

平成 26 年度 経済産業省委託

石油精製業保安対策事業

(高圧ガス取扱施設における地震・津波の対応に関する調査)

(1) 今後の高圧ガス設備等の耐震対策等の検討

2) 高圧ガス設備配管系耐震診断マニュアルの検討

報 告 書

平成 27 年 3 月

高圧ガス保安協会

まえがき

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下「東日本大震災」という。）においては、一部の高圧ガス設備で火災・爆発等が発生し、社会的に大きく扱われた事故が発生したほか、津波浸水区域で、様々な高圧ガス設備や容器の損壊、流出等が発生した。

このため、平成 23 年 7 月より総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会を 5 回開催し、東日本大震災による高圧ガス施設等の地震・津波による被害の調査・分析に基づき、今後の高圧ガス分野における地震・津波対策について検討を行い、「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について」を取りまとめ、平成 24 年 4 月 27 日に公表したこの方向性に基づき、具体的な方策、基準等の検討や、事業者による取り組みの促進といった対策の具体化を推進していく必要がある。

以上のことに鑑み、高圧ガス設備における地震及び津波に対する保安の向上を図るため、平成 19 年度委託の成果である高圧ガス設備配管系耐震診断マニュアルに関して、平成 24 年度委託事業で行った課題検討等の成果及びこれまでに経済産業省が業界団体に依頼を行い取り纏めたマニュアルを利用する上での意見等（試行結果）を踏まえ、見直しを行った。

本委員会の活動にあたっては、ご多忙のところ、熱心に取り組んでいただいた委員長及び委員の方々、ならびに関係機関および業界からの献身的なご協力をいただき、心から御礼申し上げます。

高圧ガス保安協会

高圧ガス設備配管系耐震診断マニュアルの検討委員会 名簿

1) 委員会

【委員長】

鈴木 浩平 首都大学東京 名誉教授

【委員】

高田 一 横浜国立大学 大学院工学研究院 教授

小林 英男 東京工業大学 名誉教授

渡邊 鉄也 埼玉大学 大学院理工学研究科 教授

枝浪 圭介 神奈川県 安全防災局安全防災部工業保安課 技師

稲葉 忠 有限会社プラント地震防災アソシエイツ 取締役

池田 雅俊 株式会社プラント耐震設計システムズ 代表取締役 社長

安藤 文雄 日本インターグラフ株式会社 Process, Power & Marine 技術1部 部長

上野 高志 東洋エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括本部

空間エンジニアリング部 次席技師

市川 雄策 千代田化工建設株式会社 ChAS 事業本部 エンジニアリングソリューションユニット 耐震・防災セクション 配管グループ グループリーダー

板垣 顕児 東洋エンジニアリング株式会社 エンジニアリング本部

国内顧客エンジニアリングサービス部 配置・配管設計チーム

飯田 俊久 日揮プラントイノベーション株式会社 エンジニアリング事業部 配管部

技術グループ テクニカルアドバイザー

吉岡 樹男 JX 日鉱日石エネルギー株式会社 技術部 設計グループ

担当マネージャー

2) ワーキング グループ

【主査】

稲葉 忠 有限会社プラント地震防災アソシエイツ 取締役

【委員】

渡邊 鉄也 埼玉大学 大学院理工学研究科 教授

池田 雅俊 株式会社プラント耐震設計システムズ 代表取締役 社長

安藤 文雄 日本インターグラフ株式会社 Process, Power & Marine 技術1部 部長

市川 雄策 千代田化工建設株式会社 ChAS 事業本部 エンジニアリングソリューションユニット 耐震・防災セクション 配管グループ グループリーダー

板垣 顕児 東洋エンジニアリング株式会社 エンジニアリング本部

国内顧客エンジニアリングサービス部 配置・配管設計チーム

飯田 俊久 日揮プラントイノベーション株式会社 エンジニアリング事業部 配管部

技術グループ テクニカルアドバイザー

吉岡 樹男 JX 日鉱日石エネルギー株式会社 技術部 設計グループ担当マネージャー

注) 敬称略、順不同

目次

1. 調査概要	1
1.1 調査目的.....	1
1.2 調査方法.....	1
1.3 調査内容.....	1
2. 業界の意見及び要望に関する本年度調査における討議結果.....	3
2.1 平成 24 年度委託調査における業界の意見等に関する本年度討議結果.....	3
2.2 平成 25 年度に経済産業省が取り纏めた業界の意見等に関する本年度討議結果	5
3. 「耐震診断マニュアル」の改定.....	8
3.1 「耐震診断マニュアル」の簡略化について	8
3.2 高圧ガス保安協会発行の「高圧ガス設備等耐震設計指針」の章構成との整合	8
3.3 文章修正、削除等	9
4. まとめ.....	12
5. 業界からの要望と今後の課題	12
5.1 業界からの要望の概要.....	12
5.2 業界からの要望を踏まえた今後の課題	13

1. 調査概要

1.1 調査目的

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下「東日本大震災」という。）においては、一部の高圧ガス設備で火災・爆発等が発生し、社会的に大きく扱われた事故が発生したほか、津波浸水区域で、様々な高圧ガス設備や容器の損壊、流出等が発生した。

このため、平成23年7月より総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会を5回開催し、東日本大震災による高圧ガス施設等の地震・津波による被害の調査・分析に基づき、今後の高圧ガス分野における地震・津波対策について検討を行い、「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について」を取りまとめ、平成24年4月27日に公表したこの方向性に基づき、具体的な方策、基準等の検討や、事業者による取り組みの促進といった対策の具体化を推進していく必要がある。

以上のことに鑑み、高圧ガス設備における地震及び津波に対する保安の向上を図るため、平成19年度委託の成果である高圧ガス設備配管系耐震診断マニュアル（以下、「耐震診断マニュアル」という。）に関して、平成24年委託事業で行った課題検討等の成果及びこれまでに経済産業省が業界団体に依頼を行い取り纏めた「耐震診断マニュアル」を利用する上での意見等（試行結果）を踏まえ、見直しを行う。

1.2 調査方法

平成19年度石油精製業保安対策事業（石油精製プラント等の耐震性診断法及び耐震性向上対策法に関する調査研究）の成果を有効に活用するため、その普及のための課題検討等を平成24年度委託事業にて実施を行っている。本年度は、平成19年度委託の成果物である「耐震診断マニュアル」に関して、平成24年委託事業で行った課題検討等の成果及びこれまでに経済産業省が業界団体に依頼を行い取り纏めた「耐震診断マニュアル」を利用する上での意見等を踏まえ、見直しを行う。

1.3 調査内容

(1) これまでの経緯

既存の高圧ガス配管の耐震対策の方向性において、委託事業で平成17年度から19年度にかけて、「高圧ガス設備配管系耐震診断マニュアル」が作成された。

その後、上記1.1にあるとおり平成23年3月11日に発生した東日本大震災を踏まえた高圧ガス配管の対策として平成19年度作成の「耐震診断マニュアル」に基づき配管系の耐震診断を行うことが望ましいとされ、平成24年度委託事業において主な業界団体（石油連盟、石油化学協会、日本LPガス協会、日本産業・医療ガス協会）に対して「耐震診断マニュアル」の説明会を実施し、意見及び要望を取り纏めた。

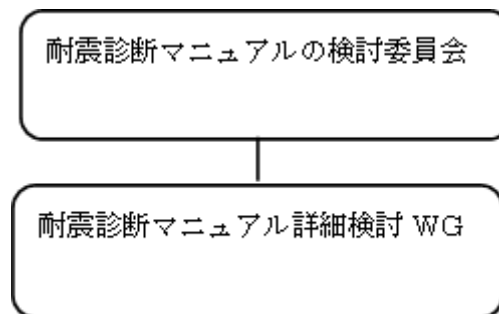
続いて、平成25年度には経済産業省が業界団体に依頼を行い、「耐震診断マニュアル」を利用する上での意見等を取りまとめた。

(2) 調査内容

- 1) 業界の意見及び要望に関する本年度調査における討議結果
- 2) 「耐震診断マニュアル」の改定
- 3) まとめ
- 4) 業界からの要望と今後の課題

(3) 委員会の運営及び開催

図のように委員会及びWG（ワーキンググループ）を設置し、検討を行った。



(4) 委員会及びWGの開催日及び議事

1) 委員会

回	開催日	議 題
第1回	平成26年8月26日（火）	1. 実施計画（案）審議 2. 事業者の報告の説明及び質疑
第2回	平成26年10月29日（水）	1. 疑問点及び要望についての検討内容進捗状況
第3回	平成27年3月3日（火）	1. 「耐震診断マニュアル」の改正 2. 報告書（案）審議

2) WG

回	開催日	議 題
第1回	平成26年9月10日（水）	1. 技術面における疑問点及び要望についての詳細検討
第2回	平成26年9月18日（木）	1. 構成内容と各委員の役割分担の討議
第3回	平成26年10月15日（水）	1. 「耐震診断マニュアル」第1次案の討議 2. 一般事項討議 ・対象範囲・許容限界（地震影響比、閾値） ・評価範囲（弁、伸縮継手、サポート、支持構造物） ・簡易図表・ワークシート、書式
第4回	平成26年12月4日（木）	1. 「耐震診断マニュアル」簡略化についての討議 2. 「耐震診断マニュアル」第1次案改2の説明及び討議

		3. 担当者による進捗状況、問題点の説明
第 5 回	平成 27 年 1 月 21 日（水）	1. 「耐震診断マニュアル」の改正案検討
第 6 回	平成 27 年 2 月 9 日（月）	1. 「耐震診断マニュアル」の改正案検討 2. 報告書（案）討議

2. 業界の意見及び要望に関する本年度調査における討議結果

2.1 平成 24 年度委託調査における業界の意見等に関する本年度討議結果

平成 24 年度の委託調査において抽出された業界の意見及び要望についての本年度委員会での討議結果を下表にまとめた。

(1) 「耐震診断マニュアル」の改訂の方向性	
業界の意見及び要望	本年度討議結果
1. 震災での配管の損傷事例の掲載 ・「東日本大震災における配管の損傷事例について数件公表されているが、それ以外の配管の損傷事例についても可能な限り紹介して欲しい。できるだけ多くの事例を参考にして、今後の耐震診断を実施していきたい」との要望があった。	新たな損傷事例の写真を入手することができなかったため、今回の「既存配管系耐震診断法のガイド」（以下、単に「ガイド」という。）には損傷事例の写真掲載は見送った。
2. パターン化されていない配管系の耐震性能評価方法 ・空気分離装置の特徴として液化ガス用の配管はダクトの中に配置されており、ダクトの中は保冷材としてロックウール、パーライトが充填されているケースで、サポートの位置が不明な場合がある。そのような時のダクトと内部配管の耐震性能の評価方法について検討する。また、真空 2 重管では、内管のサポート位置はメーカーのノウハウもあるため開示されていない場合があり、そのような仕様での評価方法についても併せて検討する。	2.2 平成 25 年度の意見等に関する本年度討議結果 6. に関する討議結果欄を参照。
3. 設備ごとの具体的なチェックポイントの明示 ・具体的な視点や、チェックポイントの具体性及び定量的な診断基準の検討を行う。	「付録 7 目視点検の着眼点の例」で写真を掲載し、わかりやすくした。また、定量的な診断として、定量評価をわかりやすくした。

4. 対象配管の絞り込み ・試行結果をもとに検討する。	対象配管は、従来通り、告示と同じ適用配管とした。
5. 一次診断の4段階の耐震性レベルの分類(A,B,C,D)における改善の必要な段階の明確化 ・試行結果をもとに、明確化すべきかどうかの検討を行う。	一次診断、二次診断を目視点検と簡易耐震定量評価および詳細耐震定量評価と変更するとともに、耐震レベルの分類は、告示通りの評価に変更し、OKかNGかを明確にした。
6. 耐震診断者の選定方法の明確化 ・耐震告示の適用を受ける配管系の設計に従事した経験年数、講習会参加実績等による選定方法の明確化の必要性についての検討を行う。	行政が運用を定める場合には検討が必要である。
7. 配管系の二次耐震診断定量評価 ・重要度Ⅰ、Ⅰaの診断事例を掲載する。 ・ホールの改造等に関連する液状化調査の考え方についての検討を行う。	二次耐震診断定量評価は詳細耐震定量評価とした。 ・診断例を掲載した。 ・液状化の検討は耐震告示及び高圧ガス設備等耐震設計指針（高圧ガス保安協会 2012）によるが、その他土木分野・建築分野の基準類も参考になる。
(2) 診断を進めるに当たっての課題	
業界の意見及び要望	本年度討議結果
1. 耐震診断者の講習会等の検討 ・耐震診断者の育成方法については、計算方法及び目視判断の習得方法等具体的なプログラムを作成する必要がある。 ・また開催時期は、平成25年度に行われる業界団体の試行から課題を更に抽出し、平成26年度中に「耐震診断マニュアル」にその結果を反映させ、平成26年度末までになるべく早く開催するように努める。	・今後必要に応じて耐震診断者の講習会について詳細検討を行う。 ・日本高圧力技術協会（HPI）が実施している圧力設備診断技術者の資格認証は、配管耐震診断の内容を含んでいるので参考になる可能性がある。 ・耐震診断者の資格制度の検討と講習会の活用その他、事業所の設備管理者に、耐震診断の基本的知識を得てもらうことが、「既存配管系耐震診断法のガイド」の利用に有効である。
2. 制度的な検討 ・実際に事業者が耐震診断を実施した際の、報告先、報告内容に加え、耐震補強等を行う際の法手続等について検討が必要である。	行政が運用を定める場合には検討が必要である。

3. 技術的相談先の検討 耐震評価及び耐震改修に関する技術的な相談先を設置することを期待。	- 高圧ガス保安協会では、球形貯槽については既に事業所の支援のため技術評価を行っているが、配管についても必要に応じて今後検討する。 - エンジニアリング会社やコンサルタント会社では、既に対応できる場合もある。
--	---

2.2 平成 25 年度に経済産業省が取り纏めた業界の意見等に関する本年度討議結果

平成 25 年度経済産業省が業界団体に依頼をし、取り纏めた業界の意見等についての本年度委員会での討議結果を下表にまとめた。

業界の意見及び要望	本年度討議結果
1. 耐震診断の目的は。 - 耐震告示への適合性チェックか。 - 事業者リスクを認識させるためか。 - 事業者のリスクマネジメントに供するためか。	耐震告示への適合性をチェックすることが目的となるが、そうすると耐震告示に基づいて診断すればよいという意見が出てくる。 従って、告示との違い（レベル 2 は簡易な手法を認めている点、判定基準を緩和している点、周辺構造物との干渉等を追加している点、等）は明確に示した。
2. 診断マニュアルは誰を対象にするか。 - 事業所の設備管理者か。 - 設計会社の配管設計技術者か。 - 耐震専門家か。	事業所の設備管理者でも理解できるようにするためには、前提として耐震診断の基本的な知識を得ておくことが必要である。このことは、耐震診断者の資格制度の検討、講習会の開催等と合わせて考慮すべきである。
3. 診断対象配管の選定、順位付けはどうするか。当初は、計画的に調査するように言っていた。 - 重要度の高いものから。 - 事業者がリスクアセスメントを実施して決定。	現在は、対象となる配管は、耐震告示の適用範囲と同一となっている。 ただし、対象となる配管が非常に多いので、実施する順番は、各事業所の判断による。従って、重要度の高い順に行う場合、リスクアセスメントを実施して決定する場合のいずれもあり得る。
4. 現在の診断マニュアルを改訂するか、新たに別のマニュアルを作つて必要に応じて呼び出すことにするのか。 - 診断マニュアルを改訂 - 別のマニュアルを作成し、診断マニュアルを呼び出す 「耐震診断マニュアル」を改訂するとともに	現在のマニュアルに図表の追加等をする改訂を行うとともに、基本的な考え方を述べるガイドラインを作成することを検討したが、耐震診断指針に一本化する方向とし、ガイドラインは作成しないこととした。

業界の意見及び要望	本年度討議結果
に、基本的考えを述べるガイドラインを作成。	
5. 定量的判断基準とするか、定性的判断とするか。 ・定量的判断は属人性がなくなるが時間がかかる。 ・定性的判断は判定者によるばらつきが出る。 ・現在のマニュアルは定量的評価がベース。 ・統一的な規準とするのか業界ごとの規準を作成するのか。	定量的判断基準がベースとなる。 将来的には業界別に注意点や事例を含めたマニュアルが出来れば望ましい(神奈川県高圧ガス保安協会殿のマニュアルでは、少しではあるが事例紹介を含めている)。
6. 寸法測定できない以下の個所についての評価方法の記載が欲しい。 ①角ダクト(ダクト内パーライト充填)中の液化ガス用配管についての評価方法。 ②1000mmを超える配管についての適用について	①不明な場合は、一体として外管に関して判別する。ただし、角ダクトのように円管でない場合は、当該断面のEIとZの値が等しい管(相当するDとtが決まる)に置き換える。この場合のスパン長は告示17条の表からD近傍の代表管径D0により換算する。ただし、重量は内管、外管及びその他保冷材等の関連重量すべてとする。 ②1000mmを超える配管については、許容スパン法は適用できないので、通常の運転状態における設計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(告示第2条第2項1号のイ)
7. 簡易法(スパン法)と詳細解析(指針に従った方法)は選択できないか。 ・簡易法を行ってアウトだったら詳細解析。(現在) ・簡易法と詳細解析のどちらでも良しとする。	一次診断、二次診断という考え方を見直し、評価方法は、簡易法と詳細解析のいずれも選択可能とした。
8. 重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の定量的評価を詳細解析にしようとする、支持構造体の強度計算が必要となり、踏み切れない。	重要度にかかわらず、詳細解析による場合も支持構造体の強度計算は要求しない。
9. 基準制定以前に建設されたパイプラッ	目視点検等によって仕口、基礎アンカーボルト

業界の意見及び要望	本年度討議結果
ク等配管支持構造体の耐震診断はどうしたらよいか。	など地震荷重が集中する部位の健全性を確認することとする。
1 0. ワークシートの点検項目が多い。 ・ 共通の標準フォーム ・ 設備別フォーム ・ 損傷モード別フォーム	・ 標準フォームを掲載した。 ・ 事業所の特殊性に応じ、変更は可能とする。
1 1. 耐震性改善案の検討は。	診断が目的であり、改善案は含めない。
1 2. 計画書、報告書が多く、実例を示してほしい。	報告書は、耐震診断報告書に一本化する方向で検討する。
1 3. 「耐震診断マニュアル」と設計指針があつて、指針と同じかどうか分からないところがある。	高圧ガス設備等耐震設計指針(高圧ガス保安協会 2012)(以下、「耐震設計指針」という。)と同じところは省略するようにし、「耐震設計指針」参照とした。また、既存の「耐震設計指針」との区別を明確にするため、及び事業者が遵守すべき規定としての意味合いが強すぎることから「耐震診断マニュアル」を「ガイド」と名称変更した。
1 4. 報告書書式の提供 ・ フォームは統一するか。自由か。 ・ 標準フォームのソフトを提供するか。	各事業所で追加したい項目などもでるため、書式は自由とする。
1 5. 温度が高くても可撓性のある配管の耐震診断は。	耐震設計を行う者の常識ではあるが、熱応力、耐震ともに満足することを確認する。
1 6. 耐震診断支援システム ^{*)} を使えるようにできないか。 *) 平成 19 年度耐震診断用として作成された配管系の簡易強度計算等ができるプログラムソフト。	耐震診断支援システムを使えるようにするためには、以下の対応が必要である。 ・ Windows XP で作成したシステムであり、現在の PC で使用するためには改修が必要である。 ・ 当該システムは耐震設計の知識がある技術者を対象としていることに注意が必要である。
1 7. 技術者を教育養成する上で、各地で講習会を開催して欲しい	「既存配管系耐震診断法のガイド」の講習会を企画する必要がある。
1 8. 基準に従って耐震設計が行われた配管系の耐震診断は。	診断の対象は、平成 12 年 3 月 31 日以前に設置された配管で、平成 9 年 4 月 1 日に施行された基準に適合が確認されていない配管。

3. 「耐震診断マニュアル」の改定

3.1 「耐震診断マニュアル」の簡略化について

事業所の設備管理者が理解できるように、出来る限りの簡略化を行った。

委員会の定めた簡略化の論点	簡略化の検討結果
①指針の使用者は設備管理者。 ②設計会社に外注する場合においても、設備管理者は理解した上で外注し、結果を評価できることが必要。 ③専門的事項、計算式が主体でとつきにくい。分かりやすくする。	①② 読みやすいよう文章の構成上の改編等を行い、本文を簡潔にするとともに、図やフランジ継手、弁、ノズル及び伸縮継手の重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価例、点検用のための写真例の追加及び他の例の見直しを行った。事業者の設備管理者は「既存配管系耐震診断法のガイド」を活用する前に耐震診断の基本的な知識を得ておく必要がある。 ③ 図の追加や、例題の見直し等も行い、分かりやすくした。

3.2 高圧ガス保安協会発行の「高圧ガス設備等耐震設計指針」の章構成との整合

章の構成を「耐震設計指針」にならうべきとの意見があり、構成を以下のように組み直した。また、今年度改訂版の太字下線部は新規作成のもの。

「耐震診断マニュアル」 (平成 19 年度版)	「ガイド」 (平成 26 年度版)
1 総則 1.1 適用 1.2 定義	第 1 章 総則 1.1 耐震診断法のガイドの概要 1.2 適用範囲 1.3 要求耐震性能 1.4 耐震診断の実施 1.5 重要度分類 1.6 診断用地震動及び地盤変状 1.7 地震動の影響要因に係る評価 1.8 配管系の耐震診断
2 耐震診断指針 2.1 適用範囲 2.2 耐震診断の実施 2.3 配管系の耐震診断 2.4 要求耐震性能 2.5 耐震診断用地震動及び地盤変状	第 2 章 配管系への地震入力
	第 3 章 目視点検
3. 配管系の耐震診断方法 3.1 耐震診断手順 3.2 耐震診断計画書 3.3 一次耐震診断 3.4 配管系の二次耐震診断 3.5 配管系の耐震診断報告書	第 4 章 重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の耐震定量評価 4.1 概要 4.2 配管系の詳細耐震定量評価 4.3 配管系の簡易耐震定量評価
4. 配管系の耐震診断と損傷モード	

4.1 配管系の損傷 4.2 地震の影響要因 5. 応答加速度及び相対変位 6. 耐震重要度Ⅰa、Ⅰ配管系の一次耐震診断定量評価 7. 耐震重要度Ⅱ、Ⅲ配管系の一次耐震診断定量評価 8. 配管系の二次耐震診断定量評価	第5章 重要度Ⅰa、Ⅰの配管系の耐震性能評価 5.1 概要 5.2 配管系の耐震定量評価 5.3 配管系の詳細耐震定量評価 5.4 配管系の簡易耐震定量評価
	付録1 配管系耐震診断例 1.1 配管 1.2 フランジ継手、弁、ノズル及び伸縮継手の重要度Ⅰa及びⅠの簡易耐震定量評価例
	付録2 簡易図表集
	付録3 地盤の液状化及び流動化の式
	付録4 配管系の損傷
	付録5 塑性率評価法、保有耐力評価法及び代替評価法による算出法
	付録6 変位吸収能力の評価手順詳細
	付録7 目視点検の着眼点の例（写真）
	付録8 点検シート

3.3 文章修正、削除等

平成19年度「耐震診断マニュアル」に関して以下の見直しを行い、「既存配管系耐震診断法のガイド」（平成26年度）に反映している。

番号	平成19年度版	「既存配管系耐震診断法のガイド」（平成26年度版）
1	章等の枠	章等の枠を無しに
2	地震影響比	耐震性能比に修正
3	一次耐震診断	簡易耐震定量評価に修正
4	二次耐震診断	詳細耐震定量評価に修正
5	1.5. 損傷モード	1.5. 地震動の影響要因に係る評価に修正
6	2.3 重要度分類 枠外の耐震重要度	1.3 重要度分類 告示第3条と同じ為削除
7	2.4 耐震重要度Ⅰa、Ⅰの配管系に係る地震時変位の枠外	付録5に移行
8	2.5.1 耐震診断用地震動 枠外の震度算出	1.4.1 耐震診断用地震動 告示第3条と同じ為削除
9	2.5.2 耐震診断用地盤変状 枠外「た	1.4.2 耐震診断用地盤変状 必須でないため

番号	平成 19 年度版	「既存配管系耐震診断法のガイド」 (平成 26 年度版)
	だし、重要度Ⅱ、Ⅲであっても・・・行うことが望ましい」	「」部削除
10	2.5.2 の「地盤の液状化」の判定等	付録 3 に移行
11	3.2 耐震診断計画書	1.7.2 耐震診断に必要なデータの収集に名称変更し、枠外の改善に関わる項目を削除。また表 1.3 にフランジデータを追記
12	3.3.1 一次耐震診断計画	1.7.3.1 定量評価の準備に名称変更しデータ収集の内容の項目は削除
13	3.3.2 一次耐震診断実施	1.7.3.2 定量評価実施に名称変更し、必要最小限に枠内外の項目を絞った。また、「耐震性レベル ABCD の区分分け」を簡易法においては、耐震性能比が 1.0 以下であること、詳細法においては許容限界が許容応力の 1.0 倍以下であることを確認することに評価を変更した
14	3.3.3 一次耐震診断報告書作成	1.7.3.3 診断報告書の作成に名称変更し、枠外の内容については必要最小限に絞った
15	3.4 配管系の二次耐震診断	二次診断の診断が無くなったため 3.4 削除
16	3.5 配管系の耐震診断報告書	1.7.3.3 に集約のため 3.5 削除
17	4.1 (配管の損傷) ～4.2.8 (施工状況)	付録 4 に移行 ただし、4.2.4 配管支持構造物 (サポート、配管支持構造体) の機能損失の枠外 (8) 配管支持構造体の倒壊又は崩壊の項は今回は支持構造体は除外のため削除
18	5.4 基礎の地盤変状に起因する配管サポートの相対変位の枠外の算式	2.5 基礎の地盤変状に起因する配管サポートの相対変位 枠外の (1) は、高圧ガス設備等耐震設計指針 (2012) レベル 2 評価解説編 9.3.3 に掲載のため、削除。
19	5.4 基礎の地盤変状に起因する配管サポートの相対変位の (2) 地盤変状に伴う流動に起因する水平移動の算定～ (4) 地盤変状に伴う直接基礎のめり込み沈下量及び傾斜の算定	付録 3 に移行
20	6.2.2. 地盤変状変位に係る配管スパン	付録 6 に移行

番号	平成 19 年度版	「既存配管系耐震診断法のガイド」 (平成 26 年度版)
	の一次耐震診断の枠外の図 6.2～表 6-6	
21	7. 耐震重要度Ⅱ、Ⅲ配管系の一次耐震診断定量評価の表 7-1 対象構造の伸縮継手	4.2 配管系の耐震診断の表 4.1 対象構造の伸縮継手に＊1 に原文の 7.5 の内容を追記
22	7.1 スパン長に関する一次診断	4.3 配管系の簡易耐震定量評価の 4.3.1 スパン長に関する評価 の章に修正。 ただし、枠外の（１）許容スパン法の適用の内容の一部（適用範囲に解釈の混乱を招く内容）を削除また、（２）配管スパン内に付加重量がある場合の項で、相当配管スパン長の算出等、耐震設計指針レベル 1 配管系編に記載の部分削除。
23	7.2.1 地震応答変位に対する配管スパンの一次耐震診断	4.3.2.1 地震応答変位に対する配管スパンの評価 に名称変更
24	7.2.2 地盤変状変位に係る配管スパンの一次耐震診断	4.3.2.2 地盤変状変位に対する配管スパンの評価 に名称変更
25	7.3 フランジ継手の一次耐震診断～7.8 架構等	‘省略して良い’ との内容なので、削除
26	8. 配管系の二次耐震診断定量評価	4.4 配管系の詳細耐震定量評価、5.4 配管系の詳細耐震定量評価 にそれぞれ名称及び内容を変更

4. まとめ

以上のとおり、本調査においては、平成 19 年度委託の成果である「耐震診断マニュアル」に関して、平成 24 年度委託事業で行った課題検討等の成果及び経済産業省が業界団体に依頼を行い取り纏めた「耐震診断マニュアル」を利用する上での意見等を踏まえ見直しを行い、「ガイド」を WG が中心になって、とりまとめた。

5. 業界からの要望と今後の課題

平成 19 年度委託の成果物である「耐震診断マニュアル」に関して、2. 業界の意見及び要望に関する本年度（平成 26 年度）調査結果に示すとおり、その運用についても主に 5.1 に示すような意見が寄せられており、業界からの要望を踏まえた課題として、5.2 のような論点については今後行政が「ガイド」の活用を図る際には考慮する必要があるのではないかと。

5.1 業界からの要望の概要

(1) 運用する場合の「耐震診断マニュアル」の位置づけ

「耐震診断マニュアル」に規定されている各種技術的事項（計算式含む）の適用については、強制的な義務付け事項なのか、自主的な取り組みの参考事項なのか、位置づけを明確にすべきではないか。自主的な取り組みの参考事項であれば、これに代わる有効な手法があれば採用しても良いという考えが基本である。行政が「耐震診断マニュアル」の運用について検討を行う場合には、その点を明確にすることが望まれる。

(2) 専門的知識を有するエンジニアリング会社、設計会社等の人的資源の制約

「耐震診断マニュアル」を用いて既存配管の耐震診断及び評価を行うには、専門的知識が必須であり、多くの事業者は耐震診断技術者を有する設計会社又はエンジニアリング会社などに外注することが必要と思われるが、耐震診断技術者の数にも限りがあり、現実的に対応できるかという危惧がある。

専門的知識を有するエンジニアリング会社、設計会社等においても、配管の耐震評価に精通した人材の数には限りがあることから、技術者不足による耐震診断の遂行困難を危惧する意見が出ている。このため、行政が「耐震診断マニュアル」の運用を検討する際には、診断の期限や対象設備範囲については事業者及びその外注先が現実的(物理的)に対応できるかを踏まえる必要があるのではないかと。

(3) 「ガイド」の維持管理

「ガイド」に関する質問、内容の見直しの必要が生じた場合等の対応については、民間団体に窓口を整備するなどして、明確にしておく必要があるのではないかと。

(4) 補修を行う場合に耐震告示との関係をどうするか。

耐震診断後の配管系を補強する時、「ガイド」を満足すればよいのか、耐震告示に従った評価を必要とするのかを明確にしないと混乱する恐れがあるのではないかと。

なお、平成 19 年度のマニュアルでは補修方法を掲載していたが、今回の見直しで、診断のみに限定することになったので、補修方法は除外している。

5.2 業界からの要望を踏まえた今後の課題

(1) 高圧ガス製造事業者の観点からの課題

- ① 「耐震診断マニュアル」の見直しを行う上では、3.1 に示す委員会の方針にもあるとおり、高圧ガス製造事業者（事業所の設備管理者）が既存配管耐震診断を実務として利用できることを目指して見直し作業を行った。見直しにおいては、一部図を追加し読みやすくするなど出来るだけ簡略化を図ったが、事業所の設備管理者が本年度の成果物である「ガイド」を利用する際には、前提として耐震診断の基本的な知識を得ておく必要がある。このため、2.1 平成 24 年度の業界の意見等の討議結果（1）の 6.及び（2）の 1.、並びに 2.2 平成 25 年度の業界の意見等の討議結果の 2.にあるとおり、耐震診断者の資格制度の検討、講習会の開催の検討などが必要である。
- ② 高圧ガス製造事業者が耐震診断を行い、1.1 に示す本調査の目的である事業者による取り組みの促進といった対策の具体化を実現するためには、5.1（1）にあるとおり、行政が「ガイド」の活用を図る際には、その位置づけを明確化し、さらに 2.2 平成 25 年度の業界の意見等の討議結果の 3.に示されるような事業者による対象の優先順位又は範囲の決定方法（例えば、リスクアセスメントの実施など）を考慮する必要があるのではないかと。
- ③ 5.1（3）にあるとおり、「ガイド」の維持管理及び質疑応答への対応などについては、例えば民間団体がパブリックコメントの実施などを含む規格策定プロセスを用いて民間規格として策定し、さらに最新の技術動向を踏まえた見直しなどを継続的に行っていくことが必要ではないかと。

(2) 運用及び取扱いの上での課題

- ① 行政が本年度の成果物である「ガイド」の運用及び取り扱いについて検討する場合には、診断作業の実現可能性等について確認を行うことが必要ではないかと。特に、5.1（2）にあるとおり、配管耐震診断についての専門的知識を有する人的資源には限りもあることについては、考慮する必要があるのではないかと。
- ② 2.2 平成 25 年度の業界の意見等の討議結果の 1 3. にも関係するが「ガイド」は既設配管系を対象としているのに対し、新設の配管系に係わる耐震設計についての現行の規制及び基準体系は、耐震告示及び「耐震設計指針」により成り立っている。「ガイド」の活用を検討する場合には、「ガイド」のみでの運用とするのか、新設の場合の規制基

準体系に倣い民間の規格、資料等を活用する体系とするのか、考慮する必要があるのではないか。

(3) 耐震診断支援ツールについての課題

2.2 平成 25 年度の業界の意見等の討議結果の 16. にあるとおり、事業者から平成 19 年度に作成された耐震診断支援システム（配管系の簡易強度計算プログラムソフト）と同様のシステム開発の要望がある。新設される配管の耐震評価について、塔槽類の耐震設計を支援する大臣認定プログラム（SEISMIT 等）のような、配管系を対象とした耐震設計認定プログラムが新たに整備されることも検討し、また、当該「ガイド」についても計算ソフトを整備することで、事業者の設備管理者による「ガイド」を用いた耐震診断の普及を促進する可能性がある。

(4) 耐震診断後にかかる課題

5.1 (4) にあるとおり、既存配管の耐震診断及び評価を行った結果、補修を行う際の基準をどのようにするかについて、今後明確にする必要があるのではないか。

既存配管系耐震診断法のガイド

平成 27 年 3 月
高圧ガス保安協会

目次

第1章 総則	4
1.1. 耐震診断法のガイドの概要	4
1.1.1. 耐震診断の基本的な考え方	4
1.1.2. 定義	5
1.2. 適用範囲	7
1.3. 要求耐震性能	7
1.4. 耐震診断の実施	7
1.5. 重要度分類	8
1.6. 診断用地震動及び地盤変状	8
1.6.1. 耐震診断用地震動	8
1.6.2. 耐震診断用地盤変状	8
1.7. 地震動の影響要因に係る評価	8
1.8. 配管系の耐震診断	10
1.8.1. 耐震診断手順	10
1.8.2. 耐震診断に必要なデータの収集	11
1.8.3. 目視点検	12
1.8.4. 定量評価	12
1.8.5. 耐震診断報告書の作成	13
第2章 配管系への地震入力	14
2.1. 応答加速度および相対変位	14
2.2. 配管支持構造物の慣性力に起因する配管系の加速度応答計算	14
2.3. 配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位	19
2.4. 耐震重要度Ⅰa,Ⅰの配管系に係る地震時変位	22
2.5. 地盤変状に起因する基礎の移動による配管サポート間の相対変位	23
第3章 目視点検	25
3.1. 目視点検の目的	25
3.2. 目視点検のチェックポイント	26
3.3. 耐震診断に必要な知識・経験	29
3.4. 目視点検のまとめ方	29
第4章 重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の耐震定量評価	30
4.1. 概要	30
4.2. 配管系の詳細耐震定量評価	31
4.3. 配管系の簡易耐震定量評価	31
4.3.1. スパン長に関する評価	31
4.3.2. 変位吸収能力に関する評価	32

第5章 重要度Ⅰa、Ⅰの配管系の耐震定量評価	35
5.1. 概要	35
5.2. 配管系の詳細耐震定量評価	36
5.3. 配管系の簡易耐震定量評価	36
5.3.1. スパン長に関する定量評価	36
5.3.2. 変位吸収能力に対する評価	37
5.3.3. フランジ継手の簡易耐震定量評価	42
5.3.4. 弁の簡易耐震定量評価	46
5.3.5. 伸縮継手の簡易耐震定量評価	47
5.3.6. 塔槽類に係るノズル部の定量評価	48
5.3.7. 配管系サポートの評価	51
5.3.8. 配管系支持構造体	54
付録1 配管系耐震診断例	55
1.1. 配管	55
1.1.1. 塔周り配管系の耐震診断例	55
1.1.2. 球形貯槽周りの配管系の耐震診断例	63
1.2. フランジ継手、弁、ノズル及び伸縮継手の重要度Ⅰa及びⅠの簡易耐震定量評価例	73
1.2.1. フランジ	73
1.2.2. 弁	77
1.2.3. 伸縮継手	78
1.2.4. 塔槽類に係るノズル部	83
1.2.5. 配管系サポート	89
付録2 簡易図表集	91
付録3 地盤の液状化及び流動化の式	103
付録4 配管系の損傷	107
付録5 塑性率評価法、保有耐力評価法及び代替評価法による算出法	119
付録6 変位吸収能力の評価手順詳細	122
付録7 目視点検の着眼点の例（写真）	126
付録8 点検シート	132

第 1 章 総則

1.1. 耐震診断法のガイドの概要

1.1.1. 耐震診断の基本的な考え方

新設の高圧ガス配管は、高圧ガス設備等耐震設計基準（以下「耐震告示」という。昭和 56 年 10 月 26 日通商産業省告示第 515 号及び平成 9 年 3 月 25 日同第 143 号）により、兵庫県南部地震における影響を考慮して、耐震性の確認をすることが義務付けされた。

一方、既存高圧ガス配管系（平成 12 年 3 月 31 日以前に設置された配管で、平成 9 年 4 月 1 日に施行された基準に適合が確認されていない配管）は、従前の例によるとされており、耐震告示による既存配管の耐震性の確認は義務付けられていない。そのため、既存設備の地震防災は、配管系の耐震性を把握することが重要な課題となる。

本ガイドは、耐震告示に基づくもので、既存高圧ガス配管に適した耐震性の確認を事業者が自主的に行なう上で配管系が現在どの程度の耐震性を持っているかを診断する方法を示すものである。

1.1.2. 定義

- | | |
|---------------|---|
| (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、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 号に規定する塔又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、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 号に規定する貯槽、一般高圧ガス保安規則第 6 条第 1 項第 17 号に規定する貯槽、コンビナート等保安規則第 5 条第 1 項第 24 号に規定する貯槽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（平成 9 年通商産業省令第 11 号。以下「液化石油ガス法施行規則」という。）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) 耐震診断 | : 既存配管系の耐震性の程度を判断すること |
| (4) 耐震診断用地震動 | : 耐震診断に際して考慮する地震動 |
| (5) 耐震診断用地盤変状 | : 耐震診断用地震動に対する地盤変状 |
| (6) 耐震性能 | : 地震の影響に関する配管系の性能 |
| (7) 要求耐震性能 | : 配管系に求められる耐震性能 |
| (8) 保有耐震性能 | : 配管系が現に保有する耐震性能 |
| (9) 耐震性能比 | : 要求耐震性能に対する保有耐震性能の比。耐震性能比が 1.0 以下の場合を合格の目安とする。 |
| (10) 耐震重要度 | : 耐震告示第 3 条に準じて定めた重要度 |
| (11) 耐震告示 | : 昭和 56 年通商産業省告示第 515 号、最終改正平成 25 年告示第 250 号による「高圧ガス設備等耐震設計基準」 |
| (12) 耐震設計設備 | 塔槽類及びその支持構造物 |
| (13) 耐震設計指針 | 高圧ガス設備等耐震設計指針(2012)、高圧ガス保安協会発行 |
| (14) 配管支持構造体 | : 配管を支持或いは配管が接続される構造体で、耐震設計設備及び耐震設計設備と類似の構造体をいう。配管は配管支持構造体とその基礎を通じて地盤に固定される。 |
| (15) サポート | : 配管と配管支持構造体との連結構造をいう。 |
| (16) 配管支持点 | : サポートと配管との結合部で、通常、配管断面の中心に位置させる。 |
| (17) 配管支持構造物 | : 配管支持構造体及びサポートをいう。 |
| (18) 配管系 | : 配管及び配管支持構造物をいう。 |

- (19) 周辺構造物 : 配管系の地震時挙動・耐震性に関連する当該配管系を除く全ての構造物又はその部品をいう。なお、隣接する配管系、防液堤、盛土等も含むものとする。
- (20) 既存配管 : 平成12年3月31日以前に設置された配管で、平成9年4月1日に施行された基準に適合が確認されていない配管系をいう。
- (21) 既存配管系 : 既存配管及びその配管支持構造物をいう。
- (22) 地震防災遮断設備 : 地震に際して配管を地震防災遮断弁により遮断させる装置で、地震を検知して地震防災遮断弁を確実に閉止し、その状態を保持する目的で設けられる設備をいう。耐震告示第1条で規定する地震防災設備の一つ
- (23) 簡易耐震定量評価 : 簡易法(耐震告示第17条 配管支持の方法等の許容スパン法等簡易計算)を用いて、耐震診断を行う診断方法
- (24) 詳細耐震定量評価 : 詳細解析法を用いて、耐震診断を行う診断方法
- (25) 配管スパン : 地震動の方向又は変位方向に対して有効な支持機能を有する隣り合うサポート間の配管
- (26) わたり配管 : 配管スパンの両端が異なる配管支持構造物又は基礎に係る配管支持点とする範囲の配管をいう。配管支持点が地震方向ごとに支持点が異なる位置にある場合は、当該方向ごとに定まる配管スパンを全て含む範囲の配管をいう。
大口径配管(母管)に接続する小口径配管(分岐管)では、母管は小口径管の支持構造物として影響を及ぼすのでわたり配管とみなし、支持構造物間を渡る配管と同様の扱いをする。
- (27) 変位吸収能力 : 配管スパンに関して、当該サポート両端の許容相対変位
- (28) 損傷モード : 地震の影響によって構造物のどの部位がどのような力を受け、どのような損傷に至るかをいう。
- (29) 地震応答 : 地震動による配管系、配管支持構造物、その他周辺構造物に生じる応答変位、応答速度及び応答加速度
- (30) 地盤変状 : 配管系の地盤の液状化に対する耐震診断を行なうために想定する地盤の移動

以下、各用語の追加説明。

- (6) 耐震性能 : 一般的には応力、応答塑性率、配管スパン長、変位等で表現する。
- (7) 要求耐震性能 : 配管系に求められる基準となる耐震性能で、通常、許容応力、許容塑性率、許容スパン長、変位吸収能力等で表現する。
- (8) 保有耐震性能 : 耐震設計構造物が現に持つ耐震性能
- (22) 地震防災遮断弁とは、地震防災設備のうち地震に際して遮断機能を有する弁をいう。
- (26) わたり配管 : 異なる支持構造物の間を渡る配管に「支持構造物の地震動に係る応答変位

に起因する相対変位」又は「地盤変状に起因する相対変位」が配管に損傷を与えることがある。これらの損傷モードに対して耐震診断を行う目的でわたり配管の定義を行った。

塔と架構のような異なる構造物間を渡る配管で、それぞれの構造物が地震時に揺れることにより配管に相対変位が負荷されて配管の損傷にいたる。この損傷モードを「支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位による損傷モード」と称する。

地盤変状により地盤の沈下や、水平方向移動が生じることがある。異なる基礎上の配管支持構造物の間を渡る配管があるとき、それぞれの基礎の間に地盤変状に係る相対変位が生じるために、配管にこの相対変位に起因する損傷が見られることがある。兵庫県南部地震で配管支持構造物（緊急遮断弁を支持するために設けられた架構）の基礎と平底円筒形貯槽の基礎が異なるために両構造物の間を渡る配管で LPG が漏えいした被害はこの例である。この損傷モードを「地盤変状に係る相対変位による損傷モード」と称する。

大口径配管（母管）に接続する小口径分岐管（母管外径の 1/2 以下の外径の分岐管）では、母管は小口径分岐管に比して強いため、分岐管の動きに影響を受けることが少ないが、分岐管は母管の動きに強く影響を受ける。このことより、小口径分岐管は、母管を支持構造物と見なして、母管の動きを強制変位とし簡易的に母管とは独立させ取り扱うことができる。通常、分岐管に関して「わたり配管」とは言わないが、小口径分岐管は、母管を支持構造物とし、わたり配管と同等の取扱いをすることにする。すなわち、分岐部を支持点とし次のサポートとの間を「わたり配管」と見なす。なお、ドレン・ベントなどの自由端配管や、母管自体から U バンドなどでサポートされているケースは除く。

1.2. 適用範囲

本ガイドの適用範囲は、既存配管のうち耐震告示第 1 条の 2（配管の適用範囲）に準じる。

1.3. 要求耐震性能

既存配管系の耐震診断は、次によるものとする。

- (1) 配管系の耐震診断用レベル 1 耐震性能とは、配管系の地震応答において地震時および地震後に当該配管系に有害な変形等が残留せず、かつ、配管内の高圧ガスの気密性が保持される状態をいう。
- (2) 配管系の耐震診断用レベル 2 耐震性能とは、配管系の地震応答及び地盤変状において地震時および地震後に配管内の高圧ガスの気密性が保持される状態をいう。

