

地震対策技術（下）

労働安全コンサルタント 鴨 省次郎

3. 地震対策技術

3-2 筆者が行ったプラント設備の耐震性診断と対策について

ここで事例として、筆者が行ったプラント設備の耐震性診断と対策について概要を述べる。是

非ともその概念を捉えてほしい。

表－2に20万バレル／日規模の石油精製設備内容と筆者らの耐震性簡易解析手法を示す。

3-2-1 筆者が行った耐震性診断システムの概要とキーポイント
目的

表 2 20万バレル／日規模の石油精製設備内容と耐震性簡易解析手法

対 象	数 量	着 目 点	筆者らの解析手法
地 盤 基 礎 護 岸	30～40万坪 機器等相当数 2.5～3.0km	液状化 盛土斜面円形滑り・杭強度 円形滑り	FL（PL）値の算出 動的安定解析・極限支持力解析等 動的安定解析（Bishop の方法・スウェーデン法等）
栈橋・配管橋	10～15	構造材強度・配管移動性・振動幅	修正震度法モード解析法による動的解析（多質点-バネ系二次元簡易モデル）
塔 槽	1,000～1,200基	シェル・スカート・アンカーボルト強度	修正震度法・モード解析法（SEISMIT - TW 等）
加 熱 炉	60～70基	支持枠・加熱管強度・振動幅	モード解析法（多質点-バネ系二次元・三次元簡易）
球型タンク	30～40基	支柱・ブレース・アンカーボルト強度	修正震度法・モード解析法（SEISMIT - SP 等）
煙突・フレアー スタック	2～3基	構造材・アンカーボルト強度	モード解析法（多質点-バネ系二次元簡易）
煙 道 架 構	3～5系統 40～50	本体強度 支持枠・アンカーボルト強度・振動幅	修正震度法 修正震度法 モード解析（多質点-バネ系二次元・三次元簡易）
配管ラック 配 管	7～10km 2～3万t	同 上 固有振動数・可撓性	同 上 固有値簡易解析法・応答変位法・可撓性解析
油タンク 原油 製品 潤滑	10～15基 250～300基 20～30基	シェル強度・底隅角部超低サイクル疲労・動的安定性 液面揺動等	シェル弾性解析，「API -Standard 650-Appendix E」修正法等底隅角部曲げ変形能計算・液面揺動解析（速度ポテンシャル理論等）
建 屋 ボ イ ラ ー	10～15棟 3～5基	構造材強度 高圧配管強度等	保有耐震指標計算（1次・2次診断法） 床応答スペクトル解析（多質点-バネ系二次元簡易）モード解析法（多質点-梁三次元簡易）
電 気 機 器	10～12千基	ブッシング強度等	モード解析方法（多質点-バネ系二次元簡易）
計 装 機 器 回 転 機 器 雑機器（集塵機ク ーリングタワー等） （設備	6～7万基 2.5～3.0千台 70～100基 30～40種）	誤動作等 アンカーボルト・各種キー強度等 アンカーボルト強度等	修正震度法 同 上

ここでは「企業リスク」の具体的内容を把握することを目的とする。従って、想定されるそのままの地震入力で検討対象の挙動を明確にし、耐震性レベルを正確にとらえるようにする。

表－3 にプラント設備の耐震性簡易診断システムの内容を示す。

地震入力の設定

〔短周期地震震動〕 筆者らが検討対象とした例は埋立地のため、地表面最大加速度算出式を単純に用いることは適当ではないと考えられた。そこで、想定地震の大きさと震央距離から、直下の地震基盤（ここでは洪積層の表面）加速度を求め、問題となる基盤から地上までの軟弱層（沖積層及び埋め立て層）の増幅特性については応答解析法を適用することとした。また、計算結果をチェックするため、過去の震度統計から50年程度の期間の最大震度期待値を求める方法を併用した。

〔長周期地震〕 長周期地震の入力設定に関してはまだ研究段階であり、耐震設計や診断に容易に使えるかたちにまとめることが今後の大きな課題である。ここでは高圧ガス取締法の模擬波3波共振法と、消防法の数値応答スペクトル法の考え方を採用した。参考として、検討直下地盤の長周期特性データを加味した。

振動特性の把握

〔表層地盤の軟弱性分布〕 既存のボーリングデータを手掛かりとして、耐震性を左右する軟弱な土質の分布を調べ、全体を図面化した。特に液状化の原因となるゆるい砂層の分布（広がり・深さ）の把握が重要である。地盤改良部分はその範囲を記入し、照合の便を図った。当初の埋立計画資料があると、解析結果の理解に便利である。

