

ライフラインの機能損失と復旧過程の耐震診断 のための汎用プログラム I L A S の作成

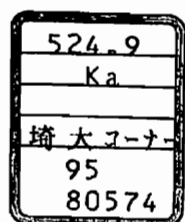
課題番号 05558044

平成5, 6年度科学研究費補助金(試験研究B2)
研究成果報告書

平成 7年 3月

研究代表者 川上 英二

(埼玉大学工学部建設工学科)



は し が き

研究組織

研究代表者： 川上 英二 (埼玉大学工学部建設工学科)

研究分担者： 谷山 尚 (埼玉大学工学部建設工学科)

研究分担者： 佐藤 正行 (東電設計(株)技術開発本部)

研究経費

平成5年度 2,500千円

平成6年度 1,000千円

計 3,500千円

研究発表

(1) 学会誌等

- 1) 川上英二, 小野牧夫: 多入力線形システム理論に基づく観測記録を含む時空間地震波形, 土木学会論文集, No. 489/1-27, pp. 187-196, 1994.
- 2) 川上英二, 小野牧夫: 多変数ARモデルを用いた観測記録を含む時空間地震波形, 土木学会論文集, No. 489/1-27, pp. 217-226, 1994.
- 3) 川上英二, 小野牧夫, 楊仲元: 房総半島南東沖地震(1986)の観測記録を含む時空間シミュレーション波形, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp. 385-390, 1994.
- 4) 川上英二: 東京の震災対策と都市ライフライン, 都政研究, 第26巻9号, pp. 4-9, 1993.
- 5) 川上英二: ライフライン復旧について—釧路沖地震の場合—, 行政研究, No. 373, 1993.
- 6) 谷山尚, 宮武隆: 質点ばねモデルによる地殻内地震のシミュレーション, 第9回日本地震工学シンポジウム, pp. 685-690, 1994.

(2) 口頭発表

- 1) 川上英二, 小野牧夫: 多地点の地震観測記録を含む時空間地震確率過程のシミュレーション, 第22回地震工学研究発表会, pp.279-282, 1993.
- 2) 小野牧夫, 川上英二: 多入力線形システム理論に基づく観測記録を含む時空間地震波形, 土木学会第48回年次学術講演会, I-141, pp.430-431, 1993.
- 3) 川上英二, 小野牧夫: 多変数ARモデルを用いた観測記録を含む時空間地震波形, 土木学会第48回年次学術講演会, I-419, pp.986-987, 1993.
- 4) 川上英二, 小野牧夫, 楊仲元: 房総半島南東沖地震の観測記録を含む時空間シミュレーション波形の一検証, 土木学会第49回年次学術講演会, I-713, pp.1422-1423, 1994.
- 5) GHAYAMGHAMIAN M. R., KAWAKAMI H. and MOGI H.: Preliminary Study of Local Site Effects Based on Microtremor Measurements in Tehran, 土木学会第49回年次学術講演会, I-694, pp.1384-1385, 1994.
- 6) 川上英二: 地震動の時空間分布—観測記録を含む条件付時空間関数—, 第22回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, pp.53-62, 1994.
- 7) 谷山尚, 渡辺啓行: 断層運動に伴う表層地盤の挙動に関するシミュレーション, 土木学会第49回年次学術講演会, I-664, pp.1324-1325, 1994.

(3) 出版物

- 1) 川上英二: 1994年ノースリッジ地震東京都調査団報告書, 3.2 高速道路の被害, 3.5 電力システムの被害, 東京都, pp.30-35, 56-64, 1994.
- 2) 森地重暉, 川上英二ほか: 1992年トルコ地震災害調査報告, 土木構造物の被害, 丸善, 日本建築学会, 第7章, pp.177-196, 1993.
- 3) KAWAKAMI H., MORICHI S. et al.: Damage Report on 1992 Erzincan Earthquake, Turkey. Damage to Civil Engineering Structures, Joint Reconnaissance Team of AIJ, JSCE and Bogazici Univ. Chapter 5, pp.1-16, 1993.

