

化学プラントの地震リスク評価に関する研究 その2：化学プラントの地震リスク評価例

正会員 ○加瀬 隆^{*1}
正会員 大嶋昌巳^{*1}
正会員 福島誠一郎^{*2}
正会員 矢代晴実^{*3}

地震リスク評価 化学プラント 損傷レベル
地表面水平震度 塑性率

1. はじめに

前報(その1)で化学プラントの運転性能に着目し、地震に対する損傷レベルの設定、損傷モードの特定を行った。本研究(その2)では、化学プラント設備の例として「スカート有する自立式の塔類および基礎」を対象に、プラント設備に適用する実際の構造設計手法で解析を行った場合の地表面水平震度と損傷レベルの関係について評価を行った。

2. 評価法について

高圧ガス設備等耐震設計基準(以降、基準と略称する)が適用される化学プラント設備を対象に、水平方向および鉛直方向の設計地震動が作用した場合の設備全体の損傷レベルを推定するための準備段階として、設備各部の損傷レベルの評価を行う。

ここでは、その代表例として、高圧ガス設備等耐震設計指針^{1), 2)}(以降、指針と略称する)に示されている「スカート有する自立式の塔および基礎」(以降、塔および基礎と略称する)の設計例を対象として採用することとした。

評価の対象設備および評価方法については以下に概説する。

(1) 対象設備

対象設備の外形および寸法を図1に、設備の主な設計仕様を表1に示す。

(2) 評価方法

基準に準拠してレベル2耐震性能評価法を適用して評価を行う。応答解析方法は塔および基礎共にエネルギー法を用いる。ただし、塔については塑性率評価法を、また基礎については保有耐力評価法を適用している。

手順としては、地表面における水平震度を設定し、その震度で塔の応答解析を実施し、塔の各部位の応答塑性率を求めると共に基礎へのローディングデータ(L/D)を作成する。その後、そのL/Dおよび基礎自身にかかる地

