

橋詰交差点における信号の視認距離と事故との関連性の分析*

Relationship between Traffic Accident and Sight Distance to Signal at Intersection close to Bridge with Downhill

藤原章正** 杉恵頼寧** 岡村敏之** 江種基***

By Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE, Toshiyuki OKAMURA and Moto EGUSA

1. はじめに

わが国の交通事故件数は7年連続過去最悪を更新し、今なお増加傾向にある。そのような状況下、国は1996年度を初年度として「事故多発地点緊急対策事業」を開始し、「事故多発地点」を全国で3196箇所抽出し、道路管理者と公安委員会が連携して事故削減策を実施している¹⁾。これらの事業により、対策を行った箇所では、総じて事故件数が減少したが、個々の地点でみると必ずしも対策を行ったすべての地点や地域で効果が上がっているわけではない²⁾。例えば、広島県内の92箇所の「事故多発地点」について見ると、事故削減策の実施により1992年度から1995年度までは事故件数は減少傾向にあったが、1995年以降では、事故削減策が実施されたにもかかわらず、逆に事故件数が増加傾向にある(図1)。

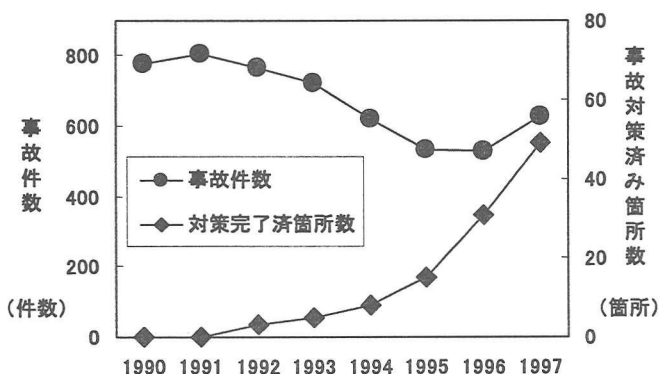


図1 広島県内の「事故多発地点」92箇所における事故件数と対策完了済み箇所数の推移

そこで本研究では、広島県内の「事故多発地点」92箇所を対象として、まず事故多発地点調査に基づいて全地点を地点の特性により5つに類型化し、類型別に対策前後の比較分析を行って、地点特性での対策効果の違いを明らかにする。そして、対策効果の大きいとは言えない地点として「橋詰交差点」を取り上げ、橋詰交差点に特有の下りの縦断勾配に着目して、信号の視認距離不足の発生確率を算出し、交通事故との関連性を検証することを目的とする。

* キーワード：交通安全、交通管理、道路計画

** 正会員 工博 広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山 1-5-1 Phone&Fax 0824-24-6921)

*** 学生員 広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山 1-5-1 Phone&Fax 0824-24-6922)

近年、安全で円滑な交通システムを実現するためのITSに関する研究開発が盛んに進められており、これから交通事故研究を行う上でITSは十分考慮されるべきであろう。特にASV(先進安全自動車)の実現によりかなりの事故が減少すると予想される。しかし、ASVの普及までには時間を要するので、短期的に効果を上げる対策の提案も重要である。そこで本研究では、構築したモデルの感度分析を行うことで、より短期的に改善できると思われる道路側の技術による事故低減の可能性について考察している。

2. 広島県内事故多発地点の特徴

表1 事故多発地点の分類

類型名	定義
①変形交差点	食い違い交差点、折れ脚交差点、及び交差角が60度以下の交差点(24)
②橋詰交差点	道路に沿って測った距離200m以内に橋が存在する地点(16)
③軌道存在交差点	対象区間内に路面電車の軌道が存在する地点(7)
④急カーブ地点	標準曲線半径が150m以下の地点(19)
⑤事故多発地点連続交差点	事故多発地点が連続している交差点(14)

