

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-028 改 01
提出年月日	2022年1月24日

工事計画に係る補足説明資料
(各クラス機器の強度に関する計算書)

2022年1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。

各クラス機器の強度に関する説明書の補足説明資料目次

1. 補足説明資料と添付資料の関連

2. 補足説明資料

2.1 全般に関する補足説明資料

資料 1 強度に関する説明書における適用規格の整理

資料 2 各クラス機器の強度計算書の説明分類

資料 3 強度評価対象弁の選定について

資料 4 ボルトの評価断面について

2.2 クラス 3 機器に関する補足説明資料

資料 5 技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法及び消防法の規定の比較

2.3 重大事故等クラス 2 機器に関する補足説明資料

今回提出範囲

資料 6 重大事故等クラス 2 機器に用いられるクラス 1 機器の事故時の強度評価について

資料 7 重大事故等クラス 2 管の疲労評価について

資料 8 重大事故等クラス 2 機器におけるクラス 2 機器の規定によらない場合の評価

資料 9 重大事故等クラス 2 容器のうち、だ円形マンホールの厚さ計算に適用する評価手法の妥当性について

資料 10 重大事故等クラス 2 管のうち、伸縮継手の全伸縮量について

資料 11 容器の平板の穴の補強計算について

資料 12 空気だめの座屈に係る解析評価について

2.4 重大事故等クラス 3 機器に関する補足説明資料

今回提出範囲

資料 13 重大事故等クラス 3 機器の強度評価における耐圧試験を用いた裕度の考え方について

重大事故等クラス 2 機器に用いられる
クラス 1 機器の事故時の強度評価について

目 次

1. はじめに	1
2. 施設時の要求と既工認の強度評価状況	1
3. 重大事故等クラス2機器でクラス1機器の強度評価方針	2
4. 原子炉圧力容器の強度評価方法	3
4.1 確認内容	3
5. 重大事故等クラス2管でクラス1管の強度評価方法	7
5.1 応力評価	7
5.2 板厚評価	7

1. はじめに

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」（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第六号）第55条第1項第二号及び第五号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。具体的には、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）又は施設時に適用された規格を用いて重大事故等時に機器が十分な強度を有することを確認する必要がある。

ここでは、島根原子力発電所第2号機で重大事故等クラス2であってクラス1機器の対象となる原子炉圧力容器及び重大事故等クラス2管でクラス1管に関する施設時の基準、建設時工認の評価状況の整理を行い、重大事故等時に機器が十分な強度を有することを示すための方針を記載する。

2. 施設時の要求と既工認の強度評価状況

原子炉圧力容器及び重大事故等クラス2管でクラス1管について施設時の基準と既工認の強度評価状況を表2-1に示す。施設時の基準では強度評価は、原子炉圧力容器は応力評価、第1種管は応力評価及び板厚評価が要求されており、既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）ではそれぞれ「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年通産省告示第501号（以下「告示第501号」という。））に基づき評価を実施している。

表2-1 施設時の要求と既工認の強度評価状況

	第1種容器 (原子炉圧力容器)	第1種管
施設時の基準 (昭和55年告示 要求)	応力評価	応力評価 板厚評価
既工認の評価	応力評価	応力評価 板厚評価 (応力評価は許容応力状態ⅢA, ⅣAに代わり許容 応力状態ⅢAS, ⅣASと して評価を実施*)

注記*：既工認では耐震及び強度の評価を1つ（許容応力状態ⅢAS, ⅣASを用いた評価）にまとめて、管の応力計算書として実施。

3. 重大事故等クラス2機器でクラス1機器の強度評価方針

施設時の基準，既工認の評価状況を踏まえて，重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価方針を表3-1に示す。

a. 原子炉圧力容器

原子炉圧力容器はクラス2容器の規定への適合が要求されるが，クラス2容器はその規定に関わらず，クラス1容器の規定に準じてよいと規定されており，クラス1容器の規定により評価を実施する。

原子炉圧力容器の応力評価は施設時の告示第501号での評価結果があり，重大事故等時の評価条件が設計基準の評価条件に包絡することを示した上で，既工認の確認による評価を実施する。

b. 重大事故等クラス2管でクラス1管

重大事故等クラス2管でクラス1管はクラス2管の規定への適合が要求されるが，クラス2管はその規定に関わらず，クラス1管の規定に準じてよいと規定されており，クラス1管の規定により評価を実施する。

重大事故等クラス2管でクラス1管の応力評価は施設時の告示第501号での評価結果があるが，許容応力状態Ⅲ_A，Ⅳ_Aに代わり許容応力状態Ⅲ_AS，Ⅳ_ASとして評価を実施しているため，既工認の確認による評価を実施することができない。今回，改めて許容応力状態Ⅲ_A，Ⅳ_A（設計・建設規格の場合は供用状態C，D）の評価を実施する。

また，重大事故等クラス2管でクラス1管の評価対象範囲は既存設備であるため，設計・建設規格又は告示第501号を準用して重大事故等時の管の応力評価を行う。

重大事故等クラス2管でクラス1管の板厚評価は，施設時の告示第501号での評価結果があり，重大事故等時の評価条件が設計基準の評価条件に包絡することを示した上で，既工認の確認による評価を行う。

表3-1 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価方針

機器クラス	対象機器	施設時の基準で要求される評価	強度評価方針
重大事故等クラス2機器でクラス1機器	原子炉圧力容器	応力評価	既工認の評価条件が重大事故等時の評価条件を包絡することを示し，既工認の結果を確認することで重大事故等時の評価を行う
	重大事故等クラス2管でクラス1管	応力評価	設計・建設規格又は告示第501号のクラス1管の規定を準用して重大事故等時の評価を行う
		板厚評価	既工認の評価条件が重大事故等時の評価条件を包絡することを示し，既工認の結果を確認することで重大事故等時の評価を行う

4. 原子炉圧力容器の強度評価方法

原子炉圧力容器の強度評価については以下の確認内容のとおり、既に実施された評価結果を用いることにより重大事故等時の評価が確認出来ることから、既に実施された評価結果の確認による評価を実施する。

4.1 確認内容

- (1) 技術基準規則第17条におけるクラス1容器の材料、構造及び強度の要求は、技術基準規則第55条における重大事故等クラス2容器に要求される適切な機械的強度及び化学成分、延性破断の防止等の要求に対して、進行性変形による破壊防止及び疲労評価の要求を加えたものになっていることからクラス1容器の規定により評価することが可能である。
また、原子炉圧力容器の応力評価は施設時の告示第501号での評価結果があり、重大事故等時の評価条件が設計基準の評価条件に包絡することを確認する。
- (2) 重大事故等事象は運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が損失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。ここで、評価対象とする重要事故シーケンスについては、技術基準規則第54条に基づき、「**「实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」**（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第五号）第37条における炉心の著しい損傷に至る可能性がある」と想定する事故シーケンスグループから有効性評価にて選定された重要事故シーケンスとする。重大事故等時の事故時荷重を表4-1に、設計基準時の事故時荷重を表4-2に示す。両表に示すとおり、起因となる運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの事故時荷重は、重大事故等時の事故時荷重を包絡している。
また、運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの評価圧力及び評価温度は、重大事故等時における使用圧力及び使用温度を包絡している。

表4-1 重大事故等事象に対する荷重の整理表 (1/2)

重大事故等時					運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの評価 (表4-2)との関係との関係		
事故シーケンス グループ	重要事故 シーケンス	事故時荷重*1	ピーク圧力*2 (MPa[gage])	温度 (°C)	事故時荷重 の包絡性	ピーク圧力 の包絡性	温度 の包絡性
高圧・低圧注水 機能喪失 (給水喪失)	給水喪失+低圧原子炉代替注水系(常設)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/ベント)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.59	約292	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される
高圧注水・減圧 機能喪失 (給水喪失)	給水喪失+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(残留熱除去系)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.59	約292	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される
全交流動力電源 喪失 (長期TB)	全交流動力電源喪失+原子炉隔離時冷却系停止+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.59	約292	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される
全交流動力電源 喪失 (TBD, TBU)	全交流動力電源喪失/全電源喪失+高圧原子炉代替注水+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.74	約294	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される
全交流動力電源 喪失 (TBP)	全交流動力電源喪失+原子炉隔離時冷却系停止+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.59	約292	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される
崩壊熱除去機能 喪失 (取水機能喪失)	全交流動力電源喪失+原子炉隔離時冷却系停止+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(残留熱除去系)	配管破断を伴わない事故シーケンスであり、事故時荷重は生じない。	約7.59	約292	—	過大圧力のピーク圧力9.31MPa[gage]に包絡される。	過大圧力の温度306°Cに包絡される

表4-1 重大事故等事象に対する荷重の整理表 (2/2)

