

### 1. まえがき

電気通信システムは、電話回線を目的地まで接続することを一つの目的としている。接続状況は、機能的に接続可能なとき、一単位として表示される。一方、接続不能になった呼は損失呼と呼ばれる。この損失呼は機能特性の低下を表わす尺度となる。この評価尺度は、通信システムの設計や解析上、トラヒック理論で用いられている電送品質評価尺度の一つであり、呼損率と同様の意味を持つ。

本研究の目的は、電気通信システムの基本的な特性を明確にした後、震災復旧時における機能特性の評価指標を提案し、この評価指標を組み込むことにより、状況に応じた復旧シミュレーションを開発することである。

### 2. 本研究で提案した復旧シミュレーション法

#### (1) 概要

復旧シミュレーションは、現場作業、通信網制御と機能損失算定の3段階によって構成した。

現場作業段階では、システムダイナミクスによって現場作業をモデル化し、復旧シミュレーションを実施することにより、時々刻々変化する復旧状況を予測する。その結果得られるシステムの接続状況に関するデータは、通信網制御段階と機能損失算定段階に提供される。

通信網制御段階では、現場作業モデル段階で得られた情報に基づき、接続可能な通信回線にフローを流すための経路選択を行う。具体的には、ネットワークの形状を考慮することにより、遠近回転法を用いて経路を探索する。本研究では、局をノード、回線をリンクで表わしたネットワークを考えている。

機能損失算定段階では、通信網制御段階で求めた各発着呼ペア間の経路に従い、トラヒック解析を実施する。通信網に与える負荷呼量は、交通工学で用いられているOD交通量の分割配分法を踏襲して求める。機能損失は、呼がオーバーフローしたリンクを選び、その損失呼によって推定した。

シミュレーションの基本的な考え方は以下のようなものである。まず、通信網モデルのデータと各被害箇所の前条件を与える。次に、システムダイナミクスによって現場作業をモデル化し、各被害箇所について復旧シミュレーションを実施する。全被害箇所での現場作業が完了すれば、結果の集計と表示を行い、復旧シミュレーションの計算を終える。現場作業が終了しなければ、通信網制御と機能損失算定の段階を実施する。これらの段階後、復旧戦略の見直しを図るなどして、時間ステップ(1時間)ごとに、一連の復旧過程のシミュレーションを繰り返す。なお、被災回線の現場作業の終了後には、その回線の使用性の有無を判定する。

#### (2) 現場作業のモデル

現場作業には、復旧現場の状態、天候や人間行動などの多くの不確定要素が介在する。システムの挙動が非線形で、諸要因が複雑に関係し合っている場合、モデル化にはシステムダイナミクスが適する。ライフライン地震工学の被害復旧シミュレーションで、初めてシステムダイナミクスを用いたのは和泉である。文献1)では、和泉の成果を受け、システムダイナミクスを用いて、電気通信システムの現場の復旧作業がモデル化されている。本研究では、

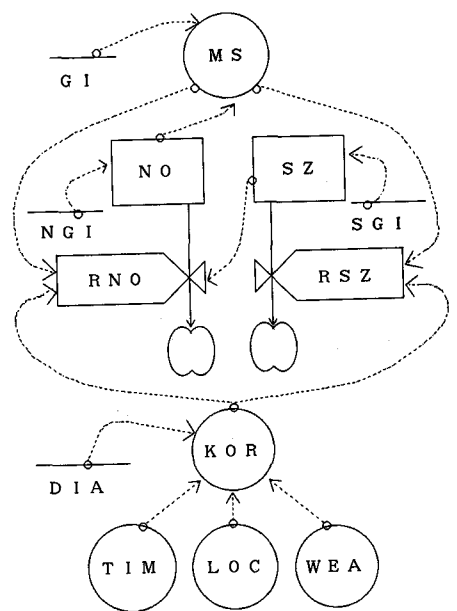


図1 現場作業のフローダイアグラム<sup>1)</sup>

文献1)で実施されたモデル化を基本的に踏襲し、解析を進める。図1は、電気通信システムの被災回線に対する現場作業のフローダイアグラムを示したものである<sup>1)</sup>。

