

# 道路ネットワークの地震時機能信頼性解析に基づく施設改善の重要度評価 Performance-based Prioritization in Upgrading Seismic Reliability of Road Network

能島 暢呂<sup>1)</sup>・山中 敏裕<sup>2)</sup>

Nobuoto NOJIMA and Toshihiro YAMANAKA

- 1) 岐阜大学工学部土木工学科助教授 博士(工学)  
Associate Professor, Faculty of Engineering, Gifu University, Dr.Eng.
- 2) シビルスタッフ株式会社, 修士(工学)  
CIVIL STAFF Co., Ltd., M.Eng.

## 要約

地震時の道路機能の信頼性向上を図る場合、道路網全体を一様に強化することは不合理であり、道路機能の目標水準に応じた計画的な施設強化が重要となる。本研究は、リンクの構造的信頼度を与件とし、ノード間の交通容量を評価指標とする道路ネットワークの信頼性解析と重要度分析を行い、目標水準を効率よく達成する施設改善のあり方について考察したものである。まず状態列挙法と分散低減法に基づくモンテカルロ法により多数の被災パターンを生成し、Ford-Fulkerson のアルゴリズムにより最大フローを求めた。さらに目標水準の充足・非充足と、リンクの破壊・非破壊の関係から算出されるリンク重要度により、施設強化の優先順位に関する考察を行った。

## SUMMARY

Prioritization in upgrading road network components is an essential consideration for effective implementation of earthquake disaster prevention technology. This study presents a probabilistic method to assess reliability of road network function in terms of traffic capacity and proposes a theoretical framework of the concept of performance-based prioritization in upgrading seismic performance. Maximum flow is calculated for possible conditions of road network subject to failure. On this basis, "probabilistic importance measure" is evaluated for each link, which implies probabilistic contribution of improving the component reliability to that of system reliability. Using ranking of this measure, retrofitting prioritization can be determined.

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災における緊急対応や復旧・復興活動は、道路交通の機能マヒによる大きな制約を受けた。道路機能の地震時信頼性の向上を図り、被災時に円滑な交通機能を確認することは地震防災上の重要課題であるが、限られた時間的・経済的資源のもとでは、膨大な道路施設を一様に強化することは不可能であり、戦略的な施設改善方を検討することが重要となる。

道路ネットワーク機能の評価指標は、可到達性、所要時間、最短距離、処理交通量など様々なものがあり、被災状況下での交通機能を詳細に評価するためには、交通生成・発生・集中・配分などの交通工学的な分析が不可欠である。しかし、道路交通の地震災害時の挙動については、OD 交通需要の質的・量的変化や交通手段・経路の変化など不確定要因が多く、未解明の現象が残され

ている。このことが、フローを物理現象として記述可能な水道や電気よりも機能的被害の予測を困難にしている。

一方、機能信頼性は構造信頼性の上に成り立つものであるから、道路施設の被災状態ならびに保持しうるサーピス水準を確率論的に予測しておくことは、効果的な施設改善計画を検討するために、十分意義深いものと考えられる。本研究では、地震被災時の道路網の基本的な性能規範として交通容量が適切と考え、道路ネットワークの最大フローを評価指標とした確率論的な信頼性解析手法を提案し、簡単なモデル分析を通じて、リンク信頼度と被災道路ネットワークの機能水準との関係について考察する。さらに、各リンクに対して求められる確率重要度に基づき、想定される被災規模と道路ネットワークに要求される機能水準に応じて、施設改善の優先順位を決定する戦略的な地震防災対策の考え方について検討する。