重大事故等時					運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの評価 (表4-2)との関係との関係		
事故シーケンス グループ	重要事故 シーケンス	事故時荷重*1	ピーク圧力*2 (MPa [gage])	温度 (°C)	事故時荷重 の包絡性	ピーク圧力 の包絡性	温度 の包絡性
崩壊熱除去機能 喪失 (RHR機能喪失)	給水喪失+原子炉 隔離時冷却系停止 +低圧原子炉代替 注水系(常設)+ 原子炉格納容器除 熱(代替スプレイ /バント)	配管破断を伴わ ない事故シーケ ンスであり、事 故時荷重は生じ ない。	約7.59	約292	—	過大圧力の ピーク圧力 9.31MPa [gag e]に包絡さ れる。	過大圧力の 温度306°Cに 包絡される
原子炉停止機能 喪失	主蒸気隔離弁誤閉 止+スクラム失敗	配管破断を伴わ ない事故シーケ ンスであり、事 故時荷重は生じ ない。	約8.68	約304	—	過大圧力の ピーク圧力 9.31MPa [gag e]に包絡さ れる。	過大圧力の 温度306°Cに 包絡される
LOCA時注水機能 喪失(中小破断)	外部電源喪失+中 小LOCA+低圧 原子炉代替注水系 (常設)+原子炉 格納容器除熱(代 替スプレイ/ベン ト)	配管破断による ジェット反力が 生じる。	約7.59	約292	— *3	過大圧力の ピーク圧力 9.31MPa [gag e]に包絡さ れる。	過大圧力の 温度306°Cに 包絡される
格納容器 バイパス	インターフェース システムLOCA (残留熱除去系 (低圧注水モー ド)の破断)	格納容器外漏洩 の事故シーケ ンスであり、事 故時荷重は生じ ない。	約7.59	約292	—	過大圧力の ピーク圧力 9.31MPa [gag e]に包絡さ れる。	過大圧力の 温度306°Cに 包絡される
大破断LOCA 事象	大LOCA +低圧原子炉代替 注水系(常設)+ 原子炉格納容器除 熱(格納容器スプ レイ/残留熱代替 除去系)	配管破断による ジェット反力が 生じる。	約6.93	約286	冷却材喪失 のジェット 反力に包絡 される。	— *4	冷却材喪失 の温度289°C に包絡され る

注記*1: 事故時に発生する機械的荷重。SRV吹き出し反力は全事象に対して評価上考慮している荷重であるため記載を省略する。

*2: 有効性評価において確認したピーク圧力(圧力容器ドーム部)を示す。なお、有効性評価では、不確かさを一律に重畳させた評価なども行っているが、今回の重大事故等事象に対する荷重の整理においては、有効性評価の不確かさの重畳までは考慮していない。

*3: 想定する破断は、原子炉圧力容器底部ドレン配管であり、圧力バウンダリから除外される漏えい面積よりも十分小さく、ジェット反力による荷重は無視できるほど小さい。

*4: 事故時においても、初期原子炉圧力から圧力上昇しないため、圧力の観点では運転状態Ⅳに包絡される。

表4-2 設計基準事故事象に対する事故時荷重

事象		事故時荷重*1	ピーク圧力 (MPa[gage])	温度 (°C)	強度評価上の 取扱い	備考
運転状態Ⅲ	過大圧力	配管破断を伴わない事象であり、事故時荷重は生じない。	9.31	306	ピーク圧力及び差圧に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。	
運転状態Ⅳ	冷却材喪失事故	配管破断によるジェット反力が生じる。	7.24	289	ピーク圧力、差圧及び事故時荷重に機械的荷重及び自重を加えた荷重を用いる。	配管破断に関係のある事象は本事象のみである。

注記*1：事故時に発生する機械的荷重。SRV吹き出し反力は運転状態Ⅲ、Ⅳに生じる荷重であるが、表4-1に合わせて記載を省略する。

5. 重大事故等クラス2管でクラス1管の強度評価方法

5.1 応力評価

重大事故等クラス2管でクラス1管の応力評価については設計・建設規格 PPB-3500による評価を実施する。加えて、施設時に適用された規格が告示第501号の範囲については、告示第501号第46条による評価を実施する。

重大事故等時の評価は、設計・建設規格での供用状態D（運転状態IV）の管の応力評価を準用する。

具体的な応力評価方法についてはVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法(4) 重大事故等クラス2管であってクラス1管の応力計算方法」を参照。

5.2 板厚評価

重大事故等クラス2管でクラス1管の板厚計算については、供用状態D（運転状態IV）に続く供用状態（運転状態）である重大事故等時の評価を実施する。評価の際は、供用状態D（運転状態IV）の許容限界（設計条件における圧力の2倍）を適用する。なお、既工認においては、昭和55年告示により、設計条件、供用状態CおよびD（運転状態IIIおよびIV）の評価を実施し、その評価結果を計算書に記載している。

既工認と重大事故時等の各運転時の評価条件の比較表を表5-1に示す。同表に示すとおり、運転状態IIIの評価圧力及び評価温度は、重大事故時における評価圧力及び評価温度を包絡している。また、重大事故時における許容限界は、供用状態C（運転状態III）における許容限界よりも高いことが確認できる。

よって、既工認における供用状態C（運転状態III）における評価結果にて重大事故等時の評価結果を包絡できることから、既工認の結果を確認することで重大事故等時の評価を行う。

表5-1 評価条件比較表

運転状態	設計条件	I	II	III	IV	重大事故等時
評価温度(°C)	302	298	298	306	289	304
評価圧力(MPa)	8.62	8.45	8.45	9.48	7.41	8.98
許容限界(MPa)	—	—	—	12.93	17.24	17.24

重大事故等クラス 2 管の疲労評価について

目 次

1. はじめに 1
2. 重大事故等クラス2管の疲労評価について 1

1. はじめに

本資料では、重大事故等クラス2管の疲労評価省略について説明するものである。

2. 重大事故等クラス2管の疲労評価について

重大事故等時の疲労評価については、事象の発生回数が少ないことから先行審査同様に省略できると考えているが、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。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）において、疲労評価として一次+二次応力の規定があることから、以下に二次応力について整理する。なお、二次応力の規定については、告示第501号と設計・建設規格は同等の規定であることから、以降は設計・建設規格において説明を実施する。二次応力については、設計・建設規格 解説 GNR-2130 の5.において以下のとおり規定されている。

【設計・建設規格 解説 GNR-2130】

5. 二次応力は、容器の自己拘束によって発生する応力である。すなわち、その特性は自己制御性があることである。換言すると、二次応力が発生し、部材が降伏を起こしたりまたはわずかにひずみを生じた場合、もはやそれ以上の応力の増加はなく、応力の飽和状態に達する。

従って、二次応力のみによっては破損を起こすことは考えられない。ただし、二次応力により生ずるひずみが無制限に許されるのではなく、シェイクダウン特性を考慮して応力強さの限界を設けている。

二次応力の代表例として、熱応力と不連続応力がある。熱応力は、部材内部に温度差が発生することにより生ずるものであり、この応力によって変形を生ずるかまたは応力の増加により塑性流れの状態を生ずると、応力分布は全体として均等化する。

不連続応力は、部材の肉厚が一様でない管台等において、変形が不連続になることにより発生する応力である。これは、内圧や外荷重の増減に伴い変化するが、容器全体からみると極めて限られた部分であり、一次応力のようにいつまでもその応力状態を維持しているわけではなく、応力が増加すれば局所的な塑性流れを発生し応力分布は均等化することになる。

クラス2管については、疲労による破壊の防止の評価として、設計・建設規格 PPC-3530「供用状態AおよびBにおける一次+二次応力制限」が規定されており、高温、高圧となる系統などについては設計（使用）条件に応じて適切に考慮する必要がある。

ここで、設計・建設規格における一次+二次応力評価については、供用状態A及び供用状態Bについてのみ規定されているが、これは設計・建設規格 解説 PVB-3112 において解説されており、一次+二次応力評価は疲労評価の前提であり、供用状態C及び供用状態Dについては、発電設備の寿命中において、発生する回数が非常に少なく疲労破壊には顕著な影響を与えないため、あらかじめ疲労解析は不要とされており、従って、一次応力と二次応力を加えて求めて応力強さの評価も必要ないとされている。

重大事故等事象は設計・建設規格に規定が無いが、従来の設計基準事象において「原子炉施設の故障、異常な作動等により原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる運転状態」と規定される運転状態Ⅲ、「原子炉施設の安全性を評価する観点から異常な状態を想定した運転状態」と規定される運転状態Ⅳを超える事象であり、疲労評価が不要とされている事象よりもさらに発生する回数が少ないものである（複数回発生することを想定しない）ことから、設計・建設規格 解説 PVB-3112 に基づき、重大事故等事象に対して疲労評価（一次+二次応力評価）は省略可能であると考ええる。

以上のことから、重大事故等クラス2管の疲労評価については、重大事故等時は発生回数が少なく疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力は発生しないことから評価を省略することとしている。

ここで、配管に各荷重により生じる応力は、表2-1のとおり分類されるが、重大事故等時の強度評価は、上述のとおり一次応力を評価する。

表2-1 応力分類

	重大事故等時（V）	耐震 V _A S
一次応力	自重による応力	自重による応力
	圧力による応力	圧力による応力
	機械荷重による応力*	機械荷重による応力*
	—	地震慣性力による応力
二次応力	ジェットにより原子炉圧力容器等に変位が生じることで配管に生じる応力	
	熱応力	地震相対変位による応力