これらの要求耐震性能は、既存設備・配管系とし、設備の経年変化や周辺環境下での耐震性能であり、現地での点検において十分考慮されなければならない。

1.4. 耐震診断の実施

配管系の耐震診断は、診断範囲、診断体制、診断工程等を明確にして実施する。

過去の地震被害に関する知見、工学的判断に基づく地震時損傷モード及び設備の状況を理解した上で耐震診断を行なう。

- (1) 損傷が発生すれば大被害に発展する恐れのある系統や作業上重要な配管系等から判断して、優先順位をつけて重点的に耐震診断することが望ましい。この場合、必要に応じて適切に時期を分けて実施してもよい。
- (2) 接近が困難な高所配管、直接目視できない保温保冷配管などの配管系は保安検査、定期検査など適切な時期と同期させるなどして、時期を分けて実施してもよい。

1.5. 重要度分類

既存配管系に係る耐震重要度は、耐震告示第3条による。

1.6. 診断用地震動及び地盤変状

1.6.1. 耐震診断用地震動

耐震診断用地震動の強さは、次によるものとする。

- (1) 重要度Ⅱ、Ⅲの耐震診断用地震動は、耐震告示第3条に規定するレベル1地震動とする。
- (2) 重要度Ⅰ、Ⅰaの耐震診断用地震動は、耐震告示第3条に規定するレベル2地震動とする。

【参考】

耐震告示では、耐震重要度Ⅰa、Ⅰの設備は社会的な影響を考慮して、レベル1地震動及びレベル2地震動に関して、それぞれ、運転を継続できること及び災害が発生しないような耐力をもつよう要求している。すなわち、レベル1地震動に際しては、有害な塑性変形等が残留せず、高圧ガスの漏えいがないこととし、レベル2地震動に際しては、塑性変形等はあっても高圧ガスの漏えいがないこととしている。これに対して、本ガイドでは、既存の配管系であることを考慮して、レベル1地震動に対する要求を外し、レベル2地震動に対してのみ耐震安全性を要求することとした。

耐震重要度Ⅱ、Ⅲの配管系に対しては、耐震告示と同様に、レベル1地震動に対してのみ耐震性を診断することとした。

1.6.2. 耐震診断用地盤変状

重要度Ⅰa、Ⅰの配管系の耐震診断用地盤変状は、配管系の耐震診断用レベル2地震動に際して当該配管系に係る地盤に生起する地盤変状とする。

1.7. 地震動の影響要因に係る評価

配管系の損傷に係る耐震診断は、地震による配管系の影響要因に対してその損傷モードを調査・検討するものとする。

ただし、当該要因が生起しないことが明らかな場合は、当該損傷モードを診断損傷モードから除くことができる。

耐震診断用地震動及び耐震診断用地盤変状に対して、配管系の損傷が発生すると、要求耐震性能が阻害される。これらの損傷は、配管系や周辺構造物の地震時の挙動（変形・変位、断面力・モーメントの状況）及び構造上、施工上の弱点に起因して発生する。これらの配管系の損

傷と起因する要因を組み合わせで損傷モードと称し、配管系耐震診断は、この損傷モードごとに実施する。

詳細は付録 4 を参照のこと。

1.8. 配管系の耐震診断

1.8.1. 耐震診断手順

配管系の耐震診断は、図 1-3 に示す手順で行なう。

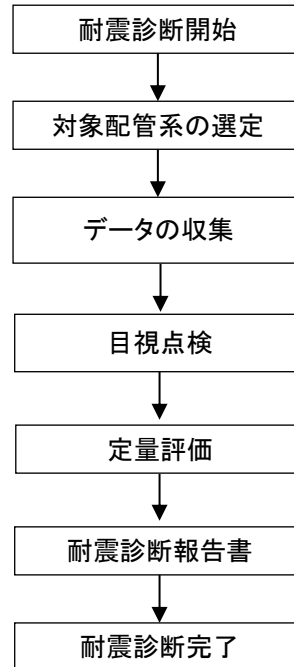


図 1-3 配管系の耐震診断手順

1.8.2. 耐震診断に必要なデータの収集

配管系の耐震診断の基本方針を明確にするとともに、必要な資材・要員・資料を準備する。

なお、耐震診断の準備資料が不完全な場合は、現場スケッチや現場計測データによる。この場合、安全側に耐震診断を行なうことを前提として適切に推定又は標準値を採用するなどし、設定の根拠を記録に残しておく。

耐震診断計画書の作成に当たっては、どのような場合も安全側の診断が行えるよう考慮すべきであり、耐震診断実施の基本方針を記録として残しておくことが重要である。配管系の耐震診断においては、通常下記のような資料が必要になる。

- (1) 耐震診断に係る基本条件
 - a) 耐震診断に係る地震動の強さ
 - b) 診断対象配管系設置図及び診断範囲
 - c) 耐震重要度
- (2) 対象配管系に関するデータ
 - a) P&I（対象配管系範囲及び耐震重要度が明示されたフローシート）
 - b) 配管材料仕様書
 - c) 配管重量：内容物比重、保温材重量、弁重量等の配管付属品重量
 - d) サポート図及びサポート許容支持荷重
 - e) 入手できるなら関連保全記録（耐圧部内部腐食含む。）
 - f) 配管図、施工アイソメ図
- (3) 対象配管系に関連する塔槽類、配管支持構造物・周辺構造物に関するデータ
 - a) 構造図
 - b) 準拠指針
 - c) 耐震設計条件
 - d) 耐震計算書（応答加速度及び応答変位が含まれていること。）
- (4) 地盤の条件に関するデータ（地盤変状に対する評価を行う場合。）
 - a) ボーリングデータ（液状化判定を行なうために必要なデータを含む。）
 - b) 護岸データ
 - c) 液状化判定

1.8.3. 目視点検

目視点検の目的は、以下の 2 点によるが、膨大な量の配管系について耐震診断を効率よく行うには、接続される設備の種類に応じ、的を絞って点検することが大切である。

- (1) 耐震評価の準備作業としての目視点検
- (2) 計算では発見しにくい耐震上の脆弱箇所発見の手段としての目視点検

1.8.4. 定量評価

1.8.4.1 定量評価の準備

既存配管系に係る耐震診断対象配管系に関して、適切に区分した「耐震診断区分」ごとに耐震診断実施計画を作成する。

- (1) 耐震診断は原則として配管系統ごとに、現地において配管診断を実施する。ただし、類似性の高い複数の系統がある場合等においては、条件等を考慮して代表的な系統を選定して実施してよい。
- (2) 対象配管系リストの作成に当たっては、下記に示す配管支持点で配管を適切に区分し、診断対象配管系を設定する。
 - ① 塔槽類等及びその他機器との接続点（ノズル部分）
 - ② 固定支持点
 - ③ わたり配管の両支持点
 - ④ 防液堤貫通部
 - ⑤ 診断対象範囲を超える第 1 サポートに係る配管支持点
 - ⑥ その他、耐震診断において分割したほうが適切な配管支持点
- (3) 耐震性が確保されていることが明らかな場合は、耐震診断対象配管から除くことができる。この場合、その根拠を記録する。

1.8.4.2 定量評価実施

配管系に係る耐震診断は、下記により実施する。

- (1) 過去の地震被害に関する知見、工学的判断に基づく地震時損傷モード及び設備の状況を理解した上で耐震診断を行なう。
- (2) 定量評価をもとにして、耐震性を判断する。

【補足】

- (1) 配管系の耐震診断は、点検項目（損傷モード）について目視点検、定量評価、その他により耐震診断行うものとする。定量評価は、数値計算して評価するものである。
- (2) 簡易法における定量評価に関して、耐震告示で定める許容限界に対する定量評価値の比率（許容スパンに対しては L/L_a 、変位吸収能力に対しては δ/δ_a 、以下「耐震性能比」という。）に応じて耐震性を判断する。

1.8.5. 耐震診断報告書の作成

既存配管系の調査結果に関して報告書を作成する。

耐震診断報告書は、配管耐震診断区分ごとに下記に項目を記録する。この場合、現場状況の写真や概略図を添付することが望ましい。

- (1) わたり配管に係る変位（応答変位及び地盤変状変位）及び変位吸収能力
- (2) 配管部品（フランジ継手等、伸縮継手その他配管付属品）の耐震性能
- (3) サポート支持構造物の耐震性能
- (4) 周辺構造物との干渉・衝突
- (5) 経年変化による劣化又は損傷
- (6) その他潜在的弱点
- (7) 診断結果の考察

第2章 配管系への地震入力

2.1. 応答加速度および相対変位

配管系の耐震診断においては、配管支持構造物の地震動に係る応答加速度、応答変位及び地盤変状の影響を考慮するものとする。

配管支持構造物の地震動に係る応答加速度、応答変位及び地盤変状の影響としては、

- (1) 配管支持構造物の慣性力に起因する配管系の応答加速度
- (2) 配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する配管サポート間の相対変位
- (3) 地盤変状に起因する基礎の移動による配管サポート間の相対変位

がある。

2.2. 配管支持構造物の慣性力に起因する配管系の加速度応答計算

配管系の応答最大加速度は、適切な配管支持構造物に関する応答解析を行い、配管支持点における応答最大加速度に、配管支持構造物に対する配管系の応答倍率 2.0 を乗じることにより算出する。

配管支持構造物の応答解析は、耐震重要度 I a、I の設備にあつては修正震度法、耐震重要度 II、III の設備にあつては原則として静的震度法により、耐震告示による方法、SEISMIT シリーズによる方法などの適切な方法により算出する。修正震度法について次に示す。

(耐震告示第 6 条参照)

(1) 耐震重要度 I a、I の設備に生じる設計修正震度（修正震度法）

レベル 2 地震動に係る修正震度は、固有周期及び地盤種別に応じて、次の算式により計算する。

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (\text{式 2-1})$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_V \quad (\text{式 2-2})$$

ここで、

K_{MH} 、 K_{MV} ：水平方向及び鉛直方向の設計修正震度

K_H ：地表における水平震度

K_V ：地表における鉛直震度

β_5 ：水平方向の応答倍率で次式により算出する。

$$\beta_5 = \beta_{50} C_h \quad (\text{式 2-3})$$

β_{50} : 耐震設計指針応答倍率

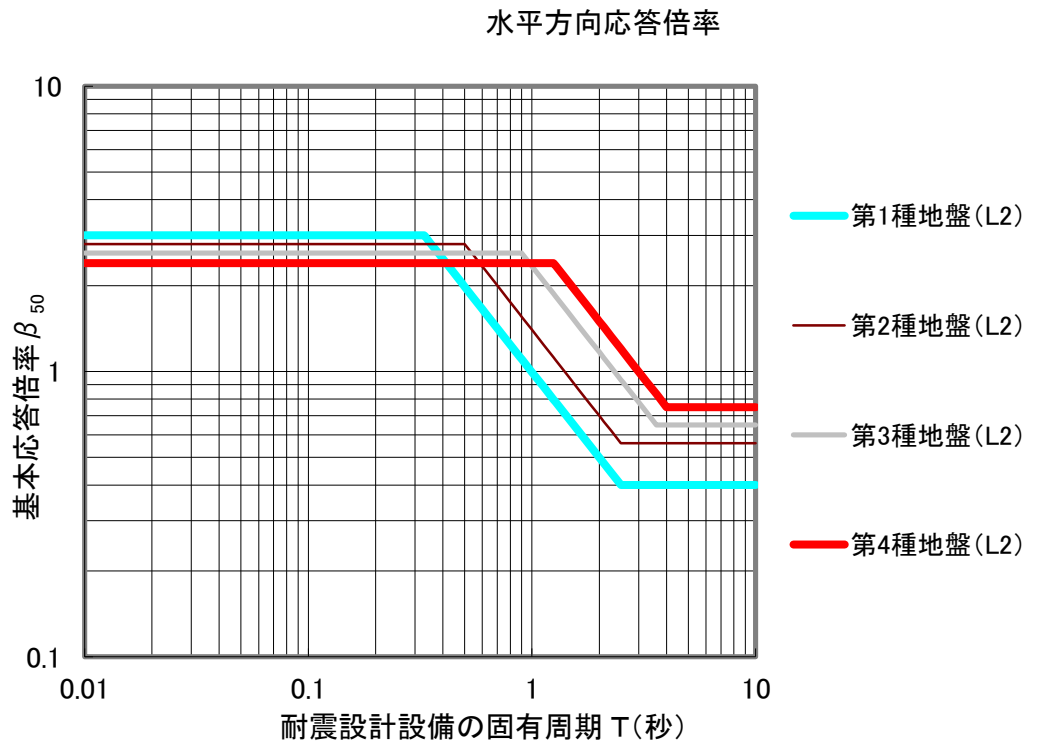
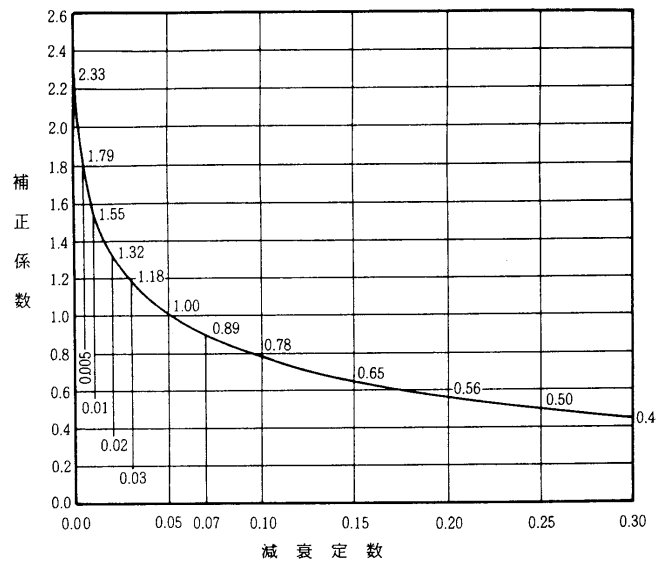


図 2-1 指針応答倍率

C_h : 補正係数で、(図 2-2)に示す補正係数線図より求める。



ただし、減衰定数は配管支持構造物の種類に応じて、(表 2-1)及び(表 2-3)による。

図 2-2 補正係数と減衰定数の関係

β_6 : 鉛直方向の応答倍率で、次の表による。

表 2-1 鉛直方向の応答倍率 β_6 の値

耐震設計設備の種類	β_6
スカート支持の塔	1.5
その他の耐震設計設備	2.0

表 2-2 塔類、球形貯槽、横置円筒形貯槽及び架構の減衰定数

T は耐震設計設備の固有周期 (単位 s)

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

表 2-3 平底円筒形貯槽の減衰定数

平 底 円 筒 形 貯 槽 の 種 類			減 数 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	くいのある もの	$\begin{array}{c} D \\ \diagdown \\ P \end{array}$	20 未満	20 以上 40 未満	40 以上
		1.5 未満	0.08	0.10	0.10
		1.5 以上 3.0 未満	0.07	0.08	0.10
		3.0 以上	0.05	0.07	0.08
	くいのないもの		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ものとする。

H_1 : 最高液面高さ (単位 m)

D : 内径 (単位 m)

P : くいの間隔 (単位 m)

(2) 配管系の設計修正地震力

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H \quad (\text{式 2-4})$$

$$F_{MV} = \beta_9 K_{MV} W_V \quad (\text{式 2-5})$$

ここで、 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ものとする。

F_{MH} : 設計修正水平地震力 (N)

F_{MV} : 設計修正鉛直地震力 (N)

β_8 : 配管系に対する水平方向の応答倍率であつて、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、架構に対する塔槽類の応答倍率 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を乗じた値とする。

β_9 : 配管系に対する鉛直方向の応答倍率であつて、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イからハの規定するところによる。

イ) 修正震度法

K_{MH} : (1)で算定した値又は適切な方法により算定した値。ただし、耐震告示にて定める地表面における水平震度 K_H を下回る場合は K_H 、配管支持構造物の高さが3メートル以下の場合は当該配管支持構造物の種類にかかわらず耐震告示にて定める K_H の値とする。

μ : 震度分布係数であつて、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10メートル以下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つ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

$$\mu = 1.5 \frac{H}{H_t}$$

この算式において、 H 及び H_t は、それぞれ次の値を表すものとする。

H 当該配管支持点の高さ (m)

H_t 配管支持構造物の高さ (m)

ロ) モード解析法及び時刻歴応答解析法

μK_{MH} : モード解析法又は時刻歴応答解析法にあっては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

ハ) 静的震度法

μK_{MH} : (3)で規定する K_{SH} と同じ値

W : 運転重量 (単位 N)

W : 設計修正地震力を算出する位置に作用する配管の自重と内容物の和 (N)

(3) 耐震重要度Ⅱ、Ⅲの設備の設計静的水平震度 (静的震度法)

耐震重要度Ⅱ、Ⅲの配管支持構造物の配管取り付け位置における設計静的水平震度、次の算式による。

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (\text{式 2-6})$$

なお、 K_{SH} : K_H 及び β_4 は、それぞれ次の値を表すものとする。

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 : 地表における水平震度で、告示による。

β_4 : 水平方向の応答倍率であつて、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

H (メートル)	β_4
16 以下	2.0
16 超 35 以下	$1.04 + 0.06H$
35 超	3.14

(4) 塔槽類の架構に対する応答倍率 β_7

塔槽類の架構に対する応答倍率は、次の式による。

$$\beta_7 = 0.71 \sqrt{\frac{1 + \lambda^2}{\lambda^2 + (1 - \lambda^2)h_e^2}}$$

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

T_a : 塔槽類の固有周期

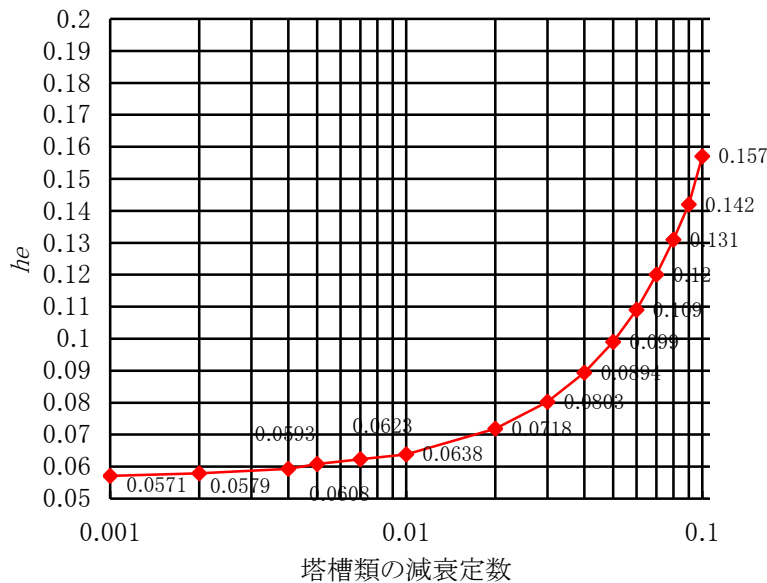
$$T_a = 0.057 \sqrt{\eta_a}$$

η_a : 架構を剛とみなし、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 (mm)

T_s : 架構の固有周期

γ : 架構重量比

h_e : 塔槽類の減衰定数に応じ下図より得られる値



2.3. 配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位

(1) わたり配管系サポート間相対変位

変位吸収能力の評価を行う配管スパンにおいて、当該地震方向に係る支持点の地震時地震動に係る応答変位は、支持点の高さに応じて次節に示した方法により得られた当該支持点に係る配管支持構造体の地震動に係る応答変位とする。

当該配管スパンに係る相対変位 Δ は、次の算式により得られた値とする。

$$\Delta = \delta_{Q1} + \delta_{Q2} \quad (\text{式 2-7})$$

ここに、 Δ 、 δ_{Q1} 、及び δ_{Q2} は、それぞれ次の値を表す。

Δ : 当該配管スパンに係る相対変位量 (単位 mm)

δ_{Q1} : 支持点 1 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、(3)による。

δ_{Q2} : 支持点 2 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、(3)による。

(2) 配管支持構造物の地震動に係る応答変位の計算
配管支持構造物の地震時変位の計算手順を次に示す。

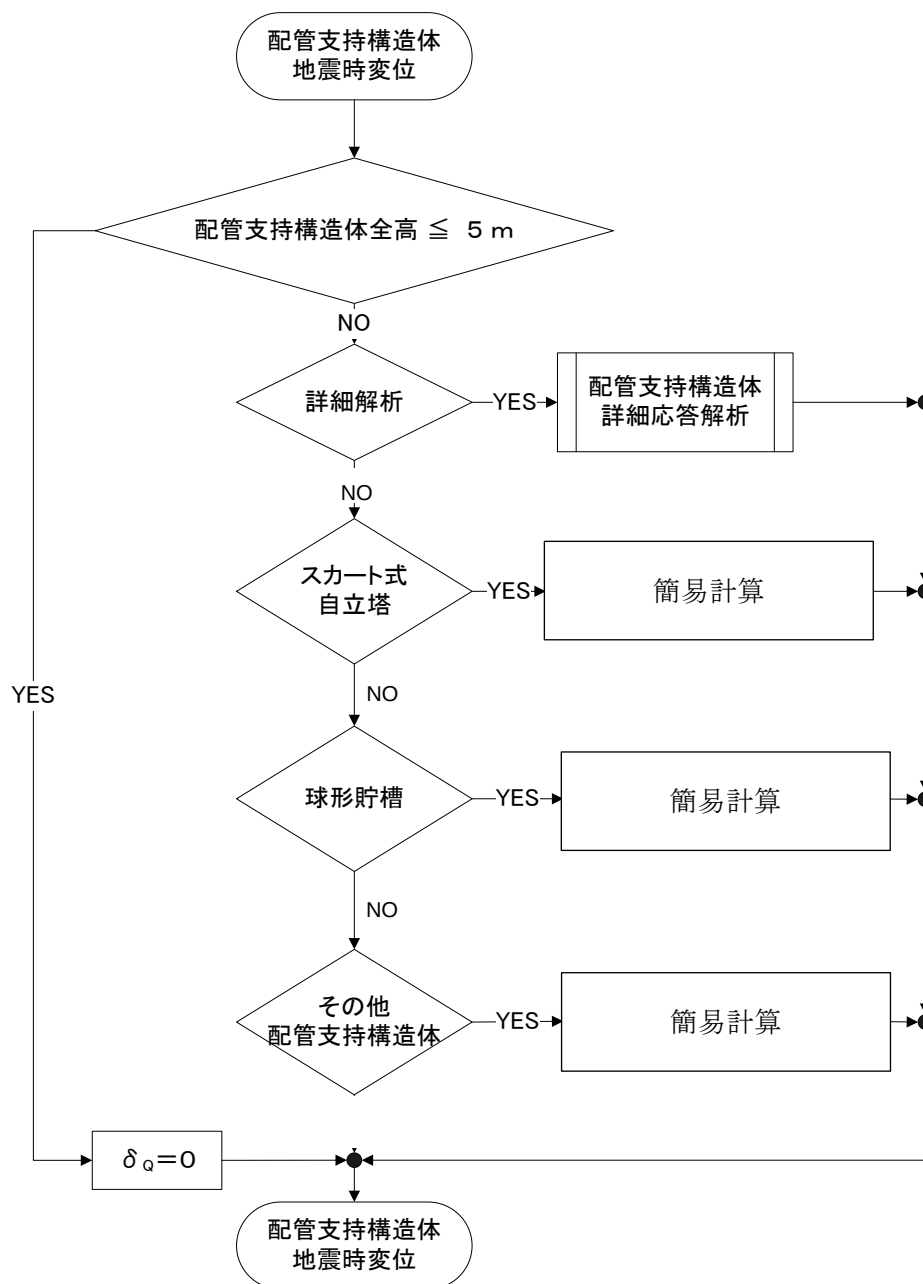


図 2-3 配管支持構造物の地震時変位の計算方法

(3) 配管支持構造物の地震動に係る応答変位簡易計算法

配管系の変位吸収能力の評価に必要な配管支持構造物の地震時変位（地震動に係る応答変位量）は、当該配管支持構造物の応答解析によるものとするが、簡易的に安全側の設定がなされている表 2-4 配管支持構造物の地震動に係る応答変位により算出することができる。なお、振れ止め等が設置されている場合はその影響を考慮してよい。

重要度Ⅱ、Ⅲは表 2-4 の式で、 $\beta=1.0$ 、 $\lambda=1.0$ とする。(耐震設計指針と同じ)
また、重要度Ⅰa 及びⅠは表 2-4 による。

表 2-4 配管支持構造物の地震動に係る応答変位

	配管支持構造物の種類	地震動に係る応答変位量
1	スカート式の自立塔	$\delta_Q = \lambda \beta C_T K_H H_t^2 \left(\frac{h}{H_t} \right)^{1.5}$ ----- (式 2-8)
2	球形貯槽	$\delta_Q = \lambda \beta C_S K_H D^n$ ----- (式 2-9)
3	その他配管支持構造物	$\delta_Q = \lambda \beta C_K K_H H_t^2 \left(\frac{h}{H_t} \right)^{0.6}$ ----- (式 2-10)

ここで、

- δ_Q : 当該配管支持点の地震動に係る応答変位量 (mm)
 K_H : 配管系の重要度に係る告示第 3 条第 1 項第 1 号に定める地表面における水平震度
 H_t : 当該配管支持構造物の全高 (m)
 D : 当該球形貯槽の外径 (m)
 h : 当該配管支持点の高さ (m)
 C_T : 当該自立式スカート支持塔に係る係数で 1.0 とする。
 C_S 及び n : 当該球形貯槽のブレースの形式に応じて表 2-5) による値とする。

表 2-5 球形貯槽に係る係数

ブレース形式	C_S	n
鋼管タイプ	0.9	1.60
ロッドタイプ	32.4	0.68

- C_K : 当該配管支持構造物に係る係数で 0.75 とする。

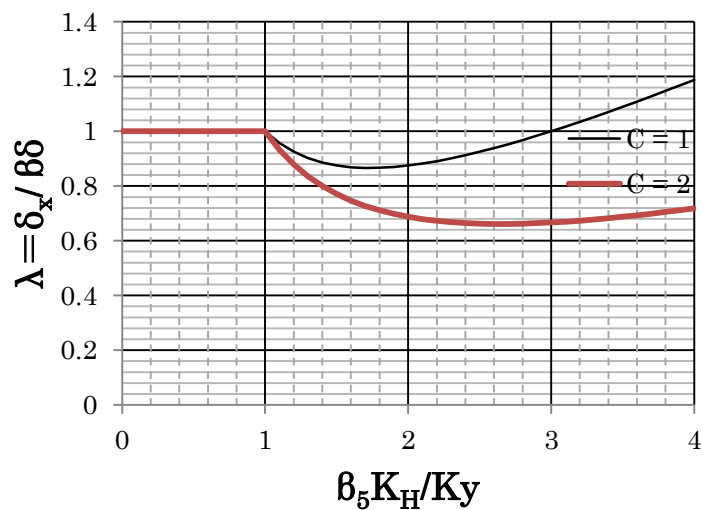
また、 β 及び λ は、それぞれ、次の値を表すものとする。

β : 重要度 I a 又 I の場合、固有周期が既知の場合 $\beta = 0.5 \cdot \beta_5$ 、(耐震告示第 6 条)、固有周期が不明の場合、安全側に下表により設定してよい。

地 盤 種 別	重要度 I a、I						
	塔 類	球形貯槽		横 置 貯 槽	その他の配管支持構造物		
		鋼管 タイプ°	ロッド° タイプ°		ブレース 架構	ラーメン架構	
						鋼製	鋼製
第 1 種	1.77	1.77	1.5	1.36	1.5	1.77	1.5
第 2 種	1.65	1.65	1.4	1.25	1.4	1.65	1.4
第 3 種	1.53	1.53	1.3	1.16	1.3	1.53	1.3
第 4 種	1.42	1.42	1.2	1.07	1.2	1.42	1.2

λ : 重要度 I a、I の場合、固有周期又は降伏震度が既知の場合、下図により得られる値とする。

固有周期又は降伏震度が不明の場合、 $\lambda = 1.0$ とする。



主たる変形モードが基礎ボルト又はブレース（鋼管タイプを除く）の変形又は座屈による場合

$C=1$ とする。

その他の場合、 $C=2$ とする。

応答変位の算出は、他に妥当な方法があればそれによってよい。

2.4. 耐震重要度 I a、I の配管系に係る地震時変位

耐震重要度 I a、I の配管系に関する応答解析方法は次による。

- (1) 配管系の応答解析を代替評価法による場合、支持構造物の応答変位も代替評価法にて算出する。
- (2) 配管の応答解析を塑性率評価法又は、等価線形応答解析法の場合は下記による。
 - (a) 配管支持構造物の応答変位量の算出に当たって、降伏後の変形量は完全弾塑性変形を仮定して算出する。

- (b) 配管支持構造物の構造特性係数 D_s は原則として、 $D_s=0.5$ を採用する。ただし、根拠が明確な場合はこの限りではない。

塑性率評価法、保有耐力評価法及び代替評価法による算出法は付録 5 による。

2.5. 地盤変状に起因する基礎の移動による配管サポート間の相対変位

配管サポート間の相対変位の算定については、地盤変状に係る基礎の移動量に基づき異なる配管支持構造物の基礎間の相対移動量を算出して、当該相対移動量が配管へ強制変位として作用するとき耐震設計指針の配管の変位吸収能力の評価を行う。

(1) 地盤変状に係る基礎の移動量に基づき異なる配管支持構造物の基礎間の相対移動量を算出する。

(2) 流動するおそれがある地盤では、流動に伴う地盤の水平移動量を適切な方法により算定する。

(3) 液状化又は流動するおそれがある地盤では、液状化に伴う地盤の沈下量を適切な方法により算定する。

(4) 液状化・流動の恐れのある地盤上に設置された配管支持構造物の直接基礎については、変位（沈下・水平移動・傾斜）を適切な方法により算定する。

詳細は、耐震設計指針レベル 2 耐震性能評価解説編 9.3.3 を参考のこと。

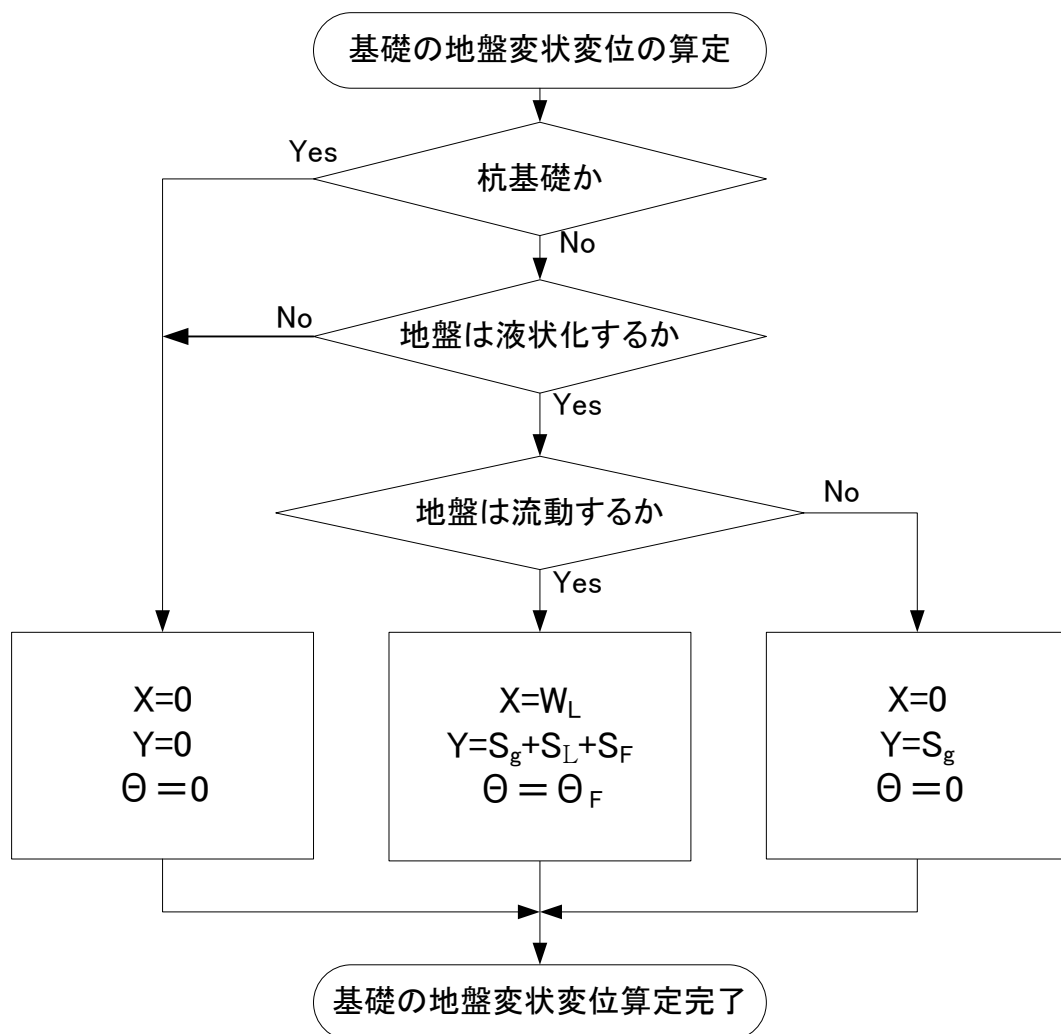


図 2-7 基礎の地盤変状変位の計算

ここで、

X : 水平方向移動量(mm)

Y : 沈下量(mm)

Θ : 回転角度(ラジアン)

W_L : 地盤変状に伴う流動に起因する水平移動量 : (式 0-3) による。

S_g : 地盤の液状化に伴う地盤の沈下量 : (式 0-4) による。

S_L : 護岸背後地盤の流動に伴って発生する地盤の沈下量 : (式 0-5) による。

S_F : 直接基礎のめり込み沈下量 : (式 0-6) による。

Θ_F : 直接基礎のめり込み沈下にとまう傾斜角度 : (式 0-7) による。

また、各式は付録 3 による。

第3章 目視点検

3.1. 目視点検の目的

(1) 耐震評価の準備作業としての目視点検

配管系の耐震性能確認は第4章および第5章にて詳述する計算解析によって行うことが原則であるが、配管系は1本1本が千差万別の形状であること、また実際の地震時では配管本体のみならず配管を支持する構造物や周辺に設置された構造物の影響も受ける。

このため計算による耐震診断は行う前に現地にて対象配管および配管が設置されている周辺の目視確認を行うことで、地震時にその配管に予想される状況(揺れ方や力のかかり方等、損傷の仕方)を想像し、損傷形態に応じた最適な計算方法の選択および各種係数の設定を行うことが重要である。

また、類似形状の配管が複数存在する場合、目視点検によって計算評価を行う配管を代表化することも可能とするほか、過去の類似形状配管の耐震計算実績上または地震被害事例上、目視点検によって明らかに耐震性能があるまたは無いと判断できる場合は、計算を省略し目視点検のみで耐震評価を行うことも可能とする。

(2) 計算では発見しにくい耐震上の脆弱箇所発見の手段としての目視点検

過去大規模地震においては耐震計算が行われていない配管に大きな損傷・漏洩は少なかった一方、高所配管のサポートからの転落や隣接配管との衝突など、現行の耐震計算手法では確認しにくい損傷事例も見られた。このため、「計算では発見しにくい耐震性能脆弱箇所の発見」の手段として目視点検を行うことが、既設配管の耐震診断上重要となる。なお目視点検によって抽出した「耐震性能脆弱箇所」の詳細判定のために「計算解析」を適宜活用することも有効である。

配管系の耐震診断の一般的な流れを図3-1に示す。装置内全体を歩きながら配管を観察して上記(1)(2)の検討を行うことから、現場目視点検は「ウォークダウン」と呼ばれている。なお耐震診断は一般には耐震性評価までをいうが、必要と判断された場合には現場の状況に応じた改善案を併せて考えるので、改善推奨案の作成も流れの中に入れている。

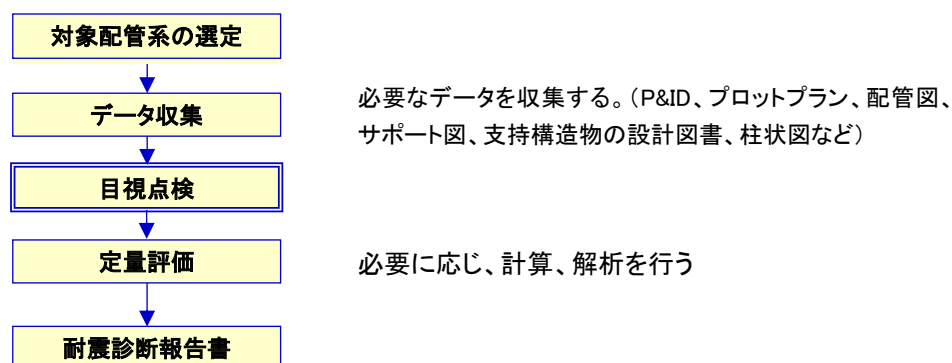


図3-1 配管系の耐震診断の流れ

3.2. 目視点検のチェックポイント

過去の地震被害の経験に基づいた配管系の耐震診断のチェックポイントの例を表 3-1 に示す。耐震性点検では、現場を見ながら、こうした視点で点検を行う。設計では見ることはできなかった周辺構造物との干渉も点検できる。なお耐震性能低下の一因ともなりうる設備の腐食・劣化に関しては、通常の保全業務の一環として点検を実施することとしてもよい。

配管系の主たる損傷モードは配管が接続される設備(配管支持構造物)の種類によって変わってくる。個別の診断では、想定される損傷モードに応じ、つまり接続される設備の種類に応じ、重点となるチェックポイントは変わってくる。

表 3-1 耐震診断のチェックポイントと着眼点

チェックポイント			視 点
配管要素、サポート	配管要素	材料、劣化	脆性材料(鑄鉄弁、塩ビ管)を使用していないか。
			配管に著しい劣化(減肉、割れ、脆化)はないか。
		継手	溶接継手に溶接欠陥はないか。
			曲げモーメントが大きいところにフランジ継手が使われていないか。
			相対変位が生じるところにねじ込み継手が使われていないか。
		局部構造	サポート反力受荷部は適切な構造か。
			過剰板厚のエルボを使用していないか。
			局部的な断面縮小部はないか。
	サポート	劣化、強度	サポートは劣化していないか。
			強度は十分か
		定着部	溶接強度は十分か。
			ボルトは腐食していないか、緩みはないか。
配管系	慣性力	曲げモーメント等	配管に高応力、高歪が発生しないか。
			機器ノズルに過大な反力が作用しないか。
		揺れの影響	過大な揺れにより、小口径分岐管に相対変位を与えることはないか。
			過大な揺れにより、隣接弱小構造物に衝突するようなことはないか。
			過大な揺れにより、スプリングハンガーを損傷させ、自ら落下する恐れはないか。
		滑動の影響	ラック上を滑動し、分岐管に相対変位を与えるようなことはないか
			ラック上を滑動し、隣接弱小構造物に衝突するようなことはないか。
			ラック上を滑動し、落下する恐れはないか。
	相対変位	曲げモーメント等	配管に高応力、高歪が発生しないか。
			機器ノズルに過大な反力が作用しないか。
			フランジ継手に大きな曲げモーメントが作用しないか。
			ねじ込み継手に相対変位が作用しないか。
	地盤変状	曲げモーメント等	配管に高応力、高歪が発生しないか。
			機器ノズルに大きな反力が作用しないか
			フランジ継手に大きな曲げモーメントが作用しないか。
			ねじ込み継手に相対変位が加わらないか。
		移動	母管が水平移動したときに小口径管が他構造物に衝突しないか。
		限界吸収能力	可撓管の変位吸収限界を超える相対変位に対して配管に可撓性はあるか。
構造物	隣接構造物	揺れ	大口径配管等の隣接構造物が大きく揺れたり、滑動したりし、衝突されたり相対変位を加えられたりすることはないか。
			地盤変状に伴ってサービスステージ等がぶつかってこないか。
	支持構造物	倒壊、崩壊	支持構造物が倒壊、崩壊する恐れはないか。
			機器の揺れ止めサポートが損傷し、大きな相対変位を加えられることはないか。
			基礎ボルトが破断、伸張して機器が傾斜、転倒、滑動し、相対変位を加えられることはないか
	周辺構造物	倒壊、崩壊	周辺に脆弱な構造物があって、倒壊、崩壊の影響を受けることはないか。
	上方重量物	落下	上方から重量物が落ちてくる可能性はないか。

(参考文献(1))

配管系の耐震設計では、慣性力、相対変位、地盤変状の影響のほか、熱膨張（熱収縮）との調和、ノズル反力の制限、地震防災遮断弁の機能維持などの要素を併せて考慮する必要があり、大口径配管にあっては接続される小口径配管への配慮も必要となる。このことは耐震診断でも同じであって、設計の難易度に応じて診断の難易度も高くなる。

膨大な量の配管系について耐震診断を効率よく行うには、接続される設備の種類に応じ、的を絞って点検することが大切である。

表 3-2 配管系の種類と耐震設計で考慮、配慮すべき要素

配管の種類		地震			熱膨張 又は 熱収縮	ノズル 反力の 制限	地震防災 遮断弁
大区分	支持構造物	慣性力	相対変位	地盤変状			
貯槽配管 (オフサイト)	平底(LPG)	○	(○)	○	○	(○)	○
	平底(危険物)	○		○			○
	球形	○	○	○			○
	横置	○		○			○
プロセス配管 (オンサイト)	加熱炉・分解炉	○	(○)		○	(○)	
	塔	○	○		(○)		
	架構	○	(○)				
	架構支持リアクター	○	○		(○)		
	横置ベッセル	○					
	縦置ベッセル	○					
	熱交換器	○			(○)		
	リボイラー	○	(○)		○		
	エアフィンクーラー	○			○		
	コンプレッサー	○			(○)	(○)	
	ポンプ	○		(○)			
入出荷設備配管	栈橋	○		○			
	タンクローリー積場	○					
	タンク車積場	○					
地上・地下配管	スリーパー配管	○		○			
	架台上配管	○		○	(○)		
	ピット配管	○		○			
	埋設配管		(○)	○			

1. 表は大凡の傾向を示すものであって、厳密なものではない。
2. プロセス配管も支持構造物が直接基礎である場合は地盤変状の影響の考慮が必要。

(参考文献(2))

3.3. 耐震診断に必要な知識・経験

耐震診断の要は現場での耐震性点検にある。配管系の耐震性点検におけるチェックポイントは表 3.1 に示した通りであるが、実際に行うには相応の知識・経験を必要とする。配管系の耐震性点検では、過去の地震被害の経験や耐震設計・解析の経験などを基に、地震が来た時にどのように揺れ、どのように変位を加えられ、あるいは周辺構造物とどのように干渉し合うのか、頭の中で想像しながら点検を行う。その概念図を図 3.2 に示す。現場で歩きながら点検していくことから、ウォークダウン、あるいは耐震ウォークダウンともいう。耐震診断の信頼性、成果の大きさは、実施する人、チームの知識・経験の深さに依存する。診断を実施する技術者は、体系的な知識を得るほか、実地の訓練を必要とする。

なお、配管の耐震設計は特殊な設計技術ではなく、「配管に作用する外力の考察」という点で配管の熱応力解析や振動解析と共通したものがある。このため、これらの配管設計の知識を有する技術者であれば目視耐震診断の技術者になることは難しいことではない。

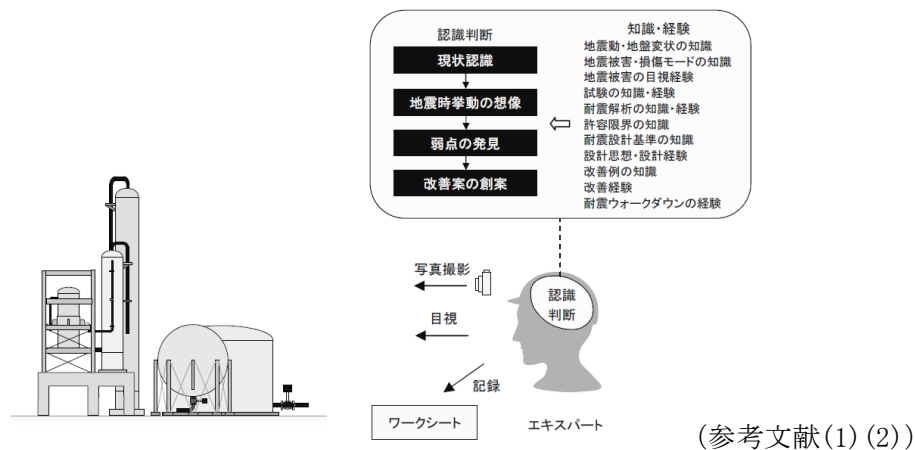


図 3-2 耐震ウォークダウンの概念図

3.4. 目視点検のまとめ方

3.2 項の着眼点に沿って目視点検を行う際、結果をまとめるために必要なフォーマットを以下に記す。

- ① 装置プロットプラン（対象機器・エリア等が図示されているものが望ましい）
- ② フローシート（対象配管が図示されているものが望ましい）
- ③ 点検シート（付録 8）
- ④ コメント写真集（付録 8）