注 ()内は抽出箇所数であり、重複をみとめた。

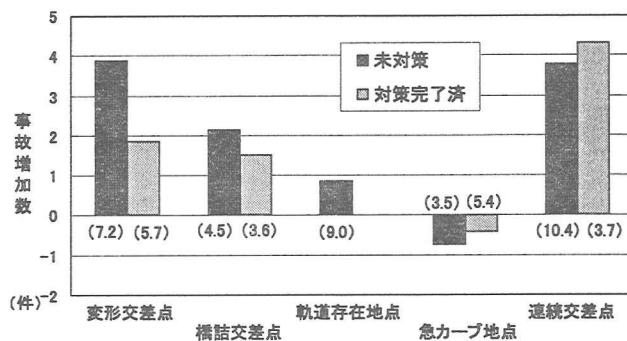


図2 対策有無別の1地点あたりの平均事故増加数
(事故増加数=97年度事故件数-95年度事故件数)

広島県内の92箇所の「事故多発地点」について、道路構造の諸元を判別基準として全地点を5つに分類した(表1)。そして、各類型別に「対策完了済箇所」と「未対策箇所」

それぞれにおける 1995 年から 1997 年までの 1 地点あたりの平均事故増加数を図 2 に示す。図の () 内の値は、1995 年度における各地点の平均事故件数である。

図 2 より、地点類型により対策の効果が大きく異なっていることが分かる。変形交差点では事故増加数の減少が著しいが、橋詰交差点・連続交差点では対策の効果が大きいとは言えない。

3. 橋詰交差点の事故発生特性

1997 年までに何らかの対策を行った 7 箇所の橋詰交差点について対策前後 1 年間の事故の増減数を表 2 に示す。最も多くとられた対策は、「交差点内誘導標示」(3 箇所)であるが、必ずしも事故の減少にはつながっていない。この対策は橋詰交差点の中でも、特に交差点面積が広い、つまり多車線道路同士の交差点のため交差点内で輻輳が生じやすい地点で行われている。一方、交差点規模はそれほど大きくない西神島交差点では、数種の対策により事故削減効果を上げている。個々の対策がどの程度事故削減に効果があったのかはわからないが、「隅切り改良」「壁高欄部分撤去」「補助信号機設置」「信号機位置検討」を行うことによる前方の交通状況の明確化が事故発生に影響していると考えられる。

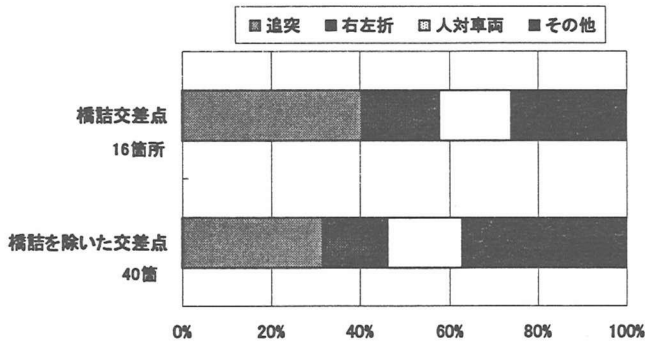


図 3 橋詰交差点とそれ以外の交差点の事故類型別比率

広島県内の 56 箇所の交差点を、橋詰交差点とそれ以外の交差点にわけ、それぞれの交差点で発生した事故の類型別の比率を図 3 に示す。図から、橋詰交差点では追突事故の発生割合が最も高く(40.1%)、橋詰交差点以外の交差点の割合 (31.6%) よりも高いことがわかる。追突事故は、前方車の挙動に関しての不適切な判断が原因となっている場合が多く、判断ミスは運転者が信号待ち車両による渋滞などの前方の道路状況を把握していない場合に発生することが多い。従って、ドライバーが危険回避行動を適切に行うためには、適当な距離をもって前方の道路状況を自分の目で確認したり、信号標示から予測したりすることが必要となる。また、橋詰交差点の特徴として、橋梁桁下のクリアランスを確保するための橋中央部の盛上がりにより、橋出口に急な縦断勾配が存在することが挙がる。急な縦断勾配のため、制動距離が増加してしまうことが追突事故発生に影響すると考えられる。

