

数値解析シミュレーション 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）

- ・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）

本検討は、現在当協会が進める令和4年度調査研究の一部の検討であり、令和3年度調査研究に続き、液状化地盤中の杭基礎及び耐震設計設備の地震時挙動の評価に係わる検討等を行うものである。また、令和元年度調査研究を参考に、サイトスペシフィック地震動を適用した耐震設計に関する検討を行うものである。

なお、令和3年度調査研究の報告書は現状、公開されておらず、当協会より適宜貸与する。

2. 液状化地盤中の杭基礎及び耐震設計設備の地震時挙動の評価について

2.1 検討概要

令和3年度調査研究に続き、液状化地盤中の杭基礎及び耐震設計設備の簡易解析手法・モデルの構築に関する検討を行う。簡易解析モデルとして、梁ばねモデルの高圧ガス設備への適用性（限界や範囲）について、さらに検討を進める。

2.2 文献調査

関連する既往研究等について、適宜文献調査を実施し、検討の参考にする。

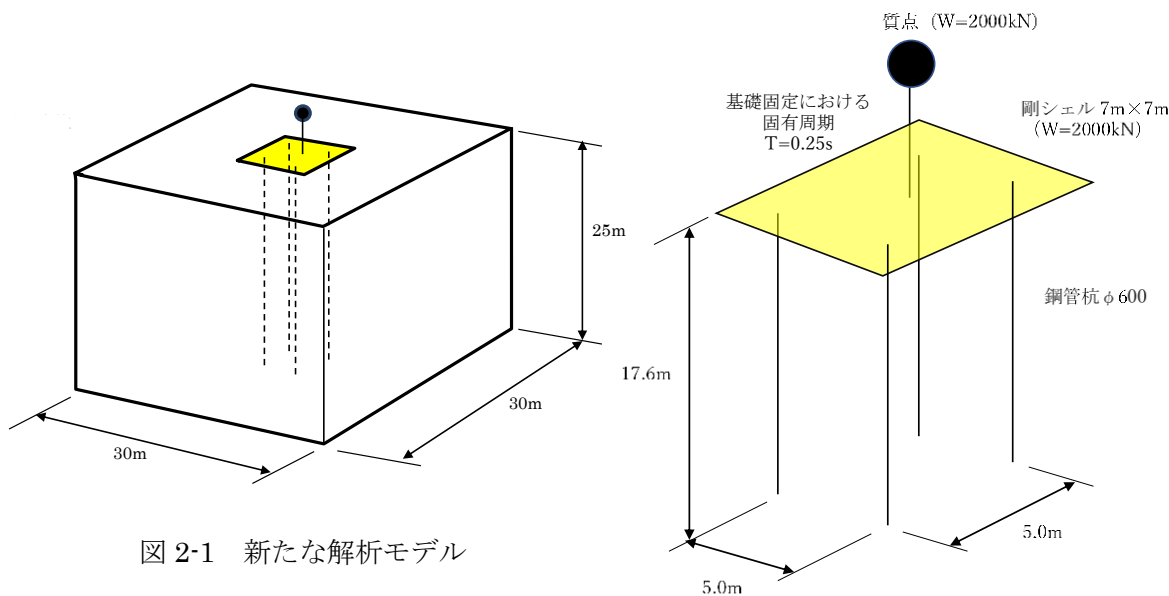
2.3 新たな解析モデルの設定による検討

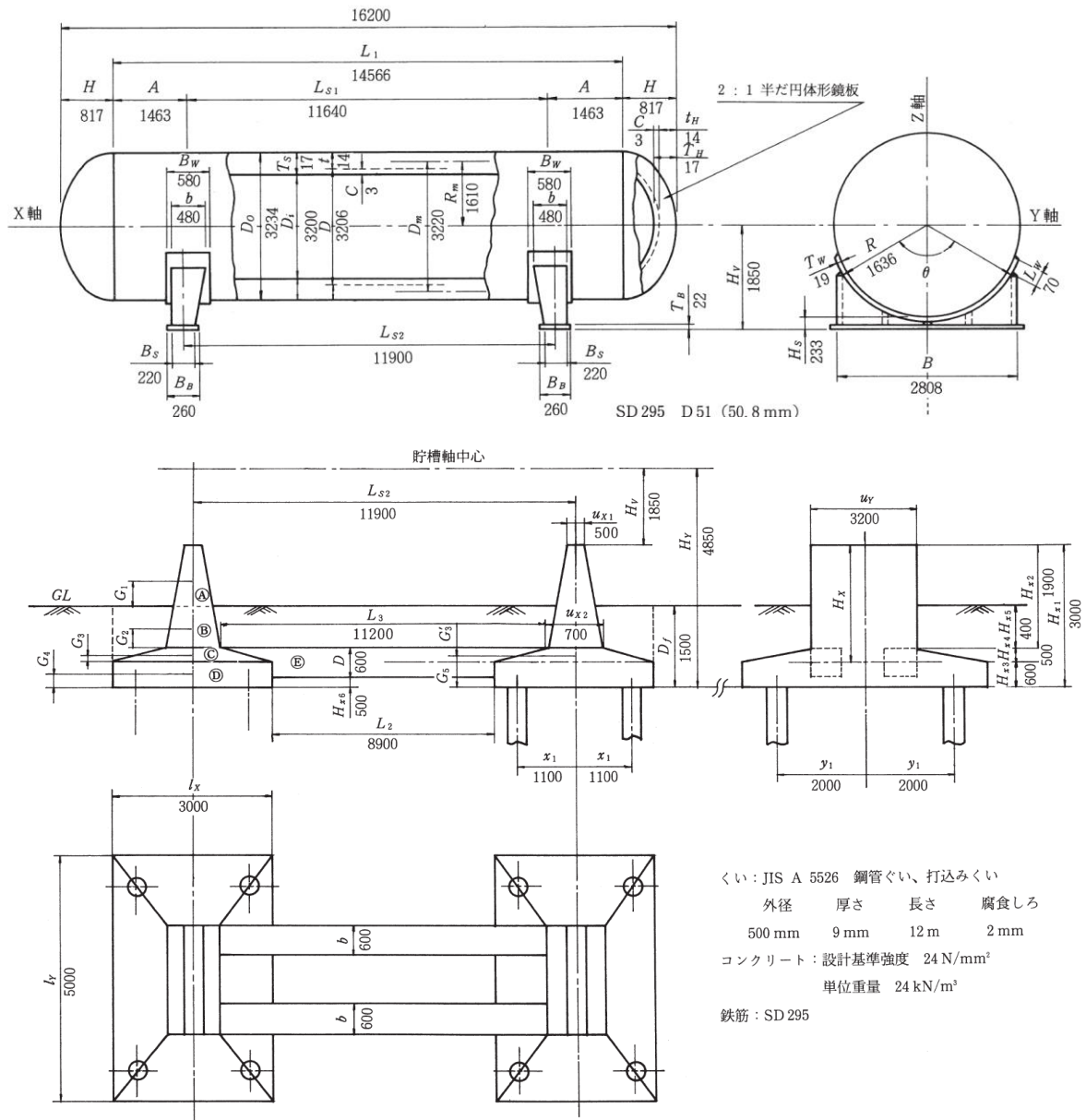
新たな解析モデルを設定し、地盤の液状化の有無を考慮して3次元FEM動的非線形解析、有効応力解析ならびに梁ばねモデルによる解析を実施し、梁ばねモデルの高圧ガス設備への適用性について検討する。

(1) 新たな解析モデル

図2-1に新たな解析モデルを示す。新たな解析モデルは、既往の横置円筒形貯槽の設計例（図2-2参照）を参考に設定したモデルであり、以下を考慮して設定したモデルである。

