

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-020 改 45
提出年月日	2023年3月15日

工事計画に係る補足説明資料
(安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の
下における健全性に関する説明書)

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料
 添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

資料 No.	添付説明資料名	補足説明資料（内容）	備考
1	安全設備及び重大事故等 対処設備が使用される条 件の下における健全性に 関する説明書		
2	可搬型重大事故等対処設 備の保管場所及びアクセ スルート	1. 送電鉄塔他の影響評価について 1.1 220kV 第二島根原子力幹線 No.1 及び No.2 鉄塔の耐震評価 1.1.1 解析手法 1.1.2 送電鉄塔解析手順 1.1.3 解析コード 1.1.4 解析モデルの設定 1.1.5 固有値解析結果 1.1.6 解析用入力地震波 1.1.7 解析条件 1.1.8 部材強度 1.1.9 解析結果 1.1.10 送電鉄塔基礎の耐震評価 1.1.11 解析結果 1.2 66kV 鹿島支線 No.2-1 鉄塔の耐震評価 1.2.1 解析手法 1.2.2 送電鉄塔解析手順 1.2.3 解析コード 1.2.4 解析モデルの設定 1.2.5 固有値解析結果 1.2.6 解析用入力地震波 1.2.7 解析条件 1.2.8 部材強度 1.2.9 解析結果 1.2.10 送電鉄塔基礎の耐震評価 1.2.11 解析結果 1.3 第2-66kV 開閉所屋外鉄構の耐震評価 1.3.1 解析手法 1.3.2 屋外鉄構解析手順 1.3.3 解析コード 1.3.4 解析モデルの設定 1.3.5 固有値解析結果 1.3.6 解析用入力地震波 1.3.7 解析条件 1.3.8 部材強度 1.3.9 解析結果 1.3.10 屋外鉄構基礎の耐震性確認 1.4 通信用無線鉄塔の耐震評価 1.4.1 解析手法 1.4.2 鉄塔の解析手順	今回提出 範囲

資料 No.	添付説明資料名	補足説明資料（内容）	備考
2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	<p>1. 4. 3 解析コード</p> <p>1. 4. 4 解析モデルの設定</p> <p>1. 4. 5 固有値解析結果</p> <p>1. 4. 6 解析用入力地震波</p> <p>1. 4. 7 解析条件</p> <p>1. 4. 8 部材強度</p> <p>1. 4. 9 解析結果</p> <p>1. 4. 10 鉄塔基礎の耐震性確認</p> <p>1. 5 鉄塔滑落評価</p> <p>1. 5. 1 評価方針</p> <p>1. 5. 2 評価対象鉄塔の抽出</p> <p>1. 5. 3 地震による鉄塔倒壊事例の調査・分析による影響評価の前提条件整理</p> <p>1. 5. 4 送電鉄塔の影響評価</p> <p>1. 5. 5 まとめ</p> <p>別紙ー1 加速度応答スペクトル</p> <p>別紙ー2 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 及びNo. 2 鉄塔部材仕様</p> <p>別紙ー3 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 鉄塔 Ss-D 入力時における鉛直成分について</p> <p>別紙ー4 水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せによる鉄塔の耐震評価への影響</p> <p>別紙ー5 現状の鉄塔基礎耐震評価における妥当性確認について</p> <p>別紙ー6 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 鉄塔基礎の耐震補強について</p> <p>別紙ー7 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 鉄塔の地盤の支持性能について</p> <p>別紙ー8 220kV 第二島根原子力幹線 No. 1 鉄塔基礎の支持力算出結果</p> <p>別紙ー9 220kV 第二島根原子力幹線 No. 2 鉄塔基礎の支持力算出結果 (a 脚及び d 脚の場合)</p> <p>別紙ー10 66kV 鹿島支線 No. 2-1 鉄塔部材仕様</p> <p>別紙ー11 66kV 鹿島支線 No. 2-1 鉄塔基礎の耐震補強について</p> <p>別紙ー12 第 2ー66kV 開閉所屋外鉄構部材仕様</p> <p>別紙ー13 第 2ー66kV 開閉所屋外鉄構基礎材と基礎コンクリートの健全性について</p> <p>別紙ー14 通信用無線鉄塔部材仕様</p> <p>別紙ー15 500kV 及び 66kV 送電線保護装置について</p> <p>別紙ー16 当社送電鉄塔の倒壊事例 (66kV 1 導体) について</p> <p>別紙ー17 改良地盤⑦の物性値の設定方法について</p> <p>(参考資料) 500kV 島根原子力幹線 3 基が同時倒壊し滑落する場合の鉄塔滑落評価</p>	今回提出範囲

資料 No.	添付説明資料名	補足説明資料（内容）	備考
2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルー	<p>2. 保管場所及び屋外のアクセスルート周辺の斜面及び敷地下斜面すべり安定性評価について</p> <p>2.1 概要</p> <p>2.2 評価フロー</p> <p>2.3 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面の網羅的な抽出</p> <p>2.3.1 離隔距離の考え方</p> <p>2.4 液状化範囲の検討</p> <p>2.4.1 液状化範囲の検討フロー</p> <p>2.4.2 液状化範囲の検討方法及び検討結果</p> <p>2.5 保管場所及びアクセスルートに影響するおそれのある斜面のグループ分け</p> <p>2.6 評価対象斜面の選定及び評価</p> <p>2.6.1 評価フロー（詳細）</p> <p>2.6.2 選定方針及び評価方法</p> <p>2.6.3 評価対象斜面の選定及び評価結果</p> <p>2.7 対策工（抑止杭）に関する詳細検討</p> <p>2.7.1 基本方針</p> <p>2.7.2 抑止杭の設計</p> <p>2.7.3 抑止杭の耐震評価</p> <p>2.7.4 抑止杭を設置した斜面の安定性評価</p> <p>2.7.5 構造等に関する先行炉との比較</p> <p>2.7.6 対策工（抑止杭）を設置した斜面の抑止杭間の岩盤の健全性</p> <p>2.8 その他の検討</p> <p>2.8.1 鉄塔が設置されている斜面の安定性評価</p> <p>2.8.2 岩盤斜面と盛土斜面の同時崩壊検討</p> <p>2.8.3 応力状態を考慮した検討</p> <p>2.9 安全対策工事に伴う掘削を踏まえた周辺斜面及び敷地下斜面のすべり安定性評価</p> <p>2.9.1 概要</p> <p>2.9.2 評価フロー</p> <p>2.9.3 評価対象断面への掘削箇所の反映</p> <p>2.9.4 岩盤斜面の安定性評価</p> <p>2.9.5 盛土斜面の安定性評価</p> <p>2.9.6 評価方法</p> <p>2.9.7 岩盤斜面の安定性評価結果</p> <p>2.9.8 盛土斜面の安定性評価結果</p> <p>(参考資料 1) 各断面の比較検討結果及び評価対象斜面の選定根拠</p> <p>(参考資料 2) すべり安定性評価の基準値の設定について</p> <p>(参考資料 3) 斜面のすべり安定性評価に用いた解析コードの適用性について</p>	今回提出範囲

