

添付書類 8-2 バスケットの強度に関する計算書

添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針

目次

1. 概要	1
2. 適用基準	2
3. 記号	5
4. 設計条件	7
4.1 基本仕様	7
4.2 設計事象	9
4.3 荷重の種類とその組合せ	10
5. 計算条件	11
5.1 評価対象とする事象	11
5.2 形状及び寸法	12
5.3 許容応力	12
6. 応力評価の手順	13
6.1 評価手順の概要	13
6.2 荷重条件の選定	14
6.3 応力計算と評価	14
6.3.1 応力計算の方法	14
6.3.2 応力の評価	14
6.3.3 数値の丸め方	19

別紙1 許容圧縮応力の算出過程について

図表目次

第 2-1 表	バスケットの評価基準	3
第 3-1 表	応力評価に関する記号	5
第 4-1 表	MSF-21P 型のバスケットの基本仕様	7
第 4-2 表	使用済燃料貯蔵施設内における選定事象	9
第 4-3 表	バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ	10
第 5-1 表	代表事象	11
第 5-2 表	最高使用温度に対応する機械的強度	12
第 6-1 表	バスケットプレート用材料の許容応力値	15
第 6-2 表	数値の丸め方一覧表	19
第 4-1 図	バスケット構造図	8
第 6-1 図	バスケットの応力評価フロー	13

1. 概要

本書は、MSF-21P 型のバスケットに関する応力評価の方針を述べるものである。

2. 適用基準

バスケットの応力評価については、第 2-1 表に記載する設計基準値を適用する。なお、用語の定義は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）（日本機械学会 2007 年 12 月）（以下「構造規格」という。）の MGB-1000 によるものとする。

第2-1表 バスケットの評価基準^(注1) (1/2)

供用状態	A		B
評価事象	貯蔵時	吊上げ時	衝撃荷重作用時
設計基準	$P_m \leq S$ $P_m + P_b \leq K_0 S$ ^(注2) $\tau \leq 0.6 S$ $\sigma_p \leq S$ $\sigma_c(\text{一次}) \leq f_c$ ^(注5) $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$ ^(注5)	$P_m \leq S_m$ $P_m + P_b \leq \alpha S_m$ ^(注3) $P_m + P_b + Q \leq 1.5 S_m$ $\tau \leq 0.6 S_m$ $\sigma_p \leq S_y (1.5 S_y)$ ^(注4) $\sigma_c(\text{一次}) \leq f_c$ ^(注5) $\sigma_c(\text{一次+二次}) \leq 1.5 f_c$ ^(注5)	

(注1) バスケットプレート用材料の設計応力強さ (S_m)、許容引張応力 (S)、設計降伏点 (S_y) 及び設計引張強さ (S_u) を含む機械的特性は「添付書類8-2-3 バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書」に示す。

(注2) K_0 の値は、以下式による。ただし、純曲げが発生しない場合、発生する応力は P_m のみとなり、 P_m に対する評価と同じとなるため、 K_0 は1とする。

$$K_0 = 1 + k_s (1 - P_m/S), \quad k_s : k_s = 0.5(\alpha - 1)$$

(注3) α の値は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれかの小さい方の値。ただし、純曲げが発生しない場合、発生する応力は P_m のみとなり、 P_m に対する評価と同じとなるため、 α は1とする。

(注4) () 内は支圧荷重の作用端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。

(注5) f_c の値は、以下式による。

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

λ : 圧縮材の有効細長比で、次の計算式により計算した値 (-)

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

ℓ_k : 座屈長さ (mm)

i : 座屈軸についての断面二次半径 (mm)

Λ : 限界細長比で、次の計算式により計算した値 (-)

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

E : 縦弾性係数 (MPa)

F : S_y と $0.7S_u$ の小さい方の値 (MPa)

ν : 安全率 (-)

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

第2-1表 バスケットの評価基準^(注1) (2/2)

供用状態	C	D
評価事象	S _d *相当地震力が作用する場合	S _s 相当地震力が作用する場合
設計基準	$P_m \leq 1.2 S_m$ $P_m + P_b \leq 1.2 \alpha S_m$ ^(注2) $P_m + P_b + Q \leq 1.5 S_m$ $\tau \leq 0.9 S_m$ $\sigma_p \leq 1.5 S_y (2.25 S_y)$ ^(注3) σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c$ ^(注4) σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$ ^(注4)	$P_m \leq 2/3 S_u$ $P_m + P_b \leq 2/3 \alpha S_u$ ^(注2) $P_m + P_b + Q \leq 3 S_m$ $\tau \leq 1.2 S_m$ $\sigma_p \leq 2 S_y (3 S_y)$ ^(注3) σ_c (一次) $\leq 1.5 f_c^*$ ^(注5) σ_c (一次+二次) $\leq 1.5 f_c$ ^(注4)

(注1) バスケットプレート用材料の設計応力強さ (S_m)、許容引張応力 (S)、設計降伏点 (S_y) 及び設計引張強さ (S_u) を含む機械的特性は「添付書類8-2-3 バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書」に示す。

(注2) αの値は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれかの小さい方の値。ただし、純曲げが発生しない場合、発生する応力は、P_mのみとなり、P_mに対する評価と同じとなるため、αは1とする。

(注3) () 内は支圧荷重の作用端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。

(注4) f_cの値は、以下式による。

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

λ : 圧縮材の有効細長比で、次の計算式により計算した値 (-)

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

ℓ_k : 座屈長さ (mm)

i : 座屈軸についての断面二次半径 (mm)

Λ : 限界細長比で、次の計算式により計算した値 (-)

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

E : 縦弾性係数 (MPa)

F : S_yと0.7S_uの小さい方の値 (MPa)

v : 安全率 (-)

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

(注5) f_c*の値は、f_cの値を算出する際にS_yとあるのを1.2S_yと読み替えて算出した値。

3. 記号

本書及び「添付書類8-2-2 バスケットの応力計算書」（以下「応力計算書」という。）において、応力評価に関する第3-1表に示す記号を使用する。ただし、本文中に特記のある場合は、この限りでない。

なお、応力計算書の字体及び大きさについては本書と異なる場合がある。

第3-1表 応力評価に関する記号(1/2)

記号	記号の説明	単位
A_1	バスケットプレート底面と胴（底板）の接触部面積	mm^2
A_2	バスケットプレートAスリット部の断面積	mm^2
A_3	バスケットプレートBスリット部の断面積	mm^2
b_{A1}	バスケットプレートA幅1	mm
b_{A2}	バスケットプレートA幅2	mm
b_{A3}	バスケットプレートA幅3	mm
b_{B1}	バスケットプレートB幅1	mm
b_{B2}	バスケットプレートB幅2	mm
b_{B3}	バスケットプレートB幅3	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	S_y と $0.7S_u$ の小さい方の値	MPa
F_S	バスケットプレートBスリット部のせん断力	N
f_c 及び f_{c^*}	許容圧縮応力	MPa
G_1	水平方向加速度	m/s^2
G_{21}	鉛直方向加速度（貯蔵時）	m/s^2
G_{24}	鉛直方向加速度（貯蔵架台への衝突時）	m/s^2
G_{25}	鉛直方向加速度（貯蔵時（地震力が作用する場合））	m/s^2
g	重力加速度	m/s^2
h_{A1}	バスケットプレートA全厚さ	mm
h_{A2}	バスケットプレートA内幅	mm
h_{B1}	バスケットプレートB全厚さ	mm
h_{B2}	バスケットプレートB内幅	mm
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l_1	バスケットプレート長さ1	mm
l_2	バスケットプレート長さ2	mm

第3-1表 応力評価に関する記号(2/2)

記号	記号の説明	単位
l_k	座屈長さ	mm
M	バスケットプレートBスリット部の曲げモーメント	N・mm
m_1	バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量	kg
m_2	領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、伝熱サポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量	kg
N	バスケット段数	段
n_A	胴(底板)に接触するバスケットプレートA l_1 部の数	箇所
n_B	胴(底板)に接触するバスケットプレートB l_1 部の数	箇所
P_m	一次一般膜応力	MPa
P_b	一次曲げ応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S	許容引張応力	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d に相当する地震力又は静的地震力のいずれか大きい方	—
S_s	基準地震動 S_s に相当する地震力	—
S_m	設計応力強さ	MPa
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
w	領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	kg/mm
w_1	領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の質量	kg
Z	バスケットプレートBスリット部の断面係数	mm ³
Λ	限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
σ	評価断面に垂直な方向の応力	MPa
σ_b	バスケットプレートの曲げ応力	MPa
σ_p	バスケットプレートの平均支圧応力	MPa
σ_c	バスケットプレートの圧縮応力	MPa
τ	バスケットプレートの平均せん断応力	MPa
ν	安全率	—

4. 設計条件

バスケットは以下の荷重条件に耐えるように設計する。

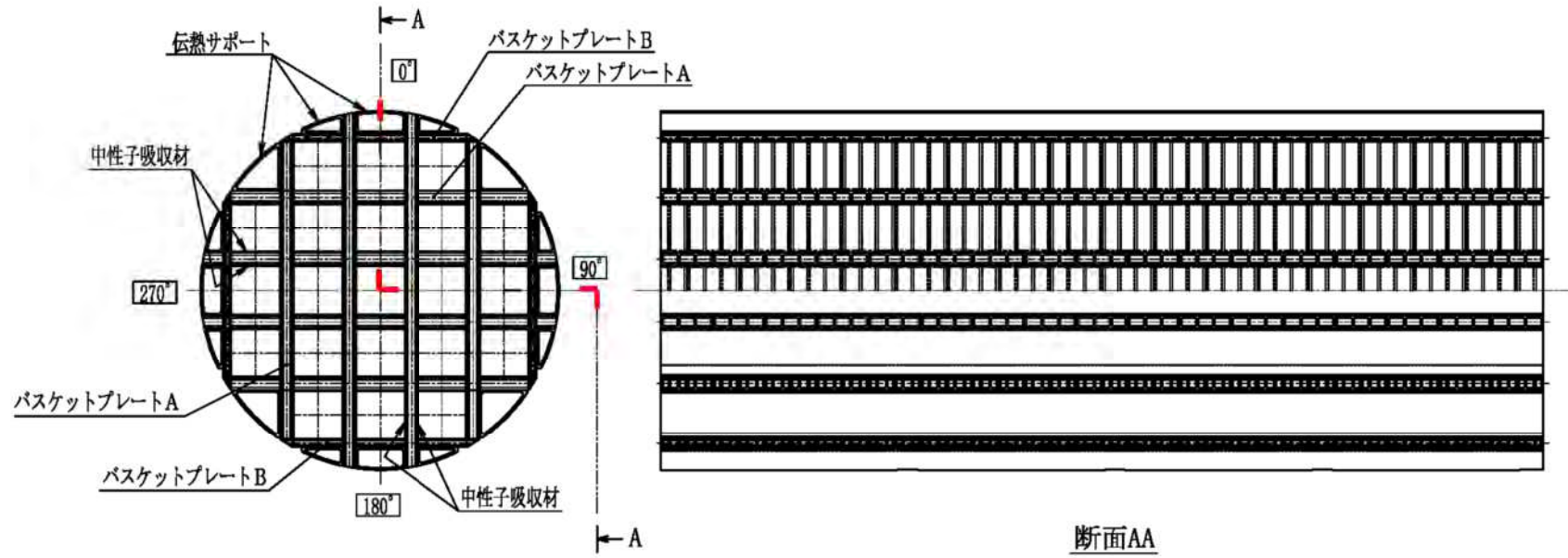
4.1 基本仕様

バスケットは、バスケットプレート（アルミニウム合金）と中性子吸収材（ほう素添加アルミニウム合金）との組み合わせにより、使用済燃料集合体を収納する格子を形成している。バスケット構造図を第 4-1 図に示す。また、バスケットの基本仕様を第 4-1 表に示す。

第 4-1 表 MSF-21P 型のバスケットの基本仕様

最高使用温度	180 °C (注1)
バスケット質量	5900 kg
バスケットプレートの材質	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)

(注1) バスケットの最高使用温度は、「添付書類5 使用済燃料等の除熱に関する説明書」に示すバスケット格子の温度を保守側に設定した値である。



第 4-1 図 バケット構造図

4.2 設計事象

設計上考慮する事象として、使用済燃料貯蔵施設内における選定事象を第4-2表に示す。

第4-2表 使用済燃料貯蔵施設内における選定事象

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

（注1）本書及び応力計算書において、事象を（ ）内の呼称とする場合がある。

4.3 荷重の種類とその組合せ

バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを第 4-3 表に示す。応力評価に用いる荷重は応力計算書に記載する。

第 4-3 表 バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計 事象	供用 状態	評 価 事 象	荷 重				
			自重 による 荷重	吊 上 げ 荷 重	衝 撃 荷 重	熱 荷 重	地 震 荷 重
I	A	貯 蔵 時	○	—	—	○	—
		吊 上 げ 時	— (注1)	○	—	○	—
II	B	衝 撃 荷 重 作 用 時	— (注1)	—	○	○	—
$I + S_d^*$	C	S_d^* 相当地震力が作用する場合	○	—	—	○	○
$I + S_s$	D	S_s 相当地震力が作用する場合	○	—	—	—	○

