

# 地震による石油タンク火災の技術的考察と 社会問題

THE TECHNICAL OBSERVATION OF FIRE ACCIDENT OF OIL TANKS  
DUE TO EARTHQUAKE AND SUGGESTION FOR SOCIAL PROBLEMS

堀 郁夫<sup>1</sup>・川端 鋭憲<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 社会技術研究システム 化学プロセス安全研究グループ サブリーダー (E-mail:i.hori@ristex.jst.go.jp)

<sup>2</sup> 工学修士 社会技術研究システム 化学プロセス安全研究グループ (E-mail:kawabata@ristex.jst.go.jp)

2003年9月26日に北海道十勝沖でマグニチュード8の巨大地震が発生した。この地震により北海道苫小牧市にある石油精製の製油所で原油タンクおよびナフサタンクで火災が発生した。内容物のナフサは約44時間にわたって炎上しタンクは全焼した。地域住民は燃え盛る火災を見て恐怖感に襲われるとともに企業に対する不信感を抱いた。

本報では、地震による危険物タンクの火災事故の事実関係、耐震設計、地震動と社会問題について技術的および社会的視点から考察し、特殊領域の専門知識と一般住民知識の乖離が生ずる中での情報開示のあり方を社会問題として考察した。

**キーワード：タンク火災，耐震設計，やや長周期地震波，スロッシング，社会不安**

## 1. はじめに

2003年9月26日北海道十勝沖でマグニチュード8の地震が発生した。この地震により北海道苫小牧市では震度5弱(86Gal)の揺れを観測した。この地震により苫小牧市にある出光興産(株)北海道製油所で危険物タンク(原油タンク、ナフサタンクの2基)から火災が発生した。特に2日後に発生したナフサタンクは約44時間炎上し全焼した。

危険物タンクの地震対策は、新潟地震をはじめいくつかの地震の被災による教訓を生かし、消防法の改正で設備面の対応をしてきた。しかしながら今回の十勝沖地震では火災事故が発生し、中でもナフサタンクの全面火災は、長時間に及んだことや煤や泡消火薬剤の飛沫などによる環境汚染などで付近住民から不安の声が寄せられた。地震後、企業の危機管理の不備や社長はじめとした経営者の報道対応にも不満の声があがり、危機管理に関わる組織としての対応のあり方が世間に問われた。

本稿では、「十勝沖地震の状況」「タンク火災事故の事実関係」については、北海道苫小牧市、苫小牧市消防本部および室蘭市の石油製油所を訪問し調査した。「危険物タンクの耐震設計」「長周期地震波によるスロッシング発生のメカニズム」については、タンク設計施工会社であ

る石川島播磨重工(株)を訪問し設計の専門家からの情報を調査した。「マスコミが報じたタンク火災の社会問題」については、苫小牧市議会事務局、北海道新聞社、苫小牧民報などを訪問し情報を調査した。

## 2. 2003年9月十勝沖地震について

2003年9月26日4時50分ごろ北海道十勝沖を震源とするM8の地震が発生した。この地震による最大震度は北海道十勝地方を中心に震度6弱(気象庁発表)を記録した。

この地震の震源域は、北米プレートに沈み込んだ太平洋プレートの上面で発生した典型的なプレート境界型地震である。この地震の強震観測網(独立行政法人防災科学技術研究所)の観測結果によるとM8クラスの大規模地震であったため、北海道を始め東北、北陸、関東、東海地方にわたる広範囲でゆれが観測された。地震の概要は次のとおりである。

### 2.1. 地震の諸元<sup>1)</sup>

地震発生日時：2003年9月26日 4時50分頃

震源(気象庁)：北緯41°46′，東経144°04′

深さ：42km

地震規模： M 8.0

地震名称：平成 15 年（2003 年）十勝沖地震

英語名称：The Tokachioki Earthquake in 2003

北海道各地の震度

震度 6 弱：北海道新冠町，静内町，浦河町，鹿追町，幕別町，豊頃町，忠類村，釧路町，厚岸町

震度 5 強：帯広市，釧路市，厚真町，足寄町，本別町，更別村，広尾町，弟子屈町，音別町，別海町

津波警報：太平洋沿岸東部，太平洋沿岸中部

津波高さ：釧路 1.2m，浦河 1.3m，八戸 1m

断層モデル：北西 - 南東方向に圧縮軸を持つ逆断層

太平洋プレ - トと北米プレ - トの境界で発生した海溝型地震

## 2.2. 地震による被害

この地震による被害は消防庁によると次のとおりである。

人的被害： 行方不明者 2 人，負傷者 849 人，（重傷者 70 人，軽傷者 779 人）

建物被害： 住家全壊 101 棟，半壊 127 棟，一部損壊（1568 棟）

火災： 4 件

- ・9月26日4時52分，苫小牧市の出光興産北海道製油所の原油屋外タンク（32,778kl）でリング火災，付属配管が破損し漏れた油に着火した。
- ・9月26日4時58分，音更町の亜鉛メッキ工場で高温の亜鉛が流出し付近の雑品が焼損した。
- ・9月26日4時58分，石狩市のメッキ工場のメッキ釜で亜鉛メッキ溶剤が流出し付近の電気配線の一部を焼損した。
- ・9月28日10時36分苫小牧市の出光興産北海道製油所のナフサ屋外貯蔵タンク（32,779kl，残油26,000kl）で火災発生，タンクの全面火災となり9月30日6時55分，ナフサは全量燃焼し鎮火した。

## 2.3. 過去発生した主な十勝沖地震との被害の比較<sup>2)</sup>

十勝沖では過去，数多くの地震が発生している。ここではほぼ同地域で発生しているM8クラスの地震の被害状況を比較したものを Table.1 に示す。また北海道南部に発生した過去の地震を Fig.1 に示す。1968年の十勝沖地震は震源が他2つの地震より震源の位置が青森県寄りであるため青森県を中心とした被害が顕著である。今回の十勝沖地震の被害の特徴は，人的被害が他の2つの地震に比較して圧倒的に少ない。地震による死者の数は1952年十勝沖地震25名，1968年十勝沖地震49名，今回の十勝沖地震では0名であることをみても明らかである。物的被害も家屋の全壊を比較すると圧倒的に少ない。

