

土 木 研 究 所 資 料

防護柵衝突実験時の乗員の安全性評価

平成7年10月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室

Copyright © (1995) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

防護柵衝突実験時の乗員の安全性評価

交通安全研究室 室長 瀬尾 卓也
主任研究員 安藤 和彦
部外研究員 梶 聡*

要 旨

進行方向を誤った車両が防護柵に衝突する時に車両や乗員に衝撃が発生するが、この衝撃が大きい場合乗員に重大な傷害を引き起こす。

現在、防護柵の設計・設置指針として用いられている防護柵設置要綱では、乗員保護のため、乗員の安全性に関して規定を設けているが、この規定は衝突速度60km/hまでを対象としており、これを超える衝突速度に対しては、乗員の保護基準が設けられていない。

しかし近年、幹線道路網の整備や車両性能の向上により、道路交通状況は要綱制定当時より高速化が進み、乗用車類等の被害の大きくなりやすい車種が増加している。反面、シートベルトの着用が義務化され、乗員へのある程度の衝撃も許容できるようになってきているなど、乗用車の高速衝突時などにおける乗員の安全性評価基準について、新たな検討が必要となってきている。

本報告書は、現在の交通状況を踏まえ、防護柵衝突時の乗員の安全性を判断する手法を再検討するため、国内外の乗員の安全性に関する評価手法をまとめるとともに、過去に土木研究所で行われた衝突実験の乗員への衝撃に関するデータを体系的にとりまとめた。

キーワード：防護柵，衝突実験，衝撃，乗員安全性

* 部外研究員在職期間（平成5年4月から平成7年3月まで）

まえがき

近年、産業構造の高度化や物流サービス、旅客ニーズの多様化などにより、敏速で機動性に優れた道路交通が重要な役割を果たしている。また、幹線道路網の整備や車両性能の向上により、車両交通はより高速化の傾向にある。

これに伴い、交通事故死者数は、1970年の約16,000人をピークとして一次減少したものの、1980年度以降再び増加傾向に転じている。交通事故による死傷者数を減少させるためには、各種の交通安全対策を効果的に実施することが必要であるが、適切な防護柵の設置は重要な安全対策のひとつであるといえる。

防護柵設置の主要な目的として、車両の路外逸脱防止と乗員の被害軽減が挙げられるが、この二つの目的をともに満足して防護柵が機能を果たしているといえる。例えば、車両の防護柵衝突事故において、車両の路外逸脱を防止できても、乗員が衝突により強い衝撃を受けて死亡しては防護柵として機能を満足しているとは言えない。一方、車両が衝突により反対車線や路外に逸脱するような挙動を示しては防護柵設置の目的を満足しない。

現在防護柵設置の基準となっている防護柵設置要綱では、乗員の安全性に関して規定を設けているが、60km/hを超える衝突速度に対しては乗員を保護する規定がない。現在、車両の高速化や乗員のシートベルト着用の義務化など交通に関する社会的環境は変化しており、これらに対応した乗員の安全性確保に関する検討が必要と考えられる。

そこで本報告では、わが国における乗員保護基準を確立するために、海外の衝撃度評価方法を調査し、また過去にわが国で行われた衝突実験の乗員の衝撃に関するデータを体系的に整理し、評価検討を行った。今後この成果が、乗員の傷害を考慮したより高い安全性を有する防護柵の開発に役立つことを願うものである。

平成7年10月

建設省 土木研究所

道路部 交通安全研究室長

瀬尾 卓也

目 次

まえがき

第1章 交通事故状況と防護柵の効果	1
1. 1 交通および事故状況の推移	1
1. 1. 1 交通状況の推移	1
1. 1. 2 交通事故状況の推移	2
1. 2 防護柵の設置効果と課題	7
1. 2. 1 防護柵の設置状況の推移	7
1. 2. 2 防護柵の設置効果	8
1. 2. 3 乗員の安全性確保に関する課題	10
第2章 乗員の衝撃耐性	11
2. 1 衝突現象と乗員への影響	11
2. 1. 1 衝突現象と乗員の被害	11
2. 1. 2 衝突現象と衝撃の作用時間	12
2. 2 人体の衝撃耐性	12
2. 2. 1 衝撃耐性の定義と分類	12
2. 2. 2 衝撃耐性に関する研究	13
2. 2. 3 身体各部の衝撃耐性	13
2. 2. 4 代表的な衝撃耐性値	15
2. 2. 5 事故統計からみた衝撃耐性	18
2. 2. 6 シートベルト装着有無による変化	19
2. 3 防護柵に関する衝撃耐性値	19
2. 3. 1 わが国における衝撃耐性値	19
2. 3. 2 米国における衝撃耐性値	20
2. 3. 3 ECにおける衝撃耐性値	21
第3章 衝突時の乗員安全性評価	23
3. 1 直接評価と間接評価	23
3. 2 ダミーを用いた直接評価方法	24
3. 2. 1 前面衝突	24
3. 2. 2 側面衝突	24

3. 3 車両加速度を用いた間接評価方法	2 5
3. 3. 1 実効値	2 5
3. 3. 2 THIV	2 5
3. 3. 3 OIV	3 2
3. 3. 4 PHD	3 3
3. 3. 5 10ms平均加速度	3 3
3. 3. 6 50ms平均加速度	3 4
3. 3. 7 ASI	3 5

第4章 実験結果からみた乗員の安全性 3 6

4. 1 衝撃度および衝撃指数	3 6
4. 2 衝突実験の種類と安全性評価の内容	3 7
4. 2. 1 これまで行ってきた衝突実験	3 7
4. 2. 2 安全性評価の内容	3 8
4. 3 加速度および荷重の計測方法	4 0
4. 3. 1 計測系	4 0
4. 3. 2 波形処理	4 0
4. 3. 3 ダミー	4 0
4. 4 加速度および荷重解析	4 1
4. 4. 1 実効値	4 1
4. 4. 2 10ms平均加速度	4 3
4. 4. 3 50ms平均加速度	4 4
4. 4. 4 ASI	4 5
4. 4. 5 OIV	4 6
4. 4. 6 HIC値	4 7
4. 4. 7 胸部加速度	5 0
4. 4. 8 大腿部圧縮荷重	5 2
4. 5 各評価方法の比較	5 3
4. 5. 1 原波形加速度と各評価値との関係	5 3
4. 5. 2 衝撃指数と各評価値との関係	5 4

第5章 その他の安全性評価	5 5
5. 1 わが国の評価	5 5
5. 2 諸外国の評価	5 5
5. 2. 1 車両変形	5 5
5. 2. 2 衝突後の車両挙動	5 6
5. 3 欧米の今後の動向	5 6
5. 3. 1 米国	5 6
5. 3. 2 E C	5 8
第6章 今後の安全性評価方法の提案	5 9
6. 1 現在の評価基準	5 9
6. 1. 1 評価の内容と対象	5 9
6. 1. 2 現行評価の課題	6 0
6. 2 評価方法と関連基準との対応	6 0
6. 2. 1 車両に関する安全基準との関連	6 0
6. 2. 2 欧米評価手法との関連	6 1
6. 2. 3 シートベルト装着の義務化	6 1
6. 3 乗員の安全性評価方法の提案	6 2
6. 3. 1 評価基準の提案	6 2
6. 3. 2 計測方法の提案	6 3
あとかき	6 6
参考文献	6 7
用語集	6 9
付 録	
衝突実験の加速度計測方法	
自動車に関する評価方法と基準	
過去の実験データ	

第1章 交通事故状況と防護柵の効果

1. 1 交通および事故状況の推移

1. 1. 1 交通状況の推移

わが国における道路交通の果たす役割は、道路整備とモータリゼーションの進展により次第に大きくなってきている。表-1. 1は、1950年から10年ごとの各輸送機関別の国内貨物輸送トン数、輸送トン数、旅客輸送人、輸送人の推移を示したものであるが、鉄道における貨物輸送を除けば、各輸送機関とも経済の成長に伴い量が多くなっていることがわかる。特に、自動車による輸送の全体に占める割合（分担率）が非常に高くなっている。

また図-1. 1は、自動車保有台数の推移を示したものである。

車両の保有台数は飛躍的に増加しており、またこの増加は主として乗用車の増加によるものであることがわかる。

表-1. 1 国内輸送分担率の推移¹⁾

		1950年		1960年		1970年		1980年		1990年	
		輸送量	分担率(%)	輸送量	分担率(%)	輸送量	分担率(%)	輸送量	分担率(%)	輸送量	分担率(%)
貨物輸送トン数 (百万トン)	自動車	5,430	8.4	20,801	14.9	135,916	38.7	178,901	40.7	274,244	50.2
	鉄道	33,849	52.3	54,515	39.3	63,423	18.1	37,701	8.6	27,196	5.0
	海運	25,500	39.4	63,579	45.8	151,243	43.1	222,173	50.6	244,546	44.7
	航空	-	-	6	0.0	74	0.0	290	0.1	799	0.1
	合計	64,779	100.0	138,901	100.0	350,656	100.0	439,064	100.0	546,785	100.0
貨物輸送トン数 (千トン)	自動車	309,000	59.1	1,156,291	75.4	4,626,069	88.0	5,317,950	88.9	6,113,565	90.2
	鉄道	164,964	31.5	238,199	15.5	255,757	4.9	166,550	2.8	86,619	1.3
	海運	49,282	9.4	138,849	9.1	376,647	7.2	500,258	8.4	575,199	8.5
	航空	-	-	9	0.0	116	0.0	329	0.0	874	0.0
	合計	523,245	100.0	1,533,348	100.0	5,258,589	100.0	5,985,087	100.0	6,776,257	100.0
旅客輸送人 (百万人)	自動車	9,030	7.7	55,531	22.8	284,229	48.4	431,669	55.2	853,060	65.7
	鉄道	105,468	90.0	184,340	75.8	288,816	49.2	314,542	40.2	387,478	29.8
	海運	2,628	2.2	2,670	1.1	4,814	0.8	6,044	0.8	6,275	0.5
	航空	-	-	737	0.3	9,319	1.6	29,688	3.8	51,624	4.0
	合計	117,126	100.0	243,278	100.0	587,178	100.0	782,031	100.0	1,298,437	100.0
旅客輸送人 (百万人)	自動車	1,515	14.4	7,901	39.9	24,032	59.2	33,515	64.8	55,767	71.6
	鉄道	8,932	84.7	12,290	60.6	16,384	40.3	18,004	34.8	21,939	28.2
	海運	97	0.9	99	0.5	174	0.4	160	0.3	163	0.2
	航空	-	-	1	0.0	15	0.0	40	0.1	65	0.1
	合計	10,544	100.0	20,291	100.0	40,606	100.0	51,720	100.0	77,934	100.0

注) ・昭和62年度以降には、軽自動車を含む ・昭和62年度以降の鉄道は有賃のみである。

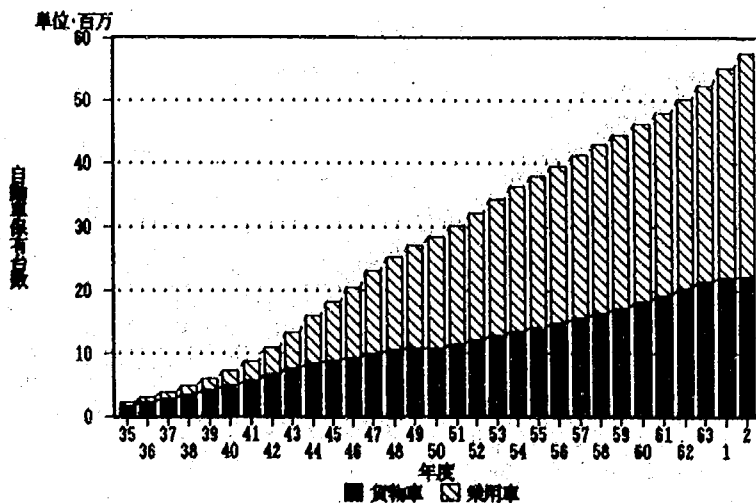


図-1. 1 自動車保有台数の推移²⁾

1. 1. 2 交通事故状況の推移³⁾

(1) 死傷者数の推移

昭和30年代以降の自動車交通の進展とともに交通事故は急増し、1970年には交通事故死者数16,765人、負傷者数98万人にまで増加した。その後、交通事故は徐々に減少し1976年に1万人を割り、1979年には8,466人となった。しかし、その後再び死者数は増加傾向となり、1988年には1万人を超え、事故死者数は微小ながらも増加している(図-1.2)。

また、交通事故負傷者数も同様の傾向を示し、1970年に最大の981,100人でその後減少し、1977年の593,200人を境に、再び増加を続け1993年には878,600人となった(図-1.3)。

交通事故死傷者が、1970前半をピークとし1970年後半まで減少した理由としては、広範で多様な交通安全対策を実施したことによると考えられる。また、その後1980年より、死傷者数が増加している理由としては、交通量の増加や道路交通の高速化等の交通事情の変化が、従来型の交通安全対策の効果を上回っていることが考えられる。

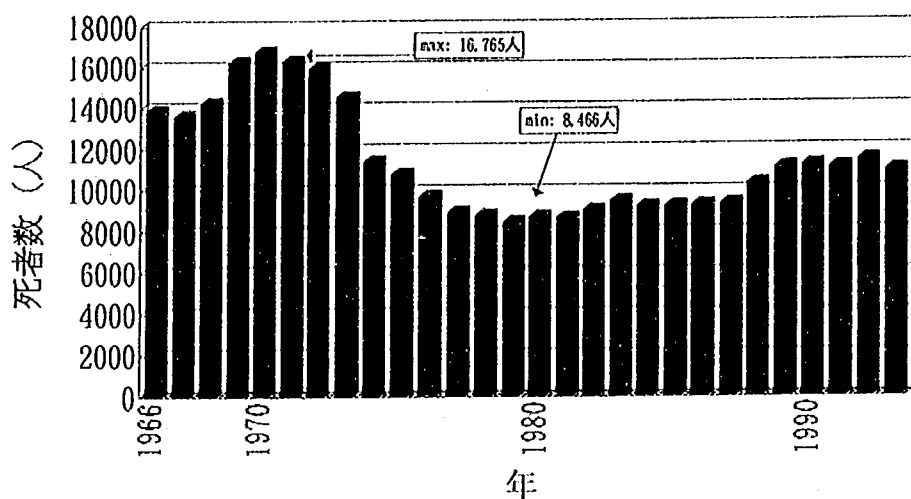


図-1.2 交通事故死者数の推移

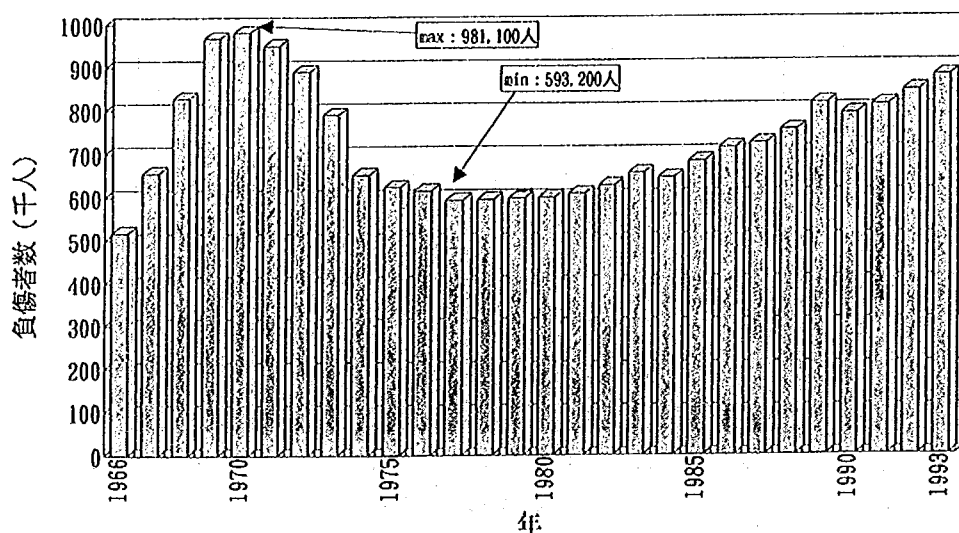
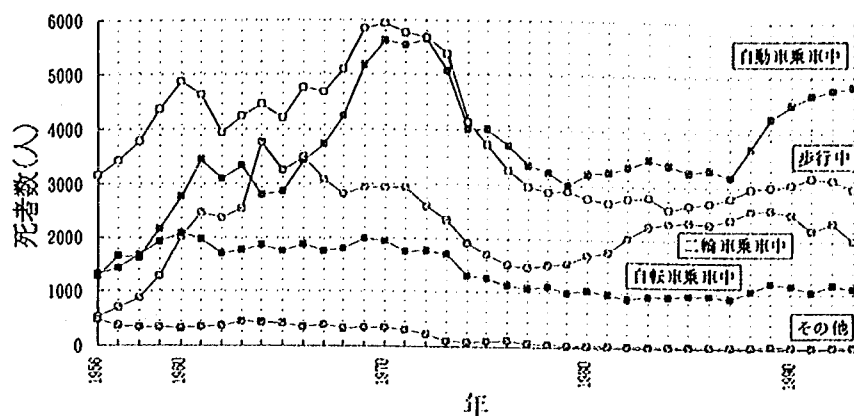


図-1.3 交通事故負傷者数の推移

次に、交通事故死者数の状態別推移を示したのが図－1．4である。これによると、1970年頃までは歩行中の死者数が最も多かったが、その後、自動車乗車中の交通事故死者数が最も大きくなり、1980年代の後半から現在まで急激に増加してきている。このことから、自動車乗員の保護が、死者数を減少させるために効果的であることがわかる。