(注 1) 本状態での自重による荷重は、吊上げ時荷重又は衝撃荷重の慣性力による荷重に含まれる。

5. 計算条件

5.1 評価対象とする事象

4.2 節で示した使用済燃料貯蔵施設内における選定事象のうち、第 5-1 表に示すように荷重条件等を考慮して代表事象を選定し、代表事象について評価を実施する。

第 5-1 表 代表事象

設計事象	供用状態	代表事象	包絡される事象	荷重条件	備考
I	A	貯蔵時	—	<ul style="list-style-type: none"> 自重 熱荷重 	
II	B	貯蔵架台への衝突時	<ul style="list-style-type: none"> 吊上げ時 台車搬送時 準備作業時 たて起こし架台への衝突時 搬送中の急停止時 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台への衝突時荷重 鉛直方向加速度（下方向） : 5 g（自重考慮） 熱荷重 	荷重条件が最も厳しいのは貯蔵架台への衝突時荷重である。
$I + S_d^*$	C	貯蔵時 $\left[\begin{array}{l} S_d^* \text{相当} \\ \text{地震力が作用} \\ \text{する場合} \end{array} \right]$	—	<ul style="list-style-type: none"> 自重 地震力 水平方向 : 1.5 g 鉛直方向 : 1.0 g 熱荷重 	—
$I + S_s$	D	貯蔵時 $\left[\begin{array}{l} S_s \text{相当} \\ \text{地震力が作用} \\ \text{する場合} \end{array} \right]$	—	<ul style="list-style-type: none"> 自重 地震力 水平方向 : 1.5 g 鉛直方向 : 1.0 g 	—

5.2 形状及び寸法

応力評価を行う部位の形状及び寸法は、応力計算書に示す。

5.3 許容応力

各供用状態におけるバスケットの許容基準は、第 2-1 表による。許容応力は、最高使用温度に対する値を用いる。最高使用温度に対応する機械的強度を第 5-2 表に示す。

第 5-2 表 最高使用温度に対応する機械的強度

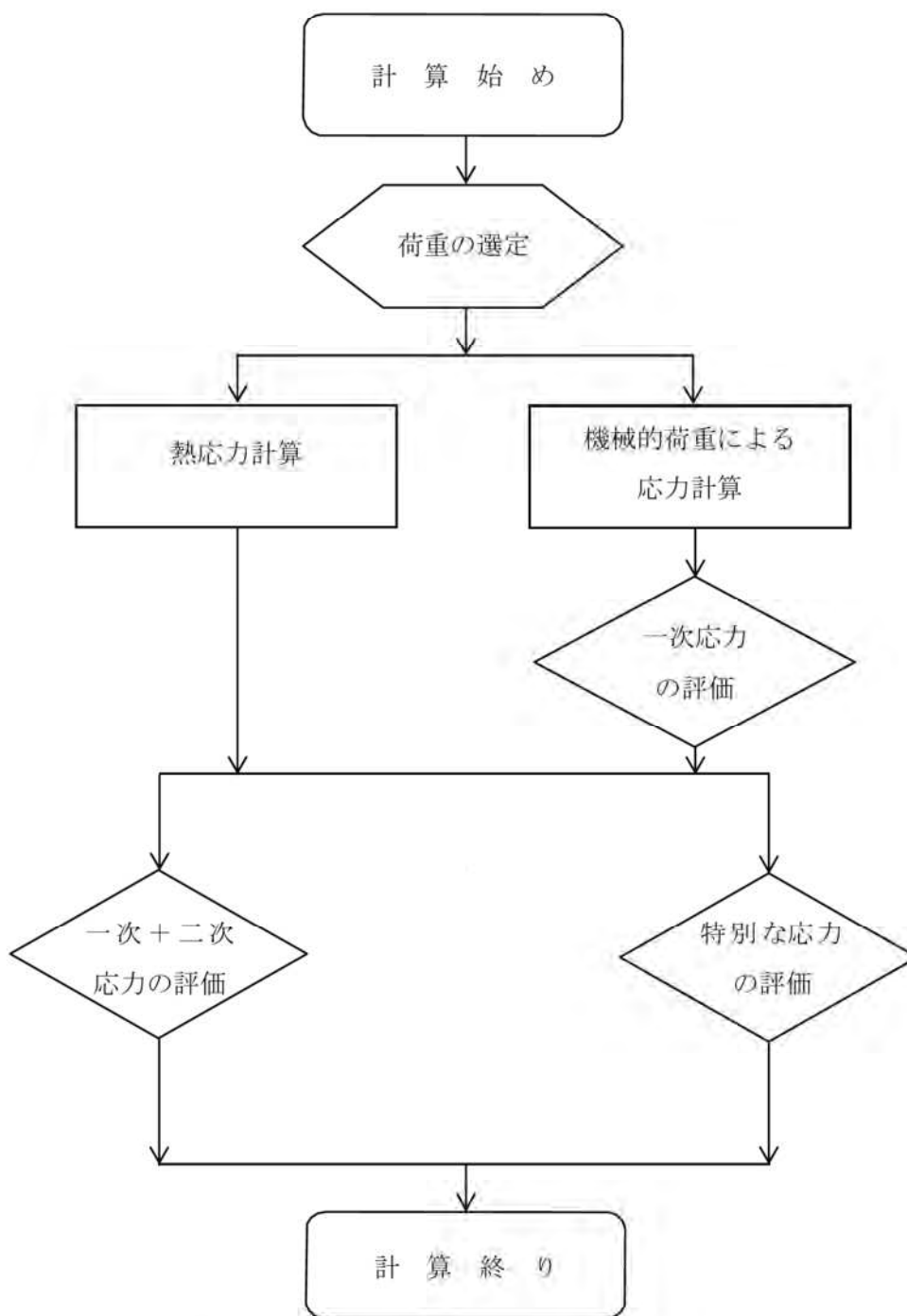
部 位	材 料	最高使用 温度 (°C)	縦弾性 係数 E (MPa)	設計 応力強さ S _m (MPa)	許容 引張応力 S (MPa)	設計 降伏点 S _y (MPa)	設計 引張強さ S _u (MPa)
バスケット プレート	アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	180	69600	36	19	56	122

6. 応力評価の手順

6.1 評価手順の概要

バスケットの応力評価フローを第6-1図に示す。

バスケットの応力評価は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。



第6-1図 バスケットの応力評価フロー

6.2 荷重条件の選定

荷重条件は 4 章に示しているが、各部の計算においては、その部分について重要な荷重条件を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重は応力計算書に示す。

6.3 応力計算と評価

6.3.1 応力計算の方法

(1) 応力計算は荷重ごとに行う。荷重条件として与えられるものは次の 2 つである。

a. 機械的荷重

機械的荷重は、自重（使用済燃料集合体を含む MSF-21P 型の貯蔵時の設計質量を用いる。）、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。

b. 熱荷重

(2) 中性子吸収材及び伝熱サポートは非構造強度部材として評価対象より除外する。

(3) 応力評価位置は、構造の不連続性を考慮して設定する。

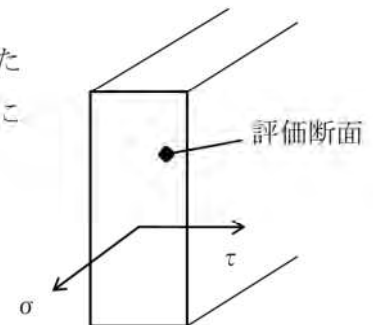
6.3.2 応力の評価

応力の計算結果は、「構造規格」MGB-1200 による定義に従い、応力の種類ごとに分類し、以下の評価を応力計算書に示す。

なお、応力の記号とその方向は以下のとおりである。ただし、計算結果は許容応力との比較を行うため、絶対値にて記載する。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力

τ : せん断応力



バスケット用材料の許容応力値を第 6-1 表に示す。

第 6-1 表 バスケットプレート用材料の許容応力値 (1/3)

(単位 : MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容応力値	許容応力
供用状態 A (長期荷重による 応力の評価)	一次一般膜応力強さ	P_m	19	S
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	19 ^(注2)	$K_0 S$
	平均せん断応力	τ	—	0.6 S
	平均支圧応力	σ_u	19	S
	圧縮応力 一次応力 (評価位置①) ^(注1)	σ_c	37 ^(注5)	f_c
	圧縮応力 一次+二次応力 (評価位置①) ^(注1)	σ_c	55 ^(注5)	$1.5 f_c$
供用状態 A及びB (短期荷重による 応力の評価)	一次一般膜応力強さ	P_m	36	S_m
	一次一般膜+一次曲げ応力強さ	$P_m + P_b$	36 ^(注3)	αS_m
	一次+二次応力強さ	$P_m + P_b + Q$	54	$1.5 S_m$
	平均せん断応力	τ	—	0.6 S_m
	平均支圧応力	σ_p	56	S_y ^(注4)
	圧縮応力 一次応力 (評価位置①) ^(注1)	σ_c	37 ^(注5)	f_c
	圧縮応力 一次+二次応力 (評価位置①) ^(注1)	σ_c	55 ^(注5)	$1.5 f_c$

(注 1) 応力評価位置は応力計算書に示す。

(注 2) $K_0=1$ として算出した。

(注 3) $\alpha=1$ として算出した。

(注 4) 支圧荷重の作用端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以外の値

(注 5) 算出過程を別紙 1 に示す。

第6-1表 バスケットプレート用材料の許容応力値 (2/3)

(単位：MPa)

許容応力 区分	応力の種類		許容 応力値	許容応力
供用状態 C	一次一般膜応力強さ	P_m	43	$1.2 S_m$
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (評価位置①) (注1)	$P_m + P_b$	43 (注2)	$1.2 \alpha S_m$
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (評価位置③) (注1)	$P_m + P_b$	56 (注3)	$1.2 \alpha S_m$
	一次＋二次応力強さ	$P_m + P_b + Q$	54	$1.5 S_m$
	平均せん断応力	τ	32	$0.9 S_m$
	平均支圧応力	σ_p	84	$1.5 S_y$ (注4)
	圧縮応力 一次応力 (評価位置①) (注1)	σ_c	55 (注5)	$1.5 f_c$
	圧縮応力 一次応力 (評価位置②) (注1)	σ_c	55 (注5)	$1.5 f_c$
	圧縮応力 一次＋二次応力 (評価位置①) (注1)	σ_c	55 (注5)	$1.5 f_c$
	圧縮応力 一次＋二次応力 (評価位置②) (注1)	σ_c	55 (注5)	$1.5 f_c$

(注1) 応力評価位置は応力計算書に示す。

(注2) $\alpha = 1$ として算出した。

(注3) $\alpha = 1.30$ として算出した。

(注4) 支圧荷重の作用端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以外の値

(注5) 算出過程を別紙1に示す。

第6-1表 バスケットプレート用材料の許容応力値 (3/3)

(単位：MPa)

許容応力区分	応力の種類		許容応力値	許容応力
供用状態 D	一次一般膜応力強さ	P_m	81	$2/3 S_u$
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (評価位置①) (注1)	$P_m + P_b$	81 (注2)	$2/3 \alpha S_u$
	一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (評価位置③) (注1)	$P_m + P_b$	105 (注3)	$2/3 \alpha S_u$
	一次＋二次応力強さ	$P_m + P_b + Q$	108	$3 S_m$
	平均せん断応力	τ	43	$1.2 S_m$
	平均支圧応力	σ_p	112	$2 S_y$ (注4)
	圧縮応力 一次応力 (評価位置①) (注1)	σ_c	66 (注6)	$1.5 f_c^*$ (注5)
	圧縮応力 一次応力 (評価位置②) (注1)	σ_c	66 (注6)	$1.5 f_c^*$ (注5)
	圧縮応力 一次＋二次応力 (評価位置①) (注1)	σ_c	55 (注6)	$1.5 f_c$
	圧縮応力 一次＋二次応力 (評価位置②) (注1)	σ_c	55 (注6)	$1.5 f_c$

(注1) 応力評価位置は応力計算書に示す。

(注2) $\alpha = 1$ として算出した。

(注3) $\alpha = 1.30$ として算出した。

(注4) 支圧荷重の作用端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以外の値

(注5) f_c^* の計算において、 S_y は、 $1.2 S_y$ と読み替える。

(注6) 算出過程を別紙1に示す。

(1) バスケットの応力評価

バスケットの応力評価は、第 2-1 表に従い以下の項目を評価する。

- a. 一次応力
- b. 一次+二次応力
- c. 特別な応力の検討
 - (a) 平均せん断応力
 - (b) 平均支圧応力
 - (c) 圧縮応力

(2) ボルトの応力評価

バスケットの構造強度部材にボルトを使用していないので、ボルトの応力評価は不要である。

6.3.3 数値の丸め方

数値は原則として安全側に丸めて使用する。

また、規格、基準等により決まる数値については丸めず、規格、基準等を内挿して使用する場合は原則として安全側に処理する。

表示する数値の丸め方を第 6-2 表に示す。

第 6-2 表 数値の丸め方一覧表

数値の種類	単位	処理桁	処理法	表示桁
最高使用温度	℃	—	—	設計値
許容応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
計算応力値	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
長さ	mm	—	—	設計値
加速度	m/s ²	—	—	設計値
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁
単位長さ当たりの質量	kg/mm	小数点以下第 2 位	切上げ	小数点以下第 1 位
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁
質量	kg	—	—	設計値
力	N	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁

