

I-529

電力の震後復旧計画策定のための実用的な支援システムの開発

京都大学工学部 正員 野田 茂 山田善一

東海大学海洋学部 正員 浜田政則 芙蓉情報センター 安藤知明

1. まえがき 本研究の目的は、地震時における大規模電力系統の被害想定に対し、復旧人員・資材の地域的・時間的配分を考慮した電力系統の復旧過程のシミュレーションを行うために、実用的な支援システム（プログラム）を開発することである。これにより、地震直後に一時的に低下した電力需要の回復に伴って、供給側が系統復旧によってどの程度に必要な電力を確保しうるか、また、復旧に際してはどのような戦略の下に復旧活動を進めることが効果的か、などの検討に有用な情報を提供することが可能となる。

2. システム切替シミュレーション 本シミュレーションは、各変電所内の機器被害による系統の損傷と系統切替による出力回線の通電性（連結性）を判断し、配電能力の回復をシミュレートするプロセスより構成されている。これは、地震発生から数時間程度で行われる作業よりなり、一時的に開いた断路器などを閉じることによって回復可能な電力量を算定する。なお、機器の修復はこの時点では行わない。

具体的には次の3つのプロセスを解析の対象としている。

a) 地震直後の供給支障電力の算定、b) システム切替操作後の各変電所の供給支障電力の算定、

c) 変電所機器・送電設備・配電線復旧による供給支障電力の算定

a) では、想定地震に対し、各変電所内の機器、送電設備（架空送電線・地中送電線）、配電線の被害状況を設定し、地震直後における通電可能な系統を探索し、平常時供給負荷に対する供給支障電力を算定する。具体的には次の手順により算定する。

i) 変電所内機器被害、送電設備被害、配電線被害を設定する。

ii) 地域全体の電力系統をネットワーク化し、設定被害状況の下で、電力供給源から配電用変電所までの通電性（連結性）を探索する。

iii) 変電所内の系統をネットワーク化し、機器被害および母線保護のための遮断に伴う通電性の探索と供給支障電力の算定をする。変電所内系統のパターンは、母線の構成や保護継電システムの違いにより様々であり、かつ複雑である。そこで、本プログラムでは、入力バスから出力バスへの通電性を判断するために系統をほぼ等価なネットワークでモデル化し、断路器や遮断器の開閉状態による通電性の判断や切替操作時のネットワークの切断・接続処理を容易にし、引出し停止回線数をカウントした。なお、超高压変電所は、ダブル母線・1½。母線などの方式をとっている場合が多く、系統もより複雑となる。そのため、本プログラムでは、便宜的にトランスを中心に系統を上位側と下位側の2つに分離し、通電性を判断した。すなわち、1つの変電所を2つのノード（ネットワーク）で表現することにより、上位側引廻しなどを実状に近くモデル化した。

なお、供給支障電力とは、ii) で通電性が確認され、かつiii) で配電可能となった電力（以下供給可能電力と言う）を平常時供給負荷から差し引いたものである。供給支障電力は、6 kv、22 kv、77 kvごとに、平常時負荷、総引出し回線数、停止引出し回線数、停電配電線数より計算される。

一方、b) では、a) における変電所内系統の被害と遮断状況に対し、システム切替操作情報に従って系統切替を行い、引出しバスの通電状態を判断する。これをもとに配電回線の停止状況を考慮して切替後の供給支障電力を計算する。システム切替作業としては、故障機器により、要員が現地へ移動して切り離しを行う場合と、制御所からの遠隔操作で行う場合の2通りを考えた。判断としては、1つでも要員移動を必要とする機器に被害があれば、作業員は移動作業を行うとした。作業時間は各変電所に入力データとして与え、被害個数・種類による変化は考慮しなかった。

c) では、各変電所の状況と送電設備の被害状況から、送電系統の確認を行い、解析対象地域の供給可能電力を算定する。さらに、システム切替に伴う要員の要否、人員数・作業・移動工程をシミュレートしつつ、供給可能電力の回復過程を評価する。

3. 応急復旧シミュレーション 本シミュレーションでは、復旧人員の参集や復旧資材の入荷状況などの外的条件ならびに復旧機会の優先度・工程の順序などの内的条件のもとで復旧活動を行った場合に、復旧時間の経過に伴うシステム切替後の各変電所内機器・停止配電線・送電設備の修復過程や供給電力（あるいは供給支障電力）の回復状況を時々刻々算定し、復旧にどの程度の時間を要するか、また復旧にかかる工数はどの程度かなどを推算する。具体的には、1) 復旧工数の算定、2) 復旧順位の決定（戦略1～4）、3) 変電所の復旧、4) 送電設備の復旧、5) 停電配電線の復旧、6) 3)～5)に伴う人員・資材の配分コントロール、7) 回復供給電力の算定、8) 復旧工数累計・使用資材量などの集計に関する処理を実施している。なお、復旧工数は、変電所・配電エリア・送電線ごとに、復旧工数原単位データを参照にして、被害機器に対して計算する。

本プログラムでは、下記の如く、4つの復旧戦略が用意され、いずれかの戦略を選択することによって復旧過程をシミュレートできるように設計されている。各戦略には、変電所 S/Sの復旧とそれに伴う送電線の

復旧に順序付けをしている。基本的には、S/S や配電エリアの仮順位付け→送電ルート決定→容量チェック→上位より送電線の順位付け→上位よりS/S の順位付け直し、を反復操作している。

