

(85) 地震被害波及構造モデルに基づくライフライン機能の相互関連性について

武蔵工業大学 工学部 正会員 星谷 勝
 産業能率大学 地域科学研究所 正会員 ○大野 春雄
 武蔵工業大学 大学院 学生員 山本 欣弥

1. はじめに

都市機能を有するライフライン系システムは電力、都市ガス、上下水道、交通、通信等からなり、それぞれの機能は都市生活に重要な役割を果たしている。このため、もし地震によってそれらの機能が停止された場合、住民生活および社会的な影響力は極めて大きい。ライフライン系システムの構成は、都市水準、生活水準の向上にともない複雑化し、新しい形態の災害の発生の危険性を高め、なおかつ、災害時の被害波及を広げる要因にもなっている。したがって、ライフラインの耐震性、信頼性の検討をはじめとし二次的被害の防止、最適な復旧計画の検討等も都市防災上重要な課題となっている。また、各々のライフラインは機能上、システムの構成上、相互間の関連性を持っていることからライフライン系全体を一つの巨大なシステムと考える必要がある。このことから、各々のライフラインに対する防災性の検討は相互関連性を十分把握し、システム全体における位置付けを明確にしてから行うことが自然の流れであると考えられる。

現在まで、ライフライン防災性に関する研究として、ライフライン施設の地震時挙動解析や地震時の被害予測および復旧予測等、多数行われているが、一つのライフラインを対象にして他から影響を受けていないと仮定したものが大部分を占めている。わずかに、各ライフライン間の相互関連性および重要度判断を考察したものはあるが、それらのほとんどはシステムの一部の大まかな概要を経験的につまり、研究者の主観によってとらえるにとどまっている。

そこで本研究では、被害波及過程の構造を求めめるために、現実性、網羅性に富んだライフラインの被害項目を抽出する。そして、社会システムの構造同定に用いられている手法を適用し、多階層有向グラフとしてモデル化する。この被害波及構造モデルに基づいて、地震時のライフライン系システム全体の機能構造および相互関連性を明確に示すものである。これにより総合的な視点で防災性の検討が可能となり、より現実面に即した研究を行うことができると思われる。

2. ライフライン被害波及構造の同定

社会システムの構造同定手法として、グラフ理論を基本としたISM¹⁾(Interpretive Structural Modeling)、DEMATEL法、FSM²⁾(Fuzzy Structural Modeling)等がある。ここでは、第一にISMにより基本的な被害波及構造モデルを求め、被害波及性状を把握し、ライフライン機能の相互関連性の初期的検討をする。第二に、このISMでの問題点を考慮し二項間のあいまいさを取り入れたFSMにより柔軟で現実性を持った構造モデルを構築する。そして、このモデルを基盤としたライフラインの相互関連性を明確に示し、その考察を行う。

表 1-1 直接被害項目 (LEVEL 1)

- * 1. 変電設備破壊 (変電所、トランスなど)
- * 2. 電線切断 (配電線、地中配電線、引き込み線など)
- * 3. 配電装置破壊 (柱上変圧器落下破壊、電柱転倒など)
- 4. 水力発電所破壊
- 5. 火力発電所破壊
- 6. 原子力発電所破壊
- 7. ダム破壊
- * 8. 指令系統・管理機能破壊 (電力、ガス、上下水道など)
- * 9. ガス埋設管破壊、突出
- 10. ガス配圧器破壊 (ガスガバナーステーションなど)
- 11. 燃料供給施設破壊 (貯蔵施設、パイプラインなど破壊)
- 12. ガスタング破壊 (ガス供給所破壊)
- 13. 水源破壊 (河川、地下水源、ダムなど破壊)
- 14. 水槽関係破壊 (貯水層、受水層、高築水槽など破壊)
- * 15. 水道管破壊 (水運橋、送水管、導水管、配水管など破壊)
- 16. 浄水場破壊
- 17. 給水性確保
- 18. 消火設備破壊
- 19. 下水収集施設破壊 (雨水ます、汚水ます、など破壊)
- * 20. 下水管、マンホールの破壊
- * 21. 下水処理場施設破壊 (沈殿池、エアレーションタンクなど)
- 22. ポンプ場破壊
- * 23. 電話線切断 (海底ケーブル、放送回線、パラボラアンテナなど切断)
- 24. 電話局破壊
- 25. 電話機破壊
- * 26. 異常稼働
- 27. 交通管制システム破壊
- * 28. 道路構造物破壊 (路体、法面、盛土、橋梁、トンネルなど破壊)