許容圧縮応力の算出過程について

1. はじめに

本紙は、バスケットプレートに発生する圧縮応力に対する許容値（ f_c 、 $1.5f_c$ 、 $1.5f_c^*$ ）の諸条件及び算出過程をまとめたものである。

なお、本紙では、評価位置①及び評価位置②の許容値を区別するため、許容値の記号並びに計算過程で使用する記号にそれぞれ添え字 1 及び 2 を追加する。

2. 算出方法

構造規格の MCD-2317 に基づき算出する。

3. 条件及び算出過程

3.1 評価位置①の許容圧縮応力（ f_c 、 $1.5f_c$ 、 $1.5f_c^*$ ）について

バスケットの形状・寸法を別紙 1-1 図に示す。評価位置①にはバスケットプレート A とバスケットプレート B が設置されるが、許容圧縮応力が保守側の値となるバスケットプレート B における算出過程を以下に記載する。

評価位置①の許容圧縮応力の計算モデル及びバスケットプレート B の寸法を別紙 1-2 図に示す。評価位置①の許容圧縮応力 f_{c1} は、以下のとおり計算される。

λ_1 : 圧縮材の有効細長比 (—)

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \frac{\ell_{k1}}{i_1} \\ &= 13.2\end{aligned}$$

ℓ_{k1} : 座屈長さ (mm)

$$\ell_{k1} = 0.8 \times \ell_{B1} \quad (\text{拘束条件: 1 端自由-他端拘束})$$

ℓ_{B1} : バスケットプレート B 長さ 1

i_1 : 座屈軸についての断面二次半径 (mm)

$$i_1 = \sqrt{\frac{I_B}{A_B}}$$

A_B : バスケットプレート B の断面積 (mm^2)

$$A_B = (h_{B1} - h_{B2}) \times \ell_{B2}$$

I_B : バスケットプレート B の断面二次モーメント (mm^4)

$$I_B = \frac{1}{12} \{ (h_{B1}^3 - h_{B2}^3) \times \ell_{B2} \}$$

h_{B1} : バスケットプレートB全厚さ

h_{B2} : バスケットプレートB内幅

l_{B2} : バスケットプレートB長さ2

Λ_1 : 限界細長比 (-)

$$\Lambda_1 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

$$= 143.0$$

E : 縦弾性係数 (69600 MPa)

F : S_y と $0.7S_u$ の小さい方の値 (56 MPa)

ここで、 $\Lambda_1 > \lambda_1$ より、

$$f_{c1} = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_1}{\Lambda_1} \right)^2 \right\} \frac{F}{v_1}$$

v_1 : 安全率 (-)

$$v_1 = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_1}{\Lambda_1} \right)^2$$

したがって、 $f_{c1} = 37$ MPa と求められる。

また、 $f_{c1} = 37$ MPa より、 $1.5 f_{c1} = 55$ MPa と求められる。

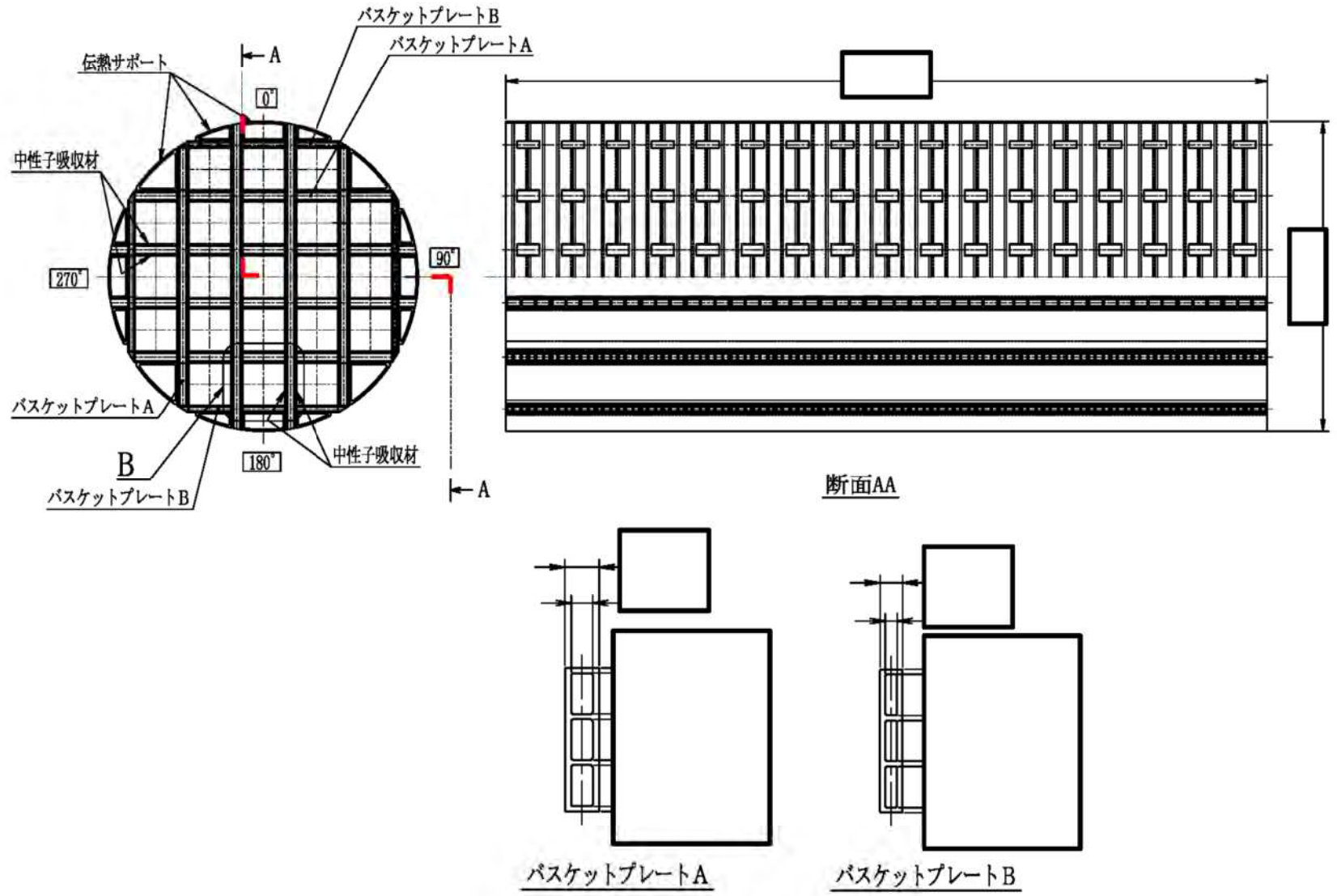
f_{c1}^* の値は、 f_{c1} の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2S_y$ と読み替える。

ここで、

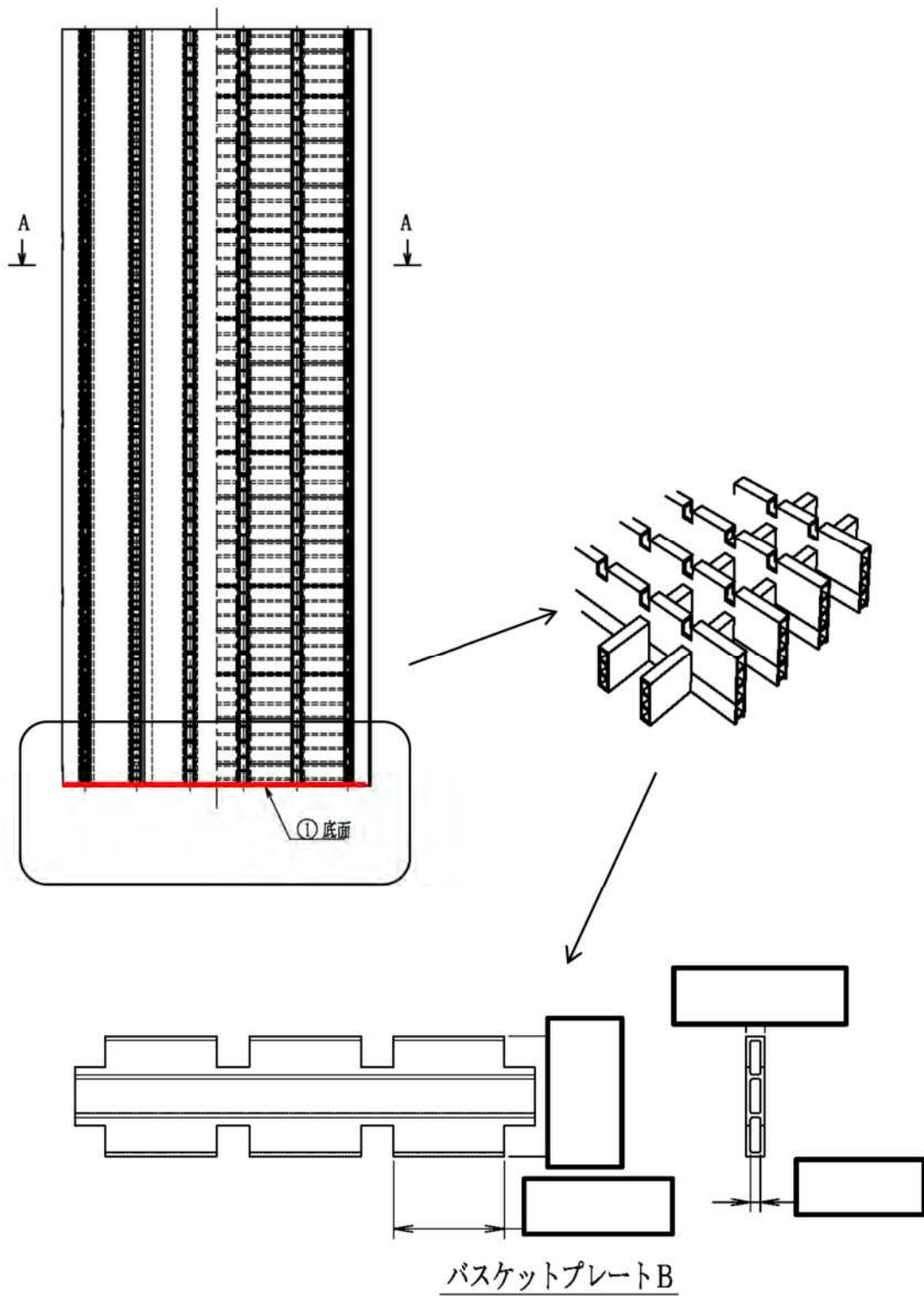
F : $1.2S_y$ と $0.7S_u$ の小さい方の値 (67 MPa)

したがって、 $f_{c1}^* = 44$ MPa と求められる。

また、 $f_{c1}^* = 44$ MPa より、 $1.5 f_{c1}^* = 66$ MPa と求められる。



別紙 1-1 図 バスケットの形状・寸法



別紙 1-2 図 評価位置①の許容圧縮応力の計算モデル及びバスケットプレートBの形状

3.2 評価位置②の許容圧縮応力 f_{c2} について

評価位置②にはバスケットプレートAが設置されるため、バスケットプレートAにおける許容圧縮応力の算出過程を以下に記載する。

評価位置②の許容圧縮応力の計算モデル及びバスケットプレートAの寸法を別紙 1-3 図に示す。評価位置②の許容圧縮応力 f_{c2} は、以下のとおり計算される。

$$f_{c2} = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_2}{\Lambda_2} \right)^2 \right\} \frac{F}{v_2}$$

λ_2 : 圧縮材の有効細長比 (—)

$$\lambda_2 = \frac{\ell_{k2}}{i_2}$$

$$= 1.4$$

ℓ_{k2} : 座屈長さ (mm)

$$\ell_{k2} = 0.8 \times \ell_A$$

ℓ_A : バスケットプレートA長さ

i_2 : 座屈軸についての断面二次半径 (mm)

$$i_2 = \sqrt{\frac{I_A}{A_A}}$$

A_A : バスケットプレートAスリット部の断面積 (mm^2)

$$A_A = h_{A1} \times b_{A1} - h_{A2} \times (b_{A2} + b_{A3} \times 2)$$

I_A : バスケットプレートAの断面二次モーメント (mm^4)

$$I_A = \frac{1}{12} (h_{A1}^3 \times b_{A1} - h_{A2}^3 \times (b_{A2} + b_{A3} \times 2))$$

h_{A1} : バスケットプレートA全厚さ

h_{A2} : バスケットプレートA内幅

b_{A1} : バスケットプレートA幅1

b_{A2} : バスケットプレートA幅2

b_{A3} : バスケットプレートA幅3

Λ_2 : 限界細長比 (—)

$$\Lambda_2 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

$$= 143.0$$

E : 縦弾性係数 (69600 MPa)

F : S_y と $0.7 S_u$ の小さい方の値 (56 MPa)

ここで、 $\Lambda_2 > \lambda_2$ より、

v_2 : 安全率 (—)

$$v_2 = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_2}{\Lambda_2} \right)^2$$

