

KHKS



高圧ガス設備等の耐震設計に 関する基準（レベル1）

KHKS 0861(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	太陽日酸株式会社
	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	配管の内容積の算定.....	5
3.1	地震防災遮断弁で区切られた間の配管の内容積の算定例.....	5
3.2	レギュレーサ等により外径を45mm以上から45mm未満に変更する場合.....	6
3.3	塔槽類と地震防災遮断弁の間に耐震設計を要しない機器がある場合.....	6
4	保有すべき耐震性能.....	7
5	耐震性能の評価.....	10
5.1	耐震設計設備に係るレベル1耐震性能の評価.....	10
5.2	配管系に係るレベル1耐震性能の評価.....	10
5.3	基礎に係るレベル1耐震性能の評価.....	10
6	設計用の地震動.....	11
6.1	設計用入力地震動の計算方法.....	11
6.2	液面揺動の設計用入力地震動の計算方法.....	14
7	設計用の地震動に基づく応答解析.....	18
7.1	耐震設計設備の設計用入力地震動に基づく応答解析.....	18
7.2	耐震設計設備の液面揺動の設計用入力地震動に基づく応答解析.....	18
7.3	配管系の応答解析.....	18
7.4	基礎の応答解析.....	19
8	静的震度法.....	20
8.1	耐震設計設備の静的震度法による応答解析.....	20
8.2	基礎の静的震度法による応答解析.....	21
9	修正震度法.....	23
9.1	耐震設計設備の修正震度法による応答解析.....	23
9.2	配管系の修正震度法による応答解析.....	33
10	モード解析法.....	36
10.1	耐震設計設備及び配管系のモード解析法による応答解析.....	36
10.2	1次の固有周期が0.05秒以下の耐震設計設備及び配管系.....	36
11	時刻歴応答解析法.....	37
11.1	設計用入力地震動による時刻歴応答解析.....	37
11.2	液面揺動の設計用入力地震動による時刻歴応答解析.....	37
12	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。）.....	38
12.1	許容荷重判定.....	38
12.2	許容応力強さ判定.....	38
13	塔類の算定応力等.....	39
13.1	スカート支持の塔類.....	39

13.2	レグ支持の塔類.....	41
13.3	ラグ支持の塔類.....	43
14	球形貯槽の算定応力等.....	44
14.1	上部支柱に生じる応力.....	45
14.2	下部支柱に生じる応力.....	46
14.3	ブレースに生じる応力.....	48
14.4	基礎ボルトに生じる応力.....	49
14.5	シアプレートに生じる応力.....	51
14.6	ベースプレートに生じる応力.....	52
15	横置円筒形貯槽の算定応力等.....	53
15.1	胴のサドル部に生じる応力.....	53
15.2	胴の中央部に生じる軸方向応力.....	55
15.3	鏡（胴が鏡により補強される場合に限る。）に生じる応力.....	56
15.4	サドルに生じる応力.....	57
15.5	基礎ボルトに生じる応力.....	57
15.6	シアプレートに生じる応力.....	58
16	平底円筒形貯槽の算定応力等.....	59
16.1	内径が 20m 以下であり、かつ、内径に対する側板部の高さの比が 1.25 以下の平底円筒形貯槽.....	59
16.2	16.1 に掲げる平底円筒形貯槽以外の平底円筒形貯槽.....	63
17	架構の算定応力等.....	64
18	配管系の算定応力等.....	65
18.1	配管、曲がり管部、分岐部及び配管支持点.....	65
18.2	フランジ継手（重要度Ⅱ又はⅢの配管系に係るものを除く。）.....	66
18.3	弁.....	67
18.4	伸縮継手.....	67
18.5	塔槽類のノズル部（重要度Ⅰ _a 及びⅠの配管系に接続されるものに限る。）.....	67
18.6	配管支持構造物（塔槽類及び架構等に支持される配管支持構造物を除く。）.....	67
19	基礎の算定応力等.....	69
19.1	直接基礎の応力等.....	69
19.2	杭基礎の応力等 ³⁾	69
20	耐震設計用許容応力等.....	71
20.1	耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力.....	71
20.2	耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力強さ.....	72
20.3	配管系に係る耐震設計用許容応力等.....	72
20.4	支持構造物の耐震設計用許容応力.....	73
20.5	基礎及び地盤の耐震設計用許容応力等.....	74
21	配管支持の方法.....	82

21.1 配管の支持.....	82
21.2 変位吸収能力.....	82
附属書 A (参考) 免震及び制振構造等設計法.....	84

20251217 Draft
パブリックコメント用

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1）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1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) 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。

(17) 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設計に用いる地震動。

(18) レベル1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、当該構造物の供用期間中に発生する可能性の高いもの。

(19) 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。

(20) 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地震動。

(21) 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、球形貯槽にあつては球殻部自重、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つては内槽側板自重、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つては、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 1m^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も可能である。

(22) 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つて、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。

(23) レベル 1 耐震性能

レベル 1 地震動に対して、重要度 Ia、I、II 及び III の耐震設計構造物の損傷又は機能喪失がない。

(24) 静的震度法

耐震設計設備の動特性を考慮せず、高さに応じて定めた震度を用いて応答解析を行う手法である。

(25) 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。

(26) 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。

(27) 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。

(28) 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。

パブリックコメント用
2025.12.17 Draft

3 配管の内容積の算定

3.1 地震防災遮断弁で区切られた間の配管の内容積の算定例

地震防災遮断弁で仕切られた間の配管の内容積の算定を例示すると a)~c)のとおりである。この場合、管、伸縮継手、弁等の内容積を積算することとなるが、それぞれ同一の管呼び径であれば、当該呼び径の管とみなして内容積を算定してもよい。

a) 地震防災遮断弁の間が全て高圧ガス設備の場合

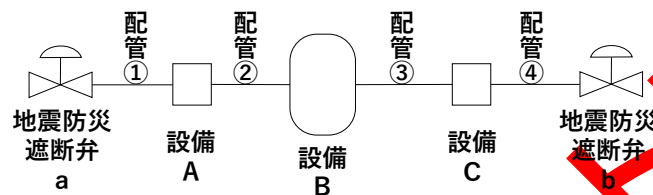


図 3.1(a)

内容積＝地震防災遮断弁 a の内容積の 1/2＋配管①の内容積＋配管②の内容積＋配管③の内容積
＋配管④の内容積＋地震防災遮断弁 b の内容積の 1/2

備考 設備と配管の区分は、当該設備の両端部にある第 1 フランジ又は第 1 溶接部とする。

b) 地震防災遮断弁の上流にあるポンプから高圧ガス設備となる場合

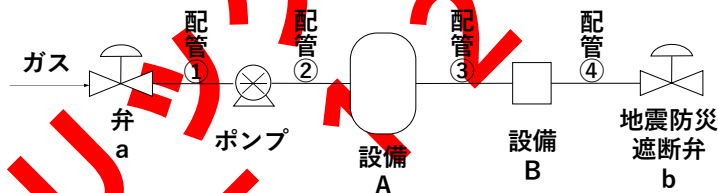


図 3.1(b)

内容積＝配管②の内容積＋配管③の内容積＋配管④の内容積＋地震防災遮断弁 b の内容積の 1/2

備考 ポンプと配管の区分は、当該ポンプの出口部第 1 フランジ又は第 1 溶接部とする。

なお、ポンプ以外の設備で高圧ガスを製造する場合であっても同様とする。

c) 地震防災遮断弁の下流にある減圧弁までが高圧ガス設備となる場合

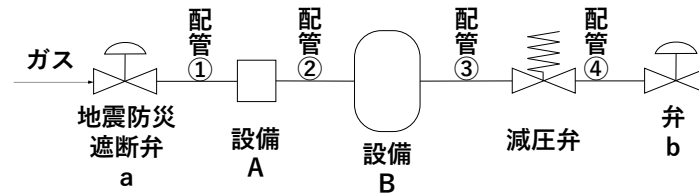


図 3.1(c)

内容積＝地震防災遮断弁 a の内容積の 1/2＋配管①の内容積＋配管②の内容積＋配管③の内容積
＋減圧弁の内容積の 1/2

3.2 レジューサ等により外径を 45mm 以上から 45mm 未満に変更する場合

地震防災遮断弁がなく、レジューサ等により外径を 45mm 以上から 45mm 未満に変更している高圧ガス設備に係る配管にあっては、当該レジューサ等の小径側の第 1 溶接部又はフランジ部までを耐震設計の対象範囲とし、内容積の算定は、大径側の外径及び当該機器の長さから算定する。

また、外径を 45mm 未満から 45mm 以上に変更している高圧ガス設備に係る配管にあっては、同様とする。

3.3 塔槽類と地震防災遮断弁の間に耐震設計を要しない機器がある場合

塔槽類と地震防災遮断弁の間に耐震設計を要しないポンプ、圧縮機、貯槽等の設置を設置する場合であっても、当該設備に接続される配管は耐震設計の対象となる。

なお、次図のように塔槽類に接続される配管であって、地震防災遮断弁が接続されず、減圧弁等により高圧ガスでない状態としている設備については、当該減圧弁等までの配管（配管①及び配管②）を対象とする。

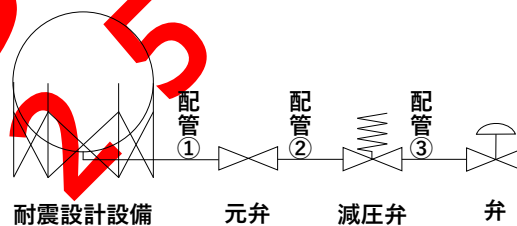


図 3.3(a)

4 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1地震動に対して、重要度Ia、I、II及びIIIの耐震設計構造物の損傷又は機能喪失がないとする（以下「レベル1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 塔槽類にあつては貯蔵能力（処理設備にあつ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。）、配管にあつ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側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若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、配管の外側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（処理設備にあつ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 種毒性ガスにあつては、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 のものにあつては、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つては、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つては、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。

5 耐震性能の評価

耐震設計構造物の耐震性能の評価は、5.1 から 5.3 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、5.1 から 5.3 の規定にかかわらず、4 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。

5.1 耐震設計設備に係るレベル 1 耐震性能の評価

耐震設計設備に係るレベル 1 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行い、耐震上重要な部材に生じる応力等（以下「算定応力等」という。）が部材に応じて定められた許容応力等（以下「耐震設計用許容応力等」という。）を超えないことを確認する。
- 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 6 の規定、応答解析の方法にあっては 7 から 11 までの規定、算定応力等の計算方法にあっては 12 から 17 までの規定、耐震設計用許容応力等の計算方法にあっては 20 の規定による。
- c) a)の規定において、6.1 に規定する設計用入力地震動及び 6.2 で規定する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。

5.2 配管系に係るレベル 1 耐震性能の評価

配管系に係るレベル 1 耐震性能の評価は、次の各号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行い、算定応力等が耐震設計用許容応力等を超えないことを確認する。
- 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 6 の規定、応答解析の方法にあっては 7 から 11 までの規定、算定応力等の計算方法にあっては 18 の規定、耐震設計用許容応力等の計算方法にあっては 20 の規定による。
- c) 4 に規定する重要度 II 及び III の配管系であって 21 に規定する配管支持の方法により設計を行った場合は、a)の評価を省略することも可能である。

5.3 基礎に係るレベル 1 耐震性能の評価

基礎に係るレベル 1 耐震性能の評価は、次の各号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行い、算定応力等が耐震設計用許容応力等を超えないことを確認する。
- 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 6 の規定、応答解析の方法は 7 から 11 までの規定、算定応力等の計算方法にあっては 19 の規定、耐震設計用許容応力等の計算方法にあっては 20 の規定による。
- c) a)の規定において、6.1 に規定する設計用入力地震動及び 6.2 に規定する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。

6 設計用の地震動

6.1 設計用入力地震動の計算方法

レベル1地震動に係る設計用入力地震動の計算方法は、6.1.1及び6.1.2による。

6.1.1 地表面における水平震度及び鉛直震度

地表面における水平震度及び鉛直震度は次の算式により計算する。

$$K_H = 0.150\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3 \quad [\text{式 6.1}]$$

$$K_V = 0.075\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3 \quad [\text{式 6.2}]$$

これらの算式において、 K_H 、 K_V 、 μ_k 、 β_1 、 β_2 及び β_3 は、それぞれ次の値を表す。ただし、 β_1 と β_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
- μ_k 地震動のレベルに基づく係数であって、レベル1地震動にあつては1.0の値
- β_1 耐震設計構造物の重要度に基づく係数であつて、表6.1.1の左欄に掲げる重要度に応じ、同表の右欄に掲げる値
- β_2 地域に基づく係数であつて、表6.1.2の左欄に掲げる地域区分に応じ、同表の右欄に掲げる値
- β_3 表層地盤増幅係数であつて、表6.1.3の左欄に掲げる地盤種別に応じ、同表の右欄に掲げる値。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¹⁾は、当該観測等に基づく数値にしてよい。

表6.1.1

重要度	β_1
a	1.00
I	0.80
II	0.65
III	0.50

表 6.1.2

地 域 区 分		β_2
特 A	千葉県 全域 埼玉県 全域 東京都 小笠原村を除く全域 神奈川県 全域 山梨県 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。） 長野県 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。） 岐阜県 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。） 静岡県 全域 愛知県 全域 三重県 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 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、茅部郡、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 青森県 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 秋田県 全域 山形県 全域 福島県 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 新潟県 全域 富山県 魚津市、滑川市、黒部市及び下新川郡 石川県 輪島市、珠洲市及び鳳珠郡 鳥取県 米子市、倉吉市、境港市、東伯郡、西伯郡及び日野郡 島根県 全域 岡山県 全域 広島県 全域 徳島県 美馬市、三好市、美馬郡及び三好郡 香川県 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 愛媛県 全域 高知県 全域 熊本県 C 地区に掲げる地域以外の地域 大分県 C 地区に掲げる地域以外の地域 宮崎県 全域	0.6

地 域 区 分			β_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	0.4
	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 6.1.3

地 盤 種 別 ²⁾	β_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。

- 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
- 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

注¹⁾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。

- 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
- 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、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。

- 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 2) 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 (JIS A1219「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

6.1.2 地表面における水平加速度及び鉛直加速度

地表面における水平加速度及び鉛直加速度は次の算式により計算する。

$$a_H = 1.50 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 6.3}]$$

$$a_V = 0.75 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad [\text{式 6.4}]$$

これらの算式において a_H 、 a_V 、 μ_k 、 β_1 、 β_2 及び β_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 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 m/s^2)

μ_k 、 β_1 、 β_2 及び β_3 それぞれ 6.1.1 に規定する値

6.2 液面揺動の設計用入力地震動の計算方法

レベル 1 地震動に係る液面揺動の設計用入力地震動は、次の表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 6.2.1

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 、 $V_H(T)$ 、 μ_V 、 β_1 、 β_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)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.682g} \coth\left(\frac{3.682H_l}{D}\right)} \quad [\text{式 6.5}]$$

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^2)

D 内径 (単位 m)

	H_l	最高液面高さ (単位 m)
μ_V		地表面における水平地動速度に基づく係数であって、1.0 の値
β_1		6.1.1 に規定する値
β_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

パブリックコメント用
20251217 Draft

表 6.2.2

地域区分			β_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			β_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。

20251217 Draft
 パブリックコメント用

7 設計用の地震動に基づく応答解析

7.1 耐震設計設備の設計用入力地震動に基づく応答解析

耐震設計設備の設計用入力地震動に基づく応答解析は、対象となる耐震設計構造物を適切な振動系モデルに置き換え、9に規定する修正震度法又は10に規定するモード解析法による。この場合において、重要度がII又はIIIの耐震設計設備については、鉛直方向の設計用入力地震動の評価を省略することも可能である。ただし、適切な入力地震波を用い、かつ、適切な減衰を考慮する場合は、11.1に規定する時刻歴応答解析法によることも可能である。

また、上記にかかわらず、重要度がII又はIIIの耐震設計設備のうち次の表に掲げるものの応答解析は、8.1に規定する静的震度法¹⁾によることも可能である。

表 7.1

塔槽類の種類	範 囲
塔 類	ベースプレートからの高さ ²⁾ が 20m 未満のもの
球 形 貯 槽	貯蔵能力が 80t 未満のもの
平底円筒形貯槽	外径及び側板部の高さ ²⁾ がいずれも 10m 未満のもの
横置円筒形貯槽	貯蔵能力が 100t 未満のもの

注¹⁾応答解析を静的震度法により行うことが可能な塔槽類には、当該塔槽類を支持する支持構造物を含む。

注²⁾ベースプレートからの高さとは、ベースプレートから、当該塔類の最高位の正接線までの長さをいう。

なお、ラグ支持の塔類にあつては、ベースプレートからの高さは、当該塔類の最高位の正接線から最低位の正接線までの長さとする。平底円筒形貯槽の外径及び側板部の高さとは、内槽の外径及び側板部の高さをいう。

7.2 耐震設計設備の液面揺動の設計用入力地震動に基づく応答解析

耐震設計設備の液面揺動の設計用入力地震動に基づく応答解析は、11.2に規定する時刻歴応答解析法その他適切な方法により行う。この場合において、液面揺動の減衰定数は0.5パーセントとする。

7.3 配管系の応答解析

配管系の応答解析は、対象となる配管系をはり構造等の適切なモデルに置き換えて行い、次の規定により行う。

- a) 設計用の地震動に基づく応答解析は、9.2に規定する修正震度法又は10に規定するモード解析法による。ただし、適切な入力地震波を用い、かつ、適切な減衰を考慮する場合は、11.1に規定する時刻歴応答解析法によってもよい。また、重要度II又はIIIの配管の応答解析は、修正震度法、モード解析法又は時刻歴応答解析法により行う必要があるが、配管の支持構造物については、静的震度法により行ってもよい。
- b) 配管の支持構造物（以下「配管支持構造物」という。全高が5mを超えるものに限る。）の応答変位に基づく当該配管系の応答解析は、配管支持構造物の応答変位による。応答変位は、当該配管系に係る配管支持構造物を適切な振動系モデルに置き換え、9に規定する修正震度法、10に規定するモード解析法又は11に規定する時刻歴応答解析法により、配管支持点の移動量を算出する。この場合において、重要度がII又はIIIの耐震設計設備に支持される配管系については、8に規定する静的震度法によることも可能である。本項は、配管支持構造物が設計用の地震動によって生じる振動から配管支持

点の変位量を算定する旨の規定である。したがって、算定された変位量は 18 で規定する配管系の算定応力等の算出の際、変位をモーメント等に換算して用いることになる。

7.4 基礎の応答解析

基礎の応答解析は、8.2 に規定する静的震度法による。ただし、7.1 の規定により時刻歴応答解析法による場合はこの限りでない。また、地震時に地盤変位の影響が大きい場合¹⁾では、地震慣性力の他に地盤変位の影響を考慮して応答解析を行う²⁾こと。