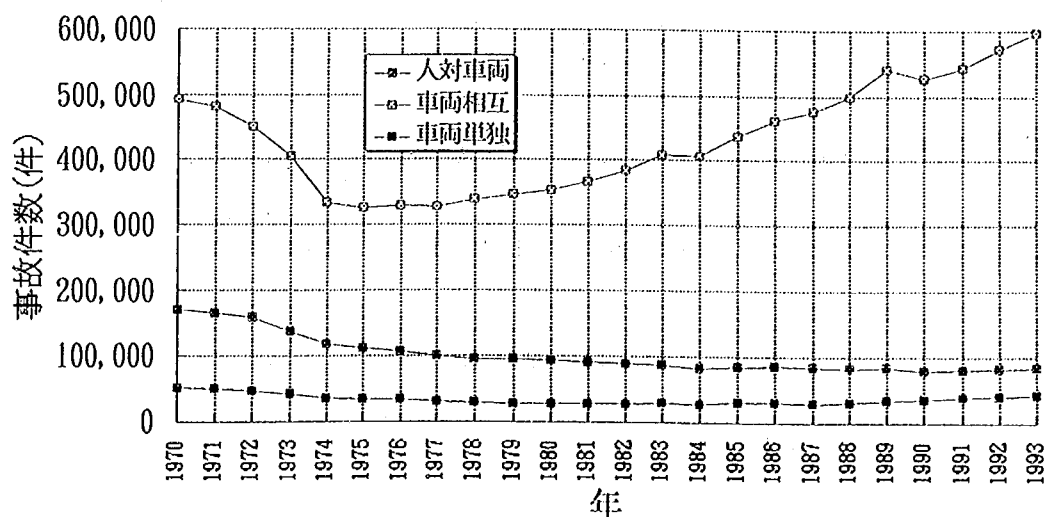


図－1．4 状態別交通事故死者数の推移

(2) 類型別事故件の推移

図－1．5を見ると事故発生件数は、車両相互事故が最も多く、続いて人対車両、車両単独の順である。また、車両相互事故は年々発生件数が増加しており、人対車両はほぼ横置き、車両単独は若干ではあるが増加傾向にある。また、死亡事故件数の推移も事故件数と同様に、車両相互事故が最も多く、続いて人対車両、車両単独の順となっている（図－1．6）。

ただし、図－1．7に示す類型別の死亡事故率（類型別死亡事故件数／類型別全事故件数×100）でみると、車両単独事故における死亡率が最も高く、単独事故で死亡に至る危険性が高いことがわかる。



図－1．5 類型別事故件数の推移

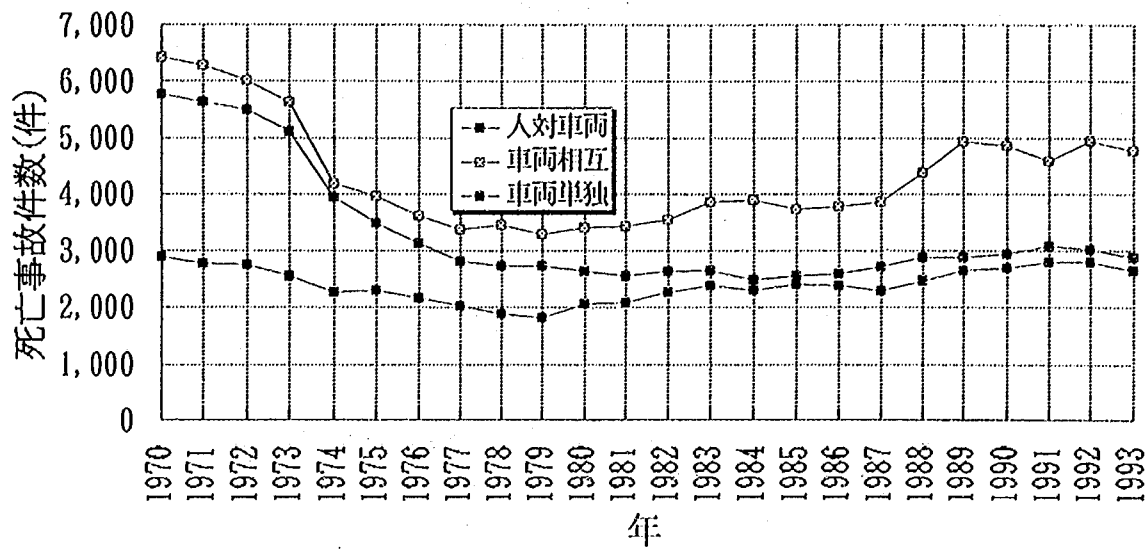


図-1. 6 類型別死亡事故件数の推移³⁾

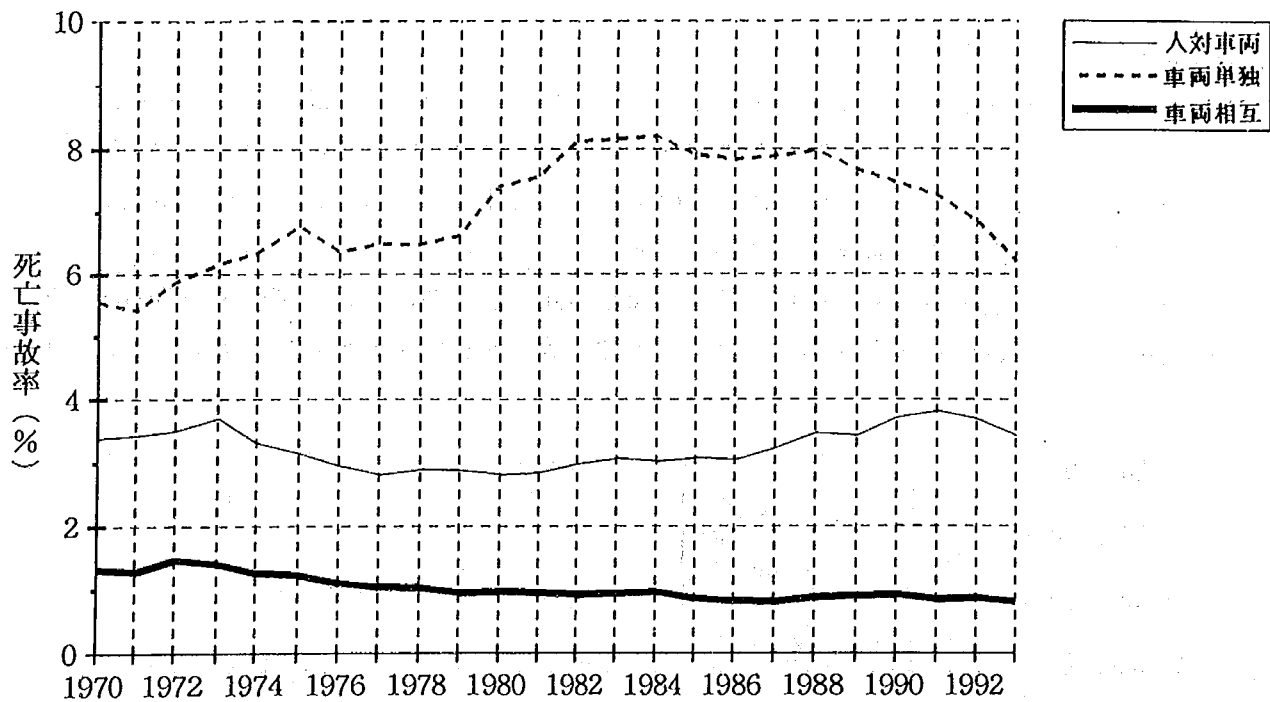


図-1. 7 類型別の死亡事故率

(3) 単独事故における類型別事故件数の推移

車両単独事故の内訳を見ると、路外逸脱事故の発生件数は1970年には約19,000件と最も多く、1981年以降は6,000件程度を推移している（図-1.8）。防護柵衝突事故発生件数は、1981年の4,000件から年々増加し、1993年には約8,000件発生している。1993年に発生した防護柵衝突による事故件数は、車両単独事故の中で、その他工作物への衝突(14,309件)、転倒(7,698件)に次いで多く発生している。

また単独事故における死亡事故の内訳は、1970年には路外逸脱によるものが最も多かったが(約1,400件)、徐々に減少し現在は約500件程度となった（図-1.9）。これは、全国的に安全施設（防護柵、視線誘導標等）整備を行ったことも理由の一つとして挙げられる。防護柵衝突による死亡事故は、1970年には約200件程度であったものが、徐々に増加し1993年には約500件となった。1993年現在の車両単独死亡事故の発生件数は、その他工作物への衝突(1,115件)に次いでほぼ同数で防護柵衝突(522件)・路外逸脱(504件)の順に並んでいる。

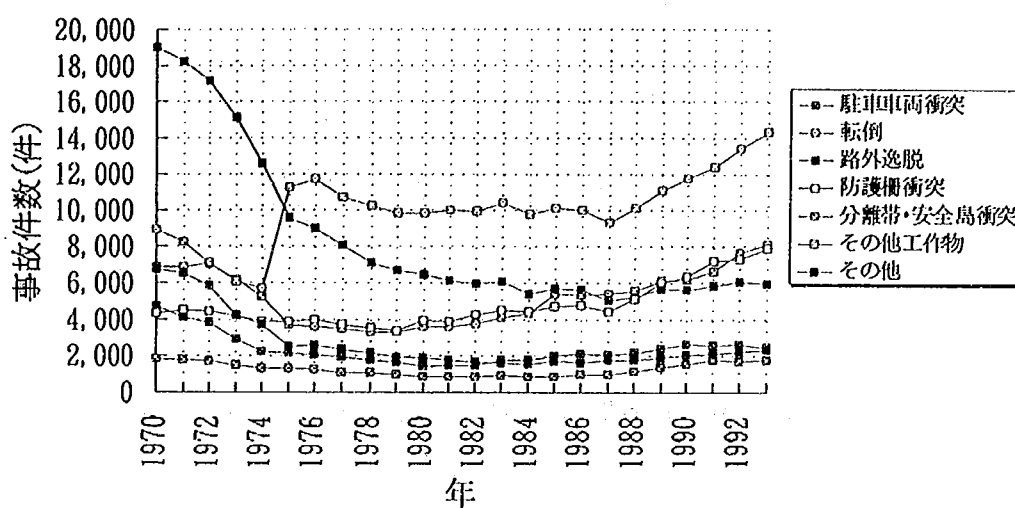


図-1.8 車両単独事故の事故発生件数の推移

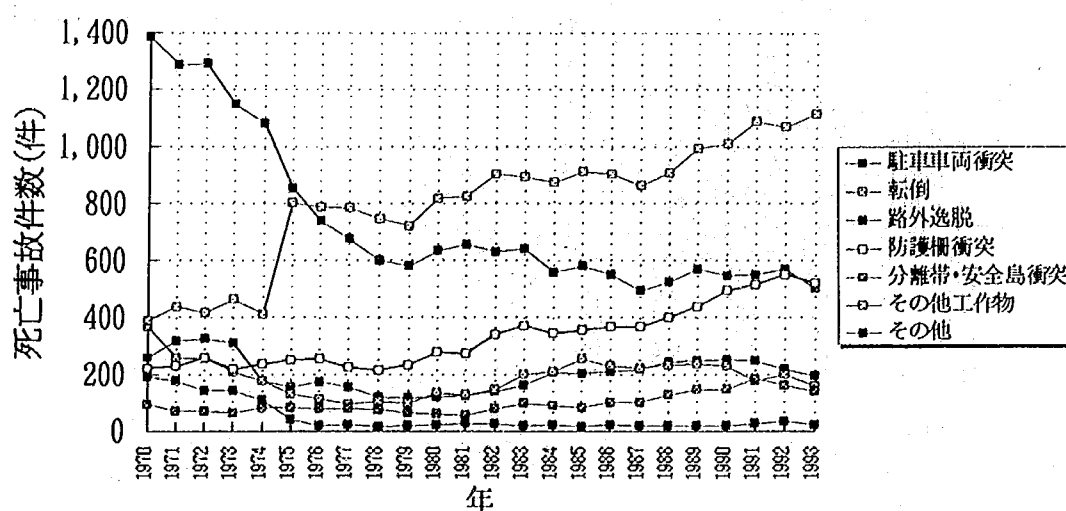


図-1.9 車両単独事故の死亡事故件数の推移

(4) 車種別事故分類

平成5年度の車種別事故件数、死亡事故件数、登録台数をそれぞれの割合で比較してみると図-1.10のようになる。事故件数、死亡事故件数、登録台数のすべてで普通乗用車の場合が最も多く約半数を占めている。その他の車種では、普通貨物、軽貨物、二輪車の割合が多い。

また、死亡事故件数と事故件数を登録台数で割ったものを図-1.11に示す。この図より、車両登録台数当たりの事故発生率は、貨物車とバスが多いが、これは貨物車やバスは稼働率が高く、1台当たりの走行距離が長いことによるものと考えられる。

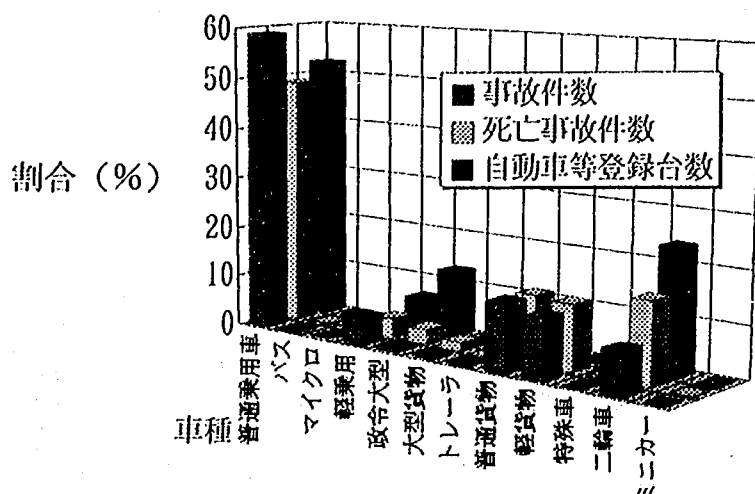


図-1.10 車種別第一当事者の事故割合 (平成5年度)

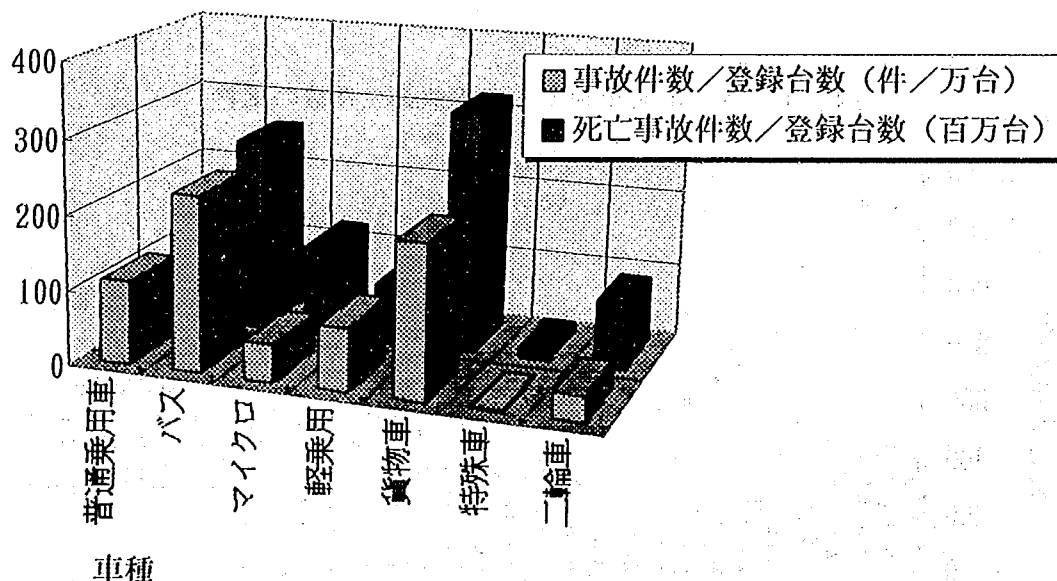


図-1.11 登録台数当たりの交通事故発生件数 (平成5年度)

