

被災したライフラインの復旧順位決定に関する研究

豊橋技術科学大学大学院 学生員 ○安井 精
 豊橋技術科学大学 正員 新納 格
 同上 正員 栗林 栄一

1. 序論

都市が地震によって被災した場合、最も破壊的なダメージを受けるのは、地震とその結果引き起こされる二次的災害である。地震動による建物の倒壊、地割れなどによる火災、ガス、水道、電気、交通網、通信機能といったライフラインの被害が、高度に発展し、過密化した現在の都市においては想像を絶する被害へと発展しかねないことは言うまでもない。さて、そのなかでも道路交通網は、消防、救援、復旧、輸送路確保といった重要な機能を有しており、機能低下による影響、損失が特に大きなものと考えられる。そこで、本研究では道路網の持つ様々な性格をふまえ、ニューラルネットワークによる手法を用いて、被災道路網の復旧順位決定の一手法を示し、その有用性について考察した。

2. 相互結合型ニューラルネットワーク[1][2]

地震被害により被災箇所を復旧順序を与える場合、その解は $(N-1)!/2$ (N は被災箇所数) 通り存在し、 N が大きくなるにつれて、解は指数的に増大することになる。本研究では、このような組み合わせ最適化問題のニューラルネットワークによる近似解法を応用することによって、復旧順序を決定する。表1は $N=5$ の場合の可能な1つの解(復旧順序)を1つの行列で表現したものである。このような行列の各要素をニューロンに対応させることによって、ニューラルネットワーク上に表現させる。 N 箇所の場合、行列上に並べられたニューロンの総数は N^2 個で各ニューロンは行の添字 X (被災箇所 $X=1\sim N$) と列の添字 i (順序 $i=1\sim N$) で指定する。ネットワークの1つの状態(図1のような行列)が1つの復旧順序の解に対応するとし、このような1つの復旧順序に対する評価値を E とし次式で与える。

$$E = A/2 \left(\sum_X \sum_{i \neq j} V_{X,i} V_{X,j} \right) + B/2 \left(\sum_X \sum_{X \neq Y} V_{X,i} V_{Y,i} \right) + C/2 \left(\sum_X \sum_i V_{X,i} - n \right)^2 + D/2 \left(\sum_X \sum_{y \neq X} \sum_i d_{X,y} V_{X,i} \right. \\ \left. (V_{Y,i+1} + V_{Y,i-1}) \right) \quad (1)$$

ここで、 $d_{X,y}$: 被災箇所間の評価値、 $V_{X,y}$: ニューロン出力、 X, y : 被災箇所、 i, j : 復旧順序、 A, B, C, D, n : フリーパラメータ

表1 復旧順序の行列表現

この場合順序はc-a-d-b-e

	1	2	3	4	5
a	0	1	0	0	0
b	0	0	0	0	1
c	1	0	0	0	0
d	0	0	1	0	0
e	0	0	0	1	0

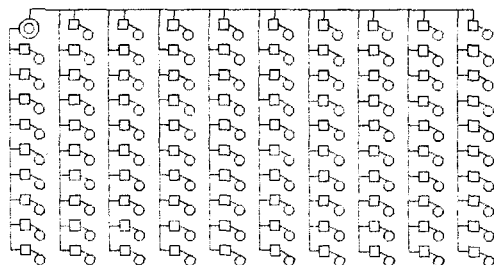


図1 10*10のニューラルネット ◎: $V_{1,1}$, ○: ニューロン,
 □: シナプス この場合 $V_{1,1}$ についてのみの結合図
 を示している。実際にはこの100倍の結合がある

エネルギーEにおいてA項は被害箇所1に1回だけ訪問する制約条件、B項は復旧工事者が異なる2つの被害箇所と同時に存在できない制約条件、C項は復旧順番マトリックスの1の成分の合計数をnに拘束する項、D項は被害箇所間の距離関係を現す。ニューロンに対する入力 $u_{x,i}$ は式-2,式-3,式-4に従い、エネルギーを減少させるように変化させる。

$$du_{x,i}/dt = -u_{x,i}/\tau - A \sum_{j \neq i} V_{x,j} - B \sum_{y \neq x} V_{y,i} - C \left(\sum_x \sum_j V_{x,j} - n \right)^2 - D \sum_y d_{x,y} (V_{y,i+1} + V_{y,i-1}) \quad (2)$$

$$V_{x,y} = g(u_{x,i}) = 1/2 \{1 + \tanh(u_{x,i}/u_0)\} \quad (3)$$

$$u_{x,i} = u_{x,i-1} + (du_{x,i}/dt)/\Delta t \quad (4)$$

ここで、 $\tau, \Delta t, u_0$; フリーパラメータ。

3. 復旧順序最適化問題への適用

式1のエネルギー関数が最小値をとるという性質を利用し、Eが最小の場合に対応する解を最適な復旧順序とする。また、復旧拠点からの距離、復旧日数、自動車類交通量、貨物車類交通量を各被害箇所の持つ性質として考え、それらを用いて主成分分析[3]を行い第1主成分、第2主成分をX, Y軸とする2次元平面を考え、各座標間の距離を dx_{ij} として与え復旧順序を決定する。

4. 考察

図3にニューラルネットワークによる試算結果と論文[4]で報告された復旧方針による道路網の機能損失復旧過程を比較した。ニューラルネットワークによって決定された復旧順序は他の復旧方針と比べても遜色がないと言える。また、復旧箇所までの距離を考慮すると今回のニューラルネットワークを用いた結果が有効であることが分かった。また、今回は道路網を対象としたが、道路網被害のようにその復旧に何日も要するものよりも、電話網、ガス、といった数時間単位で復旧が行え、その移動時間が復旧過程に大きく影響を及ぼすようなライフラインに対しニューラルネットワークによる方法が有効であると思われる。

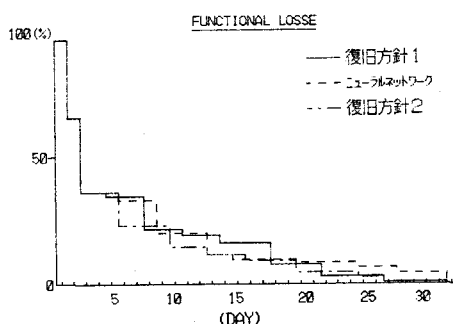


図2 機能損失の復旧過程

復旧方針1：復旧時間の短い順

復旧方針2：(平常時リンク交通量／
総復旧時間)の大きい順

参考文献

- 1) 中野肇、飯沼一元他：入門と実習 ニューロコンピュータ, 技術評論社, 1989年
- 2) 新納 格：地震災害危険度評価及び震災復旧順序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年11月
- 3) 古林 隆：ネットワーク計画法, プレイマイコン・シリーズ6, 培風館, 1984年10月
- 4) 山田善一他：震後の道路交通機能の実用的な復旧予測シミュレーション, 京都大学工学部