

## 第 2 章

# 災 害 想 定



## 第2章 災害想定

### 防災アセスメント調査の実施

平成 16 年の石油コンビナート等災害防止法の一部を改正する法律により、防災計画の修正に際しての科学性・客観性を確保するため、科学的知見に基づく災害の調査・予測・評価を行う「防災アセスメント」の実施が、防災本部に法律上の努力義務として規定された。このことから、本県における石油コンビナート等特別防災区域において起こり得る災害の想定を行うため、特定事業所が所有する危険物タンクや高圧ガスタンク等について、平常時の事故や地震時における被害の危険性を評価することを目的に、消防庁の「石油コンビナートの防災アセスメント指針」（平成 13 年消防庁特殊災害室策定、以下「消防庁指針」という。）による調査手法に基づき、平成 16 年度に調査を実施した。その後、東日本大震災（平成 23 年 3 月 11 日）やその後の特別防災区域に係る大規模災害の被害状況等を踏まえた消防庁指針の改訂（平成 25 年 3 月）を受け、平成 26 年度には、平成 16 年度調査の結果を見直すとともに、津波に起因する被害や大規模災害時の評価を新たに実施した。

### 第1節 評価の手法

本調査は、原則として消防庁の指針に基づいて実施する。この指針に基づく手法の概要は以下のとおりである。

#### 1. 基本的な考え方

リスクは、好ましくない事象(例えば事故や災害)の発生危険度と発生したときの影響度の積として表わされ、一般的に次のように定義される。

$$R = \sum F_i \cdot C_i$$

$R$  : 評価対象とする施設のリスク

$F_i$  : 事象*i*の発生危険度

$C_i$  : 事象*i*が発生したときの影響度

事象の発生危険度 ( $F_i$ ) は確率または頻度によって定量化される。

確率は、 $N$  回の試行に対するある事象の出現回数を  $n$  回としたとき  $n/N$  として表わされ、0 と 1 の間の無次元数（単位を持たない数）となる。

頻度は、一定期間にある事象が出現する回数で、リスク評価では 1 年あたりの出現回数として「/年」という単位をつけて表わされることが多い。

事象によっては 1 年に 1 回以上出現するようなものも考えられ、確率のように 0 と 1 の間になるとは限らない。

リスク評価では、故障の発生確率や事故の発生頻度といった非常に小さな数値を扱うため、次のような指数表示がよく用いられる。

○ $10^{-2}$	確率 → 100 回に 1 回発生
	頻度 → 100 年に 1 回発生
○ $5 \times 10^{-3}$	確率 → 200 回に 1 回発生
	頻度 → 200 年に 1 回発生
○ $2 \times 10^{-3}$	確率 → 500 回に 1 回発生
	頻度 → 500 年に 1 回発生

一方、事象が発生したときの影響度（ $C$ ）に関しては、評価の目的に応じて災害の物理的作用(放射熱，爆風圧など)により被害を受ける範囲の大きさ，あるいは死者数や負傷者数などの人的被害が用いられる。

石油コンビナートの防災アセスメントにおいても，このようなリスクの概念を導入して評価を行う。評価にあたっては，まず石油コンビナートに存在する非常に多くの施設の中から，評価対象とする施設を選定することになる。選定にあたって考慮すべき要因は主に次のとおりである。

- ①取扱う危険物質の量(貯蔵量または滞留量)
- ②取扱う危険物質の性状(引火点，爆発性，毒性等)
- ③石油コンビナート区域外の一般地域・施設との距離

選定した施設に対して，一般的なリスク評価手順に従って災害の発生危険度(頻度または確率)と影響度を推定し，これらをもとに個々の施設や石油コンビナート全体に関するリスクの評価を行う。

ただし，災害の発生危険度と影響度の積としてのリスク表現を用いるのではなく，これらの両面から危険性を総合評価することにより想定すべき災害を抽出し，リスクの低減に必要な防災対策の検討を行うものとする。図 2.1.1 図に防災アセスメントの基本概念を示す。

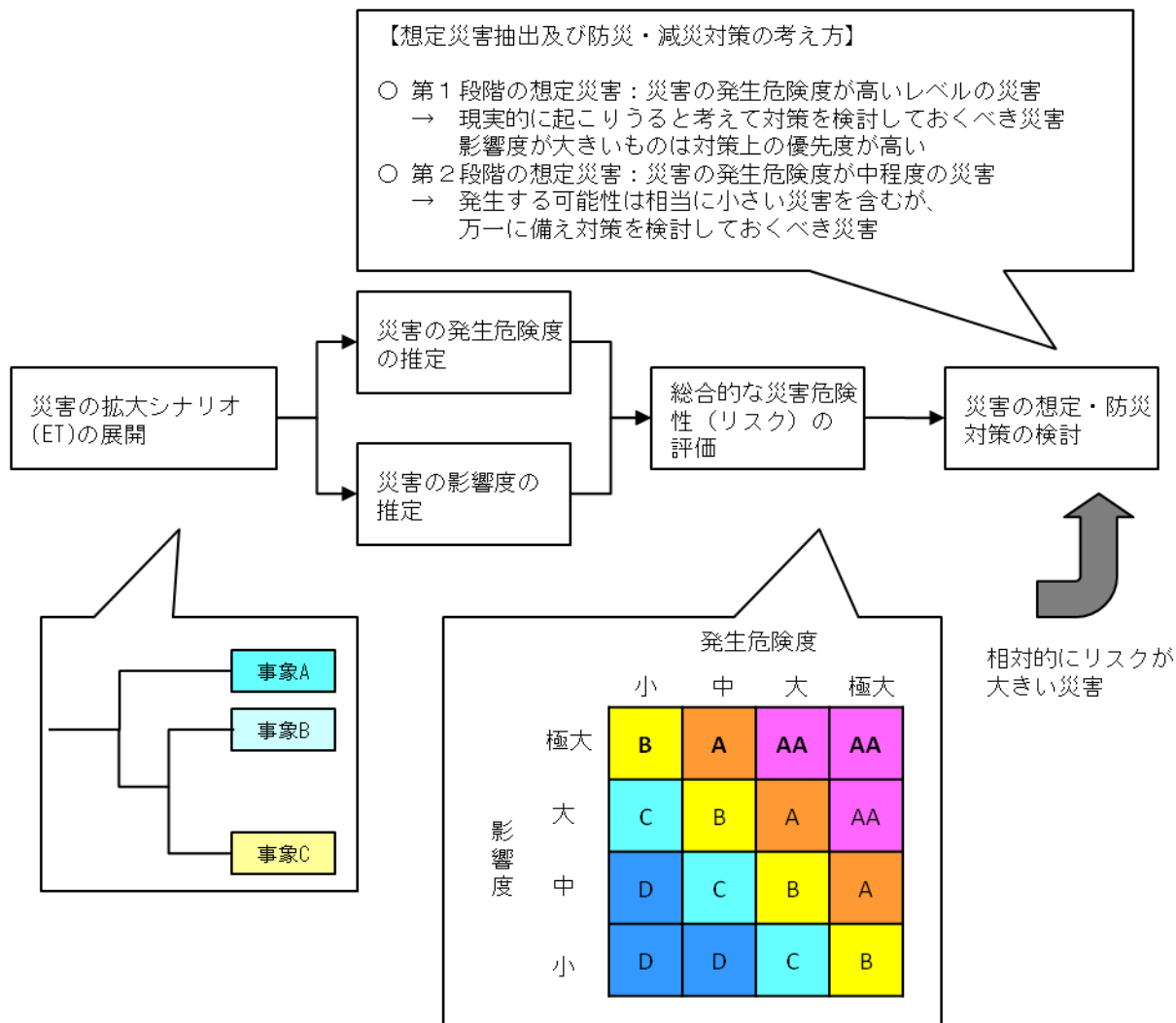


図 2.1.1 防災アセスメントにおけるリスク評価の基本概念

## 2. 災害の発生危険度の推定

災害の発生危険度(頻度・確率)の推定には、主にイベントツリー解析(ETA)とフォールトツリー解析(FTA)を適用する。ETA は、発端となる事象(初期事象)から出発し、これが拡大していく過程を各種防災設備や防災活動の成否、火災や爆発の発生の有無などによって枝分かれ式に展開し、解析する手法である。図 2.1.2 に示すように、初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を与えることにより、ツリーの中間や末端に現れる各事象の発生頻度を求めることができる。

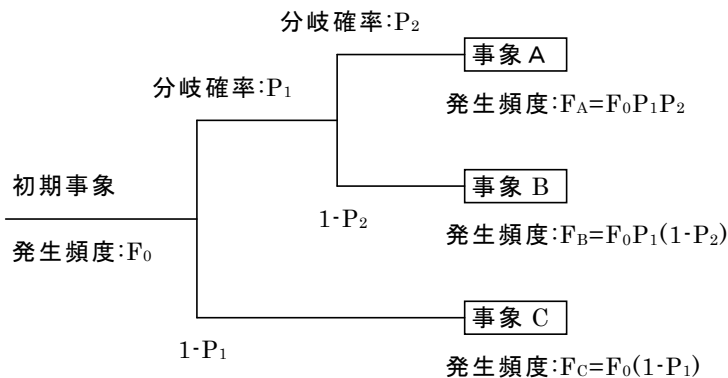


図 2.1.2 イベントツリー(ET)の概念

一方 FTA は、ある設備の故障といった事象を先頭に置き(頂上事象)、この原因となる事象を次々にトップダウン式に展開していく手法である。ある事象の原因となる下位のいくつかの事象は、AND と OR の 2 種類のゲートで結合される。図 2.1.3 に示すように、末端事象の発生確率が与えられると、これをゲートの種類に応じて足し合わせるか掛け合わせて次々と上位事象の発生確率を算出していき、最後に頂上事象の発生確率が求められる。FTA は、ETA の中の分岐確率を推定するときに適用する。

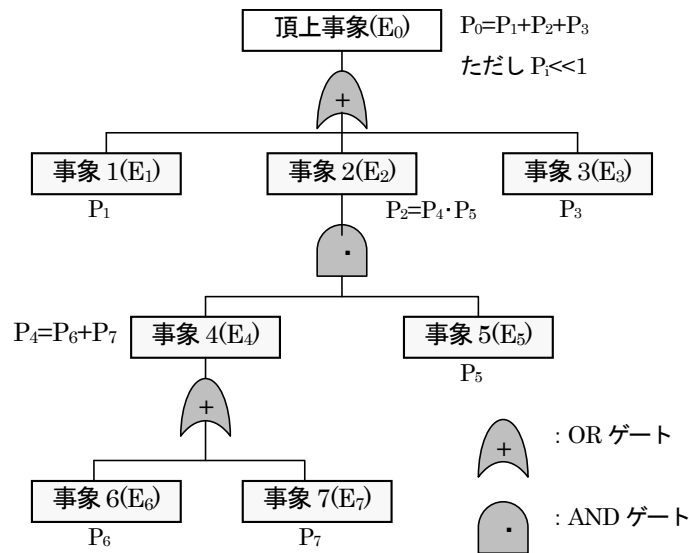


図 2.1.3 フォールトツリー (FT) の概念

災害の発生・拡大シナリオを展開するにあたって、まず対象施設において平常時や地震時に発生すると考えられる初期事象を設定する。

このようなことを考慮した主要施設の初期事象設定を表 2.1.1 に示す。

ここで、「小破」と「大破」はかならずしも明確に区分できるものではなく、災害想定を行ううえで便宜的に設定するものである。

表 2.1.1 主要施設における初期事象の設定

施設種別		初期事象
危険物タンク		○配管の小破による漏洩
		○タンク本体の小破による漏洩
		○配管の大破による漏洩
		○タンク本体の大破による漏洩
		○浮き屋根シール部の損傷・漏洩(浮き屋根式)
		○タンク屋根板の損傷(固定屋根式/内部浮き蓋付き)
高圧ガスタンク	可燃性ガスタンク (LPG, LNG, ガスホルダーを含む)	○配管の小破による漏洩
		○タンク本体の小破による漏洩
		○配管の大破による漏洩
		○タンク本体の大破による漏洩
	毒性ガスタンク	○配管の小破による漏洩
		○タンク本体の小破による漏洩
		○配管の大破による漏洩
		○タンク本体の大破による漏洩

毒劇物液体タンク		○配管の破壊による漏洩
		○タンク本体の小破による漏洩
		○タンク本体の大破による漏洩
プラント	製造施設	○装置の小破による漏洩
		○装置の大破による漏洩
	発電施設	○装置の小破による漏洩
		○装置の大破による漏洩
タンカー棧橋	石油タンカー棧橋	○配管の破損による漏洩
	LPG・LNG タンカー棧橋	○配管の破損による漏洩
パイプライン	危険物配管	○配管からの漏洩
	高圧ガス導管	○導管からの漏洩

### 3. 災害の影響度の推定

災害の影響度は、基本的に放射熱，爆風圧，拡散ガス濃度といった物理的作用が基準値(人体に対する許容限界)を超える範囲の大小により判断する。

可燃性物質や毒性物質を取り扱う施設で漏洩などの事故が発生した場合，液面火災，ガス爆発（蒸気雲爆発），フラッシュ火災，毒性ガス拡散など種々の災害現象により周囲に影響を与える可能性がある。

石油コンビナートの主要な施設について，起こり得る主な災害現象と適用モデルの種類を一般的にまとめたものを表 2.1.2 に示す。

解析モデルは，指針「参考資料 2 災害現象解析モデルの一例」で示されたものを用いる。

表 2.1.2 石油コンビナートにおける主要な施設の災害現象と適用モデルの種類

施設種類	考えられる災害の形態	主な適用モデルの種類
危険物タンク	○ 液体流出→液面火災 ○ タンク火災（液面火災）	○ 液体流出（流出火災） ○ 火災面積（流出火災） ○ 放射熱（液面火災）
可燃性ガスタンク	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 ファイアーボール フラッシュ火災 ○ 気体流出→噴出火災 蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発（過熱液体） ○ ガス拡散 ○ 爆風圧（爆発） ○ 放射熱（ファイアーボール）
毒性ガスタンク	○ 液体流出→蒸発→拡散（毒性） ○ 気体流出→拡散（毒性）	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発（過熱液体） ○ ガス拡散
毒性液体タンク	○ 液体流出→蒸発→拡散（毒性）	○ 液体流出 ○ 蒸発（揮発性液体） ○ ガス拡散
プラント	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 ファイアーボール フラッシュ火災 蒸発→拡散（毒性） ○ 気体流出→噴出火災 拡散→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 拡散（毒性）	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発（過熱液体） ○ 火災面積（流出火災） ○ ガス拡散 ○ 爆風圧（爆発） ○ 放射熱（液面火災） ○ 放射熱（ファイアーボール）

タンカー 棧橋	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 蒸発→拡散（毒性）	○ 液体流出 ○ 蒸発（過熱液体） ○ 火災面積（流出火災） ○ ガス拡散 ○ 爆風圧（爆発） ○ 放射熱（液面火災）
パイプ ライン	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 蒸発→拡散（毒性） ○ 気体流出→噴出火災 拡散→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 拡散（毒性）	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発（過熱液体） ○ 火災面積（流出火災） ○ ガス拡散 ○ 爆風圧（爆発） ○ 放射熱（液面火災）

#### 4. 基準値の設定

物理的作用の解析モデルは、一般に発災地点からの距離と放射熱、爆風圧、ガス拡散濃度などの作用強度との関係を表わしたものである。

作用強度に対して表 2.1.3 に示す基準値を設定し、強度がこの値を超える距離を求めて影響範囲とすることになる。

表 2.1.3 放射熱、爆風圧、ガス拡散濃度等の基準値

液面火災の放射熱	1 分間以内で人体皮膚に第2度の火傷(熱湯をかぶったときになる程度の火傷で、水ぶくれ、発赤等を伴うが、痕は残りにくい)を起こす熱量	2.3kW/m <sup>2</sup>
爆風圧	Clancey(1972)による「安全限界」(95%の確率で大きな被害はない)とされ、家の天井が一部破損する、窓ガラスの10%が破壊されるとされる圧力	2.1kPa
可燃性ガス拡散	爆発下限界濃度(LEL)の1/2	
毒性ガス拡散	米国国立労働安全衛生研究所が提唱する限界値で、30分以内に自力で脱出しないと元の健康状態に回復しない濃度	IDLH(Immediate Dangerous to Life and Health)による 例) 塩素10ppm アンモニア300ppm
ファイヤーボール	30秒で人体の皮膚に第2度の火傷を引き起こす熱量 (JIS8024:2009熱及び火災に対する防護服－火災及び放射熱曝露時の熱伝達測定方法)	4.5kW/m <sup>2</sup>



## 第2節 評価対象施設

本調査においては、宮城県の各石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所に存在する以下の施設を対象とし、施設構造、危険物や高圧ガス等の貯蔵・取扱状況、防災設備の設置状況に関するデータ収集を行った。

対象区域に存在する施設で、次に掲げるものを対象とする。

- ① 危険物タンク：容量 500kl 以上の屋外タンク貯蔵所
- ② 高圧ガスタンク：高圧ガス保安法に規定する保安距離が 48m以上（KW が 10 の 6 乗以上）の LPG タンク， LNG タンク， ガスホルダー， 毒性ガスタンク（表 2.1.1 に該当するもの）
- ③ 毒劇物液体タンク
- ④ プラント：生産設備（危険物製造所，高圧ガス製造施設），発電施設
- ⑤ タンカー棧橋：石油タンカー棧橋，LPG タンカー棧橋，LNG タンカー棧橋
- ⑥ パイプライン：危険物配管及び高圧ガス導管のうち，事業所間で敷設されたもの

表 2.1.1 毒性物質

石油コンビナート等災害防止法で指定された毒物・劇物	毒物	四アルキル鉛，シアン化水素，フッ化水素
	劇物	アクリロニトリル，アクロレイン，アセトンシアンヒドリン，液体アンモニア，エチレンクロルヒドリン，塩素，クロルスルホン酸，硅フッ化水素酸，臭素，発煙硝酸，発煙硫酸
その他の毒性物質		硫化水素，硫黄，ホスゲン

### 第3節 平常時の事故を対象とした評価

#### 1. 危険物タンクの災害拡大シナリオ

##### (1) 可燃性液体タンク

###### 起こりうる災害事象

可燃性液体タンクでは想定する災害事象を流出火災及びタンク火災とした。

危険物タンク(可燃性)の配管及びタンク本体からの漏洩に関する ET を図 2.3.1 から図 2.3.4 に示す。ET 図から危険物タンク(可燃性)で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
小量流出火災	可燃性液体が漏洩し、タンク周辺で着火し火災となる。緊急遮断により短時間で停止する。	DE1
中量流出火災	可燃性液体が漏洩し、タンク周辺で着火し火災となる。緊急遮断に失敗し、流出はしばらく継続し停止する。	DE2
仕切堤内流出火災	漏洩停止の遅れ、もしくは失敗により漏洩を停止することができず、流出が仕切堤内に拡大し、仕切堤内で火災となる。	DE3
防油堤内流出火災	流出油が仕切堤を超えて拡大し、防油堤内で火災となる。(仕切堤がない場合も含む)	DE4
防油堤外流出火災	流出油が防油堤外に流出し火災となる。	DE5

タンク屋根部分で出火した場合の ET を浮き屋根式の場合を図 2.3.5 に、固定屋根式及び内部浮き蓋付きの場合を図 2.3.6 に示す。ET 図から危険物タンクで起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
タンク小火災	タンク屋根で火災が発生し、消火設備により短時間で消火される。	DE6
リング火災	火災の消火に失敗し、浮き屋根シール部でリング状に拡大する。(浮き屋根式タンク)	DE7
タンク全面火災	火災がタンクのほぼ全面に拡大する。	DE8
タンク全面・防油堤火災	火災がタンクのほぼ全面に拡大し、多量の油をタンク外に押し出し、防油堤内で火災となる。	DE9

##### (2) 毒性危険物タンク

###### 起こりうる災害事象

危険物タンク(毒性)の配管及びタンク本体からの漏洩に関する ET を図 2.3.7 から図 2.3.10 に示す。ET 図から危険物タンク(毒性ガス)で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
小量流出・拡散	危険物が漏洩し、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で毒性ガスが拡散する。	DE1
中量流出・拡散	危険物が漏洩し、緊急遮断に失敗し、流出はしばらく継続し停止する。タンク周辺で毒性ガスが拡散する。	DE2
仕切堤内流出・拡散	漏洩停止の遅れ、もしくは失敗により漏洩を停止することができず、緊急移送により対処する。仕切堤内で毒性ガスが拡散する。	DE3
防油堤内流出・拡散	危険物が仕切堤を超えて拡大し、防油堤内で毒性ガスが拡散する。(仕切堤がない場合も含む)	DE4
防油堤外流出・拡散	危険物が防油堤外に流出し、毒性ガスが拡散する。	DE5

## 2. 高圧ガスタンクの災害拡大シナリオ

### (1) 可燃性ガスタンク

#### 起こりうる災害事象

高圧ガスタンクで想定する災害事象を可燃性ガスでは火災・爆発とした。

高圧ガスタンク(可燃性)の配管及びタンク本体からの漏洩に関するETを図2.3.11から図2.3.14に示す。

ET図から高圧ガスタンク(可燃性)で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
小量流出爆発・火災	可燃性ガスが流出し、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE1
中量流出爆発・火災	可燃性ガスが流出し、緊急遮断に失敗し、流出はしばらく継続し停止する。タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE2
大量流出(長時間) 爆発・火災	流出を停止することができず、緊急移送により対処。長時間に渡って大量に流出する。タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE3
大量流出(短時間) 爆発・火災	配管の大破により短時間で大量に流出するが、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE4
全量流出(長時間) 爆発・火災	長時間に渡って全量が流出する。タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE5
全量流出(短時間) 爆発・火災	配管及びタンク本体の大破により短時間に全量が流出し、タンク周辺で着火し、爆発または火災が発生する。	DE6

## (2) 毒性ガスタンク

### 起こりうる災害事象

毒性ガスタンクで想定する災害事象は毒性ガス拡散とした。

高圧ガスタンク(毒性)の配管及びタンク本体からの漏洩に関する ET を図 2.3.15 から図 2.3.18 に示す。

ET 図から高圧ガスタンク(毒性)で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。タンク本体の大破の場合は緊急遮断失敗の経路をたどると設定した。

災害事象	様相	
小量流出・毒性拡散	毒性ガスが流出し、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で大気中に毒性ガスが拡散する。	DE1
中量流出・毒性拡散	毒性ガスが流出し、緊急遮断に失敗し、流出はしばらく継続し停止する。タンク周辺で大気中に毒性ガスが拡散する。	DE2
大量流出(長時間) ・毒性拡散	流出を停止することができず、緊急移送により対処する。長時間に渡り流出し、タンク周辺で大気中に毒性ガスが拡散する。	DE3
大量流出(短時間) ・毒性拡散	配管の大破により、短時間で大量に流出するが、緊急遮断により短時間で停止する。タンク周辺で大気中に毒性ガスが拡散する。	DE4
全量流出(長時間) ・毒性拡散	長時間に渡って全量が流出する。タンク周辺で大気中に毒性ガスが拡散する。	DE5
全量流出(短時間) ・毒性拡散	配管及びタンク本体の大破により短時間に全量が流出し、毒性ガスが拡散する。	DE6

## 3. 毒性液体タンクの災害シナリオ

### 起こりうる災害事象

毒性液体タンクの配管またはタンク本体からの漏洩に関する ET を図 2.3.19 から図 2.3.21 に示す。ET 図から毒性液体タンクで起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
小量流出・毒性拡散	毒性ガスが漏洩し、緊急遮断により短時間で停止する。大気中に毒性ガスが拡散する。	DE1
中量流出・毒性拡散	毒性ガスが漏洩し、緊急遮断に失敗し、流出はしばらく継続し停止する。大気中に毒性ガスが拡散する。	DE2
大量流出(長時間) ・毒性拡散	流出を停止することができず、緊急移送により対処する。長時間に渡り流出し、大気中に毒性ガスが拡散する。	DE3
全量流出(長時間) ・毒性拡散	長時間に渡って全量が流出する。大気中に毒性ガスが拡散する。	DE4
全量流出(短時間) ・毒性拡散	タンク本体の大破により短時間に全量が流出し、毒性ガスが拡散する。	DE5

#### 4. プラントの災害シナリオ

プラントについては製造施設(危険物製造所, 高圧ガス製造施設)と発電施設で評価を行う。

##### (1) 製造施設

###### 起こりうる災害事象

製造施設の装置からの漏洩に関する ET を図 2.3.22 から図 2.3.29 に示す。ET 図から製造施設で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

###### ア 危険物製造所(可燃性)

災害事象	様相	
少量流出・火災	少量の内容物(ユニット内の一部)が流出し、プラント周辺で火災となる。	DE1
ユニット内全量流出(長時間)火災	ユニット内の内容物が長時間に渡り流出し、プラント周辺で火災となる。	DE2
長時間流出(大量)火災	流出を停止することができず、長時間に渡り複数のユニットの内容物が大量に流出し、プラント周辺で火災となる。	DE3
ユニット内全量流出(短時間)火災	ユニット内容物の全量が短時間で流出し、プラント周辺で火災となる。	DE4
大量流出・火災	装置の大破により、短時間に複数のユニットの内容物が流出し、プラント周辺で火災となる。	DE5

###### イ 危険物製造所(毒性)

災害事象	様相	
少量流出・ガス拡散	少量の内容物(ユニット内の一部)が流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE1
ユニット内全量流出(長時間)ガス拡散	ユニット内の内容物が長時間に渡り流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE2
長時間流出(大量)ガス拡散	流出を停止することができず、長時間に渡り複数のユニットの内容物が大量に流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE3
ユニット内全量流出(短時間)ガス拡散	ユニット内容物の全量が短時間で流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE4
大量流出・ガス拡散	装置の大破により、短時間に複数のユニットの内容物が流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE5

ウ 高圧ガス製造施設(可燃性ガス)

災害事象	様相	
少量流出・爆発・火災	少量の内容物(ユニット内の一部)が流出し、プラント周辺で爆発・火災となる。	DE1
ユニット内全量流出(長時間)爆発・火災	ユニット内の内容物が長時間に渡り流出し、プラント周辺で爆発・火災となる。	DE2
長時間流出(大量)爆発・火災	流出を停止することができず、長時間に渡り複数のユニットの内容物が大量に流出し、プラント周辺で爆発・火災となる。	DE3
ユニット内全量流出(短時間)爆発・火災	ユニット内容物の全量が短時間で流出し、プラント周辺で爆発・火災となる。	DE4
大量流出・爆発・火災	装置の大破により、短時間に複数のユニットの内容物が流出し、プラント周辺で爆発・火災となる。	DE5

エ 高圧ガス製造施設(毒性ガス)

災害事象	様相	
少量流出・ガス拡散	少量の内容物(ユニット内の一部)が流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE1
ユニット内全量流出(長時間)ガス拡散	ユニット内の内容物が長時間に渡り流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE2
長時間流出(大量)ガス拡散	流出を停止することができず、長時間に渡り複数のユニットの内容物が大量に流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE3
ユニット内全量流出(短時間)ガス拡散	ユニット内容物の全量が短時間で流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE4
大量流出・ガス拡散	装置の大破により、短時間に複数のユニットの内容物が流出し、毒性ガスが大気中に拡散する。	DE5

## (2) 発電施設

### 起こりうる災害事象

発電施設の装置からの漏洩に関する ET を図 2.3.22, 図 2.3.23 に示す。ET 図から発電施設で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
少量流出・火災	少量の内容物(ユニット内の一部)が流出し、プラント周辺で火災となる。	DE1
ユニット内全量流出(長時間)火災	ユニット内の内容物が長時間に渡り流出し、プラント周辺で火災となる。	DE2
長時間流出(大量)火災	流出を停止することができず、長時間に渡り複数のユニットの内容物が大量に流出し、プラント周辺で火災となる。	DE3
ユニット内全量流出(短時間)火災	ユニット内容物の全量が短時間で流出し、プラント周辺で火災となる。	DE4
大量流出・火災	装置の大破により、短時間に複数のユニットの内容物が流出し、プラント周辺で火災となる。	DE5

## 5. タンカー棧橋の災害シナリオ

タンカー棧橋については石油タンカー棧橋と LPG・LNG タンカー棧橋で評価を行う。

### (1) 石油タンカー棧橋

#### 起こりうる災害事象

石油タンカー棧橋の配管からの漏洩に関する ET を図 2.3.30 に示す。ET 図から石油タンカー棧橋で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
少量流出火災(オイルフェンス内)	緊急遮断により短時間で停止し、流出油はオイルフェンスにより拡散防止される。オイルフェンス内で火災となる。	DE1
少量流出火災(オイルフェンス外)	緊急遮断により短時間で停止するも、流出油はオイルフェンスによる拡散防止に失敗し、拡散後着火し火災となる。	DE2
大量流出火災(オイルフェンス内)	緊急遮断に失敗し、大量に流出するも、流出油はオイルフェンスにより拡散防止される。オイルフェンス内で火災となる。	DE3
大量流出火災(オイルフェンス外)	緊急遮断に失敗し、大量に流出した流出油はオイルフェンスによる拡散防止に失敗し、拡散後着火し火災となる。	DE4

## (2) LPG・LNG タンカー 棧橋

### 起こりうる災害事象

LPG・LNG タンカー 棧橋の配管からの漏洩に関する ET を図 2.3.31 に示す。ET 図から LPG・LNG タンカー 棧橋で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

災害事象	様相	
小量流出爆発・火災	緊急遮断により短時間で停止し、流出したガスに着火して爆発または火災となる。	DE1
大量流出爆発・火災	緊急遮断に失敗し、大量に流出し着火して爆発または火災となる。	DE2

## 6. パイプラインの災害シナリオ

パイプラインについては危険物配管(可燃性、毒性)と高圧ガス導管(可燃性ガス、毒性ガス)で評価を行う。

### (1) 危険物配管

#### 起こりうる災害事象

危険物配管からの漏洩に関する ET を図 2.3.32 から図 2.3.33 に示す。ET 図から危険物配管で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。

#### ア 危険物配管(可燃性)

災害事象	様相	
小量流出・火災	小量が流出し、着火により火災となる。	DE1
中量流出・火災	緊急遮断・停止に失敗するも、バルブ手動閉止により漏洩が停止する。着火により火災となる。	DE2
大量流出・火災	緊急遮断・停止、バルブ手動閉止に失敗し、漏洩が継続する。大量に流出した危険物に着火して火災となる。	DE3