注記*：SRVの取り付く配管モデルでは、機械荷重としてSRV吹き出し反力が入る。

重大事故等クラス 2 機器におけるクラス 2 機器の
規定によらない場合の評価

目 次

1. クラス 2 機器の規定によらない場合の評価対象機器…………… 1
2. クラス 2 機器の規定によらない場合の評価…………… 3

1. クラス2機器の規定によらない場合の評価対象機器

設計・建設規格又は告示第501号に評価式が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合について、同等性又は精緻な評価を行うために使用する規定及び適用系統・設備を以下に示す。適用式の詳細については「2. クラス2機器の規定によらない場合の評価」にて説明を行う。

評価方法		適用規格・適用式		適用系統・設備	
a. 評価式が規定されていない場合					
(a) 長方形板の大たわみ式を用いた評価	機械工学便覧 (4辺単純支持長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式)		<p>計算式</p> $\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E \cdot t} (P+g \cdot D_p) =$ $\frac{4}{3} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{c} \right) \frac{\delta_{max}^2}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 \cdot c} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{c} \right) \right\} \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3$ $\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \cdot \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{\delta_{max}^2}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c} \right\}$		
	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室空調換気系ダクト 非常用ガス処理系前置ガス処理装置、後置ガス処理装置 <p>注1：設計・建設規格クラス2管の規格が適用できない矩形ダクトについて評価</p> <p>注2：「2.(1) 長方形の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価」に記載</p>				
(b) クラス3ポンプの規定を用いた評価	設計・建設規格 (クラス3機器の評価式)		<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機海水ポンプ 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ <p>注3：設計・建設規格クラス2ポンプの規格が適用できない立形ポンプについて評価</p> <p>注4：「2.(2) クラス3ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価」に記載</p>		
ポンプ型式		設計・建設規格	強度評価式	備考	
立形ポンプ		クラス2	クラス3	<ul style="list-style-type: none"> 内圧を受ける円筒の応力式であるLameの修正式に基づく。 	
		—	$t = \frac{P \cdot D_o}{2(S \cdot \eta + P \cdot \gamma)}$		

<p>(c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価</p>	<p>機械工学便覧 (ねじ山のせん断破壊荷重評価式)</p> <p style="text-align: center;">計算式</p> $AB = (P/2) + (d_p - D_c) \tan \alpha$ $W_B = \pi D_c (AB) z \tau_B$ $F_B = (W_B - F_t) / A$	<ul style="list-style-type: none"> ・逃がし安全弁室素ガス供給系 ・中央制御室空気供給系 (可搬の連結管と常設配管の継手) <p>注5: 設計・建設規格クラス2管の規格が適用できないねじ込み継手について評価</p> <p>注6: 「2.(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価」に記載</p>
<p>b. 精緻な評価を実施する必要がある場合</p>	<p>(a) クラス1 容器の規定を準用した評価</p> <p>設計・建設規格 (第1種容器の規定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クラス1容器の規定を準用し、解析による評価を実施 ・機器によっては、公式による評価と解析による評価を組み合わせ、その健全性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・対象なし <p>注7: 設計・建設規格クラス2機器の評価において、公式による評価を満足しない部位について評価</p> <p>注8: 「2.(4) クラス1容器の規定を準用又は参考とした評価」に記載</p>

2. クラス2機器の規定によらない場合の評価

ここでは、設計・建設規格又は告示第501号に評価式*1が規定されていない場合、又は、より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

設計・建設規格及び告示第501号に評価式が規定されていない場合、同等性を示す評価式により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は、クラス1容器の規定を準用した評価により十分な強度を有することを確認する。

図2-1に重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フローを示す。今回の申請対象設備である重大事故等クラス2機器の評価のうち、フローに基づき抽出された同等性評価方法を以下に示す。

a. 評価式が規定されていない場合

- (a) 長方形板の大たわみ式*2を用いた評価
- (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
- (c) ねじ山のせん断破壊式*3を用いた評価

b. 精緻な評価を実施する必要がある場合

- (a) クラス1容器（第1種容器）の規定を準用した評価

注記*1：評価式とは設計・建設規格にて評価する場合は、クラス2機器の評価式、告示第501号にて評価する場合は、第3種機器の評価式を示す。

*2：機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式

*3：機械工学便覧に記載されているねじ山のせん断破壊荷重評価式

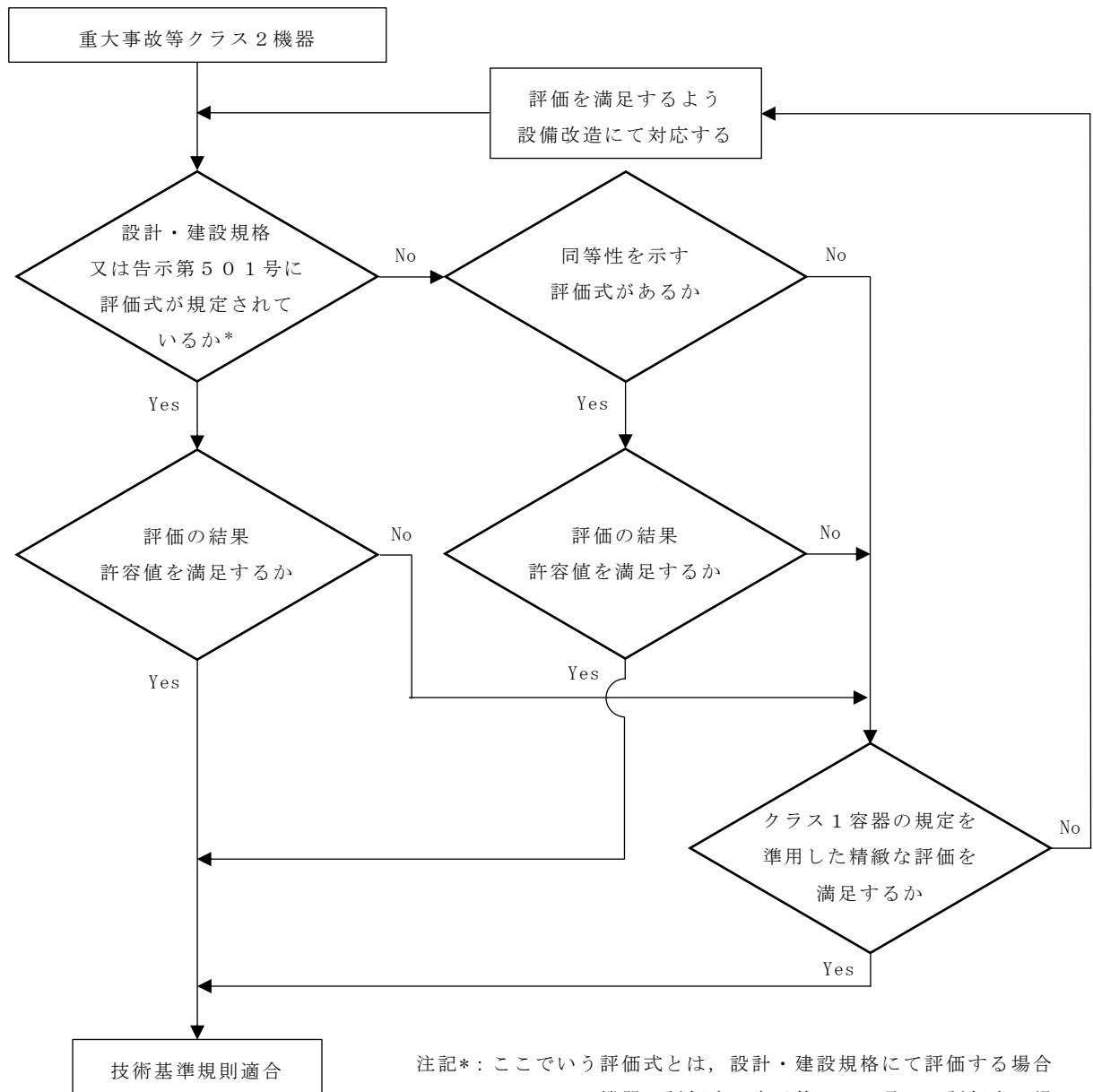


図 2-1 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形板の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

重大事故等クラス2管のうち矩形ダクトについては、形状が円形でないことから、設計・建設規格に規定されているクラス2管の円形を前提とした評価式を適用することができない。このため、矩形ダクトの強度評価については、以下に示すとおり重大事故等クラス2管の評価手法として妥当性を確認した機械工学便覧に記載されている長方形板の大たわみ式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できない矩形ダクトについて、矩形ダクトの任意のダクト鋼板面のうち2辺は他の2つの側面のダクト鋼板で支持されており、残りの2辺は補強部材（及び接続材）で支持された、4辺単純支持長方形板と見なすことができる。実際の使用条件では、この鋼板面に圧力と自重の等分布荷重である面外荷重が作用する。鋼板面は、この面外荷重により薄い平板が板厚の半分以上大きくたわみ、膜引張応力状態で応力の釣合いが保たれ、鋼板中心部で最大応力が発生する。このように、薄い平板が板厚の半分以上の比較的大きなたわみを生じる挙動を示す場合の応力評価には、機械工学便覧記載の長方形板の大たわみの式（次項に示す2つの式）が適していることから、矩形ダクトの強度評価には、機械工学便覧記載の4辺単純支持長方形板の大たわみ式を用いる。