資料 No.	添付説明資料名	補足説明資料（内容）	備考
2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	(参考資料 4) D級岩盤等の間隙率の設定について (参考資料 5) 入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについて	今回提出 範囲
		3. 液状化及び揺すり込みによる沈下量及び傾斜の算定方法について	
		4. 保管場所における液状化及び揺すり込みによる不等沈下・傾斜，液状化に伴う浮き上がりによる影響評価について	
		5. 保管場所における地盤支持力評価について	
		6. 保管場所及び屋外のアクセスルート近傍の障害となり得る構造物と影響評価について	
		7. 保管場所及び屋外のアクセスルート周辺構造物の耐震性評価について	
		7.1 他資料において耐震性を確認している周辺構造物	
		7.2 建物・構築物の耐震性評価	
		7.2.1 免震重要棟の耐震性評価	
		7.2.2 1号機原子炉建物の外装材の耐震性評価	
		7.2.3 建物の外装材以外の部材の耐震性評価	
		7.2.4 第二輪谷トンネルの耐震性評価	
		7.2.5 連絡通路の耐震性評価	
		7.2.6 2号機開閉所防護壁の耐震性評価	
		7.2.7 補助消火水槽の耐震性評価	
		7.2.8 重油タンク (No. 1, 2, 3) の溢水防止壁の耐震性評価	
		7.3 機器・配管の耐震性評価	
7.3.1 第2 予備変圧器の耐震性評価			
7.3.2 重油移送配管（防波壁乗り越え箇所）の耐震性評価			
7.3.3 送電鉄塔他の耐震性評価			
8. 屋外のアクセスルートの段差緩和対策等について			
9. 屋外のアクセスルートの側方流動評価について			
10. 屋内のアクセスルートの設定について			
11. 屋内のアクセスルート確保のための対策について			
12. 可搬型重大事故等対処設備の保管場所について			
13. 森林火災時における屋外のアクセスルートへの影響について			
14. 土石流による影響評価について			
15. 主要変圧器の火災発生防止対策について			

資料 No.	添付説明資料名	補足説明資料（内容）	備考
2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	16. 屋外タンク等からの溢水影響評価について 17. 第4保管エリアの変更に伴う影響について 18. 重油移送配管の経路変更に伴う影響について 19. 防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工による屋外のアクセスルートへの影響について 20. 可燃物施設火災時の影響評価方法について 21. 安全対策工事に伴う西側工事エリア周辺の屋外のアクセスルートへの影響について	今回提出範囲
3	発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止について		
4	ブローアウトパネル関連設備の設計方針		

可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルートに
係る補足説明資料

目 次

1. 送電鉄塔他の影響評価について
2. 保管場所及び屋外のアクセスルートの周辺斜面及び敷地下斜面すべり安定性評価について
3. 液状化及び揺すり込みによる沈下量及び傾斜の算定方法について
4. 保管場所における液状化及び揺すり込みによる不等沈下・傾斜，液状化に伴う浮き上がりによる影響評価について
5. 保管場所における地盤支持力評価について
6. 保管場所及び屋外のアクセスルート近傍の障害となり得る構造物と影響評価について
7. 保管場所及び屋外のアクセスルート周辺構造物の耐震性評価について 1
8. 屋外のアクセスルートの段差緩和対策等について
9. 屋外のアクセスルートの側方流動評価について
10. 屋内のアクセスルートの設定について
11. 屋内のアクセスルート確保のための対策について
12. 可搬型重大事故等対処設備の保管場所について
13. 森林火災時における屋外のアクセスルートへの影響について
14. 土石流による影響評価について
15. 主要変圧器の火災発生防止対策について
16. 屋外タンク等からの溢水影響評価について
17. 第4保管エリアの変更に伴う影響について
18. 重油移送配管の経路変更に伴う影響について
19. 防波壁通路防波扉に設置する漂流物対策工による屋外のアクセスルートへの影響について
20. 可燃物施設火災時の影響評価方法について
21. 安全対策工事に伴う西側工事エリア周辺の屋外のアクセスルートへの影響について

7.3 機器・配管の耐震性評価

7.3.1 第2予備変圧器の耐震性評価

(1) 概要

島根原子力発電所の第2-66kV開閉所で使用する第2予備変圧器は油入変圧器であり、本体部のタンクと放熱器内に絶縁油が内包されており、地震によりタンク若しくは放熱器が損傷した場合、絶縁油が流出する可能性がある。

本資料は、第2予備変圧器が、基準地震動 S_s による地震力に対して、十分な耐震性を有することにより、屋外のアクセスルートに火災による影響がないことを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

(2) 一般事項

a. 対象機器

第2予備変圧器の仕様を表7.3.1-1に示す。

表 7.3.1-1 第2予備変圧器の仕様

機器名	定格容量(MVA)	定格電圧(kV)
第2予備変圧器	25	69/6.9

b. 構造計画

第2予備変圧器の構造計画を表7.3.1-2及び表7.3.1-3に示す。

表 7.3.1-2 構造計画 (変圧器本体)


計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>基礎に埋込ベースが埋め込まれており、その上に変圧器本体が据え付けられている。変圧器本体はタンクと鉄心、巻線で構成された構造物（以下、「中身構造物」という）で構成されており、タンクに中身構造物が格納されている。タンクと中身構造物は振れ止め金具で固定されている。変圧器本体と埋込ベースが基礎耐震金具で溶接にて固定されている。</p>	<p>25MVA 変圧器</p>	