Table 1 過去に十勝沖で発生した主な地震の比較

地震名	十勝沖地震（1952年）	1968年十勝沖地震	2003年十勝沖地震
地震規模	M8.2	M7.9	M8.0
地震被害	北海道南部，東北地方北部に被害。津波が関東地方に及び。津波波高は厚岸で3~4m，死者25名，不明5名，家屋全壊815棟半壊134棟流失91棟	青森を中心に北海道南部，東北地方に被害。死者49名，不明3名，負傷者330人，家屋全壊673棟，半壊3004棟，津波三陸海岸3~5m，襟裳3m，コンクリート建物被害や工場施設（冷凍設備など）に被害多数。	北海道南東部を中心に被害。死者0名，不明2名，負傷者849名，家屋全壊101棟，半壊127棟，津波1m前後苫小牧石油精製工場で危険物タンク火災・被害多い。

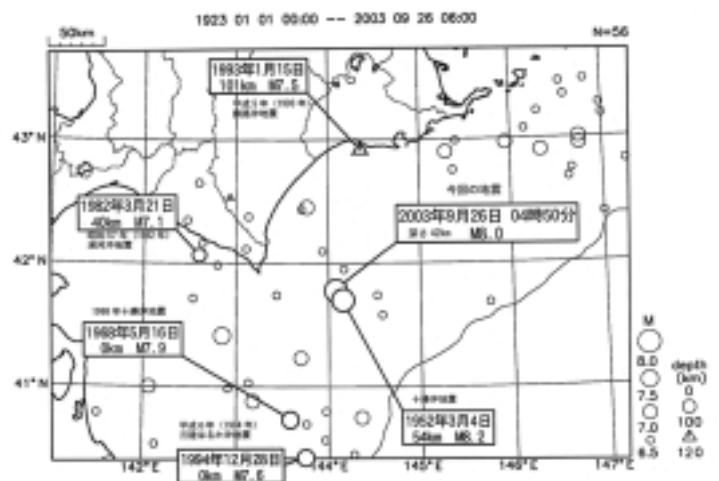


Fig. 1 北海道南部に発生した過去の地震<sup>3)</sup>

2003年の十勝沖地震は震源深さが42kmとやや深かったが，1952年と1968年の十勝沖地震は震源深さが10km以内であり，今回の十勝沖地震と比較して地震波の加速度が大きく，結果として家屋や崖などの被害が多かったものと考えられる。

今回の十勝沖地震は石油コンビナ - トのタンクに大きな被害が出たのが特徴であり，3つの地震ともプレ - トの境界で発生した地震であるが，今回の地震は震源の深さが42kmとやや深いところで発生しているため，長周期の地震波が各地で卓越して観測された。その中でも長周期地震波の継続時間が長かった苫小牧地区の地震波に近似する固有周期を持つタンク内の石油類が共振でスロッシング現象を起こし，被害が出たものと考えられる。

1968年の十勝沖地震では，青森県八戸の化学工場や漁港の冷凍設備に被害が出ているが，いずれも高い震度（加速度）による強度不足による被害で，今回のような長周期地震動による被害ではなかった。

### 3. タンク火災<sup>4)</sup>

この地震で出光興産(株)北海道製油所のタンク火災が2件発生したが、その概要は次のとおりである。

#### 3.1. 原油タンクのリング火災

(1) 発生日時: 2003年9月26日(金)4時50分頃発生

(2) 発生施設: 特定屋外タンク貯蔵所  
内容物: 第4類第1石油類(原油)  
タンクの大きさ: 直径42.3m, 高さ24.39m  
許容量: 32,778kl(残油30,000kl)  
消火設備: 固定泡消火設備

#### (3) 火災の概要

地震の揺れにより原油がスロッシング(液面揺動)を起こし、タンク上層部の浮屋根とタンク側壁のリング状の隙間に着火し、火災が発生した。また当該タンク付近の配管が火災にあぶられ配管の溶接部と母材に生じた縦割れ部より油が漏出し着火した。

#### (4) 消火活動

タンク上部のリング火災と配管部の火災に対して、大型高所放水車、固定泡消火設備を使用して消火活動に入り同日12時9分に鎮火した。

#### 3.2. ナフサタンク全面火災

(1) 発生日時: 2003年9月28日(日)10時46分頃発生

(2) 発生施設: 特定屋外タンク貯蔵所  
内容物: 第4類第1石油類(ナフサ)  
タンクの大きさ: 直径42.7m 高さ24.39m  
許容量: 32,779kl(残油26,000kl)  
消火設備: 固定泡消火設備

#### (3) 火災発生概要

ナフサタンクの浮屋根(シングルデッキ)には48個のポンツ-ン(空気の入った浮き)が装着されている。内容物ナフサの液面揺動により浮屋根がタンク側壁に衝突し、その衝撃で装着していたポンツ-ンのいくつかが破損したため浮屋根が浮力を失い、ナフサの下に沈みこんだものと推定される。その結果、タンクは蓋のない状態となり内容物ナフサは大気に直接触れ、折からの強風も相まってかなり広範囲にナフサのベ-パ-(蒸気)が風下に拡散した。空気と接触する部分のナフサの蒸発を抑えるため、泡消火薬剤でナフサ液面を覆うための作業中に着火した。この原因は現在調査中であるがナフサは自動車用燃料のガソリンとほぼ同じ成分であり引火性が高くわずかな静電気で発生する放電により着火する恐れがある。タンクは全面火災となり、高所放水車など3点セットで消火活動を実施したが直ちには消火できず約44時間にわたって炎上しナフサは全焼した。



Fig.2 ナフサタンク火災

ナフサ

原油を常圧蒸留して得られる留分で、沸点が25~200の粗成ガソリンのことをいう。石油化学製品の主原料として用いられている。常温で揮発性が極めて高く、引火点-17.8以下であり空気と混合すると引火、爆発の危険性が高い物質である。

#### 3.3. ナフサタンク全面火災からの教訓

このナフサタンクは危険物タンクが数多く設置されている貯蔵エリアに設置されており、タンク群は消防法に定められているタンク間距離は保有されていた。ナフサは常温において引火性が高く、他へ延焼する危険性もあったが、懸命な散水冷却により、隣接するタンクへの延焼を防止することができた。