表 1-2 間接被害項目 (LEVEL 2)

- 29. 停電
- 30. ショート
- 31. 放射能汚染
- 32. ダム崩壊による水没
- 33. 爆発
- 34. ガス中毒
- 35. ガス圧低下
- 36. 埋設管による道路、鉄道軌道破壊
- 37. ガス供給停止
- 38. ガス漏れ
- 39. 水圧低下
- 40. 漏水
- 41. 断水
- 42. 汚水、水没
- 43. 下水汚物の放出、流出
- 44. 悪臭
- 45. 下水処理不能、低下
- 46. 河川汚染
- 47. 通信・遠征処理不能、低下
- 48. 情報混乱 (隠蔽、誤導情報不足、混乱など)
- 49. 交通機関の事故
- 50. 救援活動不能
- 51. 復旧活動不能
- 52. 交通障害 (交通渋滞、通行規制など)
- 53. 火災
- 54. パニック
- 55. デマ
- 56. 死者発生 (生き埋め など)

2-1. 被害項目の抽出

これは、十勝沖、新潟、宮城県沖地震等の実態調査報告書と各ライフラインのシステム構成を資料として、ブレーン・ストーミングにより項目の網羅性という点に注意しながら行った。そして、KJ法により類似項目の整理統合を行い項目の集約を計った。この段階において被害波及過程が解析結果に表現されるように、ライフラインの各機能における直接的な被害項目〔Level 1〕、直接被害に影響されて現われる被害項目〔Level 2〕、Level 2の間接的被害によって現われる被害、ここでは末端需要家に支障を及ぼす項目〔Level 3〕の三基準を設定し、これをもとに集約した(表1-1~3)。尚、これらの65項目は各ライフライン機能(電力、都市ガス、上水道、下水道、通信、交通)に分類できるよう整理されている。

次に、各被害における二項間関係を調べる。これは、一対比較により項目間の連結性や直接的な影響度を求め、二項関係行列(f_{ij})を作成する。ISMでは、 f_{ij} の各要素は二値関係で示せばよいが、FSMによる解析を考え、0.0~1.0の距離尺度上における二項関係を求めた。

2-2. ISMによる構造同程

二項関係行列(f_{ij})より二値行列に変換するために境界値 p ($p \leq f_{ij} \rightarrow 1$, $p > f_{ij} \rightarrow 0$; $p = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$)を設定し、ISMの直接関係行列を求めた。そして構造同定により求めた被害波及構造モデルを多階層有向グラフとして示す(図-1)。この構造モデルにおいて、 $i \rightarrow j$ は、被害項目*i*で被害項目*j*に影響を及ぼす事を表す。二重楕円は、その中の項目すべてが互いに影響を及ぼしていることを表す。又、二重楕円に向かう矢印はその中のすべての項目に向かっていることを表し、二重楕円からの矢印は、その中のすべての項目から出ていることを表す。この構造モデルが示すように、電力システムの停電②被害の影響度が高い。これに起因する電力関係以外の項目として上水道関係⑬, ⑭, ⑮, ⑯, ⑰がみられるが、これらからの波及過程から見て、影響度は低いと考えられる。ここで用いているLevel 1の直接被害項目には、過去の地震被害より発生の可能性が非常に小さい項目も含まれている。また、最終到達被害項目であるLevel 3には、項目の選定、グループ化において明確でない部分もある。そして、ISMの構造モデルでは、一般的な被害波及をとらえるにはある程度満足できるものの、ライフライン機能

表1-3 間接被害より支障をきたす項目(L3)

- 57. 公共機関 (政府機関, 警察署, 消防署, 刑務所, 郵便局, 電話局など)
- 58. 製造業 (工場, 一般会社など)
- 59. 娯楽業, 映画業などのサービス業
- 60. 教育, 医療機関, 銀行
- 61. 住民の家庭生活 (厨房設備, 料理不能, 水洗便所使用不能, 物価高騰など)
- 62. 卸売業, 小売業 (商店, 食堂, 風呂屋, デパート・スーパー, ガソリンスタンド, ホテル, 旅館, クリーニング屋, 営業納品業など)
- 63. 運輸関係 (道路, 港, 鉄道, 信号, 飛行機, 駅, 列車, 船など)
- 64. 放送, 新聞関係 (テレビ, ラジオ使用不能, コマーシャル不能, 通信教育不能, 踏案内機能, テレホンショッピングなど)
- 65. 社会的影響 (犯罪増加, 疫病発生など)