付録 8 に 2 つの点検シートを参考例として掲載した。この様式にとらわれる必要は無く、対象設備の特徴に応じて適宜点検項目や様式を修正し活用してもよい。

【参考文献】

- (1) 稲葉忠、配管系の耐震設計・耐震性改善と技術者の育成、検査技術、Vol.13、2008.10
- (2) 稲葉忠、配管系の耐震診断、高圧ガス保安協会 耐震診断マニュアルの検証委員会、2012.11.12

第4章 重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の耐震定量評価

4.1. 概要

重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の耐震定量評価は、耐震告示に準じ簡易法による簡易耐震定量評価または、詳細解析法による詳細耐震定量評価によることができる。

簡易耐震定量評価の手順を図4-1に示す。

また、詳細解析法は、耐震設計指針レベル1耐震性能評価（配管）編第2章配管系のレベル1耐震性能評価法によることができる。

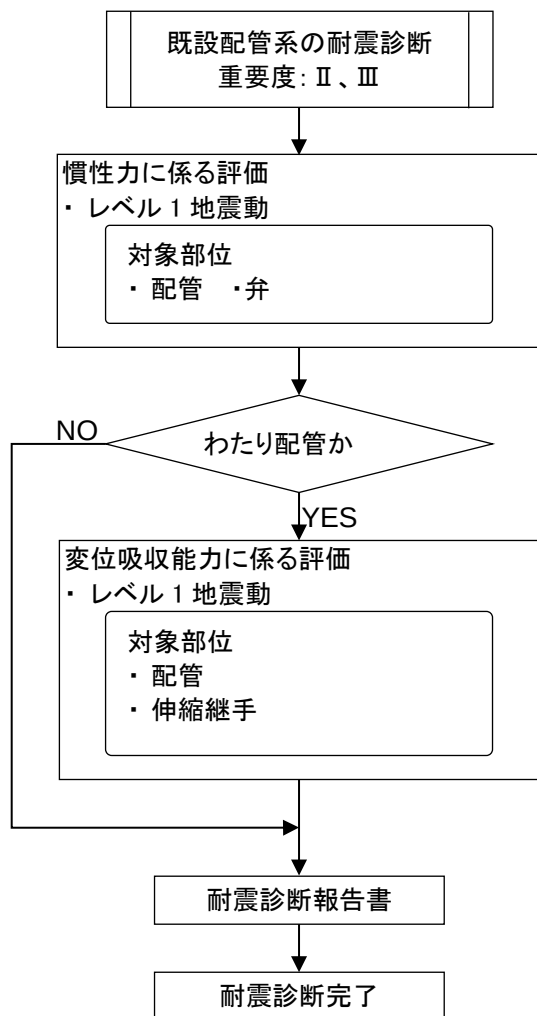


図4-1 重要度Ⅱ、Ⅲの簡易耐震定量評価手順

4.2. 配管系の詳細耐震定量評価

重要度Ⅱ及びⅢの配管系の詳細定量評価においては、耐震告示と同等の以下の詳細解析法により行なう。ただし、妥当性が確認されている定量評価方法による場合はこの限りではない。

詳細解析法による定量評価は、表 4-3 によることとする。支持構造物を除き、耐震告示と同等である。

表 4-3 配管系の詳細耐震定量評価

地震動	種別	評価項目	(詳細)
レベル 1 地震動	慣性力、相対変位	配管 慣性力	○
		相対変位	
		フランジ	—
		弁	○
		伸縮継手	○
		ノズル	—
		配管支持構造物	—

4.2.1. 地盤変状に対する変位吸収能力の評価

地震の影響要因のうち「地盤変状に起因する相対変位」に関する評価である。重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の評価は省略することができる。

診断を行うときは重要度Ⅰa、Ⅰのケースを参考のこと。

4.3. 配管系の簡易耐震定量評価

4.3.1. スパン長に関する評価

スパン長に関する診断は、地震の影響要因のうち第 1 章 1.5. (付録 4) による「配管の地震応答加速度」に対して、配管系損傷(1)曲がり管、分岐管等の配管部品の変形、亀裂又は破断による漏洩に係る定量評価である。

(1) スパン長に関する耐震性能比

スパン長に関する耐震性能比は、 L/L_a とする。

ここで、 L は、配管の管軸と直交する 2 方向及び管軸に平行な方向の地震方向に係る配管スパン長、 L_a は許容スパン長、

(2) 配管スパン長

配管スパン長 L は、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対して配管スパンの管軸方向に沿った長さを当該方向に係る配管スパン長という。

(3) 許容スパン長

許容スパン長 L_a 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に応じ、それぞれ下表に掲げる値とする。

表 4-2 許容スパン長

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 (m)								
	配 管 の 外 径 (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

ただし、当該配管スパン内に保温材等の分布重量及び弁等の集中重量等の付加重量がある場合は、その影響を考慮して、適切に低減する。

【補足】

(1) 許容スパン法の適用

耐震告示では、耐震重要度Ⅱ、Ⅲの配管系については、同告示第 17 条に規定する簡易的耐震性能確認方法（「許容スパン法」）によってもよいとしている。同方法は、支持間隔を（表 4-2）に示す値以下となるように設計する手法である。支持間隔は単純支持梁配管において、1G の地震力に対して応力 40 N/mm²、固有振動数 4Hz 程度となるように設定されている。

(2) 配管スパン内に付加重量がある場合

詳細は、耐震設計指針レベル 1 耐震性能評価(配管系)編 3.4.3.2 を参考のこと。

また、許容スパン法の計算方法については、耐震設計指針レベル 1 耐震性能評価(配管系)編の評価例を参考のこと。

4.3.2. 変位吸収能力に関する評価

重要度Ⅱ及びⅢの配管系にあつてはレベル 1 地震動に対する「地震動に係る応答変位」に関する変位吸収能力に係る評価を行なう。

変位吸収能力に対しては（図 4-2）により定量評価を実施する。

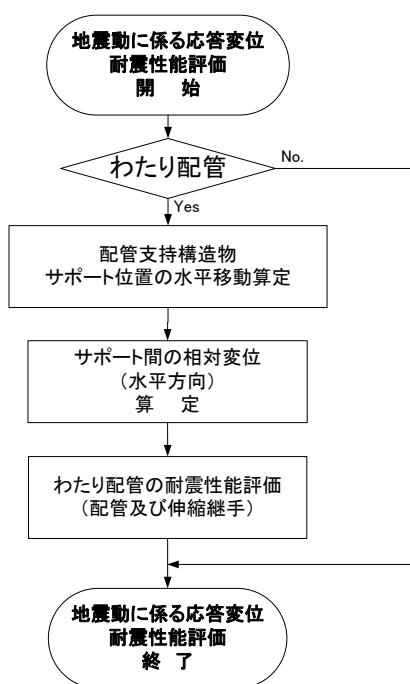


図 4-2 応答変位に係る変位吸収能力に関する評価

4.3.2.1. 地震応答変位に対する配管スパンの評価

地震の影響要因のうち第 1 章 1.5. (付録 4) による「配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位」に係る評価である。

(1) 地震応答変位に関する耐震性能比

地震応答変位に関する耐震性能比は、 $\delta r / \delta_{ra}$ とする。

ここで、 δr : 配管スパン両端の配管支持点の地震動方向に係る相対変位量

δ_{ra} : 変位吸収能力

(2) 地震応答変位

配管スパンに係る相対変位 δr は、次の算式により得られた値とする。

$$\delta r = \delta_{Q1} + \delta_{Q2}$$

ここで、

δr : 当該配管スパンに係る相対変位量 (単位 mm)

δ_{Q1} : 支持点 1 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、表 2-4)による。

δ_{Q2} : 支持点 2 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、表 2-4)による。

(3) 地震応答変位に係る変位吸収能力

地震応答変位に係る変位吸収能力 δ_{ra} は、 δ_{ya} の算式により得られる値とする。

$$\delta_{ya} = f_{yj} \cdot L_j$$

ここで、

δ_{ya} : レベル 1 耐震性能（耐震重要度Ⅱ、Ⅲ）に係る変位吸収能力（mm）
 L_j : 地震動の方向に直交する平面に対する当該配管スパンの投影長（mm）
 f_{yj} : 許容傾斜であつて、次の算式により得られる値

$$f_{yj} = 0.67 \frac{\varepsilon_y \cdot L_j}{D}$$

ε_y : 配管材料の降伏ひずみ
 D : 配管の外径（mm）

【補足】

(1) 配管支持構造物の変位量の計算は、表 2-4)による簡易計算を標準とした。このため、震度 K_{MH} で弾性計算した変位量が計算される。すなわち、付録 5 のモデルで δ_Q に相当する値が計算されてくる。

(2) 変位吸収能力の計算方法

変位吸収能力 δ_{ya} の計算式は、耐震告示第 17 条第 2 項による。

4.3.3. 地盤変状に対する変位吸収能力の評価

地震の影響要因のうち「地盤変状に起因する相対変位」に関する評価である。重要度Ⅱ、Ⅲの配管系の評価は省略することができる。

診断を行うときは重要度Ⅰa、Ⅰのケースを参考のこと。

第5章 重要度Ⅰa、Ⅰの配管系の耐震定量評価

5.1. 概要

重要度Ⅰa、Ⅰの配管系の耐震定量評価は、簡易耐震定量評価または、耐震告示に準じた詳細解析法による詳細耐震定量評価によることができる。

図5-1に、簡易耐震定量評価の手順を示す。

また、耐震告示に準じた方法は、耐震設計指針レベル2耐震性能評価解説編 第2章レベル2耐震性能評価指針に係る解説の配管系のレベル2耐震性能評価法によることができる。

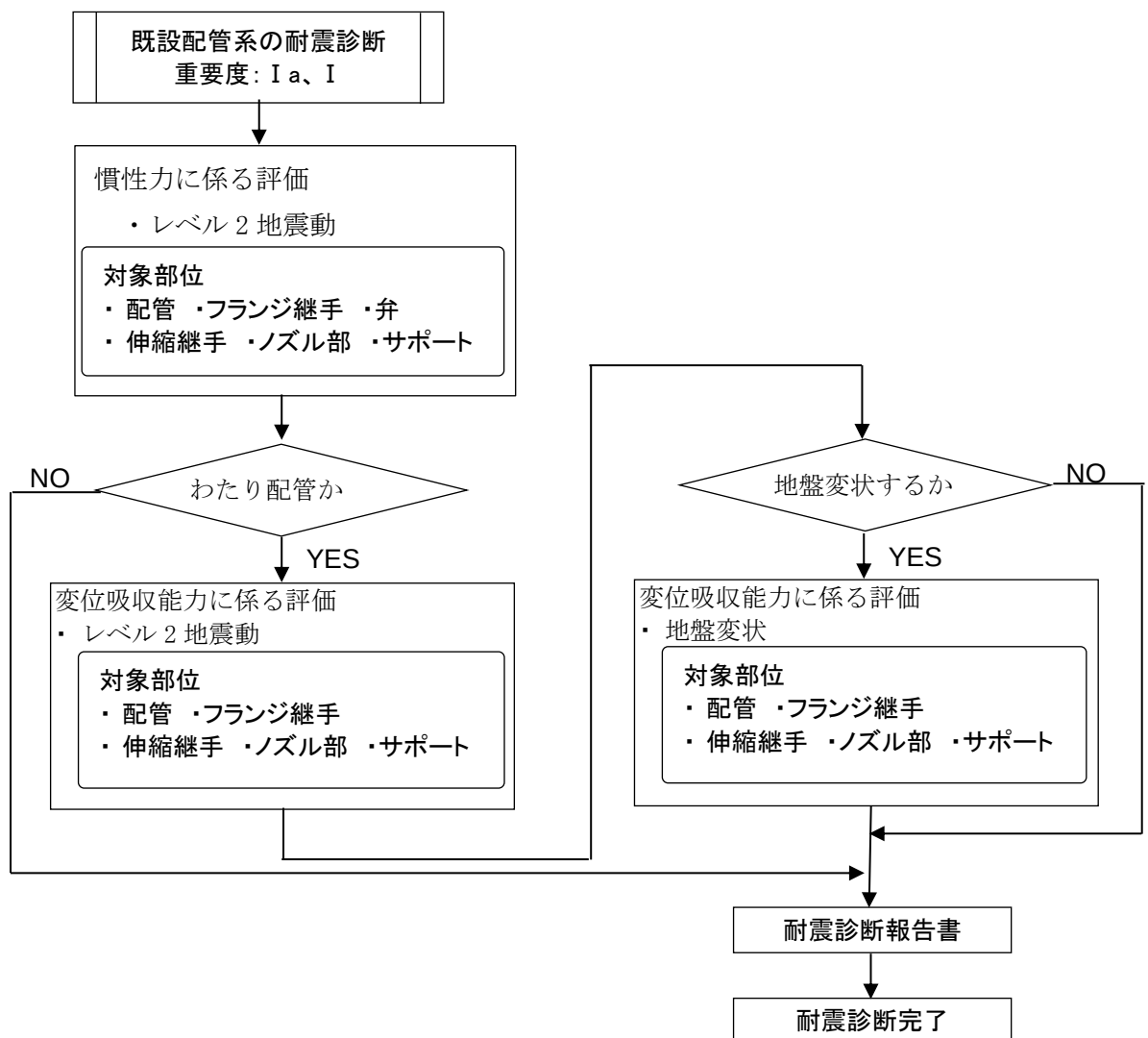


図5-1 重要度Ⅰa、Ⅰの簡易耐震定量評価手順

5.2. 配管系の詳細耐震定量評価

詳細耐震定量評価においては、詳細解析法によって、以下の定量評価を行なう。ただし、妥当性が確認されている定量評価方法による場合はこの限りではない。

詳細解析法による定量評価は、表 5-2 によることとする。耐震告示と同等である。

表 5-2 耐震重要度 I a・I の配管系の詳細耐震定量評価評価

地震動	種別	評価項目	(等価)	(代替)
レベル2地震動	慣性力・相対変位	配管	慣性力	○
			相対変位	
		フランジ		○
		弁		○
		伸縮継手		○
		ノズル		○
		サポート		○
		配管支持構造体(ラック)		=
	地盤変状	配管		○
		フランジ		○
		伸縮継手		○(構造限界)
		ノズル		○
		サポート		○

慣性力、相対変位を詳細解析法で評価する場合においても、地盤変状に対する評価法は簡易評価法でも良い。

5.3. 配管系の簡易耐震定量評価

5.3.1. スパン長に関する定量評価

スパン長に関する診断は、付録4の地震動の影響要因に係る評価において、地震の影響要因のうち「配管の地震応答加速度」に対して、配管系損傷(1)曲がり管、分岐管等の配管部品の変形、亀裂又は破断による漏洩に係る定量評価である。

(1) スパン長に関する耐震性能比

スパン長に関する耐震性能比は、 L/L_a とする。

ここで、L は、配管の管軸と直交する2方向及び管軸に平行な方向の地震方向に係る配管スパン長、 L_a は許容スパン長。

(2) 配管スパン長

配管スパン長 L は、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

のそれぞれ対して配管スパンの管軸方向に沿った長さを当該方向に係る配管スパン長という。

(3) 許容スパン長

許容スパン長 L_a 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に応じ、それぞれ表 5-3 に掲げる値とする。

表 5-3 許容スパン長

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 (m)								
	配 管 の 外 径 (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

ただし、当該配管スパン内に保温材等の分布重量及び弁等の集中重量等の付加重量がある場合は、その影響を考慮して、適切に低減する。

【補足】

(1) 許容スパン法の適用

耐震告示では、耐震重要度Ⅱ、Ⅲの配管系については、同告示第 17 条に規定する簡易法（「許容スパン法」）によってもよいとしている。既存配管系の簡易的な耐震性確認として、重要度Ⅰa、Ⅰの配管系についても同手法を準用することにした。

(2) 配管スパン内に付加重量がある場合

詳細は、耐震設計指針レベル 1 耐震性能評価(配管系)編 3.4.3.2 を参考のこと。

5.3.2. 変位吸収能力に対する評価

重要度Ⅰa 及びⅠのわたり配管にあっては、レベル 2 地震動に対する「地震動に係る応答変位」及び「地盤変状に係る変位」に関する変位吸収能力に係る評価を行なう。

変位吸収能力に対しては（図 5-1）により定量評価を実施する。

5.3.2.1. 地震応答変位に対する配管スパンの評価

地震の影響要因のうち第 1 章 1.5.（付録 4）による「配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位」に係る評価である。

(1) 地震応答変位に関する耐震性能比

地震応答変位に関する耐震性能比は、 $\delta r / \delta_{ra}$ とする。

ここで、 δr は、配管スパン両端の配管支持点の地震動方向に係る相対変位量

δ_{ra} は、変位吸収能力

(2) 地震応答変位

配管スパンに係る相対変位 δr は、次の算式により得られた値とする。

$$\delta r = \delta Q_1 + \delta Q_2$$

ここで、 δr 、 δQ_1 、及び δQ_2 は、それぞれ次の値を表す。

δ_r : 当該配管スパンに係る相対変位量 (単位 mm)

δ_{Q1} : 支持点 1 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、表 2-4)による。

δ_{Q2} : 支持点 2 の地震動に係る応答変位 (単位 mm) で、表 2-4)による。

(3) 地震応答変位に係る変位吸収能力

地震応答変位に係る変位吸収能力 δ_{ra} は、 δ_{pa} の算式により得られる値とする。

$$\delta_{pa} = f_{pj} \cdot L_j$$

ここで、

δ_{pa} : レベル 2 耐震性能 (耐震重要度 I a、I) に係る変位吸収能力 (mm)

L_j : 地震動の方向に直交する平面に対する当該配管スパンの投影長 (mm)

f_{pj} : 許容傾斜であつて、次の算式により得られる値

$$f_{pj} = 0.92 \frac{\varepsilon_y \cdot L_j}{D}$$

ε_y : 配管材料の降伏ひずみ

D : 配管の外径 (mm)

【補足】

(1) 地震応答変位に対する配管系の評価は、耐震告示第 17 条第 2 項の変位吸収能力による評価方法を、レベル 2 耐震性能評価に拡大して簡易的に行うことができることとする。

(2) 配管支持構造物の変位量の計算は、表 2-4)による簡易計算を標準とした。このため、震度 KMH で弾性計算した変位量が計算される。

(3) 変位吸収能力の計算方法

耐震告示第 17 条第 2 項の変位吸収能力 δ_a の計算式は降伏変位 δ_y を算出している。

$$\delta_y = \left(\frac{2L}{3D} \varepsilon_y \right) \cdot L$$

よって、レベル 2 耐震性能評価における変位吸収能力は保有耐力評価法の構造特性係数 D_s と損傷モード特性に応じて定まる値 C を用いて、次式により算出することができる。

$$\delta_a = \left[1 + \frac{1}{4C} \left(\frac{1}{D_s^2} - 1 \right) \right] \delta_y = \left[1 + \frac{1}{4C} \left(\frac{1}{D_s^2} - 1 \right) \right] \cdot \left(\frac{2L}{3D} \varepsilon_y \right) \cdot L$$

配管系の C の値は、応答変位に関しては安全側に $C=2.0$ 、 $D_s=0.5$ とすると、

$$\delta_a = \left(C_\delta \frac{L}{D} \varepsilon_y \right) \cdot L$$

ただし、係数 C_δ は、表 5-1 による。

表 5-1 C_δ の値

係数（採用値）	レベル 2 耐震性能評価
	応答変位
C	2
D_s	0.5
C_δ	0.92

5.3.2.2. 地盤変状変位に係る配管スパンの評価

地震の影響要因のうち第 1 章 1.5.（付録 4）による「地盤変状に起因する相対変位」に関する評価である。

(1) 地盤変状に関する耐震性能比

地盤変状に関する耐震性能比は、 δ_g / δ_{ga} とする。

ここで、 δ_g は、配管スパン両端の地盤変状による相対的移動量、

δ_{ga} は、変位吸収能力 δ_{ga}

(2) 地盤変状によるサポート間の相対変位

地盤変状による配管支持点間の相対変位量 δ_g (mm) は、2.5 による。

(3) 地盤変状に係る変位吸収能力

地盤変状に係る変位吸収能力 δ_{ga} は、下式の算式により得られる値とする。

$$\delta_{ga} = \delta_{pa} + \delta_b \text{ または } \delta_{La} \text{ いずれか大なる方の値}$$

ここで、

δ_{pa} : 変位吸収能力 (mm) で、5.3.2.1(3)で規定する値

δ_b : 曲がり管に係る変位吸収能力 (mm) で、次の算式により得られる値

$$\delta_b = L_b \cdot f_b$$

L_b : 地震方向に直交する平面に対する曲がり管で挟まれた分の配管スパンの有効投影長さとする。

f_b : 曲がり管に係る許容傾斜で、次の算式により得られる値

$$f_b = (0.0731 - 0.0103 \log Sch) D^{0.16}$$

D : 5.3.2.1(3)と同じ

Sch : 配管のスケジュール

$\log$: 自然対数

δ_{La} : 変位吸収能力 (mm) で、次の算式により得られる値

$$\delta_{La} = f_{Lj} \cdot L_j$$

f_{Lj} : 許容傾斜であつて、次の算式により得られる値

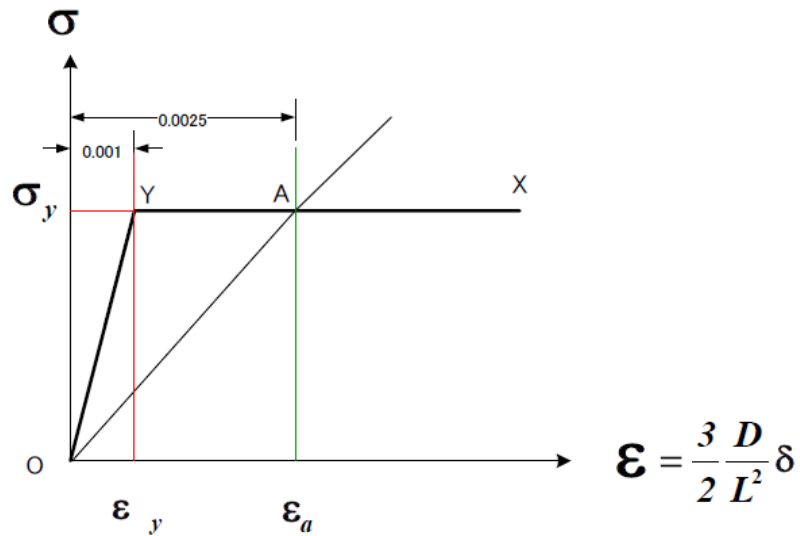
$$f_{Lj} = 1.67 \frac{\varepsilon_y \cdot L_j}{D}$$

ε_y 、 L_j 及び D : 5.3.2.1(3)と同じ

- ・地盤変位に対する変位吸収能力は簡易耐震定量評価によることができる。
- (1) 簡易耐震定量評価は、配管が地盤変状による影響が支持を介して、配管が受ける場合の配管系の耐震性能を簡易に評価するものである。
- (2) 簡易耐震定量評価は、①配管の地盤変状吸収能力、②フランジ部の耐震性能評価、③ノズル耐震性能評価、④伸縮継手の耐震性能評価及び⑤サポートによって構成している。これは、耐震告示の評価方法を簡略化している。
- (3) 耐震告示の第 17 条「配管の支持方法」(重要度Ⅱ、Ⅲのレベル 1 耐震性能評価に用いる評価方法)を基にして、重要度Ⅰa、Ⅰの配管系のレベル 2 耐震性能評価における標準的応答解析手法である等価線形解析法、すなわち曲がり部の塑性変形吸収能力を考慮して提案された簡易法である。
- ・変位吸収能力の評価の手順は付録 6 参照。

【補足】

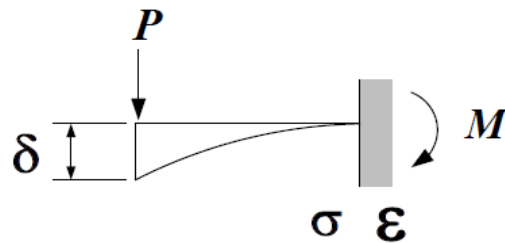
(1) 配管材料と σ - ϵ 関係を下图OYXを仮定する。



(2) 降伏点で、変位 δ_y と降伏ひづみ ϵ_y の関係(レベル1変位吸収能力)は、

$$\delta_y = \frac{1}{3} \frac{L^2}{EI} M_y = \frac{1}{3} \frac{L^2}{EI} Z \sigma_y = \frac{2}{3} \frac{L^2}{D} \epsilon_y$$

$$\epsilon_y = \frac{3}{2} \frac{D}{L^2} \delta_y \quad \text{この場合、}\epsilon_y = 0.001\text{程度と考える}$$



(3) 地盤変状による直管部の許容ひづみ ϵ_a を0.0025程度とする(A点)と、

$$\epsilon_a = (1 + \mu_p) \epsilon_y \quad \text{であるから、}\mu_p = 1.5 \quad \text{と設定することができる。}$$

(4) 地盤変状における終局状態(A点)として、 σ - ϵ 関係をOAXと仮定して、変位 δ (地盤変状変位吸収能力)を計算すると、

$$\delta_a = \frac{2}{3} \frac{L^2}{D} (1 + \mu_a) \epsilon_y = 2.5 \times \frac{2}{3} \frac{L^2}{D} \epsilon_y \cong 1.67 \frac{L^2}{D} \epsilon_y$$

5.3.3. フランジ継手の簡易耐震定量評価

重要度 I a 及び I のフランジ継手に係るフランジ継手に関する簡易耐震定量評価は、第 1 章 1.5. (付録 4) による「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び「地盤変状に起因する相対変位」に対して、配管系損傷(2) に係るフランジ継手からの締め付けに係る評価を行なう。

5.3.3.1. 地震応答変位に起因する相対変位に対するフランジ継手の簡易耐震定量評価

(1) フランジ継手に関する耐震性能比

フランジ継手に関する耐震性能比は、 P_{req}/σ_a とする。

ここで、

P_{req} : フランジ継手に作用する曲げモーメント M_r に応じて定まる全相当圧力 P_{req}

σ_a : 許容ガスケット面圧

(2) フランジ継手に作用する曲げモーメント M_r

フランジ継手に作用する曲げモーメント M_r (N・mm) は、次の算式で得られる値とする。

$$M_r = \frac{\delta_r}{\delta_{ya}} M_y \text{ ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

ここで、

δ_r : 5.3.2.1(2)に規定する地盤応答変位によるサポート間の相対変位

δ_{pa} : 5.3.2.1(3) 地震応答変位に係る変位吸収能力 (mm)

δ_{ya} : 降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

M_y : 管の降伏モーメント (Nmm)

$$M_y = Z S_y$$

Z : 管の断面係数、 $Z=\pi r^2 t$ (mm³)

M_p : 管の全塑性モーメント (Nmm)

$$M_y = Z_p S_y$$

Z_p : 管の塑性断面係数、 $Z_p=4r^2 t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 (N/mm²)

r : 管平均半径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

(3) フランジ継手の全相当圧力

全相当圧力 P_{eq} は、次の算式で得られる値とする。

$$P_{req} = m \cdot p + \alpha \cdot p_{re}$$

ここで、

p : 内圧 (MPa)

m : ガスケット係数

α : 等価圧力に対する荷重の漏洩影響度補正係数(=0.75m)

p_{re} : フランジ継手に作用する曲げモーメントの等価ガスケット圧力で、平面座ガスケット使用の場合、次の算式で得られる値。

$$p_{re} = \frac{16M_r}{\pi D_e^3}$$

M_r : 前項(2)により定まる曲げモーメント (N・mm)

D_e : ガasket接触面の平均直径(mm)で、 $D_e = D + 2(N - b)$

D : ガasket寸法は内径 (mm)

N : ガasket幅 (mm)

b : ガasket有効幅 (mm)

(4) 許容ガasket面圧

許容ガasket面圧 σ_a (N/mm²)は、ボルトの初期締め付け力によるガasket面圧 (N/mm²)とする。ただし、ボルト締め付け管理を行わない場合には、ボルト一本当たりの初期締め付け応力をボルトの降伏応力又は $1500/\sqrt{d}$ (N/mm²)のいずれか小なる値としてよい。ここで、 d はボルトに呼び径 (mm)とする。

【補足】

フランジ部に作用する曲げモーメント M_r は、変位吸収能力 δ_{ra} に対しては、フランジ部で最大で配管材の全塑性モーメントが作用すると仮定して、相対変位 δ_r の値に比例したモーメントとする。

$$M_r = \frac{\delta_r}{\delta_{ya}} M_y \quad \text{ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

ここで、

δ_r : 5.3.2.1(2)に規定する地盤応答変位によるサポート間の相対変位

δ_{pa} : 5.3.2.1(3) 地震応答変位に係る変位吸収能力 (mm)

δ_{ya} : 降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

M_y : 管の降伏モーメント (Nmm)

$$M_y = Z S_y$$

Z : 管の断面係数、 $Z = \pi r^2 t$ (mm³)

M_p : 管の全塑性モーメント (Nmm)

$$M_y = Z_p S_y$$

Z_p : 管の塑性断面係数、 $Z_p = 4r^2 t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 (N/mm²)

r : 管平均半径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

5.3.3.2. 地盤変状に起因する相対変位に対するフランジ継手の簡易耐震定量評価

(1) フランジ継手の地盤変状に関する耐震性能比

フランジ継手の地盤変状に関する耐震性能比は、 P_{geq} / σ_a とする。

ここで、

P_{geq} : フランジ継手に作用する曲げモーメント M_g に応じて定まる全相当圧力

σ_a : 許容ガasket面圧

(2) フランジ継手に作用する曲げモーメント M_g

フランジ継手に作用する曲げモーメント M_g (N・mm) は、次の算式で得られる値とする。

- ① 曲がり部間にフランジ部がある場合

$$M_g = \frac{EI}{90k_p R_1}$$

- ② ノズルから第1曲がり管の間にフランジ部がある場合

$$M_g = \frac{\delta_g}{\delta_{ya}} M_y \quad \text{ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

ここで、 δ_g : 5.3.2.2(2)に規定する地盤変状によるサポート間の相対変位

δ_{ga} : 5.3.2.2(3)地盤変状に係わる変位吸収能力 (mm)

δ_{ya} : 降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

k_p : 曲がり管のたわみ係数 ($k_p \geq k_e$)

$$k_p = \left[(1.28h + 0.03)\theta_g (90/\theta) - 0.66h + 0.75 \right] \frac{S_o}{S_y} k_e$$

θ_g : 曲がり管の変形角度(度)で、 $\theta_g = \sin^{-1}(\delta_g/L_b)$

δ_g 及び L_b : 5.3.2.2 に規定する値

h : 曲がり管のたわみ特性値 $h = TR_1 / r_2$

k_e : 弾性変形時のたわみ係数で、次式より算出する。

$$k_e = \frac{1.65}{h}$$

R_1 : 曲がり管の曲げ半径

r_2 : 曲がり管の平均半径 (mm)

T : 曲がり管の肉厚 (mm)

θ : 曲がり管の曲げ角度 (度)

S_o : 管材料の指針降伏点で、215 (N/mm²) とする。

EI : 配管の曲げ剛性 (N・mm²)

M_y, Z, M_p, S_y は、5.3.3.1 に規定する値

(3) フランジ継手の全相当圧力

全相当圧力 P_{geq} は、次の算式で得られる値とする。

$$P_{geq} = m \cdot p + \alpha \cdot p_{ge}$$

ここで、 p_{ge} : フランジ継手に作用する曲げモーメントの等価ガスケット圧力で、平面座ガスケット使用の場合、次の算式で得られる値。なお、軸方向引張力 F のガスケット面圧に与える影響は小さいのでここでは省略する。

$$p_{ge} = \frac{16M_g}{\pi D_e^3}$$

M_g : 前項(2)により定まる曲げモーメント (N・mm)

m, α, D, D_e, N, b は、5.3.3.1 に規定する値

(4) 許容ガasket面圧

許容ガasket面圧 σ_a (N/mm²)は、5.3.3.1 に規定する値。

【補足】

地盤変状による相対変位により発生する曲げモーメント (N・mm)の値 M_g は、

- (a) 曲がり部間にフランジ部がある場合、曲がり管の曲がり剛性に応じたモーメントが作用するとして、

$$M_g = \frac{EI}{90k_p R_1}$$

ここで、 $k_p = [(1.28h + 0.03)\theta_g(90/\alpha) - 0.66h + 0.75] \frac{S_o}{S_y} k_e$

I : 管の断面 2 次モーメント(mm⁴)

k_p : 曲がり管のたわみ係数($k_p \geq k_e$)

α : 曲がり管の角度(度)

θ_g : 曲がり管の変形角度(度)で、 $\theta_g = \sin^{-1}(\delta_g/L_b)$

δ_g 及び L_b は、5.3.2.2 で規定する値

k_e : 弾性変形時のたわみ係数で、次式より算出する。

$$k_e = \frac{1.65}{h}$$

h : 曲がり管のたわみ特性値

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2% 耐力 (N/mm²)

S_o : 管材料の指針降伏点で、215 (N/mm²)とする。

なお、90 度曲がり管でスケジュール管の時、 $I/k_p R$ の値は次の近似計算式を使って
もよい。

$$I/k_p R_1 = 0.031 \left(\frac{Sch}{40} \right)^{-0.5} D^{1.25+0.3 \ln \left(\frac{Sch}{40} \right)}$$

ここで、 D は、配管の外径 (mm)、 Sch は配管のスケジュール

- (b) ノズルから第 1 曲がり管の間にフランジ部がある場合

フランジ部に作用する曲げモーメント M_g は、変位吸収能力 δ_{ga} に対しては、配
管材の全塑性モーメントが作用すると仮定して、相対変位 δ_g の値に比例したモー
メントとする。

$$M_g = \frac{\delta_g}{\delta_{ya}} M_y \quad \text{ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

ここで、

M_y : 管の降伏モーメント (Nmm)

$$M_y = Z S_y$$

Z : 管の断面係数、 $Z=\pi r^2 t$ (mm³)

M_p : 管の全塑性モーメント (Nmm)

$$M_y = Z_p S_y$$

Z_p : 管の塑性断面係数、 $Z_p=4r^2 t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 (N/mm²)

r : 管平均半径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

(c) 地盤変状により相対変位が生じないような改造等措置をした場合は、評価を省略することができる。

5.3.4. 弁の簡易耐震定量評価

弁類の簡易耐震診断は、5.3.1 に規定による配管スパン長に係る耐震性能比を算出するものとする。この場合、当該弁を付加重量とする。

弁の駆動部等の偏心荷重がある場合、次の (1) 又は (2) を確認する。

(1) 固有振動数 $f = 800 \frac{\sqrt{D}}{H} \geq 15$ (Hz) のとき、耐震性能比は 0 とする。

(2) 固有振動数 $f = 800 \frac{\sqrt{D}}{H} < 15$ (Hz) のとき、弁に関する耐震性能比

弁に関する耐震性能比は、 $\sigma_n / \kappa S_y$ とする。

ここで、 σ_n 、 S_y は、次の値を表すものとする。

σ_n : 弁と駆動部等偏心重量部との間の断面に生じる応力で、
下式により算出する値 (N/mm²)

$$\sigma_n = \frac{F_{MH} L_b}{Z} + \sigma_L$$

F_{MH} : 第 2 章 2.2 解説(2)で算出する値 (N)

L_b : 当該断面から駆動部偏心重量の重心までの距離 (mm)

Z : 当該断面の断面係数

σ_L : 内圧及び駆動力による当該断面に生じる応力 (N/mm²)

S_y : 弁と駆動部等偏心重量部との間の材料の材料の設計温度における降伏点、
または 0.2%耐力 (N/mm²)

κ : 地震防災遮断弁にあつては $\kappa = 1.0$ 、その他の弁にあつては $\kappa = 2.0$

ここで、

H : 弁のボンネットフランジ面から駆動部等偏心重量部重心部までの距離 (mm)

D : 弁のボンネットフランジ面から駆動部等偏心重量部の部材の最小幅(mm)

本節の弁の簡易耐震定量評価は、弁類の頭部が支持されない場合についての簡易法である。

弁類の頭部が支持される場合は、簡易的に弁部を支持点（サポート）と見なし、5.3.7.1により支持点反力 R_s, R_r 及び R_g を算出して、これらの値に対して、(1)において F_{MH} に変えて評価を行うものとする。

弁類は頭部の偏芯重量が大きいときその影響を考慮する。実験に得られた固有周期推定式により 15Hz 以下 (2) の時、偏心量が大きいと判断する。

耐震告示第 16 条第 1 項第 2 の 2 号ハにおいて、重要度 I a、I の弁に関して、地震防災遮断弁にあつては、レベル 1 耐震性能評価で、 $\sigma_{1n} \leq 0.5S_y$ 、その他の弁にあつては $\sigma_{1n} \leq S_y$ とし、レベル 2 耐震性能に関しては評価を行わないとしている。（ここで、 σ_{1n} はレベル 1 地震動により当該弁に生じる応力を表す。） 本ガイドでは、レベル 1 耐震性能評価は行わず、レベル 2 耐震性能評価を行うこととしている。

レベル 2 地震動により弁に生じる応力を σ_n とすると、 $\sigma_{1n} = 0.5\sigma_n$ として、耐震告示式は、 $\sigma_{1n} \leq \kappa S_y$ と置くことができる。（地震防災遮断弁にあつては $\kappa = 1.0$ 、その他の弁にあつては $\kappa = 2.0$ ） このことから、弁に関する耐震性能比は、 $\sigma_n / \kappa S_y$ とすることができる。

5.3.5. 伸縮継手の簡易耐震定量評価

重要度 I a 及び I の伸縮継手に関する簡易耐震定量評価は、第 1 章 1.5. (付録 4) による「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び「地盤変状に起因する相対変位」に対して、配管系損傷(5)伸縮継手のベローズ又はその付属部品の変形、亀裂又は破断による漏洩に係る評価を行なう。

5.3.5.1 地震応答変位に起因する相対変位に対する伸縮継手の評価

伸縮継手の地震応答変位に起因する相対変位に関する耐震性能比は、 δ_r / δ_{xra} とする。

ここで、 δ_r は配管スパン両端の配管支持点の地震動方向に係る相対変位量

δ_{xra} は、伸縮継手の 50 回の繰り返し許容相対変位 (mm)

既存の伸縮継手では、温度変化、不等沈下による等による設計繰り返し数 N_c と設計変形量 δ_T が規定されている場合が多いのでそのよう場合には、簡易的に次式から許容される地震時相対変位を算出してもよい。

$$\delta_r \leq \delta_T \left(\frac{N_c}{50} \right)^{0.5}$$

5.3.5.2. 地盤変状に起因する相対変位に対する伸縮継手の評価

伸縮継手の地盤変状に起因する相対変位に関する耐震性能比は、 $\delta_g / (\delta_{xa} + \delta_{ga})$ とする。

ここで、

δ_g : 伸縮継手に係る配管スパン両端の配管支持点の地震動方向に係る相対変位量 (mm)

δ_{xa} : 当該伸縮継手の 10 回の繰り返しに対するベローズの許容変位量及び構造限界変形量のいずれか小の値とする。 (mm)

δ_{ga} : 5.3.2.2(3)で定める地盤変状に係る配管の変位吸収能力

なお、この場合伸縮継手が構造限界変形に達した時の反力により配管系の損傷に係る影響が

ないことを確認する。

配管の伸縮継手の許容変形と配管の変位吸収能力の和をもって、当該地盤変状量に対する耐震性能評価を行う。伸縮継手の耐震性能評価方法は耐震告示に準拠する。

伸縮継手は、通常変位量とその繰り返し数を考慮して設計されるが、地盤変状により 1 回だけの変位付加となり、地盤変状限界変位量は設計値よりかなり大きい。ベローズの限界変位量は、安全のために 10 回の繰り返し変位に対しての値 δ_{xab} を採用するとする。しかしながら、伸縮継手の構造上の制限（構造限界変位量 δ_{xsa} ）を考慮して、 δ_{xa} は δ_{xab} 及び δ_{xsa} のいずれか小としなければならない。

ただし、地盤変状により相対変位が生じないような改造等措置をした場合は、評価を省略することができる。

5.3.6. 塔槽類に係るノズル部の定量評価

重要度 I a 及び I の塔槽類に係るノズル部に関する簡易耐震定量評価は、地震の影響要因のうち 1.5. (付録 4) による「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び 1.5. (付録 4) による「地盤変状に起因する相対変位」対して、配管系損傷(6)ノズル部配管反力による管台、胴板の変形、亀裂または破断による漏洩に係る耐震診断を行なう。

配管の変位吸収能力の程度に応じて、最大モーメント M に配管の変位吸収能力と地盤変状量の比を乗じたモーメントを用いてチェックする。

5.3.6.1 地震応答変位に起因する相対変位に対するノズル部の評価

ノズルの地震応答変位に起因する相対変位に関する耐震性能比は、 $P_L + P_b / 3S$ 又は $(P_L + P_b + Q)$ の最大値と最小値の差 $/ 4S_y$ のいずれか大きい値とする。

ここで、 P_L : 局部一般膜応力強さ(N/mm²)

P_b : 1 次曲げ応力強さ(N/mm²)

Q : 2 次応力強さ(N/mm²)

M_r : 地震応答変位に基づくノズル部最大曲げモーメント M_r で下式により算出する。

$$M_r = \frac{\delta_r}{\delta_{ya}} M_y \quad \text{ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

δ_r : 5.3.2.1(2)に規定する地盤応答変位によるサポート間の相対変位

δ_{pa} : 5.3.2.1(3)地震応答変位に係る変位吸収能力 (mm)

δ_{ya} : 降伏変位で 4.4.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

M_y : 管の降伏モーメント (Nmm)

$$M_y = Z S_y$$

Z : 管の断面係数、 $Z = \pi r^2 t$ (mm³)

M_p : 管の全塑性モーメント (Nmm)

$$M_p = Z_p S_y$$

Z_p : 管の塑性断面係数、 $Z_p = 4r^2 t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 (N/mm²)

r : 管平均半径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

ノズル部に作用する配管曲げモーメント M_r は、フランジ部 (5.4.3.1) と同様に変位吸収能力 δp_a に対してはノズル部で配管材の全塑性モーメント M_p が作用すると仮定して、 M_p に相対変位 δr と変位吸収能力 δy_a の比の値を乗じたモーメントとする。

(参考文献例) 塔槽類に係るノズル部の評価は、強度検討は薄肉シェル理論に基づいた簡易手法(WRC 107/537 “Local Stresses In Spherical And Cylindrical Shells Due To External Loadings”, いわゆる、BIJLAARD 法)、あるいは、有限要素法(FEM)による詳細解析等による。又は、有限要素法に基づいて得られた近似式による簡易手法、表 5.3 によることもできる。

表 5.3 円筒シェル ノズル接合部の最大応力計算式

荷重	応力の種類	シェル部最大応力	ノズル部最大応力
内圧(P)	表面応力	$\frac{Svp}{\sigma_p} = -1.7988 + 3.5474 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.6} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.3} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.2} - 0.05716 \left(\frac{d}{D}\right)^{1.2} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.3} \left(\frac{t}{T}\right)^{2.9}$	$\frac{Snp}{\sigma_p} = 2.1561 - 0.02549 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.4} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.5} \left(\frac{t}{T}\right)^{-3.2} + 0.5191 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.6} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.6} \left(\frac{t}{T}\right)^{-1.3}$
	膜応力	$\frac{Svmp}{\sigma_p} = 1.2356 - 0.00161 \left(\frac{d}{D}\right)^{1.0} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.6} \left(\frac{t}{T}\right)^{-2.4} + 0.6330 \left(\frac{d}{D}\right)^{1.0} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.5} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.8}$	$\frac{Snmp}{\sigma_p} = 1.1704 - 0.0406 \left(\frac{d}{D}\right)^{1.0} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.6} \left(\frac{t}{T}\right)^{-2.0} + 0.7051 \left(\frac{d}{D}\right)^{1.0} \left(\frac{D}{T}\right)^{0.5} \left(\frac{t}{T}\right)^{-1.0}$
面内曲げ モーメント (Mi)	表面応力	$\frac{Svi}{\sigma_i} = \left[-0.0022 + 4.729 \left(\frac{d}{D}\right) - 8.674 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 5.237 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.5260} \left(\frac{t}{T}\right)^{0.812}$	$\frac{Sni}{\sigma_i} = \left[-1.119 + 11.23 \left(\frac{d}{D}\right) - 19.67 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 11.32 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.4763}$
	膜応力	$\frac{Svmi}{\sigma_i} = \left[0.3722 - 0.6740 \left(\frac{d}{D}\right) + 1.615 \left(\frac{d}{D}\right)^2 - 0.8049 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.5800} \left(\frac{t}{T}\right)^{0.8097}$	$\frac{Snmi}{\sigma_i} = \left[-0.074 + 1.505 \left(\frac{d}{D}\right) - 2.731 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 1.775 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.6526} \left(\frac{t}{T}\right)^{0.109}$
面外曲げ モーメント (Mo)	表面応力	$\frac{Svo}{\sigma_o} = \left[0.0947 + 1.099 \left(\frac{d}{D}\right) - 0.2395 \left(\frac{d}{D}\right)^2 - 0.5410 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.8972} \left(\frac{t}{T}\right)^{1.115}$	$\frac{Sno}{\sigma_o} = \left[-0.863 + 5.559 \left(\frac{d}{D}\right) - 5.895 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 1.780 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.8020} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.252}$
	膜応力	$\frac{Svmo}{\sigma_o} = \left[-0.0980 + 0.9376 \left(\frac{d}{D}\right) - 1.427 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 0.7837 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.8566} \left(\frac{t}{T}\right)^{0.7317}$	$\frac{Snmo}{\sigma_o} = \left[-0.046 + 0.4733 \left(\frac{d}{D}\right) - 0.4663 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 0.1542 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.982} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.109}$
ねじり モーメント (Mt)	表面応力	$\frac{Svt}{\sigma_t} = 1.7 \left(\frac{D}{2T}\right) \left(\frac{d}{2t}\right)^{-0.5} \left(\frac{d}{D}\right)^{2.1}$	$\frac{Snt}{\sigma_t} = 1.7 \left(\frac{D}{2T}\right) \left(\frac{d}{2t}\right)^{-0.5} \left(\frac{d}{D}\right)^{2.1}$
	膜応力	$\frac{Svmt}{\sigma_t} = 0.85 \left(\frac{D}{2T}\right) \left(\frac{d}{2t}\right)^{-0.5} \left(\frac{d}{D}\right)^{2.1}$	$\frac{Snmt}{\sigma_t} = 0.85 \left(\frac{D}{2T}\right) \left(\frac{d}{2t}\right)^{-0.5} \left(\frac{d}{D}\right)^{2.1}$
軸荷重 (F)	表面応力	$\frac{Sva}{\sigma_a} = \left[1.646 - 3.946 \left(\frac{d}{D}\right) + 8.665 \left(\frac{d}{D}\right)^2 - 5.844 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.7837} \left(\frac{t}{T}\right)^{1.199}$	$\frac{Sna}{\sigma_a} = \left[-1.389 + 10.31 \left(\frac{d}{D}\right) - 13.33 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 5.018 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.753} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.139}$
	膜応力	$\frac{Svma}{\sigma_a} = \left[6.682 - 33.80 \left(\frac{d}{D}\right) + 70.90 \left(\frac{d}{D}\right)^2 - 42.22 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.3521} \left(\frac{t}{T}\right)^{0.8697}$	$\frac{Snma}{\sigma_a} = \left[-0.050 + 1.068 \left(\frac{d}{D}\right) - 1.711 \left(\frac{d}{D}\right)^2 + 0.8444 \left(\frac{d}{D}\right)^3 \right] \left(\frac{D}{T}\right)^{0.917} \left(\frac{t}{T}\right)^{-0.0296}$
合成応力 S	表面応力	$Svc = Svp + Sva + \sqrt{Svi^2 + Svo^2 + Svt^2}$	$Snc = Snp + Sna + \sqrt{Sni^2 + Sno^2 + Snt^2}$
	膜応力	$Svmc = CFv \left[Svmp + Svma + \sqrt{Svmi^2 + Svmo^2 + Svmt^2} \right]$ $CFv = 0.4 + \left(\frac{a}{L}\right) \left[0.4 - \frac{0.3}{1 + \left(\frac{L}{a}\right)} - \frac{0.1}{1 + \left(\frac{L}{a}\right)^3} \right], \quad a = \frac{d}{2}, \quad L = 0.78 \sqrt{\frac{DT}{2}}$	$Snmc = 0.8 \left[Snmp + Snma + \sqrt{Snmi^2 + Snmo^2 + Snmt^2} \right]$

ここで、 $\sigma_p = \frac{PD}{2T}$, $\sigma_i = \frac{4Mi}{\pi d^2 t}$, $\sigma_o = \frac{4Mo}{\pi d^2 t}$, $\sigma_t = \frac{4Mt}{\pi d^2 t}$, $\sigma_a = \frac{F}{\pi d t}$

出典 : Koves, W., Mokhtarian, K., Rodabaugh, E., Widera, G.E.O., Wei, Z., “Large Diameter Ratio Shell Intersections”, WRC Bulletin No.497, December 2004.