図2-2に矩形ダクトの概要図を示す。

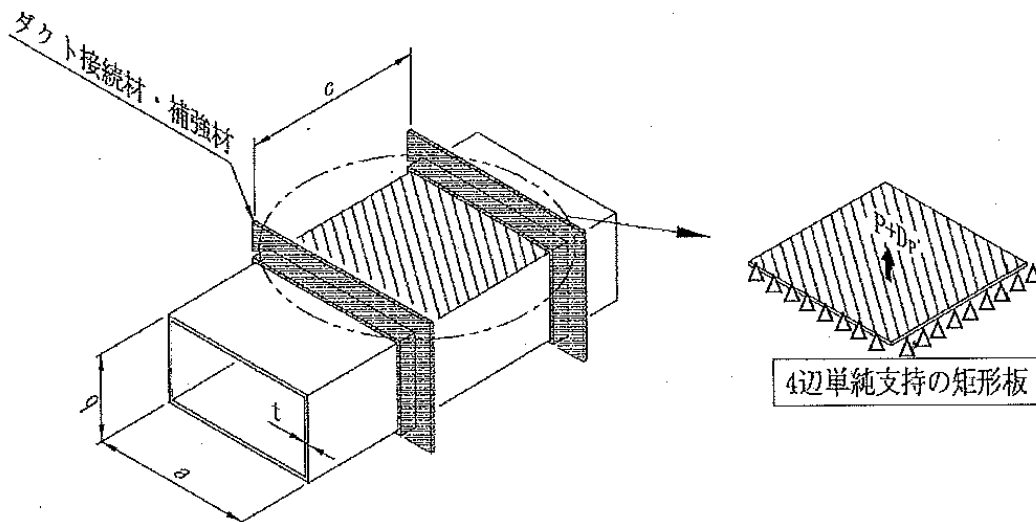


図2-2 矩形ダクト概要図

計算に使う記号

記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
a	mm	ダクト長辺寸法
b	mm	ダクト短辺寸法
c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
P	MPa	最高使用圧力
g	m/s ²	重力加速度
D _p	kg/mm ²	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算式
$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 E \cdot t^4} (P + g \cdot D_p) = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \frac{\delta_{max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 \cdot c^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \left(\frac{\delta_{max}}{t} \right)^3$ $\sigma_{max} = \frac{\pi^2 E \cdot \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c^2} \right\}$

b. 判断基準

矩形ダクトの強度評価では、設計・建設規格のクラス2管に規定のある厚さ計算及び応力計算を参考とし、機械工学便覧記載のたわみの式を適用した評価を実施する。また、判断基準については以下のとおりとし、裕度については設計・建設規格のクラス2管の規定における許容引張応力S値を適用する。

(a) 厚さ計算

最小板厚を求める場合は、面外荷重による一次応力 σ_{max} を許容引張応力S値に置換えて、2式を解き、両辺を満足する δ_{max} 及び t を求める。このときの t を矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し、ダクトの実際使用厚さが計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

一次応力を求める場合は、ダクトの公称値を用いて、2式を解き、両辺を満足する δ_{max} 及び σ_{max} を求める。この時の σ_{max} を矩形ダクトの一次応力と定義し、一次応力が許容引張応力S値の1.5倍以下であることを確認する。

(2) クラス 3 ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価

重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプについては、設計・建設規格におけるクラス 2 ポンプに評価式が規定されていないため、立形ポンプの強度評価については、以下に示すと通りの重大事故等クラス 2 ポンプの評価手法として妥当性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス 3 ポンプの評価式及び判断基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス 2 ポンプ及びクラス 3 ポンプのケーシングの強度評価式を表 2-1 に示す。

ケーシングの厚さの評価式については、一般的な材料力学における内圧を受ける薄肉円筒の式又は内圧を受ける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づいており、横形ポンプにおいては、クラス 2 ポンプとクラス 3 ポンプの考え方は同一であり、技術的に同一の強度を有することが要求されている。この考え方については、クラス 2 管とクラス 3 管の厚さ計算についても同様であることから、クラス 2 ポンプに評価式が規定されていない重大事故等クラス 2 ポンプのうち立形ポンプのケーシングの強度評価については、クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いる。

表 2-1 設計・建設規格 ケーシングの強度評価式

ポンプ型式	設計・建設規格 強度評価式		備考
	クラス 2	クラス 3	
横形ポンプ	$t = \frac{P \cdot A}{2S}$	$t = \frac{P \cdot A}{2S}$	・ 同じ式である。 ・ 内圧を受ける薄肉円筒の式に基づく。
立形ポンプ	—	$t = \frac{P \cdot D_o}{2(S \cdot \eta + P \cdot y)}$	・ 内圧を受ける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づく。
配管 (参考)	$t = \frac{P \cdot D_o}{2S \cdot \eta + 0.8P}$	$t = \frac{P \cdot D_o}{2S \cdot \eta + 0.8P}$	・ 同じ式である。 ・ 内圧を受ける円筒の応力式である Lamé の修正式に基づく。
<p>t : ケーシング及び吐出エルボ, 揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ (mm)</p> <p>P : 最高使用圧力 (MPa)</p> <p>A : 設計・建設規格 図 PMC-3320-1 から図 PMC-3320-6 又は設計・建設規格 図 PMD-3320-1 から図 PMD-3320-6 までに示す寸法 (mm)</p> <p>S : 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力 (MPa)</p> <p>D_o : 設計・建設規格 図 PMD-3310-7 に示す吐出エルボの外径寸法, 揚水管の外形寸法, 個々のボウルの吸込み側の最大外径寸法 (mm)</p> <p>η : 長手継手の効率で, 設計・建設規格 PVD-3110 に定めるところによる</p> <p>y : 0.4 (D_o / t ≥ 6.0 の場合) d / (d + D_o) (D_o / t < 6.0 の場合)</p>			

b. 判断基準

立形ポンプのケーシングの強度評価は, クラス 3 ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが, 評価式に用いる許容引張応力 S 値については設計・建設規格のクラス 2 ポンプのケーシングの規定を適用する。

(3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

重大事故等クラス2管のうちねじ込み継手については端部がねじ部であるため設計・建設規格に規定されているクラス2管の評価式を適用することができない。このため、ねじ部の強度評価については、以下に示す機械工学便覧に記載されているねじ部のせん断破壊評価式を準用した評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用するねじはJ I S B 8 2 4 6 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いられる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い、また、継手部の厚さ計算については設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規定を用いる。

図2-3にねじ込み継手の概要図を示す。

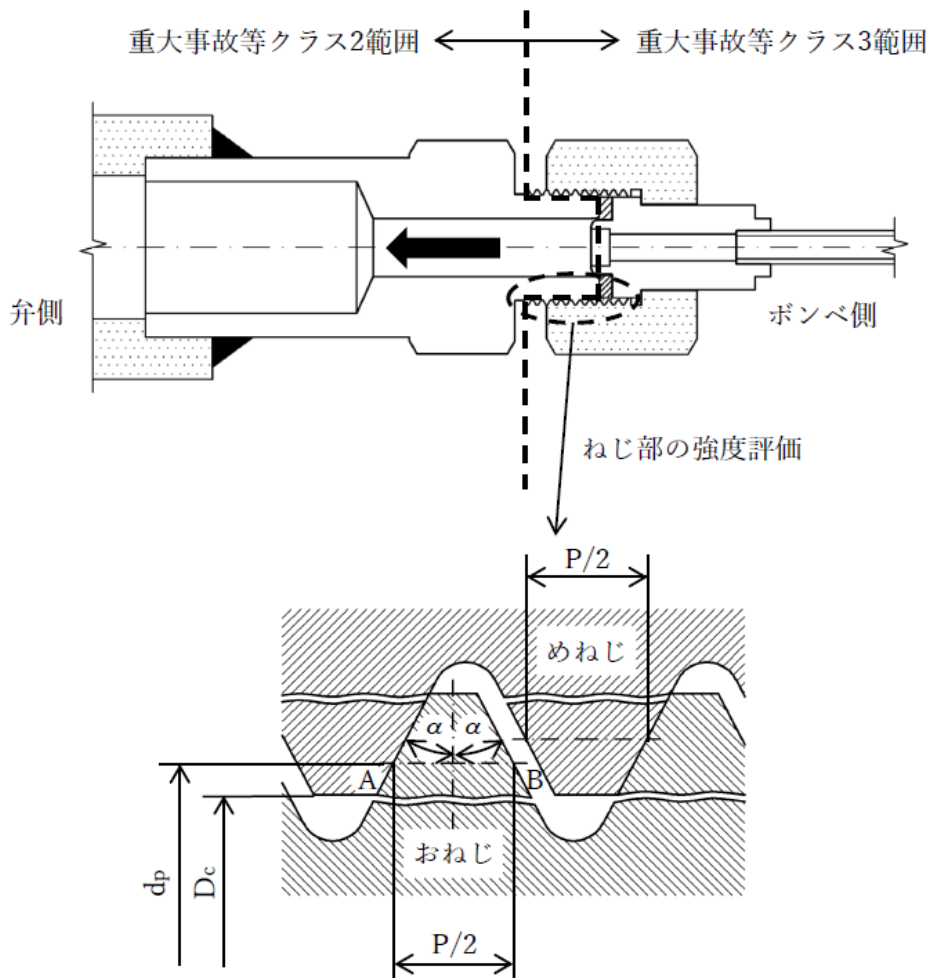


図2-3 ねじ込み継手概要図

計算に使う記号

記号	単位	定義
AB	mm	おねじのせん断長さ
P	mm	ピッチ
d_p	mm	おねじの有効径
D_c	mm	めねじの内径
α	°	ねじ角度
W_B	N	おねじのねじ山の許容軸方向荷重
z	—	負荷能力があるとみなされる, ねじ山の数 $z = (L - 0.5P) / P$
τ_B	MPa	おねじ材料の許容せん断応力
L	mm	ねじの基準長さ
F_B	MPa	おねじの耐圧力
F_t	N	ねじ締付トルクによる引抜荷重
A	mm ²	内圧評価断面積

