

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-26 改0
提出年月日	2020年5月14日

## チャンネルボックスの応力計算書

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

1. 概要.....	1
2. 評価方針.....	1
3. 耐震安全性評価条件 .....	1
3.1 評価に用いた荷重 .....	1
3.2 地震動以外の考慮すべき荷重.....	1
3.3 応力評価部位 .....	1
4. 評価結果 .....	2
5. 添付資料.....	2

## 1. 概要

本書は、柏崎刈羽原子力発電所第7号機の地震時燃料健全性評価のうち、チャンネルボックスの応力評価結果を示すものである。

## 2. 評価方針

燃料チャンネルボックス(以下FCBという)は工事計画認可対象設備以外であるが、耐震Sクラス設備であることから、以下の方針に従い耐震安全性評価を実施する。

- (1) FCBの耐震安全性評価は、基準地震動  $S_s$  に基づく燃料集合体、制御棒およびチャンネルボックスの水平2方向地震動入力による耐震条件により実施する(添付資料-1参照)。
- (2) FCBは炉内構造物であり、応力評価に関する具体的な規定はないが、応力評価はJSME設計・建設規格及びJEAG4601耐震設計技術指針の炉心支持構造物の応力評価手法に準じることとする。
- (3) 応力評価にあたっては、モデルは従来どおり保守的な仮定に基づくものを使用する。  
すなわち、水平方向と鉛直方向の地震時応答結果に基づく応力を組み合わせて応力評価を実施する。水平方向の地震荷重が作用する方向については、チャンネルボックス対辺方向に比べ、対角方向の方が、評価部位と中立軸との距離が長くなり、曲げモーメントにより発生する応力が大きくなるため、対角方向に地震荷重が作用するものとして応力評価を実施する。
- (4) 本書では地震動による一次一般膜+一次曲げ応力評価のみを提示するが、参考として一次一般膜応力評価及び一次+二次応力評価も添付資料として示す。

## 3. 耐震安全性評価条件

### 3.1 評価に用いた荷重

評価に用いた荷重を以下に示す。

- ① 対角方向荷重：基準地震動  $S_s$  (水平2方向地震動入力)

### 3.2 地震動以外の考慮すべき荷重

一次応力評価にあたって、以下に示す荷重を組み合わせ評価する。

- ① FCB自重
- ② FCB内外差圧

### 3.3 応力評価部位

FCB(燃料集合体)は、上部を上部格子板で、下部を炉心支持板及び燃料サポートで支持されており、水平方向地震動により、上下部を支持点としたFCB長手方向中央部分が水平方向に振られる1次振動モードによる応答が主である。従って、FCBに作用する地震荷重は、長手方向中央部分に生じる地震動による最大モーメントが主であり、また上下支持部に最大せん断力が生じる。

FCBの地震動による一次応力評価としては、地震時最大モーメントが生じるFCB長手中央部および、地震時最大せん断力が生じ、かつ内外差圧が最大であるFCB下端部分の評価を行う。また、FCB断面内での評価ポイントとしては、コーナ部の応力評価を実施する。

#### 4. 評価結果

一次応力評価結果を表 4-1 に示す。発生応力は許容応力以下であり，耐震安全性は確保されていることが確認された。詳細な計算結果を添付資料－1 に示す。

表 4-1 チャンネルボックス耐震評価  
(地震動による一次一般膜＋一次曲げ応力評価)

(単位：MPa)

耐震条件	応力評価点			
	長手下端部		長手中央部	
	コーナ部		コーナ部	
	内面	外面	内面	外面
対角方向 (Ss)	8	8	153	158
許容応力	□			

#### 5. 添付資料

添付資料－1：チャンネルボックス対角方向に地震荷重を作用させた評価  
(基準地震動 Ss (水平 2 方向地震動入力))

燃料チャンネルボックスの応力計算書

<チャンネルボックス対角方向に地震荷重を作用させた評価>  
基準地震動S<sub>s</sub>（水平2方向地震動入力）

## 目 次

1. 一般事項	1
1.1 構造の説明	1
1.2 記号の説明	1
1.3 適用基準	3
1.4 形状・寸法・材料	3
1.5 解析範囲	3
1.6 計算条件	6
1.6.1 設計条件	6
1.6.2 運転条件	6
1.6.3 荷重の組合せと応力評価	7
1.6.4 材料	7
1.6.5 物性値	7
1.6.6 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	7
1.6.7 許容応力	7
1.6.8 応力の記号と方向	8
2. 応力計算	12
2.1 応力解析の手順	12
2.1.1 解析手順の概要	12
2.1.2 荷重の選定	12
2.1.3 熱膨張差計算	12
2.1.4 応力計算と応力の分類	12
2.1.5 応力の評価	13
2.1.6 繰返し荷重の評価	13

2.2	応力計算	16
2.2.1	差圧による応力	16
2.2.2	外荷重による応力	17
2.2.3	熱膨張差による応力	17
2.3	応力強さの評価	21
2.3.1	一次一般膜応力強さの評価	21
2.3.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	21
2.3.3	一次＋二次応力強さの評価	21
2.4	繰返し荷重の評価	30
2.4.1	設計・建設規格 CSS-3130 についての検討	30
2.4.2	疲労解析	30
2.5	特別な応力の検討	30
3.	結論	31
3.1	応力評価のまとめ	31
4.	引用文献	31

## 図 表 目 次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5
図 2-1	応力解析の手順	14
図 2-2	差圧による応力計算モデル	18
表 1-1	チャンネルボックスの構造計画	4
表 1-2	外荷重条件	8
表 1-3	チャンネルボックスの内外差圧条件	9
表 1-4	荷重の組合せ	9
表 1-5	ジルカロイ材の物性値及び機械的性質	10
表 1-6	荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）	10
表 1-7	許容応力強さ	11
表 2-1	応力の分類	15
表 2-2	断面性状	18
表 2-3	機械荷重による応力計算結果	19
表 2-4	一次一般膜応力強さの評価方法	22
表 2-5	一次一般膜応力強さの評価	23
表 2-6	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価方法	25
表 2-7	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	26
表 2-8	一次＋二次応力強さの評価方法	28
表 2-9	一次＋二次応力強さの評価	29
表 3-1	計算結果の概要	32

