

Doc. No. MA035A-RC-Z07-1 Rev.2

2022年2月7日

日立造船株式会社

参考資料

Hitz-B52 型のバスケットの構造健全性に係る説明資料

目 次

1. 概要	1
2. 評価条件	1
3. コンパートメントおよびサポートプレートの構造強度評価	3
4. 水平落下時のバスケットの変形量評価	9
5. クランプ部の構造評価	13
6. 考察	14
参考文献	14

1. 概要

本書は、使用済燃料を幾何学的に配置し収納する Hitz-B52 型のバスケットについて、貯蔵時の構造健全性を説明する上で参考として、貯蔵時および輸送時の中で最も厳しい条件である核分裂性輸送物に係る特別の試験条件を想定し、構造健全性に係る成立性の確認を説明するものである。

この評価において、バスケットの伝熱部材であるアルミニウム合金は、構造強度部材ではないため質量の影響は考慮するが構造強度には寄与しないものとして扱うものと仮定する。

2. 評価条件

1) 評価対象事象

バスケットの構造健全性に係る成立性確認のため、荷重条件が最も厳しい核分裂性輸送物に係る特別の試験条件における水平落下事象のみを対象とする。

2) 評価対象部位

水平落下事象における構造強度部材の中で使用済燃料の幾何学的配置と中性子吸収材の保持に係る最も重要な部材としてコンパートメントとサポートプレートの評価対象部位とし、サポートプレートを連結するクランプについては、水平落下時のバスケットの変形量評価において、として評価に加えるものとする。

3) 荷重条件

荷重条件に用いる衝撃加速度は、告示※の核分裂性輸送物に係る特別の試験条件で求められている最大の破損を受ける条件として 0.3m 落下後の 9.0m 落下を想定し、落下時に生じるエネルギーの総和が同等となる 9.3m 落下を落下条件とする。

9.3m 落下で生じる衝撃加速度は、緩衝体付き輸送容器衝突計算コードで計算された加速度に 1.2 を乗じた保守的な値を使用する。

$$\text{計算値} \times 1.2 =$$

このとき、緩衝体付き輸送容器衝突計算コードに用いる緩衝材の応力ひずみ特性は、加速度が最も厳しい条件となる環境温度が -20°C の場合の値を使用する。

※ “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などを定める告示”，平成 2 年 11 月 28 日 科学技術庁告示第 5 号

4) 許容値

バスケットの構造強度評価では、表 1 に示す金属キャスク構造規格⁽¹⁾のバスケットの供用状態 D に基づく許容応力を用いて確認する。

表 1 バスケットの許容応力一覧表（供用状態 D 抜粋）

許容応力区分	応力の種類	材料の種類	許容応力 ボルト以外の評価部位
供用状態 D	応力強さ	炭素鋼	$P_m \leq \frac{2}{3} S_u$ $P_m + P_b \leq S_u$
		オーステナイト系 ステンレス鋼	$P_m \leq \text{MIN} \left[2.4S_m, \frac{2}{3} S_u \right]$ $P_m + P_b \leq \text{MIN} [3.6S_m, S_u]$
	純せん断応力	炭素鋼	$\tau \leq 1.2S_m$
		オーステナイト系 ステンレス鋼	
	支圧応力	炭素鋼	$\sigma_p \leq 2S_y$
		オーステナイト系 ステンレス鋼	$\sigma_p \leq 3S_y^{*1}$
	圧縮応力	炭素鋼	$\sigma_b(\text{一次}) \leq 1.5f_c^*$ $\sigma_b(\text{一次} + \text{二次}) \leq 1.5f_c$
		オーステナイト系 ステンレス鋼	

※1: $3S_y$ は支圧荷重の作用幅から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値。

f_c^* : 許容圧縮応力 f_c の値を算出する際、設計降伏点 S_y および常温設計降伏点 $S_y(RT)$ は、 $1.2S_y$ および $1.2S_y(RT)$ に読み替える。ただし、使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼の $1.35S_y$ は読み替えない。