〔基礎及び上部構の設計思想分類表〕 特に基礎については必ずしも設計条件が標準化されていないことが多く、また設計の選択の幅も広く、設計基準の進歩改訂も著しいので、どのような設計基準に基づいて設計されたか十分整理し理解しておく必要がある。また上部構である機器等は、配置や安全率の余裕の取り方が、製作時期や、その時点の製作実績等で差があるため、これ等の特徴を

表 3 プラント設備の耐震性簡易診断システム

〔第1段階〕 地震入力の設定

- その地域で予想される最大（確率の高い中規模）地震
 - ・ 短・長周期地震

〔第2段階〕 輪郭形成

- 振動特性の把握
 - ・ 表層地盤の軟弱性分布図
 - ・ 地盤改良地図
 - ・ 護岸の構造区分図
 - ・ 基礎及び上部構の設計思想分類表
 - ・ 基礎及び上部構振動特性区分表
- 耐震性荒ランク区分と方向付け

〔第3段階〕 解析実行

- 特徴の定量化
 - ・ 簡易解析手法の適用
 - ・ 適法化の判定解析
 - ・ 連動作用判定解析
 - ・ 耐震性ランク区分
 - ・ 要精密診断対象選定

〔第4段階〕 精密点検

- 実データの採取
- 詳細検討解析

きちんとつかんでおくことが、この後の解析作業に非常に有益となる。この分類表は、こうした内容を整理分類したものである。

〔基礎及び上部構の振動特性区分表〕 まず各検討対象について振動特性を推定し、おおその耐震性レベルを把握する。次いで典型的な振動特性の相関図表等を利用して、例えば、耐震性が「並み以上のレベル」、「並み」、「並みを下回る」、「並みをかなり下回る」等の荒ランク区分を全対象について行い、表にまとめる。この表を利用して、次の段階の解析実行の方針を明確にする。

典型的な振動特性を確認するものとしては、a) 構造骨格の標準型との比較、b) 概略固有周期、c) 概略剛性分布、d) 荷重重心と剛性重心の偏り、e) アンカーポルト及び基礎杭負荷荷重、f) 地盤の液状化判定、などが挙げられる。

解析実行

ここで用いた耐震性簡易診断手法を、表－２の右の欄に示した。（この手法のかなりのものはパソコン用にプログラム化し、簡易な入力で診断が可能のように工夫した。）

前段階で行った荒ランク区分に基づき、各ランクグループの代表的な特徴を持つ個別機器に所定の簡易手法を適用して次の作業を行う。

）まずランク区分が適正であったかどうかを判断する。適正でない場合は、前段階に作業を戻し、振動特性値を把握する相関図表の見直しや、荒ランク区分の評価方法の修正など、再調整を行う。仕分けられた個別機器等がそのランク枠内にあることが確認されるまで、解析・調整を繰り返す。

）同時に、このランク枠の耐震性レベルを定量化する。

）特に耐震性レベルの低いものについては、当初の設計方法を洗い直し、問題点を整理する。更に、特定した破壊モードが許容レベルに収まる地震入力レベルも求めておき、次の精密点検作業の要否を判断するための有力データとする。

精密検査

耐震性レベルが「並みをかなり下回る」と診断され、しかも「企業リスク」の面で重要度が高いと判断される対象を選定して、精密点検を行う。ボーリング等による現地地盤調査、室内各種試験、建物、基礎のコンクリート劣化試験、および構造物要部の腐食検査等実データを採取して、詳細な解析を行う最終点検である。地盤や基礎に関連する問題や、主要構造物の配置といった基本的問題が発生することが多い。

この段階は、有効な対策を立てることを前提とした精密点検である。そのため対策計画およびその施工方法も含めて検討する必要がある。

判断基準

以上のような解析によって得られた構造物の応力等に対し、どういう基準で耐震性を判断するかをオーソライズすることは難しく、今後の課題と言えよう。しかし、ここで取り上げたように「企業リスク」を対象とした場合には、検討対象が壊

れるのか壊れないのか、もし壊れるとすれば、どのような壊れかたをしていくか最終的に問われることとなる。こうした過程を定量的に把握することは現状では技術的に困難である。そこでここでは、耐震設計で一般に採用されている許容応力レベルから、変形を許す“延性”（ダクティリティ）をベースとした、“許容レベル”にまでレベルを拡張し、この間を企業内基準として数段階に区分して、耐震性レベル差を明確にすることに主眼を置いた。また低サイクル疲労のデータも参考にした。