5.3.6.2. 地盤変状に起因する相対変位に対するノズル部の評価

ノズルの地盤変状に起因する相対変位に関する耐震性能比は、 $(P_L + P_b + Q)$ の最大値と最小値の差) / $4 S_y$ とする。

ここで、 P_L は、局部一般膜応力強さ(N/mm²)

P_b は、1次曲げ応力強さ(N/mm²)

Q は、2次応力強さ(N/mm²)

M_g は、地震変状に基づくノズル部最大曲げモーメント M_g で下式により算出する。

$$M_g = \frac{\delta_g}{\delta_{ya}} M_y \quad \text{ただし、最大で } M_p \text{ とする。}$$

δ_g : 5.3.2.2(2)に規定する地盤変状によるサポート間の相対変位

δ_{ga} : 5.3.2.2(3)に規定する 地震変状に係る変位吸収能力 (mm)

δ_{ya} は、降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

M_y : 管の降伏モーメント (Nmm)

$$M_y = Z S_y$$

Z : 管の断面係数、 $Z = \pi r^2 t$ (mm³)

M_p : 管の全塑性モーメント (Nmm)

$$M_p = Z_p S_y$$

Z_p : 管の塑性断面係数、 $Z_p = 4r^2 t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 (N/mm²)

r : 管平均半径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

ノズル部に作用する配管曲げモーメント M_g は、フランジ部に関する 5.3.3.2(2)②と同様に変位吸収能力 δ_{ga} に対してはノズル部で配管材の全塑性モーメント M_p が作用すると仮定して、 M_p に相対変位 δ_g と変位吸収能力 δ_{ya} の比の値を乗じたモーメントとする。
ただし、地盤変状により相対変位が生じないような改造等措置をした場合は、評価を省略することができる。

5.3.7. 配管系サポートの評価

配管系のサポートは、第1章 1.5. (付録 4) による「配管の地震応答加速度」、「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び「地盤変状に起因する相対変位」に起因する機能喪失による配管系の損傷の影響要因となる。

配管系のサポートにあつては、レベル 2 地震動に対する地震応答及び地盤変状に関して当該配管系の損傷に及ぼす影響を診断する。

配管系サポートの評価は、下記による。

- (1) 支持機能サポート、レストレイント機能サポートの支持力の耐震診断を行なう。
- (2) レストレイント機能サポートの非拘束方向の変位による機能喪失に係る耐震診断

を行なう。

- (3) 固定サポート及び解放サポートに関しては簡易法では、サポート機能確認のみとして、数値的診断は詳細解析法で行なう。

- (4) その他のサポート機能喪失に関しては、目視による評価とする。

地盤変状(液状化・流動)が配管に与える影響は、地盤の水平移動、あるいは沈下に追従して基礎、及びサポートが移動することによるものである。

共通基礎上のサポート、耐圧部材に直接溶接されるサポートについては強度検討を行う。

サポートの支持力はサポートの相対変位係わる支持力によって算出することができる。

なお、解放サポートとしての機能を有していれば地盤変状に対して非拘束として扱うことができる。また、防液堤(仕切堤)を貫通し地盤変状によって配管を拘束される場合には、配管の評価を行う

5.3.7.1. サポートの簡易耐震定量評価

サポート支持荷重に関する耐震性能比は(1)及び(2)により算出する。

- (1) 配管系の地震応答に関しては、 $(R_s + R_r) / R_{ra}$ とする。

ここで、 R_s : 5.3.7.2 による配管慣性力に係るサポート支持荷重

R_r : 5.3.7.3 による地震応答変位に起因する相対変位に係るサポートの荷重

R_{ra} : 5.3.7.5 による地震応答に係るサポート許容支持力

- (2) 地盤変状に関しては、 R_g / R_{ga} とする。

ここで、 R_g : 5.3.7.4 による地盤変状に起因する相対変位に係るサポートの支持荷重

R_{ga} : 5.3.7.5 による地盤変状に係るサポート許容支持力

配管系の地震応答に関しては、慣性力に係るサポート荷重と地震応答変位に起因するサポート荷重の和がサポートの許容支持力以下であることを確認する。

地盤変状に関しては、地盤変状に起因する相対変位に係るサポート支持荷重が地盤変状に係る許容支持力以下であることを確認する。

5.3.7.2. 配管慣性力に係るサポート支持荷重

配管スパン両端の配管管材及び内容液に係る慣性力によるサポート荷重 R_s は、配管系の地震応答震度に当該配管の重量を乗じて算出するものとする。

ただし、簡易的に表 5-5 によっても良い。ここで、サポートの支持方向ごとの値とする。ここで、鉛直方向荷重は自重+鉛直方向地震荷重の値とする。

また、保温材等の分布重量、弁等の集中重量がある場合はこの影響を考慮する。

表 5-5 サポート支持荷重 R_s

運転状態における 配管内の高圧 ガスの状態	サポート荷重 (kN)								
	配 管 の 外 径 (mm)								
	48.6	60.5	89.1	114.3	216.3	318.5	406.4	508.0	609.6
液化ガス	0.8	1.2	3.2	5.2	19.4	44.8	57.8	135.4	208.0
圧縮ガス	0.6	1.0	2.4	3.6	12.8	28.6	50.8	84.4	128.6

ただし、

- ① 本表において、配管の水平方向修正震度を 2.0、鉛直方向震度を 1.0 としている。
- ② 配管スパン長は、安全側に許容スパン長としたときの自重（配管材＋内容液）に関して算出した値である。
- ③ 管軸方向反力は、負担長さにおける自重（配管材＋内容液）に配管の水平方向修正震度を 2.0 を乗じて考慮するものとする。

5.3.7.3. 地震応答変位に起因する相対変位に係るサポートの支持荷重

配管スパンに地震応答変位に起因する相対変位があるとき、両端のサポートの支持荷重は、下式により算出する。

$$R_r = \frac{\delta_r}{\delta_{ya}} \frac{M_y}{L_j} \quad \text{ただし、} \frac{\delta_r}{\delta_{ya}} M_y \text{ の最大は } M_p \text{ とする。}$$

ここで、

- R_r : サポート支持荷重 (N)
- L_j : 5.3.2.1(3)に規定する地震動の方向に直交する平面に対する当該配管スパンの投影長 (mm)
- M_y : 管の降伏モーメント $M_y = ZS_y$ (Nmm)
- Z : 管の断面係数、 $Z = \pi r^2 t$ (mm³)
- M_p : 管の全塑性モーメント $M_p = Z_p \cdot S_y$ (N/mm²)
- Z_p : 配管の塑性断面係数 $Z_p = 4r^2 t$ (mm³)
- S_y : 管材料の設計温度における降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm²)
- δ_r : 5.3.2.1 (2)に規定する当該配管スパンに係る変位量 (mm)
- δ_{pa} : 5.3.2.1 (3)に規定する当該配管スパンの変位吸収能力 (mm)
- δ_{ya} : 降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

5.3.7.4. 地盤変状に起因する相対変位に係るサポートの支持荷重

配管スパンに地盤変状に起因する相対変位があるとき、両端のサポートの支持荷重は、下式により算出する。

$$R_g = \frac{\delta_g}{\delta_{ya}} \frac{M_y}{L_j} \quad \text{ただし、} \frac{\delta_g}{\delta_{ya}} M_y \text{ の最大は } M_p \text{ とする。}$$

ここで、

- R_g : サポート支持荷重 (N)
- L_j : 5.3.2.2(3)に規定する地震動の方向に直交する平面に対する当該配管スパンの投影長 (mm)
- M_y : 管の降伏モーメント $M_y = ZS_y$ (Nmm)
- Z : 管の断面係数、 $Z = \pi r^2 t$ (mm³)
- M_p : 管の全塑性モーメント $M_p = Z_p \cdot S_y$ (N/mm²)

Z_p : 配管の塑性断面係数 $Z_p=4r^2t$ (mm³)

S_y : 管材料の設計温度における降伏点又は 0.2%耐力 (N/mm²)

δ_g : 5.3.2.2(2)に規定する当該配管スパンに係る変位量 (mm)

δ_{ga} : 5.3.2.2 (3)に規定する当該配管スパンの変位吸収能力(mm)

δ_{ya} : 降伏変位で 4.3.2.1 (3)地震応答変位に係る変位吸収能力とする

変位吸収能力の変位が作用した時当該サポートの位置で管モーメントは全塑性モーメントに等しいとしてサポート反力を算出する。

ただし、地盤変状により相対変位が生じないような改造等措置をした場合は、評価を省略することができる。

5.3.7.5. サポート許容支持力

サポート許容支持力は下記による。

- (1) 地震応答に係るサポート許容支持力 R_{ra} は、降伏荷重とする。
- (2) 地盤変状に係るサポート許容支持力 R_{ga} は、限界荷重とする。
- (3) 降伏荷重及び限界荷重の計算方法は、耐震設計指針レベル 2 耐震性能評価 解説編 [9.2.4.5]節」

当該降伏荷重又は限界荷重に関してサポート取り付け溶着部品等及びその周辺配管の亀裂、破断等が生じないことを確認する必要がある。

5.3.7.6. レストレイントの非支持方向変位による機能喪失

レストレイントの非支持方向変位による機能喪失に関する簡易耐震診断は、非拘束方向の地震応答変位及び地盤変状変位に対して、レストレイントの機能が喪失しないことを確認する。

非拘束方向の地震応答変位及び地盤変状変位は、それぞれ 5.3.2.1(2)及び 5.3.2.2(2)に準じて算出する。

5.3.8. 配管系支持構造体

定量評価を省略してよい。

付録

付録 1 配管系耐震診断例

1.1. 配管

1.1.1. 塔周り配管系の耐震診断例

「既存配管系耐震診断法のガイド」を塔周り配管系に適用して、耐震診断を実施する。その概要を以下に示す。

事業所の種類：コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所

流体の種別：圧縮ガス

建設時期： 1984 年 3 月

系統図： (別途)

系統名： 塔頂配管

配管ライン番号： 16B-MH-0004-1P

診断範囲： 図 1.1-1 に示す範囲

表.1.1-1 に配管系データを示す。

表. 1. 1-1 配管系データ

配管耐震診断 配管系データ										
耐震設計条件	地震動レベル:	レベル1		レベル2						
	重要度区分: Ⅲ	$\beta 1$	=	0.5	-					
	地域区分: 特A地区	$\beta 2$	=	1.0	-					
	地盤種別: 第3種地盤	$\beta 3$	=	2.0	-					
	地表面設計震度	水平震度	K_H	=	0.15	-				
配管系仕様	設計仕様	dID	運転圧力(MPa)	運転温度(℃)	流体	流体の種別				
		T203-E-203	1	70	ブテン	圧縮ガス				
	配管仕様	pID	口径(mm)	肉厚(mm)	材質	基準スパン長(m)	液比重			
		16B-MH-004-1P	406.4	12.7	SM400B	20.3	0			
			保温材厚さ(mm)	保温材密度(kg/m3)	保温材重量(N/m)	Sy(*1) (N/mm2)	縦弾性係数 (GPa)			
			0	-	0	232	199.8			
	フランジ仕様	jID	規格	材質	サイズ	ガスケット	m値	初期締め付けガスケット面圧		重量(kg)
		16B	JPI 150# SO	SFVC2A	400A	ジョイントシート (2.0mm, AS)	2	10.98		599.73
		14B	JPI 150# SO	SFVC2A	350A	ジョイントシート (2.0mm, AS)	2	10.98		466.01
配管支持構造物仕様	配管支持構造物	rID	分類	基礎(rID)	固有周期(s)	全高(m)				
		T-1	塔	-	-	24.5				
		STR-1	架構	-	-	12.05				
		E-1	横置円筒貯槽	-	-	10				
サポート変位	応答変位	uID	sID	fID	rID	取付高さ(mm)	X方向(mm)	Y方向(mm)		Z方向(mm)
		T-1	-	-	T-1	25230	94.1	0		94.1
		E-1	-	-	E-1	14150	0	0		0
		R-1	-	-	T-1	23450	0	0		0
		R-2	-	-	T-1	21700	0	0		0
		SS-7	-	-	STR-1	156730	13.86	0		13.86

(*1) Sy: 降伏点又は0.2%耐力

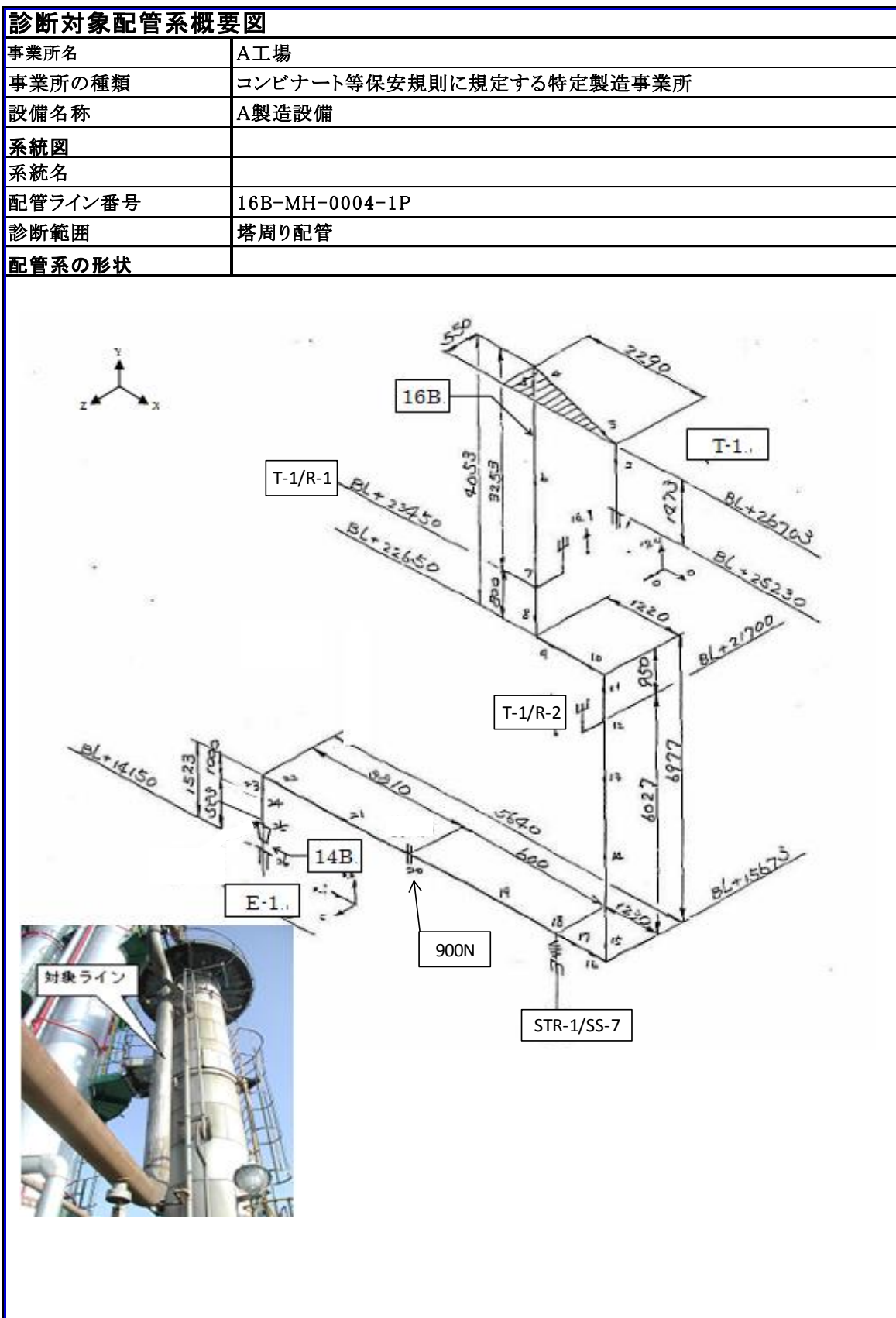


図 1.1-1 診断対象配管系概略図

表 1.1-2 点検損傷モード抽出結果

点検損傷モード抽出表					
事業所名	A工場				
事業所の種類	コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所				
設備名称	A製造設備				
系統図					
系統名					
配管ライン番号	16B-MH-0004-1P				
診断範囲	塔周り配管				
配管系の形状					
耐震診断の条件	分 類	条 件	該当有無		備 考
	図面・その他	信頼できる図面はあるか	■	有	
		主として現場スケッチによる点検か	□	無	
		近接が困難な箇所のある点検か	■	有	
	経年・環境	平成12年(レベル2 対応)以前の建設であるか	□	無	
		平成9年(配管対応)以前の建設であるか	□	無	
		昭和57年(塔槽レベル1 対応)以前の建設であるか	■	有	
		建設・改造後10年以上経過した設備か	■	有	
		耐震重要度はⅠa又はⅠであるか	□	無	
		配管部品、伸縮継ぎ手、サポート・支持装置等の維持点検は行っており、健全性の記録確認できるか	■	有	可動部の固着、接続ボルトの緩み、その他の部品の機能維持機構
		配管部品で特殊材料を使用しているか	□	無	耐震強度部材として脆性材料、非鉄鋼材などを使用
		関連地盤は地盤変状があるか又は判定できない	□	無	地盤の液化化判定・流動判定に基づく
		共通の基礎上に設置されているか	□	無	配管は現に又は改造により共通基礎にあるか
		腐食環境にあるか	□	無	湿気、海岸環境、露結配管・・・;耐腐食非対策等
	周り配管	球形貯槽周り配管	□	無	
		横置円筒形貯槽周り配管	■	有	
		塔類周り配管	■	有	
		平底円筒形貯槽周り配管	□	無	
		回転機周り配管	□	無	
		冷凍空調設備配管	□	無	
		架構上配管	■	有	
		その他	□	無	
	わたり配管	塔槽類又は回転機間のわたり配管があるか	■	有	地上・塔槽類又は回転機間配管も含む
		塔槽類又は回転機－架構等間のわたり配管があるか	□	無	架構等にパイプラックを含む
		架構等間のわたり配管があるか	□	無	架構等にパイプラックを含む地上・架構間配管も含む
		異なる基礎間のわたり配管があるか	□	無	独立基礎、架構基礎、塔槽・架構基礎・防液堤間等のわたり配管
		小口径分岐管があるか	□	無	母管の1/2以下径の分岐管、ただし、分岐管に支持点がない場合を除く
	構成要素	フランジ継手	■	有	
		ねじ込み継手	□	無	
		伸縮継手	□	無	
		ノズル	■	有	
		弁	□	無	
		地震防災遮断装置及び関連配管	□	無	
	サポート	配管付属品・重量物	□	無	
		固定支持サポート(アンカー)	□	無	
		防振器(エネルギー吸収サポート、スナバー等)	□	無	
		解放サポート	□	無	
		ガイド・ダミーサポート・ストッパー・レスティン	■	有	
		Uボルト・Uバンド	□	無	
	配管支持構造物	(断熱)シュウ	■	有	
		ハンガー	■	有	
		塔槽類	■	有	
		架構	■	有	
		パイプラック等	□	無	
	関連構造物	回転機	□	無	
		防振架台	□	無	
		防液堤	□	無	
		隣接配管系	■	有	
		周辺構造物(塔槽類、架構等を含む)	■	有	
	関連構造物	付属構造物(階段、ステージ、吊金具等)	■	有	
		近傍の盛土又は自然傾斜地盤	□	無	

表 1.1-3 耐震診断 現場点検結果

ライン番号: 6B-MH-0004-1P	図面番号:1.1-1	実施日: 2015/3/4	実施者: 高圧 太郎
-------------------------	------------	---------------	------------

点検区分		点検項目		点検結果(1)			注記
大区分	小区分	点検項目	説明	○	△	×	
配管	慣性力	サポートスパン	サポート不足で配管が高応力を生じたり大きく揺れたりすることはないか。			✓	
			配管が梁、架台から落下することはないか。			✓	写真あり
		分岐部	地震荷重が分岐部に集中して作用するようなことはないか。	-	-	-	分岐無し
		弁(偏心重量大)	駆動部が大きく揺れ、変形したり計装品を損傷させたりしないか。	-	-	-	弁無し
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。	✓			
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。		✓		
	相対変位	可撓性	配管系の可撓性は十分か。	✓			
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。	✓			
		小口径配管	母管の揺れ、滑動で小口径配管が相対変位を加えられたり衝突したりすることはないか。	-	-	-	小口径管無し
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。	✓			
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。	✓			
	地盤変状	可撓性	配管系の可撓性は十分か。	-	-	-	
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。	-	-	-	
		枝管	母管の移動に伴って枝管が梁などに衝突することはないか。	-	-	-	
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。	-	-	-	
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。	-	-	-	
サポート		腐食	サポートが腐食し、減肉していないか。	✓			
		施工	ボルトの緩み、腐食、欠損などはないか。	✓			
		強度	地震荷重に耐えられるか。	✓			
干渉		隣接構造物	大口径配管等の隣接構造物が揺れたり滑動したりし、衝突されることはないか。	✓			
		支持構造物	支持構造物が倒壊、崩壊することはないか。	✓			
			支持構造物のサポートが損傷し、揺れが増大して相対変位を加えられることはないか。				
		周辺構造物	周辺に倒壊の恐れのある脆弱な構造物はないか。	✓			
		上方構造物	上方から物が落下してくる恐れはないか。	✓			

(1); 該当箇所に✓を入れる。○:問題なし(要件を満足する) △:要検討 ×:要改善 —:該当せず

その他 コメント

水平方向サポートが不足していると考えられる。

表 1.1-4 耐震診断 現場調査結果

配管耐震診断 点検シート			
事業所名	A工場		
事業所の種類	コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所		
設備名称	A製造設備		
系統図			
系統名			
配管ライン番号	16B-MH-0004-1P		
診断範囲	塔周り配管		
配管系の形状			
耐震診断 現場点検者 (耐震技術者) 点検メモ	 架構上の骨組構造物から下置きのスプリングハンガーで支持している。配管下部に設置された受皿のツバで脱落防止となっているが、耐震性能の観点からは水平支持のガイドとは見なせない。		
	名 前	耐震診断日付	印
耐震診断 現場点検者 (設備技術者) 点検メモ			
	名 前	耐震診断日付	印

表 1. 1-5 耐震診断結果一覧表

耐震診断結果一覧表											
診断対象配管系			重要度	診断結果	地震影響比			経年変化 の状況	その他の 耐震性	処 置	耐震診断 概要
記号	名 称	範囲			慣性力	変位吸収能力					
						応答変位	地盤変状				
	A製造設備 塔周り配管	16B-MH-0004-1P	Ⅲ	NG	1.15	0.27	-	適	適	-	慣性力に対する水平方向サポート が不足している

表 1.1-6 慣性力及び変位吸収能力（地震応答変位）に係る定量評価結果

配管系の耐震性能評価(慣性力/地震応答変位)

管サイズ: 400 A				設計温度: 70.00 °C		高圧ガスの状態: 圧縮ガス		Wa 25.339 (N)		材質: SM400B		降伏ひずみ: ey = Sy/E = 0.00116	
外径 D = 406.4 mm				設計圧力: 1.00 MPa		許容スパン長 La = 20.3 (m)		Γp 1.248.2 (N/m)		設計温度における降伏点又は0.2%耐力: Sy = 232.14 N/mm²		設計温度における破壊性係数: E = 199.800 N/mm²	
										変位吸収能力算出係数: Cε y/D = 1.8195e-06			

許容スパン評価										最大地震性能比: 1.15		変位吸収能力評価										最大地震性能比: 0.27	
配管相当スパン長(m)										投影長(m)、変位吸収能力・変位量・相対変位(mm)													
支持 RX	スパン要素 X, Y, Z	許容スパン長 S(X+Y+Z)	比	支持 RY	スパン要素 X, Y, Z	許容スパン長 S(X+Y+Z)	比	支持 RZ	スパン要素 X, Y, Z	許容スパン長 S(X+Y+Z)	耐震性能比	投影長 S(Y+Z)	変位吸収能力 da	耐震性能比	投影長 3(Z+X)	変位吸収能力 da	耐震性能比	投影長 X(X+Y)	変位吸収能力 da	耐震性能比			
○	1.473			○				○	1.473			1.473						1.473					
	2.355				2.355				2.355			0.550						2.290					
	3.253					20.30	0.116		3.253			3.253						3.253					
	0.800			○					0.800			0.800						0.800					
	1.220				1.220				1.220			0.000						1.220					
	0.950					20.30	0.060		0.950			0.950						0.950					
	6.027			○					6.027			6.027						6.027					
	1.230				1.230	1.230	0.061		1.230			0.000						1.230					
	0.600			○	0.600				0.600			0.000						0.600					
	3.810				3.810				3.810			0.000						3.810					
	1.000								1.000			1.000						1.000					
	0.559	23.277	1.147			4.410	0.217		0.559	23.277	1.147	0.559	107.960	0.264				0.559	107.960	0.105			
○				○				○				14.612						23.212					

1	A1	○	○	○	406.4	T-1	94.10	94.10
2	〃		1.473		1,248.2			
3	A2				406.4		0.00	0.00
4	〃	-2.290		-0.550	1,248.2			
5	A3				406.4		0.00	0.00
6	〃		-3.253		1,248.2			
7	A4		○		406.4	T-1	0.00	0.00
8	〃		-0.800		1,248.2			
9	A5				406.4		0.00	0.00
10	〃	1.220			1,248.2			
11	A6				406.4		0.00	0.00
12	〃		-0.950		1,248.2			
13	A7		○		406.4	T-1	0.00	0.00
14	〃		-6.027		1,248.2			
15	A8				406.4		0.00	0.00
16	〃	-1.230			1,248.2			
17	A9		○		406.4	STR-1	0.00	0.00
18	〃	-0.600			1,248.2			
19	A10				406.4	900	0.00	0.00
20	〃	-3.810			1,248.2			
21	A11				406.4		0.00	0.00
22	〃		-1.000		1,248.2			
23	A12				355.6		0.00	0.00
24	〃		-0.523		954.6			
25	A13	○	○	○	355.6	E-1	13.86	13.86
26								

1.1.2. 球形貯槽周りの配管系の耐震診断例

「既存配管系耐震診断法のガイド」を球形貯槽周り配管系に適用して、レベル2耐震診断を実施する。評価方法は等価線形法とする。その概要を以下に示す。

1 設置条件

事業所の種類： コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所
流体の種別： 液化ガス（LPG）
建設時期： 1975年3月
対象設備： LPGタンク払出配管
液状化の有無： 無し

2 配管の形状及び配管系データ

配管系の形状を図1.2-1に、配管系データを表1.2-1に示す。節点C00は防液堤貫通部であり、ここを耐震上の3軸固定点とみなす。節点C01及びC02はスリパー支持、節点C07及びC10は鋼材によるサポートで、C07はUボルトによる支持となっている。配管は内圧均衡型伸縮継手を介して貯槽のノズルに接続されている。ノズル元のパルプは手動弁である。

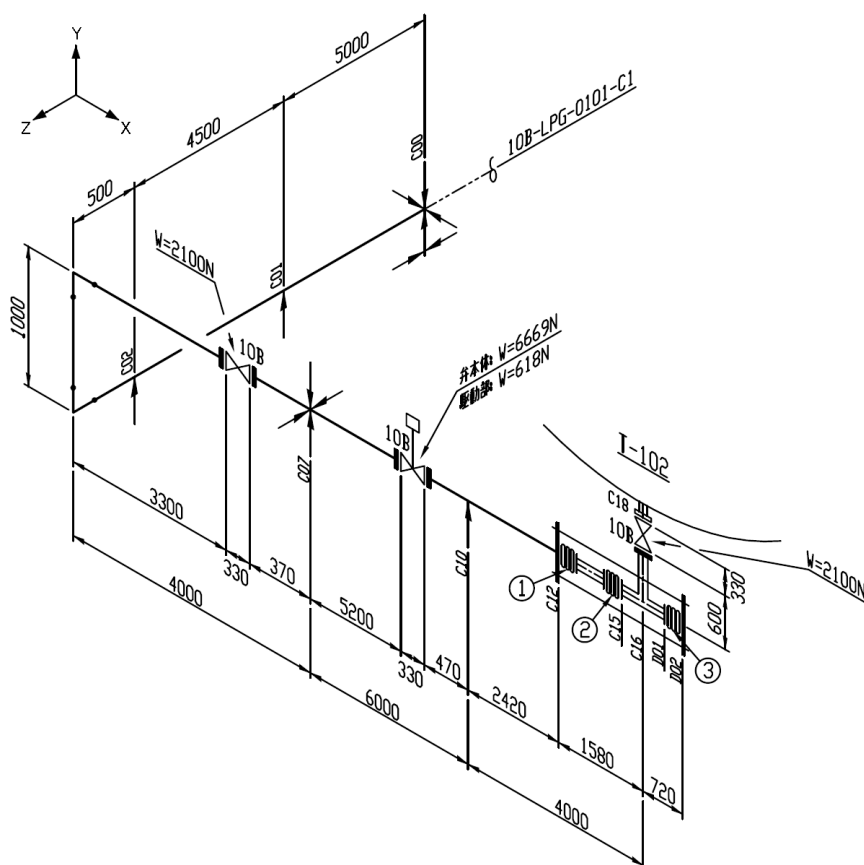


図 1.2-1 球形貯槽まわり配管

表 1.2-1 配管系データ

診断条件	運転圧力	0.45 MPa
	運転温度	40 °C
	内部流体	LPG
	内部流体比重	0.58
配管仕様	材質	STPG370-S
	サイズ	10B (250A)
	外径	267.4 mm
	スケジュール	40
	保温材	なし
配管物性値	降伏点	215 N/mm ²
	縦弾性係数	201800 N/mm ²
	降伏ひずみ	1.07×10 ⁻³
配管支持構造物 (球形貯槽)	名称	T-102 タンク
	球殻外径	18.0 m
	固有周期	0.3 秒
	ブレース形式	鋼管タイプ
伸縮継手	型式	曲管内圧均衡型
	有効断面積	767 cm ²
	ベローズ山数	4 山／4 山／5 山
	ベローズ管軸剛性	1000 N/mm ²
	ベローズ曲げ剛性	100 N・m/deg
	設計変位 (軸方向)	±50mm
	” (軸直角方向)	±50mm
遮断弁	弁本体重量	6669 N
	駆動部重量	618 N
	H/√D	60 を超える
	駆動部の配管に対する応答倍率	3.0

伸縮継手についてはメーカーの計算書が入手できなかったため、ベローズの剛性（ばね定数）については同等の製品より想定した。

3 目視点検

表 1.2-2 点検損傷モード抽出結果

点検損傷モード抽出表				
事業所名	A工場			
事業所の種類	コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所			
設備名称	LPG球形貯槽			
系統図				
系統名				
配管ライン番号	10B-LPG0101-C1			
診断範囲	貯槽周り配管			
配管系の形状				
耐震診断の条件	分類	条件	該当有無	備考
	図面・その他	信頼できる図面はあるか	☐ 無	
		主として現場スケッチによる点検か	☒ 有	
		近接が困難な箇所のある点検か	☐ 無	
	経年・環境	平成12年(レベル2 対応)以前の建設であるか	☐ 無	
		平成9年(配管対応)以前の建設であるか	☐ 無	
		昭和57年(塔槽レベル1 対応)以前の建設であるか	☒ 有	
		建設・改造後10年以上経過した設備か	☒ 有	
		耐震重要度はⅠa又はⅠであるか	☒ 有	
		配管部品、伸縮継ぎ手、サポート・支持装置等の維持点検は行っており、健全性の記録確認できるか	☒ 有	可動部の固着、接続ボルトの緩み、その他の部品の機能維持機構
		配管部品で特殊材料を使用しているか	☐ 無	耐震強度部材として脆性材料、非鉄鋼材などを使用
		関連地盤は地盤変状があるか又は判定できない	☐ 無	地盤の液化化判定・流動判定に基づく
		共通の基礎上に設置されているか	☐ 無	配管は現に又は改造により共通基礎上にあるか
		腐食環境にあるか	☐ 無	湿気、海岸環境、露結配管・・・;耐腐食非対策等
	周り配管	球形貯槽周り配管	☒ 有	
		横置円筒形貯槽周り配管	☐ 無	
		塔類周り配管	☐ 無	
		平底円筒形貯槽周り配管	☐ 無	
		回転機周り配管	☐ 無	
		冷凍空調設備配管	☐ 無	
		架構上配管	☐ 無	
		その他	☐ 無	
	わたり配管	塔槽類又は回転機間のわたり配管があるか	☐ 無	地上・塔槽類又は回転機間配管も含む
		塔槽類又は回転機－架構等間のわたり配管があるか	☐ 無	架構等にパイプラックを含む
		架構等間のわたり配管があるか	☐ 無	架構等パイプラックを含む地上・架構間配管も含む
		異なる基礎間のわたり配管があるか	☐ 無	独立基礎、架構基礎、塔槽・架構基礎・防液堤間等のわたり配管
		小口径分岐管があるか	☐ 無	母管の1/2以下径の分岐管、ただし、分岐管に支持点がない場合を除く
	構成要素	ブランチ継手	☒ 有	
		ねじ込み継手	☐ 無	
		伸縮継手	☒ 有	
		ノズル	☒ 有	
		弁	☒ 有	
		地震防災遮断装置及び関連配管	☒ 有	
		配管付属品・重量物	☐ 無	
	サポート	固定支持サポート(アンカー)	☐ 無	
		防振器(エネルギー吸収サポート、スナバー等)	☐ 無	
		解放サポート	☐ 無	
		ガイド・ダミーサポート・ストッパー・レストイング	☒ 有	
		Uボルト・Uバンド	☒ 有	
		(断熱)シュュー	☐ 無	
		ハンガー	☐ 無	
	配管支持構造物	塔槽類	☒ 有	
		架構	☐ 無	
		パイプラック等	☐ 無	
		回転機	☐ 無	
	関連構造物	防振架台	☐ 無	
		防液堤	☒ 有	
		隣接配管系	☒ 有	
		周辺構造物(塔槽類、架構等を含む)	☒ 有	
		付属構造物(階段、ステージ、吊金具等)	☒ 有	
		近傍の盛土又は自然傾斜地盤	☐ 無	

表 1.2-3 点検シート

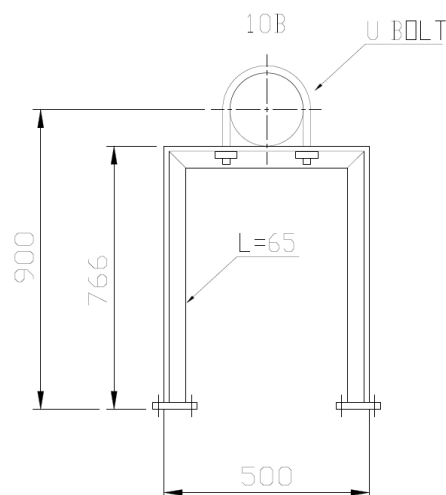
ライン番号:10B-LPG0101-C1	図面番号:1.2-1	実施日: 2015/1/25	実施者: 高圧 次郎
----------------------	------------	----------------	------------

点検区分		点検項目		点検結果(1)			注記
大区分	小区分	点検項目	説明	○	△	×	
配管	慣性力	サポートスパン	サポート不足で配管が高応力を生じたり大きく揺れたりすることはないか。			✓	管軸方向の拘束なし
			配管が梁、架台から落下することはないか。		✓		遮断弁隣接サポートの検討が必要
		分岐部	地震荷重が分岐部に集中して作用するようなことはないか。	-	-	-	分岐無し
		弁(偏心重量大)	駆動部が大きく揺れ、変形したり計装品を損傷させたりしないか。		✓		
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。		✓		
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。	✓			ノズル元に伸縮継手あり
	相対変位	可撓性	配管系の可撓性は十分か。	-	-	-	伸縮継手により吸収
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。		✓		
		小口径配管	母管の揺れ、滑動で小口径配管が相対変位を加えられたり衝突したりすることはないか。	-	-	-	小口径管無し
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。	✓			相対変位は伸縮継手により吸収
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。	✓			"
	地盤変状	可撓性	配管系の可撓性は十分か。	-	-	-	地盤変状なし
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。	-	-	-	"
		枝管	母管の移動に伴って枝管が梁などに衝突することはないか。	-	-	-	"
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。	-	-	-	"
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。	-	-	-	"
サポート		腐食	サポートが腐食し、減肉していないか。	✓			若干さびがあったがおおむね良好
		施工	ボルトの緩み、腐食、欠損などはないか。			✓	U ボルトにゆるみがあった。
		強度	地震荷重に耐えられるか。		✓		
干渉		隣接構造物	大口径配管等の隣接構造物が揺れたり滑動したりし、衝突されることはないか。	✓			隣接構造物なし
		支持構造物	支持構造物が倒壊、崩壊することはないか。	✓			"
			支持構造物のサポートが損傷し、揺れが増大して相対変位を加えられることはないか。				
		周辺構造物	周辺に倒壊の恐れのある脆弱な構造物はないか。	✓			"
		上方構造物	上方から物が落下してくる恐れはないか。	✓			"

(1); 該当箇所にて✓を入れる。○:問題なし(要件を満足する) △:要検討 ×:要改善 —:該当せず

その他 コメント

表 1.2-4 現場調査結果

耐震診断 現場調査シート			
事業所名	A工場		
事業所の種類	コンビナート等保安規則に規定する特定製造事業所		
設備名称	LPG球形貯槽		
系統図			
系統名			
配管ライン番号	10B-LPG0101-C1		
診断範囲	貯槽周り配管		
配管系の形状			
耐震診断 現場点検者 (耐震技術者) 点検メモ	配管サポートと貯槽の基礎とは一体化されていない。 管軸方向の拘束が不足している。 遮断弁駆動用のエア配管は適切に支持されており、地震時の遮断弁の揺れにも追従できると思われる。		
	名 前	耐震診断日付	印
	高圧 次郎	2015年1月25日	
耐震診断 現場点検者 (設備技術者) 点検メモ	サポートの U ボルトにゆるみが見られた。 配管の一部に錆が見られたが、おおむね良好に管理されていた。		
			
	名 前	耐震診断日付	印
		2015年1月25日	

4 定量評価

4.1 震度、地震力及び支持点の地震時変位

球形貯槽から伸縮継手までの配管は球形貯槽の応答地震動により励振され、伸縮継手から防液堤貫通部までの配管（以下 地上配管という）は地表面における地震動により励振される。そこで配管に作用する地震力は伸縮継手の前後で分けて計算する。

(a) 耐震診断条件

地震動のレベル	: 2 (レベル係数 $\mu_K=2.0$)
重要度	: 重要度 I (耐震重要度 $\beta_1=0.8$)
地域	: 特 A 地域 (地域係数 $\beta_2=1.0$)
地盤種別	: 第 4 種地盤 (地盤増幅係数 $\beta_3=2.0$)

(b) 球形貯槽の応答震度

地表面における水平震度	: $K_H=0.150 \mu_K \beta_1 \beta_2 \beta_3=0.48$
地表面における鉛直震度	: $K_V=0.075 \mu_K \beta_1 \beta_2 \beta_3=0.24$
指針応答倍率	: $\beta_{50}=2.4$ (第 4 種地盤、 $T=0.3$ sec)
補正係数	: $C_h=1.18$ (減衰定数: 0.03)
水平方向応答倍率	: $\beta_5=\beta_{50}C_h=2.832$
鉛直方向応答倍率	: $\beta_6=2.0$ (その他の耐震設計設備)
球形貯槽の設計修正水平震度	: $K_{MH}=\beta_5K_H=1.359$
球形貯槽の設計修正鉛直震度	: $K_{MV}=\beta_6K_V=0.48$

(c) 地上配管の設計修正地震力

サポートの設計修正水平震度	: $K_{MH}=\beta_5K_H=0.48$ ($\beta_5=1.0$)
サポートの設計修正鉛直平震度	: $K_{MV}=\beta_6K_V=0.24$ ($\beta_6=1.0$)

(サポートは全高が 3m 以下であり、応答倍率の増幅は無視できるため、 $\beta_5=\beta_6=1.0$ とした。)