ライフラインの機能損失と復旧予測 プログラム（ILAS）の構想

1 序論

本プロジェクトでは、まず、

- ① ライフラインに対するネットワーク解析、シミュレーション手法の整理調査。低次施設に対するモデル化の調査。
- ② 構造物の破壊確率などのパラメーターの調査。システムの機能損失と復旧過程の結果の調査。
- ③ プログラムパッケージILAS（Integrated Lifeline Analysis System）を作成するため、アルゴリズムの整理統合、プログラムの収集、入出力の検討。

を行い、プログラムパッケージILAS（Integrated Lifeline Analysis System）の作成を目標に、以下の作業

- ・アルゴリズムの整理統合
- ・プログラムの収集
- ・共通、汎用部分の統合とサブルーチン化
- ・共通パラメーター及び変数名の統一
- ・入出力の検討
- ・例題の作成、及び、手法間の相互比較

を進めた。

本プログラムパッケージILASは表1.1に示す8つの部分から構成される。プログラムの完成に伴い、詳細なマニュアルを作成する必要があるものと考えが、本報告では、各部分の概略の説明を行うと共に、表1.1中の3-1-1の潮流解析については少し詳述した。

2 物的被害、破壊確率の推定（表1.1中の1）

ライフライン施設のうち、埋設管路の破壊確率はある長さのリンクに被害が発生する確率で表され、バルブピットやマンホール等の異種構造物との接続点ではその点における被害確率で表される。ライフライン施設の破壊確率は一般的に次の二つの方法で求められている。

一つは、過去の地震における施設の実際の被害の統計に基づいて、破壊確率を推定する方法である（表1.1中の1-1）。埋設管路の場合、リンク内における管の破壊がポアソン分布に従っ

て発生するものと仮定して、リンクの平均被害箇所数の関数として破壊確率を計算する方法である。リンクの平均被害発生箇所数は、標準被害率に地震動の強さや埋設環境に関するいくつかの補正係数を乗じて表され、標準被害率は既往の地震による被害実績に基づいて算定される。しかし、既往の地震による被害の多くは、小口径で低強度の管に発生しているため、これらから求められる標準被害率をそのまま近代的な管路の被害推定に使用するのは不適當である。被害推定をする管路の変形特性と強度を考察して被害率を補正する必要がある。

物的被害、破壊確率の推定を行うもう一つの方法は表1.1中の1-2で示す解析的な方法である。構造物に発生する変形やひずみを解析的に求め、これらと構造物の極限強度を比較して破壊確率を計算する方法である。この方法は汎用性があり、任意の外力が作用する一般的な構造物の被害確率の計算に適用できるメリットがある。特に埋設管の場合、外力として作用させる地盤の変形については、地震動のほか、液状化に伴う地盤の永久変位や断層などの地盤変状も考慮でき、管種についても特に制約はないため、さまざまな管種の破壊確率が計算できる。最近、特に都市におけるライフライン供給システムでは、大口径で高強度の溶接鋼管、フレキシビリティの優れた継手で接続されたダクタイル鋳鉄管および材料の変形性能が優れたポリエチレン管などが使用されているが、これらは既往の地震によって被害を受けた経験がほとんどない。したがって、これらの被害確率を第一の方法で計算することは難しく、第二の方法によるのが一般的である。

2.1 低次施設の物的被害、破壊確率^{2) 3)}

物的被害、破壊確率を扱う際、低次施設は非常に要素数が膨大であるため重要である。各地方自治体の水道、電気、ガスの低次施設の被害想定では、各施設が非常に複雑でかつ密集しており、ネットワークとしてモデル化することが困難であることから、対象地域をメッシュ分割し、メッシュ内の管種・管径別延長をもとに被害箇所数を算出する方法が取られている。

以下、各施設ごとにその概要を示す。

(1) 水道

配水管管種・管径別データを市区町別に収集し、この管延長は人口分布に比例するものとして、収集した管延長データを人口によって市区町ごとの各メッシュに分割し、メッシュ別管種・管径別延長を算出している。さらにこのデータとメッシュ別地震基礎データをもとに、被害算出式によって、メッシュ別、管種・管径別に被害箇所数を算出し、その値を市町別、供給ブロック別の被害箇所数に変換している。

ただし、被害算出式としては、サンフェルナンド地震での実績をベースに、久保・片山により地震動の地表面の最大加速度の関数として与えられた鋳鉄管の被害算定式を基礎に、地盤係数、管種係数、管径係数または埋設深さの補正係数を乗じて被害箇所数を求める式が提案され

ている。

(2) 電力

被害量の算定は、水道の場合と同様にメッシュ別の施設データに被害率をかけて算出している。ただし、被害率としては、過去の地震被害の調査結果を参考に、架空配電線支持物の被害率と加速度の関係を、また、架空配電線被害率と加速度の関係を設定している。

なお、火災延焼地区にある木柱及び架空配電線はすべて延焼、溶断するものとしている。

(3) ガス

想定手順は水道施設の場合と同様、メッシュ別の計算結果をブロック別の被害箇所数に変換している。但し、計算に用いる被害算出式としては、過去の水道管およびガス管の被害事例による推定式を基礎に、地盤係数、管種係数、管径係数または埋設深さの補正係数を乗じて被害箇所数を求める式が提案されている。

