

【公開版】

提出年月日	令和2年1月10日 R4
日本原燃株式会社	

M O X 燃 料 加 工 施 設 に お け る
新 規 制 基 準 に 対 す る 適 合 性

安全審査 整理資料

第11条：溢水による損傷の防止

目 次

1 章 基準適合性

1. 基本方針

- 1. 1 要求事項の整理
- 1. 2 要求事項に対する適合性
- 1. 3 規則への適合性

2. 概要

- 2. 1 溢水防護に関する基本方針
- 2. 2 本施設の内部溢水影響評価に係る特徴について
- 2. 3 溢水影響評価フロー

3. 溢水防護対象設備の設定

- 3. 1 事業許可基準規則第 11 条及び内部溢水ガイドの要求事項について
- 3. 2 溢水防護対象設備の選定
- 3. 3 溢水防護対象設備の機能喪失の判定
- 3. 4 溢水防護対象設備を防護するための設計方針

4. 溢水源の想定

- 4. 1 想定破損による溢水
- 4. 2 消火水の放水による溢水
- 4. 3 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水
- 4. 4 その他の溢水

5. 溢水防護区画及び溢水経路の設定

- 5. 1 溢水防護区画の設定
- 5. 2 溢水経路の設定

6. 溢水防護対象設備を防護するための設計方針
 6. 1 没水の影響に対する評価及び防護設計方針
 6. 2 被水の影響に対する評価及び防護設計方針
 6. 3 蒸気の影響に対する評価及び防護設計方針
 6. 4 その他の溢水に対する設計方針
 6. 5 燃料加工建屋外からの流入防止に関する設計方針
 6. 6 溢水影響評価
7. 想定破損評価に用いる各項目の算出及び影響評価
 7. 1 溢水量の算定
 7. 2 想定破損による没水影響評価
 7. 3 想定破損による被水影響評価
 7. 4 想定破損による蒸気影響評価
8. 消火水評価に用いる各項目の算出及び影響評価
 8. 1 溢水量の算定
 8. 2 消火水による没水影響評価
 8. 3 消火水による被水影響評価
9. 地震時評価に用いる各項目の算出及び影響評価
 9. 1 地震に起因する溢水源
 9. 2 地震により破損して溢水源となる対象設備
 9. 3 耐震B,Cクラス機器の耐震性評価
 9. 4 溢水量の算定
 9. 5 地震時の没水影響評価
 9. 6 地震時の被水影響評価
 9. 7 地震時の蒸気影響評価
10. 燃料加工建屋外からの溢水影響評価

10. 1 燃料加工建屋外からの溢水影響評価
10. 2 屋外タンク等の溢水による影響評価
10. 3 地下水による影響評価

2章 補足説明資料

2章 補足説明資料

11条: 溢水による損傷の防止

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料2-1	自然事象による溢水影響の考慮について	12/6	0	
補足説明資料3-1	MOX燃料加工施設における「事業許可基準規則」に基づく防護対象設備の抽出 (内部溢水と火災における防護対象の比較)			
補足説明資料3-2	溢水防護対象設備リスト及び配置図(例)			
補足説明資料3-3	評価対象除外リスト			
補足説明資料3-4	没水評価における防護対象設備及びアクセスルートの機能喪失高さについて	12/6	0	
補足説明資料3-5	壁、堰等による溢水経路への対策について	12/6	0	
補足説明資料3-6	応力評価に基づくサポート等設計の概要について	12/6	0	
補足説明資料3-7	耐震B, Cクラス機器の評価について	1/10	0	
補足説明資料3-8	緊急遮断弁の設計について	12/6	0	
補足説明資料3-9	被水影響評価における防滴仕様の扱いについて	12/6	0	
補足説明資料3-10	被水防護対策(例)	12/6	0	
補足説明資料3-11	蒸気防護対策(例)	12/13	0	
補足説明資料3-12	溢水経路上期待する「壁、堰」の保守及び運用管理について	12/6	0	
補足説明資料3-13	溢水影響評価の対象外とする理由について			
補足説明資料3-14	貫通部の止水対策について	12/6	0	
補足説明資料3-15	貫通部シーリング材等の止水性能及び耐震性について	12/6	0	
補足説明資料3-16	天井面の開口部及び貫通部について	12/26	0	
補足説明資料4-1	溢水源とする機器(配管、容器)について			
補足説明資料4-2	配管の破損位置及び破損形状の評価について	12/6	0	
補足説明資料4-3	連結散水装置の使用例	12/6	0	

11条:溢水による損傷の防止

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料4-4	その他の漏えい事象に対する確認について	12/6	0	
補足説明資料4-5	屋内消火栓及びその他消火設備を設置する区域について	12/13	0	
補足説明資料4-6	溢水影響評価の実施について	12/26	0	
補足説明資料5-1	溢水経路モデル(代表例)			
補足説明資料5-2	燃料加工建屋の溢水経路対策について			
補足説明資料5-3	溢水経路となる開口部について	12/6	0	
補足説明資料6-1	溢水影響評価における床勾配及びゆらぎの考え方と評価の妥当性について	12/26	0	
補足説明資料6-2	アクセスが可能な滞留水位の設定について	12/26	0	
補足説明資料6-3	滞留面積の算出について	12/6	0	
補足説明資料6-4	アクセス通路部の適切な保守管理について	12/26	0	
補足説明資料7-1	流出係数の根拠について	12/6	0	
補足説明資料7-2	系統溢水量の算出要領			
補足説明資料7-3	漏えい時の隔離時間について			
補足説明資料7-4	想定破損による溢水量の算定(例)			
補足説明資料7-5	想定破損による没水影響評価結果(例)			
補足説明資料7-6	破損配管からの蒸気噴流の影響について	1/10	0	
補足説明資料7-7	想定破損の現場確認に用いるアクセス通路の環境想定について	12/13	0	
補足説明資料7-8	応力評価により破損を想定しない配管の管理について	12/6	0	
補足説明資料7-9	想定破損による被水影響評価結果(例)			
補足説明資料7-10	想定破損による蒸気拡散解析結果(例)			

11条:溢水による損傷の防止

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料8-1	消火活動に伴う放水量について			
補足説明資料9-1	耐震B, Cクラスの溢水防護対象設備(例)	1/10	0	
補足説明資料9-2	地震破損による没水影響評価結果(例)			
補足説明資料10-1	屋外タンク等の容量について			
補足説明資料10-2	屋外タンク等の配置について			
補足説明資料10-3	屋外タンク等の溢水による影響評価			
補足説明資料10-4	屋外からの溢水経路について			
補足説明資料10-5	地下水の排水設備について	12/26	0	
補足説明資料10-6	地下の溢水経路について			
補足説明資料11-1	重大事故等対処施設を対象とした溢水防護の基本方針について	12/26	0	
補足説明資料11-2	内部溢水影響評価における保守性について			
補足説明資料11-3	過去の不具合事例への対応について			

令和2年1月10日 R0

補足説明資料 3-7 (11条)

耐震B, Cクラス機器の評価について

1. 耐震B, Cクラス配管の耐震性評価について

耐震評価対象となる耐震B, Cクラス配管の耐震性評価は, 次葉から示す参考資料1「配管の耐震支持方針」, 参考資料2「配管の耐震性に関する計算書作成の基本方針(多質点系はりモデル)」及び参考資料3「地震応答解析の基本方針」に従い実施する。

以 上

配管の耐震支持方針

目 次

1.	概 要	補 3 - 7 - 参考 1 - 1
2.	基本方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 2
2. 1	配管の分類と解析方法	補 3 - 7 - 参考 1 - 2
2. 2	設計方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 3
2. 3	設計手順	補 3 - 7 - 参考 1 - 3
3.	配管の支持方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 5
3. 1	多質点系はりモデルによる方法	補 3 - 7 - 参考 1 - 5
3. 2	標準支持間隔による方法	補 3 - 7 - 参考 1 - 5
3. 3	設計方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 2 5
4.	支持構造物の設計方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 2 7
4. 1	概 要	補 3 - 7 - 参考 1 - 2 7
4. 2	支持構造物の種類	補 3 - 7 - 参考 1 - 2 7
4. 3	支持構造物の設計方針	補 3 - 7 - 参考 1 - 3 0
4. 4	設計上の考慮事項	補 3 - 7 - 参考 1 - 3 2

1. 概 要

配管の耐震設計を行う場合は，その配管の形状（口径，ルート），設計条件（圧力，温度，地震力等）及び設置場所を考慮し適切な支持条件（支持位置，拘束方向等）を決め，支持構造物を選定する。

本資料は，配管及び支持構造物の耐震支持方針をまとめたものである。

2. 基本方針

2. 1 配管の分類と解析方法

安全機能を有する施設の配管は，耐震設計上の重要度分類，配管口径及び最高使用温度により，第2. 1-1表のとおり分類して各々に適した耐震設計を行う。

第2. 1-1表 配管の分類と解析方法

耐震重要度分類	配管分類		多質点系はりモデルによる方法	標準支持間隔による方法 ²⁾ ， ³⁾ ， ⁴⁾
	口径	最高使用温度		
S	100A以上	151℃以上	○	—
		151℃未満	—	○
	80A以下	151℃以上	—	○
		151℃未満	—	○
B ¹⁾	100A以上	151℃以上	—	○
		151℃未満	—	○
	80A以下	151℃以上	—	○
		151℃未満	—	○
C	100A以上	151℃以上	—	○
		151℃未満	—	○
	80A以下	151℃以上	—	○
		151℃未満	—	○

記号 ○印：原則として適用する解析手法

注記 1)：共振のおそれのある場合には，動的地震力を考慮する。

2)：耐震設計上の重要度分類Sクラスの配管は，支持構造物を含めた配管系の固有振動数を，建屋床応答スペクトルのピークの固有振動数領域より短周期側に避けることを原則とする。

3)：配管形状が複雑な部分や配置上の制限から標準支持間隔による方法を適用することが適切でない場合等については，多質点系はりモデルによる方法を適用する。

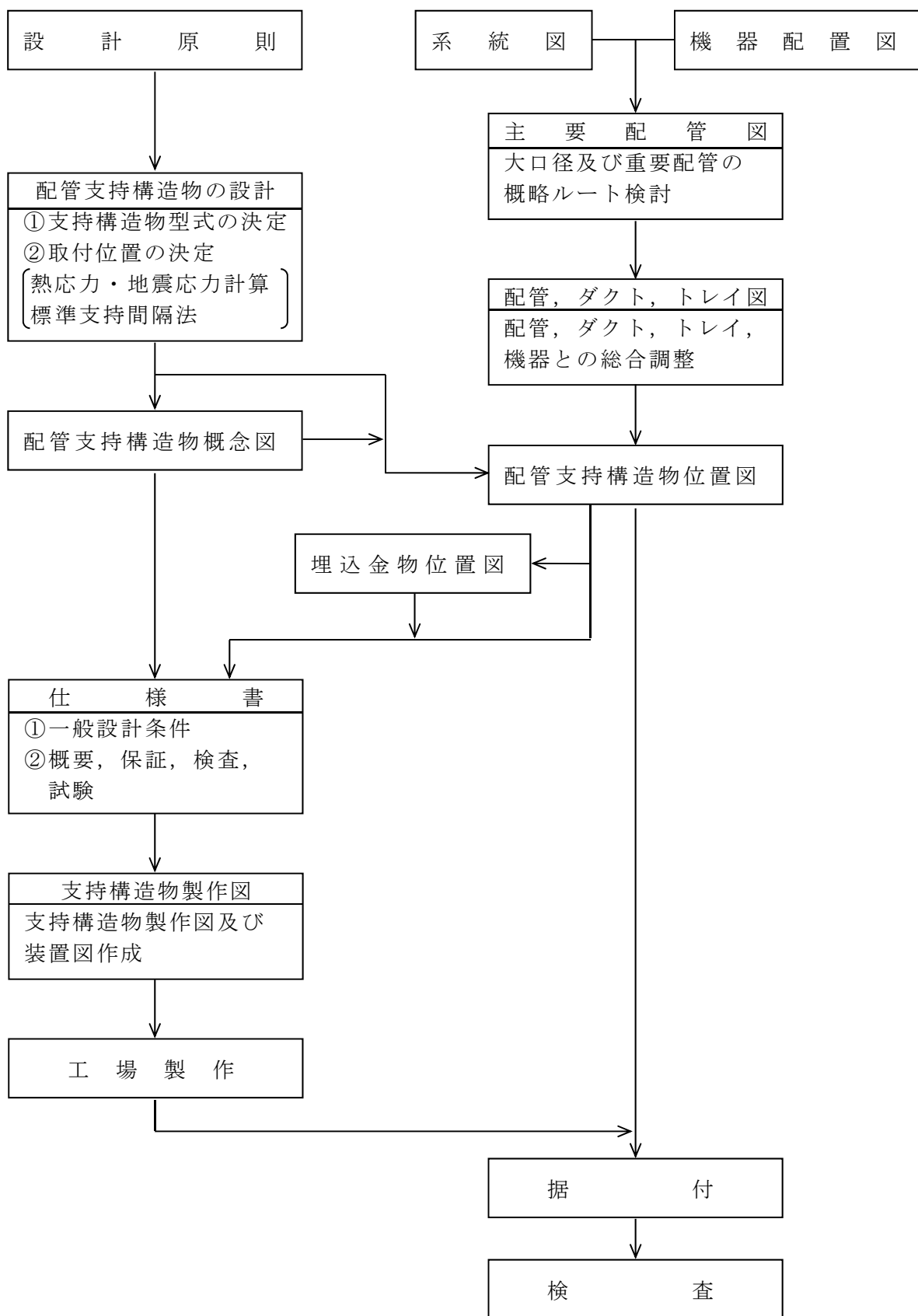
4)：配管形状や支持点の位置が定まり，多質点系はりモデルによる方法の適用が可能な場合は，多質点系はりモデルによる方法を適用できる。