計算式
$AB = (P / 2) + (d_p - D_c) \tan \alpha$ $W_B = \pi D_c (AB) z \tau_B$ $F_B = (W_B - F_t) / A$

b. 許容値

ねじ部のせん断評価は、機械工学便覧記載のせん断破壊式を準用した評価を実施するが、ねじ込み継手は管と管とを接続する継手であることから、許容値については設計・建設規格クラス2管の規定における許容引張応力 S を基に求めた許容せん断応力 $S / \sqrt{3}$ を適用する。

(4) クラス1容器の規定を準用又は参考とした評価

重大事故等クラス2機器の評価において、公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価を実施する必要があるため、設計・建設規格にて規定されている準用規定に基づき、クラス1容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。そのため機器によっては、公式による評価と解析による評価を組合せ、その健全性を確認する方針とする。

クラス1容器の規定を満足しない場合は、重大事故等時に求められる機能を発揮できるよう、クラス1容器の規定を参考とした評価を実施する。

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

設計・建設規格のクラス2機器の評価は公式による評価が基本となるが、公式による評価を満足しない部位を含む機器は、公式による評価と解析による評価を組合せた評価を実施する。

(a) クラス2機器の公式による評価

設計・建設規格クラス2機器の評価については、設計・建設規格 PVC-3000（クラス2容器の設計）、PPC-3000（管の設計）、PMC-3000（クラス2ポンプの設計）の各機器の規定において、胴、管、ケーシング等の一般部の板厚評価式、開口部に対する補強及びフランジの簡易評価式等、強度評価式が種々に与えられているが、構造不連続部等の局所に着目した強度評価手法については明確にされていない。

設計・建設規格のクラス2機器であっても、構造不連続部等の局所的に応力が高い部位も存在すると考えられるが、各機器の規定されている強度評価は、一般部に対し、許容値を低く設定（許容引張応力 S ）して裕度のある評価を行うことで、局所の健全性も担保している。

(b) 解析による評価

評価対象部位のうち公式による評価を満足しない部位については、より精緻な評価としてクラス1容器の規定を準用し、解析による評価を実施する。解析による評価は、構造不連続部等の局所的に応力が高い部位を模擬した詳細な解析に応じた許容値（設計応力強さ S_m ）を設定し、より精緻な評価を行うことで、局所の健全性を確認している。

(c) 評価対象部位間の相互影響

前述の(b)項に記載の機器は、評価対象部位ごとに公式と解析による評価が混在する機器であり、以下に示すとおり部位間の相互影響を適切に考慮することで、機器としての健全性を確認する。

イ. 一体構造体

主管に設けられた管台等の一体構造体中に存在する構造不連続部等の局所では、一般部に比べ発生応力が大きくなり、その局部応力により局所周辺も発生応力が引き上げられると考えられる。そのため、局部応力が隣接する部位に及ぼす影響の有無を適切に評価する必要がある。

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については、設計・建設規格解説にその考え方が示されており、設計・建設規格 解説 PVB-3513（補強面積の設置条件）及び設計・建設規格 解説 PVB-3530（補強をしない穴の適合条件）では、殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲について示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513には「 $0.5\sqrt{R \cdot t}$ 内に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから、主配管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する構造不連続部等の局所の評価について、局部応力が及ぼす影響範囲 $0.5\sqrt{R \cdot t}$ を網羅するように適切にモデル化することで、一体構造体として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

フランジとボルト等の一体でない異なる構造体中に存在する評価対象部位間では、荷重・変位伝達等を個別に設定することで、独立した部位として個々に評価を実施する。

重大事故等クラス 2 容器のうち, だ円形マンホールの厚さ計算に
適用する評価手法の妥当性について

目 次

1. 概要	1
2. 昭和55年告示第501号質疑応答集におけるだ円形マンホールの板厚計算の扱いについて	1
3. 告示第501号及び設計・建設規格における容器の平板の厚さの算出式の比較	1
4. マンホールの構造による適用	2
5. まとめ	4

1. 概要

本資料は、重大事故等クラス2容器のうち非常用ディーゼル発電設備の空気だめ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の空気だめのうち、だ円形マンホールの強度計算（板厚計算）に適用する「JIS B 8201 陸用鋼製ボイラー構造（以下「JIS B 8201」という。）」を適用することが妥当であることを説明するものである。

2. 昭和55年告示第501号質疑応答集におけるだ円形マンホールの板厚計算の扱いについて

「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 質疑応答集（5年改訂版）（平成5年3月31日火力原子力発電技術協会）（以下「質疑応答集」という。）において、昭和55年告示第501号第43条第6項に対し、次のことが記載されている。

- ・ 円形又はだ円形マンホールの平板のふたの厚さの計算式（第43条第6項）

[質問]

『円形マンホールの平板のふたの厚さの計算は、告示第43条第6項により d を円形マンホールの直径として計算するか又は「JIS B 8201 陸用鋼製ボイラーの構造」の「10.8 マンホールカバーの最小厚さ」の計算式を用いて計算してよいか。』

また、だ円形マンホールの平板のふたの厚さの計算も d をだ円形マンホールの長径として同様に扱ってよいか。』

[回答]

『差し支えない。』

3. 告示第501号及び設計・建設規格における容器の平板の厚さの算出式の比較 容器の平板の最小厚さの算出式の比較結果を表1に示す。

ここで、2項で示した質疑応答集は、昭和55年告示第501号第4種容器の平板の厚さの計算に対しJIS B 8201を適用してよいこととしているが、昭和55年告示第501号第3種容器及び第4種容器並びに設計・建設規格クラス2容器及びクラス3容器において規定されている平板の厚さの計算式は同じであることから、クラス2容器の平板の厚さの計算にJIS B 8201を適用することも問題ないと判断した。

表1 平板の最小厚さの算出式の比較

比較項目	規格名	
	昭和55年告示第501号*	設計・建設規格
容器の平板に関する評価式	第3種容器 (34条第1項 容器の平板の厚さ)	クラス2容器 (PVC-3310 平板の厚さの規定)
	$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$ <p> t : 平板の計算上必要な厚さ (mm) d : 平板の径又は最小内のり (mm) K : 平板の取付け方法による係数 P : 最高使用圧力 (MPa) S : 材料の許容引張応力 (MPa) </p>	$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$ <p> t : 平板の計算上必要な厚さ (mm) d : 平板の径又は最小内のり (mm) K : 平板の取付け方法による係数 P : 最高使用圧力 (MPa) S : 材料の許容引張応力 (MPa) </p>
	第4種容器 (第43条第6項 容器の平板の厚さ)	クラス3容器 (PVD-3310 平板の厚さの規定)
	同上	同上

注記 * : SI単位化した式を示す。

4. マンホールの構造による適用

JIS B 8201の算出式を表2, だ円形マンホールについて図1に示す。

「旧JIS B 8275 圧力容器のふた板」(現: 「JIS B 8265 圧力容器の構造—一般事項」, 「JIS B 8266 圧力容器の構造—特定規格」) においても円形平板の最小厚さの算出式として3項の式と同じものが規定されているが, 解説^[1]において導出過程が示されており, 本式は平板の周辺が固定されている場合の式であるとされている。

一方で, 今回評価に適用するJIS B 8201のうちマンホールカバーの最小厚さの式は, 項の冒頭で「マンホールに用いる平鋼板製カバーで, 周囲が自由支持されているもの」に対する式であるとされている。

よって, 図1のような周囲が自由支持されているマンホールカバーにJIS B 8201のマンホールカバーの最小厚さの式を適用することは妥当である。

表2 J I S B 8 2 0 1の算出式

	規格名
	J I S B 8 2 0 1
<p>容器の平板に 関する評価式</p>	<p>だ円形マンホール平板の計算上必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きいあたいとす。</p> <p>a. 平板の計算上必要な厚さ：t_1</p> $t_1 = \frac{5 \cdot b}{c} \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_a} + \alpha}$ <p>b. 規格上必要な最小厚さ：t_2 平板の中央部の厚さは14mm以下としてはならない。</p> <p>a：穴の長径 b：穴の短径 c：穴の短径と長径の比によって定める係数 (J I S B 8 2 0 1 図6.20による。)</p> <p>t_1：マンホール平板の計算上必要な厚さ t_2：マンホール平板の中央部の規格上必要な最小厚さ α：付け代で、1mm以上とする。ただし、取替えのできるマンホール平板にあつては、0とする。 σ_a：材料の許容引張応力 設計・建設規格付録材料図表Part5 表5又は表6による。</p>