これらの関係を考慮して立てた追突事故発生メカニズムの仮説を、バリエーションツリー^{3), 4)}を用いて示す(図 4)。バリエーションツリーは、事故当事者の挙動の変化を時間を追って示したものであり、追突車や被追突車(前方車)の行動やそれに影響する要因との関連性を視覚的に表現できるものである。

追突事故が発生するまでに二つの段階がある。まず、追突車・被追突車の認知不足や判断ミスが生じると考えられる段階(Ⅱ)がある。この段階は直接的に事故につながる段階であり、例えば、橋詰での視認距離不足で渋滞末尾を認知できない場合や信号標示の切替わる時の運転手の判断ミスなど、様々な運転挙動が相互に影響し合っていると考えられる。図には、紙面の都合により追突車の判断ミスが事故につながるケースのみ示している。もう一方で段階Ⅱの運転挙動に影響を与える段階(Ⅰ)がある。事故に直接関わると考えられる段階Ⅱへの対応も当然重要であるが、その更に背景にあるⅠについても考慮すべきで、ここではそちらを対象とする。そして、橋詰交差点の事故は、不適切な信号設置位置や前方車の存在により事故当事者が信号からの情報を視認できない

表 2 橋詰交差点の事故件数の増減

箇所名	増減数	行った対策	車線
緑井六丁目	3	右折レーン延伸	6×2
西神島	-6	隅切り改良, 歩道設置, 壁高欄部分撤去, 補助信号設置, 信号機位置検討, 信号現示改良, 右折レーン増設, 交通島撤去	4×2
白島	-1	右折レーン増設, 交通島撤去	4×4
稻荷町	20	交差点内誘導標示, 植樹伐採	6×4
羽衣町	-1	交差点内誘導標示, 右折レーン新設	4×4
庚午橋東	1	交差点内誘導標示	6×2
入江大橋北	19	植栽の剪定, 視線誘導標	4×4

