

電氣技術指針  
原子力編

# 原子力発電所耐震設計技術指針

JEAG 4601 - 1970



社団法人 日本電気協会  
電氣技術基準調査委員会

Aクラス；その機能喪失が原子炉事故をひき起すおそれのあるもの、および原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの、Aクラスのうちでも安全上特に重要なもの、すなわち原子炉格納容器、原子炉停止装置は通常Asクラスに分類される。

Bクラス；高放射性物質に関連するもので、Aクラスに属する以外のもの。

Cクラス；AクラスおよびBクラス以外のもので通常の耐震性を要するもの。

#### 1・2・2 耐震設計で考慮される地震

原子力発電所の耐震設計には、建築基準法<sup>(11)</sup>に与えられている静的震度を重要度により割増して行なう静的耐震解析のほかクラスによっては動的解析が行なわれる。このために特定の敷地の原子力発電所について、設計地震とこれをさらに上回る地震の2つの強さの地震が想定される。

設計地震は、特定の敷地で予想される最強の地震であり、その強さは敷地付近において入手しうる地震歴、地盤条件等を参考にして決定される。Aクラスに属するものの動的解析は、この設計地震にもとづいて行なわれる。

Asクラスに属する施設に対しては、さらに設計地震の通常約1.5倍の強さの地震波を用いて安全上の余裕の検討が行なわれる。

今後、仮にこの地震を安全余裕検討用地震と呼ぶ。

#### 1・2・3 荷重・外力の組合せと許容応力

##### (1) 建物および構築物

地震力は死荷重、活荷重、および深雪地域では雪荷重と組み合わせる、この際の許容応力は建築基準法および建築学会構造計算規程に準拠する。ただし、原子炉格納容器にたいしては、次のaによって設計するとともに、bによって安全上の余裕を確認するための検討を行なう。

a (事故荷重) + (設計地震力) + (通常運転時荷重)

b (安全余裕検討用地震力) + (通常運転時荷重)

鋼板製格納容器の許容応力は発電用原子力設備に関する構造等の技術基準<sup>(12)</sup>(以下構造等の技術基準という)の考え方に準じて4・3・3に述べる値をとる。

##### (2) 機器および配管

設計地震力と通常運転時荷重とを組み合わせる。許容応力については、構造等の技術基準に示された種別に応じて、表5・5・2の値をとる。

ただしAsクラスに属する原子炉停止装置にたいしては、さらに安全余裕検討用地震力と通常運転時荷重との組合せにたいして安全性を確認するための検討を行なう。

#### 1・2・4 建物および構築物の地震力

建物および構築物の設計地震力は建築基準法に与えられている設計震度にもとづいて通常以下に述べるように決定される。Aクラスについてはこのほかに設計地震に基づいた動的解析から決定される地震力も合せて考慮される。

(1) Aクラス

水平地震力；次のa またはb のうち大きい値をもちいる。

a 建築基準法に定める震度の3倍から定まる水平地震力（排気筒を除く）

b 設計地震による動的解析から定まる水平地震力

鉛直地震力；構築物の基部の水平震度の1/2の震度から定まる鉛直地震力で、その方向は上下方向を考え、水平地震力と同時に最も不利な方向に働くものとする。

Asクラスのものについては、さらに1・2・3に述べるような安全性の検討を行なう。

(2) Bクラス

建築基準法に定める震度の1.5倍から定まる水平地震力（排気筒を除く）

(3) Cクラス

建築基準法に定める震度から定まる水平地震力

1・2・5 機器、配管および計測装置制御系等の地震力

(1) Aクラス

a 設計地震力は機器（配管）および建物の振動特性を考慮し、設計地震に基づいた動的解析から決定される。

b 上記の設計地震力はAクラスの建物の中の据付位置における加速度（建物の動的解析から定まる加速度または建築基準法に定める震度の3倍に相当する加速度）の1.2倍から定まる地震力を下まわらないこと（Aクラスの機器がBクラスの建物に据付けられる場合にはその機器の設計地震力は、Bクラスの建物をAクラスとみなして定めた設計震度の1.2倍から定まる地震力をとる。）