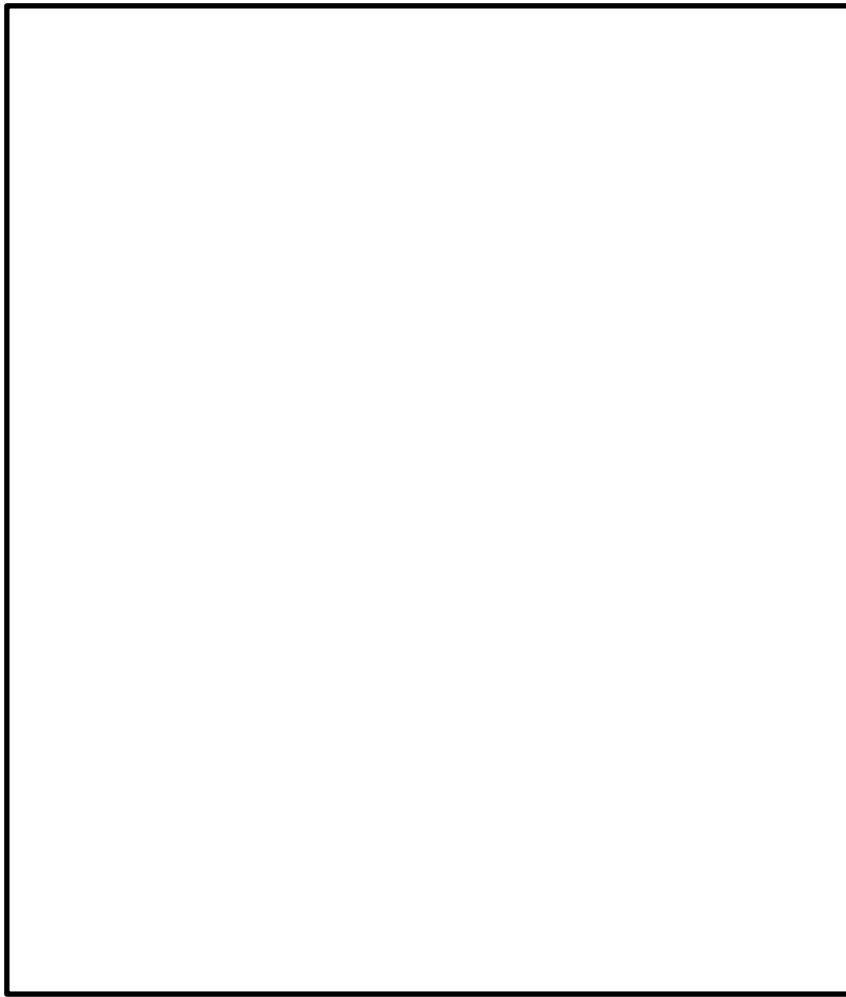


図1 マンホールカバー概要図

5. まとめ

2～4項より、だ円形マンホールの強度計算（板厚計算）に適用する「J I S B 8201 陸用鋼製ボイラー構造」における評価手法を適用することは妥当である。

【参考文献】

- [1] J I S 使い方シリーズ圧力容器 ◇ 設計・解析（1995年 10 月 25 日 日本規格協会）

重大事故等クラス2管のうち，伸縮継手の全伸縮量算出について

目 次

1. 概要	1
2. 全伸縮量の算出方法	2
3. 全伸縮量の算出結果	2

1. 概要

重大事故等クラス2管の強度評価における伸縮継手の全伸縮量算出について、計算過程を以下に示す。なお、本資料では「VI-3-3-7-3-1-1-1 管の基本板厚計算書」（非常用ガス処理系）を例として示す。

2. 全伸縮量の算出方法

(1) 概要

前置ガス処理装置伸縮継手の全伸縮量は、非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口ノズルの変位量と非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口配管の変位量より算出する。

(2) 機器ノズルの変位量算出

非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口ノズルの変位量は、

$\Delta L [\text{mm}] = L [\text{mm}] \times \Delta t [^{\circ}\text{C}] \times \text{熱膨張係数 } \alpha [\text{mm}/(\text{mm}^{\circ}\text{C})]$ で求められる。

なお、当該変位量には30% (×1.3)の余裕を見込んでいる。

(3) 配管の変位量算出

非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口配管の変位量は、解析により求められる。

3. 全伸縮量の算出結果

- (1) 非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口ノズルの変位量, 非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口配管の変位量及び伸縮継手の伸縮量
 非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口ノズルの変位量, 非常用ガス処理系前置ガス処理装置入口配管の変位量及び伸縮継手の伸縮量を表1に示す。

表1 ノズルと配管の変位量及び伸縮継手の伸縮量 [mm]

号機	A		B		
	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置 入口ノズル	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置 入口配管	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置 入口ノズル	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置 入口配管	
軸方向	Z : 水平	10.2	-1.9	-10.2	1.9
	伸縮量	10.2 - (-1.9) = 12.1		-10.2 - 1.9 = -12.1	
軸直角方向	X : 水平	0	0	0	0
	Y : 垂直	1.6	0	1.6	0
	伸縮量	$\sqrt{(0^2 + 1.6^2)} = 1.6$		$\sqrt{(0^2 + 1.6^2)} = 1.6$	

(2) 伸縮継手の全伸縮量の算出

軸方向及び軸直角方向の伸縮量は次のとおりとなる。

軸方向伸縮量 12.1 mm

軸直角方向伸縮量 1.6 mm

軸直角方向に伸縮することにより、軸方向に伸縮が発生することから、軸直角方向伸縮量を軸方向伸縮量に換算する必要がある。以下の式を用いて、軸直角方向の伸縮量を軸方向の伸縮量に換算し、全伸縮量を算出する。

$$\text{換算式：} \frac{3 D_m \times X Y}{L} = 13.65 [\text{mm}]$$

D_m	: 伸縮継手の有効径	455	mm
$X Y$: 伸縮量	1.6	mm
L	: 伸縮継手の長さ ($b \times n$)	160	mm
b	: 継手部の波のピッチの2分の1	20	mm
n	: 継手部の波数の2倍の値	8	

$$\text{全伸縮量：} 12.1 [\text{mm}] + 13.65 [\text{mm}] = 25.75 [\text{mm}]$$

以 上

容器の平板の穴の補強計算について

目 次

1. はじめに	1
2. 重大事故等クラス2容器の強度計算方法	1
3. 強度計算方法の記載の妥当性について	1

1. はじめに

本資料では、重大事故等クラス2容器の強度計算方法のうち、平板の穴の補強計算について補足説明するものである。

2. 重大事故等クラス2容器の強度計算方法

重大事故等クラス2容器の強度計算方法では、平板の穴の補強を設計・建設規格のクラス2容器の規定 PVC-3320 に従い、以下の条件を満足すれば十分であると記載している。

$$A_0 > A_r / 2$$

A_0 : 補強に有効な総面積

A_r : 穴の補強に必要な面積

PVC-3320【抜粋】

- (a) PVC-3160 の規定に準じて補強すること。この場合において、 t_{sr} は、平板の計算上必要な厚さ (mm) とし、かつ、補強に有効な面積は、補強に必要な面積の 1/2 まで減ずることができる。

3. 強度計算方法の記載の妥当性について

PVC-3320 で平板の穴の補強に有効な面積は補強に必要な面積の 1/2 まで減ずることができると規定されている理由は、設計・建設規格のクラス1容器の規定である PVB-3511 解説に記載されている。

また、クラス1容器の規定である PVB-3511 では、平板の穴の補強に有効な面積は補強に必要な面積の 1/2 まで減じた評価式のみを規定している。

以上のことからクラス2容器の平板の穴の補強の評価対象となる全ての設備について 2. に記載した評価方法を用いることが妥当であると考ええる。

PVB-3511 解説【抜粋】

PVB-3511(3)c.の根拠は次の通りである。

平板に穴のある場合の必要な補強面積 $0.5dt_r$ は野原石松著「圧力容器」によると次の通りである。

平板には内圧力による曲げ応力を生じる。この曲げ応力は $\sigma = M/Z$ (M : 曲げモーメント、 Z : 断面係数) で表わされる。平板に穴を設けると、その部分の板が削りとられ、断面係数が小さくなる。従って、曲げ応力 σ を一定におさえるためには、この断面係数が小さくならないように強め材の大きさを決めれば良いということになる。解説図 PVB-3511-4 において、穴を設けない前の断面係数を Z_0 、穴を設けた後の断面係数を Z とすると、

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{\frac{1}{6}(d'-d)(t_0+t)^2}{\frac{1}{6}d't_0^2} = \left(1 - \frac{d}{d'}\right) \left(1 + \frac{t}{t_0}\right)^2 \quad (\text{解説 PVB-7.7})$$

