

TK-1-068 改0

平成30年2月1日
日本原子力発電(株)

実例

V-3-3-3-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書

まえがき

高圧炉心スプレイ系ポンプは設計基準対象施設においては既設のクラス2ポンプ、重大事故等対処設備として重大事故等クラス2ポンプに分類される。

この分類に基づき、添付書類「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「V-3-2-11 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」に基づき評価を実施する。

また、高圧炉心スプレイ系ポンプについては、施設時に強度に対する要求がなかった設備であり、評価にあたっては、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））＜第1編軽水炉規格＞ JSME S NC 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）により評価を実施する。

なお、重大事故等クラス2ポンプの材料及び構造については「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日 原規技発第1306194号）第55条に規定されており、クラス2ポンプと同等の評価を実施することから、本計算書においては、条件の厳しい重大事故等クラス2ポンプとしての評価を記載する。

目次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	3
2.3 ケーシングカバーの厚さ	3
2.4 ボルトの平均引張応力	4
2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	5
2.6 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	6
別紙 高圧炉心スプレイ系ポンプ ケーシングカバー応力評価詳細	7

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

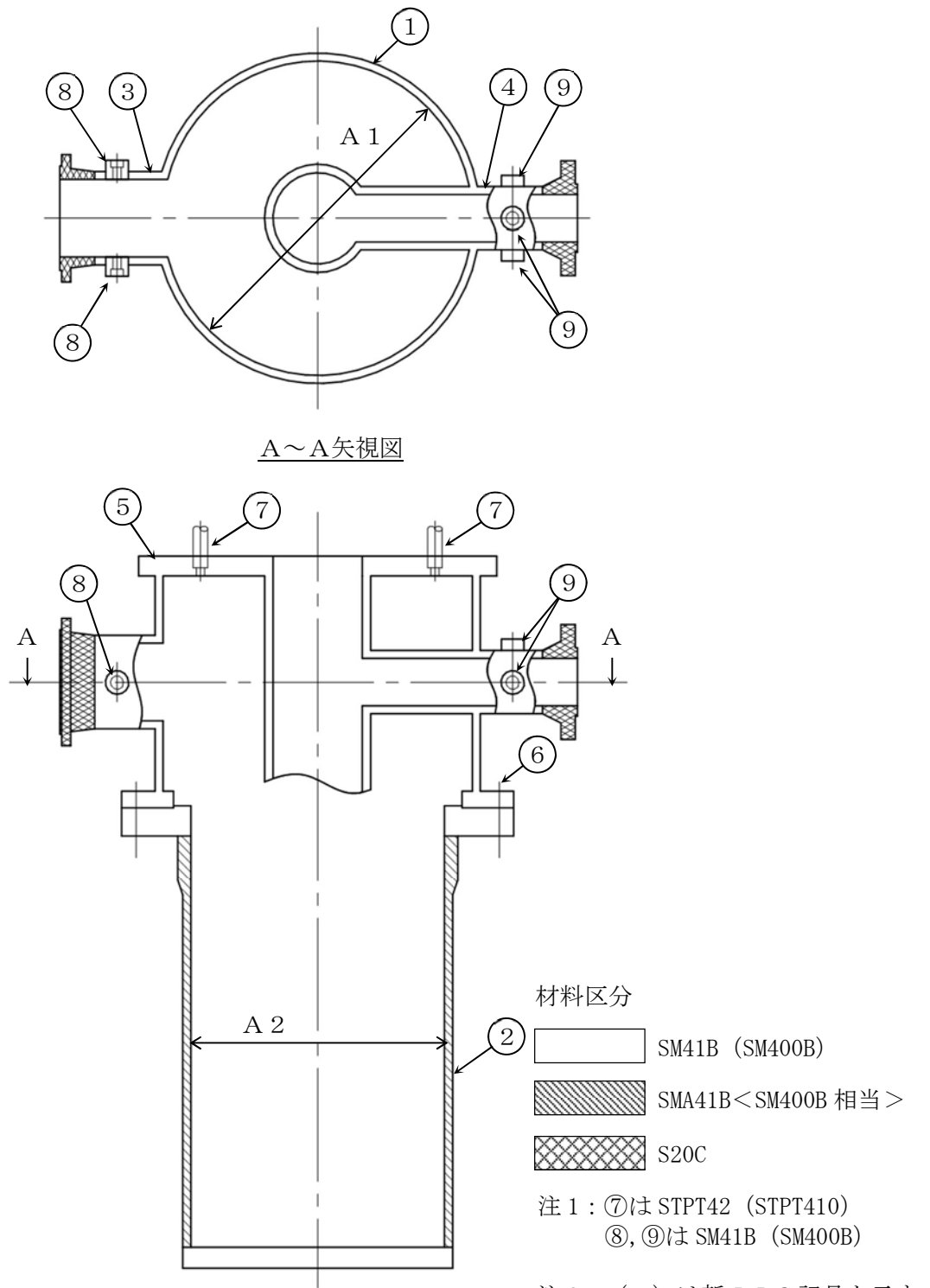


図1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	11.07	0.76
最高使用温度 (°C)	148	148

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材 料	P (MPa)	S (MPa)	A ₁ (mm)	A ₂ (mm)
①	SM41B (SM400B) *1	0.76	100	1500.0	—
②	SMA41B	0.76	100*2	—	1272.0

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
5.7	22.0	20.1
4.9	14.0	12.2

注記 *1: () は新 J I S 記号を示す。
*2: 使用材料はSMA41Bであるが、
同等材のSM400Bの許容応力で
評価する。

評価: $t_s \geq t$, よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	r_i	r_m	l	t	t_{lo}	t_l
③	287.4	290.3	20.3	5.7	32.0	30.2