#### イ 危険物配管(毒性)

災害事象	様相	
小量流出・毒性拡散	小量が流出し、拡散防止に失敗して大気中に拡散する。	DE1
中量流出・毒性拡散	緊急遮断・停止に失敗するも、バルブ手動閉止により漏洩が停止する。拡散防止に失敗して大気中に拡散する。	DE2
大量流出・毒性拡散	緊急遮断・停止、バルブ手動閉止に失敗し、漏洩が継続する。拡散防止に失敗して大量に大気中に拡散する。	DE3

### (2) 高圧ガス導管

#### 起こりうる災害事象

高圧ガス導管からの漏洩に関する ET を図 2.3.34 から図 2.3.35 に示す。ET 図から高圧ガス導管で起こりうる事象を抽出すると次のようになる。



ア 可燃性ガス

災害事象	様相	
小量流出・爆発・火災	小量が流出し、ガスが拡散し、着火により爆発・火災となる。	DE1
中量流出・爆発・火災	フレアー防止に失敗するも、バルブ手動閉止により漏洩が停止する。ガスが拡散し、着火により爆発・火災となる。	DE2
大量流出・爆発・火災	フレアー防止、バルブ手動閉止に失敗し、漏洩が継続する。大量に流出し、着火により爆発・火災となる。	DE3

イ 毒性ガス

災害事象	様相	
小量流出・毒性拡散	小量が流出し、拡散防止に失敗して大気中に拡散する。	DE1
中量流出・毒性拡散	フレアー防止に失敗するも、バルブ手動閉止により漏洩が停止する。拡散防止に失敗して大気中に拡散する。	DE2
大量流出・毒性拡散	フレアー防止、バルブ手動閉止に失敗し、漏洩が継続する。拡散防止に失敗して大量に大気中に拡散する。	DE3

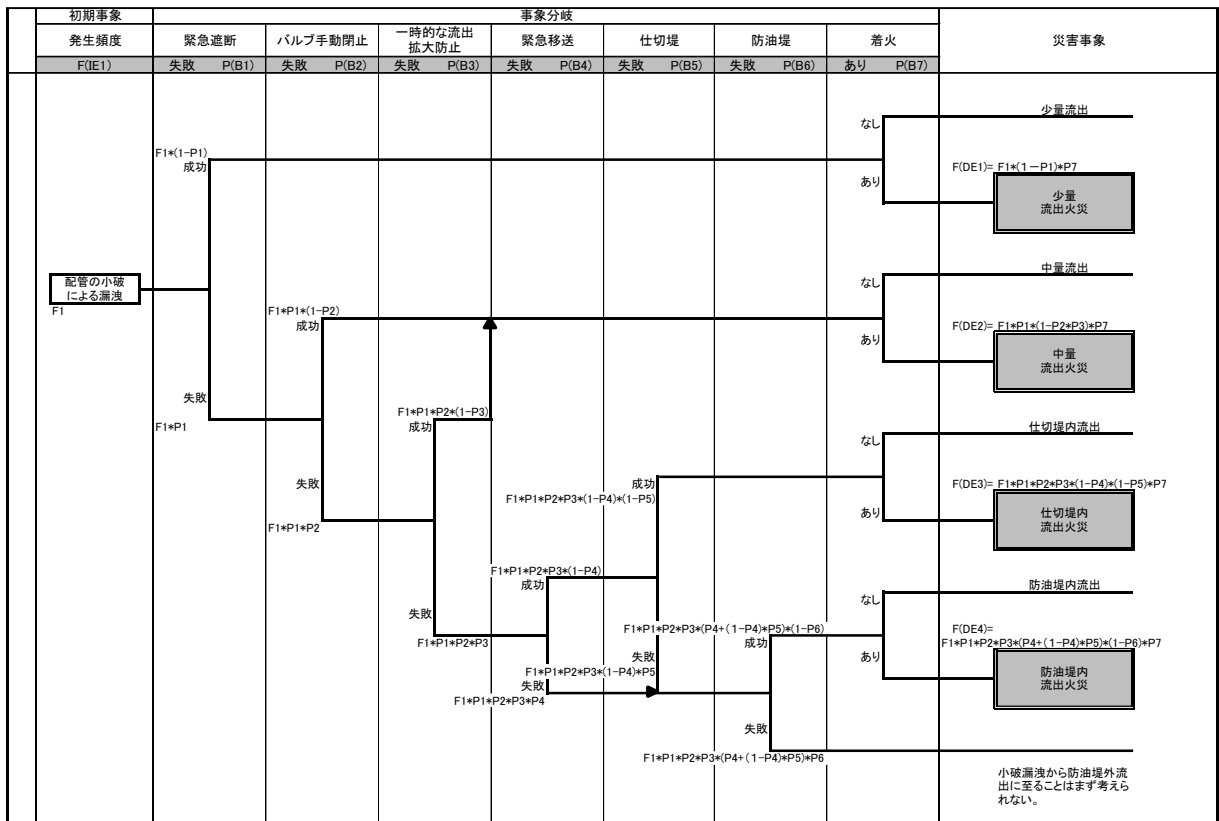


図 2.3.1 配管の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(可燃性))

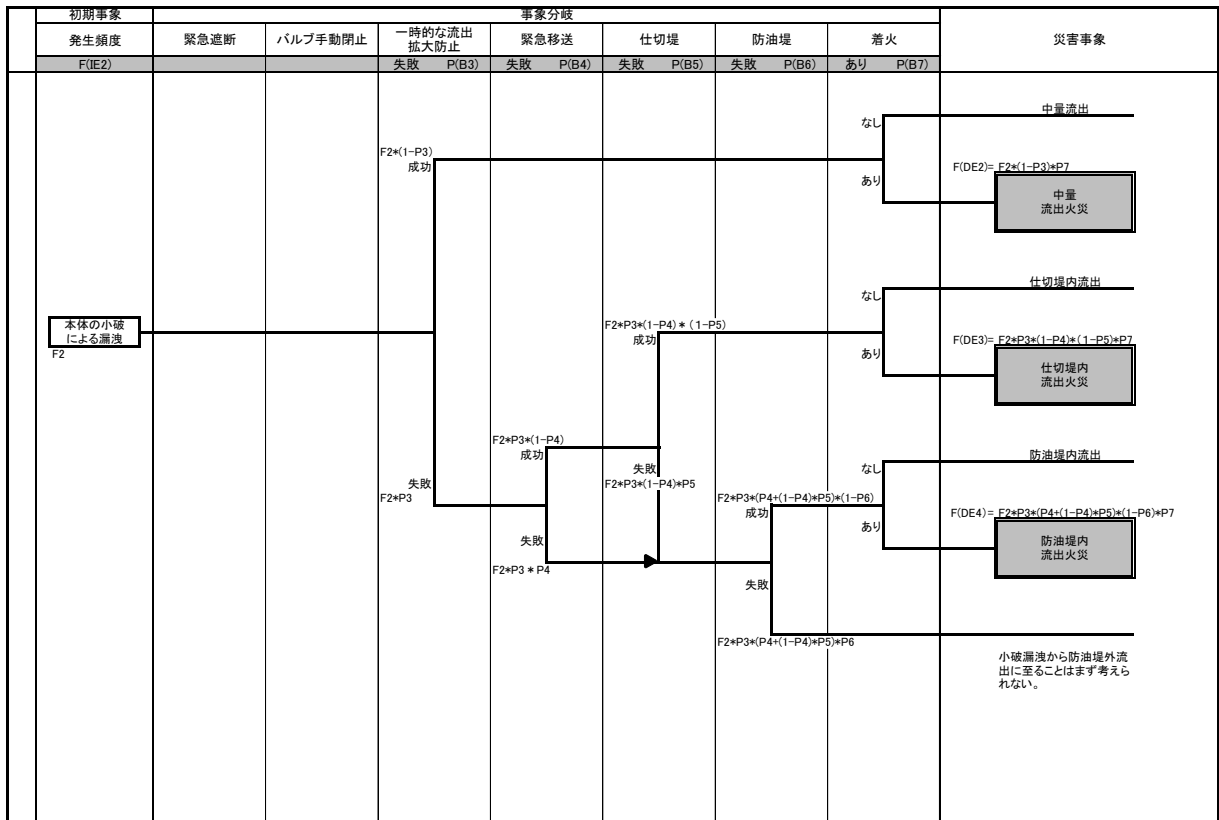


図 2.3.2 タンク本体の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(可燃性))

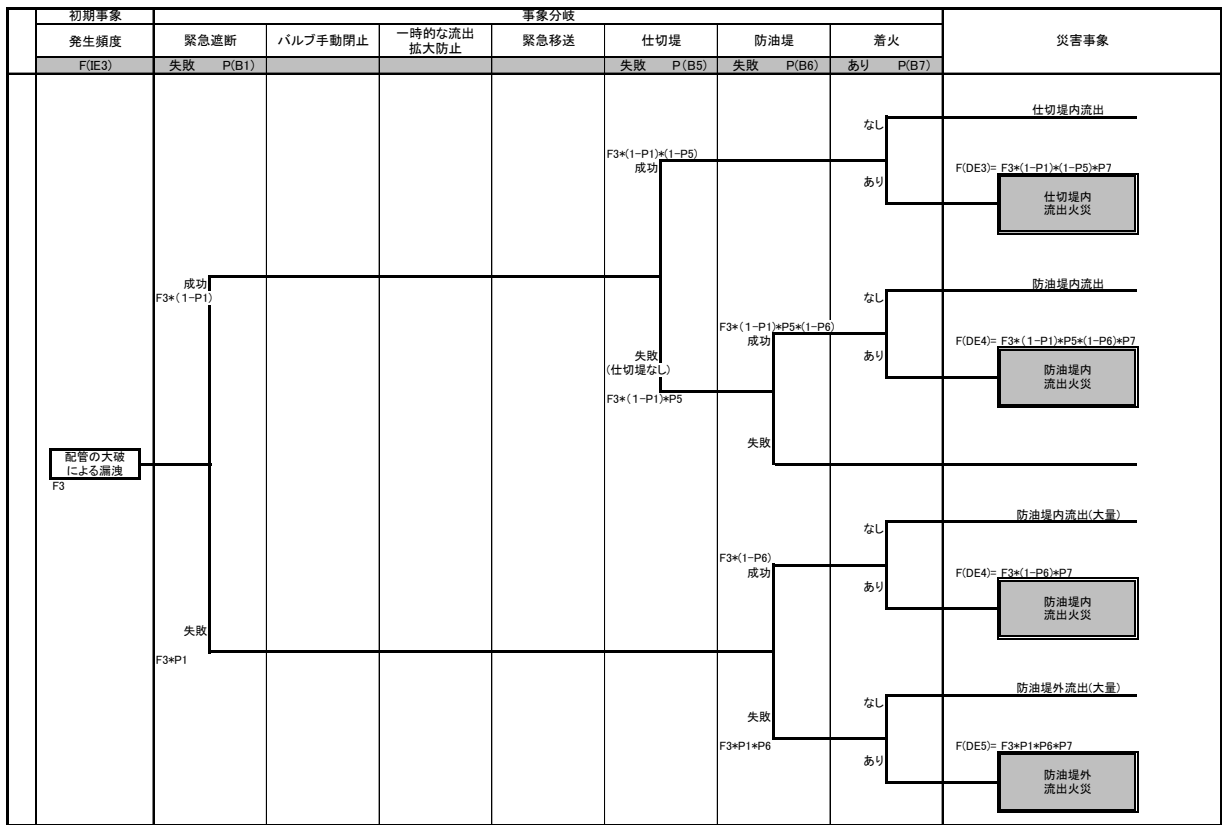


図 2.3.3 配管の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(可燃性))

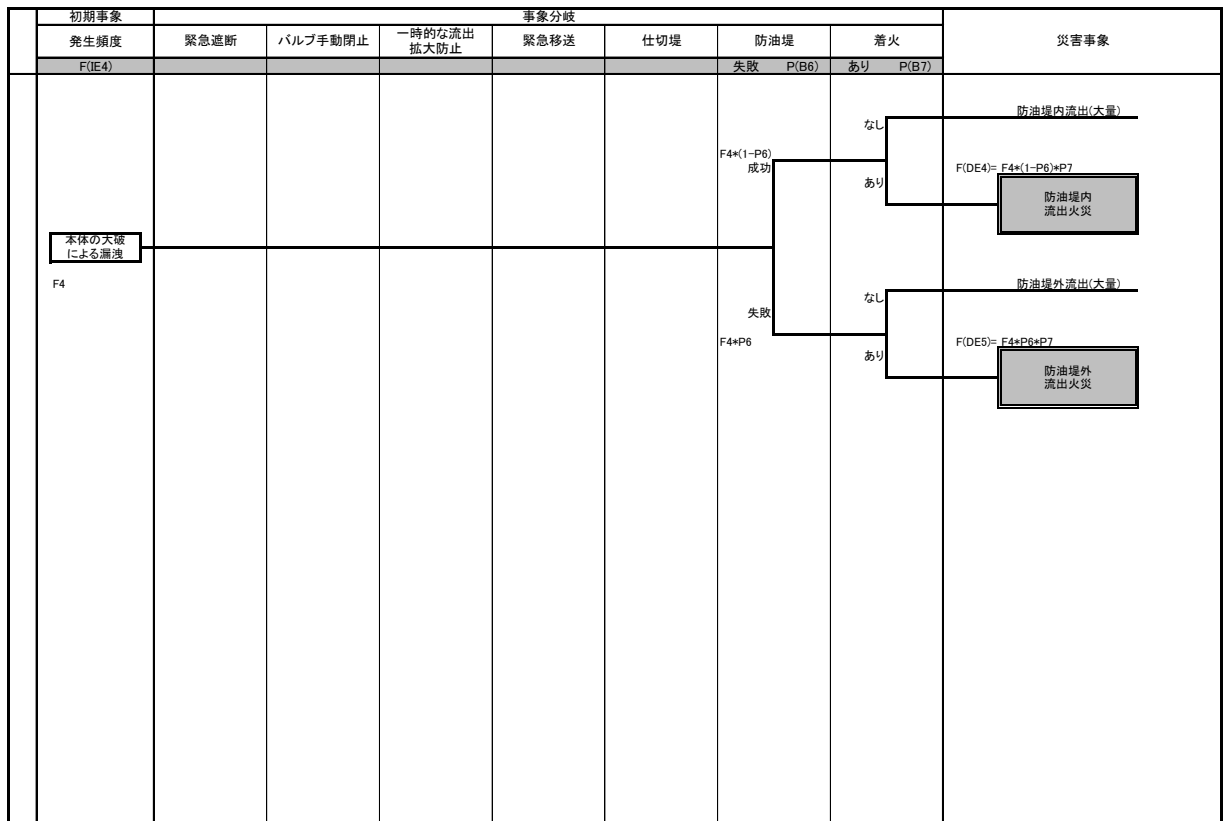


図 2.3.4 タンク本体の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(可燃性))

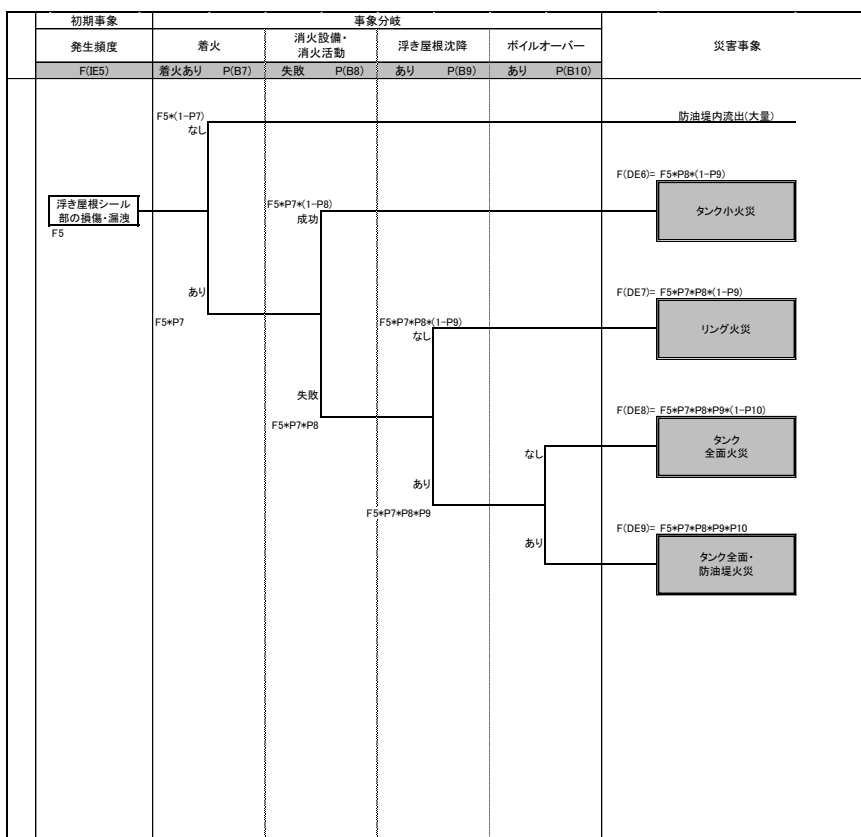


図 2.3.5 浮き屋根シール部の損傷・漏洩(平常時・浮き屋根式危険物タンク(可燃性))

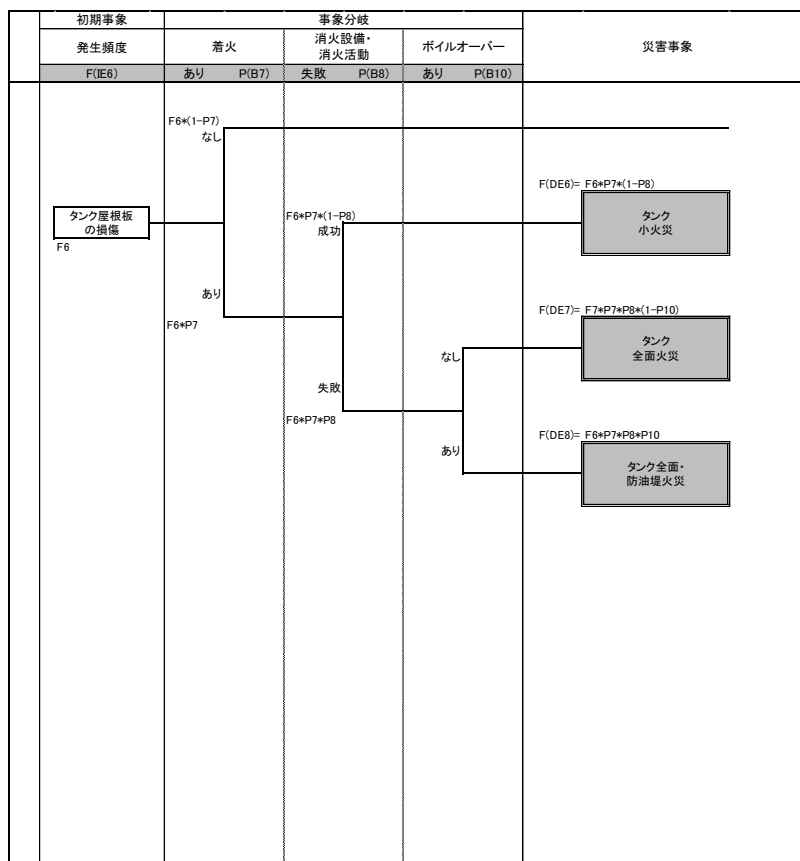


図 2.3.6 タンク屋根板の損傷(平常時・固定屋根式・内部浮き蓋付き危険物タンク(可燃性))

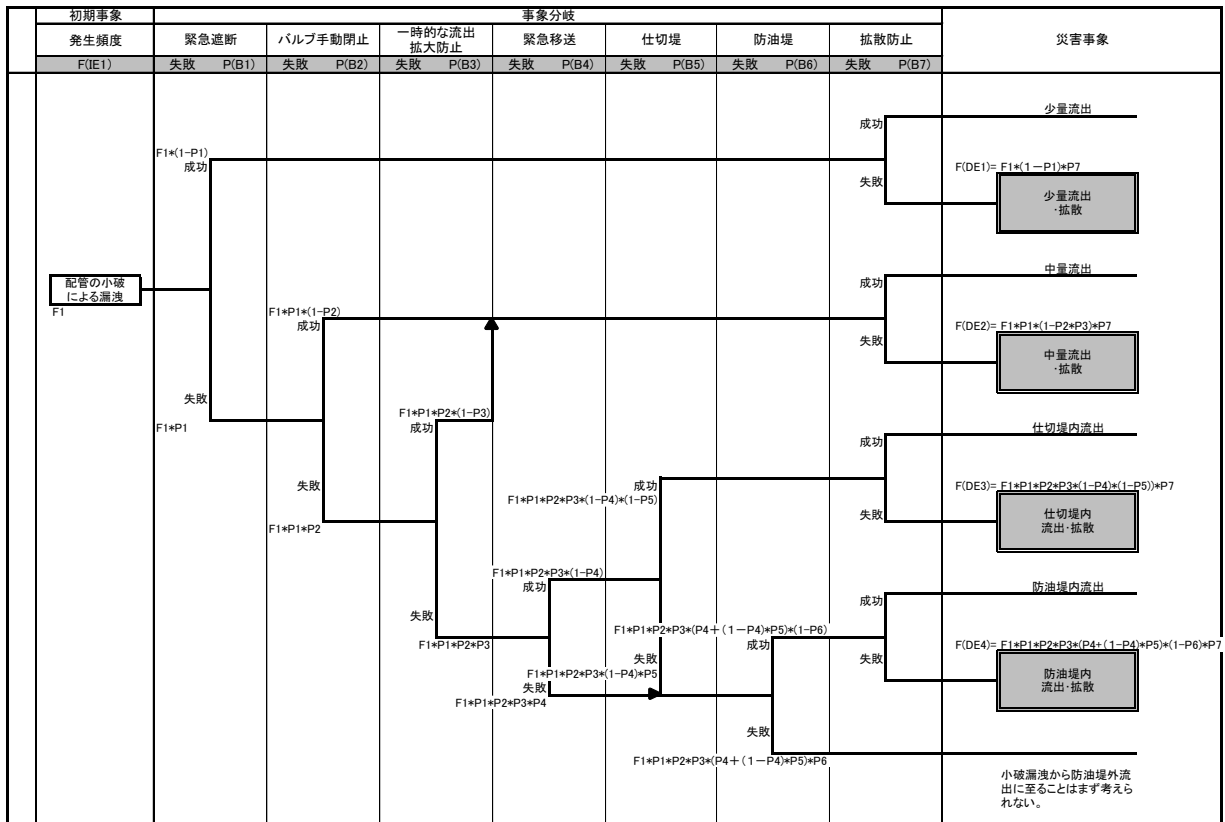


図 2.3.7 配管の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(毒性))

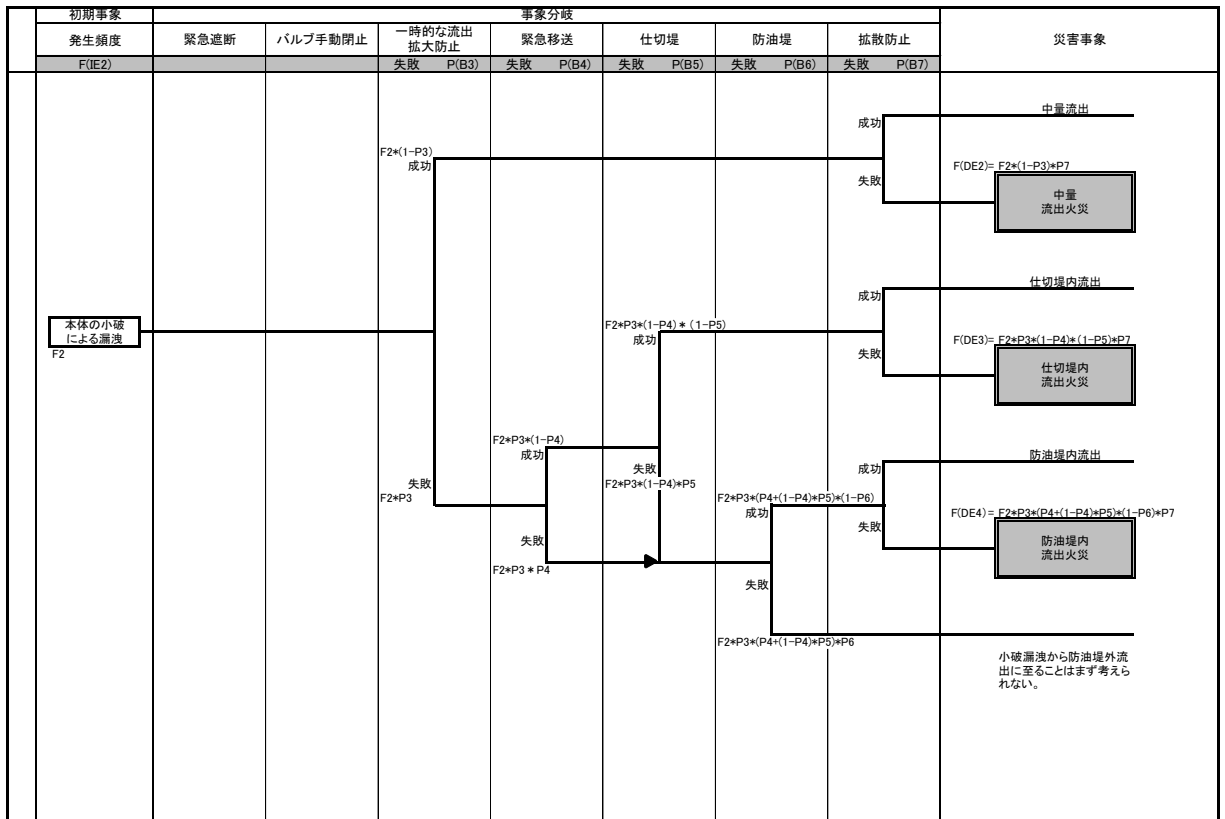


図 2.3.8 タンク本体の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(毒性))

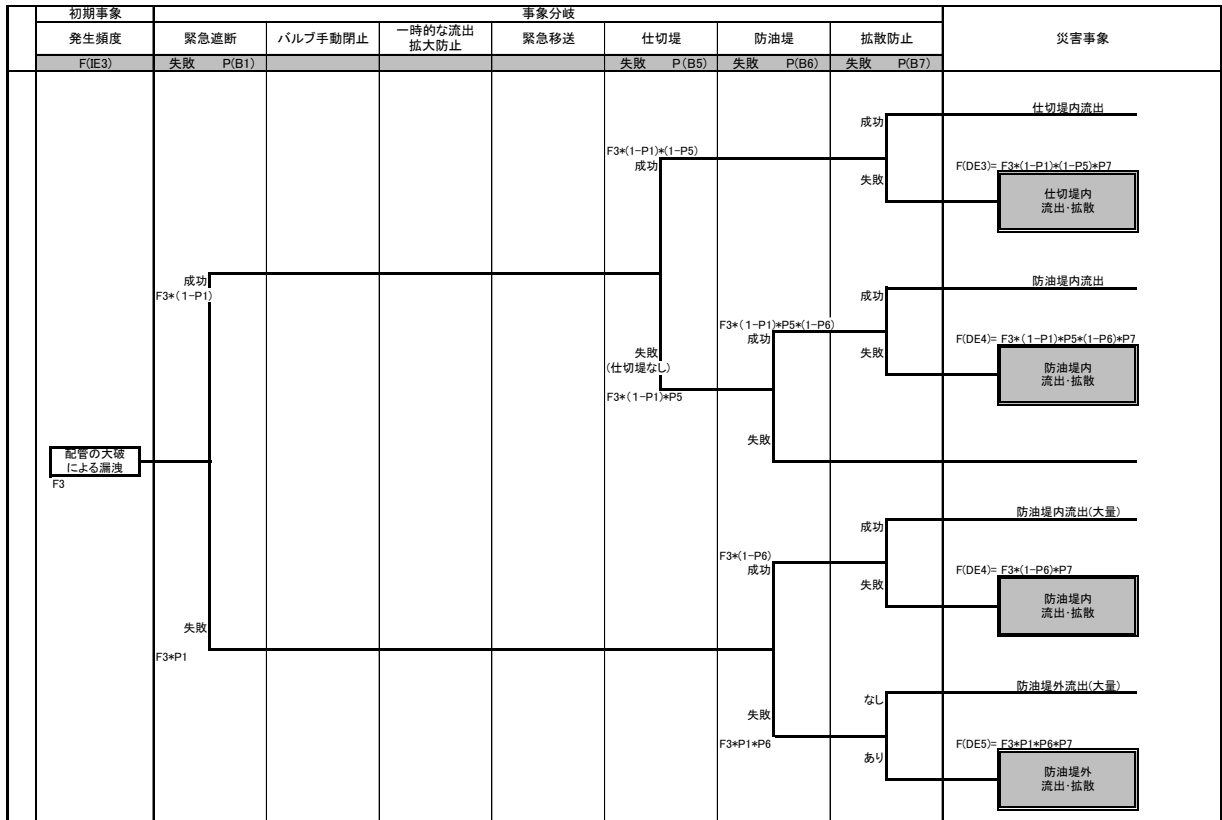


図 2.3.9 配管の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(毒性))

