

一東日本大震災における危険物施設の被害概要一

地区ごとにみる屋外タンク貯蔵所関連設備の被害 ～「久慈地区」・「いわき地区」・「鹿島地区」～

危険物保安技術協会

1 はじめに

本誌前号 (Safety&Tomorrow139号) では「仙台地区」における東日本大震災の被害状況を報告しましたが、今回は、「久慈地区」、「いわき地区」及び「鹿島地区」の三地区について、危険物施設の被害状況を詳細に報告することとします。

本稿においても、地区名を便宜的に表記することとし、岩手県久慈市を「久慈地区」、福島県いわき市を「いわき地区」、また、茨城県鹿嶋市と神栖市を「鹿島地区」としています。

調査した地区は図1に示すとおりであり、岩手県北部の久慈地区、福島県南部のいわき地区、茨城県南部の鹿島地区といった東北北部から茨城県南部の太平洋側にかけての三地区における被害の状況を報告します。

改めて、今回報告する事業所の近くで観測さ

れた震度を記載します。

震度6弱：福島県いわき市、茨城県鹿嶋市

震度5強：茨城県神栖市

震度5弱：岩手県久慈市

2 調査対象

本稿で被害の状況を報告する危険物施設を、それぞれ地区ごとに紹介します。

久慈地区では、図2に示す国家石油備蓄基地の「A石油基地」と港湾地区にある「B油槽所」の2つの事業所の調査を実施しました。

いわき地区では、図3で示す「C油槽所」の1つの事業所の調査を実施しました。

また、鹿島地区では、図4の「D製油所」、「E発電所」、「F化学工場」の3つの事業所の調査を実施しました。

それぞれの事業所が所有する屋外タンク貯蔵所の基数を屋根形式別にとりまとめたものが表1になります。表1のそれぞれの事業所の下段には、各事業所が所有するタンク基数を、上段には、そのうちの「何らかの被害」があったタ



図1



図2 (久慈地区)



図3 (いわき地区)



図4 (鹿島地区)

表1 各事業所が所有するタンク基数と「何らかの被害があった」タンク基数
 (上段)：何らかの被害があったタンク基数 (下段)：各事業所が所有するタンク基数

地区	事業所	特定タンク				準特定タンク	計
		固定屋根	浮き屋根 (シングルデッキ)	浮き屋根 (ダブルデッキ)	内部浮き蓋付き 固定屋根	固定屋根	
久慈	A 石油基地	0	0	0	0	3	3
		0	0	0	0	3	3
	B 油槽所	0	0	0	0	1	1
		0	0	0	0	1	1
いわき	C 油槽所	12	6	1	1	0	20
		16	13	7	3	2	41
鹿島	D 製油所	0	0	2	0	0	2
		54	38	28	3	3	126
	E 発電所	0	0	4	0	0	4
		0	0	4	0	0	4
	F 化学工場	4	0	0	0	0	4
		4	0	0	0	0	4

ンク基数を示しています。いわき地区の「C油槽所」、鹿島地区の「E発電所」及び「F化学工場」では、タンク周辺地盤に液状化現象による噴砂痕が確認されましたが、その件数も「何らかの被害」の一つとして基数を計上しています。また、各事業所には、容量が500kl未満のタンクも数基ありましたが、これらのタンクの基数は計上していないことをあらかじめお断りしておきます。

3 形態別にみる被害の状況

これより以降、地区ごとに、また、形態別に被害の状況を説明することとします。

3.1 久慈地区

前項でも紹介したとおり、久慈地区では、2つの事業所の被害調査を実施しました。

A石油基地は、水封式の地下岩盤タンクによる約175万klの原油を貯蔵する国家石油備蓄基地です。図5、6は、A石油基地の地上設備の状況ですが、津波により壊滅的な被害を受けていることが分かります。原油を貯蔵する地下設



図 5



図 6



図 7



図 8

備は、津波が来る前に、地下設備に通じる地下トンネル入り口ゲートを閉める等、迅速な対応が取られたため、被害は全く発生していません。

B油槽所は、久慈港にある重油タンク4基を有する事業所です。当事業所のタンクも、津波により大きな被害を受けています。

3. 1. 1 津波による被害

(1) タンクの移動・転倒

A石油基地の地上には、岩盤タンクの底に貯まった地下水（底水排水）を貯蔵するための許可容量988.9klの準特定タンク3基の他、許可容量57.6klのスロップタンク2基と49.8klの重油タンク2基の合計7基の屋外貯蔵タンクが設置されていました。図7に示す準特定タンク3基は、当時約450klの底水排水が貯蔵されていましたが、津波により大きく流され、破損していることが分かります。そのうちの1基のタンクは、約100mも流されていました。