3. コンパートメントおよびサポートプレートの構造強度評価

Hitz-B52 型のバスケットの主要な構造強度部材であるコンパートメントおよびサポートプレートに係る強度評価を以下に示す。

1) コンパートメントの構造強度評価

a. 評価条件

(1) 材料物性

使用材質	:	炭素鋼
設計温度	:	236 °C
設計応力強さ S_m	:	122 MPa
設計引張強さ S_u	:	361 MPa
設計降伏点 S_y	:	183 MPa

(2) 部材仕様

形状	:	<input type="text"/>
内法寸法	:	<input type="text"/>
厚さ	:	<input type="text"/>
断面積 A	:	<input type="text"/>
断面係数 Z	:	<input type="text"/>

b. 評価結果

(1) 評価モデル



図 1 コンパートメント評価モデル

(2) 載荷条件

対象範囲質量 : 11918 N
衝撃加速度 :
重力加速度 : 9.80665 m/s²
支持スパン l :

荷重条件 w

(3) 純せん断応力評価

許容せん断応力⁽¹⁾ τ

最大純せん断力⁽²⁾ Q_A

最大純せん断応力⁽²⁾ σ_s

余裕率 MS



(4) 曲げ応力評価

許容曲げ応力⁽¹⁾ $P_m + P_b$

一次一般膜応力⁽²⁾ P_m

最大曲げモーメント⁽²⁾ M_{max}

一次曲げ応力⁽²⁾ P_b

余裕率 MS








2) サポートプレートの構造強度評価

a. 評価条件

(1) 材料物性

使用材質 : ステンレス鋼
設計温度 : 150 °C
設計応力強さ S_m : 137 MPa
設計引張強さ S_u : 422 MPa
設計降伏点 S_y : 154 MPa (常温 $S_y[RT]$: 205 MPa)
縦弾性係数 E : 186000 MPa

(2) 部材仕様

形状 : 板
板幅 : 
高さ h : 
厚さ : 
断面積 A : 
断面二次モーメント I : 

b. 評価結果

(1) 評価モデル



図2 サポートプレート評価モデル

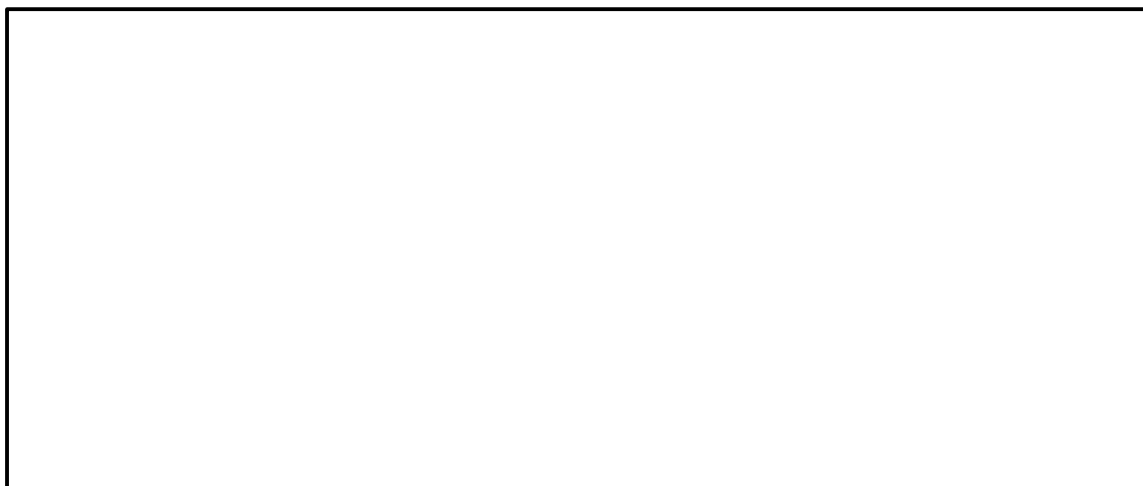
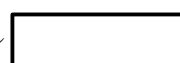