今回の十勝沖地震で、苫小牧市は震度5弱(86Gal)であった。苫小牧市内の一般家屋のほとんどは無傷であったが、市内から直線距離で2~3kmしか離れていないコンビナ-トの大型危険物タンクに損傷や火災が発生したことは、住民から見ると木造家屋よりコンビナ-ト設備は弱いのかという不信感を抱かせた。大型の危険物タンクは、やや長周期の地震に弱いことは1964年の新潟地震の際にすでに問題視されていた課題である。その後の宮城県沖地震、日本海中部地震で危険物の大型タンクについては損傷、スロシスシングなどの経験を経てその防災対策は講じられてきているが、今回の地震であらためて長周期地震波と地盤の相互作用による構造物レスポンスに未解決な課題が残されていることが分かった。

### 4. 危険物貯蔵タンクの耐震設計

今回の地震により危険物貯蔵タンクの変形や火災が発生した事実を踏まえ、一般市民にとってはタンクの耐震性や火災の危険性等に関わる専門的な知識が乏しいこと

から、ここでは平底円筒形貯槽の過去の地震被害と耐震設計の考え方を紹介することとした。

#### 4.1. 危険物貯蔵タンクの地震被害<sup>5) 6)</sup>

##### (1) 地震被害の特徴

危険物施設に地震被害を及ぼした次の地震、1964年の新潟地震、1968年の十勝沖地震、1978年の宮城県沖地震、1995年の兵庫県南部地震、2003年の十勝沖地震の地震被害と、更に1933年のアメリカ Long Beach 地震、1964年のアラスカ地震において、平底円筒形貯槽における地震被害状況から以下の通り特徴を分類した。

- a. 浮屋根および附属品の破損と内溶液の溢流
- b. 円錐屋根と側板との接合部の破損
- c. 固定屋根式貯槽の側板上部の座屈
- d. 側板下部の座屈(象足座屈)
- e. 側板とアニュラー板接合部近傍の底板破損
- f. 側板の変形、亀裂
- g. 側板直下の沈下
- h. 貯槽の沈下
- i. 貯槽の横ずれ、横すべり
- j. アンカーボルトの引き抜け、破損
- k. 貯槽に付帯する配管、弁などの破損

新潟地震ではスロッシングによる a, b, c の事象、地盤の液状化による g. の事象が顕著であり、宮城県沖地震では a, b, e, j の事象が顕著であり、兵庫県南部地震では d, e, j, k. の事象、2003年十勝沖地震では a, h. の事象がみられた。

アラスカ地震では地震時の転倒モーメントと考えられる側板下部での d. の事象も見られている。

##### (2) 損傷要因の分類

前項の地震被害を要因別に分類すると概ね下記のような形態に分類される。

- a. 地震動のやや長周期成分によるスロッシング
- b. 地震動の短周期成分による液体と貯槽の連成震動(バルジング)
- c. 地盤の液状化による貯槽基礎の不等沈下および支持力の低下
- d. 座屈現象

新潟地震で発生した損傷要因は、主に a.c. でスロッシングおよび貯槽の基礎・地盤が問題となった。

宮城県沖地震では b. の慣性力による貯槽の構造が問題であったと考えられている。

今回の地震では、a. のやや長周期地震動によるスロッシングの発生が問題であった。

#### 4.2. 危険物貯蔵タンクの耐震設計<sup>5)</sup>

##### (1) 耐震設計基準

###### a. 耐震設計基準の考え方.

危険物貯槽の耐震設計基準は、「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」(1974年5月自治省告示第99号)に定められており、その後の地震被害等を考慮して改正され現在に至っている。(以下自治省告示という)

容量1,000kl以上の特定屋外貯蔵タンクについては、基本的には関東地震程度の地震動に対して安全性が確保されることとしている。

同様に「高圧ガス設備等耐震設計基準」(昭和56年10月26日通商産業省告示515号)では塔、貯槽、基礎に耐震設計を義務付けている。

両者とも耐震設計法に大きな差はなく、

- イ. 短周期地振動の影響
- ロ. やや長周期地振動の影響
- ハ. 基礎、地盤の安定性

に対する安全性を規定しているが、ここでは主として自治省告示の耐震設計について述べることとする。

###### b. 地震荷重

自治省告示では特定屋外貯蔵タンクに係わる地震の影響は、次に掲げる地震動による慣性力等によって生ずる影響をいうものと規定されている。

(自治省告示：第4条の20)

- イ. 水平向及び鉛直方向地震動によるタンク本体慣性力
- ロ. 水平方向及び鉛直方向地震動による側板部に作用する動液圧
- ハ. 水平方向地震動による底部水平力
- ニ. 水平方向地震動による側板部のモーメント
- ホ. 水平方向地震動による底板部のモーメント
- ヘ. 液面揺動による側板部に作用する動液圧
- ト. 液面揺動による底部水平力
- チ. 液面揺動による側板部のモーメント
- リ. 液面揺動による底板部のモーメント

###### c. 貯槽本体に対する短周期地震動の影響

短周期地震動については、貯槽の内容液が慣性質量として挙動する地振動で液のスロッシングの固有周期より短く、貯槽ではバルジングを起こさせるような地震動であり、貯槽本体に慣性力と動液圧が作用するので貯槽本体の強度、転倒、滑動が問題となる。

###### d. 設計震度の計算方法

イ. 設計水平震度  $Kh_1$  は、地域別補正係数  $\alpha_1$ 、地盤別補正係数  $\alpha_2$ 、特定屋外貯蔵タンクの固有周期を考慮した応答倍率  $\alpha_3$  により算出する。

$$Kh_1 = 0.15 \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3$$

ここに定数0.15は基準地盤面における基準水平震度で、通常起こる可能性があると考えられる関東地震を参考に定められている。

3は地震波の平均応答スペクトルなどを参考に定められているが、自治省告示では平底貯槽が地盤との接地面積が比較的大きく地下逸散減衰が期待できることから10~15%をとっている。

通商産業省告示515号では5~10%をとっている。  
 口 設計鉛直震度は設計水平震度の2分の1とする。  
 短周期地震における地表面の最大鉛直加速度が最大水平加速度の1/3~1/2程度であることから1/2としている。

