

地震の震源情報を用いたタンクの安全評価システムの開発—その2

Development of Safety Evaluation System of Oil Storage Tanks Based on Seismic Information – Part2

○大保直人¹, 座間信作², 佐藤正幸³, 高田史俊³
Naoto OHBO¹, Shinsaku ZAMA², Masayuki SATO³ and Fumitoshi TAKADA³

¹(財)地震予知総合研究振興会, 地震防災調査研究部

Research Division for Earthquake and Disaster Mitigation, Association for the Development of Earthquake Prediction

²消防庁消防大学校, 消防研究センター

National Research Institute of Fire and Disaster, Fire and Disaster Management Agency.

³エイシンシステム(株)

Eisin System Co., Ltd.

For an efficient patrol to prevent and/or minimize secondary disaster such as fire breakout, diffusion of oil at the tank sites just after an earthquake, we have developed a system that can quickly estimate the extent of damage of tanks by short and long-period strong ground motions using earthquake early warning (EEW). The process flow of the system is (1) Acquisition of seismic information from EEW, (2) Estimation of acceleration response spectrum S_a using the semi-empirical method, (3) Assessments of the hazard for circumferential shell stress, axial shell stress, seismic capacity based on S_a and (4) Transmission of the potential damage information to mobile telephones or to PCs by e-mail. Since the process time from (1) to (3) in the above process flow and sloshing evaluation is within 0.6 sec, it is considered that the system provides useful information for the rational initial responses at tank sites.

Keywords : *Bulging, Sloshing, Oil Storage Tank, Safety Evaluation System, Short-period Ground Motion, EEW*

1. はじめに

2003年十勝沖地震で発生した石油タンク被害は、長周期地震動によって励起された内容液のスロッシングによるものであった。

長周期地震動は主要動の後に到達するため、緊急地震速報（震源位置、規模）¹⁾を用いたスロッシング被害予測は、大地震時の緊急対応の備えに利用出来ると考え、地震動到達前にタンクのスロッシング被害一次予測、地震動到達後の地震動波形を用いたスロッシング被害二次予測を可能とするシステムを提案してきた²⁾。

提案システムの一部として、タンクヤードにおける強震観測に基づきスロッシング波高を精度良く評価するシステムを構築³⁾し、運用してきている^{4), 5)}。このシステムは、スロッシング波高予測に基づき、石油タンクの点検順位情報等を表示・配信する機能を備えている。

本報では、スロッシングによる浮屋根被害の予測を可能としたシステム⁶⁾に短周期地震動によるタンクのパルジング被害の評価機能を追加し、石油タンクのスロッシング波高、浮き屋根損傷並びにバルジングによる損傷評価機能を備えたタンクの安全評価システムについて紹介する。

2. タンクの地震時被害

2003年十勝沖地震以前のタンクの地震被害としては、1964年新潟地震でのスロッシングによる火災発生、1978年宮城県沖でのタンク底部破壊、1983年日本海中部地震でのスロッシングによる溢流・浮屋根破壊、1994年三陸

はるか沖地震でのタンク側板の座屈、1995年兵庫県南部地震での小型タンクの座屈・傾斜等が報告されている。

スロッシングによる溢流被害や浮屋根被害は、主に大型タンクで発生する。しかし、側板の破損、座屈、傾斜はタンク規模に関係なく発生している。これらの被害は、短周期地震動によるもので、ここではバルジング被害と呼ぶこととする。

以下では、全体装置の概要およびバルジング被害評価システムについて述べる。

3. システムの概要

運用を開始しているシステムは、スロッシング波高評価に特化しているため、石油タンクからの内容液の溢流危険度を考慮していないこと、またスロッシング波高が浮き屋根の挙動に与える影響も考慮していないこと、さらに加速度応答に起因するタンクのパルジング評価に対応していないこと等、システム利用において幾つかの課題があった。

この内、浮屋根損傷評価に関しては文献 6)で紹介した。ここでは、短周期地震動に起因するバルジング被害評価機能を組み込んだシステムの開発を行った。本システムは、緊急地震速報を用いて、タンクサイトに地震動が到達する前に石油タンクのパルジング被害を予測し、短周期地震動によるタンク被害程度のランク付けを行い、複数タンクの効率的なパトロールの実施を可能とするものである。

具体的には、緊急地震速報で得られた情報を用いて、

バルジング評価で必要となる地表面加速度，加速度応答スペクトルを推定し，底板，アニューラ板，側板の材料定数を用いて側板円周方向引張応力，側板軸方向圧縮応力およびアニューラ板水平耐力を評価し，これらの値を総合的に評価してタンク本体の地震危険度評価を行うものである。