したがって、 $f_{c2} = 37$ MPa と求められる。

また、 $f_{c2} = 37$ MPa より、 $1.5 f_{c2} = 55$ MPa と求められる。

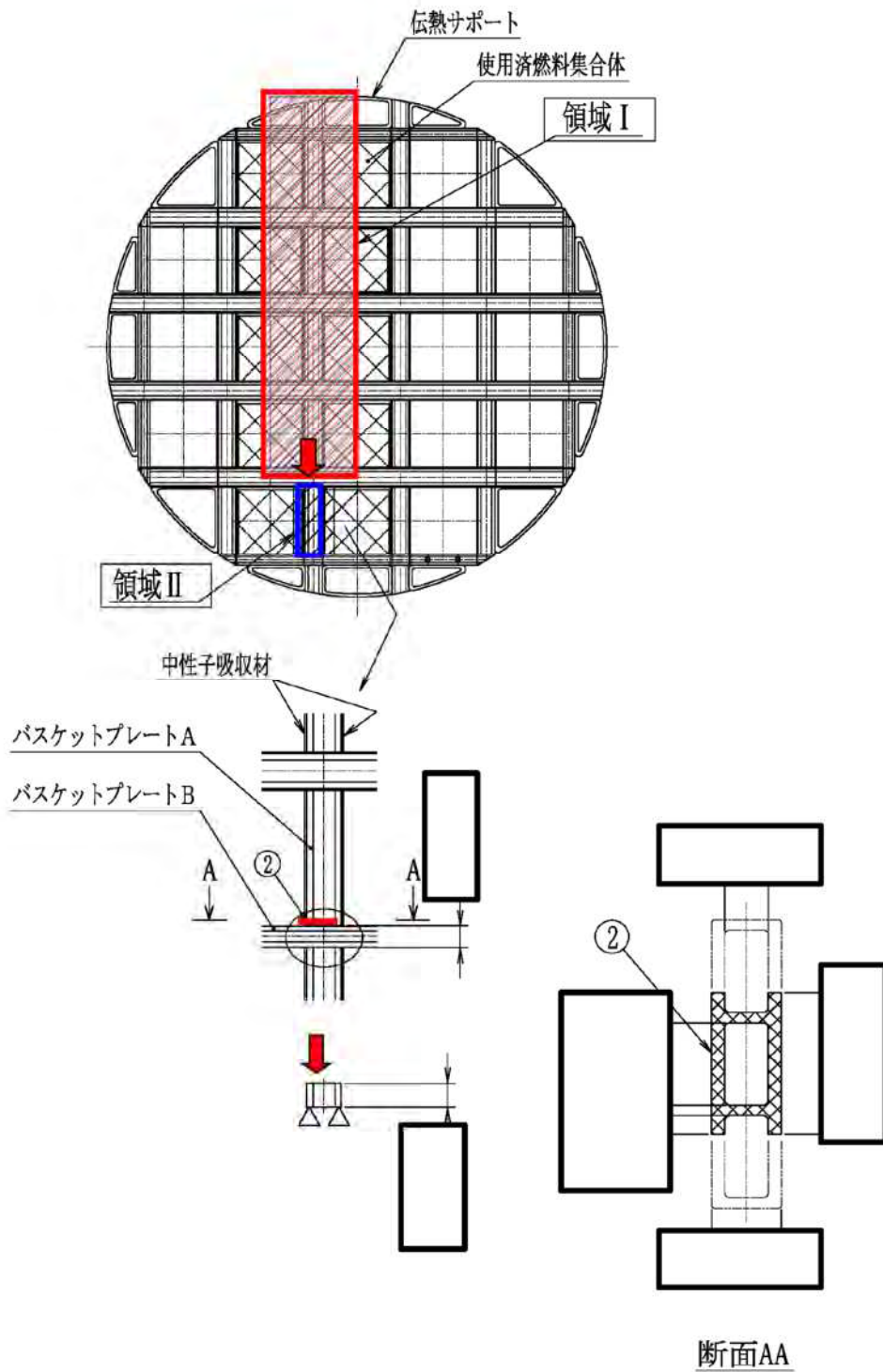
f_{c2}^* の値は、 f_{c2} の値を算出する際に S_y とあるのを $1.2 S_y$ と読み替える。

ここで、

F : $1.2 S_y$ と $0.7 S_u$ の小さい方の値 (67 MPa)

したがって、 $f_{c2}^* = 44$ MPa と求められる。

また、 $f_{c2}^* = 44$ MPa より、 $1.5 f_{c2}^* = 66$ MPa と求められる。



別紙 1-3 図 評価位置②の許容圧縮応力の計算モデル及びバスケットプレートAの形状

添付書類 8-2-2 バスケットの応力計算書

目次

1. 概要	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 計算結果	1
2. 応力計算	4
2.1 応力評価位置	4
2.2 貯蔵時	4
2.2.1 荷重条件	4
2.2.2 応力計算	8
2.3 貯蔵架台への衝突時	13
2.3.1 荷重条件	13
2.3.2 応力計算	13
2.4 貯蔵時 (S_d *相当地震力が作用する場合)	15
2.4.1 荷重条件	15
2.4.2 応力計算	15
2.5 貯蔵時 (S_s 相当地震力が作用する場合)	25
2.5.1 荷重条件	25
2.5.2 応力計算	25
3. 応力の評価	26
3.1 応力強さの評価	26
3.2 特別な応力の評価	26
3.2.1 平均せん断応力	26
3.2.2 平均支圧応力	26
3.2.3 圧縮応力	26

図表目次

第 2-1 表	バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果 (貯蔵時)	9
第 2-2 表	バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果 (貯蔵架台への衝突時)	13
第 2-3 表	バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果 (貯蔵時 (S_d *相当地震力が作用する場合))	16
第 2-4 表	バスケットプレート A スリット部に発生する応力の計算条件及び 計算結果	17
第 2-5 表	バスケットプレート B スリット部に発生する曲げ応力の計算条件及び 計算結果	20
第 2-6 表	バスケットプレート B スリット部に発生するせん断応力の計算条件及び 計算結果	23
第 3-1 表	バスケットの応力計算結果と許容応力 (供用状態 A)	27
第 3-2 表	バスケットの応力計算結果と許容応力 (供用状態 B)	27
第 3-3 表	バスケットの応力計算結果と許容応力 (供用状態 C)	28
第 3-4 表	バスケットの応力計算結果と許容応力 (供用状態 D)	29
第 1-1 図	バスケットの形状・寸法・材料	2
第 2-1 図	バスケットの応力評価位置	5
第 2-2 図	各代表事象における荷重の方向	7
第 2-3 図	バスケットプレート底面と胴 (底板) の接触面積	10
第 2-4 図	バスケットの解析モデル (地震時 (水平方向荷重)) (その 1)	18
第 2-5 図	バスケットの解析モデル (地震時 (水平方向荷重)) (その 2)	21

1. 概要

本書は、MSF-21P 型のバスケットに関する応力計算書である。

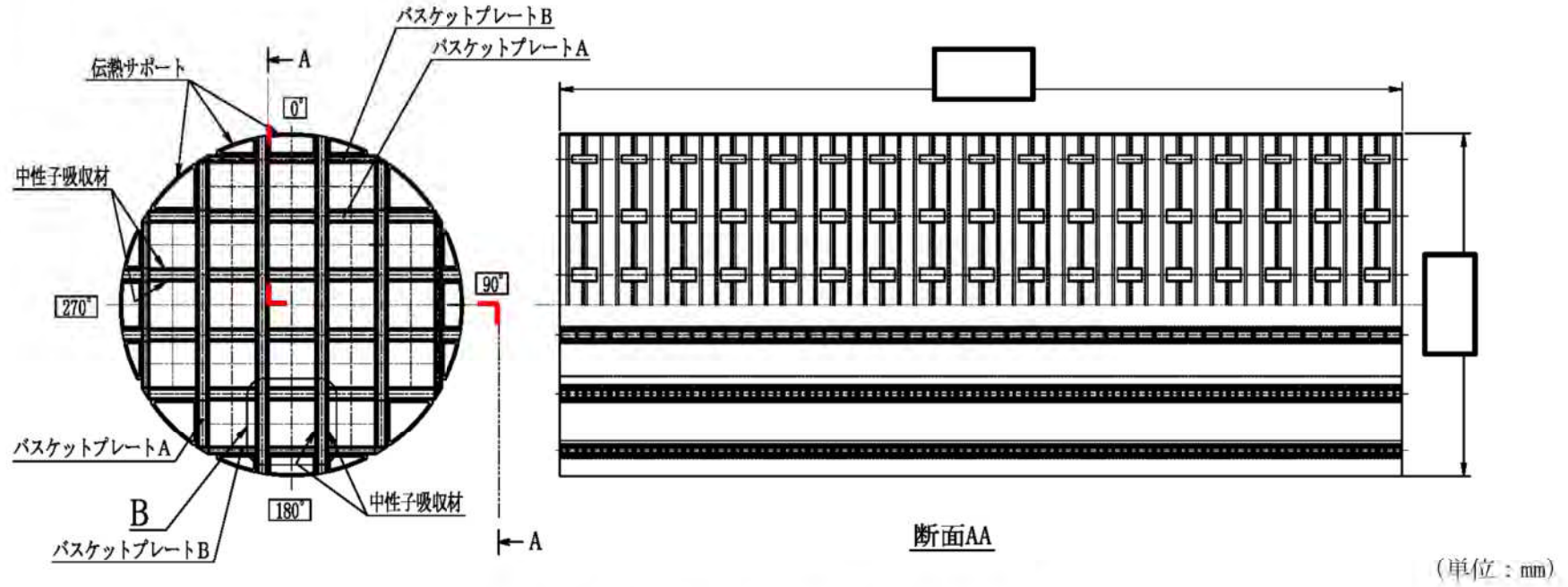
1.1 形状・寸法・材料

本書で評価するバスケットの形状・寸法・材料を第 1-1 図に示す。

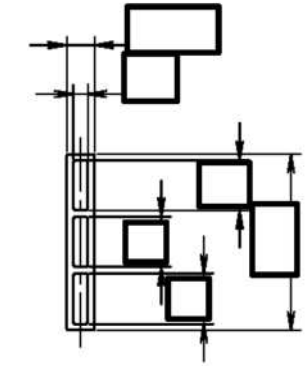
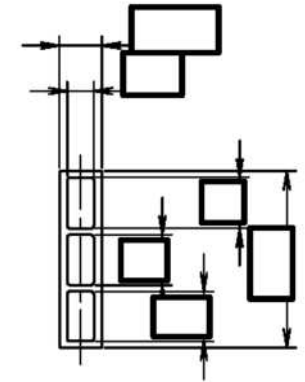
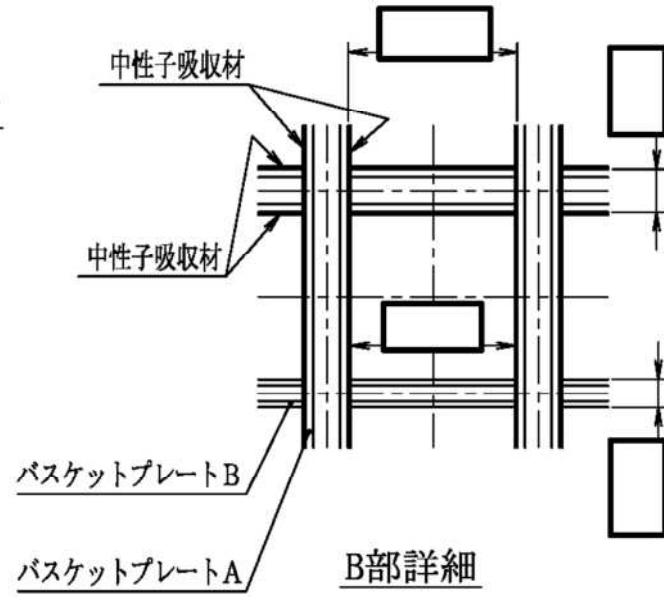
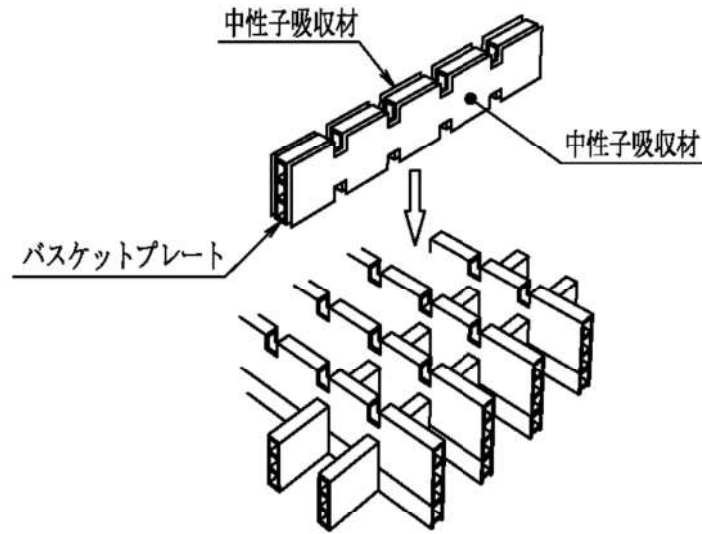
1.2 計算結果

計算結果を第 3-1 表、第 3-2 表、第 3-3 表及び第 3-4 表に示す。

なお、応力評価位置については、評価上最も厳しい部位を選定し、代表評価位置として本書に記載している。表中の「-」は、評価すべき応力が発生しない又は評価上厳しくないため評価を省略している。



第1-1図 バスケットの形状・寸法・材料 (1/2)



(単位：mm)

材料

- バスケットプレート : アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)
- 中性子吸収材 : ほう素添加アルミニウム合金
- 伝熱サポート : アルミニウム合金