震荷重を考慮して応答値を算出する。基礎に関しては、その応答値を許容値で除した値をここでは塑性率と称する。

塑性率の評価部位は、(その1)で示した塔と基礎の損傷モードを設定した部位とする。

(3) 許容塑性率とDs

指針のエネルギー法においては、損傷モードの復元力

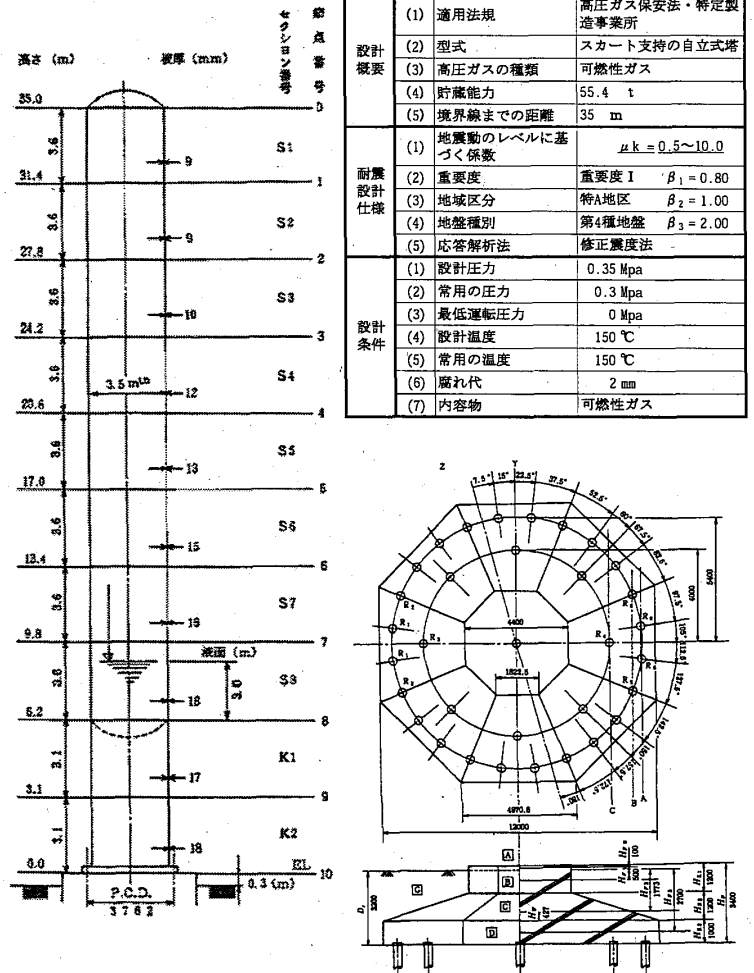


図1 スカート支持塔の外形および寸法

表1 設備の設計仕様概要

設計概要	(1) 適用法規	高圧ガス保安法・特定製造事業所
(2) 型式	スカート支持の自立式塔	
(3) 高圧ガスの種類	可燃性ガス	
(4) 貯蔵能力	55.4 t	
(5) 境界線までの距離	35 m	
耐震設計仕様	(1) 地震動のレベルに基づく係数	$\mu k = 0.5 \sim 10.0$
(2) 重要度	重要度 I	$\beta_1 = 0.80$
(3) 地域区分	特A地区	$\beta_2 = 1.00$
(4) 地盤種別	第4種地盤	$\beta_3 = 2.00$
(5) 応答解析法	修正震度法	
設計条件	(1) 設計圧力	0.35 Mpa
(2) 常用の圧力	0.3 Mpa	
(3) 最低運転圧力	0 Mpa	
(4) 設計温度	150 °C	
(5) 常用の温度	150 °C	
(6) 腐れ代	2 mm	
(7) 内容物	可燃性ガス	

特性および等価繰返し回数を考慮した以下のような応答塑性率 μ_p を定義している。また、この値は塑性変形量から降伏変位量を引いた値となっている。

$$\mu_p = 1/(4C) \times \{(K_{MH} / K_Y)^2 - 1\} \quad (1)$$

ここで、 K_{MH} は塔の設計修正水平震度、 K_Y は損傷モードに係る部材の降伏開始時の水平震度である。また C は損傷モードに応じて定まる値で弾塑性タイプの場合は $C=2n$ 、スリップタイプの場合は $C=n$ である。なお、 n は等価繰返し回数である。

構造特性係数 D_s と上記塑性率の許容値である許容塑性率 μ_{pa} の換算式は以下の通りである。

$$\mu_{pa} = 1/(4C) \times \{(1/D_s^2) - 1\} \quad (2)$$

(4) 地表面での震度

基準では、地表面での水平震度 K_H は以下のように設定される。鉛直震度は水平震度の 1/2 とする。

$$K_H = 0.15 \mu_k \beta_1 \beta_2 \beta_3 \quad (3)$$

ここで、 β_1 は重要度係数、 β_2 は地域係数、 β_3 は表層地盤増幅係数である。 μ_k は地震動レベルに基づく係数で、レベル 1 では 1.0、レベル 2 では 2.0 以上としている。

本研究では、 μ_k が 0.5 から 10.0 までの範囲の応答を算出し、各部位の降伏時および許容値時の地表面における水平震度を求める。

3. 解析結果

表 2 に各損傷モードの降伏および許容塑性率に対応した地表面の水平震度を示す。また図 2 には横軸には地表面の水平震度、縦軸には応答塑性率をとり、損傷モード毎に水平震度と応答塑性率の関係を求めた。さらに、図 3 では、縦軸を応答塑性率/許容塑性率の比とし、損傷モード毎に、降伏時を 0.0、許容塑性率に達した場合を 1.0 として基準化した。

4. まとめ

本研究で評価した塔と基礎では、兵庫県南部地震で記録された 0.8g という地表面での水平震度が作用しても、レベル 4 まで到達するのはある限られた損傷モードであること推定できた。また、この評価法により設備の損傷モードと地表面水平震度の関係を評価できる事があきらかになった。