**e. 地震基盤入力から設計震度の算出法の比較**

設計震度の算出法について、自治省告示と通商産業省告示515号における自由地表面、地震基盤で考慮している補正係数をFig.3に比較し、Table.2に設計水平震度算出の地域別補正係数、地盤別補正係数を比較した。

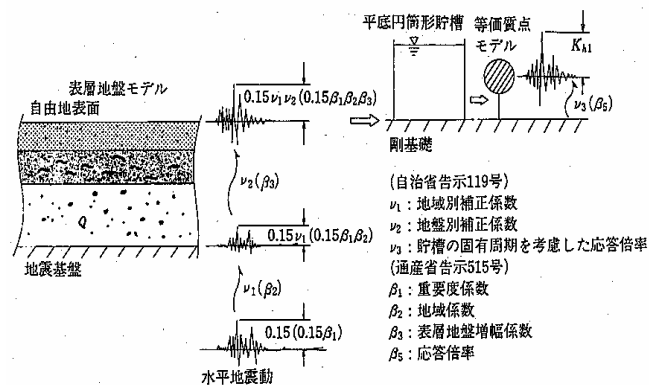


Fig.3 修正震度法による平底円筒貯槽の設計震度の算定

Table.2 設計水平震度のKh<sub>1</sub>係数

重要度	重要度係数 β <sub>1</sub>	地域別補正係数		地盤別補正係数			
		通産省	自治省	通産省	自治省	通産省	
重要度	β <sub>1</sub>	地域区分	ν <sub>1</sub>	β <sub>2</sub>	地盤区分	ν <sub>2</sub>	β <sub>3</sub>
I a	1.00	特A地区	1.00	1.0	1種地盤	1.50	1.4
I	0.80	A地区	1.00	0.8	2種地盤	1.67	2.0
II	0.65	B地区	0.85	0.6	3種地盤	1.83	2.0
III	0.50	C地区	0.70	0.4	4種地盤	2.00	2.0

**(2) やや長周期地震動の影響**

やや長周期地震動は2~20秒程度の周期が卓越した地震動であり、内溶液のスロッシングによる影響が大きく、波頭が屋根部に上向きの力を加え溢流を起こさせる原因となる。特に地震動の卓越周期に貯槽の固有周期が合致した場合に被害が大きくなっている。

貯槽で特有の振動現象はスロッシングとバルジングである。

**a. スロッシングによる設計水平震度**

液面揺動の設計水平震度 Kh<sub>2</sub>は、地域別補正係数 ν<sub>1</sub>、液面揺動の固有周期を考慮した応答倍率 ν<sub>4</sub>により

算出する。

$$Kh_2 = 0.15 \nu_1 \cdot \nu_4$$

修正震度法を基本とする耐震設計法をとるとともにスロッシングによる影響も加えてやや長周期地震動に対する安全性を考慮している。

ここに貯槽の固有周期 Ts と ν<sub>4</sub>には次の関係がある。  
 $\nu_4 = 4.5 / Ts$

また通商産業省告示515号(1981年)では、3波共振法が標準的になっており、スロッシングの固有周期の区分に応じて水平地動速度を与えている。

**b. 地震動の影響**

やや長周期地震動によるスロッシングの影響として液面上昇と貯槽本体に作用する下記の荷重を考慮する必要がある。

- イ. スロッシングにより側板部に作用する動液圧
- ロ. スロッシングによる底部水平力
- ハ. スロッシングによる側板部のモーメント
- ニ. スロッシングによる底部のモーメント

**c. タンク空間容積**

特定屋外貯蔵タンクの空間容積 Hc は、タンク内径 D と液面揺動の設計水平震度 Kh<sub>2</sub> より Hc = 0.45D · Kh<sub>2</sub> で算出することとしている。

**d. 基礎および地盤に対する地震動**

一般的な盛土基礎、リング基礎の場合の貯槽の基礎については、下記を考慮することとしている。

- イ. 基礎に作用する地震荷重  
 基礎に作用する貯槽本体の荷重として、水平方向地震動による貯槽の底部水平力、側板部および底板部のモーメント、鉛直方向地震動による貯槽本体および内溶液の慣性力を考慮する。
- ロ. 地盤や基礎との連成の影響によるロッキングやスウェイなどの影響を評価すべきである。

**e. 浮屋根等の構造**

今回の十勝沖地震では製油所の特定屋外貯蔵タンクの浮屋根部のポンツーンが破損し、屋根が油の中に沈み込みこむ現象が発生した。

(自治省告示第4条の22)

特定屋外貯槽タンクの浮き屋根の構造は、当該浮き屋根の浮き部分が仕切り板により完全に仕切られたもので、かつ、当該仕切り板で仕切られた室(ポンツーン)が1枚板構造(シングルデッキ)にあっては相隣接する2つの室及び当該浮き屋根の浮き部分以外の部分が破損した場合において、2枚板構造(ダブルデッキ)のものは隣接する2つの室が破損した場合において沈下しないものであることと規定されている。

石川島播磨技報<sup>7)</sup>によると、寺前らはスロッシングにより浮き屋根にかかる荷重の最大のもはポンツーン部分にかかる周方向曲げモーメントであり、この場

合変形による極低サイクル疲労によるき裂が発生することが推定されることを報告している。

## 5. やや長周期によるスロッシング発生メカニズム

### 5.1. 地震動の特徴<sup>8)9)10)</sup>

今回の「十勝沖地震」の速度波形は、Fig.4 に示すとおりである。この地震波で注目することは震源から 225 km 離れた苫小牧周辺で N E (南北方向)成分で 31.03cm/s で、地振動継続時間は約 90 秒、その中で長周期成分が卓越した時間も 30 秒観測された。小林ら<sup>11)</sup>によれば地震発生後 60 秒付近の E W (東西方向)成分はレイリー波、70~80 秒付近の N S 成分はラブ波であるとの見解によれば、後続移送の成長は勇払平野の厚い堆積層と三方を山に囲まれ特に東西方向の山での地下構造の急変が影響し他の地域と異なる地震波形が生じたものと考えられる。瀧澤ら<sup>12)</sup>によれば K-Net 苫小牧観測記録、港湾技研苫小牧観測点からも勇払平野のやや長周期の表面波観測の報告もあり長周期地震波の生長が確認された。