図7、8のタンクの損傷状態を見ると、前号で紹介した仙台地区の移動したタンクの状態とはだいぶ異なる様相を呈しており、凄まじい津波の波力を受けたことが分かります。

また、許可容量57.6klのスロップタンクも津波で大きな損傷を受けています（図9）。

次に、B油槽所におけるタンクの移動・転倒の状況を図10から図12までに示します。B油槽



図 9

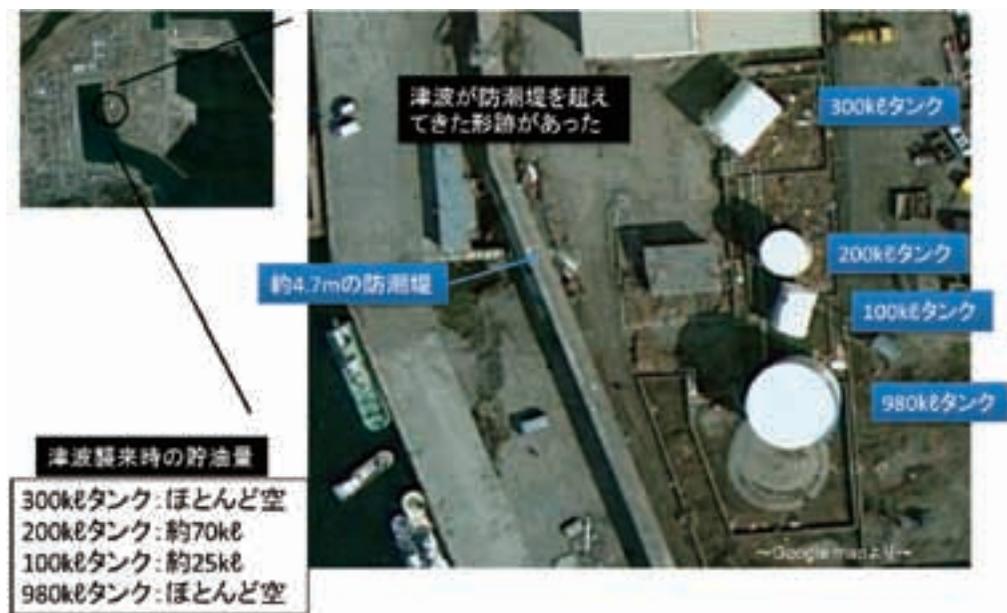


図10



図11



図12

所には、980kℓの準特定タンク 1 基と100kℓ、200kℓ、300kℓのそれぞれ 1 基、合計 4 基の重油タンクが設置されています。図10に、タンクの許可容量と当時の貯油量を示していますが、当時はほとんど空に近い状態であったことがわかります。また、当該油槽所の直近には、高さ約 4.7m の防潮堤が設置されており、この防潮堤を越えて津波がタンクヤードまで来ていることが確認できました。それぞれのタンクの津波浸水深さは確認できませんでしたが、図12で示すように、隣の建屋の壁には、地盤面より約4.5m

の高さの津波の痕跡が残っていました。4 基のタンクは、全て津波により移動・転倒していますが、A 石油基地の損傷度合いと比較すると、タンクの大きな破断・破損等はみられず、津波の波力はある程度、防潮堤によって抑えられたものと推測することができます。

(2) 配管の破断

図13、14に A 石油基地の受入配管等の破断状況を示します。配管の損傷度合いもタンク同様、仙台地区の損傷とはだいぶ異なる様相を呈しており、津波の凄まじい波力によって損傷し



図13



図14



図15



図16



図17



図18

たことがわかります。

図13の配管は原油の移送配管であり、当時は空の状態であったとのことですが、直径32インチ（約80cm）、板厚10.3mmの配管が、写真のように引き裂かれた状態で破断しており、改めて津波の凄まじさが痛感させられます。

(3) その他、地上設備の被害

その他、A石油基地の地上設備に受けた被害

の状況を紹介します。消火ポンプ室（図15）や自家発電設備（図16）、蒸気設備（図17）といった地上設備は、壊滅的な被害を受け、図18に示す当事業所の防災船も座礁し、全損しています。

このように、久慈地区では、津波による大きな被害を受けています。

3. 2 いわき地区

いわき地区のC油槽所は、電力会社等に供給

表2 C油槽所の浮き屋根被害

デッキ板形状	浮き屋根新基準		総基数(基)	被害のあったタンク基数(基)		
				浮き屋根の変形	ローリングラダー変形	デッキ板上滞油
シングル	対象	適合済	2	0	1	1
		未適合	10	1	3	3
	対象外	1	0	0	0	
ダブル	対象外		7	0	1	0
計			20	1	5	4

