

○既存高压ガス設備の耐震性向上対策について（塔類）

(昭58・4・12)
(58立局204)

昭和57年4月1日以降新設された高压ガス設備については、高压ガス取締法及び液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律に基づき、耐震設計を義務付けているところです。

耐震設計の義務付けの対象とされていない既存高压ガス設備についても新設の設備と同様に耐震性の向上を図る必要があるので、球形貯槽及び横置円筒形貯槽に引きつづき、このたび塔類についても耐震性点検要領及び耐震性向上対策指針を別添のとおりとりまとめました。今後は、これに基づき管内事業所の高压ガス設備（塔類）について点検を行うとともに、改善が必要と認められる設備については所要の改善対策を講ずるよう事業者を指導してください。

また、別添の指針に沿って行う既存高压ガス設備の耐震化工事に必要な費用については、日本開発銀行、中小企業金融公庫及び国民金融公庫の低利融資制度が設けられていますので、それらを活用することにより円滑に耐震化工事が実施されるよう併せて事業者を指導してください。

なお、平底円筒形貯槽については、南関東地区の総点検及び耐震実験の結果を踏まえ、昭和58年度末を目途に点検要領及び耐震性向上対策指針を作成することとしています。

別 添

既存高压ガス設備の耐震性点検要領及び耐震性向上対策指針 一塔 類一

第 I 編 耐震性点検要領

目 次

1 総則

1・1 目的

1・2 適用範囲

1・3 点検方法

2 目視等による点検

3 数値解析

3・1 基本的な考え方

3・1・1 数値解析条件

3・1・2 設備の破壊モードと検討部位

3・1・3 応力の許容限界

3・1・4 別途解析の取扱い

3・2 地震力の算定

3・2・1 地表面における水平震度及び鉛直震度

3・2・2 重要度係数 β_1

3・2・3 地域係数 β_2

3・2・4 表層地盤増幅係数 β_3

3・2・5 静的震度法による解析

- 3・2・6 修正震度法による解析
 - (1) スカート支持塔類
 - (2) レグ支持塔類
 - (3) ラグ支持塔類
- 3・3 応力の算定
 - 3・3・1 耐震点検仕様書
 - 3・3・2 スカート支持塔類の算定応力
 - 3・3・3 レグ支持塔類の算定応力
 - 3・3・4 ラグ支持塔類の算定応力
- 3・4 耐震性の判定
 - 3・4・1 スカート支持塔類の耐震性判定
 - 3・4・2 レグ支持塔類の耐震性判定
 - 3・4・3 ラグ支持塔類の耐震性判定
 - 3・4・4 点検結果のまとめ
- 3・5 計算例題
 - ① 静的震度法によるレグ支持CE
 - ② 修正震度法によるスカート支持塔A
 - ③ 修正震度法によるスカート支持塔B
 - ④ 静的震度法によるラグ支持塔

参考資料

- 1 ギリシャ文字
- 2 ボルトの有効断面積
- 3 材料の引張強さ S_U 、降伏点 S_Y
- 4 地域及び地盤種別による塔類の応答倍率図

第I編 耐震性点検要領

1 総則

1・1 目的

この要領は、既存高圧ガス設備の耐震性について、目視及び数値解析により点検する手法を示し、もつて、既存高圧ガス設備の耐震性の点検に資することを目的とする。

1・2 適用範囲

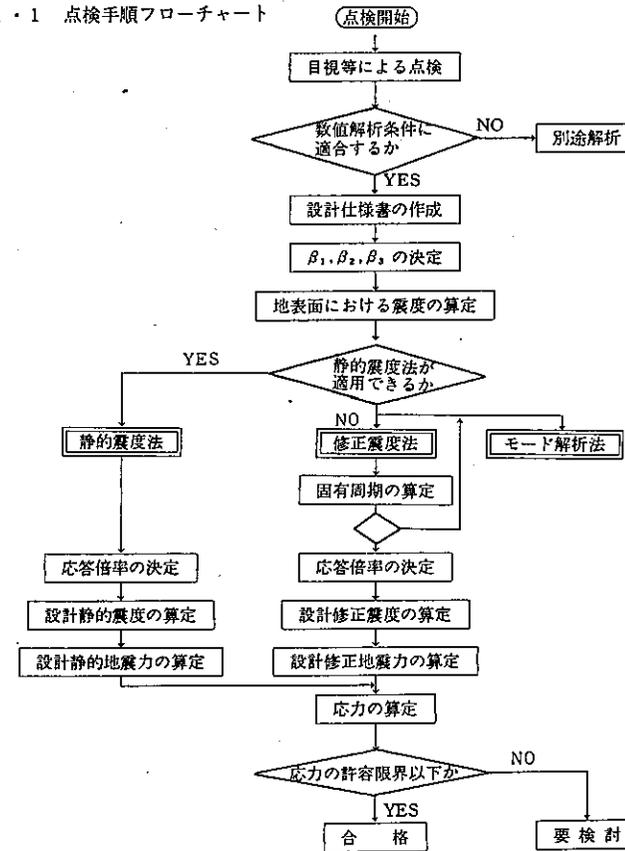
この要領は、既存高圧ガス設備（高圧ガス設備等耐震設計基準（以下「耐震設計基準」という。）「昭和56年10月通商産業省告示第515号」の適用を受けない高圧ガス設備及び特定供給設備をいう。）のうち、次に掲げる設備に適用する。

- (1) 塔（反応、分離、精製、蒸溜等を行う高圧ガス設備（貯槽を除く。）であつて、当該設備の最高位の正接線から最低位の正接線までの長さが5m以上のものをいう。）
- (2) ぎょう縮器（たて置円筒形で胴部の長さが5m以上のものに限る。）
- (3) たて形貯槽（たて置円筒形で貯蔵能力が300 m^3 又は3t以上のものに限る。）

1・3 点検方法

点検方法は、目視等による点検及び数値解析による点検とする。
 ただし、数値解析点検は、3章以降に記述する数値解析条件に適合するものでなければ適用できないので注意すること。
 この点検要領における点検手順を図1・1に示す。

図1・1 点検手順フローチャート



2 目視等による点検

本点検要領では塔類本体を中心とした範囲について、目視等により点検可能な項目に限定している。表2・1に塔類の目視等による点検表を示す。点検結果の判断にあたっては、同表に示す点検における注意事項を参照されたい。

表2・1 塔類目視等点検表

点検部位	耐震性点検内容	点検における注意事項	点検結果	
			健全	不都合
1 基礎及び架台 (鉄筋コンクリート又は鉄骨鉄筋コンクリートのもの)	(1) 基礎は一体又は連結になっているか。	基礎の構造は設計図書等により確認する。なお、連結とは地中梁等でつながっている状態をいう。	いる	いない
	(2) 架台のコンク	架台にひび割れ等が生じている場合	ない	ある

	リート面に有害な割れ又は劣化がないか。	は、内部の鉄筋等が腐食されているおそれがある。		
2 スカート、レグ、ラグ及び架構（以下「支持構造物」という）	(1) 支持構造物にいちじるしい腐食、損傷、変形がないか。	・架構については塔類の鉛直荷重を直接支持する梁柱等を点検する。 ・スカート、レグ、ラグと本体の接合部も点検する。 ・スカート等に耐火被覆が施工されている場合は、耐火被覆が健全であることを確認する。耐火被覆に割れ、又は剝離があるとスカート等が腐食しているおそれがある。 ・健全な耐火被覆ははがさない方がよい。	ない	ある
3 アンカーボルトナット及びベースプレート（含コンプレッションリング）	アンカーボルト・ナット及びベースプレート等の健全性について次の状況の点検			
	(1) 腐食		ない	ある
	(2) 損傷、変形		ない	ある
	(3) ひきぬき（アンカーボルト）	アンカーボルトがベースプレートに対して垂直になつているか。またアンカーボルトの埋込部及びベースプレート下面に十分コンクリート等が充てんされているか確認する。	ない	ある
	(4) ゆるみ（アンカーボルト・ナット）	ナットの締めつけ面が完全に密着しているか、目視等により確認する。ナットがダブルとなつている場合は、上下のナット間にゆるみのないことを確認する。	ない	ある
4 附属配管等	(1) 接続配管の取付方法又は支持方法が、地震時に塔類本体のノズル部にいちじ	・接続配管が塔類本体と一体の動きとなるように支持されている場合は、支持部分が健全であることを確認する。 ・接続配管が塔類本体と別の動きとな	なつて いる	いない

	るしい外力を加えないようになつているか。	る可能性のある場合は、両者の間に可とう性が期待できるか確認する。		
	(2) 緊急しや断弁、元弁は塔類本体と一体の動きをするか、また、塔類の変位に対して支持台での揺動性があるか。	塔類本体と一体の動きとは、取付配管が短い、本体からステーが取られている、本体と直接取付けられている等の状態のものをいう。また、支持台での揺動性とは支持部分にスライド機構を与えているものをいう。	一体の動きをする 揺動性がある	しない ない
5 附属品 附属機器	(1) 附属品（安全弁、液面計）は本体と一体の動きをするよう取り付けられているか。	一体の動きとは、取付配管が短い、本体からステーが取られている、本体に直接取付けられている等の状態のものをいう。	いる	いない
	(2) 附属機器（レボライザー等）が地震時にそれが接続している塔類ノズル部にいちじるしい外力を加えないようになつているか。	附属機器が本体と一体の動きとなるように支持されており、その支持部分が健全であることを確認する。	なつて いる	いない

3 数値解析

3・1 基本的な考え方

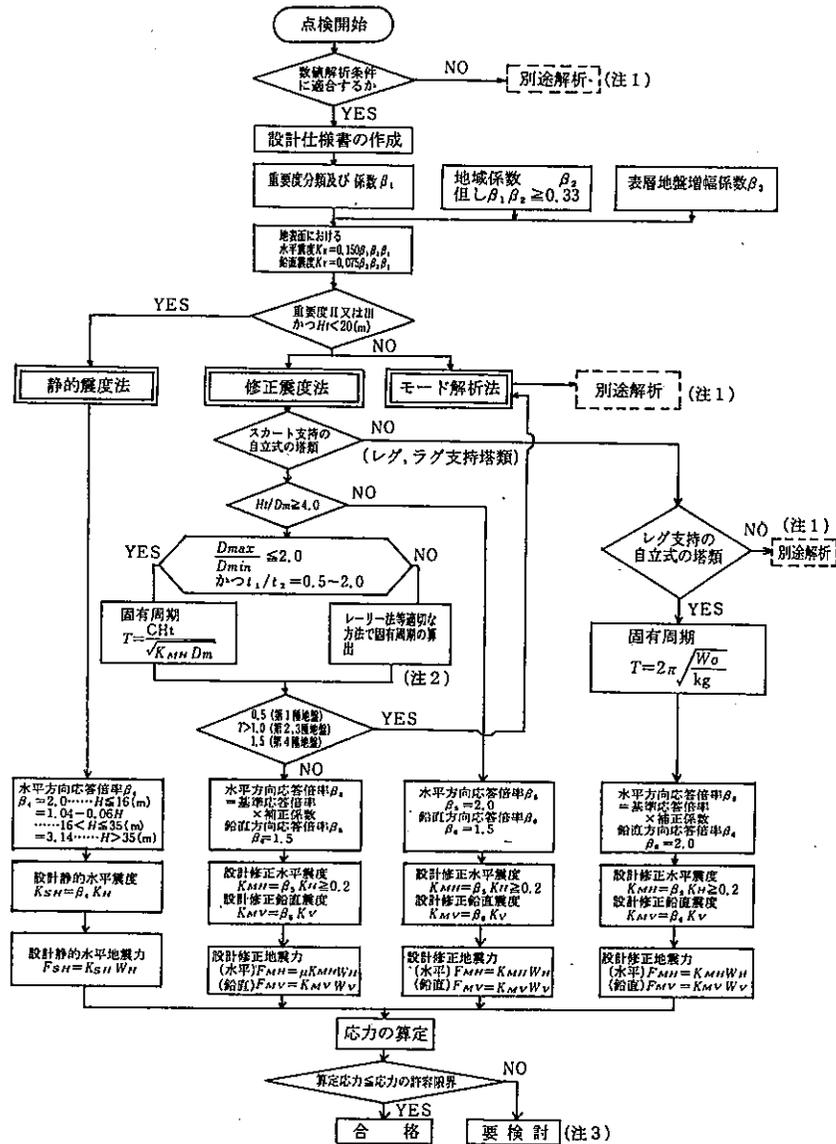
この点検要領において示す数値解析は、数多く存在する設置条件等の異なる既存設備の耐震性を簡便に点検するため、ケーススタディー及び56年度に実施した鋼製塔の耐震実験報告に基づき支配的な破壊モードとそれに対応した検討項目を限定したものであり、予想される地震外力に対して検討部位に発生する各応力を算定し、構造材の終局耐力の考え方を考慮した応力の許容限界により設備の耐震性を判定する手法である。

したがって、本解析手法により、耐震性の点検を行う場合には、事前調査により3・1・1に示す数値解析条件に適合しているか検討するとともに、3・1・2に示す設備の破壊モードと検討部位及び3・1・3に示す応力の許容限界に注意して解析することが必要である。

なお、3・1・1に示す数値解析条件に適合しない設備については、別の手法により検討する必要があるので留意されたい。

数値解析の手順を図3・1に示す。

図3・1 数値解析フローチャート



(注1) 3・1・4参照

(注2) レーリー法はエネルギー法とも呼ばれ、連続体の固有周期を求める基本的な方法である。S. P. Timoshenko 新版工業振動学 (谷口、田村、訳) コロナ社P24等を参考とされたい。

(注3) 第II編参照

3・1・1 数値解析条件

数値解析においては塔類本体、スカート、レグ、ラグ、架構及び基礎部に腐食その他による著しい経年変化が認められないことを条件とする。これは解析に当たって使用材料、設備の構造及び機能については、特に明らかな変化がない限り建設時と同等として計算するので、腐食、損傷等による材料強度の低下、又は修理・改造等による材料強度の変化の有無について事前に十分調査検討し、解析が成立しないような経年変化のないことを条件とするものである。

2重殻構造のコールドエバポレーター (以下「CE」という) で2重殻間に断熱材が密に充填されており、地震力により内外槽が一体となつて振動することが期待できる設備については、一重殻とみなし、本要領を適用することができる。

なお、いちじるしい腐食、修理・改造により建設時の仕様が変わつたものであつても、腐食については現状の有効板厚が実測され、修理改造については変更許可を受けた設備の形状が図面で確認されれば、この値を用いて本要領に準じて耐震性を検討することができる。

3・1・2 設備の破壊モードと検討部位

塔類の破壊モードとしては、塔類の転倒を考え、この破壊モードにつながるアンカーボルトの引張強度及びスカート又はレグの座屈強度について検討する。

3・1・3 応力の許容限界

支持構造部の弾塑性変形により地震エネルギーの吸収が期待できるものとした終局耐力の概念を考慮し、応力の許容限界を次のように定める。

表3・1 応力の許容限界

機器種類	部位名称	応力の種類	応力の許容限界
スカート支持塔類	スカート	座屈圧縮	$1.2S_y$ と $\frac{1.2Et}{(1+0.004\frac{E}{S_y})Dm}$ のいずれか小なる値
	アンカーボルト	引張	$SS_{34}, SS_{41}, SS_{50}$ $SR_{24}, SR_{30} : 2S_y$ SD_{24}, SD_{30} 上記以外の材料 : S_u
	レグ	座屈圧縮	$\lambda \leq \lambda_c : \frac{1.8}{\nu} \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2 \right\} F$ $\lambda > \lambda_c : \frac{0.5F}{\left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2}$