3 連結性能に基づく系の信頼性の評価 (表1.1中の2)

連結性能に基づく系の信頼性評価とは、複雑なライフライン系を節点とリンクからなる単純なネットワークにモデル化し、各節点またはリンクが地震時に破壊あるいは非破壊のいずれの状態になるかを判別し、その結果、各節点間に1つ以上の破壊していないパスが存在する場合、つまり連結している場合は、その節点は、機能上安全であるという評価基準を用いてライフライン系全体の信頼性評価を行うことである。連結性能に基づく信頼性解析手法としては、タイセット・SSSP法(表1.1中の2-2)、ブール代数法、フォールト・ツリーを利用した方法、モンテカルロ法(表1.1中の2-3)による方法、システムの場所的な分布を震源位置の分布に置換する方法(表1.1中の2-4)、システムをサブシステムに分割して解析する方法等がある。

4 機能性能に基づく系の信頼性の評価 (表1.1中の3)

連結性の基準はネットワーク系の特性を簡潔に表現し、更にその基準が一般的であるために基本的なものと考えられる。しかし、この評価基準は各々のライフライン系の評価基準としては不十分であることは明かであって、各々の系の特性及び機能の種類を十分に表現する評価基準を設定し、しかも防災対策に必要な量を求め得るような機能評価方法が提案されている。例えば、上水道系では需要点での水圧低下、水量の不足までも考慮に加えた機能上の定量的な検討が行われている(表1.1中の3-1-2)。電力システムでは需要量、供給量のバランスを考慮した検討がおこなわれている(表1.1中の3-1-1)。また、道路交通系では地震後の各道路の交通容量、交通需要量等に基づいた渋滞の発生をも検討されている(表1.1中の3-1-6)。信頼性の

評価に際しては、複雑な物理的条件を反映しやすいモンテカルロ・シミュレーションが用いられることが多い。

本報告書では、電力システムに対する機能性能の評価方法として、潮流解析を取り上げ、詳述する。

4.1 潮流解析^{4) 5)} (表1.1中の3-1-1)

電力システムとは、電気を生産する火力・水力・原子力等の多くの発電所と、その電気を消費する負荷(変電所)並びに電気を輸送する送電線・配電線から構成される巨大なシステムのことである。

潮流解析とは、この巨大なシステムの、発電所で生産された電力を送電線・変電所を経由した需要箇所までの電気の流れ、即ち、電力の生産から消費に至るまでの電力エネルギーの流れと、送変電設備に流れている電力や、ある地点における電圧、即ち、各負荷地点の電圧・位相の状態を求めることである。

潮流解析の目的は、2つに大別できる。

① 電力系統拡充計画の立案

電力系統は、電力需要の増加に伴い絶えず設備の新增設を行う必要があるが、新しい設備の拡充には膨大な費用がかかり、あらかじめ十分な建設計画を立てることが必要となる。

② 電力系統運用計画の立案

電力需要は常に変化しており、昼夜間・季節等により使用される電力は大きく異なってくる。電力系統は常に電力の生産と消費を同時に行う必要があり、このバランスが崩れると系統異常の原因となる。この様な日々移り変わる系統条件の中で運用者は発電計画・設備過負荷のチェック等の運用計画を立案する必要がある。

潮流計算の計算手法は交流法と直流法の2つの方法に分類でき、計算の目的に応じて手法を選択する必要がある。

① 直流法(簡略解析法)

系統の計画・運用において電力設備の過負荷チェックを行う場合、計算の効率化のために用いられ、電力潮流の概略値を求める電力方程式も簡略化されており、計算量も少ない。

② 交流法(厳密解析法)

系統の計画・運用において、詳細な検討が必要とされる場合及び他の技術計算、例えば安定度解析・故障解析等に潮流解析結果を使用する場合に用いられ、電力潮流の厳密解を求める関

係式が複雑で計算量も多い。

(1) 潮流計算に必要な入力データ

① 解析対象システムの決定

解析可能なプログラムサイズは最大1000ノード、1200ブランチ程度である。ここで言うノードとは変電所、ブランチとは送電線、変圧器を示している。

解析対象規模が計算機（パソコン、ワークステーション）の能力を越える場合には、システムの縮約を行う必要がある。縮約を行うにあたり、簡単なシステムは手計算でも可能であるが、複数の発電機を含む様な大きなシステムの縮約については、縮約プログラムが用意されている。