するための原油等を貯蔵することを目的として、容量10万kl級のタンクを所有する大きな油槽所です。当事業所では、津波による被害は見られず、長周期地震動による浮き屋根の損傷、短周期地震動による液状化被害が確認されました。長周期地震動による被害と短周期地震動による被害とに分けて説明します。

3. 2. 1 長周期地震動による被害

C油槽所には、浮き屋根式特定タンクが合計20基設置されています。浮き屋根に被害のあったタンク基数を表2に示します。いわき地区での浮き屋根被害も、仙台地区同様、浮き屋根の沈没・傾斜といった大きな浮き屋根被害は見られず、ローリングラダーの変形やデッキ板上への滞油が主な被害となっています。浮き屋根新基準（平成17年総務省令第3号等に規定された改正後の浮き屋根の基準）に適合した浮き屋根に、ポンツーンの変形やデッキ板の損傷といった主要部分の破損は見られませんでした。

(1) 浮き屋根の変形

C油槽所が所有する浮き屋根式特定タンクのうち、浮き屋根ポンツーンの上板に座屈変形が生じたタンクが1基確認できました(図19)。ただし、ポンツーン内への滞油はありません。このタンクは、許可容量が74,610klのシングルデッキタイプであるため、浮き屋根新基準に適合させることが必要なタンクですが、まだ経過措置期間中であることから、このタンクの浮き



図19

屋根は、地震時には浮き屋根新基準に適合していない状態でした。地震時は、貯油量73,519kl、液位19.106m（許可液面高さは19.716m）であり、ほぼ満液に近い状態で油が貯蔵されていました。当時の液位から計算されるスロッシング高さ1.98mに対して、側板に残った油の痕跡から推定する実際のスロッシング高さは0.66mであったことから、実際に発生したスロッシング高さは、消防法令上想定するスロッシング高さよりは低かったことが分かりました。

そこで、このタンクの浮き屋根を現状の構造で、現行消防法令の浮き屋根評価手法に照らし、強度評価を実施してみることとしました。消防法令上想定する液面揺動のモードは、図20に示すような一次モードと二次モードの液面揺動を想定し、そのスロッシングに対する浮き屋根の耐震評価を実施することとされています。その

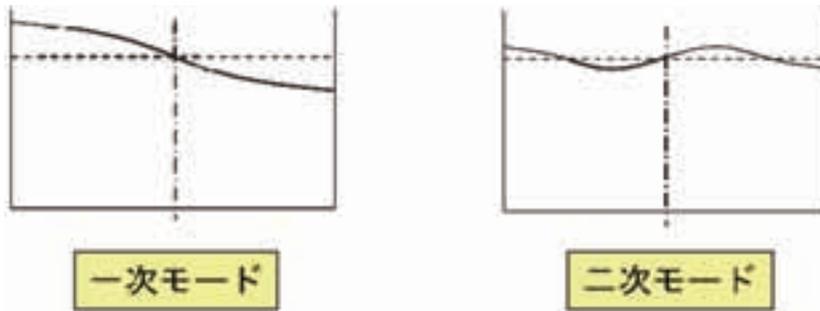


図20

計算の結果、このタンクの浮き屋根は、消防法令上想定されるスロッシングの一次モード、二次モードのいずれにおいても、十分な強度を有していることが分かりました。

実際に発生したスロッシングは低かったにも関わらず、ポンツーン上板の変形が発生したことから、この変形の原因を調査する必要があると考えます。

(2) 液面揺動（スロッシング）

C油槽所が所有する浮き屋根式タンク20基のうち、12基のタンクについて、実際のスロッシング高さが確認できました。この12基のタンク

において、地震当時の貯油量（液位）から、消防法令上の計算で求まるスロッシング高さを実測したスロッシング高さを比較したものが表3になります。

表3を見て分かる通り、地震によって発生したスロッシング高さは、計算上求まる一次モードのスロッシング高さを大きく下回る結果となりました。二次モードのスロッシングに対しては、若干大きめのものもありますが、いわき地区で発生したスロッシングは、二次モードに近い液面揺動が起こったものと思われます。