レグ支持 塔類		曲 げ	$1.1S_u$
		組 合、 $\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$	$1.1S_u$
	アンカー ボルト	引 張	S_u
		せん断	$\frac{1}{\sqrt{3}}S_u$
		組 合、 $\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4}$	S_u
ラグ支持 塔類	セットボ ルト	引 張	S_u

(注1) 軟鋼材で材料のグレートが不明の場合には次の値を用いることができる。

$$S_u = 34 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$S_y = 0.6S_u = 20.4 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(注2) 記号説明

- S_u 引張強さ (kgf/mm²)
- S_y 降伏点 (kgf/mm²)
- E 縦弾性係数 (kgf/mm²)
- t スカートの板厚 (mm)
- D_m スカートの平均直径 (mm)
- λ 細長比
$$= \frac{l}{i}$$
- Λ 限界細長比
$$= \sqrt{\frac{\pi E}{0.6F}}$$
- ν
$$= \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$
- l レグの座屈長さ (mm)
 $= 0.7H_1$
- H_1 レグの長さ (mm)
- i レグの最小断面2次半径 (mm)
$$= \sqrt{\frac{I}{A}}$$
- I レグの最小断面2次モーメント (mm⁴)
- A レグの断面積 (mm²)
- F 基準応力 (kgf/mm²)
 S_y と $0.7S_u$ のいずれか小なる値

3・1・4 別途解析の取扱い

本要領で解析手法が具体的に記されていない別途解析の取扱いは次による。なお、この場合においても、地震力、点検部位及び応力の許容限界の値は、本要領の値を用いるものとする。

(1) スカート支持の自立式の塔類

スカート支持 (鉄筋コンクリート架台の上に設置されている場合を含む。以下同じ。) の自立式塔類の水平方向の固有周期が、地盤種別に応じ次の値を超える場合には、モード解析法による解析が必要である。

- 第1種地盤……………0.5 (S)
- 第2、3種地盤……………1.0 (S)
- 第4種地盤……………1.5 (S)

本要領では静的震度法及び修正震度法について具体的手法を記しており、モード解析法については詳述していないが、同法は標準プログラム (SEISMIT-TW) を用いて計算することができる。

(2) ラグ支持の塔類

架構により支持された塔類で、次の条件をはずれる場合には、静的震度法が適用できないので、修正震度法等での解析が必要である。

重要度II、III

かつ、 $H_t < 20$ (m)

この場合の応答解析は「耐震設計基準」第6条第3号ハによること。

(3) レグ支持の塔類

レグ支持塔類の解析については、レグの支持条件が本要領では上端固定、下端ピンとして水平剛性、発生応力を求めている。支持条件が本要領と明らかに異なるものは別途解析となる。レグの下端が固定と見なせるものの水平剛性、発生応力の算出については「耐震設計基準」第6条及び第9条によること。

(4) その他

上記各項よりがたい塔類については、個別の工学的判断により耐震性を検討する。

3・2 地震力の算定

3・2・1 地表面における水平震度及び鉛直震度

(1) 地表面における水平震度

地表面における水平震度は次式によって求める。

$$K_H = 0.150\beta_1\beta_2\beta_3 \text{……………(3.1)}$$

ここに K_H 地表面における設計水平震度

β_1 3・2・2に示す重要度係数

β_2 3・2・3に示す地域係数

β_3 3・2・4に示す表層地盤増巾係数

(2) 地表面における鉛直震度

地表面における鉛直震度は次式によって求める。

$$K_V = 0.075\beta_1\beta_2\beta_3 \text{……………(3.2)}$$

ここに K_V 地表面における設計鉛直震度

$\beta_1\beta_2\beta_3$ は前出の係数

3・2・2 重要度係数 β_1

- (1) 重要度分類 塔類の重要度分類は、塔類ごとにガスの種類、貯蔵能力及び当該塔類の外周から当該塔類が設置されている事業所の境界線 (当該境界線に接続する海、河川、湖沼及びこれらと同等の効用を有する施設又は土地の外縁) までの最短の距離により表3・3又は表

3・4から定まる重要度とする。

重要度係数 β_1 は、重要度に応じて表3・2に掲げる値とする。

表3・2 重要度係数 β_1 の値

重 要 度	Ia	I	II	III
β_1	1.00	0.80	0.65	0.50

表3・3 重要度分類（一般）

ガス の 種類	貯蔵能力W (tf) 距離X (m)	貯蔵能力W (tf)				
		5 未満	5 以上 20未満	20以上 100未満	100以上 500未満	500以上
第 1 種 毒 性 ガ ス	100未満	I	I	I	I	I
	100以上 200未満	II	I	I	I	I
	200以上 500未満	III	II	I	I	I
	500以上 1,000未満	III	III	II	I	I
	1,000以上	III	III	III	II	I
第 2 種 毒 性 ガ ス	50未満	I	I	I	I	I
	50以上 200未満	II	I	I	I	I
	200以上 500未満	II	II	I	I	I
	500以上 1,000未満	III	III	II	I	I
	1,000以上	III	III	III	II	I

ガス の 種類	貯蔵能力W (tf) 距離X (m)	貯蔵能力W (tf)				
		10未満	10以上 100 未満	100以上 1,000 未満	1,000 以上 10,000 未満	10,000 以上
第 3 種	20未満	I	I	I	I	I
	20以上 40未満	II	I	I	I	I

毒 性 ガ ス 及 び 可 燃 性 ガ ス	40以上 90未満	II	II	I	I	I
	90以上 200未満	III	II	II	I	I
	200以上 400未満	III	III	II	II	I
	400以上 900未満	III	III	III	II	II
	900以上 2,000未満	III	III	III	III	II
	2,000以上	III	III	III	III	III

その他のガスは貯蔵能力、距離に関係なく常に重要度はIIIとする。

備考 この表による重要度分類は、コンビナート等保安規則の適用を受ける特定製造事業所内外に設置されている塔類に適用する。

表3・4 重要度分類（特定）

ガス の 種類	貯蔵能力W (tf) 距離X (m)	貯蔵能力W (tf)					
		5 未満	5 以上 20未満	20以上 30未満	30以上 100 未満	100 以上 500 未満	500 以上
第 1 種 毒 性 ガ ス	100未満	I	I	I	Ia	Ia	Ia
	100以上 200未満	II	I	I	Ia	Ia	Ia
	200以上 500未満	III	II	I	Ia	Ia	Ia
	500以上 1,000未満	III	III	II	I	Ia	Ia
	1,000以上	III	III	III	II	I	Ia
第 2 種 毒 性 ガ ス	50未満	I	I	I	Ia	Ia	Ia
	50以上 200未満	II	I	I	Ia	Ia	Ia
	200以上 500未満	III	II	I	Ia	Ia	Ia
	500以上 1,000未満	III	III	II	I	Ia	Ia
	1,000以上	III	III	III	II	I	Ia

ガスの種類	貯蔵能力 W (tf)		10未満	10以上 100未満	100以上 1,000未満	1,000以上 10,000未満	10,000以上
	距離 X (m)						
第3種 毒性ガス 及び 可燃性ガス	20未満		I	I	Ia	Ia	Ia
	20以上	40未満	II	I	Ia	Ia	Ia
	40以上	90未満	II	II	Ia	Ia	Ia
	90以上	200未満	III	II	I	Ia	Ia
	200以上	400未満	III	III	I	I	Ia
	400以上	900未満	III	III	II	I	I
	900以上	2,000未満	III	III	II	II	I
	2,000以上		III	III	II	II	II

その他のガスは貯蔵能力、距離に関係なく重要度はIIIとする。

備考 この表は、コンビナート等保安規則の適用を受ける指定製造事業内に設置されている塔類に適用する分類表であつて、表3・3のうち該当する区分に対して一つ上位へ変更したものである。

(2) ガスの分類 塔類の重要度分類において、ガスは次の5種類のガスに分類される。

- (a) 第1種毒性ガス 塩素、シアン化水素、二酸化窒素、ふつ素及びホスゲン
- (b) 第2種毒性ガス 塩化水素、三ふつ化ほう素、二酸化硫黄、ふつ化水素、ブromメチル及び硫化水素
- (c) 第3種毒性ガス アンモニア、クロルメチル、アクリロニトリル、アクロレイン、一酸化炭素、クロロブレン、酸化エチレン、ジエチルアミン、トリメチルアミン、二硫化炭素、ベンゼン、モノメチルアミン及びその他のガスであつてじよ（怒）限量が200 ppm以下のもの。
- (d) 可燃性ガス イソブタン、エタン、エチレン、ノルマルブタン、プロパン、液化石油ガス、アセチレン、アセトアルデヒド、エチルアミン、エチルベンゼン、塩化エチル、塩化ビニル、酸化プロピレン、シクロプロパン、ジメチルアミン、水素、ブタジエン、ブタン、ブチレン、プロピレン、メタン、メチルエーテル及びその他のガスであつて、次の(i)又は(ii)に該当するもの。ただし、(a)、(b)及び(c)に掲げる毒性ガスを除く。
 - (i) 爆発限界（空気と混合した場合の爆発限界をいう。以下同じ。）の下限が10%以下のもの
 - (ii) 爆発限界の上限と下限の差が20%以上のもの
- (e) その他のガス (a)、(b)、(c)及び(d)に掲げるガス以外のガス

(3) 貯蔵能力 重要度分類における貯蔵能力Wは、次による。

(a) 圧縮ガス 圧縮ガスの貯蔵能力は、その貯蔵する容積 (m³) から当該ガスの常用の温度及び圧力における重量 (tf) に換算した値とする。この換算式を次に示す。

$$W = \frac{273(P+1)V_1M}{1,000 \times 22.4T} \dots\dots\dots (3.3)$$

ここに W 貯蔵能力 (tf)
 P 常用の圧力 (kgf/cm²)
 V₁ 塔類の内容積 (m³)
 M 当該ガスの分子量 (kgf/kmol)
 T 常用の温度の絶対温度 (*K)

(b) 液化ガス 液化ガスの貯蔵能力は次の算式により得られる値とする。

$$W = 0.9\omega V_2 \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに W 貯蔵能力 (tf)
 ω 塔類の常用の温度における液化ガスの密度 (tf/m³)
 V₂ 塔類の内容積 (m³)

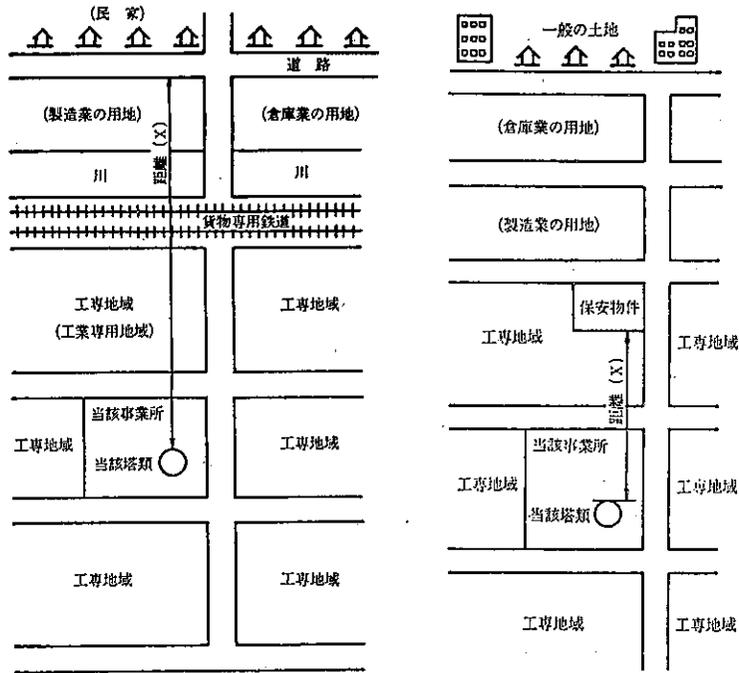
備考 常用の温度は、通常の貯蔵状態において液化ガスの密度が最大となる温度とする。

(c) 気液混在のガス 気液が混在しているガスの貯蔵能力は、通常の運転状態におけるガスの気体及び液体それぞれの重量の合計が最大となる重量とする。

(4) 距離X 重要度分類に用いる距離は、当該塔類の外側から当該塔類が設置されている事業所の最も近い事業所境界線までの水平距離 (m)。ただし、当該事業所に接続して次の(a)から(e)に掲げる施設等がある場合はその外縁までの距離のうち最も近い位置までの水平距離 (m) をXとする。例を図3・2に示す。

- (a) 海、湖沼、河川及び水路並びに工業用水道事業法に基づく工業用水道
- (b) 貨物輸送専用鉄道
- (c) 工業専用地域又は工業専用地域になることが確実な地域内の土地。ただし、現に保安物件が存在している場合は、当該保安物件までの距離とする。
- (d) 製造業（物品の加工修理業を含む。）電気供給業、ガス供給業及び倉庫業に係る事業所の敷地のうち現にそれらの事業活動の用に供されているもの
- (e) (a)から(d)までに掲げる施設と当該事業所とに接続する道路及び鉄道
- (f) 前各号に掲げるもののほか、保安物件が設置されるおそれがない土地であつて通商産業大臣が保安上支障がないものとして特に認めたもの
- (g) 当該事業所において高压ガスを製造する者が所有し、若しくは地上権その他の土地の使用を目的とする権利を設定している土地

図3・2 距離Xのとり方の例



3・2・3 地域係数 β_2 。地域係数は地域区分に基づいて定められる。地域区分は、過去の地震歴、基盤の状況、その他の観測資料等により地震発生の頻度及びその大きさ並びに被害の程度等を総合的に考察して、特にA、A、B及びCの四つの地域に区分されている。地域区分に応じて定められた地域係数 β_2 の値を表3・5、地域の区分を図3・3及び表3・6に示す。

重要度係数 β_1 と地域係数 β_2 との積が0.33未満となる場合は、これを0.33とする。

表3・5 地域係数 β_2 の値

地域区分	特 A	A	B	C
β_2	1.0	0.8	0.6	0.4

図3・3 地域区分図

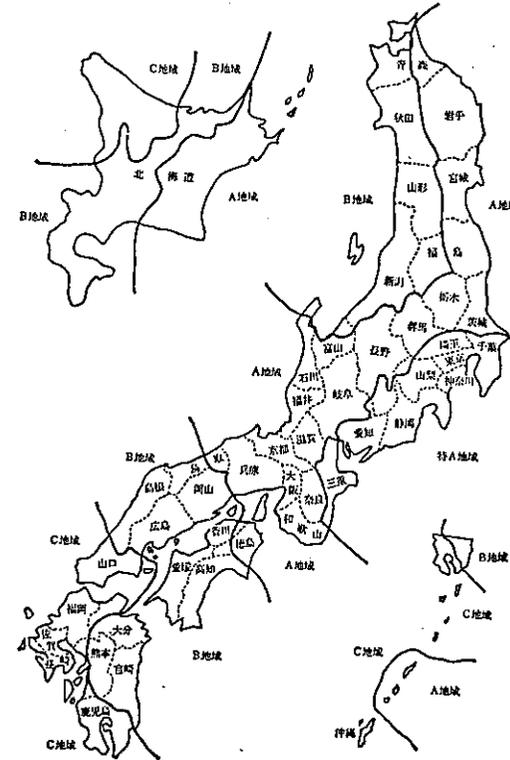


表3・6 地域区分と地域係数

都道府県	特 A 地域	A 地域	B 地域	C 地域
北海道	1.0	0.8	0.6	0.4
北海道		帯広市、釧路市、根室市、沙流郡、新冠郡、静内郡、三石郡、浦河郡、様似郡、幌泉郡、河西郡、河東郡、広尾郡、足寄郡、十勝郡、釧路郡、厚岸郡、川上郡、阿寒郡、白糖郡、	A 地域及びC 地域を除く全域	旭川市、士別市、名寄市、留萌市、稚内市、紋別市、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、札文郡、利尻郡及び紋別郡の全部並びに上川郡のうち鷹栖町、当麻町、