震度分布係数	: $\mu=1.0$
配管系の水平応答倍率	: $\beta_8=2.0$ (遮断弁駆動部は $3.0 \times 2.0=6.0$)
配管系の鉛直応答倍率	: $\beta_9=2.0$
配管系の設計修正水平地震力	: $F_{MH}=\beta_8 \mu K_{MH}W_H=0.96W_H$ (遮断弁駆動部は $2.88W_H$)
配管系の設計修正鉛直地震力	: $F_{MV}=\beta_9K_{MV}W_V=0.24W_V$

(d) 球形貯槽接続配管の設計修正地震力

球形貯槽の設計修正水平震度	: $K_{MH}=1.359$
球形貯槽の設計修正鉛直震度	: $K_{MV}=0.48$
配管系の水平応答倍率	: $\beta_8=2.0$
配管系の鉛直応答倍率	: $\beta_9=2.0$
配管系の設計修正水平地震力	: $F_{MH}=\beta_8 \mu K_{MH}W_H=2.718W_H$
配管系の設計修正鉛直地震力	: $F_{MV}=\beta_9K_{MV}W_V=0.96W_V$

(e) 球形貯槽の地震時変位量

地盤種別及びブレース形式により定まる係数： $\beta=1.42$ （第4種、鋼管タイプ）

球形貯槽に係る係数：CS=0.9、n=1.6（鋼管タイプ）

球形貯槽の地震時変位： $\delta Q = \beta C_S K_H D^n = 62.5\text{mm}$

4.2 配管系の評価

配管系の慣性力及び応答変位に対する評価結果を表 1.2-5 及び 表 1.2-6 に示す。

表 1.2-5 応力の評価結果（最大値）

応力の種類 (荷重の組合せ)	応力・応力範囲		許容応力 (N/mm ²)	許容応力比	判定
	節点番号	算定値 (N/mm ²)			
長手方向 (PW+X+Y)	C00	124.5	376.2	0.33	合格
長手方向 (PW+Z+Y)	C07	239.7	376.2	0.64	合格
繰返し 2・(X+Y+DX)	C00	352.5	836.0	0.42	合格
繰返し 2・(Z+Y+DZ)	C07	502.6	836.2	0.60	合格

表 1.2-6 曲がり管の評価結果（最大値）

応力の種類 (荷重の組合せ)	節点番号	変位角度 (度)	許容角度 (度)	許容変位角 比	判定
長手方向 (PW+X+Y)	C03	0.223	2.323	0.10	合格
長手方向 (PW+Z+Y)	C03	0.339	2.323	0.15	合格
繰返し (X+Y+DX)	C03	0.366	2.323	0.16	合格
繰返し (Z+Y+DZ)	C03	0.358	2.323	0.15	合格

いずれも許容値以下である。

4.3 伸縮継手の評価

軸方向変位に対して最も大きく変形するベローズは③である。軸直角変位は①と②のベローズの組合せで吸収するためベローズにとっては角度変位となる。

表 1.2-7 にベローズ両端の変位量を示す。

本 伸縮継手は長期間にわたる不等沈下に追従するために設置されたもので、設計上の軸直角変位は 50mm である。これに対して軸直角方向の変位は 約 280mm であり、伸縮継手の構造上、配管の変位に追従できない可能性がある。また、軸方向変位も設計上の値の約 2 倍となっており、安全性を確認するには詳細の検討が必要である。

表 1.2-7 伸縮継手の変位量（最大値）

変位の方向	対象ベローズ	荷重条件	節点番号	変位 [mm]
軸方向 (X 方向)	③	X+Y-DX	D02	36.3
			D01	-62.1
			D01-D02	98.4
軸直角方向 (Z 方向)	①～②	Z+Y-DX	C12	220.8
			C15	-62.2
			C15-C12	283.0

4.4 配管サポートの評価

節点 C07 のサポートを図 1.2-2 に示す。

鋼材は梁、柱とも L65×65×6

材質は SS400

梁幅：L=500mm

サポート高さ：H=766mm

である。

サポートに作用する地震時最大荷重は

鉛直荷重（W）： 13 KN

水平荷重（P）： ±53 KN

である。

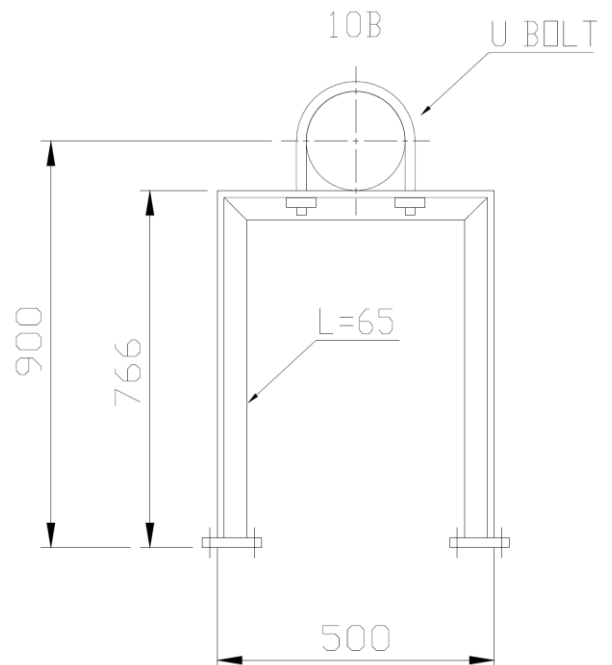


図 1.2-2 門形サポート

(a) 門形サポートの評価

ここでは最も評価が厳しくなる柱の曲げ応力を評価する。

部材の断面性能

断面係数 : $Z = 6260 \text{ mm}^3$

断面積 : $A = 752.7 \text{ mm}^2$

断面二次半径 : $i = 12.7 \text{ mm}$

柱梁の剛比 : $k = H/L = 766/500 = 1.532$

柱の曲げ応力

$$\sigma_b = \text{Max}(\sigma_1, \sigma_2) = 1817 \text{ N/mm}^2$$

ここで、 σ_b 、 σ_1 及び σ_2 は以下の値を表す。

σ_1 ：脚部における曲げ応力

$$\sigma_1 = WL/(8(k+2)Z) + (3k+1)H \cdot P/(2(6k+1)Z) = 1817$$

σ_2 : 梁接合部における曲げ応力

$$\sigma_2 = WL / (4(k+2)Z) + 3kH \cdot P / (2(6k+1)Z) = 1536$$

ここで、L、H 及び k は次の値を示す。

L : 梁長さ 500 mm

H : 柱高さ 766 mm

k : 柱梁剛比 1.532

曲げ応力に係る耐震設計用許容応力

曲げ応力に係る耐震設計用許容応力 f_b は告示第 16 条第 3 号により

$$f_b = F = 245 \text{ N/mm}^2$$

ここで、 f_b 及び F は次の値を示す。

f_b : 曲げ応力に係る耐震設計用許容応力 (N/mm²)

F : 材料の降伏点若しくは 0.2%耐力又は引張強さの 70%の
いずれか小なる値 (N/mm²)

発生応力は許容応力を大きく超えており、不合格である。

(b) U ボルトの評価

U ボルト寸法及び材料

サイズ : U-5/8

材質 : SS400

U ボルトの荷重条件

地震時最大荷重 $P = \pm 53000 \text{ N}$ (軸直角方向)

U ボルトの限界荷重

$$F_z = 0.7 \pi / 4 \cdot d_b^2 \sigma_{dB} = 55400 \text{ N}$$

ここで、 F_z 、 d_b 及び σ_{dB} は次の値を示す。

F_z : U ボルト軸直角方向限界荷重 (N)

d_b : U ボルト径 15.875 mm (U-5/8)

σ_{dB} : U ボルトの破断応力 400 N/mm² (SS400)

地震時荷重は限界荷重以下であるため合格。

5 結果に対する考察

配管自体は地震動に対して問題ないが、伸縮継手及びサポートはレベル 2 地震動に対して安全とは言えない。今回評価した地震動より小さな地震動でも、サポートが破損した場合は配管が大きく変形するので伸縮継手に大きな変位が生じる可能性がある。特に伸縮継手は遮断弁より貯槽側にあるため、破損した場合に貯槽の中の LPG の流出を止めることが困難になることが考えられる。

簡易法（許容スパン法）による評価（参考）

本配管系を簡易法により評価する場合、伸縮継手に接続されている部分は自由端として考える。すなわち

X方向の評価に対しては、C00～C12の配管はC00を支点とした片持ち支持となる。

Z方向の評価に対しては、C07～C12の配管がC07を支点とした片持ち支持となる。

いずれも相当配管スパン長が許容スパン長を上回るため不合格となる。

1.2. フランジ継手、弁、ノズル及び伸縮継手の重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価例

1.2.1. フランジ

【例題】地震応答変位に対するフランジ継手 重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価

フランジ継手の耐震性に関して、突合せ溶接形フランジで平面座ガスケットの場合の計算例を以下に示す。計算例は 150A クラス 150 について石油工業用ジョイントシートを用いたときにフランジ継手に作用する曲げモーメント M_f を相当圧力に換算して応力を求めている。

(1) 診断条件

(a) 荷重条件等

運転条件	運転圧力 運転温度	0.66 MPa 40 °C
------	--------------	-------------------

(b) 管

項目	諸元
管	材質 STPG370 (JIS G 3454) 管の外径 $d = 165.2 \text{ mm}$ 管の厚さ $t = 7.1 \text{ mm (Sch.40)}$ 管材料の設計温度における降伏点、または 0.2%耐力 $S_y = 215 \text{ N/mm}^2$ 管材料の縦弾性係数 $E = 2.018 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 降伏ひずみ $\epsilon_y = S_y/E = 0.00107$

(c) フランジ、ボルトおよびガスケット

項目	諸元
フランジ(150 ^A)	突合せ溶接形フランジ(JPI-7S-15)
	材質 SFVC 2A (JIS G 3202)
ガスケット	材質 石油工業用ジョイントシート (JPI-7S-4) 厚さ 3.2mm ガスケット内径 $D = 169 \text{ mm}$ ガスケット外径 $D_{go} = 215.9 \text{ mm}$ ガスケット幅 $N = 23.45 \text{ mm}$ ガスケット有効幅 $b = 8.63 \text{ mm}$ ガスケット接触面の平均直径 $D_e = 198.64 \text{ mm}$ ガスケット総断面積 $A_g = 14,178 \text{ mm}^2$ ガスケット係数 $m = 2.00$
ボルト(8×UNC 3/4)	材質 SNB7 (JIS G 4107) ボルトの呼び径 $d_{bn} = 19.05 \text{ mm}$ 降伏応力 $S_{yB} = 725 \text{ N/mm}^2$ $1500/\sqrt{d} = 344 \text{ N/mm}^2$

(2) 診断結果

フランジ継手に関する耐震性能比

項目	計算結果		
当該配管スパンの投影長	L_j	=	6,000 mm
許容傾斜	f_{yj}	=	0.02593 mm
地震応答変位に起因する相対変位	δ_r	=	100 mm
降伏変位	δ_{ya}	=	155.6 mm
降伏変位比	δ_r/δ_{ya}	=	0.643
管の断面係数	Z	=	139,384 mm ³
降伏モーメント	M_y	=	3.00×10^7 Nmm
管の塑性断面係数	Z_p	=	177,469 mm ³
管の全塑性モーメント	M_p	=	3.816×10^7 Nmm
地震応答変位に基づくフランジ部最大曲げモーメント	M_r	=	1.927×10^7 Nmm
フランジ継手に作用する曲げモーメントの等価ガスケット圧力	P_{re}	=	15.52 MPa
フランジ継手の全相当圧力	P_{req}	=	20.10 MPa
ボルト一本当たりの初期締め付け応力			344 N/mm ²
ボルト総断面積 【耐震設計指針ではボルトの谷径を使ってボルト総断面積を算出しているが、ボルトの呼び径を使って簡略化してもよい。】	A_b		2280 mm ²
ボルト総荷重	F_b		78,3635 N
許容ガスケット面圧(=ボルト総荷重/ガスケット総面積)	σ_a	=	55.27 MPa
フランジ継手に関する耐震性能比			0.37

【例題】地盤変状に対するフランジ継手 重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価

フランジ継手に作用する曲げモーメント M_g の計算例として、ここでは曲がり部間にフランジ部がある場合を示す。なお、ノズルから第 1 曲がり管の間にフランジ部がある場合については、地震応答変位に対するフランジ継手の例題と計算手順は同じである。

フランジ継手の耐震性に関して、突合せ溶接形フランジで平面座ガスケットの場合の計算例を以下に示す。計算例はクラス 150 について石油工業用ジョイントシートを用いたときにフランジ継手に作用する曲げモーメント M_f を相当圧力に換算して応力を求めている。

(1) 診断条件

(a) 荷重条件等

運転条件	運転圧力 運転温度	0.66 MPa 40 °C
------	--------------	-------------------

(b) 管

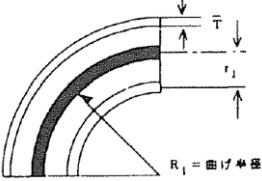
項目	諸元
管	材質 STPG370 (JIS G 3454)

	管の外径 $d = 165.2 \text{ mm}$ 管の厚さ $t = 7.1 \text{ mm (Sch.40)}$ 管の縦弾性係数 $E = 201,800 \text{ N/mm}^2$ 管の曲げ剛性 $EI = 2.224 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$ 管の基準降伏点 $S_o = 215 \text{ N/mm}^2$
曲がり管	曲がり管の曲げ半径 $R_1 = 228.6 \text{ mm (Long Radius 90}^\circ \text{ Elbow)}$ 曲がり管の平均半径 $r = 79.05 \text{ mm}$ 曲がり管の肉厚 $T = 7.1 \text{ mm}$ 曲がり管のたわみ特性値 $h = TR_1/r^2 = 0.2597$ 曲がり管の弾性変形時のたわみ性係数 $k_e = 6.3526$ 曲がり管のたわみ係数 $k_p = 14.14$

(c) フランジ、ボルトおよびガスケット

項目	諸元
フランジ(150 ^A)	突合せ溶接形フランジ(JPI-7S-15)
	材質 SFVC 2A (JIS G 3202)
ボルト(8×UNC 3/4)	材質 SNB7 (JIS G 4107) ボルトの呼び径 $dbn = 19.05 \text{ mm}$ 降伏応力 $Sy_B = 725 \text{ N/mm}^2$ $1500/\sqrt{d} = 344 \text{ N/mm}^2$
ガスケット	材質 石油工業用ジョイントシート(JPI-7S-4) ガスケット内径 $D = 169 \text{ mm}$ ガスケット外径 $Dgo = 215.9 \text{ mm}$ ガスケット幅 $N = 23.45 \text{ mm}$ ガスケット有効幅 $b = 8.63 \text{ mm}$ ガスケット接触面の平均直径 $De = 198.64 \text{ mm}$ ガスケット総断面積 $Ag = 14,178 \text{ mm}^2$ ガスケット係数 $m = 2.00$

曲がり管のたわみ性係数

継手の種類	たわみ 性係数 k	応力集中係数		たわみ 特性値 h	略 図
		面 外 i_o	面 内 i_i		
溶接エルボ又は曲り管	$\frac{1.65}{h}$	$\frac{0.75}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{TR_1}{r_2^2}$	

(2) 診断結果

曲がり管部にフランジがある場合

フランジ継手に関する耐震性能比

項目	計算結果
曲がり管の変形角度 $\theta_g = \sin^{-1}(\delta_g/L_b) = \sin^{-1}(f_b)$ (この計算例では、 $\delta_g = \delta_b$ とする。 δ_b は曲がり管に係る変位吸収能力で $\delta_b = L_b f_b$ の関係がある。ここで、 f_b は曲がり管に係る許容傾斜で $f_b = (0.0731 - 0.0103 \log Sch.)D^{0.16}$ 、 D は管外径、 $\log$ は自然対数。)	$\theta_g = 4.55 \text{ deg}$
曲がり管のたわみ係数($k_p \geq k_e$, $k_e = 6.35$)	$k_p = 14.2$
フランジ部に作用する曲げモーメント	$M_g = 7.63 \times 10^6 \text{ Nmm}$
フランジ継手に作用する曲げモーメントの等価ガスケット圧力	$P_{ge} = 4.96 \text{ MPa}$
フランジ継手の全相当圧力	$P_{geq} = 8.76 \text{ MPa}$
ボルト一本当たりの初期締め付け応力	344 N/mm^2
ボルト総断面積	$A_b = 2280 \text{ mm}^2$
ボルト総荷重 【耐震設計指針ではボルトの谷径を使ってボルト総断面積を算出しているが、ボルトの呼び径を使って簡略化してもよい。】	$F_b = 783,635 \text{ N}$
許容ガスケット面圧(=ボルト総荷重/ガスケット総面積)	$\sigma_a = 66.33 \text{ MPa}$
フランジ継手に関する耐震性能比	0.14

1.2.2. 弁

【例題】弁(弁類の頭部が支持されない場合) 重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価
弁の駆動部等に偏心荷重がある場合の診断を行う。

(1) 診断条件

(a) 荷重条件等

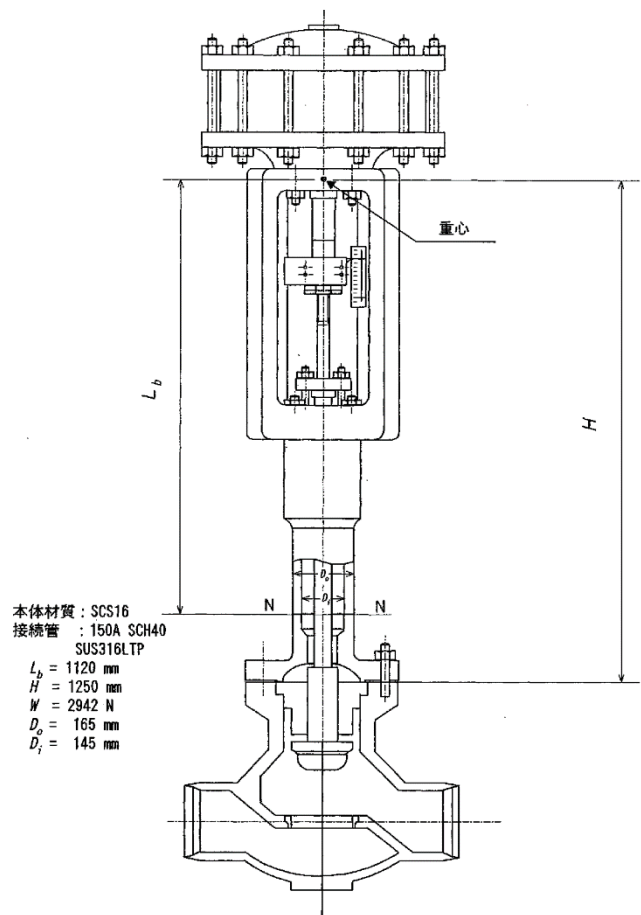
運転条件	運転圧力 2.94 MPa 運転温度 40 °C
弁	重要度 Ia、特 A 地域、第 4 種地盤 弁棒が水平地震方向に垂直に設置されているものとする。 弁の種類 地震防災遮断弁 弁のボンネットフランジ面から駆動部等偏心重量部重心部までの距離 $H = 1,250 \text{ mm}$ 評価断面から駆動部偏心重量の重心部までの距離 $Lb = 1,120 \text{ mm}$ 弁のボンネットフランジ面から駆動部等偏心重量部重心部の最小幅 $D = 165 \text{ mm}$ 評価断面の外径 $Do=165 \text{ mm}$ 評価断面の内径 $Di=145 \text{ mm}$ 弁のボンネットフランジ面から駆動部等偏心重量 $W = 2,942 \text{ N}$ 駆動部の力 $Fm = 981 \text{ N}$ 弁と駆動部等偏心重量部との間の材料の設計温度における降伏点、又は 0.2%耐力 $Sy = 175 \text{ N/mm}^2$ (SCS16 JIS G 5121) 地震防災遮断弁にあつては $\kappa=1.0$ とする。

(2) 診断結果

弁に関する耐震性能比

項目	計算値
固有振動数	$f = 8.22 \text{ Hz}$
震度分布係数	$\mu = 1.0$
設計修正水平震度	$\beta_8 \mu K_{MH} = 9.36$
配管系の設計修正地震力	$F_{MH} = 27,537 \text{ N}$
評価断面から駆動部偏心重量の重心部までの距離	$Lb = 1,120 \text{ mm}$
評価断面の断面係数	$Z^{*1} = 1.78 \times 10^5 \text{ mm}^3$
内圧及び駆動力による評価断面に生じる応力	$\sigma_L = 10.17 \text{ N/mm}^2$
設計地震力による評価断面に生じる応力	$\sigma_n = 173.3 \text{ N/mm}^2$
弁と駆動部等偏心重量部との間に生じる応力	$\sigma_n = 183.4 \text{ N/mm}^2$
弁と駆動部など返信重量部との間の材料の設計温度における降伏点、又は 0.2%耐力	$Sy = 175 \text{ N/mm}^2$
弁の耐震性能比	1.05

注：*1： $Z = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{32D_o}$



1.2.3. 伸縮継手

【例題】重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価

伸縮継手に関する耐震診断は、「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び「地盤変状に起因する相対変位」に対して、伸縮継手のベローズに生じる軸方向の繰り返し応力から要求される繰り返し数における許容相対変位量を算出する。

(1) 診断条件

(a) 荷重条件等

運転条件	運転圧力 2 MPa 運転温度 常温
診断条件	公称配管径 300A 流体 LPG 重要度 Ia、特 A 地域、第 4 種地盤
伸縮継手	ベローズの材質 SUS316 ベローズの平均径 $d_p = 363 \text{ mm}$ ベローズ 1 層の計算厚さ $t_p = 1.37 \text{ mm}$ ベローズの層数 $n = 2$ ベローズの山の高さ $W = 60 \text{ mm}$ ベローズの山のピッチ $q = 50 \text{ mm}$

	1 個のベローズの山数 $N = 6$ 縦弾性係数 $E'b = 195,000 \text{ N/mm}^2$ ベローズ 1 個の有効長さ $C = 300 \text{ mm}$ ベローズ部分の有効長さ $L = 1,100 \text{ mm}$ 配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位 $\pm 40 \text{ mm}$ 地盤変状に起因する相対変位 500 mm 地盤変状に係る配管の変位吸収能力 300 mm
--	---

(2) 診断結果

(2.1) 配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位

1) ベローズの毎山動き量

伸縮継手の両側にある支持点の相対変位を伸縮継手で吸収する時のベローズ 1 山当たりの軸方向動き量を求める。

a) 配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位

正側軸直角方向変位量 $y_+ = +40 \text{ mm}$

負側軸直角方向変位量 $y_- = -40 \text{ mm}$

全軸直角方向変位量 $y = |y_+| + |y_-| = 80 \text{ mm}$

相対変位 $\delta r = y = 80 \text{ mm}$

全軸直角方向変位によるベローズの毎山動き量は、複式ベローズであるので、

$$e_y = \frac{Kd_p y}{2N(L - C + 0.5X_c)} = \frac{1.314 \times 363 \times 80}{2 \times 6 \times (1100 - 300 + 0.5 \times 0)} = 3.97 \text{ mm}$$

ここで、複式ベローズの等価動き補正係数 K は、

$$K = \frac{3L^2 - 3CL}{3L^2 - 6CL + 4C^2} = \frac{3 \times (1100)^2 - 3 \times 300 \times 1100}{3 \times (1100)^2 - 6 \times 300 \times 1100 + 4 \times (300)^2} = 1.314$$

軸方向変位量は 0 であるので、ベローズの全毎山動き量は

$$e = e_y = 3.97 \text{ mm}$$

2) ベローズに生じる応力の算定

補強リング付きであるので

a) 圧力による軸方向膜応力

$$\sigma_{mmp} = \frac{P(W - \kappa q)}{2nt_p} = \frac{2 \times (60 - 0.299 \times 50)}{2 \times 2 \times 1.37} = 16.4 \text{ N/mm}^2$$

ただし、補強リング付きベローズの補正係数 κ は

$$\kappa = 0.3 - \left(\frac{100}{1048P^{1.5} + 320} \right)^2 = 0.299$$

b) 圧力による軸方向曲げ応力

$$\sigma_{mbp} = \frac{P}{2n} \left(\frac{W - \kappa q}{t_p} \right)^2 C_p = \frac{2}{2 \times 2} \left(\frac{60 - 0.299 \times 50}{1.37} \right)^2 \times 0.54 = 292 \text{ N/mm}^2$$

ただし、圧力による曲げ応力計算の補正係数 C_p は、JIS B2352 の参考 1 図 3 より、

$$C_p = 0.54$$

- c) 毎山全動きによる軸方向膜応力

地震時

$$\sigma_{mmd} = \frac{E'_b t_p^2}{2(W - \kappa q)^3 C_f} e = \frac{19500 \times 1.37^2}{2 \times (60 - 0.299 \times 50)^3 \times 1.14} \times 3.97 = 7.0 \text{ N/mm}^2$$

ただし、ベローズの動きによる膜応力計算の補正係数 C_f は、JIS B2352 の参考 1 図 4 より、 $C_f = 1.14$

- d) 毎山全動きによる軸方向曲げ応力

地震時

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E'_b t_p}{3(W - \kappa q)^2 C_d} e = \frac{5 \times 195000 \times 1.37}{3 \times (60 - 0.299 \times 50)^2 \times 1.66} \times 3.97 = 525 \text{ N/mm}^2$$

ただし、ベローズの動きによる曲げ応力計算の補正係数 C_d は、JIS B2352 の参考 1 図 5 より、 $C_d = 1.66$

- e) 軸方向応力

a)～d)より、

内圧による合成軸方向応力

$$S_p = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) = 0.7 \times (16.4 + 292) \\ = 216 \text{ N/mm}^2$$

相対変位による合成軸方向応力

$$S_d = \sigma_{mmd} + \sigma_{mbd} = 7.0 + 525 \\ = 532 \text{ N/mm}^2$$

ベローズに生じる最大軸方向応力全振幅は

$$S_{am} = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) + (\sigma_{mmd} + \sigma_{mbd}) = 0.7 \times (16.4 + 292) + (7.0 + 525) \\ = 748 \text{ N/mm}^2$$

- 3) ベローズに生じる応力の算定

伸縮継手のベローズに生じる軸方向応力の耐震設計許容応力は、告示第 16 条第 2 の 2 号ニにより、日本工業規格 JIS B8266「压力容器の構造-特定規格」(2006 年)付属書 8(規定)「压力容器の応力解析及び疲労解析」のオーステナイト系ステンレス鋼の設計繰返し数が 50 回に対応した許容応力振幅の 2 倍とする。

$$S_a = 2,379 \times 2 = 4,758 \text{ N/mm}^2$$

- 4) 許容相対変位

許容相対変位は次式で計算する。

$$\delta_{ra} = \frac{S_a - S_p}{S_d} y = \frac{4,758 - 216}{532} \times 80 \\ = 683 \text{ mm}$$

5) 評価結果

配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位による伸縮継手に関する耐震性能比

伸縮継手に関する耐震性能比	$\delta r/\delta r_a = 0.12$
耐震性レベル	A

(2.2) 地盤変状に起因する相対変位

1) ベローズの毎山動き量

地盤変状に起因する支持点の相対変位を伸縮継手で吸収する時のベローズ1山当たりの軸方向動き量を求める。

a) 地盤変状に起因する相対変位

$$\text{正側軸直角方向変位量} \quad y_+ = +500 \text{ mm}$$

$$\text{負側軸直角方向変位量} \quad y_- = 0$$

$$\text{全軸直角方向変位量} \quad y = |y_+| + |y_-| = 500 \text{ mm}$$

全軸直角方向変位によるベローズの毎山動き量は、複式ベローズであるので、

$$e_y = \frac{K d_p y}{2N(L - C + 0.5X_c)} = \frac{1.314 \times 363 \times 500}{2 \times 6 \times (1100 - 300 + 0.5 \times 0)} = 24.83 \text{ mm}$$

ここで、複式ベローズの等価動き補正係数 K は、

$$K = \frac{3L^2 - 3CL}{3L^2 - 6CL + 4C^2} = \frac{3 \times (1100)^2 - 3 \times 300 \times 1100}{3 \times (1100)^2 - 6 \times 300 \times 1100 + 4 \times (300)^2} = 1.314$$

軸方向変位量は0であるので、ベローズの全毎山動き量は

$$e = e_y = 24.83 \text{ mm}$$

2) ベローズに生じる応力の算定

補強リング付きであるので

a) 圧力による軸方向膜応力

$$\sigma_{mmp} = \frac{P(W - \kappa q)}{2nt_p} = \frac{2 \times (60 - 0.299 \times 50)}{2 \times 2 \times 1.37} = 16.4 \text{ N/mm}^2$$

ただし、補強リング付きベローズの補正係数 κ は

$$\kappa = 0.3 - \left(\frac{100}{1048P^{1.5} + 320} \right)^2 = 0.299$$

b) 圧力による軸方向曲げ応力

$$\sigma_{mbp} = \frac{P}{2n} \left(\frac{W - \kappa q}{t_p} \right)^2 C_p = \frac{2}{2 \times 2} \left(\frac{60 - 0.299 \times 50}{1.37} \right)^2 \times 0.54 = 292 \text{ N/mm}^2$$

ただし、圧力による曲げ応力計算の補正係数 C_p は、JIS B2352 の参考1図3より、

$$C_p = 0.54$$

c) 毎山全動きによる軸方向膜応力

地盤変状時

$$\sigma_{mmd} = \frac{E \psi_b t_p^2}{2(W - \kappa q)^3 C_f} e = \frac{19500 \times 1.37^2}{2 \times (60 - 0.299 \times 50)^3 \times 1.14} \times 24.83 = 43.6 \text{ N/mm}^2$$

ただし、ベローズの動きによる膜応力計算の補正係数 C_f は、JIS B2352 の参考 1 図 4 より、 $C_f = 1.14$

d) 毎山全動きによる軸方向曲げ応力

X 方向地震時

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E \psi_b t_p}{3(W - \kappa q)^2 C_d} e = \frac{5 \times 195000 \times 1.37}{3 \times (60 - 0.299 \times 50)^2 \times 1.66} \times 24.83 = 3,282.4 \text{ N/mm}^2$$

ただし、ベローズの動きによる曲げ応力計算の補正係数 C_d は、JIS B2352 の参考 1 図 5 より、 $C_d = 1.66$

e) 軸方向応力

a)～d)より、ベローズに生じる最大軸方向応力全振幅は

内圧による合成軸方向応力

$$S_p = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) = 0.7 \times (16.4 + 292) \\ = 216 \text{ N/mm}^2$$

相対変位による合成軸方向応力

$$S_d = \sigma_{mmd} + \sigma_{mbd} = 43.6 + 3282.4 \\ = 3326.0 \text{ N/mm}^2$$

ベローズに生じる最大軸方向応力全振幅は

$$S_{am} = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) + (\sigma_{mmd} + \sigma_{mbd}) = 0.7 \times (16.4 + 292) + (43.6 + 3282.4) \\ = 3,541.8 \text{ N/mm}^2$$

3) ベローズに生じる応力の算定

伸縮継手のベローズに生じる軸方向応力の耐震設計許容応力は、告示第 16 条第 2 の 2 号ニにより、日本工業規格 JIS B8266「圧力容器の構造-特定規格」(2006 年)付属書 8(規定)「圧力容器の応力解析及び疲労解析」のオーステナイト系ステンレス鋼の設計繰返し数が 10 回に対応した許容応力振幅の 2 倍とする。

$$S_a = 4,882 \times 2 = 9,764 \text{ N/mm}^2$$

4) 許容相対変位

地盤変状に係る許容相対変位は 10 回の繰返しに対するベローズの許容応力、内圧による応力と相対変位による合成軸方向応力から次式で計算する。

$$\delta_{xa} = \frac{S_a - S_p}{S_d} y = \frac{9764 - 216}{3,326} \times 500 \\ = 1,435 \text{ mm}$$

伸縮継手の構造象の制限、すなわち構造限界変位量は伸縮継手のタイロッドなどの付属物との干渉などから次の値とする。

$$\delta_{\text{xa}}=2,000\text{mm}$$

5) 評価結果

ここでは、簡便のため配管スパンの地盤変状に係る変位吸収能力は $\delta_{\text{ga}}=0$ とする。

地盤変状に起因する相対変位による伸縮継手に関する耐震性能比

伸縮継手に関する耐震性能比	$\delta_{\text{g}}/(\delta_{\text{xa}}+\delta_{\text{ga}})=0.35$
---------------	--

1.2.4. 塔槽類に係るノズル部

【例題】重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価

塔槽類ノズルの耐震性に関して、円筒形シェル形状の塔槽類に接続するノズルの場合の計算例を以下に示す。ノズルの応力の計算方法は、薄肉シェル理論に基づいた簡易法(WRC 107/537、パイラード法)による。

重要度 Ia 及び I の塔槽類に係るノズル部に関する耐震診断は、地震の影響要因のうち「配管支持構造物の地震応答変位に起因する相対変位」及び「地盤変状に起因する相対変位」対して、ノズル部配管反力による管台、胴板の変形、亀裂または破断による漏洩に係る耐震診断を行なう。

配管の変位吸収能力の程度に応じて、最大モーメント M に配管の変位吸収能力と地盤変状量の比を乗じたモーメントを用いてチェックする。

(1) 診断条件

重要度 Ia の塔槽類ノズルの診断条件

容器の計算条件

容器内径	DI = 2000 mm
容器肉厚	T = 20 mm
容器平均半径	Rm = 1010 mm
運転内圧	Po = 1.18 MPa
設計温度	200 °C

材質	SB410
常温における最少引張強さ	Suo = 408 N/mm ²
設計温度における引張強さ	Su = 408 N/mm ²
常温における度における降伏点又は 0.2%耐力	Syo = 225 N/mm ²
設計温度における降伏点又は 0.2%耐力	Sy = 189 N/mm ²
耐震設計用許容応力	S = 170 N/mm ²

(耐震告示 第 16 条 耐震設計用許容応力等 1 項 材料の種類-イ及びロ以外の材料に応じた耐震設計用許容応力)

[参考] 材料の種類に応じた耐震設計用許容応力

材 料 の 種 類	耐震設計用許容応力 S
イ 室温以下の温度で使用する低温用アルミニウム合金材及び9%ニッケル鋼	次の(1)及び(2)のいずれか小なる値 (1) 0.6 Su (2) 0.9 Sy
ロ 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) 0.6 Suo (2) 0.6 Su (3) 0.9 Syo (4) Sy
ハ イ及びロ以外の材料	次の(1)から(4)までのうちの最小の値 (1) 0.6 Suo (2) 0.6 Su (3) 0.9 Syo (4) 0.9 Sy

備考 この表において、Su、Suo、Sy 及び Syo は、それぞれ次の値とする。

Su 及び Suo：材料の設計温度及び常温における引張強さであって、特定設備検査規則別表第2に示す許容引張応力の4倍の値。ただし、鉄鋼材料の製造方法等の欄に(1)で示された値を除く。

Sy 及び Syo：材料の設計温度及び常温における降伏点又は0.2%耐力であって、特定設備検査規則別表第4に掲げる値。

管(ノズル)の計算条件

管外径	do = 267.4 mm
管厚さ	t = 12 mm
管平均半径	r _m = 127.7 mm
管の設計温度における降伏点又は0.2%耐力	Sy = 189 N/mm ²
管の断面係数	Z = 614,770 mm ³
管の降伏モーメント	My = 1.162x10 ⁸ Nmm
管の塑性断面係数	Zp = 782,750 mm ³
管の全塑性モーメント	Mp = 1.479x10 ⁸ Nmm

配管外力条件

	地震応答変位に起因する相対変位	地盤変状に起因する相対変位
降伏比	$\delta_r/\delta_{ya} = 0.5$	$\delta_g/\delta_{ya} = 1.5$

(2) 診断結果

1)ノズルの地震応答変位に起因する相対変位に関する耐震性能比

項目	計算値
降伏比	$\delta_r/\delta_{ya} = 0.15$
地震応答変位に基づくノズル部最大曲げモーメント (この計算例では、容器周方向モーメントとする)	Mr = 5.81x10 ⁷ Nmm
一次局部膜応力強さ及び一次曲げ応力強さ	106.5 N/mm ²
耐震設計用許容応力	3S = 510 N/mm ²

耐震性能比($PL + Pb$)/ $3S$	0.209
一次局部膜応力強さ、一次曲げ応力強さ及び二次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値の差	1446.2 N/mm ²
耐震設計用許容応力	$4S_y = 756$ N/mm ²
耐震性能比($PL + Pb + Q$ の最大値と最小値の差)/ $4S_y$	1.913
塔槽類に係るノズル部に関する耐震性能比 ($P_L + P_b$)/ $3S$ 又は($P_L + P_b + Q$ の最大値と最小値の差)/ $4S_y$ のいずれか大きい値	1.913

2)地盤変状に起因する相対変位に対するノズル部の耐震診断

項目	計算値
管の耐震性能比	$\delta_g/\delta_{ya} = 1.5$
地盤変状に基づくノズル部最大曲げモーメント (この計算例では、容器周方向モーメントとする)	$M_g = 1.479 \times 10^8$ Nmm
一次局部膜応力強さ、一次曲げ応力強さ及び二次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値の差	1840.8 N/mm ²
耐震設計用許容応力	$4S_y = 756$ N/mm ²
塔槽類に係るノズル部に関する耐震性能比 ($PL + Pb + Q$ の最大値と最小値の差)/ $4S_y$	2.44

(2.1) 診断結果詳細

(1) ノズルの地震応答変位に起因する相対変位に関する耐震性能比

応力評価

応力強さ 算定箇所	P L + P B			P L + P B + Q		
	算 定 応力強さ (N/mm ²)	許 容 応力強さ (N/mm ²)		算 定 応力強さ (N/mm ²)	許 容 応力強さ (N/mm ²)	
AU	59.7	510		0.0	756	
AL	59.7	510		0.0	756	
BU	59.7	510		0.0	756	
BL	59.7	510		0.0	756	
CU	54.0	510		1446.2	756	
CL	54.0	510		1259.1	756	
DU	106.5	510		1446.2	756	
DL	106.5	510		1259.1	756	
最大	106.5	510		1446.2	756	

20.9%

191.3%

一次局部膜応力強さの算定

図番			係数	応力計算式	応 力 (N/mm ²)							
					AU	AL	BU	BL	CU	CL	DU	DL
圧力による膜応力				$\frac{P_0(R_m - T/2)}{2T} + 0.0P_0$	59.71	59.71	59.71	59.71	59.71	59.71	59.71	59.71
3 C	$\frac{N\phi}{P/Rm} =$	6.993	$\frac{N\phi}{P/Rm} \square \frac{P}{RmT}$						0.00	0.00	0.00	0.00
4 C	$\frac{N\phi}{P/Rm} =$	8.504	$\frac{N\phi}{P/Rm} \square \frac{P}{RmT}$		0.00	0.00	0.00	0.00				
3 A	$\frac{N\phi}{M_c/Rm^2\beta} =$	1.903	$\frac{N\phi}{M_c/Rm^2\beta} \square \frac{M_c}{M_c/Rm^2\beta} \square \frac{M_c}{Rm^2\beta T}$						-46.78	-46.78	46.78	46.78
3 B	$\frac{N\phi}{M_L/Rm^2\beta} =$	6.024	$\frac{N\phi}{M_L/Rm^2\beta} \square \frac{M_L}{M_L/Rm^2\beta} \square \frac{M_L}{Rm^2\beta T}$		0.00	0.00	0.00	0.00				
円周方向応力 σ_ϕ				$\frac{P_0(R_m - T/2)}{2T} - 0.2P_0$	59.71	59.71	59.71	59.71	12.92	12.92	106.49	106.49
圧力による膜応力				$\frac{P_0(R_m - T/2)}{2T} - 0.2P_0$	29.26	29.26	29.26	29.26	29.26	29.26	29.26	29.26
3 C	$\frac{N_x}{P/Rm} =$	6.993	$\frac{N_x}{P/Rm} \square \frac{P}{RmT}$		0.00	0.00	0.00	0.00				
4 C	$\frac{N_x}{P/Rm} =$	8.504	$\frac{N_x}{P/Rm} \square \frac{P}{RmT}$						0.00	0.00	0.00	0.00
4 A	$\frac{N_x}{M_c/Rm^2\beta} =$	2.862	$\frac{N_x}{M_c/Rm^2\beta} \square \frac{M_c}{M_c/Rm^2\beta} \square \frac{M_c}{Rm^2\beta T}$						-70.36	-70.36	70.36	70.36
4 B	$\frac{N_x}{M_L/Rm^2\beta} =$	1.809	$\frac{N_x}{M_L/Rm^2\beta} \square \frac{M_L}{M_L/Rm^2\beta} \square \frac{M_L}{Rm^2\beta T}$		0.00	0.00	0.00	0.00				
長手方向応力 σ_x					29.26	29.26	29.26	29.26	-41.10	-41.10	99.62	99.62
せん断力 V_c によるせん断応力			$\tau_{x\phi} = \frac{V_c}{\pi_0 T}$		0.00	0.00	0.00	0.00				
せん断力 V_L によるせん断応力			$\tau_{x\phi} = \frac{V_L}{\pi_0 T}$						0.00	0.00	0.00	0.00
ねじりモーメント M_t によるせん断力			$\tau_{\phi x} = \tau_{x\phi} = \frac{M_t}{2\pi r_n^2 T}$		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合せん断応力 τ					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
応力強さ	$S_1 = \max \left\{ \frac{(\alpha_x + \alpha_\phi) \square \sqrt{(\alpha_x - \alpha_\phi)^2 + 4\tau^2}}{2}, \sqrt{(\alpha_x - \alpha_\phi)^2 + 4\tau^2} \right\}$				59.71	59.71	59.71	59.71	54.02	54.02	106.49	106.49

一次局所膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ＋二次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値の差の算定

図番			係数	応力計算式	AU	AL	BU	BL	CU	CL	DU	DL
圧力による膜応力					$\frac{P_d(R_m-T/2)}{2T}+0.0P_d$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 C	$\frac{N\phi}{P/R_m} =$	6.993	$\frac{N\phi}{P/R_m} \square \frac{P}{RmT}$						0.00	0.00	0.00	0.00
4 C	$\frac{N\phi}{P/R_m} =$	8.504	$\frac{N\phi}{P/R_m} \square \frac{P}{RmT}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
1 C	$\frac{M\phi}{P} =$	0.100	$\frac{M\phi}{P} \square \frac{6P}{T^2}$						0.00	0.00	0.00	0.00
2 C	$\frac{M\phi}{P} =$	0.065	$\frac{M\phi}{P} \square \frac{6P}{T^2}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
3 A	$\frac{Nj}{M_c / Rm^2 \beta} =$	1.903	$\frac{Nj}{M_c / Rm^2 \beta} \square \frac{M_c}{Rmb^2 \beta T}$						-93.57	-93.57	93.57	93.57
1 A	$\frac{M\phi}{M_c / Rm \beta} =$	0.091	$\frac{Mj}{M_c / Rmb} \square \frac{6M_c}{Rmb^2 \beta T}$						-1352.62	1352.62	1352.62	-1352.62
3 B	$\frac{N\phi}{M_L / Rm^2 \beta} =$	6.024	$\frac{N\phi}{M_L / Rm^2 \beta} \square \frac{M_L}{Rm^2 \beta T}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
1B/1B-1	$\frac{M\phi}{M_L / Rm \beta} =$	0.039	$\frac{M\phi}{M_L / Rm \beta} \square \frac{6M_L}{Rm \beta T^2}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
円周方向応力 σ_ϕ					0.00	0.00	0.00	0.00	-1446.19	1259.05	1446.19	-1259.05
圧力による膜応力					$\frac{P_d(R_m-T/2)}{2T}-0.2P_d$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 C	$\frac{N_x}{P/R_m} =$	6.993	$\frac{N_x}{P/R_m} \square \frac{P}{RmT}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
4 C	$\frac{N_x}{P/R_m} =$	8.504	$\frac{N_x}{P/R_m} \square \frac{P}{RmT}$						0.00	0.00	0.00	0.00
1 C-1	$\frac{M_x}{P} =$	0.103	$\frac{M_x}{P} \square \frac{6P}{T^2}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
2 C	$\frac{M_x}{P} =$	0.065	$\frac{M_x}{P} \square \frac{6P}{T^2}$						0.00	0.00	0.00	0.00
4 A	$\frac{N_x}{M_c / Rm^2 \beta} =$	2.862	$\frac{N_x}{M_c / Rm^2 \beta} \square \frac{M_c}{Rm^2 \beta T}$						-140.72	-140.72	140.72	140.72
2 A	$\frac{M_x}{M_c / Rm \beta} =$	0.048	$\frac{M_x}{M_c / Rm \beta} \square \frac{6M_c}{Rm \beta T^2}$						-710.79	710.79	710.79	-710.79
4 B	$\frac{N_x}{M_L / Rm^2 \beta} =$	1.809	$\frac{N_x}{M_L / Rm^2 \beta} \square \frac{M_L}{Rm^2 \beta T}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
2B/2B-1	$\frac{M_x}{M_L / Rm \beta} =$	0.059	$\frac{M_x}{M_L / Rm \beta} \square \frac{6M_L}{Rm \beta T^2}$	0.00	0.00	0.00	0.00					
長手方向応力 σ_x					0.00	0.00	0.00	0.00	-851.51	570.07	851.51	-570.07
せん断力 V_c によるせん断応力					$\tau_{x\phi} = \frac{V_c}{\pi_0 T}$		0.00	0.00	0.00			
せん断力 V_L によるせん断応力					$\tau_{x\phi} = \frac{V_L}{\pi_0 T}$					0.00	0.00	0.00
ねじりモーメント M_t によるせん断力					$\tau_{\phi x} = \tau_{x\phi} = \frac{M_t}{2\pi r_0^2 T}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合せん断応力 τ						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
応力強さ $S_I = \max \left\{ \frac{(\sigma_\chi + \sigma_\phi) \square \sqrt{(\sigma_\chi - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2}}{2}, \sqrt{(\sigma_\chi - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2} \right\}$					0.00	0.00	0.00	0.00	1446.19	1259.05	1446.19	1259.05

