

I-533

連結性評価に基づく電力流通システムの地震時供給能力の算定法

(財)電力中央研究所 (正)当麻純一

1. まえがき

地震時に被災し、損傷を受けた電力流通システムの供給能力を解析的に検討する方法について述べる。システムはネットワークを構成しているので、ネットワーク解析によって施設間の連結性を評価する必要がある。従来、モンテカルロ・シミュレーションを利用した近似解法はあるが¹⁾、著者らは、ミニマルカットセットの厳密な数えあげによる解析法をプログラム化した。これにより、被災パターンごとの被害量とその発生確率との関係を算出して、システム全体の供給能力を「リスク曲線」として表示することが可能となった²⁾。ここでは、簡単な解析例を通じて、解析法の基本的な考え方を報告する。

2. 電力流通システムのモデル化

電力流通システムの各施設をノードとし、各施設間の需給関係をリンクで表す。ノードには、たとえば発電所、変電所、送電線などがある。図-1は、解析の例示のための仮想のシステムである。図の上方が上位の発・送電系統で、下方が下位の送・配電系統のイメージである。変電所間で互いに電力融通が可能な場合があるので、それは双方向ブランチとして表している。

供給源から需要地への経路がひとつでも存在すれば、その需要地への供給は可能であると定義する。そこで、ある需要地からみて、そこへの経路が切断される被災パターンの組み合わせを抽出する。これは、システム工学におけるミニマルカットセットの数えあげ問題に帰着する。この場合、ネットワーク内に双方向ブランチがあるとミニマルカットセットの算出が効率よく行えないため、図-2に示すように双方向ブランチを分解した解析モデルを再編する。すなわち、変電所の機能を「受電機能」「配電機能」「バイパス機能」に分ける。たとえば、図-1中の変電所③は、図-2では本来の「受電機能」と「配電機能」を表すノード③と、変電所④への「バイパス機能」を表す仮想のノード⑯に分解される。また、ノード③にはノード①から受電する経路と、ノード⑯を経由してノード②から受電する経路とがある。

3. ミニマルカットセットの抽出

ネットワーク内には、中継機能に加えて直接の需要地をもつノードと、中継機能のみをもつノードとがありえる。需要地がある場合には停電時の被害量を想定しておく。以下の解析例では表-1に示すように図-2で定義したノードごとに需要地の有無を設定し、需要地のある

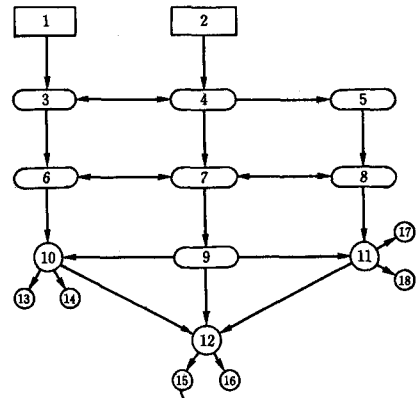


図1 電力流通システムの例

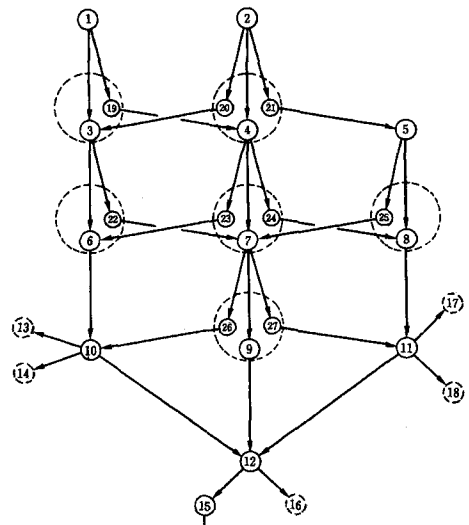


図2 双方向ブランチを分解した解析用モデル

表1 入力データの例

発配所 コード No	変電の 需要地		地震時の 配電所の損 傷確率
	有	停電 時の被害 (kW)	
1	0	0	0.002
2	0	0	0.002
3	1	100	0.004
4	1	200	0.005
5	1	150	0.007
6	1	250	0.004
7	1	300	0.005
8	1	140	0.004
9	1	130	0.008
10	0	0	0.005
11	0	0	0.007
12	0	0	0.006
13	1	150	0.008
14	1	500	0.008
15	1	350	0.008
16	1	110	0.008
17	1	230	0.008
18	1	230	0.008
19	0	0	0.004
20	0	0	0.004
21	0	0	0.004
22	0	0	0.005
23	0	0	0.005
24	0	0	0.005
25	0	0	0.005
26	0	0	0.008
27	0	0	0.008

