

コンビナート地域における地震危険度評価の一手法

- 1 はじめに
- 2 危険度の考え方
- 3 各要素の評価式
- 4 総合評価

鈴木 浩平*
原 文雄**

要 約

近い将来に来襲が予想される巨大地震に対する被害想定や各地区要素（通常、500m四方あるいは1,000m四方のメッシュ）毎の地震危険度の評価が、国あるいは各自治体単位で行われている。評価の手法も徐々に確立されてきており、建物被害率、地盤液状化、消火能力など各項目に基づいて推定された危険度をメッシュ毎に総合評価する手法も、本研究センターのメインテーマとしても研究されていることは周知の通りである。

筆者らは、最近、神奈川県地震被害想定調査プロジェクトの一環として、石油コンビナート地域における地震危険度評価の仕事に携わった。首都圏における石油コンビナートの占める面積は決して大きくはないが、危険物や高圧ガスなどの他地域への被害拡散要素を潜在的に有しており、その危険度の評価法は一般居住地域とは異った視点でなされなくてはならない。

本稿は、コンビナート地域の地震危険度の新しい評価法を概説している。この方法では、危険度の評価を危険物及び高圧ガス貯蔵タンクの流出ポテンシャル、各地域の防災能力、および、環境の三要素の相対評価を総合的に行い、施設自体のもつ構造的危険度のみでなく防災体制などソフト面での評価も含んでいる。

1 はじめに

首都圏における著しい産業や人口の集中化に伴い、京浜工業地帯、京葉工業地帯における防災体制の強化が唱えられてから久しい。国及び各自治体の指導により、従来では考えられなかったような防災のためのソフト、ハード両面からの新しい対策が講じられてきており、各事業所等の防災体

制強化のための努力は、濃淡は別として大いに評価されてよいと考えられる。

しかし、これらの地域には、危険物や高圧ガス等の大量の貯蔵施設、製造施設を有する数多くの企業が、いわゆる“コンビナート”を形成していることを考えると、首都圏における総合的都市防災の観点から、コンビナート地域の防災について一層の検討が迫られていることは明らかである。

コンビナートの地震危険度の評価は、すでにい

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

** 東京都立大学都市研究センター（非常勤研究員）・東京理科大学工学部

くつかの地域で試みられており、主として危険物等の爆発による火災の拡大や有毒ガスの拡散による被害を時間経過的に予測して行われている。これらの方法には、

(i) 貯蔵タンクなど、コンビナート施設がもつ構造的耐震強度、タンク基礎など周辺状況の評価が含まれていない。

(ii) コンビナート内の各事業所が有する防災施設や防災体制の評価が含まれていない。

(iii) 対象タンク近接する着火源の存在など周辺環境の状況に関する評価が含まれていない。

などの問題点が存在する。

著者らが神奈川県を対象として行ったコンビナートの地震危険度の評価法は、上記の諸点を勘案し、地域の危険度がタンクなどのもつ潜在的な危険物・高圧ガスの流出ポテンシャル、各地域のもつハード、ソフト両面の防災力、さらに、施設の置かれた環境度の三項目を総合的に評価法である。本稿では、その概要を紹介する。

2 危険度評価法の考え方

石油コンビナート地域における地震危険度を、

- (1) 流出ポテンシャル
- (2) 防災力
- (3) 環境度

の3項目の評価を行い、あらかじめ設定された地域メッシュごとにその総合評価を行うとしている。各項目の考え方は以下のようである。

2.1 流出ポテンシャル

新潟地震(1964)、宮城県沖地震(1978)及び日本海中部地震(1983)での石油タンクの被害には、多かれ少なかれ、危険物等の流出がみられた。近い将来に来襲が予想される大規模地震についても、内容物の流出は火災及び地域環境に与える影響の点で最も重視しなければならないファクターである。この観点から、地震時にタンクが損傷し、危険物や高圧ガスが流出することに係わる潜在的危険度を「流出ポテンシャル」として定義する。この値は、後述するように、一基ごとのタンクに

固有な性質や量をひとつの係数で整理している。流出ポテンシャルの計算に当って考慮される主な要素は次の通りである。

1. タンク構造の耐震性
2. 内容物の物性値
3. 内容物の量
4. タンク周辺及び付属施設等の安全性
5. タンク構造の形式
6. タンク施設の設置時からの経年効果

