



設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の 規格の技術評価に関する検討チーム会合における 日本機械学会への説明依頼事項

設計・建設規格担当分

2023年2月2日

(一社)日本機械学会 発電用設備規格委員会
原子力専門委員会 設計・建設分科会

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- (a) クラス1支持構造物の設計手法の選択肢を増やすため、設計に極限解析手法の規定を導入したとの説明がありました。クラス1支持構造物は様々な構造・形状がありますが、どのような支持構造物を対象に適用性を確認したのか説明して下さい。

[回答]

極限解析による評価法の適用性は、構造・形状に依存するものではなく、設計・建設規格の支持構造物の規定に定められた、材料、構造・形状であれば適用できると考えています。容器に対する極限解析の規定の解説（解説PVB-3160）記述の通り、簡単な梁状構造物であれば塑性関節法が、板状や複雑な形状の構造物であれば有限要素法による弾塑性解析を用いることで崩壊荷重の下限の算出が可能と考えています。

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

設計・建設規格 2020年版 解説PVB-3160 抜粋

極限解析の方法としては、もし簡単な梁状構造物であれば、塑性関節法をもちいてもよいし、複雑な形状の構造物であれば、有限要素法による弾塑性解析（ひずみ効果を考慮しない）を用いてもよい。

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- (b) クラス1支持構造物の許容応力の考え方は、ASME B&PV Code Section IIIに日本建築学会の「鋼構造設計規準」を取り入れたとされています。クラス1支持構造物の極限解析手法の規定は、クラス1容器及び炉心支持構造物を参考に規定したとの説明がありましたが、クラス1容器及び炉心支持構造物には「鋼構造設計規準」は取り入れられていません。クラス1支持構造物の極限解析手法の規定をクラス1容器及び炉心支持構造物の規定との差異が分かるように比較し、これらの差異を踏まえて、クラス1支持構造物の極限解析手法の規定の技術的妥当性を説明して下さい。

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

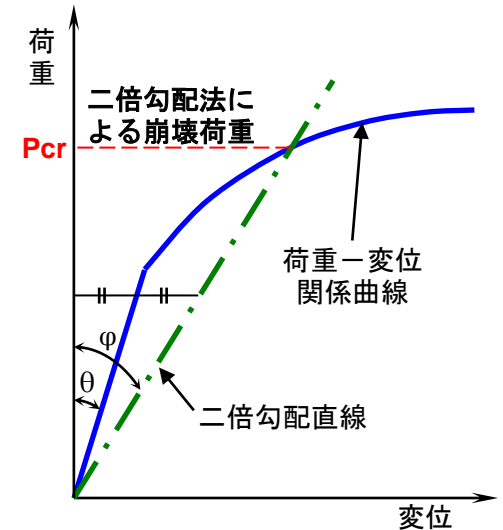
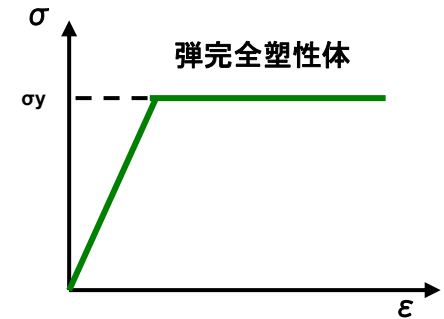
[回答]

- 1) 極限解析による評価では、降伏点を弾性の上限とした弾完全塑性体の応力ひずみ曲線を仮定して極限解析を行い、荷重と変位の関係から崩壊荷重の下限値、具体的には荷重とそれによる変位量の関係直線又は関係曲線と荷重軸に対し弾性範囲の関係直線の勾配の2倍の勾配を有する直線が交わる点に対応する荷重 (P_{cr}) を求め、それを基に定めた許容限界荷重を実際に適用される荷重 (P_c) が超えないことを評価します。

ASME B&PV Code Section III Subsection NFにおいても支持構造物に対する極限解析適用の規定がありますが、設計・建設規格の支持構造物に対する規定は、設計・建設規格のクラス 1 容器及び炉心支持構造物の規定を参考に新たに定めたものです。

鋼構造許容応力度設計規準*には極限解析の規定はありませんが、許容応力設計と同様に同規準を参考に降伏点の基準としてF値を取り入れ、各供用状態での許容限界荷重の安全係数を許容応力設計と合わせました。 (*鋼構造設計規準より名称が変更)

