

MSS を考慮した高速道路の安心性能に関する基礎的研究

A fundamental study on security performance of expressway using MSS

保田敬一*, 白木 渡**, 井面仁志**, 山脇正嗣***

Keiichi Yasuda, Wataru Shiraki, Hitoshi Inomo and Masahiro Dogaki

*博(工), 株式会社ニュージェック, 道路グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20)

** 工博, 香川大学教授, 工学部 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

*** 香川大学大学院, 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

In this study, we defined a security performance as a new required function on disasters. The security performance is able to show effective disasters information, waiting or evacuation signs to car drivers. From the questionnaire to the drivers we investigated information and the priority level that the driver needed in the disaster from the questionnaire to the driver. Then we estimated a security performance as a required function. We proposed a security performance reliability, which is considering information and action for evacuation conduct. And we proposed a security performance matrix using the MSS(Multi State System). Then, we proposed a security performance index that decreases as time passes.

Key Words: security performance, multi state system, performance based design, express way

キーワード: 安心性能, MSS, 性能設計, 高速道路

1. はじめに

我が国では、高度成長期に社会基盤施設の整備が急速に進み、多くの施設が建設された。これら膨大な社会基盤施設は生活や社会経済活動になくてはならないものとなっている。しかし、1995年の兵庫県南部地震は市民生活や経済活動を支える社会基盤に多大の被害を与えた。この地震では、構造物の倒壊などの1次災害に加え、火災などの2次災害によって多くの人的被害が発生した。その原因として、情報通信システムの麻痺によって被害状況の把握が遅れたことや、交通網の麻痺によって消火作業や救助活動が十分に実施できなかったことが考えられる。

これらの事実を受け、近年の防災に関わる研究は、耐震設計の根本的な見直しなどのハード面の対策だけでなく防災システムの構築など、ソフト面の対策も重視されつつある。しかし、地震予測、被災予測、被災後のライフラインの確保および住民の防災に対する意識強化などといったソフト面の対策に関する研究では、まだ十分な成果は上がっておらず、ソフト面での都市防災対策に関する研究が急務である。さらに、公共施設の耐震性向上策を取り上げてみても、主要な高速道路などは比較的進

んではいるが、学校などは進捗が遅く、施設の種別によって差があることも事実である。このようにハード面での対策が遅れている施設については、対応可能なソフト面の対策が求められるが、ソフト対策は防災に対する意識や対策システム・組織など長い時間を必要とする。

以上、施設に要求される性能の多様化と様々な緊急事態に対してソフト防災の推進の動きという背景から、本研究では、ドライバーに対して、効果的な被災情報の提供、待機・避難誘導指示等により、災害時の高速道路の新たな管理基準とし安心性能 (Security Performance) を定義し、これを確保するために必要なソフト並びにハード対策に関するセキュリティ管理技術開発を提案する。具体的には、まず施設の要求性能の中の安心性能に属する機能を評価する試みとして、情報提供面での保有性能と避難誘導対策面での保有性能の両面を考慮した安心性能信頼度を算定する。そして、MSS (Multi State System)¹⁾の概念を導入した安心性能マトリクスを提案し、その有効性を確認する。

2. 安心性能とは

安心性能 (Security Performance) とは、高速道路の施

設・設備の変形や強度に関するハード安全性能 (Safety Performance) に対して、的確な情報提供や避難誘導対策等によりドライバーの安心感を高めることで達成可能な性能をいう。本論では、安心性能を情報提供と避難誘導対策にて定義できると仮定し、後述するアンケート調査と分析により確認を行っている。

安心性能も性能設計体系のもとに整理されるのが望ましい。2001年4月に土木学会から刊行された「環境負荷低減型土木構造物設計ガイドライン」²⁾は、設計において経済性や安全性、使用性、施工性、環境負荷、景観などの要求機能や要求性能を階層構造で定義したものである(図-1参照)。