図3 サポートプレート評価モデル



(2) 载荷条件

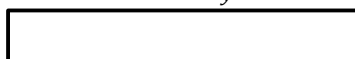
対象範囲質量 : 6172 N
衝撃加速度 : 
重力加速度 : 9.80665 m/s²

载荷条件 w



(3) 支圧応力評価

許容支圧応力⁽¹⁾ $2S_y$



支圧応力⁽²⁾ σ_p



余裕率 MS



(4) 圧縮応力評価

断面二次半径 i

座屈長さ⁽¹⁾ l_k

有効細長比⁽¹⁾ λ

許容応力度基準値⁽¹⁾ F

限界細長比⁽¹⁾ Λ

安全率⁽¹⁾ ν

許容圧縮応力⁽¹⁾ f_c

圧縮応力⁽²⁾ σ_c

余裕率 MS

4. 水平落下時のバスケットの変形量評価

前項で主要な構造部材であるコンパートメントとサポートプレートの健全性を確認したが、クランプの影響を考慮したバスケット全体の構造健全性を確認するため、有限要素法に基づく解析コードにより変形量の評価を行い、バスケット全体の構造健全性に影響を及ぼすような変形が起きないことを確認することとした。

1) 解析条件

解析コード : Abaqus 6.14-3

解析タイプ : 材料、接触、幾何共に全て非線形解析

衝撃加速度 :

(5. 項を参照のこと)

2) 設計温度および材料物性値

解析に使用した設計温度および材料物性値を表 2 に示す。

表 2 設計温度および材料物性値

部 位	設計温度 T [°C]	縦弾性係数 E [MPa]	設計応力強さ S _m [MPa]	設計降伏点 S _y [MPa]	設計引張強さ S _u [MPa]
コンパートメント (炭素鋼)	236	190,000	122	183	361
	175	194,000	128	192	365
サポートプレート (ステンレス鋼)	150	186,000	137	154	422