構造物の崩壊荷重の下限値を求める解析の手法については、クラス 1 容器及び炉心支持構造物の規定と同じ手法を用います。



(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

- 2) 支持構造物では、「鋼構造許容応力度設計規準」に従い強度の基本値としてF値を用いており、極限解析に用いる降伏点もF値(参考-1)をベースとしました。
- 極限解析による評価での各供用状態の許容限界荷重として、崩壊荷重の下限値に乗じる係数については、許容応力設計の関係と整合させています。

支持構造物 許容応力と極限解析による評価の比較

	許容応力	極限解析による評価	
	引張***	降伏点	許容限界荷重
供用状態A,B	F/1.5	F	2/3Pcr
供用状態C	F	F	Pcr
供用状態D	F*	Min(1.2F, 0.7Su)**	Pcr

*: Fを設定するSyは1.2Syに読み替える (40°Cを超えるオーステナイトステンレス鋼及び高ニッケル鋼の1.35Syは1.2倍しない)

**: Fを設定する40 °Cを超えるオーステナイトステンレス鋼及び高ニッケル鋼の1.35Syは1.2倍しない

***: 他の応力(せん断、圧縮、曲げ、支圧)に関しても各供用状態での関係は同様

(参考-1) F値

F値は、SSB-3121.1(供用状態A及びBでの許容応力)の(1)において、以下の通り定義されている。

F: 次のa.又はb.に定める値

- a. 溶接部であって溶接規格N-1100の規定に準じてそれぞれ放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行った場合に合格する部分、又は溶接部以外の部分については、次の値
 - (a) 使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、次のうちいずれか小さい方の値
$$1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})$$
 - (b) 上記の(a)以外のものについては、次のうち小さい方の値
$$S_y, 0.7S_u$$
- b. 溶接部であってa.に掲げる部分以外の部分については、a.に定める値の0.45倍の値

(1) クラス1 支持構造物の極限解析による評価

3) 設計・建設規格のクラス1容器、炉心支持構造物との比較は下表のとおりです。

支持構造物と同じ非耐圧構造の炉心支持構造物と比較すると、強度の基準値 (S_m と F) の違いがありますが、供用状態A及びB、供用状態Cではほぼ同等の基準となっています。

供用状態Dについては炉心支持構造物では P_{cr} に係数0.9が掛かっているが、降伏点の供用状態Cからの割り増しが支持構造物より大きくなっています。

設計・建設規格各構造物 極限解析による評価の比較

	クラス1容器		炉心支持構造物		支持構造物	
	降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値
供用状態A,B	$1.5S_m$	$2/3P_{cr}$	$1.5S_m$	$2/3P_{cr}$	F	$2/3P_{cr}$
供用状態C	$1.5S_m$	$0.8P_{cr}$	$1.5S_m$	P_{cr}	F	P_{cr}
供用状態D	$\text{Min}(2.3S_m, 0.7S_u)$	$0.9P_{cr}$	$\text{Min}(2.3S_m, 0.7S_u)$	$0.9P_{cr}$	$\text{Min}(1.2F, 0.7S_u)$	P_{cr}
試験条件	S_y	$0.8P_{cr}$	—	—	—	—

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- 4) 支持構造物の極限解析による評価の規定は、参照としている基準の違いによりクラス1容器、炉心支持構造物と相違していますが、各供用状態での S_y を超えない値を降伏点とした弾塑性解析を行い評価しており、妥当性が認知された手法と考えます。

参考)

次ページ以降に、代表的な材料について、クラス1容器、炉心支持構造物及び支持構造物の極限解析に用いられる各供用状態での降伏点に、 P_{cr} の係数を乗じた値の比較を示します。

事例規格(3DFEM)*の値についても参考として記載しています。

* 弾塑性有限要素解析を用いたクラス1容器に対する強度評価の代替規定(NC-CC-005)

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

極限解析における、解析に用いる降伏点と制限値の比較

	容器		炉心支持構造物		事例規格 (3 DFEM)		支持構造物	
	降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値
設計条件	1.5 Sm	2/3Pcr	1.5 Sm	2/3Pcr	Sm	Pcr	F 値	2/3Pcr
供用状態 C	1.5 Sm	0.8Pcr	1.5 Sm	Pcr	(CS)	Pcr	F 値	Pcr
					Min.(Sy, 2/3Su)			
供用状態 D	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	(SUS)	Pcr	Min.(1.2F, 0.7Su)	Pcr
					1.2Sm			
試験状態	Sy	0.8 Pcr	-	-	(CS)	Pcr	-	-
					2/3 Su			
					(SUS)		(1.2F に含まれる 1.35Sy は 1.2 倍しない)	
					Min.(2.4Sm, 2/3Su)			