2.2 防災力

石油コンビナート等の地震被害危険度は、個々の施設が有する防災力に大きく依存することは明らかである。しかし、従来、過去の震害事例を参考にして防災力を評価する手法についての研究や報告はほとんどなされていなかったため、防災力の定量化は非常に困難とされてきた。そこで、本手法では、法令レベルの防災力を基準として、各事業所・施設が備えている防災力の整備の程度を相対的に評価する方法を採用した。

ここで注意すべきは、防災力といわれるものには、防災設備や資材・機械などのいわゆるハード的側面と、防災要員や指揮連絡系統にかかわるソフト的側面があるということである。前者を「防災施設」、後者を「防災体制」と定義することにする。防災施設には、防油堤、緊急遮断弁などの一基毎のタンクに固有な防災施設と、消防車、保安電力などの事業所共有の施設がある。防災体制は、防災要員などのマンパワーに係わるものと、通報など指揮連絡機能に係わるものがある。防災力についての詳細な構成を図1に示す。

2.3 環境度

石油コンビナート地域で想定される地震被害は、危険物や高圧ガスが漏洩し、着火し、さらに、延焼が拡大していく程、高い危険性につながる。従って、内容物の流出危険度や防災力の評価と同時に、地震災害が拡大する可能性についても評価する必要がある。本研究では、これを環境度と定義し、主として以下の項目について係数比によって評価を行うこととした。高い値程、危険性が大となる。