## 1. 一般事項

本計算書は、柏崎刈羽原子力発電所第7号機燃料（9×9燃料）に使用する燃料チャンネルボックスの地震時を含む各運転条件での応力評価について示すものである。

地震時においてチャンネルボックスに要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保及び冷却材流路の確保（崩壊熱除去可能な形状の維持）である。

制御棒の挿入機能の確保については、原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）に従って、地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い、基準地震動S<sub>s</sub>に対し制御棒の挿入性が確保されることを試験により確認する。

崩壊熱除去可能な形状の維持については、本計算書で、チャンネルボックス内外の差圧及び地震によるせん断力が最大となるチャンネルボックス下端と、地震による曲げモーメントが最大となるチャンネルボックス中央部について、チャンネルボックス断面のうちコーナ部の強度を評価し確認する。なお、地震荷重はチャンネルボックスの対角方向に作用するものとする。

### 1.1 構造の説明

チャンネルボックスの構造計画を表1-1に示す。

### 1.2 記号の説明

本計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本文中に特記ある場合は、この限りではない。

記号	記号の説明	単位
A	チャンネルボックスの断面積	mm <sup>2</sup>
d	チャンネルボックス断面の中立軸からの距離	mm
F	チャンネルボックスにかかる膜力	N
H	チャンネルボックスにかかるせん断力	N
I	チャンネルボックスの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
L	チャンネルボックス平坦部÷2	mm
M	チャンネルボックスに加えられる曲げモーメント	N・mm
N	チャンネルボックスにかかる軸力	N
P	差圧	MPa
P <sub>b</sub>	一次曲げ応力	MPa
P <sub>m</sub>	一次一般膜応力	MPa
R <sub>i</sub>	チャンネルボックスコーナ部内半径	mm
R <sub>m</sub>	チャンネルボックスコーナ部平均半径	mm
Q	二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$S_{12}$	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
$S_{23}$	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
$S_{31}$	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
$S_m$	設計応力強さ	MPa
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	—
$S_u$	設計引張強さ	MPa
$S_y$	設計降伏点	MPa
$T$	チャンネルボックス板厚	mm
$W$	チャンネルボックス内幅	mm
$X$	距離 (図2-2参照)	mm
$Z$	中立軸からの距離 (図2-2参照)	mm
$\pi$	円周率	—
$\eta$	溶接部の継手効率	—
$\sigma_1$	主応力	MPa
$\sigma_2$	主応力	MPa
$\sigma_3$	主応力	MPa
$\sigma_\ell$	軸方向応力	MPa
$\sigma_r$	半径方向応力	MPa
$\sigma_t$	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
$\tau_{rt}$	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa
$\theta$	角度 (図2-2参照)	°
$\nu$	ポアソン比	—

### 1.3 適用基準

本計算書は、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007）（日本機械学会 2005 年 9 月/2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月）の炉心支持構造物の規定を準用して計算を行う。

注:本計算書において,設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a.(a)」として示す。

### 1.4 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所<sup>1</sup>の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

### 1.5 解析範囲

応力計算は、図 1-1 に示す応力評価点について行う。

表 1-1 チャンネルボックスの構造計画

主要区分	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
チャンネルボックス	<p>炉心は十字型制御棒とそれを囲む4体の燃料集合体を1ユニットとして構成される。</p> <p>燃料集合体の下部は下部タイププレートの着座面が燃料支持金具に勘合して支持され、上部はユニットを構成する燃料集合体とともに上部格子板内で水平方向に支持される。</p> <p>チャンネルボックスは燃料集合体の外側にはめられ、燃料集合体の上部タイププレートにチャンネルファスナのキャップスクリューにて固定される。</p> <p>4体の燃料集合体の外側にはめたチャンネルボックスの外面が制御棒の通路を構成する。</p>	<p>チャンネルボックスは主としてジルカロイ-4製の長尺角筒製品である。角筒最上部の対角線に相對峙するコーナー部2箇所には、クリップが設けられており、このうち、一方のクリップには燃料集合体の上部タイププレート孔あきポスト、チャンネルファスナのキャップスクリューとを連結するための穴が設けられている。また、上端から約50mm下方でこの穴あきクリップを挟持する二側面には、それぞれチャンネルスペーサがリベットで固定された状態で設けられている。</p>	