表 7.3.1-3 構造計画 (付属設備)

計画の概要		概略系統図
構造概要	主体構造	
<p>放熱器とコンサベータが配管で変圧器本体に連結されている。連結部及びフランジとの接続については溶接にて固定されている。また、避圧弁取付配管及び衝撃油圧継電器取付配管が変圧器本体に接続されている。接続部については、溶接にて固定されている。</p>	<p>25MVA 変圧器</p>	

c. 評価方針

第2予備変圧器の地震時における健全性の確認は、「(2) b. 構造計画」にて示す第2予備変圧器の部位を踏まえ「(3) 評価部位」にて設定する箇所において、「(4) 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「(5) 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

第2予備変圧器の耐震評価フローを図7.3.1-1に示す。

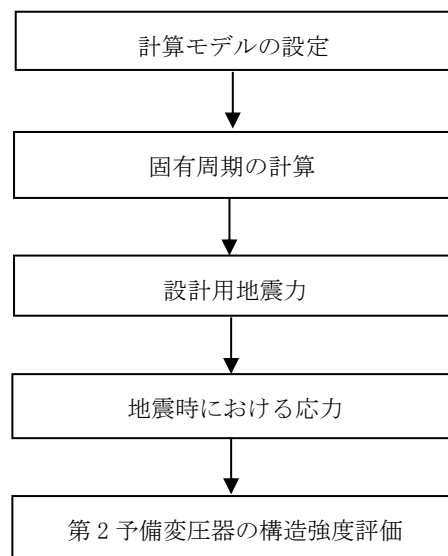


図7.3.1-1 第2予備変圧器の耐震評価フロー

d. 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (a) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会) (以下「JEAG 4601・補-1984」という。)
- (b) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会) (以下「JEAG 4601-1987」という。)
- (c) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- (d) 変電所等における電気設備の耐震設計指針 (JEAG 5003-2010) (以下「JEAG 5003-2010」という。)
- (e) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

e. 記号の説明

表 7.3.1-4 に記号の説明を示す。

表 7.3.1-4 記号の説明 (1/2)

記号	記号の説明	単位
A	基礎耐震金具溶接部の有効断面積	mm ²
A _{s i}	有効せん断断面積* ¹	mm ²
A _i	断面積* ¹	mm ²
a ₁ , a ₂	タンク断面の縦幅	mm
b ₁ , b ₂	タンク断面の横幅	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D ₀	管の外径	mm
E _i	縦弾性係数* ¹	MPa
F _b	基礎耐震金具 1 個に作用する引抜荷重	N
F _{HX}	基礎耐震金具 1 個に作用する水平荷重	N
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
f _s [*]	許容せん断応力	MPa
G _i	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	変圧器重心高さ	mm
h _i	機器全体重心高さ* ¹	mm
i ₁	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値	—
i ₂	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値	—
I _i	断面二次モーメント* ¹	mm ⁴
k _i	ばね定数* ¹	N/mm
k _{x i}	形状係数* ¹	—
L ₁	変圧器重心と基礎耐震金具の間隔	mm
L ₂	基礎耐震金具間の間隔	mm
L _a , L _b , L _c …L _n	基礎耐震金具間の間隔	mm
Ma	管の機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。) により生じるモーメント	N・mm
Mb	管の機械的荷重 (地震を含めた短期的荷重) により生じるモーメント	N・mm
Mb*	地震による慣性力により生じるモーメントの全振幅	N・mm

表 7.3.1-4 記号の説明 (2/2)

記号	記号の説明	単位
M_c	地震による相対変位により生じるモーメントの全振幅	$N \cdot mm$
m_i	質量*1	kg
N	基礎耐震金具員数	—
P	地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S_n	一次+二次応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
T	固有周期	s
t	管の厚さ	mm
W	変圧器本体質量	kg
π	円周率	—
ν_i	ポアソン比*1	—
σ	溶接部引張応力	MPa
τ	溶接部せん断応力	MPa

注記*1：添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 2$: タンク

$i = 3$: 中身構造物

f. 数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 7.3.1-5 に示すとおりである。

表 7.3.1-5 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
せん断弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ¹
ばね定数	N/mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ¹
形状係数	—	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ¹
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
発生応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

(3) 評価部位

第 2 予備変圧器の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる基礎耐震金具及び絶縁油配管について実施する。評価部位の選定の考え方を以下に示し、第 2 予備変圧器の耐震評価部位については、表 7.3.1-2 及び表 7.3.1-3 構造計画の概略構造図に示す。

a. 変圧器本体の評価部位

変圧器本体は、絶縁油を内包するタンクに接合された基礎耐震金具が基礎に定着する構造となっている。構造強度上の最弱部となる基礎耐震金具が地震により損傷した場合、変圧器本体が滑動、転倒することでタンクが損傷し、内包された絶縁油が流出するおそれがある。

また、J E A G 5 0 0 3-2010 において、「変圧器本体を基礎に固定する基礎ボルトが破断し本体が滑動しないよう、基礎ボルトの強度を十分に確保し得る施工上の注意が必要である」と示されている。

以上のことから、変圧器本体の評価部位は基礎耐震金具を選定する。

b. 付属設備の評価部位

付属設備は、絶縁油を内包する放熱器及びコンサベータが変圧器本体の梁を介して共用構造となっており、これらが変圧器本体と配管で連結される構造となっている。また、変圧器本体に絶縁油を内包する避圧弁取付配管及び衝撃油圧継電器取付配管が接続される構造となっている。これらの付属設備が損傷した場合、内包する絶縁油が流出するおそれがある。

付属設備のうち、放熱器及びコンサベータは剛性が大きく、十分な耐震性を有していると考えられるが、配管はこれらと比較して剛性が小さく、構造強度上の最弱部となると考えられる。