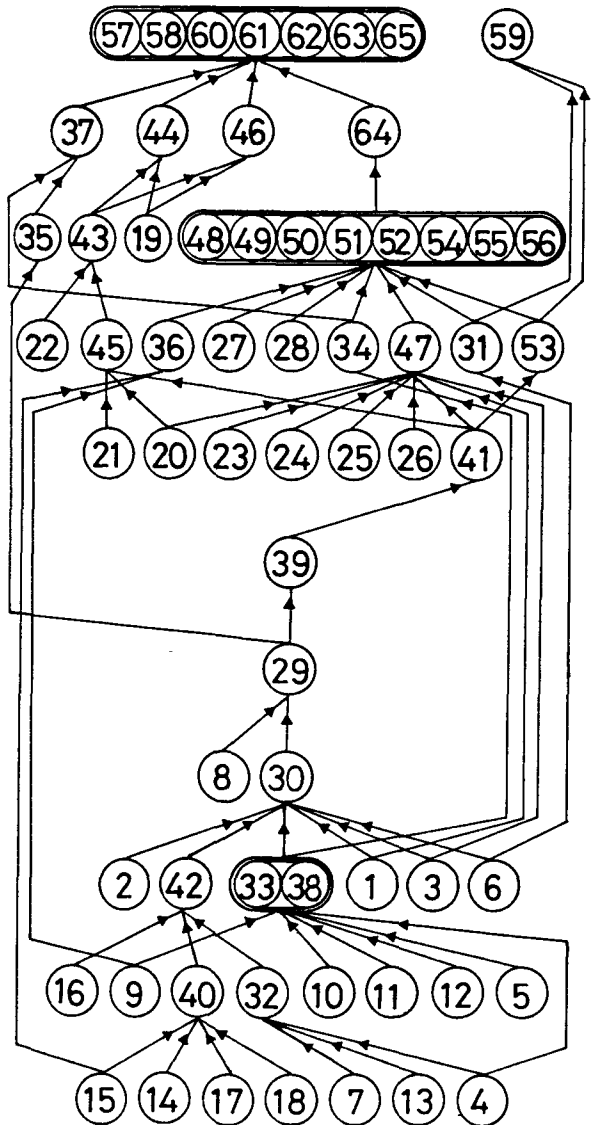


図1 ISMによる被害波及構造モデル(p=0.6)

⑯, ⑰がみられるが、これらからの波及過程から見て、影響度は低いと考えられる。ここで用いているLevel 1の直接被害項目には、過去の地震被害より発生の可能性が非常に小さい項目も含まれている。また、最終到達被害項目であるLevel 3には、項目の選定、グループ化において明確でない部分もある。そして、ISMの構造モデルでは、一般的な被害波及をとらえるにはある程度満足できるものの、ライフライン機能

