

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 第2回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

1. 設計・建設規格

(1) 他規格等の要求事項を取り込む際の考え方

設計・建設規格は、鋼構造設計基準¹、ASME Sec. III²を取り込んだ、告示501号³の規定を残しているという説明がありました⁴。例えば、ASME Sec. IIIでは材料、設計、溶接の方法、検査が規定され、品質管理がトータルで行われるようになっていきます。どのような考え方で他の規格等を取り込んでいるのか、フローチャートで示して下さい。

(2) クラス1支持構造物の極限解析による評価

(a) クラス1支持構造物には様々な構造・形状があり、どのような支持構造物を対象に適用性を確認したのかを質問したところ、構造・形状に依存するものではないとの説明がありました⁵。ASME Section III の NF-3340 Limit Analysis for Class 1 には具体的な構造・形状の例が示され、適用できる範囲がしめされています⁶。「極限解析による評価」が構造・形状に依存するものではないとする技術的根拠を説明してください。

(b) 許容応力の考え方は、ASME Sec. III と鋼構造設計基準を取り入れた⁷とありますが、何をどのように取り入れたのか、また、その技術的妥当性を示して下さい。例えば、鋼構造設計基準では、材料として建築構造用圧延鋼材や一般構造用圧延鋼材等が対象でステンレス鋼は対象となっていません。

(c) 制限値の考え方をクラス1容器及び炉心支持構造と比較して、その技術的妥当性を示して下さい(表1参照)。

1) クラス1容器、炉心支持構造物の供用状態 A, B, C の制限値 P_{cr} は、材料の降伏点を最高使用温度における $1.5S_m$ の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限とされていますが、クラス1支持構造物の制限値 P_{cr} は、材料の降伏点を最高使用温度における SSB-3121.1(1)に示す F 値の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限とされています。クラス1支持構造物の制限値 P_{cr} をどのように定めたのか、及びその技術的妥当性を示して下さい。

¹ 日本建築学会

² Rules for Construction of Nuclear Facility Components

³ 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準

⁴ 第1回設計・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 資料1-3-1 p5等

⁵ 第1回設計・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 資料1-3-1 p2

⁶ ASME Code Sec. III NF NF-3340 Figure NF-3332.3-1等

⁷ 第1回設計・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 資料1-3-1 p5

- 2) クラス 1 容器、炉心支持構造物の供用状態 D の制限値 P_{cr} は、材料の降伏点を $\text{MIN}[2.3S_m, 0.7S_u]$ の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限とされていますが、クラス 1 支持構造物の制限値 P_{cr} は、材料の降伏点を $\text{MIN}[1.2F, 0.7S_u]$ の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限とされています。クラス 1 支持構造物の制限値 P_{cr} をどのように定めたのか、及びその技術的妥当性を示してください。
- 3) クラス 1 容器、炉心支持構造物の供用状態 D における荷重 P_c は、 $0.9P_{cr}$ 以下とされていますが、クラス 1 支持構造物の荷重 P_c は P_{cr} 以下とされており、クラス 1 容器、炉心支持構造物より高くなっています。供用状態 D における荷重 P_c をどのようにして決めたのか、考え方を説明して下さい。
- (d) 2 倍勾配法で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（耐震解析の方法）に違いはないとのことですが、これはいずれの場合でも「極限解析を用いた場合でも弾性限度に収まる」という説明と理解してよいでしょうか。よい場合、弾性限度に収まるという根拠を、図等⁸を用いて説明してください。
- (3) クラス 1 支持構造物に対する曲げ座屈評価式の見直し
- (a) 曲げ座屈評価における許容応力 F (SSB-3121.1) は、 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以外について、鋼構造設計規準の許容応力を取り込んでいます。その考え方と技術的根拠について説明してください。特に、座屈式の適用範囲（構造・形状制限、ステンレス鋼等への適用拡大）、 $1.35S_y$ (40 度以上)、 $0.7S_u$ 等とした妥当性について説明してください。
- (b) 鋼構造設計規準 1973 年版では、疲労の繰返し数と応力比から定められる疲れ係数 γ を応力幅振幅の上下限での絶対値が大きいほうの値に乗じた値が長期許容応力以下とするものとしていました。実際の構造物において許容応力度以下の応力で疲労損傷が生じた事例や、変動応力に対する疲労の検討ができないことなどの問題点が存在していたことから、鋼構造設計規準 2005 年版では疲労設計が規定されていると理解しています。設計・建設規格のクラス 1 支持構造物の規定に疲労に対する規定を盛り込んでいない理由を説明して下さい。
- (4) クラス 2, 3 容器の上位クラス規定の適用
- (a) クラス 2, 3 容器に上位クラスの規定を適用した場合の考え方について、製作及び検査も上位クラスの規定に従うのか、従う場合、上位クラスの規定を下位のクラスに適用するメリットは何か、従わない場合、その理由を説明して下さい。
- (b) 「PVC-1220 クラス 2 容器の材料及び構造の特例」は、材料及び構造設計と溶接部の材料、製造及び検査はクラス 1 容器によることができ、その場合の溶接部の設計は、クラス 2 容器の規定に従うという説明がありました。また、この規定は告示 501 号を踏襲している旨の説明がありました。電気工作物の溶接の技術基準