図1に，バルジング評価を行うための処理フローを示す。このバルジング評価システムは，以下の8つの処理機構で構成されている。

① 震源情報処理

スペクトル評価で必要とする地震の発生位置，深さ，規模の情報を，緊急地震速報から抽出する。

② 入力パラメータ評価

文献7)の手法は，長周期帯域までを評価しているが，本手法をむつ小川原基地データ分析で短周期までの適用した文献8)から震源情報を用いて加速度応答スペクトルの評価を行う。

③ バルジング固有周期評価

タンク情報（内径，油面高さ）からバルジング周期を求める。この周期に対する加速度応答値をタンクの強度評価で用いる。

④ 側板応力評価^{9), 10)}

地上タンクは数段の側板で構成されている。円周方向引張応力は，各段の側板に作用する静液圧，水平・鉛直震度に対する動液圧を用いて評価する。

軸方向圧縮応力は，側板に作用する鉛直荷重，側板に作用するモーメント，側板実断面積，側板の実断面係数を用いて評価する。

⑤ アニューラ板強度評価^{9), 10)}

底板の単位幅あたりの浮上り抵抗力，塑性設計係数構造特性係数，有効液重量を用いて評価する。

⑥ 危険度評価^{8), 9)}

側板についてはそれぞれ許容応力で除した値，アニューラ板については保有水平耐力で除した値で危険度を評価する。

⑦ 評価結果配信・表示

評価結果を携帯電話・PCへ配信するとともに画面表示の処理を行う。

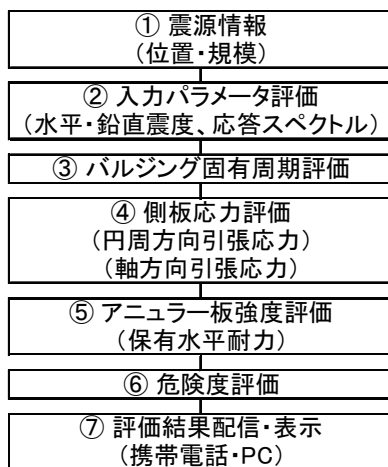


図1 バルジング評価フロー

4. 評価事例

図2の装置に組み込んだシステムは，下記機能を有し

ている。

- ・インターネットを介した情報授受。
- ・評価結果のメール配信。
- ・評価結果のパソコン画面表示。
- ・評価・処理に必要な情報の自動処理。
- ・震源情報を用いたスペクトル評価。
- ・実地震波形を用いたスペクトル評価。
- ・スロッシングによる被害評価
- ・バルジングによる被害評価

本装置に10万kl:12基のタンク情報を設定し，これに任意の震源情報を入力し，スロッシング評価，浮屋根評価，バルジング固有周期評価，側板応力評価，アニューラ板強度評価，および危険度評価を行った。各処理で要した時間を以下に示す。

③バルジング固有周期評価	2ms
④側板応力評価	126ms
⑤アニューラ板強度評価	10ms
⑥危険度評価	1ms

本装置を用いた試験では，地震情報を入力後スロッシング・浮屋根評価処理時間(424ms)を含めたトータルの処理時間は0.6秒以下という短時間で処理できることが分かった。



図2 装置の外観

参考文献

- 1) 気象庁：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/>
- 2) 大保直人他：リアルタイムスロッシング評価システムの開発，大型タンクのスロッシングに関する耐震・制振・免震等技術のミニシンポジウム，pp.15-18，2005。
- 3) 大保直人他：土木建造物のリアルタイム損傷評価システムの開発，リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集，pp.39-42，2004。
- 4) 日刊工業新聞：九州石油，大分製油所に地震感知システムを導入，2008。
- 5) Tatsuya IWAHARA et. al. : Safety Assessment of Underground Tank from Long-Period Strong Ground Motion –Development of Earthquake Disaster Warning System Using Real-Time Earthquake Information-, 14WCEE, 2008.
- 6) 大保直人他：地震の震源情報を用いたタンク安全評価システムの開発，地域安全学会概要集，No26，2010.6
- 7) 座間信作：やや長周期帯域における加速度応答スペクトルの半経験的表現，消防研究所報告，2000。
- 8) 引田智樹他：地震観測記録に基づく想定三陸沖北部の地震の地震動評価，土木学会第65海返事術講演会，I-341，2010年。
- 9) 消防危第14号：危険物の規制に関する規則の一部改正する省令等の施行について，平成17年1月14日
- 10) 座間信作他：石油備蓄タンクのリアルタイム地震被害評価システムの構築，圧力技術，2002年。