3) 解析モデル

解析に使用した解析モデルを図 4 および図 5 に示す。

本解析では、サポートプレート間隔の軸方向 1 ピッチ部分解析モデルを採用した。

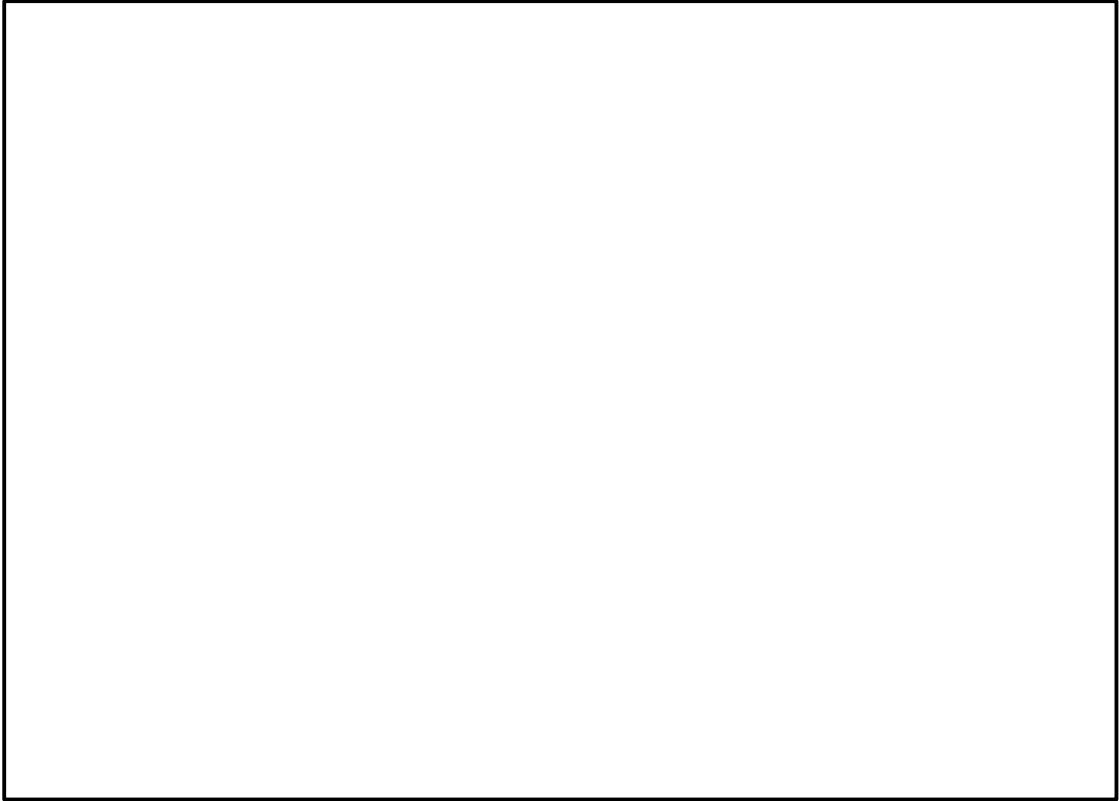


図 4 解析モデル



図 5 解析モデル (鳥観図)