第 1-1 図 バスケットの形状・寸法・材料 (2/2)

2. 応力計算

2.1 応力評価位置

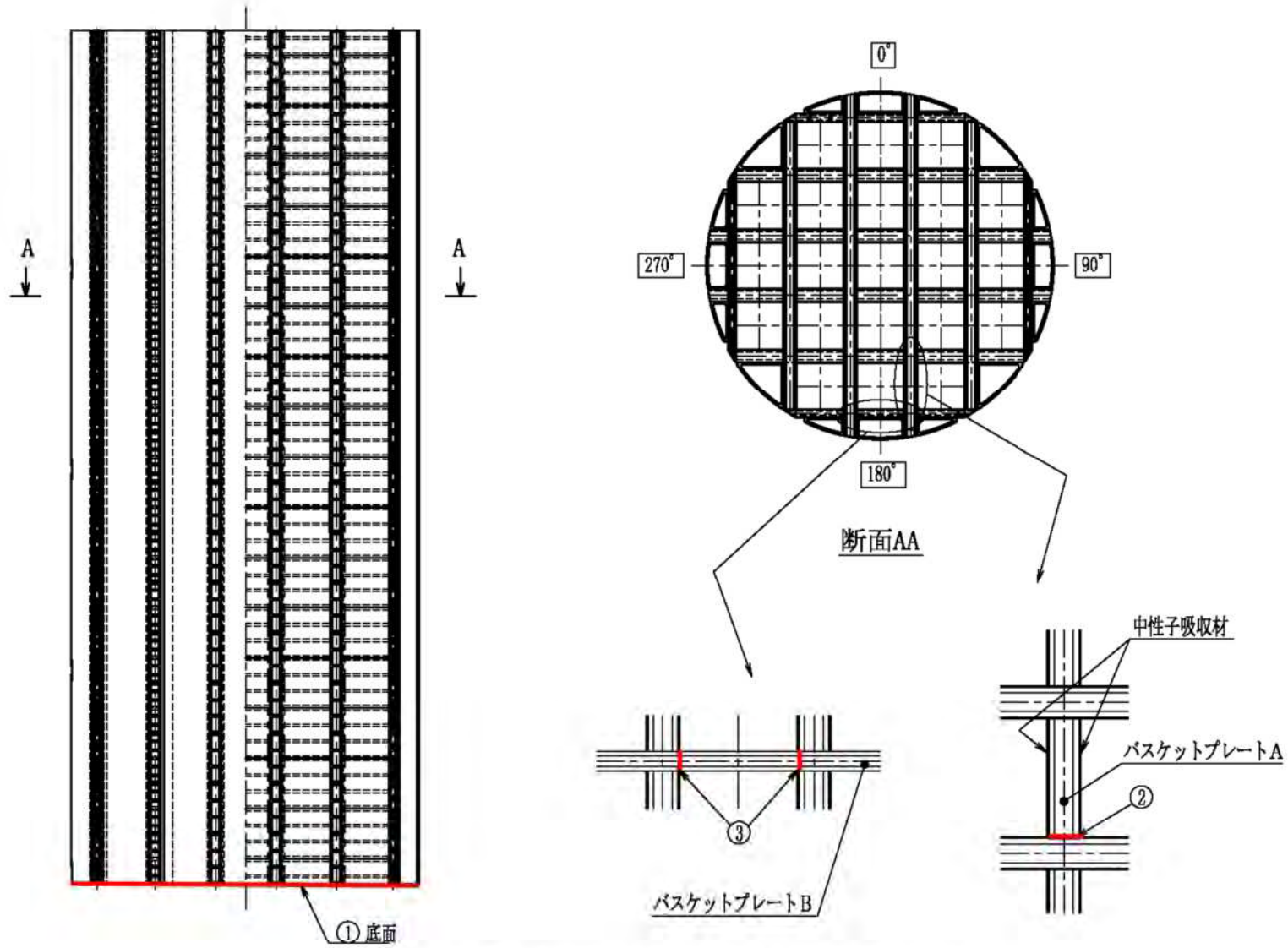
バスケットの応力評価位置を第 2-1 図に示す。

2.2 貯蔵時

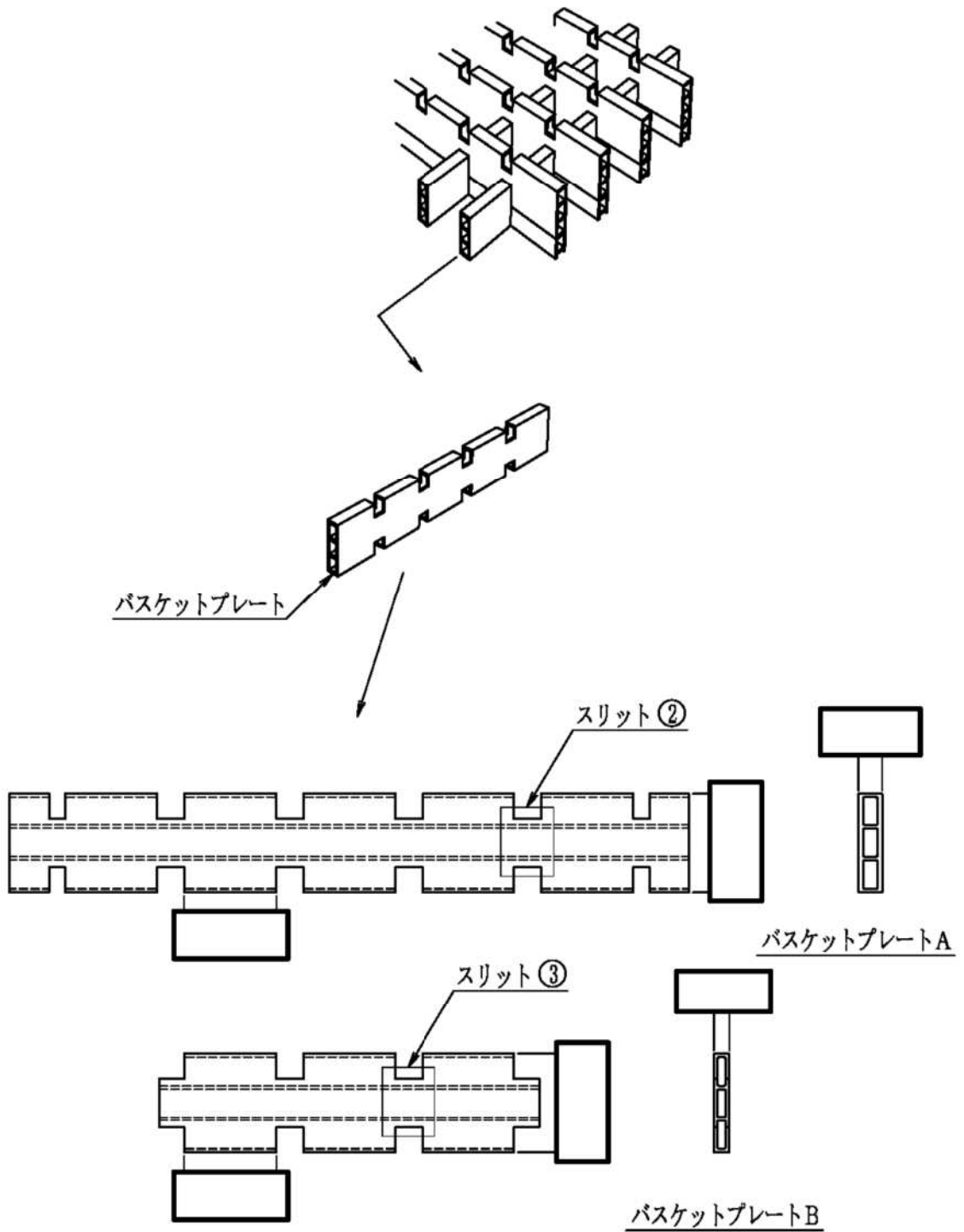
2.2.1 荷重条件

貯蔵時における荷重は次に示す組合せとする。荷重の方向を第 2-2 図に示す。なお、熱荷重を考慮してもバスケットには熱応力が生じない。

- ・貯蔵時荷重
- ・熱荷重



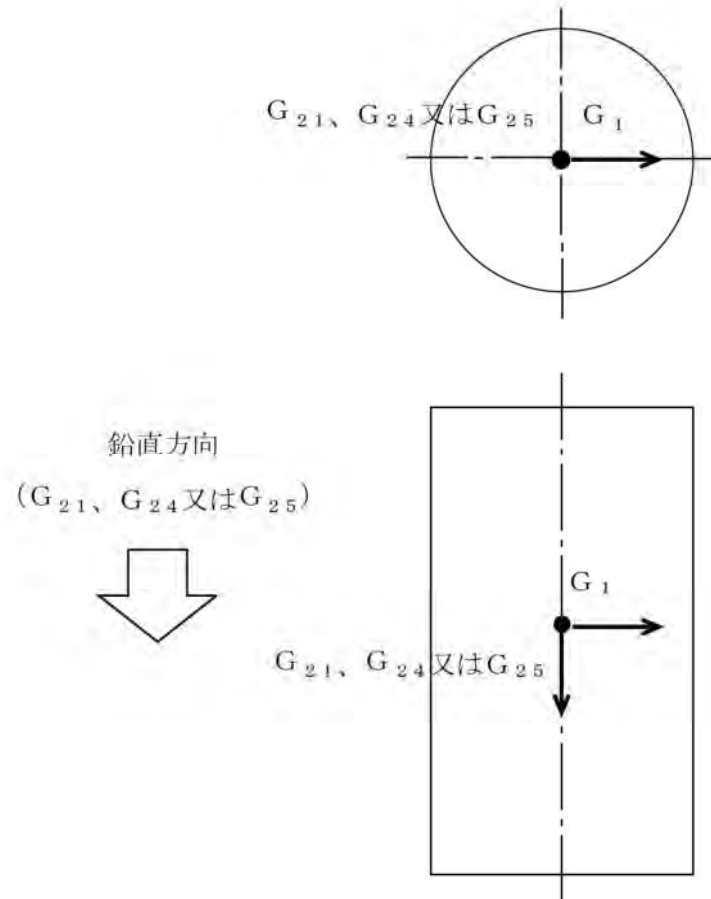
第 2-1 図 バスケットの応力評価位置 (1/2)



(単位：mm)

第2-1図 バスケットの応力評価位置 (2/2)

- 貯蔵時 : $G_{21} = 1 \text{ g}$
- 貯蔵架台への衝突時 : $G_{24} = 5 \text{ g}$
- 貯蔵時 (S_d^* 相当地震力が作用する場合
及び S_s 相当地震力が作用する場合) : $G_1 =$ 水平方向加速度 (1.5 g)
 $G_{25} =$ 鉛直方向加速度 (2.0 g)



第 2-2 図 各代表事象における荷重の方向

2.2.2 応力計算

(1) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。
鉛直方向加速度（下方向）により発生する応力（ σ ）は、次式で計算される。

$$\sigma = \frac{m_1 \cdot G_{21}}{A_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

m_1 : バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量
(5900 kg)

G_{21} : 鉛直方向加速度（貯蔵時）(1 g) (m/s^2)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

A_1 : バスケットプレート底面と胴（底板）の接触部面積（第 2-3 図参照）

$$A_1 = (h_{A1} - h_{A2}) \times \ell_1 \times n_A + (h_{B1} - h_{B2}) \times \ell_1 \times n_B$$

