

I-199

AHPを用いたライフライン設備の地震時安全性評価

静岡ガス(株) 正会員 ○栗田 学
東京大学生産技術研究所 正会員 永田 茂
東京大学生産技術研究所 正会員 片山 恒雄

1. はじめに ライフラインは複数の設備から成り、1つの設備も多くの機器によって構成されている。従って、設備の耐震性向上のためには、これを構成する各機器の地震危険度を的確に把握する必要がある。各機器の地震危険度評価では、その構造物としての危険度を評価するだけでは不十分であり、社会的・経済的な要因も考慮にいれた総合的な評価を行う必要がある。近年、このように数学的な解釈が困難な問題において、専門家の意見を理論的に取り入れるための方法が提案されており、これを積極的に取り入れた解析が行われている。本報告では、専門家の意見を取り入れた意思決定方法であるAHP (Analytic Hierarchy Process)¹⁾と構造信頼性理論を効果的に用いたライフライン設備の地震時総合危険度評価方法を示す。

2. 地震時総合危険度評価方法 AHPを用いた危険度評価では、まず図-1に示すような目標・評価基準・機器の3つのレベルからなる階層図を構築する。次に、各レベルの要素について親要素(レベル2の場合はレベル1が親要素)に関する一対比較を行う。これは同一レベル内の2つの要素だけに着目して危険度の比較を行えばよいから、全要素の関係を考慮するときのような難しさはない。最後に、一対比較によって作成された一対比較行列の固有ベクトルを求め、式(1)を用いて各階層の危険度の合成を行う。なお、レベル2の構造危険度に関するレベル3の評価では、一対比較の代わりに地震危険度を考慮した構造信頼性解析から得られる損傷確率を用いている。

$$\left| \mathbf{F}^{(k+1)} \right| \left| \mathbf{V}_1^{(k+1)}, \mathbf{V}_2^{(k+1)}, \dots, \mathbf{V}_{n(k)}^{(k+1)} \right| \left| \mathbf{F}^{(k)} \right| \quad (k=1, 2) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{F}^{(k+1)}$ はレベル(k+1)の要素の危険度を表す $(n_{(k+1)}, 1)$ のベクトルである。但し、 $\mathbf{F}^{(1)}$ は1.0である。 $\mathbf{V}_m^{(k+1)}$ はレベル(k)の要素mに関するレベル(k+1)の一対比較行列の固有ベクトルであり、大きさは $(n_{(k+1)}, 1)$ である。 $n(k)$ はレベル(k)の要素数である。

3. 都市ガス製造設備を対象とした地震危険度評価

中規模の都市ガス製造設備を構成する機器を対象として、地震時の危険度評価を行った。この解析では、図-2の階層図を構築し、これにAHPを適用した。都市ガス製造設備の維持管理に携わる専門家の意見を基に、

レベル2、およびレベル2⑤を除く要素に関するレベル3の一対比較行列を構築し、これについて固有値解析を行った。このうちレベル2に関する一対比較行列とその固有値ベクトル、さらにレベル2③に関するレベル3の一対比較行列とその固有値ベクトルをその説明とともに表-1、表-2に示した。

レベル2⑤に関するレベル3の各要素の評価では地震危険度を容易に取り入れることのできる信頼性解析を用いた。ここでは、レベル3の各機器をさらに主要部材に分解し、部材の損傷確率を修正2次モーメント法で求めた後、2次の範囲推定法により機器の損傷確率 $P(F_i)$ を求めた。さらに、この結果を基にして、固有ベクトルの要素に相当する各機器の危険度の重み $v_{i5}^{(3)}$ を式(2)から求めた。

$$v_{i5}^{(3)} = P(F_i) / \sum_k P(F_k) \quad (i = 1, 12)$$

$$P(F_i) = P((R_{i1} \leq S) \cup (R_{i2} \leq S) \cup \dots \cup (R_{im} \leq S))$$

R_{im} は機器iの部材mの強度を表す確率変数である。Sは設備に作用する加速度値の確率分布であり、設備の

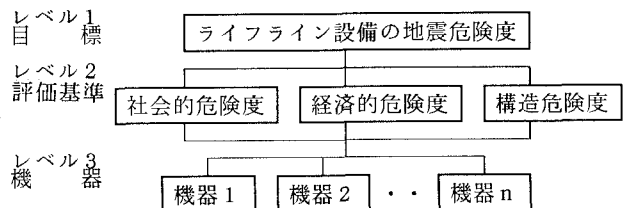


図-1 ライフライン設備の地震危険度評価の階層図

存在する地域の地震危険度から決定した。機器の危険度の計算で用いた損傷確率曲線のうち円筒平底タンク・球形タンク・横置タンクについて図-3に示した。

表-3には各レベルの固有ベクトルと作用加速度500cm/s²を仮定した場合の各機器の総合危険度を示す。この表の総合危険度と損傷確率から決まる危険度の違いが示すように、構造物としての機器自体の地震危険度は必ずしも総合的な危険度を表してはいない。従って、今後の地震対策を考える際には、このような総合的な地震危険度評価の結果は有効な指標となるであろう。