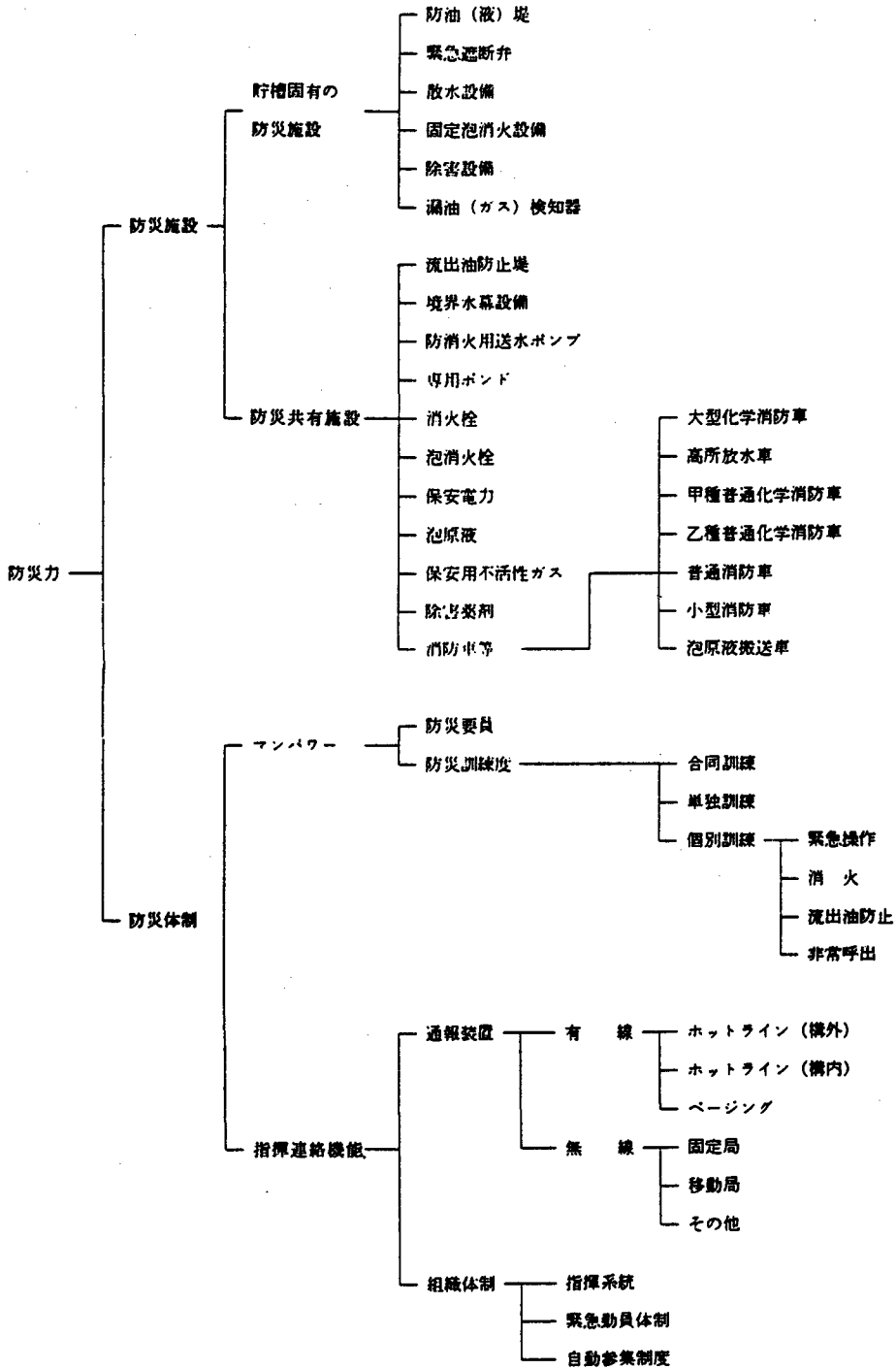


図1 防災力の構成

- (a) 事業所内のタンクの設置形態（地上型，半地下型，地下型）
- (b) 事業所内でのタンクの密集度
- (c) 内容物の物性値
- (d) タンクの容量
- (e) タンク周囲の火気に対する着火性

2.4 危険度の総合的評価

以上に述べた，3種類の危険度を構成する要素の評価がなされた後に，対象地域あるいは事業所などについて，地震危険度の総合評価を行う。流出ポテンシャル，防災力，環境度はそれぞれ異った概念で計算されるものであるから，これらの値を単純に加算したり，合成したりしても意味はない。それぞれ，要素が相対的な評価によるものであり，その相対量を数値化することは，いたずらに世相を騒がすことにもなりかねない。そもそも地域地震危険度の評価自体，（確率論や信頼性解析をもとに算定されたものでない限り）相対的評価手法によってなされざるをえない。

ここでは，上記のことを勘案し，3項目の評価値を3軸グラフによって集計し，各要素の卓越度，バランス状態をもって，下記のような区分を行うこととした。

(1) 3軸バランス型

容量の大きいタンクを有し，その密集度や着火施設も相当数あるため，流出ポテンシャル，環境度ともに大であるが，それらに相応して防災力も大である地域・事業所であり，現状では危険度が高いとはいえないが，防災力と環施の維持・強化に常に注意を要する。このほかに，3要素が比較的小さな値がバランスよる地域もこの型に入るが，この場合は危険度は小さい。

(2) 防災力・流出ポテンシャル2軸型

内容物の流出可能性は大であるが，防災力も大であり補完状況にある地域。環境が良好で（環境度が低い），比較的危険度は少ない。

(3) 防災力・環境度の2軸型

地域・事業所内での危険物等の貯蔵量，タンク密集度，着火性の兼合いによる環境度は高いが，防災力が大きいため補完性の保たれている型流出

ポテンシャルが小さいので，火災が発生しない限り，危険度はそれ程大きくない。

(4) 流出ポテンシャル・環境度2軸型

対象地域内の危険物等の貯蔵量が大きく，タンク当りの流出ポテンシャルが比較的大である上，タンクの密集度，着火性も注意する必要がある型。防災力が相対的に小さいため，地震危険度は大きい。

(5) 流出ポテンシャル卓越型

防災力の整備に比べ，潜在的なタンク当りの内容物の漏洩による危険度の高い型。タンク密集度が低く，着火性も低いいため，環境度は良好である。

(6) 環境度卓越型

タンク当りの流出ポテンシャルは比較的少ないが，タンクの数や貯蔵量が比較的大きく，それらの密集度も高いため環境度が高くなるわりには防災力が不十分な型。危険度は大きい。

(7) 防災力卓越型

タンクの容量，密集度が小さく，着火施設も少ないが，防災力は余裕をもって設置されている型。危険度は小さい。さらに，対象地域にタンクを設置していないコンビナート内の地域もあり，この場合は防災力のみでの評価（単軸）となる。危険度は非常に低いといえる。

3 各要素の評価式

前節で述べた，危険度の総合評価に必要な流出ポテンシャル，防災力，環境度の定量的評価のための算定式について説明する。

3.1 流出ポテンシャル (E_1)

コンビナート内の個々のタンクについてその流出ポテンシャル係数 α を，タンクの設置条件別に次式によって計算する。

(1) 地上式タンク

$$\alpha = F \times Q \times (R + Y_1 + Y_2 + M + S + C)$$

右辺の各係数や量についての説明は以下の通りである。

(イ) 物性係数 (F)

