高速道路の安心性能向上に関する基礎的研究

保田敬一¹・白木 渡²・井面仁志³・山脇正嗣⁴

¹正会員 (株)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)

E-mail: yasudakc@newjec.co.jp

²正会員 香川大学工学部 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)

E-mail: shiraki@eng.kagawa-u.ac.jp

³正会員 香川大学工学部 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)

E-mail: inomo@eng.kagawa-u.ac.jp

⁴正会員 香川大学大学院 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)

E-mail: s09d453@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp

本研究では、高速道路におけるドライバーの新たな管理基準となる安心性能を定義する。次に、安心性能低下に繋がる要因を抽出するとともに、主に安心感の低下に焦点をあてることを考える。ドライバーが必要と感じる情報を整理し、規制情報、原因や場所などを複数の評価軸による安心性能マトリクス上に示すことで満足度の度合いを評価することを試みる。安心性能マトリクスは性能設計体系に準じ、多状態性能を許容するシステム(MSS)を考慮することで多段階の評価が可能となる。最後に、ドライバーに対して満足度のアンケートを実施し、安心性能マトリクスの有効性を確認する。

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

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不可欠なものとなっている。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。ハード面での対策は施設種別ごとに差があることは事実である。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。このように、施設に要求される性能も、従来の安全性や使用性などに係るハード面の性能だけではなく、情報提供や避難対策などのソフト面での性能も加味して構築されなければならない。

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、効果的な災害情報の提供、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) を定義する。筆者らは、既往の研究¹⁾にて高速道路の安心性能を情報提供面と避難誘導対策面の両面から論じたが、最も重要な性能である安心感の低下に係わる要因の把握、および、不安を感じるまでの時間を様々な要因に対して信頼度で表現することは行ってこなかった。そこで、本研究では安心感の低下に焦点をあてることを考える。具体的には、まず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、アンケート調査により、安心感の把握に重点をおき、不安感の原因、不安を感じるまでの時間、異常時に必要な情報などを整理する。次に、安心性能低下に繋がる要因を整理し、不安を感じるまでの期待時間を安心性能信頼度により求める。そして、MSS (Multi State System) ²⁾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. 安心性能の定義

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。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」³⁾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)。

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。

図-1に示すように、災害時の安心性能はドライバーの安心の度合いで表現することができる。安心に関する文献・資料は多数ある。仁平によると、安全 (Safty) は外的な物理的条件であり、人にとって現実的に物理的な危険がないこと、あるいは少ないことであり、仮定上の概念である⁴⁾。一方、安心 (feeling of security) とは心理的な反応であり、人の心の内部の平穏な安堵感を指す⁴⁾。安心感は単に恐怖や不安がないことではなく、自身の安全を守ってくれる信頼に足る対象が存在するという信頼感に裏打ちされた感情であるとしている⁴⁾。安心には危険事象 (ハザード) がどのようにして災害を引き起こすかについて、個人の頭の中にある個人的知識構造 (メンタルモデル) が影響するとしている⁴⁾。また、文献5)によると、安全は、科学技術、社会技術の問題として論理的に、客観的に、数量的に評価される試みが行われているが、安心は主観的に判断され、個人によって大きく異なり、人間の心理に深く根ざしている。安心については、「人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること」⁶⁾という見方を紹介している。安心は、「信頼する」という人間の心と強く関係している。安全の反対は危険であるが、安心の反対概念は、心配ないしは不安である。

ハザードがない状態、すなわち通常時には安心感は満足されているが、何らかのハザードが認知され始めると安心感は低下していく。ハザードの原因や場所、現況、ハザードの処理状況などの様々な情報を、信頼性を確保

図-1 階層構造 (要求機能と要求性能)

されている発信機関から受け取ることで安心感の低下度合いは緩やかになっていくと考えられるが、このような情報がまったく受信できないとすると安心感は急激に低下する傾向となる。本論では、この安心感が低下していく際に関係している様々な要因や事象、不安に感じる原因、不安を感じるまでの時間、安心感を低減させるための有効な方法などを整理・把握することで、安心性能の向上に寄与することができると考えた。