c 剛なものについては、設計地震力はbで述べた方法で割増した値から決定してもよい。

d Aクラスの建物の鉛直方向震度に基づく鉛直地震力も、同時に不利な方向に作用するを考慮する。

Asクラスのものについては、さらに安全余裕検討用地震に対してもその機能が維持されることを確かめる。

(2) Bクラス

設計地震力はBクラスとみなした建物の中の据付位置における震度の1.2倍から定める。

なお、動的解析を行なう必要がある場合の水平地震力については上記の考え方を準用する。

鉛直地震力は考慮されない。

(3) Cクラス

設計地震力は必要と考えられる場合にのみ考慮される。

適用が考えられるが、近い将来には利用されるであろう。

また、動的解析を行なった場合に、構築物の設計に関しては解析結果と直接せん断力等で表わすので、設計の手順としての応力算定は静的設計法とまったく同じである。

#### 4-3-2 許容応力

建物・構築物についての地震力による応力と他の荷重、すなわち自重・積載荷重・積雪荷重、風圧力などによる応力との組合せ、およびその合成応力に対する材料の許容応力度については、建築基準法および同施行令に規定されているので、特にここで述べる必要はなからう。また特殊材料や特別な構造に対する応力算定法や許容応力については、日本建築学会の構造計算基準あるいはJISなどを参照されたい。

原子力発電所の構築物のうち特別な例でかつ重要なものとして格納容器がある。これは鉄筋コンクリート造あるいはP.S.コンクリート造を採用する例もあるが、日本ではほとんど鋼板製で、設計圧力が高いものはボイラー用鋼材が使われるが、この場合の許容応力については次項で述べる。

現在の時点では海外にのみ実施例があるが、P.S.コンクリート造の格納容器および原子炉圧力容器がある。これらは従来の土木構築物とまったく異種の大規模構築物であるため、各種工法によって差異があることも考慮し、日本で建設する場合には許容応力を含め、設計基準について慎重な検討が必要である。

#### 4-3-3 鋼板製格納容器の許容応力

本技術指針は、その構成として、地震動入力に直接作用すると考えられる構築物を建物・構築物の分類に包含させている。したがって、コンクリート基礎を建物部分と共有することはあっても、格納容器を本章で採り上げることとし、その許容応力について本項で述べる。通産省の発電用原子力設備に関する構造等の技術基準では、鋼板製格納容器を第二種容器と定義し、事故時荷重に対する許容応力を定めているが、地震力に関してはなんら触れていない。

このため、本分科会の下部に「機器配管許容応力小委員会」を設け、格納容器を含めた機器・配管類の地震時を対象とした許容応力について1年有余にわたって検討を行なった。検討結果は、5.5.2に詳しく述べられるので、検討の前提条件その他理解に必要な解説はそこを参照されたい。以下格納容器についてのみの結論を述べる。

すなわち、格納容器には事故時内圧がかなり長時間にわたって作用する場合もあると考え、その際にAクラス設計用の地震力が重畳する可能性を考慮し、それを格納容器の設計条件に採り入れることとした。ただし、この場合の事故時荷重は、格納容器の設計用内圧や温度条件を意味するのではなく、事故の挙動や推移を考慮した地震力と重畳するに適当な値とし、炉形および安全防護設備の程度や信頼性によりCase by Caseで決めることとする。一方許容応力の値を決めるに当たっての考え方として、ASME Section IIIのAddendum

に示されている Operating Condition の Emergency Condition に対比させることとした。

しかし、現在までに発表されている Addendum は、圧力容器など Class A Vessel を対象として発想されたもので、Class B Vessel である格納容器については必ずしも明確でないため、独自の判断を加えて数値を決めた。これを表示すれば次のとおりとなる。

(事故時荷重) + (地震力) + (自重など常時荷重) に対して

$$P_m : 1.2 S \text{ または } \frac{1}{8} S_y \text{ のうち大なるほう}$$

$$P_L + P_b : 1.8 S \text{ または } \frac{1}{8} \times 1.5 S_y \text{ のうち大なるほう, または } 0.8 C_L$$

(地震力) のみに対して

$$(P_L + P_b + Q)_E : 3 S_m, \text{ ただし応力 Renge について}$$

$P_m$  : 一次一般膜応力

$S_m$  : 構造等の技術基準別表第一に定める許容応力強さ

$S_y$  : 使用条件における降伏応力

$P_L + P_b$  : 一次局部膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ

$(P_L + P_b + Q)_E$  : 設計地震のみによって生ずる一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さのサイクルの最大値と最小値の差

$C_L$  : 崩壊荷重条件 ( $S_y$  または  $1.5 S_m$  をベース)