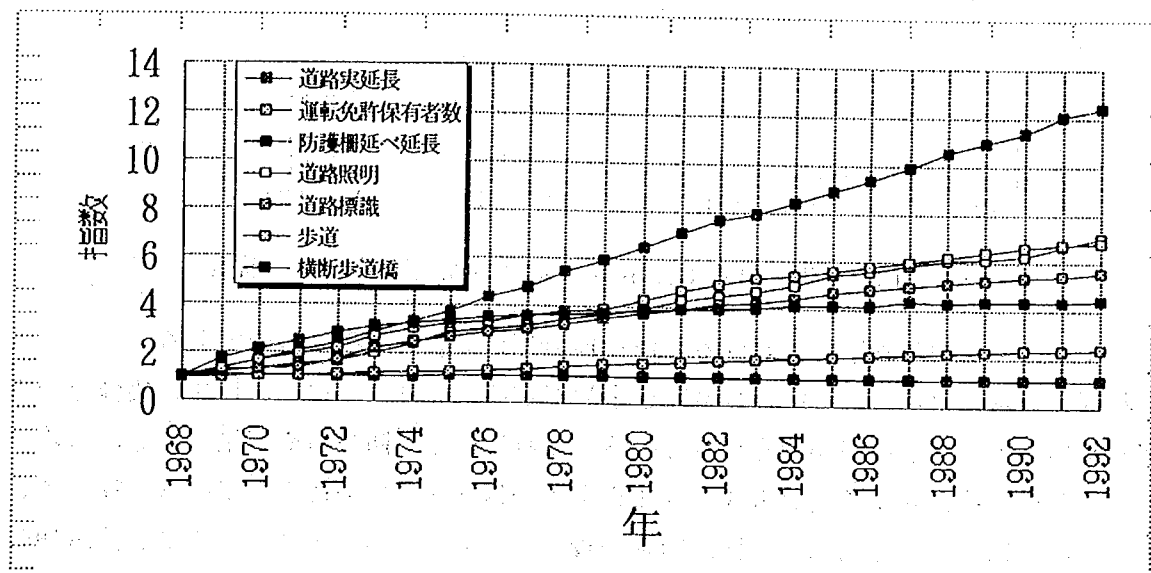
1. 2 防護柵の設置効果と課題

1. 2. 1 防護柵の設置状況の推移

昭和30年代に入ると道路の整備が進展し、車両交通量は急激に増加したが、それに伴い交通事故も増加した。このような状況から1966年に「交通安全施設整備事業に関する緊急措置法」が制定され、公安委員会と道路管理者は協力して交通安全施設等の整備を行い、交通事故の防止と交通の円滑化を図った。

防護柵の整備は、この交通安全対策の一つとして行われ、車両の路外逸脱防止や乗員の被害軽減等の機能を発揮し、他の対策（横断歩道橋、道路照明、標識、区画線、視線誘導標等）とあわせ、1970～80年の交通事故死傷者の減少に大きな役割を果たしてきたと考えられる。

道路管理者が行った交通安全施設の整備状況の推移は、図-1. 12のようになる。なお、図は1968年のそれぞれの数量を1として、その増加割合を示している。ここで防護柵の設置延長に関して注目してみると、道路実延長やほかの交通安全施設の推移と比較して大きな伸びを示しており、道路交通の安全性確保に直接的に関与する施設として、拡充されてきたことがわかる。



(1968年を1とする)

図-1. 12 交通安全施設の整備状況の推移¹⁾

1. 2. 2 防護柵の設置効果

(1) 単独事故状況からみた効果

車両単独事故について、工作物別の衝突事故や路外逸脱事故等の全事故に対する死亡事故の割合を示したものが図-1. 13である。

路外逸脱事故や他の工作物、駐車車両への衝突事故に比べて、防護柵への衝突事故は死亡する割合が最も小さく、防護柵設置による効果は明らかである。特に路外逸脱事故に比較すると、防護柵衝突事故は死亡する割合を約2割低減できている。

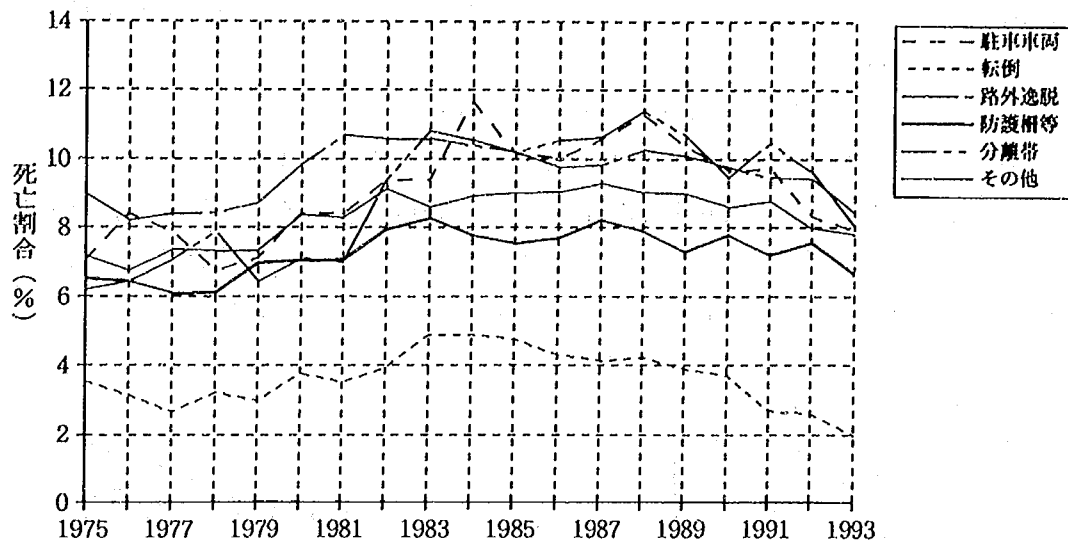


図-1. 13 車両単独事故における死亡事故割合の推移²⁾

図-1. 14は、車両単独事故における工作物別の死亡事故率をみたものである。

図によれば、転落による死亡事故件数や死亡事故率が高い。また、電柱、標識、橋脚等の支柱構造物に衝突した場合の死亡事故率が高くなっている。これに対して防護柵や家屋、塀等の道路に沿って設置されている構造物に対する衝突事故では死亡事故率は6%台に抑えられている。従って、転落による危険性が高い箇所や、路側に支柱構造物等が設置されている箇所等については、防護柵の設置が効果的であることがわかる。

しかし、防護柵に衝突して死亡する事故件数自体が多いことから、防護柵衝突時に乗員への被害を緩和する機能を向上させることも重要であるといえる。

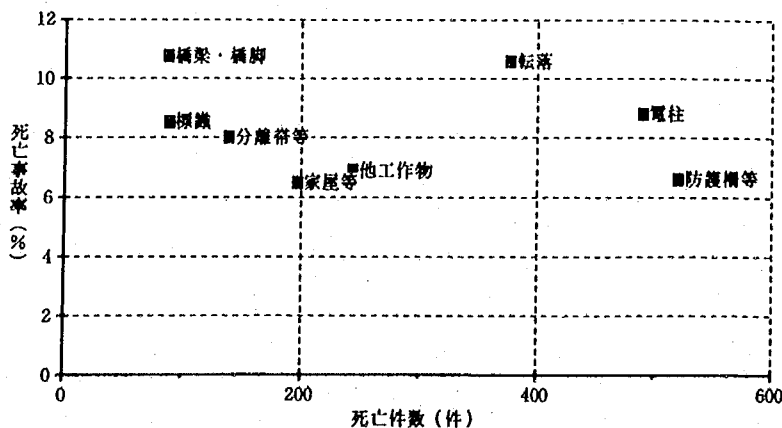


図-1. 14 工作物別の死亡事故率(1993年)

(2) 衝突部位からみた効果

平成5年に発生した交通事故のうち、第一当事者が起こした事故について車両衝突箇所別の事故件数に対する死者割合を示したものが図-1. 15である。

ただし、ここでいう第一当事者とは、当該交通事故に関係した者のうち、過失が最も重い者をいい、過失が同程度の場合は、被害が最も軽いものをいう。

交通事故死者の最も多かったのは普通乗用車の正面衝突であり、4～5割の事故で死者が発生している。一方、防護柵衝突のような左前面衝突では、事故発生件数に対する死亡事故件数の割合は1割程度であり、正面衝突時に比べて死亡事故は減少する傾向にあることがわかる。

正面衝突で死亡者数が多い理由としては、衝突時のエネルギーがほかの部位と比較して大きくなりやすいことなどが考えられる。

路側工作物への衝突等のような路外逸脱事故では、車両は電柱、標識柱、信号柱等の路側施設の他、民家の工作物等と前面衝突可能性が高いが、防護柵を設置すればこれらの衝突を左前面衝突に変えて、衝突エネルギーを減ずる効果があり、防護柵の設置が乗員の安全には効果的であることが死亡事故状況から推定することができる。

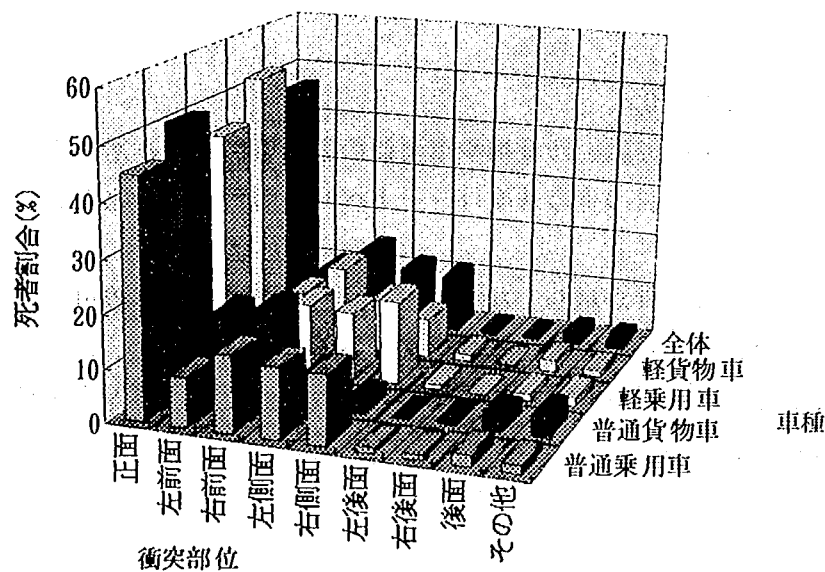


図-1. 15 衝突部位別死亡割合⁶⁾

なお、図中の車両衝突部位は以下のように定義した。

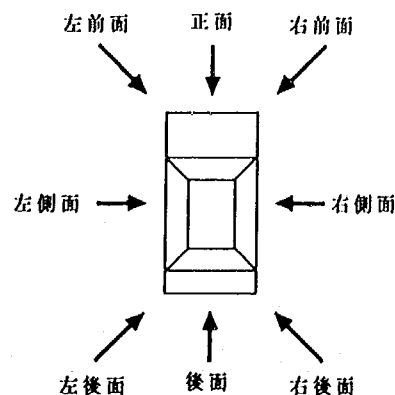


図-1. 16 車両衝突部位の定義

1. 2. 3 乗員の安全性確保に関する課題

(1) 乗用車の安全性確保

車両構造等にもよるが、一般には車両重量が軽い方が事故時の衝撃が大きくなり乗員被害も大きくなりやすい。現在、わが国で最も多く保有されている車種は1 lクラスの小型乗用車である。また、欧米においても乗員の安全性評価については、0. 8～2 lクラスの車両を用いることとされており、小型乗用車等の衝突に対しても衝撃の少ない緩衝機能が求められているといえる。

(2) 実勢速度の高速化

これまで防護柵に衝突する速度は、実勢速度が設計速度の8割程度であり、衝突速度はブレーキングにより減速するものと考え、実勢速度の8割程度になるものとされていた⁶⁾。

しかし近年、車両性能の向上により車両の高速化が顕著に進んでおり、道路種別毎の実勢速度を計測した結果によれば、都市内幹線街路で平均約50km/h、郊外幹線道路で70km/h前後、都市間高速自動車道路で110km/hとなっているとの報告がある⁷⁾。

現在の走行実態からみて、高速衝突事故がかなりの件数にのぼるものと推定され、これらの状況で衝突時に車両を円滑に誘導する防護柵が求められる。

(3) シートベルトの着用義務化

高速走行時の乗員保護については、防護柵や車両側の緩衝機能にのみ期待することはできない。

車両保安基準においても、乗員の保護基準はシートベルト着用者を対象として評価することとされている⁸⁾。

車両の高速化等により衝突条件が厳しくなっており、シートベルト非着用者に対してこのような高速での厳しい衝突状況で保護することは困難な状況にあるといえる現在、シートベルト着用義務や車両保安基準との関係からみても、シートベルト着用者を対象とした乗員保護をひとつの前提として考える必要があるものと思われる。

第2章 乗員の衝撃耐性

2. 1 衝突現象と乗員への影響

2. 1. 1 衝突現象と乗員の被害⁹⁾

車両が他の物体と衝突したときの物理現象は、3段階に分けて説明することができる。

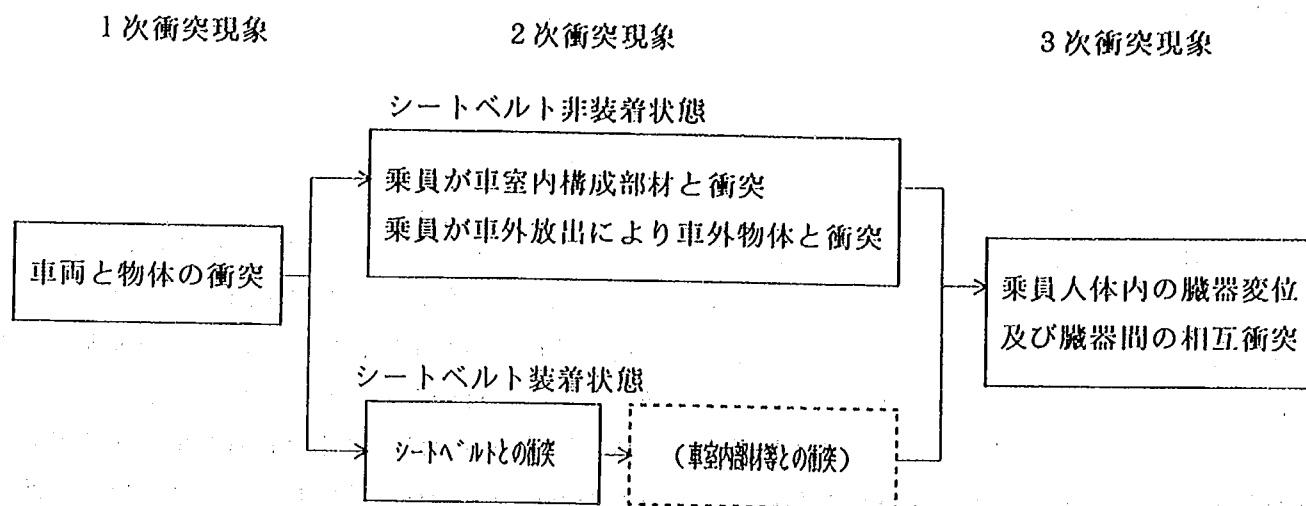


図-2.1 衝突現象の分類

上記の3段階の現象をとおして生じた乗員の傷害の特性、被害の程度等により乗員の衝撃に対する抵抗力（以下衝撃耐性とする）が求められる。

乗員に傷害を発生させる要因としては、2次衝突現象における外力（衝突荷重）や3次衝突現象における速度変化（加速度、加速度変化率）が挙げられるが、衝撃の大きさに関する尺度としては、2次衝突現象、3次衝突現象とも、身体に生じた加速度や荷重の大きさとその作用時間が用いられるのが一般的である。

乗員の傷害は、2次衝突現象では、乗員の身体各部が車室内構成部材と衝突することによって、身体表面から内部に向けて衝撃を受け、打撲、裂傷等を伴いながら乗員は傷害を発生する。これに対して3次衝突現象では、身体骨格等の人体外面に臓器が衝突したり臓器相互が力を及ぼし合い体内に傷害を発生させる。一般的な事故状況を考えれば、衝突時に運転者は車室内を慣性移動し、まず車室内部材との衝突や路外放出によって人体外部に打撃を受け、次に臓器の変位や臓器と骨格、臓器相互の衝突によって被害を受ける。シートベルトを装着している場合等では、体に密着したシートベルトによって乗員に直接的な打撃を受けないものの、3次衝突によって人体内部に影響を生じる。

2次衝突現象での打撃を伴う瞬間的・局所的な衝撃は人体に与える影響が大きく、これを防ぐシートベルトの役割は大きなものである。しかし、シートベルトを装着している場合でも、衝撃が大きくなったり適切な着用が行われていなければ乗員は前方に移動し、車室内部材に衝突する場合もある。

シートベルトの装着有無による被害について調査を行った報告によれば、①シートベルトを装着すれば乗員の被害が少ない、②シートベルト装着時に被害を受ける身体部位は、下肢、頭部、胸部が多い、③シートベルト非装着時は、頭部、顔面、下肢が多い、等が報告されている¹⁰⁾。

2. 1. 2 衝突現象と衝撃の作用時間

交通事故等における衝突現象は、1秒程度以内で発生、終息する瞬間的な現象であり、防護柵への車両衝突の場合、車両が衝突してから車両の進行方向が修正されるまでの時間は、0.5秒程度以内であることが多い。さらに近年の米国等における研究によれば、乗員に影響を及ぼすと考えられる衝撃の作用時間は0.2秒程度以内と考えられており、1/1000秒（以下ではこれをmsで示す）単位の評価を行うことが求められている。特に、防護柵については10ms、50msの短い作用時間の衝撃力が乗員の被害に密接に関係があるとされている^{16) 16)}。

2. 2 人体の衝撃耐性

2. 2. 1 衝撃耐性の定義と分類

(1) 衝撃耐性の定義

人間が耐え得る衝撃の限界（以下衝撃耐性値という）について、これまで欧米等を中心に研究が進められ、いろいろな値が提言されてきたが、それぞれの衝撃耐性値に明らかな相関はみられなかった。

例えばボランティアを使った実験で、衝撃耐性値を「2度と同じ実験に加わりたくない限界」とすれば、このときの値はかなり小さいものになるであろうし、動物やダミーを使った実験から「衝撃による後遺症が残らない限界」や「人命に影響がない限界」、あるいは「全体の50%が生存する限界」を推定すれば、これらの衝撃耐性値もかなり異なった値となる。動物実験におけるLD50という基準は、被験動物の50%が死亡する衝撃レベルを表すものである。

