

## 参 考 资 料



資料 1 危険物施設における事故発生状況

表 1.1 危険物施設における事故発生状況（最近 10 年間）

年	事故種別等		製造所	貯蔵所							取扱所		
				屋内貯蔵所	屋外タンク貯蔵所	屋内タンク貯蔵所	地下タンク貯蔵所	簡易タンク貯蔵所	移動タンク貯蔵所	屋外貯蔵所	給油取扱所	移送取扱所	一般取扱所
1994	火災	件数	22	4	6	0	0	0	9	1	34	0	44
		発生率	44.60	0.67	0.70	0.00	0.00	0.00	1.23	0.59	3.81	0.00	5.81
	漏洩	件数	6	4	34	6	26	0	31	0	45	3	42
		発生率	12.20	0.67	3.97	3.53	2.08	0.00	4.23	0.00	5.04	22.20	5.55
1995	火災	件数	17	1	2	2	0	0	3	0	29	0	83
		発生率	34.20	0.17	0.24	1.20	0.00	0.00	0.40	0.00	3.22	0.00	11.00
	漏洩	件数	12	96	36	11	40	1	50	0	64	5	50
		発生率	24.10	16.10	4.23	6.58	3.19	4.84	6.68	0.00	7.10	37.00	6.60
1996	火災	件数	34	3	3	0	1	0	6	0	43	0	59
		発生率	68.00	0.51	0.36	0.00	0.08	0.00	0.79	0.00	4.73	0.00	7.79
	漏洩	件数	3	1	26	9	40	0	50	0	61	1	37
		発生率	6.00	0.17	3.08	5.49	3.19	0.00	6.57	0.00	6.71	7.42	4.88
1997	火災	件数	27	2	3	0	1	0	3	1	45	0	73
		発生率	53.33	0.34	0.36	0.00	0.08	0.00	0.39	0.64	4.96	0.00	9.63
	漏洩	件数	10	0	37	5	47	0	51	0	55	3	30
		発生率	19.75	0.00	4.41	3.10	3.75	0.00	6.58	0.00	6.07	22.39	3.96
1998	火災	件数	27	1	4	0	0	1	7	0	42	0	75
		発生率	53.22	0.17	0.48	0.00	0.00	5.29	0.90	0.00	4.70	0.00	9.89
	漏洩	件数	10	2	32	9	49	0	62	0	74	3	40
		発生率	19.71	0.34	3.84	5.64	3.92	0.00	7.96	0.00	8.28	22.42	5.27
1999	火災	件数	27	1	2	1	0	0	5	0	47	0	79
		発生率	53.00	0.17	0.24	0.64	0.00	0.00	0.64	0.00	5.36	0.00	10.44
	漏洩	件数	13	0	50	3	40	0	57	0	52	8	53
		発生率	11.78	0.00	6.08	1.91	3.21	0.00	7.30	0.00	5.93	60.15	7.00
2000	火災	件数	29	5	0	0	1	0	6	0	42	0	111
		発生率	56.87	0.88	0.00	0.00	0.08	0.00	0.76	0.00	4.89	0.00	14.71
	漏洩	件数	6	1	41	7	59	1	70	0	65	6	61
		発生率	11.78	0.18	5.05	4.55	4.77	5.71	8.88	0.00	7.56	45.39	8.09
2001	火災	件数	24	1	1	0	2	0	6	0	44	0	91
		発生率	47.06	0.18	0.13	0.00	0.16	0.00	0.75	0.00	5.20	0.00	12.03
	漏洩	件数	13	0	41	3	57	0	74	0	70	8	68
		発生率	25.49	0.00	5.14	1.97	4.63	0.00	9.31	0.00	8.28	61.30	8.99
2002	火災	件数	20	1	1	0	0	0	4	0	54	0	90
		発生率	39.06	0.18	0.13	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	6.49	0.00	11.91
	漏洩	件数	5	0	32	4	61	0	73	0	74	15	67
		発生率	9.77	0.00	4.06	2.68	4.99	0.00	9.13	0.00	8.89	116.37	8.87
2003	火災	件数	24	2	2	0	0	0	11	0	38	0	111
		発生率	47.59	0.37	0.26	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	4.64	0.00	14.85
	漏洩	件数	14	2	54	4	47	0	79	0	71	2	79
		発生率	27.76	0.37	7.00	2.74	3.88	0.00	9.90	0.00	8.68	15.86	10.57
計	火災	件数	251	21	24	3	5	1	60	2	418	0	816
		発生率	49.69	0.36	0.29	0.18	0.04	0.53	0.77	0.12	4.80	0.00	10.81
	漏洩	件数	92	106	383	61	466	2	597	0	631	54	527
		発生率	16.83	1.78	4.69	3.82	3.76	1.06	7.65	0.00	7.25	41.05	6.98

注 1) 消防庁「危険物に係る事故事例」より作成。注 2) 件数は、各年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの間に全国で発生した危険物に係る事故件数を表す。注 3) 発生率は、危険物施設 1 万施設あたりの発生件数を表す（施設数は各年における 3 月 31 日現在の完成検査済証交付施設数）。注 4) 事故件数には、1995 年兵庫県南部地震、1994 年三陸はるか沖地震などの地震によるものも含む。

表 1.2 特別防災区域の特定事業所における事故発生状況（最近 10 年間）

年次	事故種別	危険物施設(高危混在施設も含む)						高圧ガス施設
		製造所	屋内貯蔵所	屋外タンク貯蔵所	移動タンク貯蔵所	移送取扱所	一般取扱所	
1994	火災	7	0	1	0	0	7	2
	爆発	1	0	0	0	0	0	0
	漏洩	3	4	2	1	3	4	1
	その他	1	0	38	0	2	5	0
	合計	12	4	41	1	5	16	3
1995	火災	3	0	2	0	0	9	1
	爆発	0	0	0	0	0	4	0
	漏洩	6	28	8	0	4	5	2
	その他	3	12	246	0	4	41	3
	合計	12	40	256	0	8	59	6
1996	火災	9	0	0	0	0	7	0
	爆発	8	0	1	0	0	2	0
	漏洩	4	0	6	0	1	4	1
	その他	1	0	4	0	4	0	0
	合計	22	0	11	0	5	13	1
1997	火災	6	0	1	0	0	13	0
	爆発	2	0	0	0	0	5	0
	漏洩	6	0	5	0	2	4	0
	その他	3	0	1	0	1	1	0
	合計	17	0	7	0	3	23	0
1998	火災	6	0	1	0	0	9	1
	爆発	3	0	0	0	0	1	0
	漏洩	6	0	5	0	2	1	4
	その他	0	0	2	0	0	1	0
	合計	15	0	8	0	2	12	5
1999	火災	11	0	1	0	0	13	1
	爆発	2	0	0	0	0	1	0
	漏洩	5	0	9	0	7	11	2
	その他	0	0	2	0	0	1	0
	合計	18	0	12	0	7	26	3
2000	火災	8	0	0	0	0	15	1
	爆発	1	0	0	0	0	0	0
	漏洩	3	0	8	0	4	8	3
	その他	1	0	2	0	0	0	0
	合計	13	0	10	0	4	23	4
2001	火災	2	0	0	0	0	10	0
	爆発	0	0	0	0	0	0	0
	漏洩	5	0	8	0	4	10	2
	その他	0	0	0	0	0	2	0
	合計	7	0	8	0	4	22	2
2002	火災	8	0	1	0	0	15	0
	爆発	2	0	1	0	0	3	0
	漏洩	4	0	5	0	11	12	1
	その他	1	0	0	0	1	1	0
	合計	15	0	7	0	12	31	1
2003	火災	10	0	3	0	0	20	3
	爆発	0	0	0	0	0	1	0
	漏洩	9	1	24	2	2	17	5
	その他	2	0	17	0	0	3	0
	合計	21	1	44	2	2	41	8
計	火災	70	0	10	0	0	118	9
	爆発	19	0	2	0	0	17	0
	漏洩	51	33	80	3	40	76	21
	その他	12	12	312	0	12	55	3
	合計	152	45	404	3	52	266	33
施設数		1,442	2,527	22,247	365	1,023	6,463	2,640
事故発生率	火災	48.54	0.00	0.45	0.00	0.00	18.26	3.41
	爆発	13.18	0.00	0.09	0.00	0.00	2.63	0.00
	漏洩	35.37	13.06	3.60	8.22	39.10	11.76	7.95
	その他	8.32	4.75	14.02	0.00	11.73	8.51	1.14
	合計	105.41	17.81	18.16	8.22	50.83	41.16	12.50

注 1) 消防庁特殊災害室「石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要」に基づいて作成した。また、事故発生率は年間の 1 万施設あたりの事故発生件数を表す。

注 2) 事故件数には、1995 年兵庫県南部地震、1994 年三陸はるか沖地震などの地震によるものも含む。1994 年の屋外タンク貯蔵所のその他の事故、1995 年の屋内貯蔵所の漏洩事故及び屋外タンク貯蔵所のその他の事故、一般取扱所のその他の事故などは地震によるものがほとんどを占める。

注 3) 施設数は 2003 年 3 月 31 日現在の数で、平成 14 年度石油コンビナート等実態調査の特定事業所における危険物製造所等調による。また高圧ガス施設数は同調査による高圧ガスタンク数としている。

## 資料2 計測震度の算出式

地震時の災害想定においては、初期事象の発生確率を推定するために地表における加速度が必要となる。本調査では、内閣府中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」において算定された予防対策用の計測震度を用い、以下に示す気象庁の計測震度の算出式より地表加速度を推定した。

### 計測震度の算出式（気象庁告示第4号,1996）

$$I = 2 \log a + 0.94$$

I：計測震度

a：加速度 [cm/s<sup>2</sup>]

なお、上式の加速度 a は最大加速度そのものではなく、加速度記録に低周波数側を強調するフィルター処理をして、これが 0.3 秒以上継続する値が用いられている（次ページを参照）。

### 【気象庁：計測震度の算出方法】

計測震度は、震度計内部で以下のようなデジタル処理によって計算されます。

1. デジタル加速度記録3成分（水平動2成分、上下動1成分）のそれぞれに、フーリエ変換・フィルター処理・逆フーリエ変換の手順で、以下に示す特性のフィルターを掛ける。
2. 得られたフィルター処理済みの記録3成分から、ベクトル波形を合成する。
3. ベクトル波形の絶対値がある値  $a$  以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような  $a$  を求める。
4. この  $a$  から  $I = 2 \log a + 0.94$  により計測震度  $I$  を計算する。

計測震度の計算で使われているフィルター処理は、周波数 0.5 - 10Hz の範囲で地震動の加速度と速度の中間の波形を求めていることに相当します。つまり、両対数のグラフ上で見ると、このフィルターの特性曲線の傾きが上の周波数範囲で  $-1/2$  となっています。また、1.0Hz で倍率が1となるよう定数が選ばれています。また、フィルターの式は、以下の3つの部分からなります。