注¹⁾ 地盤変位とは地盤震動による表層地盤の工学的基盤に対する相対変位によって定義され、地盤変位の影響が大きい場合とは液状化するおそれのある軟弱な地盤等を含む。

注²⁾ 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。

8 静的震度法

8.1 耐震設計設備の静的震度法による応答解析

8.1.1 設計静的水平震度

設計静的水平震度は、次の算式により計算する。

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad \text{[式 8.1]}$$

この算式において K_{SH} 、 K_H 及び β_4 は、それぞれ次の値を表す。

- K_{SH} 設計静的水平震度。ただし、0.2 を下回る場合は、これを 0.2 とする。
- K_H 6.1.1 に規定する値
- β_4 水平方向の応答倍率であって、次の表の左欄に掲げる耐震設計設備の地表面からの高さ H の区分に応じ、同表の右欄に掲げる値

表 8.1.1

H (m)	β_4
16 以下	2.0
16 超 35 以下	$1.04 + 0.06H$
35 超	3.14

8.1.2 設計静的水平地震力

設計静的水平地震力は、次の算式により計算する。

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad \text{[式 8.2]}$$

この算式において F_{SH} 、 K_{SH} 及び W_H は、それぞれ次の値を表す。

- F_{SH} 設計静的水平地震力 (単位 N)
- K_{SH} 8.1.1 に規定する値
- W_H 運転重量。ただし、塔類にあつては耐震設計設備の設計水平地震力を算定する部分の自重と内容物の重量との和とし、球形貯槽又は平底円筒形貯槽にあつては耐震設計設備の自重と有効液重量 (内容物の重量に、球形貯槽にあつては次の図に示す有効液重量率を、平底円筒形貯槽にあつては 16.1 図(a)の f_1 に示すものを乗じて得られる値) との和とすることも可能である。(単位 N)

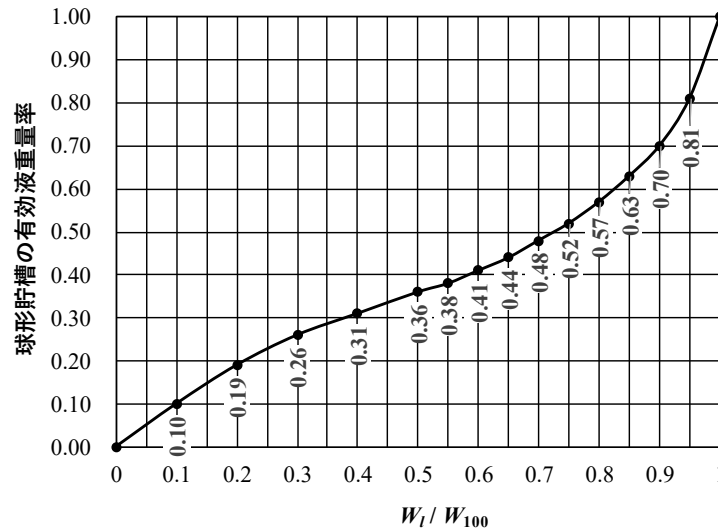


図 8.1.2

備考 この図において W_1 及び W_{100} は、それぞれ次の値を表す。

W_1 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)

8.2 基礎の静的震度法による応答解析

8.2.1 設計静的水平震度

設計静的水平震度は、次の算式により計算する。

$$K'_{SH} = \beta'_4 K_H \quad [\text{式 8.3}]$$

この算式において K'_{SH} 、 K_H 及び β'_4 は、それぞれ次の値を表す。

K'_{SH} 設計静的水平震度

K_H 6.1.1 に規定する値

β'_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、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 の区分に応じ、同表の右欄に掲げる値

表 8.2.1

H_F (m)	β'_4
5 以下	2.0 - 0.2 H_F
5 超	1.0

8.2.2 設計静的水平地震力

設計静的水平地震力は、次の算式により計算する。

$$F'_{SH} = \lambda K'_{SH} W_F \quad [\text{式 8.4}]$$

この算式において F'_{SH} 、 λ 、 K'_{SH} 及び W_F は、それぞれ次の値を表す。

F'_{SH} 設計静的水平地震力 (単位 N)

λ^1 基礎の根入れ深さに応じ、0.5 から 0.25 までの範囲の値

K'_{SH} 8.2.1 に規定する値
 W_F 基礎の重量 (単位 N)

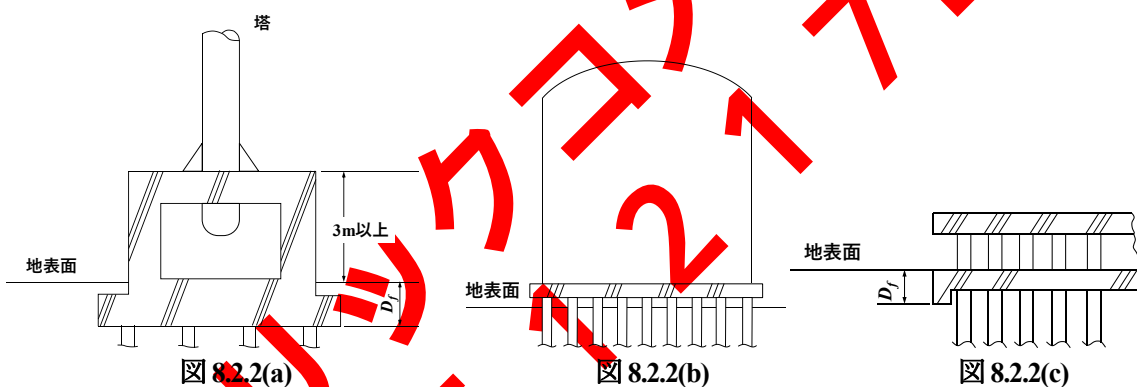
注¹⁾ λ は、基礎の地上部分にあつては 0.5、基礎の地下部分にあつては、次の表の基礎の根入れ深さ D_f (m) に応じ、同表の下欄に掲げる値とする。

表 8.2.2

D_f	$0 \leq D_f < 0.5$	$0.5 \leq D_f < 1.5$	$1.5 \leq D_f$
λ	0.5	0.4	0.25

備考

- a) 基礎の地上部分の高さ（地表面からベースプレートまでの高さをいう。）が3m以上で、耐震設計設備と連成する場合は、根入れ深さに応じて地中部分のみに λ を乗じる。なお、この場合の地上部分は架構として扱う。（図 8.2.2(a)）
- b) 高床式平底円筒形貯槽の基礎は D_f を 0 とみなし、 λ を 0.5 とする。（図 8.2.2(b)）ただし、基礎が二重スラブの場合については、下部スラブは根入れ深さに応じて λ を設定する。（図 8.2.2(c)）



9 修正震度法

9.1 耐震設計設備の修正震度法による応答解析

耐震設計設備の修正震度法による応答解析は、9.1.1、9.1.2 及び 9.1.3 により行う。ただし、スカート支持（鉄筋コンクリート架台の上に設置される場合を含む。以下同じ。1)）の自立式の塔類の水平方向の固有周期が、次の表の左欄に掲げる地盤種別に応じ同表の右欄に掲げる値を超える場合は、当該塔類の水平方向の応答解析は 10 に規定するモード解析法による。

表 9.1

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

注 1) この項以外の部分中鉄筋コンクリート架台とは、架構のうち鉄筋コンクリート（鉄骨コンクリートを含む。以下この項において同じ。）製で、地表面からベースプレートまでの高さが 3m 未満のものをいう。なお、鉄筋コンクリート架台の耐震設計は、基礎に準ずる。

9.1.1 設計修正水平震度及び設計修正鉛直震度

設計修正水平震度及び設計修正鉛直震度は、次の算式により計算する。

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad \text{[式 9.1]}$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_V \quad \text{[式 9.2]}$$

これらの算式において K_{MH} 、 K_{MV} 、 K_H 、 K_V 、 β_5 及び β_6 は、それぞれ次の値を表す。

K_{MH} 設計修正水平震度。ただし、0.2 を下回る場合は、これを 0.2 とする。

K_{MV} 設計修正鉛直震度

K_H 6.1.1 に規定する値

K_V 6.1.1 に規定する値

β_5 水平方向の応答倍率であって、次の a) から c) までに規定するところによる。

a) 6.1.1 に掲げる地域区分、地盤種別に応じ次の図(a)又は図(b)により求められる基準応答倍率に、図(c)により求められる補正係数を乗じて得られる値とする。この場合において、耐震設計設備の固有周期の計算は、9.1.2 に規定する方法又は耐震設計設備の構造に応じ適切な方法 1) により行う。

b) a) において、耐震設計設備の固有周期が 0.3 秒未満の場合であって応答倍率が 1.5 を下回るときは、これを 1.5 とし、固有周期が 0.3 秒以上の場合であって応答倍率が 0.75 を下回るときは、これを 0.75 とする。

ここで、貯蔵能力が 100t 以上の横置円筒形貯槽（2 点支持のものに限る。）の固有周期の計算方法は、軸方向及び軸直角方向のそれぞれについて、9.1.2c) に規定する方法により固有周期を求める。この場合において、軸方向の水平剛性は、ペDESTALの曲げによる水平剛性、地震反力によるフーチングの回転剛性及びつなぎ梁によるフーチングの回転剛性から計算し、軸直角方向の水平剛性は、胴の平均直径に対する胴の正接線間の距離の比が 4.5 を超えるものにあつてはペDESTALの曲げによる水平剛性、

地震力によるフーチングの回転剛性及び胴の曲げによる水平剛性から、胴の平均直径に対する胴の正接線間の距離の比が4.5以下のものにあつてはペDESTALの曲げによる水平剛性及び地震反力によるフーチングの回転剛性から計算する。

- c) a)及びb)の規定にかかわらず、次の1)及び2)に掲げる耐震設計設備の応答倍率は2.0とすることも可能である。
- 1) 貯蔵能力が100t未満の横置円筒形貯槽であつて2点支持のものに限る。なお、その他の支持方法による横置円筒形貯槽の応答解析を修正震度法により行う場合は、レーリー法又はこれと同等以上の方法により固有周期を計算することになる。
 - 2) スカート支持の塔類であつて、当該塔類の胴の外径と内径(腐れしるを除く。)との和の2分の1の値(以下「平均直径」という。)に対するベースプレートからの高さの比が4.0未満のもの。

β_6 鉛直方向の応答倍率であつて、スカート支持の塔類にあつては1.5、その他の耐震設計設備にあつては2.0とする

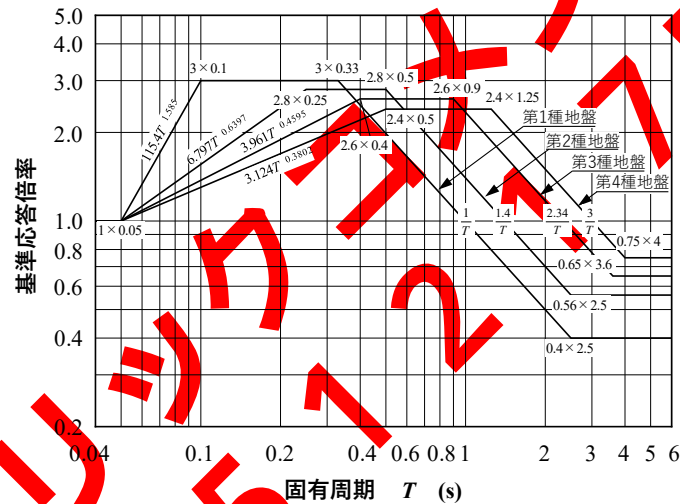


図9.1.1(a) 特A及びA地区

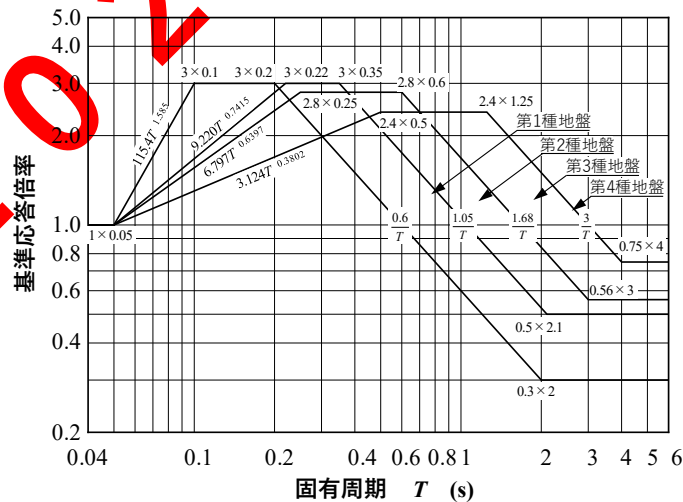


図9.1.1(b) B及びC地区

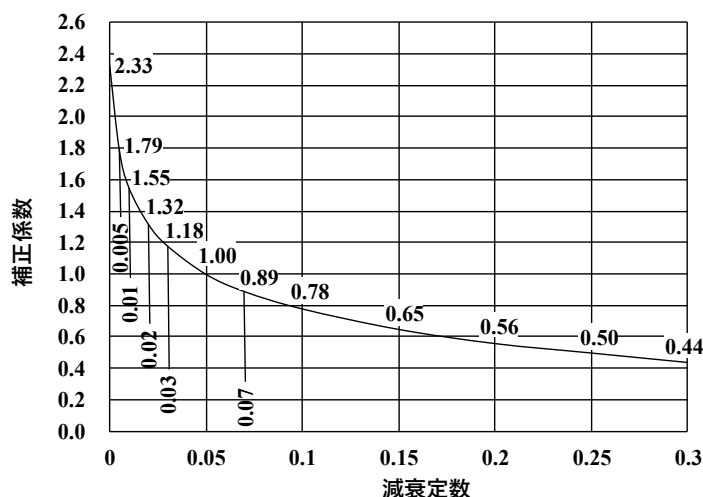


図 9.1.1(c)

備考 この図において、減衰定数は耐震設計設備の種類に応じ、次の表(a)又は表(b)に掲げる値とする。ただし、減衰を与える機構²⁾を付加した場合はこの限りでない。

表(a) 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 ³⁾	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(b) 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_1/D が 1.0 を超えるもの		0.05			
上欄以外のもの	$P \backslash D$	20 未満	20 以上 40 未満	40 以上	
		0.08	0.10	0.10	
	杭のあるもの	1.5 未満	0.08	0.10	0.10
		1.5 以上 3.0 未満	0.07	0.08	0.10
杭のないもの	3.0 以上	0.05	0.07	0.08	
		0.05	0.07	0.10	

備考 この表において H_1 、 D 及び P は、それぞれ次の値を表す。

- H_t 最高液面高さ (単位 m)
 D 内径 (単位 m)
 P 杭の間隔 (単位 m)

注¹)適切な方法とは、レーリー法、若しくはこれと同等以上の方法又はb)に掲げる貯蔵能力が100t以上の横置円筒形貯槽(2点支持のものに限る。)の固有周期の計算方法をいう。

注²)減衰を与える機構とは、機構上減衰を目的として取り付けられるものであって、油圧、振子等により減衰を与えるものをいう。

注³)架構の構造は、水平力を支持する主たる部分の構造によりその種類を判定するものとする。なお、これにより判定できない場合にあっては、減衰定数が小さい方の構造とみなす。

9.1.2 耐震設計設備の固有周期

耐震設計設備の固有周期は、次のa)からd)までに掲げる耐震設計設備の種類及び構造に応じ、当該a)からd)までに定める算式により計算する。

- a) スカート支持の自立式の塔類(胴の内径及び板厚の変化が少ないものに限る。¹⁾)であって、平均直径に対するベースプレートからの高さの比が4.0以上のもの

$$T = \frac{CH_t}{\sqrt{K_{MH}D_m}} \quad \text{[式 9.3]}$$

この算式において T 、 K_{MH} 、 D_m 、 C 及び H_t は、それぞれ次の値を表す。

- T 固有周期 (単位 s)
 K_{MH} 9.1.1 に規定する値
 D_m 胴の平均直径 (単位 m)
 C 0.025 から 0.03 までの範囲で応答倍率 β_s が最大となるときの値
 H_t 塔類のベースプレートからの高さ (単位 m)

- b) 平底円筒形貯槽

$$T = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W_0}{\pi g E t_{1/3}}} \quad \text{[式 9.4]}$$

この算式において T 、 λ 、 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)
 λ 次の算式により得られる値

$$\lambda = 0.067 \left(\frac{H}{D} \right)^2 - 0.30 \left(\frac{H}{D} \right) + 0.46 \quad \text{[式 9.5]}$$

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/s²)
 E 側板の材料の縦弾性係数 (単位 N/mm²)

$t_{1/3}$ 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(腐れしをを除く。単位 mm)

W_0 運転重量 (単位 N)

c) a)及びb)に掲げる塔槽類以外の塔槽類

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{Kg}} \quad \text{[式 9.6]}$$

この算式において T 、 g 、 W_0 及び K は、それぞれ次の値を表す。

T 固有周期 (単位 s)

g 重力加速度 (単位 mm/s²)

W_0 耐震設計設備の運転重量。ただし、球形貯槽の場合にあつては、耐震設計設備の自重と内容液の重量に 8.1.2 の図に示す有効液重量率を乗じて得られる有効液重量との和とする。
(単位 N)

K 耐震設計設備の水平剛性であつて、次の 1)及び2)に掲げる耐震設計設備の種類に応じ、当該 1)及び2)の規定に定める算式により得られる値 (単位 N/mm)

1) レグ支持の塔類

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad \text{[式 9.7]}$$

この算式において K 、 K_1 、 K_2 及び λ は、それぞれ次の値を表す。

K 水平剛性 (単位 N/mm)

K_1 次の算式により得られる値 (単位 N/mm)

$$K_1 = \frac{3nEAD^2}{2H_1^3} \quad \text{[式 9.8]}$$

K_2 次の算式により得られる値 (単位 N/mm)

$$K_2 = \frac{nK_C}{1 + \frac{H_1 K_C}{GA}} \quad \text{[式 9.9]}$$

ただし、 K_C は次の算式により得られる値とする。

$$K_C = \frac{4E(I_1 + I_2)}{H_1^3} \quad \text{[式 9.10]}$$

これらの算式において H_1 、 n 、 E 、 G 、 A 、 D 、 I_1 及び I_2 は、それぞれ次の値を表す。

H_1 レグの長さ (単位 mm)

n レグの本数

E レグの材料の縦弾性係数 (単位 N/mm²)

G レグの材料の横弾性係数 (単位 N/mm²)

A レグの断面積 (単位 mm²)

D レグの中心からなる円の直径 (単位 mm)

I_1 レグの周方向軸に対する断面2次モーメント (単位 mm⁴)

I_2 レグの半径方向軸に対する断面2次モーメント (単位 mm⁴)

λ 次の算式により得られる値

$$\lambda = \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^2 - \frac{H_2}{H_1} + 4 \quad [\text{式 9.11}]$$

この算式において、 H_2 はベースプレートから塔類の重心までの高さ(単位 mm)を表す。

2) 球形貯槽

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad [\text{式 9.12}]$$

この算式において K 、 K_1 及び K_2 は、それぞれ次の値を表す。

K 水平剛性 (単位 N/mm)