2. 2 設計方針

- (1) 配管は、適切な支持を講じることにより地震力による応力の低減を図るものとする。最高使用温度が高く熱膨張による応力が過大となる場合には、その応力を低減する方法を講じるものとする。
- (2) 支持構造物は、配管の地震荷重、熱荷重及び自重に対して十分な強度を持たせるとともに、配管との共振を避けるために配管の剛性に対して剛となるような剛性を有するものとする。
- (3) 配管の支持間隔算出時には、腐食代を配管の剛性及び重量に適切に考慮するものとする。

2. 3 設計手順

配管のレイアウト，構造計画に際しては，建物・構築物，機器・ダクト・トレイ等配管以外の設備との関連を十分考慮した上で，総合的な調整をして耐震設計を行う。設計手順を第2. 3 - 1 図に示す。



第 2 . 3 - 1 図 配管支持構造物設計フローシート

3. 配管の支持方針

配管の各支持方法の考え方及び設計方針を以下に示す。また配管の支持点位置の設定基準を第3. - 1図に示す。

3. 1 多質点系はりモデルによる方法

多質点系はりモデルにより解析を行う配管については、原則として適切な固定点から固定点までを一つのブロックとして多質点解析（動的解析又は静的解析）を行い、支持点、支持方法等を定める。

多質点解析は、配管を多質点系はりにモデル化し、設計用地震力により配管に生ずる応力、支持点の反力等を求める。

ここで安全機能を有する施設の配管に対する設計用地震力は、第7条整理資料 補足説明資料 2-1「耐震設計の基本方針」に示す方法で算定する。

多質点系はりモデルによる方法の解析方法、解析条件等は、参考資料 2「配管の耐震性に関する計算書作成の基本方針（多質点系はりモデル）」に基づくものとする。

3. 2 標準支持間隔による方法

3. 2. 1 概要

標準支持間隔による方法は、直管部、曲がり部、集中質量部及び分岐部の標準的な要素に適用する標準支持間隔法と、形状が複雑な部位に適用する個別解析法の2種類の手法がある。

(1) 標準支持間隔法

標準支持間隔法は、配管を等分布荷重連続はりにモデル化し、直管部、曲がり部、集中質量部及び分岐部の標準的な要素に分け、各要素の固有周期及び設計用地震力による地震応力等が第3. 2 - 1表に示す条件を満足するように支持間隔を定める。また、配管全体としては各要素の組合せを考え、配管の支持点等を定めるものとする。

直管部については、各建屋における地震時の応答解析結果に基づき、配管に生ずる応力が許容応力以下となるように標準の支持間隔を求め、これを直管部に対する標準支持間隔とする。配管の直管部は、この標準支持間隔以内で支持することにより耐震性が確保できる。

なお、直管部の標準支持間隔算出に当たっては、配管仕様、建屋、床区分及び減衰定数ごとに、解析条件を満足する支持間隔をそれぞれ計算し求める。

配管の曲がり部、集中質量部及び分岐部については、直管部と同等以上の耐震性を有するように、それぞれ直管部の標準支持間隔に対する支持間隔比を求め、各要素の支持間隔を算出する。配管の曲がり部、集中質量部及び分岐部については、各要素の支持間隔以内で支持することにより耐震性が確保できる。なお、3次元はりモデル解析では、これらの部位に対しては応力係数を考慮しているが、標準支持間隔法では支持間隔比を考慮することにより、3次元はりモデルより保守的な評価となるようにする。

ここで安全機能を有する施設の配管に対する設計用地震力は、第7条整理資料 補足説明資料 2-1「耐震設計の基本方針」に示す方法で算定する。

なお、標準支持間隔法において、耐震設計上の重要度分類Sクラスの配管は、支持構造物を含めた配管系の固有振動数を建屋床応答スペクトルのピークの固有振動数領域より短周期側に避けることを原則とする。

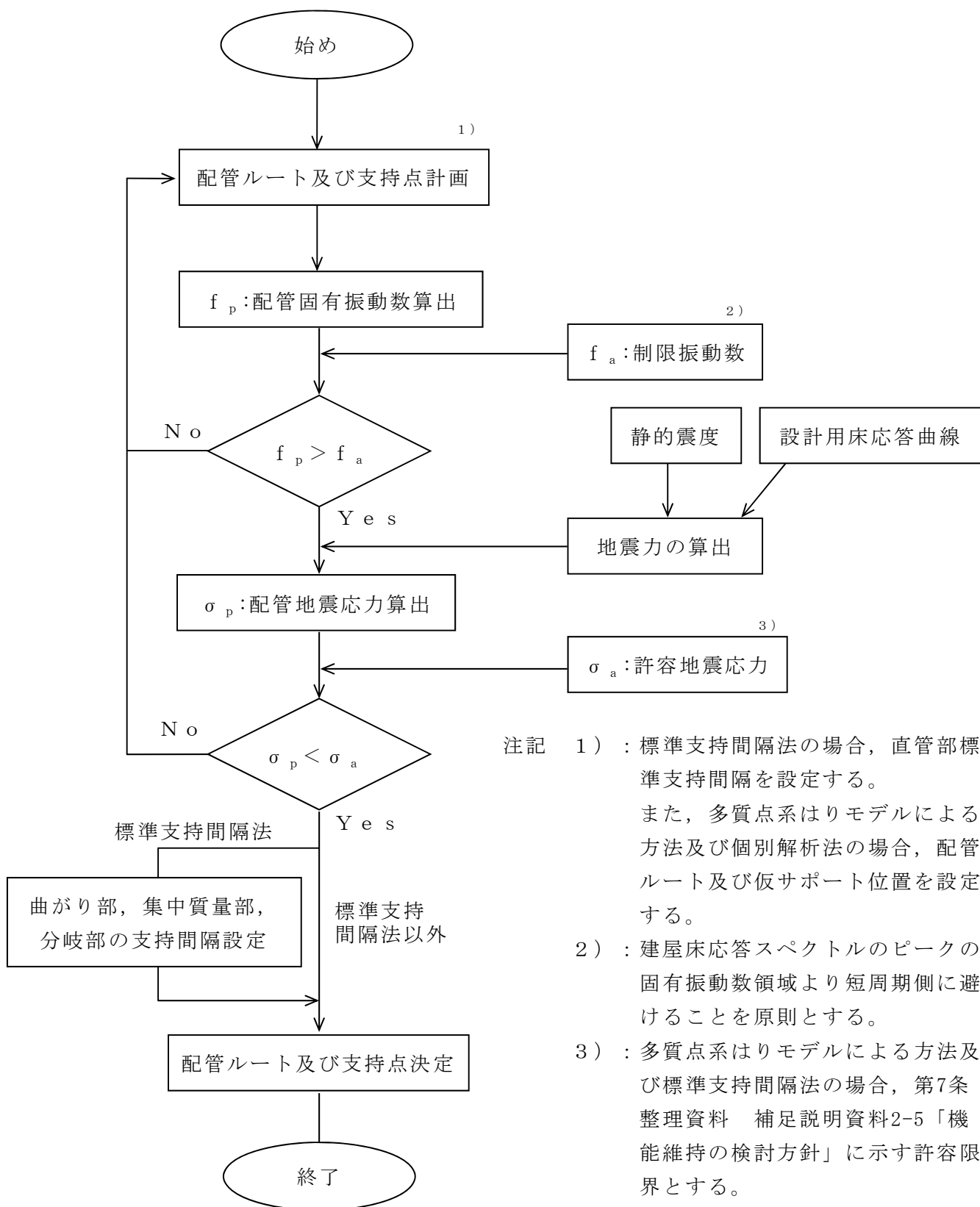
具体的には、建物・構築物毎に、配管が設置される全階層の水平方向及び鉛直方向の設計用床応答曲線のうち最も大きなピークの振動数領域を避けるように制限振動数を設定し、配管系の固有振動数が制限振動数以上となるように設計する。

また、グローブボックス内配管のように、支持構造物である設備の応答の増幅が考えられる配管については、配管が剛となるように支持間隔を設定し、地震による過度の振動がないよう考慮する。

(2) 個別解析法

個別解析を行う配管については、形状が複雑な部位を含む適切な支持点から支持点までを一つのブロックとして解析（動的解析又は静的解析）を行い、固有周期及び設計用地震力による地震応力が標準支持間隔法による直管部標準支持間隔に対して安全側となるように、支持点、支持方法等を定める。

ここで安全機能を有する施設の配管に対する設計用地震力は、第7条整理資料補足説明資料 2-1「耐震設計の基本方針」に示す方法で算定する。



第3. - 1 図 配管の支持点位置の設定基準

第3.2-1表 標準支持間隔法算出条件

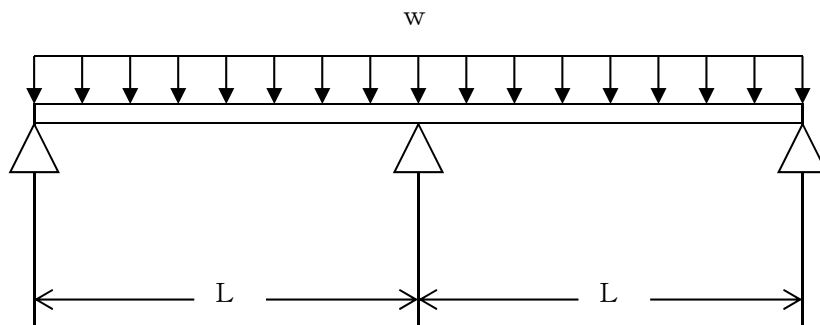
項目	条件
一次応力（内圧＋自重＋地震応力）	第7条整理資料 補足説明資料2-5 「機能維持の検討方針」に示す許容限界
配管系固有周期 ¹⁾	建屋床応答スペクトルのピークの固有振動数領域より短周期側に避ける

注記 1) : 配管系固有周期に対する条件は、耐震設計上の重要度分類Sクラスの配管に適用する。

3.2.2 直管部の支持間隔

3.2.2.1 解析モデル

配管を下図のように支持間隔Lで3点支持した等分布荷重連続はりにモデル化する。この場合、支持点は配管の軸直角方向のみを拘束するものとし、軸方向及び回転に対しては自由とする。



3. 2. 2. 2 解析方法

配管について、設計用地震力による応力を算定するとともに、内圧及び自重の影響を考慮して直管部標準支持間隔を求める。

3. 2. 2. 3 解析条件

(1) 設計用地震力

安全機能を有する施設の配管は、第7条整理資料 補足説明資料 2-1「耐震設計の基本方針」に示している設計用地震力を用いて評価を行う。

使用する基準地震動 S_s の設計用床応答曲線は、原則として安全側に谷埋め（ある周期の床応答加速度に対し、その周期より柔側において加速度が小さい場合、即ち「谷」がある場合、剛側の加速度にし「谷」を埋める。（以下、「谷埋め」という。））及びピーク保持（床応答加速度が最大となる周期より柔側においても最大の加速度を保持する。（以下、「ピーク保持」という。））を行う。弾性設計用地震動 S_d の設計用床応答曲線の谷埋め、ピーク保持及び包絡関係については、基準地震動 S_s と同様の考慮を行う。

(2) 設計用減衰定数

地震応答解析に用いる設計用減衰定数は、参考資料 3「地震応答解析の基本方針」に示している設計用減衰定数を適用する。

(3) 階層の区分

解析に当たっては、配管が設置される建物・構築物の階層毎の設計用床応答曲線を使用して各階層の直管部標準支持間隔を求めるものとする。

(4) 配管重量

配管の重量は、内部流体がある場合は、配管自体の重量と内部流体重量を合計した値とする。さらに、保温材の付く配管については、その重量を考慮する。

(5) 配管応力

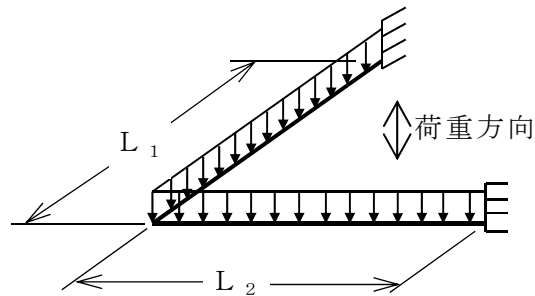
配管に生ずる応力は、J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 の計算式に基づき地震による応力の他に内圧及び自重による応力を求め、第7条整理資料 補足説明資料 2-1「耐震設計の基本方針」に基づき応力評価を行うものとする。

許容応力については、第7条整理資料 補足説明資料 2-1「機能維持の基本方針」に基づき算定する。

3. 2. 3 曲がり部の支持間隔

3. 2. 3. 1 解析モデル

配管の曲がり部は、下図に示すようにピン結合両端固定の等分布荷重のほりにモデル化する。



L_1, L_2 : 曲がり部から支持点までの長さ
 L_E : 曲がり部支持間隔 ($L_E = L_1 + L_2$)

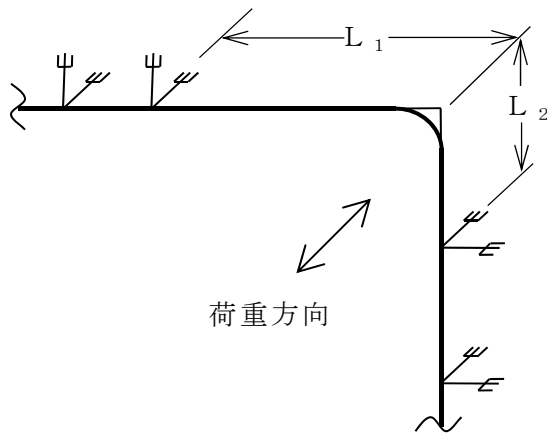
3. 2. 3. 2 解析条件及び解析方法

- (1) 固有振動数が直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- (2) 水平地震力がかかった場合の曲げモーメントが、直管部標準支持間隔の水平地震力による曲げモーメントよりも小さくなること。
- (3) 自重及び鉛直地震力による合計曲げモーメントが、直管部標準支持間隔の自重及び鉛直地震力による合計曲げモーメントより小さくなること。
- (4) (1), (2), (3) の条件を満足する理論解を各々 $\left(\frac{L_1}{L_E}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_E}{L_0}\right)$ の最大値を求める。
ただし、 L_0 は直管部標準支持間隔、 L_1, L_E は「3. 2. 3. 1 解析モデル」参照。
- (5) 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め、その値以内となるように設計上の配慮を行う。