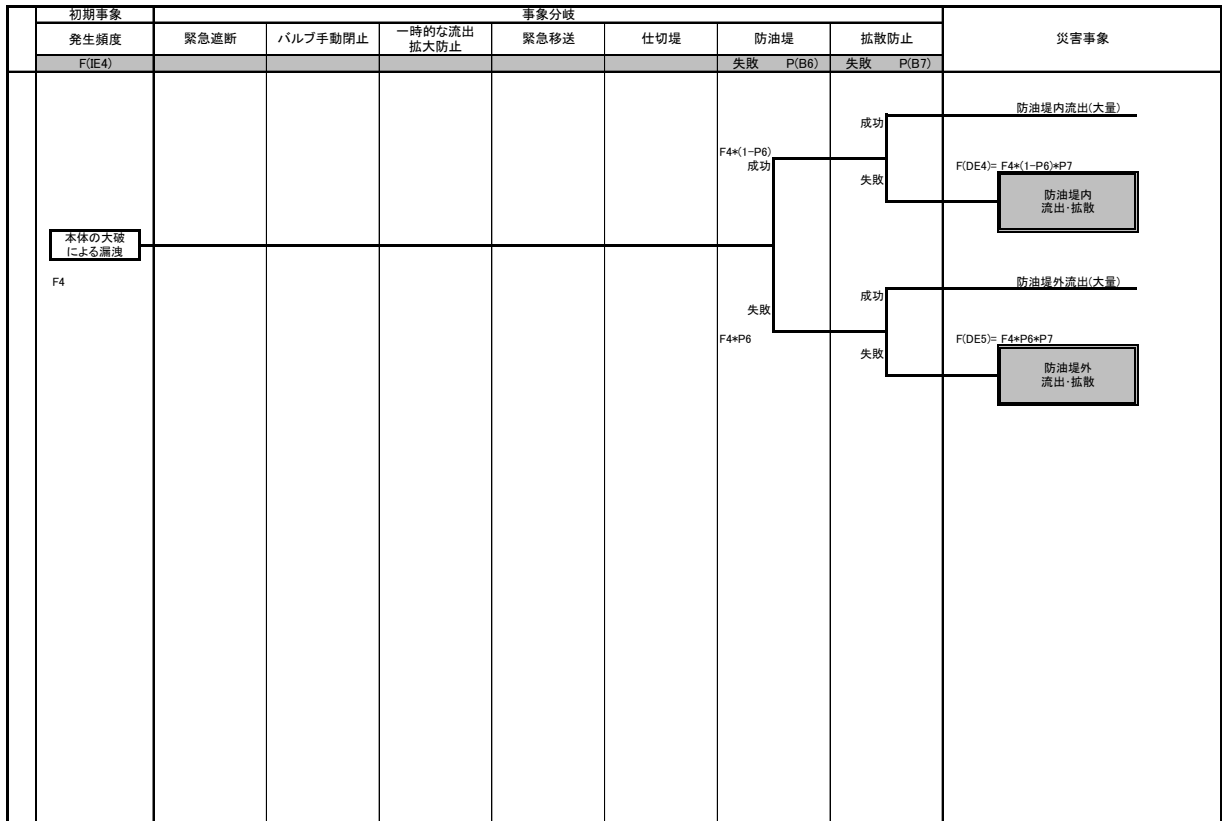


図 2.3.10 タンク本体の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・危険物タンク(毒性))

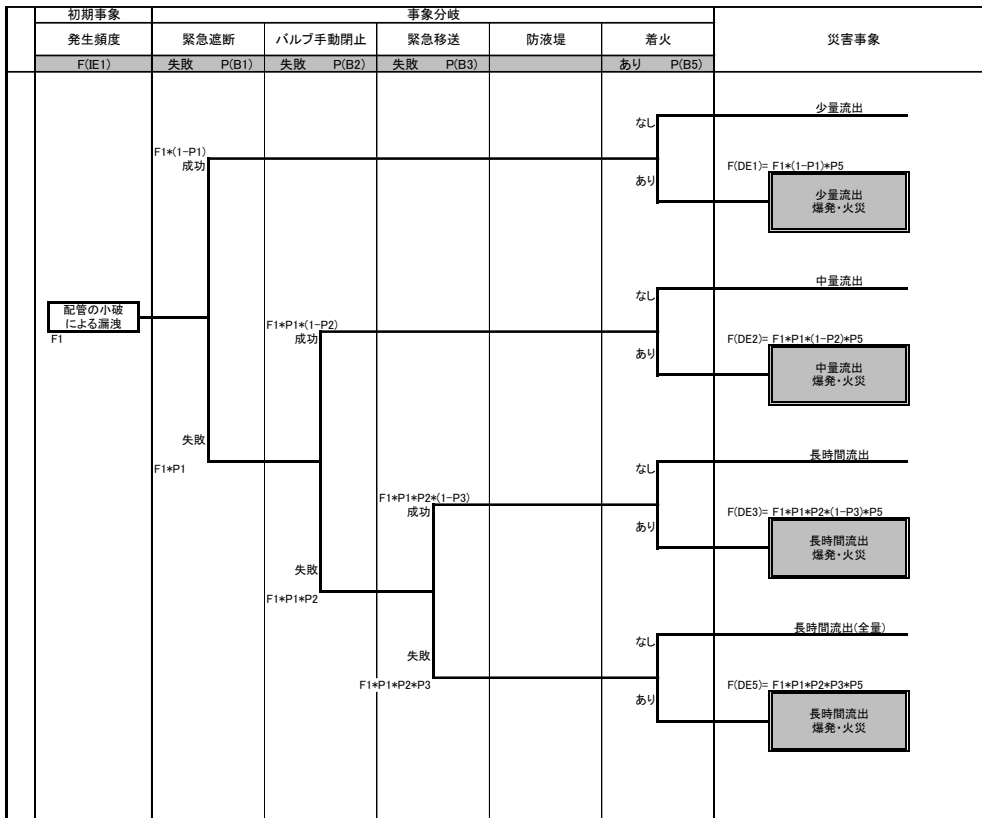


図 2.3.11 配管の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・可燃性ガスタンク)

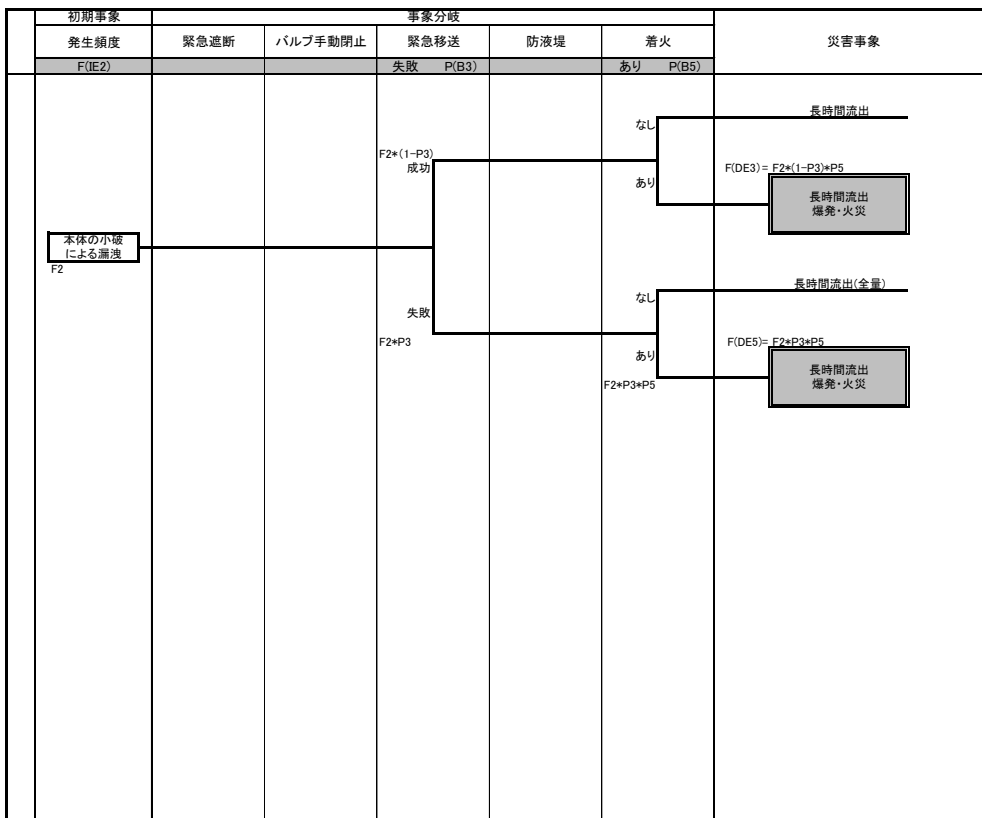


図 2.3.12 タンク本体の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・可燃性ガスタンク)

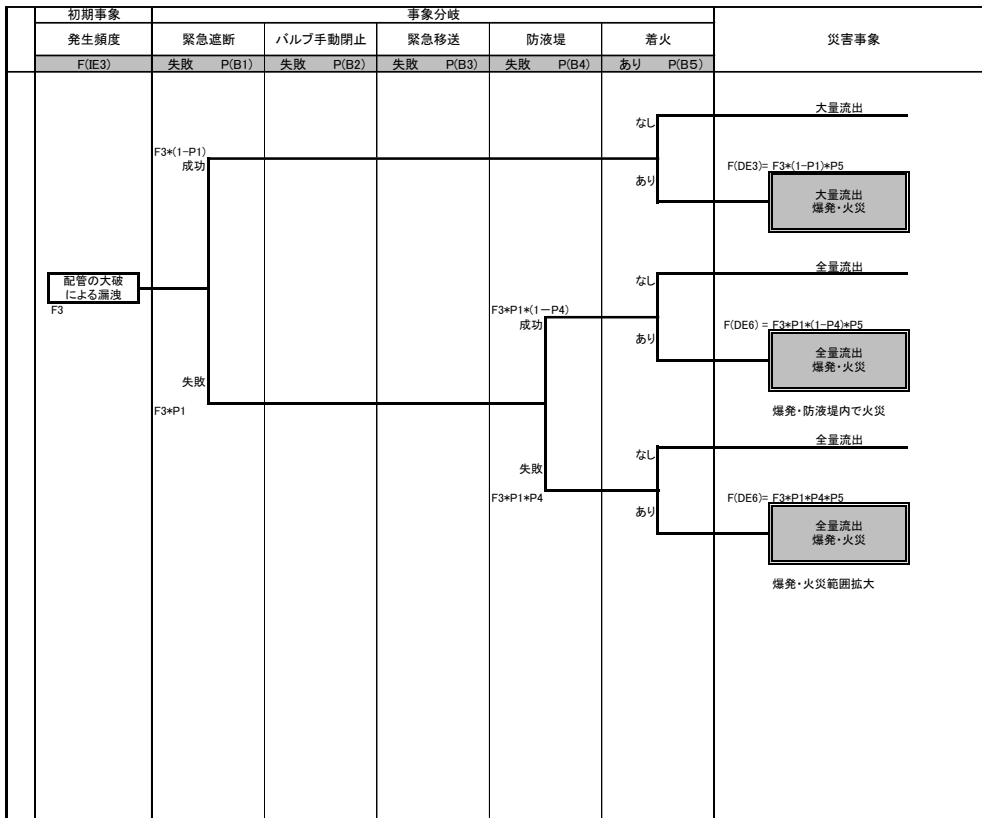


図 2.3.13 配管の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・可燃性ガスタンク)

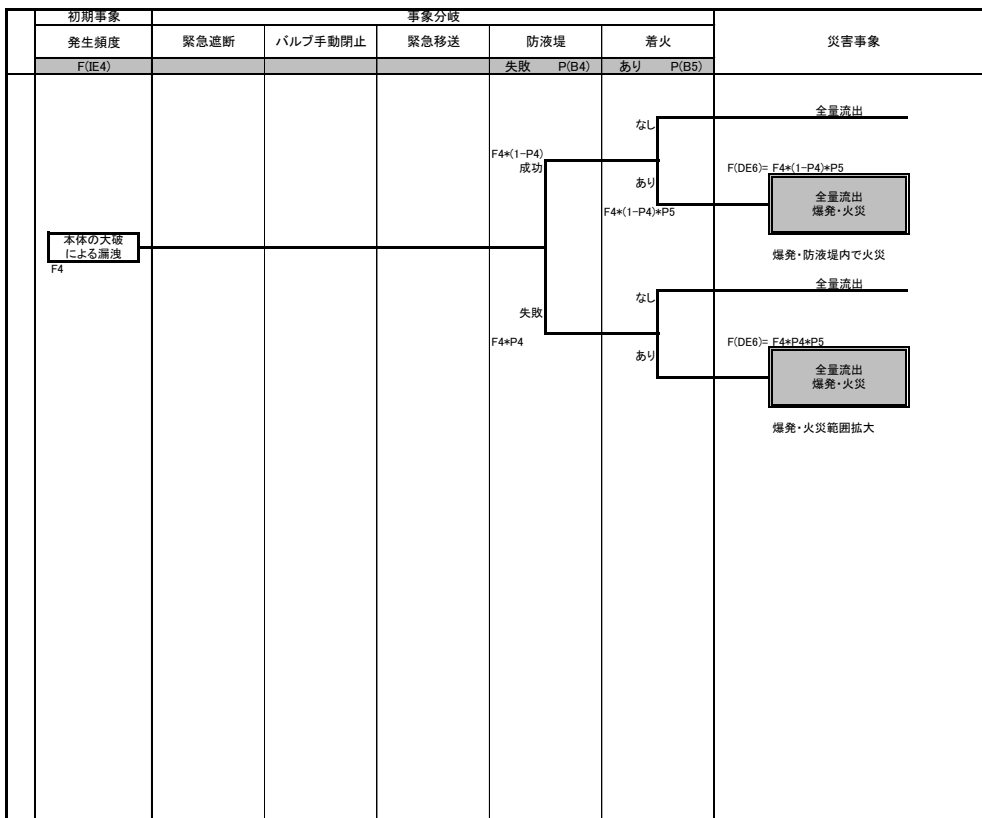


図 2.3.14 タンク本体の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・可燃性ガスタンク)



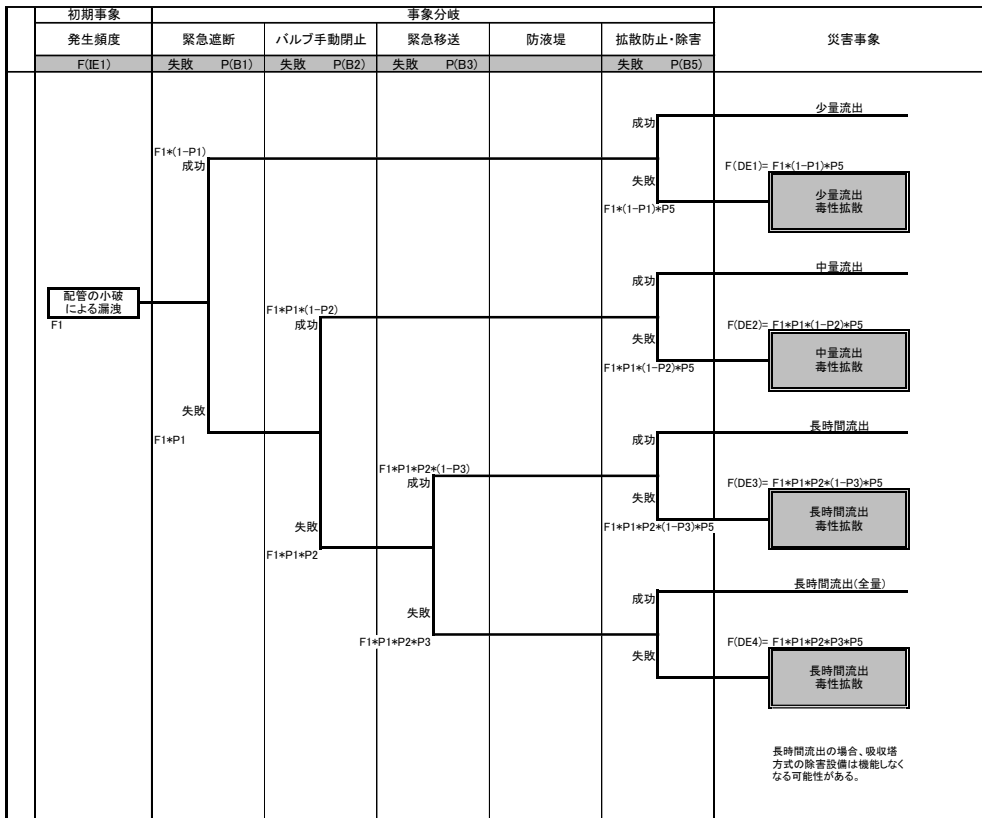


図 2.3.15 配管の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性ガスタンク)

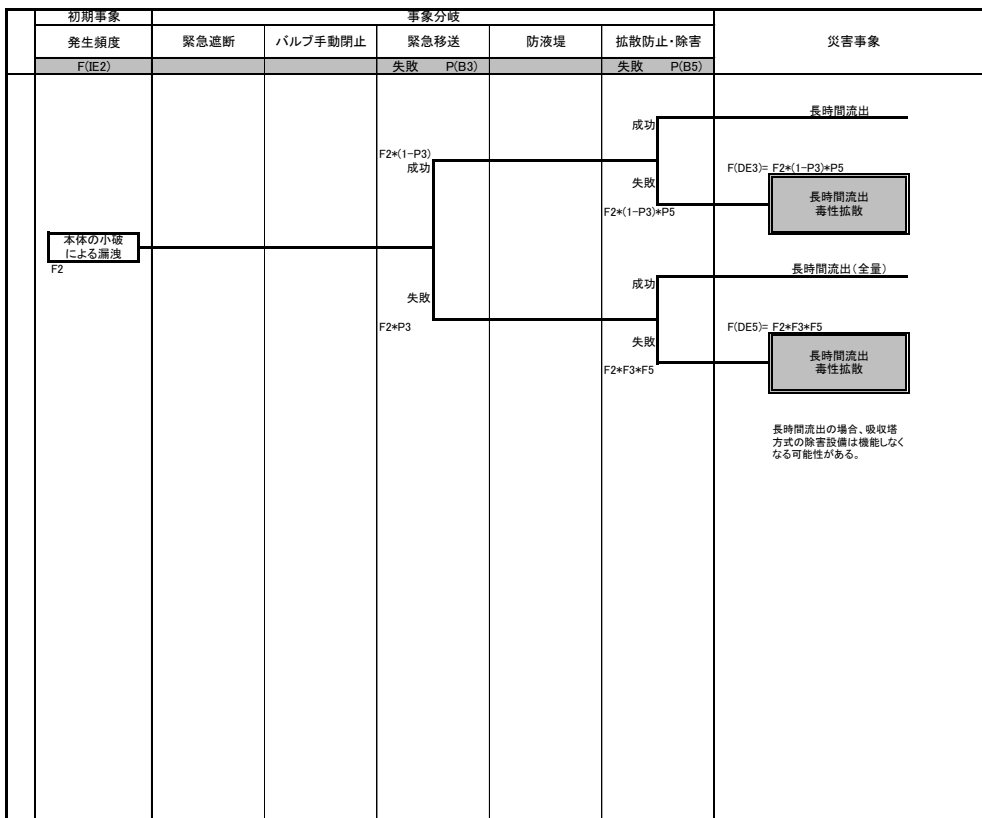


図 2.3.16 タンク本体の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性ガスタンク)

初期事象	事象分岐					災害事象
	発生頻度	緊急遮断	バルブ手動閉止	緊急移送	防液堤	
F(E3)	失敗	P(B1)				
配管の大破による漏洩 F3	F3*(1-P1) 成功					F(DE4)= F3*(1-P1) 大量流出 毒性拡散
	失敗 F3*P1					F(DE6)= F3*P1 全量流出 毒性拡散

図 2.3.17 配管の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性ガスタンク)

初期事象	事象分岐					災害事象
	発生頻度	緊急遮断	バルブ手動閉止	緊急移送	防液堤	
F(E4)	失敗	P(B1)				
本体の大破による漏洩 F4	失敗					F(DE6)= F4 全量流出 毒性拡散

図 2.3.18 タンク本体の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性ガスタンク)

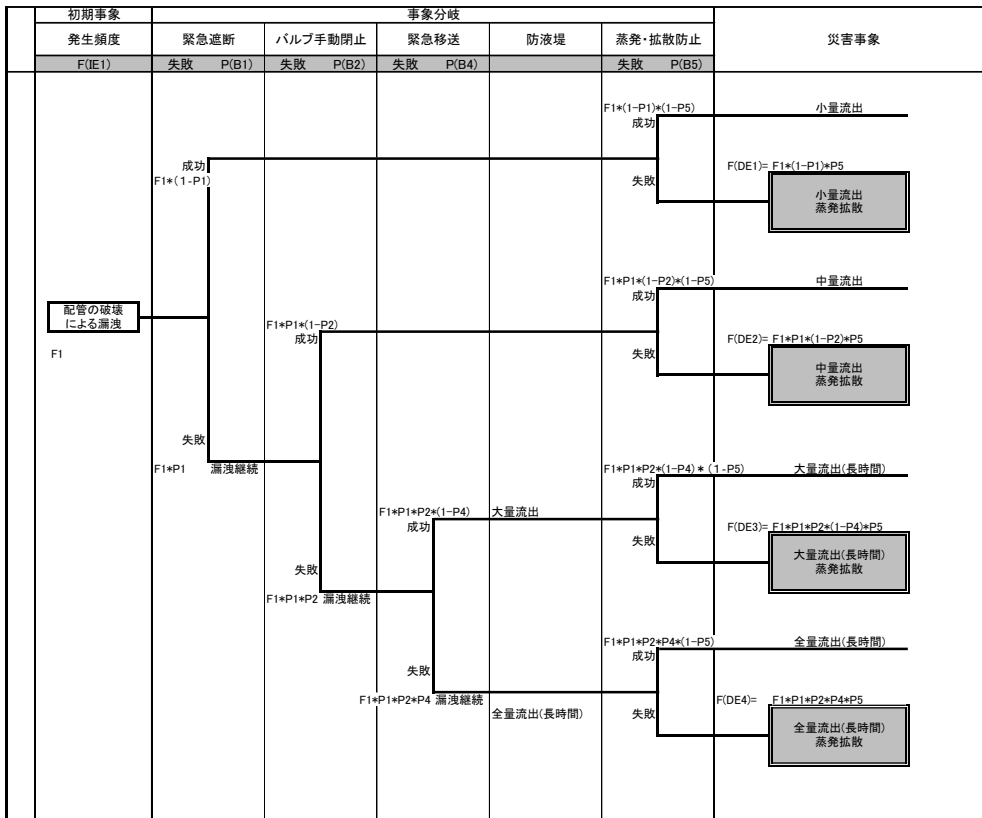


図 2.3.19 配管の破壊による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性液体タンク)

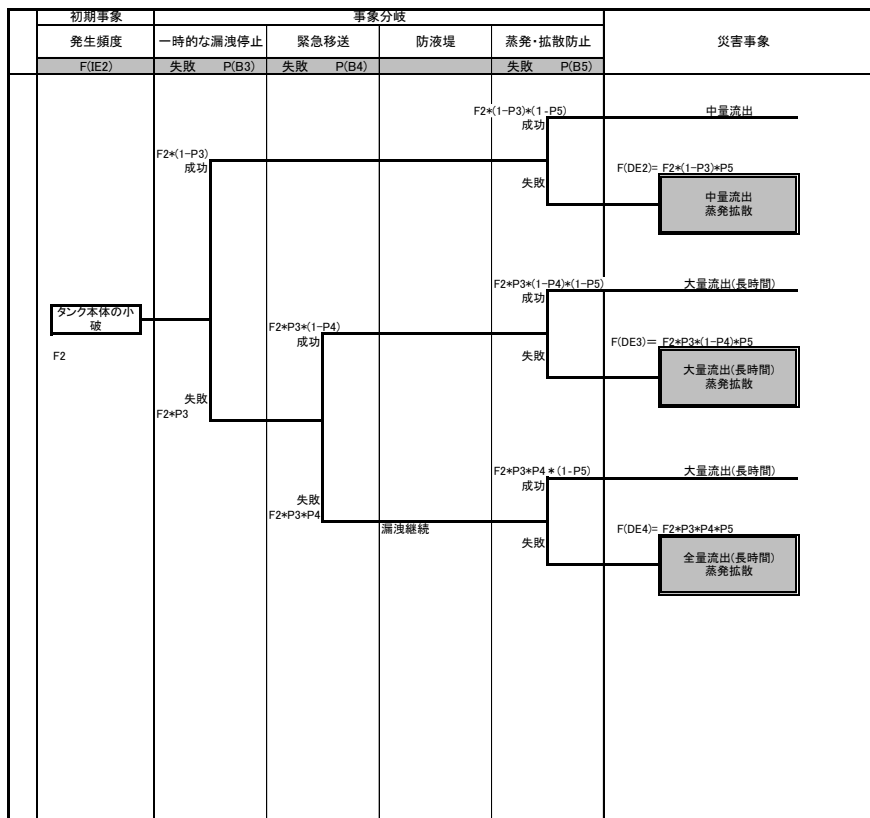


図 2.3.20 タンク本体の小破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性液体タンク)

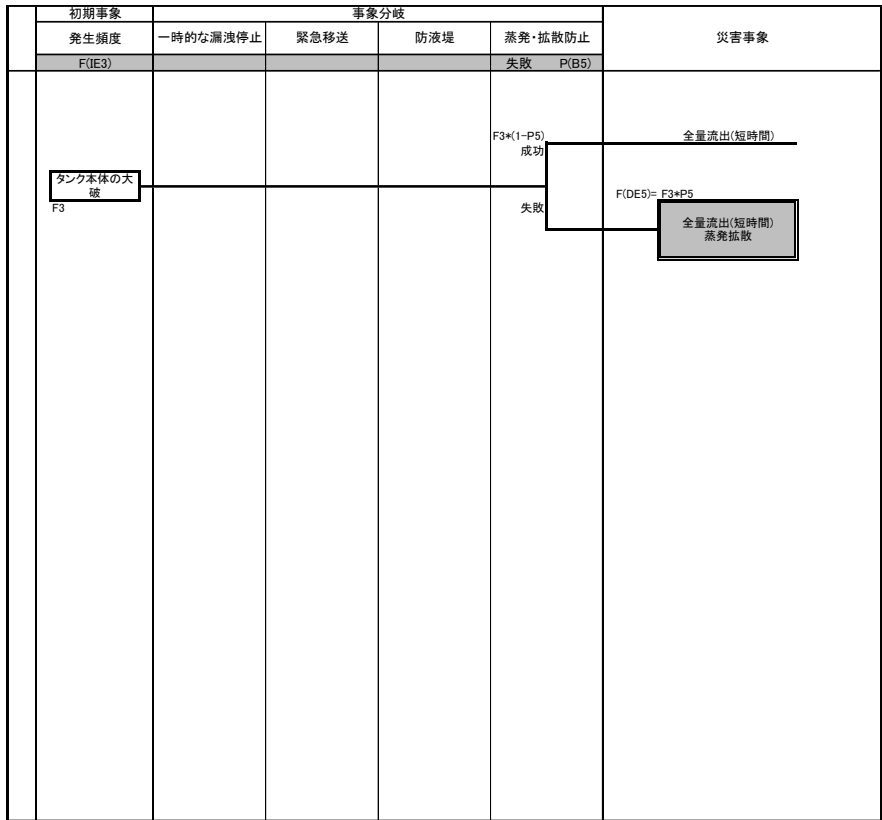


図 2.3.21 タンク本体の大破による漏洩(平常時及び短周期地震動・毒性液体タンク)

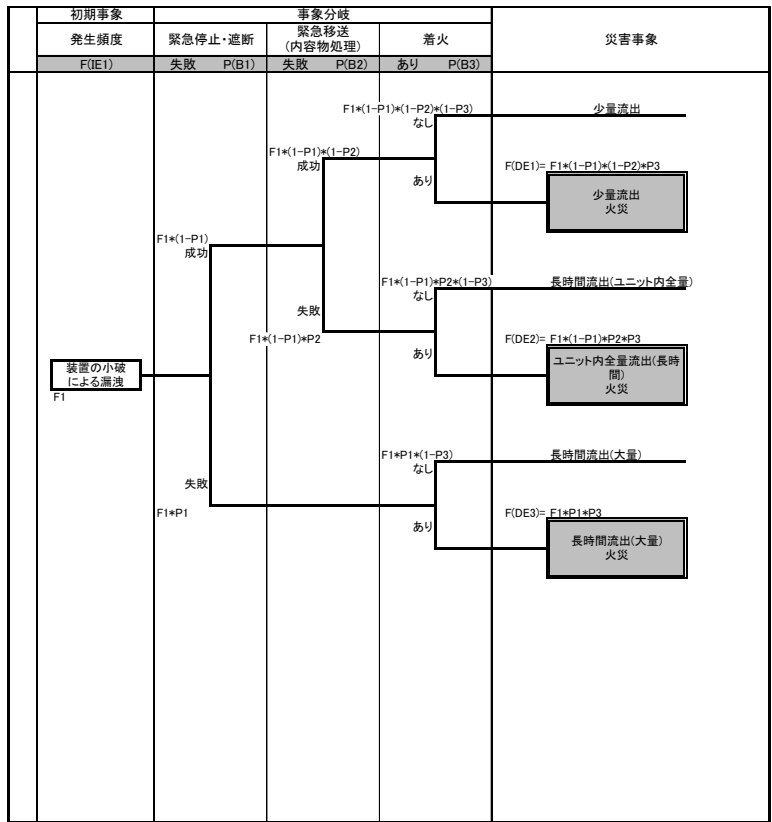


図 2.3.22 装置の小破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(危険物製造所(可燃性)), 発電施設)

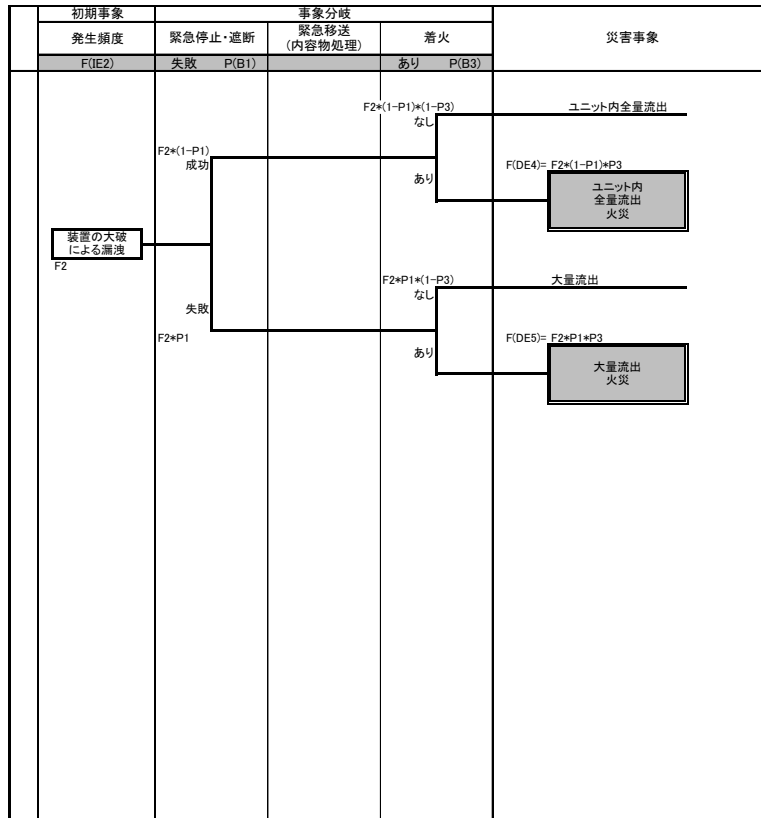


図 2.3.23 装置の大破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(危険物製造所(可燃性)), 発電施設)