K_1 及び K_2 それぞれ次の算式により得られる値 (単位 N/mm)

$$K_1 = \frac{3nEA_{CL}D_B^2}{8H_C^3} \quad [\text{式 9.13}]$$

$$K_2 = nK_C \left(\frac{2C_1}{C_2 + \frac{4LK_C}{EA}} + 1 \right) \quad [\text{式 9.14}]$$

ただし、 K_C 、 A 、 C_1 及び C_2 は、それぞれ次の算式により得られる値とする。

$$K_C = \frac{3EI_C}{H_1^3} \quad [\text{式 9.15}]$$

$$A = \frac{1}{\frac{C_3}{A_B \cos^3 \theta} + \frac{C_4 \tan^3 \theta}{A_{CL}}} \quad [\text{式 9.16}]$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \lambda_c^2 (3 - \lambda_c^2)^2 \quad [\text{式 9.17}]$$

$$C_2 = \lambda_c^2 (1 - \lambda_c)^3 (3 + \lambda_c) \quad [\text{式 9.18}]$$

これらの算式において H_C 、 n 、 E 、 A_{CL} 、 D_B 、 L 、 H_1 、 I_C 、 A_B 、 θ 、 C_3 、 C_4 及び λ_c は、それぞれ次の値を表す。

H_C ベースプレートから球殻の中心までの高さ (単位 mm)

n 支柱の本数

E 下部支柱の材料の縦弾性係数 (単位 N/mm²)

A_{CL} 下部支柱の断面積 (単位 mm²)

D_B 支柱の中心からなる円の直径 (単位 mm)

L 隣り合つた支柱間の距離 (単位 mm)

H_1 支柱の有効高さであつて、次の算式により得られる値 (単位 mm)

$$H_1 = H_C - L_W \quad [\text{式 9.19}]$$

ただし、 L_W は次の算式により得られる値とする。

$$L_W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D_c D_s}{2}} \quad [\text{式 9.20}]$$

この算式において D_c 及び D_s は、それぞれ次の値を表す。

D_c 上部支柱の外径 (単位 mm)

D_s 球殻の内径 (単位 mm)

I_c 下部支柱の断面2次モーメント (単位 mm^4)

A_B ブレースの断面積 (単位 mm^2)

θ 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、それぞれ次の表に掲げる値

表 9.1.2

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

λ_c 次の算式により得られる値

$$\lambda_c = \frac{H_2}{H_1} \quad [\text{式 9.21}]$$

この算式において、 H_2 は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 mm) を表す。

d) 塔槽類の架構

- 1) 架構、これに支持される塔槽類その他当該架構に付加される設備 (以下「架構等」という。) の総重量に対する当該塔槽類の運転重量の比 (以下「架構重量比」という。) の最大値が、0.1 以下の場合

$$T_s = 0.01H + 0.02H_t \quad [\text{式 9.22}]$$

この算式において、 T_s 、 H 及び H_t は、それぞれ次の値を表す。

T_s 固有周期 (単位 s)

H 当該架構のうち、鉄骨構造である部分の高さ (単位 m)

H_t 架構の高さ (単位 m)

- 2) 架構重量比の最大値が 0.1 を超える場合

$$T_s = 0.057\sqrt{\eta} \quad [\text{式 9.23}]$$

この算式において T_s 及び η は、それぞれ次の値を表す。

T_s 固有周期 (単位 s)

η 当該架構等に、その架構等の重量を水平方向に作用させたときの当該架構等の最大変位。

この場合において塔槽類は剛体とみなす。 (単位 mm)

ここで、 η は次に掲げる方法又は算式により計算する。

- (1) D 値法
- (2) 撓角法
- (3) 固定モーメント法

なお、 D 値法による場合は、次の条件を仮定して計算する。

- ①架構の床及び基礎は剛である。
- ②各床において、柱及びブレースの剛性の中心と、架構等の重心との距離が架構の幅の20%を超えないときは、これを無視する。

注¹⁾ 胴の内径及び板厚の変化が少ないものとは、胴（これに接続されるスカートを含む。本項において同じ。）の最小内径に対する最大内径との比が2.0以下であり、かつ、胴の周継手の上下の肉厚の比が0.5以上で、2.0以下のものをいう。

9.1.3 耐震設計設備の設計修正地震力

設計修正地震力は、次のa)からd)までに掲げる耐震設計設備の種類に応じ、当該a)からd)までに定める算式により計算する。

- a) スカート支持の自立式の塔類であって、平均直径に対するベースプレートからの高さの比が40以上のもの

$$F_{MH} = \mu K_{MH} W_H \quad [\text{式 9.24}]$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad [\text{式 9.25}]$$

これらの算式において F_{MH} 、 F_{MV} 、 μ 、 K_{MH} 、 K_{MV} 、 W_H 及び W_V は、それぞれ次の値を表す。

F_{MH} 設計修正水平地震力 (単位 N)

F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (単位 N)

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

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \quad [\text{式 9.26}]$$

$$\mu = \frac{1}{\beta_3 \beta_5} \quad [\text{式 9.27}]$$

これらの算式において H_t 、 H 、 β_3 及び β_5 は、それぞれ次の値を表す。

H_t 耐震設計設備のベースプレートからの高さ (単位 mm)

H 耐震設計設備の設計修正水平地震力を算定する位置のベースプレートからの高さ (単位 mm)

β_3 6.1.1 に規定する値

β_5 、 K_{MH} 及び K_{MV} 9.1.1 に規定する値

W_H 8.1.2 に規定する値

W_V 設計修正鉛直地震力を算定する位置に作用する耐震設計設備の自重と内容物の重量との和 (単位 N)

- b) a)に掲げる塔類以外の塔槽類 (架構により支持されるものを除く。)

$$F_{MH} = K_{MH} W_H \quad [\text{式 9.28}]$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad [\text{式 9.29}]$$

これらの算式において F_{MH} 、 F_{MV} 、 K_{MH} 、 K_{MV} 、 W_H 及び W_V は、それぞれ次の値を表す。

F_{MH} 設計修正水平地震力 (単位 N)

F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (単位 N)

K_{MH} 及び K_{MV} 9.1.1 に規定する値

W_H 8.1.2 に規定する値

W_V a)に規定する値

c) 架構により支持される塔槽類

$$F_{MH} = \beta_7 \mu K_{MH} W_H \quad [\text{式 9.30}]$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad [\text{式 9.31}]$$

これらの算式において F_{MH} 、 F_{MV} 、 β_7 、 μ 、 K_{MH} 、 K_{MV} 、 W_H 及び W_V は、それぞれ次の値を表す。

F_{MH} 設計修正水平地震力 (単位 N)

F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (単位 N)

β_7 塔槽類の架構に対する応答倍率であって、次の算式により得られる値

$$\beta_7 = 0.71 \sqrt{\frac{1 + \lambda^2}{\lambda^2 + (1 - \lambda^2) h_e^2}} \quad [\text{式 9.32}]$$

この算式において λ 及び h_e は、それぞれ次の値を表す。

λ 次の表の左欄に掲げる塔槽類の固有周期 T_a の区分に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値

表 9.13

T_a	λ
0.36 T_s 以下	$\sqrt{0.52 + 0.48\gamma}$
0.36 T_s 超 0.9 T_s 以下	$\sqrt{1 - (1 - \gamma) \left(\frac{1.8T_a T_s}{T_a^2 + 0.81T_s^2} \right)^2}$
0.9 T_s 超 1.1 T_s 以下	$\sqrt{\gamma}$
1.1 T_s 超	$\sqrt{1 - (1 - \gamma) \left(\frac{2.2T_a T_s}{T_a^2 + 1.21T_s^2} \right)^2}$

備考 この表において、 T_a 、 T_s 及び γ は、それぞれ次の値を表す。

T_a 塔槽類の固有周期であって、9.1.2の a)から c)までの規定又は次の算式により得られる値。ただし、横置円筒形貯槽 (貯蔵能力が100t未満のものに限る。) 及び最高位の正接線から最低位の正接線までの長さが5m未満のラグ支持のたて置円筒形貯槽にあっては、これを0とすることも可能である。
(単位 s)

$$T_a = 0.057 \sqrt{\eta_a} \quad [\text{式 9.33}]$$

この算式において、 η_a は架構を剛体とみなし、当該塔槽類にその運転重量を水平方向に作用させたときの最大変位 (単位 mm) を表す。

また、 η_a は(社)石油学会規格「スカートを有する塔そう類の強度計算」(JPI-7R-35-73) に準じて計算する。この場合において、当該塔槽

類及びこれと同等の振動特性を有すると認められる塔槽類その他の設備の水平力のみを支える部分は当該塔槽類の一部とみなす。

T_s 9.1.2 d)に規定する値

γ 架構重量比。ただし、架構上に当該塔槽類と同等の振動特性を有すると認められる塔槽類その他の設備がある場合は、当該塔槽類の運転重量に代えて、当該塔槽類及びこれらの設備の総重量とすることも可能である。

h_e 塔槽類の減衰定数に応じ、次の図により求められる値

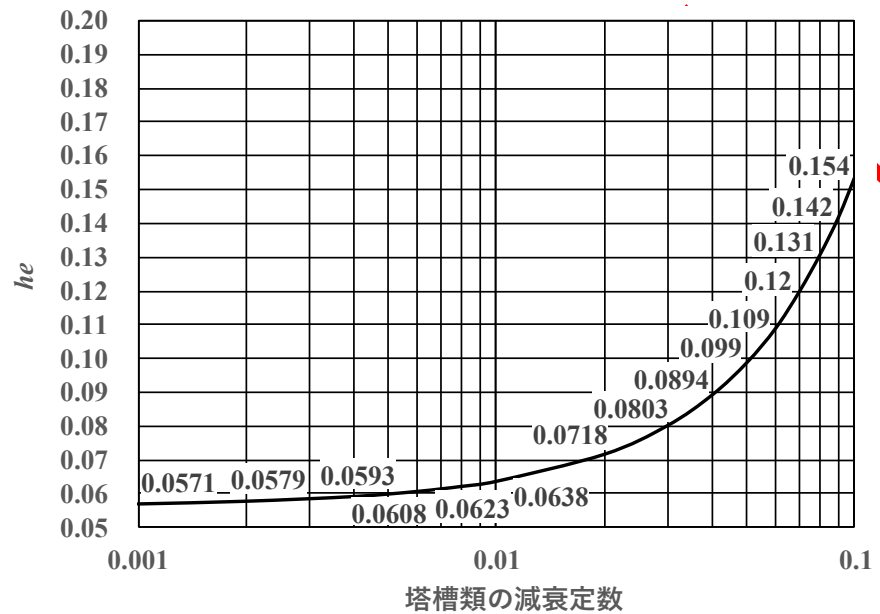


図 9.13 塔槽類の減衰定数

震度分布係数であって次の二つ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、架構等の最高位の高さが 10m 未満の場合には 1.0 とする。

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \quad [\text{式 9.34}]$$

$$\mu = \frac{1.5H_0}{H_t} \quad [\text{式 9.35}]$$

これらの算式において、 H_t 、 H 及び H_0 は、それぞれ次の値を表す。

H_t 架構等の最高位の高さ (単位 mm)

H 塔槽類の設計修正水平地震力を算定する位置の高さ (単位 mm)

H_0 塔槽類の最低位の支持部の高さ (単位 mm)

K_{MH} 9.1.1 に規定する値。この場合において、応答倍率は次の二つの算式により得られる固有周期 T_1 及び T_2 のそれぞれに対する値のいずれか大きいほうとする。また、減衰定数は当該塔槽類の値とする。

$$T_1 = \sqrt{(1+\lambda) \frac{T_a^2 + T_s^2}{2}} \quad [\text{式 9.36}]$$

$$T_2 = \sqrt{(1-\lambda) \frac{T_a^2 + T_s^2}{2}} \quad [\text{式 9.37}]$$

K_{MV} 9.1.1 に規定する値

W_H 8.1.2 に規定する値

W_V a)に規定する値

d) 塔槽類の架構

$$F_{MH} = \mu K_{MH} W_H \quad [\text{式 9.38}]$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad [\text{式 9.39}]$$

これらの算式において F_{MH} 、 F_{MV} 、 μ 、 K_{MH} 、 K_{MV} 、 W_H 及び W_V は、それぞれ次の値を表す。

F_{MH} 設計修正水平地震力 (単位 N)

F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (単位 N)

μ 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。

$$\mu = \frac{1.5H}{H_i} \quad [\text{式 9.40}]$$

この算式において H_i 及び H は、それぞれ次の値を表す。

H_i 架構の高さ (単位 mm)

H 架構の設計修正水平地震力を算定する位置の高さ (単位 mm)

K_{MH} 及び K_{MV} それぞれ 9.1.1 に規定する値

W_H 設計修正水平地震力を算定する部分の架構等の重量 (単位 N)

W_V 設計修正鉛直地震力を算定する位置に作用する架構等の重量 (単位 N)

注) 当該塔槽類と同等の振動特性を有すると認められる塔槽類その他の設備とは、塔槽類その他の設備であってその 1 次の固有周期が当該塔槽類の固有周期の 0.8 倍から 1.2 倍の範囲にあるものをいう。

9.2 配管系の修正震度法による応答解析

配管系の修正震度法による応答解析は、次の算式により設計修正地震力を計算する。

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H \quad [\text{式 9.41}]$$

$$F_{MV} = \beta_9 K_{MV} W_V \quad [\text{式 9.42}]$$

これらの算式において F_{MH} 、 F_{MV} 、 β_8 、 β_9 、 μ 、 K_{MH} 、 K_{MV} 、 W_H 及び W_V は、それぞれ次の値を表す。

F_{MH} 設計修正水平地震力 (単位 N)

F_{MV} 設計修正鉛直地震力 (単位 N)

β_8 配管系に対する水平方向の応答倍率であって、2.0。ただし、当該配管系の支持構造物が架構上の塔槽類である場合にあっては 9.1.3 c) に規定する β_7 の値に、2.0 を乗じた値、弁にあっては 2.0 に当該弁の構造、支持方法等に応じて 1.0 ないし 3.0 を乗じた値^りとする。

β_9 配管系に対する鉛直方向の応答倍率であって、2.0

μK_{MH} 配管を支持する位置 (以下「配管支持点」という。) における設計水平震度で、配管支持

構造物の応答解析の種類に応じて次の a) から c) の規定による。

a) 修正震度法

K_{MH} 配管支持構造物の種類に応じて 9.1.1 に定める値又は適切な方法 ²⁾により算定した値。ただし、6.1.1 に定める K_H を下回る場合は K_H 、配管支持構造物の高さが 3m 以下の場合は当該配管支持構造物の種類にかかわらず 6.1.1 に規定する K_H の値とする。

μ 震度分布係数であって、次の 1) 又は 2) に規定する値とする。

- 1) 配管支持構造物の高さが 10m 未満のもの又は配管支持構造物がスカート支持の自立式の塔類であって平均直径に対するベースプレートからの高さの比が 4.0 未満のもの 1.0
- 2) 1) 以外の配管支持構造物 次の算式により得られる値又は 1.0 のいずれか大なる値

$$\mu = \frac{1.5H}{H_i} \quad \text{[式 9.43]}$$

この算式において、 H 及び H_i は、それぞれ次の値を表す。

H 当該配管支持点の高さ (単位 m)
 H_i 配管支持構造物の高さ (単位 m)

b) モード解析法及び時刻歴応答解析法

μK_{MH} モード解析法にあつては、10.1 により、また、時刻歴応答解析法にあつては 11 により得られる配管支持点における応答加速度を重力加速度で除した値

c) 静的震度法

μK_{MH} 8.1.1 に規定する K_{SH} と同じ値

K_{MV} 9.1.1 に規定する値又は適切な方法により算定した値。ただし、配管支持構造物の高さが 3m 以下のときは、当該配管支持構造物の種類にかかわらず 6.1.1 に規定する K_V とする。

W_H 運転重量 (単位 N)

W_V 設計修正鉛直地震力を算定する位置に作用する配管の自重と内容物の重量との和 (単位 N)

注 ¹⁾ 弁の構造、支持方法等に応じて 1.0 ないし 3.0 を乗じた値とは、次の表の左欄に応じ、同表の右欄に掲げる値とする。

表 9.2

$\frac{H}{\sqrt{D}}$	乗数
40 以下	1.0
40 超 60 以下	$0.1 \frac{H}{\sqrt{D}} - 3.0$
60 超	3.0

備考 この表において、 H 及び D は、次の値を表す。

H 弁のボンネットフランジ面から当該フランジ面上部の重量の重心部までの距離 (単位 mm)

D 弁のヨーク部の最小幅 (単位 mm)

注²⁾適切な方法とは、9.1.1 に規定されている配管支持構造物の種類以外の構造物で配管支持構造物に該当するものについて、架構に準じた応答解析を行うことをいう。なお、 K_{M} の定義中適切な方法についても同様とする。

10 モード解析法

10.1 耐震設計設備及び配管系のモード解析法による応答解析

10.1.1 設計水平応答加速度及び設計鉛直応答加速度

設計水平応答加速度及び設計鉛直応答加速度は、次の算式により計算する。

$$A_H^{(i)} = \beta_5 \alpha_H \quad [\text{式 10.1}]$$

$$A_V = \beta_6 \alpha_V \quad [\text{式 10.2}]$$

これらの算式において $A_H^{(i)}$ 、 A_V 、 β_5 、 β_6 、 α_H 及び α_V は、それぞれ次の値を表す。

$A_H^{(i)}$ i 次の振動モード（固有周期が 0.05 秒を超えるものに限る。）における設計水平応答加速度（単位 m/s^2 ）

A_V 設計鉛直応答加速度（単位 m/s^2 ）

β_5 水平方向の応答倍率であって、次の a) 及び b) 定める値

a) 6.1.1 に規定する地域区分及び地盤種別に応じ、9.1.1 の図 9.1.1(a) 又は図 9.1.1(b) により求められる基準応答倍率に、9.1.1 の図 9.1.1 (c) により求められる補正係数を乗じて得られる値。この場合において、耐震設計設備及び配管系の固有周期の計算は、耐震設計設備及び配管系の構造に応じ適切な方法により行う。

b) a) において、耐震設計設備及び配管系の固有周期が 0.3 秒未満の場合であって応答倍率が 1.0 を下回るときは、これを 1.0 とし、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、これを 0.75 とする。

