

地震に強い石油備蓄基地の取組み 北海道胆振東部地震の対応について

北海道石油共同備蓄(株) 北海道事業所
技術課長 林 広道

1. 会社概要

私達の働く北海道事業所は、北海道の海の玄関口、苫小牧市にあります。

当社は、1973年のオイルショックを機に76年に制定された石油備蓄法に基づき、79年（昭和54年）に国と民間石油会社で設立されました。

その使命は、エネルギーの主役である石油を、必要な時にいつでも安定して供給するため、原油を安全に且つ効率よく備蓄することです。

79年に建設が始まり82年に完成、操業を開始しています。従業員は113名で、一本社一事業所体制です。管理する原油タンクは49基（苫小牧東部国家石油備蓄基地受託管理16基含む）あり、約450万キロリットルの原油の貯蔵管理を行っています。隣接する苫小牧東部国家石油備蓄基地を合わせると、原油タンクは90基となり、陸上タンク方式の備蓄基地としては、世界最大級の規模を誇ります。このように、タンクの数が多いこと、すなわち点検箇所が大変多いことが、備蓄基地の特徴なのです。



写真1 基地全景

備蓄会社の主要設備である原油タンクは、直径82m、高さ24.5m、容量は11万3千キロリットルです。その構造は、油面に屋根が浮いている浮屋根式タンクで図1に示す通りポンツーンといわれる隔室で、浮屋根全体を構成しているダブルデッキ型であります。

地盤は、深さ約15m程度までサンドコンパクションパイルを打ち込み、必要に応じてダイナミックコンソリデーション工法を加えた地盤改良を行っています。基礎は、アスモルと砕石ベースのRCリングタイプです。

タンクの設計水平震度は0.409、400ガル相当で作られています。

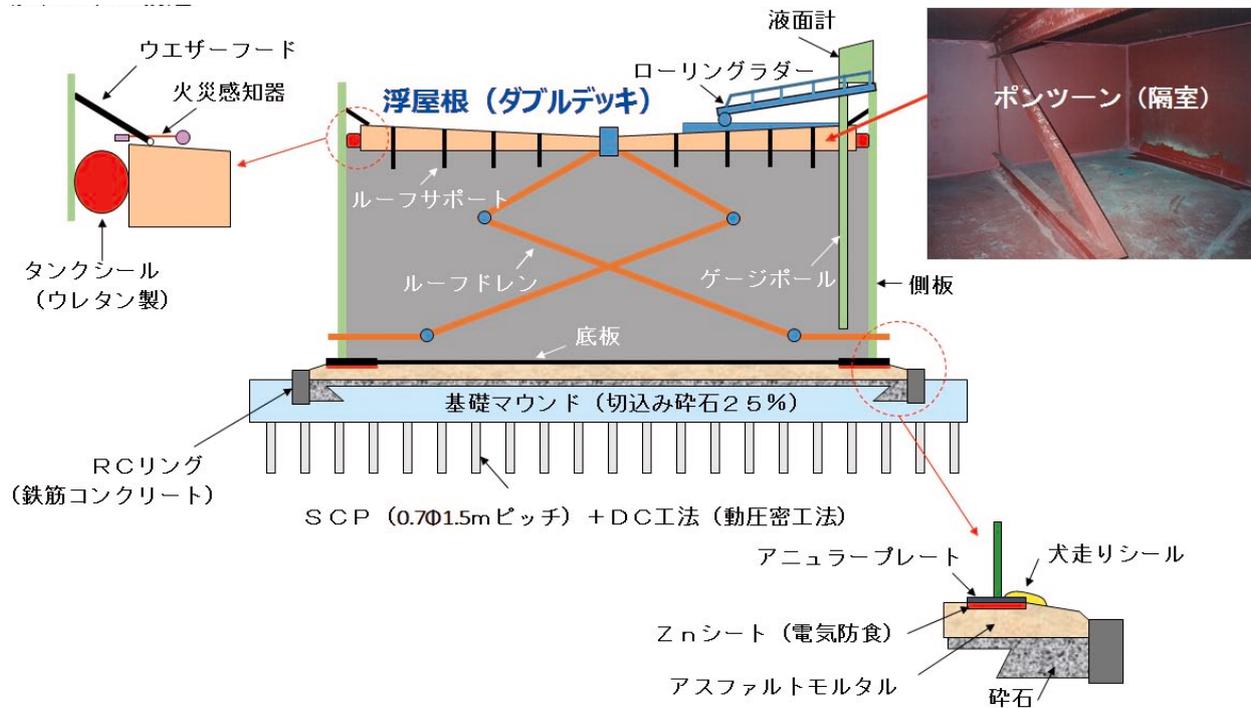


図1 原油タンクの構造

2. 過去の地震被害について

当社は、1982年の操業開始以来、10年から15年に一度の頻度で、6度に渡り地震による被害を受けてきました。図2に示すように、おおむね500km圏内でマグニチュード7を超えた地震が発生した場合、何らかの被害が生じております。そこで当社は20年以上前から、計画的に耐震診断と補強を実施してきました。