⁸ 例えば、第 1 回設計・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 資料 1-3-1 p5

の解釈（以下「溶技解釈」という。）の第 114 条には、クラス 1 容器の材料及び構造の規格に適合するクラス 2 容器の溶接については、クラス 1 容器の溶接の規定によらなければならないと規定されています。

- 1) 告示 501 号のみを取り込んだ理由を説明してください。
- 2) 溶接規格に溶技解釈第 114 条に対応する規定がある場合には、その規定と PVC-1220 の規定との関係について説明してください。
- 3) ASME Sec. III では NCD-3200 の規定を用いた場合、溶接設計の規定はどのように規定されているか説明して下さい。

表 1 極限解析に基づく一次応力評価の比較

クラス 1 容器 PVB-3160 極限解析に基づく一次応力評価	炉心支持構造物 CSS-3160 極限解析による評価	クラス 1 支持構造物 SSB-3140 極限解析による評価
<p>各供用状態における荷重が次の (1) から (4) の規定を満足する場合は、PVB-3111 の規定を満足しなくてもよい。</p>	<p>各供用状態における荷重が次の (1) から (3) の規定を満足する場合は、CSS-3111 の規定を満足しなくてもよい。</p>	<p>各供用状態において次の (1) から (3) の規定を満足する場合は、SSB-3121 の規定を満足しなくてもよい。<u>ただし、座屈が懸念される場合には、別途、座屈の評価を実施すること。</u></p>
<p>(1) 設計条件における荷重 : P_c</p>	<p>(1) 設計条件における荷重 : P_c</p>	<p>(1) 供用状態 A 及び B における荷重 : P_c</p>
<p>$P_c \leq 2/3 P_{cr}$ (PVB-64) P_{cr} : 材料の降伏点を最高使用温度における $1.5 S_m$ の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限 (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とする。以下 PVB-3160 において同じ)</p>	<p>$P_c \leq P_{cr}$ (CSS-38) P_{cr} : 材料の降伏点を最高使用温度における $1.5 S_m$ の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限 (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とする。以下 CSS-3160 において同じ)</p>	<p>$P_c \leq P_{cr}$ (SSB-1. 33) P_{cr} : 材料の降伏点を最高使用温度における <u>SSB-3121. 1 (1) に示す F 値の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限 (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とする。以下本項において同じ)</u></p>
<p>(2) 供用状態 C における荷重 : P_c $P_c \leq 0.8 P_{cr}$ (PVB-65) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>$1.5 S_m$</u> の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限</p>	<p>(2) 供用状態 C における荷重 : P_c $P_c \leq P_{cr}$ (CSS-39) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>$1.5 S_m$</u> の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限</p>	<p>(2) 供用状態 C における荷重 : P_c $P_c \leq P_{cr}$ (SSB-1. 34) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>F 値の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限</u></p>
<p>(3) 供用状態 D における荷重 : P_c $P_c \leq 0.9 P_{cr}$ (PVB-66) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>MIN [$2.3 S_m$, $0.7 S_u$]</u> の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限</p>	<p>(3) 供用状態 D における荷重 : P_c $P_c \leq 0.9 P_{cr}$ (CSS-40) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>MIN [$2.3 S_m$, $0.7 S_u$]</u> の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限</p>	<p>(3) 供用状態 D における荷重 : P_c $P_c \leq P_{cr}$ (SSB-1. 35) P_{cr} : 材料の降伏点を <u>MIN [$1.2F$, $0.7S_u$]</u> の弾完全塑性体として極限解析により求めた崩壊荷重の下限。<u>ただし、$1.2F$ の計算で、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金であって使用温度が 40°C を超える材料の規定値のうち、$1.35S_y$ (使用温度) に対しては 1.2 を乗じないこと。</u></p>
<p>(4) 試験状態における荷重 : P_c $P_c \leq 0.8 P_{cr}$ (PVB-67) P_{cr} : 材料の降伏点を試験温度における S_y の弾完全塑性体として極限解析によって求めた崩壊荷重の下限</p>		

2. 材料規格

(1) 他規格等の材料を取り込む際の考え方

- (a) 材料規格は、ASME Sec. II⁹、JIS B8267「圧力容器の設計」を取り込んだ、JIS 圧力容器規格 (Design by Rule) の考え方に基づいて設計係数を見直ししなかった等の説明がありました¹⁰。どのような考え方で他の規格等を取り込んでいるのか、フローチャートで示して下さい。

(2) 「Part2 第1章 表1 使用する材料の規格」の見直し

上位の機器等の区分で使用可としている材料は、下位の機器等の区分においても使用を可とした理由として、①「従来からクラス3配管への使用を認めていることに合わせてクラス4配管で使用可能とした。」、②「JSME-N7 (1種、2種) 及び JSME-N8 (1種) については、相当する ASME 材との整合により、クラス1配管への使用を可とし、上位クラス機器に準拠して、クラス2、3、4配管への使用も可とした。」、③「設計・建設規格で、下位クラス配管の材料に上位クラスの配管の材料を適用してよいことが規定されている。」との説明がありました。