β_6 9.1.1 に規定する値

α_H 及び α_V それぞれ 6.1.2 に規定する値

10.1.2 設計に用いるせん断力、モーメント、加速度、変位等

設計に用いるせん断力、モーメント、加速度、変位等は、10.1.1 の規定により求められる設計水平応答加速度を用いて、振動モードごとに計算されたせん断力、モーメント、加速度、変位等を次の算式により合成して得られる値とする。

$$R = \sqrt{\sum_i \{R^{(i)}\}^2} \quad [\text{式 10.3}]$$

この算式において R 及び $R^{(i)}$ は、それぞれ次の値を表す。

R 設計に用いるせん断力、モーメント、加速度、変位等

$R^{(i)}$ i 次の振動モードにおけるせん断力、モーメント、加速度、変位等

10.2 1 次の固有周期が 0.05 秒以下の耐震設計設備及び配管系

10.1 において、1 次の固有周期が 0.05 秒以下の耐震設計設備及び配管系については、8 の規定に定める静的震度法による。

11 時刻歴応答解析法

11.1 設計用入力地震動による時刻歴応答解析

設計用入力地震動による時刻歴応答解析は、地震波を入力する位置に応じ、適切な入力地震波を用い、かつ、適切な減衰を考慮する。

11.2 液面揺動の設計用入力地震動による時刻歴応答解析

液面揺動の設計用入力地震動による時刻歴応答解析は、6.2 の規定により得られる液面揺動の固有周期に応じ、同項に規定す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適切な地震波を入力して行う。

2025年12月17日 Draft
パナソニック株式会社 用

12 塔槽類のノズル部（重要度 I a 及び I の配管系に接続されるものに限る。）

塔槽類のノズル部（重要度 I a 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 12.1 又は 12.2 による。

12.1 許容荷重判定

ノズルに作用する荷重に対し、次の判定式を満足する。

$$\text{a)円筒胴ノズルの場合} \quad \frac{3.0r_0F_X + 1.5M_L + 1.15 \frac{r_0}{\sqrt{RT}} M_C}{\pi K} \leq 1.0$$

$$\text{b)球形胴ノズルの場合} \quad \frac{r_0F_X + 2M_M}{3.6K} \leq 1.0$$

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 20.2 で規定する表 20.2②に示す値）、適用制限: $10 \leq R/T \leq 100$ 、 $r_0/R \leq 0.8$ 、 $t/T \leq 0.4$

12.2 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する。

- 1次一般膜応力強さ
- 1次局部膜応力強さ及び1次曲げ応力強さの和
- 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次応強さの和のサイクルにおける最大値と最小値との差

13 塔類の算定応力等

塔類の算定応力等の計算方法は、当該塔類の支持構造物の種類に応じ、13.1 から 13.3 による。

13.1 スカート支持の塔類

次の a) から d) までに掲げる応力について、それぞれ当該 a) から d) までに定める算式により計算する。

a) 胴板に生じる応力

1) 引張応力

$$\sigma_t = \left(\frac{P_0 D_m}{4t} - \frac{W_V - F_V}{\pi D_m t} + \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 13.1}]$$

この算式において σ_t 、 t 、 P_0 、 D_m 、 W_V 、 F_V 、 M 及び θ は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t 胴板に生じる引張応力 (単位 N/mm²)
- t 胴の板厚 (腐れしろを除く。単位 mm)
- P_0 常用の圧力 (単位 MPa)
- D_m 胴の平均直径 (単位 mm)
- W_V 応力を算定する位置に作用する耐震設計設備の自重と内容物の重量との和 (単位 N)
- F_V 設計鉛直地震力 (9.1.3 に規定する設計修正鉛直地震力又は 10.1.1 に規定する設計鉛直応答加速度により求められる鉛直方向地震力をいう。以下同じ。単位 N)
- M 応力を算定する位置に作用するモーメントの和 (偏心荷重がある場合には、当該荷重によるモーメントを考慮する。単位 N・mm)
- θ 円すい胴における円すい部の頂角の 2 分の 1 の値 (単位 度)

2) 圧縮応力

$$\sigma_c = \left(-\frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{W_V + F_V}{\pi D_m t} + \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 13.2}]$$

この算式において σ_c 、 P_0 、 t 、 D_m 、 W_V 、 F_V 、 M 及び θ は、それぞれ次の値を表す。

- σ_c 胴板に生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)
- P_0 通常の運転状態における最低の圧力 (単位 MPa)
- t 、 D_m 、 W_V 、 F_V 、 M 及び θ それぞれ 1) に規定する値

b) スカートに生じる応力

$$\sigma_c = \left\{ \frac{W_V + F_V}{(\pi D_m - Y)t} + \frac{4M}{(\pi D_m^2 - 2D_m Y)t} \right\} \frac{1}{\cos \theta} \quad [\text{式 13.3}]$$

この算式において σ_c 、 D_m 、 Y 、 t 、 θ 、 W_V 、 F_V 及び M は、それぞれ次の値を表す。

- σ_c スカートに生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)
- D_m スカートの平均直径 (単位 mm)
- Y スカート開口部の水平方向の最大長さ (単位 mm)

- t スカートの板厚 (単位 mm)
 θ 円すい形スカートの頂角の2分の1の値 (単位 度)
 W_V , F_V 及び M それぞれa)1)に規定する値

c) 基礎ボルトに生じる応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left(-W_V + F_V + \frac{4M}{D} \right) \quad [\text{式 13.4}]$$

この算式において σ_t , N , A , D , W_V , F_V 及び M は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t 基礎ボルトに生じる引張応力 (単位 N/mm²)
 N 基礎ボルトの本数
 A 基礎ボルトの有効断面積 (単位 mm²)
 D 基礎ボルトの中心からなる円の直径 (単位 mm)
 W_V , F_V 及び M それぞれa)1)に規定する値

d) ベースプレートに生じる応力

1) ベースブロック形式でない場合

$$\sigma_b = \frac{3L^2}{t^2} \left(\frac{W_V + F_V}{A_b} + \frac{M}{Z} \right) \quad [\text{式 13.5}]$$

この算式において σ_b , t , L , A_b , Z , W_V , F_V 及び M は、それぞれ次の値を表す。

- σ_b ベースプレートに生じる曲げ応力 (単位 N/mm²)
 t ベースプレートの板厚 (単位 mm)
 L 次の図に示す l_1 又は l_2 のいずれか大なる値 (単位 mm)

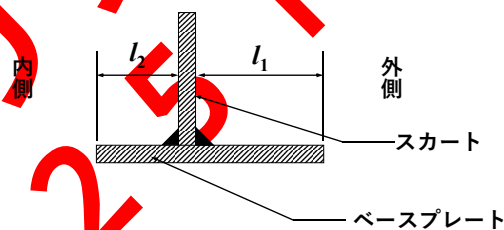


図 13.1

- A_b ベースプレートの底面積 (単位 mm²)
 Z ベースプレートの半径方向軸に対する断面係数 (単位 mm³)
 W_V , F_V 及び M それぞれa)1)に規定する値

2) ベースブロック形式の場合

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に生じる曲げ応力を算定することも可能である。

13.2 レグ支持の塔類

次の a) から c) までに掲げる応力について、それぞれ当該 a) から c) までに定めるところにより計算する。

a) 胴板に生じる応力

13.1 a) の規定による。この場合において、最高位の正接線から最低位の正接線までの長さが 5m 未満のたて置円筒形貯槽は剛体とみなす。

b) レグに生じる応力

1) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{P}{nA} \quad \text{[式 13.6]}$$

この算式において σ_t 、 n 、 A 及び P は、それぞれ次の値を表す。

σ_t レグに生じる引張応力 (単位 N/mm^2)

n レグの本数

A レグの断面積 (単位 mm^2)

P ベースプレートに作用する引抜力であって次の算式により得られる値 (単位 N)

$$P = -W_V + F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \quad \text{[式 13.7]}$$

この算式において W_V 、 F_V 、 F_H 、 D 及び H_2 は、それぞれ次の値を表す。

W_V 運転重量 (単位 N)

F_V 設計鉛直地震力 (単位 N)

F_H 設計水平地震力 (8.1.2 に規定する設計静的水平地震力、9.1.3 に規定する設計修正水平地震力又は 10.1.1 に規定する設計水平応答加速度により求められる水平方向地震力をいう。以下同じ。単位 N)

D レグの中心からなる円の直径 (単位 mm)

H_2 ベースプレートから塔類の重心までの高さ (単位 mm)

2) 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{1}{nA} \left(W_V + F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \right) \quad \text{[式 13.8]}$$

この算式において σ_c 、 n 、 A 、 W_V 、 F_V 、 D 、 F_H 及び H_2 は、それぞれ次の値を表す。

σ_c レグに生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

n 、 A 、 W_V 、 F_V 、 D 、 F_H 及び H_2 それぞれ 1) に規定する値

3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{1.2F_H H_1 e}{n(I_1 + I_2)} \quad \text{[式 13.9]}$$

この算式において σ_b 、 I_1 、 I_2 、 H_1 、 e 、 n 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

σ_b レグに生じる曲げ応力 (単位 N/mm^2)

- I_1 レグの周方向軸に対する断面2次モーメント (単位 mm^4)
 I_2 レグの半径方向軸に対する断面2次モーメント (単位 mm^4)
 H_1 レグの長さ (単位 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

4) せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{nA} \quad [\text{式 13.10}]$$

この算式において τ 、 n 、 A 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

- τ レグに生じるせん断応力 (単位 N/mm^2)
 n 、 A 及び F_H それぞれ1)に規定する値

c) 基礎ボルトに生じる応力

1) 引張応力

(i) $P \geq 0$ の場合

$$\sigma_t = \frac{e + \frac{a}{2} - c}{a - 2c} \cdot \frac{2}{n_a A_b} \cdot \frac{P}{n} \quad [\text{式 13.11}]$$

(ii) $P < 0$ の場合

$$\sigma_t = \frac{0.48 \left(e + \frac{a}{6} + \frac{c}{3} \right)}{a - c} \left\{ \frac{15}{b(a - c)} + \frac{2}{n_a A_b} \right\} \frac{P}{n} \quad [\text{式 13.12}]$$

(i) 及び (ii) の算式において、 σ_t 、 a 、 b 、 c 、 n 、 n_a 、 A_b 、 P 及び e は、それぞれ次の値を表す。

σ_t 基礎ボルトに生じる引張応力。ただし、得られた値が負の場合はこれを0とする。(単位 N/mm^2)

a 、 b 及び c それぞれ次の図に示す寸法 (単位 mm)

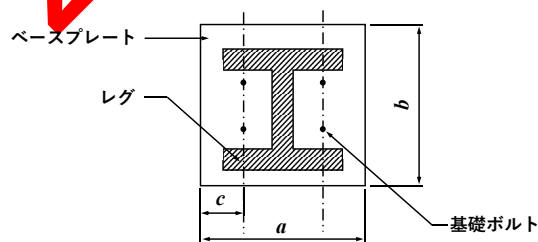


図 13.2

- n b)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 mm^2)
 P b)1)に規定する値

e 次の算式により得られる値 (単位 mm)

$$e = \frac{1}{P} \cdot \frac{1.2I_1}{I_1 + I_2} \cdot F_H H_1 \quad [\text{式 13.13}]$$

この算式において、 I_1 、 I_2 、 H_1 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

I_1 、 I_2 及び H_1 それぞれb)3)に規定する値
 F_H b)1)に規定する値

2) せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{nn_a A_b} \quad [\text{式 13.14}]$$

この算式において τ 、 n 、 F_H 、 n_a 及び A_b は、それぞれ次の値を表す。

τ 基礎ボルトに生じるせん断応力 (単位 N/mm²)
 n 及び F_H それぞれb)1)に規定する値
 n_a 及び A_b それぞれ1)に規定する値

13.3 ラグ支持の塔類

次のa)及びb)に掲げる応力について、それぞれ当該a)及びb)に定めるところにより計算する。

- a) 胴板に生じる応力 13.1a)の規定による。この場合において、最高位の正接線から最低位の正接線までの長さが5m未満のため置円筒形貯槽は剛体とみなす。
- b) セットボルトに生じる応力 13.1c)の規定を準用する。

14 球形貯槽の算定応力等

球形貯槽の算定応力等の計算方法は、14.1 から 14.6 に掲げる応力について、それぞれに定める算式による。ただし、鋼管ブレースに必要な補強をしている場合¹⁾は 14.3 c)の計算を、シアープレート²⁾を有する場合は、14.4 b)の計算を行うことを要しない。タイロッドブレースを有する場合はタイロッドブレースを固定するウイングプレートと支柱（上部及び下部）の接合部を補強する²⁾。また、ブレースの構造形式によらず、球殻と支柱の接合部分は必要に応じ補強の要否を検討し補強する。

注¹⁾「鋼管ブレースに必要な補強」とは、ブレースの交差部分及び支柱（上部及び下部）とブレースの取付け部分について次に掲げる方法を用いた補強、並びにその他の補強であって十分な保安水準の確保が可能な技術的根拠があるものをいう。

(1) ブレースの交差部分

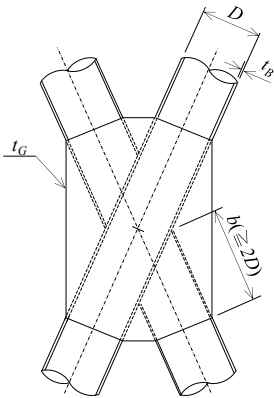
図(a)又は図(b)に示す貫通ガセット又は4枚のダイヤフラム（リングを含む。）で補強する。

(2) 支柱とブレースの取付け部分

図(c)に示す2枚のダイヤフラム（リングを含む。）で補強する。

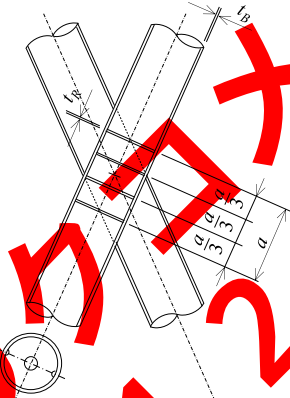
(貫通ガセット補強)

(ダイヤフラム補強)



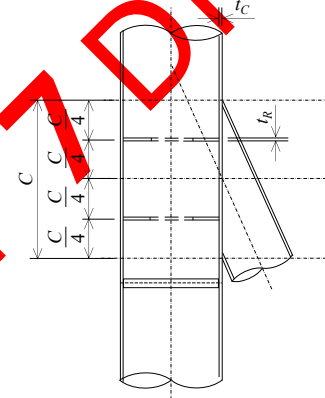
D : ブレースの外径
 t_B : ブレースの厚さ
 t_G : 貫通ガセットの板厚 $t_G \geq 0.7t_B$ とする。
 B : ブレースの交通部分の中心から貫通ガセット端部までの長さ $B \geq 2D$ とする。

図(a)



補強範囲 : 上図に示すようにブレースが交差する範囲を補強範囲 a とする。
 ダイヤフラム数 : 4枚
 t_B : ブレースの厚さ
 t_R : ダイヤフラムの板厚 $t_R \geq 0.7t_B$ とする。
 $a/3$: 補強間隔は補強範囲で等間隔とする。

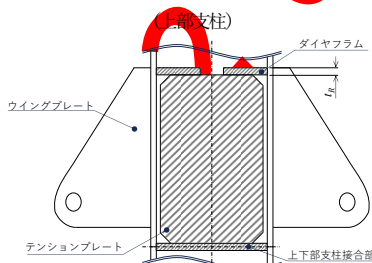
図(b)



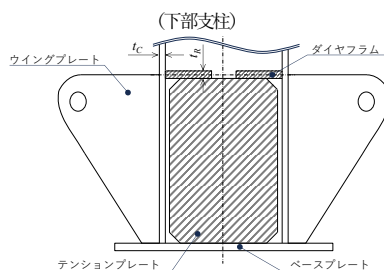
補強範囲 : 上図に示すようにブレースと支柱の外径の交点間距離を補強範囲 C とする。
 ダイヤフラム数 : 2枚
 t_C : 支柱の厚さ
 t_R : ダイヤフラムの板厚 $t_R \geq 1.0t_C$ とする。
 $C/4$: 補強間隔の上下からの補強位置

図(c)

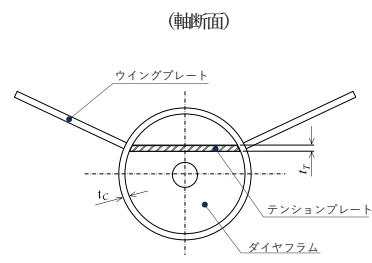
注²⁾図(d)に示すダイヤフラム（リングを含む。）又はテンションプレート若しくは両者の組み合わせにより補強する。図(d)は上端部を示すが、下端部も同様の補強とする。ただし、その他の補強であって、十分な保安水準の確保が可能な技術的根拠があるものとしてもよい。



ウイングプレート下端と上下部支柱の接続部が離れているおり、ダイヤフラム補強影響範囲が十分ではない場合はもう1枚ダイヤフラムを追加する。



ウイングプレート下端とベースプレートが離れているおり、ダイヤフラム補強影響範囲が十分ではない場合はもう1枚ダイヤフラムを追加する。



t_C : 支柱の厚さ
 t_R : ダイヤフラムの板厚 $t_R \geq 1.0t_C$ とする。
 t_T : テンションプレートの板厚 $t_T \geq 0.7t_C$ とする。

図(d)

14.1 上部支柱に生じる応力

a) 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{P_V}{A_{CU}} \quad [式 14.1]$$

この算式において及び σ_c 、 A_{CU} 及び P_V は、それぞれ次の値を表す。

σ_c 上部支柱に生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)

A_{CU} 上部支柱の断面積 (単位 mm²)

P_V 上部支柱に作用する圧縮力であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$P_V = \frac{1}{n} \left\{ W_V + F_V + \frac{4L(H_C - H_2)F_H}{D_B^2} \right\} \quad [式 14.2]$$

この算式において n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 L 、 H_C 、 H_2 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

n 支柱の本数

W_V 運転重量 (単位 N)

F_V 設計鉛直地震力 (単位 N)

D_B 支柱の中心からなる円の直径 (単位 mm)

L 隣り合った支柱間の距離 (単位 mm)

H_C ベースプレートから球殻の中心までの高さ (単位 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 mm)

F_H 設計水平地震力 (単位 N)

b) せん断応力

$$\tau = \frac{2(\sqrt{C_1}KS_H + K_C F_H)}{A_{CU}K} \quad [式 14.3]$$

この算式において τ 、 A_{CU} 、 F_H 、 K 、 C_1 、 K_C 及び S_H は、それぞれ次の値を表す。

τ 上部支柱に生じるせん断応力 (単位 N/mm²)

A_{CU} 及び F_H それぞれ a) に規定する値

K 、 C_1 及び K_C それぞれ 9.1.2 c) 2) に規定する値

S_H 次の算式により得られる値 (単位 N)

$$S_H = \frac{4\sqrt{C_1}EAK_C F_H}{(C_2 EA + 4LK_C)K} \quad [式 14.4]$$

この算式において E 、 C_2 、 A 及び L は、それぞれ次の値を表す。

E 下部支柱の材料の縦弾性係数 (単位 N/mm²)

C_2 及び A それぞれ 9.1.2 c) 2) に規定する値

L a) に規定する値

c) 曲げ応力

次の二つの算式により得られる値のいずれか大なるもの

$$\sigma_G = \frac{|M_{G1} + M_{G2}|}{Z_{CU}} \quad [式 14.5]$$

$$\sigma_O = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CU}} \quad [式 14.6]$$