1.  $\text{SQRT}(1/F)$
2.  $1/\text{SQRT}(1+0.694*X^{**2}+0.241*X^{**4}+0.0557*X^{**6}+0.009664*X^{**8}+0.00134*X^{**10}+0.000155*X^{**12})$
3.  $\text{SQRT}(1-\text{EXP}(-(F/0.5)^{**3}))$

ここで、 $F$  は周波数 (Hz) 、 $X$  は  $F/10$  です。1 は上で述べた加速度と速度の中間の特徴を表すフィルター、2 はハイカットフィルター、3 はローカットフィルターです。

従来から用いられてきた、最大加速度を震度に換算するいわゆる河角の式との違いは、加速度記録に低周波数側を強調する上記のようなフィルターを施したうえ、最大値そのものではなく 0.3 秒以上継続する値を使う点です。

以上のことから、単純に河角の式から逆算し、各震度階級の加速度の値を求めることは出来ません。

(気象庁ホームページより)

### 資料3 災害影響の算定手法

#### 1. 流出モデル

##### (1) 液体流出

危険物質を液相で貯蔵した容器(または付属配管で容器に近いところ)が破損したときの流出率は次式で与えられる。ただし、容器の大きさに比べて流出孔が十分に小さく、流出が継続する間は液面の高さは変化しないことを前提とする。

$$q_L = ca \sqrt{2gh + \frac{2(p-p_0)}{\rho}} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

- $q_L$  : 液体流出率(m<sup>3</sup>/s)
- $c$  : 流出係数(不明の場合は 0.5 とする)
- $a$  : 流出孔面積(m<sup>2</sup>)
- $p$  : 容器内圧力(Pa)
- $p_0$  : 大気圧力(Pa)
- $\rho$  : 液密度(kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  : 重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>)
- $h$  : 液面と流出孔の高さの差(m)

##### (2) 気体流出

容器内に物質が気相で存在する場合の流出率は次式で与えられる。ただし、容器のサイズに比べて流出孔が十分に小さく、気体の噴出に熱的変化がないことを仮定している。

###### ① 流速が音速未満( $p_0/p > \gamma c$ )のとき

$$q_G = cap \sqrt{\frac{2M}{ZRT} \left( \frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \left\{ \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}} \dots\dots\dots (2)$$

###### ② 流速が音速以上( $p_0/p \leq \gamma c$ )のとき

$$q_G = cap \sqrt{\frac{M}{ZRT} \gamma \left( \frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

$$\gamma_c = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$q_G$  : 気体流出率(kg/s)

$c$  : 流出係数(不明の場合は 0.5 とする)

$a$  : 流出孔面積(m<sup>2</sup>)

$p$  : 容器内圧力(Pa)

$p_0$  : 大気圧力(Pa)

$M$  : 気体のモル重量(kg/mol)

$T$  : 容器内温度(K)

$\gamma$  : 気体の比熱比

$R$  : 気体定数(8.314J/mol·K)

## 2. 蒸発モデル (風による揮発性液体の蒸発)

常温の揮発性液体が流出して矩形の囲いの中に溜まった場合、液面からの蒸発量は風速に支配され次式で与えられる。

$$w = 0.033 \rho_g u \left( \frac{p_v}{p_0} \right) \left( \frac{v}{u l} \right)^{0.2} \dots\dots\dots(4)$$

ただし、

$w$  : 蒸発率(kg/m<sup>2</sup>s)

$\rho_g$  : 周辺温度における蒸気密度(kg/m<sup>3</sup>)

$p_v$  : 液面温度での飽和蒸気圧(Pa)

$p_0$  : 大気圧(101,325 Pa)

$u$  : 風速(m/s)

$l$  : 風方向の囲いの長さ(m)

$v$  : 空気の動粘性係数(25°C)( $0.154 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s)

## 3. ガス拡散モデル

### (1) 坂上モデル

ガスが流出して大気中で拡散したときの濃度分布を計算するための簡易モデルとしてガウシアンモデルがある。このモデルは、ガスの進行方向(風下方向)に対して直角方向の濃度分布を正規分布と仮定して解析するものである。ガウシアンモデルにはいくつかのものがあるが、海外ではブルームモデル(Pasquill-Gifford モデル)、国内では坂上モデルがよく用いられているようである。ここでは、一例として坂上モデルを示す。

坂上モデルには、ガスの発生源が点源と面源、ガスの発生時間が連続的と瞬間的の計 4 種類がある。点源の式は小さな開口部からガスが流出するような場合、面源の式は流出し



た液化ガスが防液堤に溜まって蒸発するような場合に適用される。以下に、よく用いられるガスの発生が連続的な点源と面源の式を示す。防液堤に溜まって蒸発するような場合でも、防液堤から遠いところでは点源の式を用いてもよい。

※) 坂上のガス拡散モデルでは、対象とするガスの密度が周囲の空気密度と同程度であることを仮定している。水素のように空気よりも非常に軽いガスの場合は漏洩後すぐに上方へ拡散するため、坂上式では過大評価になると考えられる。本調査では、全て坂上の点源の式により拡散距離を算出しているため、この点に注意が必要である。

### ① 連続点源の式

連続点源を想定したときの濃度分布は次式で与えられる。

$$C_{xyz} = \frac{Q}{uB\sqrt{\pi A}} \exp\left(-\frac{y^2}{A}\right) \exp\left(-\frac{(h+z)}{B}\right) I_0\left(\frac{2\sqrt{hz}}{B}\right) \dots\dots\dots (5)$$

$$A = q_A \{\phi_A x + \exp(-\phi_A x) - 1\}$$

$$B = q_B \{\phi_B x + \exp(-\phi_B x) - 1\}$$

ただし、

$C_{xyz}$  : 任意の地点(x,y,z)のガス濃度(体積比率)で  $x$  は水平風下方向、 $y$  は水平風横方向、 $z$  は鉛直方向にとった座標

$Q$  : 単位時間あたりの拡散ガス量( $m^3/s$ )

$u$  : 風速( $m/s$ )

$h$  : ガス発生源の高さ( $m$ )で(0,0,h)が発生源の座標となる (本調査では  $h=0.5$  とする)

$q_A, q_B, \phi_A, \phi_B$  : 拡散パラメータ

$I_0$  : 0 次の虚数単位ベッセル関数 ( $I_0(X)=J_0(iX)$   $J_0$  : 0 次ベッセル関数)

拡散パラメータは、拡散源の高さと大気安定度によって決まり、表 3.1 で与えられる。

表 3.1 坂上モデルの拡散パラメータの値

大気安定度	h(m)	$\psi_A$	$\sqrt{q_A}$	$\psi_B$	$q_B$
安 定	0.5	$4.78 \times 10^{-2}$	4.26	$4.20 \times 10^{-2}$	$3.50 \times 10^{-1}$
	10	$4.78 \times 10^{-2}$	4.26	$4.60 \times 10^{-2}$	$2.93 \times 10^{-1}$
	20	$4.78 \times 10^{-2}$	4.26	$4.71 \times 10^{-2}$	$2.86 \times 10^{-1}$
	30	$4.78 \times 10^{-2}$	4.26	$4.77 \times 10^{-2}$	$2.83 \times 10^{-1}$
中 立	0.5	$1.48 \times 10^{-2}$	$1.56 \times 10^1$	$1.10 \times 10^{-2}$	5.30
	10	$1.09 \times 10^{-2}$	$2.18 \times 10^1$	$2.46 \times 10^{-2}$	1.02
	20	$1.01 \times 10^{-2}$	$2.37 \times 10^1$	$3.00 \times 10^{-2}$	$7.00 \times 10^{-1}$
	30	$0.97 \times 10^{-2}$	$2.48 \times 10^1$	$3.29 \times 10^{-2}$	$5.65 \times 10^{-1}$
やや不安定	0.5	$4.50 \times 10^{-3}$	$7.59 \times 10^1$	$4.25 \times 10^{-3}$	$3.48 \times 10^1$
	10	$2.12 \times 10^{-3}$	$1.59 \times 10^2$	$1.48 \times 10^{-2}$	2.87
	20	$1.80 \times 10^{-3}$	$1.88 \times 10^2$	$1.98 \times 10^{-2}$	1.61
	30	$1.61 \times 10^{-3}$	$2.09 \times 10^2$	$2.34 \times 10^{-2}$	1.14
不安定	0.5	$1.12 \times 10^{-3}$	$2.77 \times 10^2$	$1.30 \times 10^{-3}$	$3.73 \times 10^2$
	10	$2.52 \times 10^{-4}$	$1.24 \times 10^3$	$7.20 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^1$
	20	$1.78 \times 10^{-4}$	$1.73 \times 10^3$	$1.10 \times 10^{-2}$	5.19
	30	$1.44 \times 10^{-4}$	$2.14 \times 10^3$	$1.40 \times 10^{-2}$	3.21

液体で流出したときには、式(1)で求められる流出率  $q_L(\text{m}^3/\text{s})$  をもとに、次式により拡散ガス量  $Q$  を計算し、これを式(5)に代入して拡散ガス濃度を計算する。

$$Q = \frac{q_L f \rho R T}{M p_0} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、

- f : フラッシュ率
- $\rho$  : 液密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- R : 気体定数( $8.314\text{J}/\text{mol} \cdot \text{K}$ )
- T : 大気温度(K)
- $p_0$  : 大気圧力(Pa)
- M : 気体のモル重量( $\text{kg}/\text{mol}$ )

少量流出の場合には、すべて気化するとして  $f=1$  としてよい。

また、気体で流出したときには、式(2)または式(3)で求められる流出率  $q_G(\text{kg}/\text{s})$  をもとに、次式により拡散ガス量  $Q$  を計算する。

$$Q = \frac{q_G RT}{M p_0} \dots\dots\dots (7)$$

② 連続面源の式

連続面源を想定したときの濃度分布は次式で与えられる。

$$C_{xyz} = \frac{Q' e^{-\frac{z+h}{B} \sqrt{A}}}{4uB} \left\{ \Lambda \left( \frac{x+n}{\sqrt{A}} \right) - \Lambda \left( \frac{x-n}{\sqrt{A}} \right) \right\} \left\{ \operatorname{erf} \left( \frac{y+m}{\sqrt{A}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{y-m}{\sqrt{A}} \right) \right\} I_0 \left( \frac{2\sqrt{hz}}{B} \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$\Lambda(\eta) = \eta \operatorname{erf}(\eta) + \eta + \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\eta^2}$$

$$\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-t^2} dt$$

ただし、

Q' : 単位時間、単位面積あたりの拡散ガス量(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s)

m : 風に直角方向の面源の幅の 1/2(m)

n : 風方向の面源の幅の 1/2(m)

であり、その他の記号は点源式(5)と同じである (本調査では、防液堤から蒸発・拡散する場合でも、防液堤から離れたところでの濃度が問題になるため、点源の式を使用する)。

4. 火災・爆発モデル

(1) 液面火災

ア. 火災の放射熱

火災から任意の相対位置にある面が受ける放射熱は次式で与えられる。

$$E = \phi \epsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots (9)$$

ただし、

E : 放射熱強度(J/m<sup>2</sup>s)