- (a) 上記②について、どのような技術的根拠に基づいて使用を可としたのか示して下さい。
- (b) 上記②以外の材料についても、どのような技術的根拠に基づいて使用を可としたのか示して下さい。

(3) 材料の許容引張応力 (S 値) の見直し

- (a) JIS G 3203「高温圧力容器用合金鋼鍛鋼品」の SFVAF2 については、クラス1機器 (クラス1容器を除く) に使用できると規定されましたが、Su 値及び Sm 値が規定されていません。その理由を説明して下さい。今後設定される予定であるかも説明して下さい。なお、STBA22、SCMV1-2 及び NCF750 は、Sm 値、S 値、Sy 値及び Su 値がいずれも設定されています。また、同じ JIS G 3203 の SFVA2 を除く SFVA1~SFVA5B もクラス1機器に使用できるとしていますが、Sm 値が規定されていません。さらに、同様にクラス1機器に使用できるとしている JIS G 4109 の SCMV-1 の常温最小引張強さが 480MPa の Sm 値が規定されていません。

(4) ASME 相当材と同定した材料

- (a) ASME 相当材の同定方法に関する「図 ASME 規格相当材同定フロー (2012年版 制定時)」について、以下の点を説明して下さい。
- 1) 「常温の Su, Sy の差異が 10MPa」となるかどうかで選定した理由。
 - 2) 「高温の Sy の差異が 10MPa を超えたものについては、その差異の妥当性について、「高温の Sy や Su のトレンドカーブ、値の保守性等確認して専門家による合

⁹

¹⁰ 第1回設計・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 資料 1-3-2 p2 等

意の上で ASME 規格相当材と同定した。との協議のうえ同定した」とあるが、「保守性等」には何が含まれるのか。

3) どのような材料が上記 2) に該当したか。

(b) 「JIS B 8267 圧力容器の設計」及び「JIS B 8265 圧力容器の構造—一般事項」を参考にして「材料規格において S 値の設計係数を 4 から 3.5 に見直さなかった材料に関する見解は、JIS 圧力容器規格 (Design by Rule) の考え方に基づいている。」としていますが、これらの規格は設計圧力が原則 30MPa 未満の圧力容器の設計についての規定であり、原子力分野への適用は除外しています。これらの規格を参考にする場合、設計圧力が 30MPa 未満とする等の適用制限が必要と考えられます。ここでいう「JIS 圧力容器規格 (Design by Rule) の考え方」とは何か説明して下さい。

(5) JIS 番号の異なる材料値の適用

(a) 「JIS G 4052 焼入性を保証した構造用鋼鋼材 (H 鋼)」の SCM435H、SCM440H 及び SCM445H (いずれもクロムモリブデン鋼) を取り込み、その規格値として、SCM435、SCM440 及び SCM445 と同じとしたことについて、「質量効果が考慮された一定品質の機械的特性が確保されている。」等の定性的な説明がありました。常温・高温での機械特性を比較して示してください。

(b) 「JIS G 4901 耐食耐熱超合金棒」の NCF750 (棒材) の高強度材の S 値として、「JIS G 4902 耐食耐熱超合金、ニッケル及びニッケル合金—板及び帯」の X750 (板材) の高強度材の S 値を参照して設定していることについて、薄板の材料強度に係わる許容値を厚板に適用することを確認した技術的根拠について説明をもとめたところ、適用寸法は異なるが、同一熱処理条件下では耐力及び引張強さは JIS 材料規格上同じ値であるとの説明がありました。JIS 規格値は常温の機械特性が規定されています。高温での機械特性を比較して示してください。

(6) 「JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材」の材料規格への取り入れ

電力中央研究所報告「高い安全性を有する SN 材の高温強度特性の評価」(Q13009) を用いて説明がありましたが、市場では一般的に TMPC¹¹材が流通しています。電中研報告は TMCP 材とその他の材の結果が示されていますが、許容値に反映されたのはその他の材のものです。TMCP 材をその他の材と同等としてよい理由を説明して下さい。

(7) オーステナイト系ステンレス鋼もしくは高ニッケル合金の S_m 値及び S 値に対するひずみ制限

材料規格 2012 年版の技術評価書において、「フランジ等の変形が耐漏えい性に影響を及ぼす可能性がある部位に対する応力の制限について、JIS 規格及び ASME 規格等の規定と材料規格の規定に差異が存在している。(中略) 今後の材料規格の改訂に際し、これらの規格と整合させることの要否が検討されることを期待する。」としたことへの対応として、日本機械学会は、第 1 回会合資料 1-1-3 において「検討を継続しているところ

¹¹ Thermo Mechanical Control Process (熱加工制御)

ではあるが、解説に以下のように記載している。」とし、解説に記載するにとどめています。ASME Sec. II や「JIS B 8267 圧力容器の設計」においても、ひずみ制限は許容値の設定の要件になっており、材料規格 2020 年版においても、いくつかの材料については新規に許容値が規定されています。ひずみ制限を規定することについての課題は何か具体的に説明して下さい。