

免震制振技術に関する調査 仕様書

1. 検討概要

当協会では現在に至るまで、経済産業省からの委託事業として高圧ガス設備の耐震問題に係わる下記の調査研究を実施してきている。

- ・令和元年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備耐震設計手法の標準化・高度化及び防災・減災対策）（以下、令和元年度調査研究という）

報告書：https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000250.pdf

- ・令和2年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）（以下、令和2年度調査研究という）

報告書：https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000351.pdf

- ・令和3年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）（以下、令和3年度調査研究という）

報告書：https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000131.pdf

- ・令和4年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）（以下、令和4年度調査研究という）

報告書：https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000187.pdf

- ・令和5年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（高圧ガス設備耐震設計手法のさらなる高度化に向けた調査研究）（以下、令和5年度調査研究という）

本検討は、現在当協会が進める令和6年度調査研究の一部の検討であり、令和元～5年度調査研究に続き、免震制振技術に関する調査を行うものである。

2. 調査内容

2.1 目的

防災・減災対策として、他分野では地震動を減衰、制御する免震・制震構造の導入が進んでいる。高圧ガス設備については、これまで導入実績はほとんどないため、他分野の動向を調査、事業者へのヒアリング等を実施し、高圧ガス設備への導入の可否や課題などをもとに検討しているところ。

令和5年度調査研究において、弾塑性脚部を有する3層8構面を想定した質点系振動解析モデル及び有限要素解析のための詳細解析モデルを用いて非線形時刻歴応答解析を実施し、高圧ガス設備に対する制振装置の適用方法とその有効性について評価し、建築・土木構造物とは異なる構造特性を有する高圧ガス設備に対する制振装置の適用方法の在り方についてまとめた。

令和6年度調査研究では、令和5年度調査研究の成果を踏まえて、対象構造物の種類を拡充することを検討する。ここでは、高圧ガス設備の中でも特徴的な構造を有する球形貯槽への制振装置の適用を計画する。検討結果をもとに制振・免震装置を高圧ガス設備に適用するための設計事例、留意事項、応答低減効果の評価手法及び規格基準類の整備についても整理する。

2.2 検討項目

解析作業において実施する検討項目を次に示す。

- (1) 解析対象となる球形貯槽および想定地震の設定
- (2) 固有値解析及び加速度応答スペクトルの作成
- (3) 採用する制振・免震装置の形式選定
- (4) 想定地震に対する地震応答解析による制振・免震装置の有用性評価

【STEP1】 制振・免震装置の設置有無での球形貯槽モデルを用いた時刻歴応答解析

【STEP2】 球形貯槽に適した制振・免震装置仕様の検討

【STEP3】 制振・免震装置の適正配置法の検討

2.3 検討内容

解析作業において実施する作業項目について実施内容を次に示す。

2.3.1 解析対象となる球形貯槽および想定地震の設定

- (1) 解析対象となる球形貯槽の設定

非線形時刻歴応答解析では、質点系解析モデルと有限要素解析モデルの2種類を検討する。代表的な仕様（別途指示する）を選定し、質点系解析モデルについては、球形貯槽部を剛体と仮定する。ただし、内容物量を3段階程度で検討し重心位置を変更するように検討する。球形貯槽の脚部については、実際の球形貯槽の振動性状を模擬できるよう必要であれば事業者、プラントエンジニアリング企業等へのヒアリングをもとにモデル化する。令和4年度調査研究に用いた2層1構面架構モデルをベースに多構面架構モデルを検討する。有限要素解析モデルについては、検討の第一段階として、実機の振動性状を模擬可能なモデル化を検討する。

- (2) 想定地震の設定

地震応答解析に採用する地震波は、表1に示すように耐震設計で従来から良く用いられる代表的な3種類の観測地震波及び「高圧ガス設備等に関する基準（レベル1・レベル2）」のスペクトル適合波（重要度Ia、特A地区、第3種地盤、減衰定数3%、位相特性（別途指示する））を入力地震動として用いる。