T : 火炎温度(K)

σ : ステファン・ボルツマン定数(5.6703 × 10<sup>-8</sup>J/m<sup>2</sup>sK<sup>4</sup>)

ε : 放射率

φ : 形態係数(0.0~1.0 の無次元数)

実用上は、燃焼液体が同じであれば火炎温度と放射率は変わらないと仮定し、 $R_f = \epsilon \sigma T^4$  (J/m<sup>2</sup>s) とおいて次式で計算してよい。

$$E = \phi R_f \dots\dots\dots (10)$$

ここで  $R_f$  は放射発散度と呼ばれ、主な可燃性液体については表 3.2 に示すような値をとる。なお、放射熱の単位は慣習的に kcal/m<sup>2</sup>h が用いられることが多いため、以下では両方の単位を併せて示す。

表 3.2 主な可燃性液体の放射発散度

可燃性液体	放射発散度	可燃性液体	放射発散度
カフジ原油	41 × 10 <sup>3</sup> (35 × 10 <sup>3</sup> )	メタノール	9.8 × 10 <sup>3</sup> (8.4 × 10 <sup>3</sup> )
ガソリン・ナフサ	58 × 10 <sup>3</sup> (50 × 10 <sup>3</sup> )	エタノール	12 × 10 <sup>3</sup> (10 × 10 <sup>3</sup> )
灯油	50 × 10 <sup>3</sup> (43 × 10 <sup>3</sup> )	LNG(メタン)	76 × 10 <sup>3</sup> (65 × 10 <sup>3</sup> )
軽油	42 × 10 <sup>3</sup> (36 × 10 <sup>3</sup> )	エチレン	134 × 10 <sup>3</sup> (115 × 10 <sup>3</sup> )
重油	23 × 10 <sup>3</sup> (20 × 10 <sup>3</sup> )	プロパン	74 × 10 <sup>3</sup> (64 × 10 <sup>3</sup> )
ベンゼン	62 × 10 <sup>3</sup> (53 × 10 <sup>3</sup> )	プロピレン	73 × 10 <sup>3</sup> (53 × 10 <sup>3</sup> )
n-ヘキサン	85 × 10 <sup>3</sup> (73 × 10 <sup>3</sup> )	n-ブタン	83 × 10 <sup>3</sup> (71 × 10 <sup>3</sup> )

(単位は J/m<sup>2</sup>s、括弧内は kcal/m<sup>2</sup>h)

#### イ. 形態係数

円筒形の火炎を想定し、図 3.1 に示すように受熱面が火炎底面と同じ高さにある受熱面を考えたとき、形態係数は次式により与えられる。また、受熱面が火炎底面と異なる高さにある場合の形態係数の計算は図 3.2 による。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \dots\dots\dots (11)$$

$$A = (1 + n)^2 + m^2$$

$$B = (1 - n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

ただし、

H : 火炎高さ

R : 火炎底面半径

L : 火炎底面の中心から受熱面までの距離

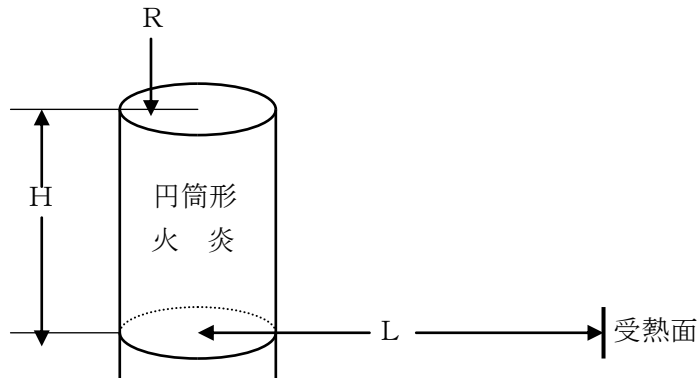


図 3.1 円筒形火炎と受熱面の位置関係

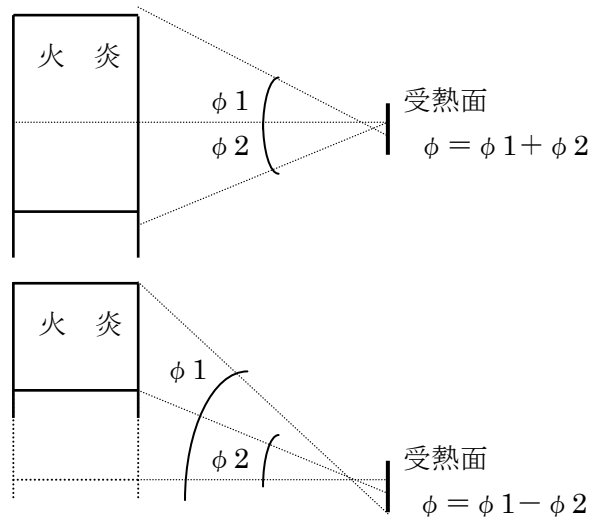


図 3.2 受熱面の高さによる形態係数の計算例

ウ. 火炎の想定

液面火災による放射熱を計算するためには火炎の形状を決める必要があり、一般に次のような想定がよく用いられる。

① 流出火災

可燃性液体が小さな開口部から流出し、直後に着火して火災となるような場合には、火災面積は次式で表わされる。

$$S = \frac{q_L}{V_B} \dots\dots\dots (12)$$

ただし、

S : 火災面積(m<sup>2</sup>)

q<sub>L</sub> : 液体の流出率(m<sup>3</sup>/s)

V<sub>B</sub> : 液体の燃焼速度(液面降下速度 m/s)

燃焼速度は、可燃性液体によって固有の値をとり、主な液体については表 3.3 に示すとおりである。

流出火災については、式(12)で得られる火災面積と同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍(m=H/R=3)の円筒形火炎を想定して放射熱の計算を行う。

表 3.3 主な可燃性液体の燃焼速度(液面降下速度 m/s)

可燃性液体	燃焼速度	可燃性液体	燃焼速度
カフジ原油	0.52 × 10 <sup>-4</sup>	メタノール	0.28 × 10 <sup>-4</sup>
ガソリン・ナフサ	0.80 × 10 <sup>-4</sup>	エタノール	0.33 × 10 <sup>-4</sup>
灯油	0.78 × 10 <sup>-4</sup>	LNG(メタン)	1.7 × 10 <sup>-4</sup>
軽油	0.55 × 10 <sup>-4</sup>	エチレン	2.1 × 10 <sup>-4</sup>
重油	0.28 × 10 <sup>-4</sup>	プロパン	1.4 × 10 <sup>-4</sup>
ベンゼン	1.0 × 10 <sup>-4</sup>	プロピレン	1.3 × 10 <sup>-4</sup>
n-ヘキサン	1.2 × 10 <sup>-4</sup>	n-ブタン	1.5 × 10 <sup>-4</sup>

## ② タンク火災

可燃性液体を貯蔵した円筒形タンクの屋根全面で火災となった場合には、タンク屋根と同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍(m=H/R=3)の円筒形火炎を想定して放射熱の計算を行う。

## ③ 仕切堤・防油堤火災

可燃性液体が流出し防油堤や仕切堤などの囲いの全面で火災となった場合には、囲いと同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍(m=H/R=3)の円筒形火炎を想定する。

## エ. 火炎の規模による放射発散度の低減

液面火災では、火災面積(円筒底面)の直径が10mを超えると、空気供給の不足により大量の黒煙が発生し放射発散度が低減する。したがって、このことを考慮せずに上記の手法で放射熱を計算すると、火災規模が大きいときにはかなりの過大評価となる。

実験により得られた火炎(燃焼容器)直径と放射発散度との関係を図 3.3 に示す。これによると、火炎直径が10mになると放射発散度の低減率は約0.6、20mで約0.4、30mで約0.3となる。

一方、平成10年から11年に石油公団が消防研究所等と共同で行った燃焼実験の結果、燃焼容器直径(D)と放射発散度(r)の関係として次式が示されている(図 3.4)。

$$r = \exp(-0.06D) \dots\dots\dots (13)$$

本調査では、式(13)を適用して低減率を算出する。放射発散度の下限值については、 $D=20\text{m}$  に対して  $r=0.15$  という実験結果<sup>i</sup> が得られているが、風の影響も考えられることから  $r=0.3$  を下限とする。

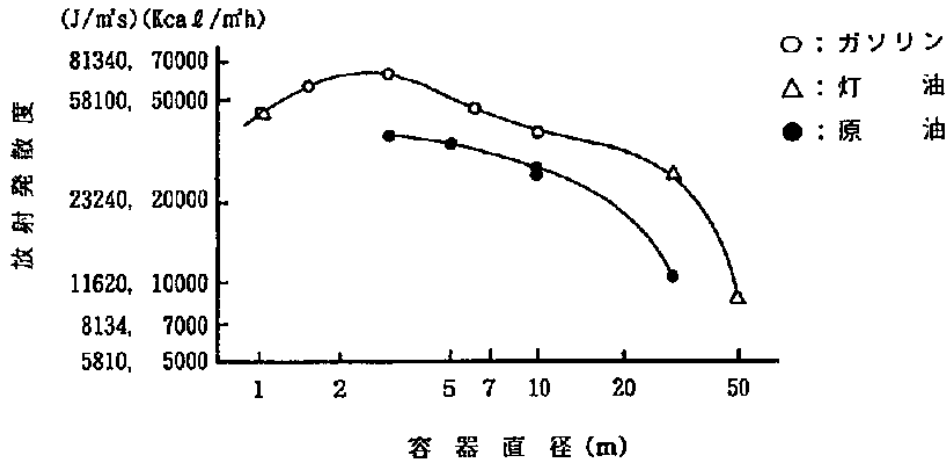


図 3.3 火炎直径と放射発散度との関係<sup>ii</sup>

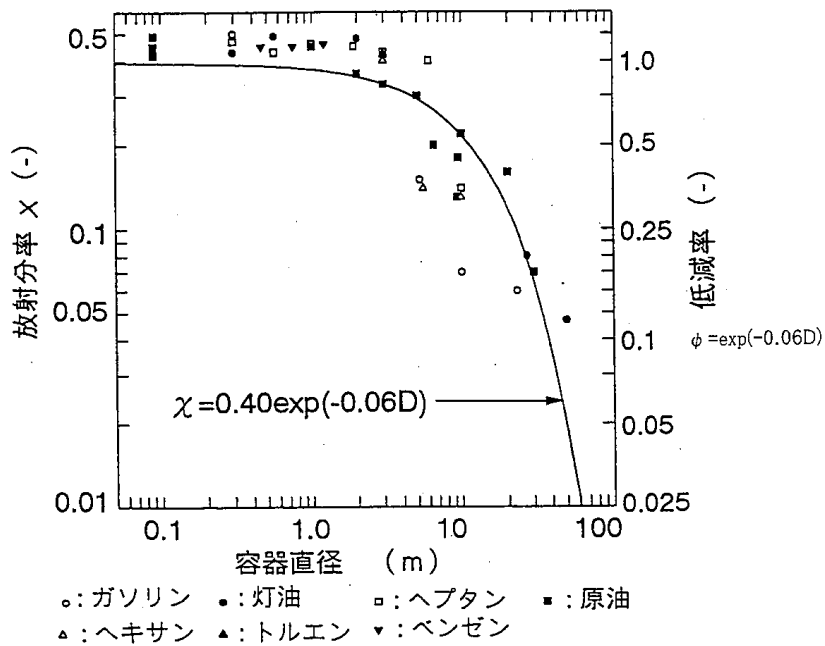


図 3.4 各種燃料の放射分率と容器直径との関係<sup>i</sup>

(図中の式は、原油火災に対するもの)