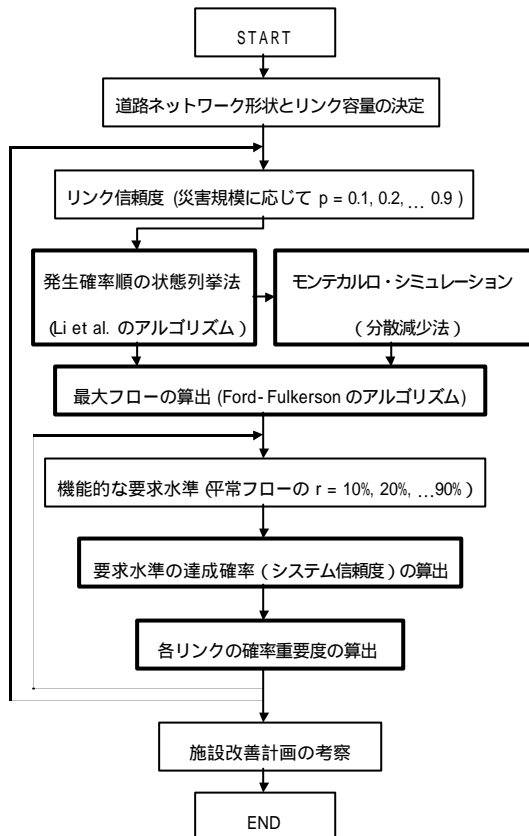


図 - 1 提案手法のフローチャート  
Fig.1 Flow chart of the proposed method.

以下、2. においては本研究で提案する評価手法を概説する。3. では簡単な仮想モデルを用いた数値計算例を示し、提案手法の適用性について検討する。さらに4. では実在の道路網をモデル化した道路ネットワークに提案手法を適用し、結果の考察を行う。

## 2. 最大フローに基づく道路機能の信頼性評価

本研究のフローチャートを図 - 1 に示す。まず、道路ネットワークの形状とリンク交通容量をモデル化する。次に各リンクについてリンク信頼度を設定する。これは各リンクが所定の容量を満足する確率指標であり、構造強度や沿道の危険度などに基づいて定められるものである。ここでリンク信頼度に基づいて、「状態列挙法」と「モンテカルロ・シミュレーション」を組み合わせた方法によって多数の被災パターンを発生させ、各々の被災パターンについて機能水準の評価を行う。本研究では任意に設定した2ノード間の最大フローをシステム機能の評価基準と定めるとともに、被災時の最大フローが所定の「要求水準」を満足するか否かを、システム信頼度の評価基準とする。最後に各リンクについての「確率重要度」を算出する。

以上のフローに関して、災害規模に応じてリンク信頼度を変化させた繰り返しと、機能的な要求水準を変化させた繰り返しを行い、被災規模と要求水準の組み合わせに応じた施設改善効果について考察を行う。

以下では、図 - 1 の太枠の部分で用いる手法について補足説明を行う。

### (1) 発生確率順の状態列挙法

道路網をリンク数  $n$  のネットワークとしてモデル化して、リンク  $i$  の状態を破壊 ( $x_i=0$ ) と非破壊 ( $x_i=1$ ) の二値変数で表し、その期待値を要素信頼度 (非破壊確率)  $p_i$  とする。道路網全体としてのシステムの状態 (上添字  $k$  で状態を区別する) をベクトル  $S^k = \{x_1^k, \dots, x_n^k\}$ 、その発生確率を  $Q(S^k)$ 、その場合のシステム評価関数を  $G(S^k)$  とする (本研究では前述のように最大フローと定める)。Li et al.<sup>1), 2)</sup> は、総数  $2^n$  にのぼる状態空間の中から発生確率の高い順に状態ベクトルを列挙し、第  $m$  項 ( $m < 2^n$ ) までの部分的な状態列挙でシステム評価関数の上下限値  $G_U, G_L$  を得るアルゴリズムを提案した。

$$G_U = \sum_{k=1}^m Q(S^k) G(S^k) + \left\{ 1 - \sum_{k=1}^m Q(S^k) \right\} G_b \quad (1)$$

$$G_L = \sum_{k=1}^m Q(S^k) G(S^k) + \left\{ 1 - \sum_{k=1}^m Q(S^k) \right\} G_w \quad (2)$$

ここで  $G_b$  と  $G_w$  は、未列挙の状態空間においてそれぞれ最良 (全要素非破壊)、最悪 (全要素破壊) の状態を仮定した場合のシステム評価関数の値である。この方法は朝倉ら<sup>3)</sup> により道路網の最短距離信頼性の評価に適用されたが、リンク数が多い場合やリンク信頼度の「あいまいさが高い (0.5 に近い値をとる)」場合、厳密値への収束が極めて遅く、実用に適さなくなる傾向にある。