注) * 配電エリアを有している場合=1
直接の配電エリアのない場合=0

場合には停電時の被害量(kW)を与えた。また、各ノードの地震時の損傷確率は表-1のように与えた。

こうした条件の下で、供給源①または②から各需要地への経路が切断されるすべてのパターンを数えあげる。一例をあげれば、ノード③から直接配電される需要地では、つぎに示す3通りの被災パターン(1)(2)(3)のうちのいずれかが発生すると、支障が生ずる。パターン(1)は、ノード③の損傷であり自明である。また、パターン(2)は、ノード①と②との同時損傷であり、全供給源の損傷に対応し、これも自明である。さらに、パターン(3)はノード①と②との同時損傷であり、供給源②からのバイパス経路が途中で遮断されていることから、②が無傷であっても結局③は受電不能となる。以上のようなネットワークの切断のパターン(1)(2)(3)をカットセットという。カットセットを構成するノードの損傷確率を表-1から読みとり、カットセットごとに同時生起確率を求める。

表-1において、需要地有りと設定した13箇所のノードのすべてについて、上記のようにカットセットを求めると、合計346通りのカットセットが抽出される。ただし、これらの中には互いに重複するカットセットがあるため、ブール代数則により重複を排除すると、結局150通りのカットセットに縮約され、これをミニマルカットセットと呼ぶ。これらのミニマルカットセットのひとつでも生起すれば、少なくとも1地区に供給不能となる。

4. 被害発生地区の抽出と被害規模の定義

ひとつのミニマルカットセットの生起に対応して、受電不能なノードの集合として被害発生地区(単数または複数)が抽出される。一例を示せば、ノード⑩にかかわるミニマルカットセットのひとつが生起すれば、ノード⑬および⑭に関連する需要地は受電不能にな

る。開発したプログラムでは最短経路問題としてこれを定式化しており、全ミニマルカットセットについてそれぞれ対応する被害地区の集合を抽出する。各需要地の停電時の被害規模に基づき、被害地区の集合について、被害規模の総和を求めることによって、各ミニマルカットセットごとに被害規模が求まる。こうして、ミニマルカットセットの生起確率の超過確率と被害規模との関係が定まり、これを被害規模の小さな順に連ねたものをシステムの「リスク曲線」とした。

5. 解析結果の例示

図-2に示したネットワークモデルに、表-1の入力データを与え、「リスク曲線」を求めた(図-3の実線)。被害電力量の小さな事象は比較的高い確率で起こるが、逆に被害電力量の大きな事象は 10^{-6} 以下のきわめて小さな確率となる。また、耐震補強の効果を検討する例として、変電所⑦に関連するノード(⑦②④)の損傷確率を1桁下げた場合の結果を図中に破線で併記した。その結果、被害規模1000kW前後の超過確率に低減が現れた。このように、本解析法を適用することによって、システム全体の被害程度を予測することができるとともに、事前の耐震対策の効果を客観的に把握することができる。

(参考文献)

- 1) 山田, 野田: 地震時の電力供給システムの被害予測, 自然災害科学, 7-1, pp. 10~25, 1988.
- 2) 当麻, 大友, 岩楯: 地震時における電力流通システムの供給信頼度評価法の開発, 電中研報告, U90061, 1991.

超過確率

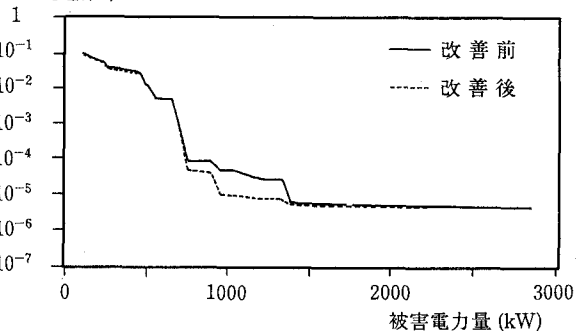


図3 リスク曲線
—変電所⑦の損傷確率の影響—