注 増減数：対策前後 1 年間の事故件数の差

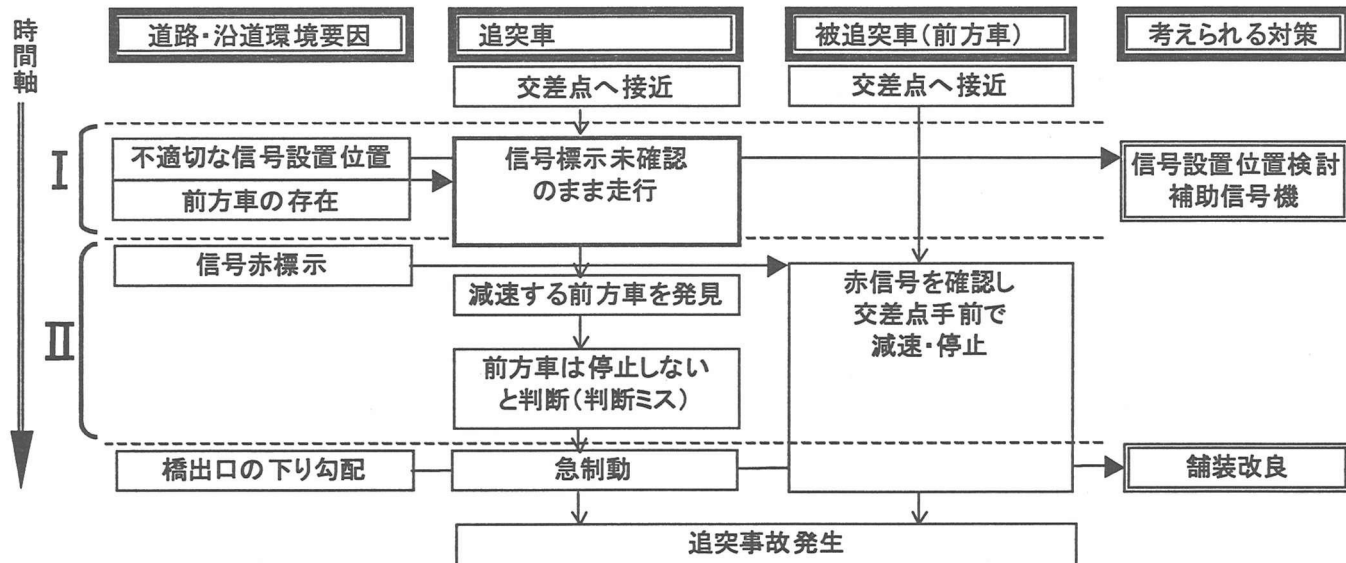


図4 橋詰交差点のバリエーションツリー図

ことが直接事故につながる運転挙動になんらかの影響を与えるために発生するものと推測する。

現在、道路設計においては「最小視認距離 S 」が規定されており、信号の視認距離がこれを超えるように平面交差は設計されている⁵⁾。この最小視認距離 S は、「交差点に接近する車両が交差点を安全かつ円滑に通過するために必要とする、交差点における標識、信号が確認できる最小の距離」であり、制動停止距離を基礎として考えられている。道路構造令の採用する制動停止視距は設計速度だけで決まっており（例えば、都市部の設計速度 60km/h の信号交差点であれば 170m など）、縦断勾配による影響は少ないという理由から縦断勾配の影響は考慮されていない⁵⁾。すなわち最小視認距離を求める場合には、縦断勾配の影響は考えられていない。また、道路設計における視距には、交差点内および近接車線の車両などは考慮されていないため、実際の交通特性によっては視距不足が発生すると考えられる。

そこで次章では、はじめに、ドライバーが最小視認距離を確保できない確率（信号視認距離不足の発生確率）を前方車の存在を考慮して定義し、次に、そこで用いられる最小視認距離を、勾配を考慮して算出し、最後に橋詰交差点 4 地点を対象に視認距離不足の発生確率と事故との関連性を検証する。

4. 視認距離不足の発生確率と事故との関連性

(1) 視認距離不足の発生確率の算定

前方車の存在する勾配 α の区間における信号視認距離を考える（図 5）。 θ_0 を前方車との車頭距離が十分大きい場合のドライバーが道路平行線から信号を視認するときの仰角とし、 θ_1 を前方車との車頭距離が小さい場合の仰角とする。そして $\theta_0 \leq \theta_1$ となるとき、視野が先行車により遮断され信号の視認ができないことになる。 $\theta_0 = \theta_1$ となるとき、信号からの距離 x_0 を「視認可能距離」と定義すると、式(1)で表される。 x_0 は、ある車頭距

離をもつ当該者が信号をはじめて視認できる信号からの距離を意味する。（ここで θ の取り方に俯角と仰角が考えられるが、算出方法は等しいので本研究では仰角のみ扱うこととする。）

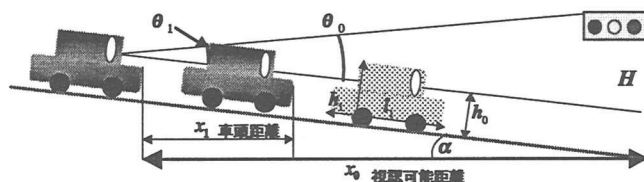


図5 分析の概念

$$x_0 = \frac{(H \cos \alpha - h_0)}{h_1 - h_0} x_1 - \frac{l_1 \cos \alpha (H \cos \alpha - h_0)}{h_1 - h_0} + (H \cos \alpha - h_0) \sin \alpha \quad (1)$$