タンク側板に残ったスロッシングの痕跡の状

表3 計算スロッシング高さを実測スロッシング高さの比較

タンク	直径 (m)	高さ (m)	屋根形式	許可容量 (kl)	地震時				実測スロッシング高さ (m)
					容量 (kl)	液位 (m)	計算上のスロッシング高さ (m)		
							一次モード $\eta_{\max}^{(1)}$	二次モード $\eta_{\max}^{(2)}$	
A	74.600	24.275	S	95,430	89,018	20.331	2.04	0.35	0.70
B	74.600	24.275	S	95,460	94,390	21.473	2.08	0.35	0.29
C	74.600	24.275	S	95,510	91,829	20.971	2.06	0.35	0.20
D	69.750	21.855	S	74,610	73,519	19.106	1.98	0.34	0.66
E	66.830	21.855	S	68,600	7,055	2.113	0.75	0.19	0.24
F	66.830	21.855	S	68,590	9,267	2.752	0.86	0.21	0.14
G	66.830	21.855	S	68,520	42,132	12.518	1.71	0.32	0.78
H	69.750	21.855	S	74,630	61,074	16.632	1.90	0.33	0.70
I	69.750	21.855	S	74,310	52,080	14.180	1.80	0.33	0.80
J	62.500	22.000	W	60,200	30,108	10.223	1.57	0.31	0.60
K	62.500	22.000	W	60,200	7,654	2.659	0.84	0.21	0.37
L	62.500	22.000	W	60,200	19,033	6.515	1.30	0.28	0.62



図21



図22



図23



図24

況を図21に示します。図21のタンクは表3のAに該当するタンクです。スロッシングにより、外周のチューブシールゴムと側板との間から高く吹き上げた油の痕跡がありますが、このタンクに発生した実際のスロッシング高さは、0.70mと推定されています。

また、図22はスロッシングにより、油がウインドガーダー上に飛散したところを示すもので、このようにタンク外に油が飛散したタンクを2基確認することができました。

(3) ローリングラダーの変形・損傷

C油槽所では、ローリングラダーに変形が生じたタンクを5基確認できました。図23は表3のAに該当するタンクであり、図24はDに該当するタンクですが、ローリングラダーの変形が生じた5基のタンクは全て、写真のように、

ローリングラダーの中央部分で変形・損傷が発生していました。

3. 2. 2 短周期地震動による被害

いわき地区においては、3月11日の本震で、震度6弱を観測しましたが、1ヶ月後の4月11日と翌日の12日にも、震度6弱の大きな揺れの余震を観測しています。

いわき地区での短周期地震動による被害は、タンク本体と基礎の沈下やタンク周辺地盤の噴砂現象等、液状化による被害が多く発生しています。また、タンク基礎の沈下により、側板頂部が開くなど、二次的な被害も発生しています。

(1) タンク本体と基礎の沈下

C油槽所では、液状化現象によるタンク本体と基礎の沈下、犬走り部のひび割れ等、多くの



図25（4月8日時点）



図26（6月23日時点）



図27（4月8日時点）



図28（6月23日時点）

タンクで液状化現象による被害が見られました。また、3月11日の本震により発生した被害が、4月11日、12日の余震により、さらに拡大していることも分かりました。

図25と図26の2枚の写真（表4のMタンク）と図27と図28の2枚の写真（表4のNタンク）は、それぞれ同一タンクの同一箇所での沈下の状況を示したものです。図25、27が、1回目の調査を実施した4月8日の時点での状況、図26、28が、2回目の調査を実施した6月23日の状況で、多少の撮影アングルの違いはありますが、沈下の程度が拡大していることが分かります。

また、C油槽所の全危険物タンク41基中、19基のタンクにおいて、4月の余震後に不等沈下量（率）がさらに大きくなったタンクがあることも分かりました。その中の3基のタンクにつ

いて、前回開放時に測定した不等沈下量と併せて、不等沈下の変化の状況を表4に示します。

C油槽所では、余震前後の状況を見る限り、余震によって、タンクの不等沈下が拡大したのみならず、タンク全体的な沈下の進行もあったものと思われます。

図29と図30は、表4のAに該当するタンクの沈下の状況と犬走りのひび割れが発生した状況を示すものです。C油槽所では、容量7万～10万kl級の大きなタンクにおいても、タンク本体や基礎の沈下、犬走りのひび割れが多く確認されています。

(2) タンク側板の変形及び側板頂部の開口

タンクの基礎・地盤が液状化により沈下したもののうち、タンク側板頂部（トップアングル部）に変形、開口が発生したタンクが2基確認



図29



図30

表 4 4月11日及び12日の余震前後による不等沈下の変化

タンク	タンク直径	(上段)：不等沈下量 (下段)：不等沈下率		
		前回開放時 (平成20,21年)	3/11本震後	4/11余震後
M	20.342m	52mm	294mm	331mm
		1/391	1/69	1/61
N	20.342m	39mm	283mm	306mm
		1/521	1/71	1/66
A (表3のAと同一タンク)	74.600m	143mm	275mm	300mm
		1/522	1/271	1/249