④	142.1	150.0	24.3	15.8	40.0	38.1

評価： $t_l \geq t$ ，よって十分である。

2.3 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PVB-3110

計算部位	材 料	最高使用圧力 (MPa)		最高使用 温度 (°C)	応 力	一次応力強さ (MPa)	許容応力 (MPa)
		吸込側	吐出側				
⑤	SM41B (SM400B) *1	0.76	11.07	148	一次		150 *3

注記 *1： () は新 J I S 記号を示す。

*2： PVB-3110 の条件中，最も厳しい値を記載する。計算結果の詳細は，
別紙 高圧炉心スプレイ系ポンプ ケーシングカバー応力評価詳細に示す。

*3：許容応力は， S_m 値に 1.5 を乗じた値とする。

評価：一次応力強さは許容応力以下，よって十分である。

2.4 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材 料	P (MPa)	S _b (MPa)	d _b (mm)	n	A _b (mm ²)
⑥	SCM435 (径 ≤ 60 mm)	0.76	186	42.587 (M48×5)	40	1.424 × 10 ³

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G _s (mm)	G (mm)	D _g (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	1527.0

H (N)	H _p (N)	W _{m1} (N)	W _{m2} (N)	W (N)	σ (MPa)
1.392 × 10 ⁶	—	1.392 × 10 ⁶	0	1.392 × 10 ⁶	25

評価：σ ≤ S_b，よって十分である。

2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材 料	P (MPa)	S (MPa)	D _o (mm)
⑦	STPT42 (STPT410) *	0.76	103	60.5
⑧	SM41B (SM400B) *	0.76	100	50.0
⑨	SM41B (SM400B) *	11.07	100	50.0

継手の種類	放射線透過試験の有無	η
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

注記 * : () は新 J I S 記号を示す。

t (mm)	t _{so} (mm)	t _s (mm)
0.3	8.7	7.1
0.2	13.9	12.4
2.7	13.9	12.4

評価 : $t_s \geq t$, よって十分である。

2.6 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

アウターケーシング（使用材料規格：J I S G 3 1 1 4 SMA41B）の評価結果

（比較材料：J I S G 3 1 0 6 SM41B（SM400B）*¹）

注記 *1：（ ）は新J I S記号を示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
		16以下* ²	
使用材料	402～510 MPa	245 MPa以上	引張強さの範囲及び降伏点は同等である。
比較材料	402～510 MPa	245 MPa以上	

