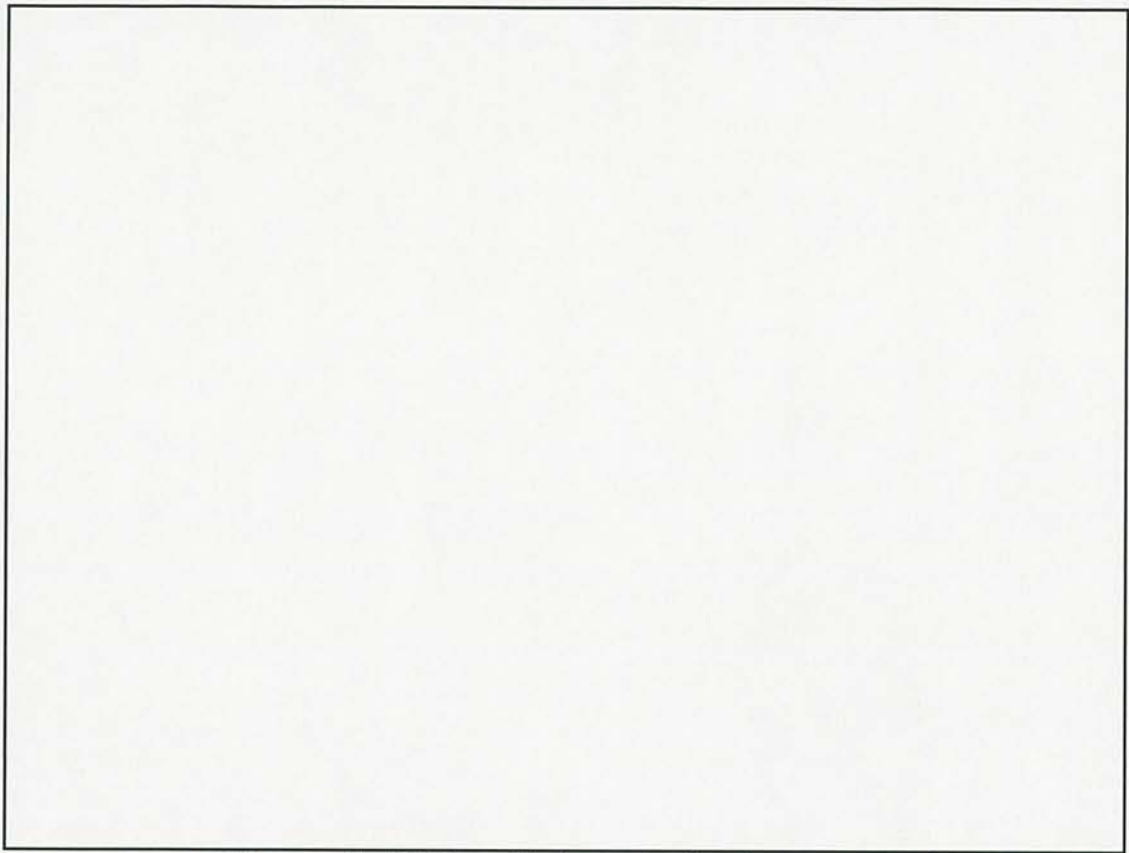


写真 4.7 落下試験 I (高さ 9 m) 後 上面コーナー部