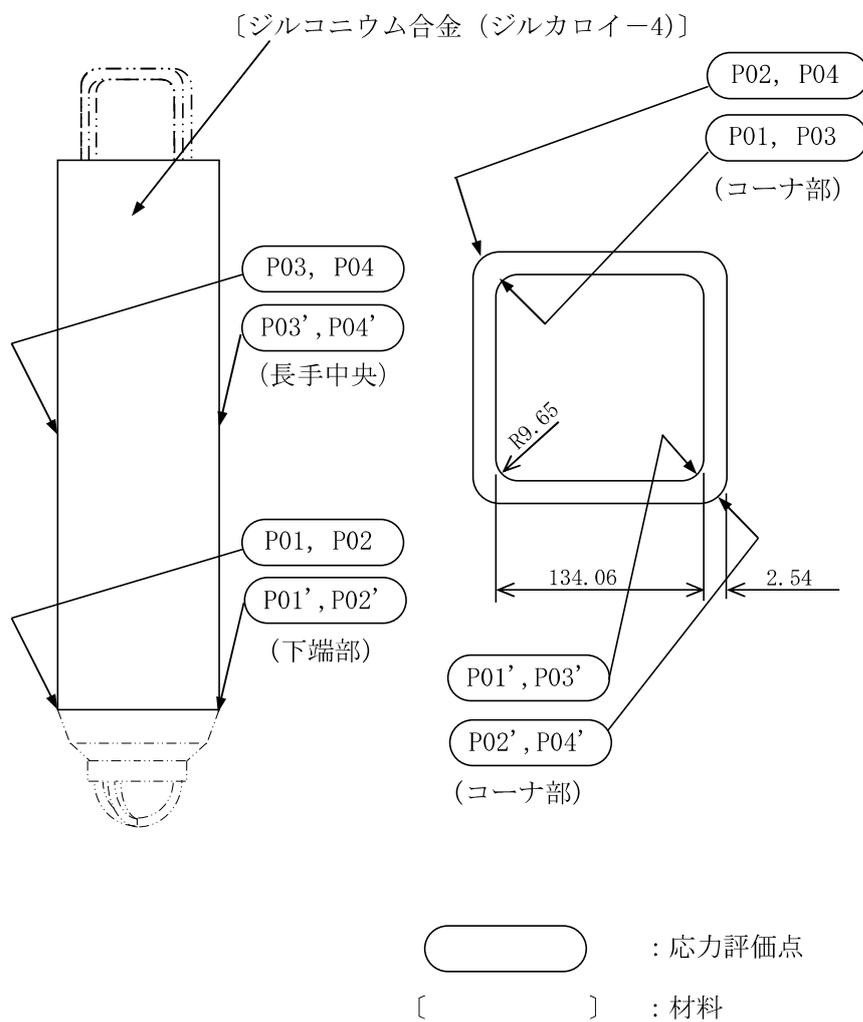


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

## 1.6 計算条件

### 1.6.1 設計条件

最高使用圧力 :  MPa  
設計温度 :  °C  
荷重条件 : 表 1-2 に示す。

### 1.6.2 運転条件

運転条件及び記号は次のとおりである。

#### 運転状態Ⅰ及びⅡ

- |                               |            |
|-------------------------------|------------|
| (1) ボルト締付け                    | [C01]      |
| (2) 耐圧試験 (最高使用圧力以下)           | [C02]      |
| (3) 起動 (昇温)                   | [C03]      |
| (4) 起動 (タービン起動)               | [C04]      |
| (5) 夜間及び週末低出力運転 (出力50%)       | [C05, C06] |
| (6) 制御棒パターン変更                 | [C07]      |
| (7) 給水加熱機能喪失 (発電機トリップ)        | [C08]      |
| (8) 給水加熱機能喪失 (給水加熱器部分バイパス)    | [C09]      |
| (9) スクラム (タービントリップ, その他のスクラム) | [C10, C11] |
| (10) 定格出力運転                   | [C12]      |
| (11) 停止 (タービン停止)              | [C13]      |
| (12) 停止 (高温待機)                | [C14]      |
| (13) 停止 (冷却)                  | [C15]      |
| (14) 停止 (ヘッドスプレイを伴う停止)        | [C16, C17] |
| (15) ボルト取外し                   | [C18]      |
| (16) 燃料交換                     | [C19]      |
| (17) スクラム (給水ポンプ停止)           | [C20]      |
| (18) スクラム (逃がし安全弁誤作動)         | [C21]      |

#### 運転状態Ⅲ

- |                 |       |
|-----------------|-------|
| (1) スクラム (過大圧力) | [C22] |
|-----------------|-------|

#### 運転状態Ⅳ

- |             |       |
|-------------|-------|
| (1) 冷却材喪失事故 | [C23] |
|-------------|-------|

各運転条件におけるチャンネルボックスの外荷重条件を表1-2に、内外差圧条件を表1-3に示す。

各運転条件における、チャンネルボックス周囲の流体の温度変化及びそのサイクル数は、工認（炉心支持構造物の応力解析の方針）に示すとおりである。

### 1.6.3 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表1-4に示す。

表1-4及び本計算書において使用する荷重の種類と記号は以下のとおり。

荷 重	記号
(1) 差圧	[L02]
(2) 死荷重	[L04]
(3) 地震荷重 S s	[L16]

### 1.6.4 材料

チャンネルボックス：ジルコニウム合金（ジルカロイ-4）

### 1.6.5 物性値

各供用状態（許容応力状態）における材料の物性値及び機械的性質を表1-5に示す。

### 1.6.6 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）

荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）は、表1-6 に示すとおりである。

### 1.6.7 許容応力

- (1) 設計条件の評価には、最高使用温度  に対する許容応力を用いる。供用状態A及びB、供用状態C並びにDの一次応力の評価には、各供用状態を定義する運転状態における流体の最高温度（運転状態I及びII：、運転状態III：、運転状態IV：）に対する許容応力を用いる。供用状態A及びBの一次+二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度（：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。
- (2) チャンネルボックスの設計条件及び各供用状態（許容応力状態）の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 CSS-3110 により表1-7 に示すとおりである。

1.6.8 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

$\sigma_{\ell}$  : 軸方向応力

$\sigma_r$  : 半径方向応力

$\sigma_t$  : 周方向応力

$\tau_{t\ell}$  : せん断応力

$\tau_{\ell r}$  : せん断応力

$\tau_{rt}$  : せん断応力

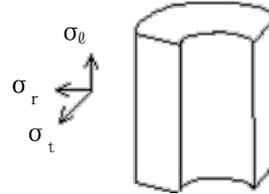


表1-2 外荷重条件

記号	荷重条件	荷重作用点	荷重の種類		
			軸力 N (N)	せん断力 H (N)	曲げモーメントM (N・mm)
L04	死荷重	下端			
		中央部			
L16	地震荷重 $S_s$	下端			
		中央部			

注) 各荷重の算出は以下の様に行った。

軸力：燃料集合体上部の鉛直方向の加速度から算出

せん断力：燃料集合体1体あたりの下端及び中央部のせん断力

曲げモーメント：燃料集合体1体あたりの中央部の曲げモーメント

表1-3 チャンネルボックスの内外差圧条件

(単位：MPa)

部分	運転状態	供用状態	チャンネルボックス 内外差圧
中央	設計条件	設計条件	
	I, II	A, B	
	III	C	
	IV	D	
下端	設計条件	設計条件	
	I, II	A, B	
	III	C	
	IV	D	

表1-4 荷重の組合せ

供用状態 (許容応力状態)	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L02+L04	$P_m$ $P_m + P_b$
A, B	L02+L04	$P_m + P_b + Q$
C	L02+L04	$P_m$ $P_m + P_b$
D	L02+L04	$P_m$ $P_m + P_b$
IV <sub>A</sub> S	L02+L04+L16	$P_m$ $P_m + P_b$

表1-5 ジルカロイ材の物性値及び機械的性質

供用状態 (許容応力状態)		設計条件	A, B	C	D	IV <sub>A</sub> S
温度	(°C)					
設計応力強さ	S <sub>m</sub> (MPa)					
設計降伏点	S <sub>y</sub> (MPa)					
設計引張強さ	S <sub>u</sub> (MPa)					
ポアソン比	ν					