#### a. ラブ波 (Love wave)

1911 年ラブによってその存在が理論的に証明された分散型表面波、レイリー波と違って層状媒質中でのみ存在する。質点運動は波の進行方向に直角な水平成分のみを持つことから S H 波起源の表面波であることがわかる。またラブ波は伝播速度が波の周期あるいは波長の関数として変化する分散波の一種でもある。ラブ波は L 波とも略称されるが、L 0 を基本モードとして、L 1, L 2 の...無数の分岐波が存在する。

#### b. レイリー波 (Rayleigh wave)

平面で均質な半無限弾性体の媒質を伝わる表面波で、媒質中の質点は、波の進行方向に平行で表面に垂直な面内で楕円運動を行う。上下振幅と水平振幅とのポアソン比が 1/4 のときに約 1.47 となる。振幅は深さと共に急速に減少し、波長が短いほど減衰が著しい。伝播速度は媒質の密度、剛性率、ポアソン比などによって異なるが、ポアソン比を 1/4 とすれば、媒質が無限に広がっている場合に生じる横波の約 0.92 倍となる。1885 年レイリーが初めて理論的に導いた。地震の際に 1,000km 以上離れたところで観測されている。また層状媒質に沿って伝わる場合は、これらの性質が波の周期あるいは波長の関数として変化的ことから、特にレイリー型分散波と呼んで区別されることがある。

### 5.2. スロッシング周期

スロッシングの固有周期は次式で算出する。

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D}{3.68g} \cdot \coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

T<sub>s</sub>: スロッシングの固有周期(s)

D: タンク内径(m)

H: 液面高さ(m)

g: 重力加速度(m/s/s)

この式において被災タンクのスロッシング周期を計算すると D = 42.7m, H = 24.3m を代入し、7 秒が固有周期となった。

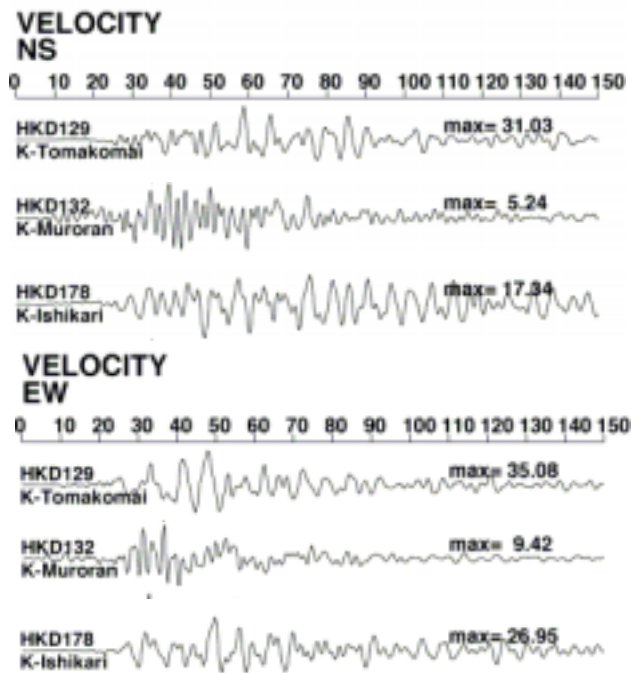


Fig.4 苫小牧、室蘭、石狩における地震速度波形

Fig.4 の波形から N S 成分、E W 成分とも 5~9 秒程度の波が苫小牧で観測されており、両方とも数多く発生していることから計算で出した固有周期 7 秒とも一致することが証明された。一方、震源から 225 km は離れた室蘭の新日本石油精製(株)室蘭製油所の被害状況を調査した結果、出光興産(株)北海道製油所と同様の危険物タンクを所有していたが、同規模のタンクに大きなスロッシング現象が出なかったのは、Fig.4 に示すとおり苫小牧の波形に比べて室蘭の波形の方が短かったことと、波の継続時間も 60 秒以内でおさまったことから、室蘭の方が苫小牧と比較してタンクの共振が少なかったものと考えられる。ちなみに室蘭の地質は苫小牧のような泥炭の存在する堆積地層ではなく、岩盤に近い層を切り開いた地盤であったので長周期地震波の生長はなかったものと考えられる。

今後、やや長周期地震動の発生メカニズムの解明と、危険物タンク等が設置されている地盤と地震に対する対応が課題として残されている。

## 6. タンク火災がもたらした社会的問題点

今回の「十勝沖地震」は、1952年、1968年の十勝沖地震と比較しても幸いなことに被害が少なかった。しかしながら今回の地震は、過去の地震とは異なる社会問題を提起した。

すなわち危険物を多く保有する石油コンビナートの施設で、大きな火災が長時間発生したこと、一般市民が近代施設であるコンビナートの地震に対する脆弱性を知り、恐怖を募らせたことがあげられる。ここでは地震発生後からの新聞記事を分析し、地震災害(タンク火災事例)がもたらした安全安心に関わる社会的問題点を抽出した。

### (1) 新聞記事のキーワード検索による社会の反応

十勝沖地震が発生した2003年9月26日から2003年12月25日までの北海道新聞に記載された記事について、「出光興産北海道製油所」「苫小牧」「火災」の3つのキーワードで検索した結果、203件の記事が得られた。

これらをもとに記事数と記事内容の関係および記事の時系列変化を比較し以下のとおり考察した。

#### a. 記事数の内容別の内訳

過去のコンビナート事故に関わる記事からキーワードを選定し、「不安」「企業体質」「行政対応」「安心」「経済損失」「安全」「生活への影響」「安全管理体制」「技術上の問題点」「クライシスマネジメント」「再発防止」の11のキーワードから今回の事故に関わる新聞記事を分類した結果は、Fig.5に示すとおりである。

「不安」「企業体質」「行政対応」に関する記事で51%を占めており、不安という市民感情は当然のことと考えられるが、同時に企業体質・行政対応に対する関心が大い結果となった。

一方、技術上の問題点については6%という比較的低い比率であったが、今回の地震と火災事故の関連性の有無や耐震性の問題など技術的に難しい問題が潜在していた結果であると思われる。