３－２－２ この耐震性診断の結果得られた一般の着目点

誌面も少ないので、主要なものを１，２示す。

）沖積層の締め具合及び厚みが短周期地震特性に大きな影響を及ぼす。また地盤の長周期地震特性はタンク等の液面揺動に共振する可能性があり（スロッシング）、検討が肝要である。

）部分液状化現象は、埋立地盤によく見られる。対策として、各種の工法、例えば地固め、置換、間隙水圧上昇防止、および地下水位低下等があるが、既存設備への全面的適用は経済的に困難である。設備の改善時を狙って有効に実施していくのも一方法であろう。

）一体または連続していない基礎は、弱点になる可能性があるため、よく検討が必要である。

）護岸は設置後の状況の変化、たとえば近接陸上部に重量物物が設置されたり、海底の掘削等により水深変化があった場合は検討を要する。

）構造物で、高さ方向の荷重分布と構造物の剛性分布にアンバランスが生じているものは注意を要する。

）油タンク等 H （高さ）/ D （直径）が 2.5 以下で高張力鋼を使用しているものは、安定性の検討が特に必要である。アニュラー板の比較的薄いものは、隅角部溶接線の形状に注意する。

）球型タンクは、支持柱・ブレースの健全体が特に重要である。附属配管の可撓性に注意をする。基礎に弱点があれば、免振防振装置の検討も有効である。

）建屋で、内部に設備を設置するために柱・壁の配置が阻害されバランスが著しく悪いものは、特に点検を要する。

）電気機器で、例えばトランス等ロッキング現象の恐れのあるものは、プッシングの切損に注意を要する。

4. 耐震対策技術へのアプローチ

耐震対策技術に馴染みのない分野では、耐震対策技術への取組みが、なかなかむづかしいと思われるので、アプローチのための一つの方法を提案したい。

その手順を次に示す。

まず、耐震性診断と対策等の事例から診断の手順、技術的方法及び着目点等をよく理解する。

典型的な構造物等の耐震性について着目点（弱点）等を日頃関係技術情報誌等から収集する。

対象とする工場等において、顕在化している耐震上の弱点をこれ等着目点と照合して引き出す。これ等弱点は、全体的に考察して更に潜在化している弱点がないか推測する。

これ等弱点の中で「並みをかなり下回る」と思われるものは簡易計算方法で検討して、破壊部位（モード）と耐震性レベルを確認する。この

簡易計算方法は、ここで掲げた手法や、建築基準法、道路橋基準、消防法及び高圧ガス取締法等の関係基準も活用する。

なお木造建屋の場合には次のようなチェックポイントが準備されている。

- ）S.56以前に建てられた家か
- ）2階建の住宅か、3階建も
- ）屋根は瓦か
- ）家の形に出突りや、引込みがあるか
- ）12畳以上の大きな部屋があるか
- ）窓の面積が大きく数が多いか
- ）壁が片方に集っていないか
- ）老朽化していないか
- ）基礎は鉄筋コンクリート以外のものか
- ）地盤は悪いか

このチェックポイントで多くチェックされた場合には、簡易判定法で精密点検の有無を確かめるようになっている。こうしたものも参考にする。

引用文献

- 1) 鴨；プラント設備の耐震性診断と対策，化学工学，50巻第11号（1986）
- 2) 「職場の地震対策ハンドブック」中災防編
- 3) 高圧ガス施設等の地震対策，千葉県（千葉県高圧ガス保安協会）

生涯研修制度の実施予定

生涯教育委員会では、10月14日に第9回委員会を開催し、実施要綱最終案と様式について検討した。この結果を、11月6日に開催される第12回支部長会議に報告し、各支部からの意見を求める。

また、機関誌 No. 69（平成16年1月20日発行）に掲載し、一般会員に周知する。

なお、様式の一部については、12月2日に第10回委員会を開催し、検討することになっている。

そして明年2月に開催される本年度第5回常任理事会において最終案を確定する。

さらに3月の理事会においてその承認を求め、平成16年度からの実施を正式に決定する。

この間に生涯教育委員会では、「生涯研修制度の手引き」を編集し、全会員に配布する。

平成16年度における生涯研修制度実施の時期については、4月1日からとなるか7月1日からとなるかは未定であるが、8月の安全・衛生研修会を視野に入れると、「開始時登録申請書」及び「生涯研修制度実施前CPD 時間認定申請書」の受付は、5月又は6月頃からとなる公算が高い。