		野付郡、標津郡及び目梨郡の全部並びに上川郡のうち新得町と清水町及び中川郡のうち長別町、池田町、豊頃町と本別町の地域		比布町、愛別町、和寒町、剣淵町、朝日町、風連町と下川町及び中川郡のうち美深町、音威子府町と中川町の地域
青森県		八戸市、十和田市、三沢市、上北郡及び三戸郡の地域	A 地域を除く全域	
岩手県		全域		
宮城県		全域		
秋田県			全域	
山形県			全域	
福島県		福島市、いわき市、原町市、相馬市、二本松市、伊達郡、安達郡、東白河郡、石川郡、田村郡、双葉郡及び相馬郡の地域	A 地域を除く全域	
茨城県		全域		
栃木県		全域		
群馬県		全域		
埼玉県	全域			
千葉県	全域			
東京都	A 地域を除く全域	小笠原村の地域		
神奈川県	全域			

新潟県			全域	
富山県		B 地域を除く全域	魚津市、滑川市、黒部市及び下新川郡の地域	
石川県		B 地域を除く全域	輪島市、珠洲市、鳳至郡及び珠洲郡の地域	
福井県		全域		
山梨県	A 地域を除く全域	東山梨郡のうち三富村、北巨摩郡のうち須玉町、高根町、長坂町、小淵沢町と大泉村及び北都留郡のうち小菅村と丹波山村の地域		
長野県	飯田市、伊那市及び駒ヶ根市並びに上伊那郡のうち飯島町、中川村と宮田村及び下伊那郡のうち鼎町、松川町、高森町、阿南町、上郷町、阿智村、下条村、天竜村、泰阜村、喬木村、豊岡村と南信濃村の地域	特A 地域を除く全域		
岐阜県	中津川市の地域	特A 地域を除く全域		
静岡県	全域			
愛知県	全域			
三重県	全域			

滋賀県		全域		
京都府		全域		
大阪府		全域		
兵庫県		全域		
奈良県		全域		
和歌山県		全域		
鳥取県		鳥取市、岩美郡、八頭郡及び気高郡の地域	A 地域を除く全域	
島根県			全域	
岡山県			全域	
広島県			全域	
山口県				全域
徳島県		B 地域を除く全域	美馬郡及び三好郡の地域	
香川県		大川郡及び木田郡の地域	A 地域を除く地域	
愛媛県			全域	
高知県			全域	
福岡県				全域
佐賀県				全域
長崎県				全域
熊本県			熊本市、人吉市、菊池市、下益城	B 地域を除く全域

			郡、上益城郡、菊地郡、阿蘇郡、八代郡及び球磨郡の地域	
大分県			大分市、別府市、佐伯市、臼杵市、津久見市、竹田市、大分郡、北海部郡、南海部郡、大野郡、直入郡、玖球郡及び日田郡の地域	B 地域を除く全域
宮崎県			全域	
鹿児島県		名瀬市及び大島郡の地域		A 地域を除く全域
沖縄県				全域

備考 この表に掲げる区域は、昭和56年9月1日現在における行政区画によつて表示されたものとする。

3・2・4 表層地盤増幅係数 β_s

地盤種別と表層地盤増幅係数 電源で発生した地震動が基盤から表層地盤を伝わつて地表面に達する間に増幅される。その増幅の程度は表層地盤の種別によつて異なり表層地盤増幅係数で表される。

表層地盤は4つの種別に分ち、それぞれの地盤増幅係数は表3・7に示す値となる。

表3・7 地盤種別と表層地盤増幅係数 β_s

地 盤 種 別	β_s
第1種地盤(第三紀以前の地盤)	1・4
第2種地盤(洪積層地盤)	2・0
第3種地盤(第1種、第2種及び第4種地盤以外の地盤)	2・0
第4種地盤(埋土又は沖積層の厚さが25m以上の地盤)	2・0

3・2・5 静的震度法による解析

本要領に用いる耐震解析法は原則として静的震度法及び修正震度法とする。静的震度法を用いることができる条件は次の通りである。

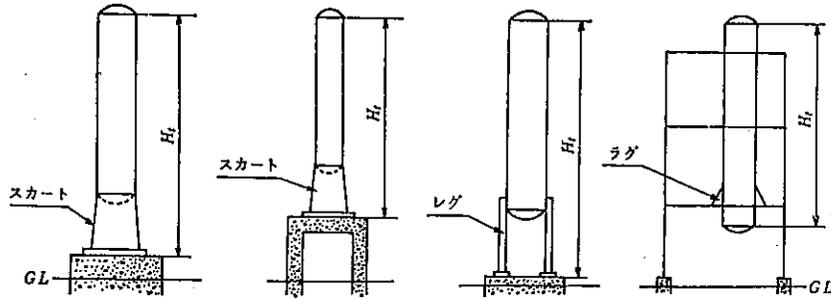
重要度II又はIIIで

かつ、 $H_t < 20$ (m)

ここに H_t はスカート支持及びレグ支持にあつてはベースプレート下面から最高位の正接線

までの高さ、ラグ支持等にあつては正接線間の長さをいう。(図3・4参照)

図3・4 高さ H_f 及び支持構造部名称



(1) 水平方向応答倍率 β_1

静的震度法による水平方向応答倍率 β_1 は地表面からの高さ H (m)の区分に応じて表3・8に掲げる値とする。

表3・8

H (m)	β_1
$H \leq 16$	2.0
$16 < H \leq 35$	$1.04 + 0.06H$
$35 < H$	3.14

水平方向応答倍率の高さ方向のとり方は図3・5を参照のこと。

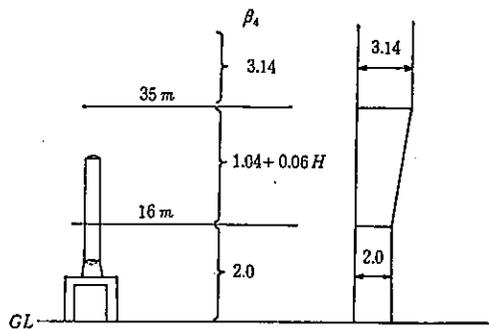


図3・5 水平方向応答倍率の高さ方向分布図

(2) 設計静的水平震度

設計静的水平震度は次式によつて求める。

$$K_{SH} = \beta_1 K_H \dots\dots\dots (3.5)$$

ここに K_{SH} 設計静的水平震度。ただし、この値が0.2未満となる場合は0.2とする。

K_H 地表面における設計静的水平震度

β_1 静的震度法による水平方向応答倍率

なお、鉛直方向の震度は省略する。

(3) 設計静的水平地震力

設計静的水平地震力は次式によつて求める。

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \dots\dots\dots (3.6)$$

ここに F_{SH} 設計静的水平地震力 (kgf)

K_{SH} 設計静的水平震度

W_H 運転重量であつて水平地震力を求める位置の自重と内容物の重量との和 (kgf)

3・2・6 修正震度法による解析

(1) スカート支持塔類

(1・1) 水平方向応答倍率 β_s 、鉛直方向応答倍率 β_v

水平方向の応答倍率は図3・6又は図3・7により設備の固有周期から地盤種別に応じた基準応答倍率を求め、表3・9に示す設備の固有周期に応じて定められた減衰定数に基づく補正係数(図3・8)を乗じて求める。

すなわち、 $\beta_s = (\text{基準応答倍率}) \times (\text{補正係数})$

この場合、設備の固有周期が0.3(s)未満の場合であつて、応答倍率が1.5を下回るときは、これを1.5とし、固有周期が0.3(s)以上の場合であつて、応答倍率が0.75を下回るときは、これを0.75とする。

また、第1種地盤以外で地盤種別が不明の場合は、地盤種別に関係なく算定固有周期の一番高い基準応答倍率をとるものとする。

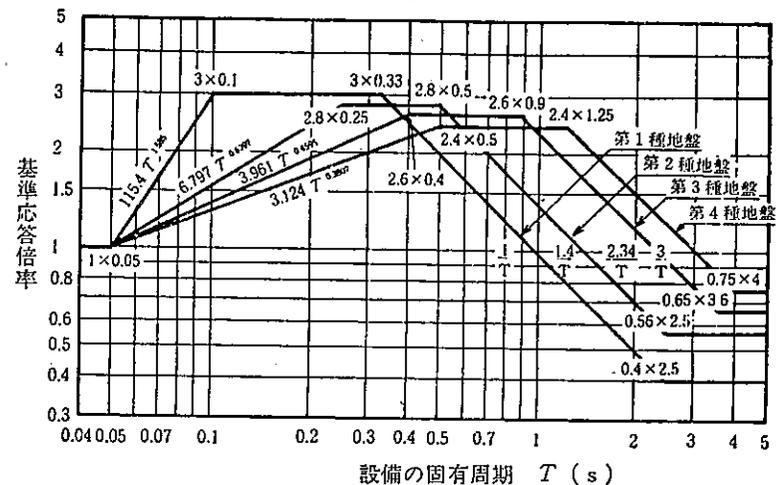


図3・6 特A及びA地区の基準応答倍率

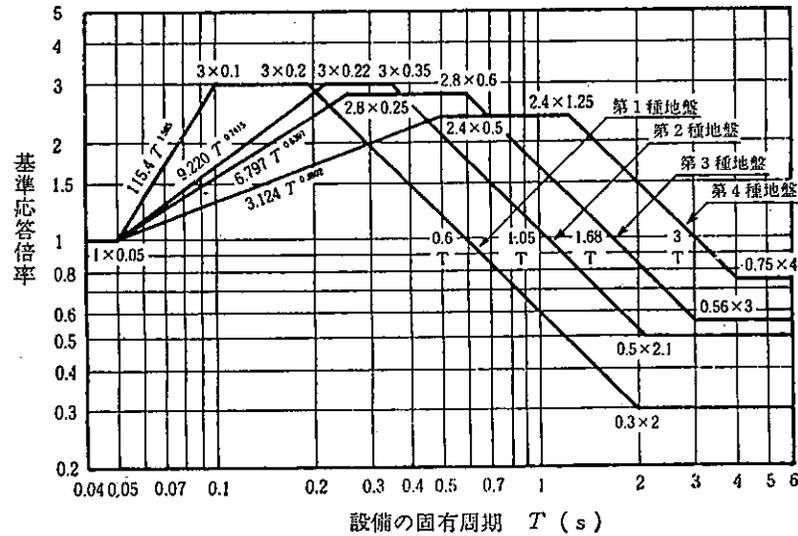


図3・7 B及びC地区の基準応答倍率

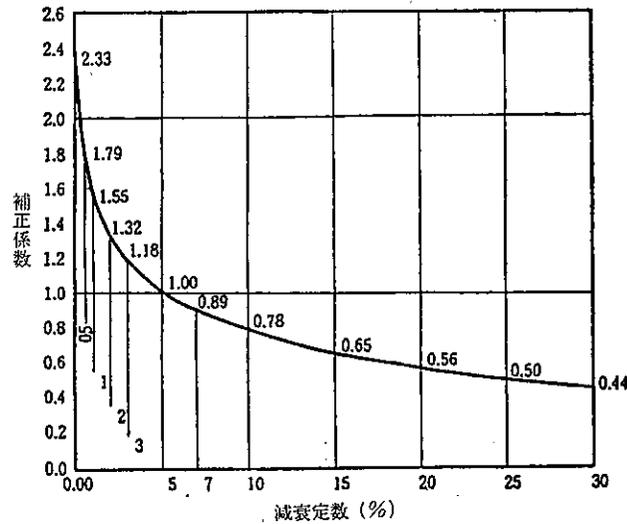


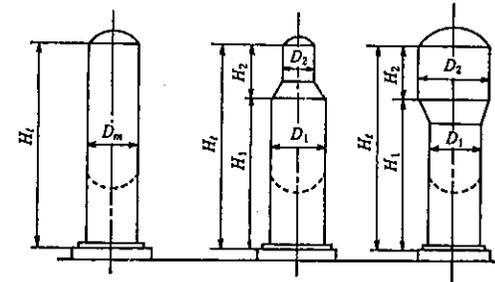
図3・8 応答倍率の補正係数

表3・9 塔類の減衰定数

設備の固有周期(s)	減衰定数(%)
Tが1・0未満のもの	3
Tが1・0以上1・5未満のもの	7-4T
Tが1・5以上のもの	1

上記にかかわらずスカート支持の塔類であつて平均直径 D_m に対するベースプレートから最高位の正接線までの高さ H_t の比が4.0未満のものは水平方向の応答倍率を2.0とする。ここで H_t 及び D_m の寸法は図3・9に示すところによる。

図3・9 H_t 及び D_m



$$D_m = \frac{D_1 H_1 + D_2 H_2}{H_t}$$

D_1 及び D_2 各胴部の平均直径 (胴の腐れしろを除いた内径と板厚との和)

H_t ベースプレート下面から最高位正接線までの高さ

鉛直方向の応答倍率 β_s はスカート支持の塔類にあつては1.5とする。

(1・2) 固有周期

胴の最小内径に対する最大内径の比が2.0以下であり、かつ、胴の周継手の上下の肉厚の比が0.5以上2.0以下のものであつて、 $H_t / D_m \geq 4.0$ の場合、固有周期は次式によつて求める。

$$T = \frac{CH_t}{\sqrt{K_{MH} D_m}} \dots \dots \dots (3.7)$$

ここに T 固有周期 (s)

K_{MH} 設計修正水平震度

D_m 胴の平均直径 (m)

C 0.025~0.030までの範囲で応答倍率 β_s が最大となる時の値

H_t ベースプレート下面から最高位の正接線までの高さ (m)

式(3.7)には T 及び K_{MH} の値の要素である β_s の値が未知数であるが、以下に述べる図3・10を用いた手法により T 及び β_s を求めることができる。

