

都市ガス供給システムにおける第1次緊急停止判断のシステム分析

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

1. 研究の背景と目的

都市ガス供給システムにおいては、原則として、SIセンサによる観測 SI 値が遮断基準値 $SI^*=60\text{kin}$ 以上（建物やガス導管の耐震管率の高い地域では特例措置として 80kin 以上）を検知すると、第1次緊急停止判断としてブロックで供給停止が行われる。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 基のうち k 基以上で基準 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。森山・能島²⁾は、 k -out-of- n 遮断システムにおける供給停止判断と、その際の低圧導管被害率 r との関係に着目して、遮断システムとしての性能評価を行った。具体的には、遮断が必要と見なされる被害率の閾値を被害率基準値 r^* と設定して、被害率 r と r^* との大小関係および緊急停止判断の有無からなる 2×2 の分割表を用いて、遮断基準値の妥当性を検討した。その結果、耐震管率に応じて遮断基準値 SI^* を変化させることの適切性が明らかとなった²⁾。一方、遮断基準値が 60 もしくは 80kin に規定された現状のもとで、 k -out-of- n 遮断システムの k の設定値が及ぼす影響についての検討も重要である。理論的には k の設定値が小さいほど遮断され易くなることは明白であるが、実システムでは詳細な定量的評価が求められる。こうした観点から、本研究では制御変数を k とした検討を行うものである。

2. シミュレーションによる被災パターンの生成²⁾

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、本研究では遮断基準値 SI^* を 60 もしくは 80kin に固定する。また被害関数を適用し、認識論的・偶然的な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. k の設定値が遮断確率に与える影響

n 基のうち k 基以上の SI センサで遮断基準値 SI^* を上回った場合に緊急停止判断がなされるという条件のもとで、被害率と緊急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、被害率と遮断確率との関係を表す機能的フラジリティ関数を求める。SI センサの設置数が $n=18$ 基である 1 つのブロックにおける結果を図 1 に示す。遮断確率 50% となる被害率 r を読み取ると、 $k=9$ の場合は $r=0.1$ 程度であり、 $k=1 \sim 18$ の範囲で $r=0.06 \sim 0.17$ 箇所/km 程度の広い幅を示すことがわかる。

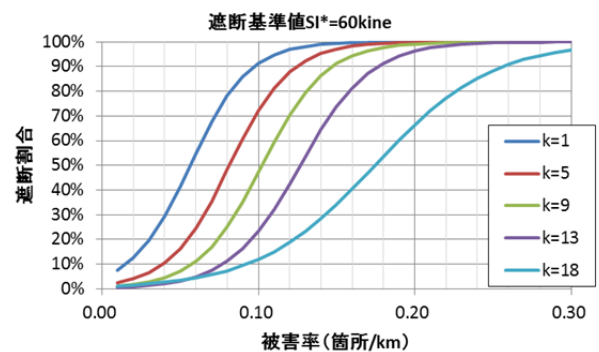


図1 被害率と遮断確率との関係
(機能的フラジリティ曲線)

4. 緊急停止判断の評価

緊急停止判断の有無と管路被害率の大小の関係は、表 1 に示す 2×2 の分割表にまとめられる。ここでは遮断が必要と見なされる被害率の閾値を r^* とし、被害率 $r \geq r^*$ の場合に「被害大」とする。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。これらを組み合わせで定義される 4 種類のシステム評価の指標について

キーワード 都市ガス供給システム, SI センサ, 緊急停止判断, 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

て以下に整理する。

表1 緊急停止判断の評価に関する変量³⁾

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

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

- 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) : $FP/(FP+TN)$
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
- 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」場合である。