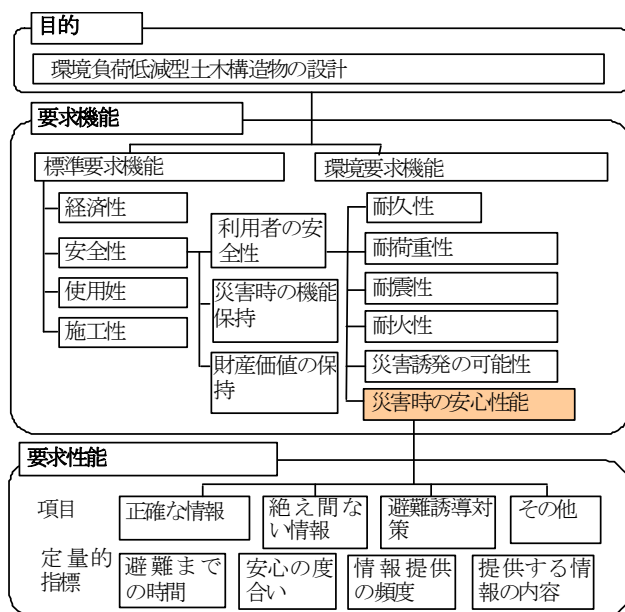


図-1 階層構造 (要求機能と要求性能)

避難に関わる信頼性は前述の安全性(図-1の安全性)に属すると考えられるが、この安全性は主にハード面での性能、例えば、地震の大きさに対する設計のレベルなどを示すものであり、防災教育により避難時間が短くてすむ、あるいは事前の防災対策により緊急対応がうまくいくなどのソフト面での性能は含まれていない。そこで本研究では、要求すべき性能として図-1に災害時の安心性能を表す避難信頼性を付加した対応を検討する。

また、近年注目されているITS(Intelligent Transport Systems)とは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい高度道路交通システムの総称をいう³⁾。

国土交通省は2010年5月から首都高速道路で、スマートウェイ推進のため官民共同で開発した新しいITS車載器を使った様々なサービス提供の公道実験を進めている。公道実験は従来のサービスを統合し、一つのITS車載器で、多様なサービスを楽しむ仕組みの実用化が目的である。ITS車載器は、リアルタイムに道路交通情

報をカーナビに提供するVICSやETC機能に加え、新たに音声や画像によるドライバーの安全運転を支援する情報提供や、駐車場やガソリンスタンドなどでのキャッシュレス決済、道の駅などでのインターネット接続など多様なサービスの提供が可能な新型カーナビであり、DSRCと呼ばれる狭域無線通信によって、路側と車を双方向でつなぎ(路車間通信)、様々な情報のやりとりができる。

次世代道路サービスの主な内容は以下のとおりである。

- (1)前方障害物情報提供
- (2)前方状況情報提供
- (3)合流支援
- (4)インターネット接続
- (5)スマートパーキング

このITSが実現すればリアルタイムな情報提供が可能になるなど安心性能向上にかなりの部分で寄与すると考えられるが、あくまでITSは情報提供を主目的にしており、性能設計体系のもとに整理された安心性能という観点にはなっておらず、道路情報全般のサービス向上を目指している。後述する避難誘導対策までを反映させないと性能設計体系に基づいた安心性能マトリクスによる性能評価はできない。

3. アンケート調査

本研究では、安心性能に関わる事項を把握・整理するために、ドライバーを対象として災害時・異常時のアンケートを実施した。

3.1 アンケート項目

アンケート項目は以下のとおりである。アンケート項目と分析との関係は、2章で述べた仮定、すなわち、安心性能を情報提供と避難誘導対策とで定義することを確認するためであり(アンケート項目(1)~(5))、アンケート項目(6)、(7)の遅いと感じる時間は後述の時間経過による安心性能低下における要求時間に対する信頼度に関係する。なお、アンケート項目(8)、(9)の結果は本論の目的とは直接関係しないため、分析の結果は掲載しない。(1)~(9)のアンケート項目で(複数回答)と記した項目は設問に対して複数の選択肢を許容している。

- (1) 望ましい道路情報提供方法とは(複数回答)
- (2) 望ましい道路情報の更新頻度とは
- (3) 道路情報重点項目とは
- (4) 災害時・異常時の道路情報として必要な項目(複数回答)
- (5) 災害時・異常時の道路情報の優先順位
- (6) 情報提供が遅いと感じるまでの時間(道路情報提供で、どのくらいまでなら待てるか)
- (7) 渋滞解消対策が遅いと感じるまでの時間(渋滞解消対策、例えば、緊急車の到着が遅く、事故処理が進まない場合など、どのくらいまでなら待てるか)