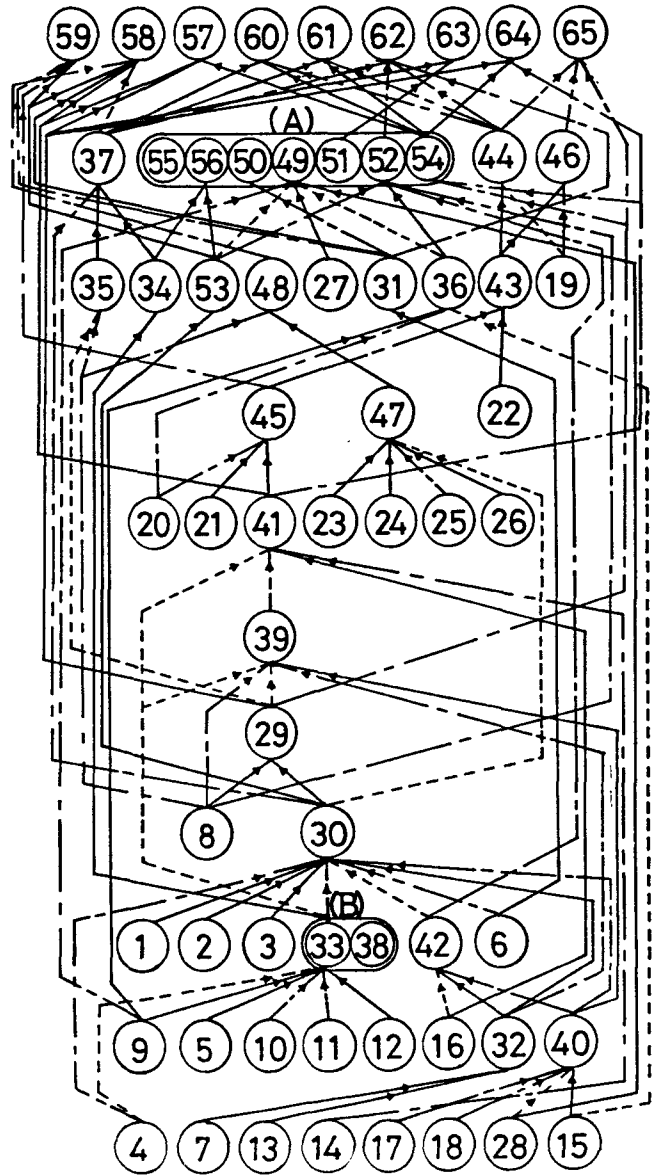
の相互関連性を明確に示す上では、問題がでてくると思われる。

2-3. FSMによる構造同定

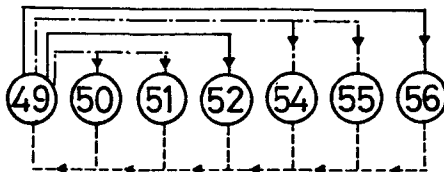
ISMの構造モデルの問題点を考慮し、FSMによる構造同定を行う。FSMでは、あいまい構造パラメータ(λ)により、ISMの有向グラフのような一意的に決まるものではなく、柔軟性をもった有向グラフを求めることができ、同時にその連結度を求めることができる。これらの特徴を生かしたFSM構造モデルよりライフライン相互間の関連性を明確に示すことが可能になる。FSMの手法説明は文献2)にゆずることとする。境界値 $p=0.6$ 、 $\lambda=-0.3$ の被害波及構造モデルを図-2に示す。ここで、項目間の連結度(f)すなわち被害が波及していく割合を $p \leq f \leq 0.6 \rightarrow$ 弱(破線)、 $0.6 < f < 0.9 \rightarrow$ 中(一点鎖線)、 $0.9 \leq f \leq 1.0 \rightarrow$ 強(実線)に分類した。

この構造モデルより各被害項目の位置付けについて考察する。1) ショート⑳は、電力関係の直接被害項目①、②、③、爆発㉓、水没、浸水㉔によって起因し、火災㉕、停電㉖に波及する。2) 水圧低下㉗は停電㉖、爆発㉓、漏水㉘、指令系統・管理機能の被害㉙によって発生し、断水㉚に波及する。3) ガス圧低下㉛は、停電㉖、ガス管破壊㉜、爆発㉓によって発生し、ガス供給停止㉝へと波及する。4) 道路破壊㉞は、ガス管破壊㉜、水道管破壊㉟によって起り、交通障害㉟、交通事故㉞へ発生をもたらす。5) 末端需要家への被害波及は、同レベル内での波及も考えられるため、非常に複雑であり、この部分を明確にするためには別のアプローチが必要となろう。

この構造モデルより理解される波及構造は实际的であり、全システムの波及過程およびそれらの関連をよく表現できていると判断される。被害波及を最小にするような対策などは、この構造モデルをもとにすることにより総合的な視野での検討ができるのではなからうか。また、波及割合を示す連結度を指標とした重点波及被害の検討もできるであろう。



(A)



(B)

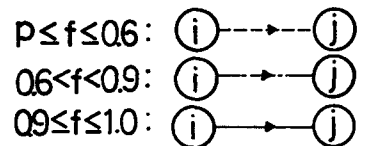
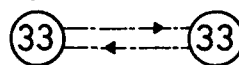


図2 FSMによる被害波及構造モデル($p=0.6$, $\lambda=-0.3$)

3. ライフライン機能の相互関連性

本研究では、FSMを用いたライフライン系システムの被害波及構造モデル(図-2)をもとに、電力、都市ガス、上水道のライフラインに着目して、他のライフラインとの相互関連性を、各々求めた(図-3, 図-4, 図-5)。ここで、現実的な各ライフラインの被害波及構造を求めるために、被害の可能性が高い直接被害項目(表1-1の*印項目)に着目した。

