

路側構造物衝突事故の解析と危険度評価モデルに関する研究

Some Statistical Analyses on the Collisions with Roadside Hazards
and Development of Roadside Hazard Model

斉藤 和夫・榎谷 有三

By Kazuo SAITO and Yuzo MASUYA

Single-vehicle accidents, especially collisions with roadside hazards are a major highway safety problem in many countries. However, the problem has been paid little attention in the highway safety research in Japan. In this paper, therefore, some attempts are made to perform some statistical analyses on the collisions with roadside objects in Hokkaido, and to develop a simple roadside hazard model for estimating the hazard of particular roadside object. Based on the results of statistical analyses, logit model is developed for estimating the probability of fatal accident in roadside impacts and then a simple roadside hazard model is developed for the conditions that vehicles will encroach to the left-side and collide with object on a tangent section of two-lane highway.

1. はじめに

昭和40年代において交通事故の多発が重大な社会問題となって以来、関係方面において運転者の教育、自動車の安全性の改善、道路交通環境の整備、交通規制・取り締まりの強化など多くの対策が講じられてきた。その効果として、昭和45年における交通事故死亡者16,765人（警察庁統計）が昭和54年には8,466人とほぼ半減した。しかし、その後における交通事故死亡者は横這いから増加傾向に転じ、昭和63年にはついに10,000人を超える事態となり、交通安全問題に対して新たな対応策の検討に迫られてい

るのが現状である。交通事故はその発生形態から、歩行者事故、車両相事故、車両単独事故に大きく分類することが出来る。このうち、車両単独事故は他の事故形態に比べてその発生割合は小さいが、致死率が高く、死亡事故発生の危険度は著しく高いのが特徴である。そのため、この車両単独事故およびその被害の減少対策を講じることは、交通事故死亡者減少に大きく役立つものと考えられる。車両単独事故は車両が路外に逸脱し、転落するタイプと路側空間に存在する構造物、電柱、標識、樹木等に衝突するタイプに分けられるが、いずれのタイプも重大事故になるケースが多い。したがって、道路環境の整備・改善の側面からすると、路側空間の安全設計（Roadside Safety Design）が重要な課題となる。この問題については既に諸外国で積極的に研究が進められているが、わが国では路側構造物等との衝突事故の実態も把握されていないのが現状である。

そこで本論文は、①北海道で発生した車両単独事

* キーワード 単独事故、モデル、危険度評価

** 正員 工博 室蘭工業大学工学部教授
土木工学科（〒050 室蘭市水元町27-1）

*** 正員 工博 苫小牧工業高等専門学校助教授
土木工学科（〒059-12 苫小牧市錦岡443）

故の調査し、数量化分析により路側構造物衝突事故発生の特徴と要因を明らかにする、②路側空間における構造物等の種類別に死亡事故確率推定モデルを開発する、③路側構造物衝突事故の危険度評価モデルを開発することを目的として行なった研究の成果をまとめ、路側空間の安全設計のための基礎資料を提供しようとするものである。

なお、本研究は昭和62～63年度文部省科学研究費補助金（一般研究C）「路側空間における構造物等との衝突事故の危険性評価モデルの開発に関する研究」により行なったものである^{1)、2)}。

2. 路側構造物衝突事故の現況

わが国における交通事故の発生形態別の構成率を人身事故件数と死亡事故件数に分けて、昭和60年について示すと図-1のようになり、死亡事故危険度について示すと図-2のようになる。図-2の場合の死亡事故危険度は事故発生件数1000件に対する死亡事故件数で示されている。図-1から、車両単独事故は全事故件数の5.5%を占めるにすぎないが、死亡事故では27.3%を占めており、その相対発生率（死亡事故の割合／事故件数の割合）は5.0となるが、歩行者事故では1.9、車両相互事故では0.5となる。一方、図-2の死亡事故危険度について見ると、歩行者事故30.6、車両相互事故8.5に対して車両単独事故は79.0と非常に高くなっている。車両単独事故の内容別危険度をみると、工作物衝突事故が86.3、路側逸脱事故が101.9となり、この2形態の事故が大きな問題であることがわかる。

車両単独事故のうちの工作物衝突事故は表-1に示すように、昭和58～62年の間に3,974件発生し、その死亡事故危険度は63.8であるが、北海道では301件発生し、その危険度は164.3と全国の1.9倍となっている。

