

化学プラントの地震リスク評価に関する研究

その1: 地震リスク評価の考え方

正会員 ○大嶋昌巳*1
 正会員 加瀬 隆*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
 損傷モード フォールトツリー

1. はじめに

化学プラントの耐震性は、高圧ガス設備等耐震設計基準（通産省改正告示 143 号）の設計方法に準拠すると「供用期間中に発生する確率の高い地震動」では、有害な変形等が残留せず、かつ当該耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持される性能（当該耐震設計構造物の各部に生じる応力が許容応力以下であることを確認する）を持ち、「供用期間中に発生する確率が低い直下型、海溝型の巨大地震による高いレベルの地震動」では、巨大地震動及び地盤の液状化に伴う地盤変状に対して重要度の高い耐震設計構造物内の高圧ガスの気密性が保持される性能（当該耐震設計構造物に生じる塑性変形量が許容塑性変形量以下であることを確認する）持つとされている。しかし経営の観点からプラントの地震リスクを考え

た場合、修復性や機能の早期回復といったプラントの生産性能を明確にしたリスク評価が重要になってきている。

本研究では、性能に着目して化学プラントの地震リスク評価を行うことを目的とする。研究の前段（その1）では、地震リスク評価の考え方としてプラント設備の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。

2. 化学プラント設備の損傷レベル

スカートに支持された塔類を対象として、地震リスクの評価に必要な損傷レベルの定義を表1に示すように設定した。ここで、地震発生時の損傷レベルは変形、運転状況、損傷程度、および補修の要否等の観点から4段階に分けて定義を行った。

次にこれらの定義に対応する各損傷レベルでの許容変形レベルを設定した。具体的にはパイプライン設備の損

表1 スカート支持塔類の損傷レベルの定義

項目		損傷度	損傷レベル				
			レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	
損傷レベルの定義	損傷度の設定項目	変形程度	降伏変形量程度。	降伏変形量を少し超える。	降伏変形量の2倍弱。	許容塑性変形限界。(崩壊等を防ぐ限界)	
		運転状況	継続運転	シャットダウンする。短期運転停止 部分補修で再運転可能。	シャットダウンする。長期運転停止 補修が済むまで再運転できない。	シャットダウンする。再運転不能	
		損傷程度 (事例等)	運転停止しない損傷 (ベースプレートのわずかな曲がり等)	軽微な補修により機能回復する程度の損傷 (全面補修は定期検査まで延期可能な程度)	補修しなければ運転再開不能な程度の損傷 (支持部にクラック発生、スカート変形等)	修復には再調達価格以上かかる。(塔本体の座屈による曲がり)	
		補修の要否・期間の可能性 (技術的可能性) [経済的可能性]	補修なしで使用可。(応急対応不要) [保守費用不要]	補修要。(早急に補修は不要) [費用要小]	3ヶ月程度の補修要。(早急に補修要) [費用要大]	補修では対応困難。(補修不能) [再調達価格要]	
海外の許容塑性率の事例	"Guidelines for the Seismic Design of oil and Gas Pipeline Systems", prepared by the Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines of the ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, 1984	許容塑性率	1.0~1.3	1.3~2.0	2.0~3.0	3.0以上	
告示143号の許容塑性率注)	塔の損傷モード	損傷レベルの定義	To remain nearly elastic.	To have to remain operative after earthquake.	To deform inelastically to a moderate extent without unacceptable loss of function.	Building or equipment that can be permitted deform large amount, or any items for which ordinary seismic design codes such as UBC are applicable and appropriate. Depending upon material, type of construction, design of details, and control of quality.	
			To remain functional.	Structures that can deform slightly in the inelastiv range.			
			To avoid damage that would cause a lengthy shutdown of facility.	Facilities that are vital but whose service can be interrupted until minor repairs are made.			
			胴の引張降伏に係る降伏(C=2)	0.06 (1.2)	0.20 (1.6)	0.66 (2.5)	1.00 (3.0)
			胴の圧縮座屈に係る降伏(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.35 (1.9)
	基礎の損傷モード		スカートの圧縮座屈に係る降伏(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.35 (1.9)
			基礎ボルトの引張降伏に係る降伏(C=1)	0.11 (1.2)	0.39 (1.6)	0.75 (2.0)	1.80 (2.9)
			ベースプレートの曲げ降伏に係る降伏(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.35 (1.9)
			杭の押し込み反力(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)
			杭の引抜き反力(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)
		杭体の圧縮線応力度(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)	
		杭体の引張線応力度(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)	
		フーチング下端部のせん断応力(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)	
		フーチング上端筋の必要鉄筋量(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)	
		基礎ボルトの引抜き力(C=2)	0.03 (1.1)	0.09 (1.3)	0.20 (1.6)	0.38 (2.0)	

注) ()内の一般的な許容塑性率は、最大応答変位 δ_{max} /降伏変位 δ_y で表されるが、告示では塑性率を $\delta_{max}/\delta_y - 1$ と定義し、地震時の吸収エネルギーと等価な最大応答変位の振幅で1サイクルループした場合のエネルギー吸収を考慮した許容塑性率を採用している。弾塑性タイプの場合はC=2、スリップタイプの場合は、C=1としている。

Study on the seismic risk assessment for chemical plant facilities
 Part 1: Outline of performance-based damage estimation

Masami OSHIMA*1, Takashi KASE*1
 Sei'ichiro FUKUSHIMA*2, Harumi YASHIRO*3

傷レベルの許容塑性率を設定している米国のガイドライン¹⁾を参照し、高圧ガス設備等耐震設計指針²⁾で適用されている各部位の許容塑性率に基づき、スカート支持塔類の各損傷モード、各損傷レベルに許容塑性率を定めた。