表1-6 荷重の組合せ及び供用状態（許容応力状態）

施設区分	機器名称	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	各運転状態による荷重	供用状態（許容応力状態）	荷重の組合せ
原子炉本体	チャンネルボックス	S	炉心支持構造物（準用）	設計条件による荷重	設計条件	P + D
				運転状態Ⅰによる荷重	A	P + D
				運転状態Ⅱによる荷重	B	P + D
				運転状態Ⅲによる荷重	C	P + D
				運転状態Ⅳによる荷重	D	P + D
				運転状態Ⅰによる荷重	IV <sub>A</sub> S	P + D + S <sub>s</sub>
				運転状態Ⅱによる荷重		

注記

- P : 差圧
- D : 死荷重
- S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる地震力

表1-7 許容応力強さ

(単位：MPa)

供用状態 (許容応力状態)	応力分類		
	$P_m$	$P_m + P_b$	$P_m + P_b + Q^{*2}$
設計条件			
A, B			
C			
D			
IV <sub>A</sub> S			

注記 \* 1 : ( ) 内は、許容応力の定義を示す。

\* 2 : 応力差最大範囲を示す。

## 2. 応力計算

### 2.1 応力解析の手順

応力解析を行う手順について述べる。

#### 2.1.1 解析手順の概要

解析手順の概要を、図 2-1 に示す。

#### 2.1.2 荷重の選定

荷重条件は、1章に示されているが、各部の計算においては、その部分について作用する荷重を選定して計算を行う。

#### 2.1.3 熱膨張差計算

チャンネルボックスと燃料集合体、またはチャンネルボックスと炉心支持構造物には、軸方向及び周方向に熱膨張差が発生するが、これを吸収する取り合いになっているため、熱膨張差計算は不要である。

#### 2.1.4 応力計算と応力の分類

##### (1) 応力計算の方法

a. 応力計算は荷重の種類ごとに行う。考慮した荷重は、次のとおりである。

(a) 差圧

(b) 外荷重

- ・ 死荷重
- ・ 地震荷重

以下に示す地震荷重に関して検討する。

基準地震動  $S_s$  (水平 2 方向地震動入力)

b. 解析する箇所形状は、次の原則に従ってモデル化する。

(a) 溶接部は、溶接金属に相当する母材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。

(b) 荷重条件を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点(面)を選ぶ。なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は [例 P01] と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム (') を付けて [例 P01'] と表す。一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面(応力評価面)について行う。

##### (2) 応力の分類

応力の計算結果は、表 2-1 の応力の分類方法に従って分類し、表 2-3 に示す。

### 2.1.5 応力の評価

#### (1) 主応力

2.1.4 項で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、各応力評価点（面）の組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に  $\sigma_t$ ,  $\sigma_\ell$ ,  $\sigma_r$ ,  $\tau_{t\ell}$ ,  $\tau_{\ell r}$ ,  $\tau_{rt}$  の 6 成分をもつが、応力評価点（面）の主応力  $\sigma$  は、引用文献(1)の 1・3・6 項より、次式を満足する 3 根  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ & - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 \\ & - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  が求まる。

#### (2) 応力強さ

下記の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

#### (3) 一次応力強さ

設計条件、供用状態 C、供用状態 D 及び許容応力状態 IV<sub>A</sub>S において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、1.6.7 項及び 1.6.8 項に示す許容値を満足することを示す。

#### (4) 一次＋二次応力強さ

供用状態 A 及び B において生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲が、1.6.7 項及び 1.6.8 項に示す許容値を満足することを示す。