### (2) 分散減少法によるモンテカルロ・シミュレーション

本研究では状態列挙法が有効でなくなるような現実規模の問題に対処するため、未列挙の状態空間から限定的にサンプルをとるモンテカルロ・シミュレーションを補足的に適用する方法を提案する。分散減少法に基づいて、式(1)(2)の上下限値とシミュレーション結果をあわせ、システム評価関数の期待値を次式により推定する。

$$G(m, N) = \sum_{k=1}^m Q(S^k) G(S^k) + \left\{ 1 - \sum_{k=1}^m Q(S^k) \right\} \sum_{j=1}^N G(S^j) / N \quad (3)$$

ここに  $N$  はシミュレーションの試行回数、 $G(S^j)$  は  $j$  番目の試行における状態  $S^j$  に対して求められたシステム評価関数の値を表す。限定された確率空間からのサンプリング方法については、Kumamoto et al.<sup>4)</sup> により提案されたアルゴリズムではなく、既に列挙された状態ベクトルを単純に棄却する簡便な方法を採用した。

### (3) 最大フローの算出

最大フローは、リンク容量が与えられたネットワークにおいて、特定の2点間を通過するフローの最大値であり、ネットワーク機能の評価基準として最も基本的な概念の一つである<sup>5)</sup>。道路交通網における最大フロー

は、ネットワークとして処理しうる交通容量に対応し、地震時に損傷を受けた道路ネットワークが施設として保持しているサービス水準と解釈できる。不明な点の多い震災時の交通需要変動や交通量配分の問題に立ち入る必要がないことから、被災道路網の機能性能を評価する指標として使用された実績も多い<sup>6),7)</sup>。本研究では、前述の(1)(2)の方法でサンプリングされたネットワークの被災状態に対して、最大フロー-最小カットの定理に基づく Ford-Fulkerson のアルゴリズム<sup>5)</sup>を適用し、最大フローを求める。

#### (4) 要求水準の達成確率の算出

式(3)において、状態  $S$  に対する最大フロー  $F_{\max}(S)$  をシステム評価関数  $G(S)$  として用いた場合には、期待最大フローが求められる。また、平常時の最大フロー  $F_0$  に対する機能水準を係数  $r$  で表し、「最大フロー  $F_{\max}(S)$  が基準値  $rF_0$  を充足するか否か」により定められる二値変数

$$B(S) = \begin{cases} 0 & (F_{\max}(S) < rF_0) \\ 1 & (F_{\max}(S) \geq rF_0) \end{cases} \quad (4)$$

をシステム評価関数  $G(S)$  として用いた場合には、要求水準  $r$  の達成確率としてのシステム信頼度が求められる。システム信頼度の真値が  $P_0$  であるとき、直接的モンテカルロ法によるシステム信頼度の推定値の分散が  $P_0(1-P_0)/N$  となるのに対し、上限値  $P_U$  と下限値  $P_L$  が既知の場合に分散減少法を適用すると、分散は  $(P_U - P_0)(P_0 - P_L)/N$  に低減される<sup>4)</sup>。

#### (5) 各リンクの確率重要度の算定

システム信頼度は、特定のリンク  $i$  が非破壊のもとでの条件付信頼度  $P(1_i, p)$  と、破壊のもとでの条件付信頼度  $P(0_i, p)$  に分離して求めることが可能である。両者の差は Birnbaum の確率重要度

$$I^B_i = \frac{\partial P}{\partial p_i} = P(1_i, p) - P(0_i, p) \quad (5)$$

に相当し<sup>8)</sup>、リンク  $i$  の信頼性の改善によるシステム信頼性の改善効果を知るための感度指標として用いることができる。本研究ではこの指標の大小関係の序列により、施設改善の重要度を定めることとする。この他に、リンク信頼度改善の容易性を考慮したクリティカリティ-重要度<sup>8)</sup>があるが、より合理的で実際的な評価のためには、施設改善に要するコストまでを考慮することが必要である。この問題に関しては将来の課題として、ここでは確率重要度を用いることとした。

### 3. 仮想モデルを用いた数値計算例

#### (1) 解析対象モデルと前提条件

解析対象とした道路ネットワークを、図-2に示す15ノード22リンクの有向グラフでモデル化した。ノードDは被災都市で、図中に記された2000、1400、700(台/時間)の交通容量を持つリンクを介して救援拠点A、B、C

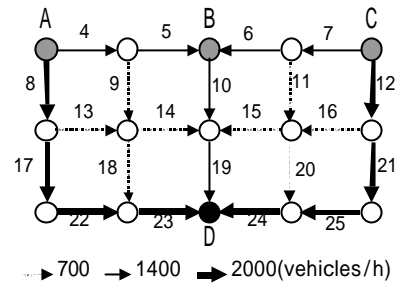


図-2 仮想的な道路ネットワーク・モデル

Fig.2 Model of road network.