② 計算対象システムマップの作成

ノード、ブランチに固有番号を付してデータの識別を可能にする。また、発電機出力、負荷、インピーダンス等の基準容量を決定する。

③ 設備データ

表4.1に示す項目をブランチデータとして入力する。但し、入力項目の単位は任意である。

④ 潮流条件データ

表4.2に示す項目をノードデータとして入力するが、潮流条件には2種類の指定方法がある。

(i) P-V指定ノード

発電機ノードの入力はこの指定方法で行う。(P：有効電力、V：指定電圧)。

(ii) P-Q指定ノード

Q、Vの両方を指定した場合にはいずれかが優先されるが、通常はVが優先となる(Q：無効電圧、V：指定電圧)。

⑤ 計算条件データ

以下の条件を決定し、入力する。

(i) 基準容量………：発電機出力・負荷・インピーダンス等を決定し、入力する。

(ii) 基準発電機………：基準発電機が接続されるノード番号を入力する。

(iii) 収束判定定数………：潮流指定条件データと計算結果（近似解）との差が収束判定定数より小さくなった時に計算を終了させる。この定数を決定し入力する。

(iv) 計算打ち切り回数………：収束判定定数以下になるまで計算を繰り返す場合、繰り返し回数の限度を決定し、入力する。

(2) 計算結果の出力

① 入力データの出力

図4.1、図4.2に入力データを示す。このデータの出力は、計算結果がエラーとなった場合、あるいは、計算は正常に終了するが、その結果が異常な場合には、入力データに誤りがある場合が多いため、データのチェック用として出力する。

② 計算結果の出力

図4.3に計算結果の出力図を示す。

計算結果が出力されたとき、チェックする項目がある。

(i) 発電機ノードの過負荷チェック

発電機出力が発電機の定格出力以上になっていないかチェックする。

(ii) 発電機ノードの無効電力出力チェック

発電機は通常遅相で運転されている。そのため、無効電力出力が非常に大きく遅相、もしくは、進相運転になっていないことをチェックする。

(iii) ノード電圧の適正チェック

系統電圧が適正な範囲で運転されているかチェックする。

(iv) ノード位相角のチェック

基準発電機ノードを基準とした位相角が過大でないことをチェックする。

(v) ブランチ潮流結果のチェック

送電線潮流が限度以上となっていないことをチェックする。

(3) ノード内部の信頼性評価

従来のプログラムでは、ノード内部の幾つかの変電機器の破壊による系統に対する影響を考慮することはできない。ノード内部に発生した事象を系統解析に取り入れるには、ノード内部の変電機器個々の連結性をも考慮する必要がある。このため、変電所内の変電機器を1つの小規模なネットワークと見なしてモデル化を行い、系統全体のネットワークに組み込むことにより、電氣的な系統解析ばかりでなく、地震等による構造物および機器の破壊による機能性能的な面からも系統全体の信頼度評価が可能になると考えられる。

(4) 安定度計算結果

潮流計算に引続き、系統の安定度計算を行った結果の一例を図4.4に示す。この図は、系統に地落事故が発生したと想定した場合、発電機端子電圧が安定するまでに、どの程度時間を必要とするのかを計算したものである。

5 重要度解析 (表1.1中の4)

信頼度の低い地域、あるいは、ある重要な地域の信頼度を高めたり、新設ルートを選定、被災後の復旧計画の立案等を効率良く行うためには、感度解析を行うこと(表1.1中の4-1)、また、ライフラインシステムの各構成要素の重要度を表す指標を導入する(表1.1中の4-2)必要がある。

6 復旧過程の推定 (表1.1中の5)

ライフライン系の耐震性を検討する場合には、地震直後の機能を評価するばかりでなく、震後の復旧活動に伴う系の機能の時々刻々の変化を評価しておく必要がある。この評価結果は、構造物の修理の順番等の復旧方針に大きく左右される。系の特性に基づいた(上水道の場合水理的な)有利さ、地震後の地域の重要性、地域の利用形態、被害件数・需要家数の多少、被害件数当りの需要家数の多少、住民の不満度、修理の容易さ等に基づくいろいろな復旧方針に対して復旧過程を推定する事が行われており、最も効果的な早い復旧方針を平常時より準備しておく必要が指摘されている。また、地震後の混乱期において、人および機材の配置を自動的に行うことができれば非常に便利である(表6-1~3、図6-1 参照)。

7 システム相互の連鎖性の評価 (表1.1中の6)

電力だけ、または上水道だけの系を考えると、問題は十分に複雑であるが、平常時の事故と異なり、地震時には、複数のライフラインの被害が同時に多発する事になる。従って、例えば、電力の停止が上水道のポンプの機能の停止を引き起こす事があり、停電による断水が発生する可能性がある。このため、電力と上水道の系がどのように互いに関連しているか等、系間の相互依存性を検討しておかなければ、地震時の現実的な被害の状態をつかめない。

