

名城大学都市情報学部 正員 若林 拓史
東京建設コンサルタント 正員 ○ 柚木原裕二

1. はじめに

システムの信頼性解析は、システム規模が拡大するにつれて、指数的に計算量が増加しきわめて解析が困難である。このため、厳密解法に対して種々の近似解析法が提案されてきたが、それでも大規模システムの解析には種々の困難が存在する。筆者らが提案してきている交点法は、道路網が有している特性、例えば電気通信回路等の他のシステムでは長大な迂回が冗長性の重要な要素であるのに対し、交通では長大な迂回はしない、等の諸特性を考慮した解析法である。小数点以下数桁以上の厳密性よりは、道路網の整備水準を議論するために必要な精度を確保し、同時に大規模システムの信頼性解析がきわめて容易という大きな特徴を有している。しかしながら、交点法を含めて従来の信頼性解析のきわめて多くが、ユニットの故障の独立性を前提としてきた。これは、解析法が信頼性グラフ理論を基礎としていること、数学的記述の容易性に起因していると考えられる。

一方、現実のシステムでは、ユニット間の故障が他のユニットの故障との従属性を有していることが多く、道路網の信頼性解析においてもこの問題の明示的考慮がなされていないという問題が残されている。従属故障の解析については、近年研究が進展してきているが、適用可能な従属故障のタイプはかなり限定されており、真の従属故障を考慮した方法とはいえない。これに対し、現場における従属故障の考慮は、長期にわたって蓄積された経験と技術者の工学的判断による数値計算上での補正で行われている。このことは、ユニット間の故障に従属性があっても、独立性の前提で構築された信頼性解析法が有用に利用されていることを示している。しかし、このような独立性を前提としても、信頼度計算の実行可能性がなかなか保証されないという問題があることは、上記で述べたとおりである。交点法において

も、リンク間の故障に従属性が存在しても、道路網整備代替案の効果の推定や交通管理運用策の代替案比較には利用可能であるという立場に立っている。道路網における従属性の考慮は、その主たる原因が交通量に起因するために、ある程度の単純化が可能かもしれない。本研究では、計算の実行可能性を保証しながら、従属性をできるだけ考慮できる道路網信頼性解法を考察する。

2. 基本的考え方と計算方法

従属性を考慮した信頼性解析法の構築にあたっては、以下の事項が要件となる。

- (1) 従属性の考慮はシステム信頼度の計算実行可能性という条件と両立させる必要がある。
- (2) 計算実行可能性を目指して開発されてきた従来の方と、可能な限り調和する方法であること。
- (3) 境界条件を満足させること。または、独立性に基づいた方法論を包含すること。
- (4) 計算に際して、入力データが入手容易であること。あるいは、利用可能なデータに基づく手法であること。

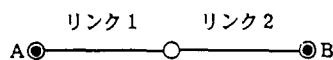


図-1 直列システム

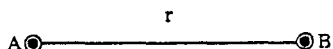


図-2 完全従属の場合の直列システムの等価的表現

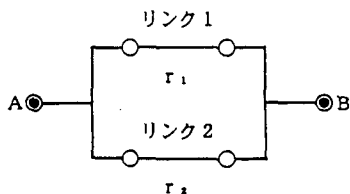


図-3 並列システム

対象ノード間のミニマルパス、ミニマルカットを
考え、 l リンクから構成されるミニマルパスの信頼
度 R_p を、従属性を考慮して、

$$R_p = r_1^{(1-f_1)} \cdot r_2^{(1-f_2)} \cdots r_l^{(1-f_l)} \quad (1)$$

で表現する。同様に、 l リンクから構成されるミニ
マルカットの信頼度 R_k を、

$$R_k = 1 - (1 - r_1)^{(1-g_1)} \cdots (1 - r_l)^{(1-g_l)} \quad (2)$$

で表現する。ここで、 f_i と g_j は、リンク間の従属
性を表す変数となっている。このような表現を利用
して従来どおりの信頼性解析を実行すれば、信頼性
解析が行えるのではないかと考えられる。そして、
どのようにして f_i や g_j を与えるかという問題に帰
結する。

図-1の2リンク直列システムを考える。リンク故
障が完全従属であると図-2のような1リンクシス
テムとなる。リンク1と2との間に何らかの関連性
を表す指標 σ_{12} を導入する。 σ_{12} は、区間 $[0,1]$ の変
数で、0に近いほどリンクどうしの独立性が高く、
1に近いほど従属性の度合いが高くなるものとする。
式(1)の特別な場合として、ノード間信頼度 R を、

$$R = r_1^{(1-\sigma_{12}/2)} \cdot r_2^{(1-\sigma_{12}/2)} \quad (3)$$

で定義すると、 $\sigma_{12} = 0$ (独立の場合) のとき、
 $R = r_1 \cdot r_2$ となり、 $\sigma_{12} = 1$ (完全従属の場合)
には、 $R = r_1^{1/2} \cdot r_2^{1/2}$ となり、特に $r_1 = r_2$
 $= r$ のときには、 $R = r$ となって、上記の場合
を统一的に表現でき、中間的な状態も連続的に表現
できる。また、図-3のような2ユニット並列シス
テムに対しても同様の考え方が可能である。