3. 2. 3. 3 解析結果及び支持方針

解析結果を第3. 2-1図「曲がり部支持間隔グラフ」に示す。本グラフは、曲がり部をはさむ支持構造物間距離を直管部標準支持間隔に対する比として示すものであり、“許容領域”内に配管を支持するものとする。

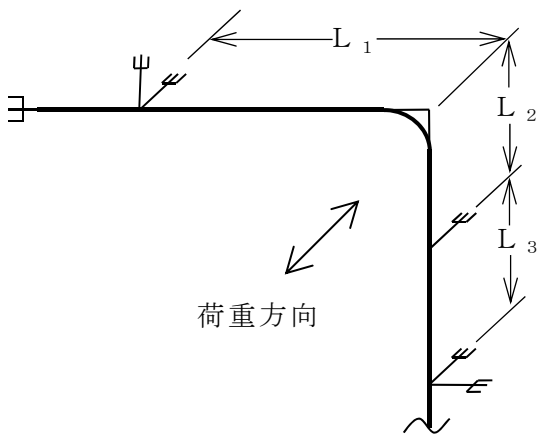
なお、異径の配管が混在する場合は、直管部標準支持間隔が最も短くなる管径と見なして、本支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。



$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

L_E は L_0 （直管部標準支持間隔）にグラフより求まる支持間隔比を乗じた長さ。

また、配管系及び支持構造物の設計上、曲がり部をはさむ支持構造物間距離を長くする必要がある場合は、面外振動を拘束する支持構造物を下式を満足するように設ける。



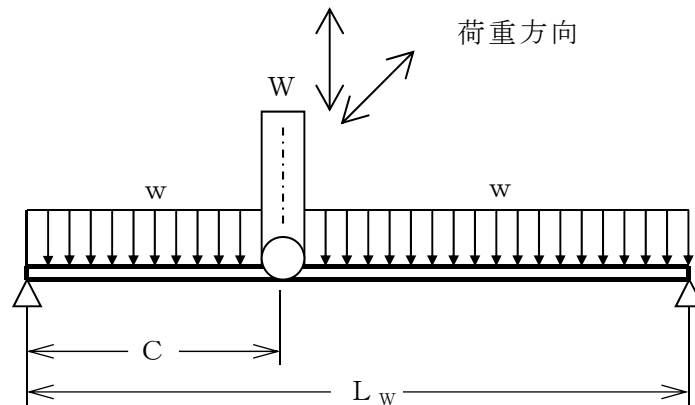
$$L_1 + L_2 \leq L_E$$

$$L_2 + L_3 \leq L_0$$

3. 2. 4 集中質量部の支持間隔

3. 2. 4. 1 解析モデル

配管に弁等の重量物が設置される集中質量部は，下図のように任意の位置に集中荷重を有する両端支持の連続はりにモデル化する。



- L_w : 集中質量部支持間隔
- C : 支持端から集中荷重点までの長さ
- w : 配管の単位長さ当たり重量
- W : 集中荷重

3. 2. 4. 2 解析条件及び解析方法

- (1) 固有振動数が直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- (2) 水平地震力がかかった場合の集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが，直管部標準支持間隔の水平地震力による曲げモーメントよりも小さくなること。
- (3) 自重及び鉛直地震力による集中荷重及び等分布荷重の合計曲げモーメントが，直管部標準支持間隔の自重及び鉛直地震力による合計曲げモーメントよりも小さくなること。
- (4) (1)，(2)，(3) の条件を満足する理論解を各々 $\left(\frac{C}{L_w}\right)$ をパラメータとし， $\left(\frac{W}{w \cdot L_0}\right)$ の関数として $\left(\frac{L_w}{L_0}\right)$ の最大値を求める。
ただし， L_0 は直管部標準支持間隔， L_w ， C ， w ， W は「3. 2. 4. 1 解析モデル」参照。
- (5) 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め，その値以内となるように設計上の配慮を行う。

3. 2. 4. 3 解析結果及び支持方針

解析結果を第3. 2-2図「集中質量部支持間隔グラフ」に示す。本グラフは、弁等の重量物を取り付いた場合の配管の許容支持間隔を直管部標準支持間隔に対する比として示し，“許容領域”内に配管を支持するものとする。

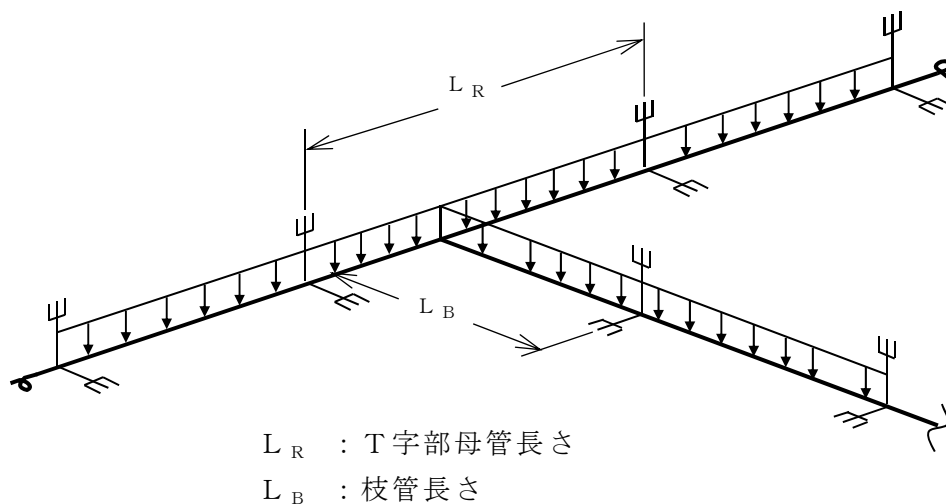
なお、異径の配管が混在する場合は、直管部標準支持間隔が最も短くなる管径と見なして、本支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。

また、集中質量が複数の場合は、複数の集中質量の総和を一つの集中質量と見なして、本支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。この場合、荷重位置Cは、一律 $0.5L_W$ とする。

3. 2. 5 分岐部の支持間隔

3. 2. 5. 1 解析モデル

配管の分岐部は、下図に示すようにT字部の3つの支持端を単純支持とする分布荷重の連続はりにモデル化する。



3. 2. 5. 2 解析条件及び解析方法

- (1) 固有振動数が直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- (2) 水平地震力がかかった場合の曲げモーメントが、直管部標準支持間隔の水平地震力による曲げモーメントより小さくなること。
- (3) 自重及び鉛直地震力による合計曲げモーメントが、直管部標準支持間隔の自重及び鉛直地震力による合計曲げモーメントより小さくなること。
- (4) (1), (2), (3)の条件を満足する分岐部支持間隔比 $\left(\frac{L_R}{L_0}\right)$ の最大値を、 $\left(\frac{L_B}{L_0}\right)$ の関数として求める。解析結果は、分岐部の代表例として母管と枝管とが同一口径のものをまとめたものである。

ただし、 L_0 は直管部標準支持間隔、 L_R 、 L_B は「3. 2. 5. 1 解析モデル」参照。

- (5) 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め、その値以内となるように設計上の配慮を行う。

3. 2. 5. 3 解析結果及び支持方針

解析結果を第3. 2 - 3 図「分岐部支持間隔グラフ」に示す。本グラフは、分岐部の許容支持間隔を直管部標準支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。

なお、母管と枝管の口径が異なる場合は、以下に従うものとする。

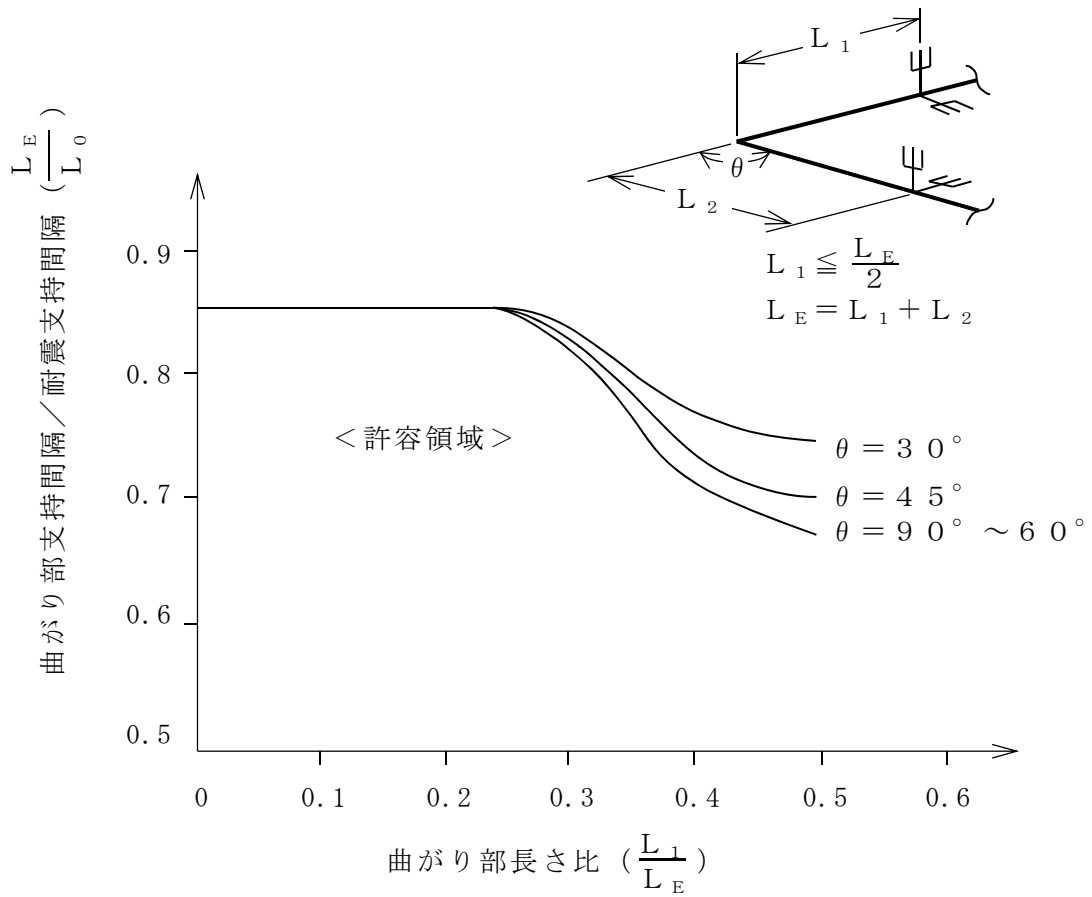
- (1) $0.5 < \text{「枝管口径／母管口径」} < 1.0$

直管部標準支持間隔が最も短くなる管径と見なして、本支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。

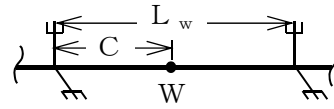
- (2) $\text{「枝管口径／母管口径」} \leq 0.5$

母管と枝管を切り離して考え、それぞれについて各要素の支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。この場合、分岐点は枝管の支持点と見なすものとする。

