

タンクの地震リスクマネジメントに関する基礎的研究

その4 モンテカルロシミュレーションによる損傷度評価

正会員 ○加瀬 隆*¹ 同 大嶋昌巳*¹
同 藤田謙一*¹ 同 矢代晴実*²
同 佐藤一郎*² 同 福島誠一郎*³

地震リスク評価 平底円筒形貯槽 内容液高
損傷度曲線 モンテカルロシミュレーション

1. はじめに

本研究では、前報(その3)¹⁾に引き続き、109,000kl級および43,000kl級タンクの損傷モードに関して、内容物の液高によるタンクの損傷度曲線をモンテカルロシミュレーションにより求め、地表面震度の中央値と対数標準偏差を検討する。

2. モンテカルロシミュレーション

(その3)で設定した109,000kl級および43,000kl級の両タンクに関する損傷モードの発生をモンテカルロシミュレーション²⁾により評価する。タンクの損傷モードの発生は以下の性能関数 Z で定義する。

- ・側板最下段の象の脚座屈

$$Z_{EFB} = K_{h_{EFB}} - K_{h1} \quad (1)$$

- ・側板最下段のダイヤモンド座屈

$$Z_{DB} = K_{h_{DB}} - K_{h1} \quad (2)$$

- ・側板最下段の降伏

$$Z_{YLD} = K_{h_{YLD}} - K_{h1} \quad (3)$$

- ・アニュラ板の保有水平耐力超過

$$Z_Q = Q_y - Q_{dw} \quad (4)$$

式(1)~式(4)の記号は、(その3)を参照されたい。式(1)~式(4)は、 $Z \leq 0$ のとき損傷モードが発生、 $Z > 0$ のとき損傷モードが発生しないとする。モンテカルロシミュレーションにおける試行回数は20,000回とした。

損傷度曲線の作成においては、表1に示すパラメータを確率変数とした。確率変数は、対数正規分布に従い、互いに独立とする。なお、表中の数値は実平均と標準偏差で表している。鋼材の降伏点および引張強度の平均値と標準偏差については統計資料³⁾を用いた。なお、内径および液高の標準偏差は、液面変動や内径に関するデータが確認できないため仮定した値とした。また、地震による損傷度評価においては、設計応答倍率を確率変数として用いるが、本研究では、タンク内容液の

液高に着目しているため、消防法の設計応答倍率 v_3 の値をそのまま使用した。

3. 損傷度曲線

短周期地震動に対する損傷確率は、(その3)で示した式(5)の設計水平震度 K_{h1} および式(7)のアニュラ板の必要保有水平耐力 Q_{dw} における基盤水平震度0.15を変数に置き換え、これを0.01から3.0まで0.01刻みで変化させて求めた。

モンテカルロシミュレーションにより求めた両タンクの損傷度曲線をそれぞれ図1に示す。なお、図中の実線は109,000kl級タンク、破線は43,000kl級タンクの損傷度曲線を示す。

両タンクの損傷発生の確率分布は、液高が低くなると地表面震度の高レベル側に移動する。損傷の発生順序は両タンクとも(その3)で示した結果と同じである。両タンクとも側板のダイヤモンド座屈とアニュラ板の保有耐力超過に関しては、液高が低いときには、高レベルの地震動が発生しないと損傷が発生しない。また、満液のときには損傷度曲線の勾配は急であるが、液高が低くなると勾配は緩くなる。

両タンクの損傷度曲線から求めた、地表面震度の中央値と対数標準偏差を表2に示す。

両タンクの地表面震度の中央値に関しては、象の脚座屈の損傷モードでは液高比にかかわらず両タンクの中央値は近い数値を示している。それ以外の損傷モードに関しては、側板最下段のダイヤモンド座屈とアニュラ板の保有水平耐力超過でその差が大きい。

対数標準偏差に関しては、両タンクとも、側板最下段の象の脚座屈、および側板最下段の降伏に関する損傷モードでは、液高が低くなると対数標準偏差も低くなるが、

表1 確率変数の平均値と標準偏差

項目	単位	平均値	標準偏差	適用	
内径	mm	78200.0	400	109,000kl級タンク	
		49400.0	400	43,000kl級タンク	
液高	mm	内容液高	400	両タンク	
鋼材の降伏点	タンク側壁	N/mm ²	366.96	33.93	両タンク
	アニュラ板	N/mm ²	336.96	33.93	両タンク
鋼材の引張強度	アニュラ板	N/mm ²	531.13	23.14	両タンク

Fundamental Study on Seismic Risk Management for
Cylindrical Storage Tanks

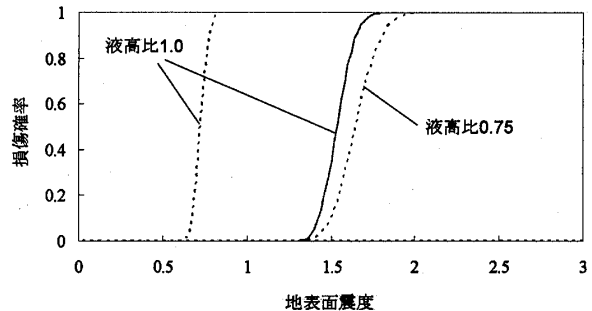
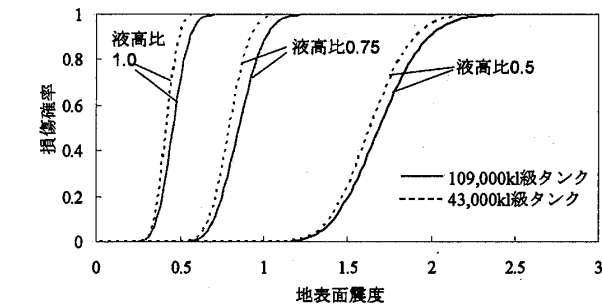
Part 4 Evaluation of fragility of tanks by Monte Carlo
simulation