- ①横置円筒形貯槽を想定し、杭本数を減らした4本（2列×2例）の解析モデルとする。また、杭間隔を5mとして、杭間地盤と杭との相互作用（群杭効果）が現れにくいモデルとする。
- ②設備高の低い横置円筒形貯槽を想定することで、基礎への曲げ反力が小さい解析モデルとする。





貯蔵物	$W_1 = 1631.14 \times 10^3 \text{ N}$	重要度: I	$\beta_1 = 0.8$
本体重量	$W_2 = 225.43 \times 10^3 \text{ N}$	地域区分: 特 A	$\beta_2 = 1.0$
附属品	$W_3 = 11.77 \times 10^3 \text{ N}$	地盤種別: 第 4 種地盤	$\beta_3 = 2.0$
サドル	$W_4 = 14.17 \times 10^3 \text{ N}$		
ベデスタル地上部	$W_5 = 130.81 \times 10^3 \text{ N}$		
	$\Sigma 2013 \text{ kN}$		
		$T_X = 2\pi \sqrt{\frac{W_{OX}}{K_{Xg}}} = 2\pi \sqrt{\frac{2013.32 \times 10^3}{116730 \times 9800}} = 0.263 \text{ s}$	
		$T_Y = 2\pi \sqrt{\frac{W_{OY}}{K_{Yg}}} = 2\pi \sqrt{\frac{2307.3 \times 10^3}{135700 \times 9800}} = 0.262 \text{ s}$	

図 2-2 横置円筒形貯槽 (高压ガス保安協会: 高压ガス設備等耐震設計指針 (2012)、レベル1耐震性能評価 (耐震設計設備・基礎) 編、改訂新版)