しかし、乗員の安全性を確保するためにどの程度の衝撃耐性を判断の目安とするか、乗員の被害をどの程度に抑える必要があるか、明らかにすることが重要であるといえる。これに関し、近年の交通事故等における衝撃耐性に関する評価では、「傷害は発生するものの後遺症が残らない」程度に乗員の被害を抑えることが一般的になってきており、これが今後の乗員保護基準の設定に基本的な考え方として取り入れられていくことが考えられる。

(2) A I Sコード

これについて、近年国際的にAbbreviated Injury Scale（傷害度基準：以下A I Sコードという）で分類、研究されている。今後防護柵等において乗員の安全性評価を行う場合においても、この分類を用いることが必要であるといえる。

また、A I Sコードと衝突実験における乗員の被害程度の推定は以下に示すとおりである。

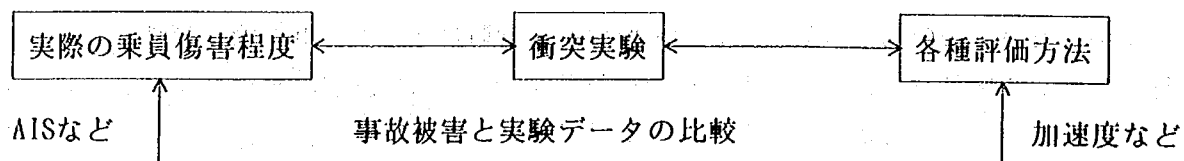


図-2. 2 衝撃耐性評価の概要

A I Sコードと具体的な傷害の内容は以下のように分類される。

- A I S 0 : 無 傷（本人が受傷しないといい、痕跡も認められない）
- 1 : 軽 症（必ずしも医師の手当を必要としない）
- 2 : 中等傷（医師の手当を必要とする傷、入院を要しない）
- 3 : 重 症（入院を要する傷、後遺症を残す）

- 4 : 重 篤（生命が危険な傷）
- 5 : 瀕 死（重篤な状況下であり、助かる見込みの甚だ乏しい）
- 6 : 即 死（実質的に救命しえない）
- 9 : 不 明

2. 2. 2 衝撃耐性に関する研究

人身体の衝撃耐性に関する研究としては、ボランティア、死体、ダミー、動物等に衝撃を与えて生理反応や損傷状況を調査する方法、交通事故での臨床調査、落下事故調査、シミュレーション解析等の手段を用い、身体や車両に発生した加速度、荷重あるいは車両の損害状況と身体の一部や全身の衝撃耐性との関係を把握する研究が行われてきた⁹⁾。

（1）身体に発生した衝撃と衝撃耐性に関する研究

身体局部の場合、作用した衝撃の大きさや作用面積が、身体の傷害発生に関与する要因となるが、これについては、衝撃によって身体各部に生じた加速度の大きさおよび作用時間を計測し、これと身体に発生した被害との関係を明らかにする研究が主として行われてきた。また全身への衝撃については、シートベルトをした状態で全身に同じ加速度を加え、身体に生じた加速度と被害との関係について研究が行われてきた。

（2）車両に発生した加速度と衝撃耐性に関する研究

車両に発生した加速度と乗員の被害の関係については、身体に発生した衝撃を直接評価するものとはならないが、身体全体への均等な作用加速度として、‘車両加速度＝身体に発生した加速度’と近似できるため、この仮定に則り車両加速度と乗員の衝撃耐性について研究が行われてきた。

一方、シートベルトをしていない乗員の被害と車両加速度との関係についても、研究が行われている。この場合、車両加速度の大きさに比例して乗員の被害が大きくなる（乗員が車室内構成部材等と衝突する衝撃が大きくなる）との前提により、実験結果等を基に求めたものである。

（3）事故統計等による衝撃耐性に関する研究

過去に発生した事故状況から発生した加速度を推定し、乗員被害との関係を解析するものである。

（1）および（2）の研究が人体の衝撃耐性を一般化（標準化）して推定するのに対して、この研究では加速度の大きさによってどの程度の乗員がどの程度の被害を受けるかが推定できる特徴を有する。

2. 2. 3 身体各部の衝撃耐性

（1）全身の衝撃耐性

シートベルトを装着している場合、事故時に運転者はシートベルトと衝撃的に接触することになるが、シートベルトを適正に装着していればこの衝撃は小さく、乗員にかかる加速度が全身への衝撃として作用し、衝突の3次衝突現象による乗員被害に関与する。

全身の衝撃耐性は、乗員に対してどの方向から衝撃を加えるかによって異なってくる。

a) 正面方向

正面衝突時等のような正面方向からの衝撃に対しては、事故における被害が最も多く報告される例であり、研究もかなり多く行われている。ただし、シートベルトをしている状態での研究がほとんどであり、車両の加速度と乗員被害の関係が主として報告されている。

生理的に、この方向での人間の衝撃耐性は比較的大きい。

b) 背後方向

追突等での背後方向からの衝撃に対しては、ヘッドレストのある座席であれば、座席が乗員の衝撃を緩和し、乗員の損害が少ない方向の衝撃といえる。

c) 横方向

側面衝突等での横方向からの衝撃に対して、人間の衝撃耐性は正面方向などに比べてかなり低いものとなっている。

d) 頭足方向

乗員に対して上下方向に衝撃が加わる事故は想定しにくい、レーシングカー等のように仰臥位状態における運転者の衝撃耐性と考えることができる。

e) 斜め方向

動物実験によれば、左側衝突と右側衝突では衝撃耐性に違いがあるとの報告があるが、医学的な見知での実験、研究は少ないとされている。

衝撃の作用方向として、正面と側面の合成方向となるため、衝撃に比較的強い正面と比較的弱い側面について、それぞれ分けて評価することが多い。

(2) 身体の局部的部位の耐性

身体各部が車両構成部材等に衝突し、瞬間的な局部加速度・荷重が作用する2次衝突現象およびそれに伴う3次衝突現象が乗員に作用した場合の、身体各部の耐性である。

a) 頭部

頭部の損傷は、身体各部位への衝撃の中で最も被害を大きくしやすいものとなる。

そのため、頭部に関する衝撃耐性の研究は、各部位への衝撃に関する研究の中で最もよく研究が行われて、人間の衝撃耐性の評価として最も多く研究がなされている。

b) 顔面

乗員がフロントパネル等に衝突すると、顔面に裂傷が生じたり顔面骨を骨折したりする。

顔面損傷は、人命にかかわる被害にはならない場合が多く、研究例もそれほど多くない。

c) 頸部

車両が追突された場合等には、ムチ打ち現象や頸部脊髓索の損傷がみられる。頸部は衝撃に際して、他の局部とは異なる挙動を示し、低速度の衝撃でも重傷となる場合もある。また、衝突後かなり経過してから症状が現れる場合もある。

d) 胸部

自動車事故では、胸部の損傷による死亡が頭部損傷に次いで多い。胸部の損傷は、硬い脊椎とステアリングホイールや計器パネルとの衝突により生じる胸郭内の著しい圧縮により生じる。特に、心臓等の重要な臓器に発生した損傷は致命傷となる場合が多い。

e) 腹部

腹部衝突については、腎臓、肝臓、脾臓、膵臓、腸等の損傷が主な被害となるとされているものの、研究例は少ない。シートベルトの装着義務化により、それまでより腹部傷害の増加が指摘されている。特に不適切なシートベルトの装着は、乗員の被害を大きくしやすいので、今後さらに研究が必要な部位といえる。

f) 下肢

下肢の損傷は、交通事故ではかなり頻繁に起こる。この損傷は、大量出血がない限り、死亡に至ることは少ない。

2. 2. 4 代表的な衝撃耐性値

人間の衝撃耐性は、同じ防護柵に同一条件で衝突したとしても、運転者の属性（年齢、性別、身体、健康状態等）やシートベルトの装着状態、着座位置、運転者の意識状態等が複雑に影響し、被害の程度も異なってくるため、衝撃耐性に関する共通の基準をみつけることは容易ではない。

しかし、衝突実験等で安全性を判断するためには、定量化された方法で統一的な評価を行う必要があり、このため、判断の目安となるような衝撃耐性の値が幾つかの研究で提案されている。これらの評価値は、身体の部位について示しているものと、全身の衝撃耐性について示しているものがある。

(1) 加速度の方向

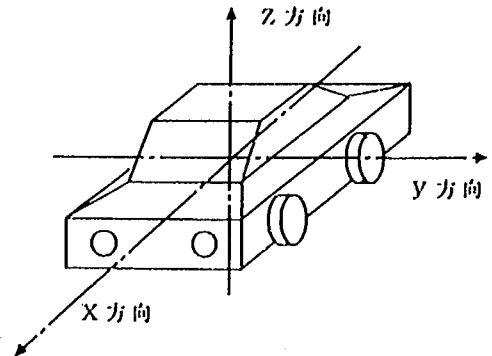
衝撃耐性を計る指標となる加速度は方向性があり、防護柵衝突のような事故では進行方向の速度が減速する方向の加速度を正の値として評価することが一般的である。

また実験等で加速度を計測する場合の方向としては、

x 方向：車両の進行方向、進行する方向を正とする

y 方向：車両の進行方向に対する直角方向、進行方向に対して左側を正とする

z 方向：水平に置かれた車両の上下方向、上方向を正とする



図－2. 3 加速度の正負方向

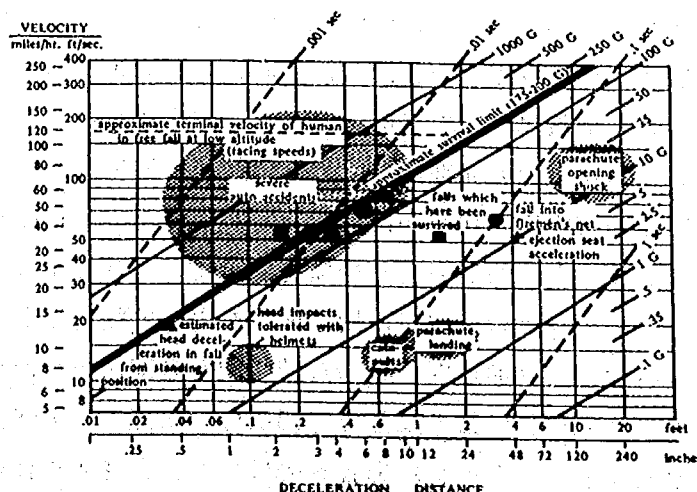
の3方向に分けて計測する。

なお、英語では、進行方向の速度が増加するときの加速度をAcceleration、また進行方向の速度が減少するときの加速度をDecelerationとして区別している。日本語では、この区別が明確でなく、物理学的にはAccelerationとDecelerationを総称して‘加速度’と表している。Decelerationの和訳としては、‘減速度’や‘減加速度’という言葉があり、特に‘減加速度’を用いる場合が多いようである。本報告では、物理学用語に則りAcceleration, Decelerationともに‘加速度’として表す。

(2) 全身の衝撃耐性値

正面衝突時の全身衝撃耐性については、いくつかの報告があるが、その代表的なものを図－2. 4～2. 5に示す。

ミシガン大学のPf. R. G. Snyderがまとめた衝突実験に関する図－2. 4によれば、交通事故で乗員に大きな被害を与える範囲としては、加速度として30～200 G程度、作用時間として1～10ms程度が示されている。ただし、乗員の被害の程度については明らかでない。



図－2. 4 人体の衝撃耐性限界 (Pf. Snyder)⁹⁾

また、安全と危険との境界値について、松野が示した加速度と作用時間の閾値に関する図-2.5では、10msでは100G、50msでは30G程度が閾値の下限として示されている。ただし、この図においても、危険とされる場合の乗員の被害程度は明らかでない。

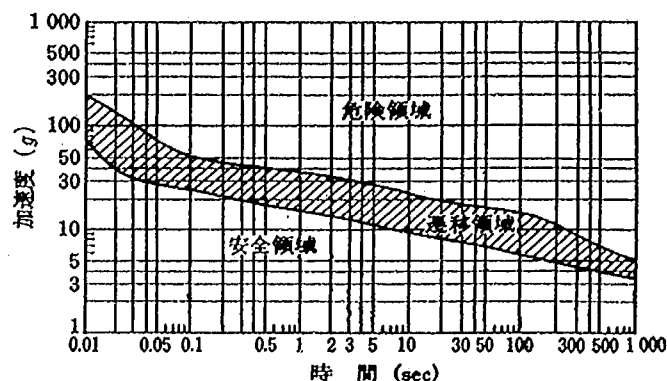


図-2.5 人体の衝撃耐性限界（松野）¹¹⁾

(3) 身体部位の衝撃耐性値

以下では、全米自動車安全基準（Federal Motor Vehicle Safety Standard ; FMVSS）の208³⁰⁾において乗員の衝撃耐性に関する基準を検討し、採用された身体部位の評価について述べる。この基準は現在わが国の車両の安全性に関する基準である道路運送車両保安基準にも、平成6年4月から新車に適用される基準として採用されているものである。

a) 頭部

頭部の衝撃耐性はH I C 値（Head Injury Criteria）で評価される。

この値は、乗員頭部の加速度とその持続時間によって示される脳震盪限界レベルに基づいている。脳震盪とは頭部衝撃によって発生する意識障害を伴う頭部外傷であり、1966年に神経外科会議の委員会において以下のように定義されている。

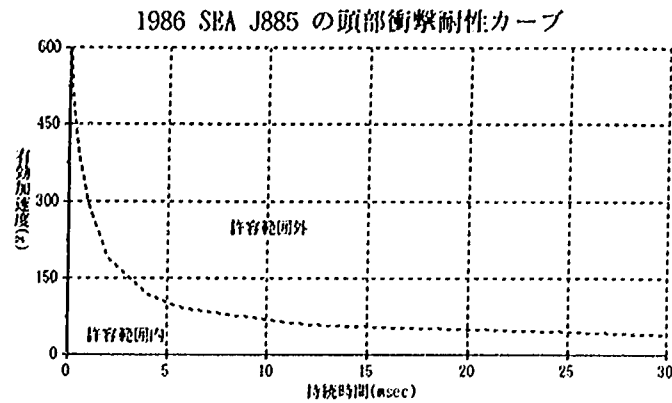
「機械的な外力による意識の消失、視覚や平衡感覚の傷害等のような神経機能の即時的、一過性損傷によって特性づけられる臨床的症状（頭蓋骨、脳実質等の病理学的変化の有無に関係ない）」

上記定義によれば、脳震盪は脳の病理的な変化は認められない一過性の機能損傷であるが、脳震盪が発生すると頭蓋骨に線状骨折が起きる危険性が高くなる。

この頭部の傷害基準値を決めるのにあたって、その根拠となった脳震盪限界カーブ（頭部有効加速度-持続時間）は、1960年にWayne State Universityによって最初に提案されている。

その後、多くの研究者によってデータが追加されたり、修正案が出され、1986年のSEAJ885に記されているような脳震盪限界カーブ（図-2.6）が完成した。

脳震盪カーブは完成したものの頭部加速度とその持続時間によって示される頭部傷害は、異なる加速度波形間での傷害程度の比較が困難である。このような状況を踏まえてダミー頭部で計測された加速度波形をもとに頭部の傷害程度を定量化しようとする研究が並行して進められてきた。このような研究の進展の過程で、指数関数を用いて脳震盪限界カーブを近似する方法や、脳震盪カーブ等の頭部有効加速度と有効持続時間との関係から指数係数を求め、頭部で計測された加速度波形をその指数係数を乗じて時間積分し求めるS I (Severity Index)が提案された。その後、加速度波形のパターンに影響を受けにくいと考えられたH I Cの計算方法と傷害基準値H I C = 1,000が提案された。このような研究経過により、頭部重心加速度のH I C =



図－2. 6 脳震盪カーブ

1,000が人間が脳震盪を起こす限界とされ、乗員頭部の傷害基準値とされている。

しかし、H I C 値に関して様々な研究が行われているが、定量的に乗員傷害値を示すには未だ不明な点もあり、今後さらに研究が必要とされている。

なお、H I C 値の計算方法は、第3章を参照のこと。

b) 胸部

衝突時の乗員の受ける障害程度を、胸部の加速度で評価する方法である。

胸部の衝撃耐性値は胸部加速度によって示される肋骨及び胸骨の骨折限界レベルと内臓器官の衝撃耐性限界レベルに基づいている。肋骨等の骨折は内臓器官に傷害を与える可能性があり、内臓器官への衝撃は大動脈弓の破裂等の重度の障害を引き起こす可能性が高い。

基準値を決めるにあたり、衝撃によって胸部の傷害に影響を与える幾つかのパラメータ（加速度、荷重、変位）が提案されているが、評価の容易性等から、加速度とその持続時間が評価パラメータとなっている。胸部の傷害程度は死体と生体との間では筋肉の硬度や肺圧の差等によって異なってくるため、胸部の傷害基準値は主に生体実験をもとにして導かれている。生体実験はスタントマンによるダイビング等の実験であり、スタントマン胸部の加速度衝撃の計測を行い、そのときの加速度と傷害の程度（痛み等）により評価する。また、死体によるインパクト試験も行われている。このような研究結果から、乗員胸部の衝撃耐性値は、胸部加速度で60G、持続時間3msとされた。

c) 大腿部

大腿部の衝撃耐性は膝部への衝撃荷重に対する膝蓋骨、大腿骨、骨盤の順に荷重が伝わり、骨折等の傷害はこの3つの骨に発生することがわかっている。これらの骨折は歩行時に重大な傷害を及ぼす。