以上のことから、付属設備の評価部位は絶縁油を内包する配管(以下「絶縁油配管」という。)を選定する。

(4) 固有周期

a. 基礎耐震金具

(a) 固有周期の計算方法

計算モデルの考え方を以下に示す。

- イ. 変圧器本体は中身構造物がタンクの中に格納されている構造となっており、中身構造物とタンクは振れ止め金具により結合している。
- ロ. 変圧器本体は基礎に埋め込まれている埋込ベースと基礎耐震金具によって溶接にて固定されている。
- ハ. 各部の質量は重心に集中するものとする。
- ニ. 水平方向については中身構造物とタンクが振れ止め金具により結合され、基礎が固定されていることから、図 7.3.1-2(a) に示す 2 質点系の振動モデルとして考える (J E A G 4 6 0 1-1987「立形ポンプ」準用)。
- ホ. 鉛直方向については中身構造物とタンクが振れ止め金具により結合されているが、振れ止め金具の剛性が水平方向と比較して低いことから、中身構造物とタンクを個別で考え、図 7.3.1-2(b) に示す 1 質点系の振動モデルとして考える。

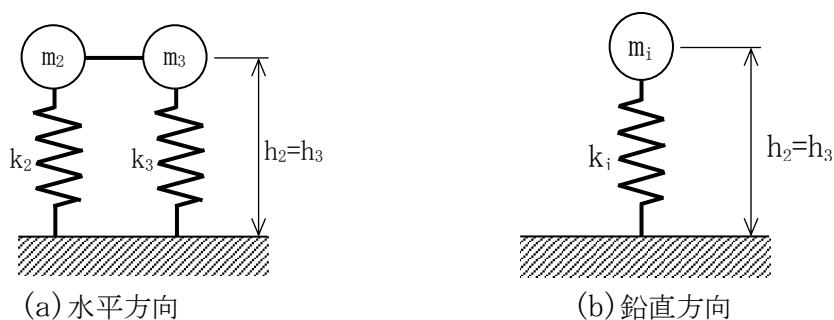


図 7.3.1-2 固有周期の計算モデル

水平方向の固有周期は図 7.3.1-2(a) のモデルとなることから、次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(m_2 + m_3) \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E_2 \cdot I_2} + \frac{h_2}{A_{S2} \cdot G_2} \right) \cdot \left(\frac{h_3^3}{3 \cdot E_3 \cdot I_3} + \frac{h_3}{A_{S3} \cdot G_3} \right)}{10^3 \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E_2 \cdot I_2} + \frac{h_2}{A_{S2} \cdot G_2} + \frac{h_3^3}{3 \cdot E_3 \cdot I_3} + \frac{h_3}{A_{S3} \cdot G_3} \right)}}$$

ここで、水平方向のばね定数 k_i は次式による値とする。

$$k_i = \frac{1}{\frac{h_i^3}{3 \cdot E_i \cdot I_i} + \frac{h_i}{G_i \cdot A_{Si}}}$$

よって、水平方向の固有周期は次式で表される。

$$\begin{aligned} T &= 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(m_2 + m_3) \cdot \frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{k_3}}{10^3 \cdot \left(\frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \right)}} \\ &= 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2 + m_3}{10^3 \cdot (k_2 + k_3)}} \quad (\text{s}) \end{aligned}$$

なお、せん断弾性係数 G_i は次式による値とする。

$$G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)} \quad (\text{MPa})$$

また、有効せん断断面積 A_{Si} は次式による値とする。

$$A_{Si} = \frac{A_i}{k_{xi}} \quad (\text{mm}^2)$$

形状係数 k_{xi} は次式による値とする。

$$k_{x2} = \frac{3 \cdot (a_2 \cdot b_2^2 - a_1 \cdot b_1^2) \cdot (a_2 \cdot b_2 - a_1 \cdot b_1)}{2 \cdot (a_2 \cdot b_2^3 - a_1 \cdot b_1^3) \cdot (a_2 - a_1)} \quad (\text{X 方向})$$

$$k_{y2} = \frac{3 \cdot (b_2 \cdot a_2^2 - b_1 \cdot a_1^2) \cdot (b_2 \cdot a_2 - b_1 \cdot a_1)}{2 \cdot (b_2 \cdot a_2^3 - b_1 \cdot a_1^3) \cdot (b_2 - b_1)} \quad (\text{Y 方向})$$

$$k_{x3} = \frac{4}{3}$$

このとき、 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 は、図 7.3.1-3 に次式による値とする。

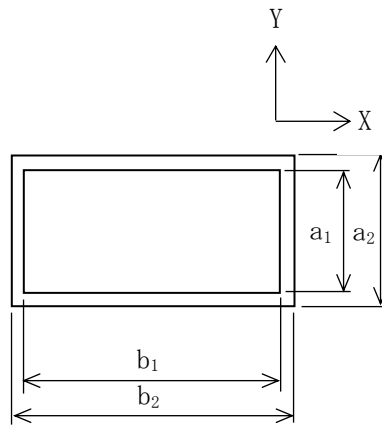


図 7.3.1-3 タンク断面

鉛直方向の固有周期は図 7.3.1-2(b) のモデルとなることから、次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_i}{10^3 \cdot k_i}} \text{ (s)}$$

ここで、鉛直方向のばね定数 k_i は次式による値とする。

$$k_i = \frac{1}{\frac{h_i}{E_i \cdot A_i}}$$

(b) 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、添付資料(1)「基礎耐震金具強度計算」に示す。

(c) 固有周期の計算結果

基礎耐震金具の固有周期の計算結果を表 7.3.1-6 に示す。計算の結果、1次固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 7.3.1-6 1次固有周期 (基礎耐震金具) (単位 : s)

X 方向	Y 方向	鉛直方向	
		タンク	中身構造物

b. 絶縁油配管

絶縁油配管の固有周期の計算は、三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。なお、解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。固有周期の計算に用いる計算条件は、「(5) 構造強度評価」に示す。

固有周期の計算結果を表 7.3.1-7 に示す。計算の結果、1 次固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 7.3.1-7 1 次固有周期（絶縁油配管）（単位：s）