図-1 事故類型別交通事故発生状況（全国、昭和60年）

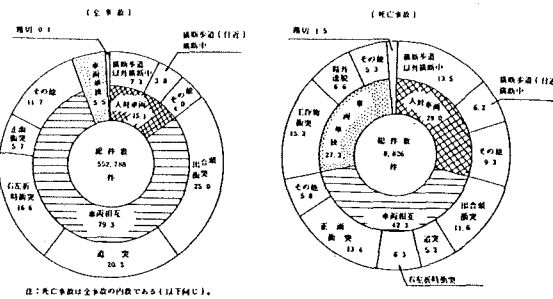
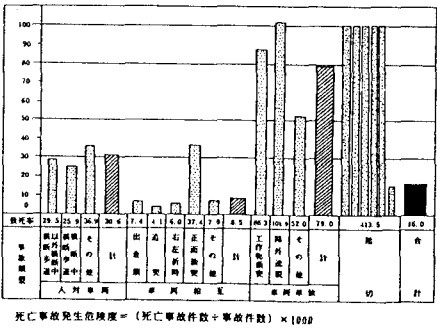


図-2 類型別死亡事故発生危険度（全国、昭和60年）



さらに、工作物衝突事故を内容別に電柱、標識、分離帯、防護柵、その他に分けて見ると、全国でも北海道でも電柱と防護柵との衝突による死亡事故が多く、50%以上を占めている。しかし、死亡事故危険度の高さの順位は異なっている。衝突物別に全国と北海道の死亡事故危険度を比較すると、北海道は

表-1 路側構造物衝突別の事故件数の推移と死亡事故危険度の比較

事故類型		工作物衝突										路側逸脱			
		電柱		標識		分離帯		防護柵		その他の工作物		転落		その他	
年		事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数	事故数	死亡事故数
北海道	58	168	21	15	1	8	3	106	21	140	26	437	72	522	73
	59	128	15	14	3	18	4	103	18	147	34	410	74	385	43
	60	156	25	18	4	12	1	124	23	168	29	479	82	386	42
	61	181	21	17	2	34	6	128	21	146	23	506	73	385	42
	計	633	82	64	10	73	14	461	83	601	112	1832	301	1678	200
致死率(A)		129.5		156.3		191.8		180.0		186.4		164.3		119.2	
全国	58	4170	40	672	61	908	98	4507	372	5541	429	15798	1363	6062	641
	59	3873	37	648	53	854	90	4428	344	5275	447	16078	1307	5388	559
	60	3941	38	640	71	825	84	4727	366	5640	456	16673	1353	5699	581
	61	3966	41	693	66	969	102	4789	366	5364	422	15751	1373	5649	551
	計	15960	157	2663	251	3556	374	18421	1438	21720	1754	62300	5396	22798	2332
致死率(B)		99.0		94.6		105.2		78.1		80.8		86.6		102.3	
A/B		1.31		1.65		1.82		2.30		2.31		1.90		1.17	

全国より防護柵とその他の衝突で2.3 倍、分離帯で1.8 倍、標識で1.7 倍、電柱で1.3 倍の死亡事故危険度となっている。

以上のように、車両単独事故、特に工作物衝突事故は死亡事故になる危険性が非常に高いことから、その防止対策は緊急の課題であり、防止対策の効果的な推進は死亡事故減少に大きく寄与することは明らかであるが、この問題についてはわが国でほとんど研究されていないのが現状である。

3. 路側構造物衝突事故の特性と要因分析

(1) 路側構造物衝突事故の特徴

本研究で分析対象とした車両単独事故は、北海道で昭和58年と60年に発生した2,198 件のうち、路側構造物衝突事故 917件と路外逸脱転落事故 834件であり、その事故内容を表-2 に示す。これによると路側構造物衝突事故のうち死亡事故は182 件(20%)で死亡者 202人が、路外逸脱転落事故のうち死亡事故件数は133件(16%)で死亡者 139人が生じており、これを事故 100件当たりの死亡者数を表わす致死率で比較すると、路側構造物衝突事故22.0、路外逸脱事故16.7と路側構造物衝突事故の死亡者発生確率が高くなっていることがわかる。路側構造物事故の衝突物では、最も多いのが電柱318 件(34.7%)、防護柵225 件(24.5%)、橋梁62件(6.8%)の順である。

図-3 は路側構造物衝突事故と路外逸脱転落事故の発生時間分布を北海道の全事故と比較して示したものである。この図から、路側構造物衝突事故の夜間における発生が極めて高いことが注目される。また、道路線形で見ると表-3 に示されるように、右カーブでの事故発生が左カーブより高く、下り坂での発生が上り坂よりも高くなっている。路側構造物衝突事故と路外逸脱事故について、進行方向別に事故直前の速度と致死率を図-4 に示す。進行方