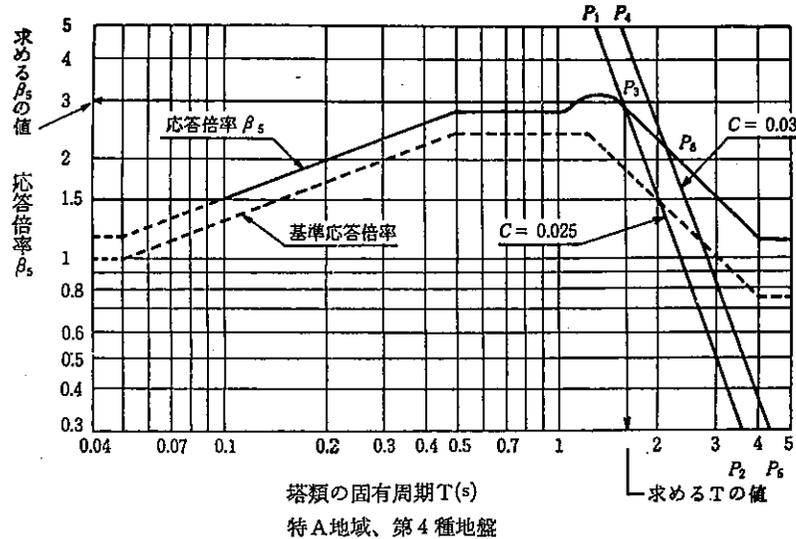


図3・10 β_s を仮定し固有周期を求める図

図3・10における実線折線は減衰による補正係数を考慮して求めた応答倍率 β_s を示す。なお、各地域、各地盤種別の塔類の応答倍率図は第1編末尾の参考資料4に示す。まず、式(3.7)において $\beta_s = 5$ 、 $C = 0.025$ として T の値を求め P_1 とする。同様に $\beta_s = 0.3$ 、 $C = 0.025$ として T の値を求め P_2 とする。 P_1 と P_2 を直線で結び、応答倍率折線との交点を P_3 とする。

次いで $C = 0.03$ の場合を同様にして P_4 、 P_5 及び P_6 を求める。 P_3 、 P_6 の間で β_s の最大となる値(図3・10では P_3)の横軸が求める固有周期 T である。式(3.7)等で求めた固有周期が地盤の種類に応じ、次表の値を超える場合は、モード解析法によらなければならない。

表3・10

地盤種別	固有周期(s)
第1種地盤	0.5
第2種又は第3種地盤	1.0
第4種地盤	1.5

(1・3) 設計修正水平震度 K_{MH} 、設計修正鉛直震度 K_{MV}

設計修正水平震度は次式によつて求める。

$$K_{MH} = \beta_s K_H \dots \dots \dots (3.8)$$

ここに K_{MH} 設計修正水平震度。ただし、この値が0.2未満となる場合は0.2とする。

K_H 地表面における設計水平震度
 β_s 修正震度法による水平方向応答倍率

設計修正鉛直震度は次式によつて求める。

$$K_{MV} = \beta_s K_V \dots \dots \dots (3.9)$$

ここに K_{MV} 設計修正鉛直震度

重要度II及びIIIの設備については省略することができる。

K_V 地表面における設計鉛直震度

β_s 修正震度法による鉛直方向応答倍率であつて1.5とする。

(1・4) 設計修正水平地震力 F_{MH} 、設計修正鉛直地震力 F_{MV}

設計修正水平地震力は次式によつて求める。

$$F_{MH} = \mu K_{MH} W_H \dots \dots \dots (3.10)$$

ここに F_{MH} 設計修正水平地震力 (kgf)

μ 震度分布係数であつて、次の二つの算式により得られる値のいずれか大なるもの。

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$\mu = \frac{1}{\beta_s \beta_s} \dots \dots \dots (3.12)$$

ここに H 設備の設計修正水平地震力を算定する位置のベースプレート下面からの高さ(mm) 図3・11参照

K_{MH} 設計修正水平震度

W_H 運転重量であつて水平地震力を求める位置の自重と内容物の重量との和 (kgf)

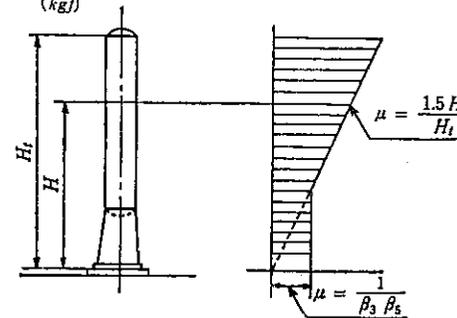


図3・11 塔類の震度分布係数

設計修正鉛直地震力は次式によつて求める。

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \dots \dots \dots (3.13)$$

ここに F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (kgf)

K_{MV} 設計修正鉛直震度

W_V 運転重量であつて設備の自重と内容物の重量との和 (kgf)

(2) レグ支持塔類

(2・1) 水平方向応答倍率 β_s 、鉛直方向応答倍率 β_s

水平方向応答倍率は3・2・6(1)に準ずる。

ただし、

$H_t/D_m < 4.0$ のとき $\beta_s = 2.0$

については、LEG支持塔類の解析には適用できないので、水平方向応答倍率 β_s は、すべて計算により求めなければならない。

鉛直方向の応答倍率 β_v は2.0とする。

(2・2) 固有周期

LEG支持塔類の固有周期は次式によつて求める。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{K_g}} \dots\dots\dots (3.14)$$

ここに T 固有周期 (s)

W_0 運転重量であつて設備の自重と内容物の重量との和 (kgf)

K 水平剛性であつて式(3.15)から得られる値 (kgf/mm)

g 重力加速度 (mm/s²)

LEG支持塔類の水平剛性は次式によつて求める。

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \dots\dots\dots (3.15)$$

ここに K 水平剛性 (kgf/mm)

K_1 全体の曲げ剛性であつて、次式により得られる値 (kgf/mm)

$$K_1 = \frac{3nEAD^2}{2H_1^3} \dots\dots\dots (3.16)$$

K_2 全体のせん断剛性であつて、次式により得られる値 (kgf/mm)

$$K_2 = \frac{nK_c}{1 + \frac{H_1 K_c}{GA}} \dots\dots\dots (3.17)$$

ただし、 K_c はLEG1本の曲げ剛性であつて、次式により得られる値 (kgf/mm)

$$K_c = \frac{1.5E(I_1 + I_2)}{H_1^3} \dots\dots\dots (3.18)$$

式(3.18)はLEGの下端がピンとみなしたものである。LEGの下端が固定とみなせるものについては、耐震設計基準第6条及び9条によること。

λ 重心の高さによる補正係数であつて、次式により得られる値

$$\lambda = \left(\frac{H_2}{H_1}\right) - \frac{H_2}{H_1} + 4 \dots\dots\dots (3.19)$$

これらの算式における各記号は、それぞれ次の値とする。

- H_1 LEGの長さであつてベースプレート下面からLEGと塔本体の溶接部長さの中間点までの高さ (mm)
- H_2 ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ (mm)
- n LEGの本数
- E LEGの材料の縦弾性係数 (kgf/mm²)
- D LEGの中心からなる円の直径 (mm)
- G LEGの材料の横弾性係数 (kgf/mm²)
- A LEGの断面積 (mm²)
- I_1 LEGの周方向軸に対する断面2次モーメント (mm⁴)
- I_2 LEGの半径方向軸に対する断面2次モーメント (mm⁴)

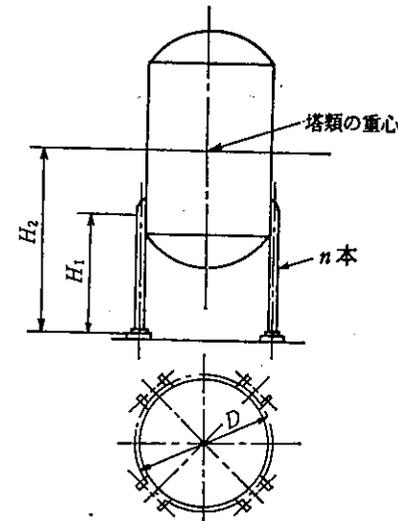


図3・12 LEG支持の塔類

(2・3) 設計修正水平震度 K_{MH} 、設計修正鉛直震度 K_{MV}

設計修正水平震度は次式によつて求める。

$$K_{MH} = \beta_s K_H \dots\dots\dots (3.20)$$

ここに K_{MH} 設計修正水平震度。ただし、この値が0.2未満となる場合は0.2とする。

K_H 地表面における設計水平震度

β_s 修正震度法による水平方向応答倍率

設計修正鉛直震度は次式によつて求める。

$$K_{MV} = \beta_v K_V \dots\dots\dots (3.9)$$

ここに K_{MV} 設計修正鉛直震度

重要度II及びIIIの設備については省略することができる。

K_V 地表面における設計鉛直震度

β_v 修正震度法による鉛直方向応答倍率であつて2.0とする。

(2・4) 設計修正水平地震力 F_{MH} 、設計修正鉛直地震力 F_{MV}

設計修正水平地震力は次式によつて求める。

$$F_{MH} = K_{MH} W_H \dots\dots\dots (3.20)$$

ここに F_{MH} 設計修正水平地震力 (kgf)

K_{MH} 設計修正水平震度

W_H 運転重量であつて水平地震力を求める位置の自重と内容物の重量との和 (kgf)

設計修正鉛直地震力は次式によつて求める。

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \dots\dots\dots (3.13)$$

ここに F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (kgf)

K_{MV} 設計修正鉛直震度

W_V 運転重量であつて設備の自重と内容物の重量との和 (kgf)

(3) ラグ支持塔類

ラグ支持塔類の修正震度法による解析は「耐震設計基準」第6条第3号へによること。

3・3 応力の算定

3・3・1 耐震点検仕様書

塔類の耐震点検仕様書を表3・11の形式にまとめる。

表3・11 塔類の耐震点検仕様書

機 器 名 称		構造概要及び運転重量分布	
内 容 物			
貯 蔵 能 力 W	(tf)		
境界までの距離 X	(m)		
重要度、重要度係数	、β ₁ =		
設置場所、地域係数	、β ₂ =		
地盤種別、表層地盤増巾係数	、β ₃ =		
設 計 圧 力	(kgf/cm ²)		
設 計 温 度	(℃)		
(ii) 設 計 震 度			
塔 類	高 さ Ht	(mm)	
	胴 の 平 均 直 径	(mm)	
	本 体 重 量	(kgf)	
ス カ ー ト	最下部の平均直径	(mm)	
	板 厚	(mm)	
	開口部の最大長さ	(mm)	
ボ ルト	材 質	レ、グ 本 数	
	円すい形スカートの頂角の1/2	(度)	レ、グ の 断 面 形 状

ア ン カ ー ボ ル ト	サ ー ク ル 直 径	(mm)	レ、グ 断 面 積	(mm ²)
	本 数		レ、グ の 長 さ	(mm)
	材 質		ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ	(mm)
	呼 び 径		レ、グ の 中 心 か ら なる 円 の 径	(mm)
	1本あたり有効断面積	(mm ²)	レ、グ 1本あたりアンカーボルト本数	

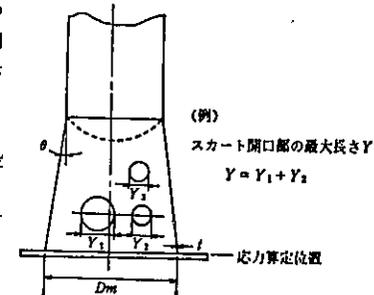
- (注) 1. 枠部は数値解析の必須データであり、必ず記入すること。
 2. 塔における貯蔵能力とは設備内の液体及び気体の高圧ガス重量をいう。
 3. 本体重量にはスカート、レ、グ及びステー等本体に固定されている附属品の重量を含める。
 4. 運転重量分布はできるだけ詳しく記入すること。
 5. スカートの仕様については該当する場合に記入する。
 6. ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。
- 3・3・2 スカート支持塔類の算定応力

(1) スカートに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \left\{ \frac{W_v + F_v}{(\pi D_m - Y)t} + \frac{4M}{(\pi D^2 m - 2DmY)t} \right\} \frac{1}{\cos \theta} \dots\dots\dots (3.21)$$

- ここに σ_c スカートに生じる圧縮応力 (kgf/mm²)
 W_v 設備の自重と内容物の重量との和 (kgf)
 F_v 設計鉛直地震力 (kgf)
 重要度II、IIIのときは省略することができる。
 D_m スカートの最下部の平均直径 (mm)
 Y スカートの開口部の水平方向の最大長さ (mm)
 t スカートの最下部の板厚 (mm)
 M 水平地震力により、スカート最下部に生じるモーメントの和 (kgf・mm)
 θ 円すい形スカートの頂角の1/2の値 (度)

- (注) 1 本点検においては、スカートの水平断面におけるスカートの開口部の最大長さ Y を最下部に考慮し、圧縮応力を算定している。(右図参照)
 2 (注) 1にかかわらず、「耐震設計基準」第10条第1項第1号口によって、圧縮応力を算定してもよい。



(2) アンカーボルトに生じる引張応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left(-W_v + F_v + \frac{4M}{D} \right) \dots\dots\dots (3.22)$$

ここに σ_t アンカーボルトに生じる引張応力 (kgf/mm²)
 N アンカーボルトの本数
 A アンカーボルトの有効断面積 (mm²)
 D アンカーボルトの中心からなる円の直径 (mm)

3・3・3 レグ支持塔類の算定応力

(1) レグに生じる応力

レグの細長比 λ が20未満の場合にはレグの耐震性検討を省略することができる。

イ レグの細長比

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

ここに λ 細長比
 l レグの座屈長さ (mm)、
 レグは一端固定、一端ピンとし
 $l = 0.7H_1$
 ここに H_1 レグの長さ (mm) ……図3・12参照
 i レグの最小断面2次半径 (mm)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

ここに I レグの最小断面2次モーメント (mm⁴)
 A レグの断面積 (mm²)

ロ 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{1}{nA} \left(W_v + F_v + \frac{4F_H H_2}{D} \right) \dots\dots\dots (3.23)$$

ここに σ_c レグに生じる圧縮応力 (kgf/mm²)
 n レグの本数
 A レグの断面積 (mm²)
 F_v 設計鉛直地震力 (kgf)
 重要度II、IIIのときは省略することができる。
 F_H 設計水平地震力 (kgf)
 H_2 ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ (mm)
 D レグの中心からなる円の直径 (mm)

ハ 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{2.0F_H H_1 e}{n(I_1 + I_2)} \dots\dots\dots (3.24)$$

ここに σ_b レグに生じる曲げ応力 (kgf/mm²)
 I_1 レグの周方向軸に対する断面2次モーメント (mm⁴)
 I_2 レグの半径方向軸に対する断面2次モーメント (mm⁴)
 H_1 レグの長さ (mm)
 e レグの中立軸から外縁までの距離の最大値 (mm)

式(3.24)はレグの下端がピンとみなしたものである。レグの下端が固定とみなせるものについては、「耐震設計基準」第6条及び第9条によること。

ニ せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{nA} \dots\dots\dots (3.25)$$

ここに τ レグに生じるせん断応力 (kgf/mm²)

(2) アンカーボルトに生じる応力

イ 引張応力

$$\sigma_t = \frac{P}{nn_a A_b} \dots\dots\dots (3.26)$$

ここに σ_t アンカーボルトに生じる引張応力 (kgf)
 P ベースプレートに作用する引抜力であつて次式により得られる値 (kgf)

$$P = -W_v + F_v + \frac{4F_H H_2}{D}$$

ここに H_2 ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ (mm)

$P \leq 0$ のとき $\sigma_t = 0$

n_a レグ1本当りのアンカーボルト本数

A_b アンカーボルトの有効断面積 (mm²)

式(3.26)はレグの下端がピンとみなしたものである。レグの下端が固定とみなせるものについては、「耐震設計基準」第6条及び第9条によること。

ロ せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{nn_a A_b} \dots\dots\dots (3.27)$$

ここに τ アンカーボルトに生じるせん断応力 (kgf/mm²)

3・3・4 レグ支持塔類の算定応力

レグ支持塔類はセットボルトの引張強度について検討する。

(1) セットボルトに生じる引張応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left(-W_v + F_v + \frac{4M}{D} \right) \dots\dots\dots (3.28)$$