(8) 渋滞解消処理が遅いと感じたこととその原因

(9) 道路情報により行動を変更したか

ここで、アンケートの前段において用語の説明として、情報提供方法や渋滞解消対策の具体例を示すことで、被験者のイメージについてのバイアスをできるだけ少なくするようにしている。

3.2 被験者の属性

被験者の属性を表-1 に示す。() 内は人数を表す。被験者合計は 124 名である。

表-1 被験者の属性

1. 性別	男性(107), 女性(17)
2. 年齢	10歳台(2), 20歳台(49), 30歳台(40), 40歳台(29), 50歳台(4), 60歳台以上(0)
3. 職業	会社員(77), 主婦(1), 学生(43), 無職(1)
4. 運転経験	1年未満(7), 1~10年(39), 11~20年(39), 21~30年(26), 31年以上(5), 運転免許を持っていない(8)
5. 運転の頻度	ほぼ毎日運転している(43), 週2~3回運転している(39), 月2~3回運転している(15), 年2~3回運転している(8), 全く運転していない(18)

3.3 アンケート結果

(1) 望ましい道路情報提供方法

図-2 に示すように、望ましい道路情報提供の方法として、主に道路情報板とラジオとがドライバーから指示されていることがわかった。これはある程度現状を反映したのとなっており、逆にインターネットによる情報提供などはまだ通信回線の速度など課題があることを示唆している。なお、これらの選択肢は文献 4) を参考にして

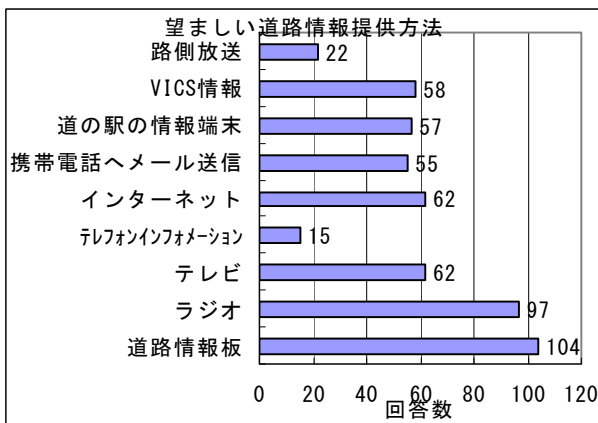


図-2 望ましい道路情報提供方法

設定した。

(2) 望ましい道路情報の更新頻度

図-3 より、5分から30分間隔での情報更新が必要との回答から、これも(1)の設問と同様に、ある程度現状を反映したのとなっている。現実には、ハイウェイ交通情報の携帯サイト (I Highway) での規制・渋滞情報は5分おきに更新がされていることや、ハイウェイラジオ (1620MHz)でも15分毎に更新されている。