されました(図31、32)。この2基のタンクは、直径20.342m、許可容量5,000klと4,900klの同規模のコーンルーフトankであり、隣どうしに設置されています。このタンク間の地盤は、大きく沈下していました(後述の図39~41)。

図32のタンクは、本震直後に側板頂部の開口が確認されましたが、図31のタンクは、4月11日の余震により、側板頂部が開口する被害が発生しました。また、本震で側板頂部が開口した図32のタンクの被害の度合いは、余震によりさらに拡大していることが分かりました(図33、34)。

これら2基のタンクで発生した側板頂部開口の発生のシナリオを図35に示します。

当該タンクの底板は、本来、凹1/60の勾配で設計されており、タンク中心部分は、側板より

約15cm低くなるような構造となっていました。そのような勾配の底板が、今回の地震による基礎・地盤の沈下に伴い、タンク側板部は相対的に大きく沈下し、その結果、タンク側板部は、中心部より逆に約50cmも低くなるような地震前の底板とは全く逆の勾配となってしまいました。また、底板部の一部は盛り上がった箇所もありました。

側板部はトップアングルと屋根と一緒に大きく沈下しようとするのに対し、タンク中心部には固定屋根の支柱があるため、屋根の中心部は沈下に抵抗するような(逆に突き上げるような)状態になったことにより、タンク側板の頂部は、変形し、さらに開口にまで至ったものと考えられています。



図31 (表4のMタンク)



図32 (表4のNタンク)



図33 (4月8日時点)



図34 (6月23日時点)

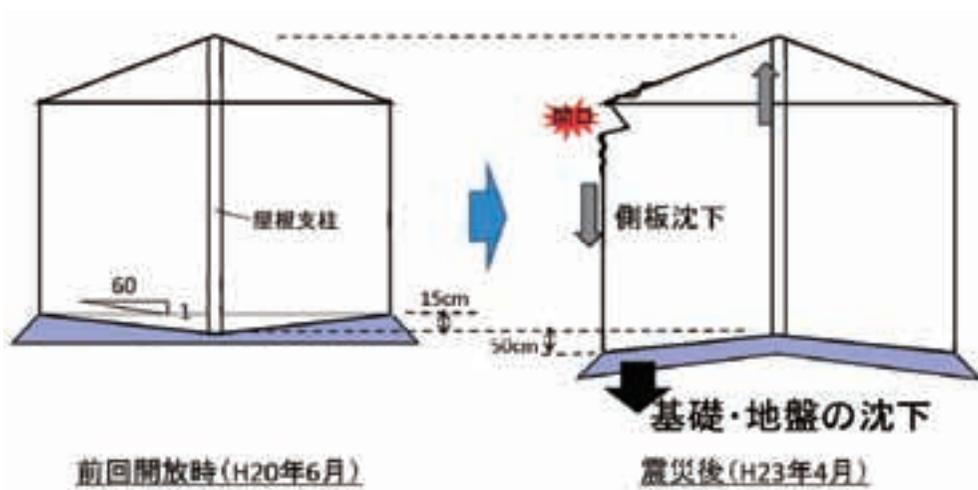


図35

(3) タンク底板溶接線の割れ

上記(2)で紹介した余震後に側板頂部が開口した図31のタンクは、タンクの沈下に伴い、さらに、底板の溶接線が割れるといった二次的な被害が底板部にも発生しています。

図36に示すように、溶接線に割れが発生した箇所は、底板 (SS41, $t = 6 \text{ mm}$) の重ね溶接継ぎ手部であり、タンク中央部の固定屋根支柱の直近で発生しています。その状況を図37、38に示します。溶接線の割れ長さは85mmであり、この重ね溶接継ぎ手部から約50mm離れたところには、腐食防止用の当板が設置されていました。

タンク基礎・地盤の大きな沈下により、底板

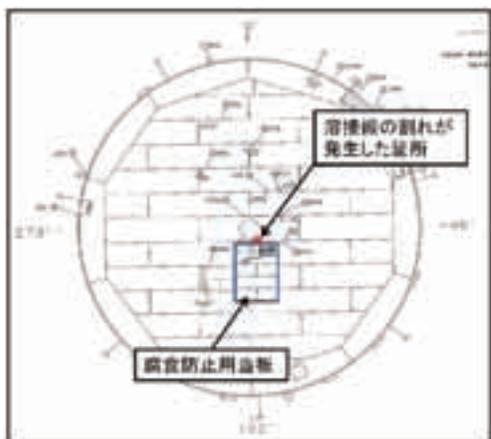


図36



図37

の勾配が全く逆の勾配になってしまったことと、6 mm という薄い隅肉溶接であったこと等、複数の要因が重なり、当該部分の溶接線が割れるという事象が発生したものと思われます。