これらの算式において σ_G 、 σ_O 、 Z_{CU} 、 M_{G1} 、 M_{G2} 、 M_{O1} 及び M_{O2} は、それぞれ次の値を表す。

σ_G 次の図に示す G 点に生じる曲げ応力 (単位 N/mm^2)

σ_O 次の図に示す O 点に生じる曲げ応力 (単位 N/mm^2)

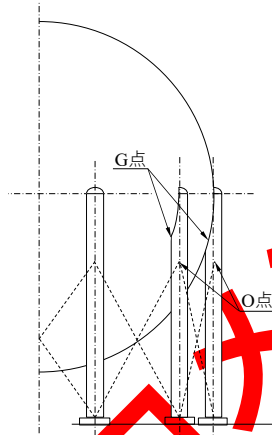


図 14.1

Z_{CU} 上部支柱の断面係数 (単位 mm^3)

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

$$M_{G1} = \frac{\lambda_C \{(1 - \lambda_C^2) H_1 - (3 - \lambda_C^2) L_w\} S_H}{2} \quad [式 14.7]$$

$$M_{G2} = \frac{K_C (H_1 - L_w) F_H}{K} \quad [式 14.8]$$

$$M_{O1} = \frac{\lambda_C (1 - \lambda_C)^2 (2 + \lambda_C) H_1 S_H}{2} \quad [式 14.9]$$

$$M_{O2} = \frac{K_C \lambda_C H_1 F_H}{K} \quad [式 14.10]$$

これらの算式において λ_C 、 H_1 、 L_w 、 K 、 K_C 、 F_H 及び S_H は、それぞれ次の値を表す。

λ_C 、 H_1 、 L_w 、 K 及び K_C それぞれ 9.1.2 c) 2) に規定する値

F_H a) に規定する値

S_H b) に規定する値

14.2 下部支柱に生じる応力

a) 圧縮応力

- 1) 次の図に示す A 柱 (以下「 A 柱」という。)

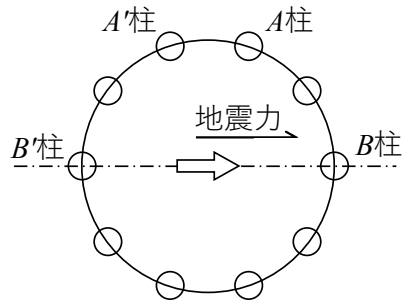


図 14.2

$$\sigma_{cA} = \frac{P_A}{A_{CL}} \quad [\text{式 14.11}]$$

この算式において σ_{cA} 、 A_{CL} 及び P_A は、それぞれ次の値を表す。

σ_{cA} A 柱下部に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

A_{CL} 下部支柱の断面積 (単位 mm^2)

P_A A 柱下部に作用する圧縮力であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$P_A = \frac{1}{n} \left\{ W_V + F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right\} \left\{ C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta}{A_{CL}} + 1} \right\} + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \quad [\text{式 14.12}]$$

この算式において A_B 、 θ 、 n 、 D_B 、 H_C 、 L 、 W_V 、 F_V 、 F_H 、 S_H 及び C_4 は、それぞれ次の値を表す。

A_B ブレースの断面積 (単位 mm^2)

θ ブレースの仰角 (単位 度)

n 、 D_B 、 H_C 、 L 、 W_V 、 F_V 及び F_H それぞれ 14.1 a) に規定する値

S_H 14.1 b) に規定する値

C_4 9.1.2 c) 2) に規定する値

2) 1)の図に示す B 柱 (以下「B 柱」という。)

$$\sigma_{cB} = \frac{P_B}{A_{CL}} \quad [\text{式 14.13}]$$

この算式において σ_{cB} 、 A_{CL} 及び P_B は、それぞれ次の値を表す。

σ_{cB} B 柱下部に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

A_{CL} 1) に規定する値

P_B B 柱下部に作用する圧縮力であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$P_B = \frac{1}{n} \left\{ W_V + F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right\} \left\{ C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta}{A_{CL}} + 1} \right\} + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \quad [\text{式 14.14}]$$

この算式において n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 、 H_C 、 S_H 、 A_B 、 θ 及び C_4 は、それぞれ次の値を表す。

n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 及び H_C それぞれ 14.1 a) に規定する値

- S_H 14.1 b)に規定する値
 A_B 及び θ それぞれ1)に規定する値
 C_4 9.1.2 c)2)に規定する値

b) 曲げ応力

1) A 柱

$$\sigma_{bA} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CL}} \quad [\text{式 14.15}]$$

この算式において σ_{bA} 、 Z_{CL} 、 M_{O1} 及び M_{O2} は、それぞれ次の値を表す。

- σ_{bA} A柱下部に生じる曲げ応力 (単位 N/mm²)
 Z_{CL} 下部支柱の断面係数 (単位 mm³)
 M_{O1} 及び M_{O2} それぞれ14.1 c)規定する値

2) B 柱

$$\sigma_{bB} = \frac{|2C_4 M_{O1} \sin^2\left(\frac{180^\circ}{n}\right) - M_{O2}|}{Z_{CL}} \quad [\text{式 14.16}]$$

この算式において σ_{bB} 、 Z_{CL} 、 C_4 、 n 、 M_{O1} 及び M_{O2} は、それぞれ次の値を表す。

- σ_{bB} B柱下部に生じる曲げ応力 (単位 N/mm²)
 Z_{CL} 1)に規定する値
 C_4 9.1.2 c)2)に規定する値
 n 14.1 a)に規定する値
 M_{O1} 及び M_{O2} それぞれ14.1 c)に規定する値

14.3 ブレースに生じる応力

a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{C_3 S_H}{A_B \cos \theta} - \frac{(1 - C_3) P_V \sin^2 \theta}{C_3 (2A_B \sin^3 \theta + A_{CL})} \quad [\text{式 14.17}]$$

この算式において σ_t 、 A_B 、 θ 、 A_{CL} 、 C_3 、 P_V 及び S_H は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t ブレースに生じる引張応力 (単位 N/mm²)
 A_B 、 θ 及び A_{CL} それぞれ14.2 a)1)に規定する値
 C_3 9.1.2 c)2)に規定する値
 P_V 14.1 a)に規定する値
 S_H 14.1 b)に規定する値

b) 圧縮応力 (鋼管ブレースの場合に限る。)

$$\sigma_c = \frac{C_3 S_H}{A_B \cos \theta} + \frac{(1 - C_3) P_V \sin^2 \theta}{C_3 (2A_B \sin^3 \theta + A_{CL})} \quad [\text{式 14.18}]$$

この算式において σ_c 、 A_B 、 θ 、 A_{CL} 、 C_3 、 P_V 及び S_H は、それぞれ次の値を表す。

σ_c 鋼管ブレースに生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)

A_B 、 θ 及び A_{CL} それぞれ 14.2 a) 1) に規定する値

C_3 9.1.2 c) 2) に規定する値

P_V 14.1 a) に規定する値

S_H 14.1 b) に規定する値

c) ブレースの交差部分に生じる応力 (鋼管ブレースの場合に限る。)

1) 引張応力

$$\sigma_t = \sigma'_t + \sigma'_c \cos(2\theta) \quad [\text{式 14.19}]$$

この算式において、 σ_t 、 σ'_t 、 σ'_c 及び θ は、それぞれ次の値を表す。

σ_t ブレースの交差部分に生じる引張応力 (単位 N/mm²)

σ'_t 引張応力が生じる鋼管ブレースにおける a) に規定する値

σ'_c 圧縮応力が生じる鋼管ブレースにおける b) に規定する値

θ 14.2 a) 1) に規定する値

2) せん断応力

$$\tau = \sigma'_c \sin(2\theta) \quad [\text{式 14.20}]$$

この算式において τ 、 σ'_c 及び θ は、それぞれ次の値を表す。

τ ブレースの交差部分に生じるせん断応力 (単位 N/mm²)

σ'_c 圧縮応力が生じる鋼管ブレースにおける b) に規定する値

θ 14.2 a) 1) に規定する値

14.4 基礎ボルトに生じる応力

a) 引張応力

1) 14.2a) 1) の図に示す A' 柱 (以下「A' 柱」という。)

$$\sigma_{A'} = \frac{P_{A'}}{n_a A_b} \quad [\text{式 14.21}]$$

この算式において $\sigma_{A'}$ 、 n_a 、 A_b 及び $P_{A'}$ は、それぞれ次の値を表す。

$\sigma_{A'}$ A' 柱の基礎ボルトに生じる引張応力 (単位 N/mm²)

n_a 支柱 1 本当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 mm²)

$P_{A'}$ A' 柱の基礎ボルトに作用する引抜力であって、次の算式により得られる値。ただし、得られた値が負の場合は、これを 0 とする。(単位 N)

$$P_{A'} = \frac{1}{n} \left(-W_V + F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) + 0.4C_4 S_H \tan \theta \quad [\text{式 14.22}]$$

この算式において n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 、 H_C 、 L 、 S_H 、 θ 及び C_4 は、それぞれ次の値を表す。

n , W_V , F_V , D_B , F_H , H_C 及び L	それぞれ14.1 a)に規定する値
S_H	14.1 b)に規定する値
θ	14.2 a) 1)に規定する値
C_4	9.1.2 c) 2)に規定する値

2) 14.2 a) 1)の図に示す B' 柱 (以下「 B' 柱」という。)

$$\sigma_{tB'} = \frac{P_{B'}}{n_a A_b} \quad [\text{式 } 14.23]$$

この算式において $\sigma_{tB'}$ 、 n_a 、 A_b 及び $P_{B'}$ は、それぞれ次の値を表す。

$\sigma_{tB'}$ B' 柱の基礎ボルトに生じる引張応力 (単位 N/mm^2)

n_a 及び A_b それぞれ1)に規定する値

$P_{B'}$ B' 柱の基礎ボルトに作用する引抜力であって、次の算式により得られる値。ただし、得られた値が負の場合は、これを0とする。

$$P_{B'} = \frac{1}{n} \left(-W_V + F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \quad [\text{式 } 14.24]$$

この算式において n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 及び H_C は、それぞれ14.1 a)に規定する値を表す。

b) せん断応力

1) A' 柱

$$\tau_{A'} = \frac{Q_{A'}}{n_a A_b} \quad [\text{式 } 14.25]$$

この算式において $\tau_{A'}$ 、 n_a 、 A_b 及び $Q_{A'}$ は、それぞれ次の値を表す。

$\tau_{A'}$ A' 柱の基礎ボルトに生じるせん断応力 (単位 N/mm^2)

n_a 及び A_b それぞれ a) 1)に規定する値

$Q_{A'}$ 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 N)

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_C F_H}{K} \quad [\text{式 } 14.26]$$

この算式において F_H 、 S_H 、 K 及び K_C は、それぞれ次の値を表す。

F_H 14.1 a)に規定する値

S_H 14.1 b)に規定する値

K 及び K_C それぞれ9.1.2 c) 2)に規定する値

2) B' 柱

$$\tau_{B'} = \frac{Q_{B'}}{n_a A_b} \quad [\text{式 } 14.27]$$

この算式において $\tau_{B'}$ 、 n_a 、 A_b 及び $Q_{B'}$ は、それぞれ次の値を表す。

$\tau_{B'}$ B' 柱の基礎ボルトに生じるせん断応力 (単位 N/mm^2)

n_a 及び A_b それぞれ a) 1)に規定する値

$Q_{B'}$ B' 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 N)

$$Q_{B'} = 2C_3 S_H \sin^2 \left(\frac{180^\circ}{n} \right) + \frac{K_C F_H}{K} \quad [\text{式 14.28}]$$

この算式において C_3 、 K 、 K_C 、 S_H 、 n 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

C_3 、 K 及び K_C それぞれ 9.1.2 c) 2) に規定する値

S_H 14.1 b) に規定する値

n 及び F_H それぞれ 14.1 a) に規定する値

14.5 シアープレートに生じる応力

a) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{3R_A b^2}{t^2} \quad [\text{式 14.29}]$$

この算式において σ_b 、 t 、 b 及び R_A は、それぞれ次の値を表す。

σ_b シアープレートに生じる曲げ応力 (単位 N/mm^2)

t シアープレートの板厚 (単位 mm)

b 次の図に示すシアープレートの高さ (単位 mm)

R_A A' 柱のシアープレートに作用する基礎コンクリートの支圧力であって、次の算式により得られる値 (単位 N/mm^2)

$$R_A = \frac{Q_{A'}}{2ab} \quad [\text{式 14.30}]$$

この算式において a 及び $Q_{A'}$ は、それぞれ次の値を表す。

a 次の図に示すシアープレートの長さ (単位 mm)

$Q_{A'}$ 14.4 b) 1) に規定する値

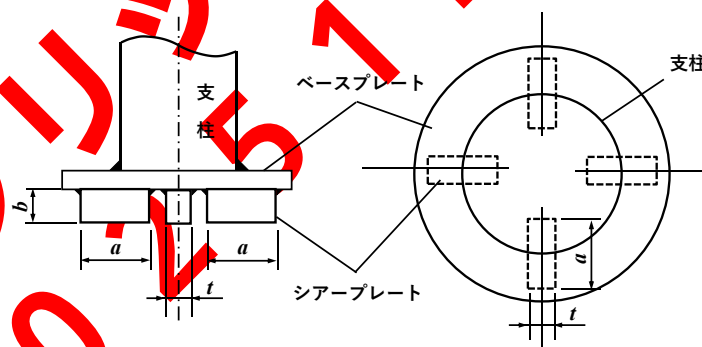


図 14.5

b) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_{A'}}{2at} \quad [\text{式 14.31}]$$

この算式において τ 、 a 、 t 及び $Q_{A'}$ は、それぞれ次の値を表す。

τ シアープレートに生じるせん断応力 (単位 N/mm^2)

a 及び t それぞれ a) に規定する値

$Q_{A'}$ 14.4 b) 1) に規定する値

14.6 ベースプレートに生じる応力

a) 基礎コンクリートの支圧力による曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{3P'_B(D_b - D_c)^2}{\pi t^2 D_b^2} \quad [\text{式 14.32}]$$

この算式において σ_{b1} 、 t 、 D_b 、 D_c 及び P'_B は、それぞれ次の値を表す。

σ_{b1} 基礎コンクリートの支圧力によりベースプレートに生じる曲げ応力 (単位 N/mm²)

t ベースプレートの板厚 (単位 mm)

D_b ベースプレートの直径 (単位 mm)

D_c 支柱の外径 (単位 mm)

P'_B B 柱の基礎コンクリートからベースプレートに作用する鉛直反力であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$P'_B = \frac{1}{n} \left(W_V + F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \quad [\text{式 14.33}]$$

この算式において n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 、 H_C 、 S_H 、 θ 及び C_4 は、それぞれ次の値を表す。

n 、 W_V 、 F_V 、 D_B 、 F_H 及び H_C それぞれ 14.1 a) に規定する値

S_H 14.1 b) に規定する値

θ 14.2 a) 1) に規定する値

C_4 9.1.2 c) 2) に規定する値

b) 基礎ボルトに作用する引抜力による曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{6P_B L'}{n_a (D_a + 2L') t^2} \quad [\text{式 14.34}]$$

この算式において σ_{b2} 、 D_a 、 L' 、 t 、 n_a 及び P_B は、それぞれ次の値を表す。

σ_{b2} 基礎ボルトに作用する引抜力によりベースプレートに生じる曲げ応力 (単位 N/mm²)

D_a 基礎ボルト穴の径 (単位 mm)

L' 次の図に示す寸法 (単位 mm)

t a) に規定する値

n_a 14.4 a) 1) に規定する値

P_B 14.4 a) 2) に規定する値

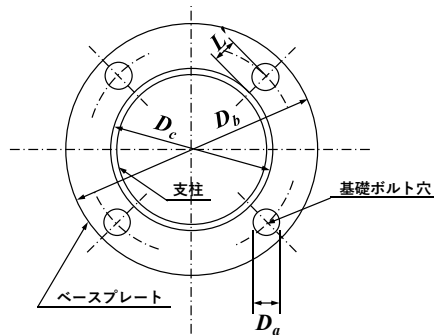


図 14.6

15 横置円筒形貯槽の算定応力等

横置円筒形貯槽（2点支持のものに限る。）の算定応力等の計算方法は、15.1 から 15.6 に掲げる応力について、それぞれに定める算式による。ただし、シアプレート有る場合は、15.5 b)の計算を行うことを要しない。

15.1 胴のサドル部に生じる応力

a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{M_{LS}}{Z_S} \quad [\text{式 15.1}]$$

この算式において σ_t 、 t 、 P_0 、 D_m 、 M_{LS} 及び Z_S は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t 胴のサドル部に生じる引張応力（単位 N/mm²）
- t 胴の板厚（腐れしろを除く。単位 mm）
- P_0 常用の圧力（単位 MPa）
- D_m 胴の平均直径（単位 mm）
- M_{LS} 胴のサドル部に作用する曲げモーメントであって、次の算式により得られる値（単位 N・mm）

$$M_{LS} = Q \left\{ A - \frac{6A(L-A) + 3(R_m^2 - H^2)}{2(3L+4H)} \right\} \quad [\text{式 15.2}]$$

この算式において Q 、 A 、 L 、 H 及び R_m は、それぞれ次の値を表す。

Q 胴がサドルから受ける反力であって、次の算式により得られる値（単位 N）

$$Q = \frac{W_V + F_V}{2} + F_{eV} \quad [\text{式 15.3}]$$

この算式において W_V 、 F_V 及び F_{eV} は、それぞれ次の値を表す。

- W_V 運転重量（単位 N）
- F_V 設計鉛直地震力（単位 N）
- F_{eV} 次の二つの算式により得られる値のいずれか大なるもの（単位 N）

$$F_{VX} = \frac{F_H H_V}{L_S} \quad [\text{式 15.4}]$$

$$F_{VY} = \frac{3F_H H_V}{4B} \quad [\text{式 15.5}]$$

これらの算式において F_{VX} 、 F_{VY} 、 L_S 、 F_H 、 H_V 及び B は、それぞれ次の値を表す。

- F_{VX} 軸方向に作用する設計水平地震力の等価鉛直荷重（単位 N）
- F_{VY} 軸直角方向に作用する設計水平地震力の等価鉛直荷重（単位 N）
- L_S 次の図(a)に示すサドルの中心間の距離（単位 mm）
- F_H 設計水平地震力（単位 N）
- H_V 次の図(a)に示すベースプレートから胴の軸までの距離（単位 mm）
- B 次の図(a)に示すサドルの幅（単位 mm）
- A 次の図(a)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 次の図(a)に示す胴の正接線間の距離（単位 mm）

H 次の図(a)に示す鏡の深さ (単位 mm)

R_m 次の図(a)に示す胴の平均直径の2分の1の値 (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^3)