本モデルではレベル変数を回線数で表わしている。レベル変数は、被災回線の被害程度を表わす接続回線数(NO)とケーブル接続用の資材量(SZ)からなっている。レイト変数としては、回線の接続レイト(RNO)と資材の消費レイト(RSZ)を考えている。二つのレイトは、接続作業能率(KOR)、作業人員数(MS)、資材量(SZ)と接続回線数(NO)により求められる。接続作業能率は、時間(TIM)、被害箇所状況(LOC)と天候(WEA)の補助変数によって決定される。なお、資材不足の場合には補給されるものとする。初期値としては、線路技術者数(GI)、接続回線数(NGI)、資材量(SGI)と平常時の接続効率(DIA)を与えた。

システムダイナミクスによる現場作業のシミュレーション計算では、作業によって復旧したリンクの使用可能性を情報として与える。一般に、被災リンクが使用できるようになるのは、被害箇所の復旧作業がすべて完了するとき、すなわち、被災リンク上の複数の被害箇所における被害程度のパラメーター(NO)が0になるときである。

(3) 通信網の制御方式

本研究で提案した復旧シミュレーション法は、通信網制御を考慮した機能損失の評価に特色がある。本節では、電気通信システムの通信網の制御方式について説明する。

a) 通信網のモデル

本アルゴリズムでは、市外通信網のモデルを対象として取り扱った。モデル化に当たっては次の仮定を設けた。すなわち、①加入者は所属電話局に集中し、②交換機の信頼性はかなり高いので、交換機のシステムダウンの事態は生起しないとした。これらの仮定により、通信ネットワーク網は、ノードとしての交換機(加入者数で重み付ける)とリンクとしての局間中継線によってモデル化した。

b) 通信網の制御方式<sup>2)</sup>

本研究では、現実的な制御方式として、遠近回転法を用いた。遠近回転法は基本的には迂回中継方式からなっている。この方式によれば、発信から着信するまで、空き経路を探索しながら、迂回ルートが順次決められる。このうち、最終的に求められる迂回ルートが最終ルートになる。

遠近回転法のアルゴリズムは次の通りである。着信局に至る最遠の(着信局に近い)直通回線(斜回線)を最終ルート上で探索しながら、それが最終ルート上に存在すれば、そのルートを着信局へ至る経路として選ぶのである。

図2は、遠近回転法による経路選択の概念図を示したものである。RCは総括局、DCは中心局、TCは集中局、EOは端局を示している。図中の番号(1、2など)は各局のノード番号である。図2の例において、基幹回線上に選ばれた最終ルートは、TC1→DC1→RC1→RC2→DC2→TC2→EO2となる。発信局TC1からの呼は、最も遠い基幹回線上で接続可能な局TC2に接続される。もし、TC2が接続不能であるか、または直接連結していない場合には、DC2に接続される。以下、順次、このような経路選択の手順を繰り返せばよい。

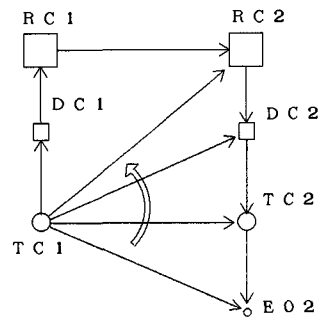


図2 遠近回転法の説明図

(4) 機能損失の算定法

本研究で提案した機能損失の算定法は次のようになる。まず、トラヒックフローの解析を実施し、各リンクのオーバーフローすなわち損失呼を求めるとともに、回線使用能率を算定することによって、機能損失を評価する。トラヒックフローの解析は、交通工学の分野で用いられている交通量配分に順じて行った。ここでは、1/10分割配分法を用いて、OD(起点Oと終点D)間のフローを計算した。