3. アンケート調査

(1) アンケート項目

本研究では、安心性能に関わる事項の中でも、特に安心感について把握するために、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。アンケート項目は以下のとおりである。ここで、不安を感じるまでの時間を“ストレス、いらいら感、緊張などを感じ始める時間”と定義した。

- (1) 道路上でこれまでに何らかの道路通行障害あるいは道路情報不足などにより不安になったことがあるか
- (2) 不安の程度はどうか
- (3) 不安になった原因はなにか (複数回答)
- (4) 災害時・異常時において情報が全く来なくなり、不安に感じるのはどのくらいの時間が経過してからか
- (5) 災害時・異常時において必要と思われる情報は何か (複数選択)
- (6) 災害時・異常時において不安感を低減させるにはどのような方法が有効か (複数回答)

アンケートの前段において用語の説明として、不安を感じるまでの時間、情報提供方法、渋滞解消対策の具体例を示すことで、被験者の道路通行時の不安感に対する

表-1 被験者の属性

1. 性別	男性(86), 女性(21)
2. 年齢	10歳台(1), 20歳台(37), 30歳台(29), 40歳台(32), 50歳台(6), 60歳台以上(2)
3. 職業	会社員(72), 主婦(5), 学生(29), 無職(1)
4. 運転経験	1年未満(5), 1~10年(42), 11~20年(24), 21~30年(26), 31年以上(10), 運転免許を持っていない(0)
5. 高速道路の運転頻	ほぼ毎日運転している(38), 週2~3回運転している(22), 月2~3回運転している(30), 年2~3回運転している(5), 全く運転していない(12)

図-2 不安に感じた割合

図-3 不安の程度

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。

(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107名である。

(3) アンケート結果

a) 不安に感じた割合

図-2より、これまでに運転中、不安に感じたことのある人が67%もあったことがわかる。3人中2人が何らかの不安を感じており、正常な通行ができていないことがよくあるといえる。

b) 不安の程度

不安を感じた人の中で、その不安の程度を聞き取り調査したが、かなり強い不安感や少しだけの不安感は少なく、概ねその程度は中間値付近(40%~60%)に分布している(図-3参照)。

c) 不安の原因として選択した項目の割合

不安の原因として、図-4に示すように、対策情報、規制情報、渋滞延長情報、原因、発生場所などの項目をとりあげたが、対策情報、原因、発生場所が知らされていないため不安になった割合が40%以上と多かったが、全体的にはあまり差はなかった。

d) 不安の原因

図-4にて不安になったことがある人(72名)に対して

図-4 不安の原因として選択した項目の割合

図-5 不安の原因

図-6 不安を感じるまでの時間

その不安の原因の程度を4段階でアンケートしたのが図-5である。不安の原因として、図-5に示すように、対策情報、規制情報、渋滞延長情報、原因、発生場所などの項目をとりあげたが、かなり強い不安感や少しだけの不安感は少なく、概ねその程度は中間値付近(40%~60%)に分布していることがわかる。

e) 不安を感じるまでの時間

災害時・異常時に不安を感じ始めるまでの時間を図-6に示す。頻度で最も多いのは30分であり、次に10分、1時間、5分と続く。これらは、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ことから理解できる。1時間という回答は16%もあり、この時間は長いようであるが、規模のそれほど大きくない災害時には情報がなかなか入ってこないこともあり、想定する災害によって時間に差が生じていると考えられる。

f) 災害時・異常時に必要な情報

図-7には災害時・異常時に必要と考えている情報を示す。地震時の情報は95%の人が必要と考えており、最

図-7 災害時・異常時に必要な情報

図-8 地震時に不安に感じる情報更新頻度

優先で処理・伝達しなければならない情報であるといえる。次に多いのは、火災情報、斜面崩壊情報、通行規制情報、事故車情報、局地的豪雨となる。火災や斜面崩壊、事故車、局地的豪雨は重大事故に直結する可能性が高く、3/4もの人が必要情報として考えていることがわかる。なお、アンケートでは雨については「雨」と「局地的豪雨」に分けているが、地震については「大地震」によって高速道路の盛土が崩壊した例もあるものの、本研究では強さに対する分類をしていない。「局地的豪雨」は「斜面崩壊」を予想させるからというのが理由の一つであるが、もう一つの理由は「局地的豪雨」の発生頻度が「大地震」よりも高いことによる。