部位	1 次固有周期
放熱器連結配管	
コンサベータ連結配管	
避圧弁取付配管	
衝撃油圧継電器取付配管	

注：許容応力の発生応力に対する裕度が最小となるコンサベータ連結配管を代表として振動モード図を図 7.3.1-4 に示す。

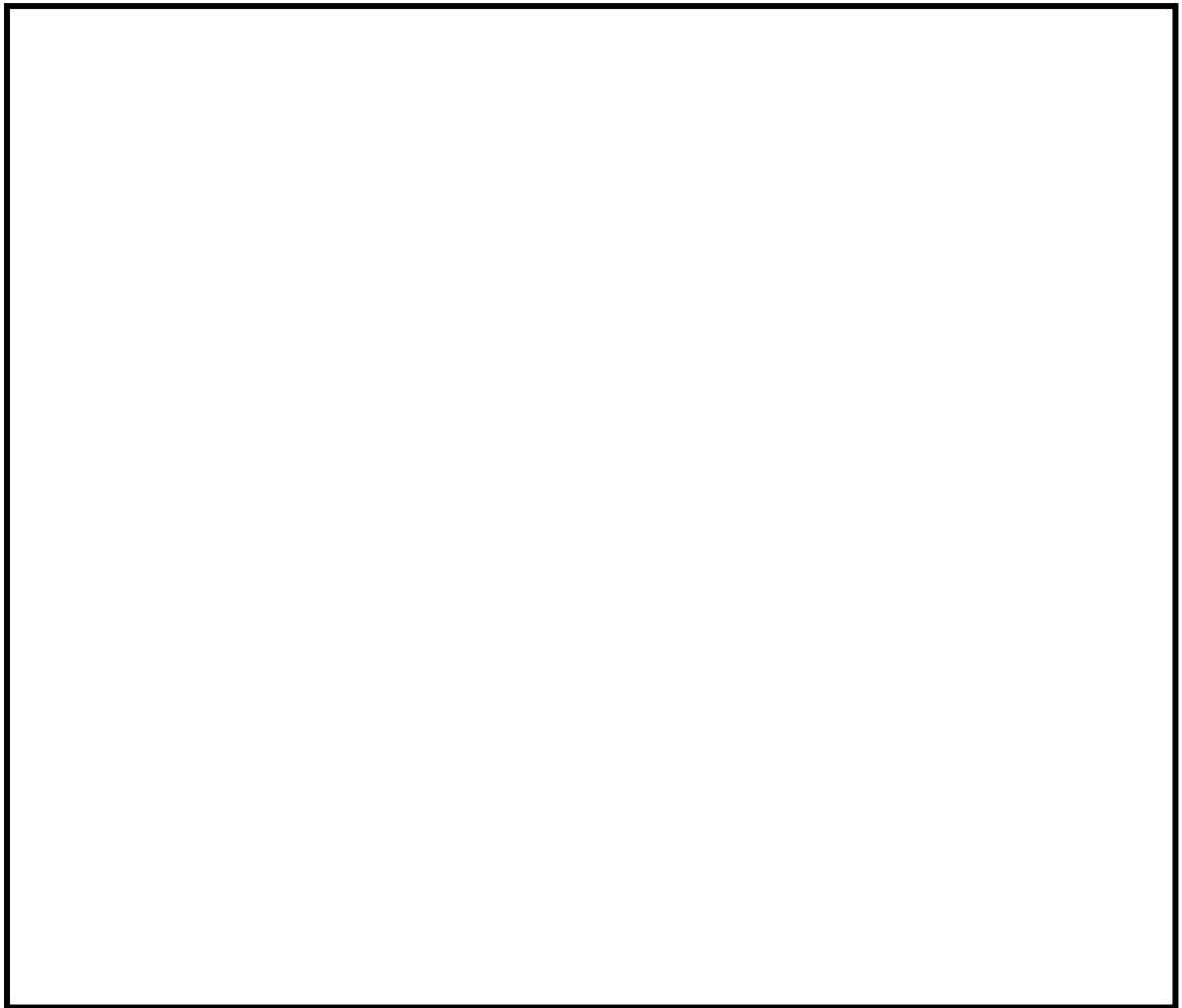


図 7.3.1-4 振動モード図(コンサベータ連結配管)

(5) 構造強度評価

a. 入力地震動

基準地震動 S s 5 波 (S s -D, N1, N2, F1, F2) のうち, 第 2-66kV 開閉所基礎底面 (T.P. +44.2m) における水平及び鉛直方向の最大加速度がいずれも最大である S s -D 波を入力地震動とする。

S s -D 波の最大加速度を表 7.3.1-8 に, 基準地震動 S s 5 波の最大加速度を添付資料 (2) 「第 2-66kV 開閉所における基準地震動 S s 5 波の最大加速度」に示す。

表 7.3.1-8 第 2-66kV 開閉所基礎底面 (T.P. +44.2m) の最大加速度

地震動	加振方向	最大応答加速度 (Gal)
S s -D	水平	
	鉛直	

b. 評価方針

- (a) 変圧器本体の固有周期 (水平, 鉛直方向) 及び絶縁油配管の 1 次固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認したことから, 静的評価を実施する。
- (b) 静的評価においては, 設計震度 (S s -D 波の最大加速度の 1.2 倍の値) を用いて地震力を計算する。
- (c) 耐震評価にあたっては, J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 に基づく応力評価を実施し, 発生応力が許容応力以下であることを確認する。

c. 基礎耐震金具の構造強度評価

(a) 発生応力の計算方法

図 7.3.1-5 に示す基礎耐震金具の構造を考慮し, 図 7.3.1-6 及び図 7.3.1-7 に示す計算モデルを用いて, 以下に示す計算式により, 引張応力とせん断応力を計算する。