4) 180° 方向 水平姿勢 9.3m 落下 解析結果

図 4 の 180° 方向に高さ 9.3m から落下させた場合の解析結果を図 6 および図 7 に示す。



図 6 180° 方向 9.3m 水平落下 全体変形図 【変形倍率 1 倍】

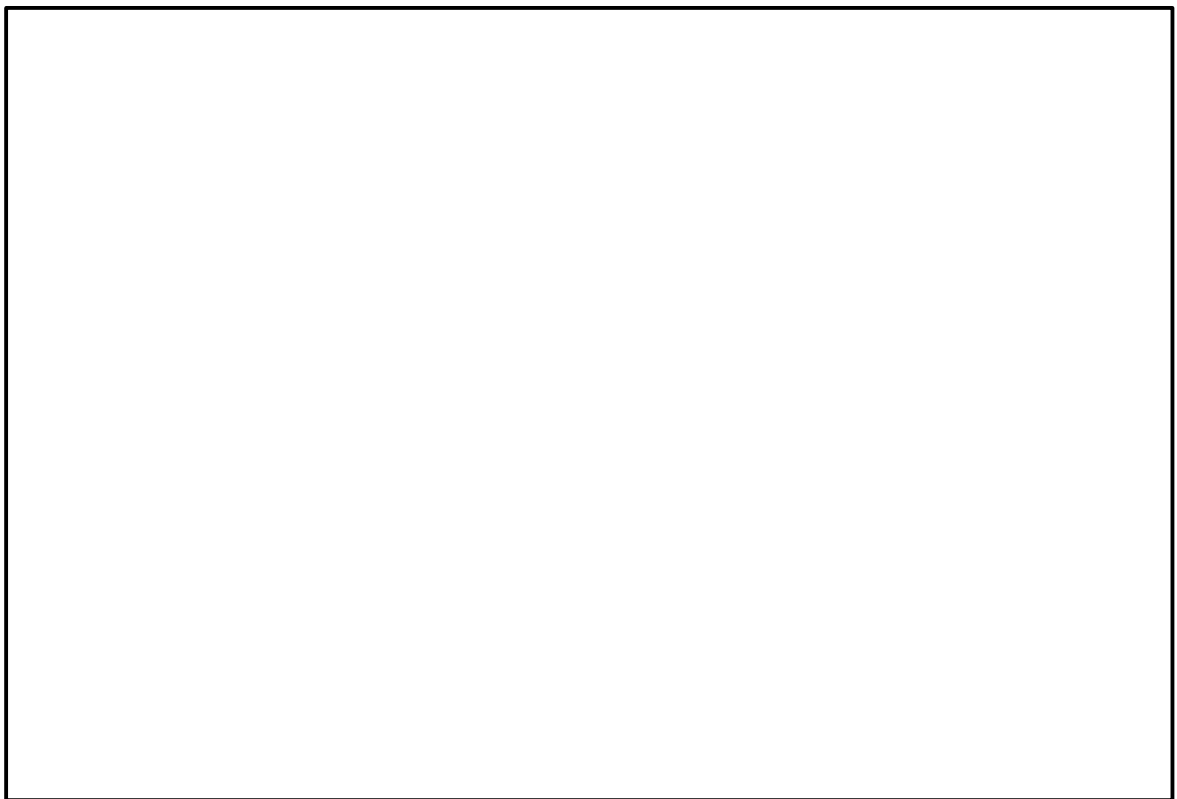


図 7 180° 方向 9.3m 水平落下 全体変形図 【変形倍率 10 倍】

5) 225° 方向 水平姿勢 9.3m 落下 解析結果

図 4 の 225° 方向に高さ 9.3m から落下させた場合の解析結果を図 8 および図 9 に示す。

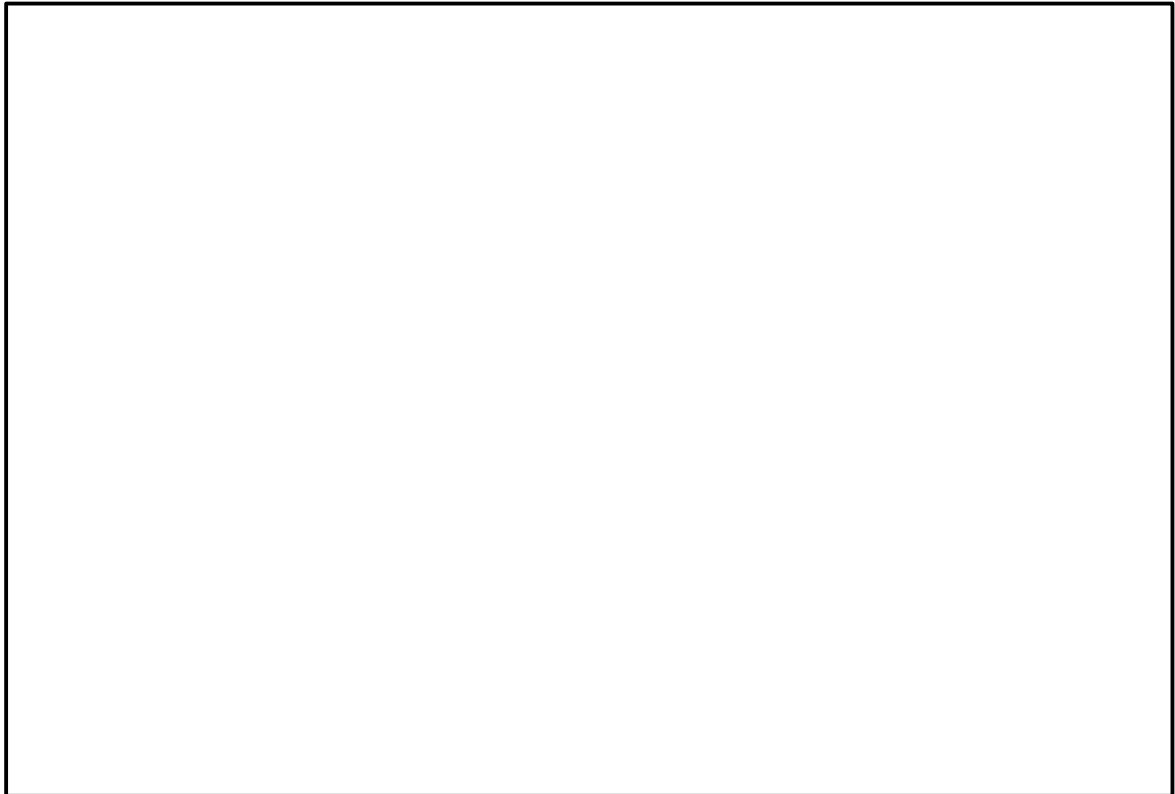


図 8 225° 方向 9.3m 水平落下 全体変形図 【変形倍率 1 倍】



図 9 225° 方向 9.3m 水平落下 全体変形図 【変形倍率 10 倍】

5. クランプ部の構造評価

前項 3 項の解析にあたり、サポートプレートを連結するクランプ部は、として構造維持に寄与しており、解析に使用したは、図 10 に示す解析モデルを用い、図 11 に示すクランプ部のボスとラッチ間の X 方向離れ量の解析結果から導出した。