#### b. 事故発生から2週間の記事内容の変化

2003年9月26日4:50頃に原油タンク火災事故が発生、12:09鎮火した。続いて9月28日10:46頃にナフサタンク火災事故が発生、9月30日6:55鎮火した。これらの事故に関する9月26日から10月8日までの2週間に掲載された記事内容とその時系列的な変化を統計的に整理すると、Fig.6に示すとおりとなった。

発災直後は、地震による災害の他に余震が頻発していたという状況もあり「不安」に関する記事が多かったが、発災後2日~3日という比較的早い時点で企業体質を問う記事が目立っているのは不安と不信感の現れである。

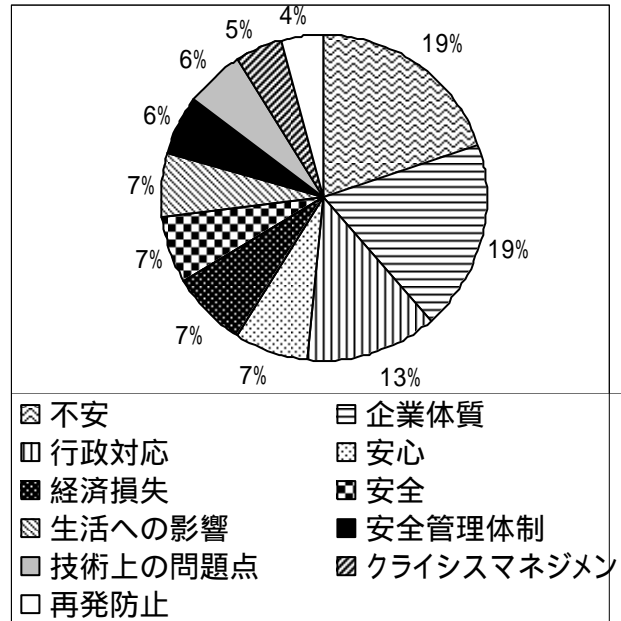


Fig.5 記事内容の内訳(北海道新聞)

この背景には、同製油所において最近4年間に4件の火災事故を起こしていることから、「また火災か」との見出しで企業体質、安全管理体制などを厳しく非難する記事が先行したと思われる。(北海道新聞：9月27日) 更に、ナフサタンク火災の前に住民からの異臭の問い合わせがあったにもかかわらず、製油所では油の漏洩を報告していなかったことに対する企業体質についても非難が集中した。(北海道新聞：9月29日)

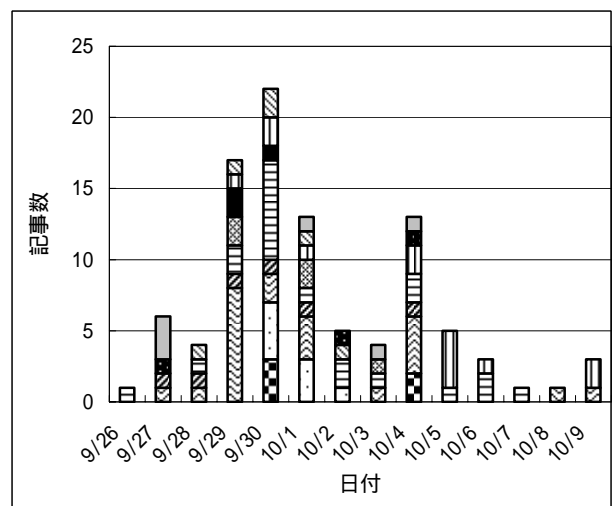


Fig.6 事故後2週間の記事数の時系列変化(北海道新聞)

### (2) 苫小牧市議会の反応

今回の十勝沖地震は、苫小牧市においては震度5弱で震度としては小さく、一般家屋や生活施設(ライフライン)などには目立った損傷が生じなかった。

しかしながら工場地域の石油精製企業の石油タンクで火災が発生し、多くの施設に損傷が出たことは、石油タンクが頑丈にできていると信じていた市民にとって、工業施設に対する不信感が出てしまった。この事故の関連で開催中の苫小牧市議会でも市長が緊急の行政報告を行った。

本報では市議会の議事録から市長と市議会議員との議論の概要から市民に対する行政対応について推察することとした。市議会要旨は次の通りである。

#### a. 市長行政報告

- ・9月26日原油タンク火災の状況と特別火災活動と鎮火までの状況
- ・9月28日ナフサタンク火災の状況と、特別火災活動と知事に対するの緊急消防援助隊の派遣要請 44 時間後鎮火にいたるまでの経過
- ・出光興産の被害状況
- ・その後の安全対策状況
- ・市災害対策と住民対応（異臭対応、住民広報、避難対策、環境測定など）
- ・住民苦情件数 295 件
- ・出光興産の施設被害の状況から余震対応として非常警戒本部を設置した
- ・北海道石油コンビナート等防災計画に基づき苫小牧地区災害対策要綱見直しを図る

〔質問内容〕

- ・苫小牧地区災害対策要綱の見直しの見直し
- ・旧法タンクの改善計画
- ・泡消火剤など補正予算と国への財政支援
- ・消防機関の広域応援体制協定
- ・港湾の安全対策
- ・ナフサタンクの全面火災は想定していたか
- ・補正予算提出の経過
- ・火災発生者（出光）の費用負担
- ・ブリジストン火災、エクソンタンク火災との関連と比較しても費用を負担させるべき

#### b. まとめ

市議会の最終日に地震被害の行政報告がなされた。質問内容は、発災後の防災体制、救援要請、石油コンビナート防災計画（北海道庁作成）での問題点、防災対策にかかった費用負担などに質疑が集中し、肝心の市民の不安や迷惑に関わる状況については多くの質問は出なかった。さらに今回の地震についてはやや長周期の地震波によるという技術的にも理解し難い案件であり、再発防止などの技術論については、北海道石油コンビナート等防災計画 国への要望などにとどまり、今回の地震のメカニズム等の本質的な問題に関する質問はなかった。