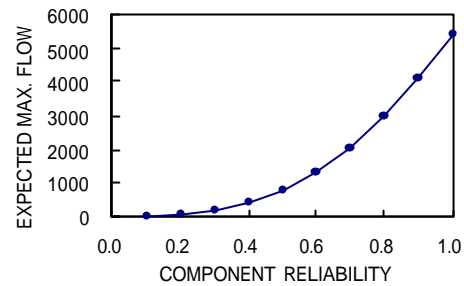


図-3 リンク信頼度と期待最大フロー

Fig.3 Component reliability and expected maximum flow.

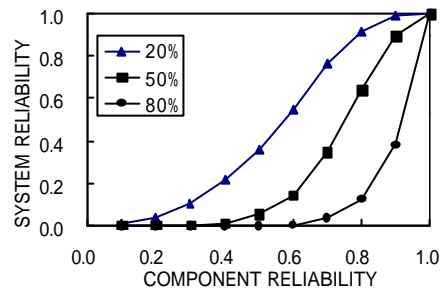


図-4 リンク信頼度と要求水準のペアに対応するシステム信頼度

Fig.4 Component reliability and system reliability for various  $r$ .

から救援を受ける。被災時の通行可能確率はリンク信頼度  $p$  で表され、状態列挙およびモンテカルロ・シミュレーションにおいて被災した状態のリンクの交通容量は0とする。A、B、C から D への平常時最大フローは、最小カットを構成するリンク(19, 23, 24)に規定され  $F_0 = 5400$  (台/時間)である。被災時の要求水準としては高・中・低の3段階 ( $r = 80, 50, 20\%$ ) を考え、被災時最大フローがそれぞれ  $rF_0 = 4320, 2700, 1080$  (台/時間)を満たした場合にシステム機能が充足されるものとし、その確率を要求水準  $r$  に対するシステム信頼度とする。リンク信頼度は簡単のため全リンクで一律とし、被災規模によって  $p=0.1 \sim 0.9$  のように変化させた。状態列挙数は  $m=2000$ 、シミュレーション試行回数は  $N=8000$  回とした。

#### (2) 解析結果と考察

図-3はリンク信頼度と期待最大フローの関係を示し、図-4は要求水準  $r=20, 50, 80\%$  に対するシステム信頼度を表す。リンク信頼度の低下とともに期待最大フロー

とシステム信頼度は急速に低下する．要求水準が  $r=20\%$  のように低い場合には，システム信頼度は比較的高い水準を保つことができるが，このような少量の交通容量を緊急時に活かすには，重要交通を優先させる厳重な交通規制が必要となる．

図 - 5 と図 - 6 は，リンク信頼度が低く ( $p=0.3$ )，要求水準も低い ( $r=20\%$ ) ケースと，リンク信頼度が高く ( $p=0.9$ )，要求水準も高い ( $r=80\%$ ) ケースについて，確率重要度  $I^B$  の大きなリンクの順に  $P(1_i, p)$  と  $P(0_i, p)$  を図示したものであり，図 - 7 はリンク信頼度と要求水準の種々の組合せに対して，高い重要度を示したリンク位置を数本図示したものである．図 - 5 において，中容量の 2 本のリンク (10, 19) の重要度が高く評価されたのは，この 2 本だけで救援拠点 B と被災地 D を容量 1400 (台/時間) で連結でき，被災地 D の孤立防止に効果的であるためである．また図 - 6 においては，冗長性の乏しい外郭の大容量リンクと被災地 D に直結するリンク 19 の重要度が高く評価され，幹線網強化の必要性を示唆している一方，冗長性に富む中央付近のリンクは単独リンクとしての重要度は低い．中信頼度・中要求水準のケース ( $p=0.6$ ,  $r=50\%$ ) では，前二者の中間的な結果が得られている．また高信頼度・低要求水準 ( $p=0.9$ ,  $r=20\%$ ) のケースは，平常時の最大フローを規定する 3 本のリンク (19, 23, 24) の重要度が高くなっており，ボトルネック発生を回避することが重要であることを示している．低信頼度・高要求水準のケースはシステム信頼度が 0.01 を下回り，要求水準が満足される可能性は極めて低い．