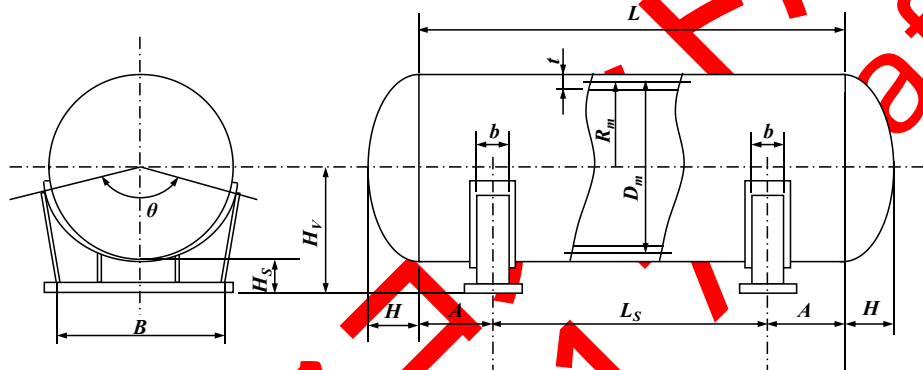
- (1) 胴が鏡により補強される場合 ($A/R_m \leq 0.5$ の場合に限る。以下同じ。) 又は、強め輪により補強される場合

$$Z_s = \pi R_m^2 t \quad \text{[式 15.6]}$$

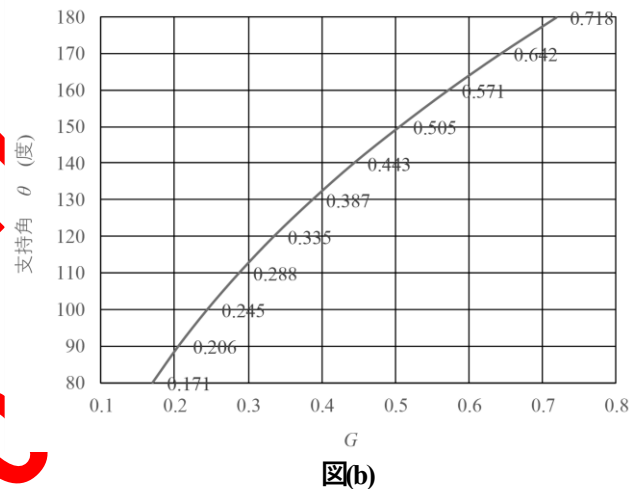
- (2) (1)以外の場合

$$Z_s = GR_m^2 t \quad \text{[式 15.7]}$$

この算式において、 G は次の図(a)に示すサドルの支持角 θ に応じ、次の図(b)により求められる値



図(a)



図(b)

b) 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{K_1 Q}{(b + 1.56\sqrt{R_m t})t} \quad \text{[式 15.8]}$$

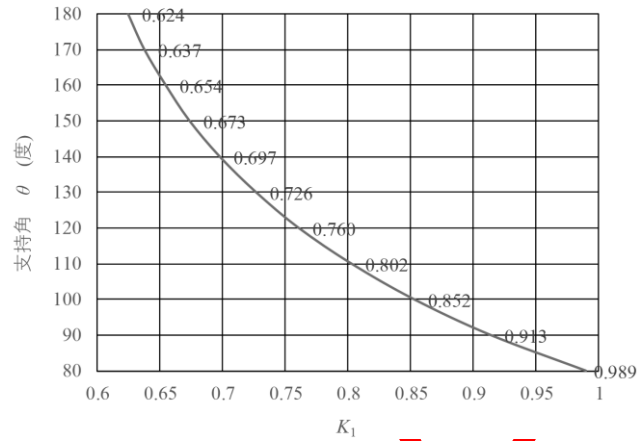
この算式において σ_c 、 b 、 R_m 、 Q 、 t 及び K_1 は、それぞれ次の値を表す。

- σ_c 胴のサドル部に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)
- b a)の図(a)に示すサドルの幅 (単位 mm)
- R_m 及び Q それぞれ a)に規定する値

- t a)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算式により得られる値を超えるときは、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。

$$b + 1.56\sqrt{R_m t} \quad [\text{式 15.9}]$$

- K₁ サドルの支持角 θ に応じ、次の図により求められる値



図(c)

15.2 胴の中央部に生じる軸方向応力

- a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{M_{LC}}{Z_C} \quad [\text{式 15.10}]$$

この算式において σ_t , t , P_0 , D_m , M_{LC} 及び Z_C は、それぞれ次の値を表す。

σ_t 胴の中央部に生じる引張応力 (単位 N/mm²)

t , P_0 及び D_m それぞれ 15.1 a) に規定する値

M_{LC} 胴の中央部に作用する曲げモーメントであって、次の算式により得られる値 (単位 N・mm)

$$M_{LC} = Q \left\{ \frac{3L^2 + 6(R_m^2 - H^2)}{4(3L + 4H)} - A \right\} \quad [\text{式 15.11}]$$

この算式において Q , L , H , R_m 及び A は、それぞれ 15.1 a) に規定する値を表す。

Z_C 胴の中央部における断面係数であって、次の算式により得られる値 (単位 mm³)

$$Z_C = \pi R_m^2 t \quad [\text{式 15.12}]$$

- b) 圧縮応力

$$\sigma_b = \frac{M_{LC}}{Z_C} \quad [\text{式 15.13}]$$

この算式において σ_b , Z_C 及び M_{LC} は、それぞれ次の値を表す。

σ_b 胴の中央部に生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)

Z_C 及び M_{LC} それぞれ a) に規定する値

15.3 鏡（胴が鏡により補強される場合に限る。）に生じる応力

$$\sigma_t = \frac{K_2 Q}{R_m t_h} + \sigma' \quad [式 15.14]$$

この算式において σ_t 、 R_m 、 Q 、 t_h 、 K_2 及び σ' は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t 鏡に生じる引張応力 (単位 N/mm²)
- R_m 及び Q 15.1 a)に規定する値
- t_h 鏡の板厚 (腐れしろを除く。単位 mm)
- K_2 サドルの支持角 θ に応じ、次の図により求められる値

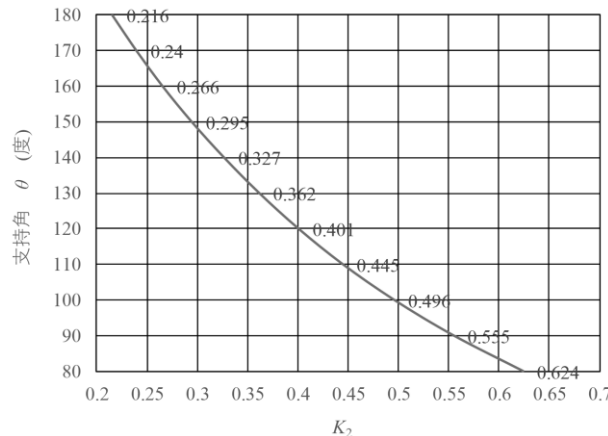


図 15.3

σ' 内圧によって鏡に生じる引張応力であって、次の表の左欄に掲げる鏡の形状に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値 (単位 N/mm²)

表 15.3

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

備考 この表において D_h 、 h 、 R_h 、 r 及び P_0 は、それぞれ次の値を表す。

- 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 (それぞれ腐れしろを除く。単位 mm)
- h 鏡の内側のだ円体の短径の 2 分の 1 の値 (腐れしろを除く。単位 mm)
- R_h 鏡の中央部の内径の 2 分の 1 の値 (腐れしろを除く。単位 mm)
- r ナックル部の内半径 (単位 mm)
- P_0 15.1 a)に規定する値

15.4 サドルに生じる応力

a) 片方のサドルが固定式の場合

$$\sigma_c = \frac{W_V + F_V}{2A_{SD}} + \frac{\{2F_H - 0.1(W_V + F_V)\}H_S}{2Z_{SD}} + \frac{F_H H_V}{A_{SD} L_S} \quad [\text{式 15.15}]$$

b) 両方のサドルが固定式の場合

$$\sigma_c = \frac{W_V + F_V}{2A_{SD}} + \frac{F_H H_S}{2Z_{SD}} + \frac{F_H H_V}{A_{SD} L_S} \quad [\text{式 15.16}]$$

a)及びb)の算式において σ_c 、 A_{SD} 、 Z_{SD} 、 H_S 、 W_V 、 F_V 、 F_H 、 L_S 及び H_V は、それぞれ次の値を表す。

- σ_c サドルに生じる圧縮応力 (単位 N/mm²)
- A_{SD} サドルの有効断面積 (単位 mm²)
- Z_{SD} サドルの有効断面係数 (単位 mm³)
- H_S 15.1 a)の図(a)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)
- W_V 、 F_V 、 F_H 、 L_S 及び H_V それぞれ15.1 a)に規定する値

15.5 基礎ボルトに生じる応力

a) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_H H_V}{n A_b C_b} - \frac{W_V - F_V}{2n A_b} \quad [\text{式 15.17}]$$

この算式において σ_t 、 n 、 A_b 、 C_b 、 F_H 、 H_V 、 W_V 及び F_V は、それぞれ次の値を表す。

- σ_t 基礎ボルトに生じる引張応力 (単位 N/mm²)
- n サドル1個当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 mm²)
- C_b 基礎ボルトの軸直角方向の間隔 (単位 mm)
- F_H 、 H_V 、 W_V 及び F_V それぞれ15.1 a)に規定する値

b) せん断応力

1) 片方のサドルが固定式の場合

$$\tau = \frac{F_H - 0.2(W_V - F_V)}{n A_b} \quad [\text{式 15.18}]$$

2) 両方のサドルが固定式の場合

$$\tau = \frac{F_H - 0.3(W_V - F_V)}{2n A_b} \quad [\text{式 15.19}]$$

1)及び2)の算式において τ 、 n 、 A_b 、 F_H 、 W_V 及び F_V は、それぞれ次の値を表す。

- τ 固定側サドルの基礎ボルトに生じるせん断応力 (単位 N/mm²)
- n 固定側サドルの基礎ボルトの本数
- A_b a)に規定する値
- F_H 、 W_V 及び F_V それぞれ15.1 a)に規定する値

15.6 シアープレートに生じる応力

a) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{3h^2\sigma_{CP}}{t_{SP}^2} \quad [\text{式 15.20}]$$

この算式において σ_b 、 t_{SP} 、 h 及び σ_{CP} は、それぞれ次の値を表す。

σ_b	シアープレートに生じる曲げ応力 (単位 N/mm ²)
t_{SP}	シアープレートの板厚 (単位 mm)
h	シアープレートの高さ (単位 mm)
σ_{CP}	基礎コンクリートからの圧縮力によりシアープレートに生じる圧縮応力であって、次の表の左欄に掲げる地震力の方向に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値 (単位 N/mm ²)

表(a)

地震力の方向	σ_{CP}
胴の軸方向	$\frac{F_H}{b_Y h}$
胴の軸直角方向	$\frac{F_H}{b_X h}$

備考 この表において b_Y 、 b_X 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

b_Y	シアープレートの胴の軸直角方向の長さ (単位 mm)
b_X	シアープレートの胴の軸方向の長さ (単位 mm)
F_H	15.1a)に規定する値

b) せん断応力

次の表の左欄に掲げる地震力の方向に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値

表(b)

地震力の方向	τ
胴の軸方向	$\frac{F_H}{b_Y t_{SP}}$
胴の軸直角方向	$\frac{F_H}{b_X t_{SP}}$

備考 この表において τ 、 b_Y 、 b_X 、 t_{SP} 及び F_H は、それぞれ次の値を表す。

τ	シアープレートに生じるせん断応力 (単位 N/mm ²)
b_Y 、 b_X 及び t_{SP}	それぞれ a) に規定する値
F_H	15.1 に規定する値

16 平底円筒形貯槽の算定応力等

平底円筒形貯槽の算定応力等の計算方法は、貯槽の規模に応じ、16.1 又は 16.2 による。

16.1 内径が 20m 以下であり、かつ、内径に対する側板部の高さの比が 1.25 以下の平底円筒形貯槽

次の a)及び b)に掲げる応力について、それぞれ当該 a)及び b)に定める算式により計算する。

a) 側板に生じる応力

1) 設計用入力地震動による応力

$$\sigma_c = -\frac{P_0 D}{4t} + \frac{(1+K_{MV})(W'_S+W_r)}{\pi D t} + \frac{4M_1}{\pi D^2 t} \quad [\text{式 16.1}]$$

この算式において σ_c 、 t 、 P_0 、 D 、 K_{MV} 、 W'_S 、 W_r 及び M_1 は、それぞれ次の値を表す。

σ_c 側板に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

t 側板の板厚 (腐れしろを除く。単位 mm)

P_0 通常の運転状態における最低の圧力 (単位 MPa)

D 内径 (単位 mm)

K_{MV} 9.1.1 に規定する値

W'_S 応力を算定する位置に作用する側板部の重量 (単位 N)
二重殻構造のものにあつては応力を算定する位置より上部の内槽側板自重とする。

W_r 屋根板部の全重量 (積雪地においては積雪荷重を含む。単位 N)
二重殻構造のものにあつては内槽屋根板自重及び屋根部保冷材自重の合計とし、積雪荷重は含まない。

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

$$M_1 = \frac{\pi D}{2} \int_h^{H_i} P_{hi}(H)(H-h)dH + K_{MH}(W'_S H_{Sh} - W_r H_{rh}) \quad [\text{式 16.2}]$$

この算式において K 、 H_i 、 h 、 P_{hi} 、 W'_S 、 H_S 及び H_r は、それぞれ次の値を表す。

K 8.1.1 に規定する K_{SH} 又は 9.1.1 に規定する $K_{MH} H_i$ 最高液面高さ (単位 mm)

h 応力を算定する位置の貯槽底面からの高さ (単位 mm)

$P_{hi}(H)$ 側板部に作用する動液圧 (単位 MPa)

次の式によるかその他適切な算定方法によつてもよい。

$$P_{hi}(H) = \rho g K H_i \left[1 - \frac{H}{H_i} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{H}{H_i} \right)^2 \right] \sqrt{3} \tanh \left(\frac{\sqrt{3} D}{2 H_i} \right) \times 10^{-6} \quad [\text{式 16.3}]$$

ここで、

ρ 内容液の密度 (単位 kg/m^3)

g 重力加速度 (単位 m/s^2)

W'_S 応力を算定する位置より上部の側板部の全重量 (単位 N)

二重殻構造のものにあつては応力を算定する位置より上部の内槽側板自重及び側部保冷材重量の 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つては、側部保冷材自重は側板部の

全重量に含めない。

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の重心までの高さ (単位 mm)

H_{rh} 応力を算定する位置から屋根板部の重心までの高さ (単位 mm)

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。

$$M_1 = K \left(1 - \frac{h}{H_1} \right)^2 (W_s H_s + W_r H_r + W_1 H_1) \quad [\text{式 16.4}]$$

この算式において H_s 、 H_r 、 W_1 及び H_1 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)

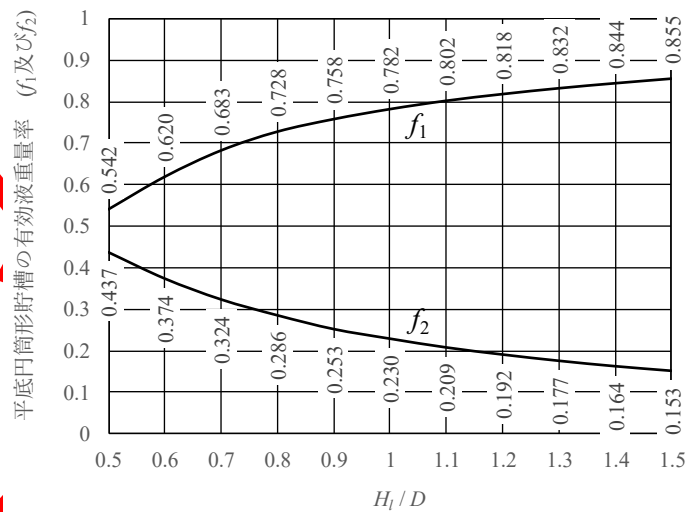
W_1 設計用入力地震動に対する有効液重量であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$W_1 = f_1 W_l \quad [\text{式 16.5}]$$

この算式において f_1 及び W_l は、それぞれ次の値を表す。

f_1 H_l/D の値に応じ、次の図(a)により求められる有効液重量率

W_l 内容液の重量 (単位 N)

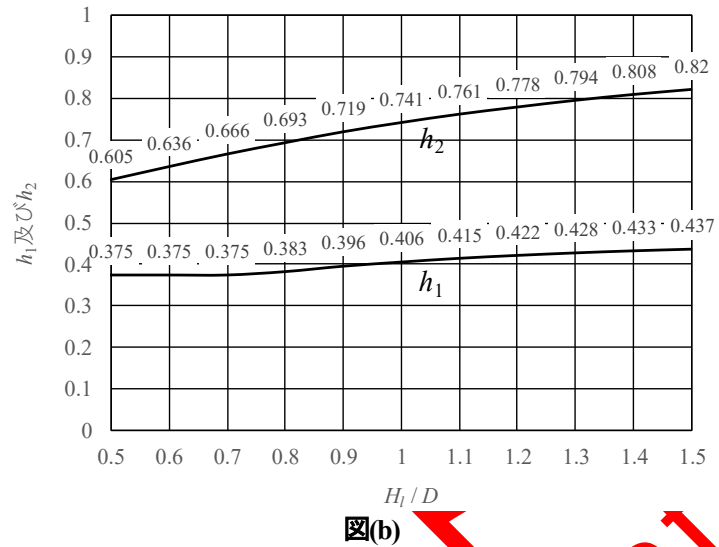


図(a)

H_l 貯槽底面から W_1 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)

$$H_l = h_1 H_1 \quad [\text{式 16.6}]$$

この算式において、 h_1 は、 H_l/D の値に応じ、次の図 (b) により求められる値



2) 液面揺動の設計用入力地震動による応力

$$\sigma_c = -\frac{P_0 D}{4t} + \frac{W'_s + W_r}{\pi D t} + \frac{4M_2}{\pi D^2 t} \quad [\text{式 16.7}]$$

この算式において σ_c 、 t 、 P_0 、 D 、 W'_s 、 W_r 及び M_2 は、それぞれ次の値を表す。

σ_c 側板に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

t 、 P_0 、 D 、 W'_s 及び W_r それぞれ 1) に規定する値

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 $\text{N} \cdot \text{mm}$)

$$M_2 = \frac{\pi D}{2} \int_h^{H_1} P_{h2}(H) \cdot (H - h) dH \quad [\text{式 16.8}]$$

この算式において H_1 、 h 、 H 、 g 、 α_2 、 W'_s 及び H_2 は、それぞれ次の値を表す。

H_1 、 h 及び H それぞれ 1) に規定する値

P_{h2} 側板部に作用する動液圧 (単位 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。

$$P_{h2}(H) = \rho g \eta_{\max} \frac{\cosh(3.86H/D)}{\cosh(3.86H_1/D)} \times 10^{-6} \quad [\text{式 16.9}]$$

ここで、

ρ 内容液の密度 (単位 kg/m^3)

g 重力加速度 (単位 m/s^2)