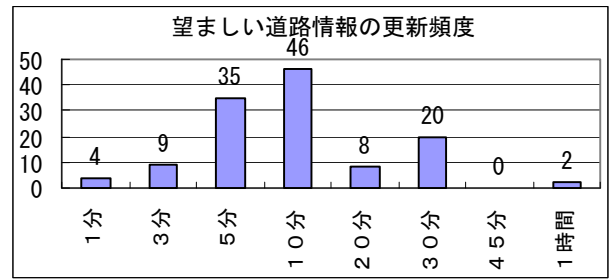


図-3 望ましい道路情報の更新頻度

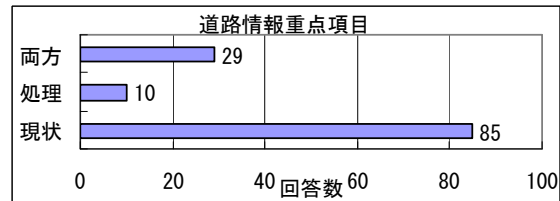


図-4 道路情報重点項目

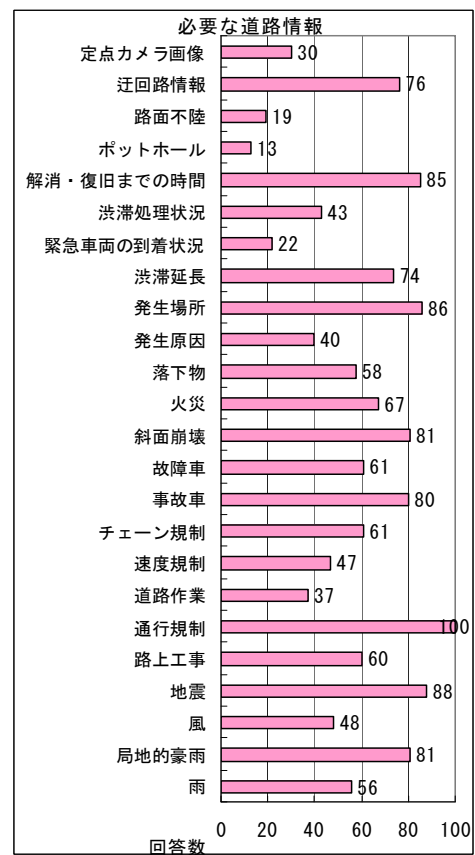


図-5 必要な道路情報

(3) 道路情報重点項目とは

設問は、①現状 (障害物, 事故内容, 渋滞状況など), ②処理 (緊急車両の位置, 処理状況など), ③現状と処理の両方共が必要, の3項目からウエイトの高い項目を選択してもらったが、処理情報よりも現状把握が必要との意見が多数を占めた (図-4 参照)。まず現状を知ることが最優先とされるが、②と③を合計すると 39/124 (31%) の人が処理も重要と回答していることから処理情報も無視できない。

●渋滞情報

・原因、場所：事故、故障車、落下物、火災、異常気象、局地的豪雨、雪、風、法面崩壊、地震など
・現状：路上工事、車線規制、通行規制、通行止め、チェーン規制、混雑など

●渋滞解消情報

・対策：緊急車両が現地に向かっている、現地に到着、事故処理中など
・解消までの時間：あと30分程度で通常走行が可能、通常走行まであと1時間以上要するなど

図-6 必要な道路情報のまとめ

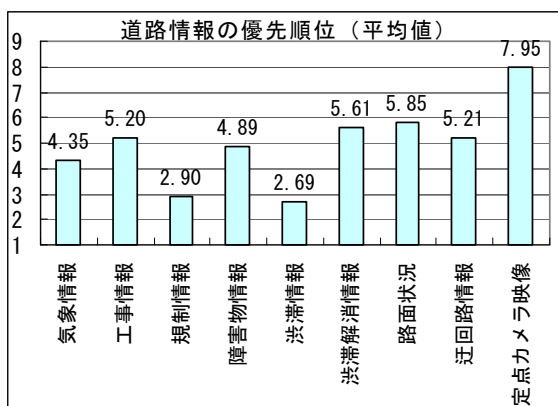


図-7 道路情報の優先順位

(4) 必要な道路情報とは

図-5より、最も多くの回答があったのが通行規制情報(100)であった。次いで、地震情報(88)、異常発生場所(86)、解消・復旧までの時間(85)、斜面崩壊情報(81)、局地的豪雨(81)、事故車(80)、迂回路情報(76)、渋滞延長(74)が多かった。この結果より、異常発生内容、原因、場所、現在の通行状況、解消時間などが求められることがわかる。必要な道路情報のまとめを図-6に示す。図-5より、渋滞情報(原因、場所、現状)と渋滞解消情報(対策、解消時間)とが抽出され、後述の安心性能へとつながっていく。

(5) 道路情報の優先順位

図-7に示す9個の項目で、最も優先順位が高い項目に1を、次に優先順位が高い項目には2を、次は3、4、5、6、7、8とつけ、最も低い項目に9をつけてもらった。その平均値を図-7に示す。最も優先順位が高かったのは渋滞情報(2.69)であり、次に規制情報(2.90)という結果になった。この結果は図-4、図-5および図-6の結果を反映しているといえ、気象情報や障害物情報なども図-6の渋滞情報に含まれると考えられる。定点カメラ情報はほとんどのドライバーが優先順位を低く評価しており、図-5の結果とも整合している。