ここに σ_t セットボルトに生じる引張応力 (kgf/mm²)
 N セットボルトの本数
 A セットボルトの有効断面積 (mm²)
 W_v 設備の自重と内容物の重量との和 (kgf)
 F_v 設計鉛直地震力 (kgf)
 重要度II、IIIのときは省略することができる。
 M 水平地震力によりセットボルト部に生じるモーメントの和 (kgf・mm)
 D セットボルトの中心からなる円の直径 (mm)

3・4 耐震性の判定

3・4・1 スカート支持塔類の耐震性判定

(1) スカート耐震性

$\sigma_c \leq f_c$ ならば合格

ここに σ_c スカートに生じる圧縮応力で式(3.21)より求めた値 (kgf/mm²)

f_c スカートの座屈検討圧縮応力の許容限界 (kgf/mm²)

$1.2S_y$ と

$$\frac{1.2Et}{(1+0.004\frac{E}{S_y})D_m}$$

のいずれか小なる値

- ここに S_y 降伏点 (kgf/mm²)
- E 縦弾性係数 (kgf/mm²)
- t 板厚 (mm)
- D_m 平均直径 (mm)

(2) アンカーボルトの耐震性

$\sigma_t \leq f_t$ ならば合格

ここに σ_t アンカーボルトに生じる引張応力で式 (3.22) より求めた値 (kgf/mm²)

f_t アンカーボルトの引張応力の許容限界 (kgf/mm²)

- ① SS34, SS41, SS50
SR24, SR30, SD24, SD30 } に対し $2S_y$
- ② 上記以外の材料に対し S_u
ここに S_y 降伏点 (kgf/mm²)
 S_u 引張強さ (kgf/mm²)

3・4・2 レグ支持塔類の耐震性判定

(1) レグの耐震性

レグの耐震性は組合せ応力で判定する。

$$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b} \leq 1 \dots\dots\dots (3.29)$$

かつ

$$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \dots\dots\dots (3.30)$$

ならば合格

ここに σ_c レグに生じる圧縮応力で式 (3.23) より求めた値 (kgf/mm²)

f_c レグの座屈検討圧縮応力の許容限界 (kgf/mm²)

① $\lambda \leq \Lambda$ の場合

$$f_c = \frac{1.8}{\nu} \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F$$

② $\lambda > \Lambda$ の場合

$$f_c = \frac{0.5}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} F$$

ここに λ 細長比 = $\frac{l}{i}$

$$\Lambda \text{ 限界細長比} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

l レグの座屈長さ (mm) = $0.7H_1$

H_1 レグの長さ (mm)

i レグの最小断面 2 次半径 (mm)

$$= \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I レグの最小断面 2 次モーメント (mm⁴)

A レグの断面積 (mm²)

F 基準応力 (kgf/mm²) S_y と $0.7S_u$ のいずれか小なる値

σ_b レグに生じる曲げ応力で式 (3.24) より求めた値 (kgf/mm²)

f_b レグの曲げ応力の許容限界 (kgf/mm²) = $1.1S_u$

τ レグに生じるせん断応力で式 (3.25) より求めた値 (kgf/mm²)

f_t レグの組合せ応力の許容限界 (kgf/mm²) = $1.1S_u$

(2) アンカーボルトの耐震性

アンカーボルトの耐震性は次の三式により判定する。

$$\sigma_t \leq f_t$$

$$\tau \leq f_t$$

$$\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} \leq f_t$$

いずれも成立するとき合格

ここに σ_t アンカーボルトに生じる引張応力で式 (3.26) より求めた値 (kgf/mm²)

f_t アンカーボルトの引張応力の許容限界 (kgf/mm²) = S_u

τ アンカーボルトに生じるせん断応力で式 (3.27) より求めた値 (kgf/mm²)

f_t アンカーボルトのせん断応力の許容限界 (kgf/mm²) = $\frac{1}{\sqrt{3}} S_u$

組合せ応力評価の f_t アンカーボルトの組合せ応力の許容限界 (kgf/mm²) = S_u

3・4・3 ラグ支持塔類の耐震性判定

(1) セットボルトの耐震性

$\sigma_t \leq f_t$ ならば合格

ここに σ_t セットボルトに生じる引張応力で式 (3.28) より求めた値 (kgf/mm²)

f_t セットボルトの引張応力の許容限界 (kgf/mm²) = S_u

3・4・4 点検結果のまとめ

塔類の耐震性判定結果を表 3・12 にまとめる。

表 3・12 塔類の耐震性判定結果

機 器 名 称	解 析 条 件 と の 一 致	
内 容 物	解 析 手 法	静的、修正、モード
貯 蔵 能 力 W	(tf)	設 計 静 的 水 平 震 度
境 界 ま だ の 距 離 X	(m)	固 有 周 期 (s)
重 要 度、重 要 度 係 数	$\beta_1 =$	設 計 修 正 水 平 震 度
設 置 場 所、地 域 係 数	$\beta_2 =$	設 計 修 正 鉛 直 震 度
地 盤 種 別、表 層 地 盤 増 巾 係 数	$\beta_3 =$	

ア

支

設計圧力		- (kgf/mm ²)					
設計温度		(°C)					
(旧) 設計震度							
支持方法	部位	応力名称	記号	発生応力 (kgf/mm ²)	応力の許容限界 (kgf/mm ²)	応力比	判定
スカート支持	スカート	座屈圧縮	σ_c				
	(注) アンカーボルト	引張	σ_t				
レグ支持	レグ	座屈圧縮	σ_c				
		曲げ	σ_b				
		せん断	τ				
		組合(圧、曲)	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$				
	組合(圧、曲、せ)	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$					
アンカーボルト	アンカーボルト	引張	σ_t				
		せん断	τ				
		組合(引、せ)	$(\sigma_t + 1.6\tau)/1.4$				
総合判定							

(注) ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

3・5 計算例題

① 静的震度法によるレグ支持CE

表3・11 塔類の耐震点検仕様書

機器名称	酸素 CE	構造概要及び運転重量分布		
内容物	液体酸素			
貯蔵能力 W	公称 10 (tf)			
境界までの距離 X	20 (m)			
重要度、重要度係数	III、 $\beta_1 = 0.5$			
設置場所、地域係数	特A、 $\beta_2 = 1.0$			
地盤種別、表層地盤増巾係数	第3種、 $\beta_3 = 2.0$			
設計圧力	9.9 (kgf/cm ²)			
設計温度	-183 (°C)			
(旧) 設計震度	0.2			
塔類	高さ Ht			4040 (mm)
	胴の平均直径	2209 (mm)		
	本体重量	6000 (Kgf)		
スカ	最下部の平均直径	(mm)		
	板厚	(mm)		
	開口部の最大長さ	(mm)		
ト	材質		レグ本数	3
	円すい形スカートの頂角の1/2	(度)	レグの断面形状	H 250×250×9×14
	サークル直径	(mm)	レグ断面積	9218 (mm ²)

ン カ ー ボ ル ト	本 数		レ グ の 長 さ	705 (mm)
	材 質	SS 41	ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ	2784 (mm)
	呼 び 径	M24	レグの中心からなる円の径	2038 (mm)
	1本あたり有効断面積	353 (mm ²)	レグ1本あたりアンカーボルト本数	2

- (注) 1 枠部は数値解析の必須データであり、必ず記入すること。
 2 塔における貯蔵能力とは設備内の液体及び気体の高圧ガス重量をいう。
 3 本体重量にはスカート、レグ及びステー等本体に固定されている附属品の重量を含める。
 4 運転重量分布はできるだけ詳しく記入すること。
 5 スカートのレグの仕様については該当する場合に記入する。
 6 ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

(1) 地表面における水平震度

$$K_H = 0.150\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$$

- β_1 重要度係数 = 0.5
- β_2 地域係数 = 1.0
- β_3 表層地盤増巾係数 = 2.0

$$K_H = 0.150 \times 0.5 \times 1.0 \times 2.0 = 0.15$$

(2) 静的震度法適用の可否

重要度がⅢであり、 H_1 が20m以下であるので静的震度法を適用することができる。

(3) 設計静的水平震度

$$K_{SH} = \beta_4 K_H$$

β_4 静的震度法による水平方向応答倍率 = 2.0

$$K_{SH} = 2.0 \times 0.15 = 0.3$$

(4) 設計静的水平地震力

$$F_{SH} = K_{SH} W_H$$

W_H 運転重量 (本体重量 + 貯蔵能力)

$$\text{貯蔵能力 } W = 0.9wV$$

w 比重 = 1.14

V 貯槽内容積 = 9.873 (m³)

$$W = 0.9 \times 1.14 \times 9.873 = 10.13 \text{ (tf)}$$

$$W_H = 6000 + 10130 = 16130 \text{ (kgf)}$$

$$F_{SH} = 0.3 \times 16130 = 4839 \text{ (kgf)}$$

(5) レグの耐震性検討

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{493.5}{62.9} = 7.85$$

$$l = 0.7H_1$$

$$= 0.7 \times 705 = 493.5 \text{ (mm)}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3.65 \times 10^7}{9.218 \times 10^3}} = 62.9 \text{ (mm)}$$

$$I = 3.65 \times 10^7 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$A = 9.218 \times 10^3 \text{ (mm}^2\text{)}$$

細長比 λ が20未満となるのでレグの耐震性検討を省略する。

(6) アンカーボルトに生じる応力

(a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{P}{n n_a A_b} = \frac{10311}{3 \times 2 \times 353} = 4.87 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$P = -W_V + F_V + \frac{4 F_H H_2}{D} = -16130 + \frac{4 \times 4839 \times 2784}{2038} = 10311 \text{ (kgf)}$$

$$W_V = 16130 \text{ (kgf)}$$

$F_V = \dots$ 重要度Ⅲであり省略する。

$$F_H = 4839 \text{ (kgf)}$$

$$H_2 = 2784 \text{ (mm)}$$

$$D = 2038 \text{ (mm)}$$

$$n = 3$$

$$n_a = 2$$

$$A_b = 353 \text{ (mm}^2\text{)}$$

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{n n_a A_b} = \frac{4839}{3 \times 2 \times 353} = 2.28 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(7) アンカーボルトの耐震性判定

(a) 引張応力の判定

$$\text{引張応力 } \sigma_t = 4.87 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\text{引張応力の許容限界 } f_t = S_u = 41 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_t = 4.87 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_t = 41 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(b) せん断応力の判定

$$\text{せん断応力 } \tau = 2.28 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\text{せん断応力の許容限界 } f_s = \frac{1}{\sqrt{3}} S_u = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 41 = 23.67 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\tau = 2.28 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_s = 23.67 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(c) 組合せ応力の判定

$$\text{組合せ応力} = \frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} = \frac{4.87 + 1.6 \times 2.28}{1.4} = 6.08 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\text{組合せ応力の許容限界 } f_t = S_u = 41 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} = 6.08 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_t = 41 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

表3・12 塔類の耐震性判定結果

機 器 名 称	酸 素 CE	解析条件との一致	OK				
内 容 物	液 体 酸 素	解 析 手 法	静的、修正、モード				
貯 蔵 能 力 W	公称 10 (tf)	設計静的水平震度	0.3				
境界までの距離 X	20 (m)	固 有 周 期	— (S)				
重要度、重要度係数	III、 $\beta_1 = 0.5$	設計修正水平震度	—				
設置場所、地域係数	特A、 $\beta_2 = 1.0$	設計修正鉛直震度	—				
地盤種別、表層地盤増巾係数	第3種、 $\beta_3 = 2.0$	/					
設 計 圧 力	9.9 (kgf/cm ²)						
設 計 温 度	-183 (°C)						
(旧) 設 計 震 度	0.2						
支持方法	部 位			応力名称	記 号	発生応力 (kgf/mm ²)	応力の許容限界 (kgf/mm ²)
スカート支持	スカート	座屈圧縮	σ_c	/	/	/	/
	(注) アンカーボルト	引 張	σ_t	/	/	/	/
レ グ	レ グ	座屈圧縮	σ_c	/	/	/	/
		曲 げ	σ_b	/	/	/	/
		せん断	τ	/	/	/	/
		組 合 (圧、曲)	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	/	/	/	/
		組 合 (圧、曲、せ)	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$	/	/	/	/

支 持	アンカーボルト	引 張	σ_t	4.87	41	0.119	OK
		せん断	τ	2.28	23.67	0.096	OK
		組 合 (引、せ)	$(\sigma_t + 1.6\tau)/1.4$	6.08	41	0.148	OK
総 合 判 定				OK			

(注) ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

② 修正震度法によるスカート支持塔A

表3・11 塔類の耐震点検仕様書

機 器 名 称	蒸 溜 塔 A	
内 容 物	炭 化 水 素	
貯 蔵 能 力 W	55.4 (tf)	
境界までの距離 X	35 (m)	
重要度、重要度係数	I、 $\beta_1 = 0.8$	
設置場所、地域係数	特A、 $\beta_2 = 1.0$	
地盤種別、表層地盤増巾係数	第4種、 $\beta_3 = 2.0$	
設 計 圧 力	3.5 (kgf/cm ²)	
設 計 温 度	150 (°C)	
(旧) 設 計 震 度		
塔 類	高 さ H t	35000 (mm)
	胴の平均直径	3515 (mm)
	本 体 重 量	107886 (kgf)
	最下部の平均直径	3518 (mm)

構造概要及び運転重量分布

順点荷重 (kgf)
9769
12310
13120
12945
14060
13880
15005
26925
28576
5001
11695
163286 (kgf)

カ	板 厚	18 (mm)			
	開口部の最大長さ	1000 (mm)			
ト	材 質	SS 41	レ	レ グ 本 数	
	円すい形スカートの頂角の1/2	0 (度)		レ グ の 断 面 形 状	
ア ン カ ー ボ ルト	サークル直径	3762 (mm)	グ	レ グ 断 面 積	(mm ²)
	本 数	28		レ グ の 長 さ	(mm)
	材 質	SS 41		ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ	(mm)
	呼 び 径	M 90		レグの中心からなる円の径	(mm)
	1本あたり有効断面積	5591 (mm ²)		レグ1本あたりアンカーボルト本数	

- (注) 1. 枠部は数値解析の必須データであり、必ず記入すること。
 2. 塔における貯蔵能力とは設備内の液体及び気体の高圧ガス重量をいう。
 3. 本体重量にはスカート、レグ及びステージ等本体に固定されている附属品の重量を含める。
 4. 運転重量分布はできるだけ詳しく記入すること。
 5. スカートのレグの仕様については該当する場合に記入する。
 6. ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

(1) 重要度分類

貯蔵能力 $W=55.4$ (tf)
 境界までの距離 $X=35$ (m)
 (表 3・3) より重要度は I、(表 3・2) より重要度係数 $\beta_1=0.80$

(2) 地表面における震度

水平震度 $K_H=0.150\beta_1, \beta_2, \beta_3=0.150 \times 0.80 \times 1.0 \times 2.0=0.24$
 鉛直震度 $K_V=0.075\beta_1, \beta_2, \beta_3=0.12$