(4) タンク周辺地盤の沈下、隆起、噴砂痕

液状化現象によりタンクの周辺地盤が大きく沈下し、場所によっては一部隆起している部分を確認されました。図39は、側板頂部が開口したタンク (表4のMとN) 間の地盤の状況であり、地盤の沈下、一部隆起、また、噴砂痕が見られます。図39は、4月8日時点での状況ですが、図40と図41は、6月23日時点での同一箇所を別の角度から撮影したものです。

また、基礎に杭基礎を採用しているタンクにおいて、地盤の沈下によって、杭基礎のスラブ下に高さ約25cmの空隙が発生したタンクが2基確認されました (図42)。これらの空隙には、エアモルタルが充填される対策が講じられています。

(5) タンクの浮き上がり

短周期地震動のロッキング現象により、浮き上がったと思われるタンクが2基確認されました。そのうちの1基のタンクは、図43に示すようなアンカーが取り付けられているタンクであ



図38



図39 (4月8日時点)

り、アンカーが埋め込まれた犬走り部分にひび割れが発生していました。

(6) タンク側板の割れ

4月の余震後に、タンク側板のウィンドガードサポート溶接部で、側板に貫通割れが発生したタンクが1基確認されました。

このタンクは、直径74.6m、許可容量95,510kℓの原油タンクです。側板の貫通割れが発生した箇所は、側板の8段目であり、側板の材質はHW50、板厚は11mmの板になります。また、



図40 (6月23日時点)



図41 (6月23日時点)

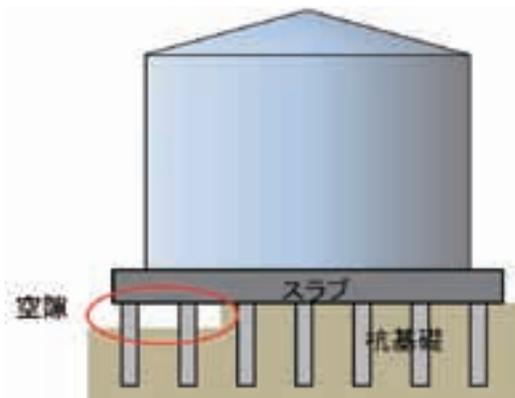


図42



図43

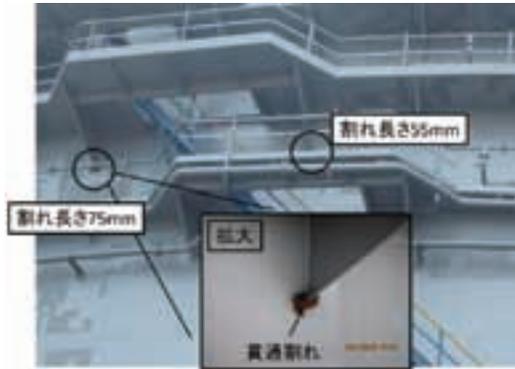


図44



図45



図46



図47

当該箇所は、廻り階段がウィンドガーダーを貫通している箇所であり、他のサポート部よりは、大きな形状をしたウィンドガーダーサポートとなっていました（図44）。そこに発生した2箇所の貫通割れは、それぞれ55mmと75mmの長さの割れです。図45は、ウィンドガーダーサポート溶接部をタンク内面側から撮影したもので、側板の割れの状況がよく分かります。

3. 3 鹿島地区

鹿島地区では、多くの屋外貯蔵タンクを有するD製油所と火力発電所のE発電所、また、基礎化学製品用の危険物を取り扱うF化学工場の3つの事業所の危険物施設について調査を実施しました。改めて、鹿島地区の3つの事業所の位置図を図46に示しますが、堀割の水路を挟

んで南側にD製油所、北側にE発電所とF化学工場があります。鹿島地区において被害が顕著となっているのは、いわき地区同様、短周期地震動による液状化現象による被害となっています。ただし、この液状化現象による被害は、堀割の水路を挟んで、南側と北側では大きな違いが出ています。鹿島地区における被害の状況を形態別に説明することとします。