## 7. 技術的考察と社会問題

### 7.1. 技術的考察

#### (1) 平底円筒貯槽の耐震設計の今後の課題

- a. 平底円筒貯槽は、盛土基礎に設置されるので地震時に浮き上がりが生じ、側板下部、側板とアニューラー板接合部に大きな応力が発生する可能性があり、この部位の耐震強度の正確な評価が重要である。特にアンカーで固定されていない貯槽における側板下部の浮き上がり現象の解析法が未だ確立されていない。
- b. 貯槽に特有のスロッシングについて、動的挙動が解明されつつあるが、やや長周期地震動に関する技術的情報が少なく未解決な分野も多いため、今後この分野の研究が大きな課題であると思われる。
- c. やや長周期地震動の記録が少ないため、設計入力力の精度に限界があり、地震観測体制の整備も含めて対応が必要である。
- d. 地盤の液状化に対する耐震検討も課題である。

#### (2) 十勝沖地震(2003年9月)による耐震設計への教訓<sup>(13)</sup>

今回の十勝沖地震によりタンク火災にまで至った事故事例をもとに耐震設計のあり方を考えた場合、下記のような視点で改善する必要があると考えられる。

##### a. 浮屋根の強度検討

地震動による地震荷重を考慮することとなっており、貯槽の側板部、底板部など貯槽本体に関わる強度検討に反映されているが、特定屋外貯蔵タンクで多く採用されている浮屋根式タンクの場合の屋根部の強度に反映させるような何らかの基準が必要である。今回の地震では2枚板構造（ダブルデッキ）の屋根では被害が少なかったことは構造基準の検討の参考になるとと思われる。

##### b. 浮屋根ボンツーンの強度

浮屋根タンクのスロッシングによると思われるボンツーンの損傷事例が多かったことを考えると、浮き屋根ボンツーンに関わる強度の規定が必要である。現在では、主にタンク建設時のエンジニアリング会社の設計に委ねられていた部分があると思われるが、地震時のスロッシングを考慮した強度基準が必要である。

##### c. タンク空間容積

自治省告示第2条の2で規定されているタンク空間容積の算定は、過去の地震時の地震動を参考に（100カイン程度の地震）したものであるが、更に大きな地震動を想定した場合のタンク空間容量の考慮も必要である。

#### (3) やや長周期地震波への考察

今回の十勝沖地震は、やや長周期地震波による影響が



コンビナート被害をもたらしたことで大きな社会問題となった。やや長周期問題は1970年代あたりから専門家が注視し数多くの論文も出されており、4章の危険物タンクの耐震設計の告示改正(1981年)にもその対策は盛り込まれてきている。1981年以降のいわゆる新法対応の危険物タンクは我国ではその数が少なく、大半は所謂旧法で製作されたタンクであり、今回のような地震の再来があれば、他の石油コンビナート地域においても同様のタンク火災の発生は免れないと考えられることから次の課題を提起する。

今回の地震の発生により、瀨織、瀬尾、座間らを中心に官学でやや長周期地震についての所見が示された。また再来周期についても今回の地震は、1952年の十勝沖地震の地震すべりとほぼ一致していることから従来の海溝型地震の再来周期100~200年について再来周期50年を予測する専門家の検討が始まった。

これらの所見は危険物タンクを保有する企業にとって地震災害を想定した「クライシスマネジメント」を確立する上で貴重な情報であり、各コンビナート企業はタンク設置場所の地層と地盤を含めて対策を検討するべきである。一企業でこの問題を解決することは人材、資金のおよび時間的にも限界がある。

最近では大規模地震対策特別措置法の見直しが図られ、その強化地域も西方へ拡大されてきている。いずれもプレート境界部で起きる大地震がモデルとされ、ますます長周期、やや長周期地震対策は緊急の課題となってきている。このような地震関連のアセスメントは、企業レベルでは不可能であると考えられるので、国や自治体が学識者と共同で行うべきであると考えられる。

なお参考として、神奈川県では地震被害想定調査において、南関東地震〔相模湾で起きるM8クラスの地震で金森(1971)の断層モデル〕や、東海地震〔中央防災会議の断層モデル〕の発生を予測している。(1985)<sup>14)</sup>

## 7.2. 社会問題としての考察

### (1) 新聞報道からの考察

北海道新聞の報道記事を時系列に収集し解析したものは6章で述べたとおりであるが、まれにみる大規模なタンク全面火災であったため、報道記事として大きく取り扱われた。しかしFig.5およびFig.6に見られるようにクライシスに対する企業の対応の不備が火災発生の最中の早い時期に指摘されており、企業体質や安全管理体制の不備を報じた記事は、記事全体の25%を占める結果となり企業にとって厳しい側面が現出した。このことは、ブリジストンタイヤ工場の火災、新日本製鐵でのガスタンク火災、エクソンモービルの油槽所でのタンク火災など、近年、産業界で頻発している事

故と第6章でも述べたとおり同製油所において度重なる火災事故とが相まって社会問題として大きく取り扱われたものと考えられる。

その他経済損失では、苫小牧市の地域経済における出光興産の割合が高いことから6%の関心を示し、事故の後半には早く復旧することを望む声もあり企業城下町的な様相も浮かがる。生活への影響としては約44時間燃え続けた不安などから環境汚染や集団下校などの緊急時対応に関する記事が7%を占めた。これは住民の生活圏とコンビナートが比較的近接していた結果であると考えられる。

紙面上では技術上の問題点と再発防止については多く取り扱われなかったが、これは、地震、タンクの複雑な構造、スロッシング現象など技術的にあまりにも専門的であり読者の理解が得られにくいと判断されたためと思われる。この事実は情報開示のあり方の今後の課題である。

### (2) 市民の生活環境被害についての考察

タンク火災による社会的影響として、異臭・煤・泡消火薬剤などの飛沫による住民への直接の影響があったが、北海道でも最重要な苫小牧西港が閉鎖されたことによる経済的損失も重大であり、フェリー欠航による住民への影響、小学校での集団下校など教育の現場でも影響があった。

一般市民感情を集約しているものの一つとして苫小牧市議会の議事内容に着目し市議会議事録を調査した結果、自家用車の汚れや悪臭など295件の苦情が行政当局に寄せられていた。その後の出光興産側の無料洗車や学校への火災の説明でかなり早い時点で収まってきた。その後の市民感情は必ずしも悪いものではなく、市経済に占める出光興産の割合が高いことがうかがえる。