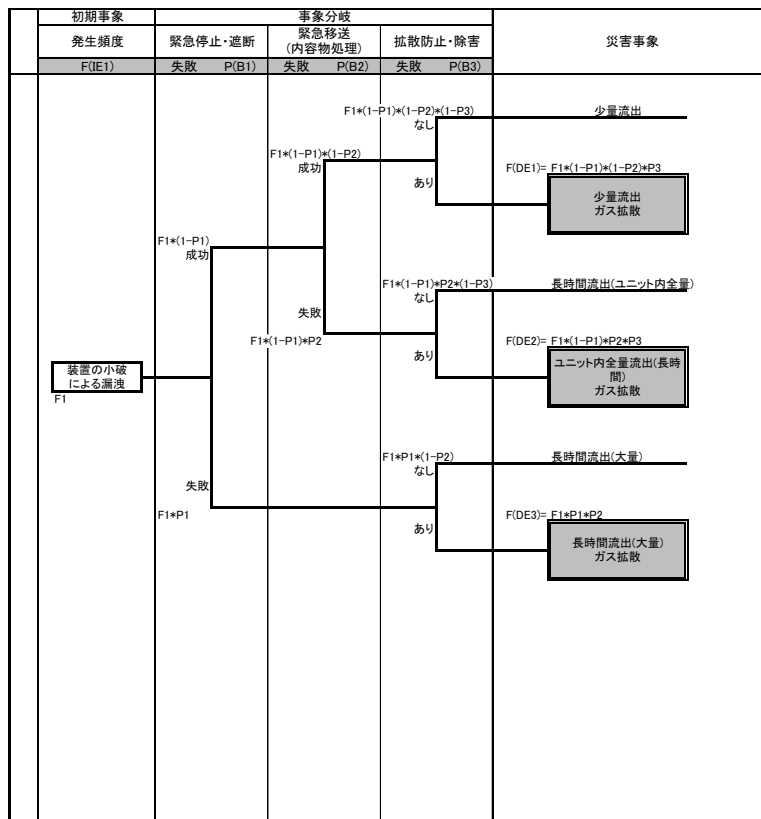


図 2.3.24 装置の小破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(危険物製造所(毒性)))

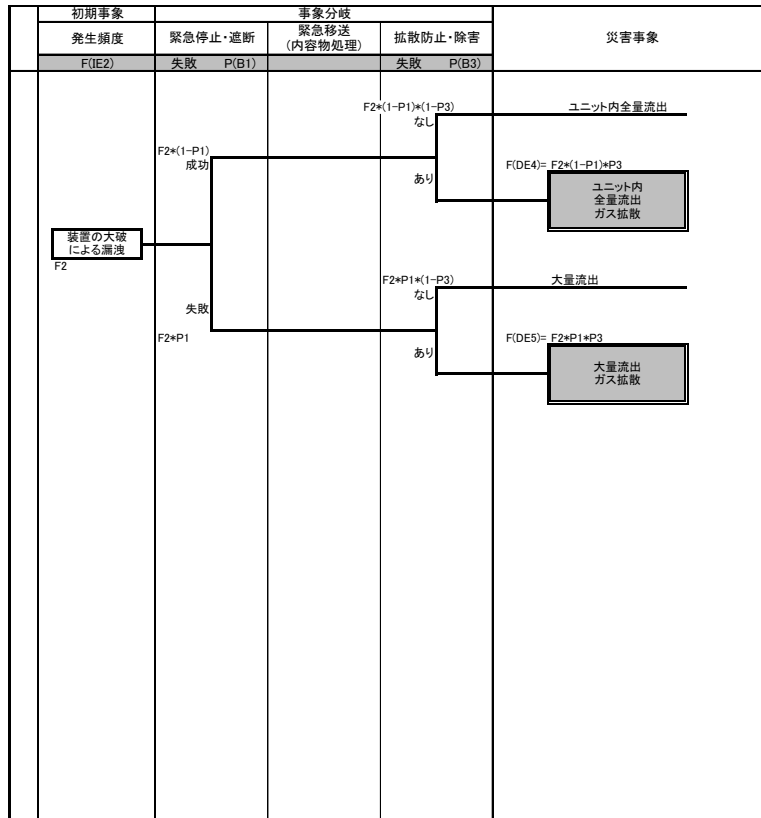


図 2.3.25 装置の大破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(危険物製造所(毒性)))

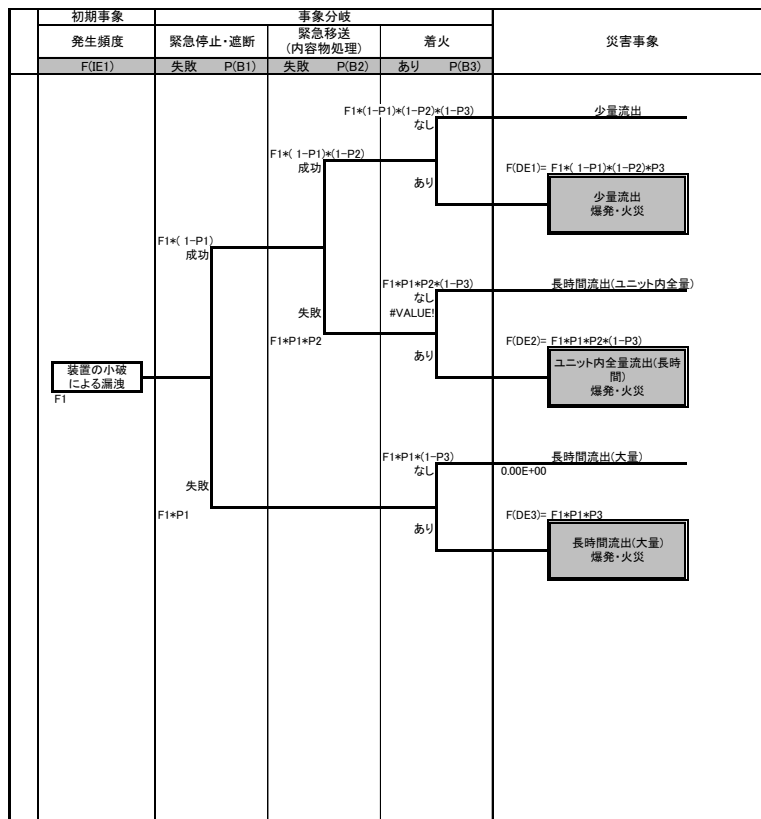


図 2.3.26 装置の小破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(高圧ガス製造施設(可燃性ガス)))

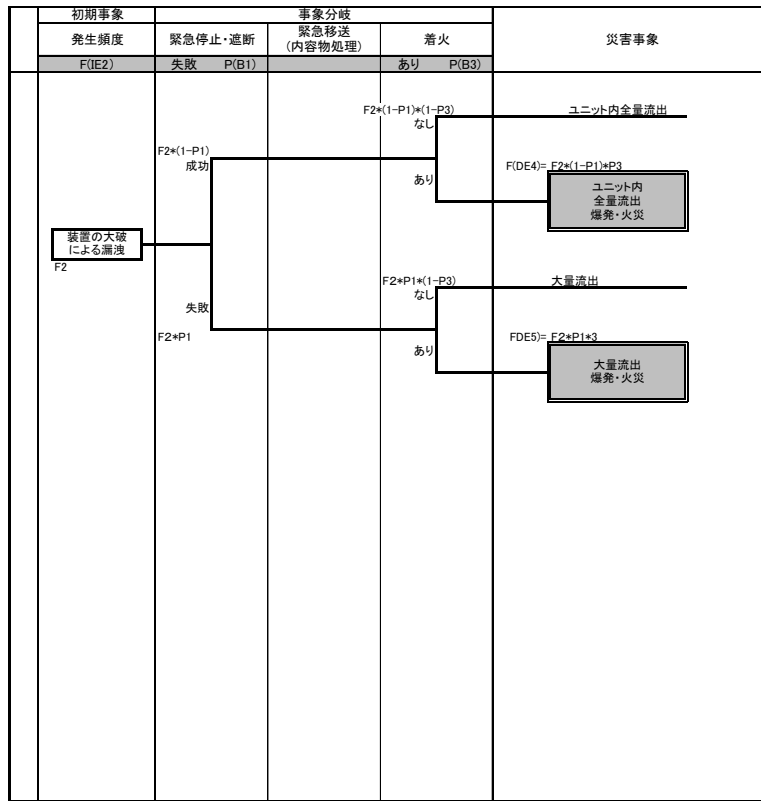


図 2.3.27 装置の大破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(高圧ガス製造施設(可燃性ガス)))

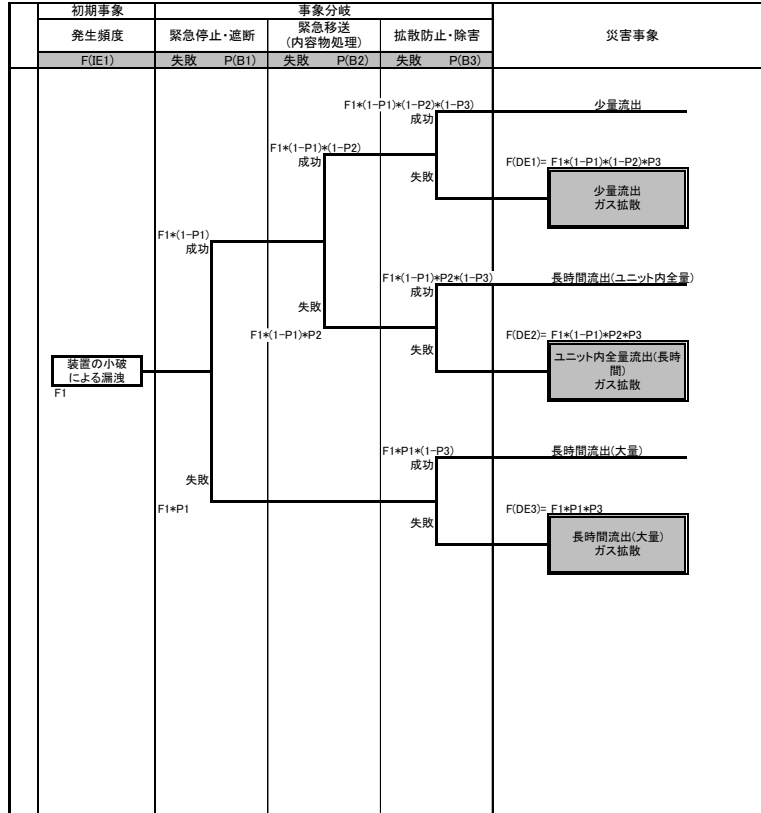


図 2.3.28 装置の小破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(高圧ガス製造施設(毒性ガス)))

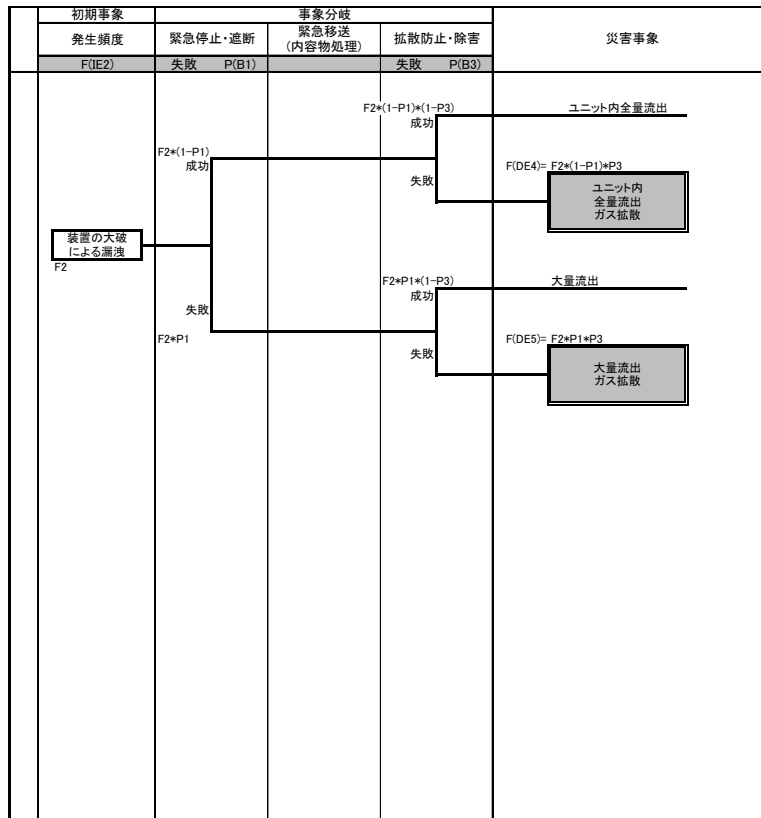


図 2.3.29 装置の大破による漏洩(平常時及び短期周期地震動・製造施設(高圧ガス製造施設(毒性ガス)))

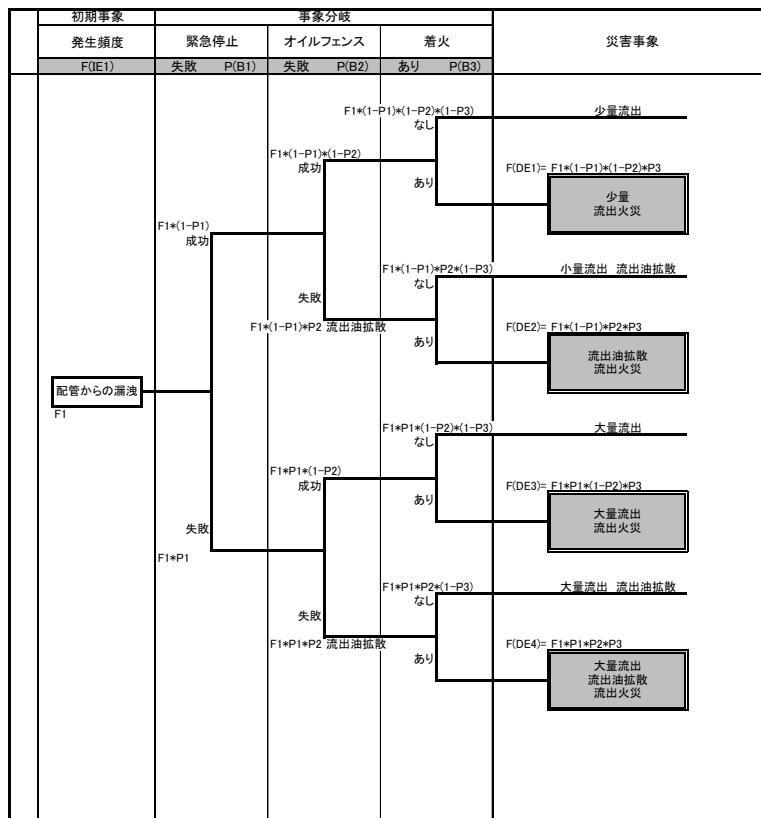


図 2.3.30 配管からの漏洩(平常時及び短周期地震動・石油タンカー棧橋)



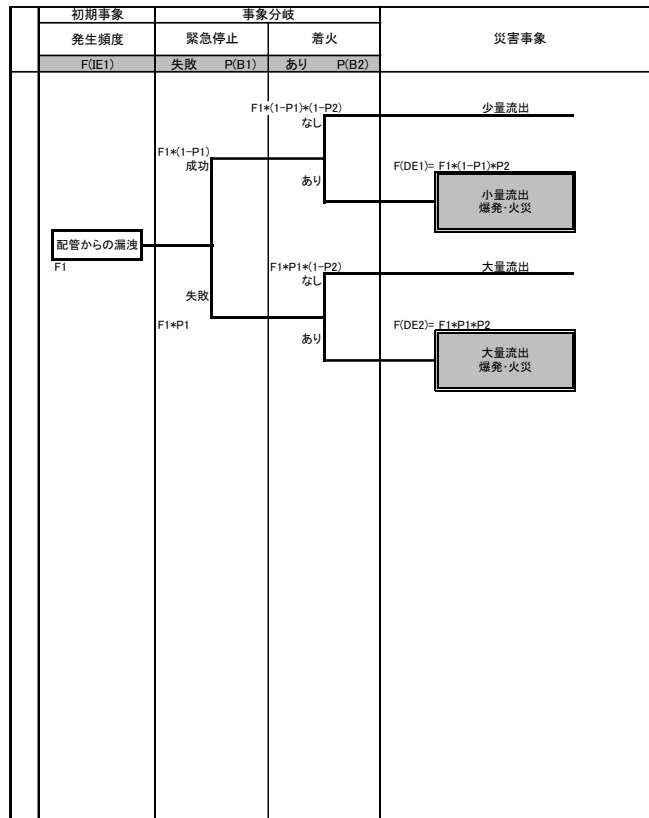


図 2.3.31 配管からの漏洩(平常時及び短周期地震動・LPG・LNG タンカー棧橋)

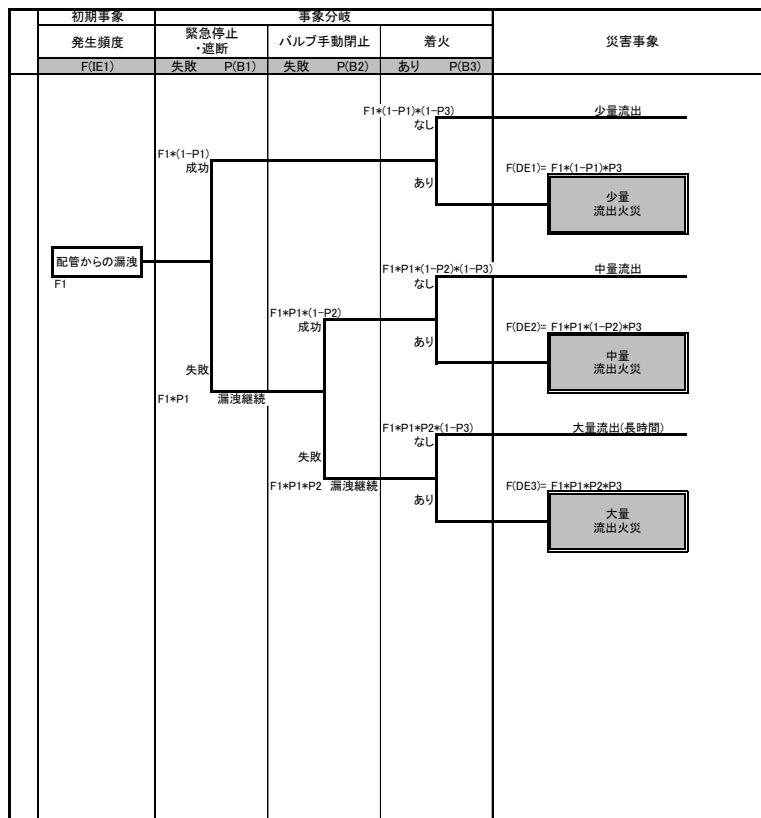


図 2.3.32 危険物(可燃性)配管からの漏洩(平常時及び短周期地震動)

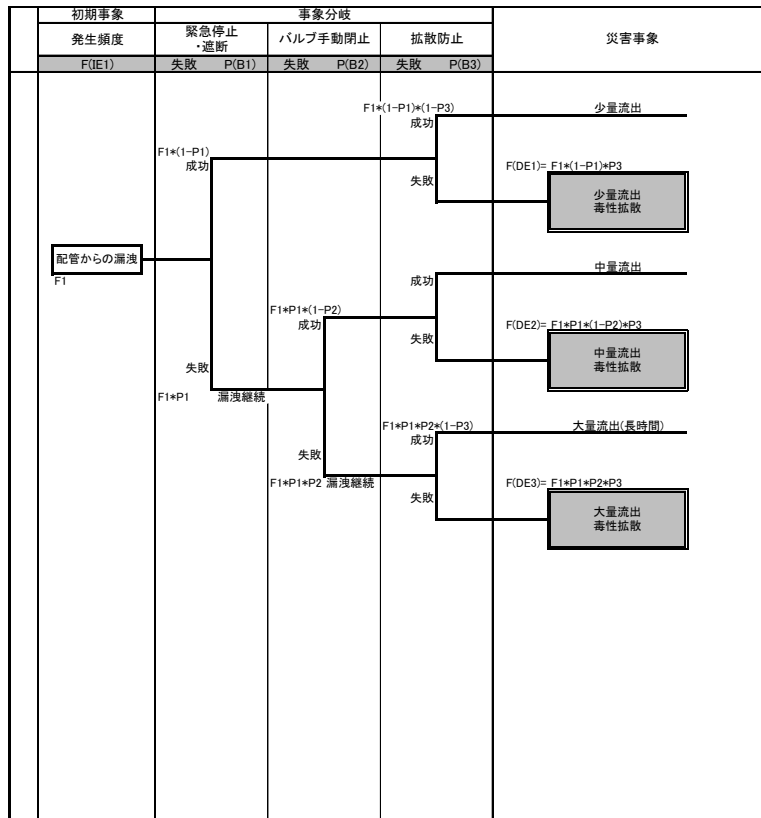


図 2.3.33 危険物(毒性)配管からの漏洩(平常時及び短周期地震動)

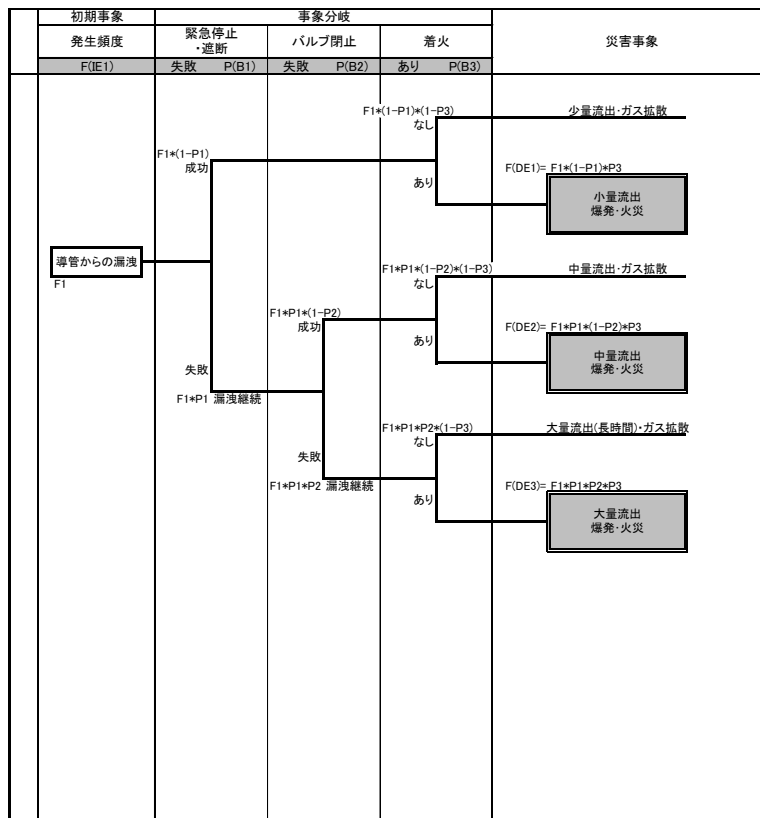


図 2.3.34 高圧ガス(可燃性ガス)導管からの漏洩(平常時及び短周期地震動)

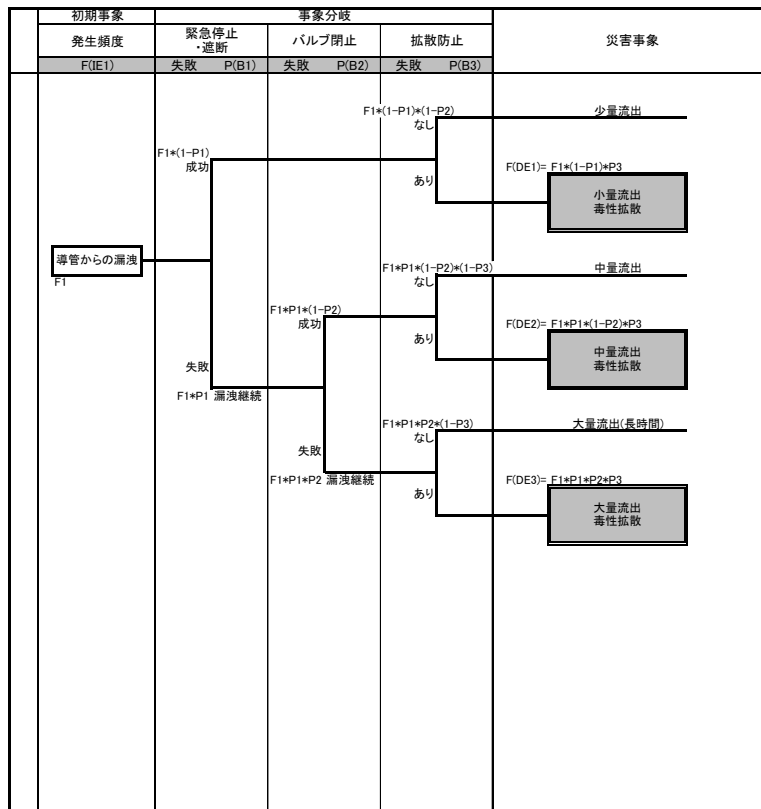


図 2.3.35 高圧ガス(毒性ガス)導管からの漏洩(平常時及び短周期地震動)

## 7. 災害の発生危険度(頻度)の推定

展開した ET 図に初期事象と事象の分岐確率を与えることにより、評価施設について起こりうる災害事象の発生頻度(/年)の推定を行う。

表 2.3.1 災害発生頻度区分

危険度 A	10 <sup>-4</sup> /年程度以上 (5×10 <sup>-5</sup> /年以上)
危険度 B	10 <sup>-5</sup> /年程度 (5×10 <sup>-6</sup> /年以上 5×10 <sup>-5</sup> /年未満)
危険度 C	10 <sup>-6</sup> /年程度 (5×10 <sup>-7</sup> /年以上 5×10 <sup>-6</sup> /年未満)
危険度 D	10 <sup>-7</sup> /年程度 (5×10 <sup>-8</sup> /年以上 5×10 <sup>-7</sup> /年未満)
危険度 E	10 <sup>-8</sup> /年程度以下 (5×10 <sup>-8</sup> /年未満)

危険度 A は、1 基あたり 10,000 年に一度、10,000 施設あたり 1 年に一度発生するような災害となる。ゆえに、発生頻度は E から A にかけて大きくなることとなる。

事象分岐確率としては、例えば危険物タンクと高圧ガスタンクに関して、指針（平成 13 年）では、例示として『海外のデータに基づく FTA による事象分岐確率』と『全国のコンビナートにある約 50 の事業所を対象にアンケート調査を実施した結果に基づく防災設備の不作動確率』が挙げられている。

## 8. 災害の影響度の推定

発生危険度の推定により抽出された各災害事象について、発生した場合の影響範囲を算定する。影響範囲は表 2.3.2 に示すようにランク付けする。

ET 図の災害の規模については影響範囲の大きさだけでなく、時間的な災害の継続時間も含まれている。影響度の推定においては時間的な要素は考慮されていないため、災害の規模が大きくなっても影響度が変わらない場合もある。

表 2.3.2 災害の影響度区分

影響度 I	200m 以上
影響度 II	100m 以上 200m 未満
影響度 III	50m 以上 100m 未満
影響度 IV	20m 以上 50m 未満
影響度 V	20m 未満

## 9. 災害の発生危険度と影響度に基づいた総合的評価による災害想定

### 防災計画において想定すべき災害

指針を踏まえると想定災害の範囲は図 2.3.36 のように表すことができる。

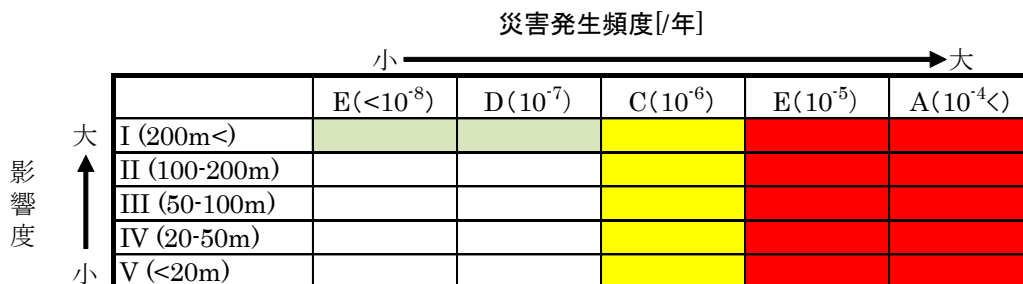


図 2.3.36 指針を踏まえた想定災害の範囲

ここで、平常時における災害の発生頻度と影響度の区分は表 2.3.3 及び表 2.3.4 のとおりである。

表 2.3.3 災害発生頻度区分(平常時)

危険度 A	10 <sup>-4</sup> /年程度以上 (5×10 <sup>-5</sup> /年以上)
危険度 B	10 <sup>-5</sup> /年程度 (5×10 <sup>-6</sup> /年以上 5×10 <sup>-5</sup> /年未満)
危険度 C	10 <sup>-6</sup> /年程度 (5×10 <sup>-7</sup> /年以上 5×10 <sup>-6</sup> /年未満)
危険度 D	10 <sup>-7</sup> /年程度 (5×10 <sup>-8</sup> /年以上 5×10 <sup>-7</sup> /年未満)
危険度 E	10 <sup>-8</sup> /年程度以下 (5×10 <sup>-8</sup> /年未満)

危険度 B は、10<sup>-5</sup>回/施設・年（1 施設、1 年間当たり）以上の頻度で災害が発生することをあらわしており、該当施設が 1,000 施設あれば、0.01 回/年（100 年間に一度発生）することを示している。

また、危険度 C は、10<sup>-6</sup>回/施設・年（1 施設、1 年間当たり）以上の頻度で災害が発生することをあらわしており、該当施設が 1,000 施設あれば、0.001 回/年（1,000 年間に一度発生）することを示している。