表-2 分析対象事故の内容

事故内容	路側構造物衝突		路外逸脱転落		合 計	
	件数	人数	件数	人数	件数	人数
死亡	182	202	133	139	315	341
重傷	263	367	249	350	512	717
軽傷	472	918	452	977	924	1,895
合計	917	1,487	834	1,359	1,751	2,846

図-3 分析対象事故の時間分布

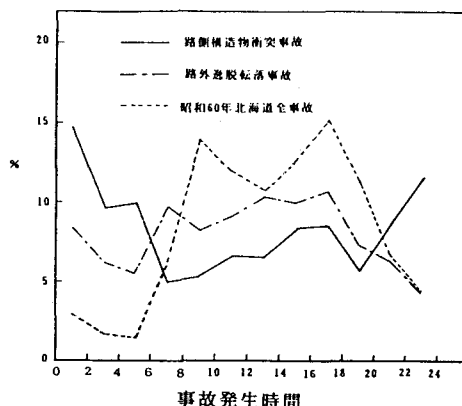


表-3 道路線形別交通事故発生状況

道路線形		路側構造物衝突		路外逸脱転落	
		件数	%	件数	%
上り坂	カーブ 右	18	2.0	30	3.6
	カーブ 左	13	1.4	15	1.8
	直 線	29	3.2	18	2.2
下り坂	カーブ 右	57	6.2	61	7.3
	カーブ 左	32	3.5	39	4.7
	直 線	32	3.5	31	3.7
平坦	カーブ 右	165	18.0	165	19.8
	カーブ 左	112	12.2	135	16.2
	直 線	457	49.8	341	40.8
そ の 他		2	0.2	-	-
合 計		917	100.0	834	100.0

図-4 事故直前の速度と進行方向別危険度

進行方向 直前の速度		事故直前の速度							合 計
事故類型		40 km/h以下	41-50 km/h	51-60 km/h	61-70 km/h	71-80 km/h	81-90 km/h	91 km/h以上	
路側構造物衝突	40 km/h以下	7.9	14.3	6.7	-	-	-	-	6.7
	41-50 km/h	11.7	9.8	8.7	-	-	-	-	9.6
	51-60 km/h	16.4	34.1	22.8	12.5	15.8	8.6	14.3	23.6
	61-70 km/h	41.7	75.0	80.0	30.0	30.8	55.0	50.0	53.5
	71-80 km/h以上	66.7	62.5	88.9	-	133.3	118.2	-	87.2
合 計		15.5	27.8	24.4	14.5	20.0	36.0	20.0	21.9
路外逸脱転落	40 km/h以下	15.6	15.0	8.3	12.5	11.1	6.7	-	11.8
	41-50 km/h	7.0	10.9	9.4	7.7	-	8.6	16.7	8.0
	51-60 km/h	8.5	23.3	20.3	15.8	4.8	16.2	50.0	16.1
	61-70 km/h	43.5	30.0	44.0	10.0	21.4	5.3	-	28.9
	71-80 km/h以上	66.7	66.7	50.0	62.5	30.0	66.7	-	54.3
合 計		14.6	20.7	19.5	16.9	10.5	13.4	21.4	16.4

向別に見ると、最も致死率が高いのは左カーブで右側へ逸脱して構造物に衝突した場合で、次いで直線で右側へ、右カーブで左側への順になっている。速度との関係で見ると、いずれの進行方向においても事故直前の速度が高くなるにつれて致死率が高くなっており、80km/hを超えると致死率が急激に高くなる傾向がある。

(2) 数量化理論による影響要因分析

路側構造物衝突事故においても死亡事故と重軽傷事故とは異なる発生特性を示すものと考えられる。そこで、両者を外的基準にとり数量化理論Ⅱ類分析を行なった。取り上げた要因（説明変数）は自然条件、道路条件、運転者条件等に関する15要因である。死亡事故と重軽傷事故を判別するのに影響度の大きい要因のカテゴリースコアの傾向図を示すと図-5のようになる。分析結果から次のことが明らかになった。すなわち、影響度の最も大きな要因は事故直前の速度であり、次いで当事者種別、年齢、免許取得後の経過年数となっている。また、路面状態、天候、地形、道路形状等の影響度は小さい。カテゴリースコアの傾向図から、路側構造物衝突事故において死亡事故の発生し易い条件がかなり明確になった。例えば、事故直前の速度が高くなるほど、運転者の年齢が高くなるほど死亡事故になる傾向がある。また、2輪車の事故は死亡事故になりやすい傾向がある。

