

# KHKS



## 高圧ガス設備等の耐震設計に 関する基準（レベル 2）

KHKS 0862(20xx)

令和 xx 年 xx 月 xx 日 改正

高圧ガス保安協会

20xx

高圧ガス保安協会 耐震設計規格委員会 構成表

	氏 名	所 属
(委員長)	盛川 仁	東京科学大学
(副委員長)	古屋 治	東京電機大学
(委員)	市川 泰司	大陽日酸株式会社
	市川 雄策	千代田化工建設株式会社
	糸井 達哉	東京大学
	因幡 和晃	東京科学大学
	上野 高志	東洋エンジニアリング株式会社
	大江 知也	トーヨーカネツ株式会社
	郭 栄治	東京ガス株式会社
	(前任：岡田 季樹	東京ガス株式会社)
	片岡 俊二	日揮グローバル株式会社
	上林 稔	ジクシス株式会社
	(前任：内藤 誠也	ジクシス株式会社)
	清藤 勝久	三菱ケミカル株式会社
	坂井 公俊	公益財団法人鉄道総合技術研究所
	田附 英幸	株式会社 IHI プラント
	中条 孝之	三重県
	(前任：森村 高幸	三重県)
	中山 美智枝	神奈川県
	萩原 協仁	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
	藤田 豊	清水建設株式会社
	堀野 聡	川崎重工業株式会社
	渡辺 和明	大成建設株式会社
	渡邊 鉄也	埼玉大学

## 目次

1 適用範囲.....	1
2 用語の定義.....	1
3 保有すべき耐震性能.....	7
4 耐震性能の評価.....	10
4.1 耐震設計設備に係るレベル 2 耐震性能の評価 .....	10
4.2 配管系に係るレベル 2 耐震性能の評価 .....	10
4.3 基礎に係るレベル 2 耐震性能の評価 .....	11
5 設計用の地震動.....	13
5.1 サイトスペシフィック地震動 .....	13
5.2 地域別地震動.....	14
附属書 A（参考）修正震度算出法 .....	21
附属書 B（参考）応答解析法 .....	24
附属書 C（参考）耐震設計設備の耐震性能評価法 .....	29
附属書 D（参考）配管系の耐震性能評価法 .....	88
附属書 E（参考）基礎の耐震性能評価法.....	93
附属書 F（参考）サイトスペシフィック地震動の算出法 .....	99
附属書 G（参考）免震及び制振構造等設計法 .....	103

## 1 適用範囲

本高圧ガス設備等の耐震設計に関する基準（レベル2）は、高圧ガス設備等の耐震性能を定める告示（平成30年経済産業省告示第220号。以下、「耐震告示」という。）に定めるレベル2地震動に対する耐震性能についての技術的要件を満たすべき技術的内容を可能な限り具体的に示すものである。

## 2 用語の定義

この基準で用いる用語の定義は、次による。

### (1) 塔

冷凍保安規則（昭和41年通商産業省令第51号）第7条第1項第5号に規定する凝縮器又は一般高圧ガス保安規則（昭和41年通商産業省令第53号）第6条第1項第17号若しくはコンビナート等保安規則（昭和61年通商産業省令第88号）第5条第1項第24号に規定する塔。

### (2) 貯槽

冷凍保安規則第7条第1項第5号に規定する受液器又は液化石油ガス保安規則（昭和41年通商産業省令第52号）第6条第1項第20号、一般高圧ガス保安規則第6条第1項第17号、コンビナート等保安規則第5条第1項第24号若しくは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施行規則（平成9年通商産業省令第11号）第53条第2号キ及び第54条第2号チ(6)に規定する貯槽。

### (3) 塔槽類

塔及び貯槽。

### (4) 塔類

塔及びたて置円筒形貯槽。

### (5) 耐震設計設備

塔槽類及びその支持構造物。

### (6) 配管

冷凍保安規則第7条第1項第5号、液化石油ガス保安規則第6条第1項第20号、一般高圧ガス保安規則第6条第1項第17号若しくはコンビナート等保安規則第5条第1項第24号に定める配管又は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施行規則第53条第2号キ若しくは第54条第2号チ(6)に規定する受入管若しくは供給管。

### (7) 配管系

配管及びその支持構造物。

### (8) 毒性ガス

冷凍保安規則第2条第2号、一般高圧ガス保安規則第2条第2号及びコンビナート等保安規則第2条第2号に規定する毒性ガス。

### (9) 第1種毒性ガス

塩素、シアン化水素、二酸化窒素、フッ素及びホスゲン。

### (10) 第2種毒性ガス

塩化水素、三フッ化ホウ素、亜硫酸ガス、フッ化水素、ブロムメチル及び硫化水素。

### (11) 第3種毒性ガス

毒性ガスであって、(9)及び(10)に掲げるガス以外のもの。

## (12) 可燃性ガス

冷凍保安規則第2条第1号、一般高圧ガス保安規則第2条第1号及びコンビナート等保安規則第2条第1号に規定する可燃性ガス（第1種毒性ガス、第2種毒性ガス及び第3種毒性ガスを除く。）並びに液化石油ガス保安規則第1条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（昭和42年法律第149号）第2条第1項に規定する液化石油ガス。

## (13) 耐震設計構造物

耐震設計設備、配管系及びそれらの基礎。

## (14) 地震防災設備

地震時及び地震後の地震災害の発生並びに拡大を防止するための設備であって、次のいずれかの性能を有するもの。

①地震時に高圧ガス設備等の運転の停止、原材料の供給の遮断等を行い、当該高圧ガス設備内の高圧ガスの状態が危険側へ推移することを防止する。

②関連する耐震設計構造物が耐震性能を喪失した場合に、地震による被害の発生及び拡大の防止を図る。

## (15) 地震防災遮断弁

地震時及び地震後の地震災害の発生並びに拡大を防止するための設備のうち地震に際して遮断機能を有する弁をいう。

ここでいう地震に際して遮断機能を有する弁とは、緊急遮断装置に係る遮断弁、調整弁その他の地震の際速やかに遮断が可能な弁をいう。（液化石油ガス保安規則第6条第1項第25号、一般高圧ガス保安規則第6条第1項第24号、コンビナート等保安規則第5条第1項第43号で規定するバルブのうち、貯槽直近に設けたバルブはこれに該当しない。）

なお、液化石油ガス保安規則若しくは一般高圧ガス保安規則適用事業所において、可燃性ガス、第1種毒性ガス、第2種毒性ガス、第3種毒性ガス又は酸素の液化ガスの貯槽に取り付けられた配管（当該液化ガスの受入れのみに用いられるものに限る。）の元弁の直近に接続される逆止弁若しくは設備の通常の運転時（設備本来の運転状態をいうものであり、試験運転時等その期間が短時間に限られるものはこれに含まれない。）に常に閉止状態にある弁であって、地震時における遮断効果があるものについては地震防災遮断弁とみなす。コンビナート等保安規則適用事業所において、設備の通常の運転時（設備本来の運転状態をいうものであり、試験運転時等その期間が短時間に限られるものはこれに含まれない。）に常に閉止状態にある弁であって、地震時における遮断効果があるものについては地震防災遮断弁とみなす。

## (16) 運転重量

通常の運転状態における耐震設計設備又は配管系の自重（積雪地においては積雪荷重を含む。）と内容物の重量との和。

ここでいう「通常の運転状態」とは、設備の本来の運転状態をいうものであり、試験運転時等その期間が短時間に限られるものはこれに含まれない。

また、耐震設計設備の設計水平地震力を算定する場合の耐震設計設備の自重は、球形貯槽にあっては球殻部自重、附属品自重、支持構造物自重の1/2及び支柱の耐火被覆自重の1/2の合計、二重殻平底円筒形貯槽にあっては内槽側板自重、内槽屋根自重、屋根部保冷材自重及び側部保冷材自重の1/2の合計とする。ただし、二重殻平底円筒形貯槽の側部保冷材が内槽側板に直接接しない構造のものにあっては、側部保冷材自重は耐震設計設備の自重に含めない。

また、配管系の設計水平地震力を算定する場合の配管系の自重は、管自重（フランジ継手の自重を含む。）、保冷材自重及びその他配管附属品自重（弁、伸縮継手等の自重を含む。）の合計とする。

また、「積雪荷重」とは、積雪の単位重量（積雪量 10mm ごとに  $1\text{m}^2$  につき 20N 以上とする。）に当該耐震設計設備又は配管系が設置される地域における垂直最深積雪量を乗じたもの。ただし、当該耐震設計設備又は配管系が雪が積もらない形状になっている場合及び有効な除雪又は融雪装置がある場合はその程度に応じて積雪量を減ずること。

#### (17) レベル 2 地震動

耐震設計構造物の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの。

#### (18) 耐震性能

耐震設計構造物及び地震防災設備の地震の影響に対する性能。

#### (19) 設計用の地震動

耐震設計構造物に対する地震の影響を評価するための地震動。

#### (20) 設計用入力地震動

耐震設計構造物の震度又は加速度に対する耐震性能を評価するための設計用の地震動。

#### (21) 液面揺動の設計用入力地震動

平底円筒形貯槽に係る耐震設計構造物の液面揺動に対する耐震性能を評価するための設計用の地震動。

#### (22) 地盤の液状化

地震動による間げき水圧の急激な上昇により、飽和した砂質土層がせん断強度を失い土の構造に破壊が生じること。

#### (23) 地盤変状

地盤の液状化及び流動化であって、耐震設計構造物の地盤の液状化に対する耐震性能を評価するための地盤の移動及び土質定数の低下。

#### (24) 重要度分類

耐震設計構造物を保安上の重要性にかんがみ、重要度の高いものから順に Ia、I、II 及び III に分類するものであって、重要度を考慮して耐震性能評価を行う耐震設計構造物の損傷等が、事業所内外に与えるおそれのある損害の程度に応じて分類される以下を総称したもの。

Ia : その損傷又は機能喪失が、事業所外の公衆、公共財産又は環境に大きな損害を与えるおそれのあるもの。

I : その損傷又は機能喪失が、事業所外の公衆、公共財産又は環境に多少の損害を与えるおそれのあるもの。

II : その損傷又は機能喪失が、事業所内の人、財産又は環境に大きな損害を与えるおそれのあるもの。

III : その損傷又は機能喪失が、事業所内の人、財産又は環境に多少の損害を与えるおそれのあるもの。

#### (25) レベル 2 耐震性能

レベル 2 地震動並びに当該地震動に係る地盤の液状化及び流動化に対して、重要度 Ia 及び I の耐震設計構造物の気密性が保持される。

#### (26) 応答解析

設計用入力地震動が耐震設計構造物に及ぼす影響を明らかにするための解析。



## (27) 応答解析モデル

応答解析を行うにあたり想定する力学的振動モデルで、応答解析モデルは構造部材間の節点における力、変位の釣り合い式から作成可能である。

## (28) 修正震度法

耐震設計設備の 1 次の固有周期のみを考慮した近似的な応答解析手法である。

## (29) モード解析法

動的設計の一手法であり、耐震設計設備の振動特性を振動形態の重ね合わせで表現する応答解析手法である。

## (30) 時刻歴応答解析法

動的設計の一手法であり、耐震設計設備又は耐震設計構造物及び地盤を質点系や有限要素等でモデル化した上で、地表面又は基盤面に時間とともに変化する地震動（加速度等）を与え、耐震設計設備の応答加速度、速度、変位を計算する手法である。

## (31) 応答変位法

地震時の地盤変位を、耐震設計設備に作用させて応答解析を行う手法である。

## (32) 降伏

当該損傷モードに係る部材又は耐震設計構造物の荷重変位曲線図において荷重及び変位の関係が概ね線形性を保持する限界の状態。

## (33) 降伏変位

当該損傷モードに係る損傷部材又は耐震設計構造物の降伏時の変位。

## (34) 降伏耐力

当該損傷モードに係る損傷部材又は耐震設計構造物の降伏時の荷重をいう。

## (35) 降伏震度

当該損傷モードに係る部材の降伏時の設計水平震度。

## (36) 保有耐力

降伏震度に当該耐震設計構造物の自重を乗じた値で、降伏耐力と同値。

## (37) 必要保有耐力

許容可能な保有耐力の下限の値で、設計用入力地震動に際して応答塑性率が許容塑性率と等しくなる時に対応する保有耐力。

## (38) 塑性変位

地震時の変位履歴下において耐震設計構造物又はその部材に生じる正方向又は負方向の最大変位の絶対値から降伏変位を差し引いた値で、負の値となる場合は 0 とする。

## (39) 損傷

耐震設計構造物の部材に地震時に降伏変位以上の変位が生じ、当該耐震設計構造物の高圧ガスの気密性が保持できなくなる原因となる時、当該部材の損傷という。

## (40) 損傷モード

耐震設計構造物の損傷の形態。

## (41) 塑性率

塑性変位を降伏変位で除した値。正方向の塑性率  $\mu_{p+}$  と、負方向の塑性率  $\mu_{p-}$  を区別する場合がある。

## (42) 応答塑性率

設計用の地震動に際して耐震上重要な部材に係る塑性率。

## (43) 許容塑性率

当該損傷モードに関してレベル2耐震性能を阻害しない限界の塑性率。

## (44) エネルギー一定則

一つの地震により構造物に入力される総エネルギーは、構造物の総質量及び1次固有周期に依存し、構造物の降伏耐力、質量分布及び剛性分布に係わらない量である。

## (45) 塑性率評価法

応答塑性率が許容塑性率以下であることを設計基準とする耐震性能評価法のひとつ。

## (46) 保有耐力評価法

保有耐力が必要保有耐力以上であることを設計基準とする耐震性能評価法のひとつ。

## (47) 代替評価法

設計用入力地震動に係るレベル2耐震性能の評価を、設計用の地震動をレベル2地震動に0.5を乗じた値として、通常の運転状態における設計用入力地震動に関する応答解析を行い、耐震上重要な部材に生じる応力等が部材に応じて定められた許容応力等を超えないことを確認する耐震性能評価法のひとつ。

## (48) 配管支持構造体

配管を支持あるいは配管に接続する構造体で、耐震設計設備（塔槽類及び支持構造物）及び耐震設計設備と類似の構造体。

## (49) サポート

配管と配管支持構造体との連結部構造。

## (50) 配管支持構造物

配管支持構造体及びサポートをいう。

## (51) 配管系

配管及びその配管支持構造物。

## (52) 配管支持点

サポートの配管側の取り付け点における管径の中心位置。

## (53) 相対変位

配管支持点間の相対移動量。

## (54) 変位吸収能力

配管支持点間の配管に関して許容しうる相対変位。

## (55) 護岸

当該耐震設計構造物近傍の水際線。

## (56) 杭基礎

杭のある基礎。

## (57) 直接基礎

杭のない基礎。

## (58) 地盤の流動化

地盤の液状化に伴う地盤の水平移動及び沈下。



(59) 地盤変状対策

地盤の液状化及び流動化の影響を防止又は削減するための方策。

パブリックコメント用  
2025.12.17 Draft

### 3 保有すべき耐震性能

耐震設計構造物が保有すべき耐震性能は、レベル2地震動並びに当該地震動に係る地盤の液状化及び流動化に対して、重要度Ia及びIの耐震設計構造物の気密性が保持されとす<sup>り</sup>(以下「レベル2耐震性能」という。 )。

なお、耐震設計構造物の重要度は1)～6)により分類する。

- 1) 耐震設計構造物の重要度は、高圧ガスの種類（第1種毒性ガス、第2種毒性ガス、第3種毒性ガス及び可燃性ガスに限る）に応じ、次の表(a)から表(c)までに掲げるとおりとする。

表(a) 第1種毒性ガスの耐震設計構造物の重要度分類

$X \backslash W$	5未満	5以上 20未満	20以上 100未満	100以上 500未満	500以上
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 1000未満	III	III	II	I	I
1000以上	III	III	III	II	I

表(b) 第2種毒性ガスの耐震設計構造物の重要度分類

$X \backslash W$	5未満	5以上 20未満	20以上 100未満	100以上 500未満	500以上
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	III	II	I	I	I
500以上 1000未満	III	III	II	I	I
1000以上	III	III	III	II	I

表(c) 第3種毒性ガス及び可燃性ガスの耐震設計構造物の重要度分類

$X \backslash W$	10 未満	10 以上 100 未満	100 以上 1000 未満	1000 以上 10000 未満	10000 以上
20 未満	I	I	I	I	I
20 以上 40 未満	II	I	I	I	I
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 2000 未満	III	III	III	III	II
2000 以上	III	III	III	III	III

備考 表(a)、表(b)及び表(c)において  $W$  及び  $X$  は、それぞれ次の値を表す。

$W$  塔槽類にあっては貯蔵能力（処理設備にあっては処理設備内において想定されるガスの最大質量をいう。）、配管にあっては運転状態において想定される内容物の最大質量（単位 t）

$X$  塔槽類又は配管の外周から当該耐震設計構造物が設置される事業所の境界線（当該境界線に接続する海、河川、湖沼又はこれらと同等の効用を有する施設もしくは土地がある場合は、その外縁）までの距離のうち最短のもの（単位 m）

ここでいうこれらと同等の効用を有する施設若しくは土地がある場合とは、製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法に関する技術基準の細目を定める告示（昭和 50 年 8 月通商産業省告示第 291 号）第 1 条の 3 各号に掲げる施設及び当該耐震設計構造物が設置される事業所において高圧ガスを製造する者が所有し、又は地上権、賃借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がある場合をいう。

また、配管の外周から当該耐震設計構造物が設置される事業所の境界線までの距離は、当該配管の最も事業所の境界線に近い箇所からの距離とする。

- 2) 1)の規定にかかわらず、コンビナート等保安規則第 2 条第 22 号に規定する特定製造事業所内の耐震設計構造物のうち、塔槽類の貯蔵能力（処理設備にあっては処理設備内において想定されるガスの最大質量をいう。）又は配管の運転状態における内容物の最大質量が 100t 以上（第 1 種毒性ガス及び第 2 種毒性ガスにあっては、30t 以上）のものについては、1)の規定により分類された重要度の一つ上位の分類とする。この場合において、変更前の重要度が I のものについては、その重要度を Ia とする。ここでいう貯蔵能力とは、圧縮ガスの場合にあっては、貯蔵能力（単位  $m^3$ ）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量（単位 t）に換算し得られたものをいう。なお、平底円筒形貯槽にあっては、その構造から決まる最高液面高さ（塔類、中間貯槽等で液面高さが自動的

に調整される場合は、その最高高さ)を用いて貯蔵能力を計算する。また、配管の運転状態における内容物の質量の算定にあたっては、当該配管の内容積に係る運転状態の高圧ガスの質量を積算する。

- 3) 第1種毒性ガス、第2種毒性ガス、第3種毒性ガス及び可燃性ガス以外の高圧ガスを扱う耐震設計構造物の重要度は、Ⅲとする。
- 4) 1)から3)までの規定にかかわらず、配管系のうち塔槽類に接続される配管の1)から3)までの規定により分類した重要度が当該塔槽類の重要度より低い場合にあっては、当該配管の重要度は、当該塔槽類の重要度の分類とする。ここでいう当該塔槽類の重要度は、地震防災遮断弁で区切られた間に含まれている塔槽類のうち、最も上位の重要度のものを選定する。
- 5) 1)から4)までの規定にかかわらず、地震防災設備の設置等により地震時及び地震後の災害拡大防止に十分な対策が講じられていると認められる耐震設計構造物にあっては、その対策の程度に応じて下位の重要度とすることも可能である。
- 6) 架構、配管の支持構造物又は基礎の重要度は、当該架構、配管の支持構造物又は基礎に設置される塔槽類又は配管（本基準が適用されるものに限る。）の重要度のうち最も上位の重要度とする。

注 1) 気密性が保持されることとは、レベル2地震動によって耐震設計構造物に係る部材が塑性変形を生じても高圧ガスが当該耐震設計構造物から外部に漏洩しないことをいう。

## 4 耐震性能の評価

耐震設計構造物の耐震性能の評価は、4.1 から 4.3 による。ただし、免震又は制振構造等の地震の影響の低減が図られる構造を有する耐震設計構造物にあっては、当該耐震設計構造物の耐震評価は、4.1 から 4.3 の規定にかかわらず、3 に規定する耐震性能を保有することを確認することによって替えることも可能である。

### 4.1 耐震設計設備に係るレベル 2 耐震性能の評価

耐震設計設備に係るレベル 2 耐震性能の評価は、次に定めるところによる。

- a) 通常の運転状態における設計用の地震動に関する応答解析を適切な計算方法<sup>1)</sup>により行い、耐震上重要な部材に関して当該部材の応答塑性変位<sup>2)</sup>を降伏変位<sup>3)</sup>で除した値（以下「応答塑性率<sup>4)</sup>」をいう。）が、当該部材の許容可能な最大の塑性変位を降伏変位で除した値（以下「許容塑性率<sup>5)</sup>」をいう。）を超えないことを確認する<sup>5)</sup>。
- b) a)の規定において、設計用の地震動の計算方法にあっては 5 の規定による。
- c) a)の規定において、設計用入力地震動及び液面揺動の設計用入力地震動の評価は、別々に行うことも可能である。
- d) 設計用入力地震動に係るレベル 2 耐震性能の評価は、5.2.1 に規定する設計用入力地震動に 0.5 を乗じた値として KHKS0861(20xx)の 5 に規定する耐震性能評価を行うことにより替えることも可能である。ただし、基準応答倍率を求める場合にあっては、附属書 B[図 B.3-1]による。

注 1) 応答解析の適切な計算方法とは、次のいずれかの応答解析法による。また、①修正震度法における修正震度の算出方法の例として、附属書 A を参考に示す。また、応答解析法の例として附属書 B を参考に示す。

- ① 修正震度法
- ② モード解析法
- ③ 時刻歴応答解析法
- ④ 応答変位法

注 2) 応答塑性変位とは、レベル 2 地震動時に耐震上重要な部材に生じる変位から降伏変位を減じた値をいう。

注 3) 降伏変位とは、耐震上重要な部材に係る荷重変形曲線図において概ね荷重及び変形の関係が線形性を保持する限界の変位をいう。

注 4) 許容塑性率とは、レベル 2 地震動時に当該耐震設計構造物の気密性を保持するため、耐震上重要な部材に許容される塑性率をいう。

注 5) 応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する方法の例として、附属書 C を参考に示す。

### 4.2 配管系に係るレベル 2 耐震性能の評価

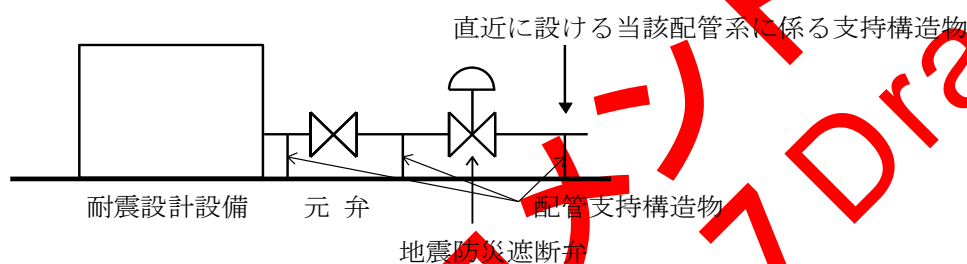
配管系に係るレベル 2 耐震性能の評価は、次に定めるところによる。

- a) 通常の運転状態における設計用の地震動に関する応答解析を適切な計算方法により行い、耐震上重要な部材に関して応答塑性率が当該部材の許容塑性率を超えないことを確認する。<sup>1)</sup>

- b) a)の規定において、設計用の地震動の計算方法は、5の規定による。
- c) 設計用入力地震動に係るレベル2耐震性能の評価は、5.2.1に規定する設計用入力地震動に0.5を乗じた値としてKHKS 0861(20xx)の5に規定する耐震性能評価を行うことにより替えることも可能である。ただし、基準応答倍率を求める場合にあっては、附属書B[図B.3-1]による。
- d) 耐震設計設備に接続される配管系のうち、地震防災遮断弁を超えて当該耐震設計設備の直近に設ける当該配管系に係る支持構造物<sup>2)</sup>(配管を溶接等により固定するものに限る。)については、当該耐震設計構造物と同一の基礎等に施すようにする。ただし、当該配管系が十分な可とう性を有していること<sup>3)</sup>を確認した場合は、この限りでない。

注<sup>1)</sup> 応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する方法の例として、附属書Dを参考に示す。

注<sup>2)</sup> 直近に設ける当該配管系に係る支持構造物とは、次の図による。



注<sup>3)</sup> 十分な可とう性を有していることとは、耐震設計構造物と当該耐震設計構造物に係る配管系の支持構造物の間に地盤変状に伴う相対変位が生じた場合に、当該相対変位量に対して当該配管系が十分な変位吸収能力を保有している設計を講じていることをいう。

#### 4.3 基礎に係るレベル2耐震性能の評価

基礎に係るレベル2耐震性能の評価は、次に定めるところによる。

- a) 通常の運転状態における設計用の地震動に関する応答解析を地盤変状のうち土質定数の変化を考慮した適切な計算方法<sup>1)</sup>により行い、耐震上重要な部材に関して応答塑性率が当該部材の許容塑性率を超えないことを確認する。<sup>2)</sup>
- b) a)の規定において、設計用の地震動の計算方法は5の規定による。
- c) a)の規定において、設計用入力地震動及び液面揺動の設計用入力地震動の評価は、別々に行うことも可能である。
- d) a)の規定において、設計用入力地震動に係るレベル2耐震性能の評価は、5.2.1に規定する設計用入力地震動に0.5を乗じた値としてKHKS 0861(xxxx)の5に規定する耐震性能の評価を行うことにより替えることも可能である。
- e) 通常の運転状態における応答解析を地盤変状のうち地盤の移動を考慮した適切な計算方法<sup>3)</sup>により行い、耐震上重要な部材に関して応答塑性率が当該部材の許容塑性率を超えないことを確認する。
- f) a)に規定する評価及びe)に規定する評価は、別々に行うことも可能である。



注<sup>1</sup> 土質定数の変化を考慮した適切な計算方法とは、液状化すると判定された土層では地震時又は地震後に土の強度及び支持力が低下するため、その液状化の程度に応じて土質定数を低減させて基礎の耐震設計を行う計算方法をいう。ただし、鉛直方向の許容支持力は国土交通省告示（平 13 国交告第 1113 号）に従う。

注<sup>2</sup> 応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する方法の例として、附属書 E を参考に示す。

注<sup>3</sup> 地盤の移動を考慮した適切な計算方法とは、（公社）日本道路協会の「道路橋示方書・同解説（平成 29 年）」の「V 耐震設計編」における規定又は同基準に準じた計算方法により行う。

2025年12月17日 Draft  
（パブリックコメント）

## 5 設計用の地震動

レベル2地震動に係る設計用の地震動は、5.1による。ただし、当面の間5.2によってもよい。

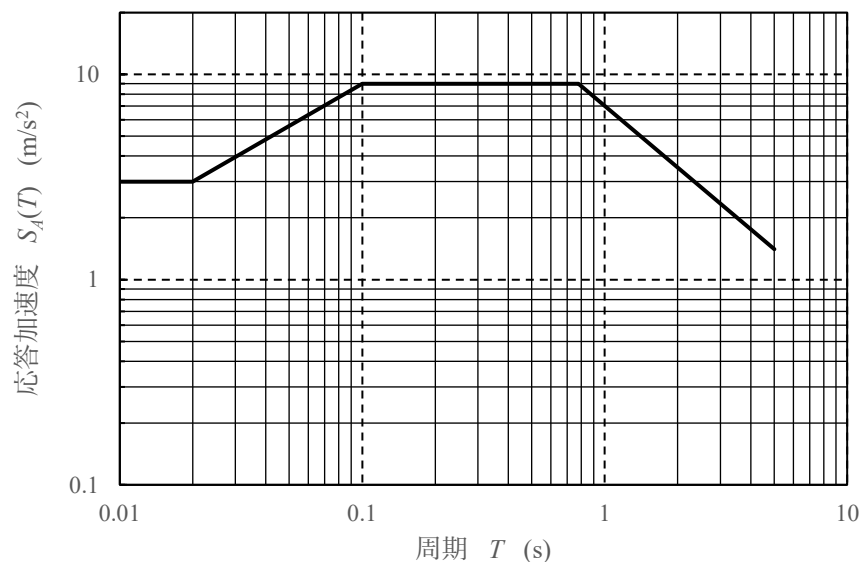
### 5.1 サイトスペシフィック地震動

設計用の地震動は、耐震設計構造物の設置場所周辺における活断層の分布状況や活動等の調査結果、地盤の堆積構造や強震観測結果、地震活動履歴等に基づいて、設置地点において予測される地震動（以下、「サイトスペシフィック地震動」という。）を用いることが可能である。