(2) ガス爆発

<sup>i</sup> 石油タンク等の災害想定について、石油公団・危険物保安技術協会、平成 14 年 3 月

<sup>ii</sup> 湯本太郎他：大規模石油火災からの放射熱の推定，安全工学 Vol.21 No.4, 1982

流出した可燃性ガス（液化ガスを含む）が拡散し、空気との混合が進んだ後に着火した場合、激しい爆風圧を発生する爆轟が起こる。この際の爆風圧と爆発中心からの距離との関係は、TNT 等価法による次式で与えられる。

$$R = \lambda \sqrt[3]{W_{TNT}} = \lambda \sqrt[3]{\frac{W_G f \phi Q_G \gamma}{Q_T}} \dots\dots\dots (14)$$

ただし、

- R : 爆心からの距離(m)
- λ : 換算距離(m/kg<sup>1/3</sup>)
- W<sub>TNT</sub> : 等価の TNT 火薬量(kg)
- W<sub>G</sub> : 可燃性ガスの流出量(kg)
- Q<sub>G</sub> : 可燃性ガスの燃焼熱量(J/kg)
- Q<sub>T</sub> : TNT 火薬の燃焼熱量(4.184×10<sup>6</sup>J/kg)
- f : ガスの気化率(フラッシュ率)
- φ : 爆発係数(0.1)
- γ : TNT 収率(0.064)

爆発係数は流出ガスのうち爆発に寄与するガスの割合であり、通常 0.1（10%）が用いられる。また、TNT 収率は爆発に寄与したガスの総エネルギーと、この場合に生じた爆風圧に相当する TNT 当量のエネルギーの割合であり、通常安全側の評価を見込んで 0.064（6.4%）が用いられる。

換算距離λは、図 3.5 により爆風圧(Pa)と対応する。爆風圧(圧力)の単位として慣習的に kgf/cm<sup>2</sup>がよく用いられるため、図 3.5 には両方の単位を併せて示している。

高压ガス保安法・コンビナート等保安規則では、可燃性ガスの種類と取扱温度ごとに気化率、爆発係数、Q<sub>G</sub> と Q<sub>T</sub> の比率の積を K 値として表わし、爆風圧と距離との関係を次のように示している(この場合 W<sub>G</sub> の ton で表してK値を決めている)。

$$R = 0.04 \lambda \sqrt[3]{K W_G} \dots\dots\dots (14)$$

同法では、既存施設に対してはλ=12.0(爆風圧 11760Pa, 0.12kgf/cm<sup>2</sup>)、新規施設に対してはλ=14.4(爆風圧 9800Pa, 0.1kgf/cm<sup>2</sup>)を限界強度として保安距離を確保するものとしている。

### (3) フラッシュ火災

フラッシュ火災とは、可燃性蒸気雲の燃焼で火炎伝播速度が比較的遅く過圧が無視できるものをいう。この場合、爆風圧よりも放射熱が問題になるが、放射熱の影響を算定するためのモデルはほとんど開発されていない。そのため、燃焼プロセスが穏やかで持続時間が短いこと、ガス雲の熱膨張は浮力により鉛直上方に起こることを仮定して、ガス濃度が



爆発下限界またはその 1/2 以上となる範囲を危険とする評価がよく用いられる。

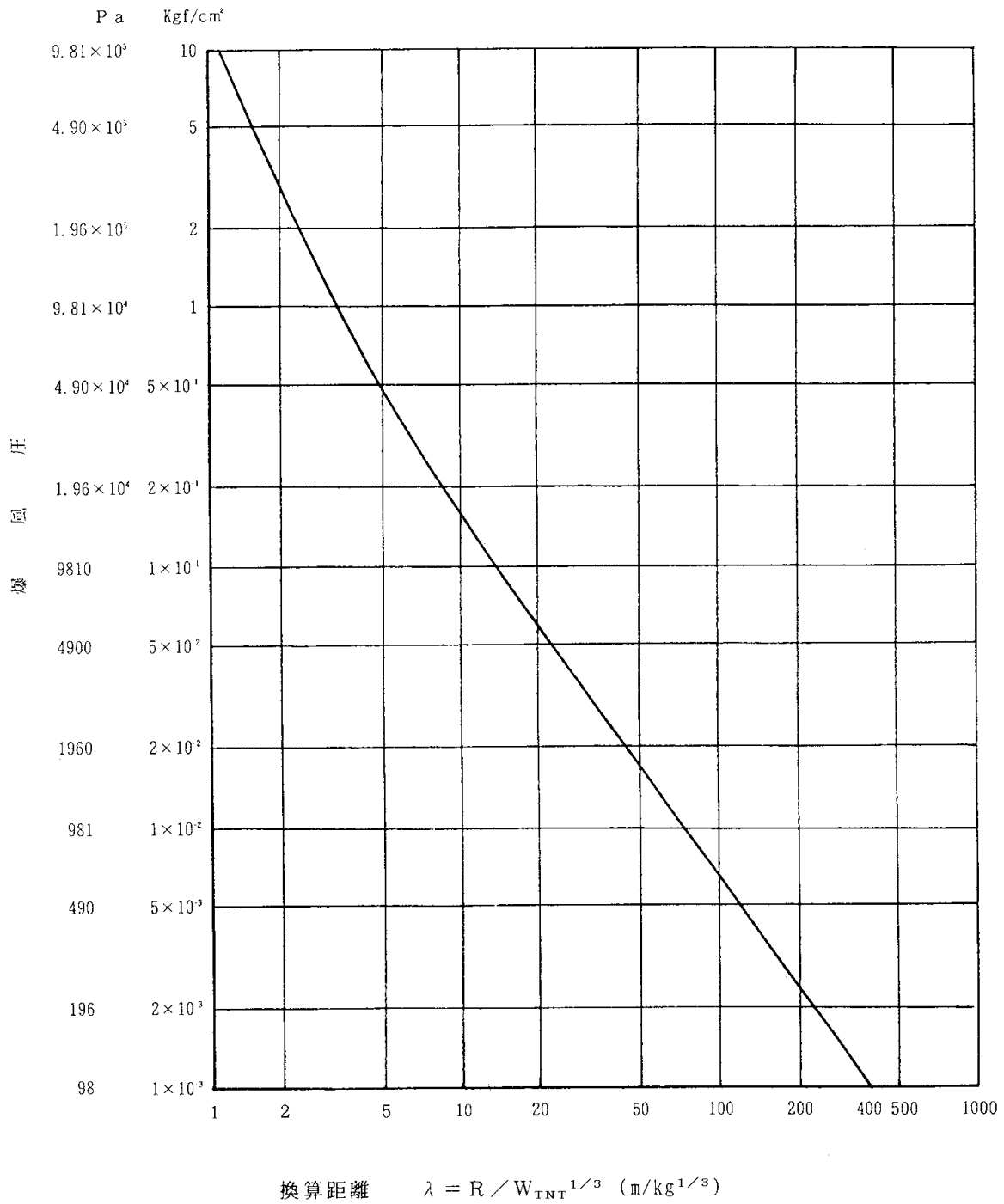


図 3.5 換算距離 λ と爆風圧との関係<sup>iii</sup>

<sup>iii</sup> 石油コンビナート災害想定の手法 (消防地第 180 号), 石油コンビナート防災診断委員会, 昭和 55 年 6 月 25 日

## 資料4 コンビナート地区の気象条件

評価施設においてガスの漏洩が生じると、ガスは大気中を風下方向に拡散するが、その時の拡散ガスの濃度分布は、風向や風速、大気安定度に影響される。

大気安定度とは大気の状態を表す指標で、「不安定」「やや不安定」「中立」「安定」の4つの階級がある。一般に、大気が不安定な状態ではガスがよく拡散され、拡散幅は広く、拡散距離は短くなる。逆に大気が安定な状態ではガスがほとんど拡散されず、拡散幅は狭く拡散距離は最も長くなる。

本調査では、コンビナート地区近隣の3ヵ所の測定局について、2000年4月～2005年3月の5年間の気象観測データを収集し、ガス拡散濃度の算定に必要な気象条件の設定を行った。各測定局の属性は表4.1及び図4.1～4.3の通りである。

表 4.1 特別防災区域近隣の測定局

No.	測定局名称	住所	収集データ		風速計の高さ(m)
			風向・風速	日射量	
①	中区本牧	横浜市中区本牧大里町 155-18	●	●	10
②	鶴見区生麦小学校	横浜市鶴見区生麦 4-15-1	●		19
③	横須賀市久里浜行政センター	横須賀市久里浜 6-14-2	●		21

風速については、測定局によって風速計の設置高さが異なるため、次式により10m高さにおける風速に換算した。

$$\text{換算風速} = \text{測定した風速} \times (10 / \text{風速計の高さ})^{0.25}$$

大気安定度は、風速及び日射量のデータから表2及び表3により求めた。

3ヵ所の測定局の中で日射量を観測しているのは本牧(①)だけである。生麦(②)については本牧と10km程離れているが、日射量はさほど局所的には変化しないものと考え、本牧の値を用いて大気安定度を算出した。久里浜(③)については本牧から25～30kmほど離れているため、実際の日射量の値と異なる可能性がある。従って、大気安定度は他の測定局のデータを代用することとした。各測定局の平均風速及び大気安定度(頻度)を表4に示す。

これらから、ガス拡散濃度の算定に必要な気象条件は、次のように設定することとした。

	風速(m/s)	大気安定度
京浜臨海地区	2.6	中立
根岸臨海地区	2.7	中立
久里浜地区	2.5	中立

表 4.2 大気安定度階級表

風速 U (m/s)	日 中:日射量 Q(kW/m <sup>2</sup> )				夜 間 (Q=0)
	0.60 ≤ Q	0.30 ≤ Q < 0.60	0.15 ≤ Q < 0.30	Q < 0.15	
U < 2.0	不安定	不安定	不安定	中立	安定
2.0 ≤ U < 3.0	不安定	不安定	やや不安定	中立	安定
3.0 ≤ U < 4.0	不安定	不安定	やや不安定	中立	中立
4.0 ≤ U < 6.0	やや不安定	やや不安定	中立	中立	中立
6.0 ≤ U	やや不安定	中立	中立	中立	中立

\* 「有害大気汚染物質に係る発生源周辺における環境影響予測手法マニュアル(経済産業省-低煙源工場拡散モデル:METI-LIS), 関東経済産業局, 2001.3」に基づき設定。