ライフライン系の複雑な相互関連性、被害の波及の様子を定性的に検討するには社会システムの構造同定の手法が用いられている。また、地震による被害の時間の経過に伴う影響波及及び復旧過程を微分方程式を用いて定量的に解析するため SD(system dynamics)法が使われている(表1.1中の6-1)。

8 低次施設のモデル化 (表1.1中の7)

2.1節で示したように、各地方自治体の水道、電気、ガスの低次施設の被害想定では、各施設が非常に複雑でかつ密集しており、ネットワークとしてモデル化することが困難であることから、物的被害の想定に際しては、対象地域をメッシュ分割し、メッシュ内の管種・管径別延長

をもとに被害箇所数を算出する方法がとられている。また、供給支障の想定に際しては、以下に示すような単純なモデル化が行われることが多い。

(1) 上水道 (表1.1中の7-1-2)

神奈川県の上水道システムでは、幹線被害想定の結果から、地震によって破損しなかった幹線によって、各供給ブロックに水が供給できるかどうか調べられている。次に、各市町の可住地人口密度と配水管網図が調査され、密集型ブロックと非密集型ブロックの判定が行われ、非密集型地域と密集型地域ごとに、典型的な都市を例に配水管被害率と供給支障率の関係について調べた結果から、メッシュ別に支障人口を求め、その値を市町別に総計することにより市町別の供給支障率が算出されている。

(2) 電力 (表1.1中の7-1-1)

電力システムに対しては、本来、供給支障率は、電力の供給がストップした需要家件数の比率で表現されるべきであるが、想定精度等を考慮して、高圧配電線における回線数の事故率で電力の供給支障率を表現するものとしている。これは、各高圧配電線の需要家件数はほぼ一定の割合であることから、回線数の事故率は、需要家件数で表現する供給支障率と近似値となると判断されたためである。

(3) ガス (表1.1中の7-1-3)

都市ガスのシステムに対しては、供給停止区域の、全地域に対する需要家件数比率で供給支障率が表されている。ある想定では、250galという規準値を越えた平均値表面加速度が供給ブロック内で測定された場合はガスの供給を停止するものとしている。したがって、供給支障の想定方法としては、まず供給ブロック毎の平均値表面加速度をブロック内メッシュの単純平均として計算し、それが250galを越えるものについてはそのブロックへのガスの供給は停止するものとし、供給の停止したブロックの需要家件数の合計を需要家件数で除したものを供給支障率としている。

参考文献

- 1) Kawakami, H., Sato, T., Ejiri, J., Doi, M., Suda, K. and Satoh, M.: ILAS- A Computer Program for Analyzing Lifeline Systems -, Fourth Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, Hawaii, May, 1992.
- 2) 神奈川県: 神奈川県地震被害想定調査報告書、1986-3.

- 3) 埼玉県：埼玉県地震被害想定策定調査報告書、1982-3.
- 4) 東田益男：電力系統解析技術の基礎と応用 II 潮流計算、電気評論、1989-11.
- 5) 東京電力（株）、電力中央研究所：電力系統動特性解析プログラム（Y法）使用マニュアル.

表 1.1 I L A S の構成

- 1 Estimation of physical damage to each component of a lifeline system due to earthquake
 - 1-1 Estimation from the statistics of damages due to past earthquakes
 - 1-2 Estimation from the reliability theory
- 2 Seismic risk analysis on system connectivity
 - 2-1 Rigorous analysis by use of all failure combinations
 - 2-2 Series systems in parallel (SSP) and super series systems in parallel (SSSP)
 - 2-3 Monte Carlo technique
 - 2-3-1 Depth first search (DFS) method
 - 2-3-2 Warshall's algorithm
 - 2-3-3 Shortest route method
 - 2-4 Method dealing with the distribution of earthquake sources
- 3 Seismic risk analysis on system serviceability
 - 3-1 Simulations of flow in partially damaged systems
 - 3-1-1 Electric power supply systems
 - 3-1-2 Water supply systems
 - 3-1-3 Gas systems
 - 3-1-4 Telecommunication systems
 - 3-1-5 Sewage systems
 - 3-1-6 Highway systems
 - 3-1-7 Railway systems
 - 3-2 Network flow analysis
- 4 Sensitivity analysis and importance measures
 - 4-1 Sensitivity analysis
 - 4-2 Importance measures based on connectivity
 - 4-2-1 Probabilistic importance
 - 4-2-2 Criticality importance
 - 4-2-3 Linear importance
 - 4-3 Other importance measures
- 5 Simulation of restoration process, and proper disposition of personnel
 - 5-1 Simple method dealing with total number of workers or materials
 - 5-2 Method of proper disposition of workers, machines and materials
 - 5-3 Program evaluation and review technique (PERT), and critical path method (CPM)
- 6 Inter-chain effect of lifeline systems
 - 6-1 System dynamics (SD)
 - 6-2 Interpretive structural modeling (ISM)
 - 6-3 Decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)
 - 6-4 Fault tree analysis (FTA)
- 7 Modeling of subordinate systems
 - 7-1 Modeling of different kinds of subordinate systems
 - 7-1-1 Electric power supply systems
 - 7-1-2 Water supply systems
 - 7-1-3 Gas systems
 - 7-1-4 Telecommunication systems
 - 7-1-5 Sewage systems
 - 7-1-6 Highway systems
 - 7-1-7 Railway systems
 - 7-2 Method using the relationships between damage and service ratios
- 8 Graphic representation