設備の重要度が I であり、塔の高さ H_t が 35(m) であり静的震度法は使用できなく修正震度法により解析する。

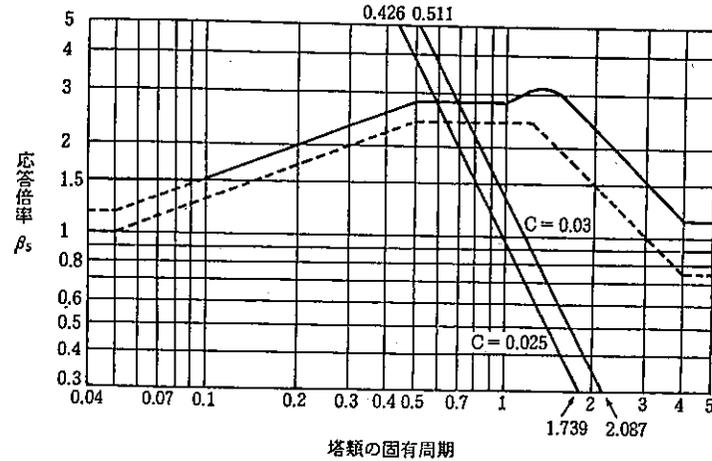
(3) 水平方向応答倍率 β_s 、鉛直方向応答倍率 β_v 。

(a) 水平方向応答倍率 β_s 。

$$\frac{H_t}{D_m} = \frac{35000}{3515} = 9.96 > 4.0$$

であり固有周期は次式より求める。

$$T = \frac{CH_t}{\sqrt{K_{MH} D_m}}$$



特A地域、第4種地盤

$c=0.025, \beta_s=5$ のとき

$$T = \frac{0.025 \times 35}{\sqrt{0.24 \times 5 \times 3.515}} = 0.426 \text{ (s)}$$

$c=0.025, \beta_s=0.3$ のとき

$$T = \frac{0.025 \times 35}{\sqrt{0.24 \times 0.3 \times 3.515}} = 1.739 \text{ (s)}$$

$c=0.03, \beta_s=5$ のとき

$$T = \frac{0.03 \times 35}{\sqrt{0.24 \times 5 \times 3.515}} = 0.511 \text{ (s)}$$

$c=0.03, \beta_s=0.3$ のとき

$$T = \frac{0.03 \times 35}{\sqrt{0.24 \times 0.3 \times 3.515}} = 2.087 \text{ (s)}$$

図より応答倍率 $\beta_s=2.832$

固有周期 $T=0.566 \sim 0.679$ (s)

(b) 鉛直方向応答倍率 β_v 。

スカート支持の塔類であり $\beta_s=1.5$

(4) 設計修正水平震度 K_{MH} 、設計修正鉛直震度 K_{MV}

(a) 設計修正水平震度 K_{MH}

$$K_{MH} = \beta_s K_H = 2.832 \times 0.24 = 0.68$$

(b) 設計修正鉛直震度 K_{MV}

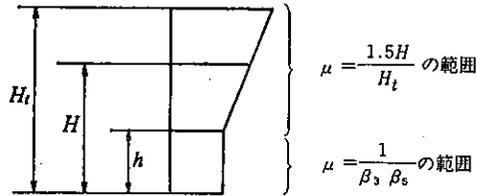
$$K_{MV} = \beta_v K_V = 1.5 \times 0.12 = 0.18$$

(5) 設計修正水平地震力 F_{MH} 、設計修正鉛直地震力 F_{MV}

(a) 設計修正水平地震力 F_{MH}

$$F_{MH} = \mu K_{MH} W_H$$

ここに μ は震度分布係数で $\frac{1.5H}{H_t}$ 又は $\frac{1}{\beta_3 \beta_s}$ のいずれか大なる値



$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \text{ の範囲}$$

$$\mu = \frac{1}{\beta_3 \beta_s} \text{ の範囲}$$

$$h = \frac{H_t}{1.5\beta_3 \beta_s} = \frac{35000}{1.5 \times 2.0 \times 2.832} = 4120 \text{ (mm)}$$

$H > 4120 \text{ (mm)}$ のとき

$$F_{MH} = \frac{1.5H}{H_t} K_{MH} W_H = \frac{1.5H}{35000} \times 0.68 \times W_H = 2.91 \times 10^{-5} H W_H \text{ (kgf)}$$

$H \leq 4120 \text{ (mm)}$ のとき

$$F_{MH} = \frac{1}{\beta_3 \beta_s} K_{MH} W_H = \frac{1}{2.0 \times 2.832} \times 0.68 \times W_H = 0.12 W_H \text{ (kgf)}$$

(b) 設計修正鉛直地震力 F_{MV}

$$F_{MV} = K_{MV} W_V = 0.18 W_V$$

(6) スカートの生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \left\{ \frac{W_V + F_V}{(\pi D_m - Y)t} + \frac{4M}{(\pi D_m^2 - 2 D_m Y)t} \right\} \frac{1}{\cos \theta}$$

$$W_V = 163286 \text{ (kgf)}$$

$$F_V = F_{MV} = 0.18 \times 163286 = 29391 \text{ (kgf)}$$

$$D_m = 3518 \text{ (mm)}$$

$$Y = 1000 \text{ (mm)}$$

$$t = 18 \text{ (mm)}$$

$$\theta = 0$$

$$M = (2.91 \times 10^{-5}) \{ (35000)^2 (9769) + (31400)^2 (12310) + (27800)^2 (13120) + (24200)^2 (12945) + (20600)^2 (14060) + (17000)^2 (13880) + (13400)^2 (15005) + (9800)^2 (26925) + (6200)^2 (28576) \} + (0.12)(5001)^2 = 1.696 \times 10^9 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)}$$

$$\sigma_c = \left\{ \frac{163286 + 29391}{(\pi \times 3518 - 1000) 18} + \frac{4 \times 1.696 \times 10^9}{(\pi \times 3518^2 - 2 \times 3518 \times 1000) 18} \right\} = 12.9 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(7) アンカーボルトに生じる引張応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left(-W_V + F_V + \frac{4M}{D} \right)$$

$$N = 28$$

$$A = 5591 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$W_V = 163286 \text{ (kgf)}$$

$$F_V = F_{MV} = 29391 \text{ (kgf)}$$

$$M = 1.696 \times 10^9 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)}$$

$$D = 3762 \text{ (mm)}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{28 \times 5591} \left(-163286 + 29391 + \frac{4 \times 1.696 \times 10^9}{3762} \right) = 10.66 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(8) 耐震性の判定

(a) スカートの耐震性

$$\text{圧縮応力 } \sigma_c = 12.9 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\text{座屈検討用圧縮応力の許容限界 } f_c = \left\{ 1.2 S_y \cdot \frac{1.2 E t}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y} \right) D_m} \right\} \text{ のうち小}$$

なる方

$$1.2 S_y = 1.2 \times 24 = 28.8 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{1.2 \times 2.1 \times 10^4 \times 18}{\left(1 + 0.004 \times \frac{2.1 \times 10^4}{24} \right) 3518} = 28.65 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$f_c = 28.65 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_c = 12.9 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_c = 28.65 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(b) アンカーボルトの耐震性

$$\text{引張応力 } \sigma_t = 10.66 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\text{引張応力の許容限界 } f_t = 2 S_y \dots\dots\dots \text{SS41}$$

$$= 2 \times 22 = 44 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_t = 10.66 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_t = 44 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

表 3-12 塔類の耐震性判定結果

機 器 名 称	蒸 溜 塔 A	解析条件との一致	OK
内 容 物	炭 化 水 素	解 析 手 法	静的(修正)モード
貯 蔵 能 力 W	55.4 (tf)	設 計 静 的 水 平 震 度	
境 界 ま だ の 距 離 X	35 (m)	固 有 周 期	0.566~0.679(S)
重 要 度、重 要 度 係 数	I、 $\beta_1 = 0.8$	設 計 修 正 水 平 震 度	0.68
設 置 場 所、地 域 係 数	特 A、 $\beta_2 = 1.0$	設 計 修 正 鉛 直 震 度	0.18
地 盤 種 別、表 層 地 盤 増 巾 係 数	第 4 種、 $\beta_3 = 2.0$		
設 計 圧 力	3.5 (kgf/cm ²)		
設 計 温 度	150 (°C)		
(旧) 設 計 震 度			

支持方法	部 位	応力名称	記 号	発生応力 (kgf/mm ²)	応力の許容限界 (kgf/mm ²)	応力比	判 定
スカート支持	スカート	座屈圧縮	σ_c	12.9	28.65	0.45	OK
	(注) アンカーボルト	引 張	σ_t	10.66	44	0.242	OK
レ グ 支 持	レ グ	座屈圧縮	σ_c	/	/	/	/
		曲 げ	σ_b	/	/	/	/
		せん断	τ	/	/	/	/
		組 合 (圧、曲)	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	/	/	/	/
	組 合 (圧、曲、せ)	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$	/	/	/	/	
	アンカーボルト	引 張	σ_t	/	/	/	/
せん断		τ	/	/	/	/	
組 合 (引、せ)		$(\sigma_t + 1.6\tau) / 1.4$	/	/	/	/	
総 合 判 定				OK			

(注) ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

③ 修正震度法によるスカート支持塔B

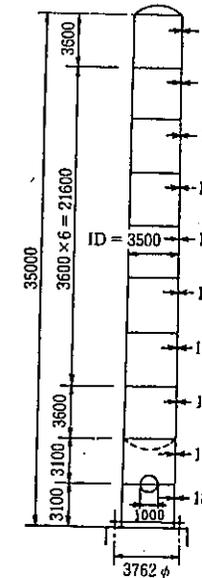
例題②に関し重量を高さ方向に均一と仮定した場合

表 3・11 塔類の耐震点検仕様書

機 器 名 称	蒸 溜 塔 B
内 容 物	炭 化 水 素
貯 蔵 能 力 W	55.4 (tf)

境界までの距離X	35 (m)	
重要度、重要度係数	I、 $\beta_1 = 0.8$	
設置場所、地域係数	特A、 $\beta_2 = 1.0$	
地盤種別、表層地盤増巾係数	第4種、 $\beta_3 = 2.0$	
設 計 圧 力	3.5 (kgf/cm ²)	
設 計 温 度	150 (°C)	
(旧) 設 計 震 度		
塔 類	高 さ Ht	35000 (mm)
	胴の平均直径	3515 (mm)
ス カ ー ト	本 体 重 量	107886 (kgf)
	最下部の平均直径	3518 (mm)
	板 厚	18 (mm)
レ グ	開口部の最大長さ	1000 (mm)
	材 質	SS 41
ア ン カ ー ボ ル ト	円すい形スカートの頂角の1/2	0 (度)
	サークル直径	3762 (mm)
	本 数	28
	材 質	SS 41
レ グ	呼 び 径	M90
	1本あたり有効断面積	5591 (mm ²)

構造概要及び運転重量分布

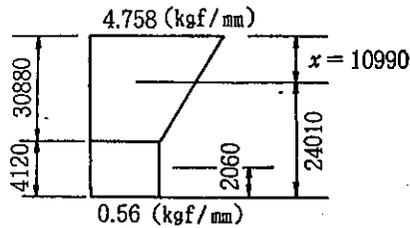


$\Sigma W = 163286$ (kgf)

レ グ 本 数	
レ グ の 断 面 形 状	
レ グ 断 面 積	(mm ²)
レ グ の 長 さ	(mm)
ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ	(mm)
レグの中心からなる円の径	(mm)
レグ1本あたりアンカーボルト本数	

(注) 1. 枠内は数値解析の必須データであり、必ず記入すること。

2. 塔における貯蔵能力とは設備内の液体及び気体の高圧ガス重量をいう。
 3. 本体重量にはスカート、レグ及びブレース等本体に固定されている附属品の重量を含める。
 4. 運転重量分布はできるだけ詳しく記入すること。
 5. スカート、レグの仕様については該当する場合に記入する。
 6. ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。
- (1) 重要度分類
 $\beta_1 = 0.80$
 - (2) 地表面における震度
 $K_H = 0.24$
 $K_V = 0.12$
 - (3) 応答倍率
 - (a) 水平方向応答倍率 $\beta_2 = 2.832$
 - (b) 鉛直方向応答倍率 $\beta_3 = 1.5$
 - (4) 設計震度
 - (a) 設計修正水平震度 $K_{MH} = 0.68$
 - (b) 設計修正鉛直震度 $K_{MV} = 0.18$
 - (5) 地震力
 - (a) 設計修正水平地震力 F_{MH}
 $H > 4120$ (mm) のとき $F_{MH} = 2.91 \times 10^{-5} HW_H$ (kgf)
 $H \leq 4120$ (mm) のとき $F_{MH} = 0.12 W_H$ (kgf)
 - (b) 設計修正鉛直地震力 $F_{MV} = 0.18 W_V$ (kgf)
 - (6) スカートに生じる圧縮応力
 モーメント M の計算



$$w = \frac{W}{H_c} = \frac{163286}{35000} = 4.665 \text{ (kgf/mm)}$$

$$\text{最上部の } F_{MH} = 1.5 K_{MH} w = 1.5 \times 0.68 \times 4.665 = 4.758 \text{ (kgf/mm)}$$

$$\text{最下部の } F_{MH} = \frac{1}{\beta_2 \beta_3} K_{MH} w = \frac{1}{2.0 \times 2.83} \times 0.68 \times 4.665 = 0.56 \text{ (kgf/mm)}$$

上部台形の重心位置

$$x = \frac{2}{3} \times \frac{0.56 + \frac{4.758}{2}}{4.758 + 0.56} \times 30880 = 10990 \text{ (mm)}$$

$$\text{下部矩形の水平地震力 } 0.56 \times 4120 = 2307 \text{ (kgf)}$$

$$\text{上部台形の水平地震力 } (4.758 + 0.56) \times 30880 \times \frac{1}{2} = 82110 \text{ (kgf)}$$

水平地震力による最下部に生じるモーメント

$$M = 2307 \times 2060 + 82110 \times 24010 = 1.9762 \times 10^9 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)}$$

スカートに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \left\{ \frac{163286 + 29391}{(\pi \times 3518 - 1000) \cdot 18} + \frac{4 \times 1.9762 \times 10^9}{(\pi \times 3518^2 - 2 \times 3518 \times 1000) \cdot 18} \right\} = 14.755 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(7) アンカーボルトに生じる引張応力

$$\sigma_t = \frac{1}{28 \times 5591} \left(-163286 + 29391 + \frac{4 \times 1.9762 \times 10^9}{3762} \right) = 12.567 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(8) 耐震性の判定

(a) スカートの耐震性

$$\sigma_c = 14.755 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_c = 28.65 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

(b) アンカーボルトの耐震性

$$\sigma_t = 12.567 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} < f_t = 44 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

表 3・12 塔類の耐震性判定結果

機 器 名 称	蒸 溜 塔 B	解 析 条 件 と の 一 致	OK				
内 容 物	炭 化 水 素	解 析 手 法	静的(修正)モード				
貯 蔵 能 力 W	55.4 (tf)	設 計 静 的 水 平 震 度					
境 界 ま で の 距 離 X	35 (m)	固 有 周 期	0.566~0.679(S)				
重 要 度、重 要 度 係 数	I、 $\beta_1 = 0.8$	設 計 修 正 水 平 震 度	0.68				
設 置 場 所、地 域 係 数	特 A、 $\beta_2 = 1.0$	設 計 修 正 鉛 直 震 度	0.18				
地 盤 種 別、表 層 地 盤 増 巾 係 数	第 4 種、 $\beta_3 = 2.0$						
設 計 圧 力	3.5 (kgf/cm ²)						
設 計 温 度	150 (°C)						
(旧) 設 計 震 度							
支 持 方 法	部 位	応 力 名 称	記 号	発 生 応 力 (kgf/mm ²)	応 力 の 許 容 界 限 (kgf/mm ²)	応 力 比	判 定
スカ	スカート	座 屈 圧 縮	σ_c	14.755	28.65	0.515	OK