路側構造物衝突事故において、カーブ事故と直線事故を外的基準とした場合の数量化Ⅱ類分析についての結果を図-6に示す。影響度の最も大きい要因は事故直前の速度であり、次いで事故類型、道路幅員、道路形状、地形の順である。道路種別、路面状態の影響は小さいが、天候の影響はかなり大きい。また、カテゴリースコアの傾向図から、事故直前の速度が高くなるほどカーブ事故に、2輪車はカーブでの事故が多くなる。衝突物ではカーブで防護柵に、直線では電柱・標識に衝突する傾向がある。道路幅員は9m未満でカーブ事故、9m以上で直線での事故となる傾向がある。カーブでの事故は速度が高い状態で、直線部での事故は速度の低い状態で発生する傾向がある。

路側構造物衝突事故と路外逸脱事故を外的基準と

図-5 カテゴリースコアの傾向図（死亡・重軽傷事故判別）

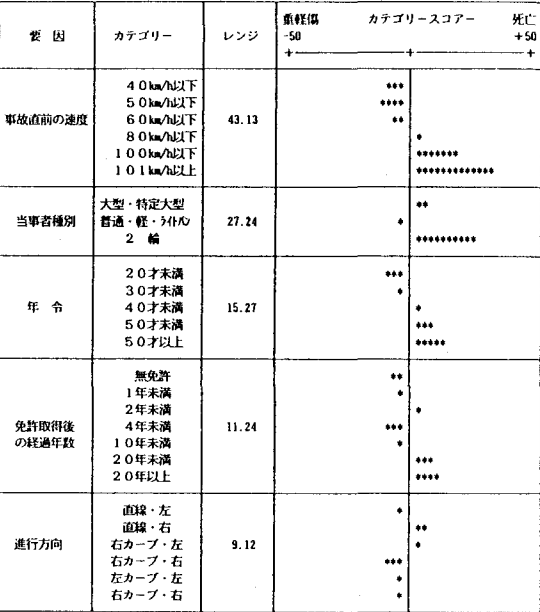
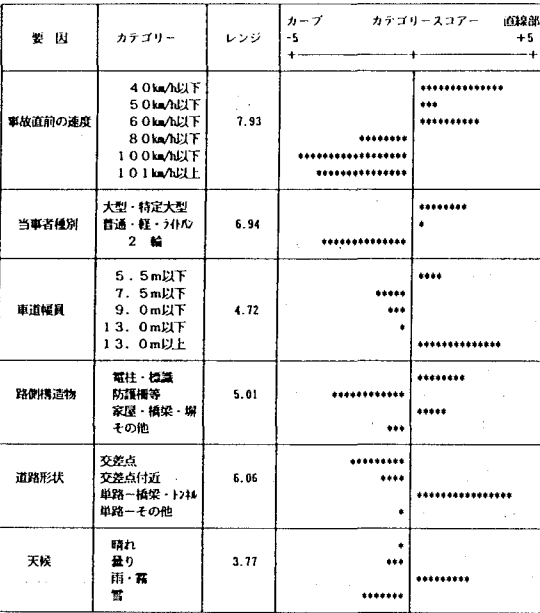


図-6 カテゴリースコアの傾向図（カーブ・直線事故判別）



した数量化分析の結果を図-7に示す。両者を判別する影響度の最も大きい要因は地形であり、次いで道路形状、道路幅員、事故直前の速度の順である。道路幅員は9m未満で転落事故が、9m以上で構造物衝突事故が発生し、市街地で衝突事故、非市街地で転落事故が発生する傾向がある。また、60km/h以

下の速度で衝突事故が、60km/h以上の速度で転落事故になる傾向があり、発生時間では早朝と深夜に衝突事故が発生し易くなる。

4. 路側構造物衝突事故の死亡確率推定モデル

路側構造物衝突事故における死亡事故発生の確率を推定するために、ロジットモデル(logit model)を適用して死亡確率の推定モデルの開発を試みた。モデルに用いた要因は前節の分析結果から、死亡事故発生に大きな影響度をもつと考えられる事故直前の速度と当事者種別であるが、当事者種別については構造物との衝突エネルギーを考慮に入れるために車両の総排気量を用いた。この場合、車両重量を用いるのが理想的であるが、全ての事故車両について重量を求めることが困難であったことから総排気量で代用したものである。用いられた推定式は次式で示される非集計ロジットモデルである。

$$P = \frac{\exp(a + b_1 x_1 + b_2 x_2)}{1 + \exp(a + b_1 x_1 + b_2 x_2)}$$

ここで、P = 死亡事故発生確率 x_1 = 事故直前の速度(km/h) x_2 = 衝突車両の総排気量(cc)