不安定: 風が弱く日照りの時に現れる状態。地表付近が高温で上空が低温という気温の鉛直分布が出現するため、対流がよく起こる。

やや不安定: 不安定と中立の中間の状態。

中立: 曇りや風の強い場合などに現れる状態。この場合は、周囲との温度差がないため、上下方向の動きは起きない。

安定: 風が弱く良く晴れた夜間などに現れる、放射冷却が進んだ状態。気温分布が不安定型とは逆になって、対流がほとんど起こらない。

表 4.3 日中-夜間の区分

時期	日中	夜間
春期・夏期(4~9月)	6~18時	19~5時
秋期・冬期(10~3月)	7~17時	18~6時

表 4.4 大気安定度と平均風速の集計結果

大気安定度	中区本牧	鶴見区生麦小学校	横須賀市 久里浜行政センター
安定	4	5	-
中立	28625	28461	-
やや不安定	3296	3485	-
不安定	7582	7554	-
平均風速[m/s]	2.6	2.7	2.5

なお、各測定局における過去5年間(または8年間)の風向の集計結果を、表4.5~4.7及び図4.4~4.6に示す(ただし、ガス拡散の算定にあたっては風向分布を考慮していない)。



图 4.1 气象测定局（生麦）

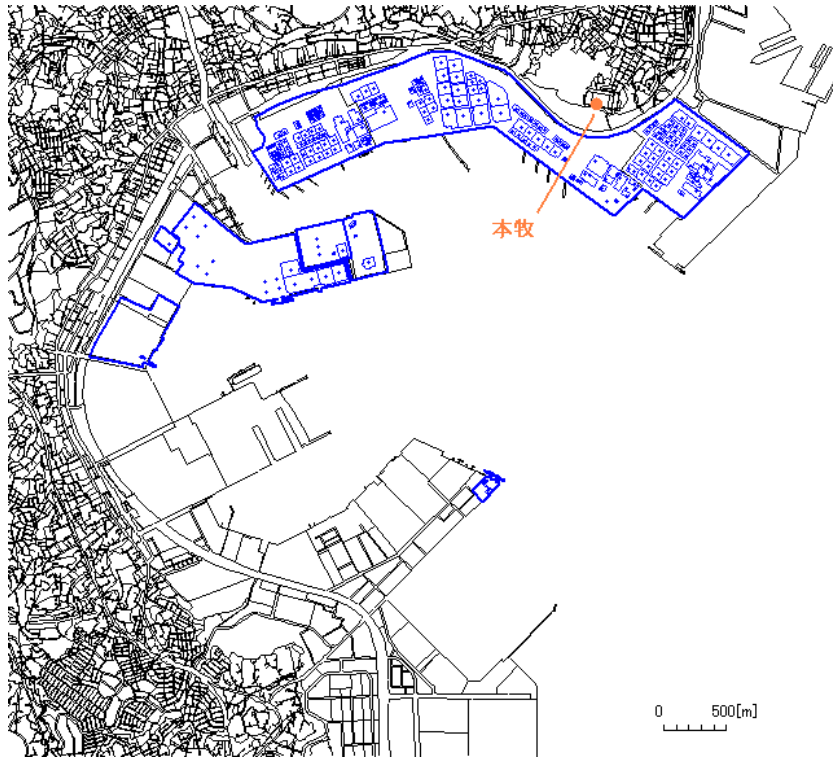


图 4.2 气象测定局（本牧）

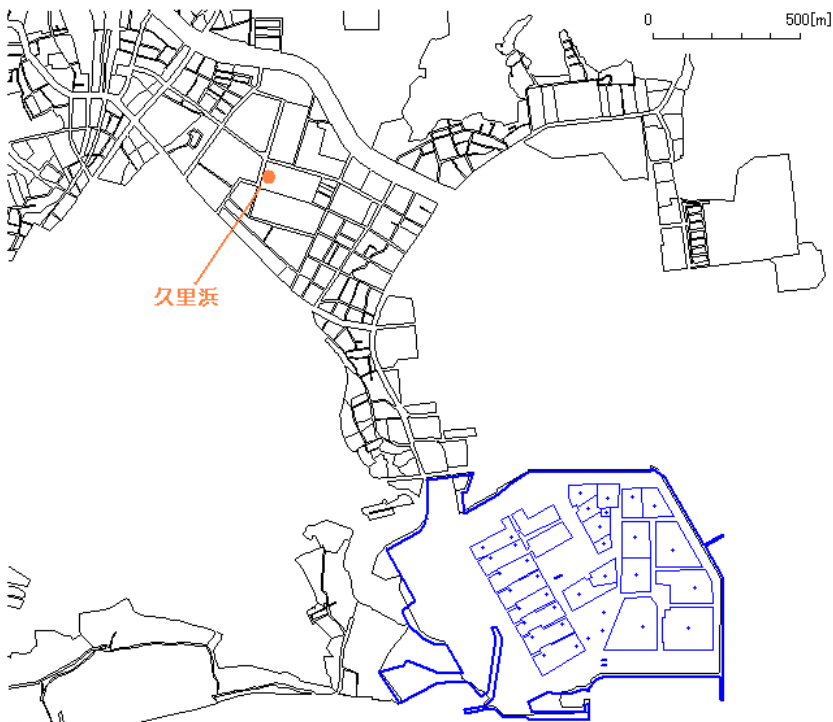


图 4.3 气象测定局（久里浜）

表 4.5 横浜市鶴見区生麦の風向頻度分布

年度	16方位別の割合 (NNE ~ N) (単位 : %)																静穏 Calm
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
1997	15.4	11.4	9.0	4.7	4.5	2.1	4.7	4.4	2.3	11.2	10.4	2.5	1.3	1.7	5.5	9.0	1.3
1998	15.4	12.8	11.2	4.9	3.9	2.4	4.4	5.1	2.4	10.0	8.9	1.8	1.5	1.9	5.7	7.7	1.6
1999	16.7	9.4	9.0	4.1	2.8	2.1	4.2	4.0	3.1	14.3	9.2	1.8	1.3	2.0	6.5	9.3	0.7
2000	17.6	10.2	8.9	3.9	3.0	1.7	4.9	4.3	3.1	13.5	7.8	2.1	1.3	2.2	6.7	9.0	0.9
2001	15.5	7.8	11.1	4.6	4.1	2.8	5.6	4.2	2.8	11.4	7.4	2.5	1.6	2.4	6.9	9.4	1.0
2002	18.7	7.7	11.4	4.5	3.4	2.0	4.5	3.1	2.5	12.4	6.9	1.6	1.1	2.5	6.2	11.4	0.9
2003	17.2	7.7	13.0	5.0	4.1	2.5	5.5	2.7	3.2	13.3	5.5	1.9	1.5	2.3	6.3	8.4	1.0
2004	13.9	12.2	10.6	4.6	2.9	2.3	4.5	3.2	3.7	16.5	5.6	2.0	1.1	2.5	5.7	8.5	1.6
平均	16.3	9.9	10.5	4.5	3.6	2.2	4.8	3.9	2.9	12.8	7.7	2.0	1.3	2.2	6.2	9.1	1.1

表 4.6 横浜市中区本牧の風向頻度分布

年度	16方位別の割合 (NNE ~ N) (単位 : %)																静穏 Calm
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
1997	15.2	23.6	12.2	5.7	2.5	1.3	1.4	3.7	2.2	3.6	14.1	8.0	1.7	0.8	1.0	3.1	0.4
1998	14.0	26.9	14.0	5.7	2.4	1.5	1.3	3.6	2.4	3.6	13.1	5.0	1.6	1.0	1.2	2.8	0.4
1999	14.6	23.8	11.1	5.1	2.4	1.3	1.2	4.2	2.5	3.9	16.9	6.2	1.6	0.9	1.1	3.2	0.4
2000	9.7	31.0	12.2	5.2	2.0	1.4	1.2	3.7	3.3	3.8	14.7	6.9	1.3	1.0	1.0	1.8	1.5
2001	8.5	29.7	14.9	6.1	2.5	1.4	1.1	3.5	2.9	3.2	12.6	8.0	1.6	1.2	0.9	1.9	1.4
2002	23.9	18.7	13.5	3.6	1.6	1.1	1.4	2.6	2.7	4.2	15.3	3.3	0.9	0.8	1.3	5.0	1.0
2003	21.3	10.5	14.7	5.9	2.8	1.4	2.2	2.7	2.0	5.0	14.6	4.5	1.4	0.8	2.2	8.0	3.9
2004	17.8	8.4	8.6	9.5	3.0	1.5	2.9	3.3	3.0	4.6	17.3	5.6	1.4	1.2	2.9	9.0	4.5
平均	15.6	21.6	12.7	5.9	2.4	1.4	1.6	3.4	2.6	4.0	14.8	5.9	1.4	1.0	1.5	4.4	1.7

表 4.7 横須賀市久里浜の風向頻度分布

年度	16方位別の割合 (NNE ~ N) (単位 : %)																静穏 Calm
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
2000	10.1	16.2	12.6	5.1	2.4	2.2	2.1	2.7	8.8	6.6	9.2	4.4	5.9	3.2	2.9	3.9	1.9
2001	9.3	14.1	12.0	5.4	3.4	2.8	2.4	2.4	8.3	6.6	7.6	5.1	5.9	4.9	3.9	3.9	1.9
2002	12.8	20.1	8.6	4.1	2.4	2.0	2.0	2.6	7.9	5.0	9.2	5.6	4.2	3.4	2.5	6.1	1.3
2003	12.6	18.0	9.2	4.0	2.6	2.3	2.2	3.7	8.0	5.3	7.4	6.0	4.5	3.9	3.2	7.0	0.0
2004	11.4	15.8	7.6	3.9	2.3	2.0	2.6	4.5	8.0	6.3	9.4	7.1	5.3	3.9	2.8	7.0	0.0
平均	11.2	16.9	10.0	4.5	2.6	2.2	2.2	3.2	8.2	5.9	8.6	5.6	5.2	3.9	3.1	5.6	1.0

- (注1) Nとは、N（北）の方向から吹いてきた風。
- (注2) 静穏（0.4m/s未満の場合）は、静穏を含む全測定時間数に対する割合。
- (注3) 風向別頻度（NNE ~ N）は、全測定時間数から静穏の時間数を差し引いた時間数に対する割合。

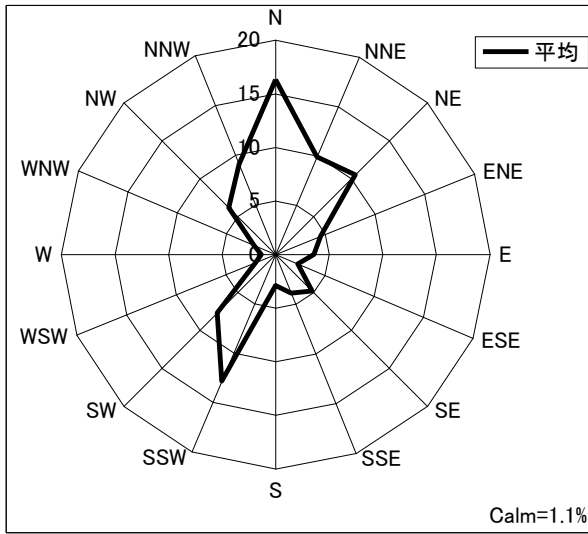


図 4.4 横浜市鶴見区生麦の  
風向頻度分布(過去 8 年間の平均)