Takashi KASE*¹, Masami OSHIMA*¹, Ken-ichi FUJITA*¹
Harumi YASHIRO*², Ichiro SATO*², Sei'ichiro FUKUSHIMA*³

表2 両タンクの地表面震度の中央値と対数標準偏差

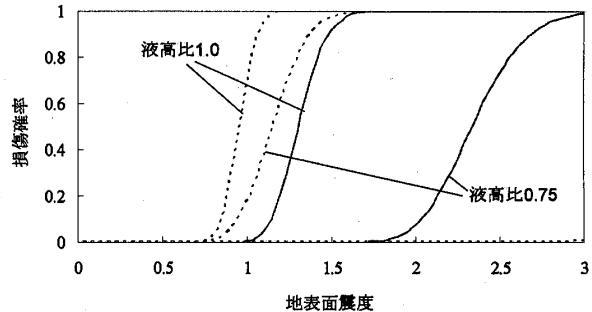
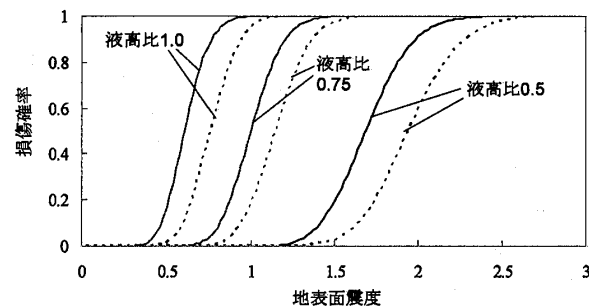
(a) 109,000kl 級タンク				
液高比	象の脚座屈		側板降伏	
	中央値	対数標準偏差	中央値	対数標準偏差
0.5	1.69	0.13	1.80	0.13
0.75	0.85	0.14	1.01	0.15
1.0	0.46	0.17	0.61	0.19
液高比	ダイヤモンド座屈		アニュラ板保有耐力超過	
	中央値	対数標準偏差	中央値	対数標準偏差
0.5	15.35	0.14	5.66	0.12
0.75	3.77	0.08	2.35	0.11
1.0	1.54	0.06	1.32	0.10

(b) 43,000kl 級タンク				
液高比	象の脚座屈		側板降伏	
	中央値	対数標準偏差	中央値	対数標準偏差
0.5	1.64	0.12	1.95	0.13
0.75	0.80	0.12	1.16	0.14
1.0	0.42	0.14	0.77	0.17
液高比	ダイヤモンド座屈		アニュラ板保有耐力超過	
	中央値	対数標準偏差	中央値	対数標準偏差
0.5	5.67	0.12	3.98	0.11
0.75	1.66	0.07	1.72	0.10
1.0	0.74	0.05	0.97	0.09



(a) 側板最下段の象の脚座屈

(c) 側板最下段のダイヤモンド座屈



(b) 側板最下段の降伏

(d) アニュラ板の保有水平耐力超過

図1 両タンクの損傷度曲線

それ以外の損傷モードではその逆に高くなっている。しかし、液高比ごとに両タンクの損傷モードの対数標準偏差を比べると、地表面震度の中央値が異なる値となるにもかかわらず、両タンクともほぼ一致した値を示している。アニュラ板の保有水平耐力超過に関しては、液高比1.0~0.5の範囲では、対数標準偏差はほぼ一致した値を示している。

4. まとめ

109,000kl 級および 43,000kl 級タンクを対象に、(その3)で扱った損傷モードに関して、両タンクの損傷度曲線をモンテカルロシミュレーションにより作成した。また、地表面震度の中央値と対数標準偏差を求め、液高とタンク規模による違いを検討した。以下に、本研究の範

囲内で得られた知見を示す。

- 1) 対数標準偏差は、両タンクとも側板降伏、象の脚座屈の損傷モードでは、液高が低くなると値が低くなり、それ以外の損傷モードでは、液高が低くなると値が高くなる。
- 2) 対数標準偏差は、同じ液高比の場合、タンクの規模によらず同一の損傷モードで、ほぼ一致した値を示す。

なお、本研究で設定した確率変数のうち液高および内径の標準偏差は、統計資料に基づく数値でないため今後の検討としたい。

参考文献

- 1) 大嶋昌巳他：タンクの地震リスクマネジメントに関する基礎的研究 その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006
- 2) 星谷勝、石井清：構造物の信頼性設計法、鹿嶋出版会、1986
- 3) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計基準(案)・同解説、1990

*1 千代田アドバンスド・ソリューションズ
*2 東京海上日動リスクコンサルティング
*3 東電設計

*1 Chiyoda Advanced Solutions Corporation
*2 Tokyo Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.
*3 Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.