基準値を決めるにあたって、死体膝部へのインパクト試験、または死体による台車試験（インストルメントパネル試験）等の多くの試験が実施され、骨折レベル、骨折パターン、骨折パターン、骨折メカニズム等の研究がなされた。それらの試験結果により、大腿部の骨折限界は圧縮荷重1,021kgfとされている。

2. 2. 5 事故統計からみた衝撃耐性値

運輸省事故統計を基に、車両に生じた加速度と乗員死傷率との関係を調べた土木研究所の報告¹²⁾では、図-2. 7を示している。

この報告では、加速度が作用する時間について特に言及されていないが、衝突する現象を衝突開始時から車両の最大変形時まで対象としていることから、0.05~0.1s程度の時間における作用加速度と考えられる。

また図について、作用加速度と乗員被害の割合をみると、表-2. 1のとおりとなる。

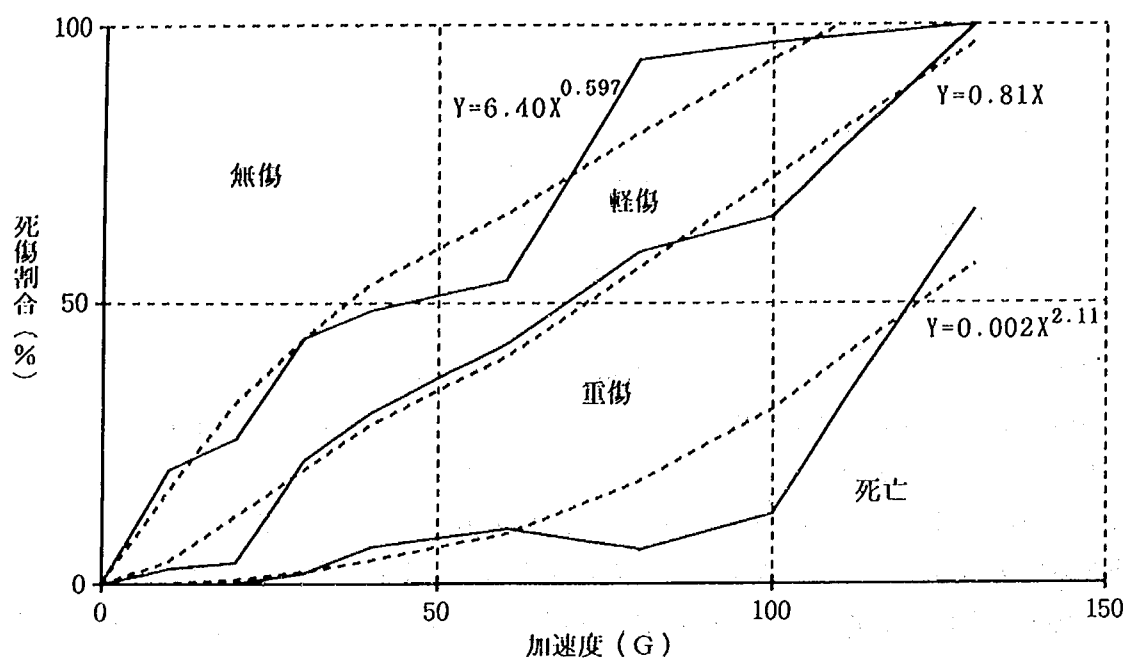


図-2. 7 事故統計より得られた作用加速度と乗員死傷率の関係

表-2. 1 最大加速度と乗員死傷率

車両加速度 (G)	乗員被害 (%)			
	無傷	軽傷	重傷	死亡
2	90	8	2	+ 0
4	85	12	3	+ 0
6	81	14	5	+ 0
10	75	17	8	+ 0
15	68	20	11	1
20	62	22	15	1
50	34	26	31	9
100	+ 0	19	42	39

上記表によれば、車両加速度が6 G程度までであれば、乗員の約8割は無傷であり、車両加速度が10 G程度までであれば、死亡する乗員はほとんどいないことになる。

2. 2. 6 シートベルト装着有無による変化¹¹⁾

衝突時に発生した車両の加速度に対して、シートベルトの装着有無による乗員加速度との関係を研究した報告によれば、

乗員加速度＝車体加速度×2～5 (シートベルト非装着、車体と衝突)

乗員加速度＝車体加速度×0.6～2 (シートベルト装着、車体との衝突無し)

となっている。

ここで注目すべき点は、シートベルトを装着してしない場合、車体が受ける加速度に対して乗員の受ける加速度は大幅に増加するが、シートベルトを装着していれば、車体加速度より小さくなる場合もあることである。

ただしこの文献では、車体加速度および乗員加速度の作用時間が不明のため、一概に他の結果と比較することはできない。

2. 3 防護柵に関する衝撃耐性値

2. 3. 1 わが国における衝撃耐性値

防護柵に関するわが国の技術・設置指針である防護柵設置要綱⁶⁾ (以下要綱と略す) では、以下の規定により、衝突時に発生する車両加速度値を4 G以下に押さえることが定められている。

防護柵に衝突した時に車両が受ける加速度の大きさは、車両を単一の物体と考えれば物理的に算定できるが、車両の各部分および乗員に働く加速度の大きさを決めることは難しい。

この要綱では、車両と人間を単一の物体と考えた場合の加速度の許容値、すなわち、普通の人間が加速度を受けた場合に耐えうる値が約4 Gであるので、この値を最大値とした。なお、訓練を受けた人間が耐えうる値は約6 Gといわれている。

実際に乗員の受ける加速度の大きさは、この車両の受ける加速度より小さい場合もあれば大きい場合もあり、その周期、周波数によっては、乗員の安全性が問題となる場合もあり、これらについては今後さらに人間工学的な見地からの説明が必要である。

要綱内には、加速度についての定義や計測位置等の記述がないが、防護柵衝突時の車両加速度について報告している報告¹³⁾によれば、要綱で示す加速度は、'防護柵への車両衝突時から最大進入行程時までの車両重心加速度の平均値'とされている。この加速度を以下では実効値という。

ここで最大進入行程とは、要綱では、衝突前の防護柵前面から、防護柵衝突時に衝突車両の車輪が最も外側に飛び出した時点でも安全に通過できる限界として、外側タイヤ中心までの距離としている(図-2. 8)。

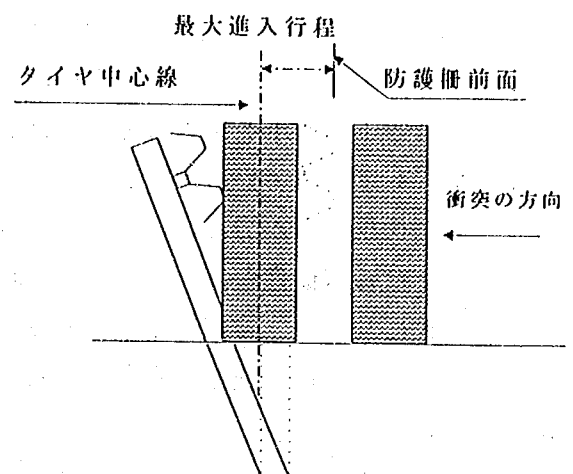


図-2. 8 最大進入行程

要綱は昭和40年に初版が発刊され、その後乗員評価については変更がないので、昭和30年代の知見を基に基準が定められたものと考えられる。

昭和30年代当時の衝撃と乗員安全性に関する考え方としては、

- ①シートベルト着用の義務がなく、シートベルト非装着者を対象とする
- ②車両性能や道路状況等から衝突速度も比較的低速である
- ③乗員が車室内に衝突して発生する衝撃的な瞬間の加速度ではなく、平均的に継続して運転者に加えられる加速度が運転者に影響する

とされていたこと等から、基準数値の大きさから判断しても、わが国の基準4 Gは加速度波形としては大きな周期のなめらかな波形の影響をみており、防護柵衝突後、乗員が正常な思考状態を保持したまま誘導できる基準として定めていることが推定される。

要綱の記述から、4 Gを全身に作用する加速度の限界値として判断することが妥当であると考えられるが、これとは別に、車両加速度が4 Gの場合シートベルトを装着していない乗員にどの程度の加速度が生じるかを2. 2. 6の仮定に基づき推定すると、身体の一部には最大20 Gが発生することとなる。

この20 Gを、要綱の加速度の求め方に従って0.2s程度の時間に作用する加速度とし、H I C値と比較すると、脳震盪の生じる加速度の約1/2程度の加速度となり、これをA I Sコードに当てはめれば、乗員に傷害が発生しないか、発生しても傷害度の低い（安全性の高い）水準の衝撃耐性値であると推定できる。

また、事故統計との関係についてみた図-2. 7に4 Gを適用すると、85%の運転者は無傷であり、死亡する乗員はほとんどいない結果となる。

2. 3. 2 米国における衝撃耐性値

乗員の衝撃耐性に関する評価としては、車両の加速度から乗員の加速度や速度を計算により求め評価する方法をとっている。

1980年代以前は、衝撃耐性値として‘被害は発生するものの後遺症が残るまでには至らない程度の乗員被害’に抑えるものし、車両に発生する50ms平均加速度について、シートベルトを装着した乗員に対してはX方向25 G、Y方向15 G、合成方向25 Gが評価に用いられてきた。この値は、1960年代のC. StappやSeveryらの研究結果等を参考に、Cornell Aeronautical Laboratoryが提案したものであり、A I Sコードで3未満程度の水準を想定しているといえる^{14) 15)}。

また、シートベルトを装着していない乗員に対してもx方向5 G、y方向3 G、合成方向6 Gを衝撃耐性値として示しているが、シートベルトをしていない乗員に実際発生する加速度や衝撃と車両加速度との関係は明らかでないことが述べられており、車両に発生する加速度が小さい方が乗員への影響も小さくなる可能性が高いという定性的な評価であるとされている。

1980年代になって、連邦道路庁が中心となって、全州での防護柵実験に係わる主要な機関の関係者が集まって定めた道路施設の安全性評価方法（NCHRP Report230）¹⁶⁾が、防護柵衝突時の乗員安全性評価として定められた。

この評価によれば、乗員頭部が車室内構成部材に衝突する時の速度は、前後、左右方向でそれぞれ9 m/s以内であることとされ、頭部が車室内に衝突した後、頭部に作用する加速度は前後、左右とも限界値として20 G、推奨値として15 Gとされており、これらは、ボランティア、動物、死体、ダミーを

用いた衝撃実験や事故統計などの豊富な衝撃耐性に関する研究結果に基づくとされている。

この評価の特徴となる点は、加速度の評価時間を10msとし、従前の50msよりさらに短い時間間隔となっていることと、乗員頭部の車室内への衝突を理論的に計算し、頭部衝突時の衝突速度と頭部衝突後の加速度の2段階に分けて評価を行っている点である。

時間間隔を短くした点は、‘乗員に与える衝撃は短い時間間隔で評価する必要があるが、7ms以内の衝撃波形は人体にとって重要ではない’とのPf. R. G. Snyderの報告⁹⁾から、計算のしやすさ等を考慮して10msの加速度を用いるとしたものである。

また理論による乗員頭部の衝突速度等を評価方法として採用した理由は、Report230では明らかにされていないが、防護柵衝突は斜め方向の運動になりダミーを用いた評価が最適なものとはならないことなどがその理由として考えられる。

1993年には、Report230の改訂版として、NCHRP Report350¹⁷⁾が出され、現在はこの評価基準が最も新しい基準として用いられている。

これによれば、衝撃耐性の基準はNCHRP Report 230と同じであり、A I Sの3（傷害は厳しいが生死には影響を与えない：重症）を限界値、また、安全率を考慮したものを推奨許容値として示している。推奨許容値が人間に与える影響については、Report230及びReport350では明らかにされていないが、A I Sレベルで1ランク程度下がるとすれば、中等症程度以下の比較的軽い傷害が推奨許容値となる。このうち、乗員の頭部衝撃速度は、H I Cで脳震盪を起こさない限界とされる1000が生じる加速度から、計算により求めたものである。脳震盪は意識障害等の発生する一過性の機能障害であるが、死亡に至る危険性のある頭蓋骨線状骨折の発生限界ともみられるものであり、ここでもH I Cの1000を衝撃耐性の限界として採用したものであると思われる。さらに、評価では安全率を持って推奨限界値が定められており、衝撃耐性としては、比較的安全をみた基準といえる。

2. 3. 3 E Cにおける衝撃耐性値¹⁸⁾

E C各国の衝撃耐性値については、米国ほどの情報が得られず、基準値も国によってまちまちになっており、どの程度まで乗員を保護する基準であるか明らかでない。

各国における乗員の衝撃耐性に関する評価基準は以下のとおりである。

・フランス

50ms車両加速度で評価し、x方向に12G、y方向に9G、z方向に10G、合成方向18Gが推奨する許容値とされ、限界許容値は25G以内とされている。

・イギリス

頭部が車室内に衝突する速度の衝撃耐性値で評価するが、評価基準は明らかでない。

・ドイツ

縦、横、垂直方向とも50ms加速度で10G以下となることとされている。

・イタリア¹⁹⁾

航空パイロットの安全性に関する基準を参考にし、車両重心位置の50msの加速度を用いる。

評価基準は、x方向20G、y方向10G、z方向10G、合成方向で23Gとしている。

EC各国は、独自に設定された基準をECの統一基準化を図っている。

1993年2月に出されたEC基準（案）による乗員安全性評価基準は、以下のとおりである。

基準値としては米国とほぼ同じ水準になっており、基本的には中等症（AIS 3未満）程度、被害が大きい場合でも生命に別状がない状態（AIS 4未満）に抑える基準であると推定される。

表- 2. 2 乗員の安全基準案（EC）

	推奨基準値	合格最低基準値
50ms車両重心加速度 ^{*)}	合成18G以下	合成25G以下
10ms頭部衝突速度	9(m/s)以下	12(m/s)以下
10Hz頭部加速度	15(G)以下	20(G)以下

*) x方向:12G、y方向:9G、z方向:10Gを基準とする。

第3章 衝突時の乗員安全性評価

3.1 直接評価と間接評価

前章で述べたように、乗員の衝撃耐性について様々な研究が行われ、評価の目安となる基準が示されている。

車両の衝突安全性を検証する衝突試験や防護柵の緩衝機能等を確認する衝突実験等では、各種の計測結果をこれらの評価基準に当てはめて、性能が判断される。

衝撃耐性を評価する場合、乗員に作用した加速度や荷重について直接評価する方法と、車両に発生した加速度から乗員に対する衝撃を間接評価する方法があり、これらは以下のように分類することができる。

表-3.1 評価方法と評価項目

評価方法	評価項目		評価・判定	評価対象・手法 ^{*)}
直接評価	①	乗員の身体各部に生じた加速度、荷重	衝撃耐性値による	ダミー計測
間接評価	②	車体加速度＝乗員加速度と仮定	衝撃耐性値による	実効値
	③	車体加速度→身体各部への加速度や衝突速度に換算	衝撃耐性値による	OIV, THIV, ASI, PHD, 頭部加速度等
	④	車体加速度<乗員加速度	定性的な判断による	シートベルト非着用者

*) 評価手法については、以下に詳細を述べる。

このうち①の直接評価する方法は、乗員に作用する加速度や衝撃力を直接計測する方法として、ダミーを衝突車両に搭載して、ダミーの身体各部に生じた値を直接計測し解析する方法であり、人間の衝撃耐性値と比較するためには、この方法を用いることが望ましい。

ただしダミーは、前面衝突、側面衝突時に乗員の動きを再現できる性能を持ったものが開発され、車両の性能実験等に用いられているものの、防護柵衝突時のように、斜め方向の乗員挙動を再現するダミーはなく、ダミーを用いて乗員の安全性を適切に評価することができない。

そのため防護柵の衝突実験では、車両の加速度を用いて評価する間接評価が一般的になっている。

このとき、②の方法は車体に発生する加速度と乗員に働く加速度は等しいとの仮定によって評価されるものであり、基本的にはシートベルトを装着した乗員や、後方から追突され乗員に打撃による被害が生じない場合等のものとなる。要綱における評価（実効値）はこの方法を用いている。

③は、車体に発生した加速度を積分して車両の移動を計算し、乗員は慣性移動するとの仮定によって乗員頭部が車室内に衝突するときの速度を求めるとともに、乗員頭部が車室内に衝突した後は車体とともに移動し、車体と同じ加速度を受けるとして、頭部に働く衝撃を求めるものである。シートベルトをしていない人間の挙動を車両の加速度から計算して求め、直接評価と同様の水準で評価を行お

うとするものであり、米国やE C統一の評価はこの方法を採用している。

④は、シートベルトを装着していない乗員を想定して、車体に加速度が作用した場合、乗員は移動して車室内に衝突するため、乗員には更に大きな衝撃加速度が作用するとして、乗員の被害を推定するものである。シートベルト非装着者の衝撃耐性実験は少なく、定量的な評価としては参考程度としているものが多い。

3. 2 ダミーを用いた直接評価方法

車両衝突用に開発されたダミーは、前面衝突用と側面衝突用の2種類があり、車両の衝突実験等では、これらのダミーを用いた評価が行われる。

3. 2. 1 前面衝突⁸⁾

車両の性能を確認するための前面衝突試験は、車両保安基準の場合速度50km/hで対象車両を走行させ、バリア前面に正面衝突させ、ダミーの頭部に発生する加速度のH I C値を求めるものである(参考資料-2参照)。