図-3より、電力システムは、「都市ガス」、「上水道」、「通信」、「交通」の各ライフラインに影響を与えている。この要因となる機能被害は、ショート、停電であり、電力にたよる他システムの状況が現われている。また、ショートによる火災の発生という二次的、3次の影響によっても他システムに支障を与えている。(停電)→「上水道システム」の連結度が弱連結である理由として、浄水場、ポンプ場等に自家発電機を備えている等が考えられる。図-4より、都市ガスシステムは、「上水道」、「電力」、「交通」の各ライフラインに影響を与えているが、その要因としては、(爆発)等の二次的、3次のものがほとんどである。図-5より、上水道システムは、「下水道」、「電力」、「交通」の各ライフラインに影響を与えている。このうち、「下水道」に影響する被害項目は(断水)であり、これは、上水道システムが、「下水道」の機能に直接的な影響を与えていることを表わしている。「電力」、「交通」へ影響は(浸水)であり、これは、上水道システムには二次的3次の被害であり、これら2つのシステムへの影響度は低いと考えられる。総括すると、今回着目した3つのライフラインの中で、電力システムが、その機能の他への影響が広く、大きいと言える。つまり、電力システムの機能障害は直接的に他のライフラインの機能に影響を与える。逆に、都市ガスシステムは、他のライフラインへの影響度が小さいと言える。上水道システムは、前述の2つのライフラインの中間に位置すると言える。

4. おわりに

今後、求めた構造モデルを基盤として、ライフライン系システムの相互関連性をより詳細に示し、地震に対する都市機能の防災性の確保の問題についての検討や、ライフライン系システム全体の機能の回復を目的とした復旧計画等の検討、あるいは、システム全体の中での各々のライフラインの重要性の検討を行う予定である。参考文献；1) 河村：複雑な社会問題を取扱う一手法：Interpritive Structural Modeling, 計測と制御, 16-1, 157/161(1977)

2) E. Tazaki and M. Amagasa : Structural Modeling in a Class of Systems Using Fuzzy Sets Theory, International Journal for Fuzzy Sets and Systems. Vol.2, PP.87/103(1979)

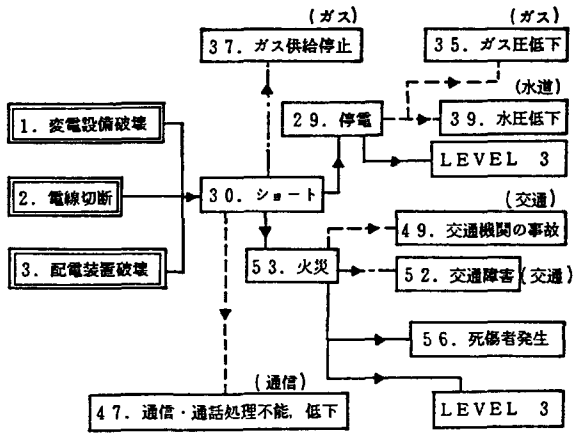


図3 電力システムに着目した相互関連図

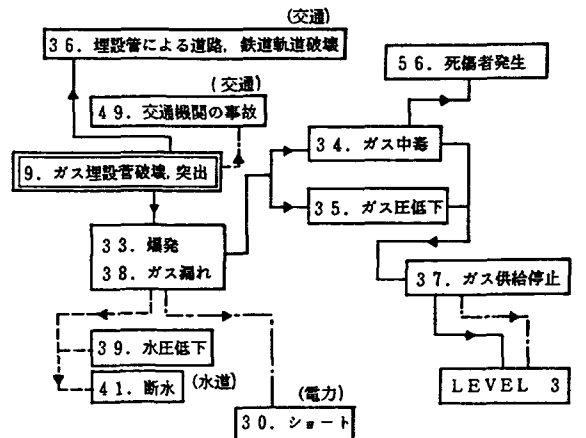


図4 都市ガスシステムに着目した相互関連図

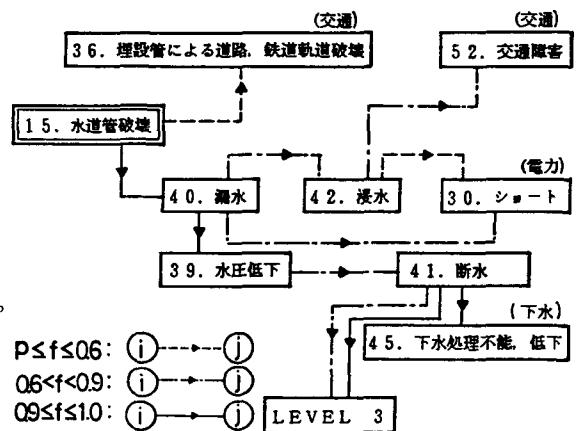


図5 上水道システムに着目した相互関連図