$S$  : 構造等の技術基準別表第四または第五に定める許容応力

なお、地震荷重程度の繰り返し荷重については、極低サイクル疲労破壊は問題にならないと判断し、応力集中を伴う局部応力については設計検討から除外することとした。

また、従来の設計例として格納容器は A<sub>1</sub> クラスに分類し、安全性検討として次の荷重の組みあわせを採り上げていた。

(1) (設計用事故時荷重) + (設計用地震荷重)

(2) (運転時荷重) + (1.5 × 設計用地震荷重)

しかし、機器配管許容応力小委員会の結論は上記 (1) 相当の条件で設計を行えば、格納容器に関してはほとんど (2) の条件は設計に影響を与えず、またあえて検討を行なうとすればそれは許容応力によって判定を行なうべき性質のものでなく、総合的な安全評価によって処理されるべき問題として、機械的設計から除外された。

## 5・5 応力算定と許容応力

### 5・5・1 応力算定

機器・配管系の設計、材料、製作、試験、検査については基準、コードがあり、耐震設計の応力算定、許容応力についても、これら基準、コードが基礎となる。原子炉容器・配管系に関するコード、ASME Section III Nuclear Vessels, USAS B81.7 Nuclear Power Pipingは、その内容が従来のASME Section IおよびⅣやUSAS B81.1と比較し、その設計クライテリア\*が革新的であること、および設計について、荷重条件、算定応力の種類、応力算定法、許容応力およびこれらに基づく設計の手順を詳細に規定していることが特徴である。

地震荷重についても、応答解析の結果から5・2・5の記述にしたがって、力またはモーメントとして与えられると、それが外力の1つとして荷重条件に加えられる。地震最大応答として求められた外力は実際には極低サイクル繰返し荷重として働くが、応力算定上は他の定常(運転)荷重と同様に扱う。

応力算定の方法については、一般的にSection III Appendix I Stress Analysis Method(Article 1-7 Discontinuity stress)やB81.7の応力算定基準式およびその試算例(1988 DraftのAppendix G Sample stress Analysis)にしたがうことになる。これらの方法は原子炉圧力容器(Class A 容器)、原子炉配管(Class I 配管)が対象であるが、Class B, C

---

\* その設計理念や強度理論について(5・5・1)(5・5・2)(5・5・3)の概要は、

- (1) 従来のコードの強度理論が最大応力説を採り材料の引張り強さまたは降伏点に対し適当な安全率を採って許容応力を定め、最大主応力をその値以下に抑える方式を採っていたのに対し、本節では降伏や塑性変形、延性破壊、疲労破壊などの発生条件によりよく適合する最大せん断応力説を採用し、最大主応力差を許容値内に抑える方式を採っている。
- (2) 強度計算は弾性計算に基づくが、強度と設計の基礎には塑性変形や疲労破壊を考慮しており、極限設計を基礎として評価する方法を採っている。このため内圧、その他の負荷による機械的応力や熱負荷による熱応力を1次、2次、局部等5～6種に分類し容器や配管の破損に対し、それぞれの応力がおよぼす影響の違いを考慮して各種別の応力ごと、およびそれらの和に対して許容応力のとり方を変えている。

なお、これらのコードの内容はすでに国内で基準化が進められ、ASME Section IIIについては通商産業省告示が示されておりB81.7についても現在検討が進められている。

容器 Class II, III配管についても同じ手法を適用することが厳密な方法である。ただ応力算定に関し、内圧による最小板厚計算のみがコードで要求されている容器について、耐震設計の重要度分類上 A Class であるだけで、Class A 容器に相当する応力算定を行なうことは必ずしも必要でなく、ノズルや支持取付部のごとく耐震設計上問題となる可能性のある部位について地震応力の算定を行えば十分であろう。この場合、一般には、Bijlaard (5.5.4) の式が採用されているが、これは Class I, II 配管の応力算定にみられるように簡単な材料力学の公式から求められる公称応力に複雑な理論的または実験的応力解析結果から得られた応力指数、応力増加係数を与えて局部応力や 2 次応力を簡便に算定 \* しようとするものである。

実際の耐震設計の多くは、機能上の要求によってすでに与えられた構造体の耐震性を評価することにあるため、安全側に見積った簡便法で評価を進め、その結果が許容限界を越えた場合、より厳密な解析 \*\* によって安全性を再評価するか、厳密な解析に要する費用を節約するために支持方法を変えたり補強材を付加する等によって処理するかが設計者の判断にまかされる。