次に、項目ごとに望ましい情報更新の頻度をアンケートした。地震時に不安に感じるまでの情報更新頻度を図-8に、通常の降雨時に不安に感じるまでの情報更新頻

図-9 降雨時に不安に感じる情報更新頻度

図-10 不安感を低減させる方法

度を図-9に示す。両者には大きな違いがあり、地震時には密な情報更新を必要としていることがこの図からもわかる。

g) 不安感を低減させる方法

図-10に示すように、不安感を低減させるには、通常の状態に戻るまでの時間や情報の更新頻度を密にするという対策が有効であると考えている人が多い。また、複数のメディアからの情報収集も有効であることがわかる。これらの対策は今後の方法発信において参考になると考えられる。

4. 安心性能低下に繋がる要因

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-11参照)。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や、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

図-11 時間経過による安心性能の低下(イメージ)

図-12 安心性能低下の累計曲線(地震)

図-13 安心性能低下の累計曲線(降雨)

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られる。

安心性能低下に係る信頼度を算出する方法として、(1) 期待値、(2) 累積期待時間によるものが考えられる。累積期待時間により算出する例を図-12(地震に関する安心性能低下の累計曲線)および図-13(降雨に関する安心性能低下の累計曲線)に示す。信頼度での性能低下期待時間の信頼度を90%とすると、地震発生時は15分間隔(図-12参照)、通常の降雨時では85分間隔(図-13参照)というように、異常時に必要な情報の種類によって大きな差があることがわかる。以下、本論では期待値を用いて不安を感じるまでの期待時間を求める。

図-7に示す災害時・異常時に必要な各情報について、不安を感じるまでの期待時間を表-2に示す。なお、表-2では、災害時・異常時に必要な情報を、後述する性能マトリクスの2つの軸として、①原因・場所に関する情報と、②対処に関する情報とに分類した。地震は、期待時間が最も短く、ドライバーは地震に関する頻繁な情報提

表-2 不安を感じるまでの期待時間(分)

	性能軸の名	期待時間(分)
雨	原因・場所	42.44
局地的豪雨	原因・場所	18.91
風	原因・場所	27.31
地震	原因・場所	8.88
路上工事	対処	29.65
通行規制	対処	22.60
道路作業	対処	28.04
速度規制	対処	28.38
チェーン規制	対処	26.67
事故車	原因・場所	18.38
故障車	原因・場所	19.93
斜面崩壊	原因・場所	13.27
火災	原因・場所	14.44
落下物	原因・場所	18.15
発生原因	原因・場所	24.33
発生場所	原因・場所	17.84
渋滞延長	原因・場所	19.68
緊急車両の到着状況	対処	15.15
渋滞処理状況	対処	21.39
解消・復旧までの時間	対処	19.74
ホットホール	原因・場所	31.76
路面不陸	原因・場所	26.22
迂回路情報	対処	20.03
定点カメラによるリアルタイム画像	対処	30.45

20分以下

表-3 安心性能マトリクスの例

		原因・場所に関する情報		
		低	中	高
対処に関する情報	低	・提供される情報の種類が少ない(表-2で期待時間が20分以下の項目が2未満) ・情報更新の頻度: 1時間以上		・提供される情報の種類が豊富(表-2で期待時間が20分以下の項目が4以上) ・情報更新の頻度: 10分間隔
	中	・提供される情報の種類が少ない(表-2で期待時間が20分以下の項目が2未満) ・情報更新の頻度: 1時間以上		
	高	・提供される情報の種類が豊富(表-2で期待時間が20分以下の項目が4以上) ・情報更新の頻度: 10分間隔		