注記 *2：鋼材の厚さ（mm）を示す。

(2) 化学的成分

	化学成分（％）									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.20 以下	0.35 以下	1.40 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.20 ～ 0.60	—	0.20 ～ 0.65	—	—
比較材料	0.20 以下	0.35 以下	0.60 ～ 1.20	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
比較結果	<p>Mn, Cu, Crの成分規定に差異があるが、以下により、本設備の環境下での使用は問題ないとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3成分ともに機械的強度に影響を及ぼす成分であるが、(1)の評価結果からも機械的強度は同等以上であること。 <p>Mn：韌性に影響を与える成分であるが、本設備において使用される材料は、薄肉（16 mm未満）であるため、韌性破壊が発生しがたい寸法の材料であること、さらには、設計・建設規格クラス2の規格でも破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>Cu：耐食性のうち、全面腐食に影響を与える成分であるが、耐食性向上のために添加されているため問題はない。</p> <p>Cr：耐食性のうち、応力腐食割れや全面腐食に影響を与える成分であるが、応力腐食割れを防ぐためと、耐食性向上のために添加されているため問題はない。</p>									

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学成分、いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本設備において、SMA41Bを重大事故等クラス2材料として使用することに問題ないとする。

PVB-3110に準じたケーシングカバーの応力評価の詳細を以下に示す。

1. 応力計算

解析対象部位は、ケーシングカバーとし、内圧を付加した場合の発生応力を解析により求め、応力強さが表1-1の規定を満足することを確認する。

表1-1 応力の分類及び許容値

応力の分類	許容応力
一次一般膜応力強さ： P_m	S_m
一次膜＋一次曲げ応力強さ： $PL + Pb$	$1.5 S_m$

2. 評価対象部位

ポンプ断面図を図2-1に示す。応力解析による評価対象箇所は、図2-1のとおりとする。

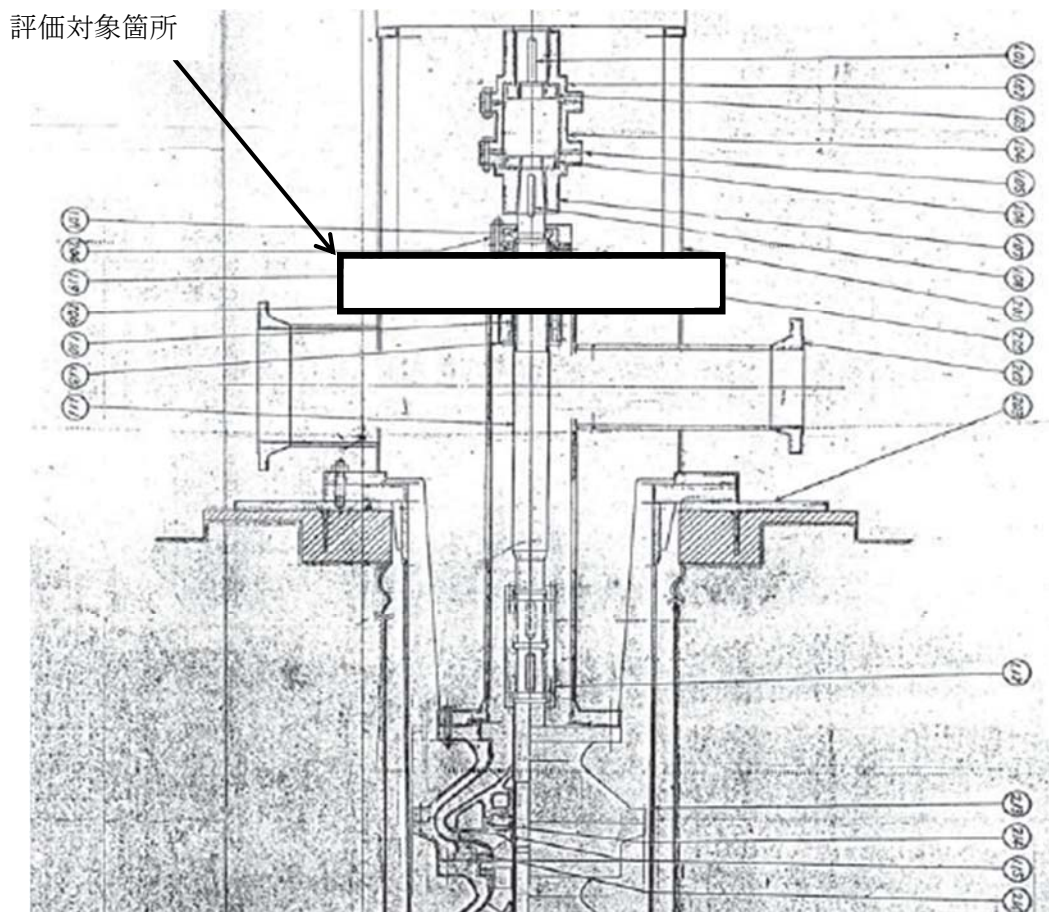


図2-1 評価対象部位

3. 解析条件及び解析モデル

評価対象部位の仕様を表3-1に、応力解析を行うための解析モデルを図3-1に、圧力範囲や荷重条件、拘束条件などの解析条件を図3-2に示す。

解析モデルは、ケーシングカバーが軸対称の円板構造になっていることから、ケーシングカバーを円周1/360°に分割した単位角度モデルとする。ケーシング、コラムパイプの一部をモデル化する。

応力計算は、有限要素法を用いて解析した。使用した解析コードは「NASTRAN Ver. 2006 r1」である。

表3-1 評価対象部位の仕様

項目	単位	ケーシングカバー
材料	—	SM41B (SM400B) *
最高使用温度	℃	148
最高使用圧力 (吸込側)	MPa	0.76
最高使用圧力 (吐出側)	MPa	11.07
設計応力強さ : S _m	MPa	100