(2) 検討ケース

表2-1に検討ケースを示す。検討ケース1～3より、地盤の液状化の有無、杭の線形・非線形の条件の違いによる梁ばねモデルの適用性について検討する。

地盤については、令和3年度調査研究と同様、緩い地盤（表2-2参照）とするが、地下水位は単純化して地表面とする（GL-1.5m→GL±0.0m）。また、入力地震動についても同様に、上町断層帯地震の地震動（図2-3参照）を適用する。鋼管杭はφ600を基本とするが、検討ケース毎の条件を満足するよう試解析を行い、材質や肉厚を適切に設定する。

表2-1 検討ケース

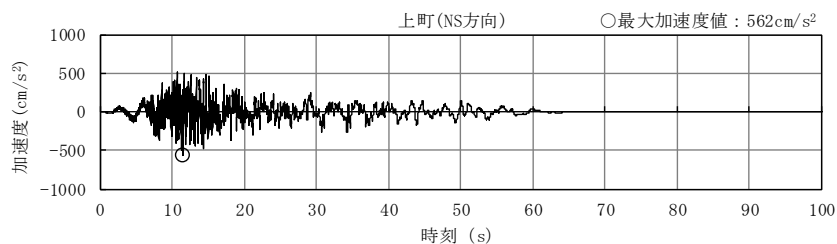
検討ケース	地盤の液状化	杭の線形・非線形
1	無	線形
2	無	非線形
3	有	非線形

表 2-1 緩い地盤

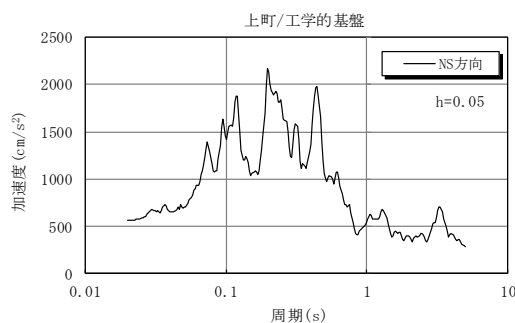
標高 ▽GL±0.0m	層厚 (m)	地層名	N 値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 C(kN/m ²)
上 -1.5	1.5	砂(1)	7	17.7	—
-10.0	8.5	砂(2)	7	19.6 (9.8)	—
-15.0	5.0	シルト	2	16.7 (6.9)	24.5
-25.0	10.0	砂礫（支持層）	45	20.6 (10.8)	—
工学的基盤			50	20.6 (10.8)	—

注 1) 地下水位は GL±0.0 m で、() 内は水中単位体積重量を示す。

注 2) 砂(1)、(2)層は液状化層とする。



(a) 加速度波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 2-3 入力地震動：上町断層帯地震の地震動

3. サイトスペシフィック地震動を適用した耐震設計に関する検討

3.1 検討概要

高圧ガス設備の耐震設計において、サイトスペシフィック地震動の適用拡大を図るため、高圧ガス設備が設置されることが多いコンビナート地区を対象に、サイトスペシフィック地震動の標準波について検討する。令和元年度調査研究において京浜地区、四日市地区、堺・高石地区の3つのコンビナート地区を対象とした地震動予測の例示を見直しし、3つのコンビナート地区のサイトスペシフィック地震動の標準波について検討する。

3.2 令和元年度調査研究の見直し内容・検討方針

令和元年度調査研究では、図 3-1 の設計用の地震動（レベル 2 地震動、サイトスペシフィック地震動）の設定フローに従い、堺・高石地区、四日市地区、京浜地区の 3 つのコンビナート地区において地震動予測の例示を行った。また、各コンビナート地区周辺の K-NET の地震観測記録を適用し、基本的に経験的グリーン関数法により地震動予測の例示を行った。

本検討においても図 3-1 の設定フローに従って、3 つのコンビナート地区のサイトスペシフィック地震動の標準波について検討するが、令和元年度調査研究の見直し内容や検討方針は、以下のとおりとする。

- ①対象地震は、令和元年度調査研究を参考に再選定する。
- ②各コンビナート地区敷地内の地盤増幅特性を検討し、代表地点を設定する（1 コンビナートで複数地点設定の場合あり）。また、周辺の地震観測記録（経験的グリーン関数）との比較・分析を行う。
- ③統計的グリーン関数法を基本として、代表地点のサイトスペシフィック地震動を算定する。統計的グリーン関数法により算定され、公開されている南海トラフ巨大地震（内閣府等）による地震動の分析も行う。
- ④他のコンビナート地区への適用を見据え、標準波の作成方針を整理する。
- ⑤標準波の活用方法について検討する。