イ. (イ) を支点とした基礎耐震金具 1 個に作用する引抜荷重 (引張力) F_b

$$F_b = \frac{C_H \cdot g \cdot W \cdot h - (1 - C_V) \cdot g \cdot W \cdot L_1}{\frac{N}{2} \cdot L_2} \text{ (N)}$$

$$\text{溶接部引張応力 } \sigma = \frac{F_b}{A} \text{ (MPa)}$$

ロ. 基礎耐震金具 1 個に作用する水平荷重 F_{HX}

$$F_{HX} = \frac{C_H \cdot g \cdot W}{N} \text{ (N)}$$

$$\text{溶接部せん断応力 } \tau = \frac{F_{HX}}{A} \text{ (MPa)}$$

ハ. 支点と作用点(図中引張力 F_b が発生する部位)との中間に基礎耐震金具が複数ある場合の計算で(ウ)を支点とした基礎耐震金具 1 個に作用する引抜荷重(引張力) F_b

$$F_b = \frac{La \cdot (C_H \cdot g \cdot W \cdot h - (1 - C_V) \cdot g \cdot W \cdot L_1)}{2 \cdot (La^2 + Lb^2 + Lc^2 + \dots + Ln^2)} \text{ (N)}$$

$$\text{溶接部引張応力 } \sigma = \frac{F_b}{A} \text{ (MPa)}$$

なお、基礎耐震金具間の間隔 $Lb, Lc \dots Ln$ は、 F_b が最大となるように保守的に $Lb=Lc=\dots=0$ として計算する。

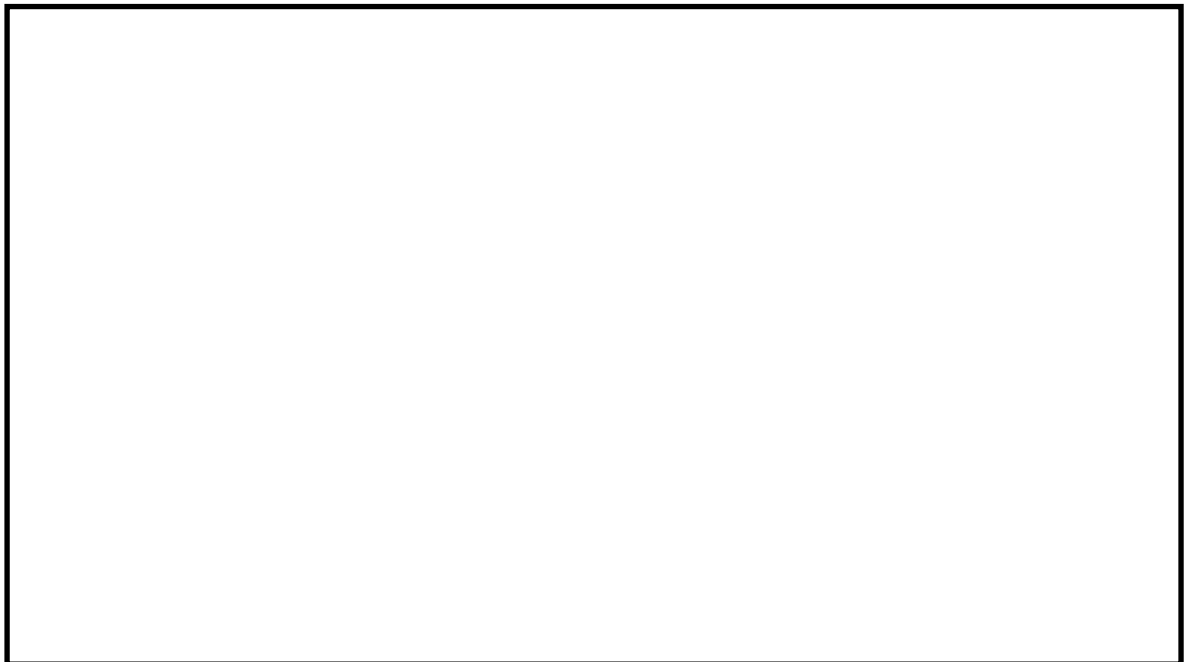
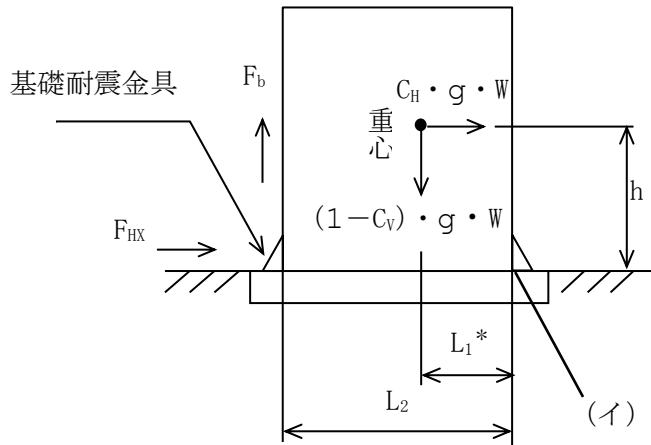
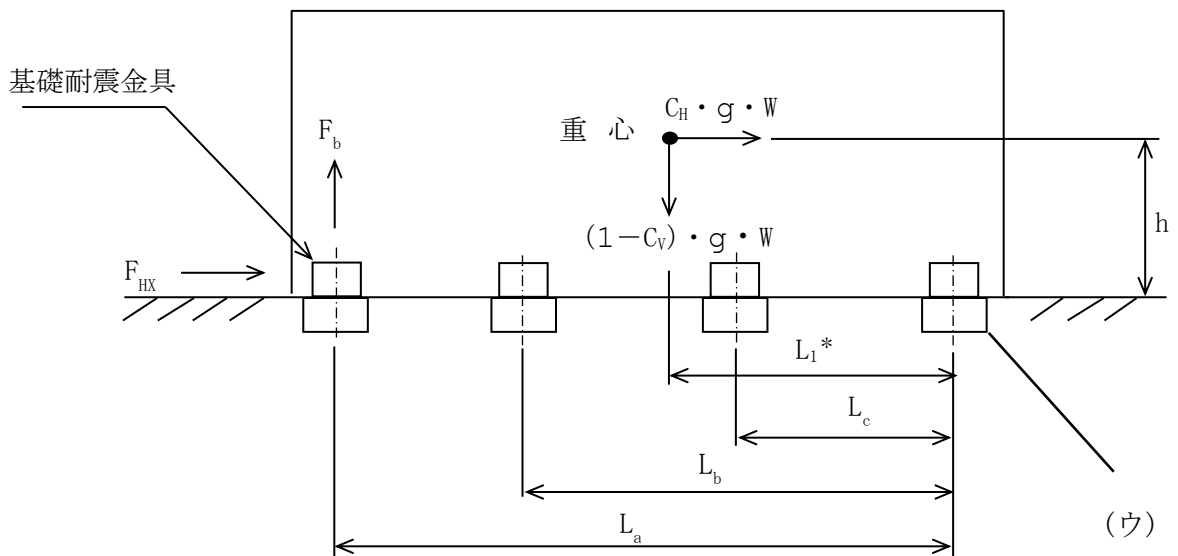