表 2.3.4 災害の影響度区分

影響度 I	200m 以上
影響度 II	100m 以上 200m 未満
影響度 III	50m 以上 100m 未満
影響度 IV	20m 以上 50m 未満
影響度 V	20m 未満

想定災害の抽出として発生頻度に着目し、現実には起こりうると考えて対策を検討しておくべき災害として、災害の発生頻度が高い第 1 段階(A・B レベル)の災害、および発生する可能性は小さい災害を含むが万一に備え対策を検討しておくべき第 2 段階(C レベル)の災害を想定災害として取り上げる。また、災害発生頻度が低頻度(D レベルもしくは E レベルかつ影響度 I レベル)においても発生頻度には言及せず、さらなる拡大様相も合わせて大規模災害のシナリオとして検討が必要である低頻度大規模災害として設定される。

## 10. 平常時の想定災害のまとめ

災害の発生危険度と影響度をランクに分け、両者を合わせたリスクマトリックスによる評価から、防災計画策定において想定すべき災害の抽出を行った。

想定災害の抽出として発生頻度に着目し、現実には起こりうると考えて対策を検討しておくべき災害として、災害の発生確率が高く、影響度が大きい第1段階(A-B レベル)の災害、および発生する可能性は小さい災害を含むが万一に備え対策を検討しておくべき第2段階(C レベル)の災害を想定災害として取り上げる。

また、評価上の発生確率は極めて小さくなったとしても、発生した時の影響が膨大な災害について、低頻度大規模災害(発生危険度 D-E レベルかつ影響度 I レベル)として取り上げる。

### (1) 仙台地区

仙台地区の平常時における災害危険性の評価として、想定災害のまとめを表 2.3.5 に示す。また、低頻度大規模災害として抽出した災害を表 2.3.6 に示す。

危険物タンクにおいては、第1段階の想定災害として小量流出および中量流出による流出火災が想定される。流出火災の影響度は最大で V レベルとなる。第2段階の想定災害としては小量流出、中量流出、仕切堤内流出及び防油堤内流出による流出火災が想定される。影響度は最大で I レベルであり、防油堤内流出による流出火災では、影響は他の事業所まで及ぶ可能性がある。

高圧ガスタンクにおいては、第1段階の想定災害として小量流出による、ガス爆発、フラッシュ火災が想定される。ガス爆発、フラッシュ火災とも影響度は最大で III レベルとなる。第2段階の想定災害としては小量流出による毒性ガス拡散が想定される。影響度はいずれも I レベルとなる。

プラント(発電施設)においては、第1段階の想定災害として小量流出および中量流出による流出火災、ユニット内全量(長時間)流出によるガス爆発及びフラッシュ火災が想定される。影響度は最大で流出火災では IV レベル、ガス爆発では III レベル、フラッシュ火災では IV レベルとなる。第2段階の想定災害に該当する事象はない。

プラント(製造施設)においては、第1段階の想定災害としていずれもユニット内全量(長時間)流出による流出火災、ガス爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散が想定される。影響度は最大で流出火災では III レベル、ガス爆発では I レベル、フラッシュ火災では I レベル、毒性ガス拡散では IV レベルとなる。第2段階の想定災害に該当する事象はない。

石油タンカー棧橋においては、第1段階の想定災害として小量流出による流出火災が想定され、その影響度は最大で V レベルとなる。第2段階の想定災害としては小量流出及び小量流出・流出油拡大による流出火災が想定される。影響度は最大で V レベルとなる。

LPG・LNG タンカー棧橋においては、第1段階及び第2段階の想定災害として該当する災害はない。

危険物配管においては、第1段階の想定災害として小量流出による流出火災が想定され、影響度は V レベルとなる。

高圧ガス導管においては、第1段階及び第2段階の想定災害として該当する災害はない。

表 2.3.5 平常時の想定災害(仙台地区)

施設	災害種別	第1段階災害		第2段階災害		
		想定災害	影響度	想定災害	影響度	
危険物タンク	流出火災	少量流出(38), 中量流出(1)	V	少量流出(41), 中量流出(37), 仕切堤内流出(38), 防油堤内流出(1)	I-V	
	タンク火災	該当なし	-	タンク小火災(1)	V	
高圧ガスタンク	ガス爆発	少量流出(27)	III-IV	該当なし	-	
	フラッシュ火災	少量流出(27)	III-V	該当なし	-	
	毒性ガス拡散	該当なし	-	少量流出(3)	I	
プラント	製造施設	流出火災	ユニット内全量(長時間)流出(5)	III-IV	該当なし	
		ガス爆発	ユニット内全量(長時間)流出(9)	I-IV	該当なし	
		フラッシュ火災	ユニット内全量(長時間)流出(9)	I-V	該当なし	
		毒性ガス拡散	ユニット内全量(長時間)流出(3)	IV-V	該当なし	
	発電施設	流出火災	少量流出(1), 中量流出(2)	IV-V	該当なし	-
		ガス爆発	ユニット内全量(長時間)流出(1)	III	該当なし	-
タンカー 棧橋	石油タンカー	流出火災	少量流出(6)	V	少量流出(3), 少量流出・流出油拡散(6)	V
	LPG・LNGタンカー	ガス爆発	該当なし	-	該当なし	-
		フラッシュ火災	該当なし	-	該当なし	-
パイプライン	危険物配管	流出火災	少量流出(1)	V	該当なし	-
	高圧ガス導管	ガス爆発	該当なし	-	該当なし	-
		フラッシュ火災	該当なし	-	該当なし	-

表 2.3.6 平常時の低頻度大規模災害(仙台地区)

施設	災害種別	低頻度大規模災害	
危険物タンク	流出火災	仕切堤内流出(2), 防油堤内流出(76), 防油堤外流出(79)	
	タンク火災	タンク全面防油堤内火災(77)	
高圧ガスタンク	ガス爆発	中量流出(8), 大量(長時間)流出(9), 全量(長時間)流出(9)	
	フラッシュ火災	中量流出(8), 大量(長時間)流出(8), 全量(長時間)流出(8)	
	毒性ガス拡散	中量流出(3), 全量(長時間)流出(3)	
プラント	製造施設	流出火災	該当なし
		ガス爆発	大量(長時間)流出(5)
		フラッシュ火災	大量(長時間)流出(3)
		毒性ガス拡散	該当なし
	発電施設	流出火災	該当なし
		ガス爆発	該当なし
タンカー 棧橋	石油タンカー	流出火災	該当なし
	LPG・LNGタンカー	ガス爆発	大量流出(3)
		フラッシュ火災	大量流出(3)
パイプライン	危険物配管	流出火災	該当なし
	高圧ガス導管	ガス爆発	中量流出(1), 大量流出(1)
		フラッシュ火災	中量流出(1), 大量流出(1)

## (2) 塩釜地区

塩釜地区の平常時における災害危険性の評価として、想定災害のまとめを表 2.3.7 に示す。また、低頻度大規模災害として抽出した災害を表 2.3.8 に示す。

危険物タンクにおいては、第 1 段階の想定災害として小量流出および中量流出による流出火災が想定される。流出火災の影響度は最大で IV レベルとなる。第 2 段階の想定災害としては小量流出、中量流出、仕切堤内流出及び防油堤内流出による流出火災が想定される。影響度は最大で I レベルであり、防油堤内流出による流出火災では、影響は他の事業所まで及ぶ可能性がある。

高圧ガスタンクにおいては、第 1 段階の想定災害として小量流出による、ガス爆発、フラッシュ火災が想定される。ガス爆発、フラッシュ火災とも影響度は最大で III レベルとなる。第 2 段階の想定災害は該当する災害はない。

石油タンカー棧橋においては、第 1 段階の想定災害として小量流出及び大量流出による流出火災が想定され、その影響度は最大で IV レベルとなる。第 2 段階の想定災害としては小量流出及び小量流出・流出油拡大、大量流出による流出火災が想定される。影響度は最大で IV レベルとなる。

危険物配管においては、第 1 段階の想定災害として小量流出及び中量流出による流出火災が想定され、影響度は IV レベルとなる。第 2 段階の想定災害としては大量流出による流出火災が想定され、影響度は最大で IV レベルとなる。

表 2.3.7 平常時の想定災害(塩釜地区)

施設	災害種別	第1段階災害		第2段階災害		
		想定災害	影響度	想定災害	影響度	
危険物タンク	流出火災	小量流出(16), 中量流出(5)	IV-V	小量流出(37), 中量流出(52), 仕切堤内流出(5), 防油堤内流出(16)	I-V	
	タンク火災	該当なし	-	タンク小火災(3)	V	
高圧ガスタンク	ガス爆発	小量流出(3)	III	該当なし	-	
	フラッシュ火災	小量流出(3)	III	該当なし	-	
タンカー 棧橋	石油タンカー 棧橋	流出火災	小量流出(7), 大量流出(2)	IV-V	小量流出(7), 小量流出・流出油拡散(7), 大量流出(2)	IV-V
パイプ ライン	危険物配管	流出火災	小量流出(16), 中量流出(2)	IV-V	大量流出(1)	IV

表 2.3.8 平常時の低頻度大規模災害(塩釜地区)

施設	災害種別	低頻度大規模災害	
危険物タンク	流出火災	防油堤内流出(4), 防油堤外流出(81)	
	タンク火災	タンク全面防油堤火災(5)	
高圧ガスタンク	ガス爆発	該当なし	
	フラッシュ火災	該当なし	
タンカー 棧橋	石油タンカー 棧橋	流出火災	該当なし
パイプ ライン	危険物配管	流出火災	該当なし



## 第4節 地震(短周期地震動)時の災害を対象とした評価

### 1. 地震の想定

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下「東北地方太平洋沖地震」という。)は、我が国の観測史上最大規模の地震であり、本県も含め各地に甚大な被害をもたらした。その貴重な経験に鑑み、中央防災会議は今後の地震対策の基本的な考え方を示し、「地震・津波の想定を行うにあたっては、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」としている<sup>1</sup>。従って、本アセスメントにおいても、最大クラスの地震・津波を想定しその影響度を検討すべきところであるが、本県においては平成16年の第三次地震被害想定調査以降、地震被害想定は行われていないことから、ここではこの第三次地震被害想定結果と東北地方太平洋沖地震での各種観測データとを比較し、影響が大きいと考えられる地震動強さ、津波高さを与える地震を想定することとした。

#### (1) 想定地震

##### ア 宮城県第三次地震被害想定調査

宮城県において「宮城県地震被害想定調査に関する報告書(平成16年3月、宮城県防災会議地震対策等専門部会)」では第三次地震被害想定調査として、下記3つの地震について被害想定が実施された。

- 宮城県沖地震(単独)
- 宮城県沖地震(連動)
- 長町-利府線断層帯の地震

##### ① 宮城県沖地震(単独)

本想定地震は、1978年宮城県沖地震の再来を考慮したものであるが、破壊の開始を宮城県に大きな震度分布となるように北東の破壊とした。石巻から北上川沿いや古川の低地、仙台平野等の軟弱地盤が分布する地域で震度6弱から6強となり、これらの地域では被害が大きくなっている。1978年の地震に比べると、住家建物の全半壊被害で3.5倍(約27,300棟)、死傷者で3倍強(約4,100人)となった。地震発生後の20分から60分後に宮城県沿岸に津波が到達し、最大2m前後の津波高となり、浸水被害が若干出る。

##### ② 宮城県沖地震(連動)

本想定地震は、地震調査研究推進本部が宮城県沖の最大級の地震として想定したものである。地震動の分布は単独の地震とよく似ているが、中北部でやや大きくなっている。特に、県北部地域の震度6強の分布が単独とは異なり、矢本町周辺で震度6強となる地域が分布している。単独の地震より地震動分布が大きくなった分、被害は大きくなる。

単独と同様、地震発生後の20分から60分後に宮城県沿岸に津波が到達する。牡鹿半島より北部沿岸では4mを超える津波高となる場所もあり、かなりの浸水域が予想される。

<sup>1</sup> 中央防災会議：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告，2011  
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/pdf/houkoku.pdf>

### ③ 長町一利府線断層帯の地震

仙台市街地を通る長町一利府線断層帯を想定地震としたもので、断層の直上となる青葉区、泉区、太白区のそれぞれ東部地域で震度6強、場所によっては震度7となるが、それより遠方になると急激に震度が小さくなっている。被害は、仙台市およびその周辺に集中している。仙台市の被害を宮城県沖地震（単独）と比べると建物全半壊棟数は6倍（約53,000棟）となり、死傷者数は9倍（約11,000人）となった。仙台市では人口集積地のため、場所によっては平成7年（1995年）兵庫県南部地震の甚大な被害地域と同じような被害となることが予想される。

第三次地震被害想定調査における宮城県石油コンビナート等特別防災区域の各地区の最大計測震度と液状化危険度を表2.4.1に示す。

表 2.4.1 宮城県特別防災区域における最大計測震度と液状化危険度(第三次地震被害想定調査)

特別 防災区域	宮城県沖地震(単独)		宮城県沖地震(連動)		長町一利府線断層帯の 地震	
	計測震度	液状化 PL 値	計測震度	液状化 PL 値	計測震度	液状化 PL 値
仙台地区	5.74	5 < PL ≤ 15	6.05	5 < PL ≤ 15	5.79	PL=0
塩釜地区	5.79	0 < PL ≤ 5	6.20	0 < PL ≤ 5	5.79	PL=0

### イ 東北地方太平洋沖地震

2011年に東北地方に甚大な被害をもたらした東北地方太平洋沖地震では、気象庁、防災科学技術研究所、港湾空港技術研究所による観測点の強震記録が公開されている。しかしながら、各観測点とコンビナート特別区域では位置が異なるため、サイト増幅特性が大きく異なっている可能性がある。実際、港湾空港技術研究所による報告では、港湾空港技術研究所の観測点(仙台-G)と仙台地区にある高砂埠頭とはサイト増幅特性が大きく異なっているとしている<sup>2</sup>。

今回のアセスメント調査では参考資料2の手法により、各事業所における加速度時刻歴を推定し、地表における計測震度を求めた。計測震度に関しては、気象庁ホームページ“計測震度の算出方法”<sup>3</sup>を参考とした。

<sup>2</sup> 東北地方太平洋沖地震による仙台塩釜港（仙台港区）高砂埠頭における地震動の事後推定（第1版）  
[http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research\\_jpn/research\\_jpn\\_2011/jr\\_4051\\_rev1.html](http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/research_jpn/research_jpn_2011/jr_4051_rev1.html)

<sup>3</sup> [https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc\\_sindo.htm](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)

地震の概要(気象庁)
1.発生日時平成 23 年 3 月 11 日(金)14 時 46 分頃
2.震源及び規模(推定)
三陸沖(牡鹿半島の東南東 130km 付近(北緯 38.1 度, 東経 142.9 度))
モーメントマグニチュード Mw9.0, 深さ約 24km
断層面のすべり分布
最大すべり量は約 30m
主な断層の長さは約 450km, 幅は約 150km
本震での破壊継続時間は約 170 秒間

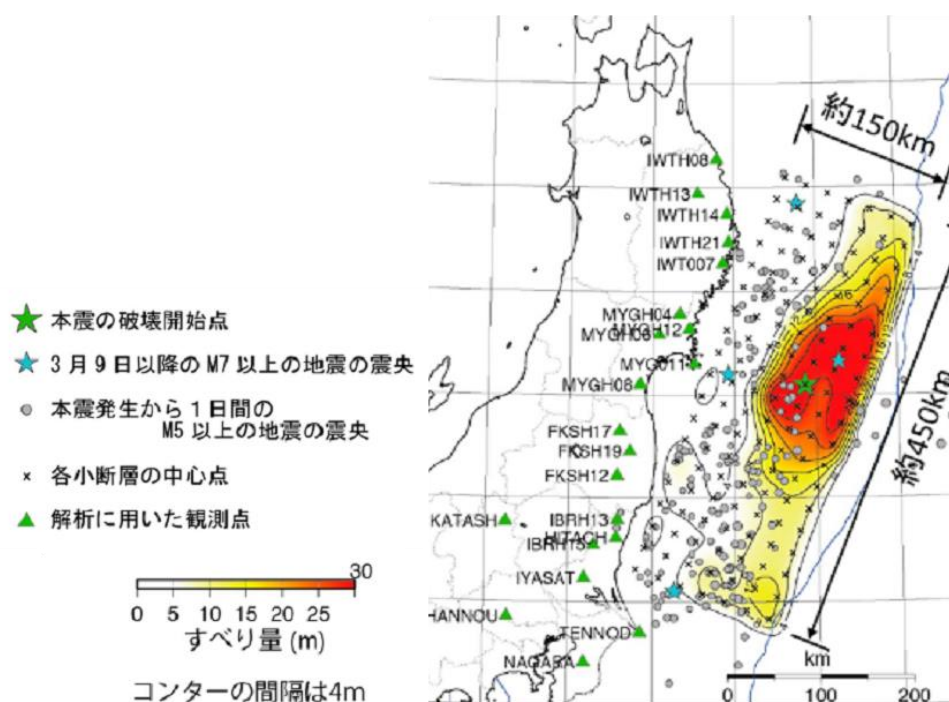


図 2.4.1 東北地方太平洋沖地震のすべり分布 (出典:中央防災会議資料)

液状化危険度については、若松らによると、仙台平野において 745～2008 年に発生した液状化は 8 回であり、東北地方太平洋沖地震による液状化発生地点では特別防災区域における液状化発生地点のデータは見られない<sup>4</sup>。ただし、津波被害地域において建物が不等沈下により大きく傾いている事例については、津波による洗掘で基礎地盤が流出して傾斜した可能性もあるため、噴砂の痕跡が確認されていない場合は液状化と見なされていない。

<sup>4</sup>若松加寿江, “2011 年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化”, 日本地震工学会論文集 第 12 巻, 第 5 号, (2012).

## (2) 地震(短周期地震動を対象)時の発生危険度の算定に用いる地震動

短周期地震動を受けた時(以下、強震動)の発生危険度の評価において用いる各地区の震度は、宮城県第三次地震被害想定調査結果と東北地方太平洋沖地震の推定による計測震度において過去最大となる値を用いた。ただし、塩釜地区の事業所地点において東北地方太平洋沖地震に対する各地区での推定計測震度を比較し大きい方の値を用いた。

液状化危険度 PL については、東北地方太平洋沖地震による液状化が不明のため、第三次地震被害想定調査による値を用いた。

強震時の発生危険度の評価に用いた各地区の計測震度と PL 値の最大値を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 強震時の発生危険度の評価に用いた地震動の計測震度の最大値

特別 防災区域	計測震度地区最大値		液状化 PL 値
	東北地方 太平洋沖地震 (事後推定)	第三次地震被害想 定調査	
仙台地区	5.62	6.05	$5 < PL \leq 15$
塩釜地区	6.79	6.20	$0 < PL \leq 5$

## (3) 液状化危険度

液状化危険度の想定方法は道路橋示方書(2002)の液状化判定式が用いられている。また、各地点における液状化の発生と程度を評価する指標として、液状化指数 PL 値を岩崎ほか(1980)の手法により求めている。PL 値と液状化危険度の関係は概ね以下のとおりである。

$30.0 < PL$	液状化危険度は極めて高い
$15.0 < PL \leq 30.0$	液状化危険度はかなり高い
$5.0 < PL \leq 15.0$	液状化危険度は高い
$0.0 < PL \leq 5.0$	液状化危険度は低い
$PL = 0.0$	液状化危険度はかなり低い

## 2. 災害の発生危険度と影響度に基づいた総合的評価による災害想定

### 防災計画において想定すべき災害

平常時と同様に、指針を踏まえると想定災害の範囲は図 2.4.2 のように表すことができる。

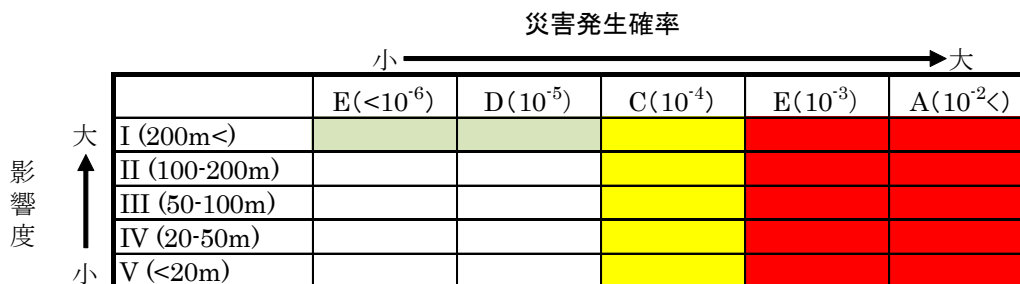


図 2.4.2 指針を踏まえた想定災害の範囲

ここで、強震時における災害の発生確率と影響度の区分を表 2.4.3 及び表 2.4.4 のとおりである。

表 2.4.3 災害発生確率区分(強震時)

危険度 A	$10^{-2}$ 程度以上 ( $5 \times 10^{-3}$ 以上)
危険度 B	$10^{-3}$ 程度 ( $5 \times 10^{-4}$ 以上 $5 \times 10^{-3}$ 未満)
危険度 C	$10^{-4}$ 程度 ( $5 \times 10^{-5}$ 以上 $5 \times 10^{-4}$ 未満)
危険度 D	$10^{-5}$ 程度 ( $5 \times 10^{-6}$ 以上 $5 \times 10^{-5}$ 未満)
危険度 E	$10^{-6}$ 程度以下 ( $5 \times 10^{-6}$ 未満)

危険度 B は、 $10^{-3}$  回/施設・地震（1 施設、当該規模の地震発生 1 回当たり）以上の確率で災害が発生することをあらわしており、当該施設が 1,000 施設あれば、1 回/地震（当該規模の地震発生 1 回に対して）することを示している。

また、危険度 C は  $10^{-4}$  回/施設・地震（1 施設、当該規模の地震発生 1 回当たり）以上の確率で災害が発生することをあらわしており、当該施設が 1,000 施設あれば、0.1 回/地震（当該規模の地震発生 1 回に対して）することを示している。

表 2.4.4 災害の影響度区分

影響度 I	200m 以上
影響度 II	100m 以上 200m 未満
影響度 III	50m 以上 100m 未満
影響度 IV	20m 以上 50m 未満
影響度 V	20m 未満

想定災害の抽出として発生確率に着目し、現実には起こりうると考えて対策を検討しておくべき災害として、災害の発生確率が高い第 1 段階(A-B レベル)の災害、および発生する可能性は小さい災害を含むが万一に備え対策を検討しておくべき第 2 段階(C レベル)の災害を想定災害として取り上げる。また、災害発生確率が低確率(E レベル, D レベル)においても発生確率には言及せず、さらなる拡大様相も合わせて大規模災害のシナリオとして検討が必要である低頻度大規模災害として設定される。

### 3. 強震時の想定災害のまとめ

平常時と同様に、災害の発生危険度と影響度をランクに分け、両者を合わせたリスクマトリックスによる評価から、防災計画策定において想定すべき災害の抽出を行った。

想定災害の抽出として発生確率に着目し、現実には起こりうると考えて対策を検討しておくべき災害として、災害の発生確率が高く、影響度が大きい第1段階(A・Bレベル)の災害、および発生する可能性は小さい災害を含むが万一に備え対策を検討しておくべき第2段階(Cレベル)の災害を想定災害として取り上げる。

また、評価上の発生確率は極めて小さくなったとしても、発生した時の影響が膨大な災害について、低頻度大規模災害(発生危険度 D・E レベルかつ影響度 I レベル)として取り上げる。

#### (1) 仙台地区

仙台地区の強震時における災害危険性の評価として、想定災害のまとめを表 2.4.5 (a)に示す。また、低頻度大規模災害として抽出した災害を同様に表 2.4.5(b)に示す。

危険物タンクにおいては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として該当する事象としては、小量流出および中量流出による流出火災が想定される。流出火災の影響度は最大で IV レベルとなる。

高圧ガスタンクにおいては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害としては小量流出によるフラッシュ火災、ガス爆発が想定される。影響度はいずれも最大で III レベルとなる。

プラント(発電施設)においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として小量流出による流出火災、ユニット内全量(長時間)流出によるガス爆発及びフラッシュ火災が想定される。影響度は最大で流出火災では V レベル、ガス爆発では III レベル、フラッシュ火災では IV レベルとなる。

プラント(製造施設)においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害としていずれもユニット内全量(長時間)流出による流出火災、ガス爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散が想定される。影響度は最大で流出火災では III レベル、ガス爆発では I レベル、フラッシュ火災では I レベル、毒性ガス拡散では IV レベルとなる。

石油タンカー棧橋においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として小量流出による流出火災が想定され、影響度は最大で V レベルとなる。

LPG・LNG タンカー棧橋においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として小量流出によるフラッシュ火災、ガス爆発が想定され、影響度はガス爆発では最大 II レベル、フラッシュ火災では最大 III レベルとなる。

危険物配管においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として小量流出による流出火災が想定され、影響度は最大で V レベルであり、放射熱の影響は施設周辺に留まる。

高圧ガス導管においては、第1段階の想定災害として該当する事象はない。第2段階の想定災害として小量流出によるフラッシュ火災、ガス爆発が想定され、影響度はいずれも最大 III レベルとなる。

表 2.4.5(a) 強震時の想定災害（仙台地区）

施設	災害種別	第1段階災害		第2段階災害		
		想定災害	影響度	想定災害	影響度	
危険物タンク	流出火災	該当なし	-	小量流出(38), 中量流出(28)	IV-V	
高圧ガスタンク	ガス爆発	該当なし	-	小量流出(27)	III-IV	
	フラッシュ火災	該当なし	-	小量流出(27)	III-V	
	毒性ガス拡散	該当なし	-	小量流出(3)	I	
プラント	製造施設	流出火災	該当なし	ユニット内全量(長時間)流出(5)	III-IV	
		ガス爆発	該当なし	ユニット内全量(長時間)流出(9)	I-IV	
		フラッシュ火災	該当なし	ユニット内全量(長時間)流出(9)	I-V	
		毒性ガス拡散	該当なし	ユニット内全量(長時間)流出(3)	IV-V	
	発電施設	流出火災	該当なし	-	小量流出(1)	V
		ガス爆発	該当なし	-	ユニット内全量(長時間)流出(1)	III
		フラッシュ火災	該当なし	-	ユニット内全量(長時間)流出(1)	IV
タンカー 棧橋	石油タンカー 流出火災	該当なし	-	小量流出(7)	V	
	LPG・LNGタ ンカー棧橋	ガス爆発	該当なし	小量流出(4)	II-III	
		フラッシュ火災	該当なし	小量流出(4)	III	
パイプ ライン	危険物配管	流出火災	該当なし	小量流出(1)	V	
	高圧ガス導管	ガス爆発	該当なし	小量流出(1)	III	
		フラッシュ火災	該当なし	-	小量流出(1)	III

表 2.4.5 (b) 強震時の低頻度大規模災害（仙台地区）

施設	災害種別	低頻度大規模災害	
危険物タンク	流出火災	仕切堤内流出(14), 防油堤内流出(77), 防油堤外流出(79)	
高圧ガスタンク	ガス爆発	中量流出(8), 大量(長時間)流出(9), 全量(長時間)流出(9)	
	フラッシュ火災	中量流出(8), 大量(長時間)流出(8), 全量(長時間)流出(8)	
	毒性ガス拡散	中量流出(3), 全量(長時間)流出(3)	
プラント	製造施設	流出火災	該当なし
		ガス爆発	大量(長時間)流出(5)
		フラッシュ火災	大量(長時間)流出(3)
		毒性ガス拡散	該当なし
	発電施設	流出火災	該当なし
		ガス爆発	該当なし
		フラッシュ火災	該当なし
タンカー 棧橋	石油タンカー 流出火災	該当なし	
	LPG・LNGタ ンカー棧橋	ガス爆発	大量流出(3)
		フラッシュ火災	大量流出(3)
パイプ ライン	危険物配管	流出火災	該当なし
	高圧ガス導管	ガス爆発	中量流出(1), 大量流出(1)
		フラッシュ火災	中量流出(1), 大量流出(1)

## (2) 塩釜地区

塩釜地区の強震時における災害危険性の評価として、想定災害のまとめを表 2.4.6(a)に示す。また、低頻度大規模災害として抽出した災害を同様に表 2.4.6 (b)に示す。

危険物タンクにおいては、第 1 段階の想定災害として小量流出、中量流出、防油堤内流出による流出火災が想定され、影響度は防油堤内流出による流出火災で最大 I レベルとなる。第 2 段階の想定災害としては小量流出、中量流出、仕切堤内流出及び防油堤内流出による流出火災が想定される。影響度は防油堤内流出による流出火災で最大で I レベルとなる。

高圧ガスタンクにおいては、第 1 段階の想定災害として該当する事象はない。第 2 段階の想定災害としては小量流出によるフラッシュ火災、ガス爆発が想定される。影響度はガス爆発、フラッシュ火災とも最大 III レベルとなる。

石油タンカー棧橋においては、第 1 段階の想定災害として小量流出、小量流出・流出油拡散および大量流出による流出火災が想定され、影響度は最大 IV レベルとなる。第 2 段階の想定災害としては小量流出、小量流出・流出油拡散、大量流出および大量流出・流出油拡散による流出火災が想定され、影響度は最大で IV レベルとなり、放射熱の影響は施設周辺に留まる。

危険物配管においては、第 1 段階の想定災害として小量流出による流出火災が想定され、影響度は最大で V レベルであり、放射熱の影響は施設周辺に留まる。第 2 段階の想定災害としては小量流出および中量流出による流出火災が想定される。影響度は最大 IV レベルとなる。

表 2.4.6(a) 強震時の想定災害 (塩釜地区)

施設	災害種別	第1段階災害		第2段階災害	
		想定災害	影響度	想定災害	影響度
危険物タンク	流出火災	小量流出(46), 中量流出(29), 防油堤内流出(16)	I-V	小量流出(7), 中量流出(41), 仕切堤内流出(5), 防油堤内流出(41)	I-V
高圧ガスタンク	ガス爆発	該当なし	-	小量流出(3)	III
	フラッシュ火災	該当なし	-	小量流出(3)	III
タンカー棧橋	石油タンカー棧橋 流出火災	小量流出(9), 小量流出・流出油拡散(3), 大量流出(2)	IV-V	小量流出(5), 小量流出・流出油拡散(6), 大量流出(2), 大量流出・流出油拡散(2)	IV-V
パイプライン	危険物配管 流出火災	小量流出(12)	V	小量流出(4), 中量流出(1)	IV-V