道路区間において α を定数とすると、式(1)は単純化され確率変数は車頭距離 x_1 だけとなる。車両の到着がポアソン過程に従うと仮定すると、車頭距離 x_1 は指数分布に従う。本研究では、原点から最小車頭距離（前方車の車長 l_1 と仮定）だけシフトした式(2)を確率密度とする指数分布を考える。

$$f(x_1) = \lambda e^{-\lambda(x_1 - l_1)}, \quad (x_1 \geq l_1) \quad (2)$$

ここで、 $\lambda = 1/(\bar{x}_1 - l_1)$ 、 $\bar{x}_1$ ：平均車頭距離、 l_1 ：最小車頭距離（=車長）である。

このとき、式(1)より明らかなように、視認可能距離 x_0 も指数分布に従い、確率密度関数は

$$f(x_0) = \lambda' e^{-\lambda'(x_0 - l_1')}, \quad (x_0 \geq l_1') \quad (3)$$

となる。ここで、 $\lambda' = 1/(\bar{x}_0 - l_1')$ 、 $\bar{x}_0$ ：平均視認可能距

離, l'_1 : 最小視認可能距離である。これらは, 式(1)の x_1 に $\bar{x}_1$, l_1 を代入してそれぞれ得ることができる。式 (3) の確率密度関数を図6に示す。

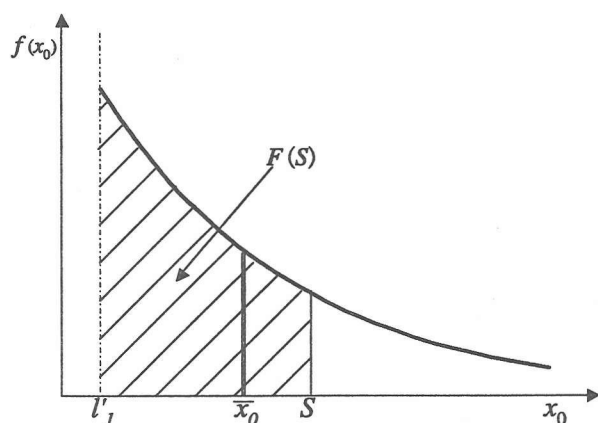


図6 視認可能距離の分布

ここで, 前章で述べた車両の安全性のために規定されている「最小視認距離 S 」を確保できない確率を考える。当該車の信号視認可能距離 x_0 が, 最小視認距離 S よりも短い場合に, 信号視認距離不足が生じていると考えられる。この信号視認距離不足の発生確率 $F(S)$ は, 図6における斜線部分の面積であり, 式(4)で表される。

$$F(S) = P(x_0 \leq S) = \int_{l'_1}^S \lambda' e^{-\lambda'(x_0 - l'_1)} dx_0 = 1 - e^{-\lambda'(S - l'_1)}, (S \geq l'_1) \quad (4)$$

なお当該車・前方車の車両によって $F(S)$ は異なるため, 交差点断面における大型車混入率 β を考慮すると, $F(S)$ は以下のように表される。

$$F(S) = (1 - \beta)^2 F_{ss}(S) + \beta(1 - \beta) F_{sh}(S) + \beta(1 - \beta) F_{hs}(S) + \beta^2 F_{hh}(S) \quad (5)$$

ただし, $F_{ij}(S)$: 当該車が i 前方車が j のときの信号視認距離不足の発生確率 (s : 小型車, h : 大型車), β : 大型車混入率

(2) 最小視認距離 S への縦断勾配の影響

信号制御される交差点において, 信号を明確に視認しなければならない最小距離 (最小視認距離) は, 運転者が信号を見てからブレーキを踏むまでの時間 (前反応時間) に走行する距離と, 不快感を感じない程度にブレーキを踏んで停止線の手前で停止するまでに走行する距離との合計として算出される。道路構造令では, 最小視認距離 S (m) は, 設計速度を V (km/h), 減速度を a (m/s²), 全反応時間を t (s) として,

$$S = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{1}{2a} \cdot \left(\frac{V}{3.6} \right)^2 \quad (6)$$

と表されており, 都市部において $t = 6s$, $a = 0.2g$ (g は重力加速度) と仮定されている⁹⁾。

道路の幾何設計を行う場合に用いられている最小視認距離は式(6)で求められるが, 縦断勾配の影響による制動距離の増加が考慮されていない。すなわち, 図7における自重 w と勾配 α に依存する重力 $wg \sin \alpha$ と摩擦抵抗 $f wg \cos \alpha$ (f : タイヤと路面との縦すべり摩擦係数) が車両に働くため, 制動距離はその影響を受ける。これを考慮して定式化したものが式(7)である。

$$S' = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{1}{2g(f \cos \alpha - \sin \alpha)} \cdot \left(\frac{V}{3.6} \right)^2 \quad (7)$$

