

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1: 損傷モードの抽出とそれらの関連

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 平底円筒形貯槽 損傷原因
 損傷モード

1. はじめに

2003年の十勝沖地震で発生した平底円筒形貯槽(以下、タンク)の火災を契機に、消防法においてもタンクの耐震設計に対して見直しが行われるなど、タンクの耐震性能が注目されるようになってきた。

タンクの被害は日本では新潟地震、米国ではその直後のアラスカ地震で俄かにクローズアップされるようになった。しかし、それ以前にも被害例はあり、日本では関東地震、米国ではロングビーチ地震の際に被害記録が残されている。またカーンカウンティ地震では、高架タンクおよび地上置きタンクに顕著な被害を受けた。このようにタンクについては地震による被害事例は多い¹⁾。

タンクは内容物の量が大きいため、地震により損傷が発生して漏洩すると、大規模な環境被害や大火災に発展する可能性がある。さらに、このような消防法の対象となる石油・石油化学プラントにおけるタンクは、地震により液状化が発生するリスクの高い臨海工業地帯の地盤の軟弱な埋立地に立地している場合が多い。

本研究では、コーンルーフ型またはドームルーフ型の消防法の対象となる屋外のタンクを対象として、経営の観点から見た地震リスクマネジメントのための基礎研究を行う。(その1)ではタンクの地震リスクの評価を行うために、地震時にタンクに発生する損傷モードの分析を行う。(その2)ではタンクの内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. タンクの損傷モード

図1に本研究で検討の対象となるタンクの概要を示す。また、図2-1~図2-9に検討対象となるタンクの代表的な損傷モード²⁾を示す。タンクの損傷モードが発生する原因は、タンク本体と一部内容液のバルジング、内容液のスロッシング、地盤・基礎の変形、の3つに大別される¹⁾。

バルジングは、固有周期0.1~0.5秒程度の容器と内容液の連成振動であり、地震時には加速度擬共振現象を引き起こす。その応答が大きい場合には、容器まわりの構造体に過大な応力が生じ損傷にいたる。

スロッシングは、固有周期2~10数秒程度の内容液の自由液面振動であり、地震時には変位共振現象を引き起こす。スロッシングにより、タンク内の柱等の構造物や

天井・側壁の板継手が破損にいたる(図2-1)。

基礎の変形(図2-2~5)は地盤の液状化あるいは亀裂・沈下現象により生じるもので、上部構造物に対する外力としては強制変形と捉えられる。これはタンク本体の損傷の大きな原因となることが多い。

また、以上に示した図2-1~5の損傷モードの連関により、図2-6~9に示すような損傷モードが生じる。

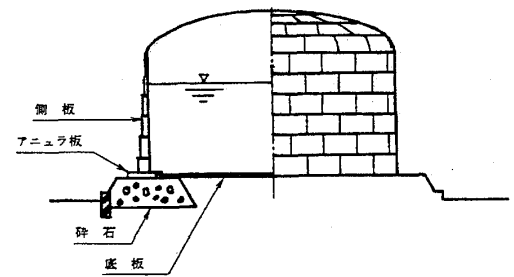
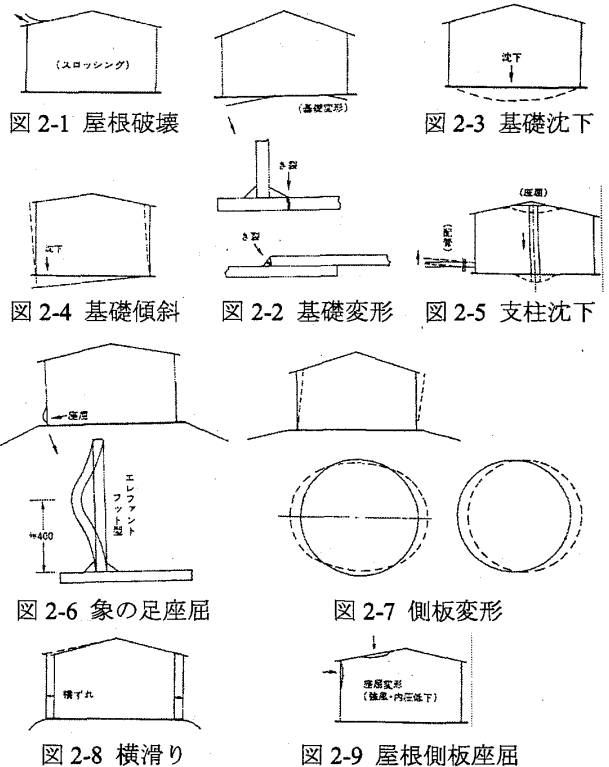


図1 ドームルーフ型平底円筒形貯槽の概要図



3. 損傷モード間の関係

図3に“損傷モード発生の原因”と“損傷モード”の関係並びに損傷モード間の進展および関連について示す。

バルジングは側板の面内応力、底板の浮上りによる大変形、および基礎の過大応力を発生させ、さらに底板の横滑りも励起する。スロッシングは屋根と側板の接合部に衝突する内容物の衝突圧力を発生させる。これを腰掛圧として表現した。基礎の変形には、液状化による基礎の移動や、タンクから伝達されるせん断力による基礎の塑性変形を考慮した。同図では、以上を“損傷モード発生の原因”としてまとめている。