地盤変状に起因する相対変位に対するノズル部の耐震診断

応力評価

応力強さ 算定箇所	P L + P B + Q	
	算 定 応力強さ (N/mm ²)	許 容 応力強さ (N/mm ²)
AU	0.0	756
AL	0.0	756
BU	0.0	756
BL	0.0	756
CU	1840.8	756
CL	1602.6	756
DU	1840.8	756
DL	1602.6	756
最大	1840.8	756

243.5%

一次局部膜応力強さ＋一次曲げ応力強さ＋二次応力強さの和のサイクルにおける最大値と最小値の差の算定

図番			係数		応 力 (N/mm ²)								
					応力計算式	AU	AL	BU	BL	CU	CL	DU	DL
圧力による膜応力					$\frac{P_0(R_m-T/2)}{2T} + \alpha G_0$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 C	$\frac{N\phi}{P/Rm} =$	6.993	$\frac{N\phi}{P/Rm} \cdot \frac{P}{RmT}$							0.00	0.00	0.00	0.00
4 C	$\frac{N\phi}{P/Rm} =$	8.504	$\frac{N\phi}{P/Rm} \cdot \frac{P}{RmT}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
1 C	$\frac{M\phi}{P} =$	0.100	$\frac{M\phi}{P} \cdot \frac{6P}{T^2}$							0.00	0.00	0.00	0.00
2 C	$\frac{M\phi}{P} =$	0.065	$\frac{M\phi}{P} \cdot \frac{6P}{T^2}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
3 A	$\frac{Nj}{M_c / Rm^2 b} =$	1.903	$\frac{Nj}{M_c / Rm^2 b} \cdot \frac{M_c}{Rm^2 b T}$							-119.10	-119.10	119.10	119.10
1 A	$\frac{M\phi}{M_c / Rm\beta} =$	0.091	$\frac{Mj}{M_c / Rmb} \cdot \frac{6M_c}{RmbT^2}$							-1721.75	1721.75	1721.75	-1721.75
3 B	$\frac{N\phi}{M_L / Rm^2 \beta} =$	6.024	$\frac{N\phi}{M_L / Rm^2 \beta} \cdot \frac{M_L}{Rm^2 \beta T}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
1B／1B-1	$\frac{M\phi}{M_L / Rm\beta} =$	0.039	$\frac{M\phi}{M_L / Rm\beta} \cdot \frac{6M_L}{Rm\beta T^2}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
円周方向応力 σ_ϕ						0.00	0.00	0.00	0.00	-1840.85	1602.64	1840.85	-1602.64
圧力による膜応力					$\frac{P_i(R_m-T/2)}{2T} - \alpha G_i$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 C	$\frac{N_x}{P/Rm} =$	6.993	$\frac{N_x}{P/Rm} \cdot \frac{P}{RmT}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
4 C	$\frac{N_x}{P/Rm} =$	8.504	$\frac{N_x}{P/Rm} \cdot \frac{P}{RmT}$							0.00	0.00	0.00	0.00
1 Cー1	$\frac{M_x}{P} =$	0.103	$\frac{M_x}{P} \cdot \frac{6P}{T^2}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
2 C	$\frac{M_x}{P} =$	0.065	$\frac{M_x}{P} \cdot \frac{6P}{T^2}$							0.00	0.00	0.00	0.00
4 A	$\frac{N_x}{M_c / Rm^2 \beta} =$	2.862	$\frac{N_x}{M_c / Rm^2 \beta} \cdot \frac{M_c}{Rm^2 \beta T}$							-179.12	-179.12	179.12	179.12
2 A	$\frac{M_x}{M_c / Rm\beta} =$	0.048	$\frac{M_x}{M_c / Rm\beta} \cdot \frac{6M_c}{Rm\beta T^2}$							-904.76	904.76	904.76	-904.76
4 B	$\frac{N_x}{M_L / Rm^2 \beta} =$	1.809	$\frac{N_x}{M_L / Rm^2 \beta} \cdot \frac{M_L}{Rm^2 \beta T}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
2B/2B-1	$\frac{M_x}{M_L / Rm\beta} =$	0.059	$\frac{M_x}{M_L / Rm\beta} \cdot \frac{6M_L}{Rm\beta T^2}$		0.00	0.00	0.00	0.00					
長手方向応力 σ_x						0.00	0.00	0.00	0.00	-1083.88	725.64	1083.88	-725.64
せん断力V _c によるせん断応力					$\tau_{x\phi} = \frac{V_c}{\pi_0 T}$	0.00	0.00	0.00	0.00				
せん断力V _L によるせん断応力					$\tau_{x\phi} = \frac{V_L}{\pi_0 T}$					0.00	0.00	0.00	0.00
ねじりモーメントMtによるせん断力					$\tau_{\phi x} = \tau_{x\phi} = \frac{M_t}{2\pi r_o^2 T}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合せん断応力 τ						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
応力強さ	$S_1 = \max \left\{ \frac{(\sigma_x + \sigma_\phi) \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2}}{2}, \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2} \right\}$				0.00	0.00	0.00	0.00	1840.85	1602.64	1840.85	1602.64	

1.2.5. 配管系サポート

【例題】重要度 Ia 及び I の簡易耐震定量評価

配管系のサポートの診断を行う。

(1) 診断条件

管の計算条件

運転状態における配管内の高圧ガスの状態		液化ガス
管外径 呼び径 150A		$d_o = 165.2 \text{ mm}$
管厚さ		$t = 7.1 \text{ mm}$
管材料の設計温度における降伏点又は 0.2%耐力		$S_y = 215 \text{ mm}$
地震動の方向に直交する平面に対する 当該スパンの投影長		$L_j = 3,000 \text{ mm}$
管の断面係数		$Z = 139,384 \text{ mm}^3$
管の降伏モーメント		$M_y = 3.00 \times 10^7 \text{ Nmm}$
管の塑性断面係数		$Z_p = 177,469 \text{ mm}^3$
管の全塑性モーメント		$M_p = 3.82 \times 10^7 \text{ Nmm}$
降伏変位比	地震応答変位	地盤変状に起因する相対変位
	$\delta_r / \delta_{ya} = 0.5$	$\delta_g / \delta_{ya} = 1.5$

サポート

タイプ	U ボルト
-----	-------

(2) 診断結果

1)地震応答変位に起因する相対変位に係る相対変位によるサポートの支持荷重と耐震診断

項目	計算値
降伏変位比	$\delta_r / \delta_{ya} = 0.5$
配管慣性力に係るサポート支持荷重	$R_s = 12.29 \text{ kN}$
地震応答変位に起因する相対変位のサポート支持荷重	$R_r = 5.00 \text{ kN}$
サポート支持荷重合計	$R_r = 17.28 \text{ kN}$
U ボルトの降伏荷重	$R_{ra} = 49 \text{ kN}$
配管系の地震応答に関する耐震性能比	$(R_s + R_r) / R_{ra} = 0.353$

2)地盤変状に起因する相対変位に係るサポートの支持荷重と耐震診断

項目	計算値
降伏変位比	$\delta_g / \delta_{ya} = 2.0$
地震応答変位に起因する相対変位のサポート支持荷重	$R_g = 12.72 \text{ kN}$
U ボルトの降伏荷重	$R_{ga} = 56 \text{ kN}$
配管系の地震応答に関する耐震性能比	$R_g / R_{ga} = 0.227$

表 U ボルト材質を SS400 としたときの、降伏荷重と限界荷重

公称管径	管外径	d _b	降伏荷重		限界荷重	
			FL1x	FL1y	FL2x	FL2y
B	mm	mm	kN	kN	kN	kN
1-1/2	48.6	10	19	38	22	44
2	60.5	10	19	38	22	44
2-1/2	76.3	10	19	38	22	44
3	89.1	12	28	55	32	63
3-1/2	101.6	12	28	55	32	63
4	114.3	12	28	55	32	63
5	139.8	16	49	99	56	113
6	165.2	16	49	99	56	113
7	190.7	16	49	99	56	113
8	216.3	20	74	148	88	176
9	241.8	20	74	148	88	176
10	267.4	20	74	148	88	176
12	318.5	24	106	213	127	253
14	355.6	24	106	213	127	253
16	406.4	24	106	213	127	253
18	457.2	24	106	213	127	253
20	508	24	106	213	127	253
22	558.8	24	106	213	127	253
24	609.6	24	106	213	127	253

U ボルト材質を SS400 としたときの、降伏荷重と限界荷重

FL1x : U ボルト管軸直角方向降伏荷重

FL1y : U ボルト鉛直方向降伏荷重

[高圧ガス設備等耐震設計指針(2012)] レベル 2 耐震性能評価 解説編, p.199, [表 9.2.4]

付録 2 簡易図表集

図 1 配管の許容スパン長

図 2 付加重量のある配管の許容スパン長(液化ガス)

図 3 付加重量のある配管の許容スパン長(圧縮ガス)

表 1 弁の重量

図 4 スカート式の自立塔の地震時変位量

図 5 その他の配管支持構造体の地震時変位量

図 6 球形貯槽の地震時変位量

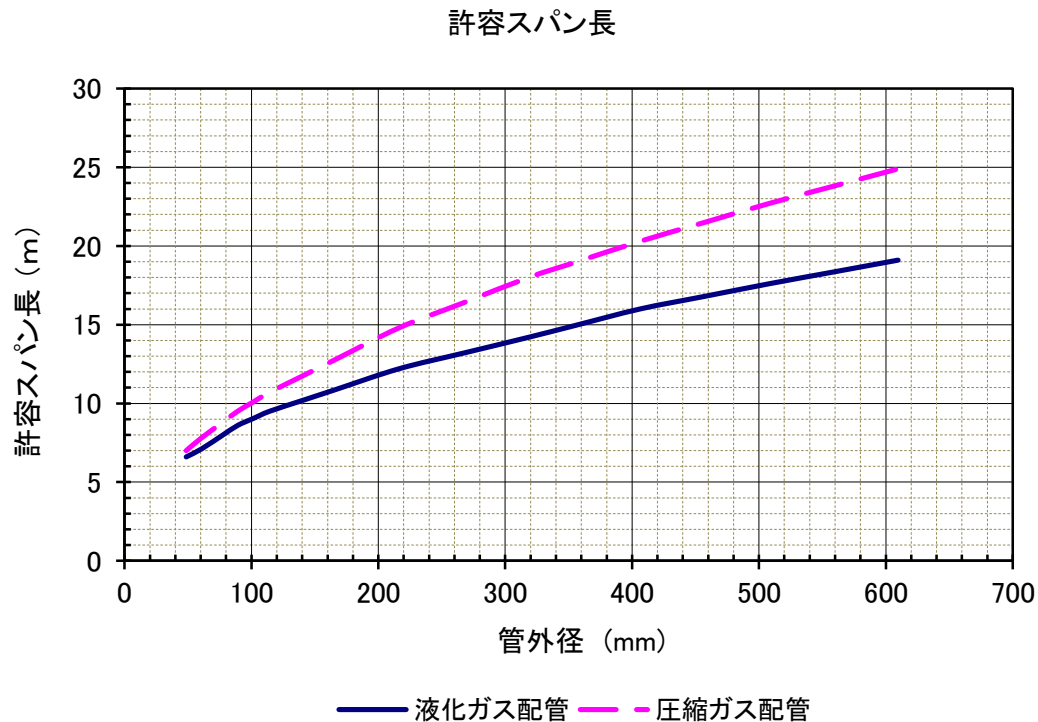
図 7 直管の変位吸収能力

図 8 管材の降伏ひずみ

図 9 曲り管の変位吸収能力

図1 配管の許容スパン長

(診断法のガイド 4.4.1 表 4.2、耐震告示第 17 条第 1 号による。)



(液化ガス配管)

呼び径 (B)	呼び径 (A)	外径 mm	許容スパン m
1-2/2B	40A	48.6	6.6
2B	50A	60.5	7.1
2-1/2B	65A	76.3	7.9
3B	80A	89.1	8.6
3-1/2B	90A	101.6	9.0
4B	100A	114.3	9.5
5B	125A	139.8	10.2
6B	150A	165.2	10.8
8B	200A	216.3	12.2
10B	250A	267.4	13.2
12B	300A	318.5	14.2
14B	350A	355.6	15.0
16B	400A	406.4	16.0
18B	450A	457.2	16.8
20B	500A	508	17.6
22B	550A	558.8	18.4
24B	600A	609.6	19.1

(圧縮ガス配管)

呼び径 (B)	呼び径 (A)	外径 mm	許容スパン m
1-2/2B	40A	48.6	7.0
2B	50A	60.5	7.8
2-1/2B	65A	76.3	8.7
3B	80A	89.1	9.5
3-1/2B	90A	101.6	10.1
4B	100A	114.3	10.7
5B	125A	139.8	11.7
6B	150A	165.2	12.7
8B	200A	216.3	14.8
10B	250A	267.4	16.4
12B	300A	318.5	18.0
14B	350A	355.6	19.0
16B	400A	406.4	20.3
18B	450A	457.2	21.5
20B	500A	508	22.7
22B	550A	558.8	23.8
24B	600A	609.6	24.9

図 2 付加重量のある配管の許容スパン長(液化ガス)
(診断のガイド 4. 3. 1 補足(2)による。)

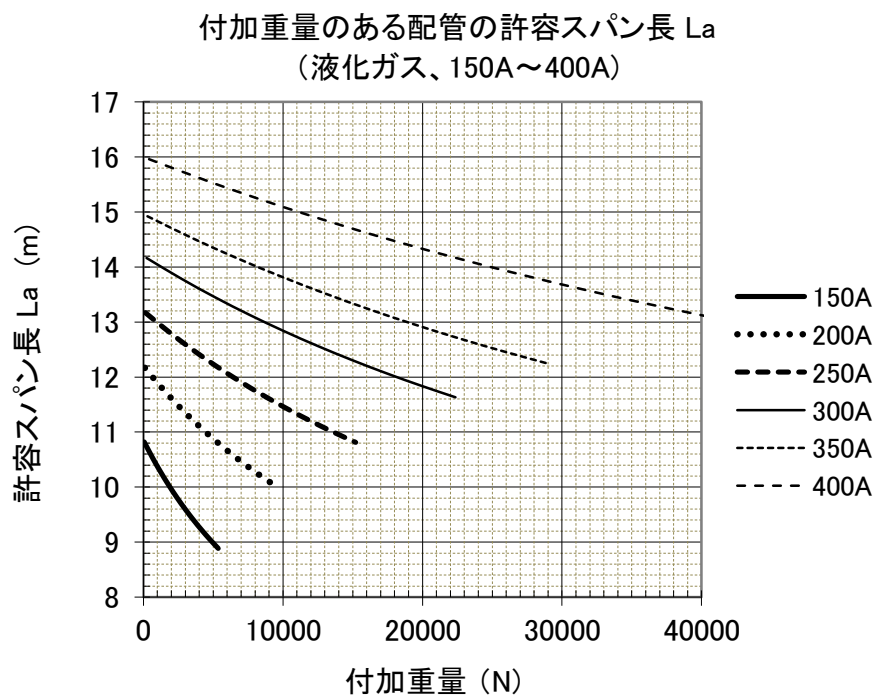
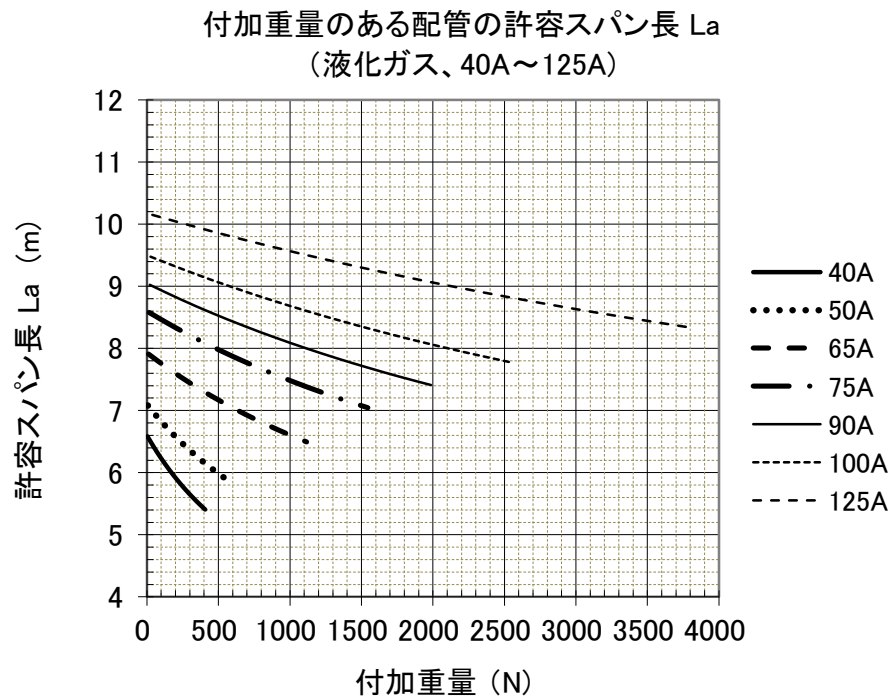


図 3 付加重量のある配管の許容スパン長(圧縮ガス)
(診断法のガイド 4.31 補足(2)による。)

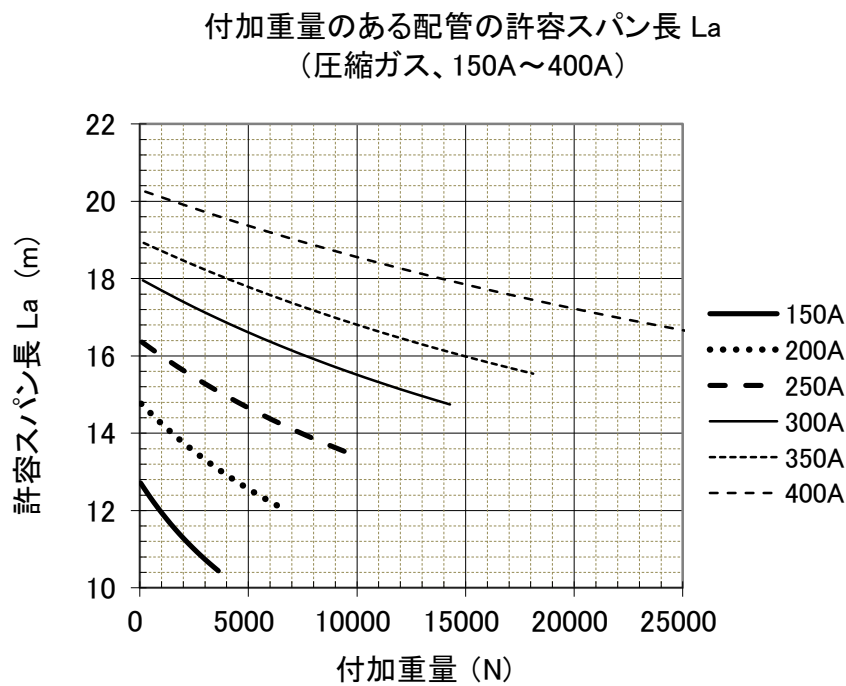
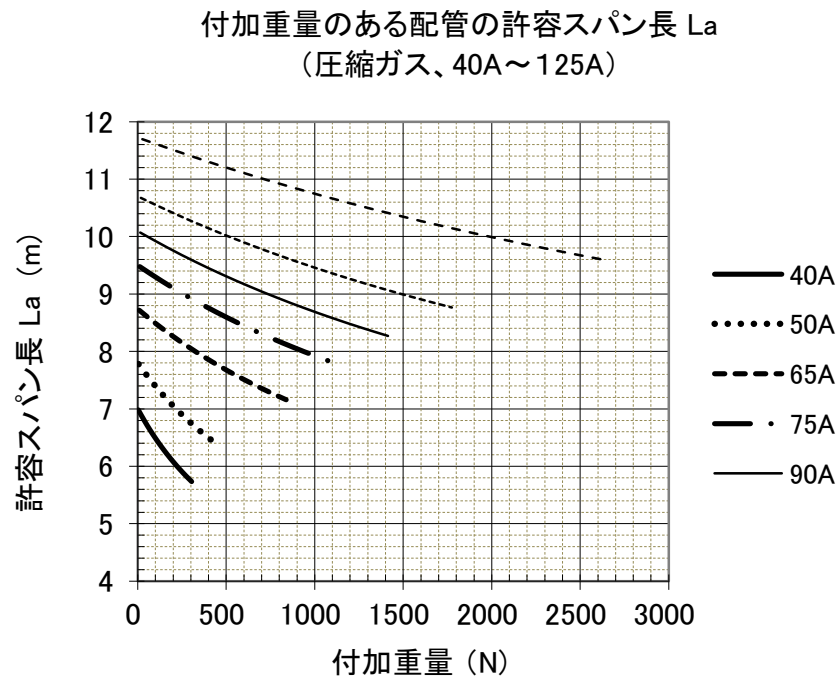


表1 弁の重量

鍛鋼弁重量の例 (出展、ASME 弁 : YONEKI、JIS 弁 : KITZ)

ゲート弁

クラス	150#		300#		600#		900#		1500#		2500#		JIS 10K	JIS 20K
	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	FLG
継手														
40A														
50A	240	190	340	270	500	400	1080	790	1080	790	1870	1570	200	260
65A	350	300	510	400	690	590	1530	1180	1530	1180	2950	2360	240	340
80A	370	290	590	440	920	740	1870	1530	2260	1820	3440	2750	320	470
100A	620	480	920	670	1550	1180	2750	2260	3930	3240	8240	6770	430	650
125A	990	840	1570	1280	2160	1770	4710	4030	6870	5890	15210	12750	620	950
150A	1190	990	2010	1570	3630	2900	6180	5300	8930	7750	22560	19620	770	1350
200A	1790	1480	3200	2650	6870	6090	13240	11770	20600	18640	47080	43150	1150	2000
250A	2900	2210	5590	4710	12260	10690	20110	18340	31390	27460	66690	58840	1740	3190
300A	4520	3730	10300	9220	18640	16960	25990	23540	43150	37270	83360	73550	2370	4380
350A	6770	5890	14710	13240	26480	24620	35800	32860	52960	46100			3240	5100
400A	9320	8340	21580	19620	35310	32860	42170	38250	65710	56880			4710	8140
450A	17660	16190											5500	10790
500A													7360	14470
600A													9030	
650A													10690	21090
700A														
750A														

グローブ弁

クラス	150#		300#		600#		900#		1500#		2500#		JIS 10K	JIS 20K
	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	FLG
継手														
40A														
50A	240	190	340	270	500	400	1080	790	1080	790	1870	1570	210	280
65A	350	300	510	400	690	590	1530	1180	1530	1180	2950	2360	290	400
80A	370	290	590	440	920	740	1870	1530	2260	1820	3440	2750	350	510
100A	620	480	920	670	1550	1180	2750	2260	3930	3240	8240	6770	510	740
125A	990	840	1570	1280	2160	1770	4710	4030	6870	5890	15210	12750	800	1070
150A	1190	990	2010	1570	3630	2900	6180	5300	8930	7750	22560	19620	1080	1580
200A	1790	1480	3200	2650	6870	6090	13240	11770	20600	18640	47080	43150	1560	2580
250A	2900	2210	5590	4710	12260	10690	20110	18340	31390	27460	66690	58840		
300A	4520	3730	10300	9220	18640	16960	25990	23540	43150	37270	83360	73550		
350A	6770	5890	14710	13240	26480	24620	35800	32860	52960	46100				
400A	9320	8340	21580	19620	35310	32860	42170	38250	65710	56880				
450A	17660	16190												
500A														
600A														
650A														
700A														
750A														
900A														

スウィングチェック弁

クラス	150#		300#		600#		900#		1500#		2500#		JIS 10K	JIS 20K
	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	WLD	FLG	FLG
継手														
40A														
50A	200	140	350	320	400	310	690	500	690	500	1480	1180	170	220
65A	240	170	370	350	540	450	1080	860	1080	860	2360	1920	230	320
80A	350	260	590	500	710	590	1080	840	1670	1330	3440	2750	280	450
100A	540	370	810	640	1180	840	1970	1570	2950	2410	6380	5300	430	550
125A	830	510	1080	690	1720	1230	2950	2360	4420	3340	9320	7560	600	
150A	950	790	1530	1260	2650	2210	3730	2950	6820	5500	14220	11770	730	1170
200A	1570	1310	2630	2260	4610	3580	6380	5100	11670	9660	25010	21580	1170	1870
250A	2410	2090	3730	2650	6090	4910	11280	9320	18150	14520	38740	30900	1870	2850
300A	3390	2890	4860	4520	7950	7020	14220	11580	26970	21380	55900	44630	2850	4300
350A	5010	4320	6970	5450	10790	8630	17170	14220	35310	27760		60810		5790
400A	6480	5580	9320	7850	14220	11180	23740	20110	48060	38250	79440		4930	
450A	8340	7360	11770	9520	17660	14220	31880	26480	64730	51490			6350	
500A	10300	9030	13240	10500	20600	16190	39230	32370	79930	63260			8270	
600A	14220	12460	21580	17460	29420	22560	56880	44130	115230	88260				
650A	17170	16190	24520	20800	34330	29420	66690	56880						
700A	20110	19130	27460	23540	40210	34330	76990	65220						
750A	23050	22070	33350	28930	49040	42170	88760	75030						
900A														

図 4 スカート式の自立塔の地震時変位量 (診断法のガイド 2. 3. による)

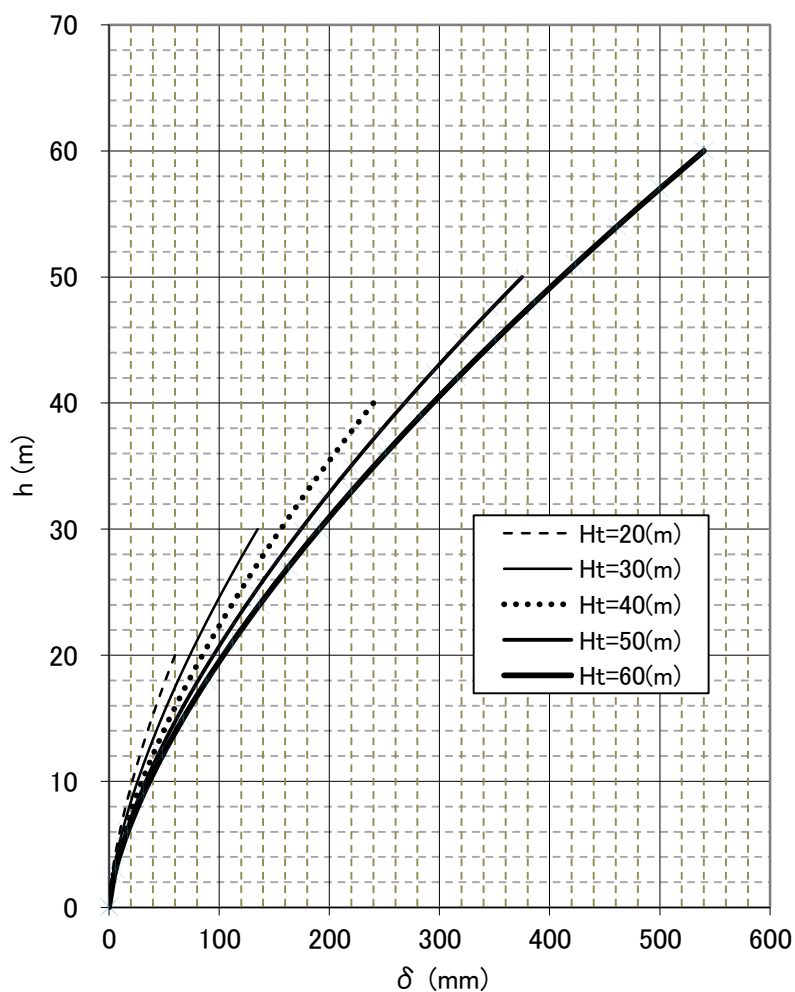
地表における設計震度： $K_H = 0.15\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3$

頂部の高さ： H_t (m)

頂部の地震時変位量： $\delta_t = \lambda\beta K_H H_t^2$ (mm)

高さ h (m)における地震時変位量： $\delta_Q = \lambda\beta C_T K_H H_t^2 \left(\frac{h}{H_t}\right)^{1.5}$ (mm) (診断指針表 2.4

による)



ただし、本計算図表は、
 $\beta = 1.0$ 、 $\lambda = 1.0$ 、
 K_H は、 $K_H = 0.15\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3$ において、
 $\mu_k = 1.0$ 、 $\beta_1 = 0.5$ 、 $\beta_2 = 1.0$ 、 $\beta_3 = 2.0$
 として、設定している。 #)
 異なるときは修正して使用する。
 #) この場合、配管指針 (式 3.16) と同じ計算結果になる。

ここで、 β 及び λ は、それぞれ次の値を表す。

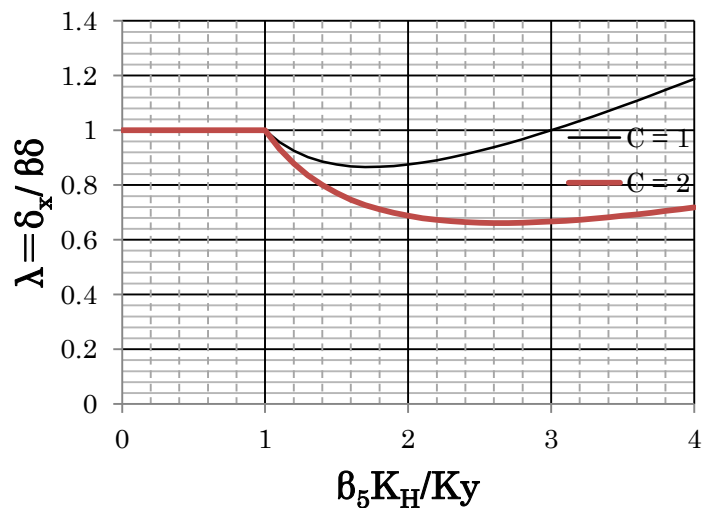
β : 重要度Ⅰa又Ⅰの場合、固有周期が既知の場合 $\beta = 0.5 \cdot \beta_5$ 、(耐震告示第6条)、
固有周期が不明の時、安全側に下表により設定してよい。
重要度Ⅱ又Ⅲの場合、 $\beta = 1.0$ とする。

地盤 種別	重要度Ⅰa、Ⅰ						
	塔 類	球形貯槽		横 置 貯 槽	その他の配管支持構造物		
		鋼管 タイプ	ロッド タイプ		ブレース 架構	ラーメン架構	
						鋼製	鋼製
第1種	1.77	1.77	1.5	1.36	1.5	1.77	1.5
第2種	1.65	1.65	1.4	1.25	1.4	1.65	1.4
第3種	1.53	1.53	1.3	1.16	1.3	1.53	1.3
第4種	1.42	1.42	1.2	1.07	1.2	1.42	1.2

λ : 重要度Ⅰa、Ⅰの場合、固有周期又は降伏震度が既知の場合、下図により得られる
値とする。

固有周期又は降伏震度が不明の時、 $\lambda = 1.0$ とする。

重要度Ⅱ、Ⅲの場合、 $\lambda = 1.0$ とする。



主たる変形モードが基礎ポ
ルト又はブレース（鋼管タイ
プを除く）の変形による場合
 $C=1$ とする。
その他の場合、 $C=2$ とする。

図 5 その他の配管支持構造体 (診断法のガイド 2. 3. による)

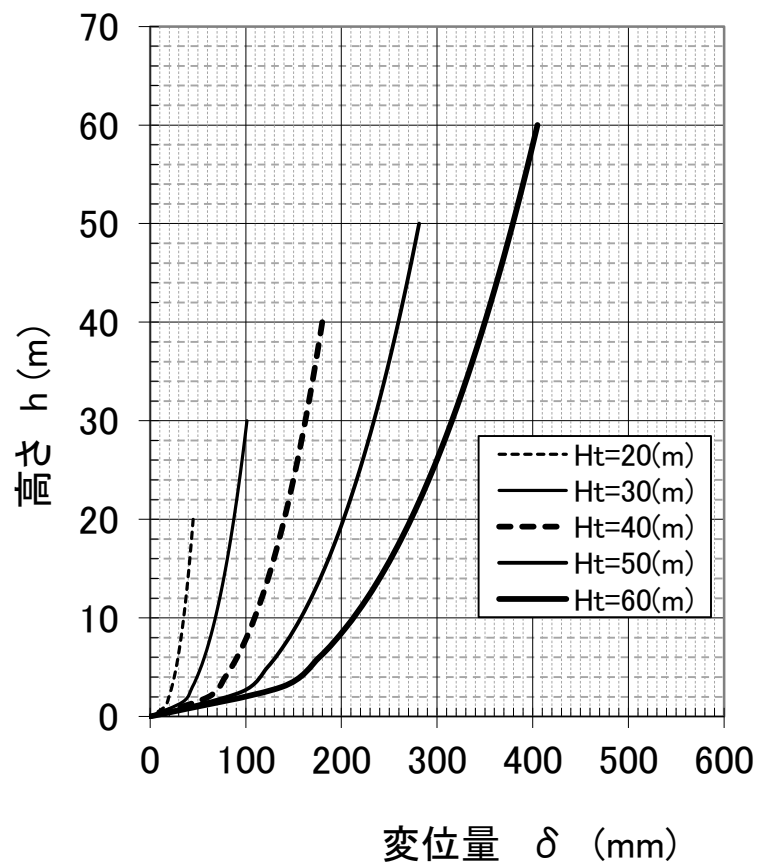
地表における設計震度： $K_H=0.15$

頂部の高さ： H_t (m)

頂部における変位量： $\delta_Q = \lambda \beta C_K K_H H_t^2 \left(\frac{h}{H_t} \right)^{0.6}$ (mm)

高さ h (m) における地震時変位量： $\delta_Q = \lambda \beta C_K K_H H_t^2 \left(\frac{h}{H_t} \right)^{0.6}$ (mm) (診断指針表

2.4 による)

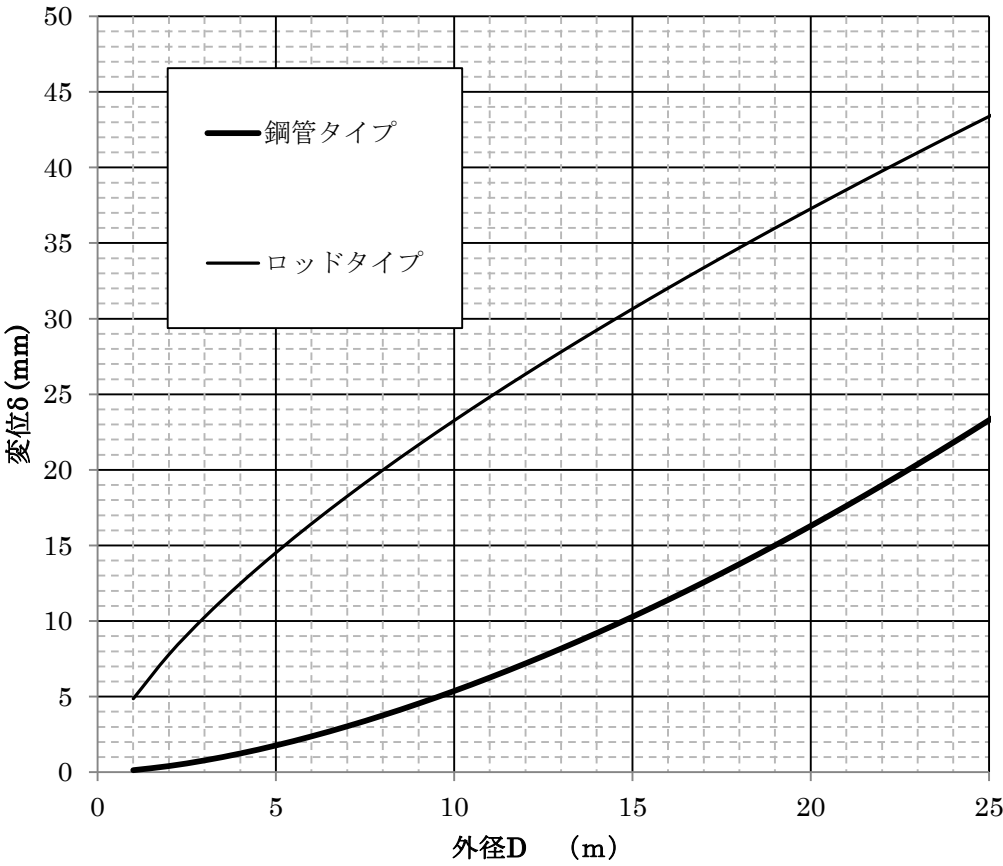


ただし、本計算図表は、
 $\beta = 1.0$ 、 $\lambda = 1.0$ 、
 K_H は、 $K_H = 0.15 \mu_k \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$ において、
 $\mu_k = 1.0$ 、 $\beta_1 = 0.5$ 、 $\beta_2 = 1.0$ 、 $\beta_3 = 2.0$
 として、設定^{#)}している。
 異なるときは修正して使用する。
^{#)} この場合、配管指針 (式 3.18) と同じ計算結果になる。

図 6 球形貯槽の地震時変位量 （診断法のガイド 2. 3. による）

地表における設計震度： $K_H = 0.15$
球形貯槽の外径： D (m)
球殻中心の地震時変位： $\delta_t = C_s K_H D^n$ (mm) （診断指針表 2.4 による）
ここで、 C_s 及び n は、球形貯槽のブレース形式に応じて、下表による。

ブレース形式	C_s	n
鋼管タイプ	0.9	1.60
ロッドタイプ	32.4	0.68



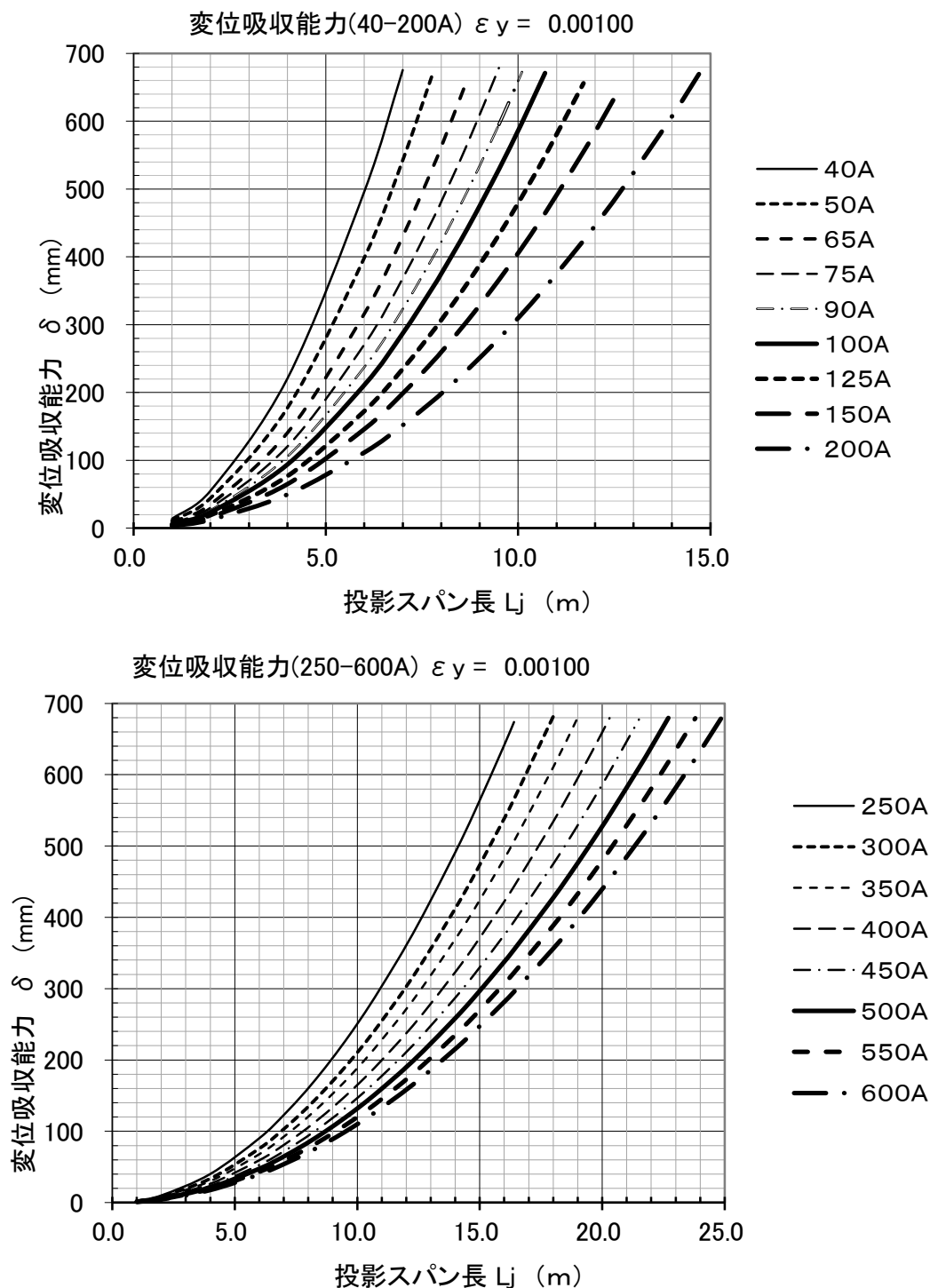
ただし、本計算図表は、
 $\beta = 1.0$ 、 $\lambda = 1.0$ 、
 K_H は、 $K_H = 0.15 \mu_k \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$ において、
 $\mu_k = 1.0$ 、 $\beta_1 = 0.5$ 、 $\beta_2 = 1.0$ 、 $\beta_3 = 2.0$
として、設定している。 #)
異なるときは修正して使用する。
#) この場合、配管指針（式 3.17）と同じ計算結果になる。

図7 変位吸収能力

L1 変位吸収能力 : $\delta_{a1} = 0.67\varepsilon_y \frac{L_j^2}{D_o}$ (耐震告示 第17条第2項による。)

L2 変位吸収能力 : $\delta_{a2} = 0.92 / 0.67 \delta_{a1} = 1.37 \delta_{a1}$ (診断指針 6.2.1(3))

LL 変位吸収能力 : $\delta_{aL} = 1.67 / 0.67 \delta_{a1} = 2.5 \delta_{a1}$ (診断指針 6.2.2(3))



