

日建設計 正 三星 道広 長岡技術科学大学 正 後藤 巖

1. はじめに 都市部において地震災害が発生した場合の被害の波及構造を明らかにしておくことは、事前、事後の防災対策上重要である。本報告は今後の都市部における地震被害の波及構造の予測の基礎研究として、

1969年の新潟地震について地震被害の波及構造の解析を試みるものである。解析の対象は、主にライフラインである。

2. 解析方法

2-1 静的被害波及構造の解析 この解析には社会システムの構造同定に用いられるISM法を利用した。ここでの解析の目的は被害要素の多階層有向グラフを作成することである。以下に解析の概要を述べる。

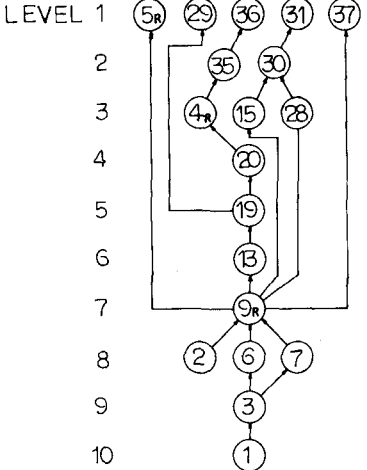
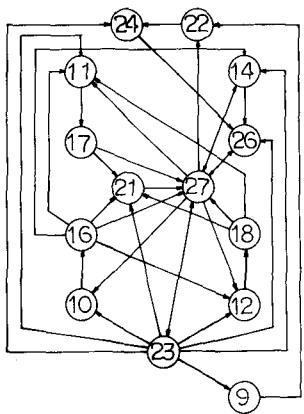
地震時の個々の被害と波及構造を構成する主要要素と考え、1969年の新潟地震の資料調査により表-1に示す37項目(S<sub>i</sub>, i=1~37)を抽出した。抽出のために、都市部の地震時被害を特徴付けると考えたライフラインの被害を主として、特に明確な基準は設けず、この主要要素に対して次の関係ステートメントRを設定した。「被害項目iは被害項目jに影響を及ぼす」とこの関係ステートメントRにより

$a_{ij} = \{S_i R S_j \rightarrow 1, S_i \bar{R} S_j \rightarrow 0 (i, j = 1 \sim 37)\}$  の関係に従い37×37の2値行列(隣接行列)A=(a<sub>ij</sub>)と求める。Iは37×37の単位行列としてマール演算のもとで  $A + I \neq (A + I)^2 \neq \dots \neq (A + I)^n = (A + I) = M$  を満たす行列(可到達行列)Mを求める。更にマール演算のもとで可到達行列Mに対し、同一の可到達行列を与える隣接行列のうち「1」の数が最も少ない行列(骨格行列)を求める。この骨格行列にもとづき多階層有向グラフを作成した。(図-1参照) なお演算は全クオンビユーターで行った。この多階層有向グラフは言わば静的被害波及構造を表わすものである。

2-2 動的被害波及構造の解析 この解析には社会システムの挙動分析に用いられるD法を利用した。ここでの解析の目的は2-1での解析の結果得られる強連関係にわける要素(可到達行列において普遍行列を成す要素)が非線形な多重フィードバックループ(図-2参照)を構成することから

表-1 被害項目

1	耐震設計と実際とのギャップ	20	業務の麻痺
2	防災計画の不備	21	行政の麻痺
3	物理的破壊	22	火災の拡大
4	財貨の減少	23	水害の拡大
5	死傷	24	避難・家財道具の持ち出し
6	火災の発生	25	流言の発生
7	水害の発生	26	交通渋滞
8	心理的動揺・不安・危険感	27	事後対策・活動遅延
9	石油の流出	28	汚染
10	電力供給の停止	29	生活困難
11	情報・通信の途絶	30	衛生状態の悪化
12	水供給の停止	31	伝染病の発生
13	ガス供給の停止	32	生産・売り上げの減少
14	交通の麻痺	33	倒産・規模縮小・休業・移転
15	下水・し尿処理・ゴミ処理困難	34	失業・離職・転職
16	電源の不足	35	生活の困窮
17	情報の不足	36	転居
18	水の不足	37	後片付けの労力
19	熱源の不足		



- 5<sub>R</sub> : 5, 8, 25
- 4<sub>R</sub> : 4, 32, 33, 34
- 9<sub>R</sub> : 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 26, 27