この係数は，タンクの内容物の種類により，そ

れが流出した場合の危険度を意味する。その値の設定に当って、危険物については消防法における危険物の指定数量を勘案して決定し、毒性ガスについては高压ガス設備耐震設計基準における重要度分類の考え方をういて決定する。高压ガスのうち、常温可燃性ガスに対しては上記の重要度分類の考え方に加え、第3種毒性ガスや危険物第1石油類の特性も勘案して定めている。低温可燃性ガスについては、常温可燃性ガスより着火性が低いことを反映させている。これらをまとめたものが、表1である。数値のオーダーは最終的な3軸表現の各軸のバランスを考慮して決めている。

表1 物性係数(α)

分 類	係 数 値
第1種毒性ガス	0.05
第2種毒性ガス	0.025
第3種毒性ガス	0.005
可燃性ガス(常温)	0.001
可燃性ガス(低温)	0.0005
第1石油類	0.0001
第2石油類・原油	0.00005
第3石油類	0.00001
その他、(アルコール類、 メチルエチルケトン)	0.0001

(ロ) 内容物の容量(Q)

個々のタンクの内容物の許可容量を意味しており、危険物等で所轄の行政機関へ“管理容量”を定めて届け出を行っているものについてはその容

量を用いる。この管理容量は、日本海中部地震によるスロッシング発生を考慮した液位低下が反映されている。なお、容量の単位は危険物はkl, 高压ガスはt(トン)とする。

(ハ) 耐震強度係数(R)

これは、想定地震によるタンクの内容物流出を伴う構造的損傷を表わすもので、設定地表加速度を300Galとしてオンオフ的に評価する。すなわち、危険物や高压ガス設備の耐震性点検・診断のために作成されている評価式にもとづき、合格の場合は0, 不合格の場合は1とする。後者はタンク内容物が全部流出することを指している。

(ニ) 経年係数(Y_1)

タンクの設置年月(設置後に補強していれば、その年月)からの経年変化による劣化の度合を表わす係数であり、表2のように決める。

(ホ) 年限係数(Y_2)

タンクの耐震設計法規の改正による構造強度の余裕度を勘案した係数であり、ここ10年間の法改正、基準見直しの時期をもとに表3のように選んでいる。例えば危険物については、消防法の改正をもとにしており、「昭和51年」には水島での石油タンク油流出事故における検査面での強化と防油堤の基準の改正が行われたこと、および、「昭和58年」には地震に対する貯槽本体の安全性強化のための法改正が行われたことが反映されている。高压ガス設備についても、対応する年に耐震設計基準の見直しがなされている。

(ヘ) 周辺状況係数(M)

別に策定されている「耐震性診断用チェックリスト」により、タンクの周辺状況、付属施設の健全性、及び、タンクの基準部等について点検した結果をもとに係数化している。ただし、タンクの

表2 経年係数

年 数	0～10未満	10～20	20～30	30～40	40以上
係数Y	0	0.05	0.1	0.15	0.2

表3 年限係数

係数Y	0.1	0.05	0
危険物	昭和51年以前	昭和52年～昭和57年	昭和58年以降
高压ガス	昭和48年以前	昭和49年～昭和55年	昭和56年以降

表4 チェック項目と重要度

(危険物)

チェック項目	重要度
基礎	A
底部	B
配管部	B
液状化	A

(高压ガス等)

チェック項目	重要度
基礎	A
アンカーボルト等	B
支柱	A
ブレース	B
配管部	B
液状化	A

地震応答に支配的な影響を与える液状化に関する項目を追加している。表4には、チェック項目がまとめられており、重要度Aの項目に対しては、不合格であればM=1、重要度Bの項目に対して不合格であればM=0.5としている。全ての項目が合格であればM=0である。

(ト) スロッシング係数(S)

スロッシングによる石油などの溢流は、予想される大規模地震においても、全容量に対しては少量であるとされている。日本海中部地震(1983)時に新潟地区で生じた浮屋根式タンクのスロッシングによる流出を参考にして、ここでは、タンク容量の0.5%、すなわち S=0.005としている。

(チ) 存在係数(C)

当該プラントサイトの想定入力加速度、耐震強度の内包する不確定性などを新たな係数として評価し、表5のような存在係数を導入した。

表5 存在係数

加速度	300Gal未満	300Gal以上
存在係数	0.001	0.001+0.05 (X-300/300)