なお、H I C値は以下の式によって求めることができ、乗員保護基準としてH I C ≤ 1000であることとされている。

$$HIC = (t_2 - t_1) \cdot \left\{ \int_{t_1}^{t_2} a \, dt / (t_2 - t_1) \right\}^{2.5}$$

t1 : 加速度発生中の任意時刻(s)

t2 : t1 + dt(s)

ただし、| t1 - t2 | ≤ 36(ms)

a : 発生合成加速度(G)

3. 2. 2 側面衝突²⁰⁾

米国では、樹木や照明器具の路側物体への側面衝突により毎年乗員の1,600人の死者と60,000人の負傷者を出していることから、側面衝突時の安全性の研究は正面衝突と同様に行われている。この場合、基準値となるのは乗員頭部加速度(H I C ≤ 1,000)と胸部加速度(T T I ≤ 90G)とされている。

$$TTI = 0.5 \times (G_R + G_{LS})$$

G_R : 上部及び下部の肋骨のうち大きい方のピーク加速度(G)

G_{LS} : 低部背骨(T12, 12番目)のピーク加速度(G)

3. 3 車両加速度を用いた間接評価方法

防護柵の衝突実験では、ダミーを用いて的確な乗員安全性の評価が行えないことから、間接評価による解析方法が、主として用いられている。

以下に安全性を評価する手法について、現在用いられている代表的なものを示す。

3. 3. 1 実効値

車両にかかる加速度と乗員にかかる加速度は等しいと仮定して、車両の加速度によって乗員の安全性を評価するものである。

求め方としては、車両と乗員を単一の物体とし、最大進入行程までの時間Tの平均加速度と定義する。計算方法は以下に示す式により計算を行い、人間が耐えられる許容加速度を4 Gとしたもので、要綱に記載されている。

$$\alpha_{Tx, y} = \left[\int_{t1}^{t2} (a_{x, y})^2 dt / T \right]^{0.5}$$

$$\alpha_{T合} = \sqrt{\alpha_{Tx}^2 + \alpha_{Ty}^2}$$

$\alpha_{Tx, y}$: x, y方向加速度の実効値 (G)

$\alpha_{T合}$: x, y方向加速度の合成値の実効値 (G)

T : 衝突から最大進入行程までの時間(s)

t1 : 加速度発生中の任意の時間(s)

t2 : t1+T(s)

$a_{x, y}$: 発生加速度(G)

許容値 : 実効値 $\leq 4 G$

3. 3. 2 THIV¹⁷⁾

THIV(Theoretical Head Impact Velocity : 理論的頭部衝撃速度)は、車両と乗員の頭部は、お互いが接触するまで独立に運動するというフレイルスペースモデルに基づいて、頭部が車室内に衝突する速度および加速度により評価するものである。

(1) フレイルスペースモデル

THIVは乗員頭部の移動について以下のような仮定を設定している。

1. 車両衝突後、乗員の頭部は車両の衝突前の速度で慣性移動し、乗員頭部はいずれ車両のダッシュボードや窓ガラスあるいはドア等に衝突する。このときの衝突速度は、乗員頭部の慣性移動速度と車両のx、y方向の加速度および角加速度を積分することによって求められる車両の速度との差(ライドダウン速度)から求められる。
2. 車室内構成部材は可塑性の変形を起こし、乗員頭部が車室内部材に衝突した後は跳ね返ることはなく、乗員頭部は車室内に接触したまま車両と同じ大きさの加速度を体験する。
3. 乗員の安全性は、乗員頭部が車両に衝突するときの相対速度差および衝突後の乗員頭部が経験する加速度の大きさにより判断する。

なお、以下では、本手法で仮定されている乗員頭部を理論頭部とする。

(2) THIVの求め方

THIVは、車両重心位置のx方向、y方向の加速度および回転角速度を用いて求める。

$$THIV(m/S) = \sqrt{\Delta V_x^2(T) + \Delta V_y^2(T)}$$

ここで

ΔV_x^2 : 頭部衝突時のx方向の理論速度

ΔV_y^2 : 頭部衝突時のy方向の理論速度

T : 理論頭部が車室内に衝突までの時間(s)

推奨許容値: $THIV \leq 9 \text{ m/s}$

限界許容値: $THIV \leq 12 \text{ m/s}$

THIVの計算は以下に示す3ステップに分けられる。

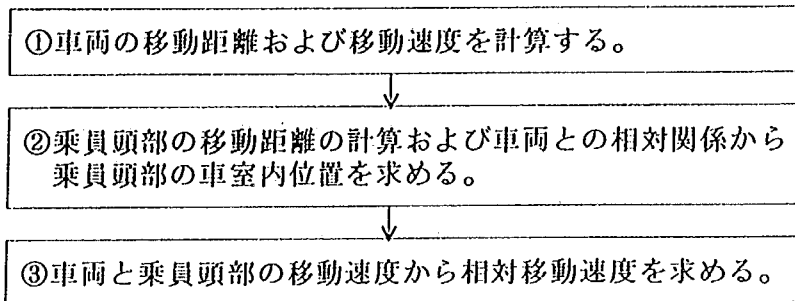


図-3. 1 THIVの計算ステップ

以下に、フレイルスペースモデルを用いた具体的なTHIVの求め方を示す。

なお、地面座標系(X, Y)、車両座標系(x, y)とする。

防護柵衝突前の車両と理論乗員頭部は、一体となってX方向に速度 V_0 で運動していると考ええる。その後、車両が防護柵に衝突すると車両だけが速度や運動の方向を変化させ、理論頭部は速度 V_0 で運動を続ける。

衝突の瞬間を $t = 0$ として、車両重心位置に設置された加速度計により計測された任意時間 t 秒後の車両進行方向加速度を $\ddot{x}_c(t)$ 、車両直角方向加速度を $\ddot{y}_c(t)$ 、角速度を $\dot{\phi}(t)$ とする。

(各計測値の正方向は、 $\ddot{x}_c(t)$ は進行方向、 $\ddot{y}_c(t)$ は進行方向左側、 $\dot{\phi}(t)$ は車両上方より時計回りをそれぞれ正方向としている。)

車両重心を示すものとしてc、理論頭部位置はbをつけて区別している(X_c や X_b など)。

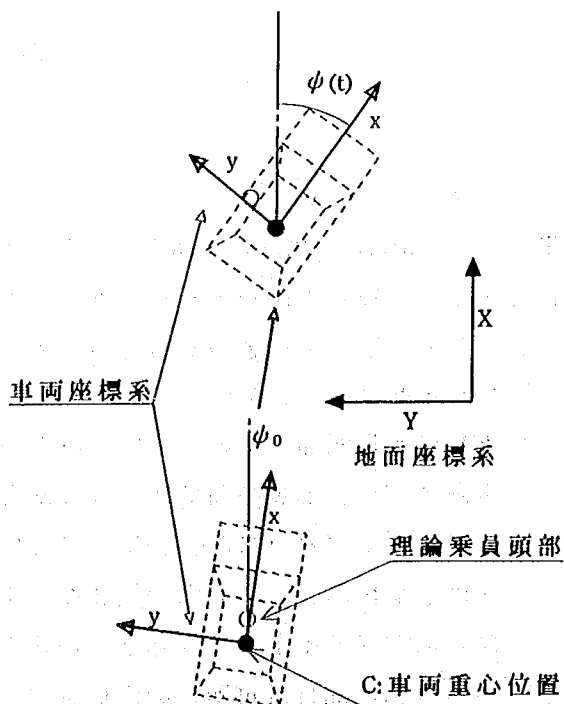


図-3. 2 THIVの計算に用いるモデル

$t = 0$ の時の車両重心と理論頭部との距離（地面座標系）を (X_0, Y_0) とし、角度を ϕ_0 とする（図 - 3. 3 ~ 3. 5 参照）。

なお理論頭部の衝突開始時 ($t = 0$) の位置は、 x 軸上にあり、車室前面から D_x の距離、車室側面に対しては左右に D_y の距離にあるものとしている（図 - 3. 2）

（１）車両の運動

衝突開始時 ($t = 0$) の車両重心の位置や速度を地面座標系で示すと以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{車両重心位置：} \quad & X_c(0)=0 \\ & Y_c(0)=0 \\ & \phi(0)=\phi_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{車両重心速度：} \quad & \dot{X}_c(0)=V_0 \\ & \dot{Y}_c(0)=0 \\ & \dot{\phi}(0)=0 \end{aligned}$$

また、地面座標系での車両重心加速度 $(\ddot{X}_c(t), \ddot{Y}_c(t))$ は、車両に搭載された加速度計によって計測される車両座標系の加速度 $\ddot{x}_c(t), \ddot{y}_c(t)$ 及び角速度 $\dot{\phi}(t)$ を用いて、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \ddot{X}_c(t) &= \ddot{x}_c(t) \cdot \cos\{\phi(t)\} + \ddot{y}_c(t) \cdot \sin\{\phi(t)\} \\ \ddot{Y}_c(t) &= -\ddot{x}_c(t) \cdot \sin\{\phi(t)\} + \ddot{y}_c(t) \cdot \cos\{\phi(t)\} \end{aligned}$$

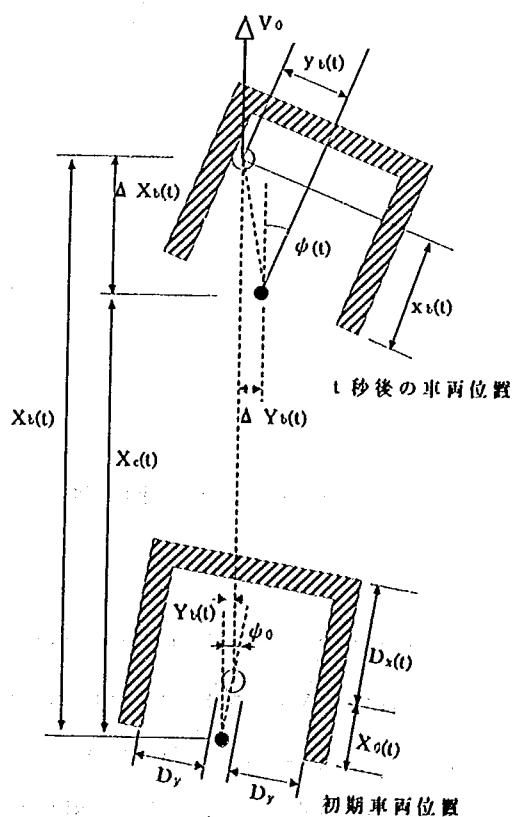


図 - 3. 3 TH1Vの計算に用いる各値

t秒後の車両重心の位置及び加速度は、以下のようになる。

$$\dot{X}_c(t) = V_0 + \Delta \dot{V}_c(t) = V_0 + \int_0^t \ddot{X}_c(t) dt$$

$$\dot{Y}_c(t) = \Delta \dot{Y}_c(t) = \int_0^t \ddot{Y}_c(t) dt$$

$$X_c(t) = V_0 t + \Delta X_c(t) = V_0 t + \int_0^t \Delta \dot{X}_c(t) dt$$

$$Y_c(t) = \Delta Y_c(t) = \int_0^t \Delta \dot{Y}_c(t) dt$$

また、回転角度 $\phi(t)$ は、回転角速度 $\dot{\phi}(t)$ を積分して計算される。

$$\phi(t) = \phi_0 + \Delta \phi = \phi_0 + \int_0^t \dot{\phi}(t) dt$$

(2) 乗員頭部の運動及び車両との位置関係

前述の仮定に基づき、理論上の乗員頭部の運動を考えると、乗員頭部は車両の運動に関係なく同一方向に等速で移動し、乗員頭部の運動は以下の式により表せる。

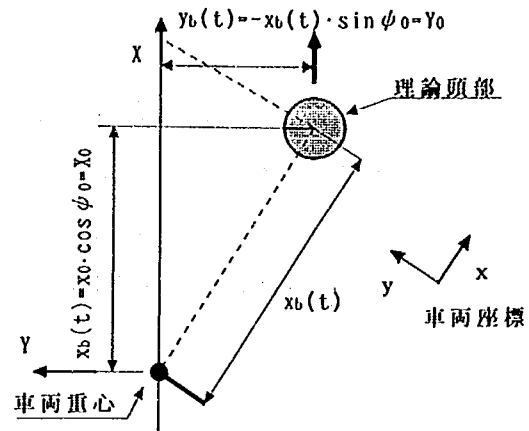
衝突開始時 ($t = 0$) の地面座標系における理論頭部位置は、以下により求められる。

$$x_b(t) = x_0(t) \cdot \cos \phi(t) = X_0$$

$$y_b(t) = -x_b(t) \cdot \sin \phi(t) = Y_0$$

$$\dot{X}_b = V_0$$

$$\dot{Y}_b = 0$$



もし、理論頭部が等速運動を続けるならば、

図-3.4 理論頭部の位置

$$X_b = V_0 \cdot t + X_0$$

$$Y_b = Y_0$$

以上のことより、移動原点Cの座標 x, y により、車室内の頭部位置は次式によりそれぞれ求めることができる。

$$\begin{aligned} x_b(t) &= [X_b(t) - X_c(t)] \cdot \cos[\phi(t)] - [Y_b(t) - Y_c(t)] \cdot \sin[\phi(t)] \\ &= [X_0 - \Delta X_c(t)] \cdot \cos[\phi(t)] - [Y_0 - \Delta Y_c(t)] \cdot \sin[\phi(t)] \\ y_b(t) &= [X_b(t) - X_c(t)] \cdot \sin[\phi(t)] + [Y_b(t) - Y_c(t)] \cdot \cos[\phi(t)] \\ &= [X_0 - \Delta X_c(t)] \cdot \sin[\phi(t)] + [Y_0 - \Delta Y_c(t)] \cdot \cos[\phi(t)] \end{aligned}$$

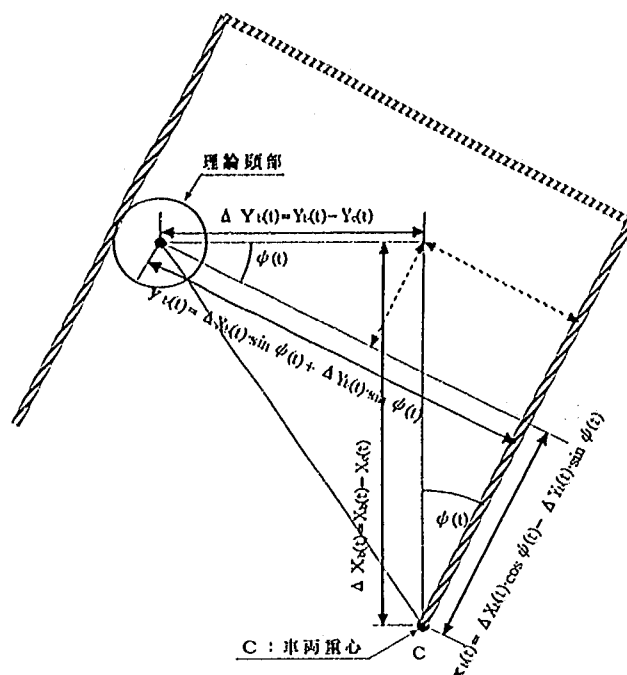


図-3.5 理論頭部衝突時の頭部と車室との位置関係

(3) 乗員頭部衝突時の速度

車両座標系における車両重心の速度 $V_{cx}(t)$ 、 $V_{cy}(t)$ は以下のように示される。

$$v_x(t) = \dot{x}_c(t) + y_b \cdot \dot{\psi}(t)$$

$$v_y(t) = \dot{y}_c(t) + x_b \cdot \dot{\psi}(t)$$

$$\dot{x}_c(t) = \dot{X}_c(t) \cdot \cos \psi(t) - \dot{Y}_c(t) \cdot \sin \psi(t) = [V_0 + \Delta \dot{x}_c(t)] \cdot \cos \psi(t) - \dot{Y}_c(t) \cdot \sin \psi(t)$$

$$\dot{y}_c(t) = \dot{X}_c(t) \cdot \sin \psi(t) + \dot{Y}_c(t) \cdot \cos \psi(t) = [V_0 + \Delta \dot{x}_c(t)] \cdot \sin \psi(t) + \dot{Y}_c(t) \cdot \cos \psi(t)$$

また、理論頭部の車両座標系における速度 $V_{bx}(t)$ 、 $V_{by}(t)$ は、下式により示される。

$$v_{bx} = V_0 \cdot \cos \psi(t)$$

$$v_{by} = V_0 \cdot \sin \psi(t)$$

理論頭部と車両との相対速度 $\Delta V_x(t)$ 、 $\Delta V_y(t)$ は下式で表される。

$$\Delta v_x(t) = v_{bx}(t) - v_x(t) = -\Delta \dot{X}_c(t) \cdot \cos \psi(t) + \Delta \dot{Y}_c(t) \cdot \sin \psi(t) - y_b \dot{\psi}(t)$$

$$\Delta v_y(t) = v_{by}(t) - v_y(t) = -\Delta \dot{X}_c(t) \cdot \sin \psi(t) - \Delta \dot{Y}_c(t) \cdot \cos \psi(t) + x_b \dot{\psi}(t)$$