①→② : 要素iが要素jに影響を及ぼすことを表わす

図-1 多階層有向グラフ

それらの要素の時間の経過に伴う振舞いを調べるものである。ここでは2-1の解析及びネットワーク理論の解析により、被害の波及を抑制するために特に工学的に重要だと考えられる多階層有向グラフにおけるレベル別の電力供給システムに関する事後対策活動に着目する。以下に解析の概要を述べる。図-2のフィードバックループにおいて電力供給システムの事後対策活動に関し、論理的内包関係と考慮し、表-1の要素の表現内容を要素の意味する概念領域内で再表現し定量化した。(図-3参照) 電力システムの物理的ダメージ(破壊積電線数)と、コントロールセンターの情報量(電力供給システムの意思決定点に集まる情報量)との2つレベル変数とし、これらのレベルから派生的に生じくる諸変数を用いたモデルのフローダイアグラムを構築した。(レイト数2, レイト数2, その他の変数28, 初期値及び定数21) 図-4に物理的ダメージのセクタを示す。フローダイアグラムとダイナミクス方程式(5)を用言語に変換し、コンピュータによりシステムの振舞いを6時間ごとに計算させた。ラン結果を図-5に示す。(F<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, R)

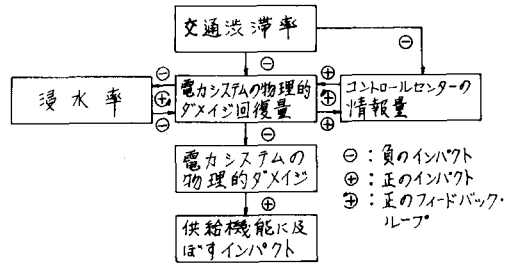
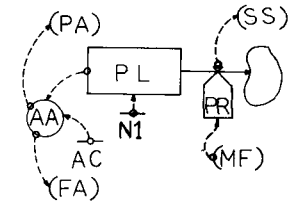


図-3 電力供給システムのフィードバックループ

3 結果

2-1の解析の結果、抽出した要素に関し1964年の新潟地震における被害の因果関係及び被害のレベルが構造的に明らかとなった。また複合災害による複数システムの同時機能低下は各システムに非線形な多重の影響を及ぼしていることが構造的に明らかとなった。更にライフライン相互間の関連性において電力システムの重要度が高いという結果が得られた。2-2の解析の結果、実際システムの挙動に比較的近い電力供給システムの回復モデルを得たと言える。また情報の不足、浸水率、交通渋滞の各影響変数と個々に変動させて計算した結果、電力システムの回復過程において強く影響を及ぼした因子を次のように得た。災害初期(地震発生後約18時間): 情報の不足、災害中期(18時間~6日目): 交通渋滞、災害後期(6日目以降): 水害 更に水害の早期収束が3影響変数中最も早期の回復と与えるという結果を得た。(図-5, F<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>)

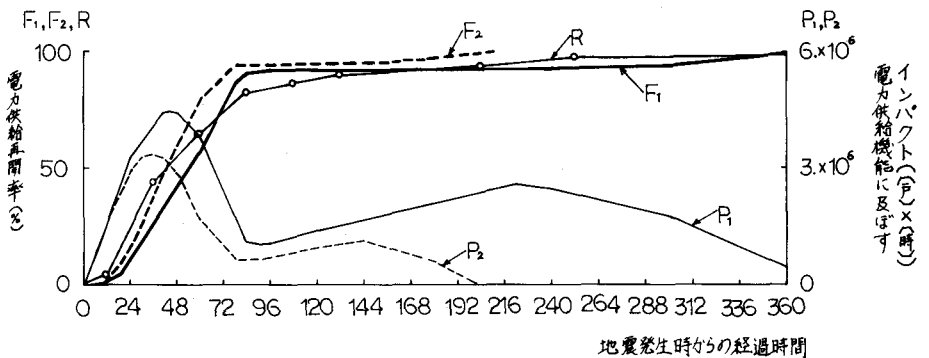


- PL: 電力システムの物理的ダメージ(回線)
- PR: 減少レイト(回線)/(時)
- AA: 電力供給停止率(P)
- PA: 供給機能に及ぼすインパクト(P)(時)
- FA: 電力供給率(無)
- MF: 実際に現れる回復量(回線)/(時)
- SS: 合計関数
- AC: 1回線あたりの供給率(P)
- N1: 電力システムの破壊回線数(回線)

図-4 物理的ダメージセクタ

4 おわりに

1964年の新潟地震について静的及び動的に被害の波及構造の解析を試みた。利用可能な種のデータが少いにもかかわらず解析はできたと考え、今後の大都市における地震被害の波及構造予測に適用可能であると考える。



- F<sub>1</sub>: 初期パラメタによる電力供給再開率
- F<sub>2</sub>: パラメタ変更後の電力供給再開率
- P<sub>1</sub>: 初期パラメタによる電力供給機能に及ぼすインパクト
- P<sub>2</sub>: パラメタ変更後の電力供給機能に及ぼすインパクト
- R: 電力供給再開率の実際値

図-5 電力供給再開率及び電力供給機能に及ぼすインパクト

- 1) Interpretive Structural Modeling
  - 2) System Dynamics
- 1), 2)共に理論の詳細については成書を参照されたい。