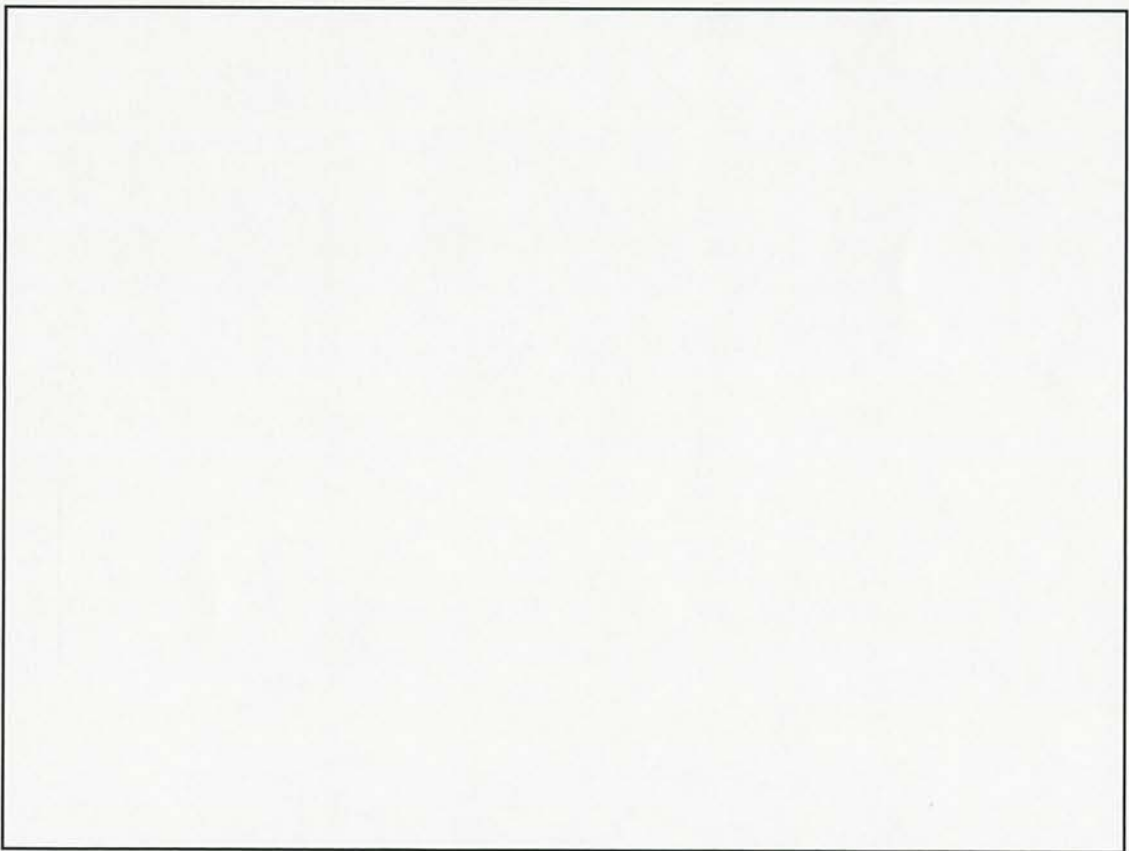


写真 4.8 落下試験 II (ターゲット, 高さ 1 m) 前

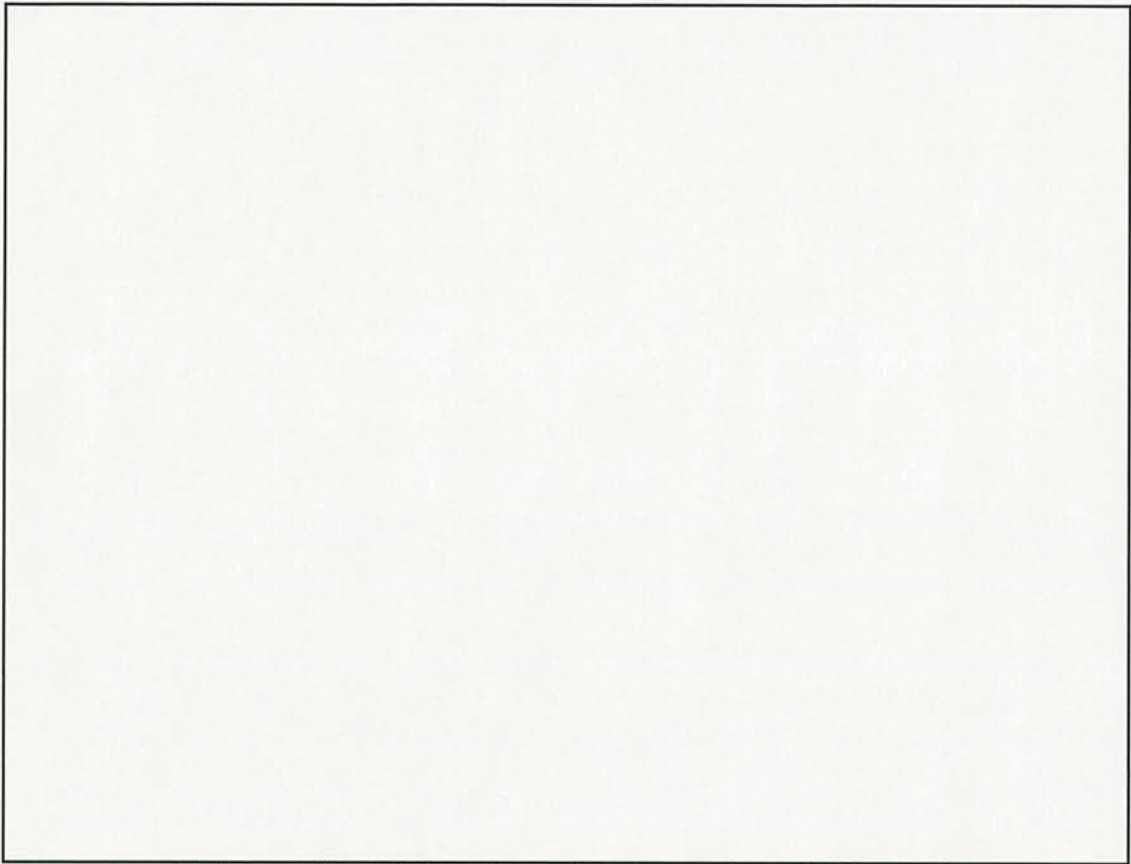