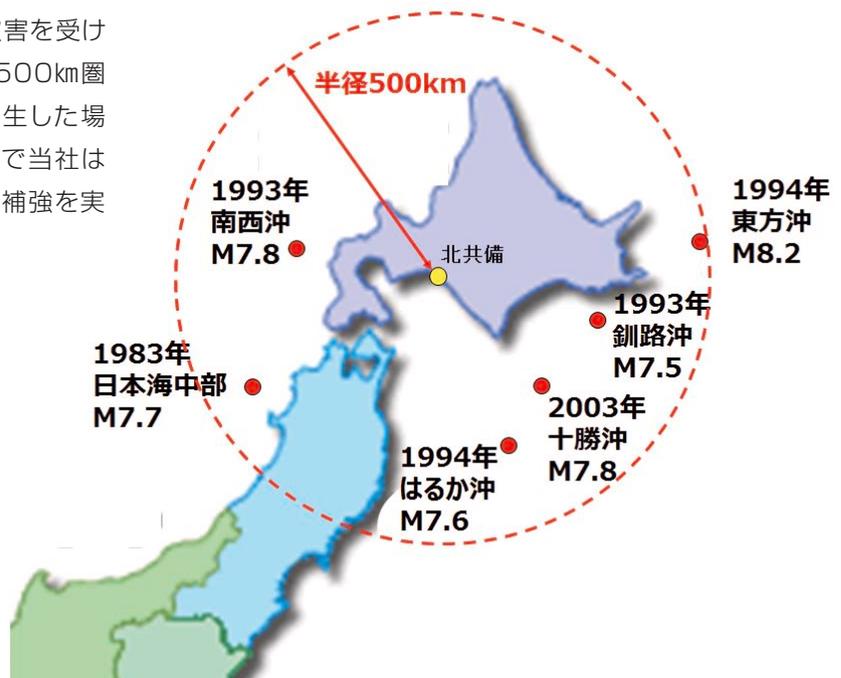


図2 設備に損傷があった過去の地震（1982～2017）

3. 耐震性強化への対応

火災漏洩の大きな災害につながる危険物施設については、現行の消防法を基に、耐震評価を行い、必要に応じてタンク基礎や浮屋根の補強を行っております。基礎については全数、浮屋根については一部メーカーに対して補強をタンクの開放工事に合わせて行っております。

表1 危険物施設耐震診断と対応実績

年は西暦

対象構造物	耐震評価	結果・対策	対応実績
原油タンク本体	95年実施	400gal強度有、対策不要	—
原油タンク基礎	95年実施	200→400galへ要補強	97～05年補強済
原油タンク浮屋根	04年実施	T社製ボンツーン自主補強	06～10年補強済
	17年実施	K社製ボンツーン自主補強	19～24年実施予定
基地内原油配管	14年実施	液状化の影響なし	—
移送配管（海中）	02年実施	強度有、対策不要	—
移送配管（陸上）	15年実施	液状化の影響なし	—
建屋内燃料小出槽	13年実施	槽架台ラックの要補強	14年補強済

*浮屋根の補強は、タンク開放検査に合わせて実施（9年周期）

危険物施設以外の本館事務所や各ユーティリティー施設建屋、建屋内の大型吊りダクトなども対象として耐震診断を行い、必要に応じた補強を行っています。

入出荷用の海上栈橋設備についても、最新の港湾基準に基づき耐震評価を行い、陸上の建屋と合わせ耐震補強はすべて完了しています。

4. 地震後初期対応の改善

(1) 地震早期警戒システム

これまで紹介してきたように、設備や建屋などのハードに対する地震の備えは、計画的に順次行ってきました。一方で、地震発生時の人と設備の安全を確保するというソフトの対応についても様々な観点から検討してまいりました。