### 2.1.6 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は、供用状態 A 及び B による荷重に対して、次の方法により行う。

#### (1) 疲労解析必要性の検討（設計・建設規格 CSS-3130）

設計・建設規格 CSS-3130 に従い疲労解析（詳細な繰返し荷重の評価）の必要性の検討を行い、疲労解析が不要であることを示す。

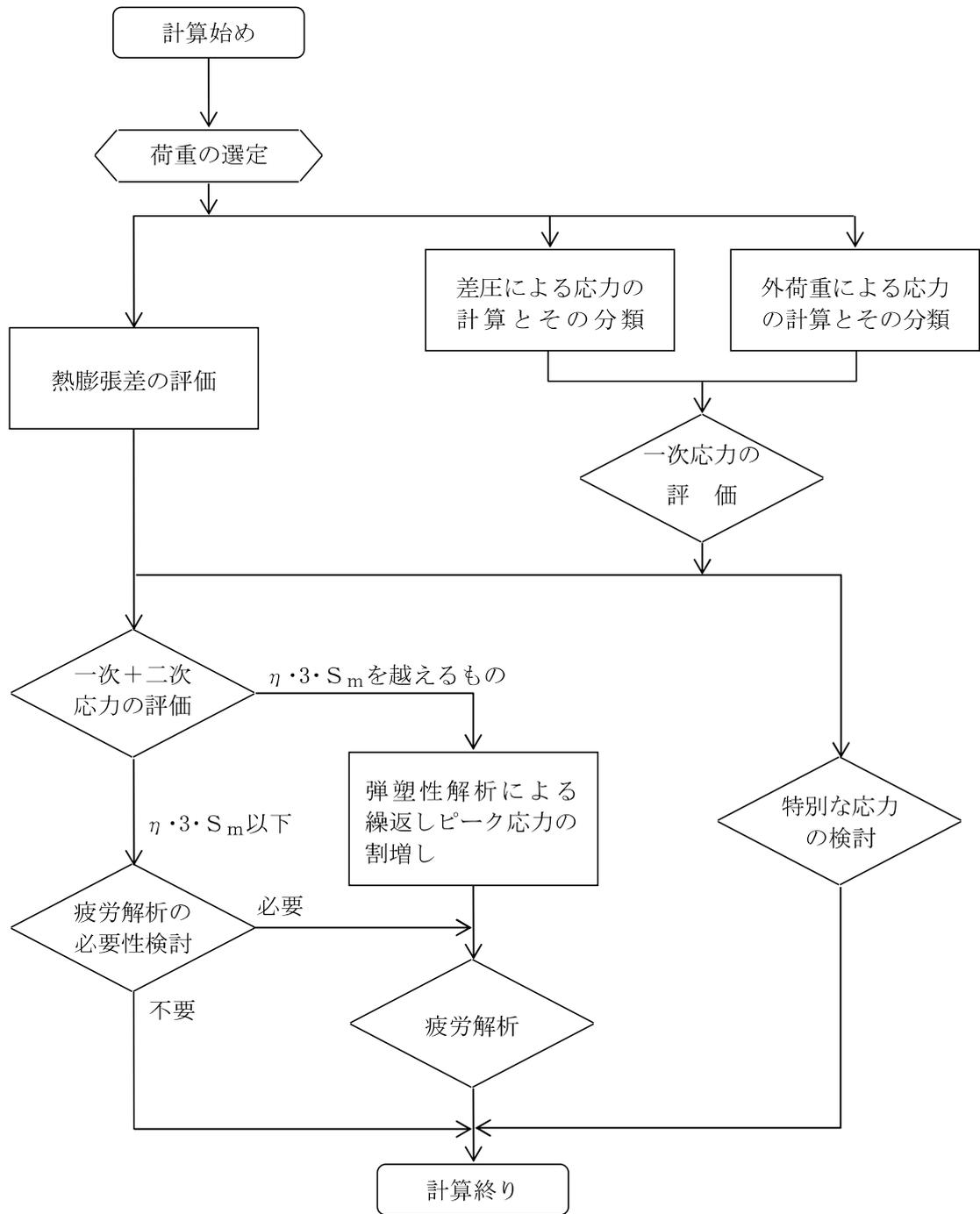


図 2-1 応力解析の手順

表 2-1 応力の分類

	位置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より 遠い部分	差圧	一般膜応力 板厚方向に変化する応力	$P_m$ $Q$
		外荷重又は モーメント	全断面について平均した 一般膜応力 曲げ応力	$P_m$ $P_b$

注記

$P_m$  : 圧力差又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし、実際の応力評価では、応力評価面が、構造上の不連続部にとられることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における  $P_m$  とする。

$P_b$  : 外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

$Q$  : 隣接部分の拘束又は自己拘束により生じる垂直応力又はせん断応力であって、崩壊荷重に影響を与えない応力及び圧力差又は機械的荷重によって生じる応力をいう。

## 2.2 応力計算

### 2.2.1 差圧による応力

#### (1) 荷重条件 (L02)

設計差圧及び各運転条件における差圧を表 1-3 に示す。

#### (2) 計算方法

計算は、チャンネルボックスを図 2-2 に示すモデルに置きかえて行う。

チャンネルボックスの平坦部及びコーナ部にかかる膜力  $F$  は次式で求められるが、本計算書では、コーナ部のみ計算を実施する。

$$F \text{ (平坦部)} = P \cdot (R_i + L)$$

$$F \text{ (コーナ部)} = P \cdot \{R_i + L \cdot (\cos \theta + \sin \theta)\}$$

差圧による一次一般膜応力は、次式で求められる。

$$\sigma_t = F / T$$

また、平坦部及びコーナ部にかかる曲げモーメント  $M$  は、次式で求められる。

$$M \text{ (平坦部)} = M_1 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot (L - X)^2$$

$$M \text{ (コーナ部)} = M_1 + \frac{1}{2} \cdot P \cdot L^2 - P \cdot L \cdot R_m \cdot (1 - \cos \theta - \sin \theta)$$

ただし、

$$M_1 = -\frac{P}{6} \cdot \frac{4 \cdot L^3 + 3 \cdot \pi \cdot L^2 \cdot R_m + 6 \cdot L \cdot R_m^2 \cdot (4 - \pi)}{4 \cdot L + \pi \cdot R_m}$$

差圧による局部曲げ応力（二次応力）は次式で求められる。

$$\sigma_t = \frac{M \cdot Z}{I_1}$$

$$\sigma_\theta = \nu \cdot \sigma_t$$

$$\text{ただし、 } I_1 = \frac{T^3}{12}$$

#### (3) 計算結果

各応力評価点での応力を分類して表 2-3 に示す。

## 2.2.2 外荷重による応力

### (1) 荷重条件 (L04 及び L16)

外荷重条件を表 1-2 に示す。

### (2) 計算方法

#### a. L04 の場合

##### (a) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式により求められる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{N}{A}$$

$$\tau_{\theta r} = \frac{H}{A}$$

##### (b) 一次一般膜応力+一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜応力+一次曲げ応力は、次式により求められる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot d$$

$$\tau_{\theta r} = \frac{H}{A}$$

#### b. L16 の場合

本計算書の 2.2.2(2)a. と同じ方法で応力が求められる。

#### c. 二次応力

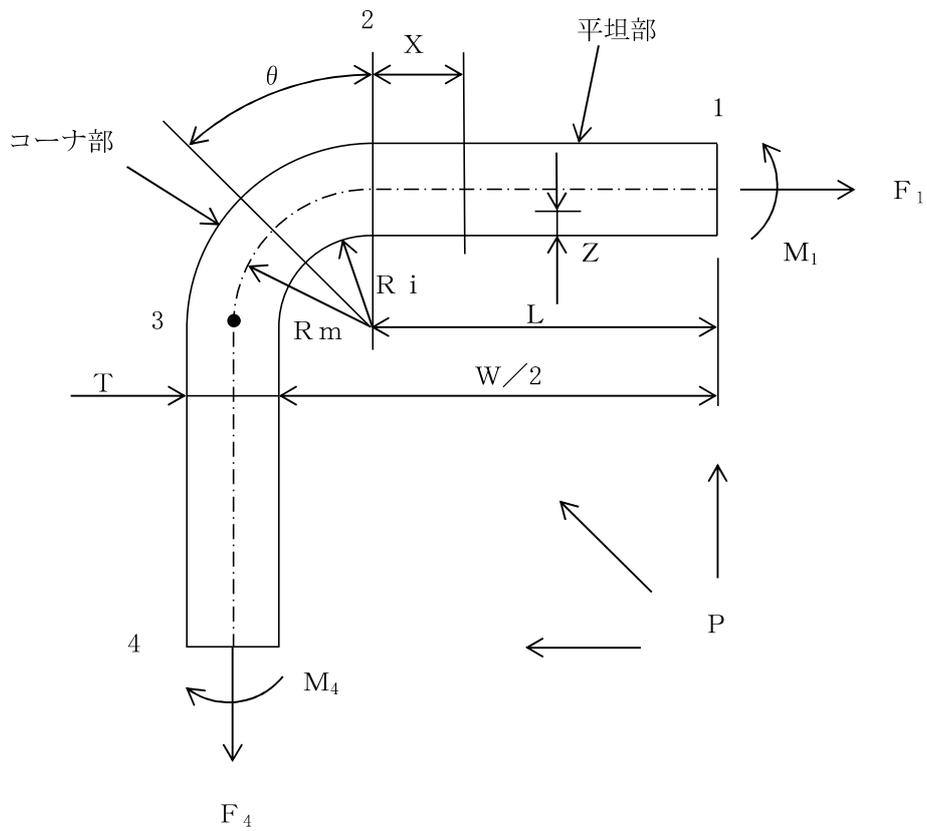
外荷重による二次応力は、発生しない。

### (3) 計算結果

各応力評価点での応力を分類して表 2-3 に示す。

## 2.2.3 熱膨張差による応力

2.1.3 項で記載したようにチャンネルボックスには熱膨張差による応力は発生しない。



- W (内幅) =  mm
- T (肉厚) =  mm
- $R_i$  (コーナ部内半径) =  mm
- $R_m$  (コーナ部平均半径) =  mm
- L (平坦部/2) =  mm