### (3) 法律運用上の考察

消防法、石油コンビナート等災害防止法関連では過去発生した地震(宮城沖地震、日本海中部地震)などの教訓から法的整備が図られてきたが、今回の地震で被害があったタンクはいずれも改正前に建設された「旧法タンク」であり、全国的にも危険物タンクのほとんどが旧法タンクである実態からすれば、抜本的な対策が緊要である。

### (4) 防災体制の問題提起

今回のタンク火災に対して使用した泡消火薬剤は約647klであり、自社および苫小牧市消防本部、更に北海道が備蓄していた泡消火薬剤を充当したが、タンク火災を早期に消火することはできなかった。

このことにより、今後の防災体制や泡消火薬剤や大容量泡放射砲等の防消火資機材の保有について新たな問題が提起されたと思われる。今回はタンク全面火災と

なったため、広域の防災支援として各地域から泡消火薬剤が調達された。しかし災害の同時多発を考慮すると支援にも限界があるので、国として泡消火薬剤の備蓄など後方支援体制を整備すべきである。

併せて、今回のような危険物タンクの全面火災という事象を教訓として、行政・企業・社会が一体となって緊急時対応訓練を充実する必要がある。

#### (5) クライシスコミュニケーションからの考察

企業の体質、安全管理体制についての記事が多くの紙面を占めたことは、企業のクライシスコミュニケーションの重要性が判明したが、その中で最も重要なことは従業員に対してのクライシスコミュニケーションが不足しているため対応が後手にまわり火災発生にまで至ったものと思われる。「魁より始めよ」で先ず従業員からクライシスについての検討を進め、併せて社会に対する「クライシスコミュニケーション」の基盤の構築が必要であると考えられる。

## 8. まとめ

2003年9月に発生した北海道十勝沖地震が、やや長周期地震動を伴ったことにより、苫小牧市のコンビナート地域の石油施設に被害を及ぼし火災が発生した。この事実に着目し、火災事故の事実関係、地震発生メカニズム、石油タンクの耐震性を社会にわかり易く説明するとともに、耐震設計、防災技術上の問題点、防災体制・防災訓練・防災資機材の保有など国レベルでの問題点を提起した。併せて火災後の地元新聞記事等をもとに安全安心に関わる市民の反応を分析した。なお、今回のような地震等による大規模な事故発生時における災害情報等の情報開示のあり方について社会技術的な視点からの研究を更に継続する必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 気象庁 「2003年9月26日04時50分頃の釧路沖地震について(第2報)」
- 2) 消防研究所 畑山健, 座間信作 「十勝沖の際の長周期地震」(2003)
- 3) 地震調査研究推進本部・地震調査本部 「過去の地震発生状況(2003年9月26日十勝沖地震の評価)」
- 4) 危険物保安協会 「十勝沖地震被害調査緊急報告平成15年(2003年)十勝沖地震と屋外タンク貯槽の被害状況」

- 5) 土木学会編 『動的解析と耐震設計』第3巻 エネルギー施設(1989)
- 6) 危険物保安技術協会(2004) 「危険物事故事例セミナー」十勝沖地震に対する危険物施設における対応
- 7) 寺前哲夫ら 「過大なスロッシングを受けるタンク浮き屋根の最終強度」石川島播磨技報第24巻第6号(1984)
- 8) 物理探査辞典
- 9) 櫻井章雄 『地盤・耐震学』丸善(株)
- 10) 宇津徳治 『地震学』共立出版(株)
- 11) 小林喜久二 「K-Net 苫小牧観測点における2003年十勝沖地震の地震動特性と堆積地盤構造との関係」東京工業大学工学地震学・地震工学談話会資料(2003年)
- 12) 瀧澤一樹(東大) 「2003年十勝沖地震 - 震源過程・強震動過程・被害(勇払平野で発生するやや長周期の表面波)」(2003年9月)
- 13) 危険物保安技術協会 『Safety & Tomorrow』釧路市, 苫小牧市及び苫小牧東部工業地域における屋外タンク貯蔵所の被害状況(2004年5月)
- 14) 神奈川県 神奈川県地震被害想定調査報告書(地質地盤)(1985年3月)

## 謝辞

本研究にあたり、十勝沖地震およびタンク火災事故調査にご協力いただいた苫小牧市消防本部保安課長荒山彰氏、苫小牧市議会義務局の相武紹夫氏、北海道新聞記者の斉藤佳典氏、苫小牧民報記者、新日本石油精製(株)室蘭製油所の百成邦夫氏、事故および法規に係わる情報をいただいた危険物保安技術協会の長谷川和俊氏および柳澤大樹氏、タンク耐震設計に係わる技術情報をいただいた石川島播磨重工(株)石田和雄氏、新聞記事の統計的整理のご協力いただいた社会技術研究システム総括グループの村山敏泰氏および福原知宏氏、神奈川県環境農政部加藤洋氏の皆様にご支援をいただいたこと、記して謝意を表します。

---

本研究は社会技術研究システム ミッション・プログラムの一環として行われたものである。

---

## THE TECHNICAL OBSERVATION OF FIRE ACCIDENT OF OIL TANKS DUE TO EARTHQUAKE AND SUGGESTION FOR SOCIAL PROBLEMS

Ikuo HORI<sup>1</sup> and Toshinori KAWABATA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>B.A. Research Institute of Science and Technology for Society, Chemical Process Safety Research Group, Sub Leader  
(E-mail:i.hori@ristex.jst.go.jp)

<sup>2</sup>M.A.(Chemical Eng.) Research Institute of Science and Technology for Society, Chemical Process Safety Research Group  
(E-mail:kawabata@ristex.jst.go.jp)

On September 26, 2003, at Tokachi-Oki (southeast offshore of Hokkaido), a strong earthquake (Mj 8) occurred. The fire accident of a crude oil tank and a naphtha tank at the oil refinery located in Tomakomai City, occurred by this earthquake, generated sloshing in their tanks.

In this report, focusing on earthquake-proof measures for oil tanks, regulation trends and emergency procedures were examined from the viewpoint of science and technology for safety. In addition, the discrepancy between expert knowledge in the special field and understanding in lay people was discussed with a suggestion of better information disclosure.

**Key Words:** *Fire accident of Tanks, Seismic design, long-period seismic wave, Sloshing, Social anxiety*