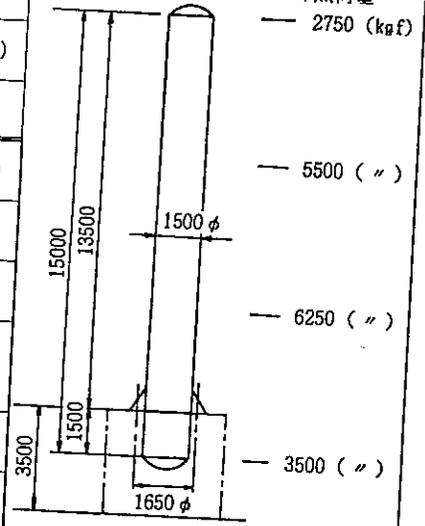
ト	支持	(注) アンカーボルト	引張	σ_t	12.567	44	0.286	OK
レ	グ	支	座屈圧縮	σ_c	/	/	/	/
			曲げ	σ_b	/	/	/	/
			せん断	τ	/	/	/	/
			組合(圧、曲)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	/	/	/	/
			組合(圧、曲、せ)	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$	/	/	/	/
			引張	σ_t	/	/	/	/
持	レ	グ	アンカーボルト	せん断	τ	/	/	/
			組合(引、せ)	$(\sigma_t + 1.6\tau)/1.4$	/	/	/	
			総合判定	OK				

(注) ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。
 ④ 静的震度法によるラグ支持塔

表 3・11 塔類の耐震点検仕様書

機 器 名 称	T-304
内 容 物	炭 化 水 素
貯 蔵 能 力 W	3 (tf)
境 界 ま だ の 距 離 X	200 (m)
重 要 度、重 要 度 係 数	III (コンビナート)、 $\beta_1=0.5$
設 置 場 所、地 域 係 数	特A、 $\beta_2=1.0$

地盤種別、表層地盤増巾係数		第3種、 $\beta_3=2.0$		構造概要及び運転重量分布	
設計圧力		20 (kgf/cm ²)		節点荷重	
設計温度		150 (°C)		— 2750 (kgf)	
(旧)設計震度		0.2		— 5500 (″)	
塔	高さ Ht	15000 (mm)		— 6250 (″)	
	胴の平均直径	1500 (mm)		— 3500 (″)	
	本体重量	15000 (kgf)			
ス	最下部の平均直径	(mm)			
	板 厚	(mm)			
	開口部の最大長さ	(mm)			
カ	材 質			レ	
	円すい形スカート の頂角の1/2	(度)		レ	
	サークル直径	1650 (mm)		レ	
ト	本 数	8		レ	
	材 質	SS 41		レ	
	呼び径	W1 1/2		レ	
ア	1本あたり有効断面積	494.4 (mm ²)		レ	
	レグ本数			レ	
	レグの断面形状			レ	
ン	レグ断面積	(mm ²)		レ	
	レグの長さ	(mm)		レ	
	ベースプレート下面から塔類の重心までの高さ	(mm)		レ	
カ	レグの中心からなる円の径	(mm)		レ	
	レグ1本あたりアンカーボルト本数			レ	
	レグの中心からなる円の径	(mm)		レ	



- (注) 1. □ 枠部は数値解析の必須データであり、必ず記入すること。
 2. 塔における貯蔵能力とは設備内の液体及び気体の高圧ガス重量をいう。
 3. 本体重量にはスカート、レグ及びステー等本体に固定されている附属品の重量を含める。

4. 運転重量分布はできるだけ詳しく記入すること。
5. スカート、レグの仕様については該当する場合に記入する。
6. ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

(1) 重量度分類

貯蔵能力 $W = 3$ (tf)
 境界までの距離 $X = 200$ (m)
 コンビナート地域

(表 3・4)より重要度はⅢ、(表 3・2)より重要度係数 $\beta_1 = 0.5$

(2) 地表面における震度

水平震度 $K_H = 0.150 \beta_1 \beta_2 \beta_3$
 $= 0.150 \times 0.5 \times 1.0 \times 2.0 = 0.15$

鉛直震度は重要度Ⅲのため省略

(3) 静的震度法適用の可否

重要度Ⅲ、かつ、 $Ht < 20$ (m) であり静的震度法の適用可

(4) 水平方向応答倍率 β_4

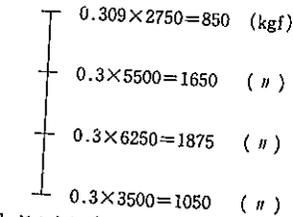
16 (m) 以下は 2.0
 最上部の節点は 16 (m) を超えるので
 $\beta_4 = 1.04 + 0.06H$
 $= 1.04 + 0.06 \times 17 = 2.06$

(5) 設計静的水平震度

$K_{SH} = \beta_4 K_H$
 最上部節点に対し $K_{SH} = 2.06 \times 0.15 = 0.309$
 その他の節点に対し $n = 2.0 \times 0.15 = 0.3$

(6) 設計静的水平地震力

$F_{SH} = K_{SH} W_H$
 地震力分布



(7) セットボルトに生じる引張応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left(-W + F_v + \frac{4M}{D} \right)$$

$N = 8$
 $A = 494.4$ (mm²)
 $W = 15000 + 3000 = 18000$ (kgf)
 $F_v = 0$

M セットボルト部に生じるモーメントの和
 ここではラグ上、下のモーメントを絶対値として合算した。
 $= (850)(13500) + (1650)(8500) + (1875)(3500) + (1050)(1500)$

$$= 3.364 \times 10^7 \text{ (kgf} \cdot \text{mm)}$$

$$D = 1650 \text{ (mm)}$$

$$\sigma_t = \frac{1}{8 \times 494.4} \left(-18000 + \frac{4 \times 3.364 \times 10^7}{1650} \right) = 16.07 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

(8) 耐震性の判定

引張応力 $\sigma_t = 16.07$ (kgf/mm²)

引張応力の許容限界 $f_t = S_u = 41$ (kgf/mm²)

$\sigma_t = 16.07$ (kgf/mm²) < $f_t = 41$ (kgf/mm²)

.....OK

表 3・12 塔類の耐震性判定結果

機 器 名 称	T-304	解析条件との一致	OK
内 容 物	炭 化 水 素	解 析 手 法	静的修正、モード
貯 蔵 能 力 W	3 (tf)	設計静的水平震度	0.3 (16m以下の部位)
境界までの距離 X	200 (m)	固 有 周 期	(s)
重要度、重要度係数	Ⅲ(コンビナート)、 $\beta_1 = 0.5$	設計修正水平震度	
設置場所、地域係数	特A、 $\beta_2 = 1$	設計修正鉛直震度	
地盤種別、表層地盤増巾係数	第3種、 $\beta_3 = 2$		
設 計 圧 力	20 (kgf/cm ²)		
設 計 温 度	150 (°C)		
(旧)設 計 震 度	0.2		

支持方法	部 位	応力名称	記 号	発生応力 (kgf/mm ²)	応力の許容限界 (kgf/mm ²)	応力比	判 定
スカー ト支持	スカー	座屈圧縮	σ_c				
	(注) アンカー ボルト	引 張	σ_t	16.07	41	0.392	OK
レ		座屈圧縮	σ_c				
		曲 げ	σ_b				

グ 支 持	レ グ	せん断	τ				
		組 合 (圧、曲)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$				
	アンカー ボルト	組 合 (圧、曲、せ)	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$				
		引 張	σ_t				
		せん断	τ				
	組 合 (引、せ)	$(\sigma_t + 1.6\tau) / 1.4$					
総 合 判 定				OK			

(注) ラグ支持の塔類についてはアンカーボルトをセットボルトと読みかえる。

参 考 資 料

1 ギリシャ文字

A	α	アルファ	P	ρ	ロー
B	β	ベータ	Σ	σ	シグマ
Γ	γ	ガンマ	T	τ	タウ
Δ	δ	デルタ	Υ	υ	ウプシロン
E	ϵ	イプシロン	Φ	ϕ	ファイ
Z	ζ	ゼータ	X	χ	カイ
H	η	イータ	Ψ	ψ	プシー
Θ	θ	シータ	Ω	ω	オメガ
I	i	イオーター			
K	k	カッパー			
Λ	λ	ラムダー			
M	μ	ミュー			
N	ν	ニュー			
Ξ	ξ	クサイ			
O	o	オミクロン			
Π	π	パイ			

2 ボルトの有効断面積

メートル並目ねじ		ウィット並目ねじ		ユニファイ並目ねじ	
ねじの呼び	有効断面積mm ²	ねじの呼び	有効断面積mm ²	ねじの呼び	有効断面積mm ²
M12	84.3	W 1/2	89.4	1/2-11UNC	147.6
M14	115	W 3/8	146.5	3/8-10UNC	218.2
M16	157	W 1/2	216.7	1/2-9UNC	301.0
M18	192	W 3/4	299.1	1-8UNC	394.8
M20	245	W 1	392.4	1 1/2-7UNC	497.6
M22	303	W 1 1/8	494.4	1 1/4-7UNC	631.1
M24	353	W 1 1/4	627.5	1 3/8-6UNC	752.5
M27	459	W 1 1/2	909.8	1 1/2-6UNC	914.8
M30	561	W 1 3/4	1229.9	1 3/4-5UNC	1236.9
M33	694	W 2	1617.4	2-4 1/2UNC	1626.3
M36	817	W 2 1/4	2047.1	2 1/4-4 1/2UNC	2111.8
M39	976	W 2 1/2	2588.0	2 1/2-4 UNC	2600.8
M42	1121	W 2 3/4	3105.6	2 3/4-4 UNC	3206.2
M45	1306	W 3	3764.5	3-4 UNC	3875.2
M48	1473	W 3 1/2	5203.5	3 1/4-4 UNC	4607.5
M52	1758	W 4	6862.0	3 1/2-4 UNC	5403.1
M56	2030			3 3/4-4 UNC	6262.1
M60	2362			4-4 UNC	7184.4
M64	2676				
M68	3055				
M72	3460				
M76	3889				
M80	4344				
M90	5591				
M100	6995				

有効断面積の計算式

$$\text{メートル並目ねじ } A_B = \frac{\pi}{4} (d - 0.938P)^2$$

$$\text{ウィット並目ねじ } A_B = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$$

$$\text{ユニファイ並目ねじ } A_B = \frac{\pi}{4} \left(d - 0.938 \frac{25.4}{n} \right)^2$$

- d おねじの外径
- P ピッチ
- d₁ おねじの谷の径
- d₂ 有効径

n 山の数
(25.4mmにつき)

3 材料の引張強さ S_U 、降伏点 S_Y

板厚区分 I $T \leq 16$

II $16 < T \leq 40$

III $40 < T$

SS材の棒に対しては板厚を外径と読みかえる。

材 質 名	板厚区分	S_U (kgf/mm ²)	S_Y (kgf/mm ²)	S_Y / S_U	備 考
	I		21	0.62	J I S G 3101
S S 34	II	34	20	0.59	
	III		18	0.53	
S S 41	I	41	25	0.61	
	II		24	0.59	
	III		22	0.54	
S S 50	I	50	29	0.58	
	II		28	0.56	
	III		26	0.52	
S S 55	I	55	41	0.75	
	II		40	0.73	
	III		—		
S B 42		42	23	0.55	J I S G 3103
S B 46		46	25	0.54	
S B 49		49	27	0.59	
S B 46M		46	26	0.57	

S B 49M		49	28	0.57	J I S G 3106
S M 41A、B、C	I	41	25	0.61	
	II		24	0.59	
	III		22	0.54	
S M 50A、B、C	I	50	33	0.66	
	II		32	0.64	
	III		30	0.6	
S M 50YA、B、C	I	50	37	0.74	
	II		36	0.72	
	III		34	0.68	
S M 53A、B、C	I	53	37	0.70	
	II		36	0.68	
	III		34	0.64	
S M 58A、B、C	I	58	47	0.81	
	II		46	0.79	
	III		44	0.76	
S R 24		39	24	0.62	J I S G 3112
S R 30		49	30	0.61	
S D 24		39	24	0.62	
S D 30		49	30	0.61	
S D 35		50	35	0.70	

SD40		57	40	0.70	JISG3115
SD50		63	50	0.79	
SPV24	$T \leq 40$	41	24	0.59	
	$T > 40$		22	0.54	
SPV32	$T \leq 40$	50	32	0.64	
	$T > 40$		30	0.60	
SPV36	$T \leq 40$	53	36	0.68	
	$T > 40$		34	0.64	
SPV46	$T \leq 40$	58	46	0.79	
	$T > 40$		44	0.76	
SPV50	$T \leq 40$	62	50	0.81	
	$T > 40$		—	—	
HW36		53	36	0.84	WES— 3001—1970
HW40		57	40	0.70	
HW45		60	45	0.75	
HW50		62	50	0.81	
HW56		68	56	0.82	
HW63		72	63	0.88	
HW70		80	70	0.88	
HW80		80	80	1	
HW90		97	90	0.93	

WES LT33		45	33	0.73	Suはメーカー カタログ による
" LT37		50	37	0.74	
" LT50		62	50	0.81	
" LT70		80	70	0.88	

鋼 管

SGP		30	—	—	JISG3452
STK30		30	—	—	JISG3444
STK41		41	24	0.59	
STK51		51	36	0.71	
STK50		50	32	0.64	
STK55		55	40	0.73	

4 地域及び地盤種別による塔類の応答倍率図

図(a-1) 特A及びVA地区(第1種地盤)

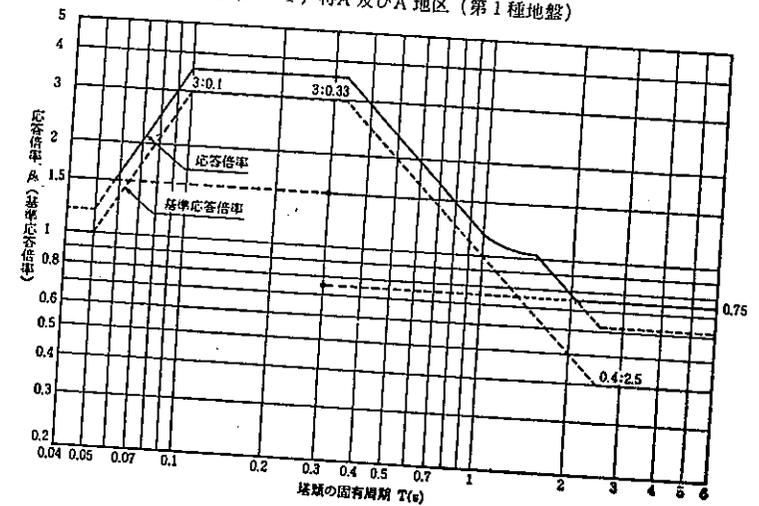


図 (a-2) 特A及びA地区 (第2種地盤)

