

震災後のライフラインの復旧最適化に関する研究

豊橋技術科学大学大学院 ○ 川辺 裕晃
 豊橋技術科学大学 正会員 栗林 栄一

1. 序論

近年の都市部における震災事例に見られるように、ライフラインが破壊されることにより地域住民が被る間接被害は大きく、震災後のライフラインの効率的な復旧は複雑な都市機能を維持する上で重要な課題となっており、様々な研究がなされている。本研究ではそれらをつまえて、復旧段階を応急復旧段階と本復旧段階に分けて都市ガス供給システムの復旧の最適化の手法を提案する。応急復旧段階では最適な資源配分について、本復旧段階では複数の要因を考慮した復旧方針の提案をする。また応急復旧段階における活動が全体的な復旧に与える影響を検討するとともに、現行の復旧方法と比較検討を行う。

2. 応急復旧段階

都市ガス供給システムの応急復旧活動は、出火や有毒ガスの拡散等の二次災害の防止と共に、供給停止ブロックの低減を図るという意味がある。都市ガス供給システムの特徴として一旦供給を停止をすると、そのブロックの全ての需要家に対して閉栓から開栓の作業を行わなければならない、供給の全面的再開までに多大な時間を要する。被災状況が軽微であれば迅速に応急復旧を行い、供給停止を実施するブロックを減らせば全体的な復旧時間を短縮することが出来る。

本研究では二次災害発生の防止という点を考慮し、適当な復旧資源（復旧班）が被災箇所に行き渡るまでの時間を最小にするような資源配分を考える。図1は復旧拠点と被災地の関係を示したものである。ここで復旧拠点 x が保有する復旧資源数を S_x 、被災箇所 y で必要な復旧資源数を D_y 、復旧拠点 x から被災箇所 y へ復旧班の移動時間を T_{xy} としたときの復旧班の累積移動時間を最小化したときの解を最適資源配分とする。

すなわち制約条件

$$\sum_{y=1}^n f_{xy} = S_x \quad (x=1, 2, \dots, m) \quad (n: \text{被災地数}, m: \text{復旧拠点数})$$

$$\sum_{x=1}^m f_{xy} = D_y \quad (y=1, 2, \dots, n) \quad \text{のもとで、}$$

$$\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n f_{xy} T_{xy} \rightarrow \text{MIN.} \quad \text{とすればよい。}$$

この問題は二部グラフにおける輸送問題として捉えることができるので、シンプレックス法を応用することで最適解を求めることができる。また、モデル化した各ノード間の移動時間は被災道路網を回避した最短時間経路とし、ウォーシャルフロイド法により与えるものとし、応急復旧する被災箇所の選択は復旧拠点からの距離、被災規模、被災箇所より下位の需要家戸数、特殊需要家の有無により決定するものとする。

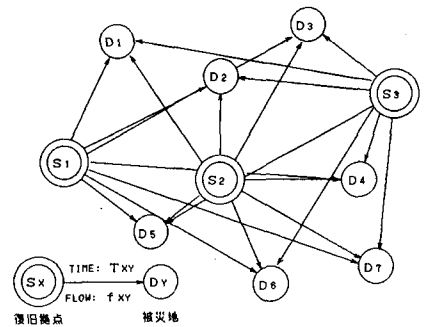


図1. 応急復旧段階モデル図

3. 本復旧段階

本復旧段階では、中圧管路網と低圧管路網のそれぞれの特性を考慮した復旧活動が行われなければならない。中圧管路網ではネットワークの特性を考慮し、各被災箇所を順次復旧したとき、供給所から連結可能な需要家戸数が最大になる被災箇所を優先復旧していくものとする。

低圧管網ではガバナー等を基本単位としたブロック化を行い、そのブロック単位での復旧を以下に示す各復旧方針（優先順位）に従い行う。本研究では既往の研究⁽¹⁾で使用されている各ブロックごとの供給率、被害率に着目した優先順位の他に、相互結合型ニューラルネットワークを用いることによって複数の要因を考慮した復旧優先順位の決定方法⁽²⁾を提案し、以下にその概略を述べる。