容器・炉心支持構造物

CS

Sm=Min.(2/3 Sy, 1/3 Su)
 1.5Sm= Min.(Sy, 0.5 Su)
 2.3Sm= Min.(1.53 Sy, 0.77 Su)

SUS

Sm=Min.(0.9Sy, 1/3 Su)
 1.5Sm= Min.(1.35 Sy, 0.5 Su)
 2.3Sm= Min.(2.07 Sy, 0.77 Su)

事例規格 (3 DFEM)

CS

Sm=Min.(2/3 Sy, 1/3 Su)

SUS

Sm=Min.(0.9Sy, 1/3 Su)
 1.2Sm=(1.08Sy, 0.4Su)
 2.4Sm=(2.16Sy, 0.8Su)

支持構造物

CS

F= Min.(Sy, 0.7 Su)
 F=Min.(Sy, 0.7 Su)
 1.2F= Min.(1.2Sy, 0.84 Su)

SUS

F= Min.(1.35Sy, 0.7 Su)
 F= Min.(1.35Sy, 0.7 Su)
 1.2F= (1.35Sy は 1.2 倍なし)=Min.(1.35Sy, 0.84Su)

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

極限解析における、解析に用いる降伏点と制限値の比較（炭素鋼・低合金鋼の場合） 単位：MPa

極限解析における、解析に用いる降伏点と制限値の比較									
		容器		炉心支持構造物		事例規格（3 DFEM）		支持構造物	
		降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値
1	設計条件	1.5 Sm	2/3Pcr	1.5 Sm	2/3Pcr	Sm	Pcr	F 値	2/3Pcr
2		Min(Sy,0.5Su)		Min(Sy,0.5Su)		Min.(2/3 Sy, 1/3 Su)		Min(Sy,0.7Su)	
3		Min(2/3Sy,1/3Su)	Pcr	Min(2/3Sy,1/3Su)	Pcr	Min(2/3Sy,1/3Su)	Pcr	Min(2/3Sy,0.47Su)	Pcr
4	供用状態 C	1.5 Sm	0.8Pcr	1.5 Sm	Pcr	(CS)	Pcr	F 値	Pcr
5		Min(Sy,0.5Su)		Min(Sy,0.5Su)		Min.(Sy,2/3Su)		Min.(Sy, 0.7 Su)	
6		Min(0.8Sy,0.4Su)	Pcr	Min(Sy,0.5Su)	Pcr	Min.(Sy,2/3Su)	Pcr	Min.(Sy, 0.7 Su)	Pcr
7	供用状態 D	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	(CS)	Pcr	Min.(1.2F, 0.7Su)	Pcr
8		Min(1.53Sy, 0.7Su)		Min(1.53Sy, 0.7Su)		2/3 Su		Min(1.2Sy, 0.7Su)	
9		Min(1.38Sy, 0.63Su)	Pcr	Min(1.38Sy, 0.63Su)	Pcr	2/3 Su	Pcr	Min(1.2Sy, 0.7Su)	Pcr
10	試験状態	Sy	0.8 Pcr	-	-	0.9 Sy	Pcr	-	-
11		0.8Sy	Pcr	-	-	0.9Sy	Pcr	-	-

(1) 1行、4行、7行は規定により用いる降伏点と制限値の比較。 (2) 2行、5行、8行は、降伏点の Sm 等を Sy 値と Su 値で表現したもの。

(3) 3行、6行、9行は、制限値を Pcr 相当とした場合に相当する降伏点を計算したもの。(2行、5行、8行の値に制限値の係数を乗じた。)