注記 * : () は新 J I S 記号を示す。

節点数 : 4428
要素数 : 1819

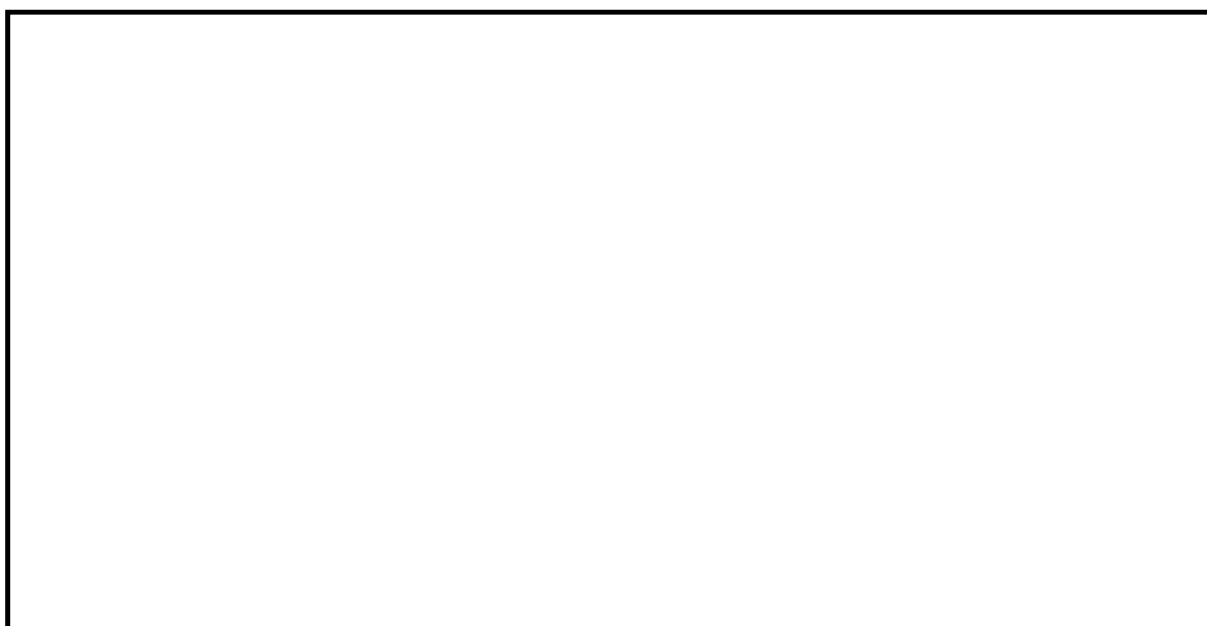


図3-1 ケーシングカバー解析モデル

電動機、フレーム
より作用する荷重

スタフィンボックス
より作用する荷重

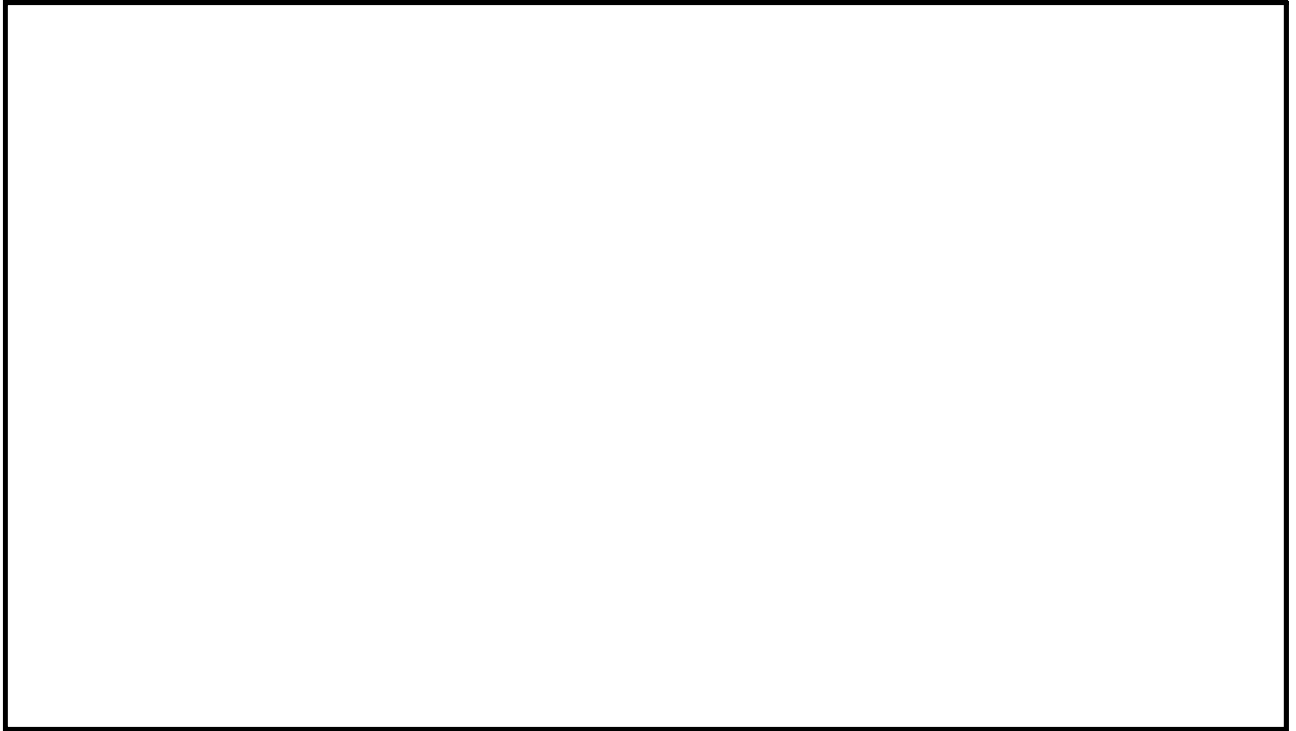


図3-2 解析条件

4. 計算結果

評価対象部位のうち、最も発生応力が大きい箇所の計算結果を表4-1に示す。

一次応力強さは、許容値を下回っており、ケーシングカバーの強度は十分である。

表4-1 一次応力強さ

一次一般膜応力強さ		一次膜+一次曲げ応力強さ	
P_m (MPa)	許容値 S_m (MPa)	$PL + P_b$ (MPa)	許容値 $1.5 S_m$ (MPa)
<input type="text"/>	100	<input type="text"/>	150