車両座標系における理論頭部の位置は、下式で求められる。

$$x_b(t) = \Delta X_b(t) \cdot \cos \psi(t) - \Delta Y_b(t) \cdot \sin \psi(t)$$

$$y_b(t) = \Delta X_b(t) \cdot \sin \psi(t) + \Delta Y_b(t) \cdot \cos \psi(t)$$

$$\Delta X_b(t) = X_0 - \int_0^t \Delta \dot{X}_b(t) dt$$

$$\Delta Y_b(t) = Y_0 - \int_0^t \Delta \dot{Y}_b(t) dt$$

図-3. 5で示したように、ここでは衝突挙動を2次元でとらえている。

初期状態での理論頭部の位置は、車室前面から D_x 、車室側面から D_y 離れている。衝突後理論頭部が移動し、前面への移動距離が D_x 、あるいは左右面への移動距離が D_y に達したときを、衝突時点と判断する。すなわち、以下の3つの等式のうちの1つが満足される場合の最も短い時間 T が衝突時間となる。

$$x_b(T) = D_x + x_0 \quad \text{or} \quad y_b(T) = D_y \quad \text{or} \quad y_b(T) = -D_y$$

なお米国では、車室内距離の標準値を、 $D_x = 0.6(\text{m})$ 、 $D_y = 0.3(\text{m})$ としている。

THIVは理論頭部が車室内に衝突する時の合成速度であるから以下のように表される。

$$\text{THIV}(\text{m/S}) = \sqrt{V_x^2(T) + V_y^2(T)}$$

(4) THIVの計算方法

THIVに必要な計測値は、衝突実験において車両重心位置に発生した以下に示す値を、 $\Delta t(\text{s})$ 間隔で計測し、デジタル化したものである。

$\ddot{x}_{c(i)}$: i 番目にサンプリングされた x 方向の車両加速度

$\ddot{y}_{c(i)}$: i 番目にサンプリングされた y 方向の車両加速度

$\dot{\phi}_{c(i)}$: i 番目にサンプリングされた車両回転角速度

$i+1$ 番目の回転角度の変化分と角度は、次式により求める。

$$\Delta \phi_{(i+1)} = \sum_{k=1}^i \frac{\dot{\phi}_{(k)} + \dot{\phi}_{(k+1)}}{2} \cdot \Delta t$$

$$\phi_{(i+1)} = \phi_{(i)} + \frac{\dot{\phi}_{(i)} + \dot{\phi}_{(i+1)}}{2} \cdot \Delta t = \phi_0 + \Delta \phi_{(i+1)}$$

計測値を地面座標下(X, Y)に変換すると

$$\ddot{X}_{c(i+1)} = \ddot{x}_{c(i+1)} \cdot \cos \phi_{(i+1)} + \ddot{y}_{c(i+1)} \sin \phi_{(i+1)}$$

$$\ddot{Y}_{c(i+1)} = -\ddot{x}_{c(i+1)} \sin \phi_{(i+1)} + \ddot{y}_{c(i+1)} \cos \phi_{(i+1)}$$

車両速度の変化量と速度を求める。

$$\Delta \dot{X}_{c(i+1)} = \sum_{k=1}^i \frac{\ddot{X}_{c(k)} + \ddot{X}_{c(k+1)}}{2} \cdot \Delta t$$

$$\Delta \dot{Y}_{c(i+1)} = \sum_{k=1}^i \frac{\ddot{Y}_{c(k)} + \ddot{Y}_{c(k+1)}}{2} \cdot \Delta t$$

$$\dot{X}_{c(i+1)} = \dot{X}_{c(i)} + \frac{\ddot{X}_{c(i)} + \ddot{X}_{c(i+1)}}{2} \cdot \Delta t = \dot{V}_0 + \Delta \dot{X}_{c(i+1)}$$

$$\dot{Y}_{c(i+1)} = \dot{Y}_{c(i)} + \frac{\ddot{Y}_{c(i)} + \ddot{Y}_{c(i+1)}}{2} \cdot \Delta t = \Delta \dot{Y}_{c(i+1)}$$

車両の移動距離を求める。

$$X_{c(i+1)} = X_{c(i)} + \frac{\dot{X}_{c(i)} + \dot{X}_{c(i+1)}}{2} \cdot \Delta t = \sum_{k=i}^i \frac{\dot{X}_{c(k)} + \dot{X}_{c(k+1)}}{2} \cdot \Delta t = \Delta X_{c(i+1)}$$

$$Y_{c(i+1)} = Y_{c(i)} + \frac{\dot{Y}_{c(i)} + \dot{Y}_{c(i+1)}}{2} \cdot \Delta t = \sum_{k=i}^i \frac{\dot{Y}_{c(k)} + \dot{Y}_{c(k+1)}}{2} \cdot \Delta t = \Delta Y_{c(i+1)}$$

頭部の車室内移動距離を求める。

$$x_{b(i+1)} = (X_0 - X_{c(i+1)}) \cos \phi_{(i+1)} - (Y_0 - Y_{c(i+1)}) \sin \phi_{(i+1)}$$

$$y_{b(i+1)} = (X_0 - X_{c(i+1)}) \sin \phi_{(i+1)} - (Y_0 - Y_{c(i+1)}) \cos \phi_{(i+1)}$$

以下の3式のうち少なくとも一式を満足させる最小時間(j)を求める。

$$x_b(j) = D_x + X_0 \text{ or } y_b(j) = D_y \text{ or } y_b(j) = -D_y$$

$$D_x = 0.6(\text{m}), D_y = 0.3(\text{m})$$

乗員頭部の衝突速度を求める。

$$\Delta v_x = -\Delta \dot{X}_{c(j)} \cdot \cos \phi_{(j)} + \Delta \dot{Y}_{c(j)} \sin \phi_{(j)} - y_{b(j)} \dot{\phi}_{(j)}$$

$$\Delta v_y = -\Delta \dot{X}_{c(j)} \cdot \sin \phi_{(j)} + \Delta \dot{Y}_{c(j)} \cos \phi_{(j)} - x_{b(j)} \dot{\phi}_{(j)}$$

時間(j)を用いて、THIVを計算する。

$$\text{THIV} = (\Delta v_x^2 + \Delta v_y^2)^{0.5}$$

3. 3. 3 O I V¹⁾

O I V (Occupant Impact Velocity: 乗員頭部衝突速度)は、T H I Vと同様に、乗員の頭部が車室内を衝突後定速で運動すると仮定し、乗員頭部が車室内部に衝突する時の衝突速度を車両重心加速度を用いて計算し、その値を以下に示す衝撃耐性値により評価する。

乗員頭部が車室内部に衝突するまでの距離は、T H I Vと同じくx方向に0.6m、y方向に0.3mとして計算を行うが、車両の回転角度を考慮しない点がT H I Vと異なる。

(1) x 方向

$$V_x = \int_{t_0}^{t_1} a_x dt$$

$$D_x = 0.6(m) = \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} a_x dt$$

ここで V_x : x方向の乗員衝突速度 (O I V)
 a_x : x方向の車両重心加速度
 D_x : x方向の乗員頭部と車両内部の距離
 t_1 : 加速度の2回積分で0.6m進行したときの時間(s)
 t_0 : 衝突開始時間

x方向の許容値: O I V ≤ 12 (m/s)

(2) y 方向

$$V_y = \int_{t_0}^{t_1} a_y dt$$

$$D_y = 0.3(m) = \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} a_y dt$$

ここで V_y : y方向の乗員衝突速度 (O I V)
 a_y : y方向の車両重心加速度
 D_y : y方向の乗員頭部と車両内部の距離
 t_1 : 加速度の2回積分で0.3m進行したときの時間(s)
 t_0 : 衝突開始時間

y方向の許容値: O I V ≤ 9 (m/s)

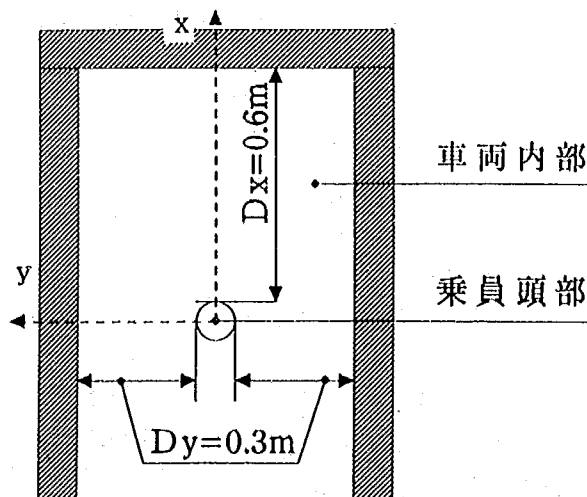


図-3.6 乗員の理論頭部の位置

3. 3. 4 PHD¹⁷⁾

PHD (Post-Impact Head Deceleration : 衝突後頭部加速度) は、THIVで用いたモデルにより、乗員頭部が車両内部に衝突した後の加速度を10Hzのローパスフィルタで処理した最大値で、THIVは理論乗員頭部が車両内部に衝突するときの加速度であるのに対して、PHDは理論頭部が車室内に衝突しそのまま運動するときの最大加速度を示している。

PHDの値は、10Hzのフィルター処理を行うことにより、次に示す10ms平均加速度とほぼ近似される評価値を得ることができる。

PHDは、次式により求められる。

$$PHD = [F10 \{ \sqrt{\ddot{x}_c(t)^2 + \ddot{y}_c(t)^2} \}] \max (G)$$

ここで、 F10 : 10Hzのフィルター処理

$\ddot{x}_c(t)$: X方向加速度(G)

$\ddot{y}_c(t)$: Y方向加速度(G)

単位は、Gで示す。1(G)=9.8(m/s²)

推奨許容値 : PHD ≤ 1.5 (G)

限界許容値 : PHD ≤ 2.0 (G)

3. 3. 5 10ms平均加速度¹⁷⁾

10ms平均加速度 (Ridedown Deceleration) は、フレイルスペースモデルにおいて、理論頭部が車室内に衝突した後に経験する加速度を求めるものである。

車両重心加速度のx, y方向波形を用いて、次式により各任意時刻の10ms平均加速度を求め(図-3. 7を参照)、各方向の許容値(推奨値15G、限界値20G)を用いて評価する。

$$a_{(10)x, y} = \frac{1}{0.01} \int_{t_1}^{t_2} a_{x, y} dt$$

ここで、 $a_{(10)x, y}$: x, y方向の10ms平均加速度

$a_{x, y}$: x, y方向の車両重心加速度

t_1 : 任意の時間(s)

t_2 : $t_1 + 0.01$ (s)

推奨許容値 : 10ms平均加速度(X, Y方向) ≤ 1.5 (G)

限界許容値 : 10ms平均加速度(X, Y方向) ≤ 2.0 (G)

3. 3. 6 50ms平均加速度¹⁷⁾

10ms平均加速度と同様に、車両重心の進行方向(x)、直角方向(y)及びx、yの合成方向の加速度波形を用いて次式により各任意時刻の50ms平均加速度を求め(図-3.7)、その最大値を下記に示す許容値を用いて評価する。

$$\bar{a}_{(50)x,y} = \frac{1}{0.05} \int_{t_1}^{t_2} a_{x,y} dt$$

$\bar{a}_{(50)x,y}$: x, y 各方向の50ms平均加速度
 $a_{x,y}$: x, y 各方向の車両重心加速度
 t_1 : 任意の時間(s)
 t_2 : $t_1 + 0.05$ (s)

50ms平均加速度の状態別基準値

(単位: G)

乗員拘束状態	x方向	y方向	合成方向	備考
無拘束	5	3	6	許容値
2点式ベルト	10	5	12	
3点式ベルト	25	15	25	限界許容値

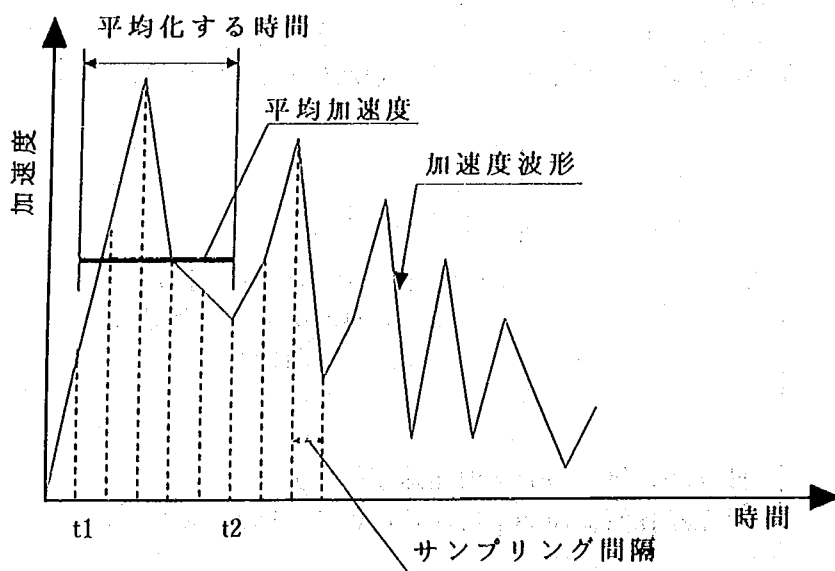


図-3.7 平均加速度の概要

3. 3. 7 ASI¹⁾

ASI (Acceleration Severity Index : 乗員の衝撃度指数) は、3次元方向に計測した加速度と、各方向の加速度限界値を用いて次式により計算した値を評価している。

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_x}{\dot{a}_x}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\dot{a}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\dot{a}_z}\right)^2}$$

ここで $\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$: 50ms平均加速度(G)
 $\dot{a}_x, \dot{a}_y, \dot{a}_z$: 加速度限界値(G)

推奨許容値 : $ASI \leq 1.0$
 限界許容値 : $ASI \leq 1.4$

$\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$ は、加速度作用時間50ms間に平均化された各方向の加速度値で、以下に示す式により求める。

$$\bar{a}_{x, y, z} = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_{x, y, z} dt$$

δ : 0.05(ms)

$a_{x, y, z}$: 車両重心加速度(G)

t : 任意の時刻(s)

また、 $\dot{a}_x, \dot{a}_y, \dot{a}_z$ は、車両の各方向における加速度限界値であり、フランス、ドイツ、オランダにおいて一般に用いられている限界加速度は、シートベルト着用状態で、以下のとおりである。

$$\dot{a}_x = 12(G), \dot{a}_y = 9(G), \dot{a}_z = 10(G)$$

第4章 実験結果からみた乗員の安全性

4. 1 衝撃度および衝撃指数

車両が防護柵に衝突するときの防護柵に与える衝撃の大きさは、衝撃度として表すことができる。

衝撃度は、車両重量、衝突速度、衝突角度の3要素で求められ、防護柵設計時の強度を決める際の指標となるものである。

衝撃度は以下の式で求められる。

$$\text{衝撃度} = W \times (V \times \sin \theta)^2 / (2 \times G) \quad (\text{tf} \cdot \text{m})$$

ここで W : 車両重量 (tf) V : 衝突速度 (m/s)

θ : 衝突角度 (度) G : 重力の加速度 (9.8 m/s^2)

衝撃度の大きさは、防護柵の被害等については比例する傾向にあるが、乗員に対する衝撃については、車両重量が軽いほど乗員が受ける被害が大きいうという一般的な事故傾向には当てはまらない。

ここでは、以下での解析において乗員に与える衝撃の大きさを示す指標として、便宜的に‘衝撃指数’を設け、この衝撃指数と加速度等との関係について解析するものとする。

なお衝撃指数は以下の式により求めた。

$$\text{衝撃指数} = V^2 \times \sin^2 \theta \quad (\text{m}^2/\text{s}^2)$$

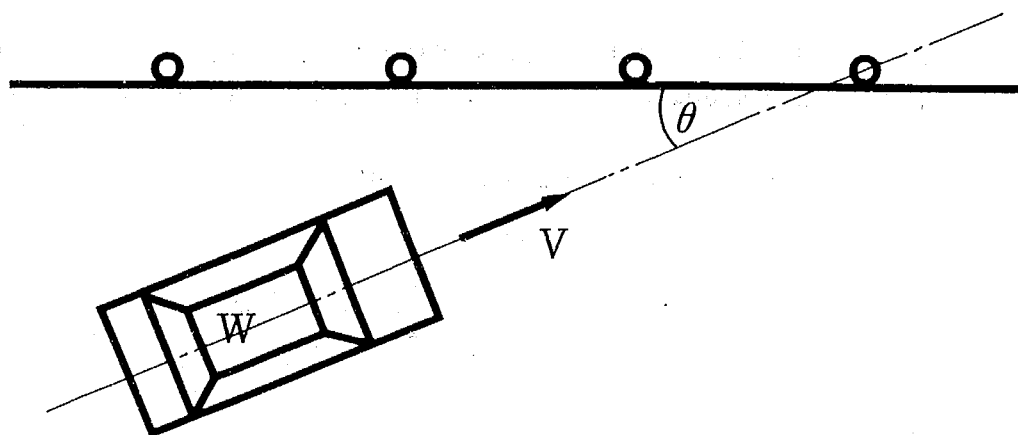


図-4. 1 衝撃度に関する3要素の関係

4. 2 衝突実験の種類と安全性評価の内容

4. 2. 1 これまで行ってきた衝突実験^{21)~26)}

防護柵の衝突実験は、1965年（昭和40年）から現在まで、約220回実施されてきた。そのうち、防護柵の材質別で見ると鋼製123回、コンクリート製46回、アルミ製37回、コンクリート製に鋼製を付加したもの12回の衝突実験を行っている。