さらに、“損傷モード発生の原因”により生じる一連の現象を“損傷モード”として示した。“損傷モード”は“発生する現象”、“現象から予想される被害”、“2次被害”からなっており、被害の連関を考慮して、具体的な被害モードを割り当てた。

“発生する現象”は、発生原因により直接的に引き起こされる被害モードである。これに対し、“現象から予想される被害”は“発生する現象”がある閾値に達したときに発生する被害モードとして定義した。例えば、座屈が生じ、それが進展して亀裂にいたるような場合には、

亀裂発生を“現象から予想される被害”とした。

また、“2次被害”とは、“現象から予想される被害”によってもたらされる被害モードとして設定した。

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。本研究の結果を基に（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る影響について検討を行う。

参考文献

- 1) 柴田碧編著: 化学プラントの耐震設計, pp.249-257, 1986
- 2) 城子立夫: 石油タンクの設計と安全管理, 施策研究センター, pp.473-494, 1981

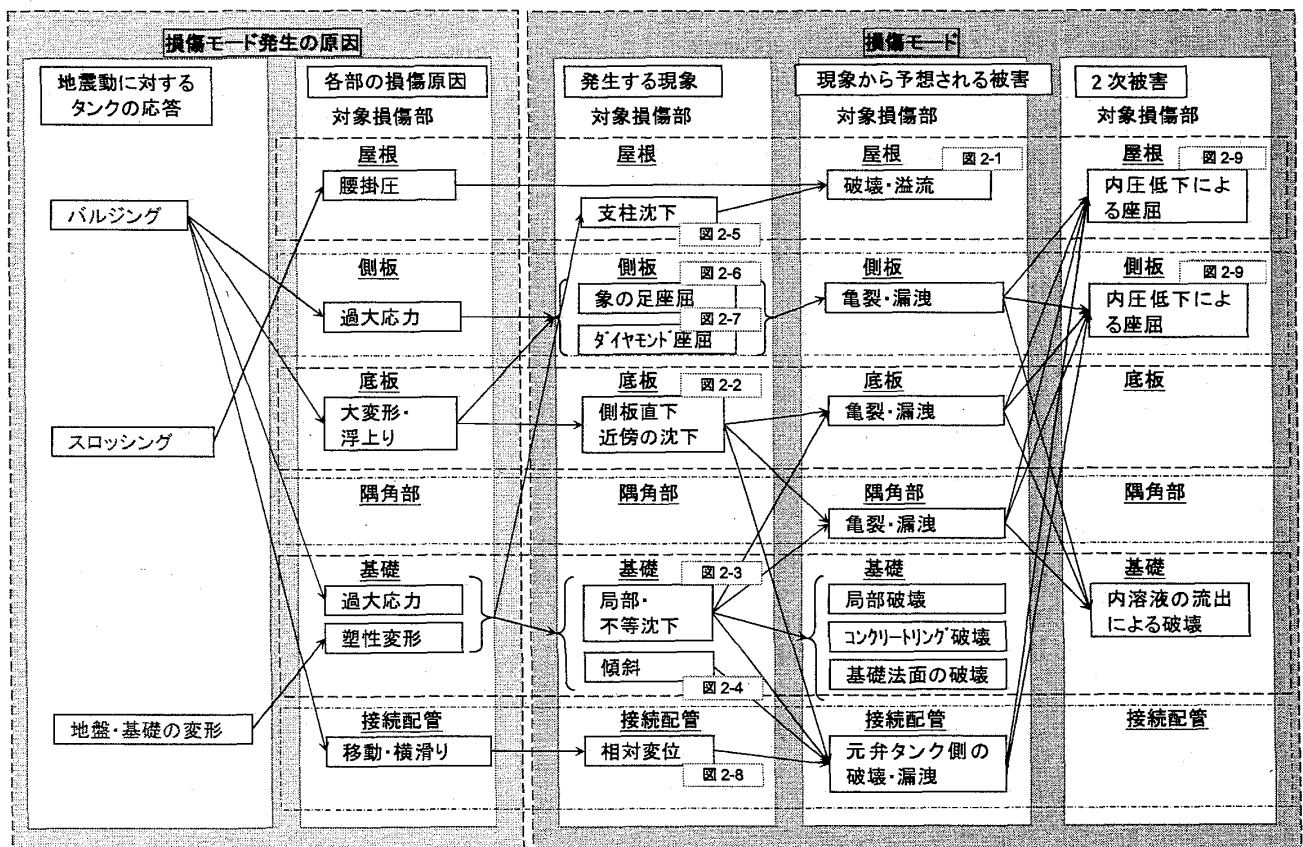


図3 損傷モード発生原因と損傷モードとの関係および損傷モード間の関係

*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 The Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.