

# 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2 液面高さと耐震性能

正会員 ○加瀬 隆<sup>\*1</sup>  
 正会員 大嶋昌巳<sup>\*1</sup>  
 正会員 福島誠一郎<sup>\*2</sup>  
 正会員 矢代晴実<sup>\*3</sup>

地震リスク評価 平底円筒形貯槽 損傷原因  
 損傷モード 液深による感度 地表面限界震度

### 1. はじめに

平底円筒形貯槽（以下、タンク）はプラント設備内の一地域に集中的に設置され、同型のタンクも複数隣り合っ建てられる場合が多い。しかしながら、大地震により大きな損傷を受けるタンクは同型のものすべてではなく、一部に限られている。著者らは、同型のタンクでも損傷の程度が明らかに違うのは、内容液の量の違いによる地震に対する応答の違いから、生じていると仮定した。

そこで、本研究（その2）ではタンクの内容容量の変化が損傷モードの発生する閾値へ与える影響について検討を行う。

### 2. 損傷モードと地表面限界震度

本稿においては、（その1）において分析を行ったタンクの損傷モードのうち、バルジングによりタンクの底板および側板に発生する損傷モードに注目した。また、対象とするタンクは、軟鋼製のドームルーフ型タンクとした。

図1に本研究で検討の対象となるタンクの概要を、また表1にその概略の諸元を示す。

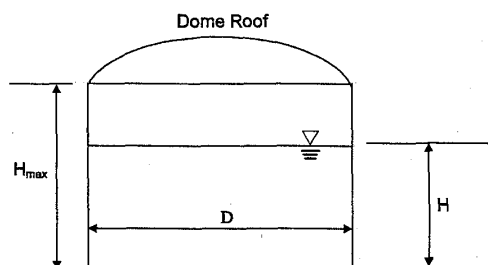


図1 対象タンクの概要

本稿における検討対象となる損傷モードの損傷原因を表2に示す。それらの損傷原因が発生する地表面での加速度を地表面限界震度として求めた。ここで、レベル1地震動（L1）は現行消防法に基づく短周期地震動を、レベル2地震動（L2）は同法に基づく保有水平耐力検討用短周期地震動を意味する。

本計算は以下の手順で行った。

- 1) 応力の算定：消防法の関連法規（「危険物の規制に関する技術上の細目を定める告示」，自治省第99号，119

号）およびJIS（JIS B 8501-1995「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」（以降、関連法規）の計算式および考え方に基づき定式化された「短周期地震動に係る各種水平尾応答震度算式」<sup>1)</sup>の柔基礎（弾性一様分布ばね支持）の算式等を用いて、消防法で定められた地震荷重に対して応力を算定する。ここで、内容液の液深は解析変数とし、満液に対する比率で1.0から0.5まで0.1刻みに設定した。

表1 対象タンクの諸元

項目	記号	記述・数値	単位等
貯槽容量	Vol	12000	kl
貯槽直径	D	29500	mm
貯槽高さ	H <sub>max</sub>	20200	mm
最高液面高さ	H	17700	mm
液比重量	γ	0.8x10 <sup>-6</sup>	kgf/mm <sup>3</sup>
鋼材のヤング率	E	21000	kgf/mm <sup>2</sup>
鋼材の降伏応力	σ <sub>y</sub>	25	kgf/mm <sup>2</sup>
地盤のばね係数	K <sub>b</sub>	0.03	kgf/mm <sup>3</sup>
最下段側板厚	t <sub>b</sub>	23	mm
H/3の高さでの側板厚	t <sub>1/3</sub>	14	mm
アニュラ板厚	t <sub>a</sub>	15	mm
アニュラ板突出し長さ	LL	125	mm
底板厚さ	t <sub>b</sub>	12	mm
地域別補正係数	v <sub>1</sub>	1.0	-
地盤別補正係数	v <sub>2</sub>	2.0	-
塑性係数	v <sub>p</sub>	1.5	-
地表面震度	水平	K <sub>1H</sub>	L1:0.3/L2:0.45
	鉛直	K <sub>1V</sub>	L1:0.15

表2 対象損傷モードの損傷原因

検討対象地震動	検討する損傷モードの損傷原因	検討方法・算式	
短周期地震動	L1	最下段側板の円周方向膜応力の降伏	消防法算式
		最下段側板のダイヤモンド座屈	JIS B8501算式
		最下段側板の象の足座屈	JIS B8501算式
		底板の横滑り開始	JIS B8501算式
		隅角部アニュラ板の二次応力範囲超過	JIS B8501算式
		アニュラ板の浮き上がり開始	消防法算式
L2	隅角部アニュラ板の保有水平耐力超過	消防法算式	

- 2) 発生値と許容値との比較：損傷原因毎に、各液深に対する応答値と許容値の比を求め、耐震裕度を算定する。内容液の量が変化すると振動モードの固有周期が変化し、タンクの応答倍率も変化するため、耐震裕度は液深の関

数として求められる。

3) 地表面限界震度の算定：設計震度を耐震裕度で除したものを地表面限界震度とした。

4) 耐震性能向上率：地表面限界震度を 1.0 とした場合の各液深における地表面限界震度の向上率を求める。

3. 考察

図 2 に隅角部アニュラ板の浮き上がり開始以外の損傷原因の応答値と許容値の比率を示した。隅角部アニュラ板の浮き上がり開始の比率は図 2 では範囲外になるため表 3 に示した。