サイトスペシフィック地震動は、強震動予測手法により算定するが、中央防災会議や地震調査研究推進本部等の国の機関及び地域防災計画の想定地震等の利用可能な資料を十分に活用して算定することも可能である。特に、コンビナート等保安規則第2条第1項第21号に規定されるコンビナート地区については、各地区の代表地点における標準波が公開されており<sup>リ-3)</sup>、サイト増幅特性を評価し適切に補正することで、標準波を耐震設計構造物のサイトスペシフィック地震動とすることも可能である。

強震動予測手法によって設計用の地震動を設定する場合、地震動の非定常性が構造物の非線形挙動に与える影響に配慮した上で、適切な位相特性を設定した複数波を用いるなど不確定性を考慮する。また、耐震設計構造物の設置場所及びその周辺に活断層が知られていない場合においては、伏在断層による地震が直下で発生した場合を想定することとし、この伏在断層による地震動を下限値として設定する。

強震動予測手法により算定したサイトスペシフィック地震動は、耐震設計構造物にとって最低限保有すべき耐震性能を確保するための地震動（以下、「設計用下限地震動」という。）と比較し、工学的に地震動の不確定性に配慮する。設計用下限地震動の加速度応答スペクトルは図5.1とし、時刻歴波形は適切な位相を設定する。また、サイトスペシフィック地震動と同様、不確定性を考慮する。



$$S_A(T) = \begin{cases} 3 & (0.01 \leq T < 0.02) \\ 43.336T^{0.6826} & (0.02 \leq T < 0.1) \\ 9 & (0.1 \leq T < 0.78) \\ 7.02/T & (0.78 \leq T) \end{cases}$$

図5.1

サイトスペシフィック地震動の算出法については、附属書 F を参考に示す。

注<sup>1)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和 4 年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2023 年 3 月

注<sup>2)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和 5 年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2024 年 3 月

注<sup>3)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和 6 年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2025 年 3 月

## 5.2 地域別地震動

### 5.2.1 設計用入力地震動

設計用入力地震動は、次に定める(a)及び(b)による。

(a) 地表面における水平震度及び鉛直震度

$$K_H = 0.150 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 5.1}]$$

$$K_V = 0.075 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 5.2}]$$

これらの算式において、 $K_H$ 、 $K_V$ 、 $\mu_k$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  及び  $\beta_3$  は、それぞれ次の値を表すものとする。ただし、 $\beta_1$  と  $\beta_2$  との積が 0.33 未満となる場合は、これを 0.33 とする（以下同じ。）。

$K_H$  地表面における設計用入力地震動の水平震度

$K_V$  地表面における設計用入力地震動の鉛直震度

$\mu_k$  地震動のレベルに基づく係数であって、レベル 2 地震動にあつては 2.0 以上の値

$\beta_1$  耐震設計構造物の重要度に基づく係数であって、表 5.2.1 の左欄に掲げる重要度に応じ、同表の右欄に掲げる値とする。

$\beta_2$  地域に基づく係数であって、表 5.2.2 の左欄に掲げる地域区分に応じ、右欄に掲げる値

$\beta_3$  表層地盤増幅係数であって、表 5.2.3 の左欄に掲げる地盤種別に応じ、右欄に掲げる値。ただし、耐震設計構造物の設置位置における地震観測又は常時微動観測等により表層地盤の振動特性を推定可能な場合<sup>1)</sup>は、当該観測等に基づく数値にしてよい。

表 5.2.1

重要度	$\beta_1$
I a	1.00
I	0.80

表 5.2.2

地 域 区 分			$\beta_2$
特 A	千葉県 埼玉県 東京都 神奈川県 山梨県  長野県  岐阜県  静岡県 愛知県 三重県	全域 全域 小笠原村を除く全域 全域 甲府市、富士吉田市、甲州市、都留市、山梨市（旧山梨市及び旧東山梨郡牧丘町の区域に限る。）、大月市、韮崎市、笛吹市（旧東山梨郡春日居町及び旧東八代郡の区域に限る。）、中央市、西八代郡、南巨摩郡、中巨摩郡、甲斐市（旧北巨摩郡双葉町の区域に限る。）、南アルプス市、北杜市（旧北巨摩郡明野村、旧同郡白州町及び旧同郡武川村の区域に限る。）、南都留郡及び上野原市（旧北都留郡上野原町の区域に限る。）、 飯田市（旧飯田市及び旧下伊那郡鼎町、旧同郡上郷町及び旧同郡南信濃村の区域に限る。）、伊那市（旧伊那市の区域に限る。）、駒ヶ根市、上伊那郡（飯島町、中川村及び宮田村の区域に限る。）及び下伊那郡（松川町、高森町、阿南町、阿智村（旧阿智村の区域に限る。）、下条村、天竜村、泰阜村、喬木村及び豊丘村の区域に限る。）、 中津川市（旧坂下町、旧川上村、旧加子母村、旧付知町、旧福岡町、旧蛭川村及び長野県旧山口村の区域を除く。）、 全域 全域 全域	1.0
A	特 A、B 及び C 地区に掲げる地域以外の地域		0.8
B	北海道      青森県  秋田県 山形県 福島県  新潟県 富山県 石川県 鳥取県 島根県 岡山県 広島県 徳島県 香川県  愛媛県 高知県 熊本県 大分県 宮崎県	札幌市、北広島市、石狩市、函館市、北斗市、小樽市、室蘭市、北見市、夕張市、岩見沢市、網走市、苫小牧市、美唄市、芦別市、江別市、赤平市、三笠市、千歳市、滝川市、砂川市、歌志内市、深川市、富良野市、登別市、恵庭市、伊達市、石狩郡、松前郡、上磯郡、亀田郡、茅渚郡、山越郡、二世郡、檜山郡、爾志郡、久遠郡、奥尻郡、瀬棚郡、島牧郡、寿都郡、磯谷郡、虻田郡、岩内郡、古宇郡、積丹郡、古平郡、余市郡、空知郡、夕張郡、樺戸郡、雨竜郡、上川郡（東神楽町、上川町、東川町及び美瑛町の区域に限る。）、勇払郡、網走郡、斜里郡、常呂郡、有珠郡及び白老郡 青森市、弘前市、黒石市、五所川原市、むつ市、東津軽郡、西津軽郡、中津軽郡、南津軽郡、北津軽郡及び下北郡 全域 全域 会津若松市、郡山市、白河市、須賀川市、喜多方市、岩瀬郡、南会津郡、耶麻郡、河沼郡、大沼郡及び西白河郡 全域 魚津市、滑川市、黒部市及び下新川郡 輪島市、珠洲市及び鳳珠郡 米子市、倉吉市、境港市、東伯郡、西伯郡及び日野郡 全域 全域 全域 美馬市、三好市、美馬郡及び三好郡 高松市（牟礼町及び庵治町の区域を除く。）、丸亀市、坂出市、善通寺市、観音寺市、小豆郡、香川郡、綾歌郡、仲多度郡及び三豊市 全域 全域 C 地区に掲げる地域以外の地域 C 地区に掲げる地域以外の地域 全域	0.7

地 域 区 分			$\beta_2$
C	北海道	旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町及び下川町の区域に限る。）、中川郡（上川総合振興局）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡及び紋別郡	0.7
	山口県	全域	
	福岡県	全域	
	佐賀県	全域	
	長崎県	全域	
	熊本県	熊本市（旧飽託郡、旧鹿本郡の区域に限る。）、八代市、荒尾市、水俣市、玉名市、山鹿市、宇土市、上天草市、宇城市（旧宇土郡の区域に限る。）、天草市、玉名郡、葦北郡及び天草郡	
	大分県	中津市、日田市（前津江町、中津江村、上津江町、大山町及び天瀬町の区域を除く。）、豊後高田市、杵築市、宇佐市、国東市、東国東郡及び速見郡	
	鹿児島県	奄美市及び大島郡以外の地域	
	沖縄県	全域	

備考 この表に掲げる区域は、平成 30 年 1 月 1 日における行政区画に従って表示している。

表 5.2.3

地 盤 種 別 <sup>2)</sup>	$\beta_3$
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

備考 第 1 種地盤又は第 2 種地盤上に表土層がある場合で、次の a) 又は b) に該当するときは、当該地盤をそれぞれ第 1 種地盤又は第 2 種地盤とみなしてよい。

- a) 基礎が第 1 種地盤又は第 2 種地盤に直接支持されている場合であって、表土層の厚さが 10m 以下であり、かつ、当該耐震設計設備の地表面から重心までの高さの 2 分の 1 以下の場合
- b) 表土層の厚さが 4m 以下であり、かつ、当該耐震設計設備の地表面から重心までの高さの 5 分の 1 以下の場合

(b) 地表面における水平加速度及び鉛直加速度

$$a_H = 1.50 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 5.3}]$$

$$a_V = 0.75 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 5.4}]$$

これらの算式において  $a_H$ 、 $a_V$ 、 $\mu_k$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  及び  $\beta_3$  は、それぞれ次の値を表す。

$a_H$  地表面における設計用入力地震動の水平加速度（単位  $\text{m/s}^2$ ）

$a_V$  地表面における設計用入力地震動の鉛直加速度（単位  $\text{m/s}^2$ ）

$\mu_k$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  及び  $\beta_3$  それぞれ 5.2.1 (a) に規定する値

注<sup>1)</sup> 表層地盤の振動特性を推定可能な場合とは、次のとおりとする。

a) 地震観測による場合

次に掲げるいずれかの場合とする。

- 1) 地表面及び工学的基盤面に設置した地震計から得られる気象庁震度階IV以上で、重大な災害を及ぼすと考えられる震源群からの地震を含んだ3以上の観測値より増幅率を求める場合
- 2) 地表面及び工学的基盤面に設置した地震計から得られる観測値及び耐震設計構造物の設置位置における地盤物性値を用いて重複反射理論、一次元質点系又は有限要素法による応答計算を行い、地盤の歪レベルによる検証を行って増幅率を求める場合

b) 常時微動観測等による場合

次に掲げるいずれかの場合とする。

- 1) 地表面及び工学的基盤面の常時微動測定を行い、スペクトル解析から伝達関数を計算することにより増幅率を求める場合
- 2) 弾性波検層又はそれに代わる統計的な地盤の物性値の歪レベルを考慮した解析方法を用いて、表層地盤と基盤面での振動インピーダンス比及び表層地盤と地震動の周期を設定し、これらから増幅率を求める場合

注 <sup>2)</sup>表層地盤増幅係数の表中 地盤種別 は、当該地盤のボーリングによる調査結果により判定する。なお、これにより第3種地盤と第4種地盤の区別が困難な場合にあつては、当該地盤の  $N$  値（JISA1219「標準貫入試験方法」（2023）により得られる値をいう。以下同じ。）により判定することとし、次に掲げるいずれかに該当する地盤を第4種地盤とする。

- a) 地表面から地表面下およそ 30m までにおいて、 $N$  値の大部分が 10 以下の地盤
- b) 地表面から地表面下 60m までにおいて、値が 50 を超えるかなり厚い地層がない場合

## 5.2.2 液面揺動の設計用入力地震動

液面揺動の設計用入力地震動は、表 5.2.4 の左欄に掲げる液面揺動の固有周期の区分に応じ、同表の右欄に定める算式により得られる地表面における地震動に対する速度応答スペクトルを有する地震動とする。

表 5.2.4

$T$	$V_H(T)$
$T_c$ 以下	$V_H(T) = 2.5 \mu_v \beta_1 \beta'_2$
$T_c$ 超	$V_H(T) = 2.5 \frac{T_c}{T} \mu_v \beta_1 \beta'_2$

備考 この表において  $T$ 、 $V_H(T)$ 、 $\mu_v$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta'_2$  及び  $T_c$  は、それぞれ次の値を表す。

$V_H(T)$  地表面における地震動に対する速度応答スペクトル（減衰定数 5%、単位 m/s）

$T$  液面揺動の固有周期であつて、次の算式により得られる値（単位 s）

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.682g} \coth\left(\frac{3.682H_l}{D}\right)} \quad [\text{式 5.5}]$$

この算式において  $g$ 、 $D$  及び  $H_l$  はそれぞれ次の値を表す。

$g$  重力加速度（単位 m/s<sup>2</sup>）

$D$  内径（単位 m）

$H_l$  最高液面高さ（単位 m）

$\mu_v$  地表面における水平地動速度に基づく係数であつて、1.0 以上の値



$\beta_1$  5.2.1 に規定する値  
 $\beta_2$  及び  $T_c$  地域に基づく係数及び値であって、次の表の左欄に掲げる地域区分に応じ、  
同表の右欄に掲げる値

2025年12月17日  
パブリックコメント用  
Draft

表 5.2.5

地 域 区 分			$\beta'_2$	$T_c$
1-1	埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県 新潟県	全域 全域 全域 全域 佐渡市を除く全域	1.0	10.0
1-2	北海道  秋田県 山形県 茨城県 静岡県 愛知県 三重県 大阪府 兵庫県	函館市、苫小牧市、石狩振興局管内、十勝総合振興局管内、釧路総合振興局管内、根室振興局管内 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市及び伊丹市	1.0	7.5
2	北海道  青森県 宮城県 福島県 新潟県 富山県 石川県 山梨県 長野県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県 福岡県 佐賀県 熊本県 大分県 宮崎県 鹿児島県	空知総合振興局管内、後志総合振興局管内、胆振総合振興局管内（室蘭市及び苫小牧市を除く。）、日高振興局管内、渡島総合振興局管内（函館市を除く。）、留萌振興局管内及び宗谷総合振興局管内 全域 全域 全域 佐渡市 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域	0.75	7.5
3	北海道 岩手県 栃木県 群馬県 福井県 岐阜県 滋賀県 京都府 兵庫県 奈良県 和歌山県 鳥取県	室蘭市、檜山振興局管内、上川総合振興局管内及びオホーツク総合振興局管内 全域 全域 全域 全域 全域 全域 全域 神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市及び伊丹市を除く全域 全域 全域 全域	0.5	7.5

地 域 区 分			$\beta'_2$	$T_c$
	島根県	全域		
	岡山県	全域		
	広島県	全域		
	山口県	全域		
	長崎県	全域		
	沖縄県	全域		

備考 この表に掲げる区域は、平成 30 年 1 月 1 日における行政区画に従って表示している。

2025年12月17日  
パブリックコメント用  
Draft

## 附属書 A（参考）修正震度算出法

### 序文

この附属書は、修正震度算出法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

### [A.1] 修正震度

レベル 2 地震動に係る 1 質点弾性振動モデルの修正震度は、固有周期及び地盤種別に応じて、次の算式により計算する。

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad [\text{式 A.1-1}]$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_V \quad [\text{式 A.1-2}]$$

ここで、

$K_{MH}$ ：水平方向の設計修正震度。ただし、0.4 を下回る場合は、0.4 とする。

$K_{MV}$ ：鉛直方向の設計修正震度

$K_H$ ：地表における水平震度

$K_V$ ：地表における鉛直震度

$\beta_5$ ：水平方向の応答倍率で次式により算出する。ただし、固有周期が 0.3 秒以上の場合であって、応答倍率が 0.75 を下回るときは 0.75 とする。

$$\beta_5 = \beta_{50} C_h \quad [\text{式 A.1-3}]$$

$\beta_{50}$ ：基準応答倍率（[図 A.1-1]）

$C_h$ ：補正係数で、[表 A.1]及び[表 A.2]に定める当該耐震設計構造物の減衰定数に応じて、[図 A.1-2]に示す補正係数線図より求める。

$\beta_6$ ：鉛直方向の応答倍率（[表 A.3]）

耐震設計構造物の部材の塑性化に伴い、その固有周期は長周期化する。当該耐震設計構造物の固有周期と地盤種別に応じて求めた設計修正震度が、その固有周期の長周期化に伴い増加するおそれがある場合には、その影響を適切に評価するか又は当該地盤種別の最大応答スペクトルを用いる。

[表 A.1] 塔類、球形貯槽、横置円筒形貯槽及び架構の減衰定数

耐 震 設 計 設 備 の 種 類			減衰定数
塔 類	Tが1.0未満のもの		0.03
	Tが1.0以上1.5未満のもの		0.07-0.04T
	Tが1.5以上のもの		0.01
球形貯槽	ブレースが溶接接合のもの		0.03
	ブレースがピン接合のもの		0.05
横 置 円 筒 形 貯 槽			0.07
架 構	鋼構造のもの	ブレースを有する構造のもの	0.05
		ブレースを有しない構造のもの	0.03
	鉄筋又は鉄骨コンクリート構造のもの	ラーメン構造のもの又はこれに準ずるもの	0.05
		壁量の多いもの又はこれに準ずるブレースを有するもの	0.10

備考 この表において、 $T$ は耐震設計設備の固有周期（単位 s）を表す。

[表 A.2] 平底円筒形貯槽の減衰定数

平底円筒形貯槽の種類		減衰定数			
第1種地盤に設置されるもの又は $H/D$ が 1.0 を超えるもの		0.05			
上欄以外のもの		$D$	20 未満	20 以上 40 未満	40 以上
杭のあるもの	$P$	1.5 未満	0.08	0.10	0.10
		1.5 以上 3.0 未満	0.07	0.08	0.10
		3.0 以上	0.05	0.07	0.08
杭のないもの			0.05	0.07	0.10

備考 この表において $H$ 、 $D$ 及び $P$ は、それぞれ次の値を表す。

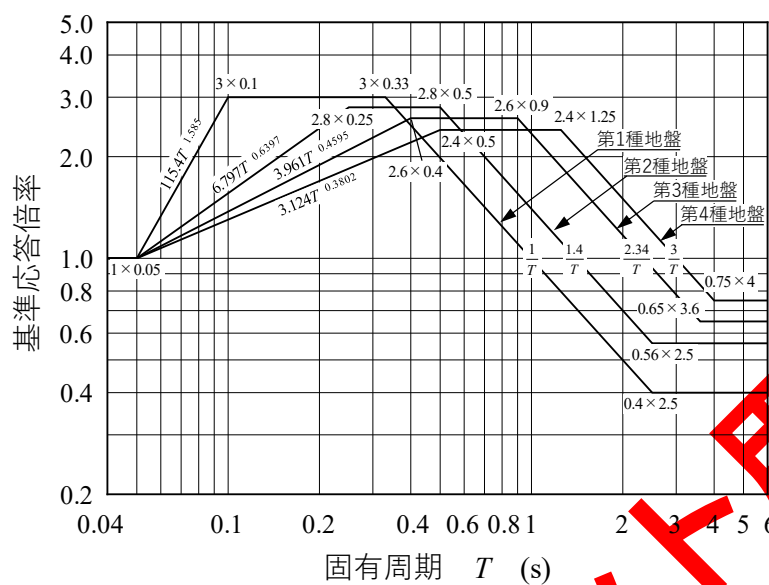
$H$  : 最高液面高さ（単位 m）

$D$  : 内径（単位 m）

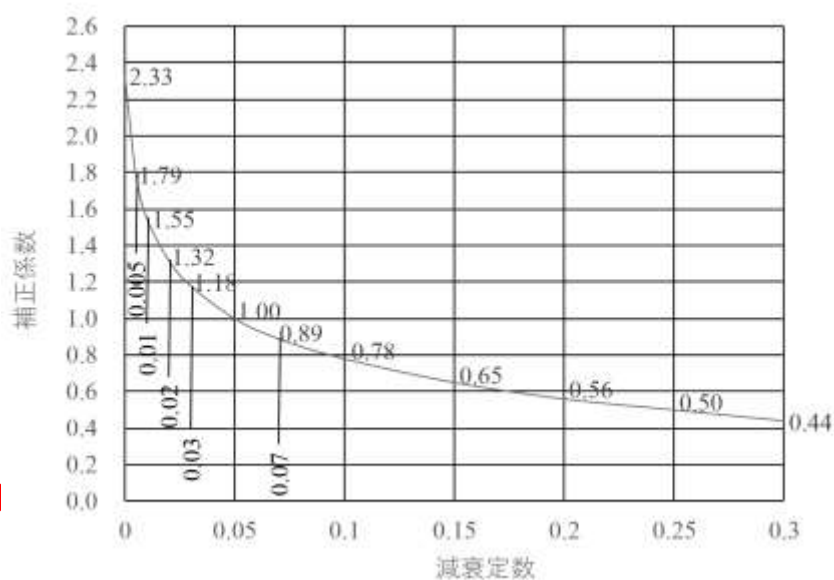
$P$  : 杭の間隔（単位 m）

[表 A.3] 鉛直方向の応答倍率 $\beta_6$ の値

耐震設計設備の種類	$\beta_6$
スカート支持の塔	1.5
その他の耐震設計設備	2.0



[図 A.1-1] 基準応答倍率



[図 A.1-2] 補正係数と減衰定数の関係



附属書 B（参考） 応答解析法

序文

この附属書は、応答解析法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

[B.1] 応答解析法

耐震設計構造物は次に掲げる応答解析法により応答塑性率を算出する。

- (1) エネルギー法
- (2) 等価線形応答解析法
- (3) 非線形応答解析法

[B.2] 解析モデル

応答解析を行うにあたり想定する力学的振動モデル及びその構成要素（以下「解析モデル」という。）は、耐震設計構造物ごとに附属書 C、D、E の規定、又はその他にその妥当性が証明されたものから適切な解析モデルを選択する。

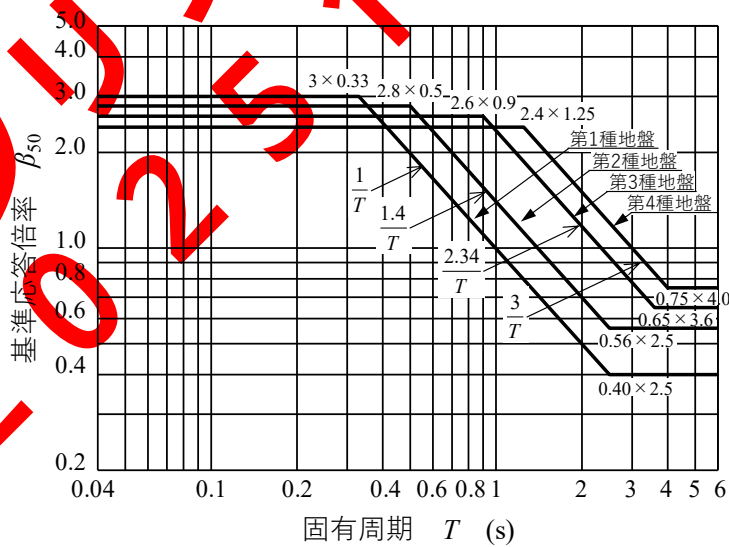
[B.3] エネルギー法

[B.3.1] 塑性率評価法

1 次の振動モードが卓越する耐震設計構造物にあつては、損傷モードごとにエネルギー一定則を適用して、応答塑性率を算出することが可能である。

(1)設計修正震度

耐震設計構造物の設計修正水平震度  $K_{MH}$  及び設計修正鉛直震度  $K_{MV}$  は附属書 A[A.1]による。ただし、基準応答倍率  $\beta_{50}$  は、[図 B.3-1]による。



[図 B.3-1] 基準応答倍率

(2)応答塑性率

当該損傷部材の応答塑性率  $\mu_p$  は[式 B.3-1]から算出する。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 B.3-1}]$$

ここで、

- $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る部材の応答塑性率、但し、 $K_y \geq K_{MH}$  のときは、 $\mu_p = 0$
- $K_{MH}$  : 当該耐震設計構造物の設計修正水平震度
- $K_y$  : 当該損傷モードに係る部材の降伏開始点における水平震度をいう。この場合において、設計修正鉛直震度を同時に不利な方向に作用させる。
- $C$  : 当該損傷モード特性に応じて定まる値

### (3) 塑性率評価

当該損傷モードに関して[式 B.3-2]を確認する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa} \quad [\text{式 B.3-2}]$$

ここで、

- $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る部材の応答塑性率
- $\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに応じて定まる耐震設計構造物の部材の許容塑性率

### [B.3.2] 保有耐力評価法

架構及び基礎等の耐震設計構造物にあっては、保有耐力評価法により耐震性能評価を行ってもよい。

#### (1) 設計修正震度

[B.3.1](1)で規定する設計修正震度と同じ。

#### (2) 構造特性係数

当該損傷モードに係る構造特性係数は[式 B.3-3]により算出する値、又は他の基準等で規定される値とする。ただし、 $D_s$ は0.25 から 0.5 までの値とする。

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 + 4C\mu_{pa}}} \quad [\text{式 B.3-3}]$$

ここで、

- $D_s$  : 構造特性係数
- $C$  : 当該損傷モード特性に応じて定まる値。
- $\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに応じて定まる耐震設計構造物の部材の許容塑性率

#### (3) 保有耐力

保有耐力は次式により算出する。

$$Q_U = K_y \cdot W_H \quad [\text{式 B.3-4}]$$

ここで、

$Q_U$  : 保有耐力

$K_y$  : 降伏震度で、損傷部材の降伏開始点における水平震度をいう。この場合において、設計鉛直震度を同時に不利な方向に作用させる。

$W_H$  : 耐震設計構造物の運転重量

#### (4)必要保有耐力

必要保有耐力は次式により算出する。

$$Q_{UN} = D_S \cdot K_{MH} \cdot W_H \quad [\text{式 B.3-5}]$$

ここで、

$Q_{UN}$  : 必要保有耐力

$D_S$  : (2)で規定する構造特性係数

$K_{MH}$  : (1)で規定する設計修正水平震度

$W_H$  : 耐震設計構造物の運転重量

#### (5)保有耐力評価

耐震設計構造物の(4)で規定する必要保有耐力  $Q_{UN}$  が(3)で規定する保有耐力  $Q_U$  を超えないことを確認する。

### [B.3.3] 代替評価法

耐震設計構造物の耐震性能評価は本文 4.1 d)、4.2 c)及び 4.3 d)で規定する方法（以下、代替評価法という。）によってもよい。

#### (1)設計入力地震動

[B.3.1](1)で規定する設計修正震度に0.5を乗じた値を修正震度とする。（以下「代替評価法に係る設計修正震度」という。）

#### (2)算定応力

算定応力の計算方法は KHK S0861(20xx)の規定による。

#### (3)耐震設計用許容応力

耐震設計用許容応力の計算方法は KHK S0861(20xx)の規定による。

#### (4)応力評価

(1)で規定する設計震度に関して算定応力が耐震設計用許容応力を超えないことを確認する。

### [B.4] 等価線形応答解析法

降伏耐力を超える非線形部材は、非線形の度合いにより弾性剛性より低減した剛性及び等価な減衰率を有する部材にモデル化し線形応答解析を行なってもよい。

#### [B.4.1] 線形モーダル応答解析

加速度応答スペクトルを用いた線形モーダル応答解析を行う場合は次の(1)から(5)までによる。

(1) 設計水平加速度応答スペクトル及び設計鉛直加速度応答スペクトルは、次式により算出する。

$$A_H^{(i)} = 1.50 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_5 \quad [\text{式 B.4-1}]$$

$$A_V^{(i)} = 0.75 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_6 \quad [\text{式 B.4-2}]$$

ここで、

$A_H^{(i)}$  :  $i$  次の振動モードにおける設計水平応答加速度 (単位  $\text{m/s}^2$ )

$A_V^{(i)}$  :  $i$  次の振動モードにおける設計鉛直応答加速度 (単位  $\text{m/s}^2$ )

$\mu_k$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  : それぞれ本文 5.2.1 の規定と同じ。

$\beta_5$ 、 $\beta_6$  : それぞれ附属書 A[A.1]の規定と同じ

- (2) 当該耐震設計構造物の部材の剛性はその非線形性の程度に応じて低減する。
- (3) 当該耐震設計構造物の部材の非線形応答による塑性ひずみエネルギーと等価な減衰率を用いることが可能である。
- (4) 設計に用いるせん断力、モーメント、加速度、変位等の応答量  $R$  は振動モードごとの応答を適切な方法で合成して算出す。次の式で計算してもよい。

$$R = \sqrt{\sum_i \{R^{(i)}\}^2} \quad [\text{式 B.4-3}]$$

ここで、 $R^{(i)}$  は  $i$  次の振動モードにおける当該応答量

- (5) 部材の応答変位量から応答塑性率を算出する。
- (6) (5)で算出した応答塑性率が、規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

#### [B.4.2] 等価荷重法による応答解析

等価荷重法により等価線形応答解析を行う場合は次の(1)から(5)までによる。

- (1) 等価荷重は適切な方法により定める。ただし、加速度応答に関して、1 質点系にモデル化可能な場合は、[B.3.1](1)による設計修正震度に当該部材の重量を乗じて等価荷重を求めてよい。
- (2) 当該耐震設計構造物の部材の剛性はその非線形性の程度に応じて低減する。
- (3) 当該耐震設計構造物の部材の非線形応答による塑性ひずみエネルギーと等価な減衰率を用いて設計修正震度を算出することが可能である。
- (4) 部材の変位量から応答塑性率を算出する。
- (5) (4)で算出した応答塑性率が、規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