η_{\max} 最大の液面変位 (m)、次の式による。

$$\eta_{\max} = 0.42D \frac{\alpha_2}{g} \quad [\text{式 16.10}]$$

ここで、 α_2 は液面揺動の設計用入力地震動の地表面における水平応答加速度であって、次の算式により得られる値 (単位 m/s^2)

$$\alpha_2 = \frac{2\pi}{T} C_d V_H(T) \quad [\text{式 16.11}]$$

この算式において T 、 $V_H(T)$ 及び C_d は、それぞれ次の値を表す。

T 及び $V_H(T)$ それぞれ6.2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、9.1.1の図(c)により求められる値。ただし、液面揺動の減衰定数は0.5%とする。

なお、 M_2 は次の算式により計算することも可能である。

$$M_2 = \left(1 - \frac{h}{H_1}\right)^{1.3} \frac{\alpha_2 W_2 H_2}{g} \quad \text{[式 16.12]}$$

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対する有効液重量であって、次の算式により得られる値 (単位 N)

$$W_2 = f_2 W_1 \quad \text{[式 16.13]}$$

この算式において f_2 及び W_1 は、それぞれ次の値を表す。

f_2 H_1/D の値に応じ、1)の図(a)により求められる値

W_1 1)に規定する値

H_2 貯槽底面から W_2 に係る有効液の重心までの高さであって、次の算式により得られる値 (単位 mm)

$$H_2 = h_2 H_1 \quad \text{[式 16.14]}$$

この算式において、 h_2 は H_1/D の値に応じ、1)の図(b)により求められる値

b) アンカーストラップに生じる応力

1) 設計用入力地震動による応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left\{ \frac{\pi D^2 P_0}{4} - (1 - K_{MV})(W_s + W_r) + \frac{4M_1}{D} \right\} \quad \text{[式 16.15]}$$

この算式において σ_t 、 N 、 A 、 P_0 、 D 、 W_s 、 W_r 、 M_1 及び K_{MV} は、それぞれ次の値を表す。

σ_t アンカーストラップに生じる引張応力 (単位 N/mm²)

N アンカーストラップの本数

A アンカーストラップの断面積 (単位 mm²)

P_0 常用の圧力 (単位 MPa)

D 、 W_s 、 W_r 及び M_1 それぞれa)1)に規定する値

K_{MV} 9.1.1に規定する値

2) 液面揺動の設計用入力地震動による応力

$$\sigma_t = \frac{1}{NA} \left\{ \frac{\pi D^2 P_0}{4} - (W_s + W_r) + \frac{4M_2}{D} \right\} \quad \text{[式 16.16]}$$

この算式において σ_t 、 N 、 A 、 P_0 、 D 、 W_s 、 W_r 及び M_2 は、それぞれ次の値を表す。

σ_t アンカーストラップに生じる引張応力 (単位 N/mm²)

N 、 A 及び P_0 それぞれ1)に規定する値

D 、 W_s 及び W_r それぞれa)1)に規定する値

M_2

a)2)に規定する値

16.2 16.1 に掲げる平底円筒形貯槽以外の平底円筒形貯槽

設計用入力地震動及び液面揺動の設計用入力地震動に基づき、次の表の左欄に掲げる応力評価の場所ごとに同表の右欄に掲げる算定応力等を適切な方法により算定する。

表 16.2

応 力 評 価 の 場 所	算 定 応 力 等
側板、ナックルプレート、屋根板及びアニュラプレートのうち、構造上 応力集中を受けにくい部分	1次一般膜応力強さ 圧縮応力
屋根板とナックルプレートの継手部、ナックルプレートと側板の継手部 及び側板とアニュラプレートの継手部	1次局部膜応力強さ 1次曲げ応力強さ 2次応力強さ
アンカーストラップ	引張応力

17 架構の算定応力等

架構は、架構等の重量及びこれらに作用する設計地震力に基づき、次に掲げる部分に生じる応力を算定する。

- a) 支柱
- b) はり
- c) ブレース
- d) 基礎ボルト
- e) その他耐震上特に重要な部分²⁾

注¹⁾応力の算定については、(一社)日本建築学会の「鋼構造許容応力度設計規準 (2019年)」、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2024年)」及び「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計と保有水平耐力— (2014年)」による。

注²⁾その他耐震上特に重要な部分とは、仕口のうち重要なもの及びベースプレートをいう。

パナソニック(株) 2025.12.17 Draft

18 配管系の算定応力等

配管系の算定応力等の計算方法は、18.1 から 18.6 による。

18.1 配管、曲がり管部、分岐部及び配管支持点

配管、曲がり管部、分岐部及び配管支持点のそれぞれについて、次の a) 及び b) に掲げる応力をそれぞれ当該 a) 及び b) に定める算式により計算する。

a) 圧力、運転重量、設計水平地震力及び設計鉛直地震力による配管長手方向応力

$$\sigma_l = \frac{\sqrt{(i_l M_l)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} + \left| \frac{F}{A} \right| \quad [\text{式 18.1}]$$

この算式において、 σ_l 、 i_l 、 i_o 、 M_l 、 M_o 、 Z 、 F 及び A はそれぞれ次の値を表す。

- σ_l 長手方向応力 (単位 N/mm^2)
- i_l 管継手の種類に応じ適切な方法で求める面内応力集中係数
- i_o 管継手の種類に応じ適切な方法で求める面外応力集中係数
- M_l 配管内の流体の圧力、運転重量及び配管に作用する設計水平地震力 (9.2 に規定する設計修正水平地震力又は 10.1.1 に規定する設計水平応答加速度により求められる水平方向地震力をいう。以下本項において同じ。) 並びに設計鉛直地震力 (9.2 に規定する設計修正鉛直地震力又は 10.1.1 に規定する設計鉛直応答加速度により求められる鉛直方向地震力をいう。以下本項において同じ。) に伴う配管の面内曲げモーメント (単位 $\text{N} \cdot \text{mm}$)
- M_o 配管内の流体の圧力、運転重量及び配管に作用する設計水平地震力並びに設計鉛直地震力に伴う配管の面外曲げモーメント (単位 $\text{N} \cdot \text{mm}$)
- Z 管の断面係数。ただし、異径分岐管にあっては、次の算式により得られる値。(腐れしを除く。単位 mm^3)

$$Z = \pi r^3 t_s \quad [\text{式 18.2}]$$

この算式において、 r 及び t_s は次の値を表す。

- r 分岐管の平均半径 (単位 mm)
- t_s 分岐管の有効肉厚で、主管部肉厚と分岐管に i_l を乗じた値のいずれか小なる値 (腐れしろ及び補強板の肉厚を除く。) (単位 mm)
- F 配管内の流体の圧力、運転重量及び配管に作用する設計水平地震力並びに設計鉛直地震力による配管軸力 (単位 N)
- A 管の断面積 (腐れしを除く。単位 mm^2)

b) 設計水平地震力、設計鉛直地震力及び配管支持点の移動に伴う繰り返し応力範囲

$$\sigma_E = 2 \cdot \frac{\sqrt{(i_l M_l)^2 + (i_o M_o)^2 + M_l^2}}{Z} \quad [\text{式 18.3}]$$

この算式において、 σ_E 、 i_l 、 i_o 、 Z 、 M_l 、 M_o 及び M_l はそれぞれ次の値を表す。

- σ_E 地震力による繰り返し応力範囲 (単位 N/mm^2)
- i_l 、 i_o 及び Z a) に規定する値

- M_i 配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量 (7.3 b) に規定する配管支持構造物の応答変位に基づく配管支持点における移動量をいう。以下この号において同じ。) に伴う配管の面内曲げモーメント (単位 $N \cdot mm$)
- M_o 配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量に伴う配管の面外曲げモーメント (単位 $N \cdot mm$)
- M_t 配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量に伴う配管のねじりモーメント (単位 $N \cdot mm$)

18.2 フランジ継手 (重要度Ⅱ又はⅢの配管系に係るものを除く。)

a)に定める配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量により配管からフランジ継手に加わる荷重に対し、b)に定める応力を計算する。なお、応力の計算の方法はJIS B2205「管フランジの計算方法」(1991、追補2006)による。

- a) 配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動による配管から加わる荷重

$$P_{eq} = P + P_e \quad [式 18.4]$$

この算式において、 P_{eq} 、 P 及び P_e は、それぞれ次の値を表す。

P_{eq} 荷重軸方向引張り力及び曲げモーメントに係るフランジ継手に作用する全相当圧力 (単位 MPa)

P 常用の圧力 (単位 MPa)

P_e 地震荷重等価内圧であって、次の算式により得られる値 (単位 N/mm^2)

$$P_e = \frac{4F}{\pi D_e^2} + \frac{16M}{\pi D_e^3} \quad [式 18.5]$$

この算式において、 F 、 M 及び D_e は、それぞれ次の値を表す。

F 軸方向引張り力 (単位 N)

M 曲げモーメント (単位 $N \cdot mm$)

D_e ガasket接触面の平均直径。ただし、平面座ガasketの場合は、次の算式により得られた値とする。 (単位 mm)

$$D_e = D_{gi} + 2(N - b) \quad [式 18.6]$$

この算式において、 D_{gi} 、 N 及び b は、それぞれ次の値を表す。

D_{gi} ガasketの内径 (単位 mm)

N ガasketの幅 (単位 mm)

b ガasketの有効幅 (単位 mm)

- b) 計算する応力の種類

- 1) ハブの軸方向応力
- 2) フランジの半径方向応力
- 3) フランジの周方向応力

18.3 弁

18.3.1 固有振動数 20 ヘルツ未満の弁

駆動部等偏心重量部が支持されていない弁に係る応力は、次の算式により計算する。

$$\sigma_n = \frac{F_{MH} L_b}{Z} + \sigma_L \quad [\text{式 18.7}]$$

この算式において、 σ_n 、 F_{MH} 、 L_b 、 Z 及び σ_L は、それぞれ次の値を表す。

- σ_n 弁本体と駆動部等偏心重量部との間の断面に生じる応力 (単位 N/mm²)
- F_{MH} 9.2 に規定する値
- L_b 当該断面から駆動部等偏心重量の重心までの距離 (単位 mm)
- Z 当該断面の断面係数 (単位 mm³)
- σ_L 内圧及び駆動力による当該断面に生じる応力 (単位 N/mm²)

18.3.2 固有振動数 20 ヘルツ以上の弁

算定応力による評価を省略することも可能である。固有振動数 20Hz 以上の判定については、弁の強度計算から固有振動数で算出するほか、次の算式によっても判定してもよい。

$$\frac{H}{\sqrt{D}} \leq 40 \quad [\text{式 18.8}]$$

この算式において、 H 及び D は、次の値を表す。

- H 弁のボンネットフランジ面から当該フランジ面上部の重量の重心までの距離 (単位 mm)
- D 弁のヨーク部の最小幅 (単位 mm)

18.4 伸縮継手

配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量に係る軸方向変位全振幅、軸直角方向変位全振幅及び軸曲げ変位全振幅を合成して伸縮継手の軸方向最大応力振幅を計算する。ただし、当該伸縮継手の軸方向最大応力振幅の計算方法は、JIS B2352「ベローズ形伸縮管継手」(2013)による。

18.5 塔槽類のノズル部 (重要度 I₀ 及び I の配管系に接続されるものに限る。)

配管に作用する設計水平地震力及び設計鉛直地震力並びに配管支持点の移動量に係る荷重を算定する。

18.6 配管支持構造物 (塔槽類及び架構等に支持される配管支持構造物を除く。)

配管支持構造物の重量及びこれらに作用する設計地震力に基づき、次の a) から e) に掲げる部分に生じる応力を算定する¹⁾。

- a) 支柱
- b) はり
- c) ブレース
- d) 基礎ボルト
- e) その他耐震上特に重要な部分²⁾

注¹応力の算定については、(一社)日本建築学会の「鋼構造許容応力度設計規準 (2019 年)」、「鉄筋コンクリート構造計算規準 (2024 年)」及び「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計と保有水平耐力－ (2014 年)」による。

注²その他耐震上特に重要な部分とは、仕口のうち重要なもの及びベースプレートをいう。

2025.12.17 Draft
パナソニックコネクティブ

19 基礎の算定応力等

基礎は、耐震設計設備及び配管系から基礎に作用するモーメント、せん断力及び鉛直荷重並びに基礎の設計地震力に基づき、基礎の種類に応じ、次に掲げる応力等を算定する¹⁾。この場合において、16.1 に掲げる平底円筒形貯槽にあっては、設計地震力²⁾の作用する位置の貯槽底面からの高さは、最高液面高さに次の図により求められる係数 h_3 を乗じた値とする。

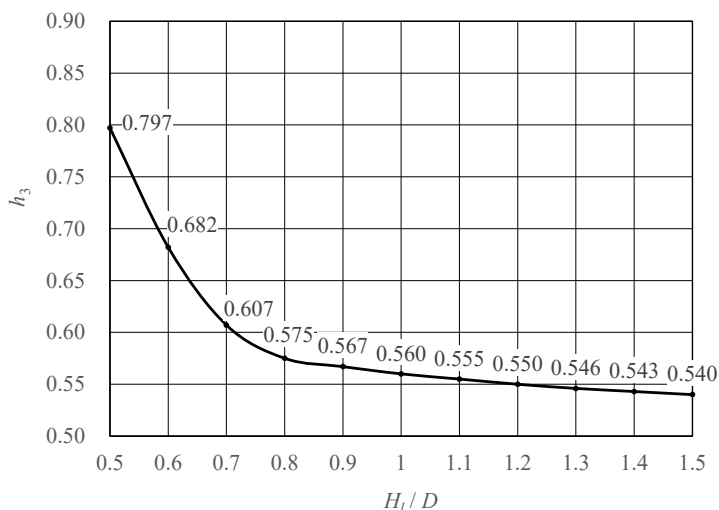


図 19

備考 この図において D 及び H_l は、それぞれ次の値を表す。

D 貯槽の内径 (単位 mm)

H_l 最高液面高さ (単位 mm)

19.1 直接基礎の応力等

- 基礎ボルト又はアンカストラップの引抜力によりコンクリートに生じる応力
- ベースプレートからの支圧力によりコンクリートに生じる圧力
- 接地圧
- 基礎本体に生じる応力

19.2 杭基礎の応力等³⁾

- 19.1 a)、b)及び d)に掲げる応力
- 杭が支持すべき鉛直荷重
- 鉛直荷重及び杭頭に作用する水平地震力により杭に生じる応力

注¹⁾ 応力等の算定については、(一社)日本建築学会の「建築基礎構造設計指針 (2019年)」による。この場合において、19.1 の直接基礎の応力等については同指針「5章 直接基礎」の規定、19.2 の杭基礎の応力等については同指針「6章 杭基礎」の規定による。

注²⁾ 平底円筒形貯槽の基礎に作用する荷重を計算する場合の次に掲げる部分の設計震度は次による。

- ・外槽及び側部保冷材 β_4 、 β_5 又は β_6 をそれぞれ 1.5 として計算する。
- ・内槽底板、外槽底板及び底部保冷材 β_4 、 β_5 又は β_6 をそれぞれ 1.0 として計算する。

注³群杭による支持力は、注¹にかかわらず次による。

- (1) 軸方向押込力に対する群杭による支持力は、杭基礎全体を仮想ケーソンと考え、そのケーソンの許容支持力を超えないようにする。
- (2) 軸直角方向力に対する群杭による支持力は、杭中心間隔に応じて、水平地盤反力係数に次の補正係数 μ を乗ずる。
 - ① $L < 2.5D$ $\mu = 1 - 0.2(2.5 - L/D)$
 L : 杭中心間隔 (m)
 D : 杭径 (m)
 - ② $L \geq 2.5D$ $\mu = 1.0$

2025年12月17日 Draft
パナソニック株式会社 用

20 耐震設計用許容応力等

耐震設計構造物の耐震設計用許容応力等は、次の各項に掲げる耐震設計構造物の部材の種類に応じ、それぞれ当該各項に規定する値とする。

20.1 耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力

耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力は、次の表の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に掲げる値

表 20.1

応力の種類	耐震設計用許容応力
引張応力	S (溶接継手のあるものにあつては、 S に η を乗じて得られる値とする。)
曲げ応力	S
圧縮応力	S 又は S' のいずれか小なる値。
せん断応力	$0.6S$

備考 この表において S 、 S' 及び η は、それぞれ次の値を表す。

S 次の表の左欄に掲げる材料の種類に応じ、同表の右欄に規定する値 (単位 N/mm^2)

表 20.1(a)

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 N/mm^2)

$S_{u0}^{(1)}$ 材料の常温における最小引張強さ (単位 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 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 N/mm^2)

S' 次の表の左欄に掲げる耐震設計設備の種類に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値 (単位 N/mm^2)

表 20.1(b)

耐震設計設備の種類	S'
塔類及び横置円筒形貯槽	$\frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S'_y}\right) D_m}$
平底円筒形貯槽	$\frac{Et}{3D}$

備考 この表において、 S'_y 、 E 、 D_m 、 t 及び D は、それぞれ次の値を表す。

S'_y S_y 及び S_{y0} のいずれか小なる値

E 材料の設計温度における縦弾性係数 (単位 N/mm^2)

D_m 胴の平均直径 (単位 mm)

t 胴又は側板の板厚 (腐れしろを除く。単位 mm)

D 貯槽の内径 (単位 mm)

η 溶接効率

注¹) S_u 及び S_{u0} は、 0°C から 40°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。

20.2 耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力強さ

耐震設計設備に係る耐圧部材の耐震設計用許容応力強さは、次の表の左欄に掲げる応力強さの種類に応じ、同表の右欄に掲げる値。ただし、同表の③にあつては、設計用の地震動による応力について疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であることを確認した場合はこの限りでない。

表 20.2

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20.1に規定する値を表す。

20.3 配管系に係る耐震設計用許容応力等

配管系に係る耐震設計用許容応力等は、次のa)からe)までに掲げる配管系の種類に応じ、それぞれ当該a)からe)までに定める値

a) 配管の耐震設計用許容応力

次の表の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に掲げる値

表(a)

応力の種類	耐震設計用許容応力
配管の長手方向応力	S
繰り返しの応力範囲	$2S_y$

備考 この表において S 及び S_y は、それぞれ 20.1 に規定する値を表す。

b) フランジ継手の耐震設計用許容応力

次の表の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に掲げる値

表(b)

応力の種類	耐震設計用許容応力
フランジの半径方向応力	S
フランジの周方向応力	S
ハブの軸方向応力	$2S_y$

備考 この表において S 及び S_y は、それぞれ 20.1 に規定する値を表す。

c) 弁の耐震設計用許容応力

次の表の左欄に掲げる弁の種類に応じて同表の右欄に掲げる値

表(c)

弁の種類	耐震設計用許容応力
重要度 Ia 及び I に係る地震防災遮断弁	$0.5S$
その他の弁	S

備考 この表において S は、20.1 に規定する値を表す。

d) 伸縮継手のベローズに生じる軸方向応力の耐震設計用許容応力

設計繰り返し数 500 回に応じた JIS B8266「圧力容器の構造—特定規格」(2003、追補 2006) 附属書 8 の図 1、図 2 又は図 3 から得られる許容応力振幅の 2 倍の値