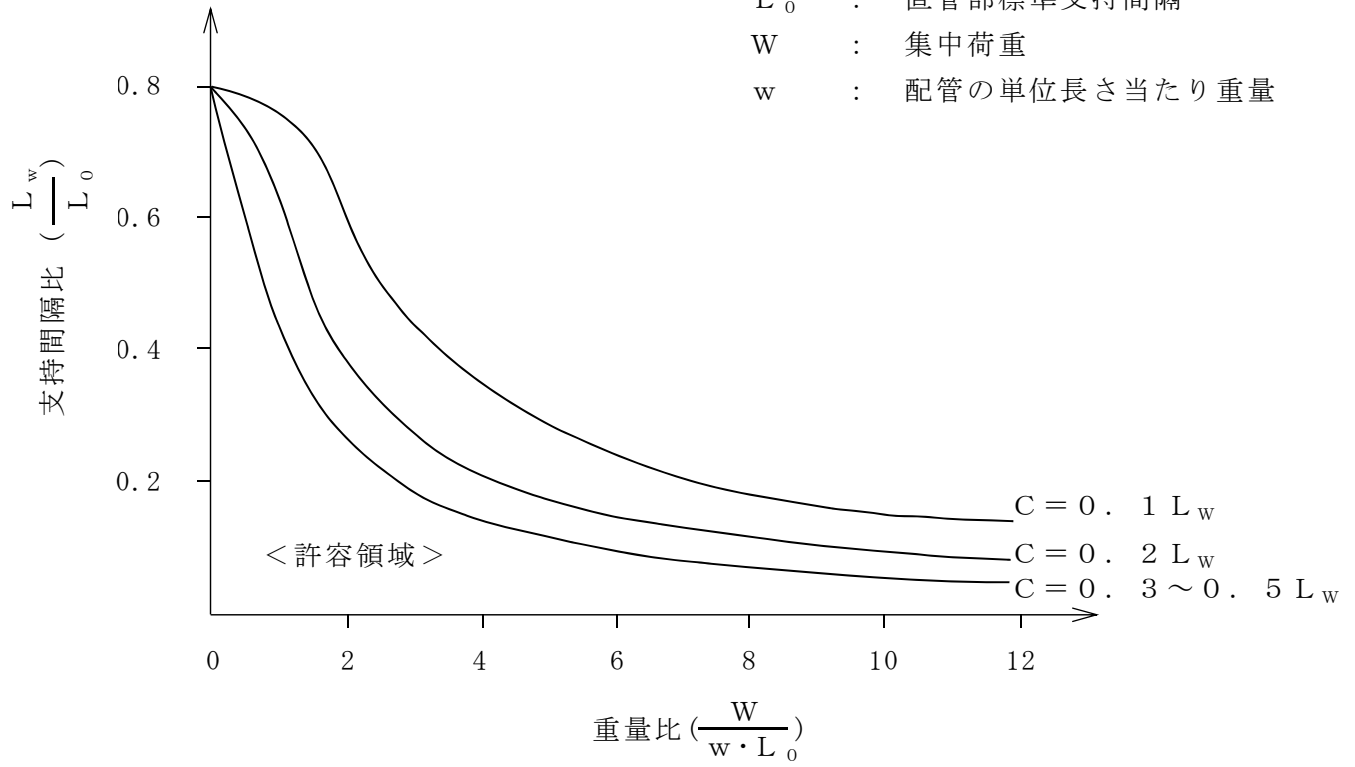
L_0 : 直管部標準支持間隔



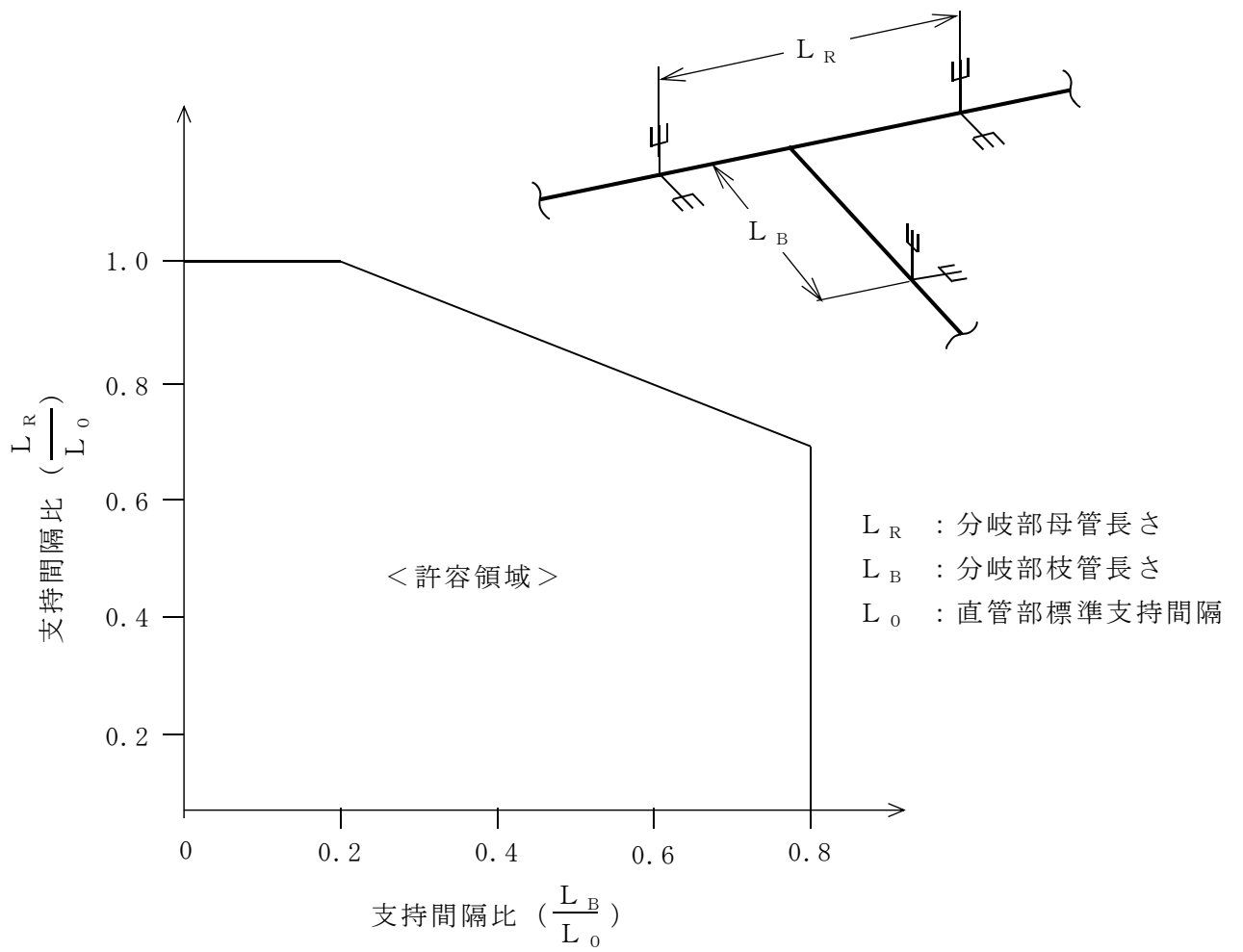
第3. 2-1図 曲がり部支持間隔グラフ



L_0 : 直管部標準支持間隔
 W : 集中荷重
 w : 配管の単位長さ当たり重量



第3. 2-2図 集中質量部支持間隔グラフ



第3. 2-3図 分岐部支持間隔グラフ

3. 2. 6 個別解析モデルによる支持間隔

前記3. 2. 2～3. 2. 5に示した標準的な要素の支持間隔を設定することが困難な配管要素については、以下に示す方針により配管要素のモデル化及び地震応答解析を行い、支持間隔を設定する。

3. 2. 6. 1 解析モデル

解析モデルは、当該配管要素の固有振動数及び曲げモーメントが適切に評価できるように隣接する配管要素の影響を考慮して、当該配管要素の3方向が拘束されるサポート点までの配管要素及び境界条件を含めた多質点系モデルにモデル化する。

ただし、安全側の設定となる場合は、モデルを簡略して設定して良いものとする。

3. 2. 6. 2 解析条件及び解析方法

固有値解析及び地震応答解析は、配管を多質点系モデルにモデル化し、有限要素法により固有振動数及びJ E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7に基づく一次応力（内圧＋自重＋地震応力）を求め、標準支持間隔法による直管部標準支持間隔の固有振動数及び一次応力との比較を行い、以下のすべての条件を満足するように支持間隔を設定する。

- (1) 当該配管要素の固有振動数が、標準支持間隔法における直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- (2) 当該配管要素の地震力による応力が、標準支持間隔法における直管部標準支持間隔の地震力による応力より小さくなること。

3. 2. 7 個別解析モデル化手法による他の配管要素の支持間隔設定

前記3. 2. 2～3. 2. 5に示した標準的な要素以外で、使用頻度が多く、且つ比較的簡素な形状のZ形部、門形部、分岐＋曲がり部の3要素については、前記3. 2. 6に示した個別解析モデル化の手法を適用して支持間隔グラフを策定し、これを用いた支持間隔を設定する。

なお、異径の配管が混在する場合は、直管部標準支持間隔が最も短くなる管径と見なして、各要素の支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。
また、分岐部であって、母管と枝管の口径が異なる場合は、以下に従うものとする。

- (1) $0.5 < \text{「枝管口径／母管口径」} < 1.0$

直管部標準支持間隔が最も短くなる管径と見なして、当該要素の支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。

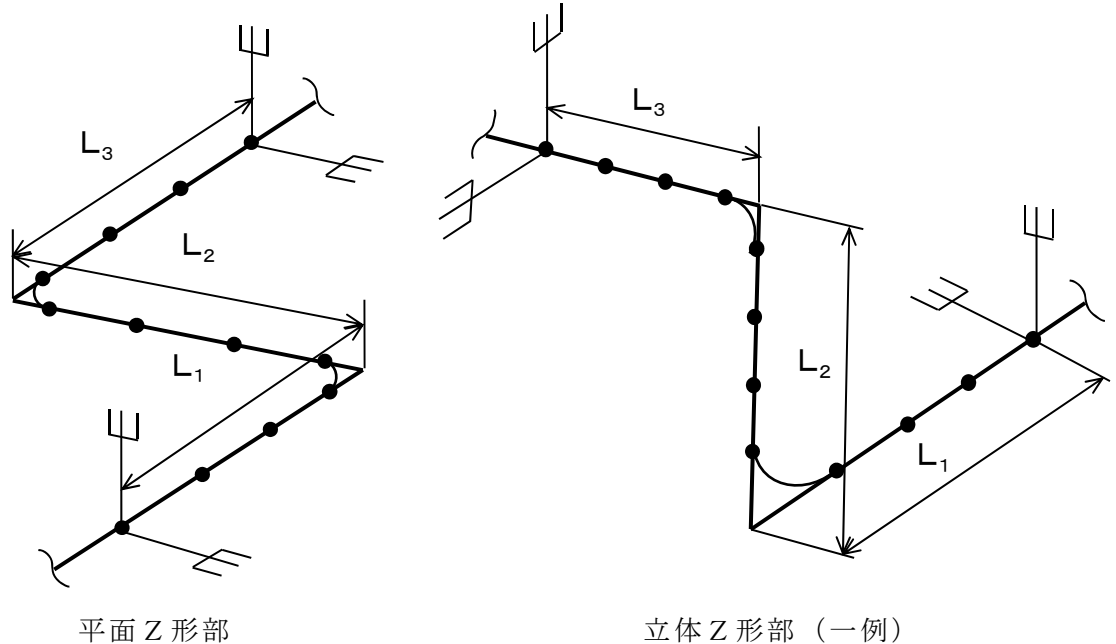
- (2) 「枝管口径／母管口径」 ≤ 0.5

母管と枝管を切り離して考え、それぞれについて各要素の支持間隔グラフの“許容領域”内に配管を支持するものとする。この場合、分岐点は枝管の支持点と見なすものとする。

3. 2. 7. 1 Z形部の支持間隔

(1) 解析モデル

配管のZ形部は、下図に示すように両端単純支持とする等分布荷重の多質点系はりにモデル化する。



(2) 解析条件及び解析方法

- 当該配管要素の固有振動数が標準支持間隔における直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- 当該配管要素の地震力による曲げモーメントが、標準支持間隔法における直管部標準支持間隔の地震時曲げモーメントより小さくなること。
- (1)の解析モデルに対し、有限要素法計算コードによる固有値解析及び地震応答解析を行い、a.、b.の条件を満足する $\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$ と $\left(\frac{L_2}{L_0}\right)$ の関係を反復収束計算により求める。

ただし、 $L_1 \geq L_3$ とする。

また、 L_0 は直管部標準支持間隔、 L_1 、 L_2 、 L_3 は(1)参照。

- 地震応答解析は、各建屋・構築物の各階層の設計用床応答曲線を全て包絡したものをを用いて行う。
- 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め、その値以内となるように設計上の配慮を行う。

(3) 解析結果及び支持方針

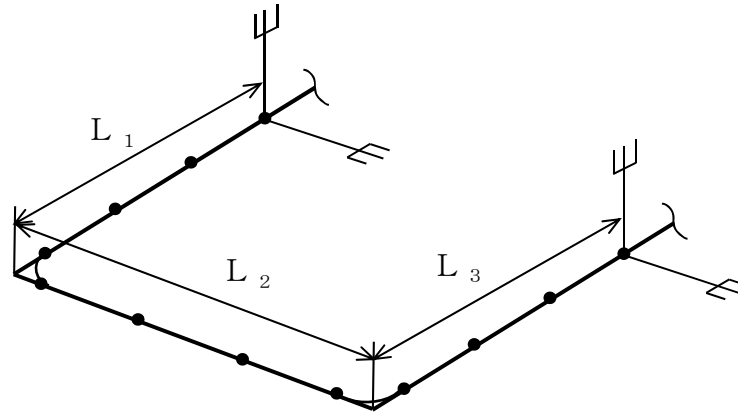
解析結果を第3. 2-4図「平面Z形部支持間隔グラフ」及び第3. 2-5図「立体Z形部支持間隔グラフ」に示す。

本グラフは、Z形部の許容支持間隔を直管部標準支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。

3. 2. 7. 2 門形部の支持間隔

(1) 解析モデル

配管の門形部は、下図に示すように両端単純支持とする等分布荷重の多質点系はりにモデル化する。



(2) 解析条件及び解析方法

- a. 当該配管要素の固有振動数が標準支持間隔における直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- b. 当該配管要素の地震力による曲げモーメントが、標準支持間隔法における直管部標準支持間隔の地震時曲げモーメントより小さくなること。
- c. (1)の解析モデルに対し、有限要素法計算コードによる固有値解析及び地震応答解析を行い、a.、b.の条件を満足する $\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$ と $\left(\frac{L_2}{L_0}\right)$ の関係を反復収束計算により求める。
ただし、 $L_1 \geq L_3$ とする。
また、 L_0 は直管部標準支持間隔、 L_1 、 L_2 、 L_3 は(1)参照。
- d. 地震応答解析は、各建屋・構築物の各階層の設計用床応答曲線を全て包絡したものをを用いて行う。
- e. 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め、その値以内となるように設計上の配慮を行う。