BRANCH	BT	BT CCT	BR	BZ	VF17/21	TAP	PHASE	NAME
4241150	4241150	- 4302250	1	0.00130	0.03780	0.00210	0.00000	NUKITA TOYO
4242050	4241150	- 4242150	2	0.00100	0.02740	0.00420	0.00000	333 NUKITA
4243050	4241150	- 4240150	2	0.00070	0.01990	0.01040	0.00000	1A7 7777
4244050	4102450	- 4303150	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	100000 YOUSU TOYOTA
4244150	4102450	- 4303250	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	100000 YOUSU TOYOTA
4245150	4245150	- 4299150	2	0.00330	0.07430	0.01170	0.00000	771 YAMADA
4246150	4299150	- 4298150	2	0.00240	0.04020	0.00460	0.00000	0.00000 YAMADA KOSAI
4247150	4302150	- 4103150	1	0.00130	0.03780	0.00210	0.00000	0.00000
4248150	4302250	- 4103150	1	0.00130	0.03780	0.00210	0.00000	0.00000
4249150	4241150	- 4302150	1	0.00130	0.03780	0.00210	0.00000	0.00000
4250150	4241150	- 4302250	1	0.00130	0.03780	0.00210	0.00000	0.00000

(ブランチ)

収束判定 計算打ち切り 発電機出力

SIGMA = 0.500E-06 (電圧指定) ITERATION = 20 (発電機出力) SAVING NODE = 4043190 (ノード)

電圧初期値 (フラットスタート)

NODE	ASSI	PG	QG	PL	QL	QC	NAME	INITIAL VALUE
112490	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[26	(1.00000 +j 0.0000)
113490	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[36	(1.00000 +j 0.0000)
117450	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[275	(1.00000 +j 0.0000)
113490	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA 16	(1.00000 +j 0.0000)
114490	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA 26	(1.00000 +j 0.0000)
114500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA275	(1.00000 +j 0.0000)
114510	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	GEN[1A]	(1.00000 +j 0.0000)

(ノード)

図 4.1 入力データの出力例

LOAD FLOW SOLUTION (NODE)

ITERATION = 5 P.E. MAXIMUM MISMATCH = 0.37E-03 (4900140)

NODE SYS	ASSI	ANGLE	PG	QG	PL	QL	QC	INR	INI	NAME
112490	1.0028	1.30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[26
113490	1.0028	1.30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[36
117450	1.0028	1.30	0.0000	0.0000	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SIMTONE[275
113490	1.0044	-2.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA 16
114490	1.0044	-2.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA 26
114500	1.0044	-2.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	SAKUMA275
1001290	1.0100	20.35	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.4081	0.0024	GEN[1A]
4001390	1.0100	-7.41	0.3000	0.0416	0.3000	0.0000	0.0000	-0.3344	-0.0154	GEN[1A]
4002190	1.0100	7.55	0.3750	0.0551	0.0000	0.0000	0.0000	0.3414	-0.0949	FS 26
4002290	1.0100	7.51	0.3750	0.0552	0.0000	0.0000	0.0000	0.4831	-0.1243	FS 36
4002390	1.0100	7.44	0.3000	0.0752	0.0000	0.0000	0.0000	0.3752	-0.0053	FS 16
4002490	1.0100	5.81	0.7000	0.1145	0.3000	0.0000	0.0000	0.3753	-0.0057	FS 26
4002590	1.0100	19.84	0.7000	0.1134	0.3000	0.0000	0.0000	0.3003	-0.0059	FS 36
4002690	1.0100	19.84	0.7000	0.1134	0.3000	0.0000	0.0000	0.7012	-0.0144	FS 46
4003190	1.0100	20.35	0.7000	0.1041	0.0000	0.0000	0.0000	0.4907	0.1278	FS 26
4003290	1.0100	20.35	0.7000	0.1041	0.0000	0.0000	0.0000	0.4907	0.1278	FS 46
4004190	1.0100	24.39	0.3000	0.1042	0.3000	0.0000	0.0000	0.4837	0.1444	FS375 16
4004290	1.0100	24.35	0.3000	0.1044	0.3000	0.0000	0.0000	0.4837	0.1444	FS375 26
4004390	1.0100	23.11	0.7000	0.1723	0.3000	0.0000	0.0000	0.4494	0.1278	FS 16
4004490	1.0100	23.11	0.7000	0.1723	0.3000	0.0000	0.0000	0.4494	0.1278	FS 26
4004590	1.0100	19.84	0.3000	0.0774	0.3000	0.0000	0.0000	0.4000	0.0000	FS 16
4004690	1.0100	19.84	0.3000	0.0774	0.3000	0.0000	0.0000	0.4000	0.0000	FS 26
4004790	1.0100	19.84	0.3000	0.1303	0.3000	0.0000	0.0000	0.4000	0.0000	FS 36
4004890	1.0100	19.84	0.3000	0.1303	0.3000	0.0000	0.0000	0.4000	0.0000	FS 46