3. 3. 1 津波による被害

(1) シーバースと護岸部分の破損

鹿島地区における津波の被害は、護岸部にとどまり、製油所等の施設内に津波が遡上するといった被害は発生していません。護岸部の被害の状況を図47に、護岸部の法面の崩壊とシーバースの破損の状況を図48に示します。



図48

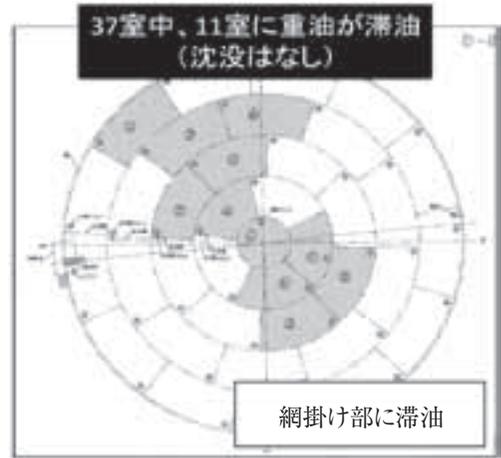


図49



図50



図51

3. 3. 2 長周期地震動による被害

(1) 浮き屋根ポンツーンの破損

鹿島地区では、E発電所が所有するダブルデッキの浮き屋根のポンツーンが破損し、ポンツーン内に滞油した事象が1件確認されています。当該タンクは、直径46.0m、許可容量32,778kℓで、浮き室を37室有するダブルデッキの浮き屋根式特定タンクです。図49に示すように、全浮き室37室中、11室に滞油が確認されました。浮き室の約3分の1が浮力を失うこととなりましたが、十分な浮力性能を有するダブルデッキの浮き屋根構造であったことから、この浮き屋根は沈没に至っておりません。

当該タンクは、地震当時、貯油量は17,010kℓ、

液位は10.270mであり、約半分程度の油が貯蔵されていました。ゲージポールに残った摩擦痕を目測すると、約2.0mのスロッシングがあったものと推測することができました。

油の抜き取り後に実施されたポンツーンの破損状況の調査では、浮き屋根の下板とリング板とが変形したり下板の溶接線が割れたりしている箇所が16箇所も確認されました。図50は、浮き屋根下板相互の溶接線及び下板とリング板との溶接線が破断している箇所を浮き室内部から撮影したものです。図51は、同箇所をタンク内（浮き屋根下側）から撮影したものです。浮き屋根下板相互の溶接線のみならず、板の母材まで破断していることが分かります。

表5 鹿島地区におけるスロッシング高さ

タンク	直径 (m)	高さ (m)	屋根形式	許可容量 (kℓ)	地震時				実測スロッシング高さ (m)
					容量 (kℓ)	液位 (m)	計算上のスロッシング高さ (m)		
							一次モード $\eta_{\max}^{(1)}$	二次モード $\eta_{\max}^{(2)}$	
A	50.200	22.000	W	39,242	35,200	18.005	1.79	0.29	1.23
B	80.200	21.970	W	98,119	97,200	19.583	2.05	0.36	1.10
C	46.000	22.000	W	32,778	17,010	10.270	1.51	0.27	2.00*

※ゲージポールに残った摩擦痕を目測



図52

(2) 液面揺動 (スロッシング)

鹿島地区では、D 製油所と E 発電所の2つの事業所が浮き屋根式特定タンクを所有しています。側板に残ったスロッシングの痕跡の状況を図52に示します。また、そのうちのスロッシングを確認できた3基のタンクについて、消防法令上の計算で求まるスロッシング高さを実測のスロッシング高さとを比較したものを表5に示します。

比較する数は少ないですが、鹿島地区では長周期地震動により発生したスロッシングが、計算で求まる一次モードのスロッシングに対して、仙台地区、いわき地区同様、若干低い傾向であったことが分かります。しかしながら、実際に発生したスロッシング高さは、いわき地区のものよりは若干大きめであることや、ダブルデッキの浮き屋根が破損した事象を鑑みると、

鹿島地区に発生した長周期地震動による浮き屋根の挙動は、同じ太平洋側であっても、いわき地区とは若干の違いがあったものと思われます。

3. 3. 3 短周期地震動による被害

(1) 液状化による防油堤の倒れ等

鹿島地区では、液状化現象による被害は、堀割の水路を挟んだ南側と北側では、大きな差が生じています。水路の南側に位置するD製油所では、ほとんど液状化現象による被害は見られませんでした。それとは対比的に、水路の北側に位置するE発電所とF化学工場は、液状化による大きな被害が発生していました。

