

## I-374

## 都市震災における機能被害の波及構造をやや定量的に評価する手法に関する研究

日本道路公団 正員      ○和氣 忠  
 東京大学生産技術研究所 正員      片山 恒雄

## 1. はじめに

今日の都市では、人口・社会機能の著しい集積を背景として、実に高度な社会活動が営まれている。都市における機能は相互に絡み合ってシステムを形成し、成長を続け、より高度な活動を可能としている影で、地震被害に対する脆弱性を増長させている。従って、都市における被害波及の問題は重大である。ところが、従来、被害の波及構造に関する研究例は少なく、定性的な検討にとどまっている。このような現況が、自治体による地震被害想定調査が、いま一つ現実的なストーリー性に欠け、受け手の興味をそそりにくい状況を生む一つの大きな原因となっている。そこで、本研究では、システム構造解析手法の応用を考え、「まず、やってみる」という方針でこの問題に取り組み、何とか定量的な形で機能被害を含めた波及構造図を描くところまで到達させる方法を模索することを目標とし、震後の状況想定に資することを目的とした。

## 2. 「まず、やってみる」という方針からFQSM法の発案まで

とにかく「まず、やってみる」という方針から、広く各方面に渡って有識者を対象としたアンケートを実施して被害項目を抽出し、KJ法によってメンタルモデルを構築した後、既存のシステム構造解析手法〔ISM法（Interpretive Structural Modeling）、FSM法（Fuzzy Structural Modeling）〕の応用を考えた。システム構造解析手法のプロセスは、まず、因果行列を評価し、べき乗による収束計算を行って可到達行列を求め、階層化、骨格化、図化するというものである。

本研究は、地震被害の連鎖関係をやや定量的に評価することを目標としているので、因果行列の評価は区間（0, 1）上の適当な値で行っている。（ISM法については閾値条件Pを導入し、骨格化の際にP未満の影響関係を棄却するように改めている）因果マトリクスの評定については、「AはBに影響するか」という設問に対して、

- |                       |     |                    |                 |
|-----------------------|-----|--------------------|-----------------|
| 1.0 ; 影響大             | かつ  | 結果を引き起こす可能性大       | 例) 停電→消灯        |
| 0.8 ; 影響大             | または | 結果を引き起こす可能性大       | 例) ブロック塀倒壊→死傷   |
| 0.6 ; 多少は影響を及ぼす       |     |                    | 例) ブロック塀倒壊→道路封鎖 |
| 0.4 ; どちらかと言えば影響関係はない |     | [可能性が極めて小]         |                 |
| 0.2 ; ほとんど関係無い        |     | [影響度極めて小, 可能性極めて小] |                 |
| 0.0 ; 全く関係無い          |     |                    |                 |

という6値による判断を採用し、連続数値関係で判断することを取って避け、言語感覚的に処理することで、評価の際のイメージと評価との整合性がとり易くなるように工夫している。すなわち、ファジィ理論（あいまい理論）の考え方を導入して、人間の感覚を積極的にフィルターとして利用することによって、「評価」の問題を乗り越え、「波及効果の演算方法」にMAX・MIN合成を用いた。（MAX・MIN合成とは、直列関係にはMIN、並列関係にはMAX、の演算を行うというものであり、影響度の伝播に関して合理的と考えられる。）

既存のISM法、FSM法による波及構造図では、定性的な表現に留まり影響関係の重みは表現できない。また、ISM法ではダイレクトな影響関係がその度合いに関わらず棄却され、FSM法はダイレクトな影響関係の評価に対して合理性に欠けていた。そして、FSM法のダイレクトなパスの不合理性を考えている折りにFQSM法（Fuzzy Quantitative Structural Modeling の頭文字をとって命名した）を発案した。この方法の特徴は、影響関係の重みを合理的に評価し、重み付きの矢印によって、定量的に影響関係を整理できることである。すなわち、強い影響関係を決して欠落させることなく、間接パスが存在しても、そのパスに

よって至る場合のトータルな影響度を直接的なパスによる影響度が上回る場合に、ダイレクトなパスを成立させるという考え方が基本になっている。

### 3. F Q S M法による波及構造図の一例

右図は「都心における主要な被害」についてまとめたF Q S M法による波及構造図の一例である。このように被害の連鎖関係の度合いがやや定量的に表現された図は、「何が重大問題なのか」を浮き彫りにするたいへん示唆に富んだものである。さらに、読み手の立場・価値観に応じた柔軟な解釈・判断が可能となっているので震後の災害イメージが喚起され、従来の定性的な表現に留まるものより大きく進歩している。

### 4. あとがき

F Q S M法は、地震被害の連鎖関係をやや定量的に表現できるので、地域特性や火災の有無、システム制御による影響、等の条件を考慮して因果行列の評価を行うことにより各ケースの様相が忠実に表現される。また、手軽な手法なので様々な地域、前提条件に対して試行を重ねることが容易で、たいへん有用性が高い。さらに、因果行列が可到達行列に至る過渡的な段階についても構造化が行えるようになっている。停電や上下水道停止によって引き起こされる日常的な被害など多種多様な方面・条件に対してもF Q S M法を試行し、有意義な波及構造図を得ている。参考文献1)を参照されたい。

本研究は、地震被害の波及構造に対してシステム構造解析手法の応用を検討したものであるが、システム構造解析手法は、本来、「人知の合作」を意識して発案された手法であり、学際的・業際的な活動、参加型の活動を大きくに援助するものである。ゆえに、システム構造解析手法のこのような効用が、地震被害想定調査に応用されてゆくことを大いに期待している。最後に、本研究にあたりアンケート調査をはじめとする御協力を頂いた全ての方々に謝意を表します。

### 参考文献

1)和氣 忠；機能被害に注目した都市震災の波及構造に関する研究

東京大学大学院土木工学専門課程修士論文 1988年2月

2)田村坦之；構造モデリング—理論とアルゴリズムを中心にして—, 計測と制御 Vol.18, No.2 1979.2.

3)田嶋栄一郎；あいまい理論による社会システムの構造化, 数理科学 No.191, MAY 1979

4)榎木, 河村；参加型システムズ・アプローチ手法と応用—, 日刊工業新聞社

F Q S M法による波及構造図  
都心における主要な被害〔6値による評定〕 閾値 $P=0.5$   
(火災からの波及を除く)〔システム制御支障による影響を考慮しない〕