ここで, 式(8)に合わせるため, $f = 0.2$ を用いることとする。

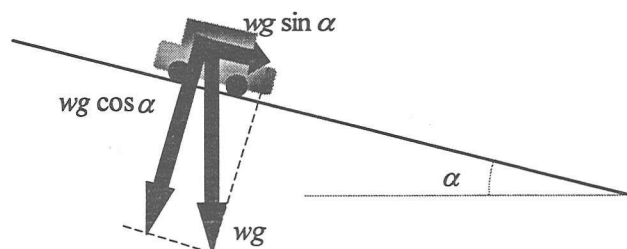


図7 自動車を受ける力

橋詰交差点のような下り勾配の大きな地点では, 当然制動のための距離は長く必要と考えられる。よって, 縦断勾配の影響を考慮した最小視認距離 S' を確保することが重要と考える。

(3) $F(S')$ と事故発生の関係

そこで, 勾配の影響を考慮した最小視認距離を確保できない確率を改めて, 「信号視認距離不足の発生確率 $F(S')$ 」とし, 式(1)-(7)を用いて構造および交通諸量の異なる4箇所の橋詰交差点を対象に $F(S')$ を算出し, 1990年度から1997年度までの追突事故の発生件数と $F(S')$ との関係を考察する(表3)。

表3 信号視認距離不足の発生確率と追突事故件数

箇所名	α (%)	β (%)	$\bar{x}_1$ (m)	$F(S')$	事故件数
平野橋	3.12	16.8	34.2	0.573	85
白島	2.22	9.1	36.6	0.433	50
先小倉	1.40	11.1	55.2	0.387	22
羽衣町	1.87	17.5	59.3	0.311	10

相関係数 0.983

(α : 縦断勾配, β : 大型車混入率, $\bar{x}_1$: 平均車頭距離)

ここで、表3の α は、橋の最も盛り上がった箇所と信号設置位置とを直線で結んだ時の水平からの直線の傾きを示している。各交差点の縦断勾配 α は道路管理者から提供されたものを用いる。 β 、 $\bar{x}_1$ は地点の代表値として1998年度事故多発地点調書のものを用いる。 $F(S')$ の算出はともに道路設計の際に標準的に用いられる値⁵⁾を用いて、各変数を以下の通りとする。

- ・前方車の車高 h_1 ：小型車2.0m、大型車3.8m
- ・車長 l_1 ：小型車4.7m、大型車12m
- ・運転者の目の高さ h_0 ：小型車1.2m、大型車1.8m
- ・信号機高さ H ：6.0m

表3より、信号視認距離不足の発生確率 $F(S')$ と事故件数との間に正の強い相関関係があることがわかる。よって、信号視認距離不足が追突事故に影響をもたらしていると考えられる。

5. 信号視認距離不足の発生確率 $F(S')$ を用いた政策の感度分析

本章では、前章で事故との関連性が確認された最小視認距離不足の発生確率 $F(S')$ を用いてハード面に対して実施可能と考えられる政策の感度分析を前述の4箇所の橋詰交差点を対象に行う。

(1) $F(S')$ と信号機設置位置の関係

信号機が視認できないことが事故に影響を与えることがわかったので、図8のように信号機を停止線手前に移設することや、補助信号機を設置することが政策として考えられる。これは図に示すように式(1)における「信号機高さ H 」を大きくすること(H' にすること)によって、同様な効果を見ることが可能である。