$$= \boxed{}$$

h_{A1} : バスケットプレート A 全厚さ $\boxed{}$

h_{A2} : バスケットプレート A 内幅 $\boxed{}$

ℓ_1 : バスケットプレート長さ 1 $\boxed{}$

n_A : 胴（底板）に接触するバスケットプレート A ℓ_1 部の数 $\boxed{}$

h_{B1} : バスケットプレート B 全厚さ $\boxed{}$

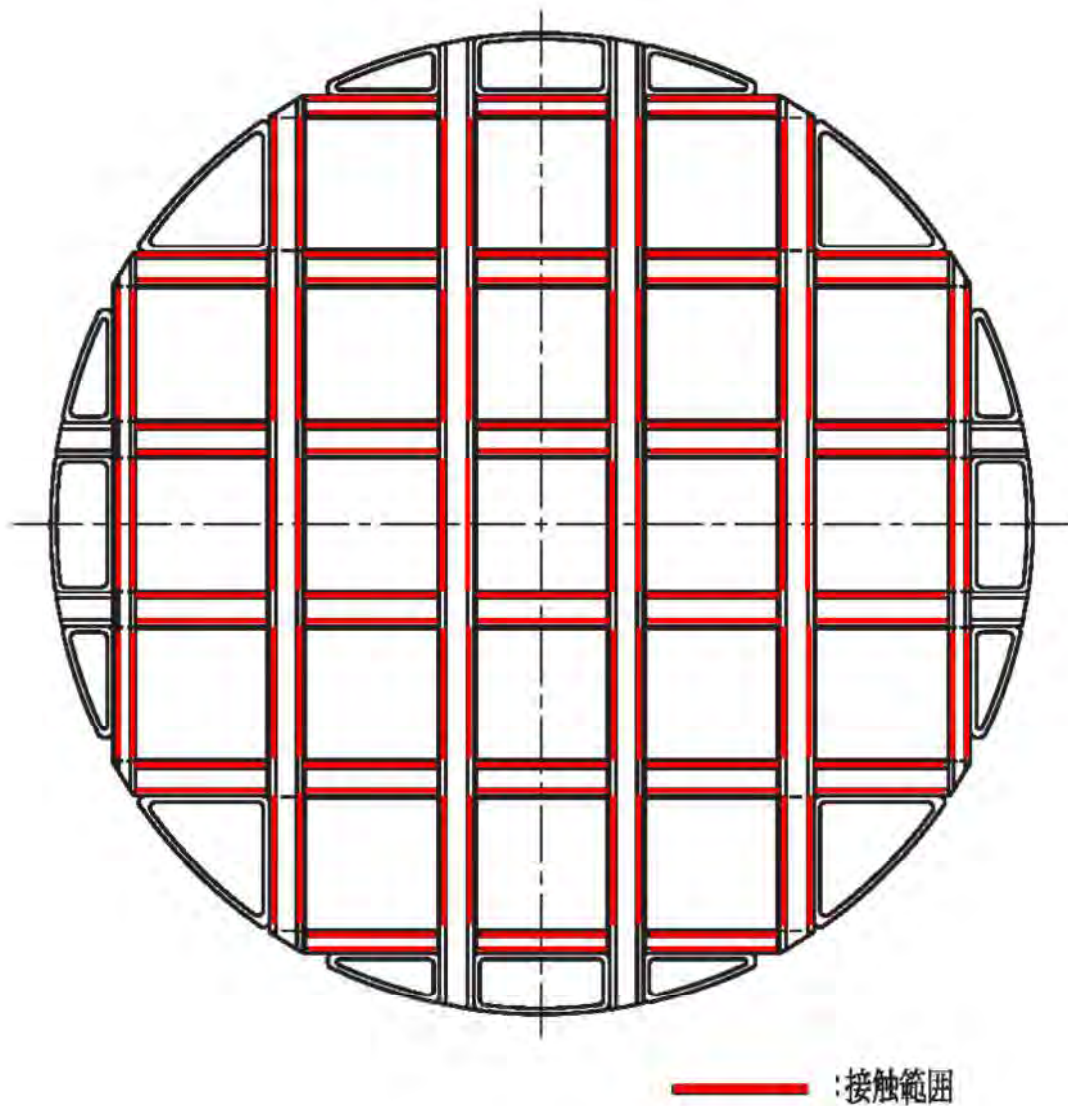
h_{B2} : バスケットプレート B 内幅 $\boxed{}$

n_B : 胴（底板）に接触するバスケットプレート B ℓ_1 部の数 $\boxed{}$

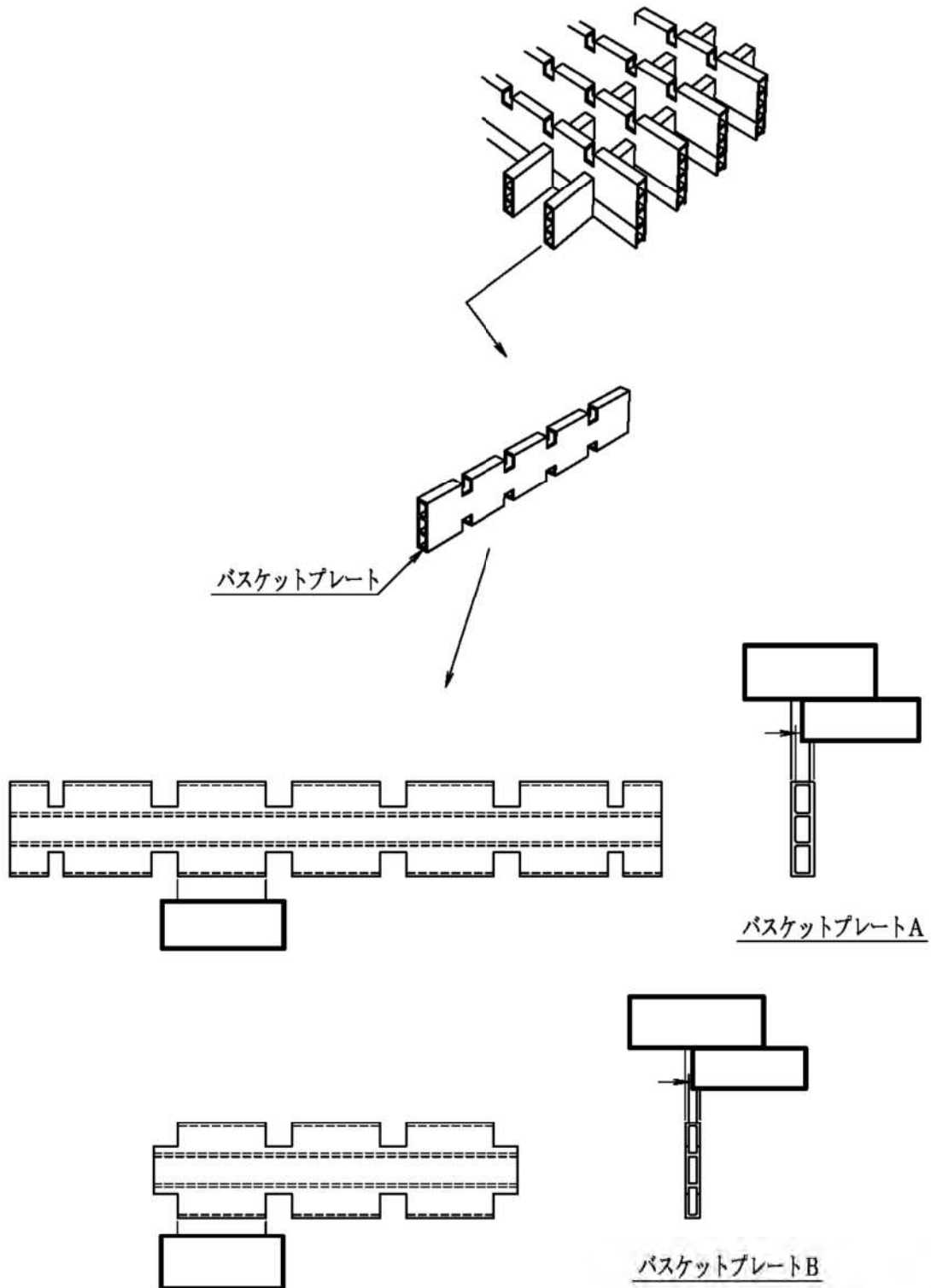
計算条件及び計算結果を第 2-1 表に示す。

第2-1表 バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果（貯蔵時）

項目	記号	数値	単位
バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量	m_1	5900	kg
鉛直方向加速度（貯蔵時）	G_{z1}	1 g	m/s^2
重力加速度	g	9.80665	m/s^2
バスケットプレート底面と胴の接触部面積	A_1	<input type="text"/>	mm^2
バスケットプレートA全厚さ	h_{A1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートA内幅	h_{A2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレート長さ1	l_1	<input type="text"/>	mm
胴（底板）に接触するバスケットプレートA l_1 部の数	n_A	<input type="text"/>	箇所
バスケットプレートB全厚さ	h_{B1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートB内幅	h_{B2}	<input type="text"/>	mm
胴（底板）に接触するバスケットプレートB l_1 部の数	n_B	<input type="text"/>	箇所
バスケットプレート底面に発生する応力	σ	1	MPa



第2-3図 バスケットプレート底面と胴（底板）の接触面積（1/2）
（バスケットプレート底面と胴（底板）の接触範囲）



(単位：mm)

第2-3図 バスケットプレート底面と胴（底板）の接触面積（2/2）
 （バスケットプレートの寸法）

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社

□内は商業機密のため、非公開とします。

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）には、衝突によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(3) 平均せん断応力

鉛直方向加速度（下方向）により、バスケットプレート底面（第 2-1 図①部）にせん断応力（ τ ）は発生しないため、評価を省略する。

(4) 平均支圧応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は (2.1) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-1 表に示す。

(5) 圧縮応力（一次応力）

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は (2.1) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-1 表に示す。

(6) 圧縮応力（一次＋二次応力）

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は (2.1) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-1 表に示す。

2.3 貯蔵架台への衝突時

2.3.1 荷重条件

貯蔵架台への衝突時における荷重は次に示す組合せとする。荷重の方向を第 2-2 図に示す。なお、熱荷重を考慮してもバスケットには熱応力が生じない。

- ・貯蔵架台への衝突時荷重（自重を含む）
- ・熱荷重

2.3.2 応力計算

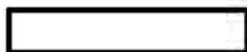
(1) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。鉛直方向加速度（下方向）により発生する応力（ σ ）は、次式で計算される。

$$\sigma = \frac{m_1 \cdot G_{24}}{A_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- m_1 : バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量 (5900 kg)
- G_{24} : 鉛直方向加速度（貯蔵架台への衝突時）(5 g) (m/s^2)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)
- A_1 : バスケットプレート底面と胴（底板）の接触部面積



計算条件及び計算結果を第 2-2 表に示す。

第 2-2 表 バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵架台への衝突時)

項目	記号	数値	単位
バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量	m_1	5900	kg
鉛直方向加速度 (貯蔵架台への衝突時)	G_{24}	5 g	m/s^2
重力加速度	g	9.80665	m/s^2
バスケットプレート底面と胴の 接触部面積	A_1		mm^2
バスケットプレート底面に 発生する応力	σ	2	MPa

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）には、衝突によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

(3) 一次＋二次応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する一次＋二次応力は (2.2) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-2 表に示す。

(4) 平均せん断応力

鉛直方向加速度（下方向）により、バスケットプレート底面（第 2-1 図①部）にせん断応力（ τ ）は発生しないため、評価を省略する。

(5) 平均支圧応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は (2.2) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-2 表に示す。

(6) 圧縮応力（一次応力）

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は (2.2) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-2 表に示す。

(7) 圧縮応力（一次＋二次応力）

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は (2.2) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-2 表に示す。

2.4 貯蔵時 (S_d*相当地震力が作用する場合)

2.4.1 荷重条件

貯蔵時においてS_d*相当地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。荷重の方向を第 2-2 図に示す。なお、熱荷重を考慮してもバスケットには熱応力が生じない。

- ・地震力
- ・自重
- ・熱荷重

2.4.2 応力計算

(1) 一次一般膜応力

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート底面 (第 2-1 図①部) である。

鉛直方向加速度により発生する応力 (σ) は、次式で計算される。

$$\sigma = \frac{m_1 \cdot G_{2.5}}{A_1} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

m_1 : バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量
(5900 kg)

$G_{2.5}$: 鉛直方向加速度 (貯蔵時 (地震力が作用する場合)) (m/s^2)

$$G_{2.5} = (1 + C_v) \cdot g \\ = 2.0 g$$

C_v : 鉛直方向設計震度 (1.0)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

A_1 : バスケットプレート底面と胴 (底板) の接触部面積



計算条件及び計算結果を第 2-3 表に示す。

第2-3表 バスケットプレート底面に発生する応力の計算条件及び計算結果
(貯蔵時 (S_d*相当地震力が作用する場合))

項目	記号	数値	単位
バスケットプレート、伝熱サポート及び中性子吸収材の合計質量	m ₁	5900	kg
鉛直方向加速度 (貯蔵時 (地震力が作用する場合))	G ₂₅	2.0 g	m/s ²
鉛直方向設計震度	C _v	1.0	—
重力加速度	g	9.80665	m/s ²
バスケットプレート底面と胴の接触部面積	A ₁		mm ²
バスケットプレート底面に発生する応力	σ	1	MPa

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートAスリット部 (第2-1図②部) である。
水平方向加速度により発生する応力 (σ) は、次式で計算される。

$$\sigma = \frac{m_2 \cdot G_1}{A_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

m₂ : 第2-4図に示す領域I及びIIに含まれるバスケットプレート、伝熱サポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体^(注1)の合計質量 (3850 kg)

(注1) 使用済燃料集合体の質量には、収納する使用済燃料集合体のうち最も重いものを使用。

G₁ : 水平方向加速度 (m/s²)

$$G_1 = C_H \cdot g$$

C_H : 水平方向設計震度 (1.5)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

A₂ : バスケットプレートAスリット部の断面積

$$A_2 = (h_{A1} \times b_{A1} - h_{A2} \times (b_{A2} + b_{A3} \times 2)) \times N$$

$$= \text{[]}$$

h_{A1} : バスケットプレートA全厚さ []