#### 4. 太田川デルタの道路網への適用例

##### (1) 解析対象モデルと前提条件

広島市中心部は太田川デルタ地帯に位置し，橋梁が多いため地震によって交通が分断されやすい地理的条件にある．本研究ではそのネットワークを図 - 8 の様に 43 ノード 71 リンクの無向グラフ・モデルとした．各リンクの交通容量は，広島市道路交通容量実態調査総括表<sup>9)</sup>に基づいて設定した．各リンクの信頼度については，まず広島市大規模地震被害想定調査報告書<sup>10)</sup>の己斐断層地震時評価より橋梁の危険度評価区分を表 - 1 の様に設定し，3. と同じく被災規模の違いによる影響をみるため，各危険度評価区分に対応して 4 段階の信頼度を定めた．リンク信頼度が最も高い状態 ( $p$ : 特高) においては，安全と判定された橋梁および橋梁を含まないリンクの信頼度を  $p=1.0$  とした．図 - 9 はリンクごとの危険度区分を図示したものである．OD パターンについては，広島市役所へのアクセスを想定した 5 パターンのルートを設定した．その概要図を図 - 10 に示す．このモデルでは 6 本の南北方向に流れる河川が存在し，地震時には河川を横断する橋梁の損傷により東西の連結が失われる可能性が高いことが特徴である．被災時の要求水準は，4 段階 ( $r=90, 70, 50, 30\%$ ) を考えた．3. にあわせて状態列挙数は  $m=2000$ ，シミュレーション試行回数は  $N=8000$  回

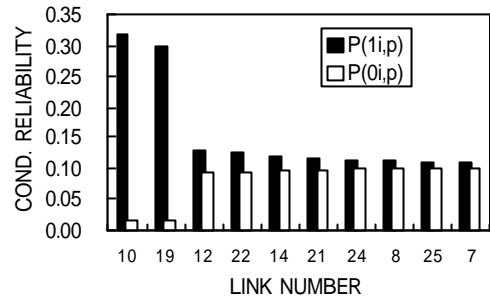


図 - 5 リンクの非破壊・破壊を条件とする条件付信頼度 ( $p=0.3$ ,  $r=20\%$ )

Fig.5 Conditional system reliability given that link  $i$  survives or not ( $p=0.3$ ,  $r=20\%$ ).

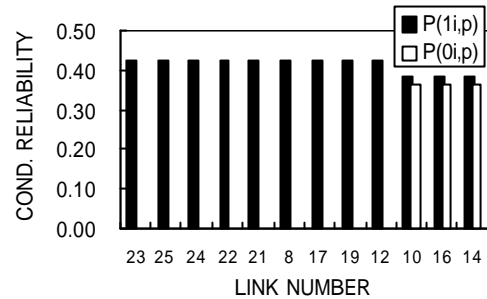


図 - 6 リンクの非破壊・破壊を条件とする条件付信頼度 ( $p=0.9$ ,  $r=80\%$ )

Fig.6 Conditional system reliability given that link  $i$  survives or not ( $p=0.9$ ,  $r=80\%$ ).

$r \setminus p$	0.3	0.6	0.9
20%			
50%	( $p < 0.01$ )		
80%	( $p < 0.01$ )	( $p < 0.01$ )	

図 - 7 リンク信頼度 ( $p$ ) と要求水準 ( $r$ ) のペアに対応する重要リンク

Fig.7 Links of high importance for various  $p$  and  $r$ .