X: 想定地震の最大入力加速度

(2) 半地下式タンク

半地下式タンクは、タンク容量の1/2が地上に出ていることとし、その分を流出対象とした。すなわち、

$$\alpha' = 0.5\alpha$$

(3) 地下式タンク

タンクの設置形態を考慮し、耐震強度係数(R)、周辺状況係数(M)およびスロッシング係数(S)を0とし、

$$\alpha'' = F \times Q \times (Y + Y + C)$$

コンビナート内の単位メッシュ当りの流出ポテンシャルは、各タンクについての α 、 α' 、 α'' の総和として評価され、

$$E = \sum (\alpha + \alpha' + \alpha'')$$

となる。

3.2 防災力(E₂)

防災力は、基本的に法令等の基準に対して、どの位整備されているかという、相対的な評価手法を用いた。

まず、防災力を、ハード面(防災施設)とソフト面(防災体制)に分け、それぞれ、評価細項目毎に、評価値を算出し、最終的には両者に重みを等しく考え次式のとおりとした。

$$E = 0.5E_A + 0.5E_B$$

E_A : 防災施設の評価値

E_B : 防災体制の評価値

(1) 防災施設の評価値E_Aの求め方

防災施設は、基本的に次の3つの要素により評価を行っている。

① 施設の法定等での必要の有無および実際の有無

② 施設の機能(容量、能力、動作等)

③ 施設のメンテナンスの状態

以上により①×②×③により、個々の施設の評価値を算出した。

各要素について具体的に説明する。

①は、当該防災施設が法令等において設置が義務付けられているか、また、その設置がなされているかにより評価値を与えた。

②は、当該防災施設の機能が、法令等での基準量に対しての比率をもって評価値とした。

③は、当該施設の機能が実際に発揮可能な状態に維持管理されているかを評価した。具体的には、最善を1とし、減点法的な考え方で、項目については、それぞれの施設に応じた、点検状況等を基準に照らし合わせて、次の方法で係数化した。すなわち、実状の評価値をメンテナンスの基準で除した値が1以上の時は1.0、1未満の場合には0.8を与えている。先に述べたように、防災施設にはタンク個別毎の施設と事業所毎の共通施設があるため、両者の防災上の重要性を考え、評価値として*i*番目の施設に対して

$$e_i = 0.7 \times (\text{タンク毎の評価値}) + 0.3 \times (\text{防災共通施設の評価値})$$

とし、メッシュ当りの防災施設の評価は結局、

$$E_A = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n e_i$$

なる式で評価される。

評価値の与え方は、評価個所によって異なり、詳細にわたるので省略するが、機能評価を主体として下記のようなメンテナンスの点検頻度によって評価値を与えている。

- (i) 経過年数—防油堤等の経年劣化の点検
- (ii) 機能点検—施設の能力、動作等の機能チェック
- (iii) 性状試験—貯蔵薬剤の性状の分析試験

評価個所の種類をタンク固有の施設と、事業所共有の施設別に挙げると以下のようなようである。

a. タンク固有の防災施設

- (イ) 防油(液)堤: 対象タンクを囲む防油(液)堤
- (ロ) 緊急遮断弁: タンクに直近した主配管に取付けられた遮断弁
- (ハ) 散水設備: 火災による輻射熱からタンクを守るためにタンク表面に冷却散水する設備

(ニ) 固定泡消火設備: 火災の際、泡により可燃物と外気を遮断して消火する設備

(ホ) 除害設備: ウォーター(スチーム)カーテン、薬剤散布、吸収塔など、主として毒性ガスタンク用の設備

(ヘ) 漏油(ガス)検知器: タンクからの内容物漏洩を検知する設備

b. 事業所共有の施設

(イ) 流出油防止堤: 容量が10,000kl以上の危険物タンクの流出防止のため、防油堤の外周、事業所外周に設けられた防止堤。

(ロ) 境界水幕設備: 事業所内外の保安物件との保安距離を確保できない時の代替保安施設。

(ハ) 防消火用送水ポンプ設備、散水設備など防消火設備に水を供給する設備。

(ニ) 消火栓、汽消火栓

(ホ) 保安電力: 停電時保安活動用だが、製造用と兼用のものも含む。

(ヘ) 泡原液、保安用不活性ガス、除害薬剤

(ト) 消防車両、消防ホース; いずれも事業所保有のもの。

これらの施設ごとに与えられた評価値に対して、実際には、地震防災上の重みを与えて、施設ごとに加重平均した値を求め、図2のようなフローに従って、防災施設についての防災力 E_A を求める。