表 2.4.6 (b) 強震時の低頻度大規模災害 (塩釜地区)

施設	災害種別	低頻度大規模災害
危険物タンク	流出火災	防油堤内流出(4), 防油堤外流出(81)
高圧ガスタンク	ガス爆発	該当なし
	フラッシュ火災	該当なし
タンカー棧橋	石油タンカー棧橋 流出火災	該当なし
パイプライン	危険物配管 流出火災	該当なし



## 第5節 長周期地震動による災害評価

### 1. 東北地方太平洋沖地震における長周期地震動による被害

#### (1) 浮き屋根上への漏洩

東北地方太平洋沖地震では、3月22日に、仙台地区の事業所において、屋外タンク貯蔵所(塩釜地区消防事務組合管内)(原油 許可容量 65,700 kl 内容量 55,000kl)の浮き屋根上に滞油が確認(図 2.5.1 図)されたが、調査の結果、ほとんどが水と判明した。

原因は、雨水管の元弁が閉鎖されていたため、雨水が排水されず浮き屋根上に溜まり、若干のスロッシングによる溢流により原油の油膜が雨水の表面に形成されたもので、火災等は発生していない。

なお、本事案について事業所では、「大容量泡放射システム」の出動を要請している。

(下図は仙台市消防局からの提供)



図 2.5.1 浮き屋根上に原油溢流疑いの事例

#### (2) タンク付属設備の被害

東北地方太平洋沖地震では、ローリングラダーが脱輪(図 2.5.2)したり、浮き屋根本体が揺られたことにより浮き屋根回転止めが引きづられタンク側板が変形(図 2.5.3)する事例等があったが、火災等の災害には至らなかった。

ローリングラダーが脱輪することにより、場合によっては浮き屋根本体が破損、溢流、浮き屋根沈降、最悪火災に至る危険性もあったと考えられる。

また、ウエザーシールがはずれたこと(図 2.5.4)等に対しては、シール部に異常が発生し、万一着火すると、タンク火災に至る危険性もあったと考えられる。

さらに、ポンツーン蓋が離脱(図 2.5.5)したことに対しては、浮き屋根上に溢流した油がポンツーン内に流入するおそれがあり、その流入量によってはポンツーンの浮力を喪失し、他のタンクへ油を緊急移送できない状況の場合は、浮き屋根が沈降しタンク全面火災に至る危険性もあったと考えられる。

(下図は仙台市消防局からの提供)



図 2.5.2 ローリンググラダーの脱輪



図 2.5.3 浮き屋根回転止め, 側板の変形



図 2.5.4 ウエザーシールのはずれ



図 2.5.5 ポンツーン蓋の離脱

### (3) タンク内のドレン配管の破損

東日本大震災では、タンク内ドレン配管の損傷によるタンク内容物の流出は確認されていない。

## 2. 想定する災害シナリオ

### (1) 浮き屋根式タンク

指針に示されている、長周期地震動による浮き屋根式タンクの下記初期事象による災害シナリオを図 2.5.6 から図 2.5.8 までに示す。

- 浮き屋根上への流出
- 浮き屋根の損傷・沈降
- タンク内のドレン配管の破損

浮き屋根式タンクでは、大きなスロッシングが励起されると、余裕空間高さを上回り内容物が溢流する可能性があるほか、浮き屋根が上部構造物に衝突し、それが起因して内容物に着火することにより、リム火災が発生する可能性がある。

また、何らかの理由により、リム火災が発生した場合、消火設備が機能しない、もしくは、消火活動ができない事態となれば、リング火災に進展し、その後、浮き屋根が沈降した場合は、タンク全面火災となる。

さらにタンク全面火災が長時間にわたり継続した場合、ボイルオーバーが発生し防油堤内火災をも引き起こすおそれがある。

一方、溢流がない場合でも、ゲージポールや浮き屋根の変形・破損、浮き屋根上への油の滞留、浮き屋根の沈降等が生じるおそれがあり、被害の状況に応じリム火災、リング火災、タンク全面火災の発生も考えられる。

さらに、タンク全面火災が発生し長時間にわたり継続した場合、ボイルオーバーが発生し防油堤内火災をも引き起こすおそれがある。

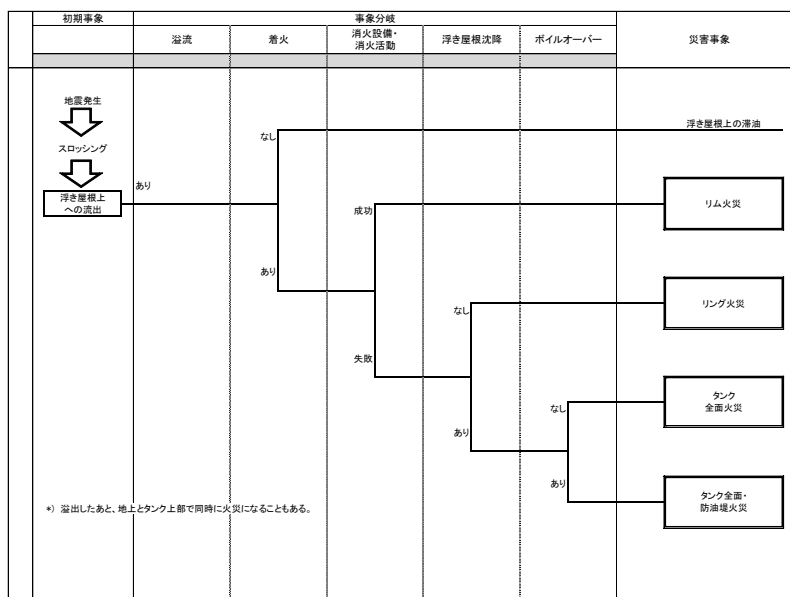
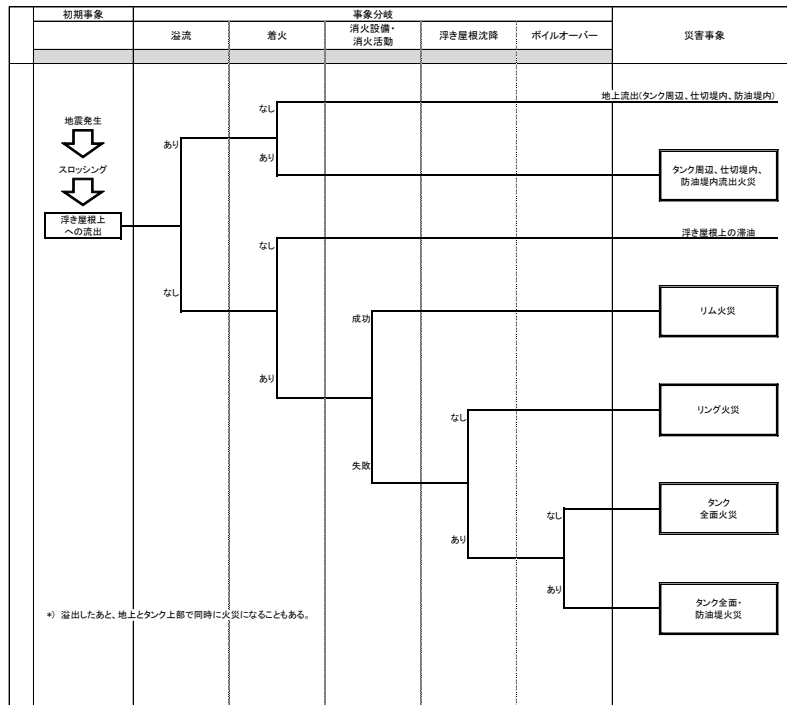


図 2.5.6 浮き屋根上への流出による災害シナリオ

浮き屋根の破損・沈降が発生し、着火した場合、タンク全面火災となり、さらにタンク全面火災が長時間にわたり継続した場合、ボイラーオーバーが発生し防油堤内火災をも引き起こすおそれもある。

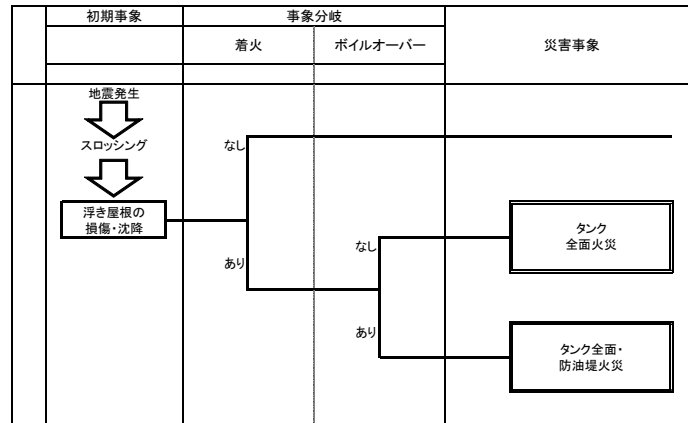


図 2.5.7 浮き屋根の損傷・沈降による災害シナリオ

浮き屋根式タンクでは、浮き屋根上に流出した油がドレン排水口から流出したり、タンク内部でドレン配管が破損してタンク内部の油がドレン排水口から流出したりするような事象が考えられる。前者の場合には、流出量は少量に留まるが、後者の場合は、ドレンバルブの閉止ができなかった際には、大量に流出して仕切堤や防油堤内に滞留することも考えられ、着火した場合、仕切堤内火災や防油堤内火災が発生する。

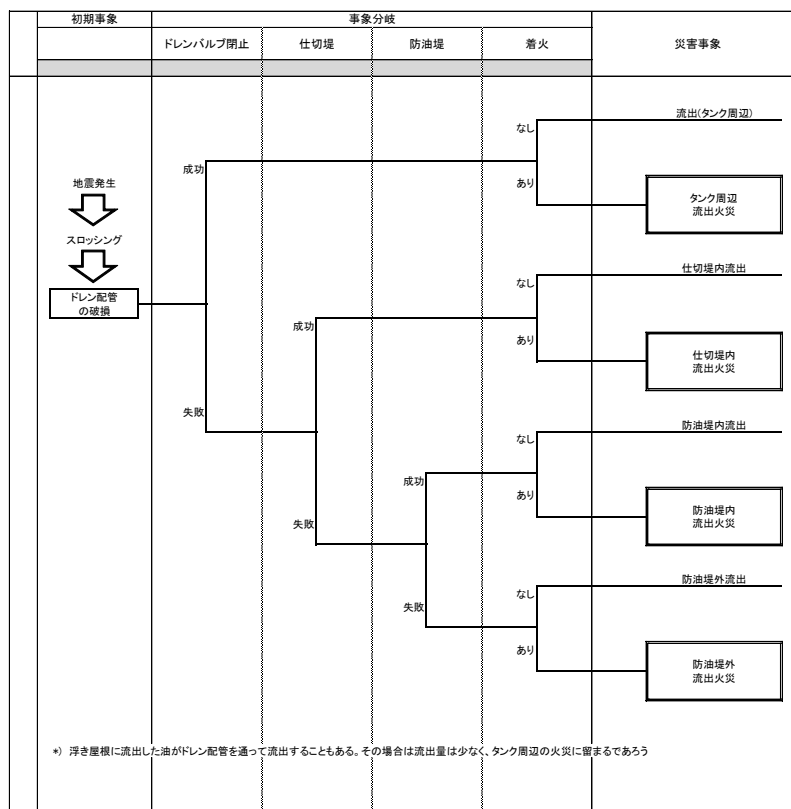


図 2.5.8 タンク内のドレン配管の破損による災害シナリオ

## (2) 内部浮き蓋付きタンク

指針では、スロッシングによりタンク内の浮き蓋が損傷し、油が浮き蓋上に溢流、あるいは浮き蓋が沈降した場合には、タンク上部の空間に可燃性蒸気が滞留し、通気口からの空気の流入により可燃性ガス濃度が爆発範囲内となって爆発・火災が発生する危険性がある、としている。また、平成15年(2003年)十勝沖地震(以下「十勝沖地震」という。)での内部浮き蓋付きタンクの被害では、スロッシング波高が2m以上になると被害が顕著になることが確認されている<sup>1</sup>。

内部浮き蓋付きタンクでは、スロッシングにより、浮き蓋が損傷・沈降し、着火した場合、消火設備等が機能しないと、タンク全面火災に至る可能性がある。さらに、タンク全面火災が長時間にわたり継続すると、ボイルオーバーが発生し、防油堤内火災をも引き起こすおそれがある。

図 2.5.9 に指針に示されている長周期地震動による浮き蓋の損傷・沈降による災害シナリオを示す。

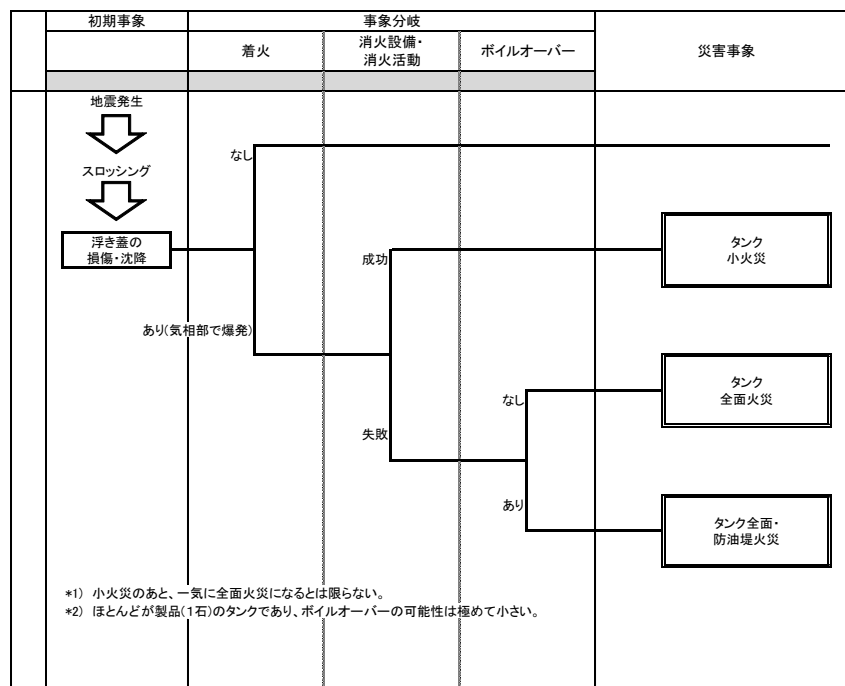


図 2.5.9 浮き蓋の損傷・沈降による災害シナリオ

<sup>1</sup> 消防庁危険物保安室：内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全対策に関する検討報告書，2011

### (3) 固定屋根式タンク

固定屋根式タンクの屋根は、放爆構造がとられていることから、スロッシングにより内容物が屋根に衝突すると、側板との接合部が破損し、内容物が溢流する可能性がある。

指針では、このような事例は、1964年の新潟地震で確認されており、容量20,000kL、直径約45mの固定屋根式タンク2基において、総量約2,000kLの重油が防油堤内に溢流している、としているが、東日本大震災では同様の被害は確認されていない。

固定屋根式タンクでは、タンク上部が破損し、着火した場合タンク小火災が発生し、消火設備等が機能しない場合には、タンク全面火災に至るおそれがある。さらに、タンク全面火災が長時間にわたり継続すると、ボイルオーバーが発生し、防油堤内火災をも引き起こすおそれがある。

図2.5.10に指針に示されている長周期地震動によるタンク上部の損傷による災害シナリオを示す。

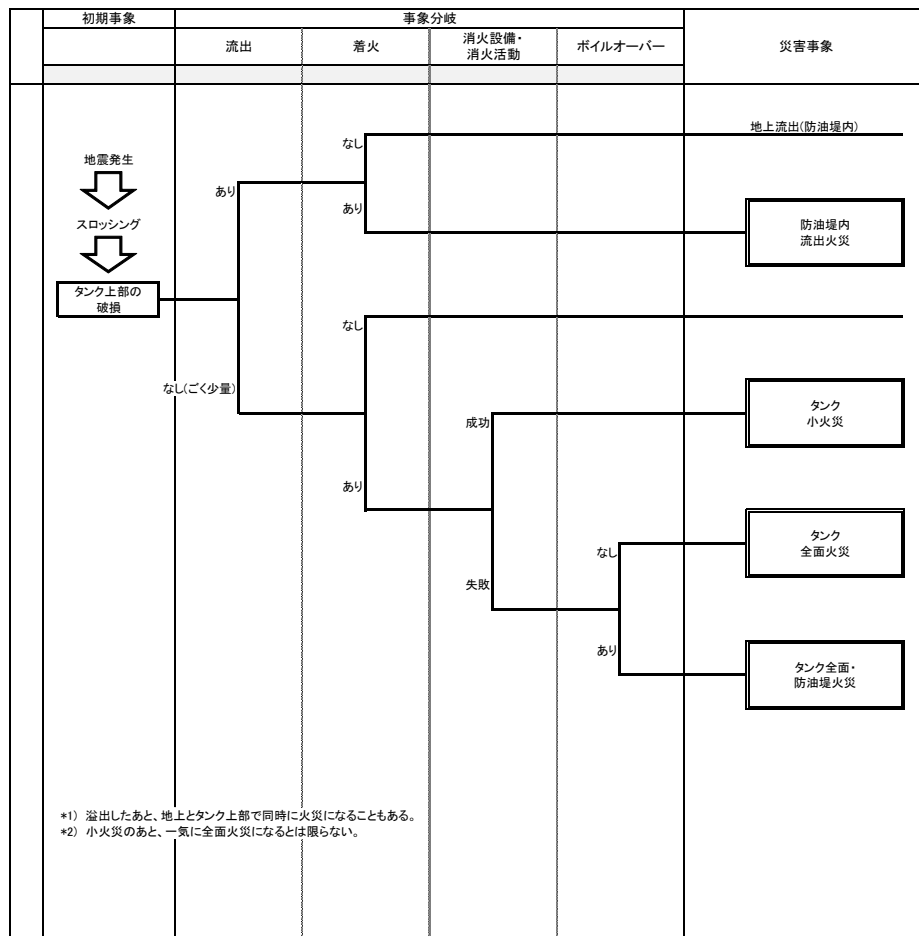


図 2.5.10 タンク上部の破損による災害シナリオ

### 3. 長周期地震動による被害の評価方法

#### (1) スロッシングによる最大波高の推定及び溢流量の算定

浮き屋根式タンク、内部浮き蓋付きタンク、固定屋根式タンクを対象として、速度応答スペクトル法を基にスロッシングによる溢流危険性を評価する。速度応答スペクトルとは、いろいろな固有周期を持つさまざまな建物や構造物に対して、地震動がどの程度の強さの揺れを生じさせるかを示すもので、建物や構造物と同じ特性（固有周期と減衰定数）を持つ揺れの最大値として算定される。

速度応答スペクトル法の評価式を以下に示す。

$$\eta = 0.837 (D/2g) (2\pi/Ts) Sv(Ts) \quad (式1)$$

$$Ts = 2\pi \{ (D/3.682g) \coth(3.682H/D) \}^{1/2} \quad (式2)$$

$\eta$  : スロッシング最大波高 (m)

$Ts$  : タンクのスロッシング基本固有周期 (s)

$D$  : タンク内径 (m)

$H$  : 液面高さ (m)

$g$  : 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

$Sv(Ts)$  : 周期 $Ts$  における速度応答スペクトル (m/s)

式1は、微小波高を仮定したもの（線形解）であり、溢流が生じるような大きなスロッシングの場合は、非線形性の影響による波高増分を考慮する必要がある。

非線形性を考慮したスロッシング最大波高 $\eta+$ は、西晴樹ら<sup>2</sup>により次式が提案されており、2003年十勝沖地震での事例から適用性が確認されている。

$$\eta+ = \eta + \Delta\eta$$

$$\Delta\eta = 0.91R(\eta/R)^2 \quad (式3)$$

$\eta+$  : 非線形性を考慮したスロッシング最大波高 (m)

$\eta$  : スロッシング最大波高 (式1による線形解 : m)

$\Delta\eta$  : 非線形液面増分 (m)

$R$  : タンク半径 (m)

また、非線形性を考慮したスロッシング最大波高( $\eta+$ )とタンクの側板高さとの差を溢流高さ( $\delta h$ )、スロッシングによる液面減少高さ(溢流により減少した液レベル)を $\Delta$ とすると、溢流体積( $\delta v$ )が式4で表される。

$$\delta v = \delta h \cdot (R-r_0) \cdot R\theta_0 \quad (式4)$$

$\delta v$  : 溢流体積 (図2.5.11の斜線で示す部分)

$\delta h$  : 溢流高さ

$r_0$  : タンク側板高さにおける $\theta=0^\circ$ の半径との交点

$\theta_0$  : 側板近傍においてスロッシング波高が $Hc$ と等しくなる円周方向角度

<sup>2</sup> 石油タンクのスロッシングによる溢流量の算定 (圧力技術第46巻第5号)

また、無次元液面減少高さ  $\Delta/R$  は、 $\delta v/R^3$  の一次近似式として式 5 であらわされ、

$$\Delta/R = \alpha \cdot \delta v/R^3 = \alpha \cdot \delta h/R \cdot (R-r_0)/R \cdot \theta_0 \quad (\text{式5})$$

$\alpha$  : 比例係数(自由液面 : 0.659, 浮屋根 : 0.4023)

任意の半径と周方向角度の液面の鉛直変位は、線形解  $\eta$ 、非線形液面増分  $\Delta \eta$  を用いると式 6 であらわされる。

$$\eta^+(r, \theta) = \eta^{(1)}_{\max} \cdot J_1(\varepsilon_1 \cdot r/R) / J_1(\varepsilon_1) \cdot \cos \theta + r/R \cdot \Delta \eta \cdot \cos 2\theta \quad (\text{式6})$$

J1 : 第 1 種ベッセル関数(1 次)

$\varepsilon_1$  : J1 の  $dJ_1(x)/dx=0$  の 1 番目の正根 (=1.84118)

式 6 において、 $r^0$  は  $\eta^+(r_0, 0) = H_c$  を、 $\theta_0$  は  $\eta^+(R, \theta_0) = H_c$  を解くことによって、溢流量は式 7 により求められる。

$$\begin{aligned} \Delta v &= (R^2 \pi) \cdot \Delta \\ &= (R^2 \pi) \cdot (\alpha \cdot \delta v/R^2) \\ &= (R^2 \pi) \cdot (\alpha \cdot \delta h \cdot (R-r_0) \cdot \theta_0/R) \end{aligned} \quad (\text{式7})$$

$\Delta$  : スロッシングによる液面減少高さ  
 $\alpha$  : 0.4023 (浮屋根)

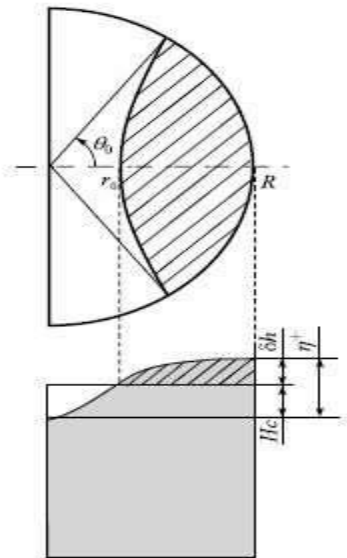


図 2.5.11 非線形スロッシングによる溢流量の模式図



## (2) 速度応答スペクトルの設定

長周期地震動による災害評価で使用する速度応答スペクトルは、仙台地区においては、東北地方太平洋沖地震(M9.0)における地震動から推定(変換処理)を行ったものを、塩釜地区においては、独立行政法人防災科学技術研究所 K-NET の観測地点 MYG012 で観測された地震動を用いた。表 2.5.1 に評価に用いた速度応答スペクトルの内容、図 2.5.12 及び図 2.5.13 に各地区の速度応答スペクトルを示す。

表 2.5.1 評価に用いた速度応答スペクトル

地区名称	事業所名称	評価に用いた速度応答スペクトル
仙 台	J X 日鉱日石エネルギー (株) 仙台製油所 (現 ENEOS (株) 仙台製油所)	東北地方太平洋沖地震(M9.0)における地震動地震動から推定(変換処理)を行った推定波
	全農エネルギー(株)仙台石油基地	
塩 釜	EMGマーケティング合同会社塩釜油槽所 (現 ENEOS (株) 塩釜油槽所)	独立行政法人防災科学技術研究所 K-NET の観測地点 MYG012 での観測波
	カメイ株式会社 塩釜貞山油槽所	
	出光興産(株)塩釜油槽所	
	昭和シェル石油(株)塩釜油槽所 (現 出光興産(株)貞山塩釜油槽所)	
	東西オイルターミナル(株)塩釜油槽所	
	富士興産 (株) 塩釜油槽所	

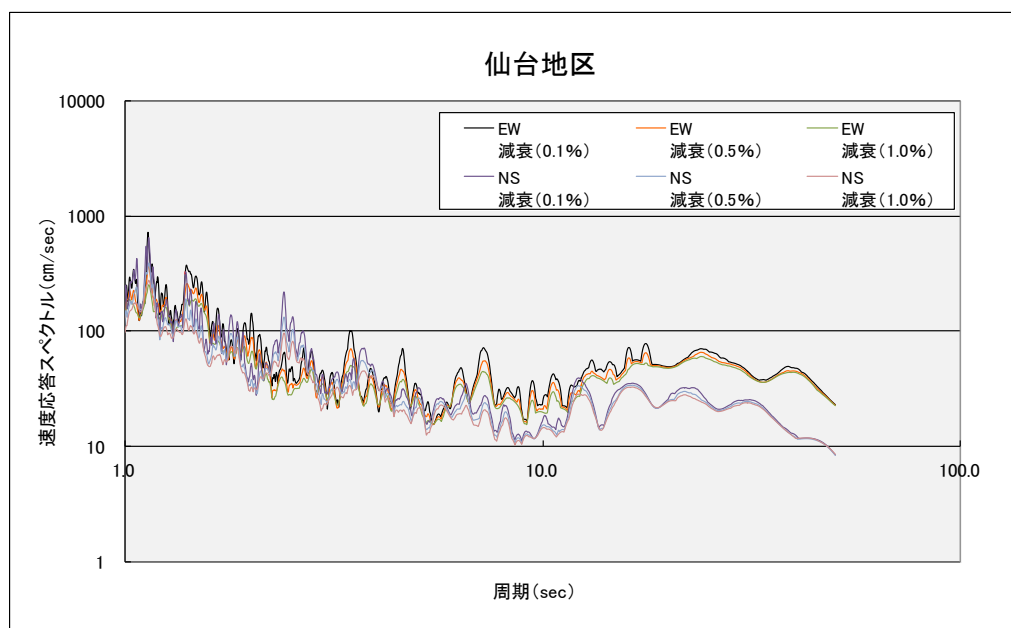


図 2.5.12 速度応答スペクトル(仙台地区)

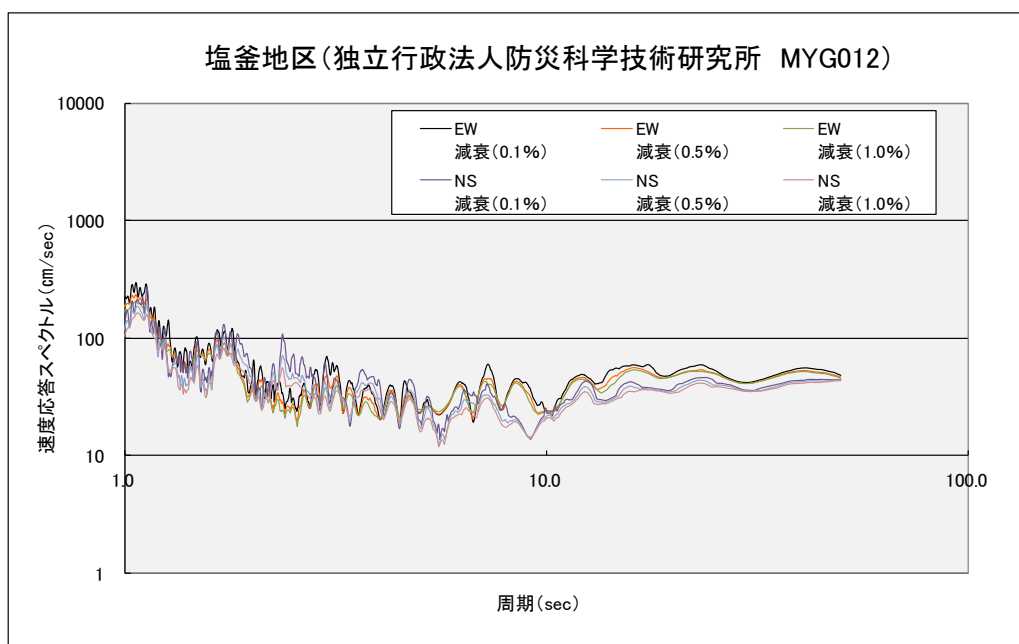


図 2.5.13 速度応答スペクトル(塩釜地区)

#### 4. スロッシング最大波高の算定

スロッシング最大波高の算定に用いる液面高さを、事業所アンケート調査で回答された自主管理の液面高さの上限値とした。

特定事業所における 10,000kL を目安とした貯蔵量別、固有周期別の危険物タンク数を表 2.5.2 及び表 2.5.3 に示す。

表 2.5.2 特定事業所における貯蔵量別危険物タンク数

地区名称	貯蔵量別危険物タンク数		総計
	500kL 以上 10,000kL 未満	10,000kL 以上	
仙台地区	25	54	79
塩釜地区	81	0	81
計	106	54	160

表 2.5.3 特定事業所における固有周期別危険物タンク数

地区名称	固有周期別危険物タンク数			総計
	5 (sec) 未満	5 (sec) 以上 10 (sec) 未満	10 (sec) 以上	
仙台地区	11	62	6	79
塩釜地区	81	0	0	81
計	92	62	6	160

図 2.5.14 に危険物タンクのスロッシング波高の頻度分布を示す。

評価対象である危険物タンクのスロッシング波高の最大値は約 1.2 m で、1.0m を超えるタンクは 5 基であり、0.5m 以上 1.0m 未満のタンクは 86 基、0.5m 未満のタンクは 69 基あるが、いずれも、スロッシング波高がタンクの余裕空間高を超えるタンクはない。

