

IV-52

地震災害時の道路ネットワークの信頼性と確率重要度

名城大学都市情報学部 正員 若林拓史

1. 阪神淡路大震災と交通システムの問題点

1995年1月17日午前5:46に発生した阪神淡路大震災(M7.2)では、死者不明5,500名以上、倒壊建物107,000以上の被害をもたらした。戦後我が国最大の災害となった。この地震では、交通システムが全滅状態となったことは周知の通りである。

今回の地震における交通システムの問題点は、都市交通と国土幹線交通とに分けて論ずることができる。まず、都市交通ネットワークは、橋梁や盛り土の被害、斜面崩壊、地盤の液状化などにより寸断されたため、交通がほとんど不可能になった。そのことが原因となって地震直後から大渋滞が発生し、消防活動、救出救急救命活動等が大きく阻害され地震被害が拡大することとなった。さらに、緊急物資輸送、復旧活動等にもきわめて大きな支障をもたらした。最近の都市地震に関して、震後のODパターンの変化の大小、都市の経済活動の回復の早さ、交通ライフラインの損傷の程度に関して概略的に分類すると図-1のようになる。同じ直下型地震であり、1年前の同じ日にロサンゼルスで発生したノースリッジ地震と阪神大震災とは地震の規模が違うことがわかる。ただし、大阪地区の都市高速道路網の損傷は、ロサンゼルスとはほぼ同様であると思われる。

また、国土幹線交通については、主要な交通システムが兵庫県南部に集中していたために、重要な東西基幹交通が長期にわたって遮断され、物流人流に

大きな影響を与えた。また、交通システムが輻輳的に構成されていたので、立体交差部分の落橋によって2つの交通システムの共倒れのシステムダウンが多数発生した。これは新しい地震被害の形態である。

今回の地震被害を通じて、ネットワークの一部が機能不全に陥っても、ネットワーク全体としては機能を果たす¹⁾ことの重要性が再認識された。また、単なる連結信頼性ではなく、円滑な交通サービスで地域間を連結することの重要性も認識された。さらに、信頼性の高い通路の確保が、救急車や消防車等の緊急自動車の通行に便宜を与え、救出救急救命活動や消防活動によって災害の拡大を防ぐことに大いに貢献する²⁾ことも再認識されたといえる。

本研究では、信頼性解析における確率重要度をとりあげ、今回の被害の特徴である立体交差部の重要度を定量化し、さらに新聞等で発表された兵庫県の復興ネットワークに対し、信頼性と確率重要度を計算している。

2. ブール演算法と確率重要度

ネットワークにおけるノード間信頼度 R をブール演算法³⁾で計算する。ノード間信頼度 R は、各リンクの信頼度ベクトル $\mathbf{r}$ の関数であり、

$$R(\mathbf{r}) = E[1 - \prod_{s=1}^p (1 - \prod_{a \in P_s} X_a)] \quad (1)$$

で与えられる。ここに X_a は、リンク信頼度 r_a を $E[X_a] = r_a$ で与える確率変数であり、 P_s は s 番目のミニマルパスセット、 p は選択パス数である。 p がノード間のすべてのパス数とすると R は信頼度の厳密値を与え、部分的なパスであれば下限値を与える³⁾。リンク信頼度のリンク間での従属性は考慮していない。本ブール演算法では、式(1)を記号処理的なアルゴリズムで多項展開し、ブール演算処理を行って信頼度を求めている。