#### [B.4.3] 応答変位法

応答変位法による場合は次の(1)から(4)までによる。

- (1) 地盤変状に係る地盤の移動量、地盤変状に係る基礎の移動量、支持構造物の応答変位量等を拘束点の強制変位量とする。
- (2) 当該耐震設計構造物の部材の剛性はその非線形性の程度に応じて低減することも可能である。
- (3) 部材の変位量から応答塑性率を算出する。
- (4) (3)で算出した応答塑性率が規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

## [B.5] 非線形応答解析法

### [B.5.1] 時刻歴応答解析法

時刻歴応答解析法を行う場合は次の(1)から(4)までによる。

- (1) 変形復元力特性は非線形履歴モデルとし、刻々の当該耐震設計構造物の状態を解析から直接求める。
- (2) 5.1 サイトスペシフィック地震動を入力して行う。なお、工学的基盤に入力することを基本とするが、地表面に入力する場合は、地盤の非線形性及び地盤の影響を適切に考慮して地表面における地震動を求めて入力する。
- (3) 部材の変位量から応答塑性率を算出する。この場合において他の応答解析法で得られる当該鉛直地震動の影響を考慮して適切な修正を行う。
- (4) (3)で算出した応答塑性率が、規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

### [B.5.2] 等価荷重法による静的応答解析

等価荷重法により非線形応答解析を行う場合は次の(1)から(5)までによる。

- (1) 等価荷重は適切な方法により定める。ただし、加速度応答に関して、1 質点系にモデル化可能な場合は、[B.3.1](1)による設計修正震度に当該部材の重量を乗じて等価荷重を求めて良い。
- (2) 当該耐震設計構造物の部材の非線形応答による塑性ひずみエネルギーと等価な減衰率を用いて設計修正震度を算出することが可能である。
- (3) 非線形荷重変位特性を有する応答解析モデルに関して静的解析により部材の変位量を算出する。
- (4) 部材の変位量から応答塑性率を算出する。
- (5) (4)で算出した応答塑性率が、規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

### [B.5.3] 応答変位法

応答変位法により非線形応答解析を行う場合は次の(1)から(4)までによる。

- (1) 地盤変状に係る地盤の移動量、地盤変状に係る基礎の移動量、支持構造物の応答変位量等を拘束点の強制変位量とする。
- (2) 非線形荷重変位特性を有する応答解析モデルに関して静的解析により部材の変位量を算出する。
- (3) 部材の変位量から応答塑性率を算出する。
- (4) (3)で算出した応答塑性率が、規定する許容塑性率を超えないことを確認する。

## 附属書 C（参考）耐震設計設備の耐震性能評価法

### 序文

この附属書は、耐震設計設備の耐震性能評価法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

### [C.1] スカート支持の塔類

#### [C.1.1] 損傷モード

スカート支持の塔類は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

- (1) 胴板の損傷
  - ① 胴板の引張降伏
  - ② 胴板の圧縮座屈
- (2) スカートの損傷
  - ① スカートの圧縮座屈
- (3) 基礎ボルトの損傷
  - ① 基礎ボルトの引張降伏
- (4) ベースプレートの損傷
  - ① ベースプレートの曲げ降伏

#### [C.1.2] 降伏震度

##### [C.1.2.1] 胴板の損傷モードに係る降伏震度

(1) 胴板の引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yIS} = K_{MH} \frac{S_y - \sigma_{IO}}{\sigma_{IH} + \sigma_{IV}} \quad [\text{式 C.1-1}]$$

ここで、

$K_{yIS}$  : 応力を算定する位置における胴板の引張降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$\sigma_{IO}$  : 常時荷重により胴板に生じる引張応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{IO} = \left( \frac{P_0 D_m}{4t} - \frac{W_V}{\pi D_m t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.1-2}]$$

$\sigma_{IH}$  : 設計水平地震力により胴板に生じる引張応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{IH} = \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.1-3}]$$

$\sigma_{IV}$  : 設計鉛直地震力により胴板に生じる引張応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{IV} = \frac{F_V}{\pi D_m t} \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.1-4}]$$



- $M$  : 設計修正水平震度  $K_{MH}$  に対して当該検討位置に作用するモーメントの和 (偏心荷重がある場合は、当該荷重によるモーメントを考慮する。単位  $\text{N}\cdot\text{mm}$ )  
 $D_m$  : 当該位置における平均直径 (単位  $\text{mm}$ )  
 $t$  : 当該検討位置における板厚 (腐れ代を除く。単位  $\text{mm}$ )  
 $P_0$  : 常用の圧力 (単位  $\text{MPa}$ )  
 $\theta$  : 当該検討位置における円すい部の頂角の  $1/2$  の値 (単位 度)  
 $W_V$  : 当該検討位置に作用する耐震設計構造物の自重と内容物の重量との和 (単位  $\text{N}$ )  
 $F_V$  : 鉛直方向地震力で、次式により算出する

$$F_V = K_{MV} W_V \quad [\text{式 C.1-5}]$$

ここで、

$K_{MV}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

$S_y$  : 材料の設計温度及び常温における降伏点又は  $0.2\%$ 耐力のいずれか小なる方 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

## (2)胴板の圧縮座屈に係る降伏震度

$$K_{ycS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cO}}{\sigma_{cH} + \sigma_{cV}} \quad [\text{式 C.1-6}]$$

ここで、

$K_{ycS}$  : 応力を算定する位置における胴板の圧縮座屈に係る降伏震度

$\sigma_{cO}$  : 常時荷重により胴板に生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$$\sigma_{cO} = \left( -\frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{W_V}{\pi D_m t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.1-7}]$$

$\sigma_{cH}$  : 設計水平地震力により胴板に生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$$\sigma_{cH} = \frac{4M}{\pi D_m^2 t \cos \theta} \quad [\text{式 C.1-8}]$$

$\sigma_{cV}$  : 設計鉛直地震力により胴板に生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{\pi D_m t \cos \theta} \quad [\text{式 C.1-9}]$$

$P_0$  : 通常の運転における最低の圧力 (単位  $\text{MPa}$ )

$$S_c : S_c = \min(S_y, S_f S') \quad [\text{式 C.1-10}]$$

ここで、

$S'$  : 当該検討位置における圧縮応力で次の算式から得られる値 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$$S' = \frac{0.6Et}{\left( 1 + 0.004 \frac{E}{S_y} \right) D_m} \quad [\text{式 C.1-11}]$$

ここで、

$E$  : 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$t$  及び  $D_m$  : それぞれ(1)に規定する値

$S_f$  : 1.5 とする。

$K_{MH}$ 、 $M$ 、 $D_m$ 、 $t$ 、 $\theta$ 、 $W_V$ 、 $F_V$ 及び $S_y$ ：それぞれ(1)に規定する値

### [C.1.2.2] スカートの損傷モードに係る降伏震度

#### (1)スカートの圧縮座屈に係る降伏震度

$$K_{yck} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{co}}{\sigma_{ch} + \sigma_{cv}} \quad [\text{式 C.1-12}]$$

ここで、

$K_{yck}$ ：応力を算定する位置におけるスカートの圧縮座屈に係る降伏震度

$\sigma_{co}$ ：常時荷重によりスカートに生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{co} = \frac{W_V}{(\pi D_m - Y)t \cos \theta} \quad [\text{式 C.1-13}]$$

$\sigma_{ch}$ ：設計水平地震力によりスカートに生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{ch} = \frac{4M}{(\pi D_m^2 - 2D_m Y)t \cos \theta} \quad [\text{式 C.1-14}]$$

$\sigma_{cv}$ ：設計鉛直地震力によりスカートに生じる圧縮応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cv} = \frac{F_V}{(\pi D_m - Y)t \cos \theta} \quad [\text{式 C.1-15}]$$

$Y$ ：スカート開口部の水平方向の最大長さ (単位  $\text{mm}$ )

$t$ ：当該検討位置における板厚 (単位  $\text{mm}$ )

$\theta$ ：当該検討位置における円すい形スカートの頂角の1/2の値 (単位 度)

$K_{MH}$ 、 $M$ 、 $D_m$ 、 $t$ 、 $\theta$ 、 $W_V$ 、 $F_V$ 及び $S_c$ ：それぞれ[C.1.2.1]に規定する値

### [C.1.2.3] 基礎ボルトの損傷モードに係る降伏震度

#### (1)基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{S_y + \sigma_{to}}{\sigma_{th} + \sigma_{tv}} \quad [\text{式 C.1-16}]$$

ここで、

$K_{yB}$ ：基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$\sigma_{to}$ ：常時荷重により基礎ボルトに生じる応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{to} = \frac{W_V}{NA} \quad [\text{式 C.1-17}]$$

$\sigma_{th}$ ：設計水平地震力により基礎ボルトに生じる応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{th} = \frac{1}{NA} \frac{4M}{D} \quad [\text{式 C.1-18}]$$

$\sigma_{tv}$ ：設計鉛直地震力により基礎ボルトに生じる応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tv} = \frac{F_V}{NA} \quad [\text{式 C.1-19}]$$

$N$ ：基礎ボルトの本数

$A$  : 基礎ボルトの有効断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )  
 $D$  : 基礎ボルトの中心からなる円の直径 (単位  $\text{mm}$ )  
 $S_y$  : 基礎ボルト材の降伏点 (単位  $\text{N/mm}^2$ )  
 $K_{MH}$ 、 $M$ 、 $F_V$  及び  $W_V$  : それぞれ[C.1.2.1](1)に規定する値

#### [C.1.2.4] ベースプレートの損傷モードに係る降伏震度

(1) ベースブロック形式でない場合のベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{ybB} = K_{MH} \frac{S_y - \sigma_{bO}}{\sigma_{bH} + \sigma_{bV}} \quad [\text{式 C.1-20}]$$

ここで、

$K_{ybB}$  : ベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$\sigma_{bO}$  : 常時荷重によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bO} = \frac{3L^2}{t^2} \frac{W_V}{A_b} \quad [\text{式 C.1-21}]$$

$\sigma_{bH}$  : 設計水平地震力によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

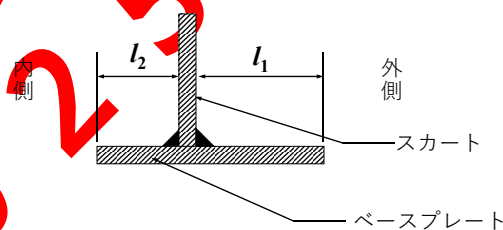
$$\sigma_{bH} = \frac{3L^2}{t^2} \frac{M}{Z} \quad [\text{式 C.1-22}]$$

$\sigma_{bV}$  : 設計鉛直地震力によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式で得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bV} = \frac{3L^2}{t^2} \frac{F_V}{A_b} \quad [\text{式 C.1-23}]$$

$t$  : ベースプレートの板厚 (単位  $\text{mm}$ )

$L$  : [図 C.1-1]に示す  $l_1$  又は  $l_2$  のいずれか大なる値 (単位  $\text{mm}$ )



[図 C.1-1]

$A_b$  : ベースプレートの底面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$Z$  : ベースプレートの半径軸に対する断面係数 (単位  $\text{mm}^3$ )

$K_{MH}$ 、 $M$ 、 $F_V$ 、 $W_V$  及び  $S_y$  : それぞれ[C.1.2.1](1)に規定する値

(2) ベースブロック形式の場合のベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

(1)に掲げる算式による。ただし、ベースブロックの構造に応じ、当該ベースブロックに生じる応力を考慮してベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度を算定することも可能である。

**[C.1.3] 応答塑性率**

スカート支持の塔類の各損傷モードに係る応答塑性率は、次の算式から得られた値とする。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 C.1-24}]$$

ここで、

- $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率、 $K_{MH} \leq K_y$  のときは  $\mu_p = 0$
- $K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度
- $K_y$  : 当該損傷モードに係る降伏震度
- $C$  : 附属書 B[B.3.1](2)に規定する値であって、スカート支持の塔類の各損傷モードに対しては次の値とする。
- (1) 胴板の損傷
    - ① 胴板の引張降伏に係る損傷 C=2.0
    - ② 胴板の圧縮座屈に係る損傷 C=2.0
  - (2) スカートの損傷
    - ① スカートの圧縮座屈に係る損傷 C=2.0
  - (3) 基礎ボルトの損傷
    - ① 基礎ボルトの引張降伏に係る損傷 C=1.0
  - (4) ベースプレートの損傷
    - ① ベースプレートの曲げ降伏に係る損傷 C=2.0

**[C.1.4] 許容塑性率**

スカート支持の塔類の各損傷モードに係る許容塑性率は以下のとおりとする。

- (1) 胴板の損傷
  - ① 胴板の引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa} = 1.0$
  - ② 胴板の圧縮座屈に係る損傷  $\mu_{pa} = 0.35$
- (2) スカートの損傷
  - ① スカートの圧縮座屈に係る損傷  $\mu_{pa} = 0.35$
- (3) 基礎ボルトの損傷
  - ① 基礎ボルトの引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa} = 1.8$
- (4) ベースプレートの損傷
  - ① ベースプレートの曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa} = 0.35$

**[C.1.5] 判定基準**

スカート支持の塔類の各損傷モードに対して、次式を満足する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa} \quad [\text{式 C.1-25}]$$

ここで、

- $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率

$\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに係る許容塑性率

2025年12月17日 Draft  
パブリックコメント用

## [C.2] レグ支持及びラグ支持の塔類

### [C.2.1] 損傷モード

#### [C.2.1.1] レグ支持塔

レグ支持塔は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

##### (1) 胴板の損傷

- ① 胴板の引張降伏
- ② 胴板の圧縮座屈

##### (2) レグの損傷

- ① レグの引張降伏
- ② レグの圧縮座屈
- ③ レグの曲げ降伏
- ④ レグのせん断降伏
- ⑤ レグの組合せ応力による降伏

##### (3) 基礎ボルトの損傷

- ① 基礎ボルトの引張降伏
- ② 基礎ボルトのせん断降伏
- ③ 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏

##### (4) レグ取付部の損傷

- ① レグ取付部の曲げ降伏

#### [C.2.1.2] ラグ支持塔

ラグ支持塔は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

##### (1) 胴板の損傷

- ① 胴板の引張降伏
- ② 胴板の圧縮座屈

##### (2) セットボルトの損傷

- ① セットボルトの引張降伏

## [C.2.2] レグ支持塔の降伏震度

### [C.2.2.1] 胴板の損傷モードに係る降伏震度

#### (1) 胴板の引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yIS} = K_{MH} \frac{S_y + \sigma_O}{\sigma_E}$$

[式 C.2-1]

ここで、

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$K_{yIS}$  : 当該検討位置における胴板の引張降伏に係る降伏震度

$\sigma_O$  及び  $\sigma_E$  : それぞれ次の算式から得られる値

$$\sigma_o = \left( \frac{W_V}{\pi D_m t} - \frac{P_0 D_m}{4t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.2-2}]$$

$$\sigma_E = \left( \frac{F_V}{\pi D_m t} + \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 C.2-3}]$$

ここで、

$M$  : 設計修正震度  $K_{MH}$  に対して当該検討位置に作用するモーメントの和 (偏心荷重のある場合は、当該荷重によるモーメントを考慮する。単位  $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$D_m$  : 当該検討位置における平均直径 (単位  $\text{mm}$ )

$P_0$  : 常用の圧力 (単位  $\text{MPa}$ )

$\theta$  : 当該検討位置における円すい部の頂角の  $1/2$  の値 (単位 度)

$W_V$  : 当該検討位置に作用する耐震設計構造物の自重と内容物の和 (単位  $\text{N}$ )

$F_V$  : 鉛直方向地震力で、次の算式から得られた値

$$F_V = K_{MV} W_V \quad [\text{式 C.2-4}]$$

ここで、

$K_{MV}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

$t$  : 当該検討位置における板厚 (腐れ代を除く。単位  $\text{mm}$ )

$S_y$  : 材料の設計温度及び常温における最小降伏点又は  $0.2\%$  耐力のいずれか小なる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

## (2) 胴板の圧縮座屈に係る降伏震度

$$K_{ycS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_o}{\sigma_E} \quad [\text{式 C.2-5}]$$

ここで

$K_{ycS}$  : 当該検討位置における胴板の圧縮座屈に係る降伏震度

$$S_c = S_e = \min(S_y, S_f, S') \quad [\text{式 C.2-6}]$$

$S'$  : 当該検討位置における胴板の圧縮応力で次の算式から得られた値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$S' = \frac{0.6Et}{\left( 1 + 0.004 \frac{E}{S_y} \right) D_m} \quad [\text{式 C.2-7}]$$

$E$  : 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_f$  :  $1.5$  とする。

$K_{MH}$ 、 $t$ 、 $D_m$ 、 $S_y$ 、 $\sigma_o$  及び  $\sigma_E$  : それぞれ(1)に規定する値

## [C.2.2.2] レグの損傷モードに係る降伏震度

### (1) レグの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{ytL} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{LO}}{\sigma_{aLE}} \quad [\text{式 C.2-8}]$$



ここで、

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$K_{yL}$  : 当該検討位置におけるレグの引張降伏に係る降伏震度

$F$  : レグの降伏応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{LO}$  及び  $\sigma_{aLE}$  : それぞれ次の算式から得られる値

$$\sigma_{LO} = \frac{W_V}{nA} \quad [\text{式 C.2-9}]$$

$$\sigma_{aLE} = \frac{1}{nA} \left( F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \right) \quad [\text{式 C.2-10}]$$

$n$  : レグの本数

$A$  : レグの断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$W_V$  : 運転重量 (単位  $\text{N}$ )

$F_V$  : 設計鉛直地震力であって、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$F_V = K_M W_V \quad [\text{式 C.2-11}]$$

$F_H$  : 設計水平地震力 (設計水平応答加速度から求められる水平方向地震力をいう。単位  $\text{N}$ )

$D$  : レグの中心からなる円の直径 (単位  $\text{mm}$ )

$H_2$  : ベースプレートから塔頭の重心までの高さ (単位  $\text{mm}$ )

(2)レグの圧縮座屈に係る降伏震度

$$K_{yL} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{LO}}{\sigma_{aLE}} \quad [\text{式 C.2-12}]$$

ここで、

$K_{yL}$  : 当該検討位置におけるレグの圧縮座屈に係る降伏震度

$F'$  : レグの圧縮応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$K_{MH}$ 、 $\sigma_{LO}$  及び  $\sigma_{aLE}$  : それぞれ(1)に規定する値

(3)レグの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{yL} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bLE}} \quad [\text{式 C.2-13}]$$

ここで、

$K_{yL}$  : 当該検討位置におけるレグの曲げ降伏に係る降伏震度

$\sigma_{bLE}$  : 次の算式から得られる値

$$\sigma_{bLE} = \frac{1.2F_H H_1 e}{n(I_1 + I_2)} \quad [\text{式 C.2-14}]$$

ここで、

$I_1$  : レグの強軸断面2次モーメント (単位  $\text{mm}^4$ )

$I_2$  : レグの弱軸断面2次モーメント (単位  $\text{mm}^4$ )

$H_1$  : レグの長さ (単位  $\text{mm}$ )

- $e$  : レグの中立軸から外縁までの距離の最大値 (単位 mm)  
 $n$  及び  $F_H$  : それぞれ(1)に規定する値  
 $K_{MH}$  及び  $F$  : それぞれ(1)に規定する値

## (4)レグのせん断降伏に係る降伏震度

$$K_{ysL} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\sigma_{sLE}} \quad [\text{式 C.2-15}]$$

ここで、

- $K_{ysL}$  : 当該検討位置におけるレグのせん断降伏に係る降伏震度  
 $K_{MH}$  及び  $F$  : それぞれ(1)に規定する値  
 $\sigma_{sLE}$  : 次の算式から得られる値

$$\sigma_{sLE} = \frac{F_H}{nA} \quad [\text{式 C.2-16}]$$

$n$ 、 $A$  及び  $F_H$  : それぞれ(1)に規定する値

## (5)レグの組合せ応力による降伏に係る降伏震度

## (a) 圧縮応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{yckL} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{LO}}{F'}}{\frac{\sigma_{aLE}}{F'} + \frac{\sigma_{bLE}}{F}} \quad [\text{式 C.2-17}]$$

## (b) 引張応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{ytkL} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{LO}}{\sigma_{LE}} \quad [\text{式 C.2-18}]$$

ここで、

$\sigma_{LE}$  : 次の算式から得られる値

$$\sigma_{LE} = \sigma_{aLE} + \sigma_{bLE} \quad [\text{式 C.2-19}]$$

$\sigma_{aLE}$  : (1)に規定する値

$\sigma_{bLE}$  : (3)に規定する値

## (c) 圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{ymL} = K_{MH} \frac{-\sigma_{LO}\sigma_{LE} + \sqrt{(\sigma_{LO}\sigma_{LE})^2 - (\sigma_{LE}^2 + 3\sigma_{sLE}^2)(\sigma_{LO}^2 - F^2)}}{\sigma_{LE}^2 + 3\sigma_{sLE}^2} \quad [\text{式 C.2-20}]$$

ここで、

$K_{yckL}$  : 当該検討位置におけるレグの圧縮応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{ytkL}$  : 当該検討位置におけるレグの引張応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

- $K_{yML}$  : 当該検討位置におけるレグの圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度
- $K_{MH}$ 、 $F$  及び  $\sigma_{LO}$  : それぞれ(1)に規定する値
- $\sigma_{sLE}$  : (4)に規定する値
- $\sigma_{LE}$  : (5)(b)に規定する値

### [C.2.2.3] 基礎ボルトの損傷モードに係る降伏震度

(1)基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{BO}}{\sigma_{iBE}} \quad [\text{式 C.2-21}]$$

ここで、

$K_{yB}$  : 当該検討位置における基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$F$  : ボルトの降伏応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{BO}$  : 運転重量による基礎ボルト応力で、次の算式より得られる値。

$$\sigma_{BO} = j_B W_V \quad [\text{式 C.2-22}]$$

$\sigma_{iBE}$  : 設計地震力による基礎ボルトの引き抜き力

$$\sigma_{iBE} = j_B \left( F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \right) \quad [\text{式 C.2-23}]$$

$W_V$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $H_2$  及び  $D$  : それぞれ[C.2.2.2](1)に規定する値

$j_B$  : 次の算式から得られる値

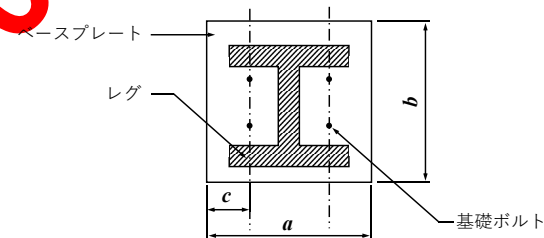
i)  $P \geq 0$  の場合

$$j_B = \frac{e + \frac{a}{2} - c}{a - 2c} \cdot \frac{2}{n n_a A_b} \quad [\text{式 C.2-24}]$$

ii)  $P < 0$  の場合

$$j_B = \frac{1}{n} \frac{0.48 \left( e + \frac{a}{6} + \frac{c}{3} \right)}{a - c} \left\{ \frac{15}{b(a - c)} + \frac{2}{n_a A_b} \right\} \quad [\text{式 C.2-25}]$$

$a$ 、 $b$  及び  $c$  : それぞれ[図 C.2-1]に示す寸法 (単位  $\text{mm}$ )



[図 C.2-1]

$n$  : [C.2.2.2](1)に規定する値

$n_a$  : レグ 1 本当たりの基礎ボルト本数

$A_b$  : 基礎ボルトの有効断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$e$  : 次の算式により得られる値 (単位  $\text{mm}$ )

$$e = \frac{1}{P} \cdot \frac{1.2I_1}{I_1 + I_2} \cdot F_H H_1 \quad [\text{式 C.2-26}]$$

$P$  : ベースプレートに作用する引抜力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$P = -W_V + F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \quad [\text{式 C.2-27}]$$

$I_1$ 、 $I_2$  及び  $H_1$  : それぞれ[C.2.2.2](3)に規定する値

## (2)基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\sigma_{sBE}} \quad [\text{式 C.2-28}]$$

ここで、

$K_{ysB}$  : 当該検討位置における基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$\sigma_{sBE}$  : 次の算式から得られる値

$$\sigma_{sBE} = \frac{F_H}{n n_a A_b} \quad [\text{式 C.2-29}]$$

$n$  及び  $F_H$  : それぞれ[C.2.2.2](1)に規定する値

$n_a$  及び  $A_b$  : それぞれ(1)に規定する値

$K_{MH}$  及び  $F$  : それぞれ(1)に規定する値

## (3)基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{ytsB} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_{BO}}{\sigma_{tBE} + \sigma_{sBE}} \quad [\text{式 C.2-30}]$$

$K_{ytsB}$  : 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$ 、 $F_b$ 、 $\sigma_{BO}$  及び  $\sigma_{tBE}$  : それぞれ(1)に規定する値

$\sigma_{sBE}$  : それぞれ(2)に規定する値

## [C.2.2.4] レグ取付部の損傷モードに係る降伏震度

### (1)レグ取付部の曲げ降伏に係る降伏震度

#### (a)円筒部にレグが取付いている場合

レグ取付部の曲げ降伏に係る降伏震度は、次の算式により得られる値とする。

$$K_{ybc} = \frac{Q_{ybc}}{W_H} \quad [\text{式 C.2-31}]$$

ここで、

$K_{ybc}$  : レグ取付部の曲げ降伏に係る降伏震度

$W_H$  : 運転重量 (単位  $\text{N}$ )

$Q_{ybc}$  : 外殻脚取付部の鏡板曲げ降伏により決まる耐力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N}$ )

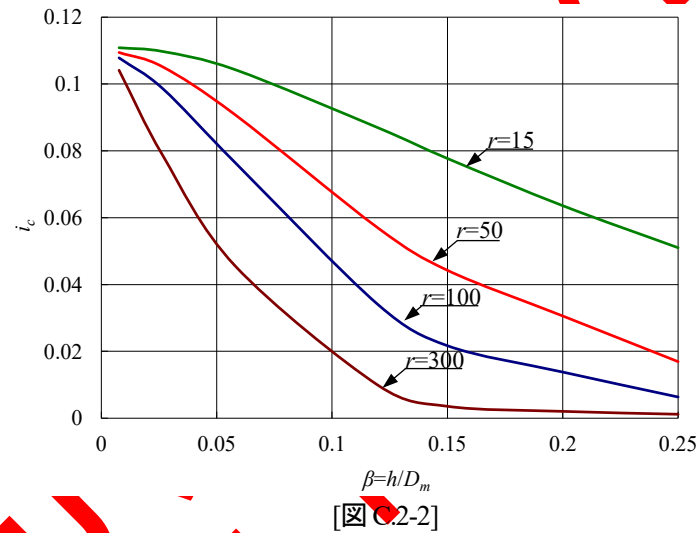
$$Q_{ybc} = \frac{n\beta D_m t^2}{8H_1 i_c} S_y \quad [\text{式 C.2-32}]$$

$n$  : [C.2.2.2](1)に規定する値  
 $D_m$  及び  $t$  : それぞれ[C.2.2.1](1)に規定する値  
 $H_1$  : [C.2.2.2](3)に規定する値  
 $S_y$  : 鏡板材の降伏点 (単位 N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta$  : 次の算式により得られる値

$$\beta = h / D_m \quad [\text{式 C.2-33}]$$

$h$  : 補強板の高さ (単位 mm)  
 $i_c$  : 応力指数で[図 C.2-2]による。  
 $r$  : 次の算出により得られる値

$$r = 0.5 D_m / t \quad [\text{式 C.2-34}]$$



[図 C.2-2]

(b) 鏡板にレグが取付いている場合

レグ取付部の曲げ降伏に係る降伏震度は、次の算式により得られる値とする。

$$K_{ybH} = \frac{Q_{ybH}}{W_H} \quad [\text{式 C.2-35}]$$

ここで、

$K_{ybH}$  : レグ取付部の曲げ降伏に係る降伏震度

$W_H$  : 運転重量 (単位 N)

$Q_{ybH}$  : 外殻脚取付部の鏡板曲げ降伏により決まる耐力で、 $Q_{ybH}$  は  $Q_{y1}$  又は  $Q_{y2}$  の最小値とする。

ただし、2重殻貯槽においては、 $Q_{y1}$  又は  $Q_{y2}$  の最小値の3倍の値とする。(単位 N)

$Q_{y1}$  : レグに作用する曲げモーメントによる鏡板の曲げ降伏に係る降伏耐力で、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$Q_{y1} = \frac{nM}{H_1} \quad [\text{式 C.2-36}]$$

$M$  : 次の算式から得られる値

$$M = \frac{M_X \sqrt{R_m t_h}}{i_{s2}} \quad [\text{式 C.2-37}]$$

$M_X$  : 次の算式から得られる値

$$M_X = 1.5 \frac{t_h^2}{6} S_y \quad [\text{式 C.2-38}]$$

$t_h$  : 鏡板厚さであって、[図 C.2-3]による。(単位 mm)