E発電所における防油堤の被害の状況を図53から図56までに示します。防油堤は大きく転倒、沈降し、また、防油堤の目地部も大きく裂け、防油堤の機能を全く果たせない状態になっていることが分かります。

鹿島地区のF化学工場における液状化による防油堤の被害を図57～59に示します。

当事業所は、防油堤目地部にゴム製の可撓性材を採用しています。防油堤目地部に設けるゴム製可撓性材に関しては、阪神・淡路大震災における防油堤等の被害を踏まえ、平成10年3月20日付消防危第32号及び同年3月25日付消防危第33号通知で、その性能等が規定されました。図57に示す防油堤目地部では、ゴム製可撓性材が耐え得る範囲の防油堤の変位であり、ゴム製可撓性材により防油堤の機能がしっかりと保た



図53



図54



図55



図56



図57



図58



図59

れていることが分かります。しかしながら、図58の目地部では、ゴム製可撓性材が追従できないほど大きな変位が発生したことから、ゴム製可撓性材も取付ボルト部分から引き抜け、大きく目地部が開いている状況が分かります。

また、図59は、図58を反対側から撮影した状況ですが、防油堤外も噴砂痕が確認され、配管ラックを見て分かる通り、大きく沈下していることが分かります。

4 被害のまとめ

以上、被害を形態別に分け、詳細に説明してきましたが、今回の東日本大震災で発生した久慈地区、いわき地区及び鹿島地区における危険物施設の被害を地区ごとにまとめると、表6～表8のとおりとなります。表をとりまとめるに当たり、いくつかの条件付けを行いましたので、

その条件を記載します。

- ・屋外タンク貯蔵所に関連する被害は、容量500kl以上の準特定タンク貯蔵所以上とした。ただし、久慈地区のみ、準特定タンク未満の被害も把握できたことから、基数を計上した。
- ・防油堤の被害は、直近に位置するタンクに発生した被害として、基数を計上した。
- ・いわき地区で発生した「タンク本体及び基礎の沈下、犬走りのひび割れ」の基数には、「タンク沈下による側板頂部の開口」と「底板溶接線の割れ」の基数も含む。
- ・鹿島地区では、シーバースの破損も別途、計上した。

5 おわりに

今回紹介した三地区の被害は、津波によるもの、長周期地震動及び短周期地震動によるものと、さまざまな形態で、かつ、甚大な被害が発生していました。

久慈地区においては、津波による甚大な被害を目の当たりにし、改めて津波の凄まじさ、脅威というものを思い知らされました。また、いわき地区及び鹿島地区では、液状化によるタンク本体や防油堤の甚大な被害を目の当たりにすると、土台となるもの（タンクや防油堤という基礎や地盤）の重要性を改めて痛感させられました。

表6 久慈地区における被害を受けたタンク基数

被害の要因		被害の形態	基数	
			準特定タンク以上	準特定タンク未満
津波	タンク	移動・転倒・損壊	4	6
	基礎	流出、犬走り等の破損	4	6
	地盤	洗掘	4	7
	防油堤	破損	3	4
	配管	移動・変形	4	7

※久慈地区における準特定タンク未満（容量500kl未満）のタンク基数は、全部で7基。

表7 いわき地区における被害を受けたタンク基数

被害の要因		被害の形態	基数
			準特定タンク以上
長周期	スロッシング	ボンツーンの変形	1
		デッキ板上の滞油・油の痕跡	4
		ローリングラダー変形	5
		側板最上端からの危険物飛散	2
短周期	液状化	タンク本体及び基礎の沈下、犬走りのひび割れ	12
		タンク沈下による側板頂部の開口	2
		底板溶接線の割れ	1
		タンク周辺地盤の大きな沈下・隆起	2
		防油堤（仕切堤）の損傷	6
		地盤の噴砂痕	11
		杭基礎スラブ下の空隙	2
	ロッキング	タンクの浮き上がり	2
	その他	側板の割れ	1

表8 鹿島地区における被害を受けたタンク基数

被害の要因		被害の形態	基数	
			準特定タンク以上	その他
津波	シーバース	破損	—	2
長周期	スロッシング	ボンツーン内滞油	1	—
		デッキ板上滞油・油の痕跡	3	—
短周期	液状化	防油堤の倒れ・破損	6	—
		地盤の噴砂痕	8	—

今回の三地区、合計6事業所の調査においても、地元消防本部及び事業所の方々のご協力のもと、計画的な調査の実施と本稿のとりまとめを行うことができました。この場をお借りし、

御礼申し上げます。

次号は、日本海側の「酒田地区」及び「新潟地区」の二地区の被害について詳細に報告することとしています。