通信ネットワーク網全体の機能損失量  $OV_{total}$  は、次式に示すように、各リンクの損失呼（溢れ呼） $OV_i$ （リンク  $i$ ）の総和によって評価した。なお、リンク  $i$  の  $OV_i$  は、負荷容量  $FL_i$  と回線容量  $TR_i$  の差によって表わした。

$$OV_{total} = \sum_{i=1}^N OV_i \cdot H(OV_i)$$

ただし、 $OV_i = FL_i - TR_i$ 、 $N =$  総リンク数、 $H(\cdot) =$  Heaviside の単位ステップ関数

損失呼の発生は次のような場合である。切り替え・閉塞作業により、被災リンクは使用不能になる。従って、被災リンクを経路選択するような呼は損失呼となる。また、被災リンクを閉塞することで、トラヒック解析により、他リンクの呼がオーバーフローするケースも生じる。一方、現場作業の進展に伴い、被災した不通リンクの機能は回復する。このときにはフローが流れる。

### 3. 数値計算例

#### (1) 対象とした電気通信システム

数値計算の対象とした電気通信システムは、図3に示すような市外通信網（仮想モデル）である。図中、○、□、□、回は電話局（ノード）を示している。各シンボルは、それぞれ、端局（EO）、集中局（TC）、中心局（DC）に対応している。EOは20局、TCは6局、DCは3局存在している。回線（リンク）として、実線は基幹回線を、点線は直通回線（斜回線）を表わしている。ノード10の局と主に東側局（2、3、8、28）間には、斜回線を仮定した。各リンクの回線容量、接続状況と局間の呼の発着量を仮定して、以下の計算を実施した。

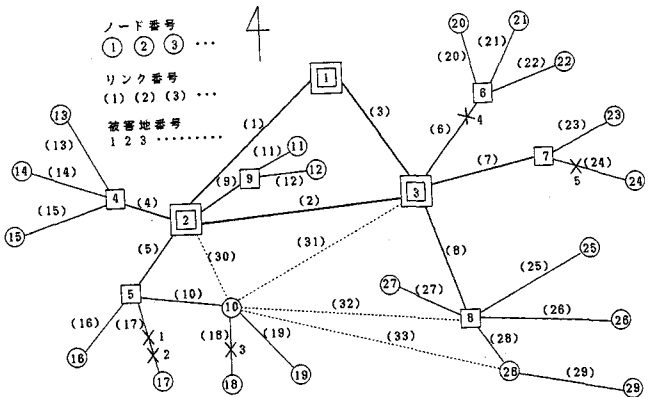


図3 対象とした電話網のモデル

#### (2) シミュレーションの前提条件

復旧シミュレーションの実施に当たり、被害・復旧データの初期値は次のように設定した。

被災リンクの初期回線数（ $NGI$ ）は、回線容量の2分の1にした。また、被災リンクに配分すべき初期資材量（ $SGI$ ）も、回線容量の2分の1とした。1人当たり処理する回線数の初期値は1,000回線とした。

表1は、システムダイナミクスによる現場作業モデルの初期値をまとめて示したものである。図3の三つの被害箇所（1、2、5）では天候（ $WEA$ ）が悪く、3地点（2、3、5）では現場作業の状況（ $LOC$ ）が悪いケースを考えた。2と3の被害地点における平常時の作業効率（ $DIA$ ）は他の被害地点よりも劣るとした。

表1 被害・復旧に関する初期データ

被害地 番号	ノード 番号		初期 人員数	被害 回線数	資材 回線数	平常時 能率	場所の 影響	天候の 影響
	i	j	GI	NGI	SGI	DIA	LOC	WEA
1	5	17	5	5,000	5,000	1.0	1.0	0.8
2	5	17	5	5,000	5,000	0.8	0.6	0.8
3	10	18	5	5,000	5,000	0.8	0.8	1.0
4	3	6	25	25,000	25,000	1.0	1.0	1.0
5	7	24	5	5,000	5,000	1.0	0.6	0.6

#### (3) 復旧シミュレーションの結果

復旧シミュレーションの結果をまとめたのが表2である。表中には、各被害箇所の復旧時間、損失呼（機能損失量）と復旧人員が示されている。総損失呼は536,040アールン、総復旧時間は15時間、総復旧延べ人員は1,441人となっている。機能損失は各リンクごとに算出される。被害地点1と被害地点2は同一リンクに属している。そこで、表中、被害地点2の機能損失量は被害地点1のそれに含めて表示