ここで、 $\varepsilon_y = 0.00100$ として算出した。異なる場合は、図8を参照して修正すること。

図8 管材の降伏ひずみ例（特定則、機能性基準別添1の第12条縦弾性係数及び別表3による。）

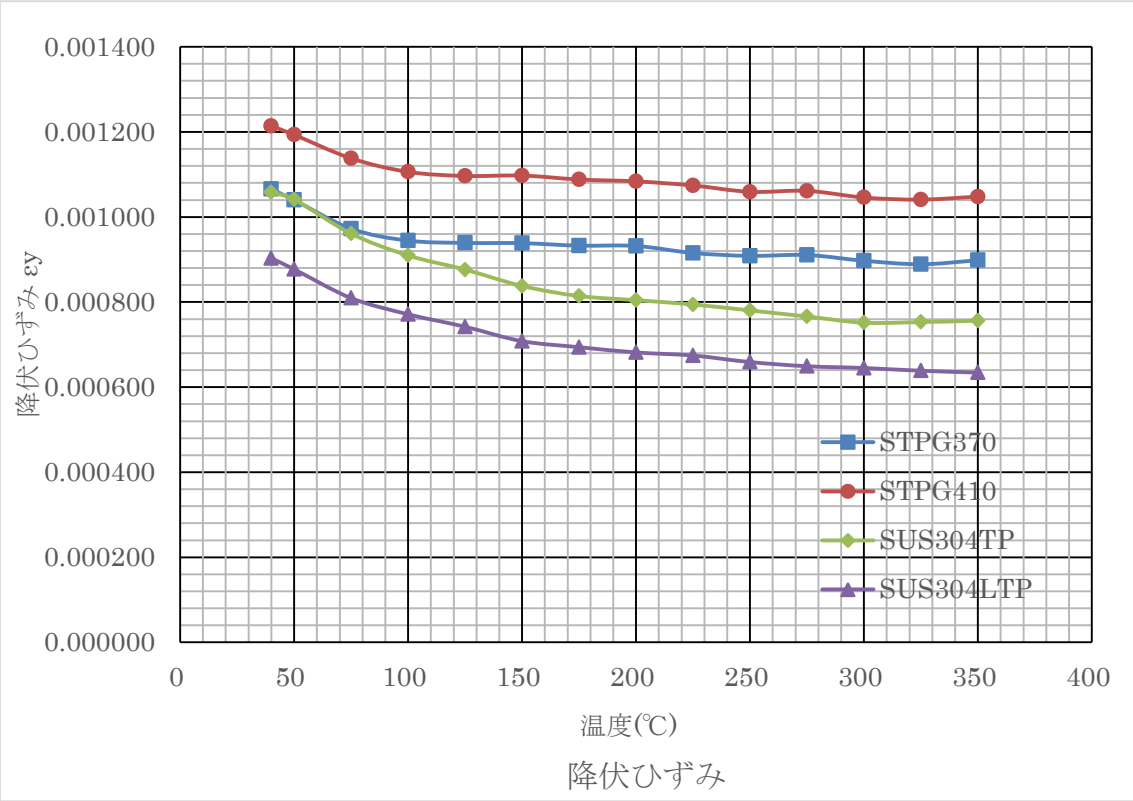


図9 両端に曲り管がある場合の変位吸収能力

両端に曲り管がある配管投影スパン長 : L_j (mm)

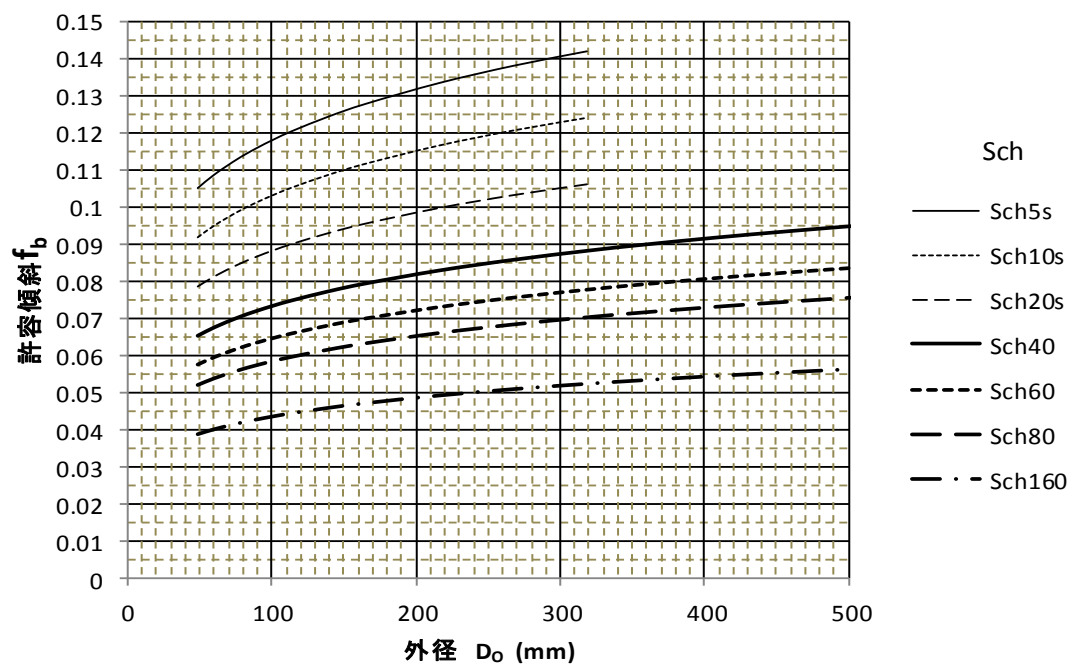
両端に曲り管がある配管の変位吸収能力 : $\delta_{ab} = \delta_{aL} + f_b \times L_j$ (mm) (診断指針 6.2.2(3))

ここで、 f_b は、許容傾斜で、 $f_b = (0.0731 - 0.0103 \log Sch) D_o^{0.16}$

また、 $\log$ は自然対数。

本式は、ロングエルボに関して計算して得られた結果から導入されたものであるが、ショートエルボに関しても、安全側の値として適用してもよい。

本式による計算結果を下図に示す。



付録3 地盤の液状化及び流動化の式

(1) 「地盤の液状化」の判定

地盤の液状化の判定は、経済産業省 平成9年6月12日通達 平成06・04・21立局第6号 第16条関係第4項による。

(2) 「流動のおそれがある地盤」の判定

「流動のおそれがある地盤」の判定は、次による。

- ① 護岸水深が5 m以上で、かつ
- ② 護岸高さの範囲における護岸背後地盤が、護岸高さの $1/2$ 以上の層厚で水平方向に連続して液状化する場合
- ③ 国又は自治体が規定する耐震護岸であって、レベル2地震相当に対しての変形照査により機能維持が図られている場合は、①及び②に係らず流動のおそれがある地盤から除くことができる。

ただし、「護岸水深」は、捨石マウンドや護岸前面の押え捨石がある場合はその位置での水深としてよい。また、地盤流動に係わる護岸背後地盤の液状化範囲は、「護岸水深」以浅を対象と考えてよい。

(3) 地盤の沈下量及び水平移動量

地盤の液状化及び流動するおそれのある地盤では、地盤変状による地盤の移動量の算定を行なう。地盤の沈下量及び水平移動量は、高圧ガス保安協会「高圧ガス設備等耐震設計指針 レベル2耐震性能評価 解説編 [10.2.2.1]節」, KHK E 012-3-2006 が参考になる。

(4) その他

盛土及び傾斜地盤の被害が当該配管系に影響を及ぼす可能性がある場合は、すべり解析等を行ないすべりに対する安定性を確認する。すべりに対しては、建築基礎構造設計指針が参考になる。

(5) 地盤変状に伴う流動に起因する水平移動の算定

過去の震害事例に基づく地盤変状量の算定方法（簡便法）について示しておく。

以下の手順に従い、護岸背後地盤の地盤変状に伴う流動に起因する水平移動の算定を簡易に推定する。

[手順1] 護岸変位量の推定

レベル2地震動に対して、護岸の水平移動量 Δ は適切な方法により求める。

適切な方法とは、例えば耐震設計指針レベル2耐震性能評価解説編による。

[手順2] 流動範囲の推定

液状化が生じると推定される層のN値と、[手順1]求めた護岸の水平移動量 Δ から、(式0-1)を用いて、流動範囲（流動が生じる範囲）を推定する。不明の場合は $L=100$ (m)と置いてよい。

$$L = 250 \cdot \frac{\Delta}{(N_1)_{av}} \quad \text{————— (式 0-1)}$$

ここに、 L ：地盤の流動範囲（単位 m）

Δ ：護岸の水平移動量（単位 m）

$(N_1)_{av}$ ：護岸近傍の液状化層における基準化N値の平均値。基準化N値 N_1 は(式 0-2)より得られる値とする。

$$N_1 = \frac{1.7N}{\frac{\sigma'_v}{98} + 0.7} \quad \text{————— (式 0-2)}$$

ただし、 σ'_v ：有効上載圧（単位 kN/m^2 ）

[手順 3] 水平移動量分布の推定

$$W_L = 1.0e^{-3.35X/L} \Delta \quad \text{————— (式 0-3)}$$

ここに、 W_L ：地盤の流動に伴って発生する地盤の水平移動量(m)

L ：流動範囲（m）

X ：護岸から当該基礎までの距離（m）

Δ ：護岸の水平移動量（単位 m）

(6) 地盤変状に伴う液状化及び流動に起因する沈下量の算定

過去の震害事例に基づいて提案された簡便法を以下に示す。

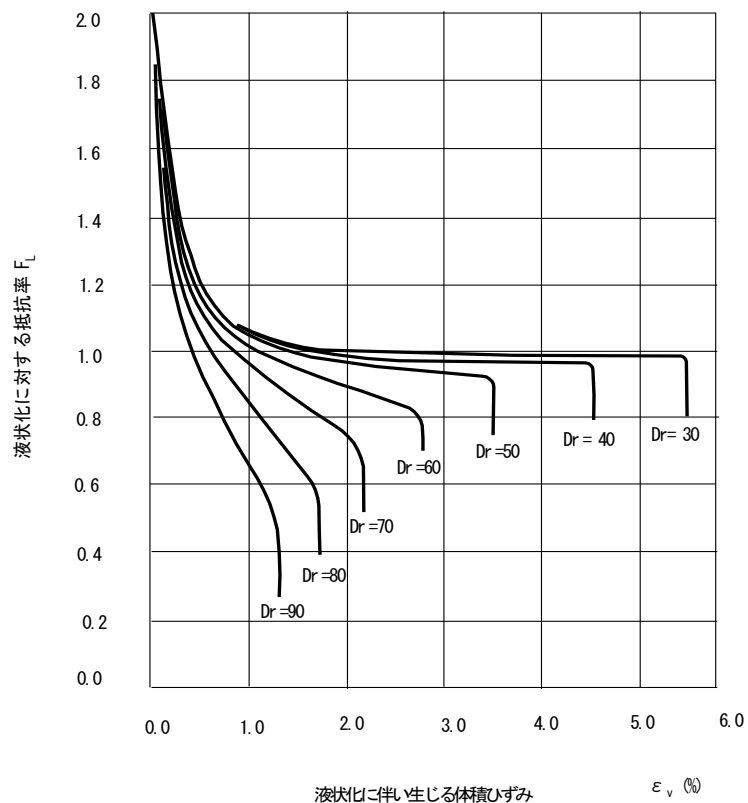
地盤の液状化に伴う地盤の沈下量 S_g は(式 0-4)により算定する。ただし、地盤条件等が不明の場合は、 $S_g = 50\text{cm}$ としてよい。

$$S_g = \varepsilon_v Z \quad \text{————— (式 0-4)}$$

ただし、 S_g ：護岸から距離 x (m) の地点における地震の液状化に伴う地盤の沈下量(m)

ε_v ：地盤の液状化に伴って生じる体積ひずみで、図 0-1) から求める。

Z ：液状化層厚(m)



F_L : 液状化に対する抵抗率、 D_r : 相対密度 (%) で、 $D_r = 21\sqrt{\frac{N_1}{1.7}}$ 、 N_1 : 基準化 N 値であって、
(式 0-2)による。

図 0-1 F_L 値、相対密度 D_r (%) と体積ひずみ ε_v の関係

護岸背後地盤の流動に伴って発生する地盤の沈下量 S_L は、(式 0-5)によりにより算出する。

$$S_L = 0.8e^{-6.37X/L}\Delta \quad \text{————— (式 0-5)}$$

ここに、 S_L : 地盤の流動に伴って発生する護岸から距離 x (m)の地点における地盤の沈下量(m)

L : 流動範囲 (m)

X : 護岸から当該基礎までの距離 (m)

Δ : 護岸の水平移動量 (単位 m)

(7) 地盤変状に伴う直接基礎のめり込み沈下量及び傾斜の算定

簡易的な推定方法を示す。

液状化層の剛性低下を考慮して直接基礎のめりこみ沈下量 S_F 及び基礎の傾斜 θ_F を下記により計算する。

$$S_F = \left\{ \frac{\mu_h(H_1, \nu_1)}{E_1} + \frac{\mu_h(H_2, \nu_2) - \mu_h(H_1, \nu_1)}{E_2} \right\} q \sqrt{A} \quad \text{—————} \quad \text{(式 0-6)}$$

$$\theta_F = \begin{cases} 0.16 S_F & \text{for } B < 4m \\ (0.28 - 0.03B) S_F & \text{for } 4 \leq B < 8m \\ 0.04 S_F & \text{for } B \geq 8m \end{cases} \quad \text{—————} \quad \text{(式 0-7)}$$

ここに、

S_F : 基礎の沈下量(m)

q : 基礎の平均荷重 (kN/m²)

A : 基礎底面積(m²)

H_1, E_1, ν_1 : 第1層 (上層/地下水位上の非液状化層) の厚さ、縦弾性係数、ポアソン比

H_2, E_2, ν_2 : 第2層 (下層/地下水位下の液状化層) の厚さ、縦弾性係数、ポアソン比 (= 0.5)

μ_h : 地盤ポアソン比・厚さ・基礎底面形状から決まる係数で表 5-7 による。

表 0-2 μ_h の値

ν	$\begin{matrix} H/A^{1/2} \\ L/B \end{matrix}$	0.5	1	2	3	5	∞	備考
0.5	1	0.125	0.267	0.413	0.479	0.537	0.631	飽和した 粘性土
	2	0.125	0.257	0.395	0.458	0.516	0.609	
	5	0.125	0.223	0.331	0.385	0.438	0.529	
0.3	1	0.214	0.379	0.537	0.607	0.668	0.766	砂質土 関東ローム
	2	0.210	0.364	0.514	0.582	0.642	0.739	
	5	0.195	0.313	0.433	0.491	0.547	0.642	
0.15	1	0.259	0.433	0.594	0.664	0.716	0.823	間隙比の 大きい 関東ローム
	2	0.254	0.416	0.569	0.637	0.688	0.794	
	5	0.231	0.357	0.480	0.539	0.595	0.690	

ここで、 L : 基礎の長辺長さ(m)、 B : 基礎の短辺長さ (m)

H : 地層の厚さ $H_1 + H_2$ (m)、 A : 基礎の面積(m²)

縦弾性係数 E は、砂地盤では、おおむね $E = 2800N \text{ kN/m}^2$ (N : 地盤の N 値)

液状化後の剛性低下率として以下の値を用いて、地盤の縦弾性係数を調整してよい。

表 0-3 液状化後の剛性低下率

液状化層の N 値	4	6	8	12	16	24
剛性低下率	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/33

付録 4 配管系の損傷

4.1 配管系の損傷

配管系の損傷とは、高圧ガスの漏洩の発生の原因となる次の(1)から(9)に掲げる状態をいう。

- (1) 曲がり管、分岐管等の配管部品の変形、亀裂又は破断
- (2) フランジ継手のシール機能の喪失及びフランジ部の変形、亀裂又はフランジボルトの緩み
- (3) ねじ継手、その他の特殊フィティングの外れ、変形、亀裂又は破断
- (4) 弁又はその配管付属品の変形、亀裂又は破断又は機能喪失
- (5) 伸縮継手のベローズ又はその付属部品の許容量を超える変形、亀裂又は破断
- (6) ノズル部配管反力による管台、胴板の変形、亀裂又は破断
- (7) 回転機のフランジ継手、ケーシングの変形、亀裂又は破断
- (8) サポート、取り付け金具、溶着部品及びその関連する配管の亀裂、破断
- (9) その他の配管付属品、配管部品の変形、亀裂、破断又は機能喪失

地震時または地震後の配管系の状態が、本文 1.1.3 に定める要求耐震性能に満たないとき、当該配管系は“損傷”に至ったとみなす。本節では、要求耐震性能を配管系部品の状態として具体的に述べるものである。本文 1.1.3 に定める要求耐震性能は、“漏えい”と“有害な変形の残留”の面から性能を定義している。“漏えい”に至る部品の状態としては、配管系の圧力バンダリーの亀裂や破損と、継手類の機能喪失、弁類の封止機能喪失等がある。“有害な変形の残留”は、レベル 1 耐震性能では、“有害な変形の残留”がないこと、レベル 2 耐震性能では、“漏えい”に至らない程度の“変形の残留”を規定している。すなわち、地震動の繰り返し変形を受けた時に亀裂等が発生しないこと、又は、地盤変状による大変形で亀裂等が発生しないことが要求耐震性能となる。

4.2 地震の影響要因

4.1 に規定する配管系の損傷は、4.2.1.配管の地震応答加速度 4.2.2.配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位、4.2.3.地盤変状に起因する相対変位、4.2.4.配管支持構造物（サポート、配管支持構造物）の機能喪失、4.2.5.配管系及び周辺構造物の相互干渉、4.2.6.経年変化、4.2.7.構造材料・形態、4.2.8.施行状況に示す影響を考慮する。

地震の影響要因とは、4.1 で規定する配管部品の損傷の原因となる配管系の地震時の挙動や配管系の状態、環境を表す。地震の影響要因としては、次の項目が挙げられる。

- (a) 配管の地震応答加速度による慣性力
- (b) 配管支持構造物の応答変位に基づくサポート間の相対変位
- (c) 地盤変状に基づくサポート間の相対変位
- (d) 配管支持構造物（支持構造物、サポート等）の機能喪失
- (e) 配管系と周辺構造物との相互干渉
- (f) 配管系又は配管支持構造物（サポート、支持金具を含む）の経年変化
- (g) 耐震上好ましくない配管系の構造材料や構造形態（粘りのない材料・構造形態など）
- (h) 配管系又は配管支持構造物の溶接施工等の状況

配管系の耐震診断にあたっては、(a)から(h)の要因にまでさかのぼり、配管系や周辺構造物の地震時の挙動（変形・変位、断面力等の状況）や構造上、施工上の弱点を予測して、4.1に定める損傷の可能性を診断する必要がある。それぞれの損傷モードに関して地震の影響要因ごとに耐震診断を行う。表 1-1 及び表 1-2 に耐震診断方法を示す。

表 1-4 地震動の影響要因に係る評価（耐震重要度 I a、I）

損傷モード	地震の影響要因							
	(a) 配管の地震応答加速度による慣性力	(b) 配管支持構造物の応答変位に基づく相対変位	(c) 地盤変状に基づくサポート間の相対変位	(d) 配管支持構造物の機能喪失	(e) 配管系と周辺構造物との相互干渉	(f) 配管系又は配管支持構造物の経年変化	(g) 耐震上好ましくない配管系の構造材料や構造形態	(h) 配管系又は配管支持構造物の溶接施工等の状況
(1) 曲がり管、分岐管等の配管部品の変形、亀裂又は破断	許容スパン	変位吸収能力	変位吸収能力	サポートの機能喪失に関する目視 及び 配管支持構造物の設計震度	目視	目視	目視	目視
(2) フランジ継手のシール機能の喪失及びフランジ部の変形、亀裂又はフランジボルトの緩み	(許容スパン)	ガスケット面圧	ガスケット面圧		目視	目視	目視	目視
(3) ねじ継手、その他の特殊フィティングの外れ、変形、亀裂又は破断	目視	目視	目視		目視	目視	目視	目視
(4) 弁又はその配管付属品の変形、亀裂又は破断又は機能喪失	強度	強度	強度		目視	目視	目視	目視
(5) 伸縮継手のベローズ又はその付属部品の許容量を超える変形、亀裂又は破断	(許容スパン)	変位吸収能力 N=50	変位吸収能力 N=10		目視	目視	目視	目視
(6) ノズル部配管反力による管台、胴板の変形、亀裂又は破断	(許容スパン)	強度	強度		目視	目視	目視	目視
(7) 回転機のフランジ継手、ケーシングの変形、亀裂又は破断	(許容スパン)	(変位吸収能力)	(変位吸収能力)		目視	目視	目視	目視
(8) サポート、取り付け溶着部品及びその関連する配管の亀裂、破断	支持力	支持力	支持力		目視	目視	目視	目視
(9) その他の配管付属品、配管部品の変形、亀裂、破断又は機能喪失	(許容スパン)	(変位吸収能力)	(変位吸収能力)		目視	目視	目視	目視

備考) 表中(許容スパン)及び(変位吸収能力)は、それぞれ当該配管系の許容スパン確認及び変位吸収能力確認により当該耐震性能の確認は不要となることを表す。

表 1-5 地震動の影響要因に係る評価（耐震重要度Ⅱ、Ⅲ）

損傷モード	地震の影響要因							
	(a) 配管の地震応答加速度による慣性力	(b) 配管支持構造物の応答変位に基づく相対変位	(c) 地盤変状に基づくサポート間の相対変位	(d) 配管支持構造物等の機能喪失	(e) 配管系と周辺構造物との相互干渉	(f) 配管系又は配管支持構造物の経年変化	(g) 耐震上好ましくない配管系の構造材料や構造形態	(h) 配管系又は配管支持構造物の溶接施工等の状況
(1) 曲がり管、分岐管等の配管部品の変形、亀裂又は破断	許容スパン	変位吸収能力	--	サポートの機能喪失に関する目視	目視	目視	目視	目視
(2) フランジ継手のシール機能の喪失及びフランジ部の変形、亀裂又はフランジボルトの緩み	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(3) ねじ継手、その他の特殊フィティングの外れ、変形、亀裂又は破断	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(4) 弁又はその配管付属品の変形、亀裂又は破断又は機能喪失	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(5) 伸縮継手のベローズ又はその付属部品の許容量を超える変形、亀裂又は破断	--	変位吸収能力 N=500	--		目視	目視	目視	目視
(6) ノズル部配管反力による管台、胴板の変形、亀裂又は破断	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(7) 回転機のフランジ継手、ケーシングの変形、亀裂又は破断	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(8) サポート、取り付け溶着部品及びその関連する配管の亀裂、破断	--	--	--		目視	目視	目視	目視
(9) その他の配管付属品、配管部品の変形、亀裂、破断又は機能喪失	--	--	--		目視	目視	目視	目視

4.2.1. 配管の地震応答加速度

配管系の耐震診断では、配管又は配管スパン内の重量物（弁、フランジ継手、ストレーナ、計器類、保温材など）の地震応答加速度による配管系に生じる反力、軸力、せん断力、曲げモーメント、振りモーメントによる影響を考慮する。

配管系は、支持スパン間隔が長いと配管自身の慣性力により生じる配管軸力、せん断力、曲げモーメント、振りモーメントなどの応力が大きくなり損傷につながる。このために、配管スパン長が許容スパン長以下であることとガイドではしている。

また、配管支持スパン間に重量物があると同様に配管応力が大きくなり損傷にいたる。このために、付加重量（分布重量及び集中重量）を考慮した許容スパン長に対する当該配管スパン長の比を慣性力に係る耐震性能比とする。

4.2.2 配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位

わたり配管に係る配管系の耐震診断では、異なる配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因するサポート間の相対変位による配管系に生じる反力、軸力、せん断力、曲げモーメント、振りモーメントによる影響を考慮する。配管はサポートを通して配管支持構造物に支持されている。

一般に配管支持構造物は地震時慣性力により揺れる。このため配管支持構造物の地震動に係る応答変位に応じてサポートが移動するため配管が強制的に変形させられることになる。配管スパンにおいて両端のサポートが同じ配管支持構造物の上にあるとき両サポートの変位差（相対変位）は小さく、配管の損傷につながることは少ないが、異なる配管支持構造物上に（わたり配管で）あるときは、配管の損傷につながることもある。配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位による配管の損傷モードの一例を下図に示す。

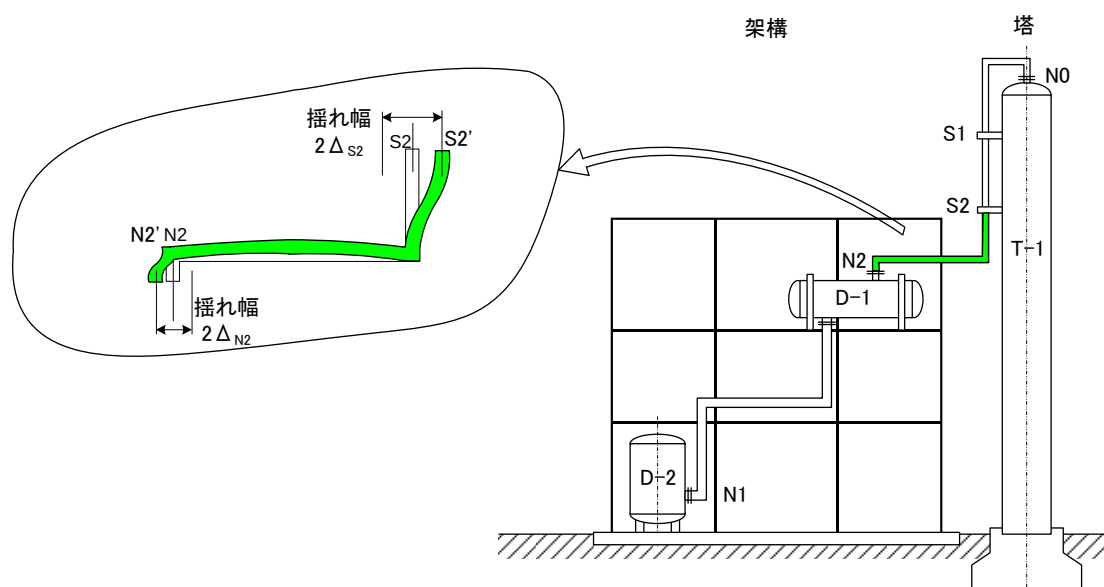


図 1-1 配管支持構造物の地震動に係る応答変位に起因する相対変位

塔 T-1（配管支持構造物）の地震動に係る応答変位のために、支持点 S2 は地震動に係る応答変位幅 $2\Delta_{S2}$ だけ揺れる（変位が生じる）。架構及びドラム D-1 の揺れのために、ノズル点 N2 は地震動に係る応答変位幅 $2\Delta_{N2}$ だけ揺れる（変位が生じる）。塔と架構は、固有周期が異なるために S2 及び N2 の間には相対的な変位差が生じ配管 S2-N2 は配管 S2'-N2' に変形する。サポート間の配管は最大 $(\Delta_{S2} + \Delta_{N2})$ のサポートの相対変位分だけ強制変形させられる。

この強制変位により配管系に生じる反力、軸力、せん断力、曲げモーメント、振りモーメントのため配管系は損傷にいたることがある。

同様に、配管スパン D-1-D-2 において、D-1 および架構と D-2 は支持構造物が異なるため“わたり配管”であり、応答変位に起因する相対変位の評価が要求される。

塔側にあつて配管スパン S-1-S-2 は同一配管支持構造物（塔）上に有り、通常は大きな相対変位は生じない。これらのことを考慮して同一支持構造物上の配管スパンに関しては、配管支持構造物の慣性力による地震動に係る応答変位に起因する損傷モードは、耐震診断の対象からはずした。

わたり配管において、配管支持構造物が地震慣性力によりサポートが移動して配管に強制変形が生じるとき、配管、支持構造物等に関して支持距離・支持方法・サポート配置、配管の引き回し等を考慮して最適な対策を講じることが必要である。

① 支持間隔を長くする。

（ただし、配管慣性力に起因する損傷モードに関して耐震性が確保されることが前提。）

② 配管ループを入れる。

③ 伸縮継ぎ手を入れる。

④ わたり配管の設置高さを下げる。（高さが低くなるほど、配管支持構造物間の相対変位が小さくなる。）

⑤ 配管支持構造物を補強して地震動に係る応答変位量を低減させる。

4.2.3. 地盤変状に起因する相対変位

わたり配管に係る配管系の耐震診断では、下記による配管部品又はサポートに生じる曲げモーメント、軸力又は反力の影響を考慮する。

(1) 地盤の液状化及び流動に伴う地盤の沈下によるサポート間の相対変位

(2) 地盤の流動に伴う地盤の水平移動によるサポート間の相対変位

一般に地盤が液状化する場合、基礎の移動は次のように沈下及び水平移動を考慮する必要がある。

①. 地盤の液状化に伴って生じる基礎の沈下

②. 地盤の液状化に伴って生じる基礎の不同沈下

③. 地盤の流動に伴って生じる基礎の沈下

④. 地盤の流動に伴って生じる基礎の不同沈下

⑤. 地盤の流動に伴って生じる基礎の水平移動

一例として地盤が流動で基礎が移動する場合について図 1-2 にしめす。

地盤が液状化し、護岸が図のように海側へはらみだすと背後地盤は水平移動し、配管は強制的に大きく変形する。兵庫県南部地震の例では、護岸のはらみだしは、3 m 以上にも及び、配管損傷が発生した。

地盤変状に関する変位量は海岸方向へ 1 方向であるので、相対変位を算定する配管スパン両端のサポート 2 点はいずれも水平方向には陸側から海側へ移動、鉛直方向はいずれも沈下方向（ただし杭基礎の場合は沈下小）に移動すること（一方向変位）が明らかなため、評価は 2 点の絶対変位の差をサポート間の相対変位とすればよい。また、基礎の傾斜も陸側が高く、海側が低い変形モードとなるので 1 方向の傾斜のみを対象として良い。

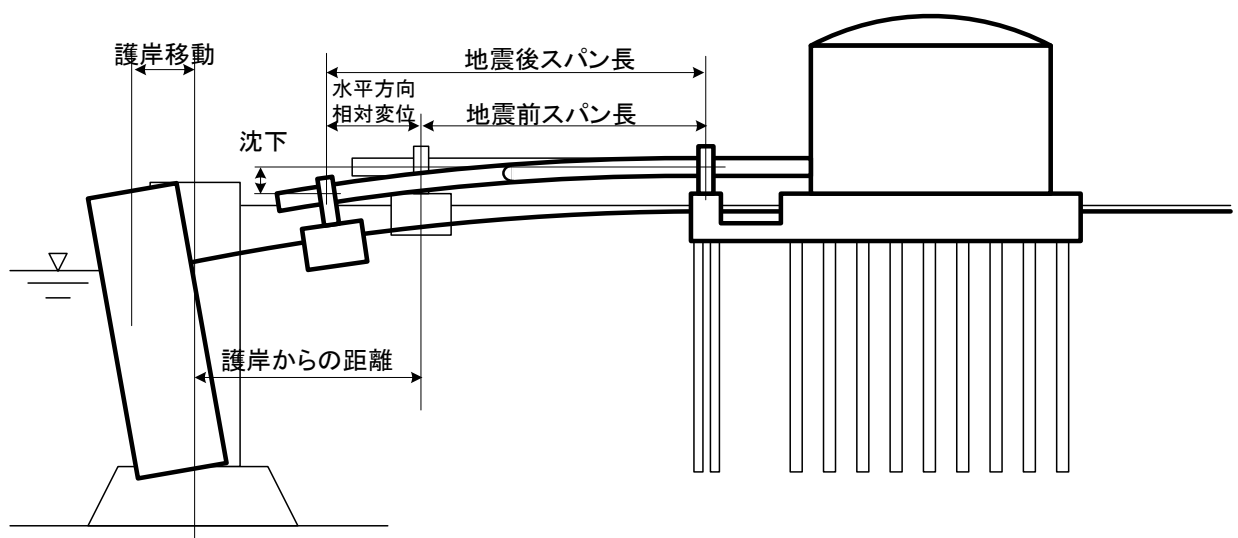


図 1-2 液状化・流動による配管の変位モード

地盤の液状化、流動が生じる場合、同一タイプの基礎間を渡る配管の場合、基礎間の相対変位は少ないのでわたり配管として問題になることは少ないが、次のような異なる基礎間を渡る配管（基礎に係るわたり配管）において、

- ①. 一方の基礎が杭基礎、もう一方が直接基礎の場合
- ②. 両方とも直接基礎だが、一方は配管のみを支持する小規模な基礎、一方は機器・大きな架構等で基礎寸法が大きな場合（基礎は一体として移動するために、配管長さは短くとも変位差＝相対変位＝は大きくなる。）

両基礎の配管サポート間に相対変位が生じる結果、配管に強制変位が負荷される。この強制変位により配管系に生じる反力、軸力、せん断力、曲げモーメント、振りモーメントのため配管系は損傷にいたる。

液状化・流動（地盤変状）により基礎が沈下・水平移動して配管の強制変形が生じるとき、機器・配管・基礎・地盤等と総合して場所・支持距離・支持方法等を考慮して最適な対策を取ることが必要である。

- ①. 基礎の変位を算定し、配管・配管支持構造にて変位を吸収できることを確認する。
- ②. 配管側で大きな相対変位に対して支持点を解放する。
- ③. 配管を共通基礎上に設置し、共通基礎上の配管は強制変形を防止する。
- ④. 基礎の変位を防止することにより配管の強制変形を防止する。地盤の液状化対策等がこれに当たる。

4.2.4. 配管支持構造物（サポート、配管支持構造体等）の機能喪失

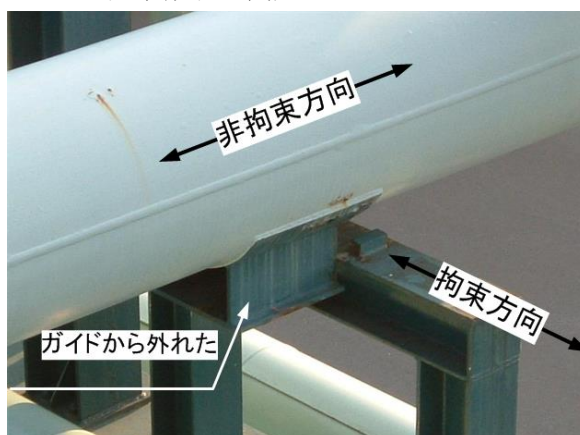
サポートは支持機能、変位拘束機能、固定機能、エネルギー吸収機能及び／又は解放機能等を有する。配管系の耐震診断では、地震応答又は地盤変状に起因するサポートの機能喪失による影響を考慮する。

地震応答又は地盤変状に起因するサポートの機能喪失は次のような例がある。機能喪失の結果、当該配管系に好ましくない影響を与える可能性があるので、注意深く耐震診断する必要がある。

- (1) サポート反力によりサポートが損傷したことによるサポート機能喪失

支持間隔が長いとその影響で地震動に係る応答変位幅が大きくなるため他の周辺構造物との干渉・接触・衝突等の可能性がないか注意が必要である。

- (2) レストレイントのようなサポートで非拘束方向の配管変位によりサポートが外れることによる拘束機能の喪失



拘束方向に拘束されない結果、拘束されないとしての耐震診断が必要となる。

- (3) レストレイントのようなサポートで非拘束方向の固着による非拘束機能喪失

(2)と同様のサポートで非拘束方向の変位を逃がしてやり、配管に拘束を与えないよう設計されているが、固着等により配管に強制変位が負荷される。

- (4) 固定サポートの損傷による固定機能喪失

固定サポートは 3 方向の力及びモーメントを拘束し、当該サポート両側の配管が相互に影響を及ぼさないよう設置されている。当該固定機能喪失により両スパンの設計条件が変わり各種の悪い影響が生じる可能性がある。

- (5) 解放サポートで、解放機能喪失

解放サポートは、慣性力に係るサポート反力に対しては支持機能をもち、地盤変状が発生したとき、最大変位に達する前に（解放変位または解放反力において）サポート機能を解放（切断など）し、最大変位に対しては当該変位吸収能力を確保するものである。

この場合、慣性力に対して支持機能を喪失したり、解放変位を超えても支持機能を維持したままとなると、配管応力等が過大となるので注意が必要である。

- (6) エネルギー吸収サポートで、エネルギー吸収部材の劣化などによるエネルギー吸収機能喪失

エネルギー吸収サポートは、配管系の動きに対して地震エネルギーを吸収し、配管系の地震動に係る応答変位を低減する目的で設置されている。エネルギー吸収機構の劣化などの影響でその機能を喪失した時、配管が大きく揺れるので、注意が必要である。

- (7) 耐震支持機能サポートと見なさないサポート（ハンガー）の地震動の影響によるその機能喪失

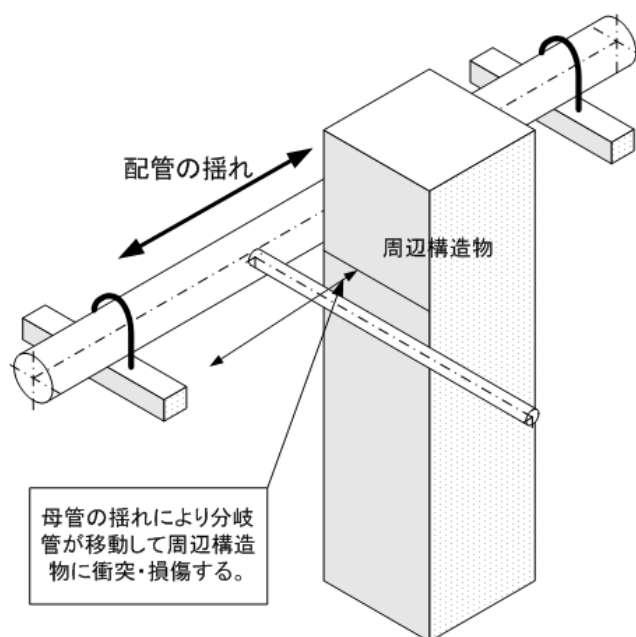
ハンガーサポート等は耐震支持機能サポートとは見なさないが、サポート部材が劣化等したり、地震動に係る応答変位が設計トラベル量を超えたりすると支持機能を喪失して、配管自重を支持できなくなるので注意が必要である。

4.2.5. 配管系及び周辺構造物の相互干渉

配管系の耐震診断では、配管系及び周辺の構造物は、地震応答（加速度及び変位）又は地盤変状が起因して揺れる。このとき、配管支持構造物、周辺構造物、その他付属品が揺れたり、倒壊・崩壊したり落下したりすると、配管とそれら構造物等と衝突・干渉したり、一緒に崩壊することがあるので、周辺構造物等の状況を十分把握して、その影響を考慮する。

次のような配管系及び周辺構造物の相互干渉に係る損傷モードがある。

- (1) 配管系の変位又は移動による周辺構造物との衝突・干渉



配管又は周辺構造物の地震動に係る応答変位のために、配管と周辺構造物が干渉・衝突して配管が損傷するので注意が必要である。

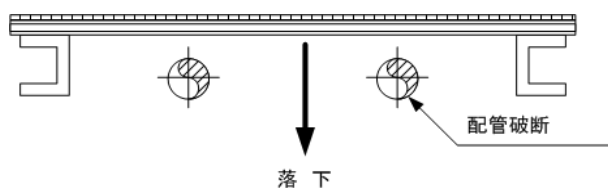
左図の例では、母管の地震動に係る応答変位に応じて分岐管が移動し隣接する周辺構造物に衝突し破損に至る。

(2) 配管系の移動または滑動による配管の落下



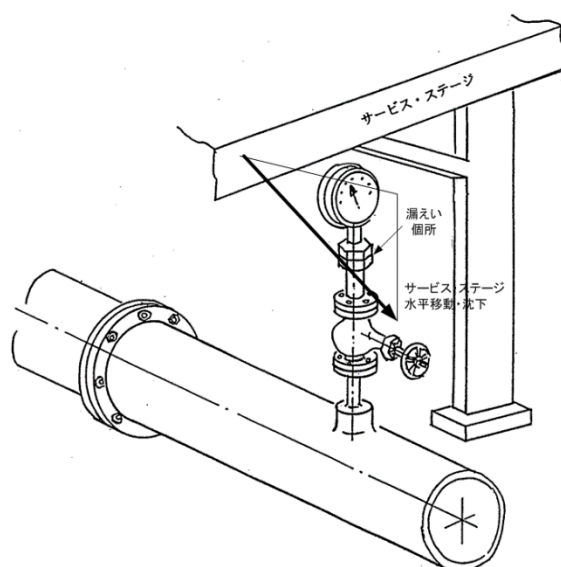
配管の水平方向の支持が不十分であると、配管ラックより、配管が落下することがあるので注意が必要である。

(3) 周辺構造物の部品の落下



渡り歩廊・ラダー等の周辺構造物部品の落下のため配管に影響を与えることがあるので注意が必要である。

(4) 周辺構造物の変位又は移動による配管系との衝突・干渉



左図の例では、配管近傍に設置されていたサービス・ステージが地盤の液状化に伴う地盤の沈下及び流動により移動・沈下したために、配管付属の圧力計に接触し、圧力計が塑性変形すると共に、接続フランジが損傷し高圧ガスが漏えいした。

周辺構造物の移動（地盤変状や地震動に係る応答変位）を予測して、十分な間隔を確保する等が必要である。

(5) 周辺構造物の倒壊・崩壊

フレアースタックの倒壊により隣接する配管架構上の配管系に落下し内容液が漏えいし、火災が発生した。周辺構造物の倒壊・崩壊がないよう十分な強度が必要である。

4.2.6. 経年変化

配管系の耐震診断では、配管系及び周辺構造物に係る下記に係る耐震性への影響を考慮する。

- (1) 配管内面及び外面腐食
- (2) 構造物部材、サポート部材の発錆等による断面欠損
- (3) ボルト類（フランジ継手、基礎ボルト、セットボルト等）の緩み又は発錆
- (4) 継手類（ブレース継手等）の緩み又は発錆
- (5) 可動部の固着、劣化
- (6) コンクリートの割れ・劣化

経年劣化のうち、管内外面の減肉点検のような場合には、日常定点計測等の情報からその不具合をチェックすることができる。しかしながら、日常点検で改善されることの少ない項目でありながら、耐震性能を著しく損なう場合もあるので、注意深く点検することが必要である。

実プラントにおける耐震診断の例では、次のような事項が観察された。

- (1) スプリングハンガーが腐食し、一部貫通部分も見られる。
- (2) 保冷の劣化が進み含水によって保冷板金下部に氷結が見られる。
- (3) 保冷バンド類が腐食によって剥離がある。
- (4) 保冷板金が腐食によって欠落がある。
- (5) 架構受梁が腐食している。
- (6) 配管を吊っているロッドと架台を締結しているナットが腐食で減肉している。
- (7) 壁貫通におけるコンクリート壁と断熱材の養生が十分でなかった。

サポートや支持構造物に腐食が見られる場合、手でゆすってみて揺れるようなときには地震時に過大な地震動に係る応答変位となる可能性があり、他の設備との干渉が想定されるので剛性の高い支持方法に変更する対策が望まれる。

また、保温保冷の劣化による含水あるいは氷結では、サポートにかかる荷重の増大に注意が必要である。

4.2.7. 構造材料・形態

配管系の耐震診断では、配管系に係る下記の構造材料・構造形態の耐震性への影響を考慮する。

配管系耐震性能の上で弱点となる構造材料・構造形態の例を次に示す。

- (1) 脆性材料（鋳鉄弁、塩ビ管等）の使用
鋳鉄製などの脆性材料の弁、ポンプは相対変位に対して損傷しやすい。地震時に機能維持が要求される配管系には使用を避ける。
また、塩化ビニルなどの脆性材料を用いた配管は衝撃力や相対変位に弱点があるので、ライニング材としたり2重管とする。
- (2) 配管の曲げモーメントが集中する位置に弁、フランジ継手等を配置
地震時の配管慣性力やサポート間相対変位による応力の分布から、次のような点は

曲げモーメントなどが大きくなるため、フランジやその他継手を位置させるのは好ましくない。

- ① スパン中央
- ② 分岐点・曲がり管近傍
- ③ 断面や剛性の変化部

(3) ねじ込み継ぎ手配管

ねじ込み継ぎ手は軸力、曲げモーメントを受けると容易に漏えいしたり引き抜けが生じる。

高圧ガス保安法適用の設備であっても、地震時に機能維持を必要とされる配管系では使用を避けること、又は、当該部位に過大な軸力、曲げモーメントが生じる部位には使用を避けることが望ましい。

(4) 変位吸収能力を阻害する過剰剛性部材の利用

変形吸収能力を期待する配管系で、過剰肉厚の曲がり管を使用すると他の配管部品に負担がかかり配管系損傷に至ることがあるので注意が必要である。

(5) 架構の手すりなどを利用したサポート類

架構の手すりなどを利用したサポート類は強度が不十分である。

4.2.8. 施工状況

配管系の耐震診断では、配管系の施工状況の耐震性への影響を考慮する。

配管系の耐震診断では、配管系に係る下記のような施工状況の耐震性への影響を考慮する必要がある。

- (1) 支持構造物に係る溶接施工不良
- (2) 改修工事・補強工事に係る施工不良

付録 5 塑性率評価法、保有耐力評価法及び代替評価法による算出法

レベル 2 代替法による耐震性能評価では、設計震度を $D_s \cdot K_{MH}$ として、地震力 $rF_y = D_s K_{MH} W$ （耐震告示の代替法では、一律に $D_s = 0.5$ としている。）に対して弾性計算により算出した各部応力 σ_s が耐震設計許容応力（降伏応力） σ_y を超えないことを確認している。しかしながら、震度 $D_s K_{MH}$ で算出して変位量 δ_s は、最大応答変位量 δ_x に比して過小な値となっている。