事故を路側構造物衝突と路外逸脱転落に分けた場合、路側構造物衝突事故を衝突物別に分けた場合の推定モデルのパラメータ値を表-4に示す。この場合的中率とは、モデルによる使用データの判別の程度を示している。これらのモデルにより計算された死亡事故発生確率と要因の関係(ノモグラフ)の例を図-8(電柱)と図-9(防護柵)に示す。これらの分析結果から次のことが明らかになった。

① 事故類型を路側構造物衝突と路外逸脱転落に分けて比較すると、路外転落の死亡事故発生確率に対する総排気量の影響が大きい。しかし、この場合的中率は高くない。

表-4 ロジットモデルの回帰係数

種別		a	b_1	b_2	的中率 I
類型	路側構造物	-2.95362	0.04006	-0.00001	69.0
	逸脱・転落	-1.67348	0.01404	0.00032	60.8
衝突物別	電柱	-3.32535	0.04157	0.00008	70.4
	防護柵等	-4.84979	0.05419	0.00025	70.0
	家屋・扉	-2.70948	0.13832	-0.00578	75.0
	橋梁	-1.65547	0.03014	-0.00018	85.4

図-7 カテゴリースコアの傾向図(構造物衝突-転落逸脱判別)

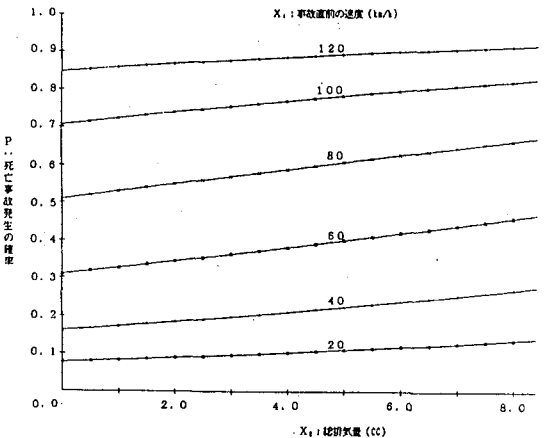
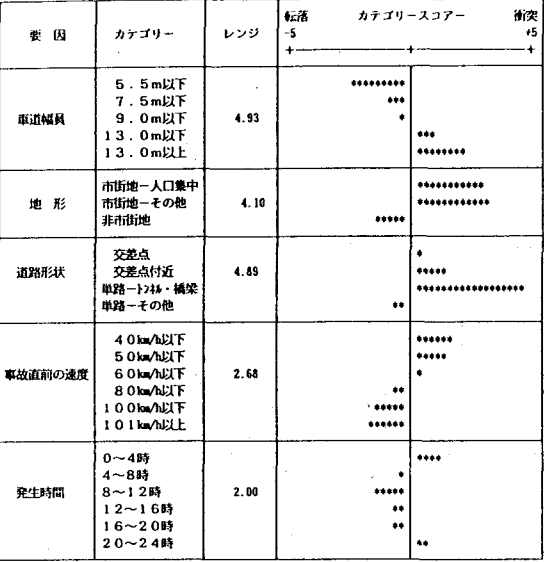


図-8 電柱衝突事故の死亡事故確率推定ノモグラフ

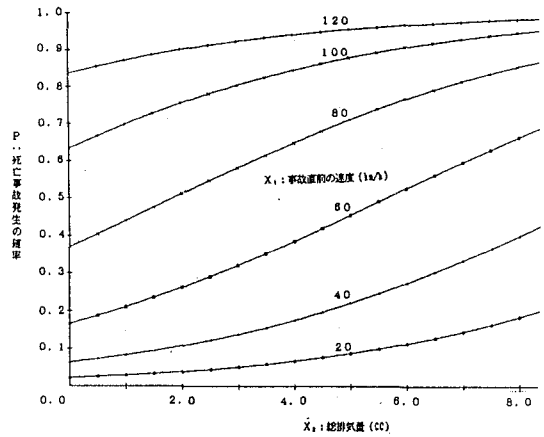


図-9 防護柵等衝突事故の死亡事故確率推定ノモグラフ

② 構造物衝突事故を衝突物別に見ると、電柱と防護柵に衝突した場合、総排気量が大きいほど死亡事故発生確率は高くなるが、家屋・塀と橋梁に衝突した場合はその逆の傾向がある。しかし、家屋・塀のケースではデータ数が少ないので係数は安定していない。③ 的中率は電柱、防護柵で70%、家屋・塀で75% 橋梁で85% 程度で必ずしも十分なものではなく、今後モデルの改良が必要であると考えられる。