この方法は単純な方法かもしれないが、従来の信
頼性解析法とは調和しにくい方法である。すなわち、
従来の信頼性解析法では、近似解析法であっても、
計算過程に論理積や論理和、あるいはブール演算
($r \cdot r = r$ となる演算原則で r^2 とはならない) が存在
している。これらの計算原理は、重みや乗累の概念
と相反するために、上記のような計算式が許容され
なかったものと考えられる。

研究のフローを図-4に示す。 f_i や g_j を最初はリ
ンクフローやリンク信頼度の相関係数等(実際には
観測不可能)で与えて妥当な方法を検討し、次にそ
れらの代替変数を利用する方法へと発展させている。

交通量配分シミュレーションモデルを作成し、O

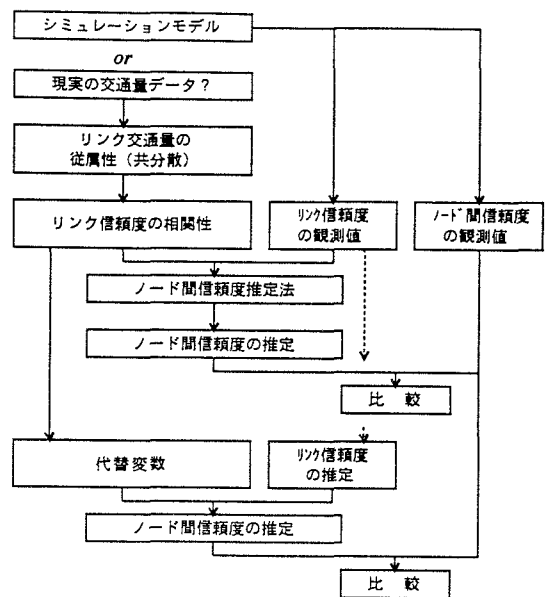


図-4 研究のフロー

表-1 O-D間信頼度の比較(リンク交通量の相関係数を利用)

O-Dペア	ノード間信頼度	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
1	シミュレーションからの観測値	1.0000	0.8400	0.7600	0.6400	0.2200	0.3800
	方法1(パスによる)	1.0000	0.9720	0.9560	0.9040	0.7050	0.7470
	方法2(カットによる)	—	0.8370	0.7210	0.5920	0.1520	0.3920
	方法3(1と2の平均)	1.0000	0.9045	0.8385	0.7480	0.4285	0.5695
2	シミュレーションからの観測値	1.0000	0.8200	0.7600	0.6200	0.2200	0.3600
	方法1(パスによる)	1.0000	0.9450	0.9090	0.8060	0.4340	0.5530
	方法2(カットによる)	—	0.8200	0.7210	0.6180	0.1550	0.3920
	方法3(1と2の平均)	1.0000	0.8915	0.8150	0.7120	0.2945	0.4775
3	シミュレーションからの観測値	1.0000	0.8400	0.7800	0.6600	0.2400	0.4000
	方法1(パスによる)	1.0000	0.9610	0.9810	0.8440	0.6930	0.6530
	方法2(カットによる)	—	0.8230	0.6760	0.5710	0.1160	0.4070
	方法3(1と2の平均)	1.0000	0.8920	0.8285	0.7075	0.4045	0.5300

D交通量変動を与え、繰り返し交通量配分を行う方
法でこの方法の検討を行った。配分シミュレーショ
ンからは、リンク信頼度、リンクフロー、ノード間
信頼度等が直接観測できる。また、多数回シミュレ
ーションを繰り返すことで、リンクフローやリンク
信頼度のリンク間における相関係数が計算できる。
リンク信頼度の観測値とリンクフローやリンク信頼
度の相関係数を用いて、式(1),(2)でパス、カットの
信頼度を計算し、ノード間信頼度を推定した。式
(1),(2)の厳密値に対する上・下限値性が保証されな
いので、従来の交点法が使えない場合もあり、方法
1(パスによる方法)、方法2(カットによる方法)、
方法3(両者の平均)を用いた(表-1)。方法2で
比較的良好な値が得られている。今後は、適切な代
替変数の検討が必要となる。

参考文献: 1) 若林・柳本: 従属故障を考慮した道路網信頼性解
析について、平成6年度土木学会関西支部年講, pp. IV -54, 1994.