図 7.3.1-5 基礎耐震金具詳細図



注記* : L_1 の寸法は重心が偏心していることから2通り存在する。鉛直方向加速度の向きは $C_V \leq 1$ より下向きとなるため、 F_b が最大となるように L_1 は小さい数値を用いる。

図 7.3.1-6 計算モデル (短辺方向転倒)



注記* : L_1 の寸法は重心が偏心していることから2通り存在する。鉛直方向加速度の向きは $C_V \leq 1$ より下向きとなるため、 F_b が最大となるように L_1 は小さい数値を用いる。

図 7.3.1-7 計算モデル (長辺方向転倒)

(b) 許容応力の計算方法

許容応力は、J E A G 4 6 0 1・補-1984に基づき、以下の計算式により計算する。

$$1.5 \cdot f_s^* \geq \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

表 7.3.1-9 に許容せん断応力の算出式を示す。

表 7.3.1-9 許容せん断応力の算出式

許容せん断応力	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
$1.5 \cdot f_s^*$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(c) 評価結果

基礎耐震金具溶接部の発生応力は許容応力以下であり、健全性に問題がないことを確認した。なお、表 7.3.1-10 は、許容応力の発生応力に対する裕度が最小となる短辺方向転倒条件の計算結果を代表として示す。

計算結果詳細を添付資料(1)「基礎耐震金具強度計算」に示す。

表 7.3.1-10 基礎耐震金具溶接部の発生応力及び許容応力

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	26	160
せん断	16	160
組合せ	31	160

d. 絶縁油配管の構造強度評価

(a) 評価方法

絶縁油配管の構造強度評価は、「(4) a. (a) 固有周期の計算方法」に基づき作成した解析モデルによる地震応答解析を行い、得られたモーメント等を用いて J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 に基づく応力評価を実施する。

応力評価は、一次応力評価及び一次＋二次応力評価を実施し、発生応力が許容応力以下であることを確認する。発生応力及び許容応力の計算方法を表 7.3.1-11 に示す。

表 7.3.1-11 絶縁油配管の発生応力及び許容応力の計算方法

機器等の区分	許容応力状態	応力分類	発生応力	許容応力
クラス3管	IVAS	一次応力	$S_{prn} = \frac{P \cdot D_0}{4 \cdot t} + \frac{0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b)}{Z}$	$0.9 \cdot S_u$
		一次＋二次応力	$S_n = \frac{0.75 \cdot i_1 \cdot M_b^* + i_2 \cdot M_c}{Z}$	$2 \cdot S_y$

(b) 解析モデル

地震応答解析に使用する解析モデル図を図 7.3.1-8 に示す。なお、解析モデル図は、許容応力の発生応力に対する裕度が最小となるコンサベータ連結配管を代表として示す。

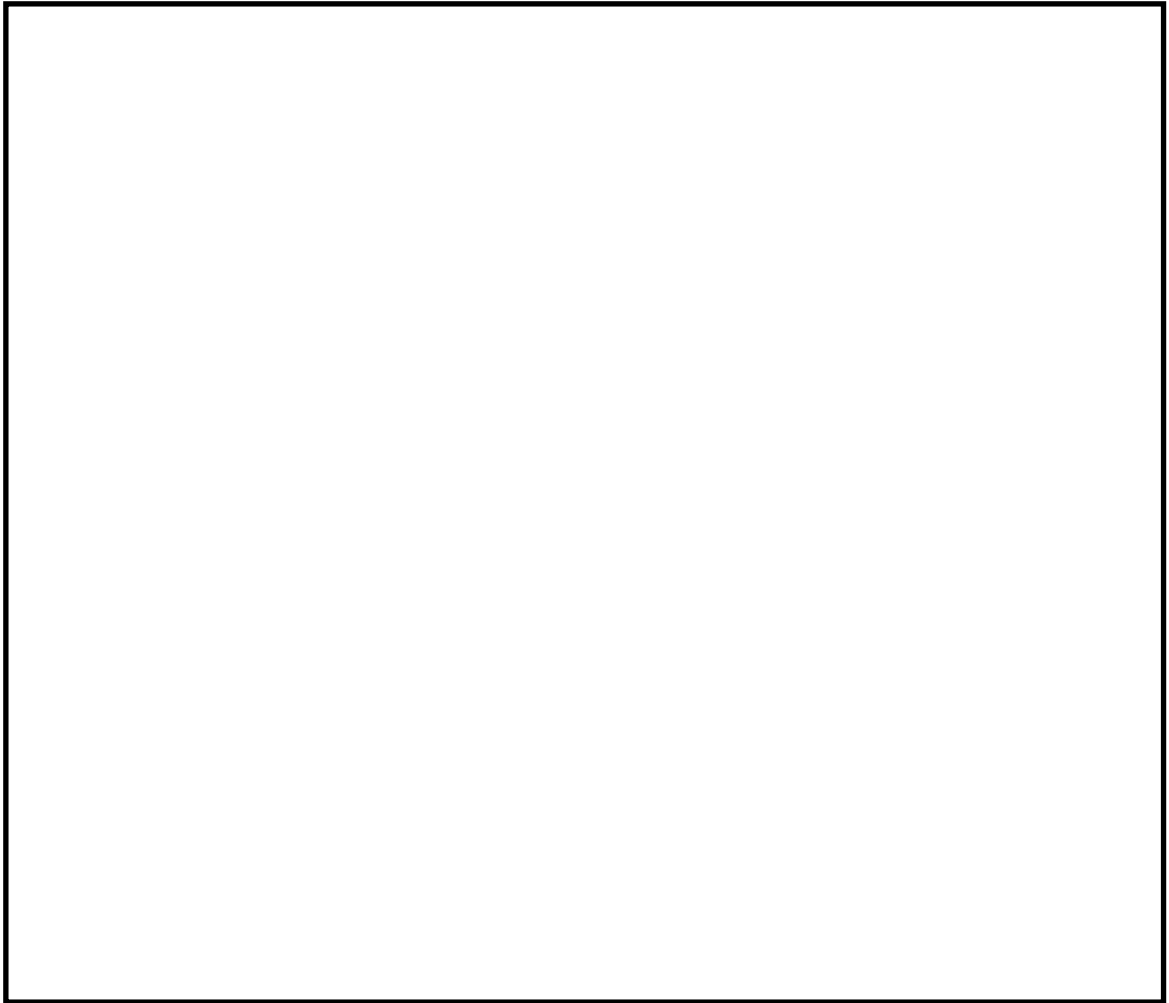


図 7.3.1-8 解析モデル図(コンサベータ連結配管)

