

都市ガス供給における地震時緊急停止システムの性能評価

岐阜大学大学院 学生会員 ○森山達哉

岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂

東京瓦斯(株) 正会員 猪股 渉・小山高寛・山端悠介

1. 研究の目的

都市ガス供給においては、地震時の機能保持のために供給継続する判断と、二次災害防止のために供給停止する判断とのバランスが重要となる。都市ガスの第1次緊急停止判断においては、基本的にSI値が遮断基準値 $SI^*=60\text{kine}$ 以上となった場合に供給停止なされるが、SIセンサが複数基設置されている場合の停止判断は一般に、ブロック内SIセンサ n 個のうち k 個以上で基準 SI^* を超えた場合に遮断する「 k -out-of- n 遮断システム¹⁾」としてモデル化される。これまでに2011年東北地方太平洋沖地震における都市ガス供給の第1次緊急停止判断を対象として、SI値とブロック供給遮断確率の関係を表す機能的フラジリティ関数が構築された¹⁾。しかしながら、低圧導管(本支管)に予測される被害と供給停止判断との関係については、明らかにされていない。本研究は、この観点から、 k -out-of- n システム遮断システムの性能評価を行うことを目的としたものである。

2. シミュレーションによるSI観測値と被害率の設定

基盤面SI値 SI_B について層別化したモンテカルロ・シミュレーションを $N=10000$ 回試行し、各SIセンサの地表面SI値を得て観測パターンを得るとともに、閾値を超えたセンサ数に応じて遮断の有無を判断して遮断パターンを得る。遮断の有無を判断する k -out-of- n 遮断システムとして、本研究では半数以上で遮断とする($k=n/2$)。また被害関数を適用し、認識論的・偶然的不確定性を考慮して負の二項分布に従う確率変数の実現値としての導管被害箇所数を算出して導管被害率 r を求め、被害パターンを得る。以上により、10000セットの被害・遮断パターンが得られる。

3. 遮断基準値 SI^* が供給停止割合に与える影響

遮断基準値 SI^* で緊急停止するという条件のもとで、

被害率と供給停止判断の関係をモデル化する。10000回の遮断パターンを遮断の有無に応じて振り分け、被害率の区分に対してヒストグラム化し、これを被害率に対する二項反応(遮断あり:1, 遮断無し:0)と捉える。被害率を説明変数としてロジスティック回帰を行い、機能的フラジリティ関数を求めた結果を図1に示す。これらは平均的な供給停止割合を読み取ることができる。 $SI^*=60\text{kine}$ の場合に遮断割合50%となる被害率は $r=0.1$ 程度であり、 $SI^*=40\sim 100\text{kine}$ の範囲で $r=0.06\sim 0.17$ 程度であるとわかる。

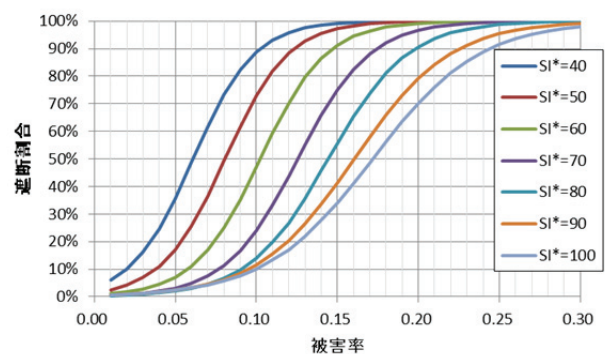


図1 被害率と供給停止の機能的フラジリティ曲線

4. 供給停止判断の評価

供給停止判断と管路被害率の大小の関係は、表1に示す分割表にまとめられる。ここでは要遮断と見なされる被害率の閾値を r^* として、被害率 $r \geq r^*$ の場合に「被害大」としている。TP, TN, FP, FNはそれぞれ欄外に示した判断の度数を表す。図2は、10000回のシミュレーション試行におけるTP, TN, FP, FNの度数のパターンを示した概念図である。これらを用いた4種類のシステム評価の指標について以下に整理する。

・ True Positive rate (TP rate) : $TP/(TP+FN)$

大被害の場合に供給停止できている割合

・ False Positive rate (FP rate) : $FP/(FP+TN)$

キーワード 都市ガス供給システム, SIセンサ, 供給停止判断, k -out-of- n システム

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL:058-293-2416

小被害の場合に供給停止してしまった割合

・ Positive Predictive Value (PP value) : $TP/(TP+FP)$

供給停止した場合に大被害となっている割合

・ Negative Predictive Value (NP value) : $TN/(TN+FN)$

供給停止しなかった場合に小被害となっている割合

ここで、適切な緊急停止判断は、「TP rate が高く FP rate が低い」および「PP value が高く NP value も高い」という場合である。

表 1 緊急停止判断の評価に関する変量²⁾

事実		供給停止判断		計
		継続	停止	
		FN	TP	TP+FN
	管路被害 大		TP	TP+FN
	管路被害 小	TN	FP	TN+FP
計		TN+FN	TP+FP	T