とした．

##### (2) パターン 1 の解析結果と考察

広島市の西側断面からのアクセスによる解析結果を述べる．図 - 11 にリンク信頼度とシステム信頼度の関係を要求水準別に示す．リンク信頼度の低下に伴って，システム信頼度は急速に低下し，また要求水準が高いほどシステム信頼度が低くなる傾向を示している．図 - 12 はリンク信頼度と要求水準の種々のペアに対して，高い重要度を示したリンク位置を図示したものである．全体的に仮想モデルと類似の傾向を示すが，全リンクで一律なリンク信頼度と設定した仮想モデルとは異なる特徴的な結果が得られた．低信頼度・低要求水準のケース ( $p$ :

低, $r=30\%$ )においては,西側断面から広島市役所を直結する国道2号線部分のリンク(21,19,23,25)の重要度が高く評価された.他のルートに比べて交通容量が大きくかつ最短で到達できるためであろう.これよりも要求水準が高いケース( $r=50\%$ )においては,さきの直結ルートの南北に併走する東西ルート数リンクの重要性が加わっている.また,リンク信頼度が最も高いケース( $p$ :特高)においては,国道2号線ルートに併走する数本のリンクのみの重要度が高いと評価された.このケースにおいては,国道2号線ルートのリンク信頼度をすべて $p=1.0$ としたことから,改善の対象外となったためである.

(3)パターン2の解析結果と考察

広島市の北側断面からのアクセスによる解析結果を述べる.パターン1が河川を横断する東西交通であったのに対し,パターン2は起点ノード41,42から市役所までのルートに橋梁が存在しない南北交通であるため,比較的アクセスを確保することが容易である.図-13にリンク信頼度とシステム信頼度の関係を要求水準別に示す.図-11に比べてシステム信頼度が若干高く保たれているが,これは,パターン1よりも信頼度の高いリンクを通るルートが多いためと考えられる.図-14は,高い重要度を示したリンク位置を明示したものである.低信頼度・低要求水準のケース( $p$ :低, $r=30\%$ )においては,主としてリンク信頼度の高いリンクの重要度が高く評価されており,パターン1の同ケースにみられた様な特定のルート強化の傾向はみられない.これはリンク重要度に大きな差異がなく,優先順位の優劣が明確に表れなかったためである.また,リンク信頼度が最も高いケース( $p$ :特高)においては,リンク信頼度 $p=1.0$ のリンクが多く存在しているため, $r=70\%$ までの要求水準でシステム信頼度が $P=1.00$ となっている.高要求水準のケース( $r=90\%$ )においては,リンク71の重要度が突出して高く示された.これは,起点ノードである40,41,42の近辺のカットを構成するリンク60,62,64,67,71の内,リンク71のリンク信頼度が唯一1.0でないことによる.

(4)その他のパターンの解析結果と考察

パターン3~5に関して,同様の解析を行った.紙面の制約上,図示は省略するが,パターン1,2で見られた様に,全体的に仮想モデルと類似の傾向を示し,河川を多く横断する東西方向,河川を横断する必要がほとんどない南北方向という,地理的な条件を反映した結果となった.北東断面からアクセスするパターン3においては,東西・南北それぞれの地理的条件を反映した結果となり,東側断面からアクセスするパターン4においては,西側断面からアクセスするパターン1の地理的傾向と類似した傾向が示された.南側断面からアクセスするパターン5においては,北側断面からアクセスするパターン2と同様に優先順位の優劣が明確に表れなかった.

5. おわりに

本研究では,最大フローを評価基準とする道路交通ネ

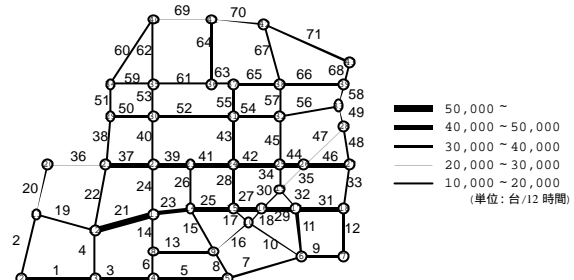


図-8 広島市道路ネットワークモデルと交通容量  
Fig.8 Traffic capacity of Hiroshima model of road network.

表-1 橋梁の地震被害想定とリンク信頼度  
TABLE 1 DAMAGE ASSESSMENT OF BRIDGES AND RELEVANT COMPONENT RELIABILITY.