今後は、本評価結果および(その1)に基づき、地震に対するプラント設備としての破壊/損傷の確率を算定する方法を確立する。

参考文献

- 1) 高圧ガス保安協会：KHK E 012-3-2000 高圧ガス設備等耐震設計基指針 レベル 2 耐震性能評価 解説編、2000

- 2) 高圧ガス保安協会：KHK E 012-4-2000 高圧ガス設備等耐震設計基指針 レベル 2 耐震性能評価 評価編、2000

表2 各損傷モードの限界値となる地表面での水平震度

損傷モード	計算値		μ_k の値		地表面での水平震度	
	降伏時 $\mu_p=0$	許容値時 $\mu_p=\mu_{pa}$	降伏時 $\mu_p=0$	許容値時 $\mu_p=\mu_{pa}$	降伏時 $\mu_p=0$	許容値時 $\mu_p=\mu_{pa}$
塔の損傷モード	胴の引張降伏に係る降伏	2.38	7.12	0.57	1.71	
	胴の圧縮座屈に係る降伏	1.85	2.6	0.44	0.62	
	スカート圧縮座屈に係る降伏	1.76	3.43	0.42	0.82	
	基礎ボルトの引張降伏に係る降伏	2.15	9.26	0.52	2.22	
	ベースプレートの曲げ降伏に係る降伏	1.68	3.27	0.40	0.78	
基礎の損傷モード	杭の押し込み反力	2.23	5.56	0.54	1.33	
	杭の引抜き反力	1.83	2.56	0.44	0.61	
	杭体の圧縮縁応力度	5.49	10以上	1.32	2.40以上	
	杭体の引張縁応力度	3.18	3.93	0.76	0.94	
	フーチング	C断面	1.33	3.88	0.32	0.93
		B断面	3.40	7.97	0.82	1.91
		A断面	6.37	10以上	1.53	2.40以上
		柱面	2.34	4.11	0.56	0.99
	フーチング上端筋の必要鉄筋量	1.23	1.96	0.30	0.47	
	基礎ボルトの引抜き力	1.21	2.23	0.29	0.54	

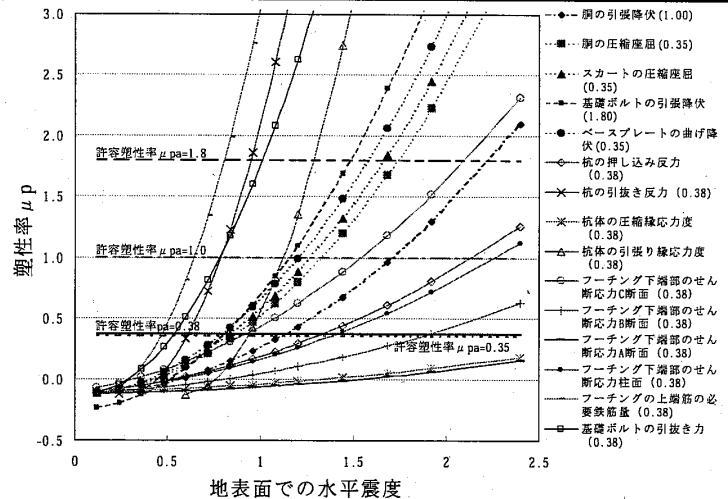


図2 地表面での水平震度と塑性率の関係

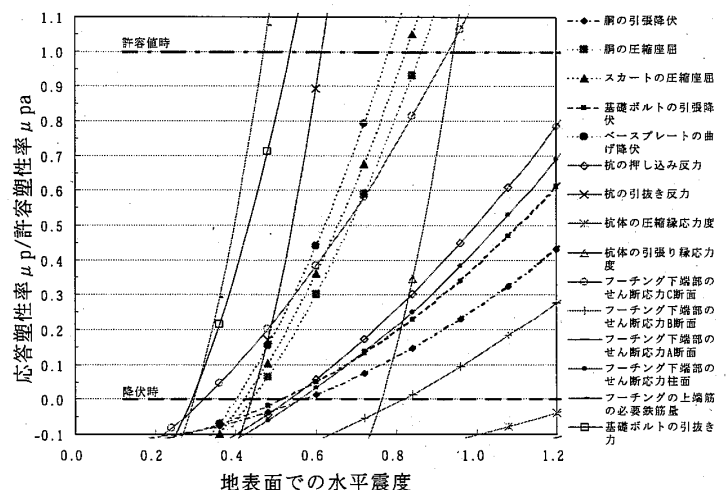


図3 地表面での水平震度と塑性率比の関係

¹ 千代田アドバンスド・ソリューションズ(株) 工修
² 東電設計(株) 博士 (工学)
³ 東京海上リスクコンサルティング(株) 博士 (工学)

¹ Chiyoda Advanced Solutions Corporation Co., Ltd. M. Eng.
² Tokyo Electric Power Service Co., Ltd. Dr. Eng.
³ The Tokio Marine Risk Consulting Co., Ltd. Dr. Eng.