最初に手掛けたのは、揺れる前に警報を発し、人と設備の安全を確保する地震早期警戒システムの導入です。これは、気象庁の緊急地震速報をサービス会社が受信し、地震波が当基地へ到達する時間と予想される震度を直ちに解析し、パソコン画面に表示されると同時に、基地内全域にサイレンが鳴り、主な部屋に設けたパトライト表示が点灯する仕組みとなっています。

緊急地震速報を受信と同時に、図3のような画面が表示されます。時間の経過とともに、震源地を中心としたP波を表す青い円とS波を表す赤い円が、同心円状に広がっていきます。画面の右側に予想震度と地震波の到達時間が示されます。当社の位置を正確に反映したピンポイントな予測を行います。

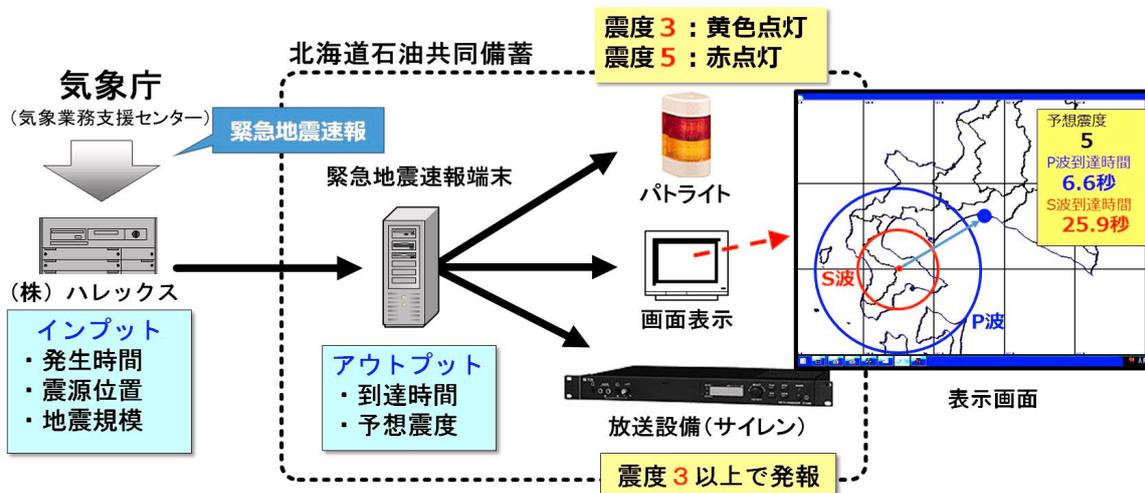


図3 地震早期警戒システム

地震早期警戒システムのサイレンが発報された場合、安全を確保するため回転機から離れたり、原油のバルブを緊急で閉めたりなどの最低限の行動をして退避します。また工事現場では、 Gondola や足場上などの高所作業者は、慌てて降りたりすると、かえって危険なので転落しないように手摺などへしっかり掴まります。クレーン作業では、速やかにつり荷を下ろし付近より離れます。これらの警報発令時の初期行動は、要領化して社員や協力会社含めた全員に周知徹底を行っています。

(2) 地震被害予測システム

地震早期警戒システムは、地震前に予測するシステムでしたが、地震が起きた後の初動対応を迅速かつ的確に行うための対応改善を紹介します。

備蓄基地では、同サイズ同液位で原油を貯蔵しているタンクが数多くあるので、地震後どこが損傷して、どこから点検を行えばいいのか、わからないのが実情でした。そこで、地震計からの地震情報、計器室からの液位情報、メーカーにより異なる浮屋根構造情報 から、縦揺れのバルジングと横揺れのスロッシングの解析を行い、タンクの損傷予測を行う地震被害予測システムを導入することといたしました。

通常このシステムは、図4の左側に示すようなタンク被害予測画面の表示をしています。これは、実際のタンクの配置をイメージして作りこんでおり、地震が発生し、計算結果から損傷の可能性があると判定された場合、正常を示す緑色から、損傷を示す赤や、損傷の可能性を示す黄色に変化します。

