

交通管理運用策による道路システムの信頼性向上効果

Traffic Control for High Reliability Road Network Systems

若林拓史*，飯田恭敬**

A high reliability road network provides sure and stable traffic service by offering drivers alternative routes even when some part of the network is unavailable due to traffic accidents, maintenance construction or disaster. Thus, reliability is an important indicator of present road network quality for constructing an enduring future network. This paper proposes reliability as a new indicator for advanced management and future construction of road networks to take risks into consideration. This article firstly discusses the significance of road network reliability and the benefits of increasing reliability. Next, this paper demonstrates the change of reliability for highways in parallel when traffic flow is controlled by inflow control. It is shown that traffic control is valid to increase the terminal reliability when traffic is heavy so as to produce congestion.

1. はじめに

信頼性の高い道路網は、地震等の自然災害や交通事故、工事等の日常的障害が発生しても、常に安定した交通サービスを提供できる。従来のネットワーク計画や交通管理運用計画では、システムが正常に機能している状態を前提としたものであったが、交通需要の増大と利用者の時間価値の上昇を背景として、今後は日常的障害等のリスクを前提とした計画が望まれる。このため、今後の道路計画や交通の管理運用計画に、信頼性という概念を導入することは、きわめて重要であると考えられる。

道路網の信頼性解析法が確立されると、信頼性の観点からみた道路網の形状比較や都市間比較が可能となり、災害時と平常時両者における、サービス水

準を高めるための指標として利用することが可能となる。また、道路の交通規制や制御、街路の一方通行システム、都市高速道路の交通管制等に代表される道路網の運用管理のための計画情報としても利用可能であり、安全で快適な都市交通に寄与するものとなる。

本論文では、道路の信頼性の支配的要因を交通量変動であるとし、街路とそれと並行する出入制限された道路（高速道路）がある場合、交通制御によって2点間信頼性が向上可能であることを示す。また、信頼性の観点から交通制御を行う方が、何もしない場合に比較して、サブシステム間での共倒れを防止し、システムのパフォーマンスがより優れていることを示す。そして、信頼性に基づいて日常的に交通管理をしておくことの意義を明らかにする。

2. 道路網信頼性の定義とその重要性

数学的定義によれば、信頼性とは、遭遇した操作環境のもとで所与期間中、装置がその目的を適切に

* 正会員 工博 大阪府立工業高等専門学校 助教授
(〒572 寝屋川市幸町26-12)

** 正会員 工博 京都大学工学部 教授
(〒606 京都市左京区吉田本町)

発揮できる確率として定義される¹⁾。ここに、装置とは、システム全体でもよいし、システムを構成するユニットでもよい。したがって、信頼性とは、システムあるいはユニットが所与の期間に所与の機能を発揮できる確率となる。

道路網の信頼性は大きく分けて2つの方法で定義できる。1つは連結信頼性であり、もう1つは時間信頼性である。連結信頼性とは、所与の期間中、道路網の任意のノード間において、あるサービスレベル以上での走行移動が保証される確率の指標と定義される²⁾。この信頼性は代替性の指標であり、ある経路が通行不能となっても、代替経路が確保されて円滑に目的地へ到達できる程度を表している。一般利用者のみならず、緊急自動車の活動等に対する日常的な道路の整備水準や管理運用水準を表す指標となる。時間信頼性とは、所与の時間で目的地へ到達できる確率あるいは、ある確率で到達可能な走行所要時間の上限値（最大許容所要時間）である³⁾。この信頼性は、所要時間の安定性を示す指標であり、道路利用者に対し所要時間の正確性と迅速性の情報を提供する。

今後、市民が望む道路とは、『〇〇まで確実に〇分で行ける』道路や『ある経路の円滑な通行が不可能ならば別の経路が存在する』道路体系であると考えられる。また、個人の非常時（病気や火災）には、交通量が多くても円滑な救援がなされる道路体系であることが望まれる。したがって、両信頼性指標とも、今後の道路網のサービス水準を評価するための重要な指標である。このため、本論文では、ノード間に複数の道路がある場合の運用の仕方を議論するものである。