5. 路側構造物衝突事故の危険度評価モデル

路側の安全設計を考える場合、まず第一に問題となることは路側構造物衝突事故の特性と事故発生に影響する要因を明らかにすることであるが、これに関する分析結果については既に示した。次に問題となることは、この種類の事故防止のための路側構造物の除去や再配置、衝突時の被害減少対策を計画するための基礎となる構造物の位置や配置と衝突事故発生との関係を検討し得る危険度評価モデルを開発することである。ここでは、この問題に対して簡単なシミュレーションモデルの開発を試みた結果について示す。

(1) シミュレーションモデルの構成

シミュレーションの対象は図-10に示すような単路部の2車線直線道路で、車両が左側へ逸脱して構造物に衝突する場合を想定している。

モデルは大きく分けて、①事故発生サブモデル、②路側侵入衝突サブモデル、③死亡事故率推定サブモデル、から構成されており、その内容を簡単に示すと次のようになる。

① 事故発生サブモデル

北海道の国道 585区間の単路部2車線道路における車両単独事故（昭和60～62年）について、走行台キロ当たり事故率（件/億台キロ）と各種の道路・交通条件との関係を解析し、最も簡単なモデルを得た（図-11）。

$$Y = 625.6 X^{-0.62} \quad (r = 0.702)$$

ここで、Y=単独事故率（件/億台キロ）

X=交通量（台/12 時間）

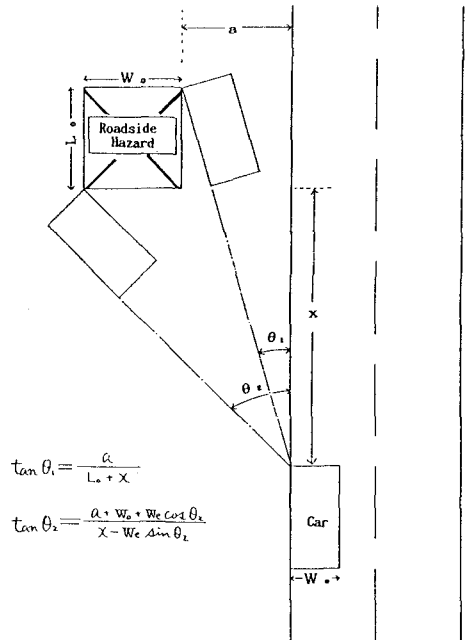


図-10 シミュレーションにおける路側構造物衝突の概念

このモデルで推定された事故率について、路外逸脱する割合を k_1 、左側へ逸脱する割合を k_2 とすると、シミュレーションで対象とする事故率は

$$Y_L = k_1 \times k_2 \times Y$$

となる。

② 路側侵入衝突サブモデル

左側へ逸脱した車両が路側構造物に衝突する角度

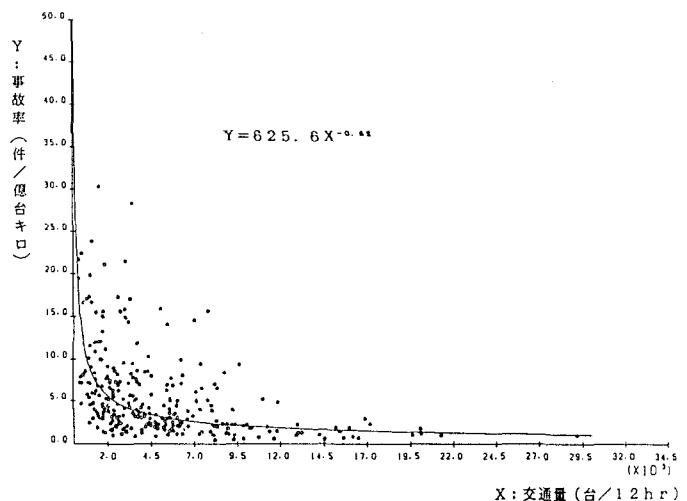


図-11 車両単独事故率と交通量の関係（北海道の国道、昭和60～62年の平均）

の範囲は図-11に示されるように、車両の逸脱地点から構造物までの距離 x 、構造物の路側からの距離 a 、構造物の寸法 W_0 と L_0 、車両の幅 W 。によって次のように決定される。

$$\tan \theta_1 = a / (L_0 + x)$$

$$\tan \theta_2 = (a + W_0 + W_0 \cos \theta_2) / (x + W_0 \sin \theta_2)$$

すなわち、車両が $\theta_1 \sim \theta_2$ の間の角度で侵入した場合にのみ、衝突事故が起きることになる。

車両が路外に逸脱する際の路側侵入角度の分布についてはわが国で研究例がないので、ここでは図-12に示す Hutchinson and Kennedy³⁾ の研究で得られた関係を用いることにする。また、左側に逸脱した車両が路側から a の距離離れた構造物まで到達する確率については図-13に示す Glennon and Wilton⁴⁾ の研究で得られた関係を用いる。