$S_y$  : (a)に規定する値

$R_m$  : 次式により得られる値 (単位 mm)

$$R_m = \frac{D_o}{8} \cdot \left[ 4 - 3 \left( \frac{D}{D_o} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad [\text{式 C.2-39}]$$

$D$  : レグの中心径であって、[図 C.2-3]による。(単位 mm)

$D_o$  : 胴外径 であって、[図 C.2-3]による。(単位 mm)

$i_{s2}$  : 脚曲げモーメントに関する応力指数で、[図 C.2-5]による。

$n$  : [C.2.2.2](1)に規定する値

$H_1$  : [C.2.2.2](3)に規定する値

$Q_{y2}$  : レグに作用する軸力による鏡板の曲げ降伏に係る降伏耐力で、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$Q_{y2} = \frac{D \sqrt{4B^2 + D^2}}{[8(H_2 - H_1) \cdot B + D^2]} \cdot n \cdot P \quad [\text{式 C.2-40}]$$

$P$  : 次の算式から得られる値

$$P = \frac{M_X}{i_{s1}} \quad [\text{式 C.2-41}]$$

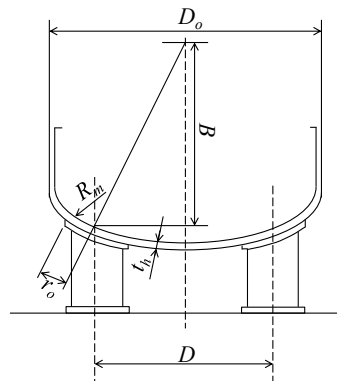
$i_{s1}$  : 脚軸力に関する応力指数で、[図 C.2-4]から求まる値

$B$  : 次式により得られる値 (単位 mm)

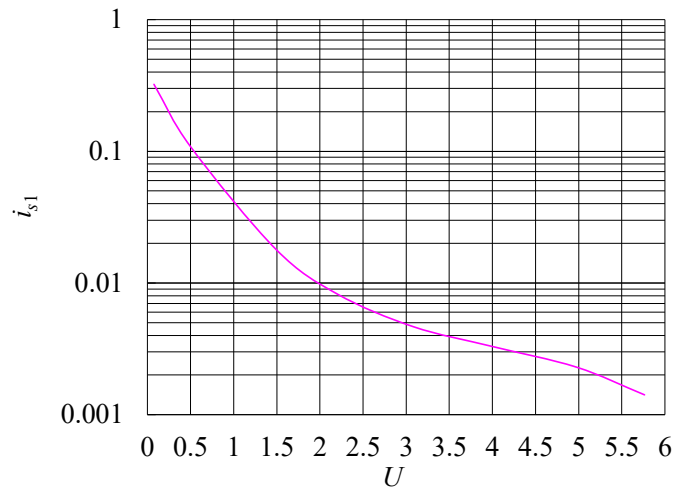
$$B = D_o \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D}{D_o} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad [\text{式 C.2-42}]$$

$H_2$  : [C.2.2.2](1)に規定する値

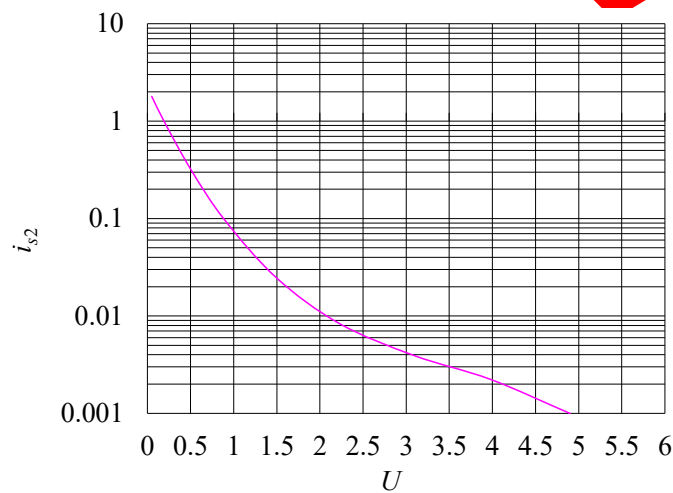
$H_1$ 、 $D$ 、 $D_o$ 、 $M_X$  : それぞれ  $Q_{y1}$  で規定する値



[図 C.2-3]



[図 C.2-4] 鏡板の曲げ降伏に係る応力指数



[図 C.2-5] 鏡板の曲げ降伏に係る応力指数

[図 C.2-4]及び[図 C.2-5]中の  $U$  は、次の算式で得られる係数

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m t}}$$

[式 C.2-43]

ここで、

$r_o$  : レグ当板の半径 (単位 mm) であって、[図 C.2-3]による。

$t$  : [C.2.2.1](1)に規定する値

### [C.2.3] ラグ支持塔の降伏震度

#### [C.2.3.1] 胴板の損傷モードに係る降伏震度

(1)胴板の引張降伏に係る降伏震度

[C.1.2.1](1)の規定による。

(2)胴板の圧縮座屈に係る降伏震度

[C.1.2.1](2)の規定による。



**[C.2.3.2] セットボルトの損傷モードに係る降伏震度**

(1)セットボルトの引張降伏に係る降伏震度

[C.1.2.3](1)の規定を準用する。

**[C.2.4] 応答塑性率**

レグ支持及びラグ支持の塔類の各損傷モードに係る応答塑性率は、次の算式から得られた値とする。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 C.2-44}]$$

ここで、

 $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率、 $K_{MH} \leq K_y$  のときは  $\mu_p = 0$  $K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度 $K_y$  : 当該損傷モードに係る降伏震度 $C$  : 附属書 B[B.3.1](2)に規定する値であって、レグ支持の塔類の各損傷モードに対しては [C.2.4.1]、ラグ支持の塔類の各損傷モードに対しては [C.2.4.2] とする。**[C.2.4.1] レグ支持塔**

(1)胴板の損傷

①胴板の引張降伏に係る損傷 C=2.0②胴板の圧縮座屈に係る損傷 C=2.0

(2)レグの損傷

①レグの引張降伏に係る損傷 C=2.0②レグの圧縮座屈に係る損傷 C=2.0③レグの曲げ降伏に係る損傷 C=2.0④レグのせん断降伏に係る損傷 C=2.0⑤レグの圧縮応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る損傷 C=2.0⑥レグの引張応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る損傷 C=2.0⑦レグの圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷 C=2.0

(3)基礎ボルトの損傷

①基礎ボルトの引張降伏に係る損傷 C=1.0②基礎ボルトのせん断降伏に係る損傷 C=2.0③基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷 C=1.0

(4)レグ取付部の損傷

①レグ取付部の曲げ降伏に係る損傷 C=2.0**[C.2.4.2] ラグ支持塔**

(1)胴板の損傷

①胴板の引張降伏に係る損傷 C=2.0②胴板の圧縮座屈に係る損傷 C=2.0

## (2) セットボルトの損傷

- ① セットボルトの引張降伏に係る損傷

 $C=1.0$ **[C.2.5] 許容塑性率**

レグ支持及びラグ支持の塔類の各種損傷モードに対する許容塑性率  $\mu_{pa}$  は次による。

**[C.2.5.1] レグ支持塔**

## (1) 胴板の損傷

- ① 胴板の引張降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ② 胴板の圧縮座屈に係る損傷

 $\mu_{pa}=0.35$ 

## (2) レグの損傷

- ① レグの引張降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ② レグの圧縮座屈に係る損傷

 $\mu_{pa}=0.35$ 

- ③ レグの曲げ降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ④ レグのせん断降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ⑤ レグの圧縮応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=0.35$ 

- ⑥ レグの引張応力及び曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ⑦ レグの圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=0.35$ 

## (3) 基礎ボルトの損傷

- ① 基礎ボルトの引張降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.8$ 

- ② 基礎ボルトのせん断降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ③ 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.8$ 

## (4) レグ取付部の損傷

- ① レグ取付部の曲げ降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ **[C.2.5.2] ラグ支持塔**

## (1) 胴板の損傷

- ① 胴板の引張降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.0$ 

- ② 胴板の圧縮座屈に係る損傷

 $\mu_{pa}=0.35$ 

## (2) セットボルトの損傷

- ① セットボルトの引張降伏に係る損傷

 $\mu_{pa}=1.8$ **[C.2.6] 判定基準**

レグ支持及びラグ支持の塔類の各損傷モードに対して、次式を満足する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

[式 C.2-45]

ここで、

$\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率  
 $\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに係る許容塑性率

20251217 Draft  
パブリックコメント用

### [C.3] 球形貯槽

#### [C.3.1] 損傷モード

球形貯槽は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

##### (1) 上部支柱の損傷

- ① 上部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏
- ② 上部支柱のせん断降伏
- ③ 上部支柱の圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏

##### (2) 下部支柱の損傷

- ① 下部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏

##### (3) タイロッドブレースの損傷

- ① タイロッドブレースの引張降伏

##### (4) 鋼管ブレースの損傷

- ① 鋼管ブレースの引張降伏
- ② 鋼管ブレースの圧縮座屈あるいは降伏

##### (5) 基礎ボルトの損傷

- ① 基礎ボルトの引張降伏
- ② 基礎ボルトのせん断降伏
- ③ 基礎ボルトの引張及びせん断応力の組合せ応力による降伏

##### (6) シアープレートの損傷

- ① シアープレートの曲げ降伏
- ② シアープレートのせん断降伏
- ③ シアープレートの曲げ及びせん断応力の組合せ応力による降伏

##### (7) ベースプレートの損傷

- ① 基礎コンクリートの支圧力によるベースプレートの曲げ降伏
- ② 基礎ボルトに作用する引抜力によるベースプレートの曲げ降伏

### [C.3.2] 降伏震度

#### [C.3.2.1] 上部支柱の損傷モードに係る降伏震度

##### (1) 上部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る降伏震度

上部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る降伏震度  $K_{yu}$  は次式のうちの最も小さい値とする。

$$K_{yc} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cE}}{\sigma_{cE}} \quad [\text{式 C.3-1}]$$

$$K_{ybG} = K_{MH} \frac{S}{\sigma_{GE}} \quad [\text{式 C.3-2}]$$

$$K_{ybO} = K_{MH} \frac{S}{\sigma_{OE}} \quad [\text{式 C.3-3}]$$

$$K_{yG} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{cE}}{S_c} + \frac{\sigma_{GE}}{S_y}} \quad [\text{式 C.3-4}]$$

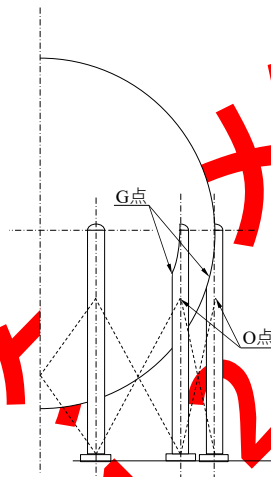
$$K_{yO} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{cE}}{S_c} + \frac{\sigma_{OE}}{S_y}} \quad [\text{式 C.3-5}]$$

ここで、

$K_{yc}$  : 上部支柱の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$K_{ybG}$  : 上部支柱の  $G$  点 ([図 C.3-1]) の曲げ降伏に係る降伏震度

$K_{ybO}$  : 上部支柱の  $O$  点 ([図 C.3-1]) の曲げ降伏に係る降伏震度



[図 C.3-1] 上部支柱の損傷検討箇所

$K_{yG}$  : 上部支柱の  $G$  点の圧縮と曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{yO}$  : 上部支柱の  $O$  点の圧縮と曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$S_c$  : 上部支柱の圧縮側の降伏応力で次の値

i) 当板なしの場合

$$S_c = \min(S_y, S_f S') \quad [\text{式 C.3-6}]$$

ここで、

$S_y$  : 材料の設計温度又は常温における最小降伏点又は 0.2%耐力のいずれか小なる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_f$  : 1.5

$$S' = \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad [\text{式 C.3-7}]$$

$E$  : 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$D_m$  : 上部支柱の平均直径 (単位  $\text{mm}$ )

$t$  : 上部支柱の板厚 (単位  $\text{mm}$ )

ii) 当板ありの場合

$$S_c = \min(F, F') \quad [\text{式 C.3-8}]$$

$F$  : 材料の降伏点又は 0.2% 耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$F'$  : 材料の有効細長比を考慮した座屈検討圧縮応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{cN}$  : 通常荷重による上部支柱の圧縮応力で次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cN} = \frac{W_V}{nA_{CU}} \quad [\text{式 C.3-9}]$$

$\sigma_{cE}$  : 地震荷重による上部支柱の圧縮応力で次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cE} = \frac{1}{nA_{CU}} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_2)F_H}{D_B^2} \right\} \quad [\text{式 C.3-10}]$$

$n$  : 支柱の本数

$A_{CU}$  : 上部支柱の断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$W_V$  : 運転重量 (単位  $\text{N}$ )

$F_V$  : 設計鉛直地震力であって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$F_V = K_{MV} W_V \quad [\text{式 C.3-11}]$$

$K_{MV}$  : 附属書 B[B.3.1](1) による当該耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

$D_B$  : 支柱の中心からなる円の直径 (単位  $\text{mm}$ )

$L$  : 隣り合った支柱間の距離 (単位  $\text{mm}$ )

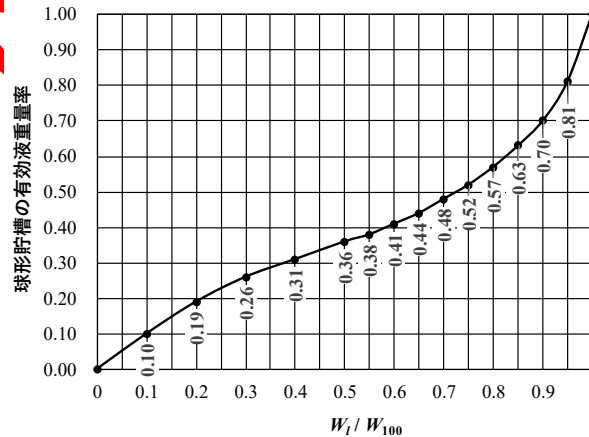
$H_C$  : ベースプレートから球殻の中心までの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$H_2$  : ベースプレートからブレースの取付け位置までの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$F_H$  : 設計水平地震力であって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$F_H = K_{MH} W_H \quad [\text{式 C.3-12}]$$

$W_H$  : 運転重量であって、当該耐震設計設備の自重とその内容液の有効重量 (内容液重量に [図 C.3-2] により求められる有効液重量率を乗じた値とする。) との和 (単位  $\text{N}$ )



[図 C.3-2] 有効液重量率

備考 この図において  $W_l$  及び  $W_{100}$  は、それぞれ次の値を表す。

$W_l$  : 内容液の重量 (単位 N)

$W_{100}$  : 内容液を 100% 充填したときの内容液の重量 (単位 N)

$\sigma_{GE}$  : 地震荷重による上部支柱の  $G$  点の曲げ応力で次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{GE} = \frac{|M_{G1} + M_{G2}|}{Z_{CU}} \quad [\text{式 C.3-13}]$$

$\sigma_{OE}$  : 地震荷重による上部支柱の  $O$  点の曲げ応力で次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{OE} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CU}} \quad [\text{式 C.3-14}]$$

$Z_{CU}$  : 上部支柱の断面係数 (単位  $\text{mm}^3$ )

$M_{G1}$ 、 $M_{G2}$ 、 $M_{O1}$  及び  $M_{O2}$  : それぞれ次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}\cdot\text{mm}$ )

$$\begin{aligned} M_{G1} &= \frac{\lambda_c \{(1 - \lambda_c^2) H_1 - (3 - \lambda_c^2) L_w\} S_H}{2} \\ M_{G2} &= \frac{K_c (H_1 - L_w) F_H}{K} \\ M_{O1} &= \frac{\lambda_c (1 - \lambda_c^2)^2 (2 + \lambda_c) H_1 S_H}{2} \\ M_{O2} &= \frac{K_c \lambda_c H_1 F_H}{K} \end{aligned} \quad [\text{式 C.3-15}]$$

$\lambda_c$  : 次の算式により得られる値

$$\lambda_c = \frac{H_2}{H_1} \quad [\text{式 C.3-16}]$$

$H_1$  : 支柱の有効高さであって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{mm}$ )

$$H_1 = H_c - L_w \quad [\text{式 C.3-17}]$$

$$L_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D_c D_s}{2}} \quad [\text{式 C.3-18}]$$

$D_c$  : 上部支柱の外径 (単位  $\text{mm}$ )

$D_s$  : 球殻の内径 (単位  $\text{mm}$ )

$K$  : 水平剛性 (単位  $\text{N/mm}$ )

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad [\text{式 C.3-19}]$$

$K_1$  及び  $K_2$  : それぞれ次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}$ )

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{3nEA_{CL} D_B^2}{8H_c^3} \\ K_2 &= nK_c \left( \frac{2C_1}{C_2 + \frac{4LK_c}{EA}} + 1 \right) \end{aligned} \quad [\text{式 C.3-20}]$$



$$K_C = \frac{3EI_C}{H_1^3} \quad [\text{式 C.3-21}]$$

$$A = \frac{1}{\frac{C_3}{A_B \cos^3 \theta} + \frac{C_4 \tan^3 \theta}{A_{CL}}} \quad [\text{式 C.3-22}]$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \lambda_c^2 (3 - \lambda_c^2)^2 \quad [\text{式 C.3-23}]$$

$$C_2 = \lambda_c^2 (1 - \lambda_c)^3 (3 + \lambda_c)$$

$E$  : 下部支柱の材料の縦弾性係数 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$A_{CL}$  : 下部支柱の断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$I_C$  : 下部支柱の断面 2 次モーメント (単位  $\text{mm}^4$ )

$A_B$  : ブレースの断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$\theta$  : ブレースの仰角 (単位 度)

$C_3$  及び  $C_4$  : ブレースの種類に応じ、それぞれ[表 C.3-1]に掲げる値

[表 C.3-1]  $C_3$ 、 $C_4$  の値

種類 記号	タイロッド ブレース	鋼管 ブレース
$C_3$	1.0	0.5
$C_4$	1.0	0

$S_H$  : 次の算式により得られる値

$$S_H = \frac{4\sqrt{C_1} E A K_C F_H}{(C_2 E A + 4 L K_C) K} \quad [\text{式 C.3-24}]$$

(2) 上部支柱のせん断降伏に係る降伏震度

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{S_y / \sqrt{3}}{\tau_E} \quad [\text{式 C.3-25}]$$

ここで、

$K_{ys}$  : 上部支柱のせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_E$  : 地震荷重による上部支柱のせん断応力で、次の算式により与えられるもの (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_E = \frac{2(\sqrt{C_1} K S_H + K_C F_H)}{A_{CU} K} \quad [\text{式 C.3-26}]$$

$K_{MH}$ 、 $S_y$ 、 $S_H$ 、 $F_H$ 、 $C_1$ 、 $K$ 、 $K_C$  及び  $A_{CU}$  : それぞれ(1)に規定する値

(3) 上部支柱の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

上部支柱の圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度  $K_{yC}$  は次式のうちの小さい方の値とする。

$$K_{ymG} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{GE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 - \{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2} \quad [\text{式 C.3-27}]$$

$$K_{ymO} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{OE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 - \{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2} \quad [\text{式 C.3-28}]$$

ここで、

$K_{ymG}$  : 上部支柱の  $G$  点 ([図 C.3-1]) の圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{ymO}$  : 上部支柱の  $O$  点 ([図 C.3-1]) の圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$ 、 $\sigma_{cN}$ 、 $\sigma_{cE}$ 、 $\sigma_{GE}$ 、 $\sigma_{OE}$ 、 $\tau_E$  及び  $S_y$  : それぞれ(1)又は(2)に規定する値

### [C.3.2.2] 下部支柱の損傷モードに係る降伏震度

(1)下部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る降伏震度

下部支柱の圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る降伏震度  $K_{yL}$  は次式のうちの最も小さい値とする。

$$K_{ycA} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cAE}} \quad [\text{式 C.3-29}]$$

$$K_{ybA} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bAE}} \quad [\text{式 C.3-30}]$$

$$K_{yA} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'}}{\frac{\sigma_{cAE}}{F'} + \frac{\sigma_{bAE}}{F}} \quad [\text{式 C.3-31}]$$

$$K_{ycB} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cBE}} \quad [\text{式 C.3-32}]$$

$$K_{ybB} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bBE}} \quad [\text{式 C.3-33}]$$

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'}}{\frac{\sigma_{cBE}}{F'} + \frac{\sigma_{bBE}}{F}} \quad [\text{式 C.3-34}]$$

ここで、

$K_{ycA}$  : [図 C.3-3]の  $A$  柱の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$K_{ybA}$  :  $A$  柱の曲げ降伏に係る降伏震度

$K_{yA}$  :  $A$  柱の圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{ycB}$  : [図 C.3-3]の  $B$  柱の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$K_{ybB}$  :  $B$  柱の曲げ降伏に係る降伏震度

$K_{yB}$  :  $B$  柱の圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$F$  : 下部支柱の材料の降伏点又は 0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$F'$  : 下部支柱の材料の有効細長比を考慮した座屈検討圧縮応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{cLN}$  : 通常荷重による下部支柱の圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cLN} = \frac{W_V}{nA_{CL}} C_5 \quad [\text{式 C.3-35}]$$

$\sigma_{cAE}$  : 地震荷重による  $A$  柱の圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cAE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) C_5 + \frac{0.67 C_4 S_H \tan \theta}{A_{CL}} \quad [\text{式 C.3-36}]$$

$C_5$  : 次の算式により得られる値

$$C_5 = C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta}{A_{CL}} + 1} \quad [\text{式 C.3-37}]$$

$\sigma_{bAE}$  : 地震荷重による  $A$  柱の曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bAE} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CL}} \quad [\text{式 C.3-38}]$$

$Z_{CL}$  : 下部支柱の断面係数 (単位  $\text{mm}^3$ )

$\sigma_{cBE}$  : 地震荷重による  $B$  柱の圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

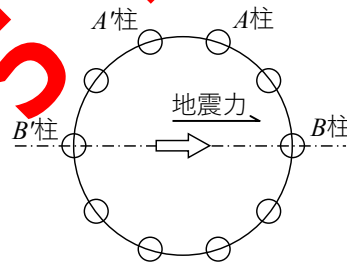
$$\sigma_{cBE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) C_5 + \frac{0.67 C_4 S_H \tan \theta}{A_{CL}} \quad [\text{式 C.3-39}]$$

$\sigma_{bBE}$  : 地震荷重による  $B$  柱の曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bBE} = \frac{\left| 2C_4 M_{O1} \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) - M_{O2} \right|}{Z_{CL}} \quad [\text{式 C.3-40}]$$

$K_{MH}$ 、 $W_V$ 、 $n$ 、 $A_{CL}$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $H_C$ 、 $L$ 、 $D_B$ 、 $C_4$ 、 $S_H$ 、 $\theta$ 、 $A_B$ 、 $M_{O1}$  及び  $M_{O2}$

: それぞれ[C.3.2.1]に規定する値



[図 C.3-3] 下部支柱

### [C.3.2.3] タイロッドブレースの損傷モードに係る降伏震度

(1) タイロッドブレースの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yT} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{TE}} \quad [\text{式 C.3-41}]$$

$K_{yT}$  : タイロッドブレースの引張降伏に係る降伏震度

$F$  : タイロッドブレースの材料の降伏点又は0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{TE}$  : 地震荷重によるタイロッドブレースの引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{TE} = \frac{S_H}{A_B \cos \theta} \quad [\text{式 C.3-42}]$$

$K_{MH}$ 、 $S_H$ 、 $A_B$  及び  $\theta$  : それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

#### [C.3.2.4] 鋼管ブレースの損傷モードに係る降伏震度

(1) 鋼管ブレースの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yIP} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{cPN}}{\sigma_{iPE}} \quad [\text{式 C.3-43}]$$

ここで、

$K_{yIP}$  : 鋼管ブレースの引張降伏に係る降伏震度

$F$  : 鋼管ブレースの材料の降伏点又は 0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{cPN}$  : 通常荷重による鋼管ブレースの圧縮応力で、次の算式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cPN} = \frac{W_V \sin^2 \theta}{n(2A_B \sin^3 \theta + A_{CL})} \quad [\text{式 C.3-44}]$$

$\sigma_{iPE}$  : 地震荷重による鋼管ブレースの引張応力で、次の算式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{iPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos \theta} - \frac{1}{n} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_2)F_H}{D_B^2} \right\} \frac{\sin^2 \theta}{2A_B \sin^3 \theta + A_{CL}} \quad [\text{式 C.3-45}]$$

$K_{MH}$ 、 $W_V$ 、 $\theta$ 、 $A_B$ 、 $A_{CL}$ 、 $S_H$ 、 $F_V$ 、 $L$ 、 $n$ 、 $H_C$ 、 $F_H$ 、 $H_2$  及び  $D_B$   
: それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

(2) 鋼管ブレースの圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$$K_{ycP} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cPE}}{\sigma_{cPE}} \quad [\text{式 C.3-46}]$$

ここで、

$K_{ycP}$  : 鋼管ブレースの圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$F'$  : 鋼管ブレースの材料の有効細長比を考慮した座屈検討圧縮応力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{cPE}$  : 地震荷重による鋼管ブレースの圧縮応力で、次の算式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos \theta} + \frac{1}{n} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_2)F_H}{D_B^2} \right\} \frac{\sin^2 \theta}{2A_B \sin^3 \theta + A_{CL}} \quad [\text{式 C.3-47}]$$

$K_{MH}$ 、 $S_H$ 、 $A_B$ 、 $\theta$ 、 $n$ 、 $F_V$ 、 $L$ 、 $H_C$ 、 $F_H$ 、 $H_2$ 、 $D_B$  及び  $A_{CL}$   
: それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

#### [C.3.2.5] 基礎ボルトの損傷モードに係る降伏震度

(1) 基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度  $K_{yIB}$  は次式のうちの小さい方の値とする。

$$K_{yIB} = K_{MH} \frac{F + \sigma_N}{\sigma_{tIE}} \quad [\text{式 C.3-48}]$$

$$K_{ytB'} = K_{MH} \frac{F + \sigma_N}{\sigma_{tB'E}} \quad [\text{式 C.3-49}]$$

ここで、

$K_{ytA'}$  : [図 C.3-3]の  $A$  柱の基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$K_{ytB'}$  : [図 C.3-3]の  $B$  柱の基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$F$  : 基礎ボルトの材料の降伏点又は 0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_N$  : 基礎ボルトの通常時荷重による圧縮応力で、次の算式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_N = \frac{W_V}{n \cdot n_a A_b} \quad [\text{式 C.3-50}]$$

$\sigma_{tA'E}$  : 地震荷重による  $A$  柱の基礎ボルトの引張応力で、次の算式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tA'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) + 0.4C_4 S_H \tan \theta \right\} \quad [\text{式 C.3-51}]$$

$\sigma_{tB'E}$  : 地震荷重による  $B$  柱の基礎ボルトの引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tB'E} = \frac{1}{n \cdot n_a A_b} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \quad [\text{式 C.3-52}]$$

$n_a$  : 支柱 1 本あたりの基礎ボルトの本数

$A_b$  : 基礎ボルトの有効断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$K_{MH}$ ,  $W_V$ ,  $n$ ,  $F_V$ ,  $F_H$ ,  $H_C$ ,  $L$ ,  $D_B$ ,  $C_4$ ,  $S_H$  及び  $\theta$  : それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

## (2)基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度  $K_{ysB}$  は次式のうちの小さい方の値とする。

$$K_{ysA'} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_{A'E}} \quad [\text{式 C.3-53}]$$

$$K_{ysB'} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_{B'E}} \quad [\text{式 C.3-54}]$$

ここで、

$K_{ysA'}$  : [図 C.3-3]の  $A$  柱の基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$K_{ysB'}$  : [図 C.3-3]の  $B$  柱の基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_{A'E}$  : 地震荷重による  $A$  柱のせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{A'E} = \frac{Q_{A'}}{n_a A_b} \quad [\text{式 C.3-55}]$$

$Q_{A'}$  :  $A$  柱の基礎ボルトに作用するせん断力であって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_C F_H}{K} \quad [\text{式 C.3-56}]$$

$\tau_{B'E}$  : 地震荷重による  $B$  柱のせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{B'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ 2C_3 S_H \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) + \frac{K_C F_H}{K} \right\} \quad [\text{式 C.3-57}]$$

$K_{MH}$ ,  $F$ ,  $C_3$ ,  $S_H$ ,  $n$ ,  $K_C$ ,  $F_H$  及び  $K$  : それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

$n_a$  及び  $A_b$  : それぞれ(1)に規定する値

(3)基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度  $K_{ymA}$  は次式のうちの小さい方の値とする。

$$K_{ymA'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tA'E} + 1.6\tau_{A'E}} \quad [\text{式 C.3-58}]$$

$$K_{ymB'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tB'E} + 1.6\tau_{B'E}} \quad [\text{式 C.3-59}]$$