本研究では、前者の信頼性、すなわちあるサービスレベルにおける連結信頼性に焦点をあてている。例えば、サービスレベルを単なる物理的な連結性とする、この指標は災害時（地震や水害等）の道路網の頑健性あるいは冗長性の指標として使える。すなわち、信頼性の高い道路網は、地震が起こっても頑健な輸送サービスあるいは代替路による交通サービスを提供できる。また、サービスレベルを円滑に交通移動できるサービス水準とすると、日常的なネットワークのサービスの質的安定性を示す指標となる。信頼性の高い道路網は、交通事故や工事が起こ

っても、常に円滑なサービス水準の代替路を提供することで、確実に安定した交通サービスを提供できる。言い替えれば、信頼性の高い道路においては、リスクを前提として常にある2点間において円滑な経路が確保されている。したがって、一般の道路ユーザーばかりでなく、消防車や救急車等の緊急自動車にとっても、その目的地に迅速に到達することができる。また、この信頼性指標は、災害復旧時においても、物資や人々の円滑な交通移動のための道路網運用の指標としても使える。

以上述べたように、特に交通渋滞が慢性化している今日の都市では、一般ドライバーの円滑な移動のためばかりでなく、都市の防災や迅速な医療のためにも、都市内の道路網を高い信頼度に管理することが重要である。

3. 交通制御による道路システムの信頼性向上効果

本節では、街路とそれと並行する出入制限された道路（高速道路）がある場合、交通制御によって2点間信頼性が向上可能であることを示す。また、信頼性の観点から交通制御を行う方が、何もしない場合に比較して、システムのパフォーマンスをより向上させられることを示す。

本節での仮定を以下に述べる。

(1) リンク信頼度は、交通量が変動することにより起因すると仮定し、道路リンクの信頼度は、需要交通量が交通容量を超えない確率と定義する。

(2) したがって、リンク信頼度 r_a を、次のように与える。 $f(v_a)$ をリンク a での交通需要の確率密度関数とし、 C_a を交通容量とすると、リンク信頼度 r_a は、

$$r_a = \int_0^{C_a} f(v_a) dv_a \quad (1)$$

で与えられる。

(3) 需要交通量は、平均交通量 $\bar{v}_a$ の周りに正規分布する。

(4) 正規分布の分散 σ_a^2 は、需要交通量と交通容量の関数であり、変動係数 $COV (= \sigma_a / \bar{v}_a)$ は次式で与えられる。

$$COV = \alpha \cdot \exp\{-(g + \delta) \cdot \beta\} + \gamma \quad (2)$$

これらの仮定から、リンク信頼度は、リンクへの需要交通量と交通容量から決定できる。したがって、リンクフローが変化すると、リンク信頼度も変化する

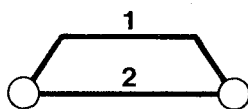


図-1 ネットワーク形状

ることをモデル化できる。

対象ネットワークは、図-1に示すような2本の並行した道路である。一方は街路、もう一方は出入り制限された道路（高速道路）であり、簡単のため道路規格とゼロフロー時所要時間は同一とする。交通容量は、どちらも 2,000台とし、ゼロフロー時所要時間は10分とした。所要時間関数は、修正B.P.R.関数で与えている。

交通需要は、3,500、4,000、4,500、5,000台の4ケースを与える。リンク信頼度 r_1 と r_2 は、式(1)で与える。ノード1～2間のノード間信頼度 R は、

$$R = 1.0 - (1.0 - r_1)(1.0 - r_2) \quad (3)$$

で与えられる。

ここでは、出入り制限された道路に対し、制御を行う場合と行わない場合とで信頼性がどの様に変化するかを考察する。具体的には、道路交通量が均衡に配分される場合と、何等かの交通制御や情報提供によって経路交通量を制御した場合の信頼度の変化を考察する。結果を、図-2に示す。横軸は、リンク1とリンク2の平均フローの差（ $=\bar{v}_2 - \bar{v}_1$ ）であり、縦軸は信頼度を表している。