(3) 解析結果及び支持方針

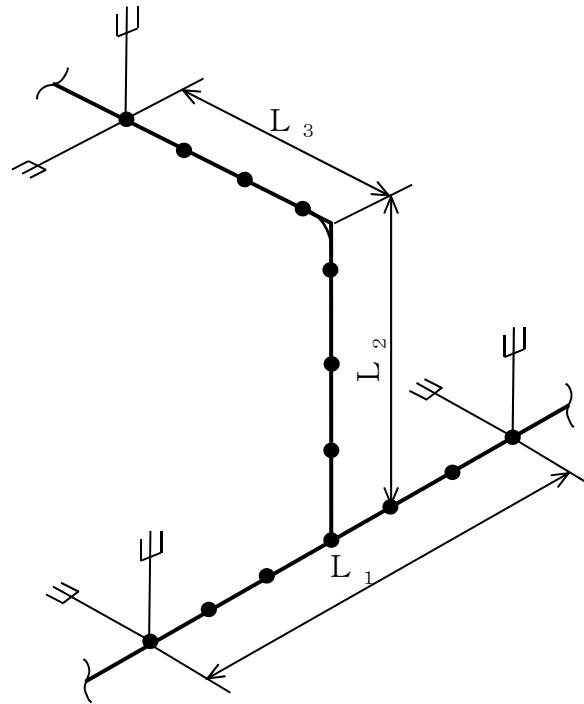
解析結果を第3. 2-6図「門形部支持間隔グラフ」に示す。

本グラフは、門形部の許容支持間隔を直管部標準支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。

3. 2. 7. 3 分岐+曲がり部の支持間隔

(1) 解析モデル

配管の分岐+曲がり部は、下図に示すように3つの支持端を単純支持とする分布荷重の多質点系はりにモデル化する。



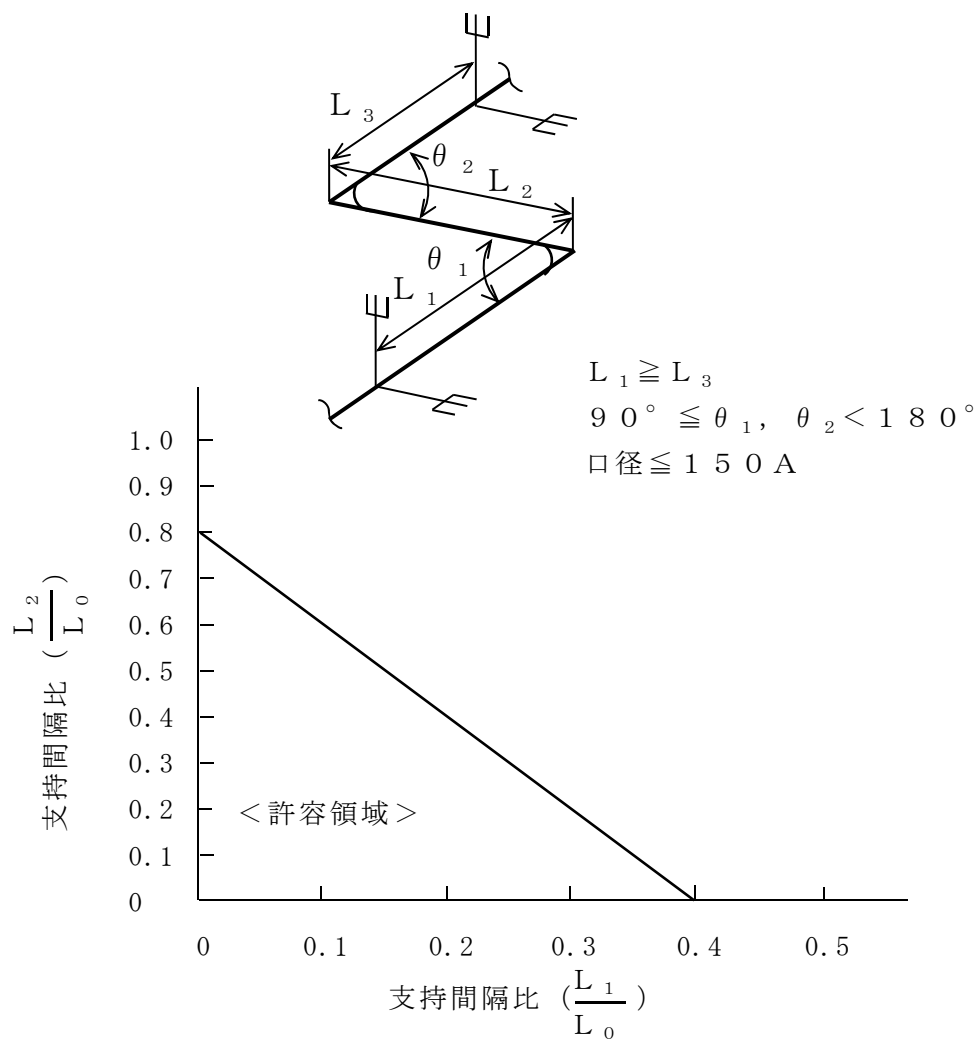
(2) 解析条件及び解析方法

- 当該配管要素の固有振動数が標準支持間隔における直管部標準支持間隔の固有振動数以上となること。
- 当該配管要素の地震力による曲げモーメントが、標準支持間隔法における直管部標準支持間隔の地震時曲げモーメントより小さくなること。
- (1)の解析モデルに対し、有限要素法計算コードによる固有値解析及び地震応答解析を行い、a.、b.の条件を満足する $\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$ 、 $\left(\frac{L_2}{L_0}\right)$ 、 $\left(\frac{L_3}{L_0}\right)$ の関係を反復収束計算により求める。
また、 L_0 は直管部標準支持間隔、 L_1 、 L_2 、 L_3 は(1)参照。
- 地震応答解析は、各建屋・構築物の各階層の設計用床応答曲線を全て包絡したものをを用いて行う。
- 標準支持間隔法で算出される応力値を超えないような応力係数を定め、その値以内となるように設計上の配慮を行う。

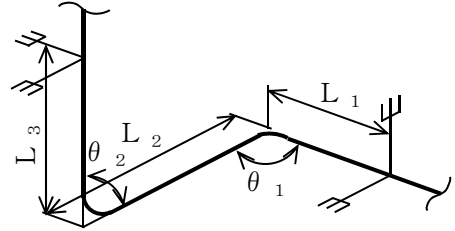
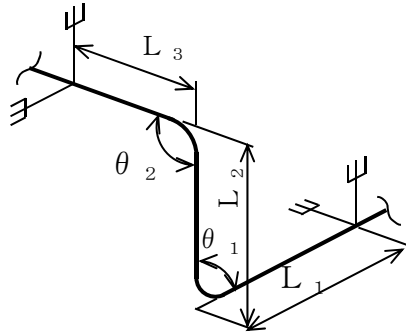
(3) 解析結果及び支持方針

解析結果を第3. 2-7図「分岐+曲がり部支持間隔グラフ」に示す。

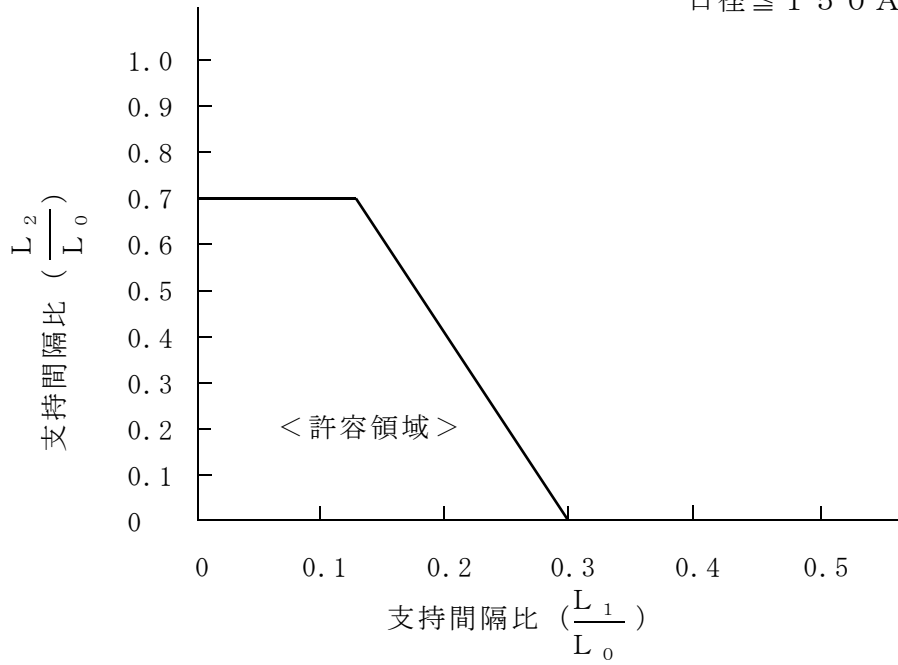
本グラフは、分岐+曲がり部の許容支持間隔を直管部標準支持間隔に対する比として示したもので、“許容領域”内に配管を支持するものとする。



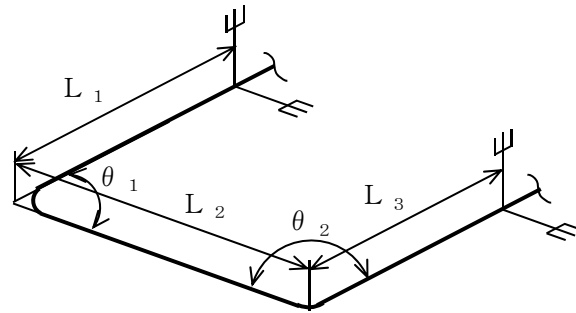
第3. 2-4図 平面Z形部支持間隔グラフ



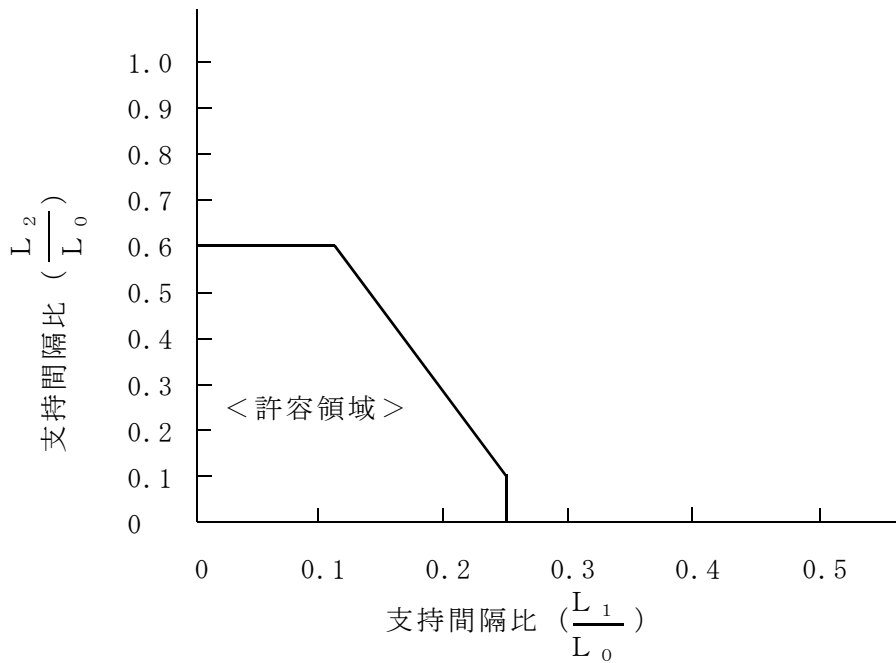
$L_1 \geq L_3$
 $90^\circ \leq \theta_1, \theta_2 \leq 135^\circ$
 口径 $\leq 150 \text{ A}$



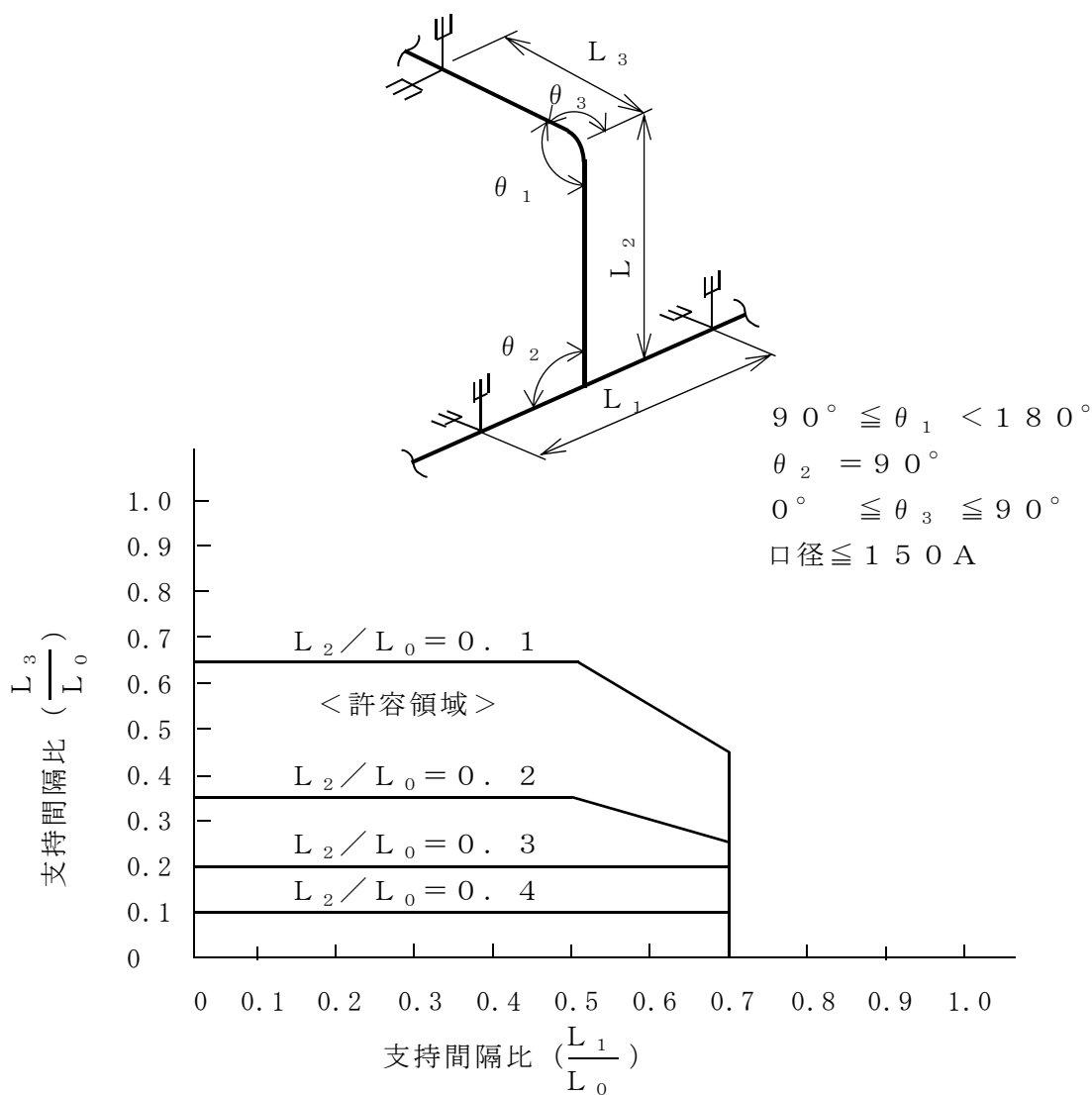
第3. 2-5図 立体Z形部支持間隔グラフ



$L_1 \geq L_3$
 $90^\circ \leq \theta_1, \theta_2 < 180^\circ$
 口径 ≤ 150 A



第3. 2-6図 門形部支持間隔グラフ



第3. 2-7図 分岐+曲がり部支持間隔グラフ

3. 3 設計方針

(1) 高温配管の支持位置及び支持条件

最高使用温度の高い配管は、熱膨張による応力を低減するために一般に柔に設計する必要がある。また、耐震上の要求からは、剛に設計する必要がある。したがって、支持位置及び支持条件を決めるに当たっては、原則として次のような事項を考慮し、地震並びに熱膨張による応力の制限を満足する設計を行う。