ここで、

$K_{ymA'}$  :  $A$ 柱の基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{ymB'}$  :  $B$ 柱の基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : [C.3.2.1]に規定する値

$F$ 、 $\sigma_N$ 、 $\sigma_{tA'E}$ 、 $\tau_{A'E}$ 、 $\sigma_{tB'E}$  及び  $\tau_{B'E}$  : それぞれ(1)及び(2)に規定する値

[C.3.2.6] シアープレートの損傷モードに係る降伏震度

(1)シアープレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{ybs} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bE}} \quad [\text{式 C.3-60}]$$

ここで、

$K_{ybs}$  : シアープレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$F$  : シアープレートの材料の降伏点又は0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{bE}$  : 地震荷重によりシアープレートに生じる曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bE} = 3 \frac{Q_s}{2ab} \cdot \frac{b^2}{t^2} \quad [\text{式 C.3-61}]$$

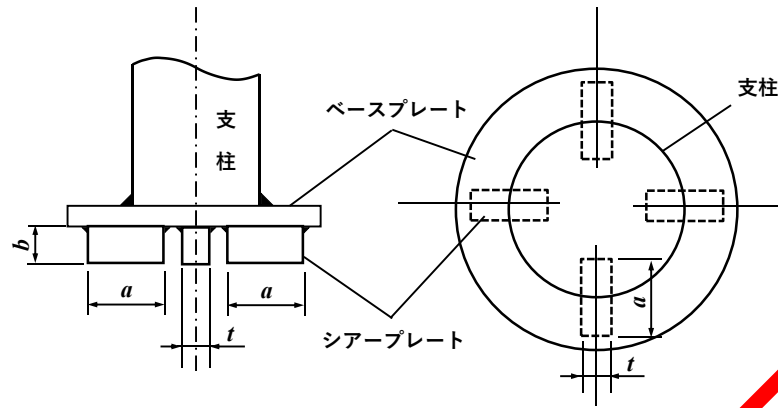
$a$  : [図 C.3-4]に示すシアープレートの長さ (単位  $\text{mm}$ )

$b$  : [図 C.3-4]に示すシアープレートの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$t$  : シアープレートの板厚 (単位  $\text{mm}$ )

$Q_s$  : [C.3.2.5]に規定する値

$K_{MH}$  : [C.3.2.1]に規定する値



[図 C.3-4] シアープレート

(2) シアープレートのせん断降伏に係る降伏震度

$$K_{ysS} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_E} \quad [\text{式 C.3-62}]$$

ここで、

$K_{ysS}$  : シアープレートのせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_E$  : 地震荷重によりシアープレートに生じるせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_E = \frac{Q_A}{2at} \quad [\text{式 C.3-63}]$$

$K_{MH}$  : [C.3.2.1]に規定する値

$F$ 、 $Q_A$ 、 $a$  及び  $t$  : それぞれ(1)に規定する値

(3) シアープレートの曲げ及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{ymS} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2}} \quad [\text{式 C.3-64}]$$

ここで、

$K_{ymS}$  : シアープレートの曲げ及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : [C.3.2.1]に規定する値

$F_S$ 、 $\sigma_{bE}$  及び  $\tau_E$  : それぞれ(1)、(2)に規定する値

### [C.3.2.7] ベースプレートの損傷モードに係る降伏震度

(1) 基礎コンクリートの支圧力によるベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{yBR} = K_{MH} \frac{F - \sigma_{RN}}{\sigma_{RE}} \quad [\text{式 C.3-65}]$$

ここで、

$K_{yBR}$  : 基礎コンクリートの支圧力によるベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$F$  : ベースプレートの材料の降伏点又は0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )



$\sigma_{RN}$  : 通常荷重によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{RN} = 3 \frac{W_V (D_b - D_c)^2}{n \pi t^2 D_b^2} \quad [\text{式 C.3-66}]$$

$\sigma_{RE}$  : 地震荷重によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

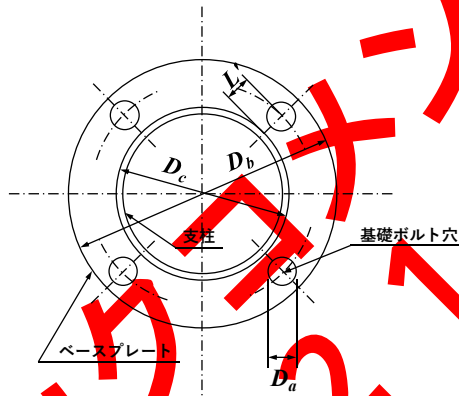
$$\sigma_{RE} = 3 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \right\} \frac{(D_b - D_c)^2}{\pi t^2 D_b^2} \quad [\text{式 C.3-67}]$$

$D_b$  : [図 C.3-5]に示すベースプレートの直径 (単位 mm)

$D_c$  : [図 C.3-5]に示す支柱の外径 (単位 mm)

$t$  : ベースプレートの板厚 (単位 mm)

$K_{MH}$ 、 $W_V$ 、 $n$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $H_C$ 、 $D_B$ 、 $C_4$ 、 $S_H$ 及び $\theta$ : それぞれ[C.3.2.1]に規定する値



[図 C.3-5] ベースプレート

(2)基礎ボルトに作用する引抜力によるベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{yBT} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{TN}}{\sigma_{TE}} \quad [\text{式 C.3-68}]$$

ここで、

$K_{yBT}$  : 基礎ボルトに作用する引抜力によるベースプレートの曲げ降伏に係る降伏震度

$\sigma_{TN}$  : ベースプレートの曲げ応力の通常荷重による減少幅で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{TN} = 6 \frac{W_V L'}{n n_a (D_a + 2L') t^2} \quad [\text{式 C.3-69}]$$

$\sigma_{TE}$  : 地震荷重によりベースプレートに生じる曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{TE} = 6 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \right\} \frac{L'}{n_a (D_a + 2L') t^2} \quad [\text{式 C.3-70}]$$

$D_a$  : 基礎ボルトの穴径 (単位 mm)

$L'$  : [図 C.3-5]に示す寸法 (単位 mm)

$K_{MH}$ 、 $F$ 、 $n$ 、 $W_V$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $H_C$ 及び $D_B$ ：それぞれ[C.3.2.1]に規定する値

$n_a$ ：[C.3.2.5]に規定する値

$t$ ：(1)に規定する値

### [C.3.3] 応答塑性率

球形貯槽の各損傷モードに係る応答塑性率は、次式により算出する。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 C.3-71}]$$

ここで、

$\mu_p$ ：各損傷モードに係る応答塑性率、 $K_{MH} \leq K_y$ のときは $\mu_p=0$

$K_y$ ：[C.3.2]で求めた各損傷モードに係る降伏震度

$C$ ：損傷モードの特性に応じて定める値

球形貯槽の各損傷モードに対する $C$ の値は次のとおりとする。

- (1) 上部支柱の損傷
  - ①圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ②せん断降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ③圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の  
組合せ応力による降伏に係る損傷  $C=2.0$
- (2) 下部支柱の損傷
  - ①圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る損傷  $C=2.0$
- (3) タイロッドブレースの損傷
  - ①引張降伏に係る損傷  $C=1.0$
- (4) 鋼管ブレースの損傷
  - ①引張降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ②圧縮座屈あるいは降伏に係る損傷  $C=2.0$
- (5) 基礎ボルトの損傷
  - ①引張降伏に係る損傷  $C=1.0$
  - ②せん断降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ③引張応力及びせん断応力の組合せ応力に係る降伏  $C=1.0$
- (6) シアープレートの損傷
  - ①曲げ降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ②せん断降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ③曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力に係る降伏  $C=2.0$
- (7) ベースプレートの損傷
  - ①基礎コンクリートの支圧力による曲げ降伏に係る損傷  $C=2.0$
  - ②基礎ボルトに作用する引抜力による曲げ降伏に係る損傷  $C=2.0$

**[C.3.4] 許容塑性率**

球形貯槽の各損傷モードに係る許容塑性率  $\mu_{pa}$  は次のとおりとする。

**(1) 上部支柱の損傷**

- ① 圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$
- ② セン断降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$
- ③ 圧縮応力、曲げ応力及びセン断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$

**(2) 下部支柱の損傷**

- ① 圧縮座屈あるいは降伏、曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$

**(3) タイロッドブレースの損傷**

- ① 引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.8$

**(4) 鋼管ブレースの損傷**

- ① 引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$
- ② 圧縮座屈あるいは降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$

**(5) 基礎ボルトの損傷**

- ① 引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.8$
- ② セン断降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ③ 引張応力及びセン断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.8$

**(6) シアープレーットの損傷**

- ① 曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ② セン断降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ③ 曲げ応力及びセン断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$

**(7) ベースプレートの損傷**

- ① 基礎コンクリートの支圧力による曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ② 基礎ボルトに作用する引抜力による曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$

**[C.3.5] 判定基準**

球形貯槽の各損傷モードに対して、下式を満足する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa} \quad [\text{式 C.3-72}]$$

ここで、

$\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率

$\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに係る許容塑性率

## [C.4] 横置円筒形貯槽

### [C.4.1] 損傷モード

横置円筒形貯槽は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

- (1) 胴の損傷
  - ① 胴のサドル部の引張降伏
  - ② 胴のサドル部の圧縮座屈あるいは降伏
  - ③ 胴の中央部の引張降伏
  - ④ 胴の中央部の圧縮座屈あるいは降伏
  - ⑤ 鏡の引張降伏
- (2) サドルの損傷
  - ① サドルの圧縮降伏
- (3) 基礎ボルトの損傷
  - ① 基礎ボルトの引張降伏
  - ② 基礎ボルトのせん断降伏
  - ③ 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏
- (4) シアープレーットの損傷
  - ① シアープレーットの曲げ降伏
  - ② シアープレーットのせん断降伏
  - ③ シアープレーットの曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏

### [C.4.2] 降伏震度

#### [C.4.2.1] 胴の損傷に係る降伏震度

(1) 胴のサドル部の引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yIS} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_p + \sigma_{ISO})}{\sigma_{ISE}} \quad [\text{式 C.4-1}]$$

ここで、

$K_{yIS}$  : 胴のサドル部の引張降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : 当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$S_y$  : 胴板の設計温度における降伏点又は0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_p$  : 内圧による胴板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_p = \frac{P_0 D_m}{4t} \quad [\text{式 C.4-2}]$$

$t$  : 胴の板厚 (腐れ代を除く。 単位  $\text{mm}$ )

$P_0$  : 常用の圧力 (単位  $\text{MPa}$ )

$D_m$  : 胴の平均直径 (単位  $\text{mm}$ )

$\sigma_{ISO}$  : 通常荷重による胴板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{ISO} = \frac{C_{LS} W_V}{2Z_S} \quad [\text{式 C.4-3}]$$

$W_V$  : 運転重量 (単位 N)

$C_{LS}$  : 次の算式により得られる値 (単位 mm)

$$C_{LS} = A - \frac{6A(L-A) + 3(R_m^2 - H^2)}{2(3L + 4H)} \quad [\text{式 C.4-4}]$$

$A$  : [図 C.4-1]に示すサドルの中心から胴の正接線までの距離 (単位 mm)

$L$  : [図 C.4-1]に示す胴の正接線間の距離 (単位 mm)

$R_m$  : [図 C.4-1]に示す胴の平均直径の 1/2 の値 (単位 mm)

$H$  : [図 C.4-1]に示す鏡の深さ (単位 mm)

$Z_S$  : 胴のサドル部における断面係数であって、次の①又は②により得られる値 (単位 mm<sup>3</sup>)

① 胴が鏡により補強される場合 ( $A/R_m \leq 0.5$  の場合に限る) 又は強め輪により補強される場合

$$Z_S = \pi R_m^2 t \quad [\text{式 C.4-5}]$$

② 上記①以外の場合

$$Z_S = GR_m^2 t \quad [\text{式 C.4-6}]$$

$G$  : [図 C.4-1]に示すサドルの支持角  $\theta$  に応じ[図 C.4-2]より求められる値

$\sigma_{ISE}$  : 地震荷重による胴板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{ISE} = \frac{C_{LS}}{Z_S} \left( \frac{F_V + F_{eV}}{2} \right) \quad [\text{式 C.4-7}]$$

$F_V$  : 設計鉛直地震力であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$F_V = K_{MV} W_V \quad [\text{式 C.4-8}]$$

$K_{MV}$  : 当該耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

$W_H$  : 運転重量 (単位 N)

$F_{eV}$  : 水平力による転倒から派生する鉛直力で、次の算式により得られる値

$$F_{eV} = \max \left( F_{HX} \frac{H_V}{L_S}, F_{HY} \frac{3H_V}{4B} \right) \quad [\text{式 C.4-10}]$$

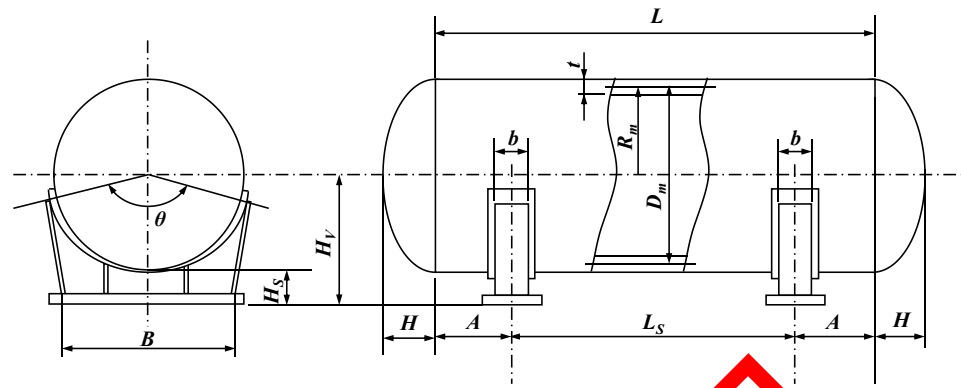
$F_{HX}$  : 軸方向に作用する設計水平地震力 (単位 N)

$F_{HY}$  : 軸直角方向に作用する設計水平地震力 (単位 N)

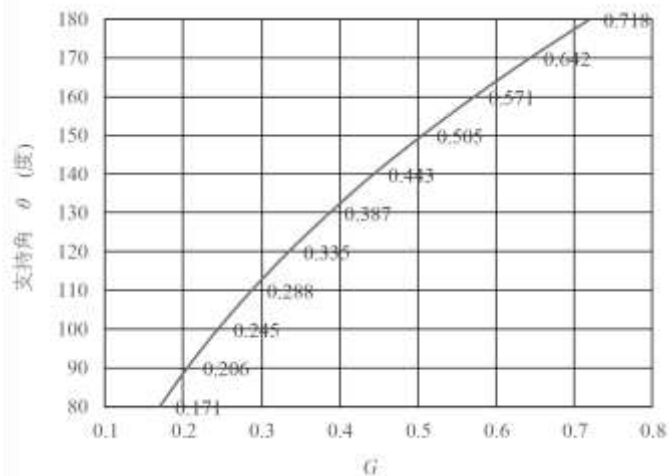
$H_V$  : [図 C.4-1]に示すベースプレートから胴の軸までの距離 (単位 mm)

$B$  : [図 C.4-1]に示すサドルの幅 (単位 mm)

$L_S$  : [図 C.4-1]に示すサドルの中心間の距離 (単位 mm)



[図 C.4-1]



[図 C.4-2]

(2) 胴のサドル部の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$$K_{ycS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cSO}}{\sigma_{cSE}} \quad [\text{式 C.4-11}]$$

ここで、

$K_{ycS}$  : 胴のサドル部の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$S_c$  :  $S_c = \min (S_y, S_f S')$  (単位  $\text{N/mm}^2$ ) [式 C.4-12]

$S_y$  : 胴板の材料の設計温度における降伏点又は 0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_f$  : 1.5

$S'$  : 圧縮応力で次の式による値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$S' = \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad [\text{式 C.4-13}]$$

$E$  : 縦弾性係数 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$D_m$  及び  $t$  : それぞれ(1)に規定する値

$\sigma_{cSO}$  : 通常荷重による胴板の圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cso} = \frac{W_V}{2C_{K1}} \quad [\text{式 C.4-14}]$$

$C_{K1}$  : 次の算式により得られる値 (単位 mm)

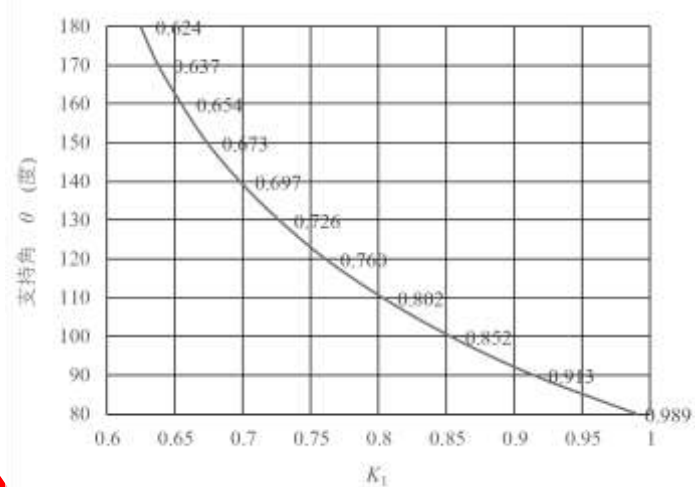
$$C_{K1} = \frac{(b + 1.56\sqrt{R_m t})t}{K_1} \quad [\text{式 C.4-15}]$$

$t$  : (1)に規定する値。ただし、当て板を使用する場合であって、当該当て板の幅が次の式により得られる値を超えるとときは、当該胴板及び当て板の厚さの合計の値とすることも可能である。(単位 mm)

$$b + 1.56\sqrt{R_m t}$$

$b$  : (1)の[図 C.4-1]に示すサドルの幅 (単位 mm)

$K_1$  : サドルの支持角  $\theta$  に応じ、[図 C.4-3]により求められる値



[図 C.4-3]

$\sigma_{cse}$  : 地震荷重による胴板の圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cse} = \frac{1}{C_{K1}} \left( \frac{F_v}{2} + F_{ev} \right) \quad [\text{式 C.4-16}]$$

$K_{MH}$ ,  $F_v$ ,  $W_v$ ,  $D_m$ ,  $R_m$  及び  $F_{ev}$  : それぞれ(1)項に規定する値

(3)胴の中央部の引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yIC} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_p + \sigma_{ico})}{\sigma_{ice}} \quad [\text{式 C.4-17}]$$

ここで、

$K_{yIC}$  : 胴の中央部の引張降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  及び  $S_y$  : それぞれ(1)項に規定する値

$\sigma_{ico}$  : 通常荷重による胴板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{ico} = \frac{C_{LC} W_v}{2Z_c} \quad [\text{式 C.4-18}]$$

$C_{LC}$  : 次の算式により得られる値 (単位 mm)



$$C_{LC} = \frac{3L^2 + 6(R_m^2 - H^2)}{4(3L + 4H)} - A \quad [\text{式 C.4-19}]$$

$A$ 、 $L$ 、 $R_m$  及び  $H$  は、それぞれ(1)に規定する値

$Z_C$  : 胴の中央部における断面係数で次の式により得られる値 (単位  $\text{mm}^3$ )

$$Z_C = \pi R_m^2 t \quad [\text{式 C.4-20}]$$

$\sigma_{ICE}$  : 地震荷重による胴板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{ICE} = \frac{C_{LC}}{Z_C} \left( \frac{F_V}{2} + F_{ev} \right) \quad [\text{式 C.4-21}]$$

$F_V$  及び  $F_{ev}$  : それぞれ(1)に規定する値

(4) 胴の中央部の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$$K_{ycC} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{ICO}}{\sigma_{ICE}} \quad [\text{式 C.4-22}]$$

ここで、

$K_{ycC}$  : 胴の中央部の圧縮座屈あるいは降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : (1)に規定する値

$S_c$  : (2)に規定する値

$\sigma_{ICO}$  及び  $\sigma_{ICE}$  : それぞれ(3)に規定する値

(5) 鏡の引張降伏に係る降伏震度 (胴が鏡により補強される場合に限る。)

$$K_{yK} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_{IKO} + \sigma_p)}{\sigma_{iKE}} \quad [\text{式 C.4-23}]$$

ここで、

$K_{yK}$  : 鏡の引張降伏に係る降伏震度

$K_{MH}$  : (1)に規定する値

$S_y$  : 鏡板の材料の設計温度における降伏点又は 0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{IKO}$  : 通常荷重による鏡板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{IKO} = \frac{W_V}{2C_{K2}} \quad [\text{式 C.4-24}]$$

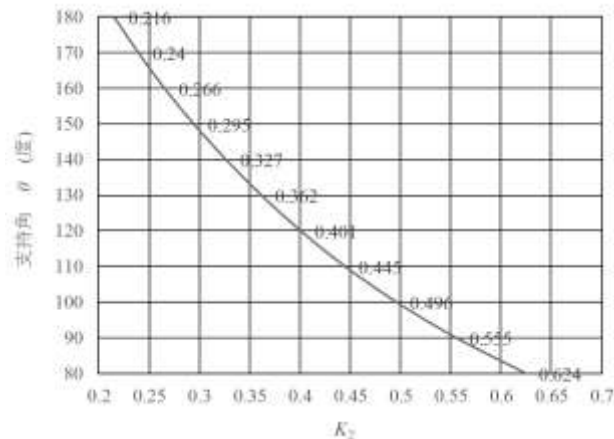
$W_V$  : (1)に規定する値

$C_{K2}$  : 次の算式により得られる値 (単位  $\text{mm}$ )

$$C_{K2} = \frac{R_m t_h}{K_2} \quad [\text{式 C.4-25}]$$

$t_h$  : 鏡の板厚 (腐れ代を除く。 単位  $\text{mm}$ )

$K_2$  : サドルの支持角  $\theta$  に応じ、[図 C.4-4]による求められる値



[図 C.4-4]

$\sigma_{tKE}$  : 地震荷重による鏡板の引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tKE} = \frac{1}{C_{K2}} \left( \frac{F_v}{2} + F_{ev} \right) \quad [\text{式 C.4-26}]$$

$F_v$  及び  $F_{ev}$  : それぞれ(1)に規定する値

$\sigma_p$  : 内圧によって鏡に生じる引張応力であって、次の表により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

[表 C.4.2.1]

鏡の形状	$\sigma_p$
半だ円体形	$\frac{P_0 D_h}{2t_h} \cdot \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D_h}{2h} \right)^2 \right\}$
半球形	$\frac{P_0 D_h}{4t_h}$
さら形	$\frac{P_0 D_h}{4t_h} \cdot \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{R_h}{r}} \right)$

この表において

$P_0$  : (1)に規定する値

$D_h$  : 半だ円体形鏡にあっては当該鏡の内側のだ円体の長径、半球形鏡にあっては当該鏡の内径、さら形鏡にあっては当該鏡の中央部の内径の値 (それぞれ腐れ代を除く。単位  $\text{mm}$ )

$h$  : 鏡の内側のだ円体の短径の 1/2 の値 (腐れ代を除く。単位  $\text{mm}$ )

$R_h$  : 鏡の中央部の内径の 1/2 の値 (単位  $\text{mm}$ )

$r$  : ナックル部の内半径 (単位  $\text{mm}$ )

#### [C.4.2.2] サドルの損傷に係る降伏震度

(1) サドルの圧縮降伏に係る降伏震度

a) 片方のサドルが固定式の場合

$$K_{ycD} = K_{MH} \frac{F - (\sigma_{cDO} - \sigma_{bDO})}{\sigma_{cDE} + \sigma_{bDE}} \quad [\text{式 C.4-27}]$$

ここで、

$K_{yCD}$  : サドルの圧縮降伏に係る降伏震度

$F$  : サドルの材料の降伏点又は0.2%耐力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cDO}$  : 通常荷重によるサドルの圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{cDO} = \frac{W_V}{2A_{SD}} \quad [\text{式 C.4-28}]$$

$A_{SD}$  : サドルの有効断面積 (単位 mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bDO}$  : 通常荷重によるサドルの曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{bDO} = \frac{0.1W_V H_S}{2Z_{SD}} \quad [\text{式 C.4-29}]$$

$Z_{SD}$  : サドルの有効断面係数 (単位 mm<sup>3</sup>)

$H_S$  : [図 C.4-1]に示すベースプレートからサドル面の最下部までの高さ (単位 mm)

$\sigma_{cDE}$  : 地震荷重によるサドルの圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{cDE} = \frac{F_V + 2F_H \left( \frac{H_V}{L_S} \right)}{2A_{SD}} \quad [\text{式 C.4-30}]$$

$\sigma_{bDE}$  : 地震荷重によるサドルの曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{bDE} = \frac{(2F_H - 0.1F_V) H_S}{2Z_{SD}} \quad [\text{式 C.4-31}]$$

$K_{MH}$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $W_V$ 、 $L_S$ 及び $H_V$ : それぞれ[C.4.2.1](1)に規定する値

b)両方のサドルが固定式の場合

$$K_{ycD} = K_{MH} \frac{F - \sigma_{cDO}}{\sigma_{cDE} + \sigma_{bDE}} \quad [\text{式 C.4-32}]$$

ここで、

$K_{ycD}$  : サドルの圧縮降伏に係る降伏震度

$\sigma_{bDE}$  : 地震荷重によるサドルの曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bDE} = \frac{F_H H_S}{2Z_{SD}} \quad [\text{式 C.4-33}]$$

$F$ 、 $\sigma_{cDO}$ 、 $\sigma_{cDE}$  及び  $H_S$  : それぞれ(1)に規定する値

$K_{MH}$  及び  $F_H$  : それぞれ[C.4.2.1](1)に規定する値

### [C.4.2.3] 基礎ボルトの損傷に係る降伏震度

(1)基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{ytB} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{tBO}}{\sigma_{tBE}} \quad [\text{式 C.4-34}]$$

ここで、

$K_{ytB}$  : 基礎ボルトの引張降伏に係る降伏震度

$F$  : 基礎ボルトの材料の降伏点又は0.2%耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{tBO}$  : 通常荷重による基礎ボルトの圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tBO} = \frac{W_V}{2nA_b} \quad [\text{式 C.4-35}]$$

$n$  : サドル1個当たりの基礎ボルト本数

$A_b$  : 基礎ボルトの有効断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$\sigma_{tBE}$  : 地震荷重による基礎ボルトの引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tBE} = \frac{1}{nA_b} \left( \frac{F_H H_V}{C_b} + \frac{F_V}{2} \right) \quad [\text{式 C.4-36}]$$

$C_b$  : 基礎ボルトの軸直角方向の間隔 (単位  $\text{mm}$ )

$K_{MH}$ 、 $F_V$ 、 $F_H$ 、 $W_V$  及び  $H_V$  : それぞれ[C.4.2.1](1)に規定する値

(2)基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

a)片方のサドルが固定式の場合

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{\frac{F}{\sqrt{3}} + 0.4\sigma_{tBO}}{\tau_{BE}} \quad [\text{式 C.4-37}]$$

ここで、

$K_{ysB}$  : 基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_{BE}$  : 地震荷重による基礎ボルトのせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{BE} = \frac{F_H + 0.2F_V}{nA_b} \quad [\text{式 C.4-38}]$$

$\sigma_{iBO}$ 、 $F$ 、 $n$  及び  $A_b$  : それぞれ(1)に規定する値

$K_{MH}$ 、 $F_V$  及び  $F_H$  : それぞれ[C.4.2.1](1)項に規定する値

b) 両方のサドルが固定式の場合

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{\frac{F}{\sqrt{3}} + 0.3\sigma_{iBO}}{\tau_{BE}} \quad [\text{式 C.4-39}]$$

ここで、

$K_{ysB}$  : 基礎ボルトのせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_{BE}$  : 地震荷重による基礎ボルトのせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位:  $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{BE} = \frac{F_H + 0.3F_V}{2nA_b} \quad [\text{式 C.4-40}]$$

$\sigma_{iBO}$ 、 $F$ 、 $n$  及び  $A_b$  : それぞれ(1)に規定する値

$K_{MH}$ 、 $F_V$  及び  $F_H$  : それぞれ[C.4.2.1](1)項に規定する値

(3) 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

a) 片方のサドルが固定式の場合

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{1.4F + 1.64\sigma_{iBO}}{\sigma_{iBE} + 1.6\tau_{BE}} \quad [\text{式 C.4-41}]$$

ここで、

$K_{yB}$  : 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$\sigma_{iBE}$ 、 $\sigma_{iBO}$  及び  $F$  : それぞれ(1)に規定する値

$\tau_{BE}$  : (2) a) に規定する値

$K_{MH}$  : [C.4.2.1](1)に規定する値

b) 両方のサドルが固定式の場合

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{1.4F + 1.64\sigma_{iBO}}{\sigma_{iBE} + 1.6\tau_{BE}} \quad [\text{式 C.4-42}]$$