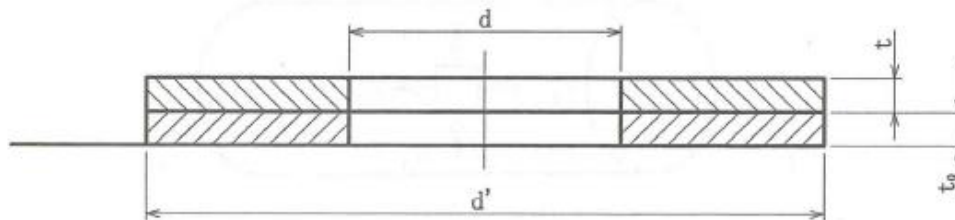
いま、強め材の断面積を A 、平板に設けられた穴の断面積を A' とすると、

$$K = \frac{A}{A'} = \frac{(d'-d)t}{dt_0} = \left(\frac{d'}{d} - 1\right) \frac{t}{t_0}$$

$$\therefore \frac{t}{t_0} = \frac{K}{\frac{d'}{d} - 1} \quad (\text{解説 PVB-7.8})$$

$$\frac{Z}{Z_0} = 1 \quad \text{とおくと、} \frac{d}{d'} = \frac{\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 + 2\left(\frac{t}{t_0}\right)}{\left\{1 + \left(\frac{t}{t_0}\right)\right\}^2} \text{となるから、} \quad K = \frac{1}{\frac{t}{t_0} + 2}$$

すなわち、 K は $1/2$ より小さくなり、強め材の所要断面積は、設けられた穴の断面積の $1/2$ あれば十分であることがわかる。以上のことから、平板に設けられた穴に対する強め材の所要断面積は $0.5dt_r$ (t_r : 計算上必要な平板の厚さ) と定めている。



解説図 PVB-3511-4 平板に設けられた穴の補強

空気だめの座屈に係る解析評価について

目 次

1. 概要	1
2. 解析モデル	1
3. 評価内容	2
4. 解析結果	3
5. 安全率の考慮	4
6. 結論	4

1. 概要

本資料は、非常用ディーゼル発電設備の空気だめ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の空気だめのうち、だ円形マンホール管台の解析評価を行い、座屈に対して評価上満足することを確認するものである。

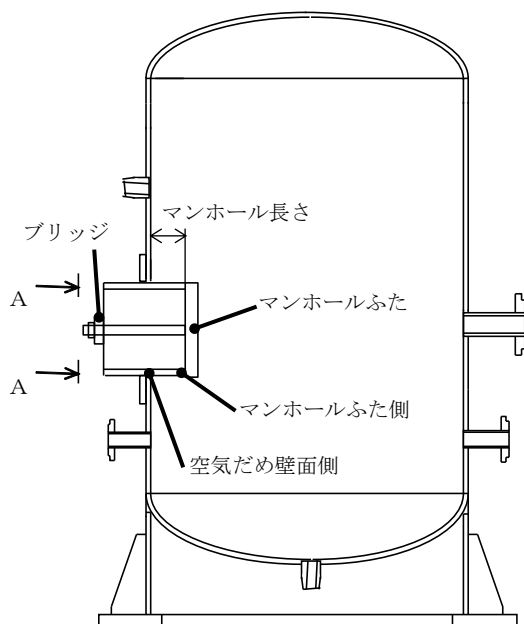
2. 解析モデル

解析モデルは評価部位を3次元シェル要素にてモデル化を行い、外圧が作用した状態を考慮する。解析コードは、「NX/NASTRAN Ver8.1」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、補足説明資料「NS2 補足-031 工事計画に係る説明資料（計算機プログラム（解析コード）の概要）」に示す。

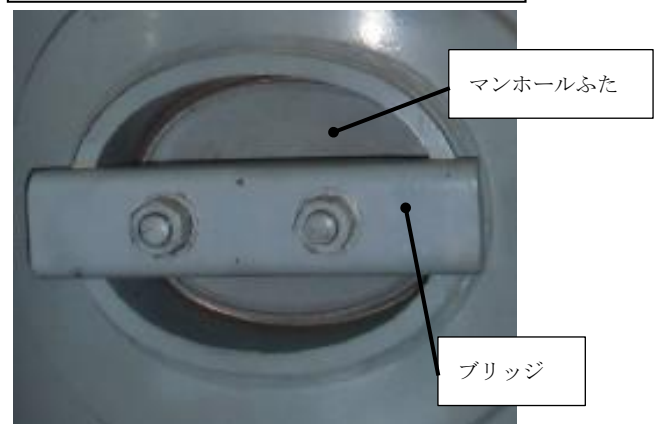
解析条件を表 2-1 に、空気だめの概略構造図を図 2-1 に、解析モデルを図 2-2 に示す。

表 2-1 解析条件

解析コード	NX/NASTRAN Ver8.1
板厚 (mm)	25
管台の外径 (mm)	長径 : 455 短径 : 355
マンホール長さ (mm)	□
材料	SB46 (SB450 相当)
外圧 (MPa)	3.24 (最高使用圧力 33.0 kg/cm ² より)
境界	空気だめ壁面側を固定端とし、 マンホールふた側を自由端とする



【マンホールふたの支持方法】
マンホールふたは、ブリッジによりマンホールふたとガスケット位置を調整し、空気だめの内圧でマンホールへ押し付ける。



A～A矢視図 (写真)

図 2-1 空気だめ概略構造図

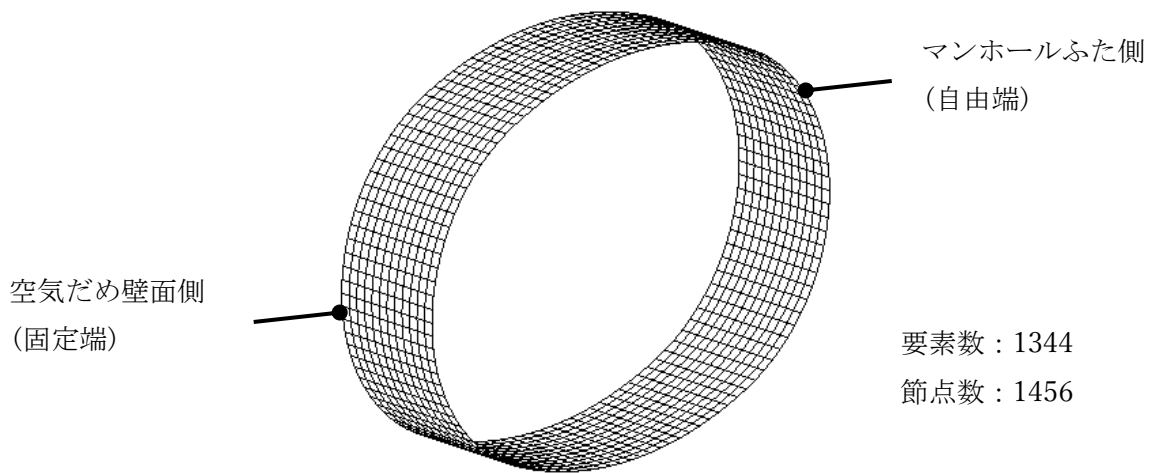


図 2-2 解析モデル

3. 評価内容

評価は線形座屈解析にて座屈荷重係数を求める事で行う。

座屈荷重係数は、以下の式で定義する。

$$\text{座屈荷重係数} = \text{座屈圧力} / \text{設計圧力} \dots\dots\dots (3. 1)$$

解析は下記の 2 ケースの荷重パターンとした。付与した荷重のイメージを図 3-1 に示す。

ケース 1 : 外圧のみ

ケース 2 : 外圧 + 軸力* (圧縮)

なお、ケース 2 の軸力は外圧にマンホールふた面積を掛けて算出した荷重を、周上に等分布荷重として付加する。

注記 * : マンホールふたのボルトはマンホールふたのガスケット位置調整を行うものであり、締め付けを行うものではないことから、運転時における軸力の考慮は不要とする。