(6) 情報提供が遅いと感じるまでの時間

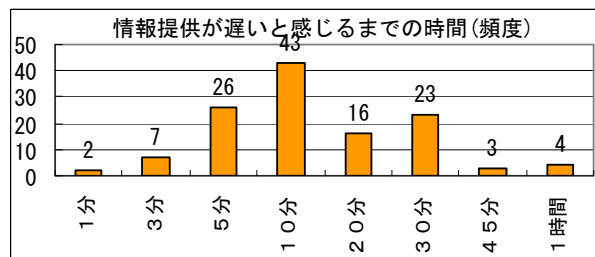


図-8 情報提供が遅いと感じるまでの時間

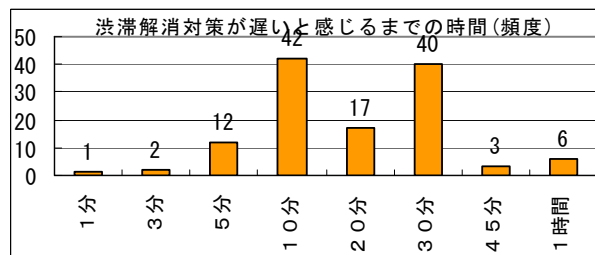


図-9 渋滞解消対策が遅いと感じるまでの時間

道路情報提供について、どのくらいまでなら待てるかについて、遅いと感じるまでの時間で選択してもらった結果が図-8である。これも図-3と同じ傾向があり、携帯ハイウェイ交通情報やハイウェイラジオなどある程度現状を反映したものとなっている。

(7) 渋滞解消対策が遅いと感じるまでの時間

渋滞解消対策(緊急車の到着が遅い、事故処理が遅いなど)が進まない場合、どのくらいまでなら待てるかを、遅いと感じるまでの時間で選択してもらった結果が図-9である。図-8と同様の傾向があるが、30分と回答した人が図-8よりも多いことから、情報提供よりも渋滞解消対策は時間がかかることもやむを得ないと感じている人が多いと推察される。ここで、図-9でピークが10分と30分に現れているのは、渋滞の種類や解消の方法など現実には様々なパターンがあり、人によって遅いと感じる時間に幅があることを示していると考えられる。

(8) アンケート結果のまとめ

アンケート結果より、安全性に関する性能として、情報提供(Information)と避難誘導対策(Action)という項目が抽出された。

以上より、安全性に関する性能(R_s)、すなわち、安心性能は、式(1)に示すように、情報提供面の性能($R1$)と避難誘導対策面の性能($R2$)の両者により議論されるべきであると考えられる。

$$R_s = f(R1, R2) \quad (1)$$

避難誘導対策面の保有性能、例えば緊急時対応の充実、防災教育・訓練の実施などがなされていれば安心性能の

時間的低下を防ぐことにつながるため、安心性能に関する信頼度が向上する。また、情報提供面での性能、例えば、頻繁で正確な情報提供（情報掲示板や Internet、ラジオなど）が実施されれば、安心性能の時間的低下を防ぐことができるので、安心性能に関する信頼度が向上する。このように、避難誘導対策面での信頼性が低い場合でも情報提供面での信頼性を向上させることによって施設の安全性を確保できるし、重要な施設は避難誘導対策面の性能のみならず、情報提供面でも高い性能を確保することで施設のより高い信頼度が確保できる。

今、多状態性能を許容するシステム（例えば、MSS：Multi State System）を考えた場合、避難誘導性能を例にすると、避難誘導車の到着（到着することでドライバーは安心する）や避難誘導員による指示（人による直接の指示があればドライバーは安心する）が遅くなったとしても他の対策、すなわち、情報掲示板（視覚あるいは音声）による指示が適切に実施されれば安心性能の低下を例えば 20%程度に抑制できると考える。また、情報提供性能に関する MSS では、管理者が現状の情報が正確に把握できずに、なかなか情報提供ができない場合、ドライバーの安心感は低下する。しかし、断片的な情報でも継続的に提供できれば、ドライバーの安心性能の低下を例えば 30%程度に抑制できる、あるいは防災の事前教育などを実施することで安心性能の低下が抑制されることなどが考えられる。