- a. 自重を支持するために、あるいは耐震上剛性を高めるために、配管を拘束する場合には、配管の熱膨張による変位が少ない箇所にアンカ又はレストレイント等を設けるものとする。

- b. 配管の熱膨張による変位がある特定の方向に大きい場合であって、その他の方向に上記 a. と同じ理由によって拘束する必要がある場合は、熱膨張による変位方向を拘束せず、目的とする方向を拘束するガイド等を設けるものとする。
 - c. 熱膨張による鉛直方向変位が大きい箇所で、配管の自重を支持する必要がある場合は、スプリングハンガを用いる。なお、低温時と高温時の支持荷重が大きく異なる等の理由により通常のスプリングハンガが使用できない場合は、コンスタントハンガを用いる。
 - d. 熱膨張による変位が大きい方向を、耐震上の要求から拘束する場合はスナバを用いる。
- (2) 設計上の考慮事項
- a. 弁取り付け部
配管に弁等の重量物を取り付けられる場合、その近傍で耐震設計上の支持点を設けることを原則とする。また、特に電動弁、空気作動弁等が取り付けられる場合においては、地震時にその駆動部の偏心荷重により過大な応力が配管に生じないように、必要に応じて弁駆動部を支持するものとする。
 - b. 機器・配管との接続部
配管と機器との接続部については、通常固定点として解析するが、地震力及び熱膨張による接続部の変位が無視できない場合、これらの変位を考慮して解析し、当該配管及びその支持構造物の設計を行う。
 - c. 建物・構築物との相対変位に対する考慮
建物・構築物間にわたって設置される配管については、地震時の相対変位を考慮して設計するものとする。
 - d. 異なる耐震クラス配管との接続部
耐震 S クラス又は B クラスの配管が、弁等を境界として耐震 C クラス配管と接続され、境界となる弁等が耐震支持されていない場合には、その影響を考慮し原則として境界以降第一番目の耐震上有効な軸直角 2 方向拘束点まで耐震 S クラス又は B クラスの配管と同様に扱い設計を行う。
 - e. 支持荷重に対する考慮
配管の自重、熱膨張、地震力等によって配管支持構造物にかかる荷重に関しては、これらの荷重に対して適切な支持構造物の設計を行うものとする。また、各支持構造物、機器ノズル部等に過大な荷重を生じさせないように適切に荷重を分配するように考慮するものとする。
 - f. 隣接する配管に対する考慮
配管が接近して設置される場合、地震力による変位によって配管相互が干渉しないように考慮する。
また、保温材が取り付けられる配管については、保温材の厚み及び地震変位を考慮し、配管相互が干渉しないように設計を行う。

4. 支持構造物の設計方針

4. 1 概要

配管の支持構造物は、その目的、設置場所等によって各種の形状、構造を考慮している。本章では、それらの支持構造物の代表的な種類、設計方法及び支持構造物の設計方針について示す。

4. 2 支持構造物の種類

(1) 支持架構

支持架構の形状の代表例を第4. 2-1図に示す。

各々の架構は、山形鋼、H形鋼、みぞ形鋼等の圧延鋼材を組み合わせて用いるものとする。

(2) 埋込金物

埋込金物は、コンクリート打設前に設置し、そのまま埋め込まれるものと、コンクリート打設後ケミカルアンカ、シンチアンカ等で取り付けられるものとに大別できる。

いずれの場合も、支持架構を十分剛に建物側に取り付けることができ、地震時に生ずる荷重に対しても十分に強度を有するものを選定し使用する。

一般に支持架構と埋込金物は、溶接で取り付けられる。

(3) 支持方法

耐震を目的とした支持は、アンカ、レストレイント等により行う。

第4. 2-2図に代表的な支持方法を示す。

a. アンカ

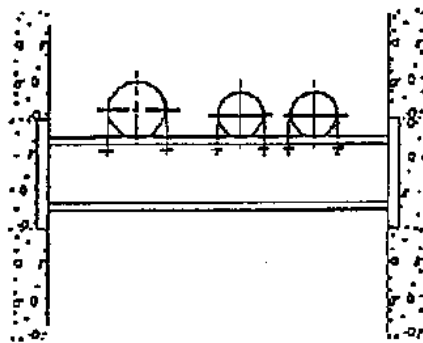
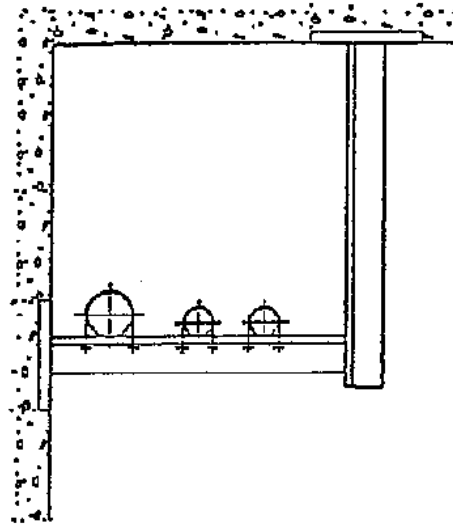
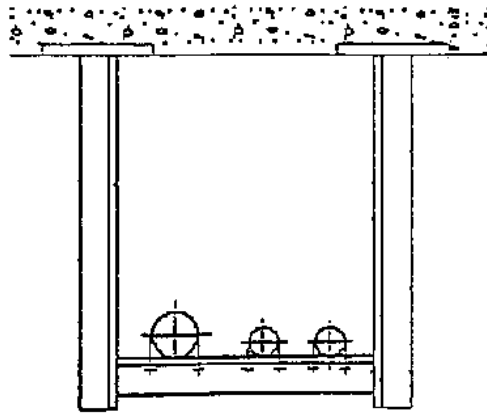
アンカは、ある点の変位、回転のすべてを拘束するものである。

機器との取合点等に構造的に設定される。多質点系はりモデルで計算する場合は、アンカで区切られる部分を一区分として計算することを原則とする。

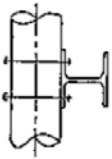
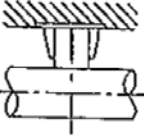
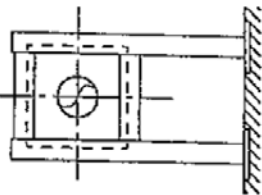
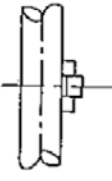
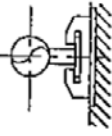
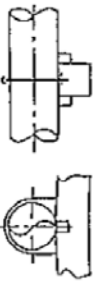
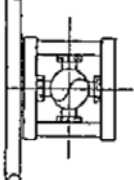

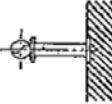
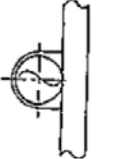
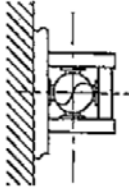
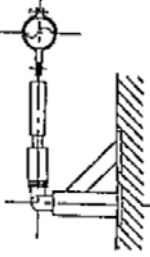
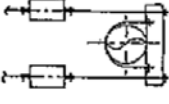
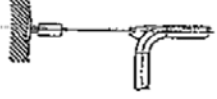
b. レストレイント

レストレイントは、ある方向の変位又は回転のみを拘束する。

レストレイントには、架構式のもの、リジッドハンガ、Uボルト等がある。



第4. 2-1図 支持架構の代表例

<p>アンカ</p>  <p>Uボルトの2本掛けによるアンカサポート</p>  <p>壁から直接アンカをとる場合の例</p>  <p>アンカ荷重が大きい場合の例</p>	<p>レストレイント (一方向拘束)</p>  <p>軸方向拘束のレストレイント</p>  <p>軸直角方向拘束のレストレイント</p>	<p>レストレイント (三方向拘束)</p>  <p>Uボルト等に軸方向レストレイントを付加した場合</p>  <p>一般的なレストレイントの例</p>	<p>リジッドハンガ</p>  <p>ロッドタイプのリジッドハンガ</p>  <p>床から支持するリジッドハンガの例</p>
<p>レストレイント (二方向拘束)</p>  <p>Uボルト等によるレストレイント</p>  <p>一般的なレストレイントの例</p>	<p>スナバ</p>  <p>メカニカル式のスナバ</p>	<p>スプリングハンガ</p>  <p>配管直管部に使用する例</p>  <p>配管曲がり部に使用する例</p>	

第4.2-2図 代表的な支持方法の例

4. 3 支持構造物の設計方針

(1) 設計方針

- a. 地震荷重，自重による荷重及び配管の熱膨張等により作用する荷重に対して，支持構造物に生ずる応力が十分許容応力を下まわるように設計するものとする。
- b. 支持構造物は，配管に対して剛となるような剛性を有する設計とする。

(2) 支持架構の設計方針

支持架構の設計に際しては，架構取り付け部形状及び荷重の方向等を考慮してその基本構造を決める。

架構部材には原則として形鋼を用いるものとし，基本構造をモデル化して上記4. 3 (1) に示す設計方針を満足するように形鋼の種類及びサイズ等を適切に選定する。

(3) 埋込金物の設計方針

埋込金物にはコンクリート打設前に設定され，そのまま埋め込まれる直埋形埋込金物とコンクリート打設後コンクリートに穴をあけて打ち込まれるケミカルアンカ又はシンチアンカ等で取り付けられるものがある。

直埋形埋込金物は鋼板又はH型鋼にスタッドジベルを溶接したもので，用途，荷重等による数種類の形式に分類される。

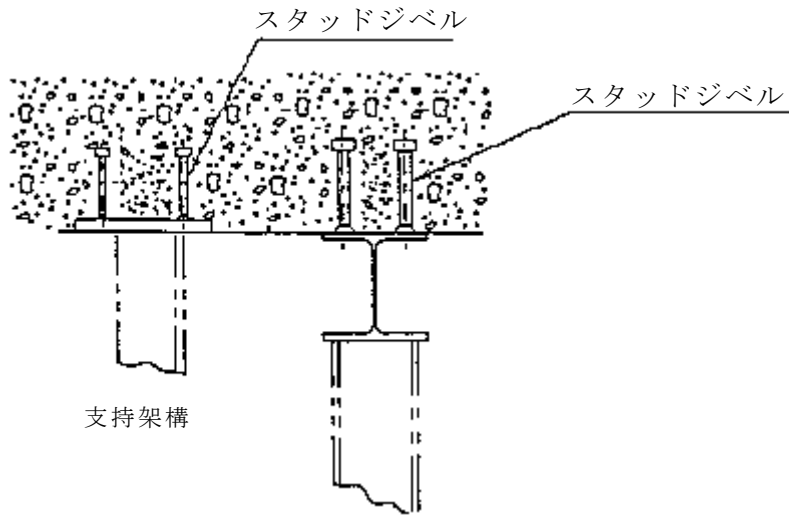
ケミカルアンカ及びシンチアンカ等は，コンクリート打設後に支持構造物の取り付けを行う場合等に使用するものとする。

埋込金物の埋込図例を第4. 3-1図に示す。

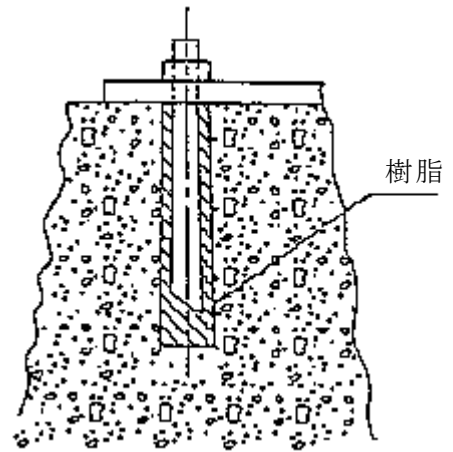
埋込金物は，コンクリート強度，スタッドジベルの強度，ボルト強度及び板材の曲げ強度により設計荷重があらかじめ確認されているものを用いる。