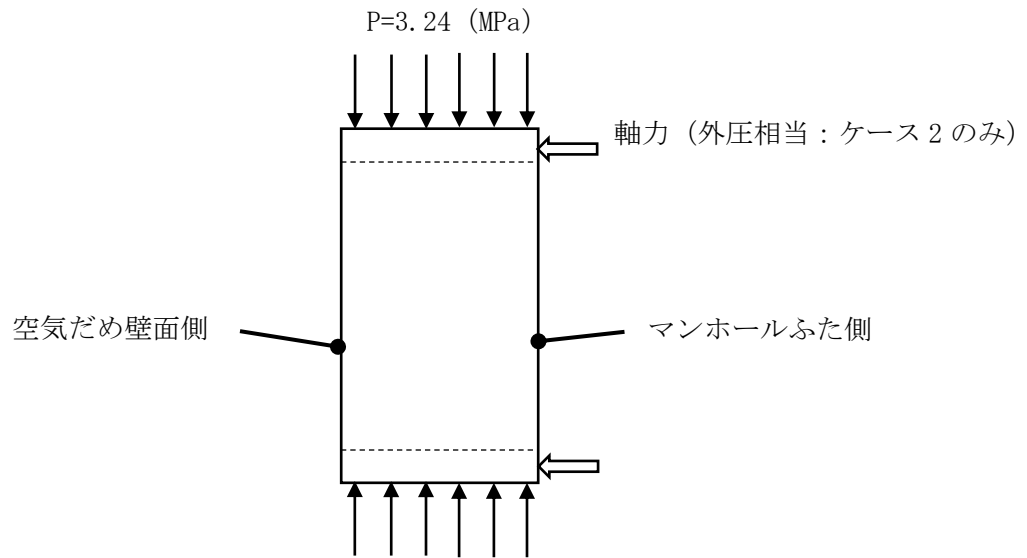


図 3-1 評価荷重イメージ

4. 解析結果

線形座屈解析により求めた座屈荷重係数および座屈モードを以下に示す。

座屈荷重係数は、ケース 1 が 594、ケース 2 が 335 であり、十分な座屈強度があることを確認した。

これは、本構造の管台長さが短く、かつ板厚が径に対して十分に厚いためと考える。

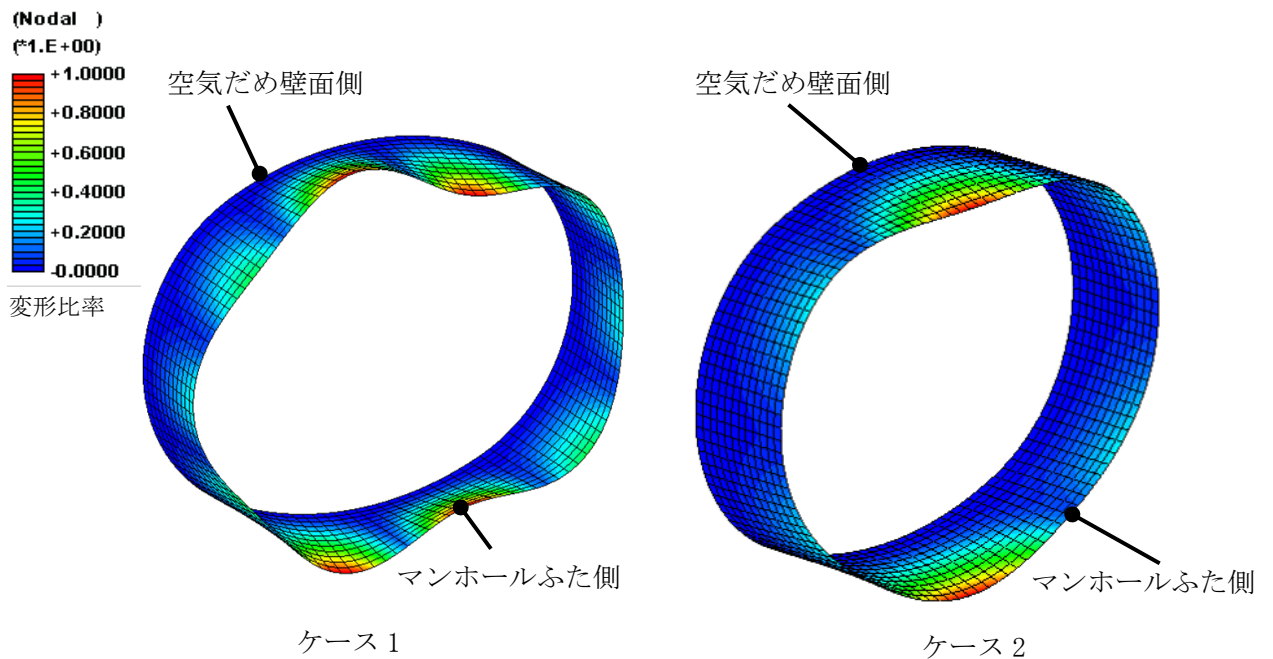


図 4-1 座屈モード (描画倍率 : 20 倍)

表 4-1 解析結果

	座屈荷重係数[-]	設計圧力[MPa]	座屈圧力[MPa]
ケース 1 (外圧のみ)	594	3.24	1924
ケース 2 (外圧+軸力(圧縮))	335	3.24	1085

5. 安全率の考慮

安全率を 4 として、ケース 1 においては $594/4 = 148$ 、ケース 2 においては $335/4 = 83$ となり、設計圧力 3.24[MPa]において、座屈に対して十分な裕度を有するといえる。

6. 結論

以上のことから、非常用ディーゼル発電設備の空気だめ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の空気だめのだ円形マンホール管台は座屈評価上問題ないといえる。

重大事故等クラス 3 機器の強度評価における
耐圧試験を用いた裕度の考え方について

目 次

1. 概要	1
2. 内容	1

1. 概要

重大事故等クラス3機器の強度評価における最高使用圧力の1.5倍の耐圧試験を用いた裕度の考え方を以下に示す。

2. 内容

重大事故等クラス3機器のうち完成品については一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認することとし、強度については、対象となる機器の使用条件がメーカ保障値又は指定する仕様の範囲内であることを確認することで、当該機器が十分な強度を有することを確認する。

十分な強度については、耐圧試験圧力から設計裕度の水準を確認し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）の設計許容応力と比較することで行う。

耐圧試験圧力での設計裕度の確認は、以下の考え方から行う。

設計・建設規格クラス3機器の設計許容応力は、降伏点（ S_y ）に対して5/8を基準としている。この設計許容応力以下となる必要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求めていることから、最高使用圧力に対して1.5倍*以上の圧力で耐圧試験を行い塑性変形が起きない場合は、設計・建設規格と同等の水準で設計が行われていると判断できる。

よって、耐圧試験圧力が使用範囲の最大値の1.5倍以上であること、その耐圧試験に合格していること（耐えていること＝塑性変形が起きていないこと）を確認することで、応力制限（ S_y ）に達しておらず、設計・建設規格と同等以上の裕度を持った設計が行われていると言える。

注記*： 設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は、機器保全の観点から機器の応力制限（ S_y ）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍（気体の場合は1.25倍）の106%を超えないこととしている。

$$(5/8 S_y \times 1.5 \times 1.06 = 0.99375 S_y \doteq S_y)$$

(補足説明)

耐圧試験については、機器保全の観点から、設計・建設規格では最高許容耐圧試験圧力を耐圧試験圧力の106%で制限している。そのため、最高使用圧力の1.5倍の耐圧試験を実施し降伏点 S_y に至らなかった場合、以下の関係が成り立つ。

最高許容耐圧試験圧力

$$= \text{最高使用圧力} \times 1.5 \times 1.06 < \text{降伏点 } S_y$$

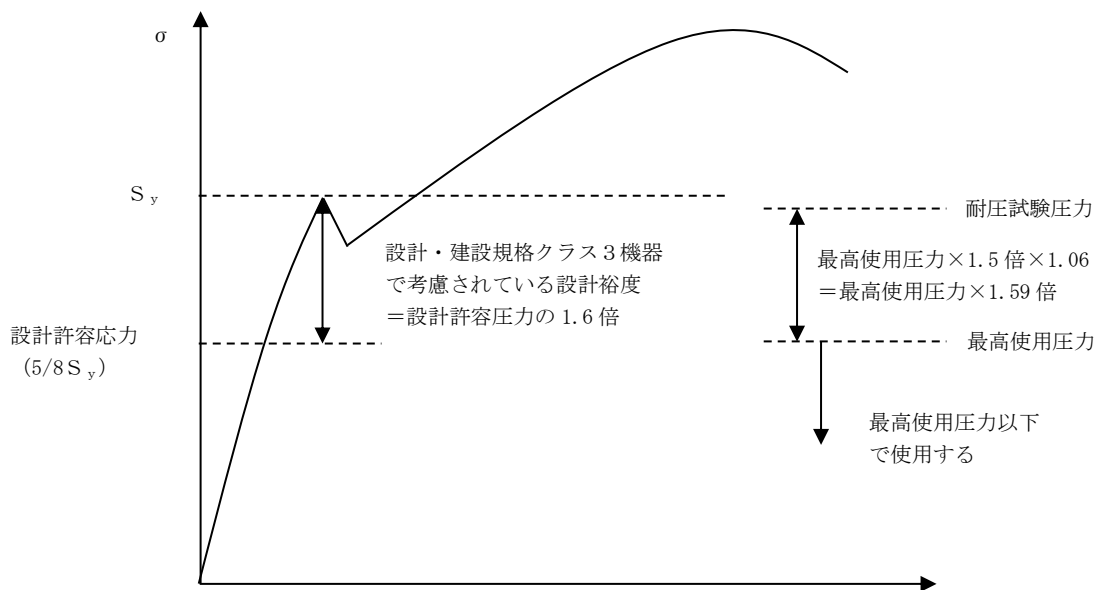
$$\Rightarrow \text{最高使用圧力} \times 1.59 < \text{降伏点 } S_y$$

上記より、最高使用圧力の約1.5倍の耐圧試験に合格すること（耐えること＝塑性変形が起きないこと）で、降伏点 S_y に対し1.59以上の裕度を持っていることを確認できる。

一方、設計・建設規格においては、設計許容応力は材料の降伏点 S_y に対して5/8を基準としており、降伏点に対して1.6以上の裕度を持つよう規定されている。

よって、最高使用圧力の約1.5倍の耐圧試験に合格することで、降伏点 S_y に対する裕度が設計・建設規格と同等である設計が行われていることを確認できる。

なお、耐圧試験の最高使用圧力に対する倍率が大きくなる程、材料の降伏点に対する裕度も大きくなる。



降伏点に対する裕度のイメージ