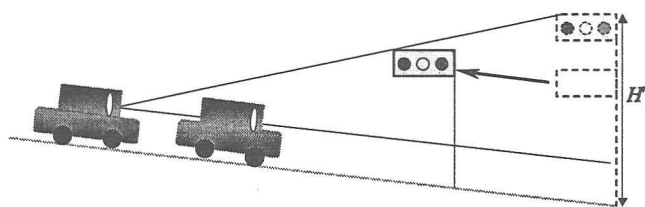


図8 信号機の位置と信号機高さ H'

よって、前章の計算に用いた $H=6\text{m}$ を基準として、信号機の高さと $F(S')$ との関係について考察する(図9)。ここで、図の縦軸は、 $H=6\text{m}$ の時の $F(S')$ に対する各信号機高さの時の $F(S')$ の比率をとる。図9より信号機高さ H' が大きくなるにつれて $F(S')$ は右下がりになっていくことがわかり、その減少率も4箇所の交差点でほとんど差は見られない。すなわち信号機移設・補助信号設置を行うことで事故件数を減少させることができると考えられる。

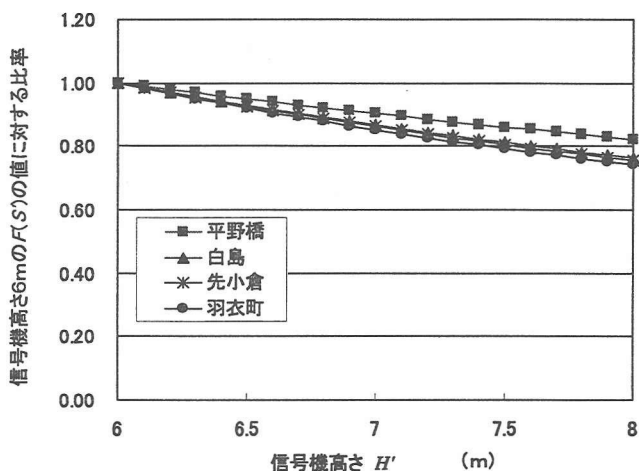


図9 $F(S')$ と信号機高さ H' の関係

(2) $F(S')$ と縦すべり摩擦係数の関係

追突事故はドライバーが前方車とぶつからないように減速・停止することで回避できる。ドライバーが事故を回避するためにより強くブレーキを踏めば、より減速は強くなる。ただし、減速度は最大でも $f \cdot g$ (f : タイヤと路面との縦すべり摩擦係数、 g : 重力加速度) が限度であることを考えれば、例えば舗装改良などによって f を高める政策が事故防止において必要となる。ここでは、前章での計算に用いた $f=0.2$ の時の $F(S')$ を基準にして、縦すべり摩擦係数と $F(S')$ との関係を考察する(図10)。図10より縦すべり摩擦係数を大きくすることで $F(S')$ を小さくすることがわかる。しかし、信号機高さの場合とは若干異なり、 $F(S')$ の改善効率率は縦すべり摩擦係数の増大とともに逓減している。すなわち、縦すべり摩擦係数の小さい地点でより効果が大きいといえる。