4. 安心性能マトリクスの提案

4.1 安心性能マトリクス

これまで検討してきたように、安心性能マトリクスを情報提供面と避難誘導面から表-2 のように定義できる。図-6 からも、正確な情報提供とその対処の両面が求められ、一般道路と高規格道路とでは提供される情報の内容あるいは情報更新の頻度などが異なってくると考えられる。

表-2 安心性能マトリクスの例

		情報提供(Information)		
		高	中	低
避難誘導対策(Action)	低	●	↔	●
	中	☆	●	●
	高	◎	☆	●

注：提供される情報の種類が豊富・情報更新の頻度:10分 / 提供される情報の種類が限定的・情報更新の頻度:1時間

注：●：一般道路, ☆：高速道路や高規格道路, ◎：最重要道路

凡例：●：一般道路，☆：高速道路や高規格道路，自動車専用道路，◎：最重要道路

例えば、情報提供については、提供される情報の種類が多い、情報更新の頻度が高いような場合は安心性能のレベルが高いとされる。一方、提供される情報が限定的で、更新が遅い場合は安心性能のレベルが低いとされる。避難誘導対策については、渋滞解消対策の更新頻度が高い、あるいは避難誘導対策が素早くなされる場合は安心性能のレベルが高いとされる。

4.2 安心性能マトリクスの検証(アンケートによる確認)

提案した安心性能マトリクスを検証するために、アンケートによる確認を行った。このアンケートでは、表-2 および情報提供や避難誘導対策の具体的な説明をした後に、ドライバーの認識と一致するかどうかを確認した。被験者数は 47 名であり、3 章のアンケート調査の被験者とは別である。被験者の属性を表-3 に、アンケート結果を表-4 に示す。

表-3 被験者の属性

性別	男性(42), 女性(5)
年齢	10歳台(0), 20歳台(25), 30歳台(11), 40歳台(10), 50歳台(1), 60歳以上(0)
職業	会社員(29), 主婦(0), 学生(18), 無職(0)

表-4 アンケートによる確認(性能マトリクス)

項目	はい	いいえ
提供される情報の種類や更新頻度が道路種別により異なることはイメージと合致するか	88%	12%
情報提供内容や更新頻度は避難誘導対策よりも優先するか	92%	8%

提供される情報の種類や更新頻度が道路種別により異なることはイメージと合致する回答した人が 88%であった。この結果から、表-2 のイメージはドライバーの感覚・認識と一致しているといえる。また、情報提供内容や更新頻度は避難誘導対策よりも優先すると回答した人は、92%であった。図-4 の結果よりも両者の差が顕著になったといえるが、やはりドライバーはまず現状の正確な把握を望んでいるといえる。

5. 時間経過による安心性能低下

実施したアンケート結果からも明らかのように、安心性能は時間の経過とともに低下する傾向にあることが、イメージできる(図-10 参照)。この低下傾向は災害の規模が大きくなるとさらに顕著になる。また、災害に関する情報が入ってこない場合、避難誘導が適切になされない場合なども性能低下の傾向は顕著になる。一方、提供される情報の種類を豊富にしたり、情報更新の頻度を高くする、あるいは適切な避難対策を早々に実施したりすると安心性能の低下を抑制することができる。と考える。

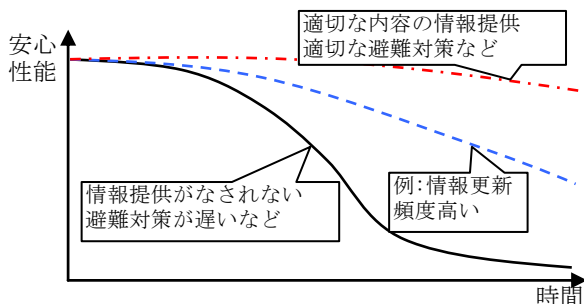


図-10 時間経過による安心性能の低下(イメージ)