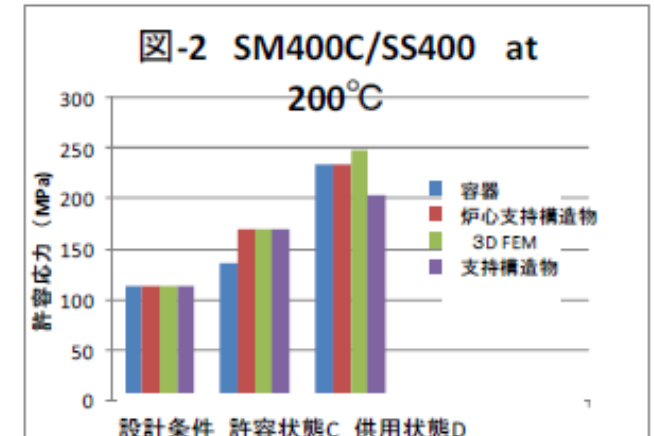
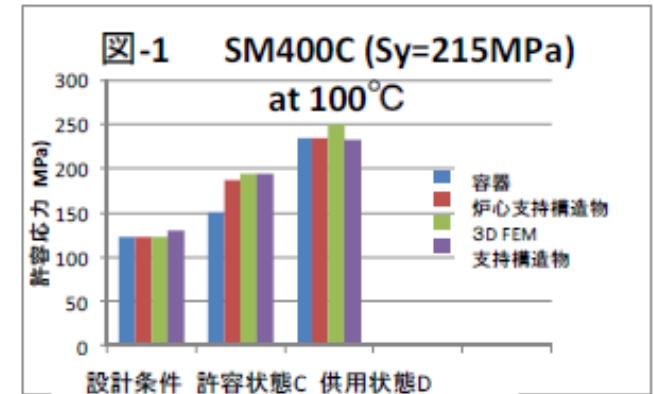
(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

代表的な材料における各供用状態での許容値（降伏点で代表）の比較例（炭素鋼・低合金鋼の場合）

(炭素鋼)

単位：MPa

			SM400C Sy=215Mpa (100°C)	SM400C Sy=215Mpa (200°C)	SS400 Sy=215Mpa (200°C)
ベース		Sy	194	170	170
		Su	373	373	373
設計状態	容器	Min(2/3Sy, 1/3Su)	124.3	113.3	113.3
	炉心支持構造物	Min(2/3Sy, 1/3Su)	124.3	113.3	113.3
	3DFEM	Min(2/3Sy, 1/3Su)	124.3	113.3	113.3
	支持構造物	Min(2/3Sy, 0.47Su)	129.3	113.3	113.3
供用状態C	容器	Min(0.8Sy, 0.4Su)	149.2	136	136
	炉心支持構造物	Min(Sy, 0.5Su)	186.5	170	170
	3DFEM	Min(Sy, 2/3Su)	194	170	170
	支持構造物	Min(Sy, 0.7 Su)	194	170	170
供用状態D	容器	Min(1.38Sy, 0.63Su)	235	234.6	234.6
	炉心支持構造物	Min(1.38Sy, 0.63Su)	235	234.6	234.6
	3DFEM	2/3Su	248.7	248.7	248.7
	支持構造物	Min(1.2Sy, 0.7Su)	232.8	204	204
			図-1 参照	図-2 参照	図-2 参照



(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

極限解析における、解析に用いる降伏点と制限値の比較 (ステンレス鋼の場合)

単位 : MPa

極限解析における、解析に用いる降伏点と制限値の比較									
		容器		炉心支持構造物		事例規格 (3 DFEM)		支持構造物	
		降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値	降伏点	制限値
1	設計条件	1.5 Sm	2/3Pcr	1.5 Sm	2/3Pcr	Sm	Pcr	F 値	2/3Pcr
2		Min(1.35Sy,0.5Su)		Min(1.35Sy,0.5Su)		Min.(0.9Sy, 1/3 Su)		Min(1.35Sy,0.7Su)	
3		Min(0.9Sy,1/3Su)	Pcr	Min(0.9Sy,1/3Su)	Pcr	Min(0.9Sy,1/3Su)	Pcr	Min(0.9Sy,0.47Su)	Pcr
4	供用状態 C	1.5 Sm	0.8Pcr	1.5 Sm	Pcr	(SUS) 1.2Sm	Pcr	F 値	Pcr
5		Min(1.35Sy,0.5Su)		Min(1.35Sy,0.5Su)		Min.(1.08Sy,0.4Su)		Min.(1.35Sy, 0.7 Su)	
6		Min(1.08Sy,0.4Su)	Pcr	Min(1.35Sy,0.5Su)	Pcr	Min.(1.08Sy,0.4Su)	Pcr	Min.(1.35Sy, 0.7 Su)	Pcr
7	供用状態 D	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	Min.(2.3Sm, 0.7Su)	0.9 Pcr	(SUS) Min.(2.4Sm, 2/3Su)	Pcr	Min.(1.2F, 0.7Su) (1.2F に含まれ る 1.35Sy は 1.2 倍しない)	Pcr
8		Min(2.07Sy, 0.7Su)		Min(2.07Sy, 0.7Su)		Min(2.16Sy, 2/3Su)		Min(1.35Sy, 0.7Su)	
9		Min(1.86Sy, 0.63Su)	Pcr	Min(1.86Sy, 0.63Su)	Pcr	Min(2.16Sy, 2/3Su)	Pcr	Min(1.35Sy, 0.7Su)	Pcr
10	試験状態	Sy	0.8 Pcr	-	-	0.9 Sy	Pcr	-	-
11		0.8Sy	Pcr	-	-	0.9Sy	Pcr	-	-