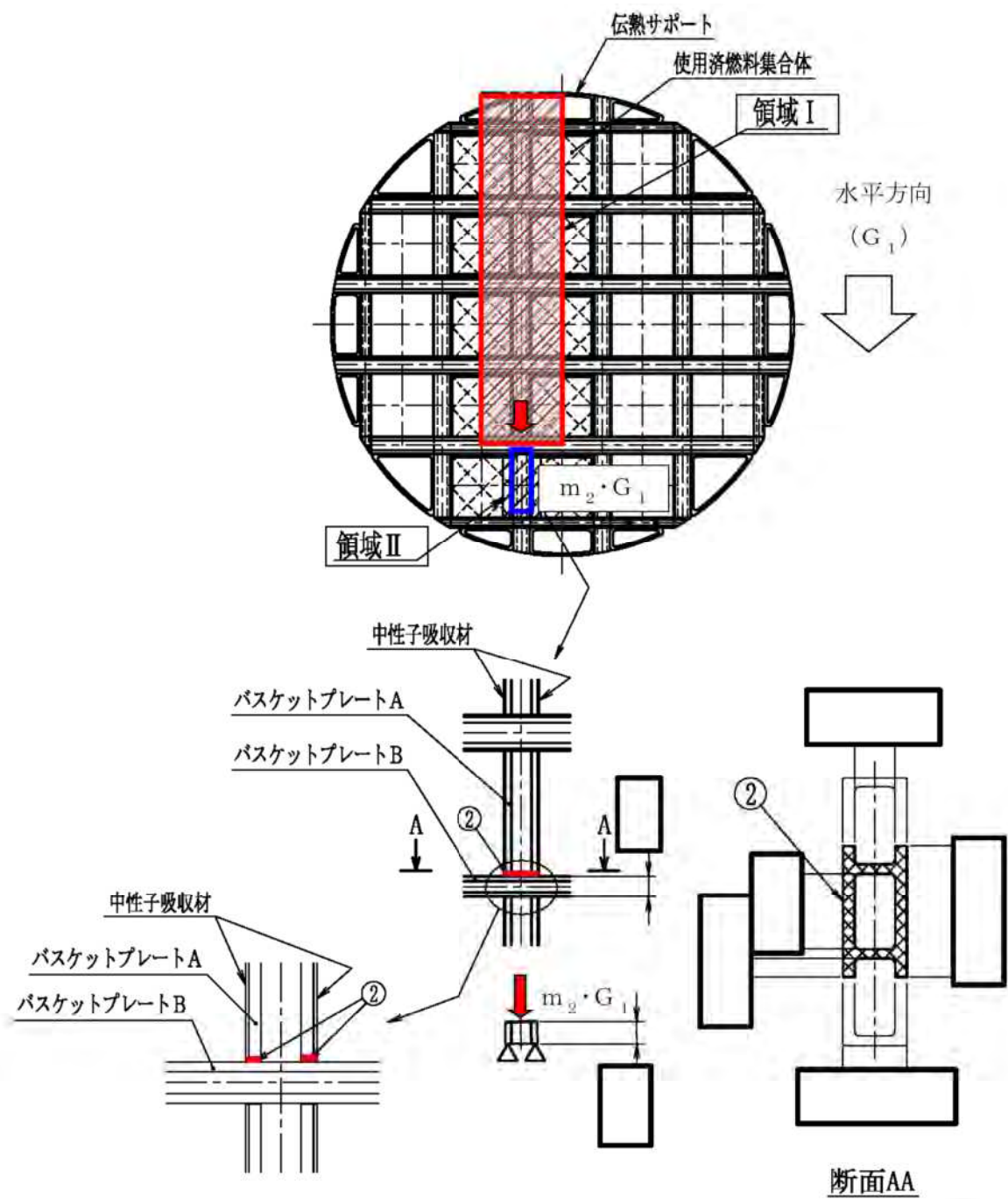
h_{A2} : バスケットプレートA内幅 []

b_{A1} : バスケットプレートA幅1
 b_{A2} : バスケットプレートA幅2
 b_{A3} : バスケットプレートA幅3
 N : バスケット段数

計算条件及び計算結果を第2-4表に示す。

第2-4表 バスケットプレートAスリット部に発生する応力の計算条件及び計算結果

項目	記号	数値	単位
第2-4図に示す領域Ⅰ及びⅡに含まれるバスケットプレート、伝熱サポート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の合計質量	m_2	3850	kg
水平方向加速度	G_1	1.5 g	m/s^2
水平方向設計震度	C_H	1.5	—
重力加速度	g	9.80665	m/s^2
バスケットプレートAスリット部の断面積	A_2	<input type="text"/>	mm^2
バスケットプレートA全厚さ	h_{A1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートA内幅	h_{A2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートA幅1	b_{A1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートA幅2	b_{A2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートA幅3	b_{A3}	<input type="text"/>	mm
バスケット段数	N	<input type="text"/>	段
バスケットプレートAスリット部に発生する応力	σ	2	MPa



(単位：mm)

第2-4図 バスケットの解析モデル（地震時（水平方向荷重））（その1）

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最下段のバスケットプレート底面（第2-1図①部）には、衝突によって一次曲げ応力は発生しないため、一次一般膜+一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートBスリット部（第2-1図③部）である。水平方向加速度により発生する曲げ応力（ σ_b ）は、バスケットプレートを両端固定梁としてモデル化し、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{w \cdot \ell_2^2}{12} \cdot G_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

- M : バスケットプレートBスリット部の曲げモーメント (N・mm)
- Z : バスケットプレートBスリット部の断面係数

$$Z = \frac{1}{6} \cdot \frac{h_{B1}^3 \cdot b_{B1} - h_{B2}^3 \cdot (b_{B2} + b_{B3} \cdot 2)}{h_{B1}}$$

$$= \boxed{}$$

- h_{B1} : バスケットプレートB全厚さ $\boxed{}$
- h_{B2} : バスケットプレートB内幅 $\boxed{}$
- b_{B1} : バスケットプレートB幅1 $\boxed{}$
- b_{B2} : バスケットプレートB幅2 $\boxed{}$
- b_{B3} : バスケットプレートB幅3 $\boxed{}$

w : 第2-5図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量

$$w = \frac{w_1}{\ell_2 \cdot N}$$

$$= 0.20 \text{ kg/mm}$$

- w_1 : 第2-5図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体^(注1)の質量 (760 kg)
- (注1) 使用済燃料集合体の質量には、収納する使用済燃料集合体のうち最も重いものを使用。

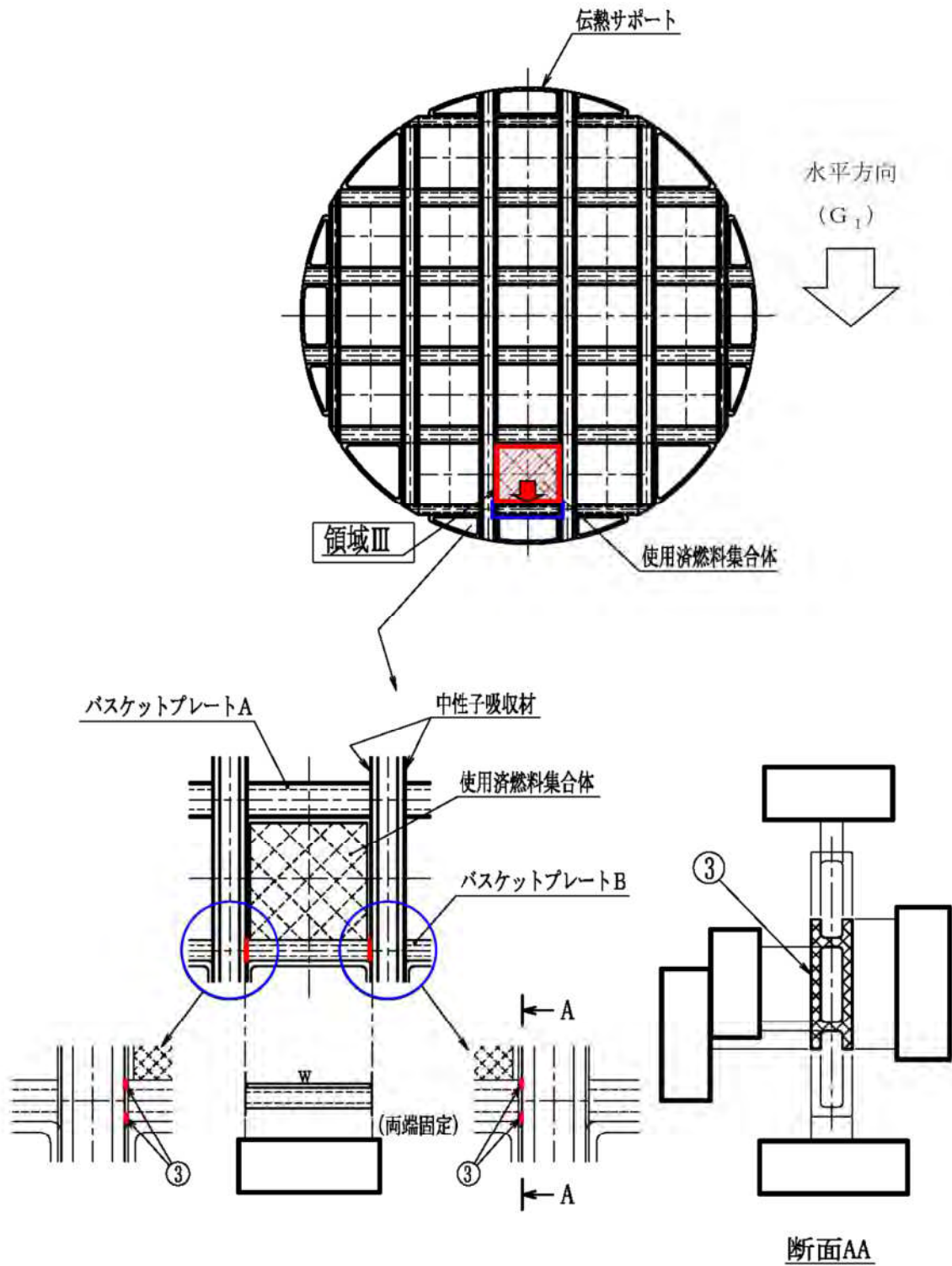
- l_2 : バスケットプレート長さ2
 N : バスケット段数
 G_1 : 水平方向加速度 (1.5 g) (m/s^2)
 g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

計算条件及び計算結果を第2-5表に示す。

第2-5表 バスケットプレートBスリット部に発生する曲げ応力の計算条件及び計算結果

項目	記号	数値	単位
バスケットプレートBスリット部の曲げモーメント	M	<input type="text"/> (注1)	N・mm
バスケットプレートBスリット部の断面係数	Z	<input type="text"/>	mm ³
バスケットプレートB全厚さ	h_{B1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートB内幅	h_{B2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートB幅1	b_{B1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートB幅2	b_{B2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレートB幅3	b_{B3}	<input type="text"/>	mm
第2-5図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	w	0.20	kg/mm
第2-5図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の質量	w_1	760	kg
バスケットプレート長さ2	l_2	<input type="text"/>	mm
バスケット段数	N	<input type="text"/>	段
水平方向加速度	G_1	1.5 g	m/s^2
重力加速度	g	9.80665	m/s^2
バスケットプレートBスリット部に発生する曲げ応力	σ_b	1	MPa

(注1) 表中では有効数字4桁表示としているが、計算は桁数処理前の数値を使用。



(単位：mm)

第 2-5 図 バスケットの解析モデル（地震時（水平方向荷重））（その 2）

(3) 一次＋二次応力

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。

最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する一次＋二次応力は、(2.3) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-3 表に示す。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートBスリット部（第 2-1 図③部）である。

バスケットプレートBスリット部に発生する一次＋二次応力は、(2.5) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-5 表に示す。

(4) 平均せん断応力

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

鉛直方向荷重により、バスケットプレートにせん断応力は発生しないため、評価を省略する。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートBスリット部（第 2-1 図③部）である。

水平方向加速度により発生するせん断応力（ τ ）は、次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_S}{A_3} \\ F_S &= \frac{w \cdot \ell_2}{2} \cdot G_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

ここで、計算式中の記号は以下のとおりである。

F_S : バスケットプレートBスリット部のせん断力 (N)

A_3 : バスケットプレートBスリット部の断面積

$$A_3 = (h_{B1} \times b_{B1} - h_{B2} \times (b_{B2} + b_{B3} \times 2))$$

=

h_{B1} : バスケットプレートB全厚さ

h_{B2} : バスケットプレートB内幅

b_{B1} : バスケットプレートB幅1

b_{B2} : バスケットプレートB幅2

b_{B3} : バスケットプレートB幅3

- w : 第 2-5 図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量 (0.20 kg/mm)
- ℓ_2 : バスケットプレート長さ2
- G_1 : 水平方向加速度 (1.5 g) (m/s^2)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

計算条件及び計算結果を第 2-6 表に示す。

第 2-6 表 バスケットプレート B スリット部に発生するせん断応力の計算条件及び計算結果

項目	記号	数値	単位
バスケットプレート B スリット部のせん断力	F_s	<input type="text"/> (注1)	N
バスケットプレート B スリット部の断面積	A_3	<input type="text"/>	mm^2
バスケットプレート B 全厚さ	h_{B1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレート B 内幅	h_{B2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレート B 幅 1	b_{B1}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレート B 幅 2	b_{B2}	<input type="text"/>	mm
バスケットプレート B 幅 3	b_{B3}	<input type="text"/>	mm
第 2-5 図に示す領域Ⅲに含まれるバスケットプレート、中性子吸収材及び使用済燃料集合体の単位長さ当たりの質量	w	0.20	kg/mm
バスケットプレート長さ 2	ℓ_2	<input type="text"/>	mm
水平方向加速度	G_1	1.5 g	m/s^2
重力加速度	g	9.80665	m/s^2
バスケットプレート B スリット部に発生するせん断応力	τ	1	MPa

(注 1) 表中では有効数字 4 桁表示としているが、計算は桁数処理前の数値を使用。

(5) 平均支圧応力

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面 (第 2-1 図①部) である。最下段のバスケットプレート底面 (第 2-1 図①部) に発生する平均支圧応力 (σ_p) は、(2.3) 式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-3 表に示す。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）である。
バスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）に発生する平均支圧応力（ σ_p ）は、（2.4）式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-4 表に示す。