(2) 防災体制の評価値 E_B の求め方

防災体制については、組織及び個人の防災活動の対応のあり方について評価することにし、マンパワーと指揮連絡系統の両者に区分して評価する。すなわち、前者の重要度が大きいとし、防災体制の評価値を

$$E_B = 0.8 \times (\text{マンパワー評価値}; E_C) + 0.2 \times (\text{指揮連絡系統評価値}; E_D)$$

で算出する。

マンパワーの評価に当っては、防災要因の数と防災訓練度を勘案し、表6のような重みをつけた。また、指揮連絡系統の評価に当っては、通過装置と組織体制を勘案し、表7のような重みづけを行っている。詳細な説明は紙面の都合で省略するが、結局、防災体制に係わる評価値 E_B は図3のよう

表6 マンパワーの評価項目と重み

項目	重み	内容	重みの配分
防災要員	0.3		
防災訓練度	0.7	個別防災訓練度	4
		単独防災訓練度	2
		合同防災訓練度	1

表7 指揮連絡系統の評価項目と重み

項目	重み	内容	重みの配分	
通報装置	0.5	有線	ホットライン (構外)	0.1
			〃 (構内)	0.2
			ページング	0.2
		無線	固定局	0.2
			移動局	0.2
			その他	0.1
組織体制	0.5	指揮系統	0.4	
		緊急動員体制	0.3	
		自動参集制度	0.3	

なフローで計算されることになる。

3.3 環境度 (E_3)

環境度は、メッシュ内に所在する貯槽ごとに次式より算定される。

$$e = L \times N \times F \times Q \times \exp(\kappa P)$$

$$\text{但し、} P = \sum (f \times h \times l)$$

以下に、算定式の各係数について説明を行う。

(イ) タンク設置形態係数(L)

地震等による流出に伴う災害影響の受け方は、各タンクの設置形態(地上、半地下、地下)によって異なる。すなわち、地上式の場合が地下式よりも受ける影響は、明らかに大きい。

このことを勘案してL値としては、地上：半地

下：地下=1：2/3：1/3とした。

(ロ) タンク密集度係数(N)

タンクからの流出、火災、爆発の発生により周辺のタンクが受ける影響は、タンクの配置状況によって異なるといった側面がある。これをタンクの密集度による潜在的な危険度ポテンシャルと考えた。災害の影響の程度の直接的に効いてくるのは、タンク間の距離であるが、その数、規模、配置という点で様々なケースがあるので、ここでは統計的な考え方で、処理を行った。