被災箇所数が n 箇所存在するとき復旧順位は $n!$ 通り存在し、全ての組み合わせを求め最適解を得るのは困難である。このような問題（NP完全問題）の近似解法として有効性が認められているのがHopfieldネットワークである。これは制約条件を定式化して多重一次形式で表したものを目的関数とし、これが最小値をとる時のニューロンの状態で最適解を表現する方法である。本研究で用いる目的関数は次式で表される。

$$E = \frac{A}{2} \left(\sum_x \sum_{j \neq i} \sum_i V_{x, i} V_{x, j} \right) + \frac{B}{2} \left(\sum_x \sum_{x \neq y} \sum_i V_{x, i} V_{y, i} \right) + \frac{C}{2} \left(\sum_x \sum_i V_{x, i} - n \right)^2 + \frac{D}{2} \left(\sum_x \sum_{y \neq x} \sum_i d_{x, y} V_{x, i} (V_{y, i+1} + V_{y, i-1}) \right)$$

$d_{x, y}$; 被災箇所の評価値, $V_{x, y}$; ニューロンの出力値, x, y ; 被災箇所

i, j ; 復旧優先順位, A, B, C, D, n ; フリーパラメータ

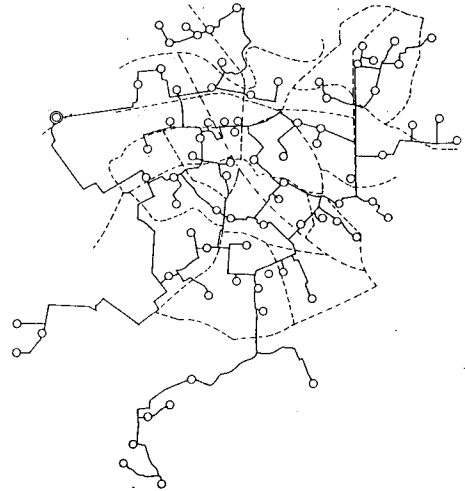
ここで第1項は被災箇所に1回だけ訪問する制約条件、第2項は復旧班が異なる被災箇所に同時に存在できない制約条件、第3項は復旧順位マトリックスの1の成分の合計数 n に拘束する項、第4項は被災箇所間の距離関係を現す。

以上の各復旧方針を採用した場合の被災後から経過時間 t における復旧度の評価は構造的復旧率と機能的復旧率を定義し比較検討する。

4. 復旧シミュレーション

シミュレーション対象は中圧管及び低圧管で構成される中規模都市ガス供給システムであるCガスのT地区供給網（総需要家数66750戸、中圧導管総延長距離123km）とし、図2にその中圧管路網図を示す。図中の◎は供給所、○はガバナーを表している。また、この供給網は地震後の復旧対策として予め30のブロックに分割されており、これを破線で示す。被災箇所は東海地震発生後を想定し、液状化危険度等の被害発生要因を考慮し確定する。

なお復旧過程は供給を再開された累積需要家数や累積導管延長距離などの時刻歴で表現されることから、システムダイナミックスを用いモデル化する。



2. T地区中圧管路網図

5. まとめ

簡単ではあるが応急復旧段階における最適化の手法を示した。これにより応急段階の復旧方針が復旧活動全体与える影響を予想できると思われる。ニューラルネットワークを用いた優先順位の決定法はネットワークの収束等にまだ問題点があり検討中である。最終的な結果は講演時に発表する。

●参考文献

1. 白石浩司、土岐憲三：ガス供給網の震災復旧支援システムに関する研究、土木学会第43回年次学術講演会講演概要集pp.792-793、1988.10
2. 新納格、栗林栄一：地震災害危険度及び震災復旧手順決定へのニューラルネットワークモデルの適用、構造物の安全性及び信頼性 (Vol. 2) pp563-566, 1991.11