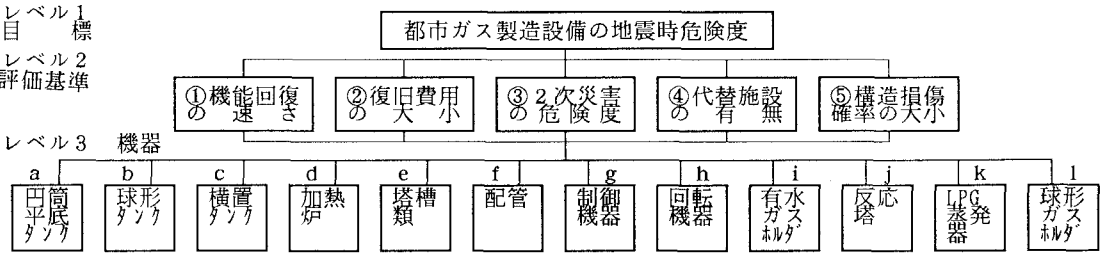


図-2 都市ガス製造設備の地震危険度評価の階層図

表-1 レベル2に関する一対比較行列とその固有ベクトル

レベル1	①	②	③	④	⑤	固有ベクトル
①機能回復の速さ	1.0	2.2	0.2	0.8	0.3	0.11
②復旧費用の大小		1.0	0.2	0.4	0.2	0.06
③2次災害の危険度			1.0	1.0	1.0	0.32
④代替施設の無有				1.0	0.7	0.20
⑤損傷確率の大小					1.0	0.30

謝辞 本研究の遂行に当たり、アンケート調査に協力していただいた都市ガス会社の防災担当者の方々に申し上げます。

参考文献
1)利根 薫:ゲーム感覚意思決定方法AHP入門, 日科技連, 1989.

表-2 ③2次災害の危険度に関するレベル3の一対比較行列とその固有ベクトル

③2次災害	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	固有ベクトル
a 円筒平底タンク	1.0	1.0	0.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	0.164
b 球形タンク		1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	0.185
c 横置タンク			1.0	2.0	1.0	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	1.0	0.101
d 加熱炉				1.0	0.5	2.0	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.061
e 塔槽類					1.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	0.5	0.091
f 配管						1.0	3.0	2.0	0.3	0.5	0.5	0.3	0.042
g 制御機器							1.0	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.028
h 回転機器								1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.032
i 有水ガスホルダ									1.0	2.0	2.0	0.5	0.073
j 反応塔										1.0	2.0	0.5	0.061
k LPG発熱器											1.0	0.5	0.054
l 球形ガスホルダ												1.0	0.107

注) 表-1, 表-2の一対比較行列は以下のように解釈する。表-1の1行2列はレベル1の地震危険度から見た場合に、機能回復の速さは復旧費用よりも2.2倍の重要であること、また、1行4列は機能回復の速さの重要性は代替性の有無の7割であることを表している。一方、固有ベクトルは親要素に対する各要素の重要性を表しており、表-2の3行目jは2次災害の危険度からみて横置タンクの重要度は12個の機器のなかで1割程度であることを示している。表-3の総合危険度判定は、全ての固有ベクトルを式(1)に代入することにより求められる。

表-3 総合的危険度評価の結果

評価項目	①機能回復	②復旧費用	③2次災害	④代替性	⑤損傷確率	総合危険度判定
機器	0.11	0.06	0.32	0.20	0.30	
a 円筒平底タンク	0.130	0.131	0.164	0.098	0.105	0.127
b 球形タンク	0.147	0.140	0.185	0.105	0.040	0.118
c 横置タンク	0.070	0.075	0.101	0.069	0.026	0.067
d 加熱炉	0.070	0.104	0.061	0.128	0.125	0.097
e 塔槽類	0.127	0.111	0.091	0.127	0.051	0.092
f 配管	0.042	0.039	0.042	0.057	0.107	0.064
g 制御機器	0.035	0.039	0.028	0.049	0.076	0.053
h 回転機器	0.043	0.039	0.032	0.041	0.090	0.053
i 有水ガスホルダ	0.068	0.070	0.073	0.098	0.153	0.101
j 反応塔	0.068	0.070	0.061	0.076	0.130	0.086
k LPG発熱器	0.068	0.066	0.054	0.088	0.035	0.057
l 球形ガスホルダ	0.130	0.117	0.107	0.066	0.062	0.089

損傷確率 P (F_i)

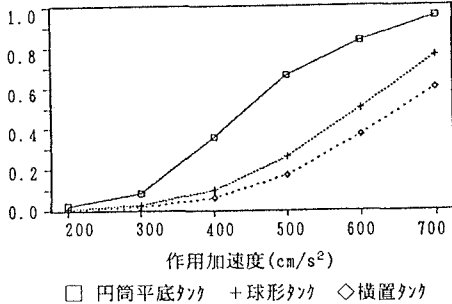


図-3 構造信頼性解析によって求めた損傷確率曲線