ただし、最大応答変位量 δ_x の値は、耐震設計指針レベル 2 耐震性能評価 解説編 7.3.1 塑性率評価法によって、図 2-4 による定義を使い、次のように計算できる。

$$\delta_x = \left[1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left(\frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \right] \delta_y, \quad (K_{MH} > K_y \text{ のとき})$$

$$\delta_x = \frac{K_{MH}}{K_y} \delta_y, \quad (K_{MH} \leq K_y \text{ のとき})$$

ここで、 C ：損傷にいたるまでの応答履歴に係る係数で、通常 $C=0.5 \sim 2.0$

なお、塑性率評価法、保有耐力評価法及び代替法の評価式は、(図 2-4)において次のようになる。

塑性率評価法： $\delta_x \leq \delta_A$

保有耐力評価法：必要保有耐力 ($F_y = D_s \cdot K_{MH} W$) $\leq$ 保有耐力 ($F_y = K_y W$)

代替評価法： $\sigma_s \leq \sigma_y$

つぎに D_s の値と塑性率法との関係式は、修正震度 $K_{MH} = K_y / D_s$ のとき、変形量 δ_x は許容変形量

δ_A に等しいとして、下式で表わされる。

$$\delta_A = \left[1 + \frac{1}{4C} \left(\frac{1}{D_s^2} - 1 \right) \right] \delta_y \quad \text{又は、} \mu_{pa} = \frac{1}{4C} \left(\frac{1}{D_s^2} - 1 \right)$$

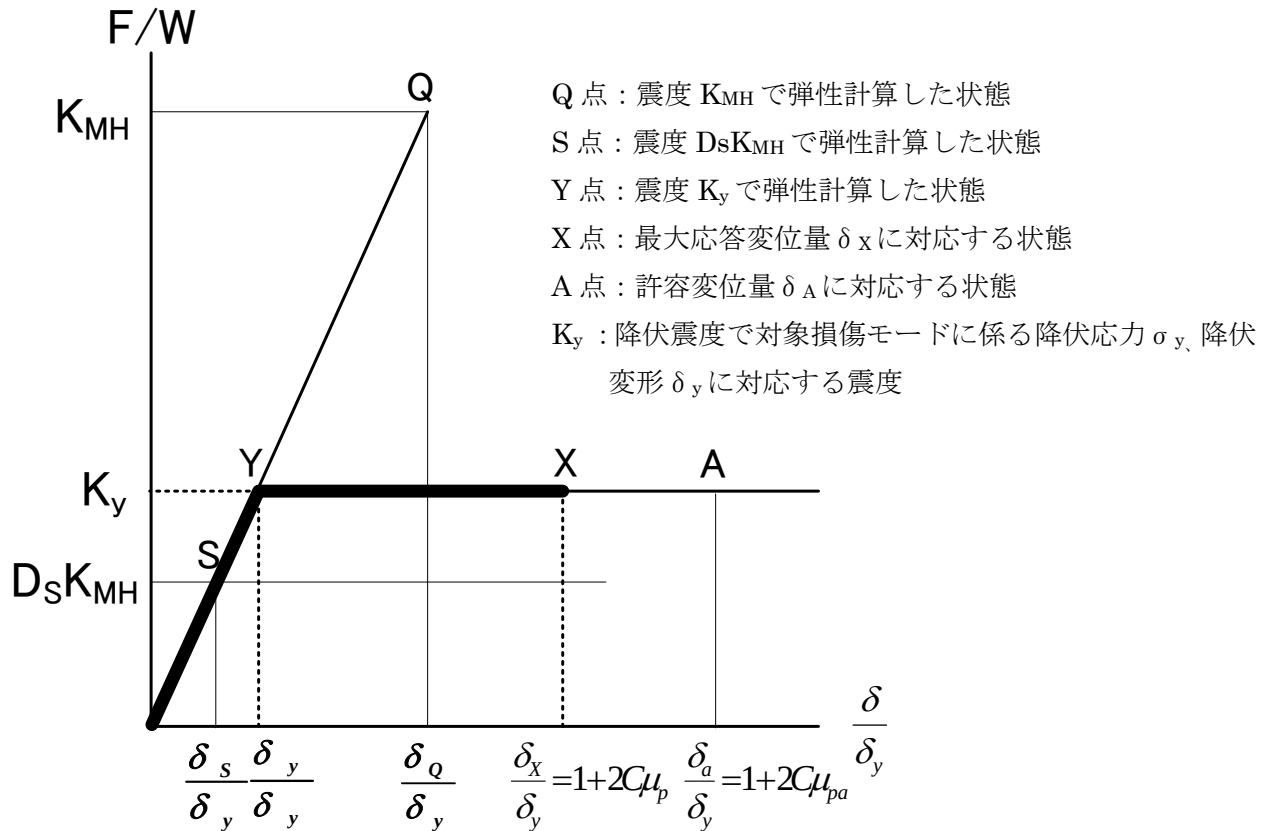


図 2-4 塑性率法と代替法（保有耐力法）の関係

震度 K_{MH} に対して弾性計算で得られる Q 点の変位量 δ_Q に対する δ_x の比の値を算出すると、

$$\frac{\delta_x}{\delta_Q} = \left[1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left(\frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \right] \frac{K_y}{K_{MH}}, \quad (K_{MH} > K_y \text{ のとき}) \quad (\text{式 2-11})$$

$$\frac{\delta_x}{\delta_Q} = 1, \quad (K_{MH} \leq K_y \text{ のとき})$$

となり、計算結果を、横軸は $\kappa = K_{MH}/K_y$ 、縦軸は $\lambda = \delta_x/\delta_Q$ として、図 2-5 に示す。

この図より、一方向的な塑性変形の場合 ($C=0.5$) を除いて K_{MH} が特に大きくない ($K_{MH} < 3 K_y$) 限り、最大応答変位量は K_{MH} に対する弾性計算による変位量より小さい値となる。

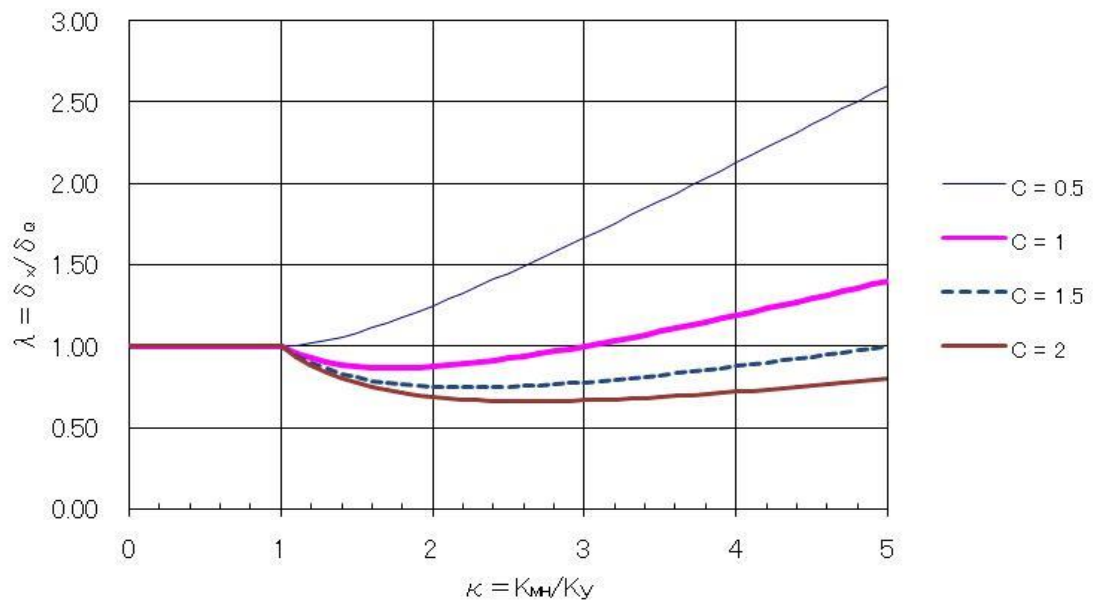


図 2-5 K_{MH} に対する応答最大変位量（弾性計算変位量に対する倍率）

以上の事柄より、配管支持構造物の最大応答変位 δ_x は、次のいずれかの項のにより算出する。

- (1) 配管支持構造物が代替法又は保有耐力評価法により変位が計算される時、震度 $D_s \cdot K_{MH}$ に対する弾性計算変位量 δ_s が計算された時、最大応答変位量 δ_x は、 $\delta_q = \delta_s / D_s$ に等しいとする。

$$\delta_x = \delta_s / D_s \quad (\text{式 2-12})$$

この場合、 K_{MH}/K_Y の値が既知の場合、(図 2-5)、(式 2-11)において、横軸 K_{MH}/K_Y 対して、安全側をみて $C=1$ のケースのグラフより縦軸の値(δ_x / δ_q)を読み取り、(式 2-13) により補正を行ってもよいとする。

$$\delta_x = \lambda \cdot \delta_s / D_s \quad (\text{式 2-13})$$

- (2) 配管支持構造物が(表 2-4) の簡易式により変位が計算される時、表 2-4) の簡易式による計算結果は、 K_{MH} に関する弾性計算による変位量であり、 δ_q が計算される。従って、(1) と同様に、(式 2-14)又は(式 2-15)を使用すればよい。

$$\delta_x = \delta_q \quad (\text{式 2-14})$$

$$\delta_x = \lambda \cdot \delta_q \quad (\text{式 2-15})$$

- (3) 配管支持構造物が塑性率法で算出される時、(式 2-11)により算出する。

付録 6 変位吸収能力の評価手順詳細

変位吸収能力の評価の手順は、図 5-2 による。

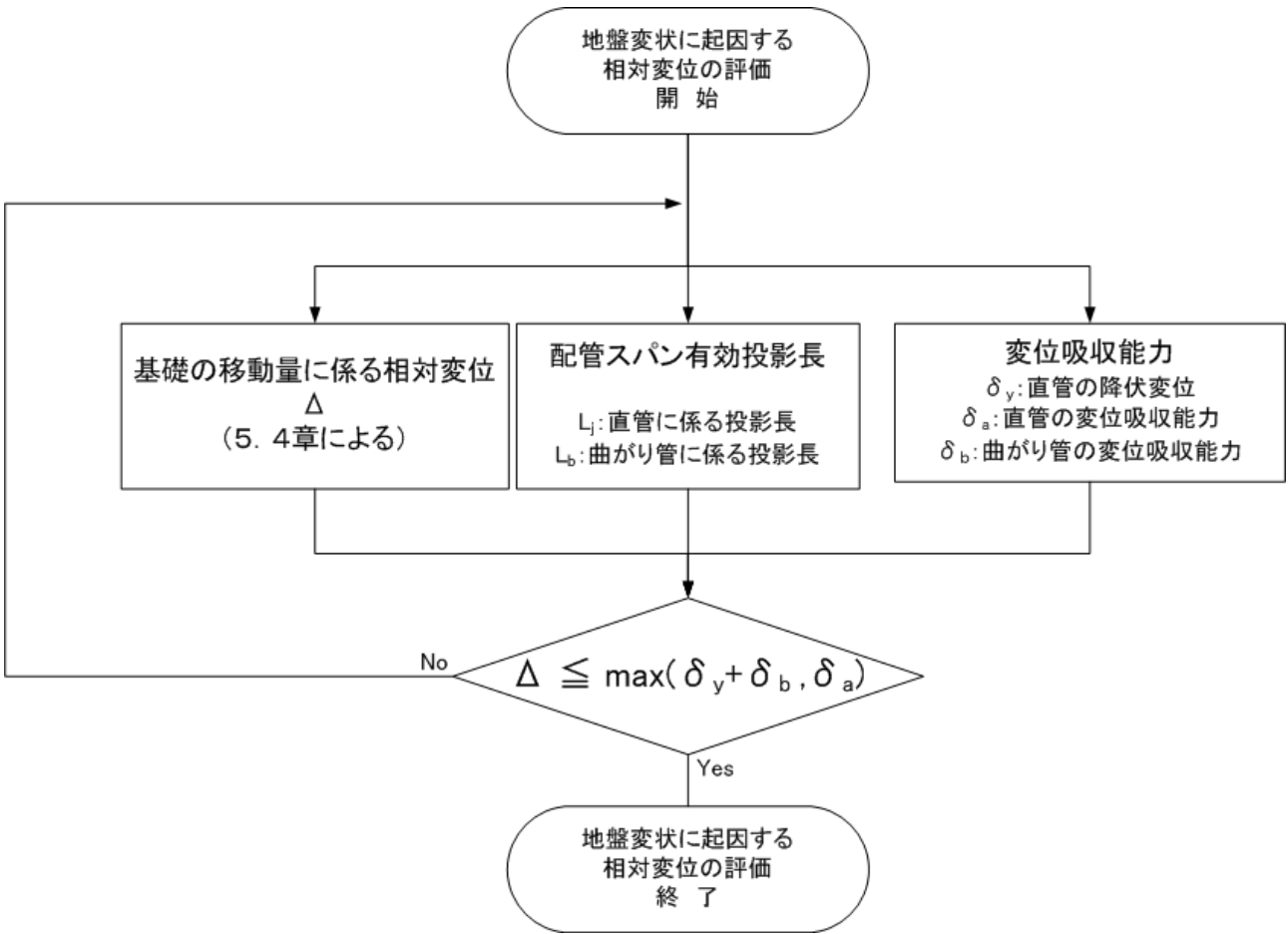


図 5-2 地盤変状に係る変位吸収能力の評価手順

L_j は、地震方向に直交する平面に対する配管スパンの有効投影長さで、レベル 1 簡易耐震定量評価における変位吸収能力に準じて、(図 5-3) を参考にして定める。

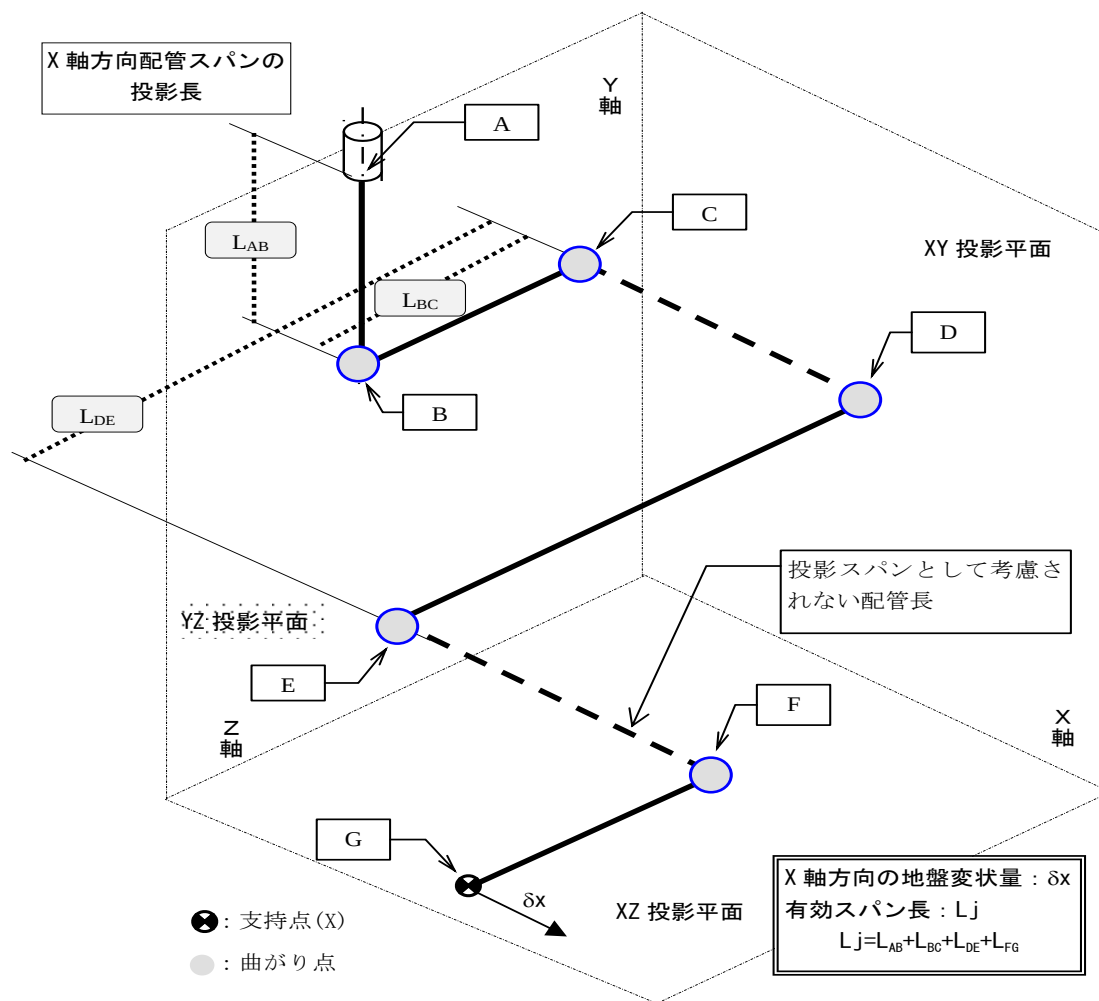


図 5-3 直管に係る配管投影長

L_b は、地震方向に直交する平面に対する曲がり管で囲まれた部分の配管スパンの有効投影長さで、(図 5-4) を参考にして定める。

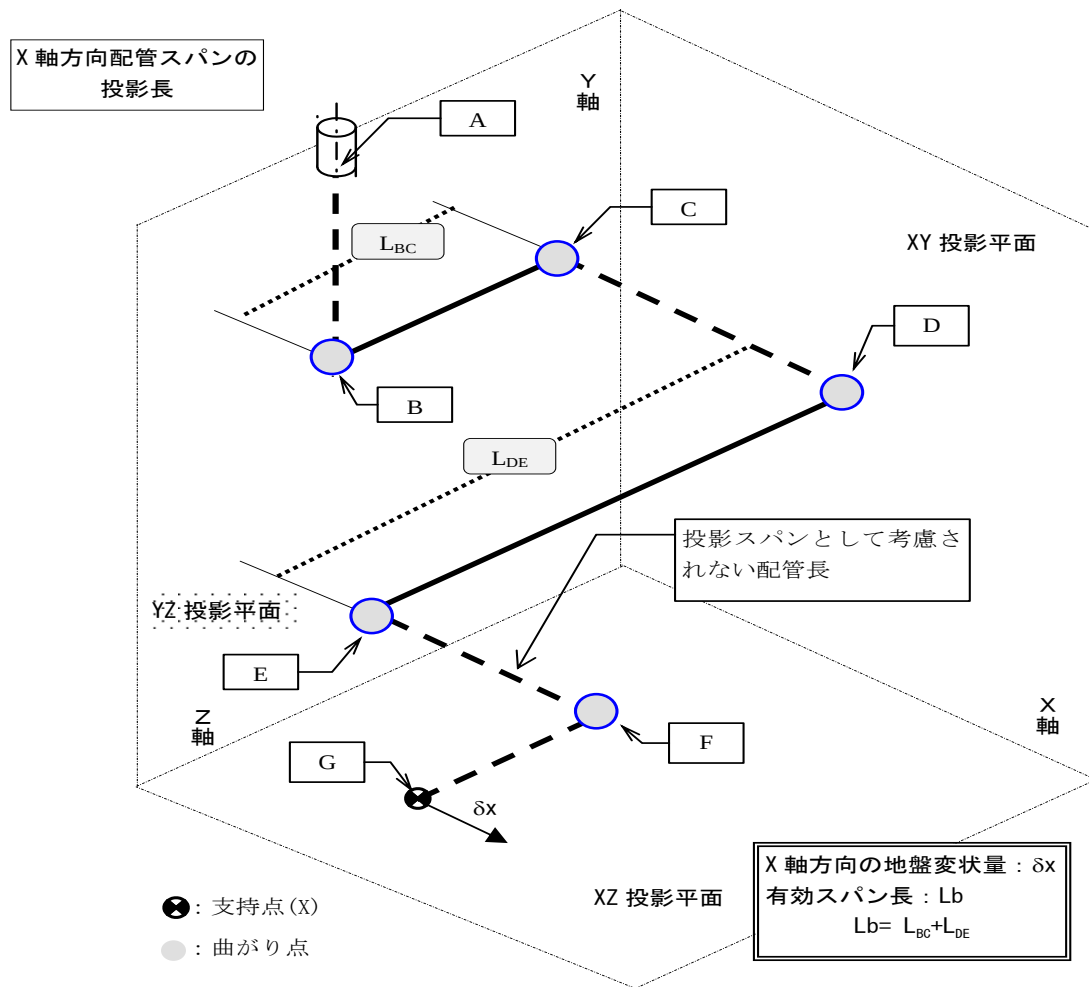
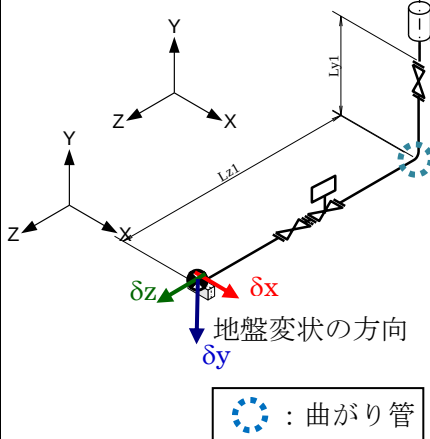
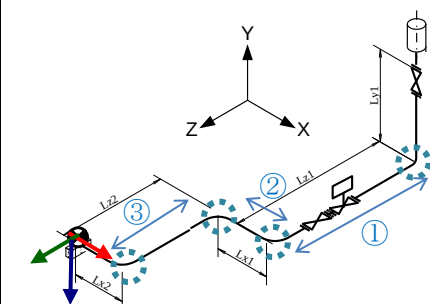
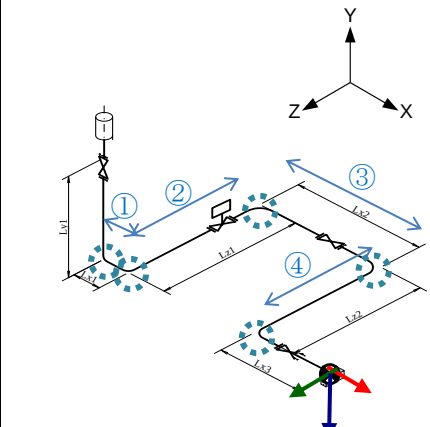


図 5-4 曲がり管に係る配管投影長

表 5-6 曲がり管の数と配管スパン有効投影長(L_j 、 L_b)の取り方

投影長スパンの例	水平X方向 (δx)	水平Z方向 (δz)	鉛直Y方向 (δy)
例 1 : 曲がり 1 個の場合  $L_j = L_{y1} + L_{z1}$ $L_b = 0$ 地盤変状の方向 δy ⊙ : 曲がり管	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1} + L_{z1}$ $L_b = 0$	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1}$ $L_b = 0$	有効投影スパン長 $L_j = L_{z1}$ $L_b = 0$
例 2 : 曲がり管 2 個以上  $L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{z1} + L_{z2}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{z1} + L_{z2}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1} + L_{x1} + L_{x2}$ $L_b = L_{x1}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{x1} + L_{x2} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{z1} + L_{x1} + L_{z2}$
例 3 : 曲がり管 2 個以上  $L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{z1} + L_{z2}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{z1} + L_{z2}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{y1} + L_{x1} + L_{x2} + L_{x3}$ $L_b = L_{x1} + L_{x2}$	有効投影スパン長 $L_j = L_{x1} + L_{x2} + L_{x3} + L_{z1} + L_{z2}$ $L_b = L_{x1} + L_{x2} + L_{z1} + L_{z2}$

付録 7 目視点検の着眼点の例（写真）

配管の目視耐震診断の着眼点 (1)	
設備の種類	製造設備(オンサイト) 塔槽類・架構の高所渡り配管
着目する地震力	慣性力
	⊙ 相対変位
	地盤変状

フレキシビリティがある(相対変位に強い)配管の例

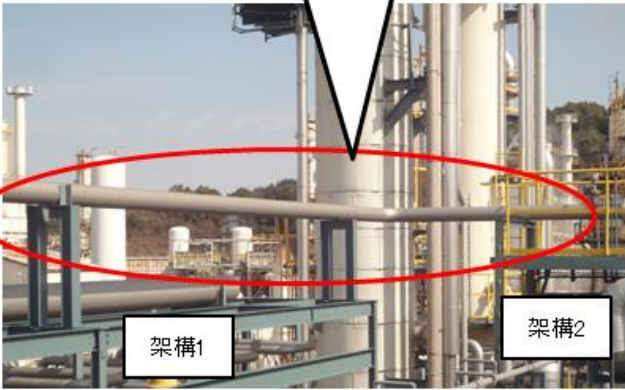



計算による変位吸収能力確認を行うほうが望ましい例

塔頂～架構配管
ほぼ直線で接続されているため
フレキシビリティが少ない。



異なる架構を渡る配管
アンカー固定箇所を確認しフレキシビリティの有無を判断する。



架構1

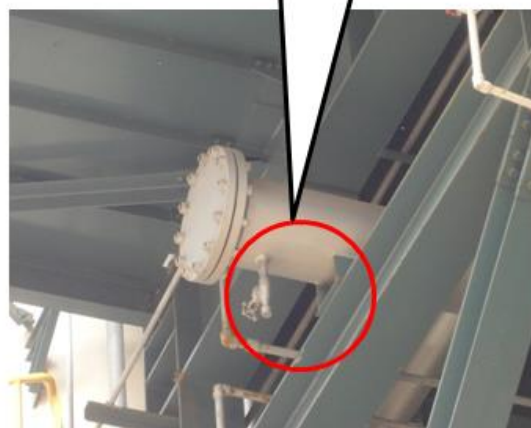
架構2

配管の目視耐震診断の着眼点 (2)

設備の種類	製造設備(オンサイト)
	パイプラック上・架構内配管
着目する地震力	◎ 慣性力
	相対変位
	地盤変状



配管本管の揺れにより、計器取出し部小径配管がステージと衝突しないか。



配管本管の揺れにより、小径ドレン弁がストラクチャー梁と衝突しないか。



高所の配管が揺れて転落しないような構造(ガイドサポート等の設置)になっているか。

配管の目視耐震診断の着眼点 (3)

設備の種類	製造設備(オンサイト)
	架構高層階の小径配管
着目する地震力	◎ 慣性力
	相対変位
	地盤変状

架構高層階(揺れが大きい)に設置された重量大・小径バルブ周り

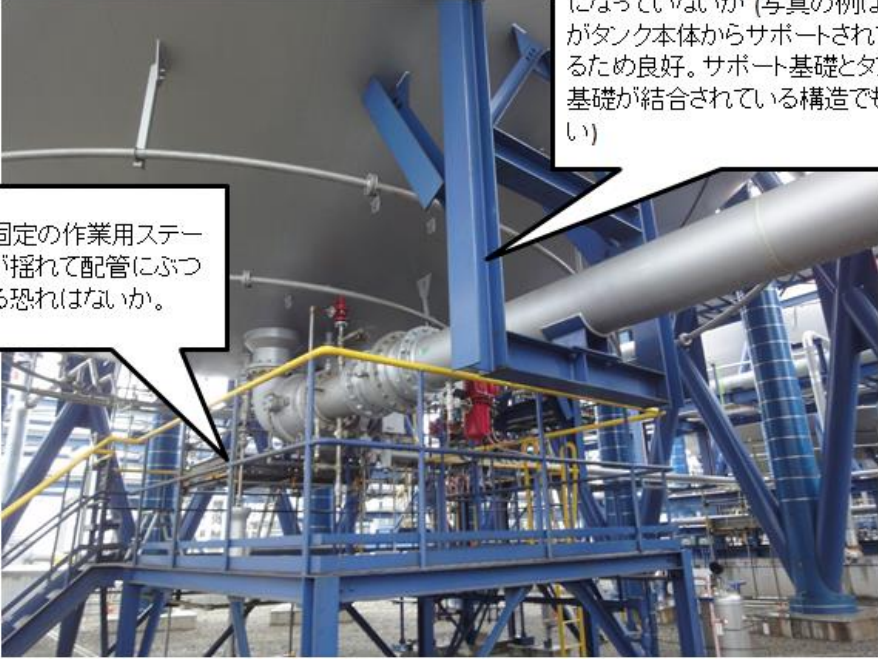


高所に設置された小径・重量大バルブに振れ止めが設置されているか。



高所に設置された小径・重量大バルブに振れ止めが設置されているか。

配管の目視耐震診断の着眼点 (4)	
設備の種類	貯蔵設備(オフサイト)
	球形貯槽周り配管
着目する地震力	慣性力
	相対変位
	◎ 地盤変状



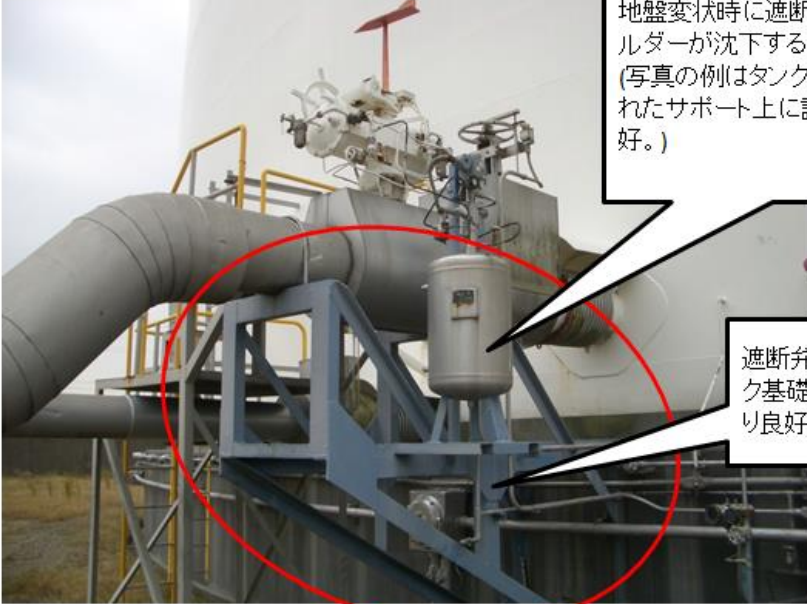
未固定の作業用ステージが揺れて配管にぶつかる恐れはないか。

地盤変状時に遮断弁が沈下してタンクノズルに力がかかるような構造になっていないか (写真の例は配管がタンク本体からサポートされているため良好。サポート基礎とタンク基礎が結合されている構造でもよい)



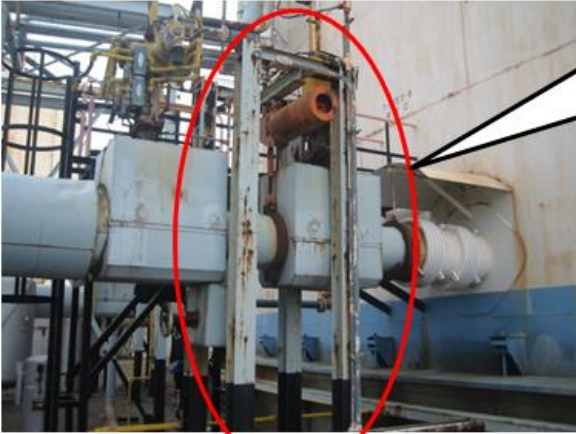
地盤変状時に遮断弁駆動用エアホルダーが沈下する恐れはないか。

配管の目視耐震診断の着眼点 (5)	
設備の種類	貯蔵設備(オフサイト)
	平底貯槽周り配管
着目する地震力	慣性力
	相対変位
	◎ 地盤変状



地盤変状時に遮断弁駆動用エアホルダーが沈下する恐れはないか
(写真の例はタンク基礎から支持されたサポート上に設置されており良好。)

遮断弁サポートがタンク基礎からとられており良好。



遮断弁を支持するサポートが直接基礎の場合、地盤変状時にサポートが沈下する恐れがある。

配管の目視耐震診断の着眼点 (6)	
設備の種類	入出荷設備(オフサイト)
	棧橋周り配管
着目する地震力	慣性力
	相対変位
	◎ 地盤変状

測方流動による配管の
せり出し



測方流動による配管のローディングアーム方向へのせり出しに対してフレキシビリティのある形状になっているか (写真例はラックから降りてくる縦方向配管の長さが十分あるためフレキシビリティのある形状)



フレキシビリティがない配管形状の場合、陸側からの配管の押し込まれによりフランジが開く恐れがある。

付録 8 点検シート

8.1 点検シート例 1

ライン番号:	図面番号:	実施日:	実施者:
--------	-------	------	------

点検区分		点検項目		点検結果(1)			注記
大区分	小区分	点検項目	説明	○	△	×	
配管	慣性力	サポートスパン	サポート不足で配管が高応力を生じたり大きく揺れたりすることはないか。				
			配管が梁、架台から落下することはないか。				
		分岐部	地震荷重が分岐部に集中して作用することはないか。				
		弁（偏心重量大）	駆動部が大きく揺れ、変形したり計装品を損傷させたりしないか。				
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。				
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。				
	相対変位	可撓性	配管系の可撓性は十分か。				
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。				
		小口径配管	母管の揺れ、滑動で小口径配管が相対変位を加えられたり衝突したりすることはないか。				
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。				
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。				
	地盤変状	可撓性	配管系の可撓性は十分か。				
		可撓管	可撓管の変位吸収能力は十分か。				
		枝管	母管の移動に伴って枝管が梁などに衝突することはないか。				
		フランジ継手	フランジ継手に過大な軸力、曲げモーメントが作用し、漏洩することはないか。				
		機器ノズル	機器ノズルに過大な配管反力が作用し、弊害を生じる恐れはないか。				
サポート		腐食	サポートが腐食し、減肉していないか。				
		施工	ボルトの緩み、腐食、欠損などはないか。				
		強度	地震荷重に耐えられるか。				
干渉		隣接構造物	大口径配管等の隣接構造物が揺れたり滑動したりし、衝突されることはないか。				
		支持構造物	支持構造物が倒壊、崩壊することはないか。				
			支持構造物のサポートが損傷し、揺れが増大して相対変位を加えられることはないか。				
		周辺構造物	周辺に倒壊の恐れのある脆弱な構造物はないか。				
		上方構造物	上方から物が落下してくる恐れはないか。				

(1); 該当箇所に✓を入れる。○:問題なし(要件を満足する) △:要検討 ×:要改善

その他 コメント

8.2-1 点検シート例2（オンサイト）

事業所名			Sheet No.		【特記事項】
地区名/装置名			点検日		
エリア			点検者		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	診断結果 (問題なし・要 詳細診断・要改 善)	特記事項	写 真 No.
慣性力	曲げモーメント等	小口径配管上バルブ類が揺さぶられ、配管を損傷させないか（適切にサポートされているか）	ダブルバルブのドレン・ベント ・計装取り出し部 等			
		配管の揺れが機器ノズルに対する過大な曲げモーメントを発生させないか	機器周り配管			
		その他の慣性力による影響				
	滑動、移動	配管の軸方向の移動により、エルボ・ティー等に過大な曲げ応力が作用しないか	直線部が長い配管			
		配管の軸方向の移動により、小口径枝管が梁・ステージ等に衝突して損傷しないか	ラック上操作ステージ付近 等			
		配管の軸直角方向の移動により、サポートから転落しないか	スタンション・カンチレバー端部で転落止めガイドが無い場合等			
		配管の軸直角方向の移動により、隣接配管に衝突・損傷させないか	オリフィスタップ 等			

		固定が不十分なステージ等が移動して配管を損傷させないか	機器操作ステージ付近 等			
		その他の慣性力による影響				
相対変位	曲げモーメント等	機器同士または機器・架構を連絡する高所わたり配管において、相対変位を吸収できるような形状となっているか	塔～塔連絡配管 塔～架構連絡配管			
		わたり配管上に相対変位による引張・曲げ等を受けるフランジはないか	同上			
		配管サポートは配管の変位に追従できるか	同上			
		配管サポートは配管の変位を過剰に拘束する構造になっていないか	同上			
		その他の相対変位による影響				
地盤変状	曲げモーメント等	機器・架構ラック等の沈下により、配管に過大な曲げモーメントが作用しないか	直接基礎の機器・配管サポート周り 等			
		機器・架構ラック等の沈下により、機器ノズルに過大な曲げモーメントが作用しないか	同上			
		配管サポートの沈下により機器ノズルに過大な曲げモーメントが作用しないか	同上			
	滑動、移動	母管が水平移動したときに小口径管が他構造物に衝突しないか。	護岸付近の配管			
		地盤変状に伴ってステージ等が配管にぶつかってこないか。	同上			
	その他の地盤変位による影響					

8.2-2 点検シート例 2 (オフサイト)

事業所名			Sheet No.		【特記事項】
地区名/装置名			点検日		
エリア			点検者		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	診断結果 (問題なし・要詳細診断・要改善)	特記事項	写真 No.
慣性力	曲げモーメント等	小口径配管上バルブ類が揺さぶられ、配管を損傷させないか（適切にサポートされているか）	ダブルバルブのドレン・ベント・計装取り出し部 等			
		配管の揺れが機器ノズルに対する過大な曲げモーメントを発生させないか	機器周り配管			
		その他の慣性力による影響				
	滑動、移動	配管の軸方向の移動により、エルボ・ティー等に過大な曲げ応力が作用しないか	直線部が長い配管			
		配管の軸方向の移動により、小口径枝管が梁・ステージ等に衝突して損傷しないか	ラック上操作ステージ付近 等			
		配管の軸直角方向の移動により、サポートから転落しないか	スタンション・カンチレバー端部で転落止めガイドが無い場合等			
		配管の軸直角方向の移動により、隣接配管に衝突・損傷させないか	オリフィスタップ 等			
		固定が不十分なステージ等が移動して配管を損傷させないか	機器操作ステージ付近 等			
		その他の慣性力による影響				

相 対 変 位	曲げモーメント等	機器同士または機器・架構を連絡する高所わたり配管において、 相対変位を吸収できるような形状となっているか	機器～ラック連絡配管 ラック～ラック連絡配管			
		わたり配管上に相対変位による引張・曲げ等を受けるフランジは ないか	同上			
		配管サポートは配管の変位に追従できるか	同上			
		配管サポートは配管の変位を過剰に拘束する構造になっていない か	同上			
		その他の相対変位による影響				
地 盤 変 状	曲げモーメント等	機器・架構ラック等の沈下により、配管に過大な曲げモーメント が作用しないか	直接基礎の機器・配管サポ ート周り 等			
		機器・架構ラック等の沈下により、機器ノズルに過大な曲げモー メントが作用しないか	同上			
		配管サポートの沈下により機器ノズルに過大な曲げモーメントが 作用しないか	同上			
		護岸のせり出しにより、栈橋末端のフランジ等に過大な力が作用 しないか	栈橋部			
	滑動、移動	母管が水平移動したときに小口径管が他構造物に衝突しないか	護岸付近の配管			
		地盤変状に伴ってステージ等が配管にぶつかってこないか	同上			
		遮断弁および駆動源のエアホルダーが沈下することにより、遮断 弁が機能喪失する恐れはないか	タンク周り			
	その他の地盤 変位による影 響					

8.3-1 点検シート例3（オンサイト）

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写 真 No.	備考
慣 性 力	曲げモーメント等	小口径配管上バルブ類が揺さぶられ、配管を損傷させないか (適切にサポートされているか)	高圧(600#以上)ダブルバルブのドレン・ベント	CV 周り、レシプロコンプレッサー周り		
			差圧計導圧管マニホールド	リアクタートップステージ		
		配管の揺れが機器ノズルに対する過大な曲げモーメントを発生させないか	高所に設置され、拘束箇所が少ない機器元配管	架構 3 階以上に設置されている機器周りの配管		
		その他の慣性力による影響				
	滑動、移動	配管の軸方向の移動により、エルボ・ティー等に過大な曲げ応力が作用しないか	直線部が長い配管			
		配管の軸方向の移動により、小口径枝管が梁・ステージ等に衝突して損傷しないか	ドレン、ベント、計器取出し部	バッテリーリミットステージ周り		
		配管の軸直角方向の移動により、サポートから転落しないか	スタンション・カンチレバー端部で転落止めガイドが無い場合等	エアフィンクーラー周り		
		配管の軸直角方向の移動により、隣接配管に衝突・損傷させないか	オリフィスタップ 等	メインラック内		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写 真 No.	備考
		固定が不十分なステージ等が移動して配管を損傷させないか	プラットフォーム上に固定されずに設置されている操作ステージ	機器 LG 周り		
		その他の慣性力による影響				
相 対 変 位	曲げモーメント等	機器同士または機器・架構を連絡する高所わたり配管において、相対変位を吸収できるような形状となっているか、引張・曲げ等を受けるフランジはないか	塔～塔連絡配管	蒸留塔とサイドカット塔の連絡配管		
			塔～架構連絡配管	塔オーバーヘッド配管		
			架構～架構連絡配管	架構のおおむね 3 階以上の高所		
		配管サポートは配管の変位に追従できるか	同上			
		配管サポートは配管の変位を過剰に拘束する構造になっていないか	同上			
		その他の相対変位による影響				
地 盤 変	曲げモーメント等	機器・架構ラック等の沈下により、配管に過大な曲げモーメントが作用しないか	直接基礎の機器・配管サポート周り 等	装置内の機器群や架構から離れた場所に設置されている小型機器、サブラック等		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写 真 No.	備考
状		機器・架構ラック等の沈下により、機器ノズルに過大な曲げモーメントが作用しないか	同上			
		配管サポートの沈下により機器ノズルに過大な曲げモーメントが作用しないか	同上			
	滑動、移動	母管が水平移動したときに小口径管が他構造物に衝突しないか。	護岸付近の配管	護岸から 100m 以内のオンサイト装置		
		地盤変状に伴ってステージ等が配管にぶつかってこないか。	同上			
	その他の地盤変位による影響					

8.3-2 点検シート例3（オフサイト）

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写真 No.	備考
慣性力	曲げモーメント等	小口径配管上バルブ類が揺さぶられ、配管を損傷させないか（適切にサポートされているか）	高圧ダブルバルブのドレン・ベント	（該当あれば）		
			差圧計導圧管マニホールド	（該当あれば）		
		配管の揺れが機器ノズルに対する過大な曲げモーメントを発生させないか	高所に設置され、拘束箇所が少ない機器元配管	球形、平底タンク元弁周り		
		その他の慣性力による影響				
	滑動、移動	配管の軸方向の移動により、エルボ・ティー等に過大な曲げ応力が作用しないか	直線部が長い配管	オフサイトラック上		
		配管の軸方向の移動により、小口径枝管が梁・ステージ等に衝突して損傷しないか	ドレン、ベント、計器取出し部	（該当あれば）		
		配管の軸直角方向の移動により、サポートから転落しないか	スタンション・カンチレバー端部で転落止めガイドが無い場合等	（該当あれば）		
		配管の軸直角方向の移動により、隣接配管に衝突・損傷させないか	オリフィスタップ 等	（該当あれば）		
		固定が不十分なステージ等が移動して配管を損傷させないか	プラットフォーム上に固定されずに設置され	（該当あれば）		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写真 No.	備考
			ている操作ステージ			
		その他の慣性力による影響				
相 対 変 位	曲げモーメント等	機器同士または機器・架構を連絡する高所わたり配管において、相対変位を吸収できるような形状となっているか、引張・曲げ等を受けるフランジはないか	塔～塔連絡配管	(該当あれば)		
			塔～架構連絡配管	(該当あれば)		
			架構～架構連絡配管	別構造体のラックの渡り部		
		配管サポートは配管の変位に追従できるか	同上			
		配管サポートは配管の変位を過剰に拘束する構造になっていないか	同上			
		その他の相対変位による影響				
地 盤 変 状	曲げモーメント等	機器・架構ラック等の沈下により、配管に過大な曲げモーメントが作用しないか	直接基礎の機器・配管サポート周り 等	ポンプステーション		
		機器・架構ラック等の沈下により、機器ノズルに過大な曲げモーメントが作用しないか	同上	球形、平底タンク元弁周り		

地震力の種類による分類		視 点	着眼場所の例	場所	写真 No.	備考
		護岸のせり出しにより、栈橋末端のフランジ等に過大な力が作用しないか	栈橋～護岸間の配管	同左		
	滑動、移動	母管が水平移動したときに小口径管が他構造物に衝突しないか	護岸付近の配管			
		地盤変状に伴ってステージ等が配管にぶつかってこないか	同上			
		遮断弁および駆動源のエアホルダーが沈下することにより、遮断弁が機能喪失する恐れはないか		球形、平底タンク元弁周り		
	その他の地盤変位による影響					

事業所・地区
設備名称

【写真記録】
既設高圧ガス配管 目視耐震点検記録

点検日
26DM4-08

Photo

余白

Photo

3/3

余白

Photo

余白

Photo

余白