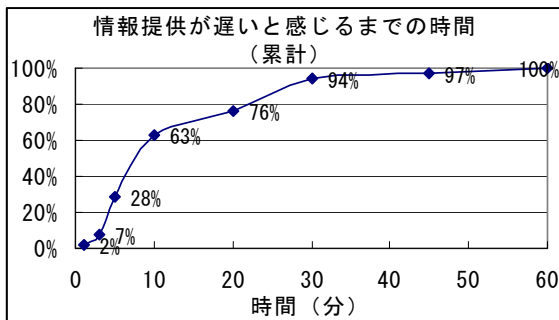


図-11 情報提供遅延による安心性能低下

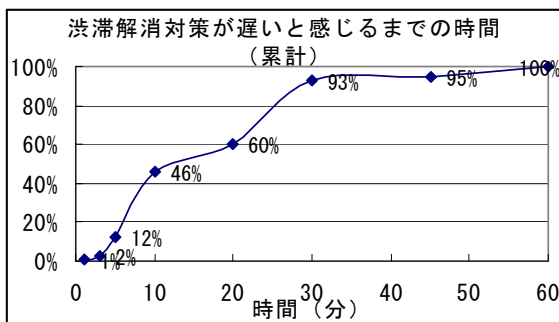


図-12 渋滞解消対策遅延による安心性能低下

図-8や図-9に示す情報提供あるいは渋滞解消対策が遅いと感じるまでのアンケート時間の頻度を累積したのが図-11および図-12になる。図-8の情報提供遅延図より、15分程度なら70%の信頼度が、30分程度なら94%の信頼度が確保できることがわかる。渋滞解消対策は同じ情報提供遅延の信頼度よりも時間は長くなるが、安心性能低下を考慮した安心性能信頼度を把握することはできたと考える。例えば、安心性能信頼度はある情報更新要求時間に対して図-11の累積頻度分布の累計と式(1)を用いて求めることができる(表-5参照)。ここで、式(1)より R_s を $R1$ と $R2$ の平均値とした($R1$:情報提供遅延による安心性能低下の累計, $R2$:渋滞解消対策遅延による安心性能低下の累計)。表-5より、要求時間30分なら93.5%の信頼度を確保でき、60分なら100%の信頼度を確保できることがわかる。また、図-4に示す現状と対策の比率、あるいは表-4のアンケート結果から $R1$ と $R2$ に重みを考慮して R_s を算出する方法も考えられる。例えば、図-4

に示す両者の重みは情報提供が74.34%(=a)、対策が25.66%(=b)となり、式(2)に示す重み付き加重平均より算出できる。

$$R_s = M(a \cdot R1, b \cdot R2) \quad (2)$$

表-5 要求時間に対する信頼度 (%)

要求時間	$R_s=M(R1, R2)$	$R_s=M(a \cdot R1, b \cdot R2)$
5分	20	23.8944
10分	54.5	58.6378
20分	68	71.8944
30分	93.5	93.7434
45分	96	96.4868
60分	100	100

6. まとめと今後の課題

本研究では、ドライバーに対して、効果的な被災情報の提供、待機・避難誘導指示等により、災害時の高速道路の新たな管理基準とし安心性能(Security Performance)を定義した。ドライバーに対するアンケートから、災害時・異常時にドライバーが必要とする情報、優先順位などから、施設の要求性能の中の安心性能に属する機能を評価する試みとして、情報提供面での保有性能と避難誘導対策面での保有性能の両面を考慮した安心性能信頼度の算定およびMSSの概念を導入した安心性能マトリクスの提案を行った。さらに、アンケートにより得られた情報提供などが遅いと感じる時間などから、時間経過による安心性能低下に関する信頼度を求めた。

今後の課題は、安心性能低下を表現する信頼度をより汎用化するための分布系の設定、要求時間の設定方法の検討が挙げられる。

参考文献

- 1) A.Lisnianski, and G.Levitin, Multi-state System Reliability - Assessment, Optimization and Applications -, World Scientific, 2003.
- 2) 土木学会：環境負荷低減型土木構造物設計ガイドライン, 2001.4.
- 3) 国土交通省：高度道路交通システム <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index.html>
- 4) 鎌田洋一：道路情報提供に関する現状と今後の展開, 国土交通省 近畿地方整備局 平成17年度 管内技術研究発表会論文集, 防災・保全部門, No.19, pp.1-4, 2005.7.

(2010年8月6日受付)