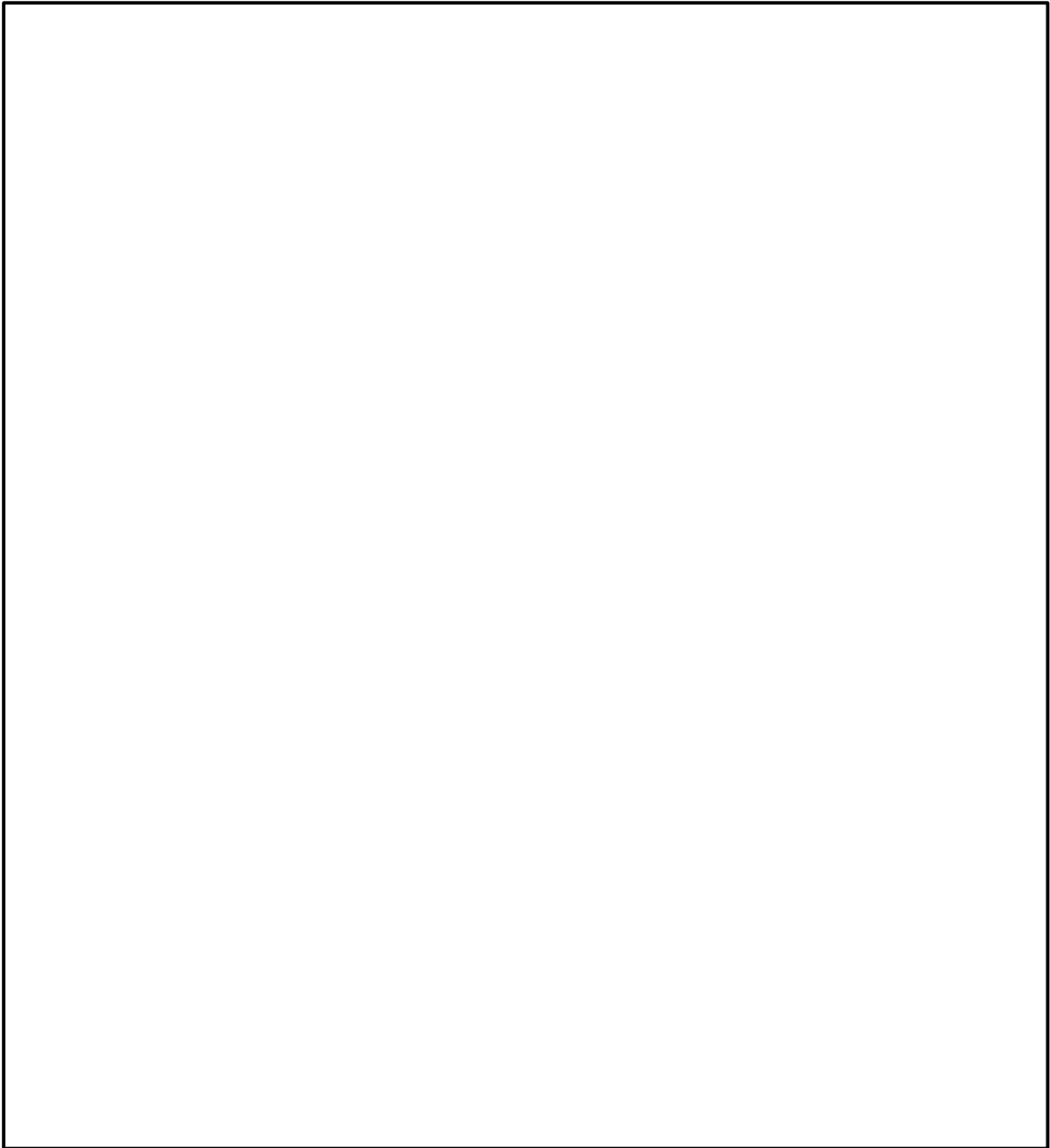


図 10 クランプ部解析モデル

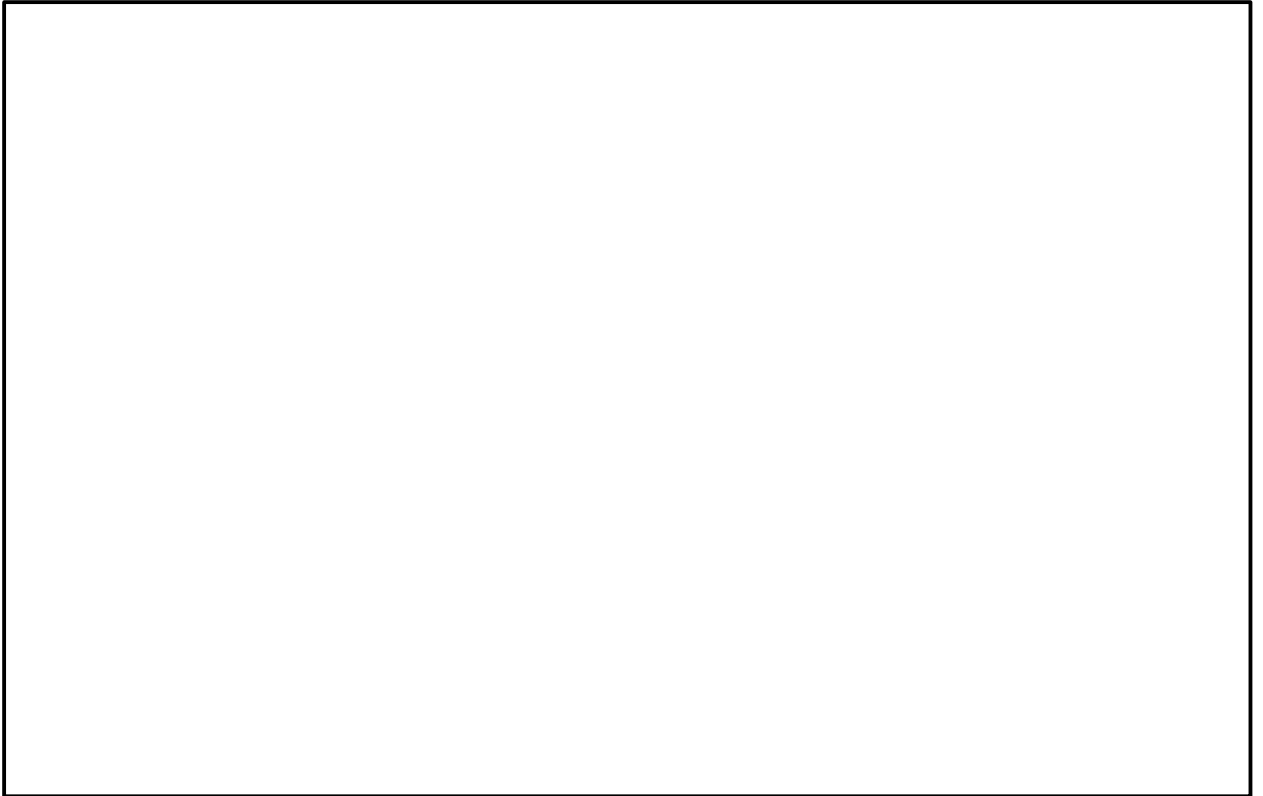


図 11 クランプ部（ボスーラッチ間）X 方向相対変位履歴

6. 考察

Hitz-B52 型のバスケットは、貯蔵条件および輸送条件の中で最も厳しい条件となる核分裂性輸送物に係る特別の試験条件（9.3m 水平落下）において、前項 3 項および 4 項の結果により十分な強度を有していることが確認されていることから、構造健全性が維持できるものと考えられる。

参考文献

- (1) “日本機械学会 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格”，JSME S FA1-2007，(社)日本機械学会，MCD-2000 バスケット，2007 年 12 月
- (2) 清田清司，高須治男，“新 建築土木 構造マニュアル 新版”，(株)オーム社，2004 年 1 月 15 日