20.4 支持構造材の耐震設計用許容応力

次の a) 及び b) に掲げる支持構造材の種類に応じ、それぞれ当該 a) 及び b) に定める値。

a) 耐圧部材に直接溶接されない支持構造材

次の表(a)の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に定める値。ただし、組合せ応力が生じる支持構造材にあつては、次の表(b)の左欄に掲げる応力の組合せの種類に応じ、同表の右欄に掲げる判定式に適合するようにする。

表(a)

応力の種類	耐震設計用許容応力	
引張応力	F	
曲げ応力	F	
圧縮応力	(1) スカート	F 又は S' のいずれか小なる値
	(2) サドル	F
	(3) (1)及び(2)以外の支持構造材	F 又は F' のいずれか小なる値
せん断応力	$\frac{F}{\sqrt{3}}$	

備考 この表において F 、 F' 及び S' は、それぞれ次の値を表す。

F 材料の降伏点若しくは 0.2 パーセント耐力又は引張強さの 70 パーセントのいずれか小なる値
(単位 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 N/mm^2)

S' 20.1 の S の表に掲げる塔類に係る算式により得られる値

表(b)

組合せ応力の種類	判定式
圧縮応力及び曲げ応力の組合せ	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b} \leq 1$
引張応力及び曲げ応力の組合せ	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t + f_b} \leq 1$
圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ	$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t$
引張応力及びせん断応力の組合せ (鋼管ブレースの交差部分に限る)	$\sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2} \leq f_t$
引張応力及びせん断応力の組合せ (基礎ボルトに限る。)	$\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} \leq f_t$

備考 この表において f_c 、 f_b 、 f_t 、 σ_c 、 σ_b 、 σ_t 及び τ は、それぞれ次の値を表す。

f_c 当該支持構造材の耐震設計用許容圧縮応力であって、表(a)に定める値 (単位 N/mm^2)

f_b 当該支持構造材の耐震設計用許容曲げ応力であって、表(a)に定める値 (単位 N/mm^2)

f_t 当該支持構造材の耐震設計用許容引張応力であって、表(a)に定める値 (単位 N/mm^2)

σ_c 当該支持構造材に生じる圧縮応力 (単位 N/mm^2)

σ_b 当該支持構造材に生じる曲げ応力 (単位 N/mm^2)

σ_t 当該支持構造材に生じる引張応力 (単位 N/mm^2)

τ 当該支持構造材に生じるせん断応力 (単位 N/mm^2)

b) a)以外の支持構造材

20.1 の耐圧部材の耐震設計用許容応力又は a) の支持構造材の耐震設計用許容応力のいずれか小なる値。
この場合において、組合せ応力が生じる場合は a) のただし書の規定を準用する。

20.5 基礎及び地盤の耐震設計用許容応力等

次の a) から f) までに掲げる部材等の耐震設計用許容応力等の種類に応じ、それぞれ当該 a) から f) までに

定める値

a) コンクリートの耐震設計用許容応力

次の表の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に掲げる値（単位 N/mm²）

表 20.5(a)

応力の種類	耐震設計用許容応力				
圧縮応力	$\frac{2F_c}{3}$				
せん断応力	$F_c \leq 21$	$\frac{F_c}{15}$			
	$F_c > 21$	$0.98 + \frac{F_c}{50}$			
付着応力	丸鋼	はりの上端	1.4		
		はりの上端以外の位置	1.4		
	異形鉄筋	はりの上端	$F_c \leq 22.5$	$\frac{2F_c}{15}$	
			$F_c > 22.5$	$1.8 + \frac{4F_c}{75}$	
		はりの上端以外の位置	$F_c \leq 22.5$	$\frac{F_c}{5}$	
			$F_c > 22.5$	$2.7 + \frac{2F_c}{25}$	

備考 この表において、 F_c はコンクリートの28日設計基準強度（単位 N/mm²）を表す。

b) 鉄筋の耐震設計用許容応力

次の表の左欄に掲げる応力の種類に応じ、同表の右欄に掲げる値

表 20.5(b)

応力の種類	耐震設計用許容応力	
圧縮応力	F	
引張応力	せん断補強以外に用いる場合	
	F	
	せん断補強に用いる場合	
	丸鋼	F (295を超える場合は、295とする。)
	異形鉄筋	F (390を超える場合は、390とする。)

備考 この表において、 F は鉄筋の降伏点（単位 N/mm²）を表す。

c) 地盤の耐震設計用許容応力

地盤調査¹⁾の結果に基づき、次の表(a)の(1)又は(2)に掲げる算式により得られる値（単位 kN/m³）。ただし、表(e)の左欄に掲げる地盤については、それぞれ同表の右欄に掲げる値によってもよい。

表(a)

(1)	$\frac{2}{3}(i_c \alpha C N_c + i_r \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q)$
(2)	$2q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f$

備考 この表において i_c 、 i_r 、 i_q 、 α 、 β 、 C 、 B 、 N_c 、 N_γ 、 N_q 、 γ_1 、 γ_2 、 D_f 、 q_t 及び N' は、それぞれ次の値を表す。

i_c 、 i_r 及び i_q 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角に応じて次の式によって計算した数値

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$

$$i_r = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2$$

これらの式において、 θ 及び ϕ は、それぞれ次の数値を表す。

θ 基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角 (θ が ϕ を超える場合は、 ϕ とする。) (単位 度)

ϕ 地盤の特性によって求めた内部摩擦角 (単位 度)

α 及び β それぞれ基礎荷重面の形状に応じ、次の表(b)に掲げる係数

表(b)

係数	基礎荷重面の形状	
	円形	円形以外の形状
α	1.2	$1.0 + 0.2 \frac{B}{L}$
β	0.3	$0.5 - 0.2 \frac{B}{L}$

備考 この表において L 及び B は、それぞれ次の値を表す。

L 基礎荷重面の長辺又は長径 (単位 m)

B 基礎荷重面の短辺又は短径 (単位 m)

C 基礎荷重面下にある地盤の粘着力 (単位 kN/m^2)

B 表(b)に規定する値 (単位 m)

N_c 、 N_γ 及び N_q 支持力係数であって、それぞれ地盤の内部摩擦角に応じ、次の表(c)に掲げる値

表(c)

支持力係数	内部摩擦角									
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	28°	32°	36°	40° 以上
N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	25.8	35.5	50.6	75.3
N_γ	0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	11.2	22.0	44.4	93.7
N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	14.7	23.2	37.8	64.2

備考 この表に掲げる内部摩擦角以外の内部摩擦角に応じた N_c 、 N_γ 及び N_q は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補間した数値とする。

γ_1 基礎荷重面下にある地盤の単位体積重量 (単位 kN/m^3)

- γ_2 基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量 (単位 kN/m^3)
- D_f 基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ (単位 m)
- q_t 平板載荷試験による降伏荷重の2分の1の値又は極限応力の3分の1の値のうちいずれか小なるもの (単位 kN/m^2)
- N' 基礎荷重面下の地盤の種類に応じ、次の表(d)に掲げる係数

表(d)

地盤の種類 係数	砂質地盤のうち 密実なもの	砂質地盤 (密実 なものを除く。)	粘土質地盤
N'	12	6	3

表(e)

地盤の種類	耐震設計用許容応力 (単位 kN/m^2)
岩盤	2,000
固結した砂	1,000
土丹盤	600
密実なれき層	600
密実な砂質地盤	400
砂質地盤	100
堅い粘土質地盤	200
粘土質地盤	40
固いローム層	200
ローム層	100

d) 杭の耐震設計用許容支持力

次の1)に規定する杭本体の耐震設計用許容支持力と2)に規定する杭支持地盤の耐震設計用許容支持力のいずれか小なる値。

1) 杭本体の耐震設計用許容支持力

杭材料の種類に応じて定まる耐震設計用許容圧縮応力²⁾に、杭の最小断面積を乗じて得られる値。(単位 N)

2) 杭支持地盤の耐震設計用許容支持力

打込み杭、セメントミルク工法による埋込み杭又はアースドリル工法、リバースサーキュレーション工法若しくはオールケーシング工法による場所打ちコンクリート杭 (以下「アースドリル工法等による場所打ち杭」という。) の場合にあつては、次の表(f)の(i)又は(ii)の算式 (基礎杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤³⁾ が含まれる場合にあつては(ii)の算式)、その他の基礎杭の場合にあつては、次の表(f)の(i)の算式 (基礎杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は地震時に液状化するおそれのある地盤が含まれない場合に限る。) によりそれぞれ計算した値。

表(f)

(i)	$\frac{2}{3}R_u$
(ii)	$q_p A_p + \frac{2}{3}R_F$

備考 この表において R_u 、 q_p 、 A_p 、及び R_F は、それぞれ次の値を表す。

R_u 杭載荷試験により求められる極限支持力 (単位 kN)

q_p 基礎杭の先端の地盤の耐震設計用許容応力であって、次の表(f)の左欄に掲げる基礎杭の種類に応じ、同表の右欄に掲げる算式により得られる値 (単位 kN/m^2)

表(g)

基礎杭の種類	q_p
打込み杭	$\frac{600}{3}\bar{N}$
セメントミルク工法による埋め込み杭	$\frac{400}{3}\bar{N}$
アースドリル工法等による場所打ち杭	$\frac{300}{3}\bar{N}$

備考 この表において、 \bar{N} は基礎杭の先端付近の地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (60 を超える場合は 60 とする。) を表す。

A_p 基礎杭の先端の有効断面積 (単位 m^2)

R_F 基礎杭とその周囲の地盤 (軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤及び地震時に液状化するおそれのある地盤³⁾を除く。) との摩擦力であって、次の算式により得られる値 (単位 kN)

$$R_F = \left(\frac{10}{3} \bar{N}_s L_s + \frac{1}{2} \bar{q}_u L_c \right) \phi$$

この算式において \bar{N}_s 、 L_s 、 \bar{q}_u 、 L_c 及び ϕ は、それぞれ次の値を表す。

\bar{N}_s 基礎杭の周囲の地盤のうち砂質地盤の標準貫入試験による打撃回数 (30 を超えるときは 30 とする。) の平均値 (単位 回)

L_s 基礎杭がその周囲の地盤のうち砂質地盤に接する長さの合計 (単位 m)

\bar{q}_u 基礎杭の周囲の地盤のうち粘土質地盤の一軸圧縮強度 (200 を超えるときは 200 とする。) の平均値 (単位 kN/m^2)

L_c 基礎杭がその周囲の地盤のうち粘土質地盤に接する長さの合計 (単位 m)

ϕ 基礎杭の周の長さ (単位 m)

e) 杭の耐震設計用許容引抜抵抗力

打込み杭、セメントミルク工法による埋込み杭又はアースドリル工法等による場所打ち杭の場合にあっては、(i)又は(ii)の算式 (基礎杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質地盤又は液状化するおそれのある地盤が含まれる場合にあっては(ii)の算式)、その他の基礎杭の場合にあっては、次の表の(i)の算式 (基礎杭の周囲の地盤に軟弱な粘土質地盤、軟弱な粘土質地盤の上部にある砂質

地盤又は液状化するおそれのある地盤が含まれない場合に限る。)によりそれぞれ計算した値。

表(h)

(i)	$\frac{2}{3} R_u + w_p$
(ii)	$\frac{8}{15} R_F + w_p$

備考 この表において R_u 、 w_p 、及び R_F は、それぞれ次の値を表す。

R_u 引抜き試験により求めた極限引抜き抵抗力 (単位 kN)

w_p 基礎杭有効自重 (基礎杭の自重より実況によって求めた浮力を減じた数値をいう。) (単位 kN)

R_F d)に規定する値

f) 杭の許容応力

杭材料の種類に応じて定まる耐震設計用許容引張応力⁴⁾又は耐震設計用許容圧縮応力 (単位 N/cm^2)

注¹⁾地盤調査は、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) 第 93 条に基づく平 13 国交告第 1113 号第 1 の規定による。

注²⁾「杭材料の種類に応じて定まる耐震設計用許容圧縮応力」及び「杭材料の種類に応じて定まる耐震設計用許容引張応力」は、建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) 第 93 条に基づく平 13 国交告第 1113 号第 8 の規定による。

注³⁾地震時に液状化するおそれのある地盤とは、次の全てに該当する沖積層の地盤をいう。なお、少なくともレベル 1 地震動に対して液状化するおそれのある地盤と判定される場合には、耐震設計構造物の重要度等を勘案し、地盤改良等の液状化対策を行うことが望ましい。

- (1)地下水位が地表面から 10m 以内にあり、かつ地表面から 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 F_c 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 40mm 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

$$F_L = \frac{R}{L}$$

この算式において、 R 及び L は、次の値を表す。

R : 地盤の動的せん断強度比であって、次の算式により得られる値とする。

$$R = C_w R_L$$

ただし、この算式において、 C_w 及び R_L は次の値を表す。

C_w : 地震動特性による補正係数であって、レベル 1 地震動において 1.0 とする。

R_L : 地盤の繰返し三軸強度比であって、次の算式により得られる値

① N_a が 14 未満の場合

$$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{0.85 N_a + 2.1}{1.7}}$$

② N_a が 14 以上の場合

$$R_L = 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5}$$

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、次の算式により得られる値とする。

(a) D_{50} が2mm未満の場合

$$N_a = C_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47$$

この算式において、 C_{FC} 、及び N_1 はそれぞれ次の値を表す。

C_{FC} : 細粒分含有率 FC による N 値の補正係数であって、 FC (単位 %) の値によってそれぞれ次の値を表す。

- a) FC が0%以上10%未満の場合 1
- b) FC が10%以上40%未満の場合 $(FC + 20) / 30$
- c) FC が40%以上の場合 $(FC - 16) / 12$

N_1 : 有効上載圧 100kN/m^2 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。

$$N_1 = 170N / (\sigma'_{1b} + 70)$$

この算式において、 N 及び σ'_{1b} は、それぞれ次の値を表す。

- N : 標準貫入試験から得られる地盤の N 値
- σ'_{1b} : 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^2)

(b) D_{50} が2mm以上の場合

$$N_a = \left\{ 1 - 0.36 \log_{10} \left(\frac{D_{50}}{2} \right) \right\} N_1$$

この算式において、 N_1 は(a)に規定する値

L : 地盤の地震時におけるせん断応力比であって、次の算式により得られる値とする。

$$L = r_d K_H \frac{\sigma_V}{\sigma'_V}$$

この算式において、 r_d 、 K_H 、 σ_V 及び σ'_V は、それぞれ次の値を表す。

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。

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

この算式において、 x は地表面からの深さ (単位 m) を表す。

- K_H : 6.1.1 で規定する地表面における水平震度
- σ_V : 地表面からの深さ x における全上載圧 (単位 kN/m^2)
- σ'_V : 地表面からの深さ x における有効上載圧 (単位 kN/m^2)

なお、「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。 $D_E=0$ の場合の土層は、耐震設計上土質定数を 0 とする土層とする。

表 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

20251217 Draft

21 配管支持の方法

21.1 配管の支持

配管の支持は、次の a) 及び b) による。

- a) 配管の管軸と直行する 2 方向及び管軸に平行な方向の 3 方向の地震動のそれぞれに対して配管を支持する。
- b) 前号に掲げる地震動の方向に対して有効な支持機能¹⁾を有する隣り合う配管支持構造物の中の配管の長さ²⁾(以下「配管スパン長」という。)は、次表に掲げる運転状態における配管内の高圧ガスの状態及び配管の外径³⁾に応じ、それぞれ同表に掲げる許容スパン長を超えないようにする。

表 21.1

運転状態における 配管内の 高圧ガスの状態	許容スパン長 (単位 m)									
	配管の外径 (単位 mm)									
	48.6	60.5	89.1	114.3	216.3	318.5	406.4	508.0	609.6	
液化ガス	6.6	7.1	8.6	9.5	12.2	14.2	16.0	17.6	19.1	
圧縮ガス	7.0	7.8	9.5	10.7	14.8	18.0	20.3	22.7	24.9	

注¹⁾ 有効な支持機能とは、単に配管支持構造物上に配管が載せてある状態のみだけでなく、地震動の方向の配管の変位を拘束する機能をいう。

注²⁾ 配管支持構造物の中の配管の長さの算出は、ガイド、U ボルト等に係る配管支持点の間の長さとする。なお、架構、パイラック等の配管支持構造物において、複数の配管支持点がある場合は、それぞれの配管支持点の間の長さとする。

注³⁾ 配管の外径について、該当する配管の外径がない場合は、外径に関して同表の値から直線補間して算定する。許容スパン長の算定において、外径が 48.6mm 未満の配管にあつては 48.6mm の値を、また、外径が 609.6mm を超え 1000mm 以下の配管にあつては 609.6mm の値を適用する。なお、外径が 1000mm を超える配管にあつては、5.2 b) で規定する方法で計算する。

21.2 変位吸収能力

21.1 b) に掲げる配管支持構造物の中の配管に係る地震動の方向の相対変位量は、次の算式により得られる変位吸収能力を超えないことを確認する。

$$\delta_a = L \cdot f \quad [\text{式 21.1}]$$

この算式において δ_a 、 f 及び L は、それぞれ次の値を表す。

δ_a 配管支持構造物の中の配管に係る変位吸収能力 (単位 mm)

L 地震動の方向に直交する平面に対する配管の投影長 (単位 mm)

f 配管 1mm 当たりの変位吸収能力であつて、次の算式により得られる値

$$f = \frac{C \cdot \varepsilon_y \cdot L}{D} \quad [\text{式 21.2}]$$

この算式において C 、 ε_y 及び D は、それぞれ次の値を表す。

C 配管の許容ひずみにより定まる定数であつて 0.67

ε_y 配管材料の降伏ひずみ¹⁾

D 配管の外径 (単位 mm)

注^リ配管材料の降伏ひずみとは、当該配管材料の運転温度における降伏点又は0.2%耐力を当該配管材料の設計温度における縦弾性係数で除した値とする。

パナソニックコネクタ用
20251217 Draft

附属書 A（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。

A.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。

A.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

A.3 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4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。

A.4 免震構造物及び制振構造物の設計用入力地震動の設定

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6.2の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。

A.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。
 - ・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。

A.6 免震性能、制振性能の評価

A.6.1 免震部材、制振部材

(1) 積層ゴム支承

アイソレータは、A.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、A.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、A.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、A.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、A.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、A.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、A.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。

A.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、A.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、本文 9.1 による。この場合、 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 β_5 は本文 9.1 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。
- (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 A.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（本文 12 から 17 までによる。）が部材に定められた許容応力等（本文 20 による。）を超えないことを確認する。
- (3) 重要度 Ia 又は I の免震構造物又は制振構造物の塔槽類及び架構のレベル 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。
- (4) 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 6 と整合するようにする。

A.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本文 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 β_5 は本文 9.1 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。

A.6.4 配管系

配管系のレベル 1 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 A.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算定応力等（KHKS0861(20XX) 18 の規定）が当該部材の耐震設計用許容応力等（本文 20 の規定による。）を超えないことを確認する。

A.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 A.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（本文 19 による。）が部材に定められた許容応力等（本文 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。