図2-2 差圧による応力計算モデル

表2-2 断面性状

応力評価点	断面寸法	A ( $\text{mm}^2$ )	I ( $\text{mm}^4$ )
P01~P04	図2-2の通り	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>

表2-3(1) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P01 (長手下端コーナ部 内面 地震力(引張)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P01	P01	P01	P01	P01
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	3.3		101.8	3.3	105.1
		$\sigma_\ell$			40.7		40.7
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		114.2	3.7	117.9
		$\sigma_\ell$			45.7		45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		130.8	4.2	135.0
		$\sigma_\ell$			52.3		52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$					
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$				3.6	
		$\tau_{t\ell}$	3.6				3.6

表2-3(2) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P01' (長手下端コーナ部 内面 地震力(圧縮)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P01'	P01'	P01'	P01'	P01'
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	3.3		101.8	3.3	105.1
		$\sigma_\ell$			40.7		40.7
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		114.2	3.7	117.9
		$\sigma_\ell$			45.7		45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		130.8	4.2	135.0
		$\sigma_\ell$			52.3		52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$					
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$				-3.6	
		$\tau_{t\ell}$	-3.6				-3.6

表2-3(3) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P02 (長手下端コーナ部 外面 地震力(引張)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P02	P02	P02	P02	P02
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	3.3		-101.8	3.3	-98.5
		$\sigma_\ell$			-40.7		-40.7
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		-114.2	3.7	-110.5
		$\sigma_\ell$			-45.7		-45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		-130.8	4.2	-126.6
		$\sigma_\ell$			-52.3		-52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$					
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$				3.6	
		$\tau_{t\ell}$	3.6				3.6

表2-3(4) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P02' (長手下端コーナ部 外面 地震力(圧縮)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P02'	P02'	P02'	P02'	P02'
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	3.3		-101.8	3.3	-98.5
		$\sigma_\ell$			-40.7		-40.7
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		-114.2	3.7	-110.5
		$\sigma_\ell$			-45.7		-45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		-130.8	4.2	-126.6
		$\sigma_\ell$			-52.3		-52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$					
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$				-3.6	
		$\tau_{t\ell}$	-3.6				-3.6

表2-3(5) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P03 (長手中央コーナ部 内面 地震力(引張)) 単位：MPa

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P03	P03	P03	P03	P03
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	2.2		68.3	2.2	70.5
		$\sigma_\ell$			27.3		27.3
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		114.2	3.7	117.9
		$\sigma_\ell$			45.7		45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		130.8	4.2	135.0
		$\sigma_\ell$			52.3		52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$	0.1			0.1	0.1
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$	0.1	150.7		150.8	150.8
		$\tau_{t\ell}$	0.9			0.9	0.9

表2-3(6) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P03' (長手中央コーナ部 内面 地震力(圧縮)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P03'	P03'	P03'	P03'	P03'
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	2.2		68.3	2.2	70.5
		$\sigma_\ell$			27.3		27.3
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		114.2	3.7	117.9
		$\sigma_\ell$			45.7		45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		130.8	4.2	135.0
		$\sigma_\ell$			52.3		52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$	0.1			0.1	0.1
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$	-0.1	-150.7		-150.8	-150.8
		$\tau_{t\ell}$	-0.9			-0.9	-0.9

表2-3(7) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P04 (長手中央コーナ部 外面 地震力(引張)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P04	P04	P04	P04	P04
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	2.2		-68.3	2.2	-66.1
		$\sigma_\ell$			-27.3		-27.3
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		-114.2	3.7	-110.5
		$\sigma_\ell$			-45.7		-45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		-130.8	4.2	-126.6
		$\sigma_\ell$			-52.3		-52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$	0.1			0.1	0.1
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$	0.1	154.9		155.0	155.0
		$\tau_{t\ell}$	0.9			0.9	0.9

表2-3(8) 機械荷重による応力計算結果

応力評価点：P04' (長手中央コーナ部 外面 地震力(圧縮)) (単位：MPa)

荷重による応力		分類	P <sub>m</sub>	P <sub>b</sub>	Q	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub>	P <sub>m</sub> +P <sub>b</sub> +Q
		応力評価点	P04'	P04'	P04'	P04'	P04'
差圧 (L02)	運転状態 I, II	$\sigma_t$	2.2		-68.3	2.2	-66.1
		$\sigma_\ell$			-27.3		-27.3
	運転状態 III	$\sigma_t$	3.7		-114.2	3.7	-110.5
		$\sigma_\ell$			-45.7		-45.7
	運転状態 IV	$\sigma_t$	4.2		-130.8	4.2	-126.6
		$\sigma_\ell$			-52.3		-52.3
死荷重 (L04)		$\sigma_\ell$	0.1			0.1	0.1
地震荷重 S <sub>s</sub> (L16)		$\sigma_\ell$	-0.1	-154.9		-155.0	-155.0
		$\tau_{t\ell}$	-0.9			-0.9	-0.9

## 2.3 応力強さの評価

応力強さの評価は、図 1-1 に示す評価点に対して行う。

### 2.3.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価に用いる荷重の組合せを、表 2-4 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 2-5 に示す。

表 2-5 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

### 2.3.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価に用いる荷重の組合せを、表 2-6 に示す。各供用状態（許容応力状態）における評価をまとめて、表 2-7 に示す。

表 2-7 より、各供用状態（許容応力状態）の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、設計・建設規格 CSS-3111 を満足する。