已斐断面地震による橋梁の危険度評価		リンク信頼度レベル			
		低	中	高	特高
As	落橋の危険性がかなり高い橋梁	0.30	0.50	0.70	0.70
A	落橋 損傷の危険性が高い橋梁	0.35	0.55	0.75	0.75
A*	支承部の損傷危険度が高い	0.40	0.60	0.80	0.80
C	損傷の危険性は低い	0.50	0.70	0.90	0.95
	震度 5 以下で損傷の危険性がかなり低い	0.50	0.70	0.90	1.00
	昭和 55 年以降の基準に基づく設計	0.50	0.70	0.90	1.00
橋梁以外		0.90	0.90	0.90	1.00

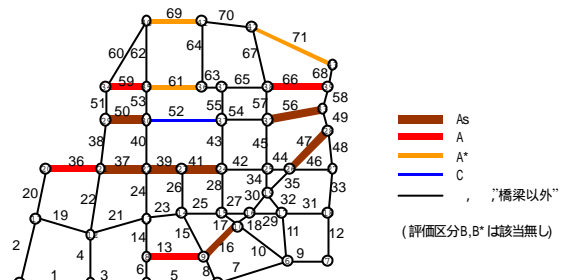


図-9 広島市道路ネットワークモデルとリンク信頼度  
Fig.9 Component reliability of Hiroshima model of road network.

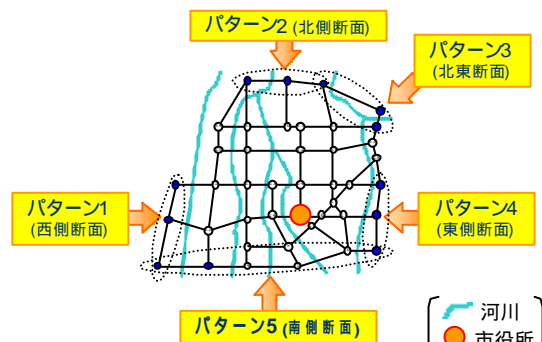


図-10 OD パターンの概要図(黒丸が起点ノード)  
Fig.10 Assumed patterns of OD pair (Solid circles are origins).

ットワークのシステム信頼性解析を効率的に実行する手法を提案した.さらに,その過程で算出される条件付信頼度を用いてリンクの確率重要度を求め,施設改善の優先順位を検討するための基礎資料を提供する手法を提案した.数値計算例を通じてターゲットとするODの設定

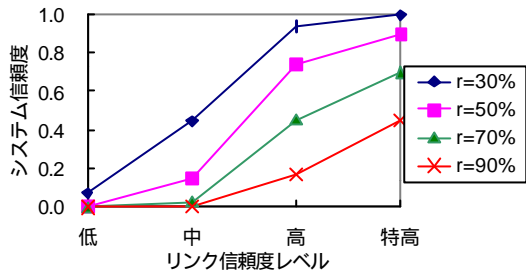


図-11 要求水準のペアに対応するリンク信頼度とシステム信頼度(パターン1)

Fig.11 Component reliability and system reliability for various  $r$  (pattern1).

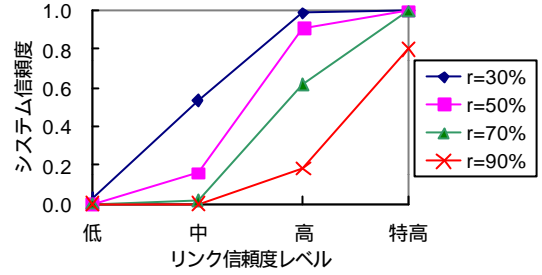


図-13 要求水準のペアに対応するリンク信頼度とシステム信頼度(パターン2)

Fig.13 Component reliability and system reliability for various  $r$  (pattern2).

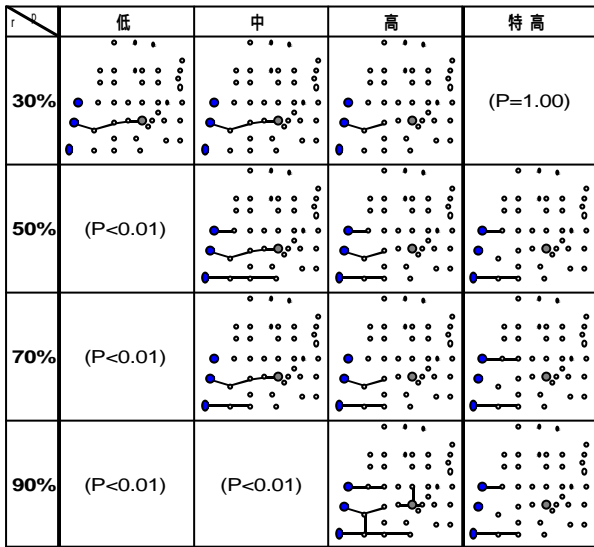


図-12 リンク信頼度( $p$ )と要求水準( $r$ )のペアに対応する重要リンク(パターン1)

Fig.12 Links of high importance for various  $p$  and  $r$  (pattern1).