リンク a の確率重要度 IP_a は、

$$IP_a = \partial R(\mathbf{r}) / \partial r_a \quad (2)$$

で与えられる³⁾。確率重要度には $0 < IP_a \leq 1$ とい

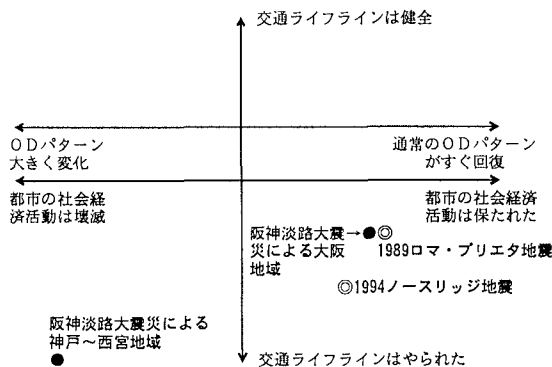


図-1 最近の都市地震の位置づけ

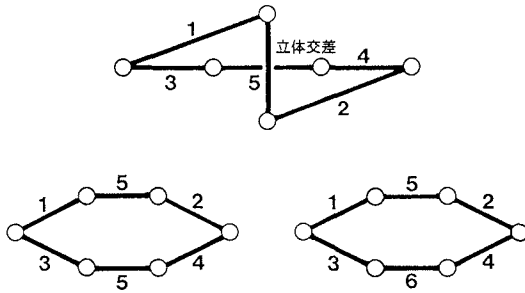


図-2 立体交差とその等価的表現

表-1 立体交差部確率重要度（ケース1）

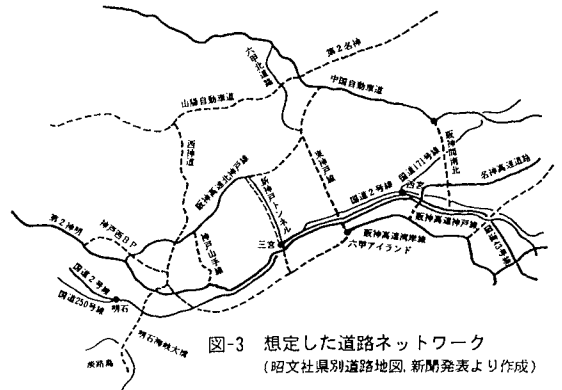
信頼度		確率重要度	
		タイプ1	タイプ2
リンク信頼度	link 1	0.9000	0.1710
	link 2	0.9000	0.1710
	link 3	0.9000	0.1710
	link 4	0.9000	0.1710
	link 5	1.0000	0.9639
	link 6	1.000(Type2)	0.1539
ノード間信頼度		0.9639	0.9639

う性質があり、そのリンクの信頼度の維持（もしくは向上/低下）がノード間信頼度の維持（向上/低下）に与える影響度を知ることができる。確率重要度の高いリンクでは信頼度の維持の重要性がより高く、またそのリンク信頼度の低下がノード間信頼度の低下に大きく寄与するために、冗長性を高める必要性も高いといえる。ブール演算法では計算過程で確率変数の情報が保存されるため、このような解析的な分析が可能である。

図-2上のような簡単なネットワークでリンクの共有（左図）と通常の並列システム（右図）を比較すると、ノード間信頼度は同じであるのに、確率重要度が大きく異なっていることがわかる（表-1）。このように、確率重要度を用いることで、立体交差部の重要度を計量化できることがわかる。

3. 兵庫県復興道路網における信頼度と確率重要度

図-3は新聞等で発表された復興ネットワークとされる道路網である。このネットワークの特徴は、従来は神戸市内は主に東西間交通路のみで構成され、南北軸交通路が不足していたのに対し、六甲山北部の東西道路と南北方向道路によって接続し信頼性を高めようとしている点である。このネットワークに


図-3 想定した道路ネットワーク
（昭文社県別道路地図、新聞発表より作成）

対しノード間信頼度（大阪～三宮間）の信頼度と確率重要度を計算する。交通量等のデータは地震直後の諸状況を考慮し、自力入手容易なものとして土木学会緊急報告会資料⁴⁾、阪神高速道路交通量調査資料、専門誌『高速道路と自動車』等の交通量データを用いた。

本分析の特徴は、

- ① 交通量を考慮した信頼性解析であること、
- ② 確率重要度を計算していること、
- ③ いくつかのルートが寸断された場合の信頼性解析を迂回交通量を考慮し、数種のケース間比較を行っていること（ただし、交通量配分を行っていないので簡略な考慮である）、
- ④ ネットワーク形状の代替案を考え、その信頼度と確率重要度も計算していることである。

なお、リンク信頼度 r_a の推定は、文献5)の方法によった。詳細な計算結果は講演時に発表するが、得られた結果の概要は、

- (1) 六甲山北部ルートによって信頼性は向上するが、
- (2) (1)のルートが中国自動車道の信頼度に大きく依存するため中国道の確率重要度が大きく算出され、何らかの対策が必要等のことが明らかとなっている。

参考文献：

- 1) 飯田恭敬・若林拓史：ODパターンと道路網パターンの相連による道路網信頼性のマクロ的考察，交通工学，Vol.23，No.3，pp.9-19，1988.
- 2) 若林拓史・飯田恭敬：交通管理運用策による道路システムの信頼性向上効果，土木計画学研究・講演集 14(2)，pp.51-54，1991.
- 3) 飯田恭敬・若林拓史：ブール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法，土木学会論文集，No.395/IV-9，pp.75-84，1988.
- 4) 土木学会：阪神大震災災害調査緊急報告会資料，pp.53-61，1995.
- 5) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法，土木学会論文集，No.458/IV-18，pp.35-44，1993.