

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0084_改1
提出年月日	2021年6月29日

VI-3-3-5-1-1-2 ダンプの強度計算書（中央制御室換気空調系）

02 VI-3-3-5-1-1-2 R1

2021年6月
東北電力株式会社

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 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「VI-3-2-11 重大事故等クラス2 弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
V30-D301A, B	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無		40		40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
V30-D302A, B	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無		40		40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
V30-D303, D304	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無		40		40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
V30-D305A	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無		40		40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
V30-D305B	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無		40		40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

目次

1. 重大事故等クラス2弁	1
1.1 設計仕様	2
1.2 強度計算書	3
1.3 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	13
1.3.1 弁箱（使用材料規格：[redacted]）の評価結果 （比較材料：J I S G 5 1 5 1 SCPH1）	13
1.3.2 弁ふたボルト（使用材料規格：[redacted]） の評価結果（比較材料：J I S G 4 0 5 1 S20C）	15

1. 重大事故等クラス 2 弁

1.1 設計仕様

系統：中央制御室換気空調系

機器の区分		重大事故等クラス2弁								
弁番号	種類	呼び径 (mm)	材料							
			弁箱		弁ふた		ボルト			
V30-D301A, B	止め弁	250								
V30-D302A, B	止め弁	650								
V30-D303, D304	止め弁	550								
V30-D305A	止め弁	550								
V30-D305B	止め弁	550								

1.2 強度計算書

系統：中央制御室換気空調系

弁番号	V30-D301A, B	シート	1
-----	--------------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)			d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	40		d_n / d_m	
弁箱の厚さ			ℓ (mm)	
弁箱材料			t_{m1} (mm)	8.6
P_1 (MPa)	—	—	t_{m2} (mm)	1.0
P_2 (MPa)	—	—	t_{ma1} (mm)	
d_m (mm)			t_{ma2} (mm)	
t_1 (mm)	—	—	評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_2 (mm)	—	—		
t (mm)	8.6	—		
t_{ab} (mm)				
弁ふたの厚さ*				
弁ふた材料				
評価： $t_{ab} \geq t$ よって十分である。				

注記*：弁ふたについては、応力計算を行って必要な強度を有することを確認する。

【弁ふたの応力計算】

弁ふたの応力評価は弁ふたの形状を考慮し、平板の計算式を用いて応力計算を行う。

平板の厚さの計算式 $t = d \sqrt{\frac{K P}{S}}$ より $S = \frac{d^2 \cdot K \cdot P}{t^2}$

評価条件 P：内圧
 d：ボルト穴の中心円の直径
 K：平板の取り付け方法による係数（その他の場合の係数を使用）0.75
 t：弁ふたの厚さ

上記の計算式及び評価条件より弁ふたの応力は $S = 0.0833$ [MPa] となる。これに対し、許容引張応力は告示第501号 別表第6から100MPaであることから、弁ふたは必要な強度を有することが明らかである。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		ボルトの計算	
P_{FD} (MPa)		H' (N)	3.750
P_{eq} (MPa)		H'_P (N)	1.606
T_m (°C)	40	H_R (N)	6.518
M_e (N・mm)		H_D (N)	2.732
F_e (N)		h_D (mm)	7.5
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 4 図 1	H'_T (N)	1.017
フランジ		h'_T (mm)	7.3
材料		h'_P (mm)	7.0
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		h_R (mm)	6.0
B (mm)		W_{m1} (N)	11.87
C (mm)		W_{m2} (N)	3.407×10^3
g_1 (mm)		A_{m1} (mm ²)	0.1947
ボルト		A_{m2} (mm ²)	55.85
材料		A_m (mm ²)	55.85
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		A_b (mm ²)	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		評価： $A_m < A_b$	
n		よって十分である。	
d_b (mm)		フランジ厚さの計算	
d_h (mm)		t_{fe} (mm)	
ガスケット		M_0 (N・mm)	39.11
材料		t (mm)	
G' (mm)		フランジ厚さの評価： $t \leq t_{fe}$	
G ₀ (mm)		よって十分である。	
m			
y (N/mm ²)			
b' ₀ (mm)			
b' (mm)			