フローの差がゼロ（y軸上）の値は、平均交通量が均衡配分された場合でのリンク信頼度およびノード間信頼度（Terminal Reliability）である。均衡配分時においては、総交通量が増加するにつれてノード間信頼度が低下していくことがわかる。次に、交通制御によって、需要交通量を、リンク1からリンク2へと転換させると、リンク1のリンク信頼度

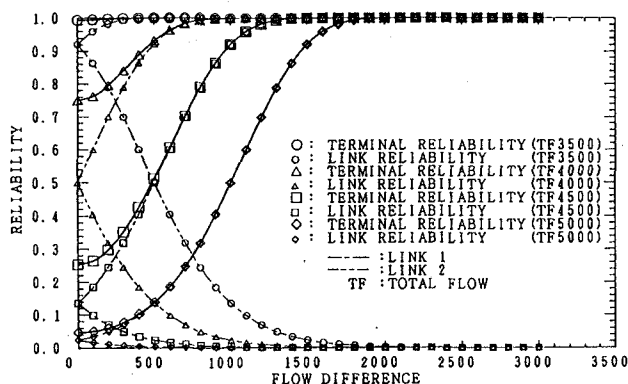


図-2 交通制御による連結信頼性の向上効果

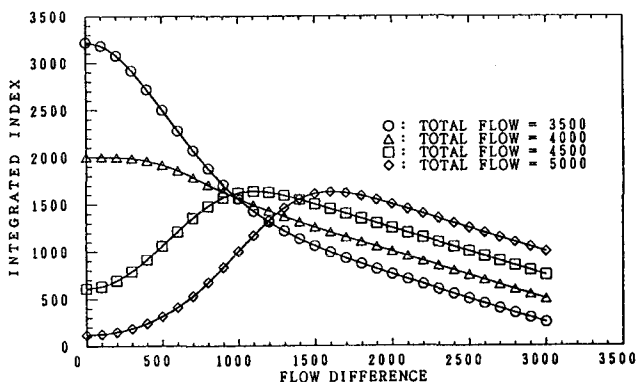


図-3 交通制御によるシステムのIntegrated Indexの変化

は向上し、リンク2のリンク信頼度は低下する。その結果、式(3)で与えられるノード間信頼度は向上する。したがって、単に連結信頼性を向上させるという観点からのみでは、交通制御は有効である。しかしながら、制御によって、リンク2の混雑は増加するので、このトレードオフを考慮する必要がある。そのため、簡便な指標(Integrated Index),

$$\text{Integrated Index} = \sum r_a \times \overline{V_a} \quad (4)$$

を導入する。この指標は、平均交通量を対象に、交通渋滞に遭遇しない交通量の期待値に似た指標である。これらを、図-3に示す。横軸は制御レベルの強さを表している。需要が交通容量を上回らない場合(3,500および4,000台)は、このIndexは交通制御によって増加しないので、交通制御の効果は現れない。しかしながら、交通需要が交通容量を上回る場合(4,500, 5,000)においては、このindexは増加する。この場合、ノード間信頼度と円滑に移動可能な台数の両者が増加するので、交通制御は有効である。しかし、さらに制御を強化するとこのIndexは減少する。当然のことながら、交通制御をまったく行わない場合には、信頼度も低く、渋滞により両経路は共倒れ

してしまう。したがって、システムを最適に運用する適切な制御レベルが存在する。

4. おわりに

以上の分析から、システムのダウンを防止し、適切な運用を保つために、信頼性の観点から日常的な交通管理をしておくことの意義を示すことができたといえる。今後の課題は、Indexの改良と精緻化および他のリスクの考慮等である。

参考文献

- 1) Barlow, R.E. and Proschan, F.: Mathematical Theory of Reliability, p.6, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965.
- 2) 飯田恭敏・若林拓史・福島 博: 道路網信頼性の近似解析方法の比較研究, 土木学会論文集, No. 407/IV-11, pp. 107-116, 1989.
- 3) 若林拓史・飯田恭敏: 交通量変動に起因する道路網の所要時間信頼性評価, 土木学会第46回年次学術講演会概要集第4部, 1991.