表2 復旧シミュレーションの結果

被害地	被害 リンク	復旧時間 (時間)	総機能損失量 (アールン)	総作業人員数 (のべ人数)
1	17	10	121,380	219
2	17	12	上に含まれる	286
3	18	10	115,132	220
4	6	4	145,349	384
5	24	15	154,179	332
総計		15	536,040	1441

した。被害箇所4の復旧時間は他に比べて極端に短くなっている。しかしながら、作業人員や機能損失量の多いことが特徴であろう。

復旧は、構造的復旧と機能的復旧の2つの面で捉えなければならない。すなわち、修理-物理的な被害と通話性-機能上の被害という2つの概念に分けて考える必要がある。

本研究では、被害箇所数が時々刻々減少する過程として、構造的復旧を捉えた。機能的復旧は、トラヒック解析で求められる損失呼の減少過程によって表わした。また、全ての被害箇所での復旧作業の進捗率によって、現場作業の復旧率を定義した。具体的には、システムダイナミクスによる現場作業モデルの被害回線数(N0)の減少過程により、現場作業の復旧過程を捉えた。各復旧率は次式によって計算した。

$$\text{構造的復旧率} = \frac{t \text{ 時刻における復旧箇所数総数}}{\text{初期被害箇所総数}}$$

$$\text{機能的復旧率} = \frac{t \text{ 時刻における総機能損失 (T-ラフ)}}{\text{復旧の終了時点における総機能損失 (T-ラフ)}}$$

$$\text{現場作業の復旧率} = \frac{t \text{ 時刻における修復回線数}}{\text{被災リンクの被害回線総数}}$$

図4は、3つの復旧率の経時変化を示したものである。図より、修理-物理的な被害と通信-機能上の被害の違いが理解できる。すなわち、復旧は、①物理的な被害率の減少にもかかわらず、通話率が上昇しない第1段階、②被害率の減少とともに、順調に直線的に通話率が上昇している第2段階、③通話率が100%近くで頭打ちとなり、通話率のわずかな上昇のために、被害率を大きく減少させなければならない第3段階からなっている。この結果は震害調査結果と大きく矛盾しないと考えられる。このような段階が生じる原因としては次のことが考えられる。すなわち、①ある地域の被害箇所を修理する時刻と回復する時刻にずれがあるため、②通話率が上昇しやすい地域から被害箇所を修理するため、または③システムのネットワーク形状の影響などが挙げられる。

#### 4. あとがき

本研究では、電気通信システムの機能特性を表わす指標として新しく損失呼を導入し、復旧シミュレーションを通して機能特性を評価した。本研究の成果をまとめると、次のようになる。

- 1) 復旧戦略策定のために損失呼という概念を新しく導入し、機能特性を表わす呼損率と同様な意味を有する指標として定義した。
- 2) システムダイナミクスによる現場作業の復旧モデルと通信網制御方式を採用することによって、機能特性を考慮した復旧シミュレーションのアルゴリズムを開発した。その結果、通信ネットワークの損失呼は容易に求められるようになった。
- 3) 仮想の市外電話網モデルを対象にして、前提条件の下で復旧シミュレーションを実施した。復旧は、構造施設の物理的被害件数の減少過程、現場作業の実施による被災回線の回復過程と通信機能の低下や停止に着目したシステム全体の損失呼の時系列変化(機能特性)の3つの面で評価した。

#### 参考文献

- 1) 高田至郎・高谷富也・飯田泰司：地中ライフラインの震後復旧支援システム，第8回設計における信頼性工学シンポジウム前刷集，pp. 117~122，1988年12月。
- 2) 秋山稔：通信網工学，コロナ社，1984年7月。

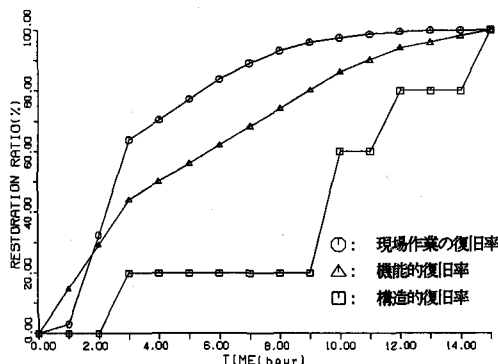


図4 復旧率の経時変化