写真 4.9 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋

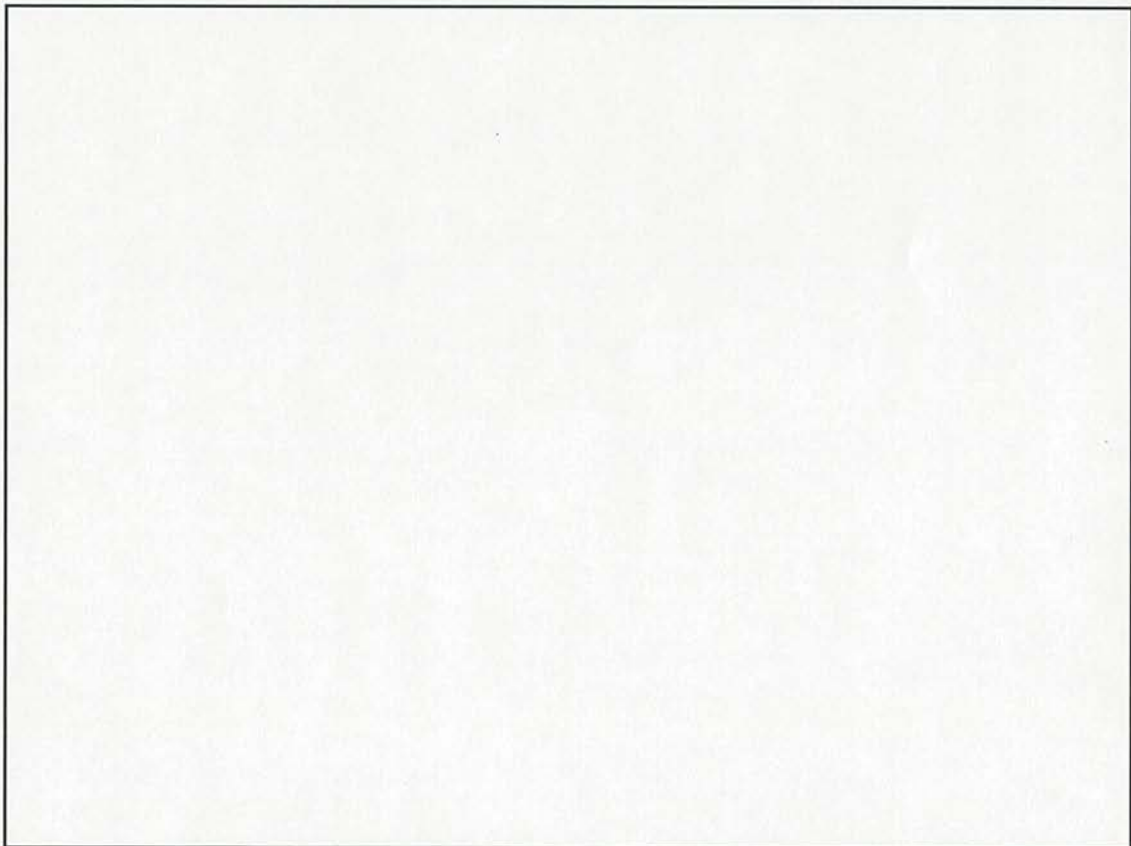


写真 4.10 落下試験Ⅱ（ターゲット，高さ 1 m）後 外蓋

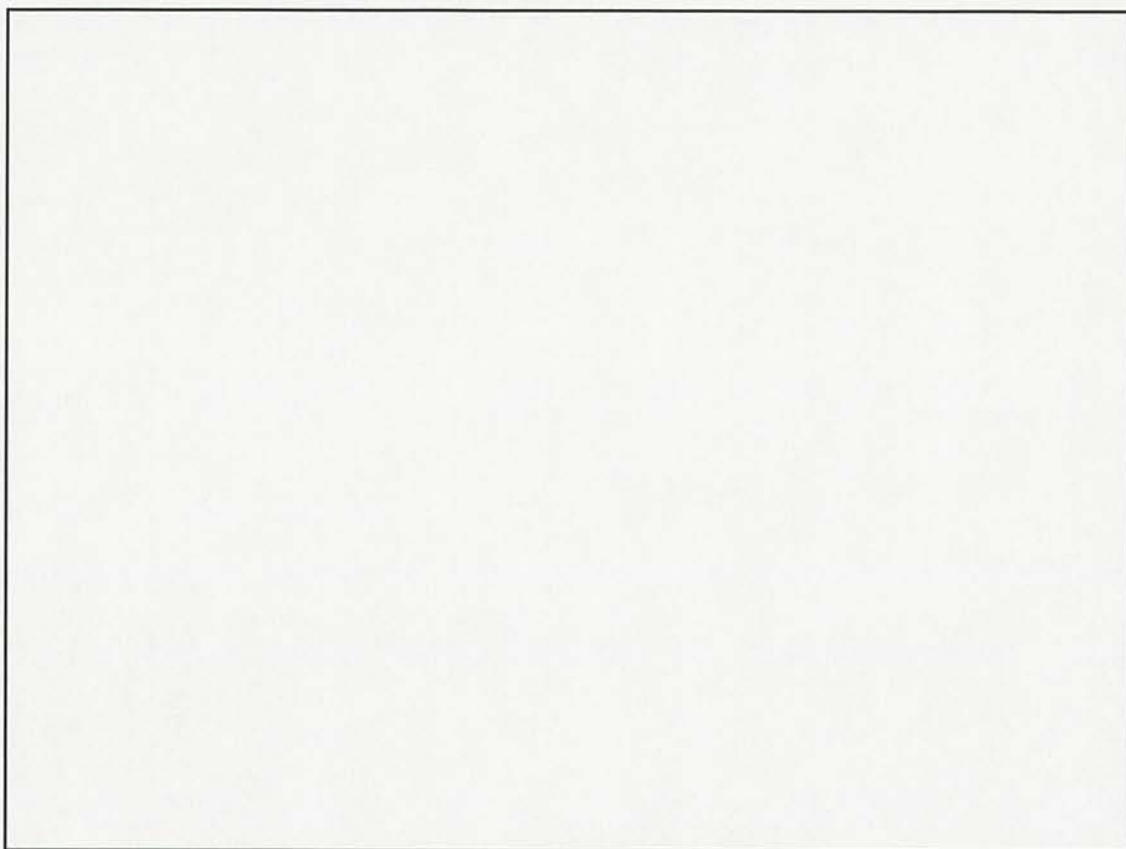