#### 5.5.2 許容応力

耐震設計評価の国内の慣習は、設計地震と仮想地震（安全余裕検討用地震）を考え、設計地震には、その算定 1 次応力を降伏点未満に保つ。局部、2 次、ピーク応力については降伏点を越えても良いが、過大な変形、進行的な局部ひずみはさけることとし、仮想地震には、原子炉格納施設および原子炉安全停止系など安全上最重要な設備の安全機能を保持することとしてきた。この 2 種の地震強さと評価レベルを考えたとおもな理由は、地震荷重の想定、算定の不確定幅が大きいこと、耐震設計がプラントの安全評価の一環であることの 2 点にあると考えられる。

米国の慣習 (5.5.6) も同様な傾向にあって、設計地震、最強地震を考え、設計地震には、関連するコードの許容応力値を、最強地震には大幅な降伏、過大な変形、破壊の可能性のないこととしてきた。さらに米国メーカーの中には、地震規模とその発生確率、他の事故条件

\* Class I 配管は Class A 容器と同じ設計クライテリアにしたがっているながら応力算定に簡便法を採用しているのは、(1)多数の配管系の詳細な応力解析は高価につき。(2)ある種の配管要素は形状が複雑なため正確な理論的応力解析が困難で実験的解析法によらざるを得ない。(3)配管要素はある程度まで標準化されており、ある適当な寸法範囲で適用可能な解析方法を決めると、その後の解析量は比較的少なくてすむためであって、簡単な応力算定式を採用し、応力指数を与えて高い局部応力を考慮する方法を採っている。

\*\* Section III B 8 1.7 では実験的および理論的解析の適用を認めている。また B 8 1.7 の I-705.4 に述べられている“簡素化した弾塑性不連続解析”もその 1 つといえよう。

との組合せとその発生確率を想定し、その確率に応じて破壊に対する設計余裕を適切に与えるようにコードの許容応力値を割増す方法を採用する例<sup>(5.5.6)</sup>もあって、地震強さ(の遭遇確率)に応じた評価基準の定量化が試みられてきた。このような背景の中からASME Section IIIの1968年夏の改訂からは、地震、故障、事故を総括して正常状態を上回る状態を異常、緊急、損傷の3状態に分類し、その各状態の設計基準として許容応力強さを表5.5.1のごとく与えている。

表5.5.1 荷重状態と許容応力強さ

荷重状態	一次一般膜応力強さ	1次局部膜応力 + 1次曲げ応力強さ	1次応力強さ + 2次応力強さ	1次応力強さ + 2次応力強さ + ピーク応力強さ
	$P_m$	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$	$P_L + P_b + Q + F$
正常状態 異常状態	$S_m$	$1.5 S_m$ または $2/3 C_L$	$3 S_m$ または $S.L$	$S_a$
緊急状態	$S'_m$	$1.5 S'_m$ または $1.2 \times$ $2/3 C_L$	不 要	不 要
損傷状態	$C'_L$	$C'_L$ または $0.9 P.L$	不 要	不 要

注)  $S_m$ :  $2/3 S_y$  または  $1/8 S_u$  の小さい値

$S_y$ : 降伏強さ

$S_u$ : 引張り強さ

$C_L$ :  $S_y$  ベースの極限設計による崩壊荷重

$S.L$ : Shakedown 荷重

$S_a$ : 疲労繰返し応力

$S'_m$ :  $1.2 S_m$  または  $S_y$  の大きい方

$C'_L$ :  $1.5 S_m$  または  $1.2 S_y$  の大きい方のベースの極限設計による崩壊荷重

$P.L$ : Plastic Instability 荷重

異常状態: その発生ひん度がかなり高く、この状態にあっても運転上支障がないよう設計しなければならない。この状態には負荷・電源喪失、単一誤動作、操作等に起因する過渡状態および運転継続または運転復帰が可能な程度の地震を含める。



緊急状態：緊急状態からの回復または系の損傷の修復のために、原子炉の停止を必要とする状態、この状態では一部の損傷は許されるが、それが構造全体の健全性をおかすに至ってはならない。この状態の発生予想総数は25回を越えてはならない。

損傷状態：原子炉系の健全性がそこなわれ、運転能力を失い、一般公衆の安全性にかかわる状態であって、このような状態の1つに原子炉の緊急停止を必要とする地震がある。

(なお、5・5では、以後、同じ記号を使用する。)