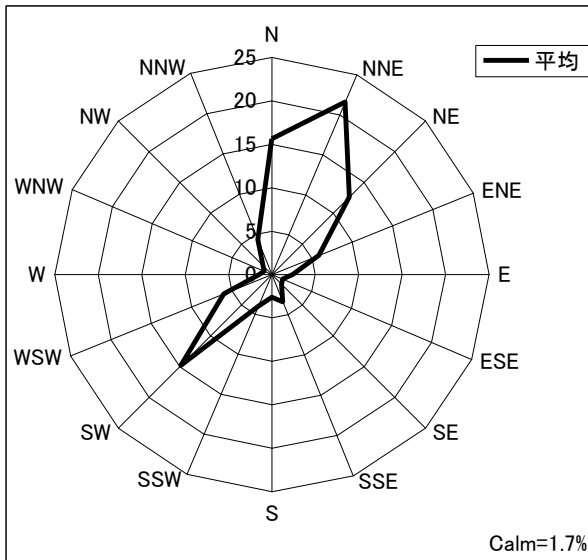


図 4.5 横浜市中区本牧の  
風向頻度分布(過去 8 年間の平均)

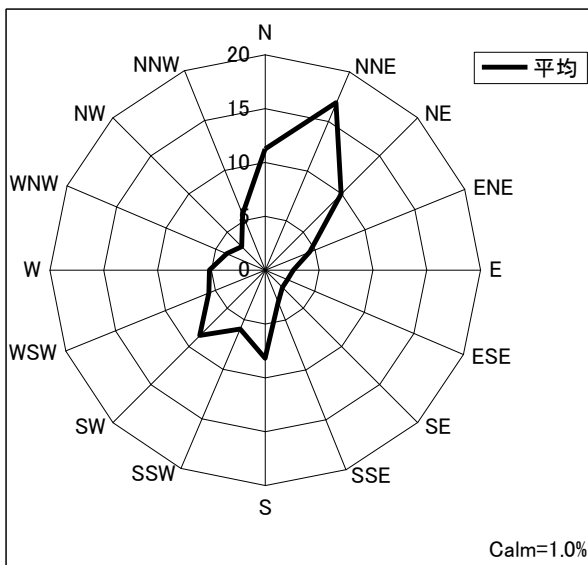


図 4.6 横須賀市久里浜の  
風向頻度分布(過去 5 年間の平均)

## 資料5 その他の物質の危険性

ここでは影響度の算定を除外した、硫黄、アセトンシアンヒドリン、硫酸、シアン化ナトリウムの危険性について補足する。

### 1. 硫黄

硫黄は危険物第2類に該当する可燃性固体であり、タンクなどで貯蔵する場合には加熱して熔融状態とする。京浜臨海地区及び根岸臨海地区には硫黄タンク数基とプラントで取り扱われる硫黄が存在するが、仮に熔融硫黄が漏洩した場合は外気に触れて冷却・固化するものと考えられ、災害の形態が石油類と異なるため、評価の対象から除外している。

1992～2003年の危険物施設における火災事故について見ると、硫黄が出火原因物質となっているものは9件あり、そのうち7件は一般取扱所における事故、残る2件は製造所及び屋外タンク貯蔵所における事故である。<sup>i</sup>

一般取扱所における事故は特別防災区域外の化学工場が多く、6件が粉状硫黄の粉塵爆発であり（着火源は静電気火花や衝撃火花である）、残る1件は電気配線の短絡による硫黄粉末への延焼である。また、製造所における事故は、硫黄回収装置の設備の故障等により、反応炉から約1,300℃の硫黄ガスが放出されて火災となったものである。

屋外タンク貯蔵所における事故は、硫黄タンク屋根部に漏入した空気によって硫化鉄が生成し、硫化鉄の酸化作用によって自然発火、タンク気相部に蓄積されていた硫化水素に着火して爆発に至ったものである。なお、事故当時は熔融硫黄3,052tを138.8℃、常圧、窒素封入の状態での貯蔵しており、受払いはしていなかった。

これらの事故事例から、硫黄タンクについては硫化鉄の酸化作用に注意を要し、窒素封入量の見直しや、タンク内の硫化水素濃度、酸素濃度をチェックするなどの安全対策が望まれる。

また、石油精製設備においては硫黄を原因物質とする事故事例はないものの、脱硫装置については運転温度や圧力が高い、設備の腐食劣化が早いといった危険性が指摘されている。仮に脱硫装置の爆発や火災事故によって硫黄の類焼が生じると、二酸化硫黄（亜硫酸ガス、IDLH：100ppm）などの毒性ガスを生成するため、脱硫装置の安全対策を検討する上で考慮する必要がある。

### 2. アセトンシアンヒドリン

京浜臨海地区にはアセトンシアンヒドリンを貯蔵するタンクが2基存在する。アセトンシアンヒドリンは、石油コンビナート等災害防止法により劇物として指定されており、危険物としては第4類第3石油類に該当する水溶性液体である。

本調査ではアセトンシアンヒドリンタンクについて、火災の放射熱の影響度の推定を行っているが、毒性影響についてはIDLHの評価値が示されていないことから、評価対象から除外している。

<sup>i</sup> 危険物に係る事故事例（各年）、消防庁



毒性については、120℃付近に加熱するかアルカリ類と接触すると、分解して有毒なシアン化水素と引火性のアセトンを発生するため、火災時などは特に注意が必要である。

### 3. 硫酸

京浜臨海地区には硫酸タンクが数基存在するが、硫酸は水や熱と反応して有毒ガスを生成するなど、毒性液体タンクのETAで想定した漏洩→蒸発→毒性ガスの拡散という災害形態に当てはまらないことから、評価対象から除外している。

石油コンビナート等災害防止法において劇物に指定されている発煙硫酸は、濃硫酸に三酸化硫黄(SO<sub>3</sub>)を吸収させたもので、空気中では刺激臭がある遊離SO<sub>3</sub>または硫酸ミストを発生する。また、水又は熱を加えること等により発熱や多量のSO<sub>3</sub>の生成があるので、注意が必要である。

### 4. シアン化ナトリウム

京浜臨海地区には、シアン化ナトリウム水溶液のタンクが数基存在する。シアン化ナトリウムは石油コンビナート等災害防止法による指定はされていないが、毒物及び劇物取締法では毒物に指定されている物質である。

酸と反応すると有毒なシアン化水素を発生し、空気中では炭酸ガスと反応してシアン化水素を発生する。さらに、燃焼すると有毒な窒素酸化物を生成することから、シアン中毒等の危険性に注意する必要がある。

資料6 検討会等構成員

神奈川県石油コンビナート等検討会防災体制検討会構成員

所属・職名等	氏名
横浜国立大学名誉教授 横浜安全工学研究所代表	上原 陽一
横浜国立大学大学院教授	大谷 英雄
独立行政法人消防研究所基盤研究部 防災研究グループ長	座間 信作
第三管区海上保安本部警備救難部長	長澤 安純
横浜市消防局予防部長	津田 祐孝
川崎市消防局予防部長	伊藤 英男
横須賀市消防局指導課長	星野 正樹
東燃ゼネラル石油（株）環境安全部長	渡辺 哲
新日本石油化学（株）川崎事業所 環境安全1グループリーダー	中間 清寛
新日本石油精製（株）横浜製油所 副所長兼品質環境安全グループマネージャー	芳武 章
新日本石油精製（株）根岸製油所 環境安全グループチーフスタッフ	菊地 正義
東京電力（株）横須賀火力発電所 発電運営グループ副長	永井 孝之
神奈川県安全防災局副局長	酒井 俊夫
神奈川県安全防災局工業保安課長	茂木 吉晴
神奈川県安全防災局災害消防課長	武山 哲
神奈川県安全防災局消防防災担当課長	石崎 健
神奈川県安全防災局応急対策担当課長	清水 伸一

（敬称略：順不同）

神奈川県石油コンビナート等検討会防災体制検討会部会構成員

所属・職名等	氏名
横浜国立大学名誉教授 横浜安全工学研究所代表	上原 陽一
横浜国立大学大学院教授	大谷 英雄
独立行政法人消防研究所基盤研究部 防災研究グループ長	座間 信作
第三管区海上保安本部警備救難部 環境防災課長	横田 伸治
横浜市消防局予防部指導課長	中村 賢
川崎市消防局予防部危険物課長	富岡 隆
横須賀市消防局指導課長	星野 正樹
東燃ゼネラル石油（株）環境安全部	石原 正大
新日本石油精製（株）根岸製油所 環境安全グループチーフスタッフ	菊地 正義
東京電力（株）横須賀火力発電所 発電運営グループ副長	永井 孝之
神奈川県安全防災局工業保安課長	茂木 吉晴
神奈川県安全防災局工業保安課課長代理	轉 次郎

（敬称略：順不同）

神奈川県石油コンビナート等特別防災区域防災課題検討会構成機関

構成機関名
第三管区海上保安本部警備救難部環境防災課
横浜市消防局予防部指導課
川崎市消防局予防部危険物課
横須賀市消防局指導課
東京電力（株）西火力事業所横須賀火力発電所
京浜臨海地区石油コンビナート等特別防災区域協議会
根岸臨海地区石油コンビナート等特別防災区域協議会
神奈川県保健福祉部薬務課
神奈川県安全防災局災害消防課
神奈川県安全防災局工業保安課

（敬称略：順不同）

高圧ガス施設地震保安対策推進委員会委員

所属・職名等	氏名
東京大学 名誉教授	柴田 碧
日本大学総合科学研究所 理工学研究科不動産科学専攻教授	秋山 宏
首都大学東京 工学研究科機械工学専攻教授	鈴木 浩平
早稲田大学 理工学部社会環境工学科教授	濱田 政則
高圧ガス保安協会 高圧ガス部審議役	池田 雅俊
(社)神奈川県高圧ガス協会 会長	藤田 文萌
(社)神奈川県エルピーガス協会 副会長	金指 清隆
株式会社アデルコ 監査役	越智 義夫
国立大学法人 横浜国立大学 工学部生産工学科教授	高田 一
神奈川県安全防災局工業保安課長	茂木 吉晴

(敬称略：順不同)

高圧ガス施設地震保安対策推進委員会分科会構成員

所属・職名等	氏名
株式会社アデルコ 監査役	越智 義夫
パイプラインエンジニアリング株式会社	河野 和間
石川島プラントエンジニアリング株式会社	遠藤 七郎
石川島播磨重工業株式会社	石田 和雄
有限会社プラント地震防災アソシエイツ 取締役	稲葉 忠
千代田アドバンス・ソリューションズ株式会社	安藤 文雄
清水建設株式会社	前 孝一
大成建設株式会社	志波 由紀夫
神奈川県安全防災局工業保安課長	茂木 吉晴
神奈川県安全防災局工業保安課課長代理	轉 次郎