(1) **戦略1； 負荷の重要度を重視した戦略** 各S/S のエリア内にある重要度を、社会的重要度に応じて4ランクに分け、各ランクの負荷をランク別にデータで与えておき、重要な負荷を多く受け持つS/S から優先的に復旧していく戦略である。従って、送電線の受け持つ重要度ランクIの負荷を計算し、その負荷の大きな送電線を優先するのがこの戦略の特徴である。

(2) **戦略2； 回復電力の最大を指向した戦略** S/S の供給支障は、配電エリアの事故とS/S 内の機器事故による健全引出ブスの減少、送電ルート事故によってS/S に電気がこないという3種の要因により決定される。従って、支障負荷をS/S 側責任と配電側の責任に分けて、供給支障の大きなところから復旧を行い、電力の速かな立上りを目指すのがこの戦略の特徴である。

(3) **戦略3； 上位系統から下位系統へ復旧する戦略** 入力データで与えられたS/S の供給側の電圧を比較し、電圧の高いS/S（上位系統）から優先的に復旧していく。

(4) **戦略4； 復旧の容易なS/Sから復旧する戦略** S/S に通電させるための復旧時間の最も短いルートから復旧していく方法を取り、被害様相により復旧順位が変わる。送電ルートは常時ルートを採用するため、容量チェックは行わない。戦略4では、復旧の容易な所、すなわち、復旧工数が少なくて済む所から先に修復し、早く広範に電力が行きわたるように指向する。

復旧プロセスは、変電所、送電設備と配電線ごとに、復旧人員・応援人員・復旧資材・移動（行き）・作業の開始・休憩・作業の完了・帰りの移動からなる復旧工程と条件を綿密に設定し、シミュレーションを実施する。

4. 数値計算の一例 今回開発したプログラムの妥当性を調べるために、図1の電力システムに適用した。図中、◎◎は超高压変電所（分割処理ノード）、◎は2次変電所、○は配電用変電所、○は仮想ノードを示している。送電線には矢印（→または←）を付け、電力システムを明らかにした。平常時の未使用の送電線は、16、19と42のリンクである。検討用地震により想定した電力供給システムの想定被害（確定事故相）を図1のモデルにあてはめ、復旧人員、資材関係、負荷状況、系統運用方式などの入力データに基づいて、機能損失、復旧の予測・解析を行った。図2には、戦略2を採用したときの負荷の回復状況を示す。地震直後（ $T_0 = 0$ ）の供給可能電力 M_1 (MW) は、 T_1 の時刻（=15分）において常時未使用の送電線を活かすことにより、30分後には系統切替後の供給可能電力 M_2 (MW) までに回復し、最終的には T_2 （=90分）の時刻で系統切替が終了している。この時刻から応急復旧がスタートし、ほぼ半日後にはノード102の超高压変電所が全面回復し、急に負荷が150 MWまで立ち上っている。その後、負荷は漸増し、系統切替後3.5日で送電線15の通電により、電力システムはネットワーク的な連結・機能特性を発揮するまでに至っている。完全復旧（平常時供給負荷 M_0 ）には6.3日ほどを要している。

5. あとがき 本プログラムは一万数千ステップよりなっている。そこでは、電力システムの被害状態や復旧の過程をできるだけ現実的にするため、変電所間のネットワークをほぼ実際に近い形で組上げられるように配慮した。また、個々の変電所の機能については、より実際に近いものにするため、変電所内の系統をネットワーク化し、機器の被害による配電能力の低下と修復による回復過程を詳細に扱えるようにした。さらに、復旧に伴う各所轄の作業区分、人員の参集、倉庫への入荷、復旧資材の種類、被害対象による復旧工程の相異なるなどの周辺状況についても、様々な条件設定が可能となるように配慮した。

なお、本文では手法の全体像を説明するに留まったが、アルゴリズムの詳細や数値計算の結果については講演会の場において報告する。

最後に、貴重な御助言を頂きました（財）地震予知総合研究振興会の委員会（委員長・久保慶三郎東京大学名誉教授）の委員各位に深甚なる謝意を表します。

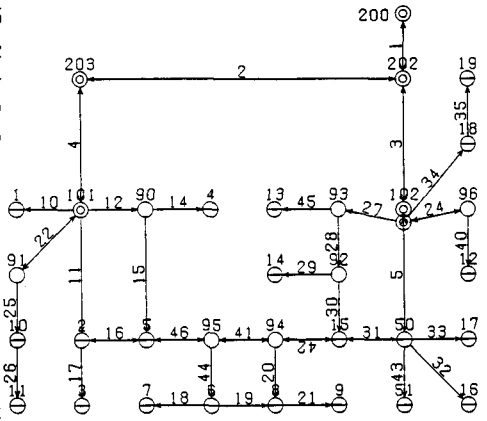


図1 対象とした電力供給システム

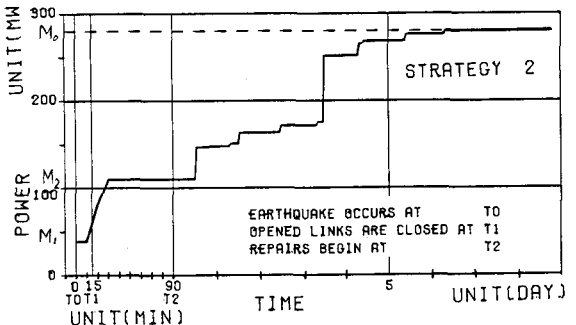


図2 系統復旧および応急復旧時の負荷曲線（復旧戦略2）