従来の許容応力に関する国内の慣習は前述のとおりで、その表現が概念的であり、運用上安全評価として許される範囲内で弾力的に解釈されてきた。しかし、国内原子力発電プラントの耐震設計の経験も蓄積され始め、設計基準がASME Section VIIIからSection IIIベースへの転換を終えようとする現時点で国内電力各社の統一的な許容応力が要請され、機器・配管許容応力小委員会(以下、小委員会と略称する)が発足した。

小委員会は約1年半にわたって検討を行っており、一部結論がでていない部分もあるが、今までの結果について、許容応力強さ等は、構造等の技術基準の容器および管の分類にしたがって表5・5・2のごとくまとめた。未完成の箇所は今後さらに検討をして行く考えである。以下、この適用時の参考として、小委員会の検討の前提や過程の一部を紹介する。

#### (1) 検討の前提

a. 許容応力値は、「設計地震時においても、過大な変形および破損がなくその機能を保持しうる。ただし、地震後運転を正常に再開するためには修復を必要とすることがありうる。」とするクライテリアに対応している。

b. 許容応力を耐震設計の総括的評価の基準と考えれば、設計地震の不確定さ、解析の精度を考慮した一種の安全率を見込んだ値とすべきとする考え方もあるが、この安全率を許容応力に集約するか、設計の各段階ごと取るかは設計、設置者の判断に委ねられるべき問題であり、ここでは従来の慣習にしたがって材料によって決まる値を探った。

しかし、許容応力値は材料の品質管理や応力算定の程度に密接に関連するため構造等の技術基準を基礎とし、その応力算定の種類、許容応力値に見合うものとした。

c. 荷重の組合せについては、設計地震+通常運転荷重とする。

原子炉格納施設・工学的安全防護施設についても、原則的には、冷却材喪失事故時の配管の破断反力、冷却材噴出力のごとき極短時間継続の荷重、および事故時の格納施設内のピーク圧力のごとき短時間継続の荷重との組合せは考えない。

ただし、格納施設の事故時内圧が、かなり長時間にわたって継続するような場合には、同規模余震との遭遇も考慮して、その同時性を考慮することとする。

d. ASME Section IIIの荷重条件との対比については、日本の慣習として採用してきた設計地震は、その地方で過去に遭遇したであろうまたは今後遭遇するであろう最大級の地震であって、ASME Section IIIでいう緊急状態で考えるべき地震を上回るものであ

ろうが、ASMEとの対比上、緊急状態に対応するものと見なし、その許容応力強さを検討の基礎とした。

設計地震に対して表5・5・2の基準にしたがって設計されている限り、Section IIIでいう異常状態として想定すべき規模の地震、すなわち年に1回程度のひん度で期待される地震では容器の応力は十分コードの許容応力値以内であろうと考えられる。

表5・5・2 耐震設計用許容応力

種 別	算 定 応 力	耐 震 設 計 用 許 容 応 力
1. 容 器		
(1) 構造等の技術基準 第1種容器 (ASME Section III Class A相当)	$P_m$  $P_L + P_b$  $(P_L + P_b + Q)_E$	1.2 $S_m$ または $S_y$ の大きい方  1.8 $S_m$ または 1.5 $S_y$ の大きい方* <sup>1</sup> または 0.8 $C_L$ * <sup>2</sup>  設計地震のみによるサイクルが8 $S_m$ 、ただし、8 $S_m$ をこえる場合には疲労解析を行なう。
(2) 構造等の技術基準 第2種容器 (ASME Section III Class B相当)	設計地震により著しい応力が生ずる部分についてのみ* <sup>3</sup>  $P_m$  $P_L + P_b$  $(P_L + P_b + Q)_E$	1.2 $S$ または $15/16 S_y$ * <sup>4</sup> の大きい方  1.8 $S$ または $1.5 \times 15/16 S_y$ の大きい方または 0.8 $C_L$  設計地震のみによるサイクルが8 $S_m$ 、ただし、8 $S_m$ をこえる場合には疲労解析を行なう。
(3) 構造等の技術基準 第3, 4種容器 (ASME Section III Class C相当)	最大応力* <sup>5</sup>	1.6 $S$ または $S_y$ の大きい方