ここで、

$K_{yB}$  : 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$\sigma_{iBE}$ 、 $\sigma_{iBO}$  及び  $F$  : それぞれ(1)に規定する値

$\tau_{BE}$  : (2) b) に規定する値

$K_{MH}$  : [C.4.2.1](1)に規定する値

#### [C.4.2.4] シアープレーートの損傷に係る降伏震度

(1) シアープレーートの曲げ降伏に係る降伏震度

$$K_{yb} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bE}} \quad [\text{式 C.4.43}]$$

ここで、

$K_{yb}$  : シアープレーートの曲げ降伏に係る降伏震度

$F$  : シアープレーートの材料の降伏点又は 0.2%耐力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bE}$  : 地震荷重によるシアープレーートの曲げ応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{bE} = \frac{3h^2 C_{cp1}}{t_{sp}^2} F_H \quad [\text{式 C.4.44}]$$

$t_{sp}$  : シアープレーートの板厚 (単位 mm)

$h$  : シアープレーートの高さ (単位 mm)

$C_{cp1}$  : 次の算式により得られる値 (単位 1/mm<sup>2</sup>)

$$C_{cp1} = \max \left( \frac{1}{b_y h}, \frac{1}{b_x h} \right) \quad [\text{式 C.4.45}]$$

$b_y$  : シアープレーートの胴の軸直角方向の長さ (単位 mm)

$b_x$  : シアープレーートの胴の軸方向の長さ (単位 mm)

$K_{MH}$  及び  $F_H$  : それぞれ[C.4.2.1](1)に規定する値

(2)シアープレーートのせん断降伏に係る降伏震度

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{3}\tau_E} \quad [\text{式 C.4.46}]$$

ここで、

$K_{ys}$  : シアープレーートのせん断降伏に係る降伏震度

$\tau_E$  : 地震荷重によるシアープレーートのせん断応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\tau_E = C_{cp2} F_H \quad [\text{式 C.4.47}]$$

$C_{cp2}$  : 次の算式により得られる値 (単位 1/mm<sup>2</sup>)

$$C_{cp2} = \max \left( \frac{1}{b_y t_{sp}}, \frac{1}{b_x t_{sp}} \right) \quad [\text{式 C.4.48}]$$

$b_y$ 、 $b_x$  及び  $t_{sp}$  : それぞれ(1)に規定する値

$F_H$  : [C.4.2.1](1)に規定する値

$F$  : (1)に規定する値

$K_{MH}$  : [C.4.2.1](1)に規定する値

(3)シアープレーートの曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る降伏震度

$$K_{ymS} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2}} \quad [\text{式 C.4.49}]$$

ここで、

$K_{yMS}$  : シアープレート の 曲げ 応力 及び せん断 応力 の 組合せ 応力 による 降伏 に 係る 降伏 震度

$K_{MH}$ 、 $F_S$ 、 $\sigma_{bE}$ 、 $\tau_E$  : それぞれ [C.4.2.1](1) に 規定 する 値

#### [C.4.3] 応答塑性率

応答塑性率  $\mu_p$  は、次式により算出する。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 C.4-50}]$$

ここで、

$\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率、 $K_{MH} \leq K_y$  のときは  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1) による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$K_y$  : 当該損傷モードに係る降伏震度

このとき、横置円筒形貯槽の各損傷モードに対する  $C$  値は次のとおりである。

##### (1) 胴の損傷

- |                       |         |
|-----------------------|---------|
| ① 胴のサドル部の引張降伏に係る損傷    | $C=2.0$ |
| ② 胴のサドル部の圧縮・座屈降伏に係る損傷 | $C=2.0$ |
| ③ 胴の中央部の引張降伏に係る損傷     | $C=2.0$ |
| ④ 胴の中央部の圧縮・座屈降伏に係る損傷  | $C=2.0$ |
| ⑤ 鏡の引張降伏に係る損傷         | $C=2.0$ |

##### (2) サドルの損傷

- |                 |         |
|-----------------|---------|
| ① サドルの圧縮降伏に係る損傷 | $C=2.0$ |
|-----------------|---------|

##### (3) 基礎ボルトの損傷

- |                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| ① 基礎ボルトの引張降伏に係る損傷                   | $C=1.0$ |
| ② 基礎ボルトのせん断降伏に係る損傷                  | $C=2.0$ |
| ③ 基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷 | $C=1.0$ |

##### (4) シアープレートの損傷

- |   |         |
|---|---------|
| ① シアープレート の 曲げ 降伏 に 係る 損傷                           | $C=2.0$ |
| ② シアープレート の せん断 降伏 に 係る 損傷                          | $C=2.0$ |
| ③ シアープレート の 曲げ 応力 及び せん断 応力 の 組合せ 応力 による 降伏 に 係る 損傷 | $C=2.0$ |

#### [C.4.4] 許容塑性率

横置円筒形貯槽の各損傷モードに係る許容塑性率  $\mu_{pa}$  は次のとおりである。

##### (1) 胴の損傷

- |                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| ① 胴のサドル部の引張降伏に係る損傷     | $\mu_{pa}=0.35$ |
| ② 胴のサドル部の圧縮座屈又は降伏に係る損傷 | $\mu_{pa}=0.35$ |
| ③ 胴の中央部の引張降伏に係る損傷      | $\mu_{pa}=0.35$ |

- ④胴の中央部の圧縮座屈又は降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ⑤鏡の引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$
- (2) サドルの損傷
- ①サドルの圧縮降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.0$
- (3) 基礎ボルトの損傷
- ①基礎ボルトの引張降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.8$
- ②基礎ボルトのせん断降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ③基礎ボルトの引張応力及びせん断応力の組合せ応力に係る降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=1.8$
- (4) シアープレーットの損傷
- ①シアープレーットの曲げ降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ②シアープレーットのせん断降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$
- ③シアープレーットの曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力による降伏に係る損傷  $\mu_{pa}=0.35$

#### [C.4.5] 判定基準

横置円筒形貯槽の各損傷モードに対して、次式を満足する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

[式 C.4-51]

ここで、

- $\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率
- $\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに係る許容塑性率



## [C.5] 平底円筒形貯槽

## [C.5.1] 損傷モード

平底円筒形貯槽は、次の損傷モードについて耐震性能評価を行う。

## (1) 側板の損傷

①設計用入力地震動による側板の座屈

②液面揺動の設計用入力地震動による側板の座屈

## (2) アンカーストラップの損傷

①設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏

②液面揺動の設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏

## [C.5.2] 降伏震度

## [C.5.2.1] 側板の座屈に係る降伏震度

側板の座屈に係る降伏震度は、設計用入力地震動については(1)、液面揺動の設計用入力地震動については(2)により算出する。

## (1)設計用入力地震動

$$K_{ys1} = K_{MH} \frac{S_c + \sigma_p - \sigma_0}{\sigma_{E1H} + \sigma_{E1V}} \quad [\text{式 C.5-1}]$$

ここで、

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$S_c$  : 座屈応力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$S_c = \frac{Et}{2.5D} \quad [\text{式 C.5-2}]$$

$E$  : 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$t$  : 応力を算定する位置での側板板厚 (単位  $\text{mm}$ )

$D$  : 側板内径 (単位  $\text{mm}$ )

$\sigma_p$  : 内圧による平均軸引張応力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_p = \frac{P_0 D}{4t} \quad [\text{式 C.5-3}]$$

$P_0$  : 通常の運転状態における最低の圧力 (単位  $\text{MPa}$ )

$\sigma_0$  : 応力算定位置での自重による平均軸圧縮応力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_0 = \frac{(W_s + W_r)}{\pi D t} \quad [\text{式 C.5-4}]$$

$W_s$  : 応力を算定する位置より上部の側板部の重量 (単位  $\text{N}$ )

$W_r$  : 屋根部の全重量 (積雪地においては積雪重量を含む。ただし、適切な除雪又は融雪設備がある場合は低減値を用いることも可能である。) (単位  $\text{N}$ )  $\sigma_{E1H}$  : 設計修正水平震度が作用したときの、応力を算定する位置での水平地震動による軸圧縮応力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{E1H} = \frac{4M_1}{\pi D^2 t} \quad [\text{式 C.5-5}]$$

$M_1$  : 応力を算定する位置に生じるモーメントであって、次の算式により得られる値  
(単位  $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$$M_1 = \frac{\pi D}{2} \int_h^{H_l} P_{hl}(H)(H-h)dH + K_{MH}(W_s H_{sh} - W_r H_{rh}) \quad [\text{式 C.5-6}]$$

$h$  : 応力を算定する位置の貯槽底面からの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$H_l$  : 最高液面高さ (単位  $\text{mm}$ )

$H_{rh}$  : 応力を算定する位置から屋根部重心までの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$H_{sh}$  : 応力を算定する位置から応力を算定する位置より上部の側板部重心までの高さ (単位  $\text{mm}$ )

$P_{hl}(H)$  : 側板部に作用する動液圧 (単位  $\text{MPa}$ )

次の式によるかその他適切な算定方法によってもよい。

$$P_{hl}(H) = \rho g K_{MH} H_l \left[ 1 - \frac{H}{H_l} - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{H}{H_l} \right)^2 \right] \times \sqrt{3} \tanh \left( \frac{\sqrt{3} D}{2 H_l} \right) \times 10^{-6} \quad [\text{式 C.5-7}]$$

$\rho$  : 内容液の密度 (単位  $\text{kg/m}^3$ )

$g$  : 重力加速度 (単位  $\text{m/s}^2$ )

なお、 $M_1$  は簡易的に次の算式により計算することも可能である。

$$M_1 = K_{MH} \left( 1 - \frac{h}{H_l} \right)^2 (W_s H_{sh} + W_r H_r + W_l H_l) \quad [\text{式 C.5-8}]$$

この算式において  $H_s$ 、 $H_r$ 、 $W_l$  及び  $H_l$  は、それぞれ次の値を表す。

$H_s$  : 貯槽底面から側板部重心までの高さ (m)

$H_r$  : 貯槽底面から屋根部重心までの高さ (m)

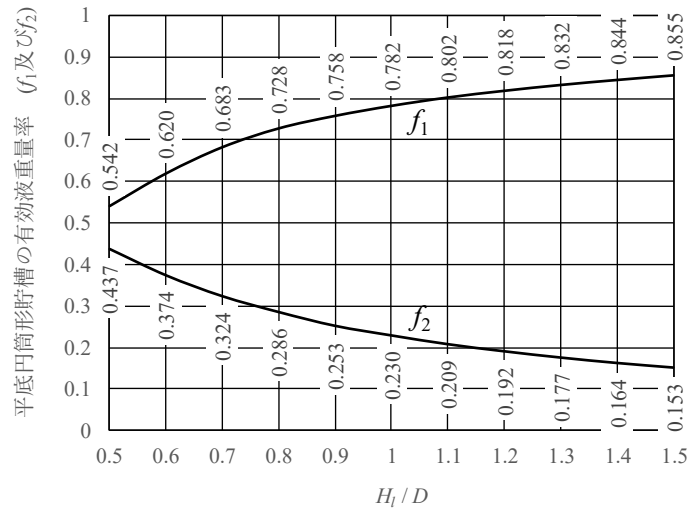
$W_l$  : 有効液重量であって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N}$ )

$$W_l = f_l W_l \quad [\text{式 C.5-9}]$$

上式で  $f_l$ 、 $W_l$  はそれぞれ次の値を表す。

$f_l$  : 有効液重量率で、[図 C.5-1]により求められる値

$W_l$  : 内容液重量 (単位  $\text{N}$ )

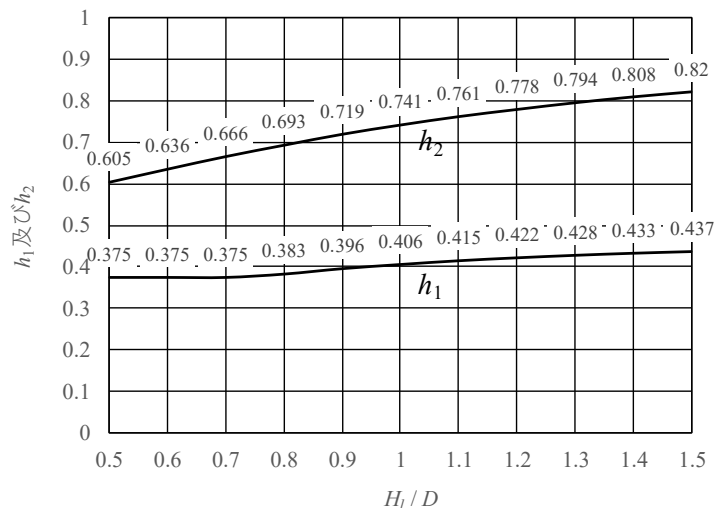


[図 C.5-1] 有効液重量率

$H_l$  : 貯槽底面から  $W_l$  に係る有効液の重心位置までの高さであって、次の算式により得られる値 (単位 mm)

$$H_l = h_1 H_t \quad [\text{式 C.5-10}]$$

$h_1$  : [図 C.5-2] により求められる値



[図 C.5-2] 内容液重心高さ

$\sigma_{E1V}$  : 設計修正鉛直震度が作用したときの、応力を算定する位置での鉛直地震動による軸圧縮応力で、次の算式から得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{E1V} = K_{MV} \frac{(W_s + W_r)}{\pi D t} \quad [\text{式 C.5-11}]$$

$K_{MV}$  : 附属書 B[B.3.1](1) による耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

## (2) 液面揺動の設計用入力地震動

側板各段について次式により降伏震度を計算する。

$$K_{ycS2} = K_{MH2} \frac{S_c + \sigma_p - \sigma_0}{\sigma_{E2H}} \quad [\text{式 C.512}]$$

ここで、

$S_c$ 、 $\sigma_p$ 、及び  $\sigma_0$  : それぞれ(1)で規定する値

$K_{MH2}$  : 液面揺動の設計用入力地震動に係る設計修正水平震度で、次式により求める。

$$K_{MH2} = \frac{a_2}{g} \quad [\text{式 C.5-13}]$$

ここで、

$g$  : 重力加速度 (単位  $\text{m/s}^2$ )

$a_2$  : 液面揺動の設計用入力地震動の水平加速度であって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{m/s}$ )

$$a_2 = \frac{2\pi}{T} C_d V_H(T) \quad [\text{式 C.5-14}]$$

この算式において  $T$ 、 $V_H(T)$  及び  $C_d$  は次の値を示す。

$T$  及び  $V_H(T)$  : それぞれ本文 5.2.2 に規定する値

$C_d$  : 減衰定数の値に応じて定まる補正係数で、附属書 A [図 A.1.2] による。ただし、液面揺動の減衰定数は 0.5% とする。

$\sigma_{E2H}$  : 液面揺動の設計用入力地震動が作用したときの高さ  $h$  での転倒モーメントによる圧縮応力で、次の算式により得られる値。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{E2H} = \frac{4M_2}{\pi D^2 t} \quad [\text{式 C.5-15}]$$

ここで、

$D$  及び  $t$  : それぞれ(1)で規定する値

$M_2$  : 応力を算定する位置に生じるモーメントであって、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$$M_2 = \frac{\pi D}{2} \int_h^{H_1} P_{h2}(H) \cdot (H - h) dH \quad [\text{式 C.5-16}]$$

この算式において  $H_1$ 、 $h$ 、 $M_2$  及び  $H_2$  は、それぞれ次の値を表す。

$H_1$  及び  $h$  : それぞれ(1)に規定する値

$P_{h2}(H)$  : 側板部に作用する動液圧 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

次の式によるかその他適切な算定方法によってもよい。

$$P_{h2}(H) = \rho g \eta_{\max} \frac{\cosh(3.86H/D)}{\cosh(3.86H_1/D)} \times 10^{-6} \quad [\text{式 C.5-17}]$$

ここで、

$\rho$  : 内容液の密度 (単位  $\text{kg/m}^3$ )

$g$  : 重力加速度 (単位  $\text{m/s}^2$ )

$\eta_{\max}$  : 最大の液面変位 (m)、次の式による。

$$\eta_{\max} = 0.42D \frac{a_2}{g} \quad [\text{式 C.5-18}]$$

なお、 $M_2$  は簡易的に次の算式により計算することも可能である。

$$M_2 = \left(1 - \frac{h}{H_l}\right)^{1.3} \frac{\alpha_2 W_2 H_2}{g} \quad [\text{式 C.5-19}]$$

この算式において  $W_2$  及び  $H_2$  は、それぞれ次の値を表す。

$W_2$  : 液面揺動の設計用入力地震動に係る内容液の有効液重量で、次式により求める。(単位 N)

$$W_2 = f_2 W_l \quad [\text{式 C.5-20}]$$

この算式において  $f_2$  は次の値を示す。

$f_2$  :  $H_l/D$  に応じ[図 C.5-1]より求められる値

$H_2$  : 液面揺動の設計用入力地震動に係る内容液の有効液重心高さで、次式により求める。(単位 mm)

$$H_2 = h_2 H_l \quad [\text{式 C.5-21}]$$

この算式において  $h_2$  は次の値を示す。

$h_2$  :  $H_l/D$  に応じ[図 C.5-2]より求められる値

### [C.5.2.2] 側板最下段の周方向応力と軸圧縮応力による座屈に係る降伏震度

設計用入力地震動に際して、側板の周方向引張応力と軸圧縮応力による座屈に係る降伏震度は、側板最下段に関して次式により算出する。

$$K_{ybs1} = \kappa K_{MH} \quad [\text{式 C.5-15}]$$

ここで、

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$K_{MV}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による耐震設計構造物に係る設計修正鉛直震度

$\kappa$  : 設計修正水平震度に対する比を表す係数で、次の算式から得られる  $\kappa_1$  及び  $\kappa_2$  の値のうち小なる値とする。

$$\kappa_1 = \frac{S_{cr} - \sigma_{10} - S_{cr} \frac{\sigma_{Oh}}{S_y}}{\sigma_{E1H} + \sigma_{E1V} + S_{cr} \frac{\sigma_{Eh}}{S_y}} \quad [\text{式 C.5-16}]$$

$$\kappa_2 = \frac{S_{cr} - \sigma_{10} + S_{cr} \frac{\sigma_{Oh}}{S_y}}{\sigma_{E1H} + \sigma_{E1V} - S_{cr} \frac{\sigma_{Eh}}{S_y}} \quad [\text{式 C.5-17}]$$

$\sigma_{10}$  : 自重による平均軸圧縮応力で、次の算式から得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{10} = \frac{W_r + W_{1S}}{2\pi R t} \quad [\text{式 C.5-18}]$$

$\sigma_{Oh}$  : 通常運転時の側板周方向膜応力で、次の算式から得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{Oh} = \frac{R}{t} (P_s + P_0) \quad [\text{式 C.5-19}]$$

$\sigma_{Eh}$  : 地震時の側板周方向膜応力で、次の算式から得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{Eh} = \frac{R}{t} (K_{MV} P_s + P_w) \quad [\text{式 C.5-20}]$$

$\sigma_{E1H}$  : 設計修正水平震度  $K_{MH}$  が作用したときの転倒モーメントによる軸圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{E1H} = K_{MH} \frac{(W_{1S} + W_r + W_1) H_G}{\pi R^2 t} \quad [\text{式 C.5-21}]$$

$\sigma_{E1V}$  : 設計修正鉛直震度  $K_{MV}$  が作用したときの軸圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{E1V} = K_{MV} \frac{W_r + W_{1S}}{2\pi R t} \quad [\text{式 C.5-22}]$$

$R$  : 側板半径 (単位  $\text{mm}$ )

$t$  : 最下段側板板厚 (単位  $\text{mm}$ )

$P_0$  : 通常の運転状態における最高の内圧 (単位  $\text{MPa}$ )

$P_S$  : 側板下端における静液圧 (単位  $\text{MPa}$ )

$P_W$  : 側板下端における動液圧 (単位  $\text{MPa}$ )

次の式によるかその他適切な算定方法によってもよい。

$$P_W = P_S K_{MH} \frac{\sqrt{3}}{2} \tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{H_l}\right)$$

$H_G$  : 内容液を含む貯槽全体の重心高さであって次の式による (単位  $\text{mm}$ )

$$H_G = \frac{W_{1S} H_{1S} + W_r H_r + W_1 H_1}{W_{1S} + W_r + W_1}$$

$H_l$  : 最高液面高さ (単位  $\text{mm}$ )

$W_r$  : 屋根部の全重量 (積雪地においては積雪重量を含む。) (単位  $\text{N}$ )

$W_{1S}$  : 側板部の全重量 (単位  $\text{N}$ )

$W_1$  : 有効液重量 (単位  $\text{N}$ ) [C.5.2.1](1)で規定する値を用いるかその他適切な算定方法によってもよい。

$S_{cr}$  : 次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$0.807 \frac{E}{S_y} \leq \frac{R}{t} \text{ の場合、}$$

$$S_{cr} = \frac{0.8E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t}{R} \quad [\text{式 C.5-23}]$$

$$0.069 \frac{E}{S_y} \leq \frac{R}{t} \leq 0.807 \frac{E}{S_y} \text{ の場合、}$$

$$S_{cr} = 0.6S_y + 0.4S_y \frac{0.807 - \frac{R}{t} \frac{S_y}{E}}{0.738} \quad [\text{式 C.5-24}]$$

$$\frac{R}{t} \leq 0.069 \frac{E}{S_y} \text{ の場合、}$$

$$S_{cr} = S_y \quad [\text{式 C.5-25}]$$

$bS_{cr}$  : 次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$2.106 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \leq \frac{R}{t}$  の場合、

$${}_b S_{cr} = 0.6E \left\{ 1 - 0.731 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{1}{16} \sqrt{\frac{R}{t}} \right) \right] \right\} \frac{t}{R} \quad [\text{式 C.5-26}]$$

$0.274 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \leq \frac{R}{t} \leq 2.106 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78}$  の場合、

$${}_b S_{cr} = 0.6S_y + 0.4S_y \left[ 2.106 - \frac{R}{t} \left( \frac{S_y}{E} \right)^{0.78} \right] \frac{1}{1.832} \quad [\text{式 C.5-27}]$$

$\frac{R}{t} \leq 0.274 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78}$  の場合、

$${}_b S_{cr} = S_y \quad [\text{式 C.5-28}]$$

${}_b S_{0.3}$  : 次の算式により得られる値。(単位 N/mm<sup>2</sup>)

$${}_b S_{0.3} = \frac{0.7S_{cr} - {}_b S_{cr}}{0.3} \quad [\text{式 C.5-29}]$$

$S_y$  : 側板の降伏応力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$E$  : 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$\nu$  : ポアソン比

### [C.5.2.3] 設計用入力地震動によるアンカストラップの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yA1} = K_{MH} \frac{S_y - \sigma_{Ap} + \sigma_{A0}}{\sigma_{AE1H} + \sigma_{AE1V}} \quad [\text{式 C.5-30}]$$

ここで、

$\sigma_{Ap}$  : 内圧による引張応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{Ap} = \frac{\pi D^2 P_0}{4NA} \quad [\text{式 C.5-31}]$$

$\sigma_{A0}$  : 自重による圧縮応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{A0} = \frac{W_s + W_r}{NA} \quad [\text{式 C.5-32}]$$

$\sigma_{AE1H}$  : 設計修正水平震度が作用したときの全転倒モーメントによる引張応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{AE1H} = K_{MH} \frac{4(W_s H_s + W_r H_r + W_1 H_1)}{DNA} \quad [\text{式 C.5-33}]$$

$\sigma_{AE1V}$  : 設計修正鉛直震度が作用したとき応力で、次の算式により得られる値 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{AE1V} = K_{MV} \frac{W_s + W_r}{NA} \quad [\text{式 C.5-34}]$$

$S_y$  : アンカストラップの降伏応力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : アンカストラップの本数

$A$  : アンカーストラップの断面積 (単位  $\text{mm}^2$ )

$D$ 、 $W_s$ 、 $W_r$ 、 $H_s$ 、 $H_r$ 、 $K_{MH}$  及び  $K_{MV}$  : それぞれ[C.5.2.1](1)で規定する値

$W_1$  及び  $H_1$  : それぞれ[C.5.2.1](1)で規定する値を用いるかその他適切な算定方法によって求めてもよい。

$P_0$  : [C.5.2.2]で規定する値

#### [C.5.2.4] 液面揺動の設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏に係る降伏震度

$$K_{yA2} = K_{MH2} \frac{S_y - \sigma_{Ap} + \sigma_{A0}}{\sigma_{AE2H}} \quad [\text{式 C.5-35}]$$

ここで、

$\sigma_{AE2H}$  : 液面揺動の設計用入力地震動が作用したときの全転倒モーメントによる引張応力で、次の算式により得られる値 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{AE2H} = K_{MH2} \frac{4W_2H_2}{DNA} \quad [\text{式 C.5-36}]$$

$S_y$ 、 $N$ 、 $A$ 、 $\sigma_{Ap}$  及び  $\sigma_{A0}$  : それぞれ[C.5.2.3]で規定する値

$W_2$  及び  $H_2$  : それぞれ[C.5.2.1](2)で規定する値を用いるかその他適切な算定方法によって求めてもよい。

$D$  : [C.5.2.1](1)で規定する値

#### [C.5.3] 応答塑性率

側板の座屈及びアンカーストラップの引張降伏に係る応答塑性率  $\mu_p$  は次式により算出する。

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad [\text{式 C.5-37}]$$

ここで、

$\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率、 $K_{MH} \leq K_y$  のときは  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$  : 附属書 B[B.3.1](1)による当該耐震設計構造物に係る設計修正水平震度

$K_y$  : 当該損傷モードに係る降伏震度

このとき、 $C$  の値は損傷モードの種類に応じて次のとおりとする。

- |  |         |
|--|---------|
| (1)設計用入力地震動による側板の座屈に係る損傷               | $C=2.0$ |
| (2)液面揺動の設計用入力地震動による側板の座屈に係る損傷          | $C=2.0$ |
| (3)設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏に係る損傷      | $C=1.0$ |
| (4)液面揺動の設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏に係る損傷 | $C=1.0$ |



## [C.5.4] 許容塑性率

## [C.5.4.1] 設計用入力地震動による側板の座屈に係る許容塑性率

$\sigma_0 / {}_c\sigma_{cr} \leq 0.2$  の場合

$$\mu_{pa} = 0.35 \quad [\text{式 C.5-38}]$$

$0.2 < \sigma_0 / {}_c\sigma_{cr}$  の場合

$$\mu_{pa} = 0.13 \quad [\text{式 C.5-39}]$$

ここで、

$\sigma_0$  : 平均軸圧縮応力で、次の算式で得られる値

$$\sigma_0 = \frac{(W_r + W_s)(1 + K_{MV}) - P_0 \pi R^2}{2\pi R t} \quad [\text{式 C.5-40}]$$

${}_c\sigma_{cr}$  : 平均軸圧縮応力のない場合の座屈応力で、「側板最下段の周方向応力と軸圧縮応力による座屈」に対しては、次の算式より得られる値を、それ以外は  $S_c$  [式 C.5-43] を用いる。(単位: N/mm<sup>2</sup>)

$${}_c\sigma_{cr} = WK_{MH} \frac{H_G}{\pi R^2 t} \kappa + \frac{(W_r + W_s)(1 + \kappa K_{MV}) - P_0 \pi R^2}{2\pi R t} \quad [\text{式 C.5-41}]$$

$W$  :  $W = W_s + W_r + W_1$

$W_r$  及び  $W_s$  : それぞれ [C.5.2.1] に規定する値

$W_1$  : [C.5.2.1] に規定する値を用いるかその他適切な算定方法によって求めてもよい。

$t$ 、 $R$ 、 $P_0$ 、 $K_{MH}$ 、 $K_{MV}$ 、 $H_G$  及び  $\kappa$  : それぞれ [C.5.2.2] に規定する値

## [C.5.4.2] 液面揺動の設計用入力地震動による側板の座屈に係る許容塑性率

$\sigma_0 / S_c \leq 0.2$  の場合

$$\mu_{pa} = 0.35 \quad [\text{式 C.5-42}]$$

$0.2 < \sigma_0 / S_c$  の場合

$$\mu_{pa} = 0.13 \quad [\text{式 C.5-43}]$$

ここで、

$\sigma_0$  : 平均軸圧縮応力で次式により求める。

$$\sigma_0 = \frac{(W_r + W_s) - P_0 \pi R^2}{2\pi R t} \quad [\text{式 C.5-44}]$$

$S_c$  : 平均軸圧縮応力がない場合の弾性座屈応力で次式により求める。

$$S_c = \frac{E t}{2.5 D} \quad [\text{式 C.5-45}]$$

$t$ 、 $R$ 、 $W_r$ 、 $W_s$ 、 $P_0$ 、 $E$  及び  $D$  : それぞれ [C.5.2.1] に規定する値

## [C.5.4.3] 設計用入力地震動によるアンカストラップの引張降伏に係る許容塑性率

$$\mu_{pa} = \frac{\pi_a q_y R}{K_{yA1} (W_s + W_r + W_1) g} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{0.617 t_b S_{yb}^2}{E_a P_b} \quad \text{ただし、} 0.75 \leq \mu_{pa} \leq 2.5 \quad [\text{式 C.5-46}]$$