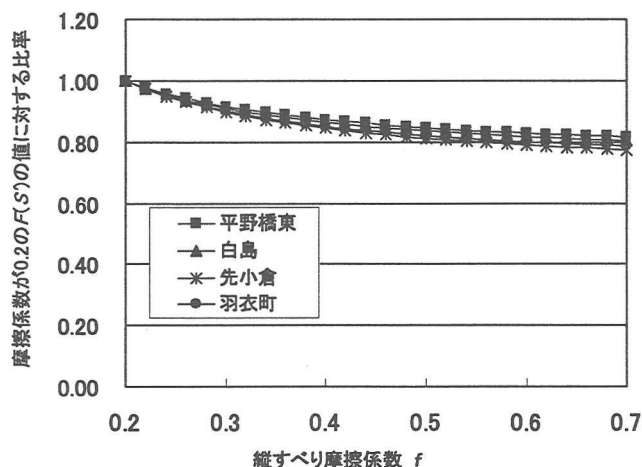


図10 $F(S')$ と縦すべり摩擦係数の関係

6. 結論

本研究では、橋詰交差点を対象に、追突事故の発生に直接的につながると考えられるドライバーの運転挙動に、

信号の視認距離不足が影響するとして、その発生確率の算定と追突事故件数との関係の検証を行い、視認距離不足発生と事故発生に正の相関関係があることを示した。すなわち、ドライバーが信号情報を適切に得られないことが、橋詰交差点における事故の発生要因のひとつとして考えられる。よって、橋詰交差点などの下り勾配のある交差点ではドライバーに早く信号情報を与えることが1つの有効な対策として考えられる。例えば道路施設の観点からでは補助信号を交差点の手前に設置したり、信号機を高くすることなどが考えられる。また、下り勾配区間においては、制動距離は縦断勾配だけでなく、タイヤと路面との縦すべり摩擦係数にも依存することから、排水性舗装の導入により制動距離を短くする対策なども今後考えられる。

一方、本研究では、信号視認距離不足の発生確率と事故件数との関係を考察する上で、データの制約のため、発生確率算定の変数（大型車混入率、平均車頭距離、縦断勾配）は1時点のものをを用い、事故件数は8年間の合計値を用いている。したがって、各種変数と事故件数の変動との関係を考慮していないので、同じ時点のデータを用いて同様の検証を行うことが必要である。

また、信号視認距離を求める過程で同一車線における前方車のみを視認性低下の要因としているが、信号機は同一車線上にあるとは限らないので、複数車線における隣接車線の車両との関係を考慮する必要がある。加えて、視認という観点での分析では、夜間と昼間の事故、晴天と雨天の事故などを分けて検討する必要もある。

さらに、構築したモデルの算出方法は俯角と仰角で等しいため、橋詰交差点などの下り勾配区間の交差点以外

にも適用できると考えられる。よって、今後は、より多くの地点にモデルを適用し、モデルの一般性・適用範囲について十分検討する予定である。

謝辞

最後に本研究を進めるにあたり貴重な資料を提供して頂きました、旧建設省広島国道事務所・旧建設省福山工事事務所・広島県土木建築部・広島市道路交通局の方々に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 総務庁編：交通安全白書(平成11年版)，大蔵省印刷局，pp.61-63，1999
- 2) 建設省・警察庁：事故多発地点緊急対策事業の概要について，<http://www.mlit.go.jp/road>
- 3) 井上大輔，古屋秀樹：交通事故の実態把握とその要因分析—つくば周辺地域を対象として—，第27回関東支部技術研究発表会講演概要集第4部門，pp.732-733，2000
- 4) 古屋秀樹，鹿野島秀行，牧野修久，寺奥淳：非幹線道路における交通事故発生の実態とその抑制に関する一考察—安全確認不履行による交差点出会い頭事故を中心として—，第20回交通工学研究発表会論文報告集，pp.21-24，2000
- 5) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，pp.47-58，319-320，1983
- 6) 佐佐木綱，飯田恭敬：交通工学，国民科学社，1992

橋詰交差点における信号の視認距離と事故との関連性の分析

藤原章正，杉恵頼寧，岡村敏之，江種基

本研究は、「橋詰交差点」に特有の下りの縦断勾配に着目して、信号の視認距離不足の発生確率を算出し、交通事故との関連性を検証することを目的とする。まず、広島県内の「事故多発地点」92箇所を対象とした予備分析から、交通安全対策効果の大きいとは言えない地点として「橋詰交差点」を抽出した。次に橋詰交差点のデータを用いて検証を行った結果、視認距離不足発生確率と事故発生には強い関係が認められた。

Relationship between Traffic Accidents and Sight Distance to Signal at Signalized Intersection with Downhill

By Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE, Toshiyuki OKAMURA and Moto EGUSA

This study aims at examining the relationship between traffic accidents and the probability that the sight distances to traffic signals are inadequate at signalized intersections with downhill. The signalized intersections with downhill are selected firstly as less effective sites of the road safety measures by a preliminary statistical analysis based on traffic accident data at 92 high-accident sites in Hiroshima. It is turned out that the probability strongly correlates with the traffic accidents.