種 別	算 定 応 力	耐 震 設 計 用 許 容 応 力
2. 配 管 * 6		
(1) 構造等の技術基準 第1種管 * 7 (USAS B 8 1. 7 Class I 相当の 設計)  (2) 構造等の技術基準 第2種管 * 10 (USAS B 8 1. 1 相当の設計)	$B_1 \frac{D_0 P}{2t} + B_2 \frac{D_0 M_i}{2I}$  $B_2' \frac{D_0 T^{*9}}{2I}$ ただし内圧による軸応力 が $2/5 S_m$ 以上の場合 には、 $B_2' \frac{D_0 T}{2I}$ の検討 は不要  $C_2 \frac{D_0}{2I} (M_i)_E$  最大応力 * 5	$1.8 S_m^{*8}$  $1.4 S_m$  設計地震のみによるサイクルが $8 S_m$ ただし、 $8 S_m$ をこえる場合には 疲労解析を行なう。  $1.6 S$ または $S_y$ の大きい方
(3) 構造等の技術基準 第8種管	第8種管およびこれに準ずるダクトで耐震設計上Aクラスに分類されるものは、地震力および地震時における構造物または支持構造物の変形等により系統としての機能を喪失することがないように設計すること。	
8. 構造材		
(1) 機能材として取り 上げるべきもの	関連する機器・配管に同じ	関連する機器・配管の許容応力
(2) 構造材として取り 上げるべきもの	設計地震により著しい応力が生ずる部分についてのみ 次のA、Bとする。	

種 別	算 定 応 力	耐 震 設 計 用 許 容 応 力
	Aの場合 第1種容器相当の応力 解析を行なうもの(円筒状支持構造物など)	第1種容器に準ずる
	Bの場合 上記Aを除くその他の構造材	
	<p>現行日本建築学会・鋼構造計算規準を準用する。 ただし、建築基準法の改定により同計算規準も改訂されつつあるので、同改訂版を採用すべきか否か検討が必要である。</p>	
4. ボルト材		
(1) 機能材として取り上げるべきもの	関連する機器・配管、構造材に同じ	関連する機器・配管、構造材の許容応力
(2) 構造材として取り上げるべきもの	<p>現行日本建築学会・鋼構造計算規準を準用する。ただし、建築基準法の改訂により同計算規準も改訂されつつあるので、同改訂版を採用すべきか否か検討が必要である。</p>	
5. 炉内構造物・燃料要素	<p>耐震設計の考え方に照して、これらの許容応力を決定することは現状では困難である。設計者は炉内の使用条件等を十分留意してきめるべきである。</p>	

説 明

$P_m$  : 一次一般膜応力

$S_m$  : 構造等の技術基準別表第一に定める許容応力強さ

$S_y$  : 使用条件下における降伏応力

$P_L + P_b$  : 一次局部膜応力と一次曲げ応力を加えて求めた応力強さ

$(P_L + P_b + Q)_E$  : 設計地震のみによって生ずる一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さのサイクルの最大値と最小値の差

$C_L$  : 崩壊荷重条件 ( $S_y$  または  $1.5 S_m$  をベース)

S : 構造等の技術基準別表第四または第五に定める許容応力

$$B_1 \frac{D_0 P}{2t} + B_2 \frac{D_0 M_i}{2I} \quad \text{USAS} \quad \text{B 8 1.7 の I-7 0 5.1-(9) に示す式}$$

$$B_2 \frac{D_0 T}{2I} \quad \text{USAS} \quad \text{B 8 1.7 の I-7 0 5.1-(9) 式の第 2 項の } M_i \text{ を振りモーメント } T \text{ に読み変えた式, } B_2 \text{ は振りモーメントに対する応力指数で } B_2 \text{ が不明な場合, USAS B 8 1.7 の Appendix D の } B_2 \text{ を代用してもよい。}$$

$$C_2 \frac{D_0}{2I} (M'_i)_E \quad \text{設計地震のみによって生ずる二次応力で, USAS B 8 1.7 I-7 0 5.2-(10) 式の第 2 項}$$