供を求めていることがわかる。斜面崩壊や火災、緊急車両の到着情報も期待時間が短い。これらから、ドライバーが緊急時に求めている情報の種類と安心感が低下するまでの時間の目安が把握できる。設定した2つの評価軸でも、地震や斜面崩壊は原因・場所軸に、緊急車両の到着情報や迂回路情報などは対処軸に分類されることから、概ねこれらの項目はうまく分類できているといえる。

5. 安心性能マトリクス

(1) 安心性能マトリクス

前章までで論じてきた内容をもとにして、合意形成などでよく利用される性能マトリクスを表-3のように①原因・場所、②対処方法の2つの軸で定義することを考えた。

一般道路と高速道路とでは、提供する情報の内容あるいは情報更新頻度などが異なってくると考えられる。表-3の右下になるにつれて、満足度(安心感の低下度合い)は高くなるといえる。例えば、情報提供については、

提供す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、提供する情報が限定的で、更新が遅い場合は安心性能のレベルが低いとされる。例えば、表-2に示す期待時間が20分以下の項目は原因・場所で9個、対処で2個あるので、これらをプロットすると、高規格道路に該当すると評価できる。

(2) 安心性能マトリクスの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-3の安心性能マトリクスおよび情報提供や一般道路、高規格道路の差など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31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-4に、アンケート結果を図-14に示す。

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自身のイメージと合致すると回答した人が94%であった。また、評価の軸を①原因と場所、②対処として評価することに対しては87%の人が妥当と回答した。情報の種類も一つより複数ある方が安心感が高くなると97%もの人が考えていることがわかる。この結果から、表-3に示す安心性能マトリクス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。

6. おわりに

本研究では、ドライバーに対して、異常時・災害時の高速道路の新たな要求性能として安心性能 (Security Performance) を定義した。安心感の低下度合いを定量化するためにアンケート調査を実施し、災害時や異常時に必要な情報の種類、これらの情報が来ない場合に不安になると感じる時間を収集・整理した。次に、90%信頼度での性能低下期待時間を累積し、各項目の信頼度として与えた。そして、地震や斜面崩壊、緊急車両の到着情報や迂回路情報などは性能低下期待時間の短い項目として

表-4 被験者の属性

性別	男性(28), 女性(3)
年齢	10歳台(0), 20歳台(4), 30歳台(16), 40歳台(9), 50歳台(2), 60歳以上(0)
職業	会社員(25), 主婦(0), 学生(6), 無職(0)

図-14 アンケートによる確認

分類できることを示した、これらの結果から、①原因・場所、②対処方法の2つの軸で定義する安心性能マトリクスを提案し、イメージはドライバーの感覚・認識と一致していることを確認した。

参考文献

- 1) 保田敬一, 白木 渡, 井面仁志, 山脇正嗣: MSS を考慮した高速道路の安心性能に関する基礎的研究, 土木学会, 安全問題研究論文集, Vol.5, pp.49-54, 2010.11.
- 2) A.Lisnianski, and G.Levitin, Multi-state System Reliability - Assessment, Optimization and Applications -, World Scientific, 2003.
- 3) 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.
- 4) 仁平義明: 防災の心理学 ―ほんとうの安心とは何か―, 東信堂, 2009.3.
- 5) 日本学術会議: 安全・安心な社会構築への安全工学の果たすべき役割, 人間と工学研究連絡委員会安全工学専門委員会報告, 2005.8.31
- 6) 文部科学省: 「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書, 2004.4. (http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/anzen/houkoku/04042302.htm)

(2011.7.22 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON SECURITY PERFORMANCE IMPROVEMENT OF EXPRESSWAY

Keiichi YASUDA, Wataru SHIRAKI, Hitoshi INOMO and Masatsugu YAMAWAKI

In this study, the security performance that becomes driver's management criteria in the expressway is defined. Next, the factor that leads to the security performance decrease has been extracted. And, it is tried to evaluate the degree of the satisfaction rating by arranging information felt that the driver is necessary, and showing the regulatory information, the cause, and the place, etc. in the security performance matrix with two or more evaluation axes. The security performance matrix applied to the performance design system. Finally, the questionnaire of the satisfaction rating is executed to the driver, and the effectiveness of the security performance matrix is confirmed.