(1) 1 行、4 行、7 行は規定により用いる降伏点と制限値の比較。

(2) 2 行、5 行、8 行は、降伏点の Sm 等を Sy 値と Su 値で表現したもの。

(3) 3 行、6 行、9 行は、制限値を Pcr 相当とした場合に相当する降伏点を計算したもの。(2 行、5 行、8 行の値に制限値の係数を乗じた。)

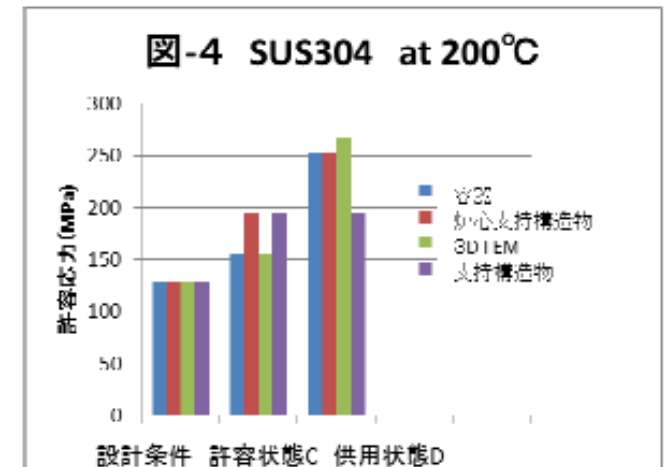
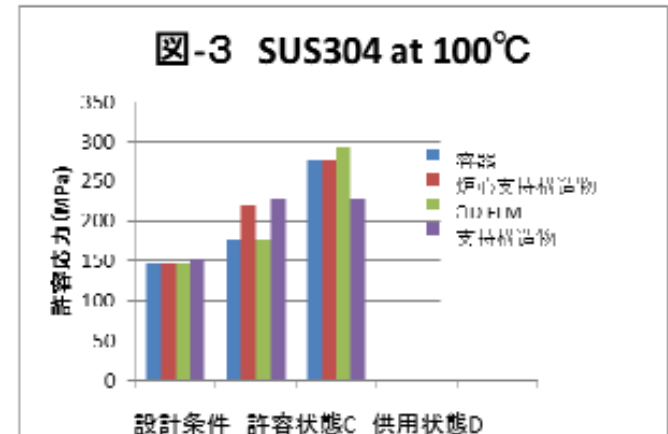
(1) クラス1 支持構造物の極限解析による評価

代表的な材料における各供用状態での許容値（降伏点で代表）の比較例（ステンレス鋼の場合）

(ステンレス鋼)

単位：MPa

			SUS304 (G4303) (100℃)	SUS304 (G4303) (200℃)
ベース		Sy	170	144
		Su	441	402
設計状態	容器	Min(0.9Sy,1/3Su)	147	129.6
	炉心支持構造物	Min(0.9Sy,1/3Su)	147	129.6
	3DFEM	Min(0.9Sy,1/3Su)	147	129.6
	支持構造物	Min(0.9Sy,0.47Su)	153	129.6
供用状態C	容器	Min(1.08Sy,0.4Su)	176.4	155.5
	炉心支持構造物	Min(1.35Sy,0.5Su)	220.5	194.4
	3DFEM	Min(1.08Sy,0.4Su)	176.4	155.5
	支持構造物	Min(1.35Sy, 0.7 Su)	229.5	194.4
供用状態D	容器	Min(1.86Sy, 0.63Su)	277.8	253.3
	炉心支持構造物	Min(1.86Sy, 0.63Su)	277.8	253.3
	3DFEM	Min(2.16Sy, 2/3Su)	294	268
	支持構造物	Min(1.35Sy, 0.7Su)	229.5	194.4
			図-3 参照	図-4 参照