(敬称略：順不同)

高圧ガス施設等液状化・流動化対策検討分科会構成員

所属・職名等	氏名
早稲田大学 理工学部社会環境工学科教授	濱田 政則
千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社	安藤 文雄
清水建設株式会社	前 孝一
大成建設株式会社	志波 由紀夫
神奈川県安全防災局工業保安課長	茂木 吉晴
神奈川県安全防災局工業保安課課長代理	轉 次郎

(敬称略：順不同)

## 資料7 特定貯槽配管の地盤変状に係わる簡易判定法

### 1. 地盤変位に対する変位吸収能力

地盤変位に対する変位吸収能力は簡易判定法によることができる。

- (1) 簡易判定法は、地盤変状による影響が支持を介して配管が受ける場合の、配管系の耐震性能を簡易に評価するものである。
- (2) 簡易判定法は、①配管の地盤変状吸収能力、②フランジ部の耐震性能評価、③ノズル耐震性能評価、④伸縮継手の耐震性能評価及び⑤サポートによって構成している。これは、耐震告示（KHK 指針）の評価方法を基にして簡略化している。
- (3) 耐震告示の第 17 条「配管の支持方法」（重要度Ⅱ、Ⅲのレベル 1 耐震性能評価に用いる評価方法）を基にして、重要度Ⅰa、Ⅰの配管系のレベル 2 耐震性能評価における標準的応答解析手法である等価線形解析法、すなわち曲がり部の塑性変形吸収能力を考慮した簡易評価法となっている。

#### 1.1 評価結果

- (1) 評価は配管系のレベル 2 耐震性能評価における標準的応答解析手法である等価線形解析法より安全側に行っている。簡易判定法で不合格となった場合であっても、耐震告示に基づく評価を行うことにより耐震性能を有していることを確認することができる。

#### 1.2 適用範囲

- (1) 既設の配管の地盤変状に係る配管系の耐震性能評価に適用する。
- (2) 適用範囲は、耐震告示で地盤変状に係る配管系の耐震性能評価を行うこととされている重要度Ⅰ・Ⅰaの高圧ガス配管系とする。

### 2. 評価方法

#### 2.1 手順（図 2.1 簡易判定法評価フロー参照）

- (1) 当該地盤が液状化、及び流動のおそれのある地盤と判定される場合に行う。
- (2) 当該配管系の地震防災遮断弁を超える第 1 サポートまで配管の基礎が同一基礎上に設置されている時は、地盤変状による基礎の移動に係る配管系のレベル 2 耐震性能評価は合格とする。ただし、この場合において、当該配管系の地震防災遮断弁を超える第 1 サポートは固定機能を有することを確認する。
- (3) 当該配管系が共通基礎上に設置されていない場合は、液状化に伴う地盤の沈下、水平移動による基礎の移動量を算出する。
- (4) 地盤変状による基礎の相対的移動量に対して配管系は十分可とう性を有し、当該配管から高圧ガスの漏洩が生じないことを次により確認する。不合格の場合にあっては、耐震告示に基づく詳細評価を行うことにより耐震性能を有していることを確認することができる。

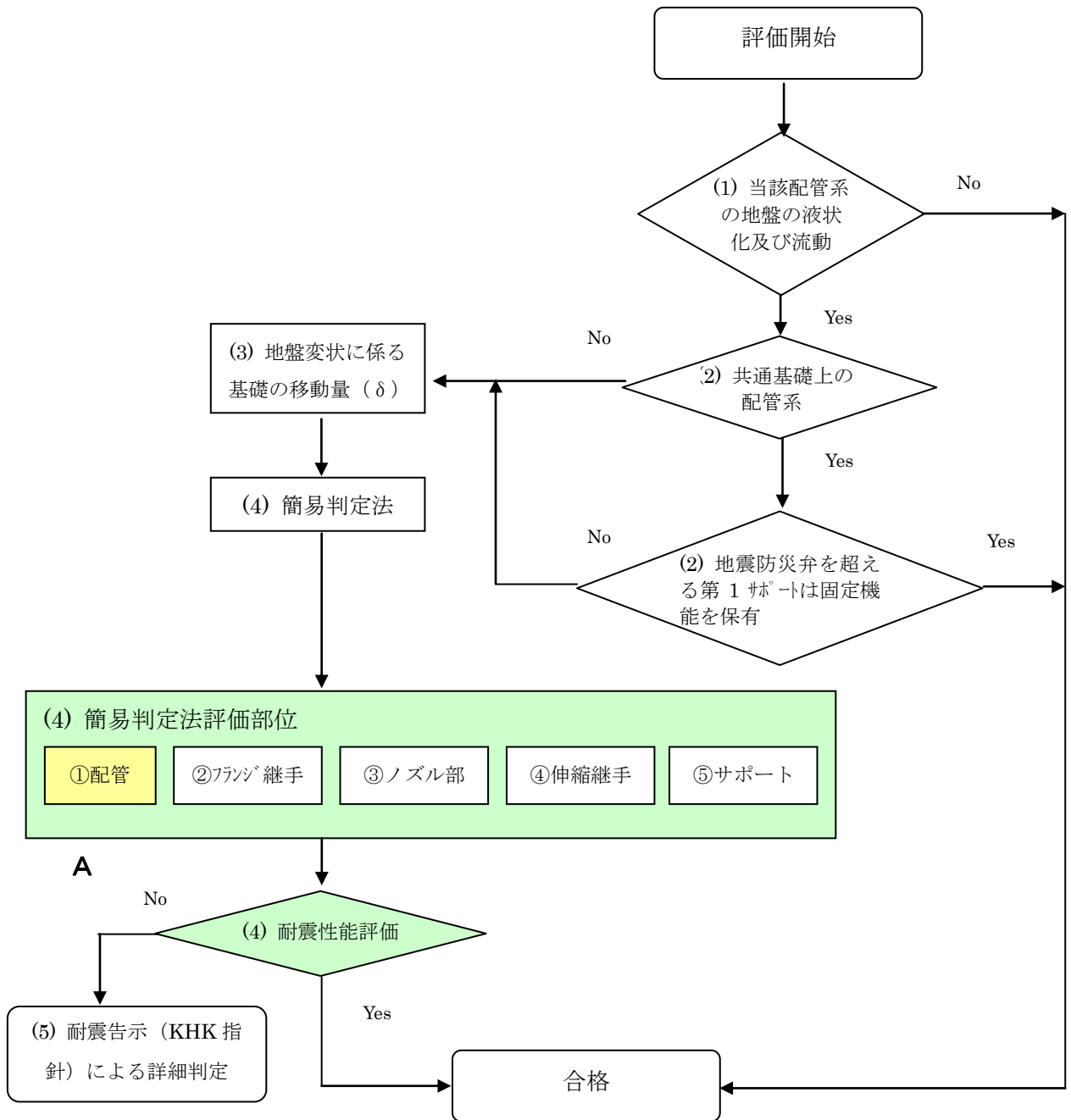


図 2.1(a) 簡易判定法評価フロー

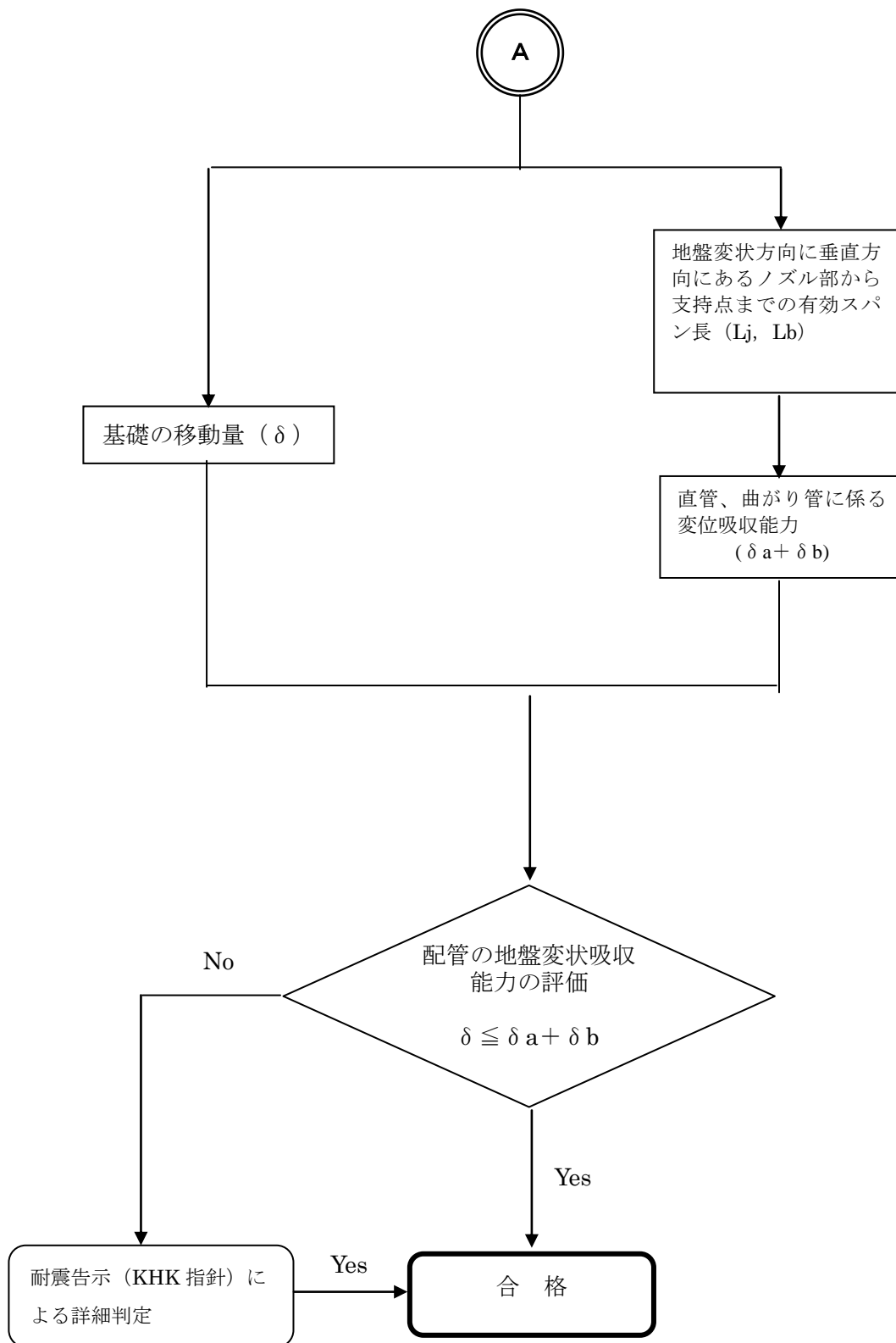


図 2.1 (b) 簡易判定法評価フロー



① 配管

以下の判定式を満足する場合、当該配管に地盤変状吸収能力があるものとする。

$$\text{判定式} : \delta \leq \delta a + \delta b$$

ここで、

$\delta$  : 地盤変状による基礎の相対的移動量 (mm)