ノードからの電圧相角 (deg)

発電機出力 (p.u)

負荷 (p.u)

調相容量 (p.u)

ノードへの流入電流 (p.u)

図 4.2 計算結果の出力例 (ノード)

LOAD FLOW SOLUTION (BRANCH)

ITERATION = 5 P.E. MAXIMUM MISMATCH = 0.37E-03 (4900140)

BRANCH	BT	BT CCT	P(S[0])	Q(S[0])	P(S[1])	Q(S[1])	PL[0]	QL[0]	NAME
21450	1	1147450	- 4104150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0031	SIMTONE[26
31450	1	1147450	- 4102350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0035	7777 7777
41450	1	4300150	- 4102350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7777 7777
41450	1	4300250	- 4102350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7777 7777
41450	1	301450	- 4300150	-0.3000	0.0000	-0.3003	-0.0037	0.0003	7777 7777
41450	1	301450	- 4300250	-0.3000	0.0000	-0.3003	-0.0037	0.0003	7777 7777
97990	1	710000	- 710100	-1.0000	-0.1467	-1.0000	-0.1913	0.0000	KA=000000
410100	1	4100100	- 4301150	-0.3000	0.0000	-0.3000	0.0000	-0.0000	7777 7777
4101100	1	4100100	- 4301250	-0.3000	0.0000	-0.3000	0.0000	-0.0000	7777 7777
4102900	1	4102100	- 4102100	-0.9192	0.0723	-0.9238	0.0723	0.0044	7777 7777
4102100	1	4102100	- 4102100	-0.9192	0.0723	-0.9238	0.0723	0.0044	7777 7777
4103000	1	4103100	- 4103100	-0.5339	0.1323	-0.5342	0.1323	0.0004	7777 7777
4103100	1	4103100	- 4103100	-0.5339	0.1323	-0.5342	0.1323	0.0004	7777 7777
4104000	1	4104100	- 4104100	-0.4577	-0.0414	-0.4577	-0.0414	0.0013	7777 7777
4104100	1	4104100	- 4104100	-0.4577	-0.0414	-0.4577	-0.0414	0.0013	7777 7777
4105000	1	4105100	- 4105100	-0.4364	-0.3014	-0.4377	-0.3013	0.0013	7777 7777
4105100	1	4105100	- 4105100	-0.4364	-0.3014	-0.4377	-0.3013	0.0013	7777 7777
4105000	1	4105100	- 4105100	-0.4364	0.2643	-0.4377	0.2643	-0.0013	7777 7777
4105100	1	4105100	- 4105100	-0.4364	0.2643	-0.4377	0.2643	-0.0013	7777 7777

NF区潮流 (p.u)

NT区潮流 (p.u)

線ロス (p.u)

図 4.3 計算結果の出力例 (ブランチ)

表 4.1 設備データ入力項目

No	NF	NT	R	X	Yc	NAME
ブランチ番号	ノード番号	ノード番号	正相抵抗	正相リアクタンス	正相キャパシタンス	送電線名称
No	NF	NT	X	TAPR	TAPI	NAME
ブランチ番号	ノード番号	ノード番号	正相リアクタンス	同相分Tap比	直角相分Tap比	変電所名