(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

(考察)

- (1) ステンレス鋼の場合、支持構造物では、供用状態Cと供用状態Dの許容値が同じになっている。これは、F値に関して、ステンレス鋼の場合の $1.35S_y$ の S_y は 1.2 倍しないとの規定があり、 S_y 側の値が増加しないこと、一方 S_u 側は供用状態Cと供用状態Dともに $0.7S_u$ が上限となっており、許容値が増加していないことによっている。
- (2) 炭素鋼の場合には、 S_y が 1.2 倍になっているので、増加はしているが、炉心支持構造物では、 S_y 側が供用状態Dと供用状態Cの比が 1.38 倍になっているのに対し、支持構造物では 1.2 倍にとどまり、小さい値になっている。このことから、支持構造物での制限値を炉心支持構造物と同じに $0.9P_{cr}$ とすると、さらに小さな値となることから、支持構造物では制限値を P_{cr} のままとしている。この場合でも、供用状態Dと供用状態Cの比は、炉心支持構造物 1.38 にたいして支持構造物 1.2 である。また、仮に支持構造物の制限値を $0.9P_{cr}$ とすると、供用状態Dと供用状態Cの制限値の値が逆転する。
- (3) SM400C の 100°C の場合、供用状態Dの炉心支持構造物での、 $\text{Min.}(1.38S_y, 0.63S_u)$ は、 $0.63S_u$ が小さな値となり、一方、支持構造物の $\text{Min.}(1.2S_y, 0.7S_u)$ は $1.2S_y$ が小さな値となるが、 $0.63S_u$ と $1.2S_y$ は同等の値となり、炉心支持構造物と支持構造物では同等の値となっている。一方、 200°C では、炉心支持構造物での、 $\text{Min.}(1.38S_y, 0.63S_u)$ は $1.38S_y$ と $0.63S_u$ がほぼ同等で、支持構造物の $\text{Min.}(1.2S_y, 0.7S_u)$ では、 $1.2S_y$ の値が小さくなり、結果的に、炉心支持構造物の $1.38S_y$ と支持構造物の $1.2S_y$ の値の差となって表われている。
- (4) 供用状態Dの SUS304 では、炉心支持構造物での S_u 側では、 $0.63S_u$ となり $1.86S_y$ より小さい値となるが、支持構造物の $1.35S_y$ が $0.63S_u$ よりさらに小さな値となることから、結果的に、支持構造物の値が炉心支持構造物の場合より小さな値になっている。
- (5) 支持構造物での提案の許容値の体系は、支持構造物に特有のF値を用いたものとしたが、代表的な炭素鋼とステンレス鋼を例にとり比較した結果、設計状態、供用状態Cでは炉心支持構造物の値とほぼ同等、許容状態Dでは、同等または、若干低めの値となっている。

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- (c) 日本建築学会の「鋼構造塑性設計指針」は設計・建設規格に引用された規格ではありませんが、「鋼構造設計規準」と関連する規格であり、極限解析手法が規定されています。クラス1支持構造物の極限解析手法の規定と鋼構造塑性設計指針の極限解析手法の規定とを比較し、差異を説明してください。

[回答]