以上のことから、路外逸脱した車両が $\theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で構造物に衝突する確率を p_1 、路側から a の距離の構造物に到達する確率を p_2 とすると、最終的に左側へ逸脱して構造物に衝突する事故率は、

$$Y_H = p_1 \times p_2 \times Y_L$$

ように計算される。

③ 死亡事故率推定サブモデル

構造物衝突事故における死亡事故率推定モデルは既に衝突物別の死亡事故発生確率を推定するモデルが得られており、事故直前の速度と総排気量が与えられれば計算することが出来る。その確率を p_3 とすると、左側へ逸脱して構造物に衝突する場合の死亡事故率（件／億台キロ）は次のようになる。

$$Y_D = p_3 \times Y_H$$

以上の手順に従って、路側構造物衝突事故の発生危険度および死亡事故危険度評価モデルを構成したが、このモデルによって路側構造物の位置と寸法に対する危険度を推定することが出来る。

(2) シミュレーションの例

ここで開発したモデルを北海道における路側構造物衝突事故で最も多い電柱に衝突する場合についてシミュレーションを試みた。シミュレーションに用いた路側空間における電柱の配置は図-14に示すように、直径 50 cm の電柱が 50 m 間隔で均一に分布している 1 km 区間を想定し、車両の幅を 1.7 m として

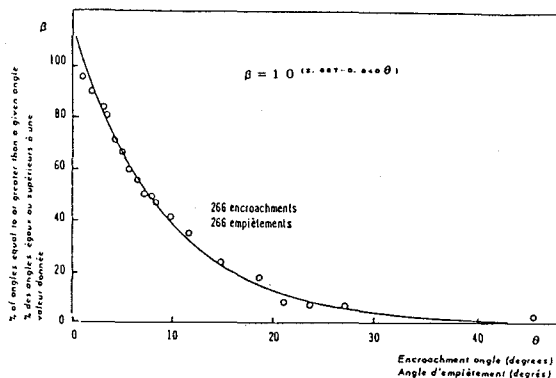


図-12 路側侵入角度の確率分布 (Hutchinson & Kennedy)

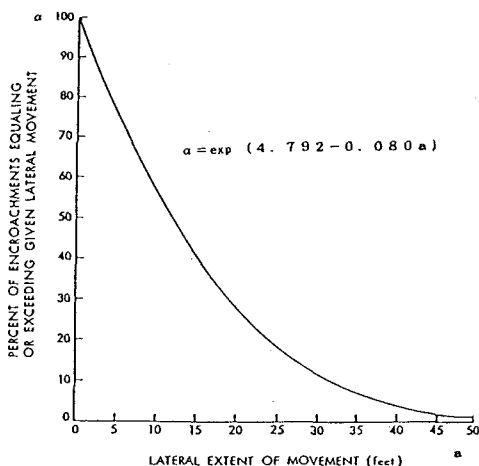


図-13 路側侵入車両の到達距離の確率分布 (Glennon & Wilton)

いる。また、車両単独事故のうち、路外へ逸脱する割合 k_1 とそれが左側へ逸脱する割合 k_2 は、本研究で調査対象とした北海道のデータから、 $k_1 = 0.87$ および $k_2 = 0.62$ を使用した。シミュレーションは交通量 X と路側からの電柱までの距離 a を変化させて、車両の基準点から進行方向への走行距離に対して積分する方法で事故率を計算した。

シミュレーションで得られた電柱に衝突する事故率（件／億台キロ）と交通量、路側から電柱までの距離の関係を示すと図-15のようになる。この結果から、まず交通量との関係について見ると、交通量が増加するにつれて事故率が急激に低下する傾向を示しているが、交通量が 20,000 台／12h を超えると

事故率の低下は小さくなることがわかる。一方、路側から電柱までの距離の関係について見ると、距離が減少するにつれて事故率が増加する傾向にあるが、どの交通量においても距離が3 m以内のところで事故率が急激に増加することがわかる。従って、このような状態で電柱が配置されているケースでは、電柱を路側から3 m以上の距離に設置すれば電柱との衝突事故がかなり減少することが期待されることになる。