ここで、

$t_b$  : アニューラーの板厚 (単位 mm)

$S_{yb}$  : アニューラーの降伏応力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$E_a$  : アンカーストラップの縦弾性係数 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$P_b$  : アニューラーに作用する圧力 (MPa)

$T$  : 側板のバルジング振動による貯槽の固有周期で、以下により計算される値 (単位 s)

$$T = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W_0}{\pi g E t_{1/3}}} \quad [\text{式 C.5-47}]$$

この算式において  $T$ 、 $\lambda$ 、 $g$ 、 $E$ 、 $t_{1/3}$  及び  $W_0$  は、それぞれ次の値を表す。

$T$  : 固有周期 (単位 s)

$\lambda$  : 次の算式により得られる値

$$\lambda = 0.067 \left( \frac{H}{D} \right)^2 - 0.30 \left( \frac{H}{D} \right) + 0.46 \quad [\text{式 C.5-48}]$$

この算式において  $D$  及び  $H$  は、それぞれ次の値を表す。

$D$  : 内径 (単位 mm)

$H$  : 最高液面高さ (単位 mm)

$g$  : 重力加速度 (単位 mm/s<sup>2</sup>)

$E$  : 側板の材料の縦弾性係数 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$t_{1/3}$  : 底面から最高液面高さの 3 分の 1 の高さにおける側板の板厚 (腐れ代を除く。単位 mm)

$W_0$  : 運転重量 (単位 N)

$K_{yA1}$  : [C.5.2.3]に規定する値

$R$  : 側板の半径 (単位 mm)

$S_{ya}$  : アンカーストラップの降伏応力 (単位 N/mm<sup>2</sup>)

$P_0$ 、 $W_s$  及び  $W_r$  : それぞれ[C.5.2.1](1)に規定する値

$W_1$  : [C.5.2.1](1)に規定する値を用いるかその他適切な算定方法によって求めてもよい。

$N$  及び  $A$  : それぞれ[C.5.2.3]に規定する値

$a q_y$  : 単位幅当たりのアンカーの降伏応力を示し、次式で計算される。(単位 N/mm)

$$a q_y = \frac{N A S_{ya} - \pi R^2 P_0}{2 \pi R} \quad [\text{式 8.5-49}]$$

#### [C.5.4.4] 液面揺動の設計用入力地震動によるアンカーストラップの引張降伏に係る許容塑性率

$$\mu_{pa} = \frac{\pi a q_y R}{K_{yA2}^2 (W_s + W_r + W_2) g} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{0.617 t_b S_{yb}^2}{E_a P_b} \quad \text{ただし、} 0.75 \leq \mu_{pa} \leq 2.5 \quad [\text{式 C.5-50}]$$

ここで、

$t_b$ 、 $S_{yb}$ 、 $E_a$ 、 $P_b$ 、 $T$ 、 $a q_y$  及び  $R$  : それぞれ[C.5.4.3]に規定する値

$W_s$  及び  $W_r$  : それぞれ[C.5.2.1](1)に規定する値

$K_{yA2}$  : [C.5.2.4]に規定する値

$W_2$  : [C.5.2.1]に規定する値を用いるかその他適切な計算方法によって求めてもよい。

$g$  : 重力加速度 (mm/s<sup>2</sup>)

#### [C.5.5] 判定基準

平底円筒形貯槽の各損傷モードに対して、次式を満足する。

$$\mu_p \leq \mu_{pa} \quad [\text{式 C.5-51}]$$

ここで、

$\mu_p$  : 当該損傷モードに係る応答塑性率

$\mu_{pa}$  : 当該損傷モードに係る許容塑性率

2025年12月17日 Draft

## [C.6] 架構

### [C.6.1] 損傷モード

架構の損傷モードは、架構が地震力（水平荷重）の作用により架構の一部又は全部の柱、はりの端部が降伏に達し（塑性ヒンジが発生し）、架構が不安定となった状態を損傷モードとする。

損傷モードは保有耐力を用いて評価する。

### [C.6.2] 必要保有耐力

レベル 2 地震動による架構の各階層に作用する必要保有耐力  $Q_{un}$  は次式により算出する。

$${}_i Q_{un} = D_s K_{MH} \sum_i^n \mu W_i \quad [\text{式 C.6-1}]$$

ここで

${}_i Q_{un}$  :  $i$  階層の必要保有耐力 (単位 N)

$\mu$  : 震度分布係数であって、次の算式により得られる値又は 1.0 のいずれか大なるもの。ただし、架構の高さが 10m 未満の場合は 1.0 とする。

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \quad [\text{式 C.6-2}]$$

$H_t$  : 架構の高さ (単位 mm)

$H$  : 架構の設計修正水平震度を算定する位置の高さ (単位 mm)

$K_{MH}$  : 設計修正水平震度で次の算式により得られる値

$$K_{MH} = \beta_s K_H \quad [\text{式 C.6-3}]$$

$\beta_s$  : 附属書 B[B.3.1](1) による水平方向の応答倍率

$K_H$  : 附属書 A[A.1](1) による地表面における設計用入力地震動の水平震度 ( $\mu_k$  は 2.0 とする。)

$W_i$  : 着目  $i$  階の量 (自重、機器、積載等) (単位 N)

$D_s$  : 架構の構造特性係数で附属書 B[B.3.2](2) による。

### [C.6.3] 保有耐力

保有水平耐力  $Q_u$  の算定は弾塑性解析法（極限解析法、増分解析法等）の精算によるほか、算定対象構造に応じて実用的な略算法（節点振り分け法、層モーメント法、仮想仕事の原理を用いた方法）を用いてよい。

保有耐力の算定条件は次のとおりとする。

- 1) 架構は荷重の伝達状態を考慮して、平面骨組に分解し各平面骨組ごとに保有耐力を算定する。
- 2) 平面骨組は部材軸線によって構成される骨組とし、柱、はりの接合部（パネルゾーン）を無視する。
- 3) 各部材の接合部は、全て保有耐力接合がなされているとする。
- 4) 梁材の両端が全塑性状態に至っても、横座屈が生じないよう十分な横補剛がされているとする。
- 5) 柱・はりの全塑性モーメントは各節点に生じるとする。
- 6) ブレースを有する架構の保有耐力はブレースと架構の累加とする。
- 7) 柱の全塑性モーメントの算出において、鉛直震度 ( $K_V$ ) を考慮する。

### [C.6.4] 判定評価

架構の各階層において次式が成り立つ時は、当該架構はレベル 2 地震動に対して耐震性能を満足する。

$$Q_u \geq Q_{un}$$

[式 C.6-4]

ここで、

$Q_{un}$  : 必要保有耐力 (単位 N)

$Q_u$  : 保有耐力 (単位 N)

#### [C.6.5] 柱脚の保有耐力評価

- (1) 柱脚は、架構の保有耐力時の応力状態を適切に評価し、この際に柱脚に作用する力に対して破壊しないよう十分な耐力及び変形能力を確保する。
- (2) 柱脚の基礎ボルトは伸び能力のある材質を用いる。
- (3) 柱脚の形式は原則として露出柱脚とする。

2025年12月17日 Draft  
パブリックコメント用

### [C.7] 塔槽類のノズル部

塔槽類のノズル部（重要度Ia及びIの配管系に接続されるものに限る。）の算定応力等の計算方法は、次のC.7.1又はC.7.2に定める。

#### [C.7.1] 許容荷重判定

$$\begin{aligned} \text{a) 円筒胴ノズルの場合} \quad & \frac{3.0r_0F_X + 1.5M_L + 1.15\frac{r_0}{\sqrt{RT}}M_C}{\pi K} \leq 1.0 \\ \text{b) 球形胴ノズルの場合} \quad & \frac{r_0F_X + 2M_M}{3.6K} \leq 1.0 \end{aligned}$$

ここで、

$K: (r_0T)^2 S / \sqrt{RT}$ 、 $R$ : 胴の平均半径、 $T$ : 胴の厚さ、 $r_0$ : ノズル外半径、 $t$ : ノズルの厚さ、 $F_X$ : ノズル軸方向荷重、 $M_L$ : 長手方向モーメント、 $M_C$ : 円周方向モーメント、 $M_M$ : 子午線方向モーメント、 $S$ : 耐震設計許容応力強さ(1次局部膜応力強さ及び1次曲げ応力強さの和に対する耐震設計許容応力強さであって[C.7.2]で規定する[表C.7.1]②に示す値)、  
適用制限:  $10 \leq R/T \leq 100$ 、 $r_0/R \leq 0.8$ 、 $t/T \geq 0.4$

#### [C.7.2] 許容応力強さ判定

ノズルに作用する荷重に対し、次のa)からc)までに定める種類の応力強さを算定し、表C7.1に示す値を超えないようにする。ただし、c)については、板厚方向に全断面降伏が生じないこと若しくは貫通破壊及びぜい性破壊が生じないことを確認してもよい。

- a) 1次一般膜応力強さ
- b) 1次局部膜応力強さ及び1次曲げ応力強さの和
- c) 設計用の地震動により生じる1次局部膜応力強さ、1次曲げ応力強さ及び2次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値との差

[表C.7.1]

応力強さの種類	耐震設計用許容応力強さ
① 1次一般膜応力強さ	$S$
② 1次局部膜応力強さ及び1次曲げ応力強さの和	$1.5S$
③ 設計用の地震動により生じる1次局部膜応力強さ、1次曲げ応力強さ及び2次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値との差	$2S_y$

備考 この表において $S$ 及び $S_y$ は、それぞれ次の値を表す。(単位  $\text{N/mm}^2$ )

[表C.7.2]

材料の種類	$S$
① 室温以下の温度で使用する低温用アルミニウム合金及び9パーセントニッケル鋼	次の(1)及び(2)のいずれか小なる値 (1) $0.6S_u$ (2) $0.9S_y$
② 室温以上の高温で使用するオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金鋼	次の(1)から(4)までのうちの最小の値 (1) $0.6S_{u0}$ (2) $0.6S_u$

	(3) $0.9S_{y0}$ (4) $S_y$
③ ①及び②以外の材料	次の(1)から(4)までのうちの最小の値 (1) $0.6S_{u0}$ (2) $0.6S_u$ (3) $0.9S_{y0}$ (4) $0.9S_y$

備考 この表において  $S_u$ 、 $S_{u0}$ 、 $S_y$  及び  $S_{y0}$  は、それぞれ次の値を表す。

$S_u^{1)}$  材料の設計温度における引張強さ (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_{u0}^{1)}$  材料の常温における最小引張強さ (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_y$  材料の設計温度における降伏点又は 0.2 パーセント耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

$S_{y0}$  材料の常温における最小降伏点又は 0.2 パーセント耐力 (単位  $\text{N/mm}^2$ )

注 <sup>1)</sup> $S_u$  及び  $S_{u0}$  は、 $0^\circ\text{C}$  から  $40^\circ\text{C}$  以外については、特定設備検査規則の機能性基準の運用について (20240319 保局第 1 号) 別添 1 別表第 1 の値の 4 倍の値を用いる。

## 附属書 D（参考）配管系の耐震性能評価法

### 序文

この附属書は、配管系の耐震性能評価法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

### [D.1] 配管系耐震性能評価とその範囲

重要度 I a 及び I の配管系の耐震性能評価は、慣性力及び応答変位に係る評価並びに地盤変状に係る評価を行う。

### [D.2] 慣性力及び応答変位に係る配管系の耐震性能評価

#### [D.2.1] 地震動の影響と評価

附属書 A に定める地震動に対する配管支持構造物の影響を考慮して配管に作用する地震動を定める。

#### [D.2.2] 損傷モード

配管系は、慣性力及び応答変位に関して、次の①から⑧までの損傷モードについて耐震性能評価を行う。

配管系の慣性力及び応答変位に関する評価は、地盤の変状による地盤の移動に関する評価とは別々に行うことが可能である。

- ① 曲がり管の塑性変形
- ② 分岐部におけるき裂
- ③ 配管支持部における配管のき裂
- ④ ラッチェッティング
- ⑤ 耐震設計設備等のノズル部の損傷
- ⑥ 伸縮継手の損傷
- ⑦ フランジ継手部からの高圧ガスの漏洩
- ⑧ サポートの損傷

#### [D.2.3] 加速度応答解析法

慣性力及び応答変位に対する耐震性能評価は、附属書 B[B.3]に定めるエネルギー法、附属書 B[B.4]に定める等価線形解析法及び附属書 B[B.5]に定める非線形応答解析法のいずれか又はそれらの組み合わせた方法によることが可能である。この場合において、次の(1)及び(2)を考慮して応答解析を行ってもよい。

##### (1) 配管要素

直管、ティー等の配管要素にあつては、線形のはり要素と見なしてよい。曲がり管にあつては、非線形の荷重・ひずみ関係を考慮する。ただし、適切なたわみ性係数を用いて線形応答計算を行ってよい。

##### (2) 減衰定数

曲がり管及びサポートの塑性変形によるエネルギー吸収、配管支持部における摺動によるエネルギー消散等の効果は、適切に低減した減衰定数に置き換えてもよい。



## [D.2.4] 耐震性能評価

## [D.2.4.1] 配管

レベル2地震動における慣性力及び応答変位に対する許容塑性率は[表 D.2-1]により算出する。

[表 D.2-1] 慣性力及び応答変位に対する許容塑性率

荷重	許容塑性率
内圧、自重、地震慣性力による長手方向応力	内圧ラチェットの制限
地震荷重の繰り返し応力の範囲	塑性ひずみ全振幅4%

この場合において、(1)又は(2)による評価に置き換えてもよい。

## (1) 曲がり管の損傷モードに係る評価

曲がり管の変形角度が許容角度  $\theta_a$  を超えないことを確認する。ここで、曲がり管の許容角度  $\theta_a$  は、最大相当塑性ひずみ全振幅4%（片振幅2%）に相当する当該曲がり管の変形角度とする。

## (2) 分岐管、直管等の損傷モードに係る評価

みかけの応力を算出して[表 D.2-2]による耐震設計用許容応力以下であることを確認する。

[表 D.2-2] 慣性力及び応答変位に対する線形モデルによる簡易耐震性能評価

荷重	耐震設計用 許容応力	備考
長手方向応力	$2S_y$	$S_y$ ：耐震設計基本許容応力
地震荷重の繰り返し応力の範囲	$4S_y$	$S_y$ ：材料の設計温度での降伏点又は0.2%耐力

## [D.2.4.2] フランジ継手

フランジ継手に作用する軸方向引張力  $F$  及び曲げモーメント  $M$  がフランジに作用するとき次式により漏洩評価を行う。

$$m \cdot p + \alpha \cdot p_e \leq \sigma_a \quad [\text{式 D.2-1}]$$

ここで、 $m$ 、 $p$ 、 $\alpha$ 、 $p_e$  及び  $\sigma_a$  は次の値を表す。

$m$  : ガasket係数

$p$  : 内圧 (単位 MPa)

$\alpha$  : 等価内圧に対する漏洩影響度補正係数で、 $0.75m$

$p_e$  : 地震力に係る軸方向引張力  $F$  及び曲げモーメント  $M$  に対する等価内圧 (単位  $\text{N/mm}^2$ ) で、全面ガasketの場合は  $F$  及び  $M$  による管端に発生する応力に等しい応力が生じる仮想内圧、また、平面座ガasketの場合は  $F$  及び  $M$  によるガasket面における面圧に等しい面圧が生じる仮想内圧とする。

$\sigma_a$  : ボルトの初期締め付け力によるガasket面圧 (単位  $\text{N/mm}^2$ )。ただし、ボルト締め付け管理を行わない場合には、ボルト一本当たりの初期締め付け応力をボルトの降伏応力又は  $1500/\sqrt{d}$  (単位  $\text{N/mm}^2$ ) のいずれか小なる値としてよい。ここで、 $d$  はボルトの呼び径とする。

**[D.2.4.3] 伸縮継手**

伸縮継手の両端の相対変位は、当該伸縮継手に 50 回の繰り返し数に対して許容される相対変位以下であるようにする。この場合において、地盤の移動に関する評価とは別々に評価を行うことが可能である。

また、相対変位が見込めない方向に関しては応答計算から算出される反力に対して十分な強度を有するようにする。

**[D.2.4.4] 塔槽類のノズル部**

ノズルに作用する曲げモーメント、ねじりモーメント及び軸力はノズルに許容される値以下であるようにする。

**[D.2.4.5] サポート**

慣性力及び応答変位に関するサポートの評価は次の①から④までの損傷モードについて応答計算から算出されるサポート反力に対して行う。この場合において、地盤の移動に関する評価とは別々に評価を行うことが可能である。

- ① サポートの塑性変形
- ② サポートのき裂
- ③ サポートの変位限界
- ④ サポートの座屈限界

**[D.3] 地盤変状に係る配管系の耐震性能評価法****[D.3.1] 地盤変状による基礎の移動に係る配管系の設計**

液化化・流動化するおそれがある地盤上に設置された配管系は、共通基礎上に設置して地盤変状による基礎の移動の影響がないようにしなければならない。ただし、配管に可とう性を保有させ、地盤変状に基づく基礎の移動により配管から高圧ガスの気密性が保たれることを確認した場合はこの限りではない。

**[D.3.2] 損傷モード**

配管系は地盤変状による地盤の移動に関しては、次の(1)から(7)までの損傷モードについて耐震性能評価を行う。

- (1) 曲がり管の塑性変形
- (2) 分岐部におけるき裂
- (3) 配管支持部のき裂
- (4) 耐震設計設備等のノズル部に係る損傷
- (5) 伸縮継手の損傷
- (6) フランジ継手部からの高圧ガスの漏洩
- (7) サポートの損傷

**[D.3.3] 地盤変状に係る基礎の移動量**

地盤変状に係る基礎の耐震性能評価は、次の(1)から(3)までの基礎の移動に係る基礎間の最大の相対変位に対して行う。

- (1) 地盤の液状化及び流動化に伴う基礎の沈下
- (2) 地盤の液状化及び流動化に伴う基礎の不同沈下
- (3) 地盤の流動化に伴う基礎の水平移動

#### [D.3.4] 応答解析法

地盤変状に係る耐震性能評価は、附属書 B[B.3]に定めるエネルギー法、附属書 B[B.4]に定める等価線形解析法及び附属書 B[B.5]に定める非線形応答解析法のいずれか又はそれらの組み合わせた方法によることが可能である。

この場合において、曲がり管は非線形の荷重・ひずみ関係を考慮するが、他の要素は線形要素としてよい。ただし、曲がり管は塑性変形する時、適切に補正したたわみ性係数を用いて線形応答計算を行ってよい。

#### [D.3.5] 耐震性能評価

##### [D.3.5.1] 配管

レベル 2 地震動における地盤変状に係る配管の許容塑性率は 5% する。

この場合において、(1)又は(2)による評価に置き換えてもよい。

##### (1) 曲がり管の損傷モードに係る評価

曲がり管に係る耐震性能評価は塑性率による評価に代えて、曲がり管の変形角度が許容角度  $\theta_a$  を超えないことを確認してもよい。ここで、曲がり管の許容角度  $\theta_a$  は、最大相当塑性ひずみ 5% に相当する当該曲がり管の変形角度とする。

##### (2) ティー及び直管その他の損傷モードに係る評価

ティー、直管に係る耐震性能評価は塑性率による評価に代えて、みかけの応力を算出して耐震設計用許容応力  $4S_y$  以下であることを確認してもよい。

##### [D.3.5.2] フランジ継手

フランジに作用する軸方向引張力  $F$  及び曲げモーメント  $M$  がフランジに作用するとき、[D.2.4.2]に準じて漏洩評価を行う。

##### [D.3.5.3] 伸縮継手

伸縮継手の両端の相対変位は、当該伸縮継手に 10 回の繰返し数に対して許容される相対変位以下であるようにする。この場合において、慣性力及び応答変位に関する評価とは別々に評価を行うことが可能である。

また、相対変位が見込めない方向に関しては応答計算から算出される反力に対して十分な強度を有するようにする。

##### [D.3.5.4] 塔槽類のノズル部

応答計算で算出されたノズルに作用する曲げモーメント、ねじりモーメント及び軸力はノズルに許容される値以下であるようにする。

**[D.3.5.5] サポート**

サポートの地盤の移動に関する評価は、次の(1)から(4)までの損傷モードについて行う。この場合において、慣性力及び応答変位に関する評価とは別々に評価を行うことも可能である。

- (1) サポートの塑性変形
- (2) サポートの変位限界
- (3) 解放サポートの解放荷重
- (4) サポートの座屈限界

**[D.4] 配管支持構造体の耐震性能評価**

配管支持構造体の耐震性能評価は耐震設計設備に係る耐震性能評価法に準じて行う。ただし、配管支持構造体の応答計算は配管支持点（又は高さ）に当該配管重量を適切に配置させて行う。

**[D.5] 配管基礎の耐震性能評価**

附属書 E の基礎の耐震性能評価法による。ただし、基礎の移動量の算定に当たっては、配管反力による効果は省略することも可能である。

附属書 E（参考）基礎の耐震性能評価法

序文

この附属書は、基礎の耐震性能評価法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

[E.1] 基礎の耐震性能評価の範囲

重要度 I a 及び I に係る耐震設計設備及び配管系（以下「上載構造物」という。）を支持する基礎の耐震性能評価は、[E.2]に定める地震動及び地盤変状を考慮して、[E.3]に定める地震慣性力に係る評価及び[E.4]に定める地盤変状に係る評価を行う。ただし、地震慣性力に係る評価と地盤変状のうち地盤の移動に係る評価は別々に行うことも可能である。

[E.2] 基礎の耐震性能評価で考慮する地震動及び地盤変状

[E.2.1] 地震動

基礎に作用する地震力は（1）から（3）に定めるところによる。ただし、時刻歴応答解析を実施する場合は、（1）から（3）に係わらず、附属書 B[B.5.1](2)によってもよい。

(1) 基礎の設計静的水平震度

設計静的水平震度は、次式により算出する。

$$K'_{SH} = \beta'_4 \cdot K_H$$
 [式E.2.1(1)]

ここで、 $K'_{SH}$ 、 $\beta'_4$ 及び $K_H$ は、それぞれ次の値を表わす。

- $K'_{SH}$  : 設計静的水平震度
- $K_H$  : 附属書 A[A.1]に定める値
- $\beta'_4$  : 水平方向の応答倍率であって、基礎の地上部分については 2.0 として、地下部分については次の表の左欄に掲げる基礎の地表面からの深さ  $H_F$  に応じ、同表の右欄に掲げる値

[表 E.2.1(1)]

$H_F$ (m)	$\beta'_4$
5 以下	$2.0 - 0.2H_F$
5 超	1.0

(2) 基礎に作用する地震慣性力

基礎に作用する地震慣性力は、次式により算定する。

$$F'_{SH} = \lambda K'_{SH} W_F$$
 [式 E.2.1(2)]

ここで、 $F'_{SH}$ 、 $\lambda$ 、 $K'_{SH}$ 及び $W_F$ は、それぞれ次の値を表わす。

- $F'_{SH}$  : 基礎の設計静的水平地震力（単位 N）
- $K'_{SH}$  : (1)に規定する値
- $\lambda$  : 基礎の根入れ深さに応じ、次の表に掲げる値

[表 E.2.1(2)]

$D_f(\text{m})^*$	$\lambda$
$0 \leq D_f < 0.5$	0.5
$0.5 \leq D_f < 1.5$	0.4
$1.5 \leq D_f$	0.25

\* 基礎の地上部分にあつては  $\lambda=0.5$  とする。

$W_F$  : 基礎重量 (単位 N)

### (3) 上載構造物から基礎に作用する地震力

上載構造物から基礎に作用する地震力は、耐震設計設備については附属書 C、配管系については附属書 D に示された上載構造物の応答を考慮した設計修正水平及び鉛直震度を用いた値とする。

## [E.2.2] 地盤変状

基礎の耐震性能評価においては、[E.2.2.1]に定める液状化するおそれがある地盤は、[E.2.2.3]から[E.2.2.4]に定める地盤変状を考慮する。また、[E.2.2.2]に定める液状化及び流動化するおそれがある地盤は、[E.2.2.3]から[E.2.2.5]に定める地盤変状を考慮する。

なお、地盤変状対策を実施した場合には、対策の効果を考慮してよい。

### [E.2.2.1] 液状化の判定

次のすべて全てに該当する沖積層の地盤（粘土分含有率が 20%を超える地盤を除く。）は、地震時に液状化するおそれのある地盤と判定する。

- (1) 地下水位が現地盤面地表面から 10m 以内にあり、かつ現地盤面地表面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
- (2) 細粒分含有率  $FC$  が 35% 以下の土層、又は  $FC$  が 35% を超えても塑性指数  $I_p$  が 15 以下の土層
- (3) 50% 粒径  $D_{50}$  が 10mm 以下で、かつ 10% 粒径  $D_{10}$  が 1mm 以下である土層
- (4) 次式で示す  $F_L$  値が 1.0 以下である土層

$$F_L = \frac{R}{L} \quad [\text{式 E.2-3}]$$

この算式において、 $R$  及び  $L$  は、次の値を表すものとする。

$R$  : 地盤の動的せん断強度比であつて、次の算式により得られる値とする。

$$R = C_w \cdot R_L \quad [\text{式 E.2-4}]$$

ただし、この算式において、 $C_w$  及び  $R_L$  は次の値を表すものとする。

$C_w$  : 地震動特性による補正係数であつて、1.0~2.0 とし、地震環境を考慮した上で適切な値を設定する。

$R_L$  : 地盤の繰返し三軸強度比であつて、次の表より得られる値

[表 E.2.2.1(1)]

$N_a$	$R_L$
$N_a$ が 14 未満の場合	$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{0.85N_a + 2.1}{1.7}}$ <span style="float: right;">[式 E.2-5]</span>



$N_a$ が 14 以上の場合	$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}$ [式 E.2-6]
------------------	---

この算式において、 $N_a$  は粒度の影響を考慮した補正  $N$  値を表すもので、次の表により得られる値とする。

[表 E.2.2.1(2)]

土 質	$N_a$
$D_{50}$ が 2mm 未満の場合	$N_a = C_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47$ [式 E.2-7]
$D_{50}$ が 2mm 以上の場合	$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50} / 2)\} N_1$ [式 E.2-8]

この算式において、 $C_{FC}$ 、 $N_1$  及び  $D_{50}$  はそれぞれ次の値を表す。

$C_{FC}$  : 細粒分含有率  $FC$  (単位 %) による  $N$  値の補正係数であって、次の表による。

[表 E.2.2.1(3)]

細粒分含有率 $FC$	$C_{FC}$
0%以上 10%未満の場合	1
10%以上 40%未満の場合	$(FC + 20) / 30$ [式 E.2-9]
40%以上の場合	$(FC - 16) / 12$ [式 E.2-10]

$N_1$  : 有効上載圧 100kN/m<sup>2</sup> 相当に換算した  $N$  値であって、次の算式により得られる値とする。

$$N_1 = 170N / (\sigma'_{fb} + 70) \quad [\text{式 E.2-11}]$$

この算式において、 $N$  及び  $\sigma'_{fb}$  は、それぞれ次の値を表すものとする。

$N$  : 標準貫入試験から得られる地盤の  $N$  値

$\sigma'_{fb}$  : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧  
(単位 kN/m<sup>2</sup>)

$D_{50}$  : 50%粒径 (単位 mm)

$L$  : 地盤の地震時におけるせん断応力比であって、サイトスペシフィック地震動を入力地震動とする地盤の非線形動的応答解析を行って算定する。ただし、当面の間、次の算式により得られる値としてもよい。

$$L = r_d K_H \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad [\text{式 E.2-13}]$$

この算式において、 $r_d$ 、 $K_H$ 、 $\sigma_v$  及び  $\sigma'_v$  は、それぞれ次の値を表すものとする。

$r_d$  : 地震時のせん断応力比の深さ方向の低減係数であって、次の算式で得られる値とする。

$$r_d = 1.0 - 0.015x \quad [\text{式 E.2-14}]$$

この算式において、 $x$  は地表面からの深さ (単位 m) を表すものとする。

$K_H$  : 附属書 A[A.1]で定める地表面における水平震度、なお、代替評価法を採用する場合であっても 0.5 を乗じない値とする。

$\sigma_v$  : 地表面からの深さ  $x$  設計深度における全上載圧 (単位 kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_v$  : 地表面からの深さ  $x$  設計深度における有効上載圧 (単位 kN/m<sup>2</sup>)