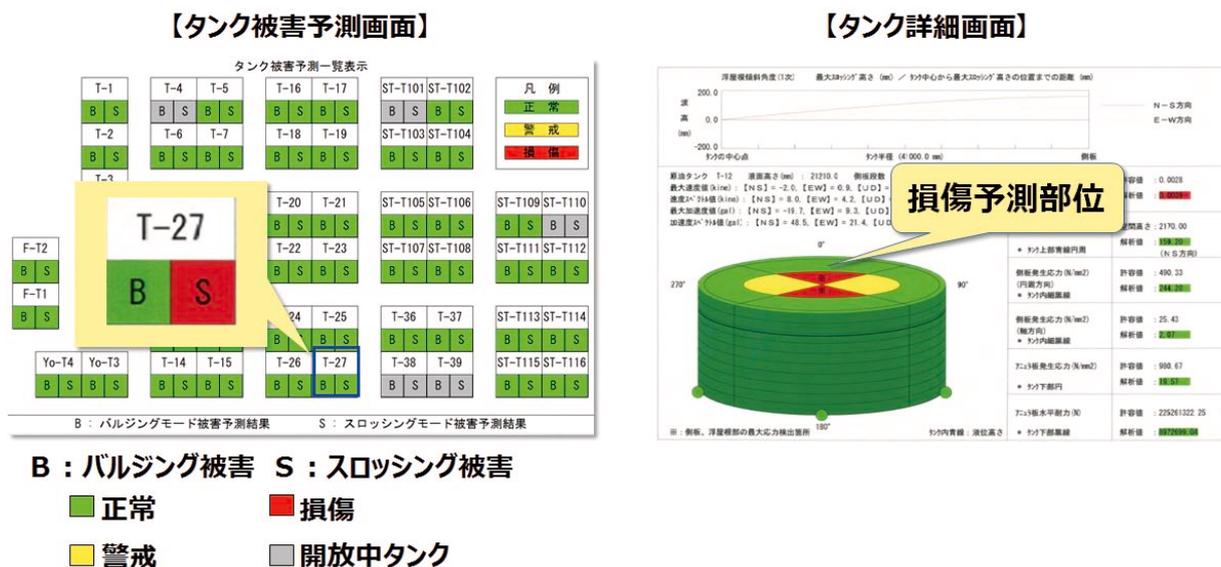


図4 地震被害予測システム

任意のタンクをクリックすると、個別の詳細画面に展開し、浮屋根内部ポンツーンの損傷など、見えない内部の損傷も予測します。このシステムは、緊急時においてもオペレーターが、瞬時に被害予測できるよう独自のこだわりをもって、作り上げたものです。このシステムにより、被害予想の大きなタンクを優先して確認することが可能となりました。

(3) 浮屋根監視システム

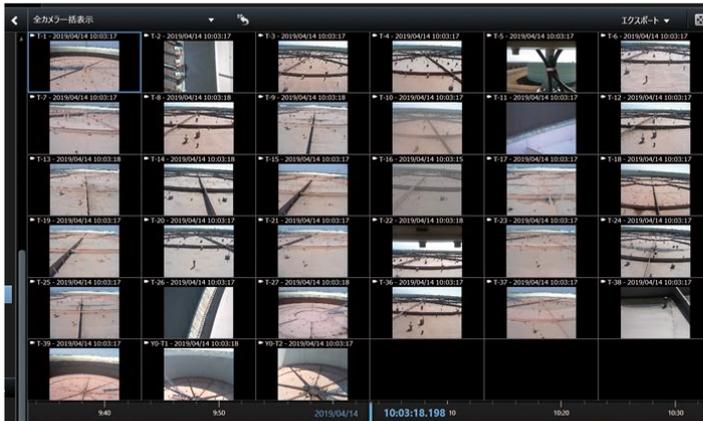
実際に大きな地震が発生すると浮屋根が揺れ、中の油が浮屋根上へ噴き出すことが懸念されるため、迅速で確実な浮屋根の状況確認が必要となります。そこで、余震が続いている中でも安全確実に状況が分かるように、浮屋根監視システムとしてタンク頂上へ監視カメラを設置いたしました。

カメラ1台で、直径8.2mの原油タンク浮屋根全体をカバーできます。また、角度を変えると隣接タンクや堤内の状況も見ることができます。これで、余震が続いている最中でも危険を冒してタンクに上らずに、浮屋根及びタンクの状況を把握することが可能となりました。

カメラの映像は、中央計器室の大型画面及び、事務所内のパソコンでも見ることができ、全タンク一括表示やタンクごとの個別画面に展開できます。もちろん、カメラの角度やズームアップなどの操作は、計器室や事務所からできます。

この浮屋根監視システムによる速やかな初期点検と、地震被害予測システムによる浮屋根内部の損傷予測を連携させて一体運用することで、より優先的に地震後のタンク点検が可能となりました。