O2 VI-3-3-5-1-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

系統：中央制御室換気空調系

弁番号	V30-D302A, B	シート	1
-----	--------------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)			d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	40		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			\varnothing (mm)	
弁箱材料			t_{m1} (mm)	15.5
弁ふた材料			t_{m2} (mm)	1.4
P_1 (MPa)	—	—	t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)	—	—	t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)	—	—		
t_2 (mm)	—	—		
t (mm)	15.5	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 VI-3-3-5-1-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		ボルトの計算	
P_{FD} (MPa)		H' (N)	30.01
P_{eq} (MPa)		H'_p (N)	4.952
T_m (°C)	40	H_R (N)	84.14
M_e (N・mm)		H_D (N)	12.55
F_e (N)		h_D (mm)	27.5
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 4 図 1	H'_T (N)	17.47
フランジ		h'_T (mm)	18.5
材料		h'_p (mm)	9.5
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		h_R (mm)	8.5
B (mm)		W_{m1} (N)	119.1
C (mm)		W_{m2} (N)	1.023×10^4
g_1 (mm)		A_{m1} (mm ²)	1.953
		A_{m2} (mm ²)	167.7
ボルト		A_m (mm ²)	167.7
材料		A_b (mm ²)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		評価： $A_m < A_b$ よって十分である。	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)			
n			
d_b (mm)		フランジ厚さの計算	
d_h (mm)		$t_{f\ell}$ (mm)	
ガスケット		M_0 (N・mm)	715.2
材料		t (mm)	
G' (mm)		フランジ厚さの評価： $t \leq t_{f\ell}$ よって十分である。	
G ₀ (mm)			
m			
y (N/mm ²)			
b' ₀ (mm)			
b' (mm)			

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

系統：中央制御室換気空調系

弁番号	V30-D303, D304	シート	1
-----	----------------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)			d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	40		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			\varnothing (mm)	
弁箱材料			t_{m1} (mm)	13.6
弁ふた材料			t_{m2} (mm)	1.4
P_1 (MPa)	—	—	t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)	—	—	t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)	—	—		
t_2 (mm)	—	—		
t (mm)	13.6	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 VI-3-3-5-1-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		ボルトの計算	
P_{FD} (MPa)		H' (N)	30.01
P_{eq} (MPa)		H'_P (N)	4.952
T_m (°C)	40	H_R (N)	92.44
M_e (N・mm)		H_D (N)	9.424
F_e (N)		h_D (mm)	32.5
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 4 図 1	H'_T (N)	20.59
フランジ		h'_T (mm)	21.0
材料		h'_P (mm)	9.5
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		h_R (mm)	8.5
B (mm)		W_{m1} (N)	127.4
C (mm)		W_{m2} (N)	1.023×10^4
g_1 (mm)		A_{m1} (mm ²)	2.089
		A_{m2} (mm ²)	167.7
ボルト		A_m (mm ²)	167.7
材料		A_b (mm ²)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		評価： $A_m < A_b$ よって十分である。	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)			
n			
d_b (mm)		フランジ厚さの計算	
d_h (mm)		$t_{f\ell}$ (mm)	
ガスケット		M_0 (N・mm)	785.7
材料		t (mm)	
G' (mm)		フランジ厚さの評価： $t \leq t_{f\ell}$ よって十分である。	
G_0 (mm)			
m			
y (N/mm ²)			
b'_0 (mm)			
b' (mm)			

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

系統：中央制御室換気空調系

弁番号	V30-D305A	シート	1
-----	-----------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)			d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	40		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			\varnothing (mm)	
弁箱材料			t_{m1} (mm)	13.6
弁ふた材料			t_{m2} (mm)	1.4
P_1 (MPa)	—	—	t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)	—	—	t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)	—	—		
t_2 (mm)	—	—		
t (mm)	13.6	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 VI-3-3-5-1-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		ボルトの計算	
P_{FD} (MPa)		H' (N)	30.01
P_{eq} (MPa)		H'_p (N)	4.952
T_m (°C)	40	H_R (N)	88.45
M_e (N・mm)		H_D (N)	10.93
F_e (N)		h_D (mm)	30.0
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 4 図 1	H'_T (N)	19.08
フランジ		h'_T (mm)	19.8
材料		h'_p (mm)	9.5
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		h_R (mm)	8.5
B (mm)		W_{m1} (N)	123.4
C (mm)		W_{m2} (N)	1.023×10^4
g_1 (mm)		A_{m1} (mm ²)	2.023
ボルト		A_{m2} (mm ²)	167.7
材料		A_m (mm ²)	167.7
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		A_b (mm ²)	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		評価： $A_m < A_b$	
n		よって十分である。	
d_b (mm)		フランジ厚さの計算	
d_h (mm)		$t_{f\ell}$ (mm)	
ガスケット		M_0 (N・mm)	751.8
材料		t (mm)	
G' (mm)		フランジ厚さの評価： $t \leq t_{f\ell}$	
G ₀ (mm)		よって十分である。	
m			
y (N/mm ²)			
b' ₀ (mm)			
b' (mm)			