**[E.2.2.2] 流動化の判定**

液状化するおそれのある護岸近傍の地盤で当該護岸が地震動で水平移動や転倒を生じる可能性がある場合は、当該護岸背後地盤は「流動化するおそれがある地盤」と判定し、地盤の流動化の影響で近傍の耐震設計構造物に損傷を与えることが予想される場合は、流動化の検討を行う。なお、護岸近傍とは護岸から 100m 以内の範囲とする。

**[E.2.2.3] 土質定数の低減**

「液状化するおそれのある地盤」の土層に係る土質定数は、 $F_L$  値、深度及び地盤の動的せん断強度比  $R$  の関係から定まる以下の低減係数  $D_E$  を当該土層が液状化しないものとして求めた土質定数に乗じて算出することとする。なお、 $D_E=0$  の場合の土層は、耐震設計上土質定数を零とする土層とする。

**[表 E.2.2.3] 土質定数の低減係数  $D_E$** 

$F_L$ の範囲	深度 $x(m)$	地盤の動的せん断強度比 $R$	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$10 < x \leq 20$	1	1

**[E.2.2.4] 地盤の沈下**

液状化又は流動化するおそれがある地盤では、配管系の耐震性能評価に必要な液状化に伴う地盤の沈下量を適切な方法により算定する。

**[E.2.2.5] 地盤の水平移動**

流動化するおそれがある地盤では、配管系の耐震性能評価に必要な流動化に伴う地盤の水平移動量を適切な方法により算定する。

**[E.3] 地震慣性力に係る基礎の耐震性能評価****[E.3.1] 耐震性能評価の手順**

地震慣性力に係る基礎の耐震性能評価は、次の部位の損傷に関して、[E.3.2]に定める応答解析を行い、[E.3.3]に定める許容塑性率等に対して、[E.3.4]に定めるところにより耐震性能評価を行う。この地震慣性力に係る基礎の耐震性能評価は、附属書 B[B.3.3]に規定する代替評価法による評価に替えることも可能である。

- (1) 基礎ボルト定着部
- (2) ペDESTAL
- (3) フーチング
- (4) 基礎杭
- (5) その他耐震設計上必要な部位



### [E.3.2] 応答解析

地震慣性力に係る基礎の応答解析は次の (1) から (4) による。

- (1) 応答解析は附属書 B[B.3]に定めるエネルギー法、附属書 B[B.4]に定める等価線形応答解析法及び附属書 B[B.5]に定める非線形応答解析法のいずれかの方法による。
- (2) [E.2.1]に定める基礎に作用する地震慣性力、上載構造物から基礎に作用する地震力及び地盤変位の影響を考慮して応答解析を行う。
- (3) 液状化するおそれのある地盤の場合に関しては、[E.2.2.3]の規定による土質定数の低減を考慮して応答解析を行う。なお、過剰間隙水圧の上昇に伴う土粒子間の有効応力の減少を考慮できる有効応力解析も応答解析に用いることが可能である。
- (4) 当該損傷モードに係る部材の応答塑性率、保有耐力等を算定する。

注<sup>1)</sup> 地盤変位の影響を考慮した応答解析は、(一社)日本建築学会「建築基礎構造設計指針 (2019 年)」の 4.5 節または (公財) 鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (2012 年)」の 10.2.4.3 による。

### [E.3.3] 許容塑性率等

許容塑性率  $\mu_{pa}$  又は保有耐力は、[E.2]に定める地震動及び地盤変状に際して、当該基礎に係る上載構造物内の高圧ガスの気密性が保持されるよう定める。なお、許容塑性率  $\mu_{pa}$  は詳細な検討によらない場合は既往の研究成果や関連基準を準用して定めてもよい。

### [E.3.4] 耐震性能評価

基礎の地震慣性力に係る耐震性能評価は、応答解析法の種類に応じて、当該損傷モードごとに、附属書 B[B.3]から[B.5]により評価を行う。

## [E.4] 地盤変状による基礎の移動に係る耐震性能評価

### [E.4.1] 杭基礎の耐震性能評価

#### [E.4.1.1] 杭基礎の損傷モード及び耐震性能評価

流動化するおそれのある地盤に係る杭基礎は、地盤変状のうち地盤の移動に係る基礎の耐震性能評価を行う。この評価においては、流動化により生じる杭基礎の損傷に関して、[E.4.1.2]に定めるところにより応答解析を行い、[E.4.1.3]に定めるところにより応答塑性率を算出し、[E.4.1.4]に定めるところにより許容塑性率を算出して、[E.4.1.5]に定めるところにより耐震性能評価を行う。

ただし、地盤の移動により、基礎フーチング自体に上載構造物を支持する上での構造的な障害が生じないことを確認し、かつ、基礎の移動量を地盤の移動量と等しいと仮定した場合及び地盤は移動しても基礎は移動しないと仮定した場合について、共に上載構造物の高圧ガスの気密性が保持されることを確認するときは、本評価は省略することも可能である。

**[E.4.1.2] 応答解析**

- (1) 適切な応答解析法により、基礎杭に作用する地盤の移動の影響を評価し、杭基礎に生じる変位及び応力を算定する。
- (2) 応答解析法として応答変位法を適用する場合の土質定数には、[E.2.2.3]の規定にかかわらず地盤の移動に伴う低減係数を適用することも可能である。

**[E.4.1.3] 応答塑性率**

杭基礎の応答塑性率は、当該杭基礎に発生する塑性変位を杭基礎の降伏変位で除して算定する。

**[E.4.1.4] 許容塑性率**

地盤変状による基礎の移動に係る許容塑性率  $\mu_{pa2}$  は、当該基礎に係る上載構造物の高圧ガスの気密性が保持されるよう定める。

**[E.4.1.5] 耐震性能評価**

[E.4.1.3]に定める応答塑性率が[E.4.1.4]に定める許容塑性率以下となることにより、地盤の移動に係わる基礎の耐震性能が確保されることを確認する。

**[E.4.2] 地盤変状に伴う基礎の変位の評価****[E.4.2.1] 評価する場合の前提事項**

液状化・流動化のおそれのある地盤上に設置された配管支持構造物の直接基礎については、変位（沈下・傾斜及び水平移動）の算定結果から得られる基礎－基礎間の相対変位に対して配管系耐震性能評価を行い、高圧ガスの気密性が保持されることを確認する。

**[E.4.2.2] 相対変位の算定**

相対変位の算定は、基礎タイプが異なる場合、基礎・構造物のサイズが著しく異なる場合に算定が必要になる。ただし、その際でも、配管側にて相対変位対策がとられている場合には算定は不要となる。

**[E.4.2.3] 杭基礎の変位**

杭基礎の変位については、[E.4.1]の杭基礎の耐震性能評価の中で算定される杭頭の変位として算定される。

**[E.4.2.4] 直接基礎の変位**

直接基礎の変位については、詳細解析法、簡易的な方法がある。基礎の重要度・大きさなどを勘案して算定する必要があるが、小規模な配管支持基礎については簡易的な方法を用いて算定することも可能である。

## 附属書 F（参考）サイトスペシフィック地震動の算出法

### 序文

この附属書は、サイトスペシフィック地震動の算出法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

### [F.1] 対象地震の選定

対象地震の選定は、設置場所周辺での過去の地震に関する地震学的情報や、活断層等の地質学的情報等に基づき設置場所地点において最大級の強さの地震動をもたらす得る地震を対象とし、かつ耐震設計構造物の動特性を総合的に考慮した上で選定する。

### [F.2] サイトスペシフィック地震動の算定

強震動予測手法に基づき設置場所の地震動を算定する。

算定する地震動は、断層の広がりや破壊伝播の影響、距離減衰特性、深部地下構造による地震動の増幅特性を考慮した強震動予測手法<sup>リ</sup>に基づき、設置場所の地震動を評価する。また、設置場所及びその周辺に活断層が知られていない場合においても、伏在断層による地震動の下限値を M6.5 以上の地震が直下で発生した場合を想定した評価を行う。

また、鉛直方向の地震動の影響は水平方向地震動との同時性を考慮する。

注<sup>リ</sup>断層の広がりや破壊伝播の影響、距離減衰特性、深部地下構造による地震動の増幅特性を考慮した強震動予測手法は、次の(1)から(3)の方法などがあるが、設計する耐震設計構造物の動特性などを考慮しながら、適切な手法を用いて算定する。

- (1) 地盤構造や震源過程などを理論的にモデル化し、差分法や有限要素法、波数積分法などの数値解析法による理論的方法
- (2) 設置場所で観測された小さな地震記録を、想定した断層の破壊過程に応じて重ね合わせることで、当該断層の地震動を推定する半経験的方法
- (3) 距離減衰式などの各種経験式によって予測を行う経験的方法

### [F.3] 設計用の地震動の設定

サイトスペシフィック地震動を用いた設計用の地震動の設定は、次の手順で行う。なお、サイトスペシフィック地震動は基本的に工学的基盤面で設定する。

- (1) 最初に当該耐震設計構造物の設置地点周辺での地震学的情報、地質学的情報等（地震活動履歴、活断層の分布状況や活動等の調査結果、地盤の堆積構造や強震観測結果）を整理する。

整理に当たっては、国の機関（中央防災会議や地震調査研究推進本部等）及び地域防災計画の想定地震等の資料を活用することも可能である。

- (2) 次に整理した地震学的情報、地質学的情報等に基づき、対象地震（プレート境界地震、スラブ内地震、内陸地殻内地震のいずれか、又はすべて）を選定する。設置地点において、当該耐震設計構造物に最も大きな影響を及ぼす可能性のある地震を選定する。

選定に当たっては、耐震設計構造物の設置地点及びその周辺に活断層が知られていない場合において

も、伏在断層による地震（M6.5 以上）が直下で発生する可能性に配慮する（サイトごとの伏在断層を考慮することを必須とする）。また、便宜的に距離減衰式を用いて設置地点の地震動強さ（加速度応答スペクトル）を簡易評価する等して選定することが可能である。さらに、地震の種類やそれに伴う継続時間の違い等を勘案し、1つの地震に特定し難い場合は、複数選定する。

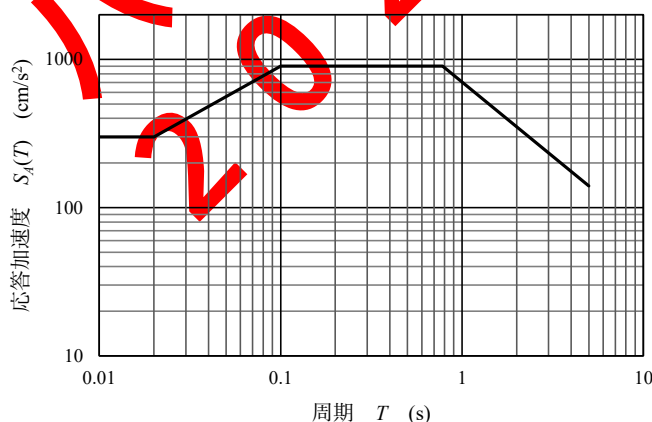
- (3) 選定した対象地震に対し、サイトスペシフィック地震動を強震動予測手法により算定する。強震動予測手法には、経験的手法、半経験的手法、理論的手法、ハイブリッド合成法があり、耐震設計構造物の動特性等を考慮し、適切な手法を用いてサイトスペシフィック地震動を算定する。なお、サイトスペシフィック地震動は、国の機関及び地域防災計画の想定地震等の資料を活用して算定することも可能である。

また、強震動予測手法によりサイトスペシフィック地震動を算定する場合、耐震設計構造物に及ぼす影響に配慮した上で、不確定性を考慮する（適切な位相特性の設定、断層モデルのアスペリティや破壊開始点の違い等による複数波を用いる等）。なお、設置地点における地震観測記録を用いた経験的グリーン関数法（半経験的手法）を適用することにより、予測地震動の信頼性は飛躍的に向上することが期待されるため、地震観測を行い、地震観測記録を蓄積することは非常に有効である。

- (4) 強震動予測手法により算定したサイトスペシフィック地震動に対し、設計用下限地震動との比較を行う。設計用下限地震動は、工学的に地震動の不確定性に配慮するとともに、耐震設計構造物にとって最低限保有すべき耐震性能を確保するための地震動である。設計用下限地震動は、図 F.3-1 に示す工学的基盤における加速度応答スペクトルとする。

- (5) 強震動予測手法により算定したサイトスペシフィック地震動が、すべての周期帯で設計用下限地震動を上回る場合にはサイトスペシフィック地震動を、下回る場合は設計用下限地震動を設計用の地震動とする。また、一部の周期帯で設計用下限地震動を上回るか下回る場合には、サイトスペシフィック地震動と設計用下限地震動の両地震動を設計用の地震動とする。ただし、耐震設計構造物の動特性等を考慮し、耐震設計構造物に及ぼす影響が大きいと特定できる場合（例えば、耐震設計構造物の振動を支配する固有周期帯におけるスペクトルの大小関係等から判断できる場合等）は、一方の地震動を設計用の地震動とすることが可能である。

なお、設計用下限地震動は加速度応答スペクトルとして与えており、時刻歴波形は適切な位相を用いて作成する。また、サイトスペシフィック地震動と同様、不確定性を考慮する。



$$S_A(T) = \begin{cases} 300 & (0.01 \leq T < 0.02) \\ 4333.6T^{0.6826} & (0.02 \leq T < 0.1) \\ 900 & (0.1 \leq T < 0.78) \\ 702/T & (0.78 \leq T) \end{cases}$$

【図 F.3-1】 設計用下限地震動（加速度応答スペクトル）



#### [F.4] 標準波を用いたサイトスペシフィック地震動の設定

コンビナート等保安規則第2条第1項第21号に規定されるコンビナート地区において、各地区の代表地点における標準波が公開されており<sup>1)</sup>、サイト増幅特性を評価し適切に補正することで標準波を耐震設計構造物の設置地点（以下、対象地点という。）のサイトスペシフィック地震動とすることも可能である。

標準波の補正方法は、地震観測記録を用いる場合は[F.4.1]、微動観測等を用いる場合は[F.4.2]による。

注<sup>1)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和4年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2023年3月

注<sup>2)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和5年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2024年3月

注<sup>3)</sup> 高压ガス保安協会、経済産業省委託 令和6年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高压ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）報告書、2025年3月

##### [F.4.1] 地震観測記録によるサイト増幅特性の補正

地震観測を実施し、十分な地震観測結果が得られている場合<sup>1)</sup>には、地震観測記録を適用してサイト増幅特性を評価し、補正することが可能である。地震観測記録を用いた標準波の補正方法は次の手順による。

- (1) 代表地点（対象コンビナート地区の周辺の地震観測点である標準波算定地点）と対象地点で共通する地震<sup>2)</sup>の観測記録を抽出する。
- (2) それぞれの地点に対して、工学的基盤<sup>3)</sup>から地表の地盤モデルを用いた線形解析に基づいて地表の観測記録から工学的基盤の地震波を算出する。
- (3) 代表地点に対する対象地点の工学的基盤の地震波のフーリエ振幅のスペクトル比を算出し、サイト補正係数とする<sup>4)</sup>。このとき、工学的基盤の地震波が複数ある場合は、その平均をサイト補正係数とする<sup>5)</sup>。
- (4) 標準波にサイト補正係数を乗じることによって対象地点の地震動（工学的基盤）を算出する。

注<sup>1)</sup> 代表地点において観測されたものと同じ地震の記録がある程度蓄積されていれば適用可能である。

注<sup>2)</sup> 代表地点及び対象地点におけるローカルな地盤震動特性の影響を平均的に評価するためには、種々の震源タイプや震源位置を含む多くの観測記録を用いて補正関数を作成することが望ましい。

注<sup>3)</sup> 工学的基盤は、 $V_s$  がおよそ 400 m/s 程度の層を想定する。

注<sup>4)</sup> 補正関数の作成にあたっては、記録の S/N（signal-to-noise）比に配慮する。

注<sup>5)</sup> 工学的基盤面での観測が行われておらず、地表面でのみ地震観測が行われている場合は、工学的基盤上面よりも表層の速度構造を用いて工学的基盤上面まで引き戻す。

##### [F.4.2] 微動観測等によるサイト増幅特性の補正

地震観測記録が得られておらず[F.4.1]により補正を行えない場合にあっては、微動観測又はボーリング調査の一方又は両方によって、代表地点と対象地点の地震基盤<sup>1)</sup>までの速度構造を同定したうえでサイト

増幅特性を評価し、補正することが可能である。微動観測を用いた標準波の補正方法は次による。

- (1) 微動観測による補正は代表地点又は対象地点におけるローカルな地盤震動特性の影響を強く受ける場合もあり、必ずしも精度の高い補正が行えるとは限らない。適切な補正関数が得られるかどうかについては、代表地点と対象地点の地盤環境に大きく依存する。
- (2) 代表地点と対象地点の両方で微動のアレイ観測<sup>2)</sup>を実施し、位相速度を求めたうえで、水平成層構造を仮定<sup>4)</sup>して観測された位相速度を満足する地盤の速度構造を推定する。
- (3) 推定された速度構造を用いて 1 次元重複反射理論に基づいて、代表地点と対象地点において地震基盤上面から工学的基盤上面までの S 波の理論伝達関数を求める。両地点の伝達関数の比をもって補正関数とする。
- (5) 標準波に補正関数を乗じることで対象地点の地震動（工学的基盤）を算出する。

注<sup>1)</sup>地震基盤とは、せん断波速度がおおよそ 3 km/s 程度以上の岩盤層の上面とする。

注<sup>2)</sup>地震基盤までの速度構造を推定できるように十分に大きなアレイを設定する。周期 10 秒程度までの微動を精度良く観測できるように十分に高感度のセンサを用いる。微動観測記録の解析にあたっては、適切な前処理を行い、センサ周辺で発生したローカルなノイズ（自動車の通過による震動など）を含まない記録を用いる。ノイズを含まない記録を選択することができるように、観測時間を十分に長く確保するとともに、周囲のノイズ環境によってはノイズが少ない深夜に観測をするなどの工夫が必要である。

注<sup>3)</sup>観測時間について、例えば、周期 10 秒までを解析対象とする場合、解析区間の長さは 81 秒程度を 1 セグメントとし、50 セグメント程度は確保することが望ましい。交通振動などのノイズがまったくない場合であれば記録時間は少なくとも 80 分、ノイズが比較的多い環境下でノイズを含まない区間を選択するために、例えば 100 セグメント相当の観測時間として少なくとも 2 時間半を確保する。交通ノイズが非常に多い環境ではより長い観測時間が必要となる。

注<sup>4)</sup>代表地点と対象地点直下で 1 次元成層構造を仮定して求められた補正関数は地震基盤等の 3 次元的形状によるローカルな地盤震動特性の違いを反映することができない。

## 附属書 G（参考）免震及び制振構造等設計法

### 序文

この附属書は、免震及び制振構造等設計法について参考のため記載するものであって、規定の一部ではない。

### [G.1] 適用

本規定は、高圧ガス保安法の適用を受ける耐震設計構造物であって、免震又は制振構造等により地震の影響を低減するものに適用する。以下に免震及び制振構造等を有する耐震設計構造物に関する設計の要点を示す。

### [G.2] 用語の定義

対象構造物	地震動の影響の低減をはかる対象としての高圧ガス設備の塔槽類及配管系等の耐震設計構造物をいう。
免震機構	対象構造物への地震入力を低減する機構をいう。支承、エネルギー吸収装置等の免震要素からなる構成される。
制振機構	対象構造物の応答を制振する目的で構成された機構をいう。
免震機構要素	免震機構の構成要素で支承、エネルギー吸収装置等をいう。
制振機構要素	制振機構の構成要素でエネルギー吸収、付加質量効果のための装置等をいう。
免震構造物	対象構造物及び免震機構からなる構造系をいう。また、断わりのない限り「水平 2 次元免震構造」をいう。
制振構造物	対象構造物及び制振機構からなる構造系をいう。
使用限界性能	地震動に対して耐震設計構造物の損傷又は機能損失がないこと。
終局限界性能	地震動に対して耐震設計構造物の気密性が保持されること。
免震性能	免震性能は対象構造物の使用限界性能及び終局限界性能に対する性能をいう。
制振性能	制振性能は対象構造物の使用限界性能及び終局限界性能に対する性能をいう。
支持機能	対象構造物の鉛直荷重を地震時の最大変形量まで支持する機能
アイソレータ機能	地震に際して、対象構造物が最大変形量まで変位したあと、水平方向に復元させる機能
ダンパー機能	地震時に際して、対象構造物の運動エネルギーを吸収する機能
支承	支持機能及びアイソレータ機能を有する免震機構要素
エネルギー吸収装置	ダンパー機能を有する免震機構要素
免震系解析モデル	免震応答解析のために作成した免震構造物の力学モデル
制振系解析モデル	制振応答解析のために作成した制振構造物の力学モデル
弾性系モデル	免震・制振系解析モデルからエネルギー吸収特性を削除した力学モデル
等価剛性	免震・制振機構の最大応答荷重を最大応答変形量で除した値
等価固有周期	免震・制振機構の相当剛性に対して算出される免震・制振系の固有周期
降伏震度	免震・制振系の降伏が始まる時の設計水平修正震度

降伏加速度

降伏震度に重力加速度を乗じた値

**[G3] 免震構造物及び制振構造物の設計の基本**

免震構造物及び制振構造物の設計は次の各号に定めるところによる。

- (1) 免震構造物及び制振構造物の設計目標（地震動のレベル等の対象地震動、免震・制振対象構造、要求性能、限界性能等）を明らかにし、設計目標に応じて応答量等の当該対象構造系の許容条件を設定する。
- (2) 免震構造物及び制振構造物は可能なかぎり単純な構造系とし、免震・制振構造物の設計用力学的モデル及び解析手法の妥当性を確認する。
- (3) 本文3に規定する保有すべき耐震性能を保有していることを確認する。
- (4) 免震構造物及び制振構造物の設計目標に応じて、免震機構の機能、機能範囲（又は容量）、機能条件が適切なものであることを確認する。
- (5) 地震力以外の荷重に対して設計上の基準を明確にして健全性を確保する。
- (6) 免震機構及び制振機構に設計上想定しない変位、荷重等が作用することを考慮して余裕を見込むようにする。
- (7) 免震機構及び制振機構の適切な品質管理（信頼性を含む。）及び点検・維持管理が行えるようにする。

**[G.4] 免震構造物及び制振構造物の設計用の地震動の設定**

免震構造物及び制振構造物の設計のための設計用の地震動の設定は、次の各号による。

- (1) 入力地震動の設定に当たっては、本文5.1に規定するサイトスペシフィック地震動又は本文5.2に規定する地域別地震動に附属書Aに規定する基準応答倍率（ただし、水平方向は附属書B[図B.3-1]とする。）を乗じた応答スペクトルに長周期補正係数、地形効果補正係数を乗じたスペクトルによる。
- (2) 免震構造特性又は制振構造特性に応じて、(1)の応答スペクトルに位相特性、波形包絡線、継続時間を考慮して、適切な地震動（必要に応じて時刻歴波形）を設定する。ただし、現実的なパラメータサーベイを行い必要に応じて複数の地震動を設定する。
- (3) 設計用の地震動は、通常、水平2方向と鉛直地震動を考慮する。

**[G.5] 地震応答解析**

地震応答解析は次の各号に定めるところによる。

- (1) 免震構造物又は制振構造物の特性に応じて適切な方法により次に示す応答解析法のいずれかによることが可能である。
  - ・ エネルギー法
  - ・ 応答スペクトル法
  - ・ 時刻歴応答解析法
- (2) 免震構造物又は制振構造物の挙動を簡単なモデルで忠実に表現する免震・制振系解析モデルを構築する。なお、免震・制振系解析モデルは対象構造物（塔槽類等）、対象構造物内の流体、免震・制振機構、基礎及びこれ等を接合する構造要素モデルに分けられる。



- (3) 免震機構要素及び制振機構要素は次のいずれかに分類し、その荷重－変形特性に応じて、線形要素（線形ばね、粘性減衰）、非線形要素（バイーリニアモデル等）、等価線形要素（又は等価減衰要素）等にモデル化する。
- ・ 積層ゴム支承
  - ・ 滑り・転がり支承
  - ・ ダンパー
- (4) 免震部材及び制振部材の荷重－変位特性の変動幅について、設計値に対する製作誤差（ばらつき）、温度依存性、経年変化の影響等を考慮する。
- (5) 鉛直動に関して、当該方向の修正震度に基づく地震力が自重の増減とし作用するとして扱ってよい。
- (6) 免震構造物及び制振構造物は、偏心が生じないことを通常とし、ねじれ振動の検討は省略してよい。

## [G.6] 免震性能、制振性能の評価

### [G.6.1] 免震部材、制振部材

#### (1) 積層ゴム支承

アイソレータは、[G.5]地震応答解析により求められた水平変位が許容値を超えないようにする（水平変形の許容値は軸力に依存するため、軸力を照査した上で判断する）。

アイソレータは、[G.5]地震応答解析により求められた最大軸力（圧縮力）が許容値を超えないようにする（圧縮力の許容値は水平変位に依存するため、水平変位を照査した上で判断する）。

アイソレータは、[G.5]地震応答解析により求められた最小軸力が引張域に入る場合は、その値が許容値を超えないようにする。

#### (2) 滑り・転がり支承

滑り支承・転がり支承は、[G.5]地震応答解析により求められた水平変位が許容値を超えないようにする（水平変形の許容値は軸力に依存する場合には、軸力を照査した上で判断する）。

滑り支承・転がり支承は、[G.5]地震応答解析により求められた最大軸力（圧縮力）が許容値を超えないようにする。

滑り支承・転がり支承は、[G.5]地震応答解析により求められた最小軸力が引張域に入り、かつ、引張許容値がある場合は、その値が許容値を超えないようにする。

#### (3) ダンパー

ダンパーは、[G.5]地震応答解析により求められた水平変位が許容値を超えないようにする。また、繰り返し疲労や最大速度などについての許容値が規定されている場合は、その値を超えないようにする。

#### (4) 地震力以外の荷重

地震力以外の荷重（自重、積雪、風荷重、熱応力等）に対し、積層ゴム支承、滑り支承・転がり支承、及びダンパーの安全性を確認する。

### [G.6.2] 塔槽類及び架構

塔槽類及び架構の免震性能又は制振性能の評価はつぎの各号に定めるところによる。

- (1) 当該塔槽類の地震力の算定は、[G.5]に規定する免震・制振構造物の応答解析の結果による。ただし、応答解析モデルで、当該塔槽類を剛として質量としてのみモデル化している場合には、KHKS0861(20xx) 9.1 によることとし、耐震上重要な部材に生じる応力等（KHKS0861(20xx) 12 から 17 までによる。）が部材に定められた許容応力等（KHKS0861(20xx) 20 による。）を超えないことを確認する。ただし、 $K_H$  及び  $K_V$  は当該架構の設置床での応答最大加速度を重力加速度で除した値とし、応答倍率  $\beta_5$  は KHKS0861(20xx) 図 9.1.1(a) 及び (b) に代えて、床応答倍率に 2.0 を乗じた値とする。なお、この場合、レベル 1 耐震性能評価を省略してもよい。
- (2) 免震性能又は制振性能の評価は、一般に、通常の運転状態における設計入力地震動に関する G.5 による地震応答解析を行い、耐震上重要な部材に生じる応答塑性率が許容塑性率を超えないことを確認する。
- (3) 免震構造物の架構（以下、免震架構という。）については、建築基準法の免震建築物の規定に準じてよい。建築基準法の適用を受ける場合、又は、建築基準法による指定機関により審査・認定された免震架構については、評価を省略することも可能である。ただし、地震動は本文 5 と整合しているようにする。

#### [G.6.3] 免震構造物（架構）上の塔槽類の設計

免震架構上の塔槽類は KHKS0861(20xx) 9.1 によってもよい。ただし、 $K_H$  及び  $K_V$  は当該架構の設置床での応答最大加速度を重力加速度で除した値とし、応答倍率  $\beta_5$  は KHKS0861(2018) 図 9.1.1(a) 及び 図 9.1.1(b) に代えて、床応答倍率 2.0 を乗じた値とする。

#### [G.6.4] 配管系

配管系のレベル 2 耐震性能評価は、通常の運転状態における設計入力地震動に関する [G.5] による地震応答解析を行い、耐震上重要な部材に生じる応答塑性率等が当該部材の許容塑性率を超えないことを確認する。

#### [G.6.5] 基礎

基礎の耐震性能評価はつぎの各号に定めるところによる。

- (1) 耐震性能の評価は、一般に、通常の運転状態における設計入力地震動に関する [G.5] による地震応答解析を行い、耐震上重要な部材に生じる応力等（KHKS0861(20xx) 19 による。）が部材に定められた許容応力等（KHKS0861(20xx) 20 による。）を超えないことを確認する。
- (2) 重要度 Ia 又は II の免震構造物又は制振構造物の基礎のレベル 2 耐震性能評価を (1) により行う場合は、レベル 1 耐震性能評価を省略してもよい。
- (3) 液状化するおそれのある地盤の場合には、地盤の固有周期の変動を考慮する。必要に応じて地盤改良を行う。