(4) 支持構造物部品の選定方法

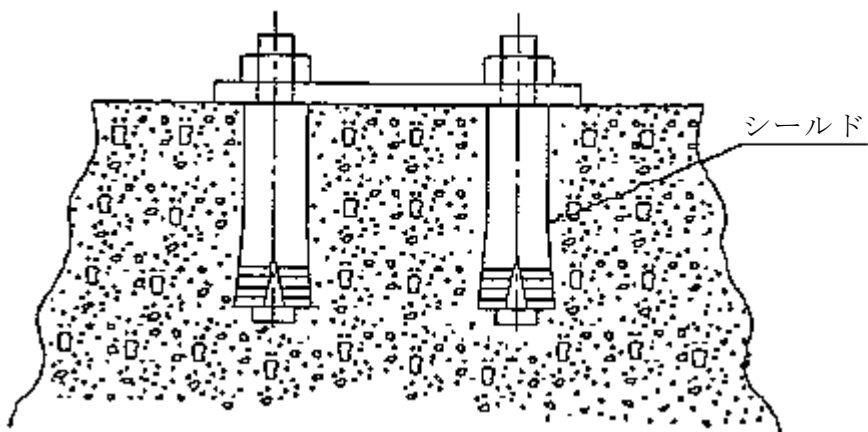
配管支持構造物に使用するUボルト，ハンガ等の部品は，支持点の荷重が各々の支持構造物部品の設計荷重以下になるように選定して使用する。



直埋形埋込図



ケミカルアンカの埋込図



シンチアンカの埋込図

第4. 3-1図 埋込金物の埋込図例

4. 4 設計上の考慮事項

配管支持構造物の設計については、前述の方針に従うとともに、下記についても十分考慮した設計を行う。

(1) 複数配管の並行設置に対する考慮

2本以上の配管が共通に支持される場合、それらのうちで一番短い支持間隔に合わせて支持構造物を設けるものとする。

(2) 座屈荷重に対する考慮

リジッドハンガあるいはスナバ連結棒のような細長い支持構造物に対しては、座屈強度に対して十分考慮した設計を行うものとする。

(3) 建物強度に対する考慮

大口径配管の支持構造物には、小口径配管と比較して大きな荷重が加わるので、配管支持構造物についてはもちろん、配管支持構造物を取り付ける建物の強度についても十分考慮し、必要に応じて補強等の処置を講ずるものとする。

配管の耐震性に関する 計算書作成の基本方針 (多質点系はりモデル)

目 次

1. 概 要	補 3 - 7 - 参考 2 - 1
2. 耐震性に関する計算書の計算式及び評価方法	補 3 - 7 - 参考 2 - 1
2. 1 基本方針	補 3 - 7 - 参考 2 - 1
2. 2 計算条件	補 3 - 7 - 参考 2 - 1
2. 3 記号の説明	補 3 - 7 - 参考 2 - 4
2. 4 応力の計算方法	補 3 - 7 - 参考 2 - 6
2. 5 荷重の組合せと応力評価	補 3 - 7 - 参考 2 - 7

1. 概 要

本基本方針は、配管（耐震設計上の重要度分類Sクラス。但しダクトを除く。）の耐震性についての計算方法を示す。

なお、本計算方法は、「原子力発電所耐震設計技術指針」（J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7, 社団法人日本電気協会）に準拠したものである。

2. 耐震性に関する計算書の計算式及び評価方法

2. 1 基本方針

(1) 解析方法

地震荷重算出において動的解析を実施する場合は、応答スペクトル・モーダル解析を行い、その他の荷重に対しては、静的解析を行う。

(2) 解析手順

解析手順及び評価区分の概要を第2. 1 - 1 図に示す。

2. 2 計算条件

(1) 荷重の種類

耐震計算には、以下の荷重を考慮する。

- a. 内圧
- b. 機械的荷重（自重、その他の長期的荷重）
- c. 機械的荷重（逃がし安全弁の吹き出し反力、その他の短期的荷重）
- d. 地震荷重（ S_d , S_s による慣性力及び相対変位）

(2) 解析モデル

配管系のモデル化を行う場合、下記を考慮してモデル化を行う。

- a. 配管系は、多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、捩り、軸力に対する剛性を考慮する。
- b. 弁等の偏心重量があり、その影響が無視できない場合は、適切なモデル化を行う。
- c. 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- d. 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。
ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合には、この限りではない。
- e. 節点は、応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- f. 配管の支持構造物は、下記の境界条件として扱うことを基本とする。
 - (a) レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - (b) ス ナ バ：拘束方向の剛性を考慮する。
 - (c) ア ン カ：6方向の剛性を考慮する。
- g. 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材、管内流体の質量を考慮するものとする。
- h. 腐食代を考慮する配管については、剛性及び応力評価に腐食代を考慮する。
なお、重量には、腐食代を考慮しない。

(3) 設計用地震力

多質点解析に適用する設計用地震力は、第7条整理資料 補足説明資料2-1「耐震設計の基本方針」に示す方法で算定する。

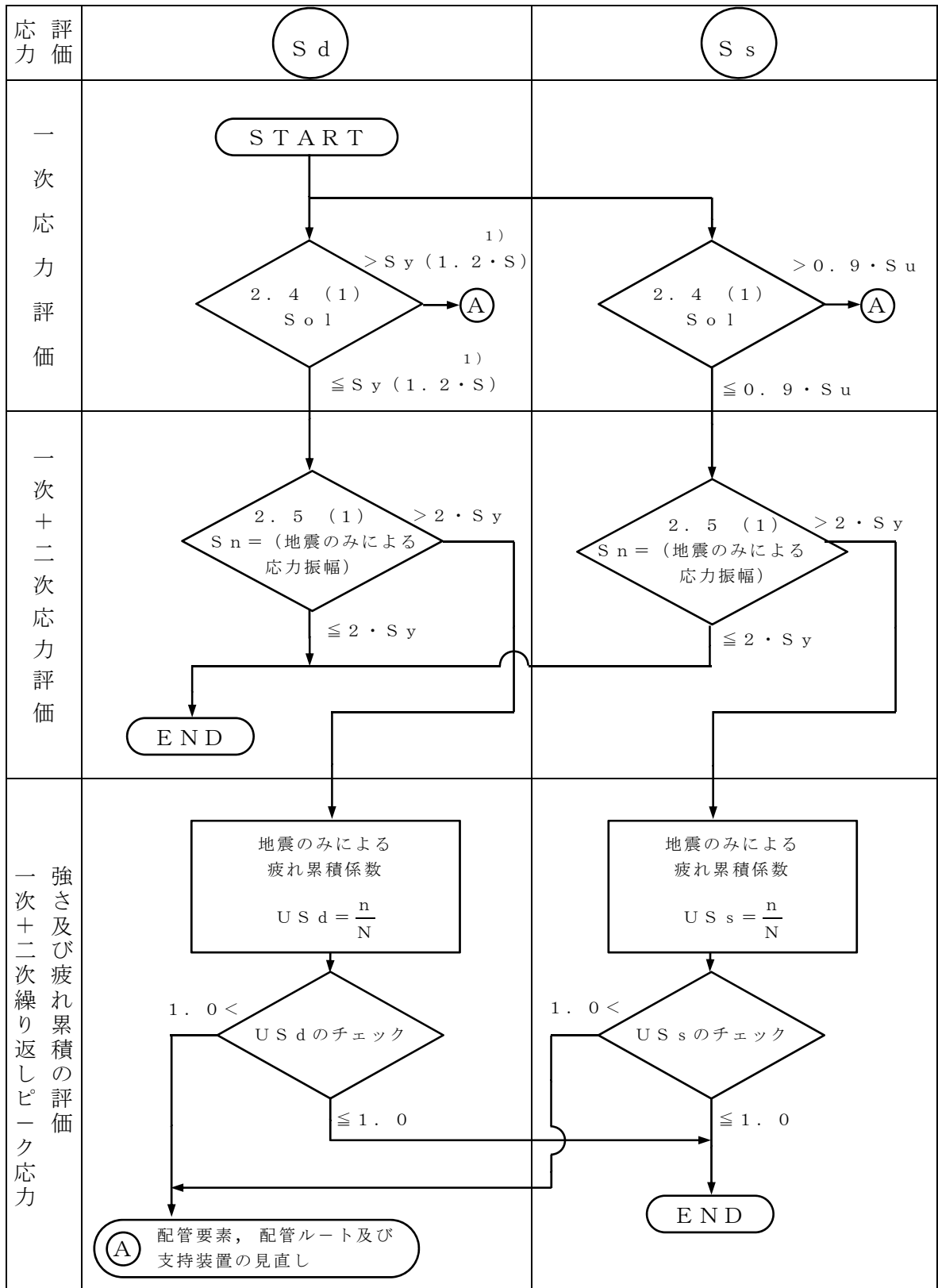
適用する床応答曲線は、当該配管の据付位置のものを用いる。

(4) 応答スペクトル・モーダル解析法

配管系動的解析手法としては、応答スペクトル・モーダル解析法を用いる。

本方法は、配管系の各固有モードの最大応答が、設計用床応答曲線を用いることにより求められ、系の最大応答は、各モードの応答の重ね合せにより求められる。

すなわち、配管系の最大変位及び最大内力は、20Hz以下の固有モードに対しての地震応答の二乗和平方根によって求められる。



注記 1) : 本図中の1)印は、オーステナイト系ステンレス系鋼及び高ニッケル合金については $1.0 \cdot S_y$ と $1.2 \cdot S$ のうちいずれか大きい方の値とすることを示す。

第2.1-1図 配管の応力評価手順図

2.3 記号の説明

本書の記号	耐震性についての計算書の記号	表示内容	単位
D_o		管の外径	mm
i_1		応力係数で「J S M E S N C 1」 ¹⁾ P P C - 3 8 1 0 による値又は1.33のいずれか大きい値	—
i_2		応力係数で「J S M E S N C 1」 ¹⁾ P P C - 3 8 1 0 による値又は1.0のいずれか大きい値	—
M_a		機械的荷重（長期的荷重に限る。）によるモーメント	N・mm
M_b		機械的荷重（地震を含めた短期的荷重に限る。）によるモーメント	N・mm
M_b^*		S_d 又は S_s の慣性力により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_c		S_d 又は S_s の相対変位により生ずるモーメントの全振幅	N・mm
n		実際の繰返し回数	—
N		許容繰返し回数（「J S M E S N C 1」 ¹⁾ 添付4-2による。）	—
P		最高使用圧力	M P a
P_m		内面に受ける最高の圧力	M P a
S	S	最高使用温度における許容引張応力（「J S M E S N C 1」 ¹⁾ 付録材料図表 P a r t 5 表5による。）	M P a
S_{oL}		一次応力（短期的荷重を含む。）	M P a
	$S M a$	自重応力	M P a
	$S M b$	地震応力（短期的機械的荷重による応力も含む。）	M P a
S_n		一次＋二次応力（短期荷重含む。）	M P a
	$S p$	最高使用圧力による内圧応力	M P a
	$S p m$	P_m による内圧応力	M P a
	$S s (S d)$	S_d 地震による一次＋二次応力	M P a
	$S s (S s)$	S_s 地震による一次＋二次応力	M P a
	$S u$	最高使用温度における設計引張強さ（「J S M E S N C 1」 ¹⁾ 付録材料図表 P a r t 5 表9による。）	M P a

本書の記号	耐震性についての計算書の記号	表示内容	単位
t	S _y	最高使用温度における設計降伏点（「JSME S NC 1」 ¹⁾ 付録材料図表 Part 5 表 8 による。）	MPa
		管の厚さ	mm
Z	U S _d	S _d 地震による疲れ累積係数	—
	U S _s	S _s 地震による疲れ累積係数	—
		断面係数	mm ³
	III _A S	S _d 地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
	IV _A S	S _s 地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—

1) : 「JSME S NC 1」とは、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む））JSME S NC 1-2005/2007」をいう。

なお、「JSME S NC 1」に値の記載がない場合は、別途定められた規格・基準等を準用するものとする。

2. 4 応力の計算方法

(1) 一次応力の計算方法

許容応力状態Ⅲ_AS及びⅣ_ASにおける一次応力は次式による。

$$S_{oL} = \frac{P_m \cdot D_o}{4 \cdot t} + \frac{0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b)}{Z}$$

(2) 一次＋二次応力の計算方法

許容応力状態Ⅲ_AS及びⅣ_ASにおける一次＋二次応力は次式による。

$$S_n = \frac{0.75 \cdot i_1 \cdot M_b^* + i_2 \cdot M_c}{Z}$$

2. 5 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価について第2. 5-1表に示す。

第2. 5-1表 荷重の組合せと応力評価

種 別	重要度 分 類	荷重の組合せ	許 容 応 力		
			一次応力	一 次 + 二次応力	一 次 + 二 次 + ピーク応力
配管 (ダクトを除く)	S	D + P _d + M _d + S _d	S _y ただしオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2S _y のいずれか大きい方とする		S _d 又はS _s 地震動のみによる疲れ解析を行い、疲れ累積係数が1.0以下であること。ただし地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2S _y 以下であれば、疲れ解析は不要である。 ¹⁾
		D + P _d + M _d + S _s	0.9S _u		

1) : 2S_yを超える時は弾塑性解析を行うこととする。

記号の説明

- D : 死荷重
- S_d : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力
- S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力
- P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_y : 設計降伏点
- S_u : 設計引張強さ
- S : 許容引張応力