- \* 1. 三軸引張りの場合には、別に  $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leq 4.8 S_m$  で検討する。
- \* 2. ASME Section III では  $0.8 C_L$  を採っている。  
本指針が規定する設計地震に対しては、 $C_L$  に引き上げられることが検討されたが、 $C_L$  を評価ベースとする解析例の蓄積を待つこととなった。
- \* 3. 設計地震による応力算定が設計地震により著しい応力が生ずる部分に限定されることは、すべての機器・配管に適用されるが、特に、一般に簡単な板厚計算のみが要求されている対象について、あらためて明記した。
- \* 4.  $15/16 S_y$  の  $15/16$  については ASME Section III N-1820 (2) に関する ASME の正式見解を入手した時点で再検討する。
- \* 5. 最大応力は、原則として一次応力である。ただし A クラスの容器・管については地震力によって生ずる二次応力に留意することが望ましい。
- \* 6. 軸方向荷重により全断面が降伏するような場合には、 $0.8 S_y$  を限界とする。
- \* 7. 本検討は、USAS B 8 1.7 class I を基礎としてなされており、構造等の技術基準（通商産業省告示 5 0 1 号 昭和 4 5 年 9 月 8 日）を適用する場合については検討中である。
- \* 8. この許容限界については、B 8 1.7 Code Interpretation Case 7 0 の根拠が明らかになった時点で再検討することとした。
- \* 9. ねじりモーメントが支配的である場合を考慮した。
- \* 10. 第 2 種管において耐震設計上 A 8 クラスに分類されるものは、第 1 種管に準じて耐震設計をすることが望ましい。

9. 安全余裕検討用地震については、その検討の対象施設、評価の基準は災害評価の線て処理されるべきで、耐震設計の指針として一様な応力評価基準を与えることは困難である。ただ原子炉格納施設や原子炉停止装置のような安全上緊急な設備について、設計地震を上回る地震に対する余裕の程度を評価し、安全評価で採った評価条件の妥当性を吟味することは

地震荷重の不確定さへの配慮として望ましいことであろう。

f. 機器・配管系の機能欠陥は応力によらず、それ自体の変形、関連構造物の変形や破壊に支配される場合があり、この評価に当っては、機能保持のクライテリヤに立返って検討されるべきである。

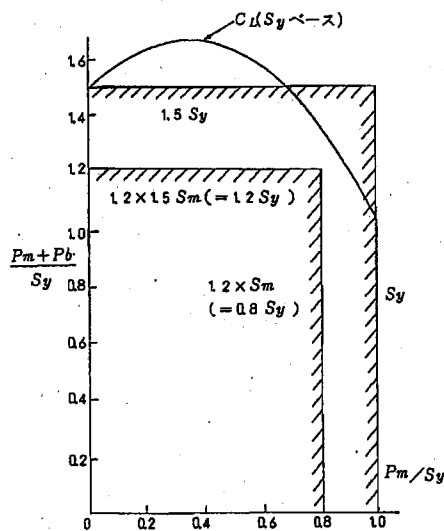
g. 一応小委員会としては、表5・5・2に示すような結論に達したが、本検討の基礎となった基準コード等の変更がある場合には、これに伴う検討が必要であり、その結果によっては本節の結論を見直す必要がある。

(2) 構造等の技術基準の許容応力値の割増しについて、地震荷重の極低サイクル繰返し性を設計地震の遭遇確率の低いことを理由に割増しを考え、その割増し量は完全弾塑性材の崩壊を限界として定めた。たとえば矩形断面梁（容器壁についても容器の円周方向単位幅を考えれば安全側の近似である）場合、1次応力に対する割増し荷重条件と $S_y$ をベースとした崩壊荷重との関係は図5・5・1のごとくであり、配管について、1次応力に対する割増し荷重条件と、Stokeyの崩壊荷重との関係は図5・5・2のごとくなる。

図5・5・1および図5・5・2の比較では、割増し荷重条件は $S_y$ をベースとした $C_L$ またはStokeyの限界荷重とほぼ等しい。しかし、 $C_L$ やStokeyの限界荷重は実際の崩壊荷重ではなく、材料の歪硬化性を考慮すれば、実際の崩壊荷重を十分下回る<sup>(5.5.8)</sup>ものである。

また、 $S_y$ をベースとした $C_L$ を割増しして $1.5 S_m$ または $1.2 S_y$ の大きい方をベースとした $C_L$ （表5・5・1参照）と比較して安全性を説明することもできよう。

図5・5・1 割増し荷重と崩壊荷重との比較 (1)



注) 図5・5・1では、 $S_m = 2/8 S_y$  の場合を扱ったが、 $S_m$  が  $2/8 S_y$  または  $1/8 S_u$  の小さい方の値を採る限り、割増し荷重の最大値は、 $P_m$  に対して  $S_y$ 、 $P_L + P_b$  に対して  $1.5 S_y$  となる。他方、オーステナイト鋼材のごとく  $S_m = 0.9 S_y$  の場合には割増し荷重の最大値は  $P_m$  に対して  $1.2 S_m = 1.08 S_y$ 、 $P_L + P_b$  に対して  $1.8 S_m = 1.584 S_y$  となるが、オーステナイト鋼材の場合、 $S_y$  ベースの  $C_L$  は意味がなく、むしろ  $S_m = 0.9 S_y = 2/8 S'_y$  と考えた設計降伏点  $S'_y$  をベースとした  $C_L$  と比較すべきであろう。