鋼構造塑性設計指針も、崩壊機構に基づく崩壊荷重を求める設計法を規定しているもので、支持構造物の極限解析による評価と相反するものではありません。

鋼構造塑性設計指針では骨組み構造の梁モデルのみを対象として詳細な規定をしており、線材形状の支持構造物を評価する際の参考にできると考えます。

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

鋼構造塑性設計指針 概要

目次	概要	設計・建設規格 極限解析による評価との相違、影響
1章 基本事項	指針の概要、基本的事項	規格対象範囲が骨組み構造に限定、耐震での適用方法も対象としているところが相違。
2章 塑性解析	塑性解析の基本解説	崩壊機構・崩壊荷重の一般的な説明。
3章 全塑性モーメント	線材の全塑性モーメントの算出方法	梁状構造物の極限解析では参考になる。塑性の始まりは、降伏応力としている。設計・建設規格では強度も考慮したF値を採用している。
4章 板要素の幅厚比	崩壊機構になるまで局部座屈を発生させない幅厚比の規定	梁状構造物の極限解析では参考になる。
5章 梁	崩壊機構になるまで部材耐力を低下させない梁の規定	梁状構造物の極限解析では参考になる。
6章 柱	崩壊機構になるまで部材耐力を低下させない柱の規定	梁状構造物の極限解析では参考になる。
7章 ブレース	ラーメン構造の崩壊荷重に足し合わられるブレース耐力の規定	梁状構造物の極限解析では参考になる。
8章 接合部	崩壊機構になるまで部材耐力を低下させない接合部の規定	梁状構造物の極限解析では参考になる。
9章 崩壊荷重の算定方法	増分解析を用いない崩壊荷重の算定方法の解説	崩壊荷重の他の算出方法(2倍勾配法)を否定しているわけではない。
10章 骨組と部材の変形	骨組みの変形によるエネルギー消費を考慮した耐震設計の提案	設計・建設規格の規定の範囲外。
11章 設計例	設計例	梁状構造物の極限解析では参考になる。

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- (d) クラス1支持構造物には様々な形状の溶接部が想定されますが、溶接規格にはクラス1支持構造物の規定はありません。これらの溶接部位に対する極限解析手法の規定への制限の要否及びその技術的妥当性を説明して下さい。

[回答]

ASME B&PV Code Sec. III NFに規定されているように支持構造物には様々な形状の溶接部が存在します。耐圧バウンダリとならない支持構造物の溶接部は溶接規格に規定されていませんが、SSB-3340において、溶接部を含む接合部に対して「荷重を十分に伝える」ことが規定されています。またSSB-3121.1(1)において溶接規格N-1100の規定に準じて試験を行わなかった溶接については許容値を0.45倍にするよう規定されています。極限解析による評価の荷重に対してもこれらの規定を満足する必要があり、全塑性に達する接合部ではその応力を伝えるよう設計され、接合部ではなく母材側で塑性変形が進行することになります。

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

設計・建設規格 2020年版 SSB-3340

支持構造物の接合は、溶接又はボルト締めによるものとする。

接合部は、接合される部材の荷重を十分に伝えるものでなければならない。

また、ボルト締めの接合部にゆるみが生じるおそれがある場合は、ゆるみ止めの措置を講じるものとする。

(1) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

設計・建設規格 2020年版 SSB-3121.1 (抜粋)

F : 次の a.又は b.に定める値

- a. 溶接部であって溶接規格 N-1100 の規定に準じてそれぞれ放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行った場合に合格する部分、又は溶接部以外の部分については、次の値

- (a) 使用温度が 40°Cを超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、次のうちいずれか小さい方の値

- ・ $1.35 S_y$
- ・ $0.7 S_u$
- ・ $S_y(RT)$

S_y : 材料規格 Part 3 第1章 表6に規定する材料の設計降伏点 (MPa)

S_u : 材料規格 Part 3 第1章 表7に規定する材料の設計引張強さ (MPa)

$S_y(RT)$: 材料規格 Part 3 第1章 表6に規定する材料の 40°Cにおける設計降伏点 (MPa)

- (b) 上記の(a)以外のものについては、次のうち小さい方の値

- ・ S_y
- ・ $0.7 S_u$

S_y, S_u : (a)に定めるところによる。

- b. 溶接部であって a.に掲げる部分以外の部分については、a.に定める値の 0.45 倍の値

(1) クラス1支持構造物の極限解析による評価

- (e) クラス1支持構造物に極限解析手法を適用する場合と適用しない場合について、耐震モデルの作成から地震荷重の算出までの差異について説明してください。

[回答]

現行のJEAC4601に基づく耐震解析では、支持構造物は、線形のバネ要素でモデル化されます。この解析により求められた支持反力が、支持構造物へ負荷される地震荷重となります。2倍勾配法算出した崩壊荷重の下限値はほぼ降伏荷重相当であるため、極限解析を適用する場合と適用しない場合でこの方法に違いはありません。

(2) クラス 1 支持構造物に対する曲げ座屈評価式の見直し

- ・ 曲げ座屈に対する許容応力の算定式で、これまではH形断面のみを対象として誘導された簡略式であったものを、横座屈耐力式を基本とする算定式に変更したとの説明がありました。改訂前の算定式と改訂後の算定式を比較し、設計係数等の違いを、データ、図表等を用いて説明して下さい。