具体的には、タンクの密集度による被害タンクから受ける影響を定性的に表示していると考えられるタンクの占有面積率(%表示)により次のように係数値を決定した。

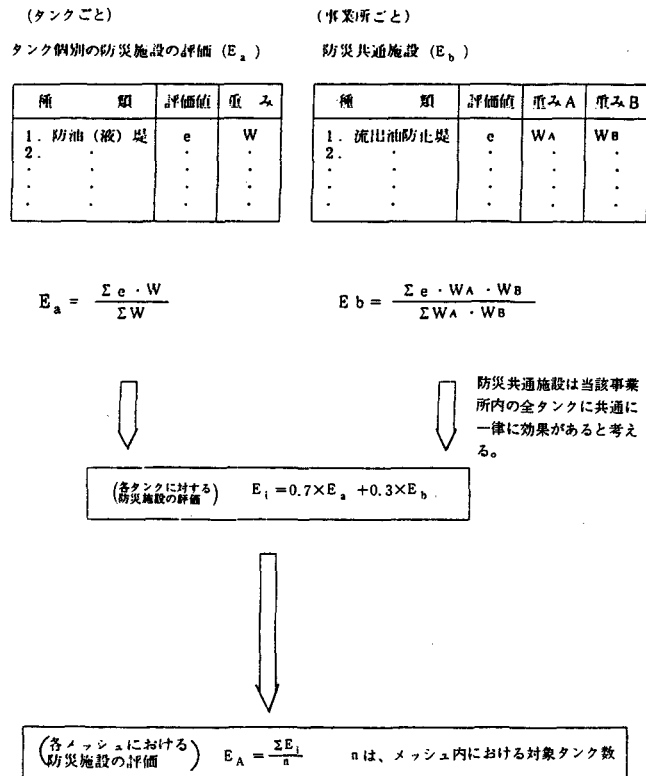


図2 防災施設の評価フロー

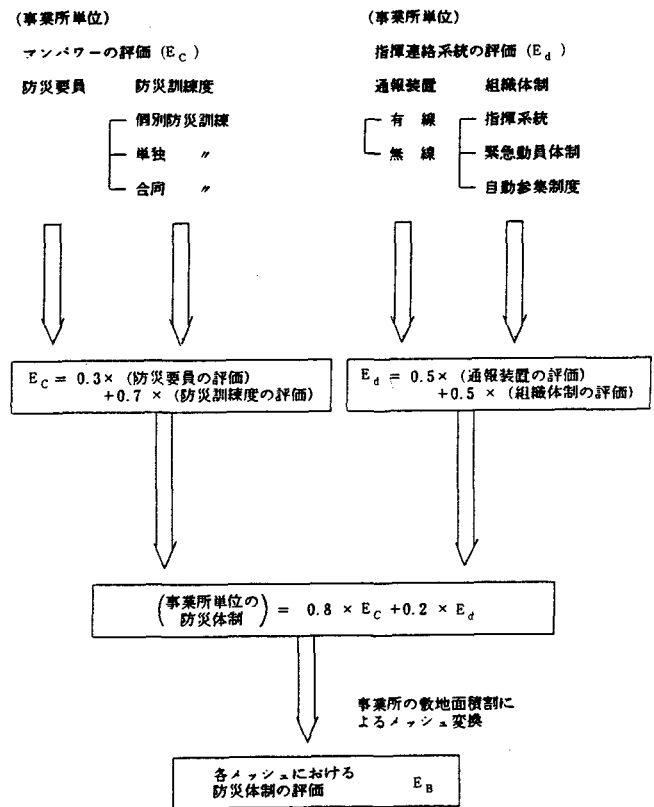


図3 防災体制の評価フロー

鈴木他：コンビナート地域における地震危険度

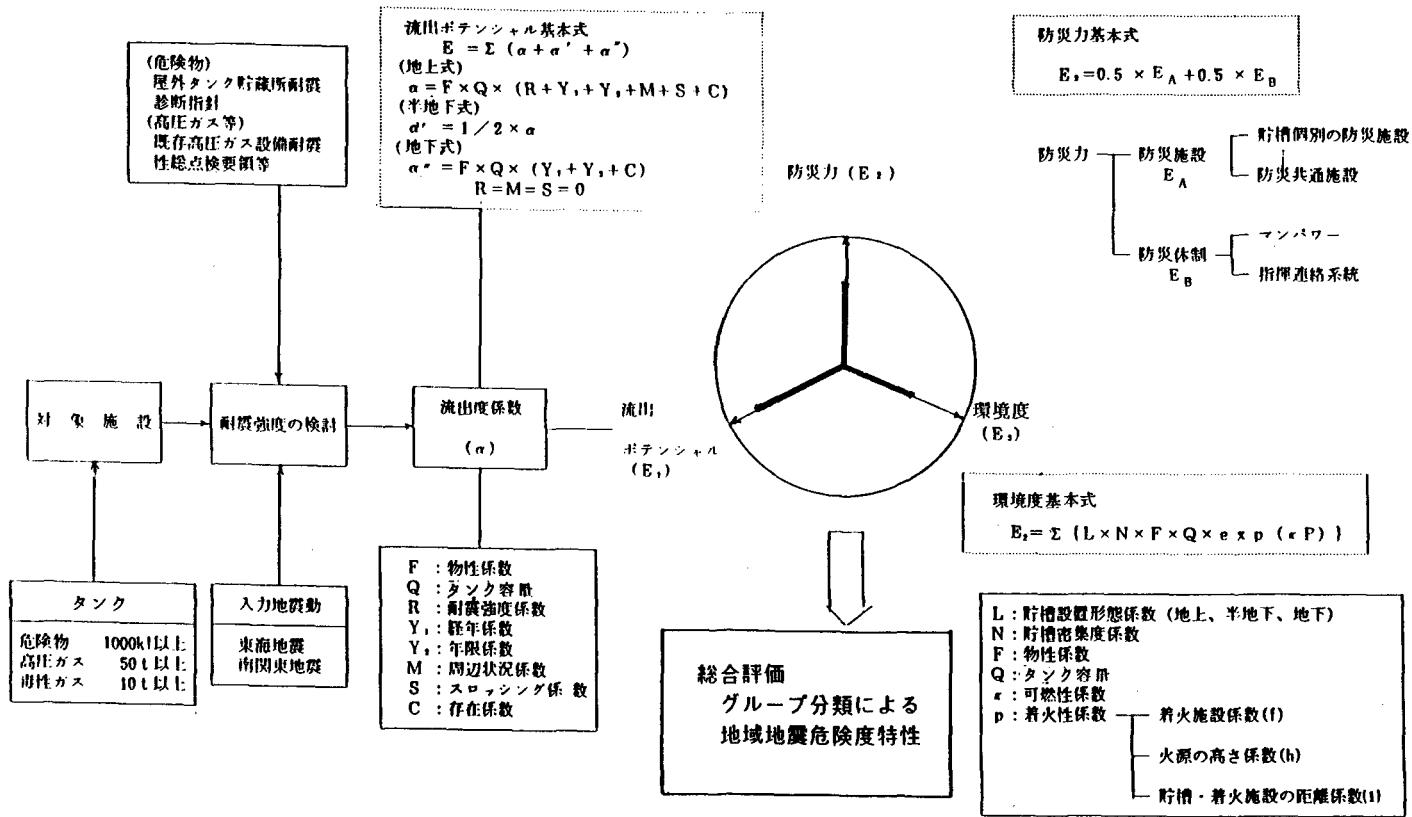


図4 3軸グラフ表示による地震危険度の総合評価

0%を超える～10%未満	— 0.1
10%以上～20%未満	— 0.3
20%以上～30%未満	— 0.5
30%以上～40%未満	— 0.7
40%以上	— 1.0

(ハ) 物性係数 (F), タンク容量 (Q)

流出ポテンシャルの計算における考え方を準用した。

(ニ) 可燃性係数 (κ)

タンクの内容物が、可燃性か不燃性を表わす係数である。

可燃性であれば $\kappa = 1$

不燃性であれば $\kappa = 0$

なお、毒性ガスの中で可燃性である場合は、毒性という物性値(F)で考慮されており、 $\kappa = 0$ とした。

(ホ) 着火性係数 (P)

着火性については、周辺の着火要因の分布を考慮し、着火施設とタンクの配置状況により次のように評価を行った。

$$P = \Sigma (f \times h \times l)$$

f: 着火施設の火気エネルギー、規模の程度に応じて決めた係数 (0.1~0.5)

h: 着火施設の火源の高さに応じて、0~4mまでは1.0、20m以上を0として0.2ごとに分割して与える。

l: 着火施設とタンク中心間の距離をもとに影響範囲の限度を500mとして、50m以内を1.0、500m以上を0として7クラスに分割して与えている。

4 総合評価