(6) 圧縮応力（一次応力）

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。
最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は、（2.3）式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-3 表に示す。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）である。
バスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は、（2.4）式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-4 表に示す。

(7) 圧縮応力（一次+二次応力）

a. 鉛直方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのは最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）である。
最下段のバスケットプレート底面（第 2-1 図①部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は、（2.3）式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-3 表に示す。

b. 水平方向加速度により発生する応力

最大応力が発生するのはバスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）である。
バスケットプレートAスリット部（第 2-1 図②部）に発生する圧縮応力（ σ_c ）は、（2.4）式で計算される。計算条件及び計算結果を第 2-4 表に示す。

2.5 貯蔵時（ S_s 相当地震力が作用する場合）

2.5.1 荷重条件

貯蔵時において S_s 相当地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。 S_s 相当地震力と S_d^* 相当地震力を同じとしていること、かつ、熱応力を考慮してもバスケットには熱応力が生じないため、荷重条件は2.4.1項と同じとしている。

- ・地震力
- ・自重

2.5.2 応力計算

応力計算条件及び応力計算結果は、2.4.2項と同じである。

3. 応力の評価

3.1 応力強さの評価

各供用状態における応力強さの計算結果と許容応力を第 3-1 表、第 3-2 表、第 3-3 表及び第 3-4 表に示す。

一次一般膜応力強さ (P_m)、各供用状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さ ($P_m + P_b$) 及び一次＋二次応力強さ ($P_m + P_b + Q$) は、「添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針」の第 2-1 表に記載する設計基準を満足する。

3.2 特別な応力の評価

3.2.1 平均せん断応力

各供用状態における応力計算結果と許容応力を第 3-1 表、第 3-2 表、第 3-3 表及び第 3-4 表に示す。各供用状態の平均せん断応力 (τ) は、「添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針」の第 2-1 表に記載する設計基準を満足する。

3.2.2 平均支圧応力

各供用状態における応力計算結果と許容応力を第 3-1 表、第 3-2 表、第 3-3 表及び第 3-4 表に示す。各供用状態の平均支圧応力 (σ_p) は、「添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針」の第 2-1 表に記載する設計基準を満足する。

3.2.3 圧縮応力

各供用状態における応力計算結果と許容応力を第 3-1 表、第 3-2 表、第 3-3 表及び第 3-4 表に示す。各供用状態の圧縮応力 (σ_c) は、「添付書類 8-2-1 バスケットの応力解析の方針」の第 2-1 表に記載する設計基準を満足する。

第3-1表 バスケットの応力計算結果と許容応力（供用状態A）

（単位：MPa）

部位	応力分類	貯蔵時		許容応力値
		計算値	評価位置	
バスケット プレート	P_m	1	①	19
	$P_m + P_b$	1	①	19
	τ	—	—	—
	σ_p	1	①	19
	σ_c （一次応力）	1	①	37
	σ_c （一次＋三次応力）	1	①	55

第3-2表 バスケットの応力計算結果と許容応力（供用状態B）

（単位：MPa）

部位	応力分類	貯蔵架台 への衝突時		許容応力値
		計算値	評価位置	
バスケット プレート	P_m	2	①	36
	$P_m + P_b$	2	①	36
	$P_m + P_b + Q$	2	①	54
	τ	—	—	—
	σ_p	2	①	56
	σ_c （一次応力）	2	①	37
	σ_c （一次＋二次応力）	2	①	55

第3-3表 バスケットの応力計算結果と許容応力（供用状態C）

（単位：MPa）

部位	荷重	応力分類	計算値	評価位置	許容応力値
バスケット プレート	鉛直方向 荷重	P_m	1	①	43
		$P_m + P_b$	1	①	43
		$P_m + P_b + Q$	1	①	54
		τ	—	—	—
		σ_p	1	①	84
		σ_c （一次応力）	1	①	55
		σ_c （一次＋二次応力）	1	①	55
	水平方向 荷重	P_m	2	②	43
		$P_m + P_b$	1	③	56
		$P_m + P_b + Q$	1	③	54
		τ	1	③	32
		σ_p	2	②	84
		σ_c （一次応力）	2	②	55
		σ_c （一次＋二次応力）	2	②	55

第3-4表 バスケットの応力計算結果と許容応力（供用状態D）

（単位：MPa）

部位	荷重	応力分類	計算値	評価位置	許容応力値
バスケット プレート	鉛直方向 荷重	P_m	1	①	81
		$P_m + P_b$	1	①	81
		$P_m + P_b + Q$	1	①	108
		τ	—	—	—
		σ_p	1	①	112
		σ_c （一次応力）	1	①	66
		σ_c （一次＋二次応力）	1	①	55
	水平方向 荷重	P_m	2	②	81
		$P_m + P_b$	1	③	105
		$P_m + P_b + Q$	1	③	108
		τ	1	③	43
		σ_p	2	②	112
		σ_c （一次応力）	2	②	66
		σ_c （一次＋二次応力）	2	②	55

添付書類 8-2-3 バスケットプレート用材料
アルミニウム合金 (MB-A3004-H112) に関する説明書

目次

1. 概要	1
2. 適用範囲	2
3. 材料規定	3
3.1 材料名称	3
3.2 化学成分	3
3.3 設計応力強さ	3
3.4 許容引張応力	3
3.5 設計降伏点	3
3.6 設計引張強さ	3
3.7 縦弾性係数	3
3.8 熱膨張係数	3
4. 製造管理規定	7

図表目次

第 3-1 表	材料の規定名称	4
第 3-2 表	化学成分規定	4
第 3-3 表	材料の各温度における設計応力強さ S_m	5
第 3-4 表	材料の各温度における許容引張応力 S	5
第 3-5 表	材料の各温度における設計降伏点 S_y	5
第 3-6 表	材料の各温度における設計引張強さ S_u	5
第 3-7 表	材料の各温度における縦弾性係数	6
第 3-8 表	材料の各温度における熱膨張係数	6
第 4-1 表	機械的性質	8
第 4-2 表	管理程度表	8
第 4-1 図	製造フロー	9

1. 概要

本書は、MSF-21P 型のバスケットプレートに適用するアルミニウム合金（MB-A3004-H112）の材料規定及び製造管理規定について説明するものである。

2. 適用範囲

本材料を MSF-21P 型のバスケットプレートに適用するにあたり、本材料及びこれを使用するバスケットは以下の事項に適合すること。

- (1) 設計貯蔵期間（供用期間）は 60 年以下であること。
- (2) バスケットが収納されるキャスク本体内部には、設計貯蔵期間中ヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されていること。
- (3) バスケットは耐圧構造でないこと。
- (4) バスケットは溶接部がない構造とすること。
- (5) 本材料はボルト材として使用しないこと。
- (6) 供用状態によらずバスケットプレートの発生応力は、弾性範囲内であること。
- (7) 供用状態によらずバスケットは長期間にわたる熱応力を生じない構造とすること。

3. 材料規定

本規定は、設計貯蔵期間における熱劣化を考慮した設計評価に適用する材料規定である。なお、本規定を適用する材料は、4章に示す製造管理規定を満足しなければならない。

3.1 材料名称

材料の規定名称は第3-1表に示すものであること。

3.2 化学成分

化学成分は第3-2表に示す百分率の値の範囲内にあること。

3.3 設計応力強さ

設計応力強さは第3-3表の規定によること。

3.4 許容引張応力

許容引張応力は第3-4表の規定によること。

3.5 設計降伏点

設計降伏点は第3-5表の規定によること。

3.6 設計引張強さ

設計引張強さは第3-6表の規定によること。

3.7 縦弾性係数

縦弾性係数は第3-7表の規定によること。

3.8 熱膨張係数

熱膨張係数は第3-8表の規定によること。

第 3-1 表 材料の規定名称

材料の名称	記号	質別
バスケットプレート用材料 アルミニウム合金 (MB-A3004-H112)	MB-A3004	H112

第 3-2 表 化学成分規定

記号	化学成分 (mass%)											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ga, V, Ni, B, Zr など	Ti	その他		Al
										個々	合計	
MB-A3004	0.30 以下	0.7 以下	0.25 以下	1.1 以上 1.5 以下	1.0 以上 1.3 以下	—	0.25 以下	—	—	0.05 以下	0.15 以下	残部

第3-3表 材料の各温度における設計応力強さ S_m (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	37	37	37	37	37	37	36	31	25	21	17

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-4表 材料の各温度における許容引張応力 S (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)									
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	250
MB-A3004	37	37	37	37	29	21	15	11	8	8

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-5表 材料の各温度における設計降伏点 S_y (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	56	56	56	56	56	56	56	52	46	38	30

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第3-6表 材料の各温度における設計引張強さ S_u (注1)(注2)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)										
	-40 ~40	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	153	153	153	151	140	126	110	93	77	63	52

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 時効による強度低下を考慮した値である。

第 3-7 表 材料の各温度における縦弾性係数^(注1)

単位：MPa

記号	温 度 (°C)											
	20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	73900	73300	72800	72100	71400	70600	69800	68900	67900	66900	65800	64600

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

第 3-8 表 材料の各温度における熱膨張係数^(注1)

単位： $\times 10^{-6}$ mm/mm \cdot °C

記号	区分 (注2)	温 度 (°C)											
		20	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
MB-A3004	A	22.75	23.52	24.02	24.42	24.76	25.05	25.35	25.68	26.06	26.54	27.14	27.91
	B	22.61	23.14	23.48	23.76	23.99	24.17	24.33	24.48	24.63	24.79	24.99	25.24

(注1) 温度の中間における値は、比例法によって計算する。

(注2) 区分Aは瞬時熱膨張係数、区分Bは常温から当該温度までの平均熱膨張係数を表す。

4. 製造管理規定

本規定は、製造管理に係る規定である。

- (1) 化学成分は、第 3-2 表に示す百分率の値の範囲内にあること。この場合において、化学成分は溶湯成分分析によること。化学成分の分析試験は、JIS H 4100「アルミニウム及びアルミニウム合金の押出型材」(以下「JIS H 4100」という。)によること。
- (2) 材料の製造は、第 4-1 図に示す製造フローに従い、熱間押出成形加工されたものであること。
- (3) 材料は、熱間押出成形加工後、熱処理は行わず、空冷されたものであること。熱間加工によって得られるか又はごくわずかな冷間加工を加えただけの状態であること。質別 H112 は、JIS H 0001「アルミニウム、マグネシウム及びそれらの合金－質別記号」によること。
- (4) 機械的性質は、第 4-1 表に示す値に適合すること。
- (5) 製品の寸法の許容差は、以下及び JIS H 4100 によること。これを逸脱する寸法を適用する場合、機械的性質が第 4-1 表を満足することを確認すること。

・肉厚 : 16mm 以下

・押出比^(注1) : 10 以上

(注1) ピレットの押出方向に垂直な断面積と押出材の押出方向に垂直な断面積の比

- (6) 本材料は、耐食性向上等を目的として表面処理を行う場合がある。表面処理を行う場合、機械的性質が第 4-1 表を満足することを確認すること。
- (7) 本材料は、第 4-1 図の製造フローの各段階において、第 4-2 表に示す品質管理を行う。
- (8) 上記規定以外の規定については、JIS H 4100 又は EN 755-1「Aluminium and aluminium alloys- Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 1: Technical conditions for inspection and delivery」によること。

第 4-1 表 機械的性質 (注 1)

記号	引張試験 (試験温度：常温)			シャルピー衝撃試験 (注 2) (試験温度：-40℃)
	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	吸収エネルギー (J)
MB-A3004	185 以上	85 以上	15 以上	41 以上

(注 1) 時効による強度低下を考慮しない供用開始前の製造管理値である。

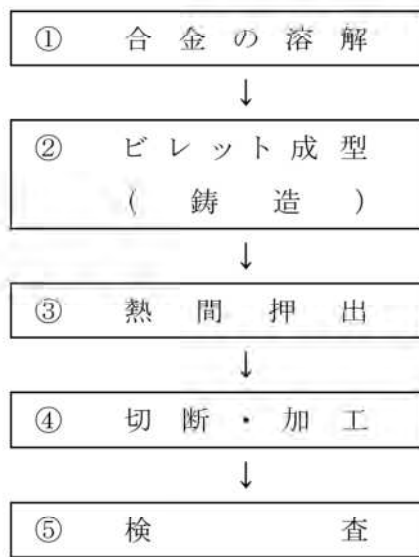
(注 2) 吸収エネルギーの規定は JIS Z 2242 の V ノッチ試験で得られる押出方向に平行な L 方向及び垂直な T 方向各 3 試験片の個々の値である。

第 4-2 表 管理程度表 (注 1)

製造工程 (注 2)	管理項目		材料保証 (規定)	製造管理 (参考)
①合金の溶解	材料特性 (初期材)	化学成分(溶湯)	○	—
⑤検査		引張強度特性	—	○
		シャルピー 衝撃特性	—	○
		組織観察	—	○
③熱間押出	製造条件	押出比	○	—
		押出条件	—	○
		押出冷却条件	—	○
		整直条件	—	○
		質別	○	—

(注 1) 設計貯蔵期間における設計強度特性保証に係る材料管理程度一覧である。

(注 2) 製造工程は第 4-1 図の製造フローに対応する。



第 4-1 図 製造フロー