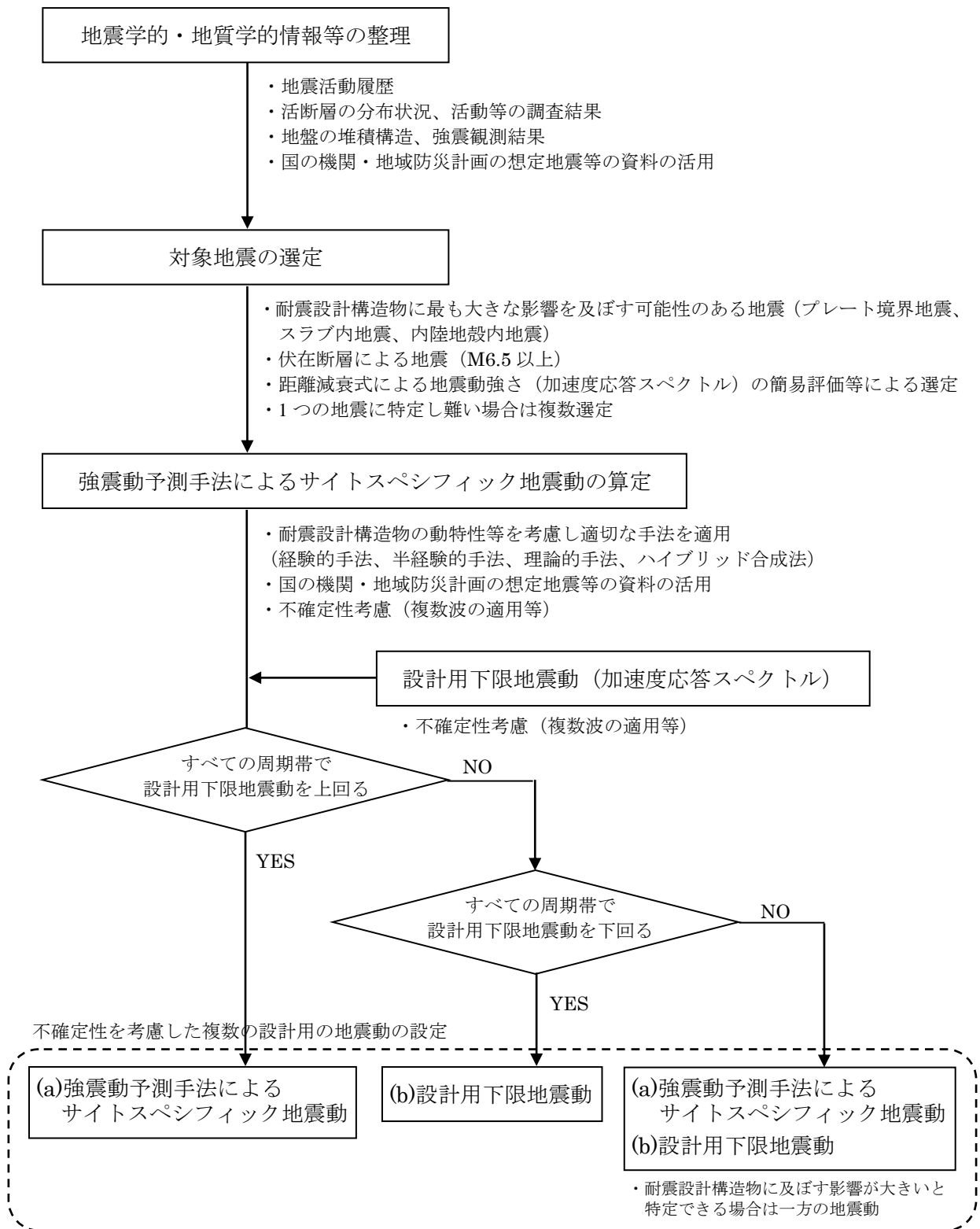


図 3-1 設計用の地震動（レベル 2 地震動、サイトスペシフィック地震動）の設定フロー

3. その他の検討

令和3年度調査研究で指摘された今後の課題のうち、液状化対策工法の高圧ガス設備への適用性について、より詳細な検討を行う。2011年東北地方太平洋沖地震以降、液状化対策工法として注目されている地下水位低下工法について事例収集等を行い、高圧ガス設備への適用性について検討を行う。地下水位低下工法は、川崎コンビナートで適用され、6つの市街地で戸建て住宅にも適用されており^{1),2)}、その手法は国土交通省からガイダンス³⁾として示されている。

参考文献

- 1) 安田進：東日本大震災における市街地の液状化被害と復興，地盤工学会誌，69，26-30，2021.
- 2) 安田進：総説 液状化対策技術の現状と課題と展望，基礎工，2-5，2021.
- 3) 国土交通省：市街地液状化対策推進ガイダンス，2019.
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html

4. その他

本検討では、有識者による委員会及びワーキング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。

5. 成果物

解析データ（電子媒体）	一式
検討書（電子媒体及び紙媒体）	各一式
報告書（電子媒体及び紙媒体）	各1部

6. 納期

令和5年2月28日