2節で述べたように、コンビナート地域の地震危険度の総合評価は、3節で説明した流出ポテン

シャル、防災力、及び、環境度の計算法に基づいて得られた E_1 , E_2 , E_3 の値を用いて3軸表現によって総合される。評価を全体的にまとめたのが図4である。

神奈川県においては、すでに1986年3月に、この評価法を適用して県下の三つのコンビナート地区(京浜臨海地区、根岸臨海地区、久里浜地区)に対して調査を行っている。実際には、事前に設定した各メッシュ毎に計算した評価法をもとに、3軸表現を行い、グループ分類によって各メッシュ間の相対的評価をする。この相対評価をもとにして、適切な防災対策指標を得ることが今後の課題であろう。本手法は、コンビナート地域固有の危険度特性を明確にすることができる点に大きな特徴をもっているが、被害ETA(事故樹木解析)手法などによる定量的危険度推定の課題とどのように結びつけるかが、問題である。

本研究・調査の多くは、神奈川県地震被害想定調査・火災危険物分科会(コンビナート地域分)の活動の一環として行われたものであることを記し、神奈川県環境部防災消防課はじめ関係諸氏の御尽力に御礼申上げる。

文 献 一 覧

東京消防庁

1985 「防火対象物の用途別危険性の類型化と人命安全対策について」

神奈川県環境部・京浜臨海地区石油コンビナート特設協

1985 「危険物屋外貯蔵所耐震診断指針」

高圧ガス保安協会

1981 「既存高圧ガス設備耐震性総点検要領」

石油連盟

1984 「日本海中部地震に伴う新潟地区のタンクスロッシング調査報告書」

Key Words (キー・ワード)

Seismic Risk (地震危険度), Petrochemical Industrial Complex (石油化学コンビナート), Disaster Prevention (防災), Liquid Oil Tank (液体石油タンク), High Pressurized Gas Facility (高圧ガス施設)