地震応答解析の基本方針

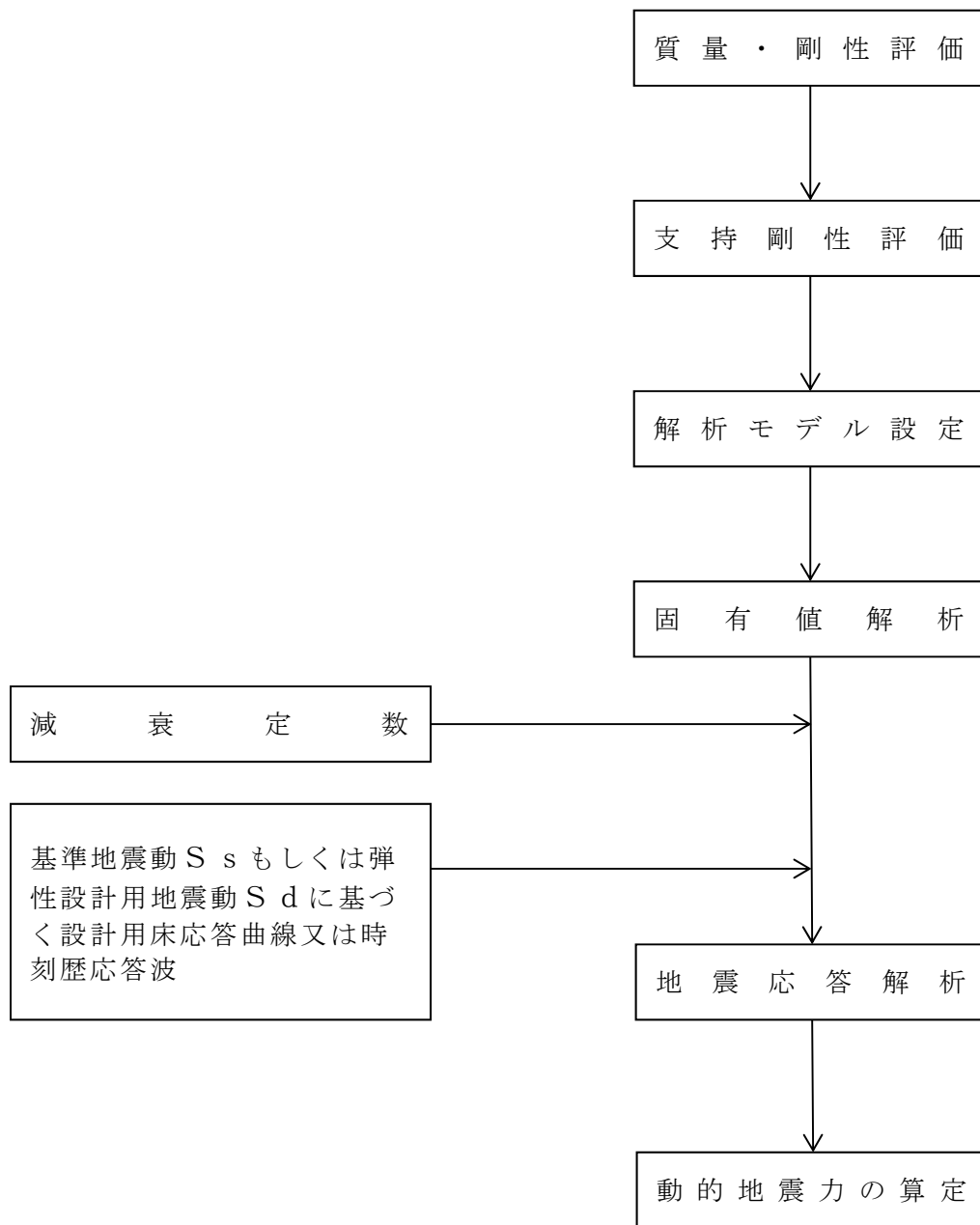
目 次

1. 概 要	補 3 - 7 - 参考 3 - 1
2. 機器・配管系の応答解析	補 3 - 7 - 参考 3 - 3
2. 1 入力地震動	補 3 - 7 - 参考 3 - 3
2. 2 解析方法及び解析モデル	補 3 - 7 - 参考 3 - 4
3. 減衰定数	補 3 - 7 - 参考 3 - 4
4. 解析プログラム	補 3 - 7 - 参考 3 - 7

1. 概 要

本資料は、機器・配管系の耐震設計を行う際の地震応答解析の基本方針をまとめたものである。

機器・配管系の応答解析の手順を第1. - 1図に示す。



第 1. - 1 図 機器・配管系の地震応答解析の手順

2. 機器・配管系の応答解析

2. 1 入力地震動

機器・配管系の地震応答解析の入力地震動は、基準地震動 S_s に基づいた当該機器・配管系の設置床における設計用床応答曲線又は時刻歴応答波とする。なお、建屋応答解析における各入力地震動が接地率に与える影響を踏まえ、誘発上下動を考慮するモデルを用いている場合については、鉛直方向の加速度応答時刻歴に、以下のとおり誘発上下動を考慮することとする。

- ・ $V+X_v$
- ・ $V+Y_v$
- ・ $V-X_v$
- ・ $V-Y_v$

(V : 鉛直方向地震力に対する鉛直方向の加速度応答時刻歴, X_v : X 方向地震力に対する誘発上下動の加速度応答時刻歴, Y_v : Y 方向地震力に対する誘発上下動の加速度応答時刻歴)

2. 2 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析法を選定するとともに、解析条件として考慮すべき減衰定数、剛性等の各種物性値は、適切な規格・基準、あるいは実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては、形状、構造特性等を考慮して、代表的な振動モードを適切に表現できるよう質点系モデル、有限要素モデル等に置換し、設計用床応答曲線を用いた応答スペクトル・モーダル解析法又は当該機器の設置床の時刻歴応答波を用いた時刻歴応答解析法により応答を求める。また、時刻歴応答解析法又は応答スペクトル・モーダル解析法を用いる場合は材料物性の不確かさを適切に考慮する。

配管系については、熱的条件及び口径から高温配管又は低温配管に分類し、その仕様に応じて適切なモデルに置換し、設計用床応答曲線を用いた応答スペクトル・モーダル解析法又は時刻歴応答解析法により荷重等を求める。応答スペクトル・モーダル解析法及び時刻歴応答解析法の選択に当たっては、解析対象とする現象、対象設備の振動特性・構造特性等を考慮し適切に選定する。

3次元の広がりを持つ設備については、3次元的な配置を踏まえ、適切にモデル化し、水平2方向及び鉛直方向の応答成分について適切に組み合わせるものとする。

剛性の高い機器は、その機器の設置床面の最大応答加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて構造強度評価に用いる地震力を算定する。

a. 解析方法

機器・配管等の地震応答解析は、原則として設計用床応答曲線を用いる応答スペクトル・モーダル解析法による。応答スペクトル・モーダル解析法を採用する機器・配管等の応答の最大値は、二乗和平方根法により求める。また、当該機器・配管等の設置床における時刻歴応答波を用いる場合は、時刻歴応答解析法による。

b. 解析モデル

機器・配管系の解析には、その形状及び支持方法を考慮して1質点系はり、多質点系はり、等分布荷重連続はり又は有限要素法のモデルを用いる。

3. 減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は、JEAG4601-1987, 1991に記載されている減衰定数を設備の種類、構造等により適切に選定するとともに、試験等で妥当性が確認された値も用いる。具体的には、第3.-1表に示す値を用いる。

第3. -1表 減衰定数

設備	減衰定数(%)	
	水平	鉛直
鉄筋コンクリート	3	3
鉄骨	2	2
溶接構造物	1.0	1.0
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0
配管 ^{1) 3)}	0.5~3.0	0.5~3.0
空調用ダクト	2.5	2.5
ポンプ等の機械装置	1.0	1.0
電気盤 ²⁾	4.0	1.0
クレーン ³⁾	2.0	2.0

- 注記 1) : 配管設計用減衰定数は、第3. -2表の下に示す適用条件を満たすならば、各振動モードについて一律に第3. -2表に示す値を用いるものとする。ただし、適用条件を満たさないものについては、一律に0.5%とする。
- 2) : 電気盤の水平方向の設計用減衰定数は、自立閉鎖型の電気盤は4.0%、その他の電気盤は1.0%とする。
- 3) : 既往の研究等において、試験及び解析などにより妥当性が確認されている値。

第3. -2表 配管の設計用減衰定数

配管区分		設計用減衰定数 ^(注1) (%)	
		保温材有	保温材無
I	スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系でその支持具(スナバ又は架構レストレイント)数が4個以上のもの	2.5	2.0
II	スナバ, 架構レストレイント, ハンガ等を有する配管系でその支持具(アンカー及びUボルトを除く)数が4個以上のもの	1.5	1.0
III	Uボルトを有する配管系で, 架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上 ^(注3) のもの	3.0 ^(注2)	2.0 ^(注2)
IV	配管区分I, II及びIIIに属さないもの	1.0	0.5

(注1) 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

(注2) JEAG4601-1991 追補版で規定されている配管系の設計用減衰定数に, 既往の研究等において妥当性が確認された値を反映

(注3) 解析ブロック端からブロック端までの間に, 水平配管の自重を架構で受けるUボルトの支持具の数(解析ブロック端は6軸拘束のアンカー若しくは, x, y, zの各方向をそれぞれ2回ずつ拘束するサポート群)

適用条件

- (1) 設計用減衰定数は, アンカーからアンカーまでの独立した振動系である配管に対して適用するものとする。
- (2) 設計用減衰定数は, 当該配管が設置される建物・構築物の1次固有周期より短周期側で設計される場合に適用するものとする。

- (3) 支持具数の算定に際しては、当該支持点を同一方向に複数の支持具で分配して支持する場合には、支持具数は1個として取り扱い、同一支持点を複数の支持具で2方向に支持する場合には支持具数は2個として取り扱うものとする。
- (4) 支持具は、その位置及び方向が配管全体としてみた場合、局所的に集中していないこととする。
- (5) 支持点間の間隔については、次の条件を満たすよう配慮する。

$$\frac{\text{配管全長}}{\text{配管区分ごとに定められた支持具の支持点数}} \leq 15 (\text{m} / \text{支持点})$$

ここで支持点とは、支持具が取り付けられている配管節点をいい、複数の支持具が取り付けられている場合も1支持点とする。

4. 解析プログラム

解析プログラムは、その信頼性が確認されたもので、既設の原子力施設及び一般の構造物の構造解析等に使用実績を持つものとする。

令和2年1月10日 R0

補足説明資料 7-6 (11条)

破損配管からの蒸気噴流の影響について

1. 概要

蒸気影響評価における蒸気の拡散解析では、破損箇所から漏えいする蒸気は区画内に均一に広がり、同一区画内の温度は1つの平均値になるとしている。一方、実際には配管破損位置からごく近傍は漏えい蒸気の直接噴出による溢水防護対象設備への影響が考えられるため、想定破損における蒸気影響評価にて評価対象としている配管と溢水防護対象設備との位置関係を確認し、溢水防護対象設備が配管を直視できる場合は、その温度影響について評価する。

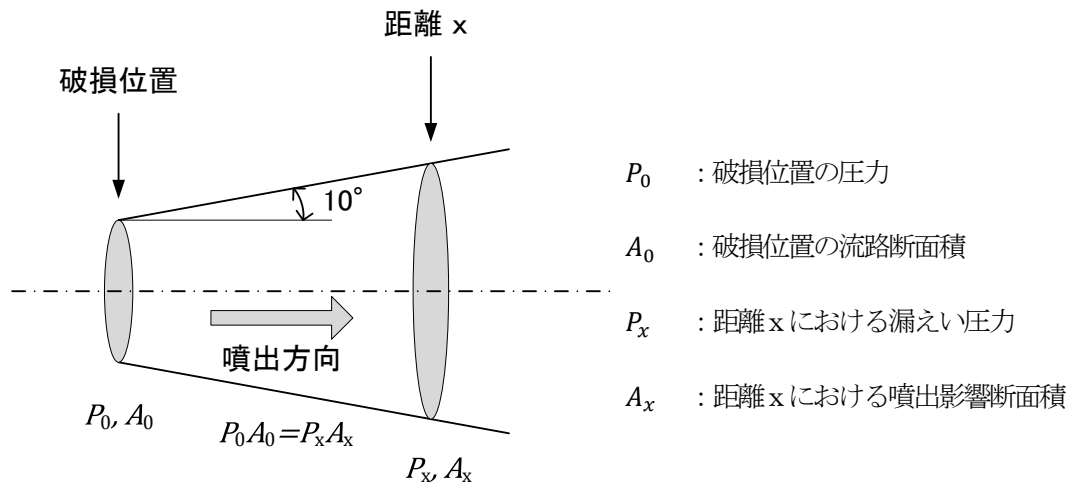
2. 温度影響について

漏えい蒸気の直接噴出による影響を評価するため、溢水防護対象設備が配管を直視できる場合は、噴流工学^{※1}における乱流／軸対称円形噴流のフローモデルを参考に、配管破損位置から溢水防護対象設備までの距離と漏えい圧力及び漏えい温度との関係を算出する。

具体的には、第1図のように蒸気が配管破損位置から 10° の拡がり角度をもって円錐状に噴出するものとし、配管破損箇所からの距離における漏えい圧力に対応する飽和温度を算出する。この場合において、空気抵抗等によるエネルギー損失は保守的に考慮しない。

なお、この手法は、蒸気が漏えい箇所から離れるにつれ冷えることによる凝縮又はサブクール水が大気圧下へ漏えいする際の蒸発といった事象を含む場合に対しても問題なく使用できることから、単相、二相流に関係なく評価ができる。

※1：参考文献 社河内 敏彦：森北出版株式会社，噴流工学



第1図 直接噴出による影響概要図

以上

令和2年1月10日 RO

補足説明資料 9-1 (11条)

耐震 B, C クラスの溢水防護対象設備 (例)

本施設における耐震 B, C クラス機器の溢水防護対象設備の代表例を第 1 表に示す。

第 1 表 耐震 B, C クラス機器の溢水防護対象設備 (例)

設備名	装置名	機器名称	機器番号
貯蔵容器一時保管設備	一時保管ピット	一時保管ピット	PA0112-M-01101
原料MOX粉末缶一時保管設備	原料MOX粉末缶一時保管装置	原料MOX粉末缶一時保管装置	PA0122-M-01110
燃料棒検査設備	燃料棒移載装置	ゲート-1	PA0146-M-60121

以上