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

系統：中央制御室換気空調系

弁番号	V30-D305B	シート	1
-----	-----------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)			d_n (mm)	
最高使用温度 T_m (°C)	40		d_n / d_m	
弁箱又は弁ふたの厚さ			ϕ (mm)	
弁箱材料			t_{m1} (mm)	13.6
弁ふた材料			t_{m2} (mm)	1.4
P_1 (MPa)	—	—	t_{ma1} (mm)	
P_2 (MPa)	—	—	t_{ma2} (mm)	
d_m (mm)			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
t_1 (mm)	—	—		
t_2 (mm)	—	—		
t (mm)	13.6	—		
t_{ab} (mm)				
t_{af} (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 VI-3-3-5-1-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		ボルトの計算	
P_{FD} (MPa)		H' (N)	30.01
P_{eq} (MPa)		H'_p (N)	4.952
T_m (°C)	40	H_R (N)	92.44
M_e (N・mm)		H_D (N)	9.424
F_e (N)		h_D (mm)	32.5
フランジの形式	JIS B 8265 附属書 4 図 1	H'_T (N)	20.59
フランジ		h'_T (mm)	21.0
材料		h'_p (mm)	9.5
σ_{fb} (MPa) 最高使用温度 (使用状態)		h_R (mm)	8.5
B (mm)		W_{m1} (N)	127.4
C (mm)		W_{m2} (N)	1.023×10^4
g_1 (mm)		A_{m1} (mm ²)	2.089
		A_{m2} (mm ²)	167.7
ボルト		A_m (mm ²)	167.7
材料		A_b (mm ²)	
σ_a (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20°C)		評価： $A_m < A_b$ よって十分である。	
σ_b (MPa) 最高使用温度 (使用状態)			
n			
d_b (mm)		フランジ厚さの計算	
d_h (mm)		$t_{f\ell}$ (mm)	
ガスケット		M_0 (N・mm)	785.7
材料		t (mm)	
G' (mm)		フランジ厚さの評価： $t \leq t_{f\ell}$ よって十分である。	
G_0 (mm)			
m			
y (N/mm ²)			
b'_o (mm)			
b' (mm)			

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

1.3 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

1.3.1 弁箱（使用材料規格：）の評価結果

（比較材料：J I S G 5 1 5 1 SCPH1）

弁番号 V30-D301A, B, V30-D302A, B, V30-D303, D304 及び V30-D305A, B の弁箱に使用しているは、クラス 2 弁の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから、クラス 2 弁の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等以上であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等以上である。
比較材料	410 N/mm ² 以上	205 N/mm ² 以上	

(2) 化学的成分

	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料										
比較材料	0.25 以下	0.60 以下	0.70 以下	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	—	—
比較結果	<p>C, Si, Mn, P, S 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考える。</p> <p>C：溶接性に影響を与える成分であるが、本部品に溶接部はないこと。また、脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、薄肉の管(16mm 未満の 2.3mm 又は 3.2mm)に接続する弁であるため、設計・建設規格クラス 2 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(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> <p>Mn：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1)の評価結果からも機械的強度は同等以上であること。また、脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、薄肉の管(16mm 未満の 2.3mm 又は 3.2mm)に接続する弁であるため、設計・建設規格クラス 2 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>P：冷間脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、薄肉の管(16mm 未満の 2.3mm 又は 3.2mm)に接続する弁であるため、設計・建設規格クラス 2 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p>									

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	S：熱間脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、薄肉の管(16mm未満の2.3mm又は3.2mm)に接続する弁であるため、設計・建設規格クラス2の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分、いずれにおいても比較材料と同等以上であることを確認したため、本設備において、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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3.2 弁ふたボルト（使用材料規格：）の評価結果

（比較材料：J I S G 4051 S20C）

弁番号 V30-D301A, B, V30-D302A, B, V30-D303, D304 及び V30-D305A, B の弁ふたボルトに使用しているは、クラス 2 弁の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されていないことから、クラス 2 弁の使用可能な材料として設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等以上であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料			引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	402 N/mm ² 以上	245 N/mm ² 以上	

(2) 化学的成分

	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料										
比較材料	0.18 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	0.030 以下	0.035 以下	—	—	—	—	—
比較結果	<p>C, Si, Mn, P, S 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> <p>C：溶接性に影響を与える成分であるが、本部品に溶接部はないこと。また、脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、小径（呼び径 25mm 未満の呼び径 8mm 又は 12mm）のボルトであるため、脆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 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(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> <p>Mn：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1)の評価結果からも機械的強度は同等以上であること。また、脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、小径（呼び径 25mm 未満の呼び径 8mm 又は 12mm）のボルトであるため、脆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 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p>									

O 2 VI-3-3-5-1-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	<p>P：冷間脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、小径（呼び径 25mm 未満の呼び径 8mm 又は 12mm）のボルトであるため、脆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 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p> <p>S：熱間脆性に影響を与える成分であるが、本部品において使用される材料は、小径（呼び径 25mm 未満の呼び径 8mm 又は 12mm）のボルトであるため、脆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 の規定で破壊靱性試験が要求されない範囲であること。</p>
--	---

(3) 評価結果

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分、いずれにおいても比較材料と同等以上であることを確認したため、本設備において、

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。