満液の場合、浮上りは  $0.3/7.761=0.039$  の地表面の震度で発生する。浮上りについては、この後アニュラ板の塑性変形が始まる弾性限界までは、アニュラ板としては損傷にならない。しかし、浮上りの程度については詳細な検討を要するが、元の位置に戻る段階で基礎の損傷を与えると推定される損傷例が多く記録されている。このアニュラ板の変形の限界は亀裂発生とし、塑性変形限界を損傷モードの閾値とした。

底板の横滑りについては 0.736 と許容値に対する余裕が少ないが、ほかの損傷モードは 0.214~0.399 と許容値と比較して比較的耐震性能として余裕がある。

図 3 に液深と地表面限界震度の関係を示す。損傷モードの発生する順番は、アニュラ板の浮上り、底板の滑り、そして側板の“象の足座屈”の順になる。しかし 4 番目の損傷モードが満液では側板の降伏だが、0.5 の液高ではダイヤモンド座屈と順位が変わる。また、10%内溶液の量を減らすと、浮上りと横滑り以外は、地表面で 1.0 以上の震度が発生しないと損傷モードが生じない。

図 4 に液深と耐震性能向上率の関係を示す。各損傷モードでの液深の変化による耐震性能の向上率は、座屈関連の損傷モードでの耐震性能の向上が顕著だが、地表面限界震度の低い底板の横滑りには効果が少ないことが分かる。

4. まとめ

消防法の適用対象となるタンクの地震リスクの評価を行うために（その 1）で必要な損傷モードについて洗い出しを行い、損傷モード相互間の進展および関係について考察を行った。その結果を基に（その 2）ではタンクの内容物の量の変化が損傷モードの発生する閾値へあたえる影響について検討を行った。

内容量を調整することにより、損傷モードの発生を抑え、耐震性能を向上可能なことが明確化された。

参考文献

- 1) 日本高圧力技術協会:平成 14 年度経年劣化を考慮した長期備蓄タンクの診断・保全技術における調査・研究委員会報告書, 3.2 章, 2003

表 3 液深の変化に伴う応答値/許容値の比率の変化

損傷モードの発生する 損傷原因	内容液量(満液に対する内容液の比率)					
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
側板降伏	0.214	0.189	0.162	0.133	0.106	0.081
側板消防法許容座屈 (ダイヤモンド座屈)	0.303	0.227	0.160	0.104	0.063	0.035
側板象の脚座屈	0.345	0.282	0.225	0.172	0.128	0.092
底板横滑り	0.736	0.701	0.652	0.580	0.506	0.431
隅角部アニュラ板浮上り開始	7.761	6.518	5.258	3.997	2.918	2.020
隅角部アニュラ板保有水平耐力超過	0.399	0.339	0.271	0.199	0.138	0.088

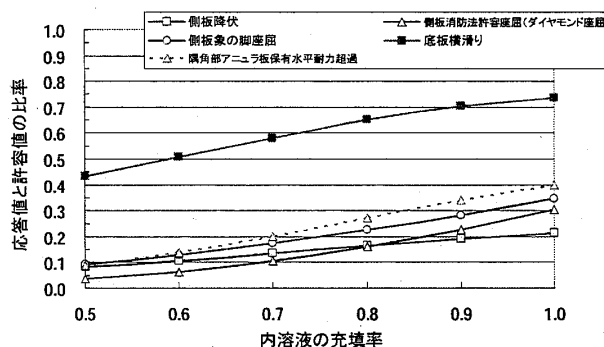


図 2 液深と応答値/許容値の関係

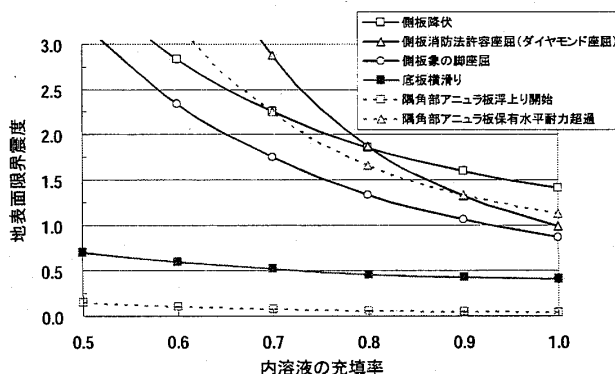


図 3 液深と地表面限界震度の関係

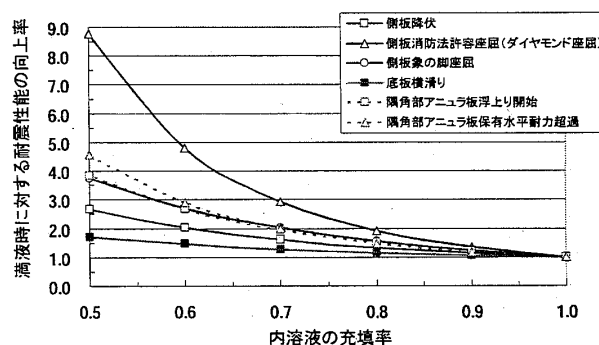


図 4 液深と耐震性能向上率の関係

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

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