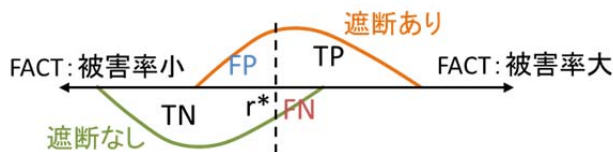


図2 緊急停止判断の評価指標

東京ガス(株)の供給ブロックを対象とした性能評価の例を示す。遮断基準値を $SI^*=60$ もしくは 80kine 、判断基準となる被害率を暫定的に $r^*=0.15$ と設定し、 k の変化が及ぼす影響について調べる。図3は $SI^*=60\text{kine}$ とした「TP Rate と FP Rate」の結果である。 k を高く設定するにつれて FP rate, TP rate とともに減少する。両指標はトレードオフの関係にあり、バランスを考えると、 $k=13$ を妥当な k と判断することができる。「PP Value と NP Value」の結果を示した図4では、 k 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 $k=15$ を妥当な k と判断することができる。このように k の判断が異なった場合には、両者の平均値を採用することとし、この場合は $k=14$ と判断する。

同様の検討を計9個のLブロックにおいて行った結果と各ブロックの耐震管率とをあわせて図5に示す。

図5は被害率基準 $r^*=0.15$ の場合で、各ブロックで SI センサ設置数 n が異なるため、 n に対する比率 k/n により相対化した結果を示す。遮断基準値を $SI^*=60\text{kine}$ に設定した場合を見ると、耐震管率 90%以上のブロックにおいては、 k/n が 70%以上となっている。一方、耐震化率 85%の④ブロックでは、 $k/n=50\%$ 程度で、耐震化率 70%の⑥では $k/n=20\%$ 程度となっており、耐震化率に応じて適切な k が変化している。なお実際には SI^* を適宜変化させることにより適正な停止判断になるように調整されている。遮断基準値を $SI^*=80\text{kine}$ の場合は、 $SI^*=60\text{kine}$ の場合の k よりも小さい値か同じ値となっており、 SI^* と k を組み合わせた検討が必要である。

5. おわりに

本研究では遮断基準値 SI^* を 60 および 80kine に固定し、制御変数を k -out-of- n 遮断システムの k とした。実際の地震時には、データ欠損の可能性があるため、 k を固定化するのではなく、 n に対する比率によって規定するなどの工夫が必要であることが挙げられる。

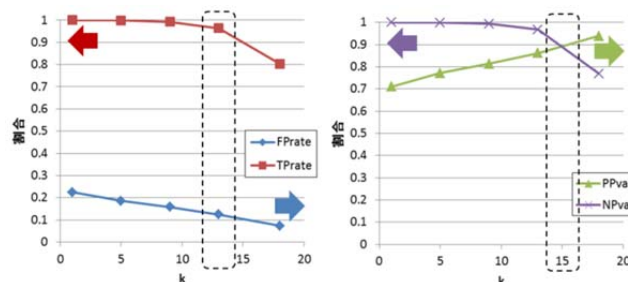


図3 TP rate と FP rate

図4 PP value と NP value

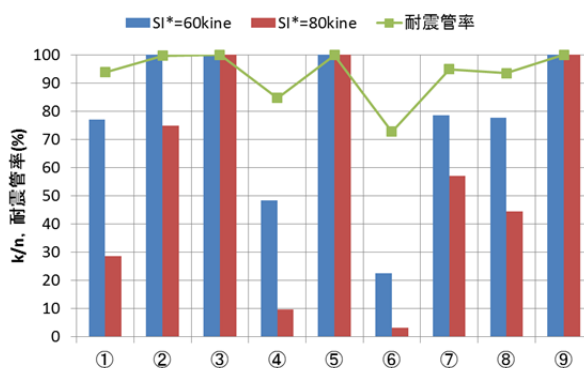


図5 適切な k/n とガス導管の耐震管率 ($r^*=0.15$)

謝辞：本研究では東京ガス(株)の SUPREME に関するデータを使用させていただきました。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, Vol.71, No.4, 2015.7.
- 2) 森山達哉・能島暢呂：都市ガス供給システムにおける地震時供給停止判断の性能評価，土木学会論文集 A1S, Vol.73, No.4, 2017. (登載決定)
- 3) 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，pp.201-208, 2008