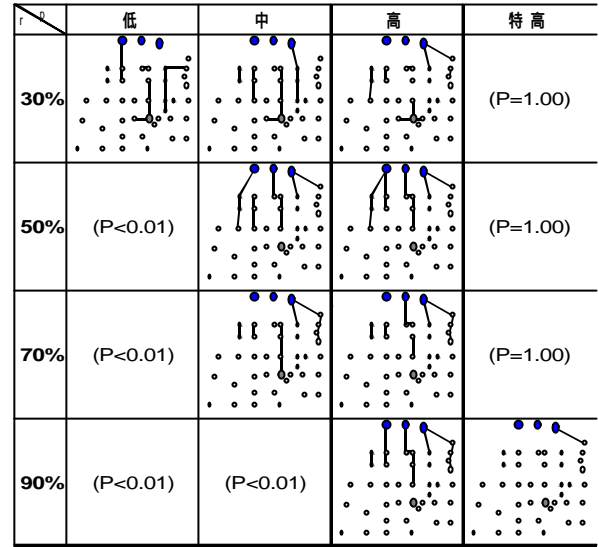


図-14 リンク信頼度( $p$ )と要求水準( $r$ )のペアに対応する重要リンク(パターン2)

Fig.14 Links of high importance for various  $p$  and  $r$  (pattern2).

と、リンク信頼度とシステムへの要求水準の組合せによって施設改善の優先順位が大きく異なることを示した。小規模災害時には可能な限り平常時機能を維持し、大規模災害時には最低限の緊急ニーズを充足できるような道路交通システムが地震防災上重要である。システム全体に期待される機能性能の目標を明確に設定し、その実現のための戦略的な施設改善策が検討されるべきであろう。本研究の手法はこの種の議論に有効であるが、2つの信頼度の差で定義される重要度の推定値は、誤差伝播により信頼度の推定値よりも分散が大きくなるため、解析精度のいっそうの向上が望まれる。

本研究を行うにあたり、文部省科学研究費補助金重点領域研究「都市直下地震(計画研究 B-3)」による補助を得たことを付記する。

#### 参考文献

1) Li, V. O. K. and Silvester, J. A. : Performance Analysis of Networks with Unreliable Components, *IEEE Transaction on Communications*, Vol.COM-32, No.10, pp.1105-1110, 1984.

2) Lam, Y. F. and Li, V. O. K. : An Improved Algorithm for Performance Analysis of Networks with Unreliable Components, *IEEE Transaction on Communications*, Vol.COM-34, No.5, pp.496-497, 1986.

3) 朝倉康夫・柏谷増男・藤原健一郎：交通ネットワークにおける迂回の限度を考慮した OD ペア間信頼度の指標，土木学会論文集，No.555/VI-34，pp.41-49，1997.

4) Kumamoto, H, Tanaka, K and Inoue, K (1977) : Efficient Evaluation of System Reliability by Monte Carlo Method, *IEEE Trans. on Reliability*, Vol.R-26, No.5, pp.311-315.

5) Dolan, A. and Aldous, J. : *Network and Algorithms, An Introductory Approach*, John Wiley & Sons, 1993.

6) Fenves, S.J. and Law, K.H. : Expected Flow in a Transportation Network, *Proc. of 2nd U.S. National Conf. on Earthquake Engineering*, pp.673-682, 1979.

7) 榎谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法，*交通工学*，Vol.19, No.5, pp.3-17, 1984.

8) Henley, E. J. and Kumamoto, H. : *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Prentice Hall Inc., pp.418-435, 1981.

9) 広島市：道路交通量実態調査総括表, 1995.

10) 広島市：広島市大規模地震被害想定調査報告書, 1997.