※地盤の流動量調査等による既知の地盤変状量若しくは推定される基礎の相対的移動量としてもよい。

$\delta a$  : 直管に係わる変位吸収能力 (mm)で、次式により計算する。

$$\delta a = L_j \cdot f_a$$

$$f_a = C \cdot \varepsilon_y \cdot L_j / D$$

$L_j$  : 地震方向に直交する平面に対する配管スパンの有効投影長さで、レベル1簡易耐震性能評価における変位吸収能力に準じる。(図 2.2 参照)

$C$  : 配管材料の許容ひずみにより定まる定数で、降伏ひずみまでを許容するとして、 $C=0.67$  とする。

$\varepsilon_y$  : 配管材料の降伏ひずみで、 $\varepsilon_y = S_y / E$  とする。

$S_y$  : 材料の運転温度における降伏点又は 0.2%耐力(N/mm<sup>2</sup>)

$E$  : 材料の運転温度における縦弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

$D$  : 配管の外径(mm)

$\delta b$  : 曲がり管(エルボー)に係わる変位吸収能力 (mm)で、次式により計算する。

$$\delta b = L_b \cdot f_b$$

$L_b$  : 地震方向に直交する平面に対する配管スパンの有効投影長さとする。(図 2.3 参照) ただし、有効投影長さの算定において次の通りとする (参考資料一)

(a) ノズルから第1曲がり管までの長さは除く。

(b) サポートに直結する直管の投影長は 1/2 とする。

$f_b$  : 許容傾斜で、曲がり管の許容塑性率は5%とした。

$$f_b = \sin \frac{2.43}{h^{0.46}}$$

$h$  : 曲がり管のたわみ特性値  $h = TR_1 / r_2^2$

$T$  : 曲がり管の肉厚 (mm)

$R_1$  : 曲がり管の曲げ半径 (mm)

$r_2$  : 曲がり管の平均半径 (mm)

ただし、 $2.43/h^{0.46}$ は「度」表示である。

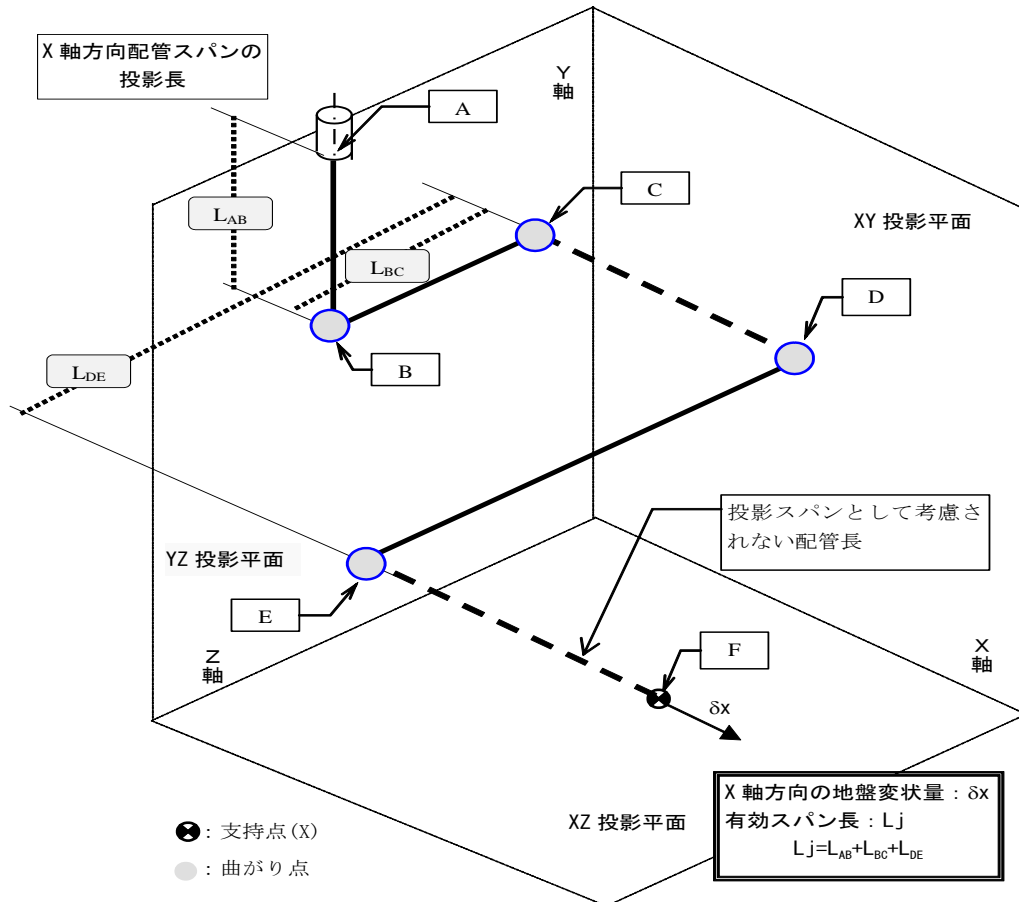


図 2.2 直管に係わる配管スパン投影長( $L_j$ )

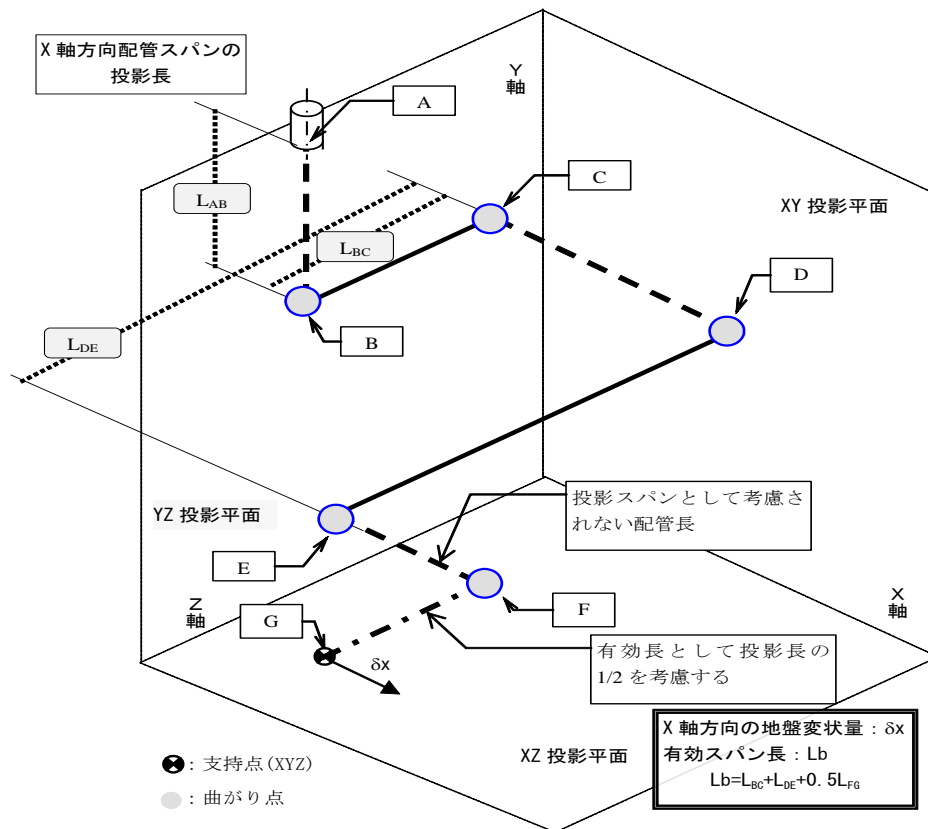
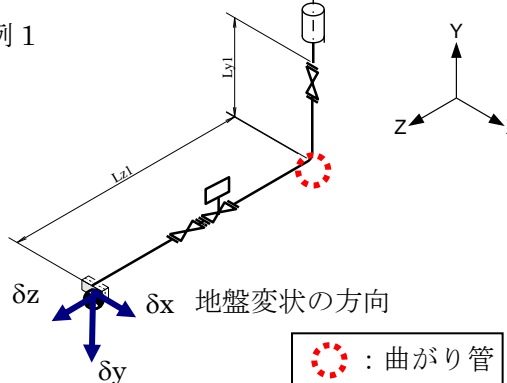
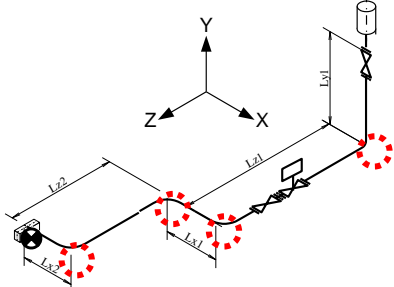
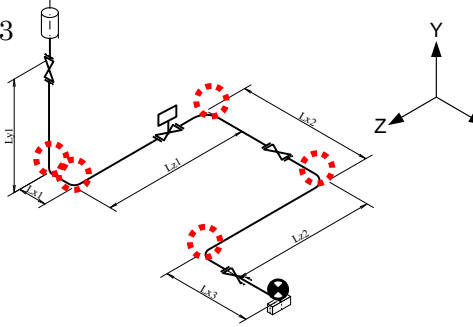


図 2.3 曲がり管に係わる配管スパン投影長( $L_b$ )

表 A-1 投影長スパンの取り方

配管形状例	水平X方向( $\delta x$ )	水平Z方向( $\delta z$ )	鉛直Y方向( $\delta y$ )
<p>例 1</p>  <p><math>\delta z</math> <math>\delta x</math> <math>\delta y</math> 地盤変状の方向</p> <p>○ : 曲がり管</p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1} + L_{z1}</math>  <math>L_b = 0.5L_{z1}</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1}</math>  <math>L_b = 0</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{z1}</math>  <math>L_b = 0.5L_{z1}</math></p>
<p>例 2</p> 	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}</math>  <math>L_b = L_{z1} + L_{z2}</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1} + L_{x1} + L_{x2}</math>  <math>L_b = L_{x1} + 0.5L_{x2}</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{x1} + L_{x2} + L_{z1} + L_{z2}</math>  <math>L_b = L_{z1} + L_{x1} + L_{z2} + 0.5L_{x2}</math></p>
<p>例 3</p> 	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1} + L_{z1} + L_{z2}</math>  <math>L_b = L_{z1} + L_{z2}</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{y1} + L_{x1} + L_{x2} + L_{x3}</math>  <math>L_b = L_{x1} + L_{x2} + 0.5L_{x3}</math></p>	<p>有効投影スパン長  <math>L_j = L_{x1} + L_{x2} + L_{x3} + L_{z1} + L_{z2}</math>  <math>L_b = L_{x1} + L_{x2} + 0.5L_{x3} + L_{z1} + L_{z2}</math></p>