3. 化学プラント設備のフォールトツリー (FT)

ここではスカート支持塔類および横置き円筒形貯槽の2設備を代表例として、地震動が原因で生じるプラント設備の破壊についてのFTを作成した。それぞれのFTを図1および2で示す。

プラント設備の平底円筒形貯槽を除く塔槽類では、地震時の内容液の漏洩事故は、本体の亀裂等が原因ではなく塔槽類の相対変位が原因となり、弱点となるフランジ等からの漏洩するケースが多いため、本FTでは、相対変位の原因となる胴の転倒を設備の破壊モードとした。

4. まとめ

化学プラントの地震リスクの性能面からの評価を行い、プラント設備の地震に対する損傷レベルの設定、損傷レベルに対応する損傷モードの特定を行った。本研究の結果を基に(その2)では化学プラント設備の各損傷レベルについての解析を行う。

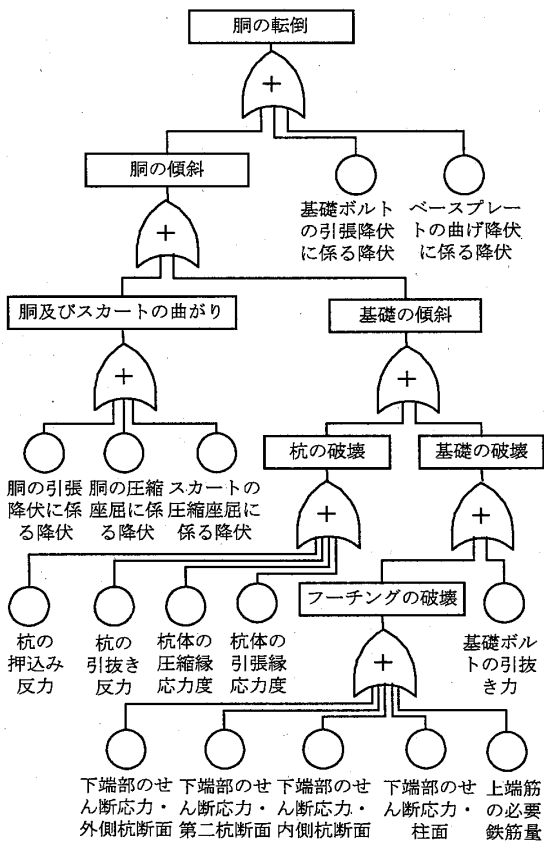


図1 スカート支持塔のフォールト・ツリー

参考文献

- 1) ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering: Guidelines for the Seismic Design of oil and Gas Pipeline Systems, 1984
- 2) 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, 2000

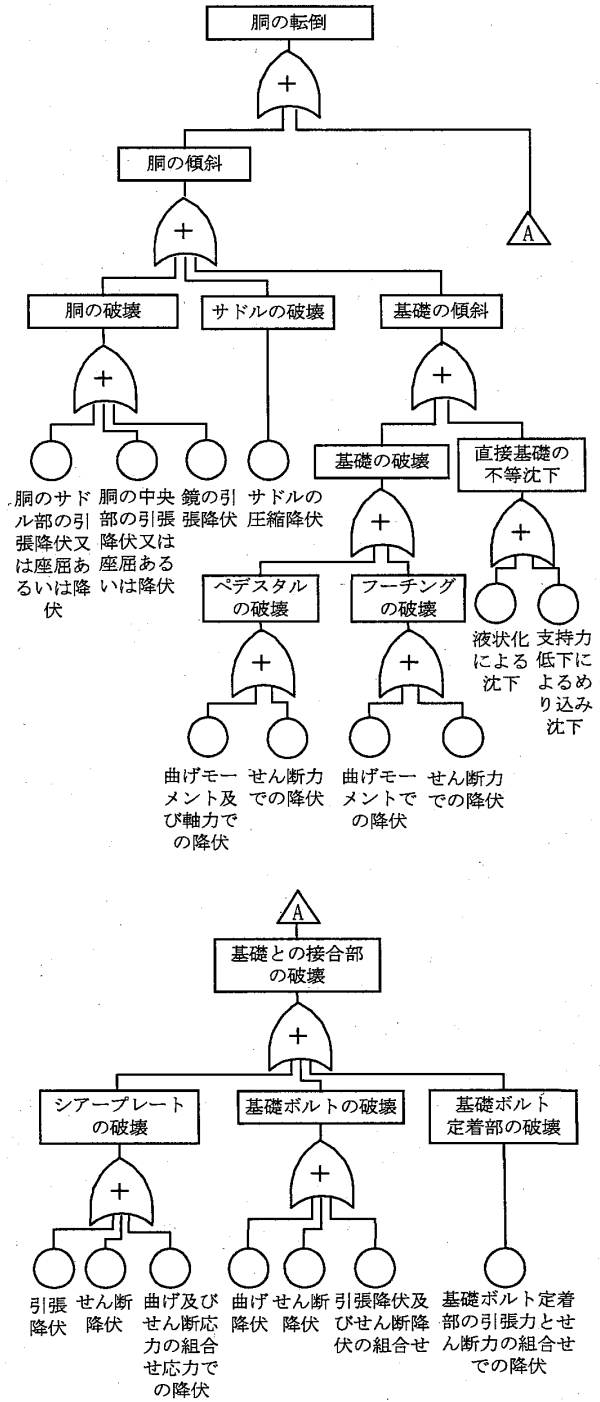


図2 横置き貯槽のフォールト・ツリー

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.