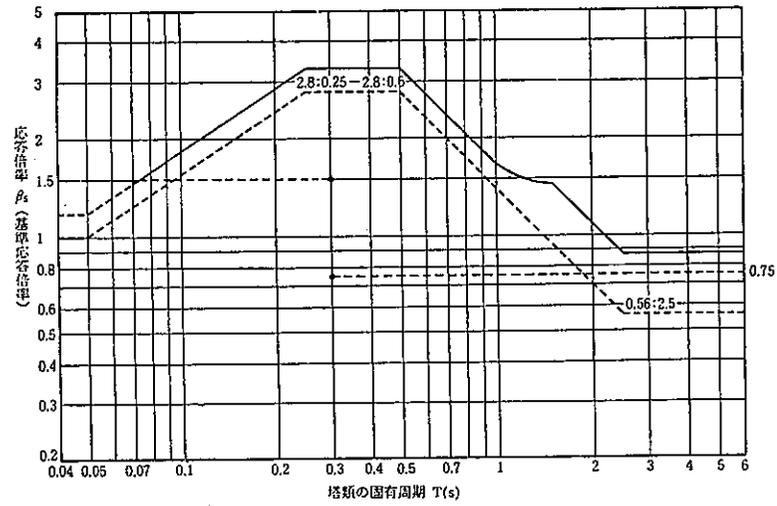


図 (a-3) 特A及びA地区 (第3種地盤)

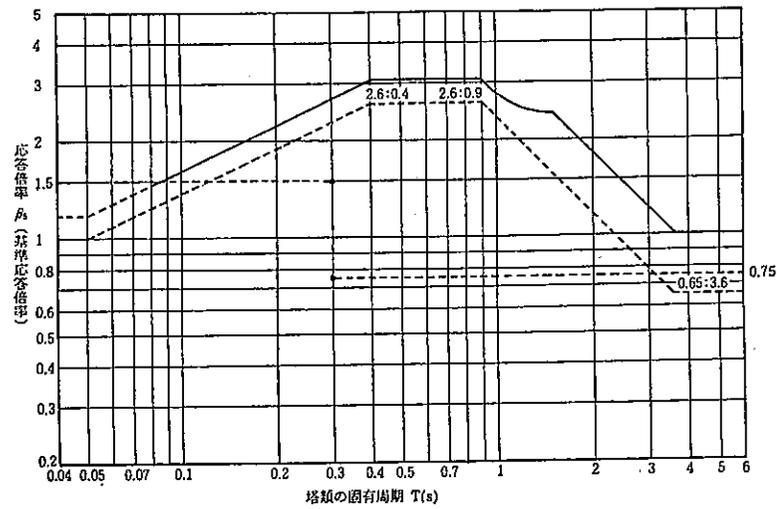


図 (a-4) 特A及びA地区 (第4種地盤)

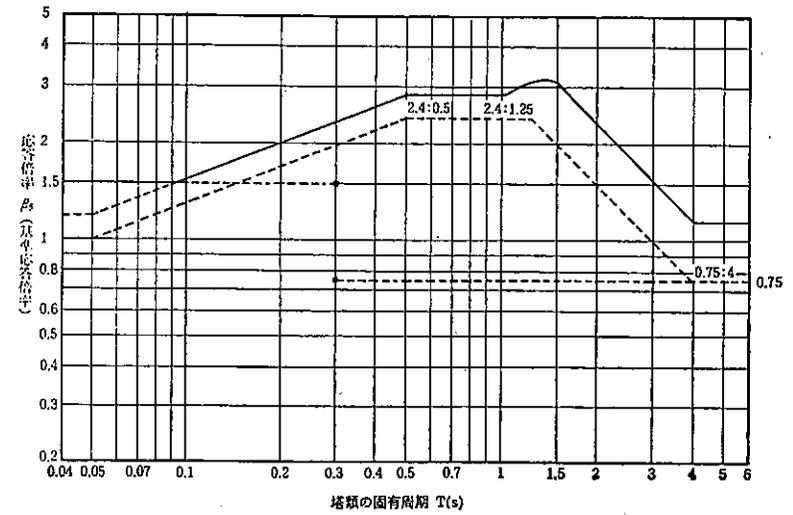


図 (b-1) B及びC地区 (第1種地盤)

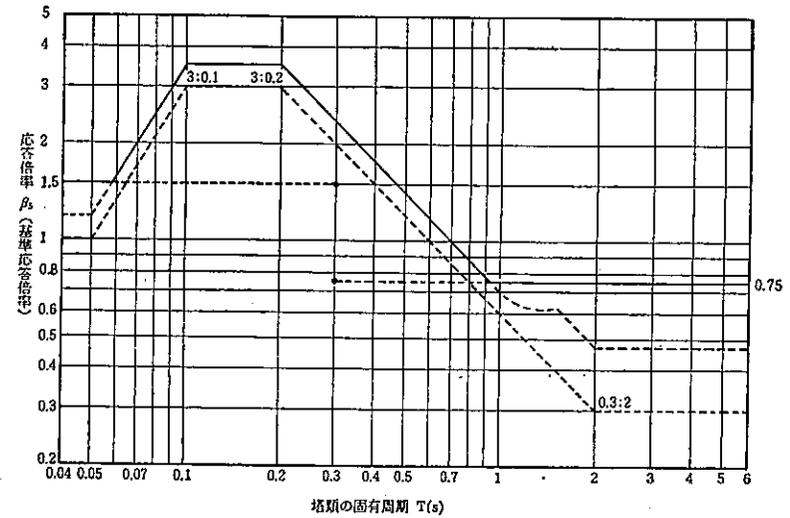


図 (b-2) B及びC地区 (第2種地盤)

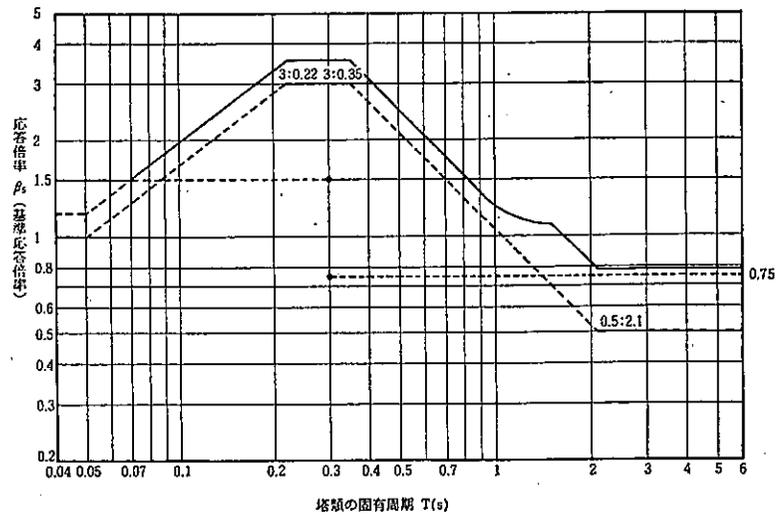


図 (b-3) B及びC地区 (第3種地盤)

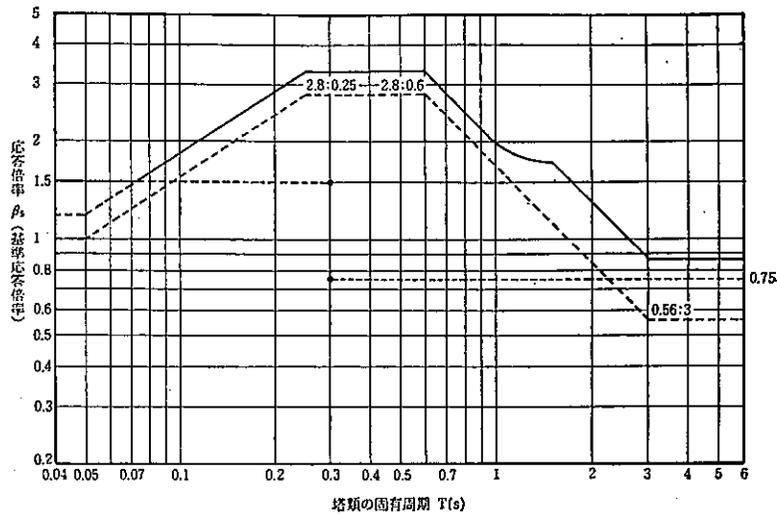
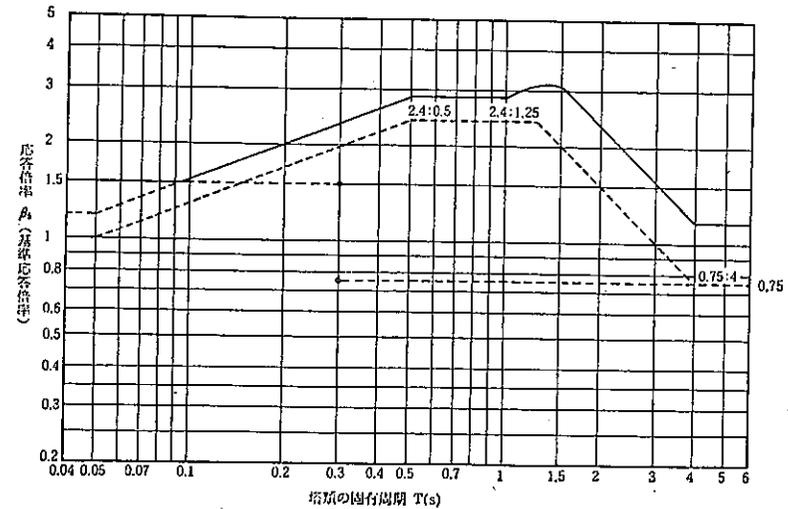


図 (b-4) B及びC地区 (第4種地盤)



第II編 耐震性向上対策指針

目 次

- 1 目的
- 2 基本的な考え方
 - 2・1 目視点検結果に基づく改善措置について
 - 2・2 数値解析結果に基づく耐震性向上対策について
- 3 目視点検結果に基づく改善措置
- 4 数値解析結果に基づく耐震性向上対策
 - 4・1 耐震性向上対策を実施するに当たつての留意事項
 - 4・2 各種の耐震性向上対策

第II編 耐震性向上対策指針

1 目的

この指針は第I編の点検要領による点検結果に基づき、耐震性の向上対策を実施する場合の基本的な方法を示し、既存高圧ガス設備の耐震性向上対策に資することを目的とする。

2 基本的な考え方

2・1 目視点検結果に基づく改善措置について

点検要領の目視点検において不具合の認められたものは、何らかの対策をとる必要があるが、ここでは日常の保守管理で比較的容易に改善できる定性的な内容を提示することとする。

2・2 数値解析結果に基づく耐震性向上対策について

第I編に示す数値解析は、塔類の支持構造部に着目し、設備の破壊モードに対応した検討部位を定め、耐震性の点検を実施している。

第II編において示す耐震性向上対策は第I編の点検思想を踏襲した上で、

- ① 地震力の軽減
- ② 他の部位で地震力をうけもつことによる検討部位の発生応力軽減
- ③ 検討部位の補強

により耐震性を向上する方法を示すこととする。

耐震性の向上対策には種々の方法があり、これらの中からどのような方法を採用するかは、設備の設置条件、耐震性向上の効果、操業面への影響、経済性等を総合的に勘案し、判断する必要がある。

①については軽減した地震力に対して②及び③については第I編に示す地震力に対し、対策後の設備が健全であることを定量的に評価しなければならない。

3 目視点検結果に基づく改善措置

点検要領による点検結果、不具合の認められたものについての改善措置を以下に例示する。この例示は点検項目ごとに比較的容易に実施できると思われる一般的な改善策を示したものである。

実施に当たっては耐震性向上の効果、日常の運転管理面よりみた安全性、工事期間中の安全等を総合的に検討した上で実施されることを期待する。

3・1 コンクリートの亀裂について

- (1) 基礎及び架台のコンクリートにひび割れ等がある場合で、ひび割れの程度が比較的軽微なものは、樹脂の注入等により補修する。
- (2) 耐火被覆にひび割れ等がある場合で、ひび割れの程度が比較的軽微なものは、モルタル等で補修する。

3・2 腐食について

- (1) ボルトで有効なねじ山があるものについては、錆落しを行い、防錆処置を行う。
- (2) 支持構造物で支持強度に影響を与えない程度の腐食については(1)と同様の処置を行う。
- (3) 比較的容易に取りはずせるナット及びセットボルトは新品ととりかえる。

3・3 損傷、変形について

支持構造物の損傷、変形部は修復する。この場合、当初の設計強度を下廻らないような施工をする。

3・4 ゆるみについて

ボルトが傾いていてナットがベースプレート等に密着していないものは、テーパ付の座金を入れる等、ナットがベースプレート等に密着すると同等の効果をうるようにする。

3・5 附属配管等について

- (1) 塔類下部に取りつけられる緊急しや断弁、元弁等で地盤側から支持するものは、地震動による変位に対して弁と支持台間に逃げをとるか、又は本体と弁との間に可とう性を付与するのが望ましい。
- (2) 本体ノズル部は接続した配管からの外力に対して、配管の可とう性を考慮したうえで、十分な強度を有するよう配慮することが望ましい。
(注) 目視点検で配管の可とう性が不都合となった場合は、塔類のノズル部強度を検討したうえで、必要に応じ対策を実施することが望ましい。

3・6 附属品、附属機器について

- (1) 附属品は塔類本体と強固なステー等で支持するか、本体に剛接されたブラットホーム等に固定することが望ましい。
- (2) 附属機器は
 - ① 塔類本体と強固なステー等で支持する。
 - ② 本体に剛接されたブラットホーム等に固定する。
 - ③ 附属機器が独立した架構に支持されているもので塔類との接続配管が短いものについては、塔類の変位に附属機器が追随できるよう、附属機器とその支持架構間に摺動性を付与することが望ましい。

4 数値解析結果に基づく耐震性向上対策

4・1 耐震性向上対策を実施するにあつての留意事項

本指針でのべる各種の耐震性向上対策の実施に当たっては、関連法規を遵守するとともに、下記事項に十分留意することが肝要である。

- (1) 基礎地盤等で安定している状態はできるだけ乱さない。
- (2) 耐圧部には、できる限り再加工しないようにする。
- (3) 構造上の不連続や応力集中をできるだけ避ける。
- (4) 装置全体としての調和を図る。
- (5) 既設の構造体と新設の構造体とは一体として働くように配慮する。
- (6) できるだけ弾塑性変形によるエネルギー吸収が期待できる方法を採用する。

第(6)項は地震エネルギーが支持構造物の適切な弾塑性変形を許すことにより、その相当量のエネルギー吸収が期待できるとの昭和56年度に実施した鋼製塔の耐震実験結果を勘案したものである。

4・2 各種の耐震性向上対策

耐震性向上対策の考え方を以下に示す。

(1) 地震力の軽減

地震力を軽減すれば検討部位の発生応力が低下し、応力の許容限界以下にすることができる。地震力の軽減には次のような方法がある。

① 貯蔵液量の低減

地震力は重量に比例するので貯蔵液量を低減すれば地震力が低下する。液位の低下については常時液位を低減させる設備面の措置を講ずる必要がある。

② 地震応答の軽減

オイルダンパー、粘弾性ダンパー等を設けることにより地震力を軽減することができる。

(2) 他の部位で地震力をうけもつことによる検討部位の発生応力軽減

塔類の耐震性検討部位としては、スカート(レグ)及びアンカーボルトであるが、当該部の直接補強でなく、塔類に作用する地震力を他の部位で分担することにより、スカート(レグ)、アンカーボルトに生じる応力を減らすことができる。

その方法としては次のようなものが考えられる。

① サポートによる補強

② 架構による補強

③ ワイヤロープによる補強等

(3) 検討部位の補強

要検討となった部位の断面積の増加等を行い、発生応力を許容限界以下にすることができる。補強により塔類の剛性が変る場合には応答計算にさかのぼり耐震性の検討を行う必要がある。