### 2.3.3 一次＋二次応力強さの評価

一次＋二次応力強さの評価に用いる荷重の組合せを、表 2-8 に示す。供用状態 A 及び B における評価をまとめて、表 2-9 に示す。

表 2-9 より、すべての応力評価点において、一次＋二次応力の応力差最大範囲は、 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$  以下であり、設計・建設規格 CSS-3112 を満足する。

表2-4 一次一般膜応力強さの評価方法

荷重 <sup>*1</sup>	設計条件	供用状態C	供用状態D	許容応力状態 IV <sub>A</sub> S
L02 <sup>*2</sup> 差圧	1.0 (中央: 0.06 ) (下端: 0.09 )	1.0 (中央: 0.10 ) (下端: 0.10 )	1.0 (中央: 0.12 ) (下端: 0.12 )	1.0 (中央: 0.06 ) (下端: 0.09 )
L04 死荷重	1.0	1.0	1.0	1.0
L16 地震荷重 S <sub>s</sub>	—	—	—	1.0
許容値	1.6.7項及び1.6.8項による。			

注記

\*1: 表2-3 に示す応力に対する荷重値を1.0とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

\*2: ( ) 内は差圧の値 (MPa) を示す。

表2-5(1) 一次一般膜応力強さの評価（設計条件）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.3	2.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	3.3	2.2
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	3.3	2.2
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m$	4	3
許容値	—		

表2-5(2) 一次一般膜応力強さの評価（供用状態C）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.7	3.7
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	3.7	3.7
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	3.7	3.7
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m$	4	4
許容値	—		

表2-5(3) 一次一般膜応力強さの評価（供用状態D）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	4.2	4.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	4.2	4.2
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	4.2	4.2
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m$	5	5
許容値	—		

表2-5(4) 一次一般膜応力強さの評価（許容応力状態IV<sub>A</sub>S）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端			
	応力評価点	P01	P01'	P02	P02'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.3	3.3	3.3	3.3
L04 死荷重	$\sigma_\ell$				
L16 地震荷重 $S_s$	$\sigma_\ell$ $\tau_{t\ell}$	3.6	-3.6	3.6	-3.6
組合せ応力	$\sigma_t$	3.3	3.3	3.3	3.3
	$\sigma_\ell$				
	$\tau_{t\ell}$	3.6	-3.6	3.6	-3.6
主応力	$\sigma_1$	5.6	5.6	5.6	5.6
	$\sigma_2$	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3
	$\sigma_3$				
応力強さ	$P_m$	8	8	8	8
許容値	—				

表2-5(5) 一次一般膜応力強さの評価（許容応力状態IV<sub>A</sub>S）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	中央部			
	応力評価点	P03	P03'	P04	P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	2.2	2.2	2.2	2.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$	0.1	0.1	0.1	0.1
L16 地震荷重 $S_s$	$\sigma_\ell$ $\tau_{t\ell}$	0.1	-0.1	0.1	-0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	2.2	2.2	2.2	2.2
	$\sigma_\ell$	0.3	0.0	0.3	0.0
	$\tau_{t\ell}$	0.9	-0.9	0.9	-0.9
主応力	$\sigma_1$	2.6	2.6	2.6	2.6
	$\sigma_2$	-0.1	-0.3	-0.1	-0.3
	$\sigma_3$				
応力強さ	$P_m$	3	3	3	3
許容値	—				

表2-6 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価方法

荷重 <sup>*1</sup>	設計条件	供用状態C	供用状態D	許容応力状態 IV <sub>A</sub> S
L02 <sup>*2</sup> 差圧	1.0 (中央: 0.06 ) (下端: 0.09 )	1.0 (中央: 0.10 ) (下端: 0.10 )	1.0 (中央: 0.12 ) (下端: 0.12 )	1.0 (中央: 0.06 ) (下端: 0.09 )
L04 死荷重	1.0	1.0	1.0	1.0
L16 地震荷重 S <sub>s</sub>	—	—	—	1.0
許容値	1.6.7項及び1.6.8項による。			

注記

\*1: 表2-3 に示す応力に対する荷重値を1.0とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

\*2: ( ) 内は差圧の値 (MPa) を示す。

表2-7(1) 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価（設計条件）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.3	2.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	3.3	2.2
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	3.3	2.2
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m + P_b$	4	3
許容値	—		

表2-7(2) 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価（供用状態C）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.7	3.7
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	3.7	3.7
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	3.7	3.7
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m + P_b$	4	4
許容値	—		

表2-7(3) 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価（供用状態D）

コーナ部 (単位：MPa)

荷重による応力	分類	下端	中央部
	応力評価点	P01, P01' P02, P02'	P03, P03' P04, P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	4.2	4.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$		0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	4.2	4.2
	$\sigma_\ell$		0.1
主応力	$\sigma_1$	4.2	4.2
	$\sigma_2$		0.1
	$\sigma_3$		
応力強さ	$P_m + P_b$	5	5
許容値	—		

表2-7(4) 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価 (許容応力状態IV<sub>A</sub>S)

コーナ部 (単位: MPa)

荷重による応力	分類	下端			
	応力評価点	P01	P01'	P02	P02'
L02 差圧	$\sigma_t$	3.3	3.3	3.3	3.3
L04 死荷重	$\sigma_\ell$				
L16 地震荷重 $S_s$	$\sigma_\ell$				
	$\tau_{t\ell}$	3.6	-3.6	3.6	-3.6
組合せ応力	$\sigma_t$	3.3	3.3	3.3	3.3
	$\sigma_\ell$				
	$\tau_{t\ell}$	3.6	-3.6	3.6	-3.6
主応力	$\sigma_1$	5.6	5.6	5.6	5.6
	$\sigma_2$	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3
	$\sigma_3$				
応力強さ	$P_m + P_b$	8	8	8	8
許容値	—				

表2-7(5) 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価 (許容応力状態IV<sub>A</sub>S)

コーナ部 (単位: MPa)