6. 研究結果のまとめ

本研究ではわが国でこれまでほとんど研究されていない路側構造物衝突事故について、北海道における車両単独事故データを用いた現況分析によりその発生実態と発生に影響する要因を明らかにするとともに、路側構造物の種類別の死亡事故発生確率モデル、および事故発生から路側構造物衝突に至る過程のシミュレーションモデルを構成することにより、路側構造物衝突事故の危険度評価モデルの開発を試みたものである。

本研究で得られた結果を簡単にまとめると次のようになる。

- ① 路側構造物衝突事故データの単純集計、クロス集計分析により、事故の発生概要を把握するとともに、路側構造物の危険度（致死率）を明らかにした。
- ② 数量化理論第Ⅱ類分析により、路側構造物衝突事故の支配的要因を明らかにした。
- ③ 非集計ロジットモデルを用いて、路側構造物衝突事故における構造物別の死亡事故発生確率を事故直前の速度と車両の総排気量を変数として推定するモデルを開発した。
- ④ これらの研究成果をベースとして、2車線直線部道路の単路部で車両が左側へ逸脱して路側構造物に衝突する場合の危険度評価モデル（シミュレーションモデル）を開発し、さらに電柱に衝突するケースについてシミュレーションを行ない、その結果の有効性を検討した。

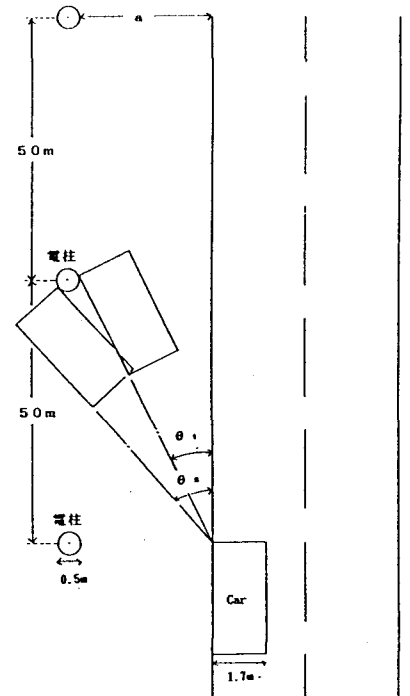


図-14 電柱衝突事故シミュレーションの概念

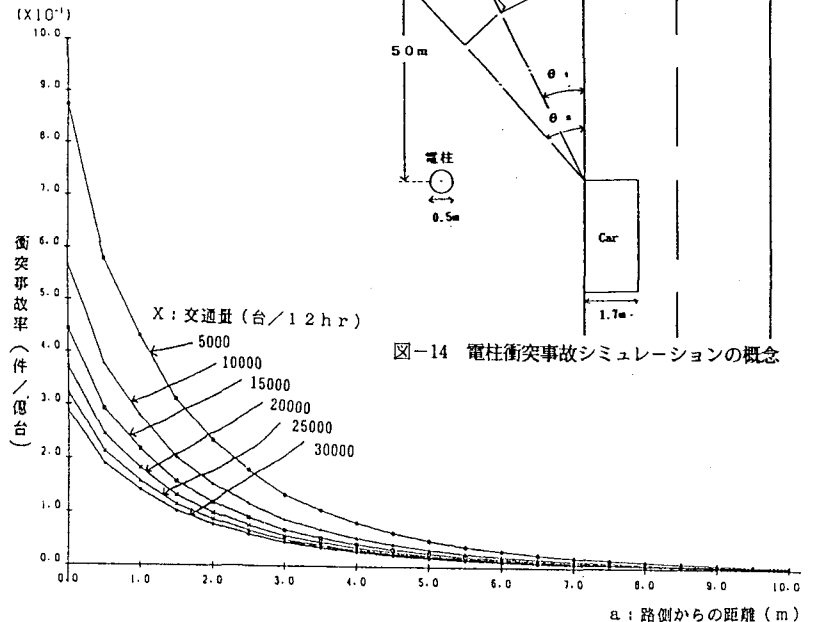


図-15 電柱衝突事故率と交通量、路側からの距離の関係

参考文献

- 1) 齊藤和夫（代表者）：路側空間における構造物等との衝突事故の危険性評価モデルの開発に関する研究、昭和62-63 年度文部省科学研究費補助金（一般研究C）成果報告書、平成元年3月
- 2) Kazuo Saito: An Overview of the Problems and Some Statistical Analyses of the Collisions with Roadside Hazards, 5th World Conference on Transport Research, Yokohama, 1989.
- 3) Hutchinson, J.W. and Kennedy, T.W.: Safety Considerations in Median Design, Highway Research Record No.162, pp.1-29, 1967.
- 4) Glennon, J.C. and Wilton, C.J.: Effectiveness of Roadside Safety Improvement, FHWA, 1974.