表1 代表的な観測地震波の最大加速度・最大速度・最大変位

		加速度	速度	変位
		Gal	kine	cm
		最大値	最大値	最大値
El Centro 1940 (1)発生日時:1940年5月18日20時37分 (2)マグニチュード:6.4 (3)位置:32.7N、115.5W(Imperial Valley地震) (4)地震計:USGSスタンダード型	NS	341.2	33.5	10.9
	EW	210.1	36.9	19.8
	UD	206.3	10.8	5.6

Hachinohe 1968 (1)発生日時:1968年5月16日9時47分55秒頃 (2) マグニチュード:7.8(深さ 20km) (3)位置:N40° 42'、E143° 42'(十勝沖地震) (4)地震計:SMAC-B2 型(運輸省港湾技術研究所所管、TH029)	NS	231.0	33.1	10.8
	EW	181.2	37.1	13.4
	UD	113.8	10.5	9.1
JMA Kobe 1995 (1)発生日時:1978年6月12日午後5時14分ごろ (2)マグニチュード:7.4(深さ 40km) (3)位置:N38° 09'、E142° 10'(宮城県沖地震) (4)地震計:SMAC-M 型(建設省建築研究所所管、TH030-1)	NS	817.9	90.6	19.7
	EW	617.2	75.2	18.1
	UD	332.3	40.1	12.1

2.3.2 固有値解析及び加速度応答スペクトルの作成

検討対象架構の想定地震動に対する動特性を確認するため次の作業を実施する。

- (1) 球形貯槽モデルについて、固有値解析を実施し固有周期と固有モードを確認する。
- (2) 想定地震動について、加速度応答スペクトルを作成する。なお、応答スペクトルについては、制振装置設置時を模擬する3種類程度の等価粘性減衰定数を考える。

2.3.3 採用する制振・免震装置の形式選定

現在、多種多様な制振・免震装置が選定可能であるが、質点系振動解析モデルを用いた予備的解析からあらかじめ検討し、球形貯槽に適した制振・免震装置の形式をいくつかの指標をもとに選定する。

2.3.4 想定地震に対する地震応答解析による制振装置の有用性および適正配置法

制振・免震装置の設置有無において、4種類の入力地震波を用いた時刻歴応答解析を実施する。具体的には、次の3つのSTEPにより時刻歴応答解析を実施し、制振・免震装置の有用性および適正配置法について検討する。

【STEP1】制振・免震装置の設置有無での球形貯槽モデルを用いた時刻歴応答解析

制振・免震装置がない場合の時刻歴応答解析及び制振・免震装置がある場合の時刻歴応答解析を実施し、各層の応答加速度および応答変位等について結果をまとめる。解析では、数種類の汎用解析ソフトを使用する。なお、ここでは、球形貯槽に制振・免震装置を設置する場合に考えられる球形部、柱頭部、柱脚部など様々な設置可能性について検討を加える。また、使用する制振・免震装置についても複数の形式を検討する。

【STEP2】対象構造物に適した制振・免震装置仕様の検討

制振・免震装置がない場合とある場合の時刻歴応答解析における最大応答加速度および最大応答変位を比較し、球形貯槽に適した制振・免震装置仕様について検討する。

【STEP3】制振・免震装置の適正配置法の検討

STEP2 で実施した球形貯槽に適した制振・免震装置仕様をベースに制振・免震装置の適正な配置法を検討する。ここでは、適正配置に関して、最大応答値、RMS 値、制振装置消費エネルギー等の観点から評価基準を定め検討する。

なお、本検討は、有識者による委員会を設置して検討を進めている。委員会及びワーキングの開催に合わせ、当協会の指示する検討書（成果）を適宜提出すること。また、委員会及びワーキングの指摘事項に適宜対応すること。

3. 成果物

検討書（電子媒体）	一式
報告書（電子媒体）	一式
解析データ・図表データ（電子媒体）	一式

4. 納入場所

高圧ガス保安協会 保安技術部門（東京都港区虎ノ門4-3-13）

5. 納期

令和7年2月28日