荷重による応力	分類	中央部			
	応力評価点	P03	P03'	P04	P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	2.2	2.2	2.2	2.2
L04 死荷重	$\sigma_\ell$	0.1	0.1	0.1	0.1
L16 地震荷重 $S_s$	$\sigma_\ell$	150.8	-150.8	155.0	-155.0
	$\tau_{t\ell}$	0.9	-0.9	0.9	-0.9
組合せ応力	$\sigma_t$	2.2	2.2	2.2	2.2
	$\sigma_\ell$	151.0	-150.7	155.2	-154.9
	$\tau_{t\ell}$	0.9	-0.9	0.9	-0.9
主応力	$\sigma_1$	151.0	2.2	155.2	2.2
	$\sigma_2$	2.2	-150.7	2.2	-154.9
	$\sigma_3$				
応力強さ	$P_m + P_b$	151	153	156	158
許容値	—				

表2-8 一次+二次応力強さの評価方法

荷重*1	供用状態A, B
L02*2 差圧	1.0 (中央: 0.06 ) (下端: 0.09 )
L04 死荷重	1.0
許容値	1.6.7項及び1.6.8項による。

注記

\*1: 表2-3 に示す応力に対する荷重値を1.0とした場合の荷重の比例数を表中に示す。

\*2: ( ) 内は差圧の値 (MPa) を示す。

表2-9(1) 一次+二次応力強さの評価（供用状態A, B）

コーナ部 (単位: MPa)

荷重による応力	分類	下端			
	応力評価点	P01	P01'	P02	P02'
L02 差圧	$\sigma_t$	105.1	105.1	-98.5	-98.5
	$\sigma_\theta$	40.7	40.7	-40.7	-40.7
L04 死荷重	$\sigma_\theta$				
組合せ応力	$\sigma_t$	105.1	105.1	-98.5	-98.5
	$\sigma_\theta$	40.7	40.7	-40.7	-40.7
主応力	$\sigma_1$	105.1	105.1	-40.7	-40.7
	$\sigma_2$	40.7	40.7	-98.5	-98.5
	$\sigma_3$				
応力強さ	$\sigma_{12}$	64.3	64.3	57.8	57.8
	$\sigma_{23}$	40.7	40.7	-98.5	-98.5
	$\sigma_{31}$	-105.1	-105.1	40.7	40.7
最大応力差範囲	$S_n$	106	106	99	99
許容値	$\eta \cdot 3 \cdot S_m$				

表2-9(2) 一次+二次応力強さの評価（供用状態A, B）

コーナ部 (単位: MPa)

荷重による応力	分類	中央部			
	応力評価点	P03	P03'	P04	P04'
L02 差圧	$\sigma_t$	70.5	70.5	-66.1	-66.1
	$\sigma_\theta$	27.3	27.3	-27.3	-27.3
L04 死荷重	$\sigma_\theta$	0.1	0.1	0.1	0.1
組合せ応力	$\sigma_t$	70.5	70.5	-66.1	-66.1
	$\sigma_\theta$	27.5	27.5	-27.2	-27.2
主応力	$\sigma_1$	70.5	70.5	-27.2	-27.2
	$\sigma_2$	27.5	27.5	-66.1	-66.1
	$\sigma_3$				
応力強さ	$\sigma_{12}$	43.0	43.0	38.9	38.9
	$\sigma_{23}$	27.5	27.5	-66.1	-66.1
	$\sigma_{31}$	-70.5	-70.5	27.2	27.2
最大応力差範囲	$S_n$	71	71	67	67
許容値	$\eta \cdot 3 \cdot S_m$				

## 2.4 繰返し荷重の評価

### 2.4.1 設計・建設規格 CSS-3130 についての検討

チャンネルボックスは、設計・建設規格 CSS-3130 により、疲労解析が不要となることを以下の(1)から(4)に示す。

#### (1) 設計・建設規格 CSS-3130(1)及びCSS-3130(2)

2.1.3項で述べたように、チャンネルボックスの熱膨張差による応力は発生しないので、設計・建設規格 CSS-3130(1)及びCSS-3130(2)の検討は不要である。

#### (2) 設計・建設規格 CSS-3130(3) (異なる材料よりなる部分の温度変動)

チャンネルボックスには、縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

#### (3) 設計・建設規格 CSS-3130(4) (機械的荷重変動)

チャンネルボックスは運転条件による機械的荷重の変動が生じないので、設計・建設規格 CSS-3130(4)の検討は不要である。

#### (4) 検討結果

以上(1)から(3)よりチャンネルボックスは、設計・建設規格 CSS-3130 の要求をすべて満足している。

### 2.4.2 疲労解析

2.4.1項に示すように、チャンネルボックスは、疲労解析は不要である。

## 2.5 特別な応力の検討

設計・建設規格に定められている特別な検討を要する応力として、純せん断応力、支圧応力、ねじりせん断応力及び軸圧縮応力(座屈評価)がある。

チャンネルボックスは、燃料集合体の外側にはめられているが、燃料集合体と固定されているのは上端のみであり、差圧、自重、及び地震による荷重以外の荷重は発生しない。このため純せん断応力、支圧応力、ねじりせん断応力及び軸圧縮応力は発生しないことから、特別な検討は不要である。

### 3. 結論

#### 3.1 応力評価のまとめ

チャンネルボックスに生じる応力は、表 3-1 に示すようにすべて許容応力以下である。

### 4. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編  $\alpha 3$  (日本機械学会)

表 3-1(1) 計算結果の概要 (一次応力評価)

(単位: MPa)

部分	応力評価点	供用状態 (許容応力状態)	一次一般膜応力		一次一般膜+一次曲げ応力	
			応力強さ	許容値	応力強さ	許容値
長手下端 コーナ部	P01, P01' 内面	設計条件	4	[Redacted]	4	[Redacted]
		C	4		4	
		D	5		5	
		IV <sub>A</sub> S	8		8	
	P02, P02' 外面	設計条件	4		4	
		C	4		4	
		D	5		5	
		IV <sub>A</sub> S	8		8	
長手中央 コーナ部	P03, P03' 内面	設計条件	3	3		
		C	4	4		
		D	5	5		
		IV <sub>A</sub> S	3	153		
	P04, P04' 外面	設計条件	3	3		
		C	4	4		
		D	5	5		
		IV <sub>A</sub> S	3	158		

表 3-1(2) 計算結果の概要 (一次+二次応力評価)

(単位: MPa)

部分	応力評価点	供用状態	一次+二次応力	
			応力強さ	許容値
長手下端 コーナ部	P01, P01' 内面	A, B	106	[Redacted]
	P02, P02' 外面	A, B	99	
長手中央 コーナ部	P03, P03' 内面	A, B	71	[Redacted]
	P04, P04' 外面	A, B	67	