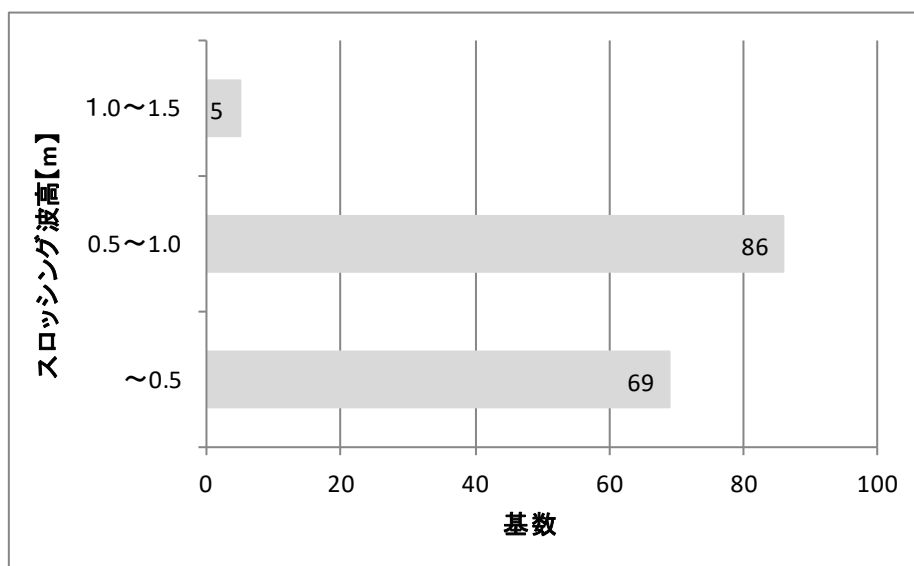


図 2.5.14 危険物タンクのスロッシング波高の頻度分布

## 5. 浮き屋根式タンクの災害想定

十勝沖地震の被害事例では、浮き屋根等の破損に関して、シングルデッキ浮き屋根式タンクの危険性が高いこと、スロッシング波高が2mを超えると同じく危険性が高いことなどが報告されている<sup>3</sup>が、本調査結果ではスロッシング波高は最大1.2mであることから、スロッシングによる被害（溢流、浮き屋根損傷等）の可能性は低いと考えられる。

ただし、上述のとおり、東北地方太平洋沖地震では、ローリングラダーが脱輪する等のタンクの付属設備の被害が発生していることから、それらに起因する火災の懸念も全くないわけではないことに留意することが必要である。

なお、石油タンクのスロッシングが浮き屋根に与える影響に関する最近の研究によれば、消防法で取り扱われていないスロッシングの非線形性が、浮き屋根ポンツーンに作用する応力に強く影響する場合があります<sup>4</sup>、スロッシング最大波高だけで災害想定を限定することは危険であると考えておいた方がよい。従って、浮き屋根の破損、沈降、タンク全面火災という災害シナリオ等も考えておくべきと思われる。このことは、次節4.6の内部浮き蓋付きタンクについても同様である。

## 6. 内部浮き蓋付きタンクの災害想定

2. (2)に示したように、指針では、十勝沖地震での内部浮き蓋付きタンクは、浮き屋根式タンクと同様にスロッシング波高が2m以上になると被害が顕著になることが確認されている<sup>5</sup>。

評価対象の内部浮き蓋付きタンクでは、他の屋根構造のタンクも含め、スロッシング波高が2mを超えるものはないことから、タンク火災が発生する可能性は低いと考えられる。

## 7. 固定屋根式タンクの災害想定

2. (3)に示したように、指針では、1964年の新潟地震で、容量20,000kL、直径約45mの固定屋根式タンク2基において、総量約2,000kLの重油が防油堤内に溢流した、としている。

このときのスロッシング最大波高は3m（推定値）、液面上の空間高さは約2mであった。

また、十勝沖地震でも、固定屋根式タンク1基において、側板と屋根接合部を突き破って溢流する事例が確認されている<sup>6</sup>。

評価対象の固定屋根式タンクに対しては、スロッシング最大波高は空間余裕高さ以下と推定されており、液面が固定屋根には届かないことから、油の溢流やタンク火災の発生の可能性は低いと考えられる。

3 座間信作：2003年十勝沖地震にみる石油タンク被害の特徴と対策，物理探査，第59巻第4号(2006)

4 松井徹哉，永谷隆志：長周期地震動を受ける大型円筒浮屋根貯槽の非線形スロッシング挙動，第14回日本地震工学シンポジウム論文集，2923-2932、2014

5 消防庁危険物保安室：内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全対策に関する検討報告書，2011

6 太田外氣晴，座間信作：巨大地震と大規模構造物—長周期地震動による被害と対策—，2005

## 第6節 津波による災害評価

### 1. 想定する災害シナリオ

#### (1) 危険物タンク

指針に示されている、津波による危険物タンクにおける下記初期事象の各災害シナリオを図 2.6.1 から図 2.6.3 までに示す。

- 配管の破損による漏洩
- タンクの移動・転倒
- 地震による流出後の津波

ここで、各災害シナリオにおける災害事象のうち網掛けになっている災害事象は、東日本大震災で発生した災害事象を示す。

#### ア 配管の破損による漏洩

津波浸水により、防油堤内の配管が破損し漏洩した場合、緊急遮断やバルブ手動閉止ができないと防油堤内へ流出し、着火すれば、防油堤内流出火災に至る可能性がある。大量に流出し、防油堤が不等沈下等により機能が損なわれた場合、防油堤外に流出し、さらに、流出油等防止堤が機能しなければ、事業所外へ流出し、着火すれば火災に至るおそれがある。

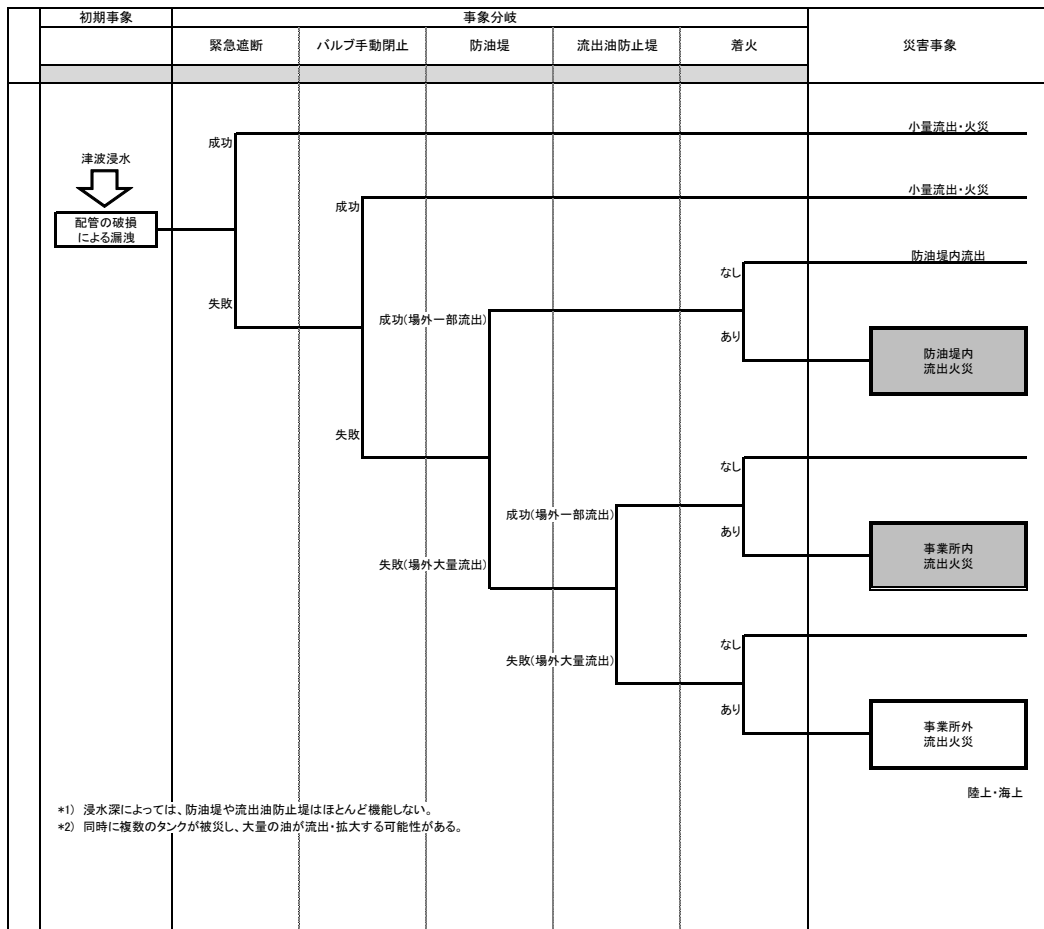


図 2.6.1 配管の破損による漏洩による災害シナリオ

## イ タンクの移動・転倒

東北地方太平洋沖地震での被害状況から、浸水深が概ね 3m以上となる場合には、危険物タンクの転倒や移動などの直接的被害が発生し、危険物が大量に流出する危険性があるといえる。

緊急遮断が機能しない、もしくは、バルブ手動閉止ができない場合は、防油堤内流出が発生する恐れがあり、防油堤が機能しなければ、事業所内に流出拡大し、流出油等防止堤が機能しなければ事業所外流出に至る危険性がある。

また、津波により大量の油の流出が想定される場合には、大規模な流出火災に至るおそれがある。

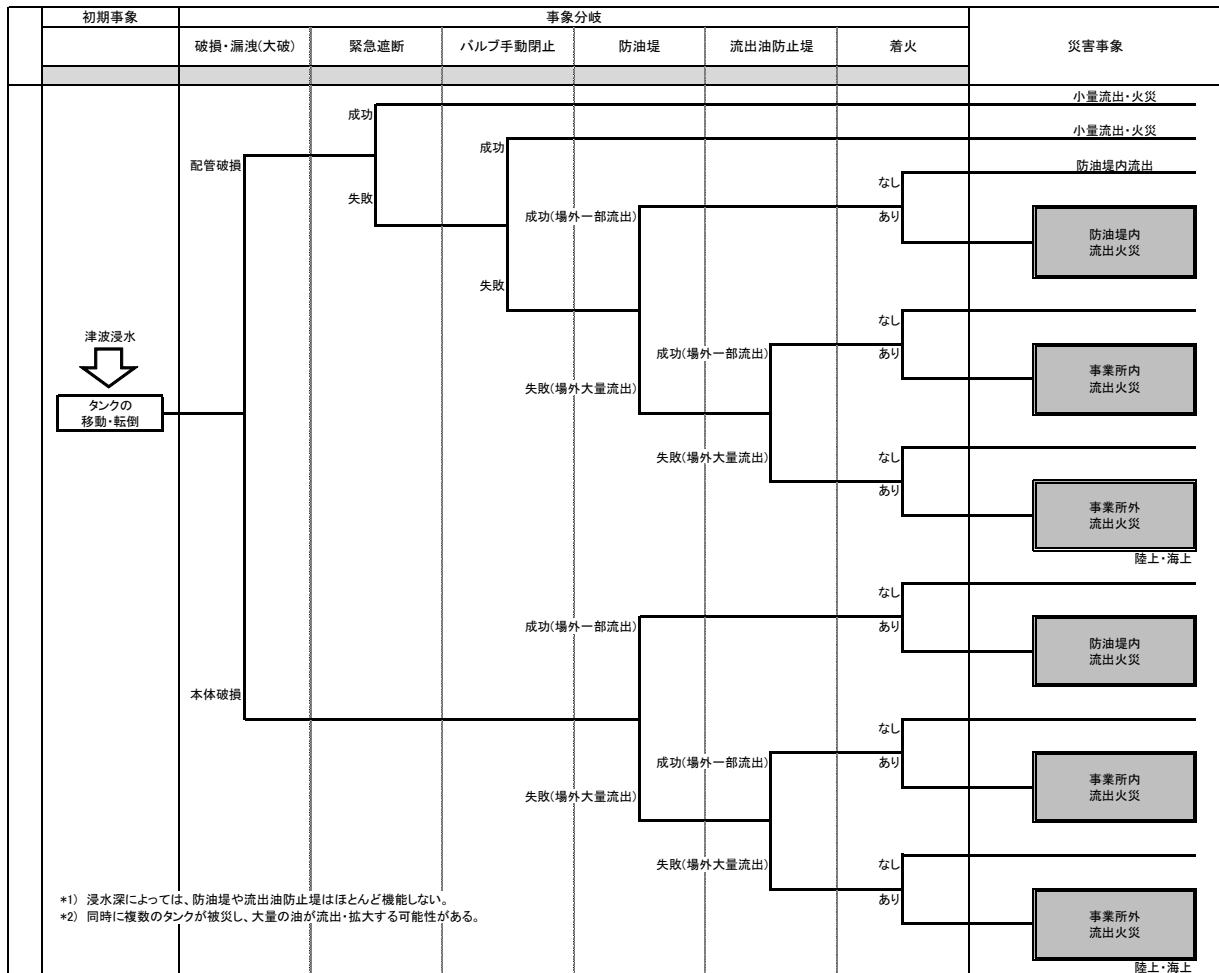


図 2.6.2 タンクの移動・転倒による災害シナリオ

### ウ 地震による流出後の津波

地震により防油堤内流出が発生し、その後の津波により防油堤内が浸水した場合、防油堤外へ流出し、事業所内流出火災へ至る可能性がある。

さらに、流出油等防止堤が機能しなければ、事業所外の陸上あるいは海上に災害が拡大する可能性がある。

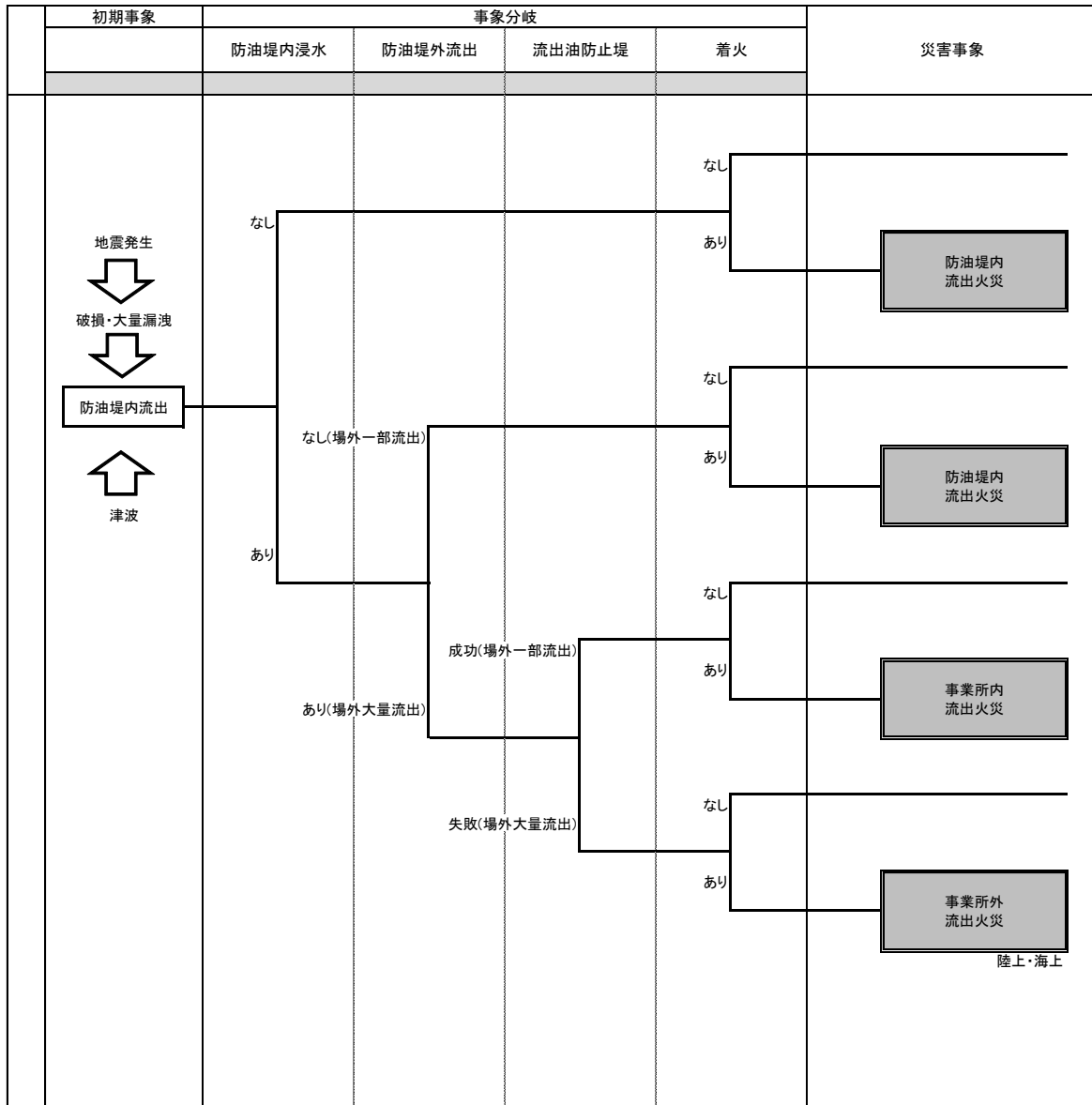


図 2.6.3 地震による流出後の津波による災害シナリオ

(2) 可燃性ガスタンク

指針に示されている、津波による可燃性ガスタンクにおける下記初期事象による災害シナリオを図 2.6.4、図 2.6.5 に示す。

- 配管の破損による漏洩
- タンクの移動・転倒

ここで、各災害シナリオにおける災害事象のうち網掛けになっている災害事象は東北地方太平洋沖地震で発生した災害事象を示す。

ア 配管の破損による漏洩

「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について：総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会：平成 24 年 4 月」では、配管の破損による漏洩による災害緊急遮断設備、計装設備等の破損・不具合といった、これらの設備が動作しなくなるにより適切な保安措置ができなくなり、大量の高圧ガスが漏洩するなどが想定される事象は、浸水深 1m未満でも発生の可能性がある、としている。

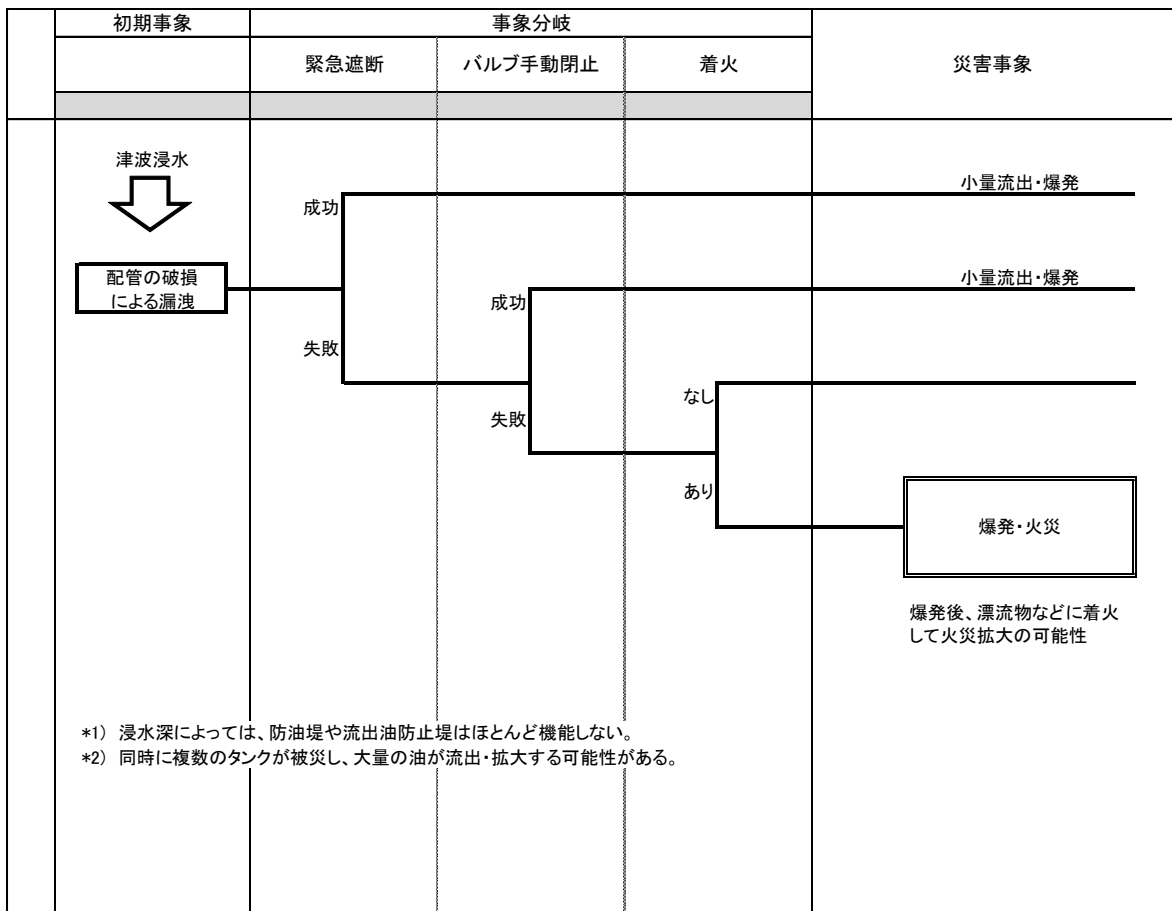


図 2.6.4 配管の破損による漏洩による災害シナリオ



## イ タンクの移動・転倒

「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について：総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会：平成 24 年 4 月」では、東日本大震災において、高圧ガスの大量漏洩など、想定される被害が極めて大きいとされる、高圧ガス設備、貯槽塔の移動・転倒は、浸水深 3m 以上の事業所で発生する可能性がある、としている。

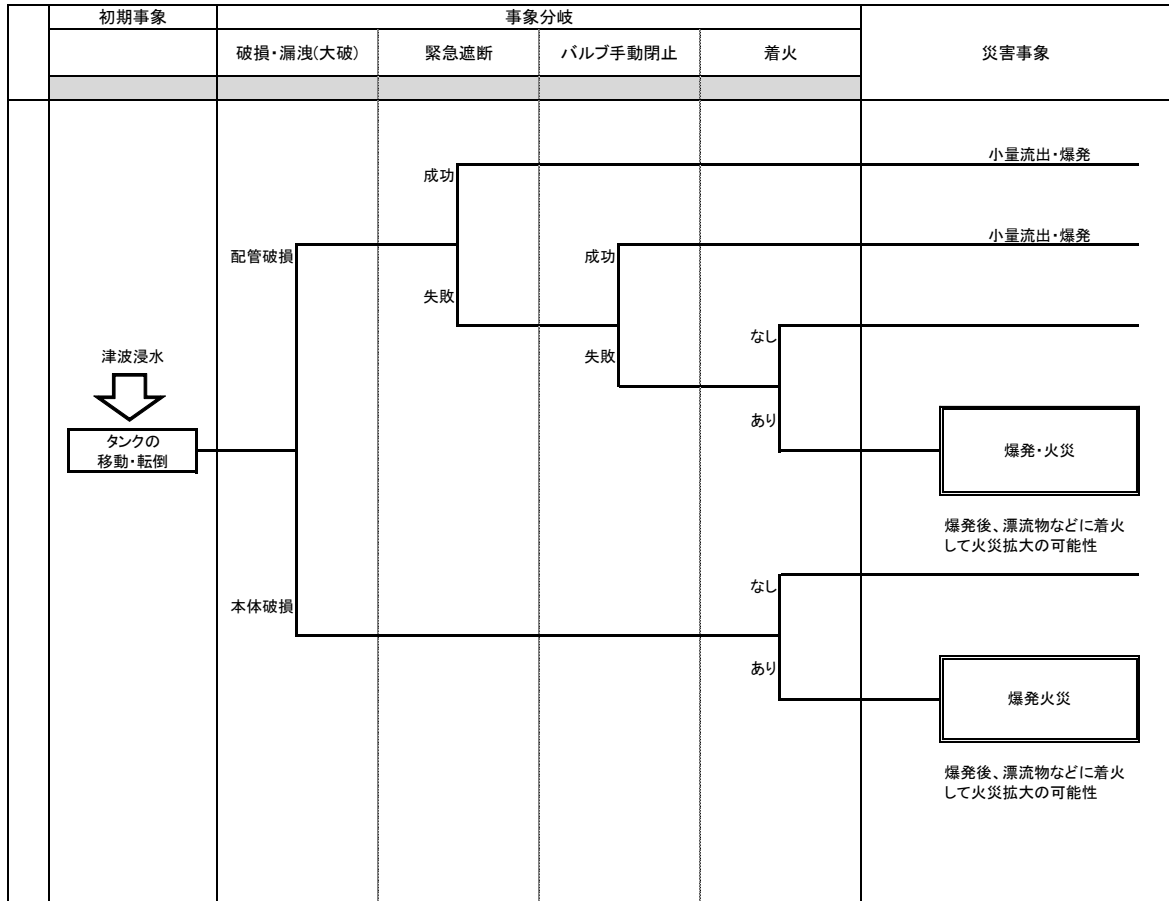


図 2.6.5 タンクの移動・転倒による災害シナリオ

## 2. 危険物タンクの浮き上がり、滑動の可能性の検討

### (1) 算定方法

津波の波力・浮力による危険物タンクへの影響を判定するため、タンクの浮き上がり及び滑動の可能性を予測する簡易手法である「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール（消防庁）」により、算出した流出量から想定最大流出量を把握する。

津波被害シミュレーションツールに、タンクの許可容量や内径、貯蔵内容物の比重、被災時点の貯蔵量、東北地方太平洋沖地震における津波浸水深等を入力し、津波の波力や浮力で生じる「浮き上がり」とタンク全体が押し流される「滑動」について、自主管理の液面上限高さ、自主管理の液面下限高さ、自主管理の液面上限・下限高さの中間値で安全率を計算し、移動(浮き上がり、滑動)タンク数を算定した。

津波被害シミュレーションツールで算出した浮き上がり安全率・滑動安全率が1以下の場合に移動の被害が発生する可能性があるとして判断し、安全率1時点の流出量を算定し、最大想定流出量は、タンクごとの移動が始まる時点の貯蔵量の合計値とした。図2.6.6に貯蔵率と最大想定流出量の関係を示す。

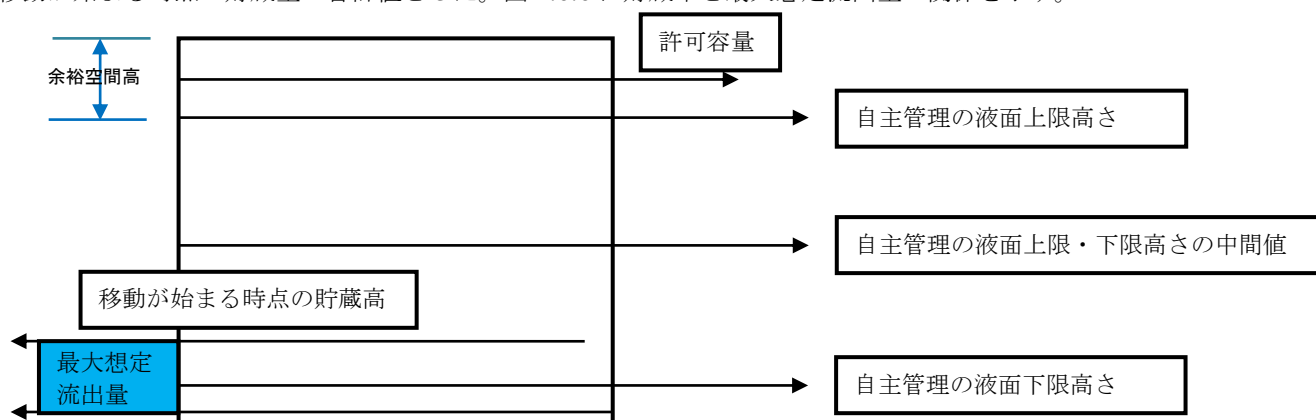


図 2.6.6 危険物タンクの貯蔵率

### (2) 津波浸水深

本調査においては、平成26年に実施した事業所アンケート調査により所在する危険物タンク、可燃性ガスタンクを対象に、東北地方太平洋沖地震での各事業所内で最大となる津波浸水深を用い、シミュレーションを実施する。また、タンク設置位置での津波浸水深は、図2.6.7に示すように、東日本大震災における最大浸水深からタンク基礎高さを差し引いた値を用いた。

なお、事業所内に浸水していても、タンク設置位置において浸水がなかったタンクについては、シミュレーションの対象外とした。

表2.6.1に算定に用いる危険物タンク、可燃性ガスタンクを有する事業所での浸水深、図2.6.8に東日本大震災における浸水図を示す。

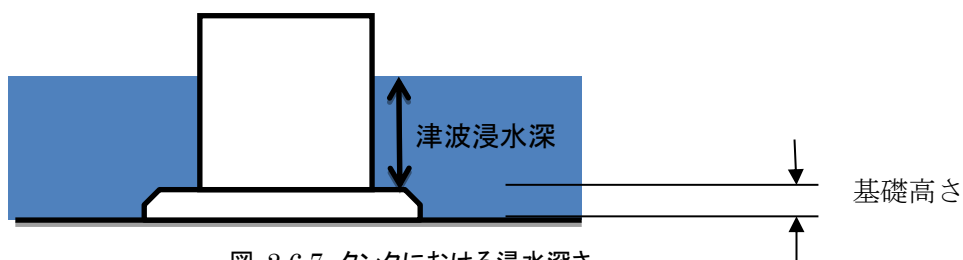


図 2.6.7 タンクにおける浸水深さ

表 2.6.1 算定に用いる浸水深

地区名	事業所名	事業所内での浸水の有無	算定に用いる浸水深 (m)
仙台地区	ENEOS (株) 仙台製油所	有	3.5
	全農エネルギー(株)仙台石油基地	有	5.0
	東北電力 (株) 新仙台火力発電所	有	1.3
	仙台市ガス局港工場	有	2.5
塩釜地区	ENEOS (株) 塩釜油槽所	有	— (タンクの浸水無)
	カメイ株式会社 塩釜貞山油槽所	有	1.0
	出光興産(株)塩釜油槽所	有	— (タンクの浸水無)
	出光興産(株)貞山塩釜油槽所	有	— (タンクの浸水無)
	東西オイルターミナル(株)塩釜油槽所	有	— (タンクの浸水無)
	富士興産 (株) 塩釜油槽所	有	— (タンクの浸水無)