表 4.2 潮流条件データ入力項目

No	V	Pg	Qg	Pl	Ql	Qc	NAME
ブランチ番号	指定電圧	発電機有効出力	発電機無効出力	有効電力負荷	無効電力負荷	調相容量	ノード名称

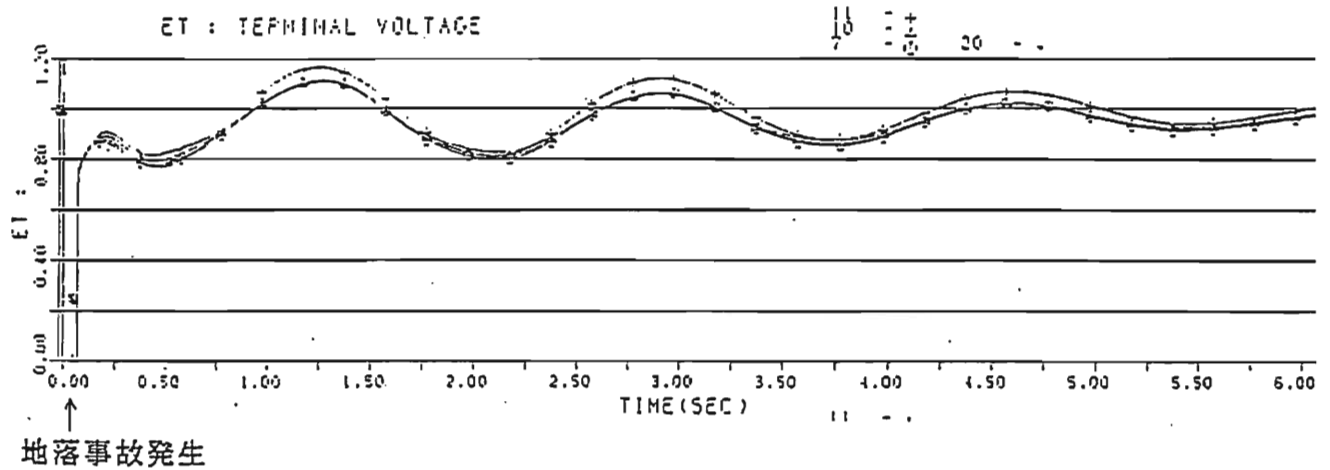


図 4.4 安定度計算結果

表 6.1 各破壊箇所において必要な作業工程（入力データ）

Failure number	Repair order	Required work steps		
		1st	2nd	3rd
1	1	1	2	4
2	2	1	2	4
3	9	1	3	
4	10	1	3	
5	11	1	3	5

(The rest is omitted.)

表 6.2 各作業工程に必要な作業員の人数（入力データ）

Work steps	Days	Occupations				
		Civil engineering			Electrical engineering	
		A	B	C	D	E
1	1	3				
2	1		3		1	
3	2		5		2	
4	1			5		2
5	2			3		1

表 6.3 地震後、各作業員に与えられた破壊箇所（出力結果）

Worker number	Occupation	Failure location number assigned on n-th day after the earthquake									
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
1	A	1	6	11	16	3	5	-	13	15	19
2	A	1	6	11	16	3	-	9	13	15	19
3	B		1	-	11	16	3	3	5	5	-
4	B		1	6	-	17	3	3	5	5	9

(The rest is omitted.)

- : Worker rest days.
: Days without assigned work.

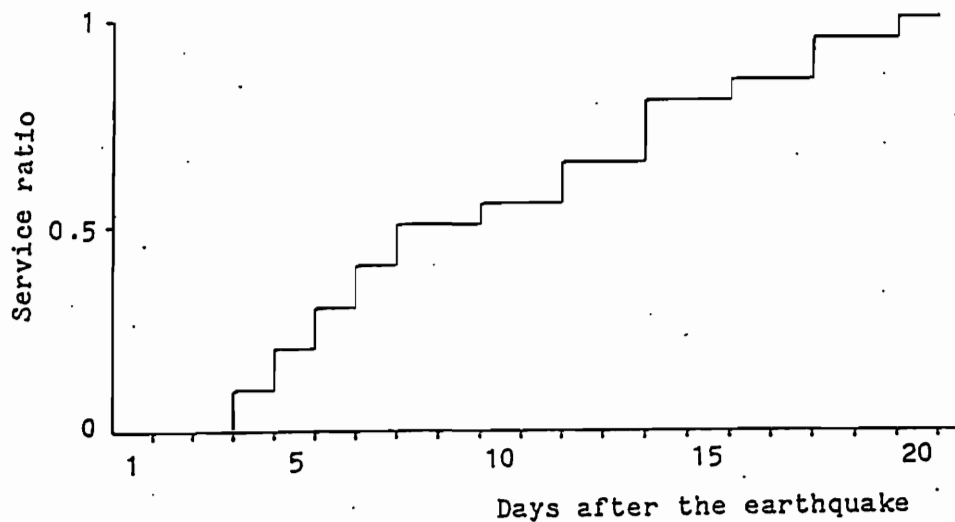


図 6.1 地震後の復旧率の変化