写真 4.11 試験後 内蓋の外観

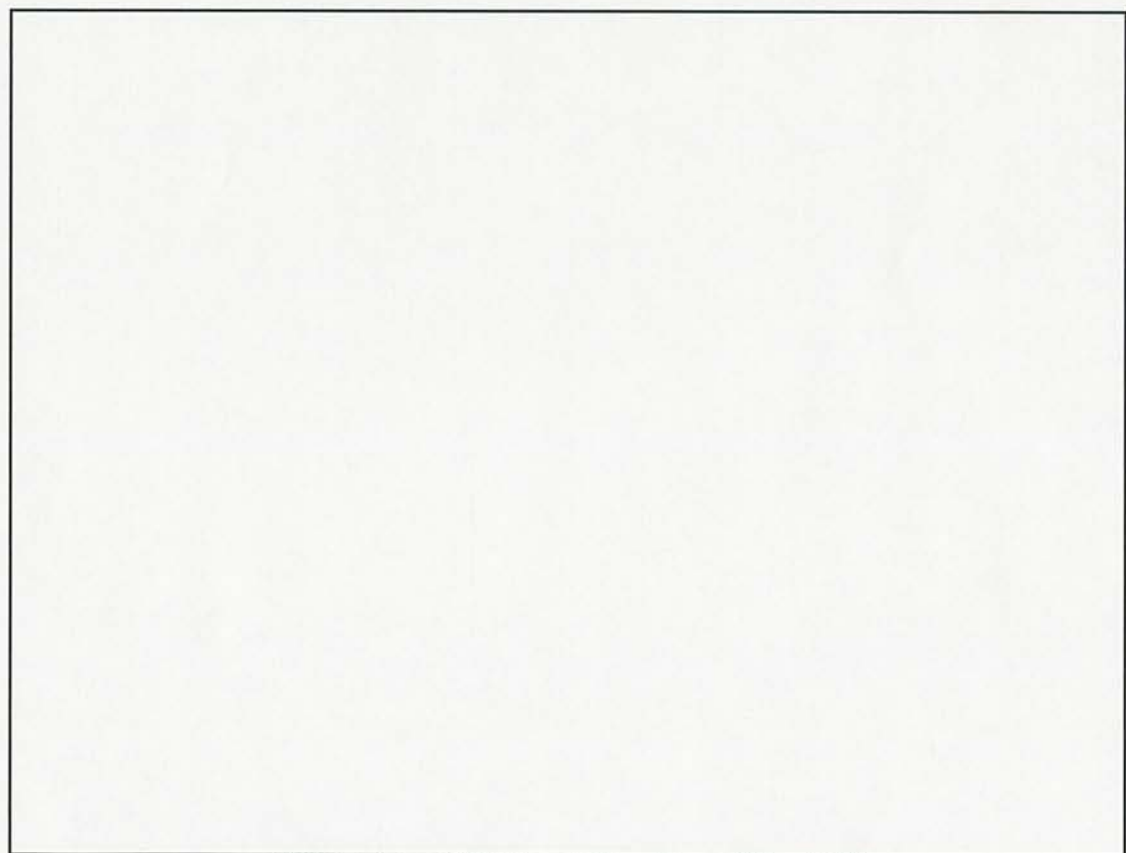


写真 4.12 試験後 内蓋フランジ部の外観