TP(True Positive) : 大被害の場合に供給停止と判断
TN(True Negative) : 小被害の場合に供給継続と判断
FP(False Positive) : 小被害にも関わらず供給停止と判断
FN(False Negative) : 大被害にも関わらず供給継続と判断

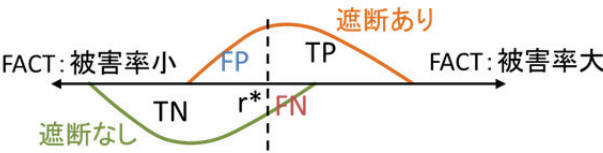


図 2 緊急停止判断の評価指標

東京ガスの L ブロックを例にとって性能評価の例を示す。判断基準となる被害率を暫定的に $r^*=0.15$ と設定し、遮断基準値 SI^* の変化が及ぼす影響について調べる。

図 3 は「TP Rate と FP Rate」の結果である。 SI^* を高く設定するにつれて FP rate, TP rate とともに減少する。両立は難しいがバランスを考えると、適切な供給停止の基準は $SI^*=60kine$ と考えられる。一方、「PP Value と NP Value」の関係を示した図 4 では、 SI^* を高く設定すると PP value は増加し NP value は減少する。ここでも両者は競合するがバランスを考慮すると $SI^*=60kine$ が適切と判断される。

同様の検討を 9 個の L ブロックにおいて行った結果を各ブロックの耐震管率とあわせて図 5 に示す。設定した 40~100kine の範囲で適切な遮断基準値 SI^* はブロックにより異なり、耐震管率が低いブロックでは低く、耐震管率が高いブロックでは高くなる傾向が認められる。すなわち、耐震管率に応じて SI^* を変化させることが適切といえる。

5. おわりに

本研究では被害率の閾値 r^* に応じた供給停止基準値

SI^* の妥当性を検討し、地震時緊急停止システムの性能評価を行った。閾値 r^* は暫定値であり、k-out-of-n 遮断システムの $k=n/2$ に固定して、制御変数を遮断基準値 SI^* としたが、今後の課題としては、 $SI^*=60kine$ もしくは $80kine$ に固定して制御変数を k とした検討を進めることが挙げられる。

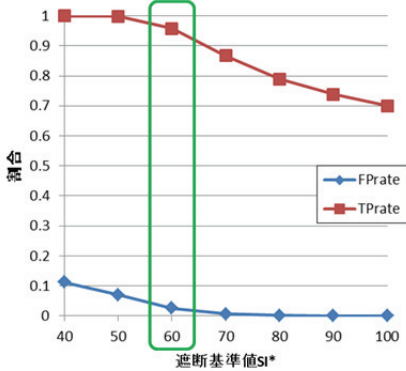


図 3 TP rate と FP rate

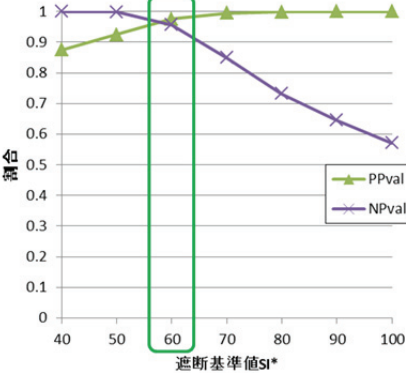


図 4 PP value と NP value

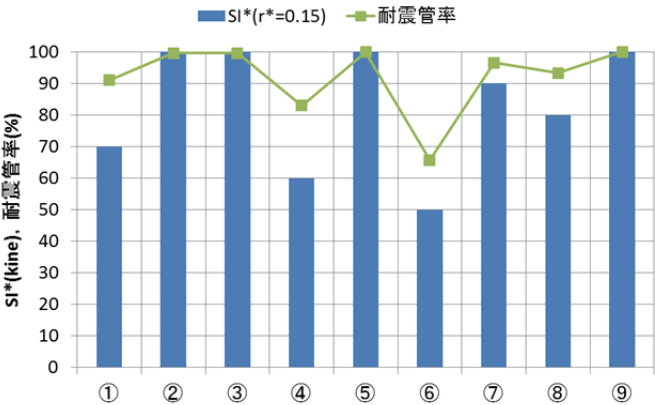


図 5 各ブロックの適切な遮断基準値 SI^* とガス導管の耐震管率

謝辞 : 本研究では東京瓦斯(株)の SUPREME に関するデータを使用させていただきました。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

1) 能島暢呂・加藤宏紀 : k-out-of-n 遮断システムとしてみた都市ガス供給の第 1 次緊急停止判断に関するシステム分析, 土木学会論文集 A1S, Vo.71, No.4, 2015.7.
2) 元田浩・津本周作・山口高平・沼尾正行 : データマイニングの基礎, (株)オーム社, pp201-208, 2008