[回答]

鋼構造許容応力度設計規準の解説に、新旧両算定式と実験値及び解析値との比較がなされています。

それによると、新算定式の方が精度よく、かつ安全率が1を下回ることなく許容値を算定できることが記載されています。

[鋼構造許容応力度設計規準の解説の5章5.1(4)を参照ください]

(3) クラス 2, 3 容器の上位クラス規定の適用

- ・ クラス2、3容器の上位クラス規定の適用については、以下の①及び②のように材料、機械試験、破壊靱性、非破壊試験及び設計に関して上位の規定によることが規定されていますが、溶接部の材料・設計については規定されていません。ASME B&PV Code Section III、「鋼構造設計規準」には、溶接部の材料・設計について規定されていますが、設計・建設規格では規定していない理由をこれらの規格と比較して説明して下さい。
 - ①「PVC-1210クラス2容器の規定の特例」には「クラス2容器はPVCの規定に従う代わりにPVB規定に従ってもよい。」と規定されている。
 - ②「PVC-1220 クラス2容器の材料及び構造の特例」には「PVB-2000からPVB-2400、PVB-3100からPVB-4100 までの規定に準ずることができる。」と規定されている。

(3) クラス 2, 3 容器の上位クラス規定の適用

[回答]

PVC-1210の規定はASME NCA-2134、PVC-1220の規定はASME NCD-3200 にそれぞれ対応する。

PVC-1210は、2014年追補版で追加され、材料及び構造に限らず、製造, 検査に至るまですべて上位クラスの規定に従うことができる。

PVC-1220は、告示501からある規定でありクラス2容器へのDesign by Analysisを規定している。

PVC-1200 クラス2容器の規定の特例

クラス2容器は、PVC-1210 又はPVC-1220 の規定に従うことができる。

PVC-1210 クラス2容器の規定の特例

クラス2容器はPVC 規定に従う代わりにPVB 規定に従ってもよい。

PVC-1220 クラス2容器の材料及び構造の特例

PVC-2000 からPVC-2400、PVC-3100 からPVC-3800 及びPVC-4100 までの規定にかかわらず、クラス2容器の材料及び構造の規格は、PVB-2000 からPVB-2400 及びPVB-3100 からPVB-4100 までの規定に準ずることができる。

NCA-2134 Optional Use of Code Classes

(a) Items classified as Class 2 in their Design Specifications may be constructed and stamped in accordance with the rules of Subsection NB.

(b) Items classified as Class 3 in their Design Specifications may be constructed and stamped in accordance with the rules of Subsection NB or NCD.

....

NCD-3200 ALTERNATIVE DESIGN RULES FOR CLASS 2 VESSELS NCD-3210 GENERAL REQUIREMENTS

NCD-3211 Basis for Use

NCD-3211.1 Scope

(a) This subarticle contains design rules for Class 2 vessels which may be used as an alternative to the design rules in NCD-3300. When these requirements are met for design, the stress intensity values of Section II, Part D, Subpart 1, Tables 2A, 2B, and 4 may be used.....

(3) クラス 2, 3 容器の上位クラス規定の適用

[参考]

例として、クラス 2 容器に対してPVC-1220の特例を適用した場合及びPVC-1210の特例を適用した場合について、それぞれの準用クラスを整理すると以下の通りとなる。

材料及び構造設計をクラス 1 とするため、溶接部の材料、製造及び検査もクラス 1 に従う。

PVC-1210 クラス2容器の規定の特例

クラス2容器はPVC 規定に従う代わりにPVB 規定に従ってもよい。

PVC-1220 クラス2容器の材料及び構造の特例

PVC-2000 からPVC-2400、PVC-3100 からPVC-3800 及びPVC-4100 までの規定にかかわらず、クラス2容器の材料及び構造の規格は、PVB-2000 からPVB-2400 及びPVB-3100 からPVB-4100 までの規定に準ずることができる。

規格	項目	PVC-1210	PVC-1220
設計・建設規格	材料及び構造設計	クラス1	クラス1
	溶接部の設計	クラス1	クラス2
溶接規格	溶接部の材料、製造及び検査	クラス1 (*)	クラス1 (*)

* 溶接規格の総則N-0070により、クラス1適用となる。

N-0070 溶接の特例

材料及び構造について、日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に規定する特例を適用した場合には、溶接についても材料及び構造に準じたクラス分類の規定による。