浮屋根監視カメラ



全タンク一括表示画面



タンク個別表示画面

図5 浮屋根監視システム

5. 北海道胆振東部地震での検証

一連の初期対応改善が整った2016年から、2年が経った2018年9月6日、当社のわずか15kmしか離れていない場所を震源とした、北海道胆振東部地震が発生いたしました。北海道では初めて震度7を超え、タンクの設計震度400ガルを、はるかに上回る502ガル震度6弱の地震が当基地を直撃しました。その時の被害状況と対応を紹介いたします。

(1) 設備被害の状況

地震を受けて、火災や爆発などの大災害は発生しておりませんが、原油タンクを中心に、いくつかの損傷が生じています。表2は、原油タンクの被害をまとめたものです。タンクを開放しないと補修できない箇所を除き、現在のところ仮対応も含め、処置は終わっている状況です。一方、タンク以外の建屋や他の設備においては、基地操業に影響を与えるような被害は発生しておりません。これまで、20年以上にわたり行ってきた耐震性強化策が功を奏したと考えております。

損傷部位	損傷数	処置状況	備考
ローリングラダー損傷	19基/49基	19基/19基	
ゲージポール、回転止め損傷	32基/49基	30基/32基	残りはタンク開放時に補修
ポンツーン損傷	46基/49基	仮処置完了	全タンク開放時に本補修
液面計監視不可	22基/49基	完了	
タンク基礎犬走り亀裂	27基/49基	完了	

表2 原油タンクの被害状況



写真2 原油タンクの被害状況

(2) 地震時の初期対応

地震当日の初期対応はどうだったのか、導入したシステムは有効だったのか、地震後の対応について紹介いたします。

03:07地震発生後、ただちに監視カメラによる一括表示で設備の初期点検を開始。浮屋根の状況をざっくりと把握し、火災などの大きな災害はないと確認したのち、地震被害予測システムの解析結果から優先タンクを選定し、大きな余震が頻繁に起こる中、優先タンクからカメラによる個別の状況把握を行いました。その結果、浮屋根上に油の溢流が多く確認されたため、すぐに浮屋根雨水排水弁の閉止を指示しました。

地震発生日時：2018/09/06 03:07:50 計測時間(秒)：409.0
最大加速度値(gal)：【NS】=-468.2, 【EW】=-502.8, 【UD】=413.0
タンク被害予測一覧表示

T-1	T-4	T-5	T-16	T-17	ST-T101	ST-T102	凡例 正常 警戒 損傷		
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S			
T-2	T-6	T-7	T-18	T-19	ST-T103	ST-T104			
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S			
T-3	T-8	T-9	T-20	T-21	ST-T105	ST-T106			
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S			
F-T2	Yo-T2	T-10	T-11	T-22	T-23	ST-T107	ST-T108	ST-T109	ST-T110
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S
F-T1	Yo-T1	T-12	T-13	T-24	T-25	T-36	T-37	ST-T113	ST-T114
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S
Yo-T4	Yo-T3	T-14	T-15	T-26	T-27	T-38	T-39	ST-T115	ST-T116
B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S	B S

B：バルジングモード被害予測結果 S：スロッシングモード被害予測結果



タンク被害予測システムの解析結果

タンク浮屋根の個別カメラ画像

写真3 システムの状況

また、カメラによる事前確認の結果、社員が昇降する前にローリングラダーの脱輪や、タンクヤード全体の状況をつかむことができ、初期対応時における安全の確保が十分図れたものと考えております。

被害予測システムと監視カメラを駆使することで、余震が多発する中でも、短時間に少ない人数で、浮屋根上と周辺の状況把握を完了することができました。

地震に備え、迅速かつ確に初期対応を遂行できるよう取り組んできたことに対し、今回の地震で大変有効に機能したと検証ができました。

6. 今後に向けて

これまで、20年以上にわたり、こだわりをもって地震に備えてきたことが実を結びました。しかしながら、断水や、全道規模での食料の不足等、想定外の生活インフラの途絶により、BCPの見直しと強化が新たな課題となりました。例えば、断水が1か月にも渡り続く中、消火配管の圧力を利用して、浄水器を仮設し、5日目には独自で復旧させました。

今回の経験を客観的に評価したうえで、今後も、人・物・仕組みの三位一体で、災害対応力の向上に取り組んでいく計画です。



バケツによるトイレの対応



消火栓より工業用水を供給



浄水器を飲料水配管へ接続

写真4 仮設浄水器の設置