(c) 評価条件

評価に当たって考慮する荷重の組合せや設計条件等の計算条件を表 7.3.1-12～表 7.3.1-15 に示す。なお、表 7.3.1-13 の設計条件は、許容応力の発生応力に対する裕度が最小となるコンサベータ連結配管を代表として示す。

表 7.3.1-12 荷重の組合せ及び許容応力状態

評価部位	機器等の区分	荷重の組合せ*	許容応力状態
絶縁油配管	クラス3管	P + D + S _s	IV _A S

注記*：Pは内圧，Dは死荷重，S_sは基準地震動S_sによる慣性力を示す。

表 7.3.1-13 設計条件

評価部位	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)
コンサベータ連結配管	大気圧	95	60.5

厚さ(mm)	材料	縦弾性係数 (MPa)	弁部の質量 (kg)
3.8	SS400	198400	

表 7.3.1-14 材料及び許容応力

評価部位	材料	最高使用温度 (°C)	設計降伏点 S _y (MPa)	設計引張強さ S _u (MPa)
絶縁油配管	SS400	95	223	374

表 7.3.1-15 設計用地震力

評価部位	地震動	設計震度*	
		水平方向	鉛直方向
絶縁油配管	S _s -D		

注記*：最大加速度を1.2倍した震度を示す。

(d) 評価結果

表 7.3.1-16 に示すとおり，絶縁油配管の一次応力評価及び一次＋二次応力評価における発生応力は許容応力以下であり，健全性に問題がないことを確認した。

表 7.3.1-16 絶縁油配管の構造強度評価結果

評価部位	一次応力評価			一次＋二次応力評価		
	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
放熱器連結配管	2	336	168.00	1	446	446.00
コンサバータ連結配管	13	336	25.84	19	446	23.47
避圧弁取付配管	11	336	30.54	18	446	24.77
衝撃油圧継電器取付配管	4	336	84.00	6	446	74.33

基礎耐震金具強度計算

1. 固有周期計算 (タンクと中身構造物連結)

タンク			中身構造物		
縦弾性係数 E_2 (MPa)	せん断弾性 係数 G_2 (MPa)	ポアソン比 ν_2	縦弾性係数 E_3 (MPa)	せん断弾性 係数 G_3 (MPa)	ポアソン比 ν_3
198000	76200	0.3	122000	44500	0.37

タンク断面寸法 (mm)				変圧器本体 質量 $W=m_2+m_3$ (kg)	中身質量 m_3 (kg)	重心高さ h_2, h_3 (mm)
外側		内側				
X 方向 b_2	Y 方向 a_2	X 方向 b_1	Y 方向 a_1			

タンク						
タンク断面積 A_2 (mm ²)	形状係数 $k \times 2$		有効せん断断面積 A_{S2} (mm ²)		断面二次モーメント I_2 (mm ⁴)	
	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向

中身構造物			
中身構造物 断面積 A_3 (mm ²)	有効せん断 断面積 A_{S3} (mm ²)	断面二次モーメント I_3 (mm ⁴)	
		X 方向	Y 方向

ばね定数 k (N/mm)					
X 方向		Y 方向		鉛直方向	
k_2	k_3	k_2	k_3	k_2	k_3

1次固有周期 T (s)			
X方向	Y方向	鉛直方向	
		タンク	中身構造物

2. 基礎耐震金具強度計算

(1) 変圧器短辺方向

地震動	震度		重力加速度 g (m/s ²)	変圧器本体 質量 W (kg)	重心高さ h (mm)	基礎耐震 金具員数 N(全数)
	水平方向 C _H	鉛直方向 C _V				
S s -D			9.80665			

L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	溶接部有効 断面積 A (mm ²)

引抜荷重 F _b (N)	水平荷重 F _{HX} (N)	発生応力 (MPa)		
		引張 σ	せん断 τ	組合せ
		26	16	31

許容応力 (MPa)		
引張	せん断	組合せ
160	160	160

(2) 変圧器長辺方向

地震動	震度		重力加速度 g (m/s ²)	変圧器本体 質量 W (kg)	重心高さ h (mm)	基礎耐震 金具員数 N(全数)
	水平方向 C _H	鉛直方向 C _V				
S s -D			9.80665			

L ₁ (mm)	L _a (mm)	溶接部有効 断面積 A (mm ²)

引抜荷重 F _b (N)	水平荷重 F _{HX} (N)	発生応力 (MPa)		
		引張 σ	せん断 τ	組合せ
		19	16	25

許容応力 (MPa)		
引張	せん断	組合せ
160	160	160

第2-66kV開閉所における基準地震動S_s5波の最大加速度

1. 最大加速度

地震波		最大加速度 (Gal)	
第2-66kV開閉所 T.P. +44.2m	S _s -D	水平	
		鉛直	
	S _s -N1	水平	
		鉛直	
	S _s -N2(NS)	水平	
		鉛直	
	S _s -N2(EW)	水平	
		鉛直	
	S _s -F1(NS)	水平	
		鉛直	
	S _s -F1(EW)	水平	
		鉛直	
	S _s -F2(NS)	水平	
		鉛直	
	S _s -F2(EW)	水平	
		鉛直	

2. 加速度時刻歴波形 (S_s-D)

水平方向及び鉛直方向の最大加速度がいずれも最大となるS_s-D波の加速度時刻歴波形を参考として以下に示す。