ただ、図5・5・1で、ASME Section IIIの割増し荷重条件が  $C_L$  を完全に上回る所がある。これは地震による  $P_m$  増がないとすれば、 $(P_m)_{max}$  は  $2/8 S_y$  以下であって、割増し荷重条件でも  $C_L$  以下におさまるとも考えられるが、指針としてこの割増し荷重をそのまま採用することは異議もあり、今後の検討に待つところである。

ここでいう設計降伏点とは、明確な降伏点がなく、強いひずみ硬化性を持つオーステナイト鋼のような材料に対しては、構造の保全性と設計の安全性の観点から、フェライト鋼材における0.2%永久ひずみの降伏点と同じ効果を持つ応力のことである。

(3) 2次応力に対する検討については、Shakedown荷重がベースとなる。正常(運転)荷重によって  $P_L + P_b$  が  $1.5 S_m$  で  $P_L + P_b + Q$  の全振幅が  $3 S_m$  にある状態で地震があったとしても、地震荷重による2次応力の片振幅が  $1.5 S_m$  以下であれば地震遭遇ごとに

図5・5・2 割増し荷重と崩壊荷重との比較 (2)

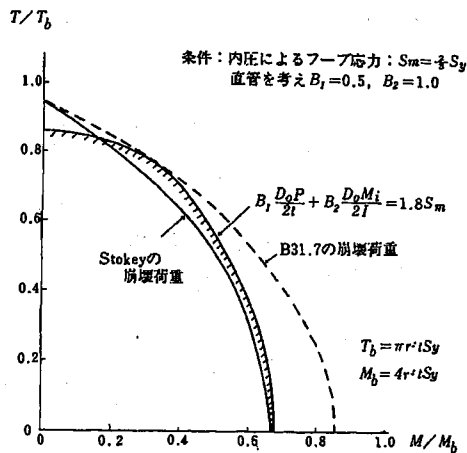
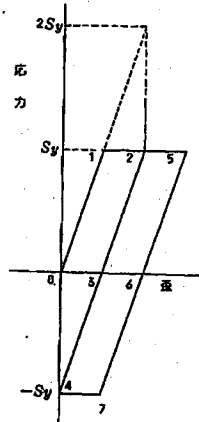


図5・5・8 設計地震による2次応力とShakedown



- (1) 正常（運転）荷重による2次応力範囲（ $P_L + P_b + Q$ ）が  $8 \bar{S}_m = 2 S_y$  で点2 ↔ 点4のレンジ
- (2) 正常（運転）荷重一定（たとえば点2）の時，地震荷重による2次応力範囲（ $P_L + P_b + Q$ ） $E = 8 S_m = 2 S_y$  が加わると点5 ↔ 点7のレンジ
- (3) 地震の終息時には点5～点7の間におさまる。

塑性ひずみを残すことはあっても，地震遭遇中に地震応力の繰返しにより塑性ヒステリシスループを描くことなく，応力の繰返しは弾性範囲にShakedownする。

(4) 疲労解析については，種々の運転状態におけるピーク応力の応力強さの変動範囲とその繰返し回数について設計疲労曲線と比較する方法が採られ，地震荷重についても，この検討の対象であるが，1，2次応力について前掲の規制範囲内であれば，一般に予想される応力集中の最大を想定しても累積（疲労）係数への寄与は十分小さく，応力算定やその評価の必要は認められなかった。

ただ，地震以外の荷重条件によりすでに累積（疲労）係数が0.8～0.9を上回る場合，あるいは大地震に遭遇した場合には，地震による累積（疲労）係数を評価する必要がある。

この場合，代表的な地震の応答の極値ひん度分布<sup>(5.5.9)</sup>が参考となる。

(5) 地震荷重の低サイクル繰返し性を考え，引張り繰返し破壊試験による破壊荷重<sup>(5.5.10)</sup>との対比も検討した。

(6) 以上は主として構造等の技術基準第1種容器を対象に述べたが，他の対象設備についても，それぞれ関連基準を基礎として検討した。