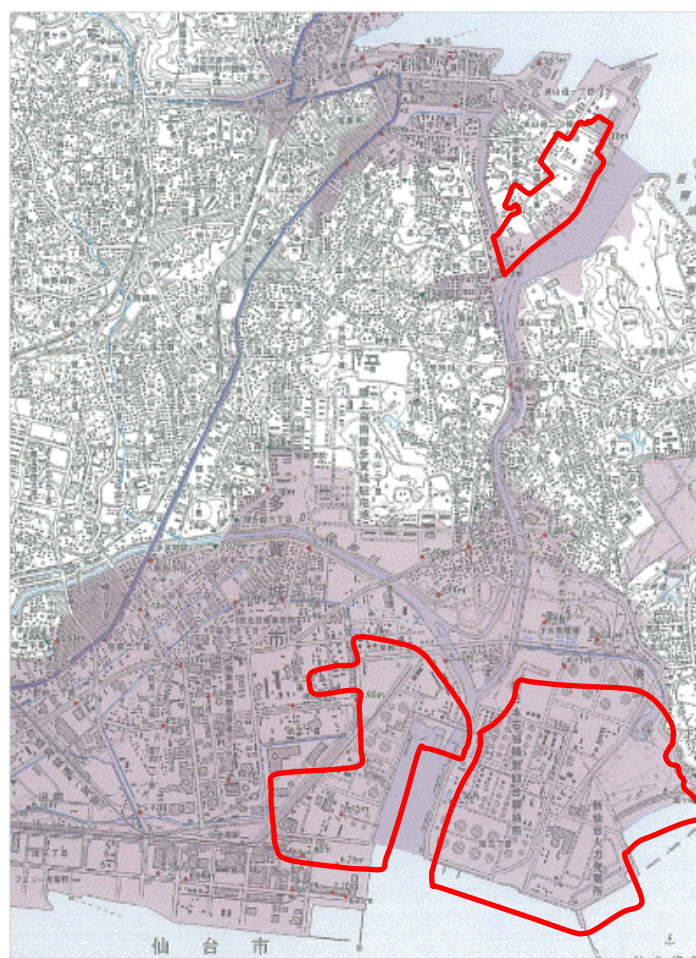


図 2.6.8 東日本大震災における津波浸水の状況 (東日本大震災津波詳細地図上巻の図に加筆)

### (3) 浮き上がり及び滑動の可能性

浮き上がり安全率及び滑動安全率が 1.0 を下回り、浮き上がり及び滑動の可能性のあるタンクの基数を表 2.6.2 に示す。

自主管理の液面上限高さにおいて、浮き上がりもしくは滑動の可能性のあるタンクはない。自主管理の液面上限・下限高さの中間値において、浮き上がりもしくは滑動の可能性のあるタンクは、仙台地区で 1 基である。自主管理の液面の下限高さにおいて浮き上がりもしくは滑動の可能性のあるタンクは、仙台地区で 76 基である。

また、仙台地区での最大想定流出量(タンクごとの、移動が始まる時点の貯蔵量の合計値)は、約 282,000 kL である。

なお、「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール(消防庁)」を用いる手法の精度については、畑山が東北地方太平洋沖地震での実際の被害と予測との比較検証<sup>7</sup>を行っている。これによると、「194 基のうち約 76%にあたる 147 基で実際と予測が一致しているが、実際と予測が一致しないタンクもあり、そのほとんどが被害発生の可能性があるとの、保守的な評価結果となっており、津波を受けた石油タンクの移動被害の発生予測に利用できるだけの妥当性(的中率)を有している」と結論付けている。

東北地方太平洋沖地震では、仙台地区において滑動したタンクは、休止中の 4 基(3,000kL~5,000kL)のみであった。

表 2.6.2 浮き上がりもしくは滑動の可能性のあるタンク基数<sup>\*</sup>

地区名称	浮き上がりもしくは滑動の可能性のあるタンク			最大想定流出量 (kL) (タンクごとの、移動が始まる時点の貯蔵量の合計値)
	自主管理の液面上限高さの場合	自主管理の液面上限・下限高さの中間値	自主管理の液面下限高さの場合	
仙台地区	0	1	76	282,000
塩釜地区	0	0	0	0
計	0	1	76	282,000

<sup>\*</sup>最大想定流出量(kL)は、タンクごとの、移動が始まる時点の貯蔵量の合計値で、すべてのタンクが自主管理の液面上限高さ、自主管理の液面上限・下限高さの中間値、自主管理の液面下限高さで貯蔵されている状態を想定したもの

<sup>7</sup> 2014年日本地震工学シンポジウム論文：2011年東北地方太平洋沖地震の際の津波による石油タンクの被害：畑山健：消防庁消防研究センター

### 3. 危険物タンクの災害想定

#### (1) 配管の破損による漏洩による災害

仙台地区は、津波浸水深が 1.3～5.0m であるが、事業所に対するアンケート調査結果では、すべての事業所において、防油堤に漏洩防止措置（目地等の補強）が実施されており、配管からの流出による被害のほとんどが防油堤内で止まるが、防油堤外に設置されている配管については流出油等防止堤内への油の流出が考えられる。

ただし、第5節第1項に示した東北地方太平洋沖地震の被害状況と同様に、津波により防油堤の洗掘等が発生した場合は、事業所内へ流出拡大する可能性もあり、この場合、流出油等防止堤が堅牢でなければ、最悪の場合は事業所外へ流出拡大するおそれもある。

塩釜地区内の浸水範囲にある事業所における津波浸水深は 1.0m であるが、仙台地区の事業所と同様に防油堤に漏洩防止措置が実施されており、配管からの流出による災害は、最悪の場合は防油堤内流出が考えられる。

#### (2) タンクの浮き上がり・滑動による災害

仙台地区においてタンクの浮き上がり・滑動により想定される最大想定流出量（タンクごとの、移動が始まる時点の貯蔵量の合計値）は約 282,000kL であり、流出した場合は防油堤内流出火災が発生するおそれがある。

ただし、第5節第1項に示した東北地方太平洋沖地震の被害状況と同様に、津波により防油堤の洗掘等が発生した場合は、事業所内へ流出拡大する可能性もあり、この場合、流出油等防止堤が堅牢でなければ、最悪の場合は事業所外へ流出拡大する可能性もある。

#### (3) 地震による流出後の津波による災害

津波が想定される地震により、石油タンクにおいて仕切堤内流出もしくは防油堤内流出が発生した場合は、その後の津波により、事業所内もしくは事業所外（陸上あるいは海上）に流出拡大する可能性がある。

仙台地区では、流出油等防止堤は設置されているが、浸水深が最大 5.0m であり、仕切堤内もしくは防油堤内の滞油が事業所内もしくは、事業所外へ流出拡大するおそれがある。

塩釜地区の浸水範囲にある事業所における浸水深は最大 1.0m であり、事業所内への流出拡大の可能性はあるが、事業所外へ流出拡大する可能性は仙台地区に比べて低いと考えられる。

### 4. 可燃性ガスタンクの災害想定

可燃性（高圧）ガス施設が受ける津波の波力及び浮力や漂流物により受ける衝撃力に対する影響評価については、現在検討が行われているところであり、平成 26 年度までに評価方法の策定が完了する予定である（平成 27 年 3 月 2 日時点において未策定）。

本評価では、参考的な評価として、「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について：総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会：平成 24 年 4 月」に記載されている、東日本大震災での津波浸水深と被災状況を踏まえ、定性的に可燃性ガスタンクの災害想定を行う。

## (1) 配管の破損による漏洩による災害

「東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について：総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会：平成 24 年 4 月」では、配管の破損による漏洩において災害緊急遮断設備、計装設備等の破損・不具合といった、これらの設備が動作しなくなることにより適切な保安措置ができなくなり、大量の高圧ガスが漏洩するなどが想定される事象は、浸水深 1m未満でも発生した事例がある、としている。

ただし、流出したとしても海水からの入熱により短時間で気化し、着火を免れれば大気中に拡散・消滅するため、大規模な火災爆発には至らないと考えられるが、本評価では、この効果を考慮せずに影響について算定した。

仙台地区の浸水範囲にある可燃性ガスタンクは、緊急遮断装置が設置されているものの、浸水深は約 1.3～3.5mであり、津波浸水時に緊急遮断装置が確実に機能する可能性は高くなく、配管の破損による漏洩により中量流出・爆発が想定される。

また、塩釜地区では浸水範囲にある可燃性ガスタンクはない。

表 2.6.3 に地区別の中量流出・爆発に至る可燃性ガスタンク基数及び爆風圧影響距離を示す。影響距離を定める基準については、安全限界（家の天井の一部が破損：窓ガラスの 10%が破壊される）2.1 (kPa) を用いた。

仙台地区における人への爆風圧の影響は、石油コンビナート等特別防災区域外に及ぶと考えられる。

表 2.6.3 中量流出・爆発に至る可燃性ガスタンク基数及び爆風圧影響距離\*

	基数	影響距離 (m)
仙台地区	20	200以上
塩釜地区	0	—

※配管の破損による漏洩において、災害緊急遮断設備、計装設備等の破損・不具合といった、これらの設備が動作しなくなることにより適切な保安措置ができなくなり、大量の高圧ガスが漏洩するなどが想定される事象が浸水深 1m未満は発生するとして事例に基づき、定性的の評価したものの

## (2) タンクの浮き上がり・滑動による災害

仙台地区における可燃性ガスタンクでの浸水深は、1.3～3.5mであり、移動・転倒が発生する可能性があり、さらに大量流出の可能性もある。

しかしながら、本評価では、球形タンクについては、タンク下部の形状が円筒形もしくは横置き形とは異なり、津波の流体力が低減されると考えられることから、評価対象外とした。そのため、仙台地区、塩釜地区とも、津波により移動・転倒の可能性のある可燃性ガスタンクはないと考えられる。

## 第7節 大規模災害における災害評価

### 1. 想定する災害シナリオ

大規模災害とは、単独災害(平常時、地震時における想定災害)のリスクマトリックスにおいて、発生危険度が非常に小さいが、影響度が大きいとされる災害(低頻度大規模災害)がさらに拡大したものであり、従前の防災アセスメントではほとんど想定されていなかった極低頻度の発生事象である。例えば、石油類が防油堤外さらには事業所外に流出拡大したり、石油類や可燃性ガスの火災・爆発が隣接施設を損傷して、さらに拡大していくような災害である。東北地方太平洋沖地震では、LPG タンクの倒壊に端を発し、4基のタンクが爆発・炎上してヤード内の多くのタンクを破損し、さらに隣接施設や隣接事業所にも被害を与えた。

大規模災害は、発生危険度は極めて低いが、事故に至る一定の条件が整った場合、発生すると考えられる。

本評価では、発生危険度には言及せず、施設の構造、防災設備(本評価では排水処理設備の状況を踏まえ)、周辺施設の状況などから起こり得ると考えられる災害を想定し、万一事故が発生した場合、どの程度の影響が生じるかを算定した。

#### (1) 危険物タンク

指針では、危険物タンクにおける大規模災害の初期事象として、2つの事象が示されている。

- 防油堤から海上への流出
- 防油堤火災からの延焼拡大

#### ア 防油堤から海上への流出

1978年宮城県沖地震では、仙台地区にある2基の重油タンク(31,500kL)及び1基の減圧軽油タンク(23,700kL)の側板と底板の接合部付近が破断し、約70,000kLの重油が流出した。陸上での拡大は、流出油等防止堤で防止できたが、一方では排水溝を通してガードベースン(容量6,000kL)に流出した。直ちに港湾に通ずる排水口の緊急遮断ゲートの閉鎖を行ったが、ヘドロが堆積していたため完全に閉鎖できず、土のうやダンプトラックによる土砂の搬入等により封鎖を完了するまでに数千kLが海上に流出した。しかしながら、海上に流出した重油の大半は第1次オイルフェンスでくい止められた(図2.7.1)。

防油堤外へ大量流出した場合、流出油等防止堤や排水処理設備が機能しなければ事業所外へ流出する恐れがあり、事業所外流出後、海上へ流出拡大した場合は、オイルフェンスの展張ができなければ、大規模な流出拡散事故へ進展するおそれがある。

防油堤からの海上流出による災害シナリオを図2.7.2に示す。ここで、図中の各災害シナリオにおける災害事象のうち、網掛けになっている災害事象は本評価から想定される災害事象であることを示す。

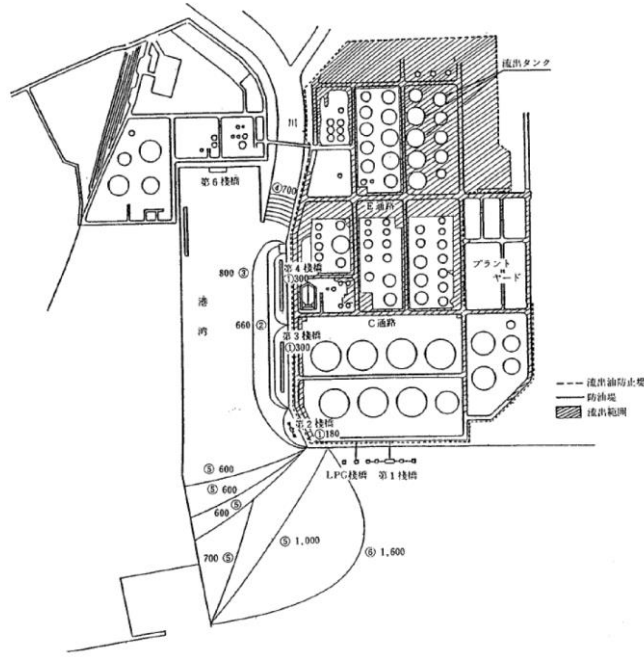


図 2.7.1 1978 年宮城県沖地震での重油流出範囲とオイルフェンスの展張状況<sup>8</sup>

初期事象	事象分岐				災害事象
	流出油防止堤	排水処理設備	オイルフェンス	着火	
防油堤外流出 (大量流出)	成功	成功	成功	なし	防油堤外流出
				あり	陸上 事業所内 流出火災
	なし		防油堤外流出		
	あり		陸上 事業所外 流出火災		
	失敗	失敗	成功	なし	海上流出
				あり	海上流出火災
	なし		海上流出拡大		
	あり		海上流出火災		

図 2.7.2 防油堤から海上への流出による災害シナリオ

<sup>8</sup> 消防庁特殊災害室, 石油コンビナートの防災アセスメント指針, 平成 25 年 3 月



## イ 防油堤火災からの延焼拡大

新潟地震（1964年）では、第1火災として、原油タンク5基、製品タンク10基の浮き屋根が揺動し、容量30,000kLの浮き屋根式原油タンクで、タンク側板を越えて原油が溢流して着火した。その後、隣接タンクを類焼し、防油堤の破損箇所から流出した原油の火により、加熱炉、ボイラー、反応塔でも火災が発生した。

この第1火災では、この原油タンク5基が焼損し、原油12万kL以上が焼失、一般民家18棟が全焼した。

また、第2火災として、タンク本体及び配管から石油が流出し、防油堤（煉瓦作り）の破損により、流出した油が、液状化による噴出した水や津波による海水の上を浮遊して拡散し、地震発生約5時間後、隣接工場との境界付近で爆発音とともに出火し、タンク全面火災が発生した。第2火災では、タンク138基が焼損し、焼損面積は235,000m<sup>2</sup>（隣接する工場を含む）、焼失建物面積75,282m<sup>2</sup>（隣接する工場を含む）、全焼建物は440棟（うち民家229棟）であった。

指針では、防油堤火災からの延焼拡大を考える場合、現状では耐震基準が強化された大規模タンクよりも、比較的脆弱とされる準特定タンク（新基準未適合）や小規模タンク（500kL未満）での火災に注意すべき、としている。

このような、比較的規模の小さいタンクは、貯蔵量は比較的少ないものの、多くのタンクが仕切られることなく、同一の防油堤の中に設置されていることが多く、仮に1基のタンクから油が流出して火災になると、周辺のタンクを焼損して、火災が防油堤全体に拡大する危険性がある。また、地震により防油堤が損傷した場合には、火災はさらに拡大し、周辺の施設に影響を及ぼすことも考えられる。



図 2.7.3 新潟地震(1964年)での製油所での出火・延焼状況2

防油堤内流出火災が発生し、同一防油堤内の隣接タンクの損傷・延焼に至る場合、タンクヤード全体の火災に至るおそれがある。さらに、防油堤が堅牢でなく、損傷し機能しない場合、防油堤外や周辺設備へも火災が拡大する可能性がある。

防油堤内火災からの延焼拡大による災害シナリオを図 2.7.4 に示す。ここで、図中の各災害シナリオにおける災害事象のうち、網掛けになっている災害事象は本評価から想定される災害事象であることを示す。

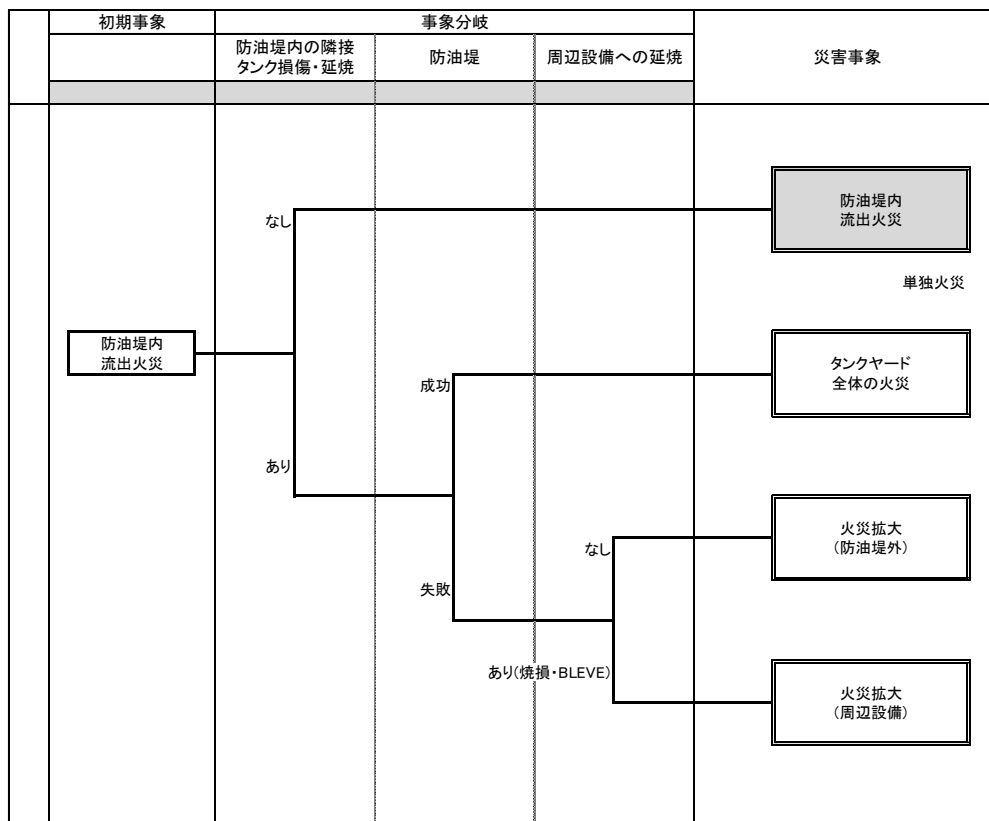


図 2.7.4 防油堤火災からの延焼拡大による災害シナリオ

## (2) 可燃性ガスタンク

指針では、可燃性ガスタンクにおける大規模災害の初期事象として、1つの事象が示されている。

### ○ BLEVEによる延焼拡大

#### BLEVEによる延焼拡大

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)<sup>9</sup>とは沸点以上の温度で貯蔵している加圧液化ガスの貯槽や容器が何らかの原因により破損し、大気圧まで減圧することにより急激に気化する爆発的蒸発現象である。典型的には、火災時の熱により容器等が破損してBLEVEを引き起こす。BLEVEの発生は内容物が可燃性のものに限らないが、可燃性の場合には着火してファイヤーボールと呼ばれる巨大な火球を形成することが多い。

東日本大震災におけるLPGタンク爆発火災は、満水のタンクの倒壊に端を発し、これによりLPG配管が破損して火災となり、BLEVEにより次々と隣接タンクが爆発して大規模火災に至った。

可燃性ガスタンクの流出爆発・火災により、周辺施設への延焼や周辺の可燃性ガスタンクの破損に至ることも考えられる。

図2.7.5にBLEVEによる延焼拡大による災害シナリオを示す。

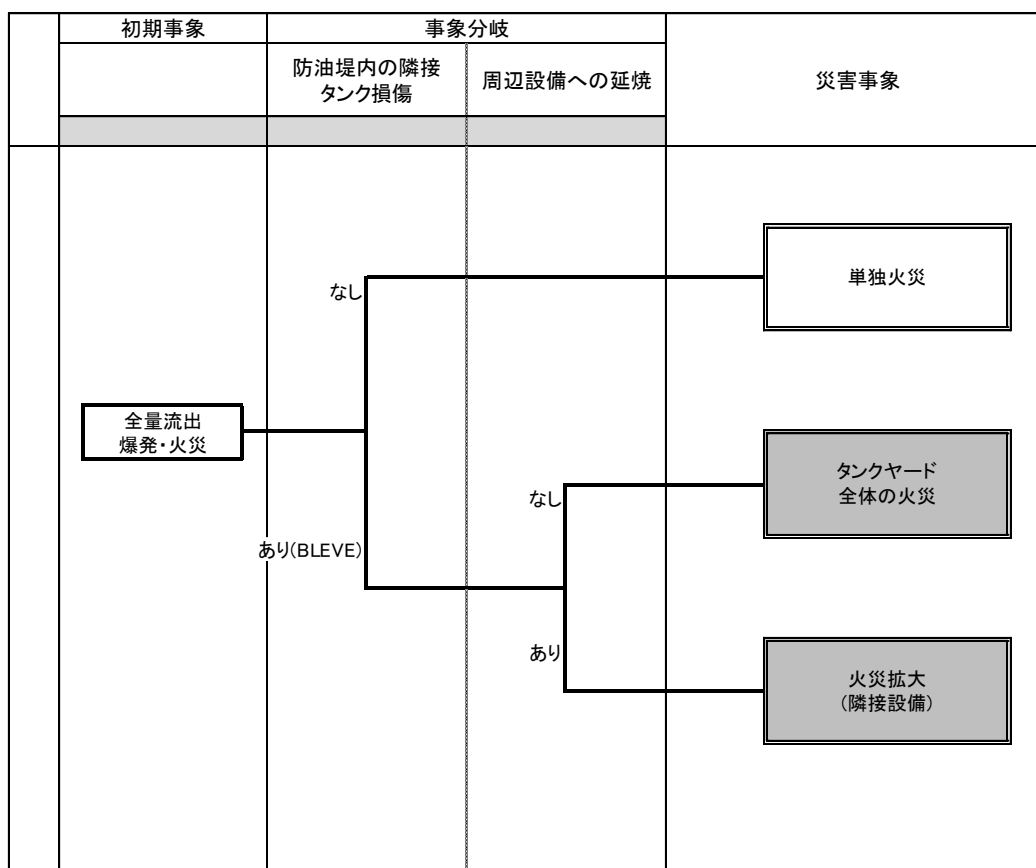


図 2.7.5 BLEVEによる延焼拡大による災害シナリオ

<sup>9</sup> BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) とは、沸点以上の温度で貯蔵している加圧液化ガスの貯槽や容器が何らかの原因により破損し、大気圧まで減圧することにより急激に気化する爆発的蒸発現象である。典型的には、火災時の熱により容器等が破損してBLEVEを引き起こす。BLEVEの発生は内容物が可燃性のものに限らないが、可燃性の場合には着火してファイヤーボールと呼ばれる巨大な火球を形成することが多い。

## 2. 危険物タンクの災害想定

### (1) 防油堤から海上への流出による災害

平常時(通常操業時)の場合、流出油等防止堤により、石油類が事業所外へ流出する可能性は低い。

また、地震時については、流出油等防止堤が堅牢でなければ、事業所外へ流出する可能性はある。

しかしながら、液状化により防油堤が不等沈下し、防油堤の機能が損なわれた場合でも、排水処理設備が機能すれば、事業所外へ流出する可能性は低い。

本調査のため実施した事業所アンケート調査回答によれば、仙台、塩釜両地区の特定事業所において排水処理設備は設置されている。従って、前述の排水処理設備により石油類が海上へ流出する可能性は低いものと考えられる。

### (2) 防油堤火災からの延焼拡大による災害

本評価では、同一防油堤の中に、準特定タンク（新基準未適合）があり、複数の危険物タンクが所在するものを対象に、タンクヤード全体の火災（防油堤内の全てのタンクの全面火災及び防油堤内の火災）が発生した場合の放射熱影響の算定を行った。

影響距離を定める基準については、周辺設備への延焼の可能性をはかるものとして、プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度（37.5kW/m<sup>2</sup>）を用いた。

放射熱による影響範囲は、プロセス機器に被害を与える放射熱の基準値には達しないものの、防油堤に至近の場所では最大 20kW/m<sup>2</sup>程度の放射熱強度となる。これは火災時に発生する黒煙による放射発散度の低減が考慮されている値であるため、防油堤至近の施設への損傷・延焼の可能性は否定できない。

表 2.7.1 タンクヤード全体が火災に至るタンクヤード数、ヤード内タンク基数及び放射熱影響距離※

	タンクヤード数	ヤード内 タンク基数	防油堤至近の放射熱強度 (kW/m <sup>2</sup> )
仙台地区	0	0	-
塩釜地区	4	2	17.4
		8	15.0
		5	15.0
		5	6.9

※同一防油堤の中に、準特定タンク（新基準未適合）があり、複数の危険物タンクが所在するものを対象に、タンクヤード全体の火災（防油堤内の全てのタンクの全面火災及び防油堤内の火災）が発生することを想定したもの

## 3. 可燃性ガスタンクの災害想定

表 2.7.1 においても記したが、大規模災害の発生危険度は極めて低いが、災害が拡大するため極めてその影響範囲が大きい。本評価では、発生危険度には言及せず、万一事故が発生した場合、どの程度の影響が生じるかを算定した。

指針では、東北地方太平洋沖地震で被災したタンクの状況から、個々のタンクが仕切られることなく1つの防液堤内に密集して設置されたものを BLEVE に至る危険性があるタンクとしている。仙台地区の可燃性ガスタンクは、個々のタンクが防液堤で仕切られており、本災害の発生の可能性は非常に低いと考えられる。

しかしながらここでは、万一これらのタンクにおいても BLEVE が発生した場合に災害影響がどの程度になるか、指針の評価手法に基づき算定した。

本評価では、タンクが破損して爆発・ファイヤーボールが発生したときの影響距離（放射熱及び爆風圧）、破損タンクの破片の飛散距離を算定した。

BLEVEが発生した場合、可燃性ガスタンクの爆風圧により、周辺の危険物タンクは破損し、着火した場合、周辺設備への延焼し、火災が拡大すると考えられる。

本評価では、BLEVEとして、フラッシュ率<sup>10</sup>を考慮して算定を行った。ファイヤーボールの放射熱に対する影響距離については、ファイヤーボールを形成するガス量をフラッシュ率を貯蔵量に乗じた値ではなく、参考資料1にあるように安全率を考慮して Hasegawa and Sato<sup>11</sup>の文献を参考にフラッシュ率が1/3以上であれば全量、1/3未満であればフラッシュ率の3倍のガス量がファイヤーボールに寄与すると仮定している。ここでは、個々のタンクの影響を考慮しているが、隣接タンクが次々と爆発するような事態において、長時間火災に曝される場合にはフラッシュ率はより大きくなる可能性がある。したがって、貯蔵温度が大気圧沸点以下で貯蔵されているタンクについては、今回対象外としたが、状況によってはBLEVEに至る可能性がある。

人に対する影響距離を定める基準について、放射熱では、30秒で人体の皮膚に第2度の火傷を引き起こす熱量として、4.5kW/m<sup>2</sup>を、爆風圧では、Clancey(1972)による「安全限界」(95%の確率で大きな被害はない)とされ、家の天井が一部破損する、窓ガラスの10%が破壊されるとされる圧力2.1kPaを基準値とした。

周辺施設に対する影響距離を定める基準については、放射熱では、周辺設備への延焼の可能性をはかるものとして、プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度(37.5kW/m<sup>2</sup>)、爆風圧では、Clancey(1972)による油貯槽が破裂、無筋建物、鋼板建物が破壊されるとされる圧力28kPaを基準値とした。

表2.7.2に火災・爆発に至る可能性のある可燃性ガスタンクの基数と影響範囲を示す。

仙台地区において、人に対する放射熱、爆風圧、破損タンクの破片の飛散の影響は、石油コンビナート等特別防災区域外に及ぶおそれがある。また、周辺施設に対する爆風圧の影響は、破損を引き起こし、破損タンクの破片の飛散により破損するおそれがある。

塩釜地区においては、人に対する放射熱、爆風圧、破損タンクの破片の飛散の影響は、石油コンビナート等特別防災区域外に及ぶおそれがある。また、周辺施設に対する爆風圧の影響は、破損を引き起こし、破損タンクの破片の飛散により破損するおそれがある。

表 2.7.2 火災・爆発に至る可能性のある可燃性ガスタンク基数及影響距離<sup>\*</sup>

	基数	周辺設備への延焼の可能性		人への影響		最大飛散距離 (m)
		放射熱 影響距離 (m)	爆風圧 影響距離 (m)	放射熱 影響距離 (m)	爆風圧 影響距離 (m)	
仙台地区	17	200以上	200以上	200以上	200以上	200以上
塩釜地区	3	200以上	50以上100未満	200以上	200以上	200以上

<sup>\*</sup>発生危険度は極めて低く、平常時では10<sup>-7</sup>程度(10,000施設で1,000年に1回)以下であり、極低頻度の事象を想定したものである。また影響範囲は個々のタンクの最大の影響を考慮したものである。

<sup>10</sup> 沸点以上の温度で圧力をかけ液化したガスが、漏洩して瞬間的に気化する現象をフラッシュと呼び、その際の気化率をフラッシュ率という。

<sup>11</sup> K. Hasegawa and K. Sato, "Study on the Firaball Following Steam Explosion of n-Pentan", Proc. of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in Process Industries, 1977.