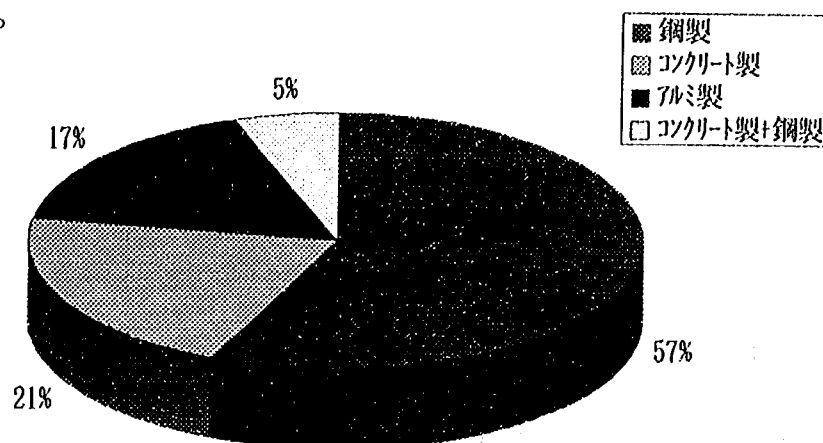


図-4. 2 土木研究所で実施した衝突実験の材質別内訳

これらの実験で、実験に用いた車両の重量分布を示したものが図-4. 3である。

防護柵の機能を検証する実験は、防護柵の強度を検証するための大型車を用いた実験と、乗員の安全性を検証するための小型車を用いた実験に分類されるが、防護柵の強度検証については13~16トン車両を中心として実験が行われている。これは、要綱における強度の設計車両を14トン車と定めていることによるものである。近年、14トンより大きな車両として、20トンクラス的大型貨物車についても実験が行われており、車両の大型化が防護柵の設計にも影響を及ぼしていることがわかる。

乗員の安全性については、要綱では3.5トン車を用いて設計を行うことになっているが、実際の実験では、現在最も多く保有されている1トンクラスの小型乗用車を用いて、厳しい衝突条件で乗員の安全性を検証している。

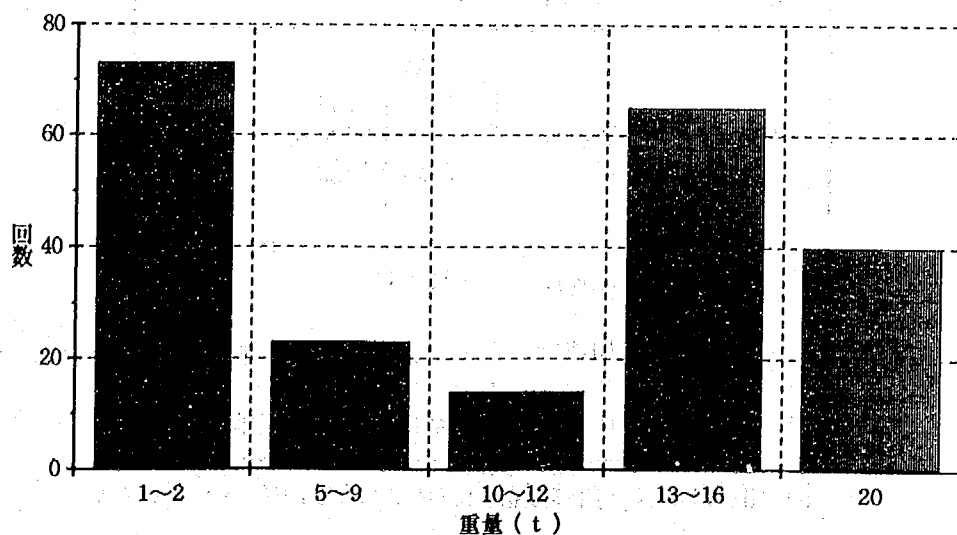
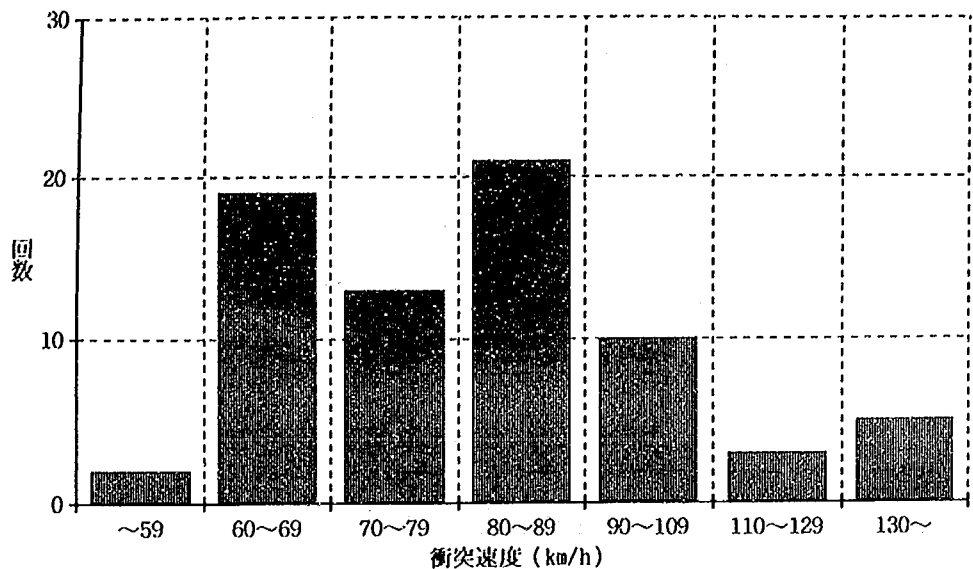


図-4. 3 実験車両の重量分布

図－4. 4は、乗員の安全性を検証するための小型乗用車を用いた実験で、実験で実施された衝突速度分布を示したものである。

要綱では、衝突速度として60km/hまでを対象としているが、実験としては80km/h程度での衝突速度を中心として行われている。過去に行われた衝突速度の最高のは140km/hであり、近年の車両の高速化に適した防護柵の機能が求められていることがわかる。



図－4. 4 衝突速度分布（小型乗用車）

4. 2. 2 安全性評価の内容

土木研究所における防護柵衝突時の乗員の安全性評価は、要綱が示す車両加速度の4 Gなどの他、乗員頭部加速度、乗員胸部加速度、乗員大腿部荷重を計測して下表に示すような評価について検討を行ってきた。

表－4. 1 日本で実施された安全性評価一覧表

計測箇所	計測値	乗員安全性の評価項目
車両重心	加速度	・実効値 ・10ms平均加速度 ・乗員衝突速度 ・50ms平均加速度 ・A S I
ダミー頭部	加速度	・H I C
ダミー胸部	加速度	・乗員胸部の合成加速度
ダミー大腿部	圧縮荷重	・乗員大腿部の圧縮加速度

注) THIV, PHDは、角速度計測が必要なため実施されていない。

次ページに過去に行った実験の、乗員の安全性評価に関する一覧表を示す。

表-4. 2 評価基準の一覧表

	防護柵衝突時の評価基準							車両関係の傷害基準（正面、側面衝突）					
	実効値	THIV	OIV	PHD	10ms平均 加速度	50ms平均 加速度	ASI	頭部傷害 基準値 (HIC)	胸部加速度	大腿部荷重	その他 ・胸部変位 ・顔部裂傷 ・首モメント		
計測箇所	車両重心							ダミー頭部	ダミー胸部	ダミー大腿部	ダミー各部		
計測項目	加速度	加速度 角速度	加速度					加速度		荷重	変位、荷重		
身体対象部位	全 身	頭 部	頭 部	頭 部	頭 部	全 身	全 身	頭 部	胸 部	大腿部			
AISコードとの関係 ^{a)}	1未満	3未満	3未満	2 限界3	2 限界3	3未満 限界4	2	3未満					
衝撃耐性値	4 G	9 m / s	x : 12m/s y : 9m/s	15 G	20 G	3点式ヘルメット x : 25 G y : 15 G 合成 : 25 G	1. 0	1, 000	60 G 3ms継続	1012kgf	胸部変位 ≤ 顔部裂傷 首モメント ≤ 200N・m		
最低基準値	-	12 m / s	-	20 G	-	-	1. 4	-	-	-			
計算概要	加速度波形 最大 値	フレイムスペースモデル 波形処理最大値				加速度波形 最大 値							
実験総数 ^{b)}	51	0	4	0	17	73	8	51	48	25	16 ^{c)}	11	0
許容値外の回数	28	0	0	0	1	2	0	4	4	0	0	0	0
小型車	実験総数	22	0	0	0	27	1	17	16	8	4	3	0
	許容外数	14	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0
基準として使用している国	日 本	イギリス CEN ^{d)}	米 国	CEN	米 国	イタリア	フランス CEN	アメリカの正面、側面衝突やロールオーバー試験等に用いる値					
備 考	計測方法や定義、許容値など不明な点が多い	許容値の規定が不明											

a) CEN: ヨーロッパ標準化委員会

b) 実験総数はわが国のものであり、重複しているものを含め、各値を計測しデータとして記録されたものの実験回数をいう

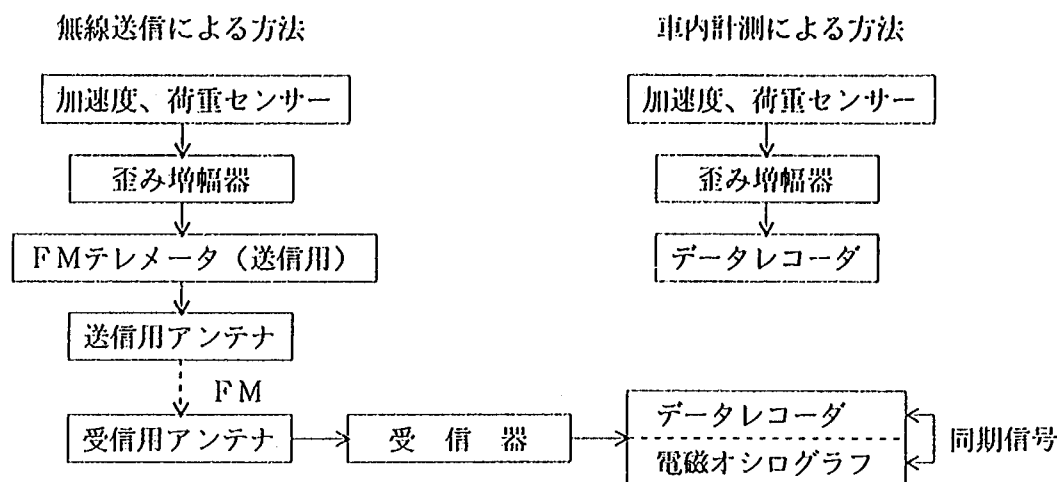
c) 網掛け部は、ダミーの運転席（右）と助手席（左）をそれぞれ示している。

d) 各評価におけるAISコードとの関係は、明記されているものを除いて推定した。

4. 3 加速度および荷重の計測方法

加速度や荷重の計測は、車両重心位置に固定された加速度計やダミーに内蔵された加速度計、荷重計をセンサー部として、衝突時に発生する波形を無線で記録部に送信し記録する方法や、車内に搭載された耐震型の記録部に記録する方法を用いて行っている（参考資料－1 参照）。

4. 3. 1 計測系

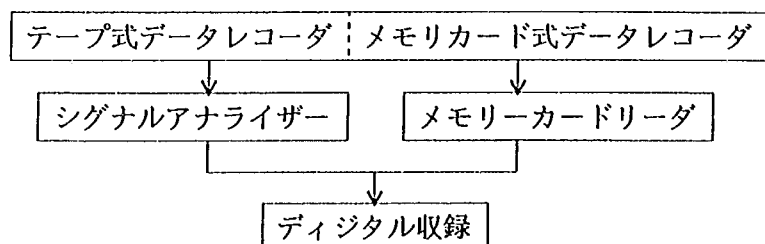


図－4. 5 加速度等波形の計測系

4. 3. 2 波形処理

データレコーダに取り込まれた波形は、テープ等に記録されたアナログ波形についてはシグナルアナライザーを用い、メモリカード式のデジタルデータについてはメモリカードリーダーによってデジタルサンプリングし、収録する処理方法を用いている。

このときの波形処理は、アナログ波形については動歪み計の性能等によって 100Hz 程度のフィルターがかかった波形となっているが、サンプリング間隔としては 1,024 回/秒のサンプリングができる。またデジタル波形については、データの容量等の関係から 5ms 間隔でサンプリングしている。



図－4. 6 加速度波形等の処理系

4. 3. 3 ダミー

実験に用いてきたダミーは、米国で研究されてきた衝突実験用ダミーを参考に、わが国の平均的成人男子の体系に合わせて開発された伊藤精機製 3 D G M タイプである。このダミーは、各部を主要関節ごとに分け、鋼製の骨格を中心として特殊合成樹脂をモールドし、弾性をもった表面となっている。また、衝突実験により一部が破損した場合は、その部分だけを交換できる。

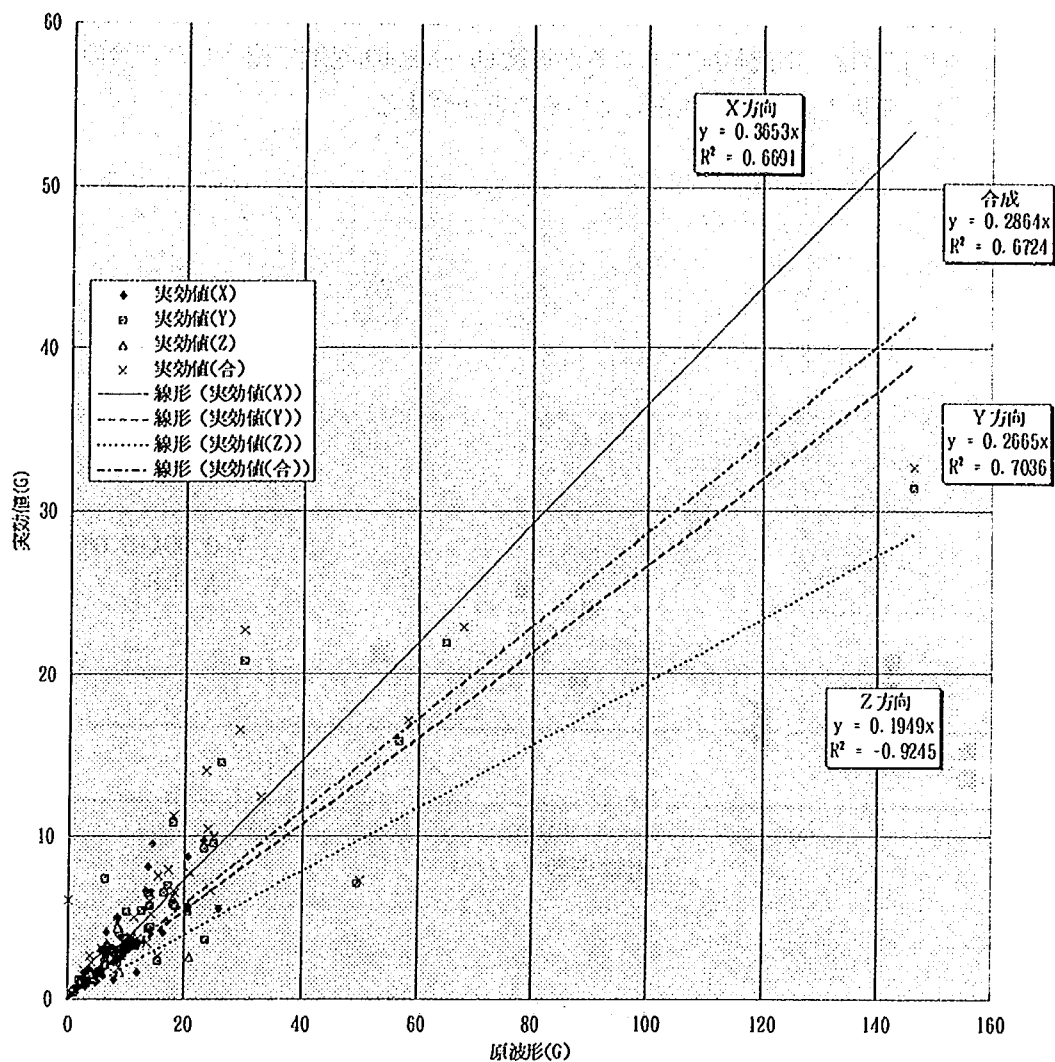
ダミー内に装着される加速度計は 3 軸加速度計であり、後頭部内側、胸部内側に装着する。また、大腿部荷重は、大腿部中間の内側に荷重計を装着する。

4. 4 加速度および荷重解析

4. 4. 1 実効値

(1) 実効値と原波形の関係

実効値は、原波形を衝突開始時から最大進行程までの時間で平均化したものであり、その最大値は原波形のものより小さな値となる。実効値と原波形の最大値との関係を示したのが図－4. 5である。これより実効値の最大値は各方向とも原波形の約0.3倍程度となることがわかる。



図－4. 7 実効値と原波形の最大値の関係

(2) 実効値と衝撃指数との関係

過去に行われた衝突実験のうち、1.1トン車について行った実験の実効値と衝撃指数との関係は図-4. 8に示すとおりである。

図では、防護柵の材質を区別することなく、衝撃指数と発生加速度の関係を示しているが、1次回帰を行った結果では衝撃指数と実効値の相関関係が良く、衝撃指数の1割程度の大きさの実効値が発生するものと推定できる。

また、要綱の判断基準4 Gをここで求めた回帰式に当てはめると、4 Gになるのは衝撃指数 $36(\text{m}^2/\text{s}^2)$ となる。この衝撃指数は、衝突角度にもよるが速度60~80km/h程度で衝突した場合の値であり、要綱で4 Gが適用できる限界を速度60km/hとしているのと合致する。

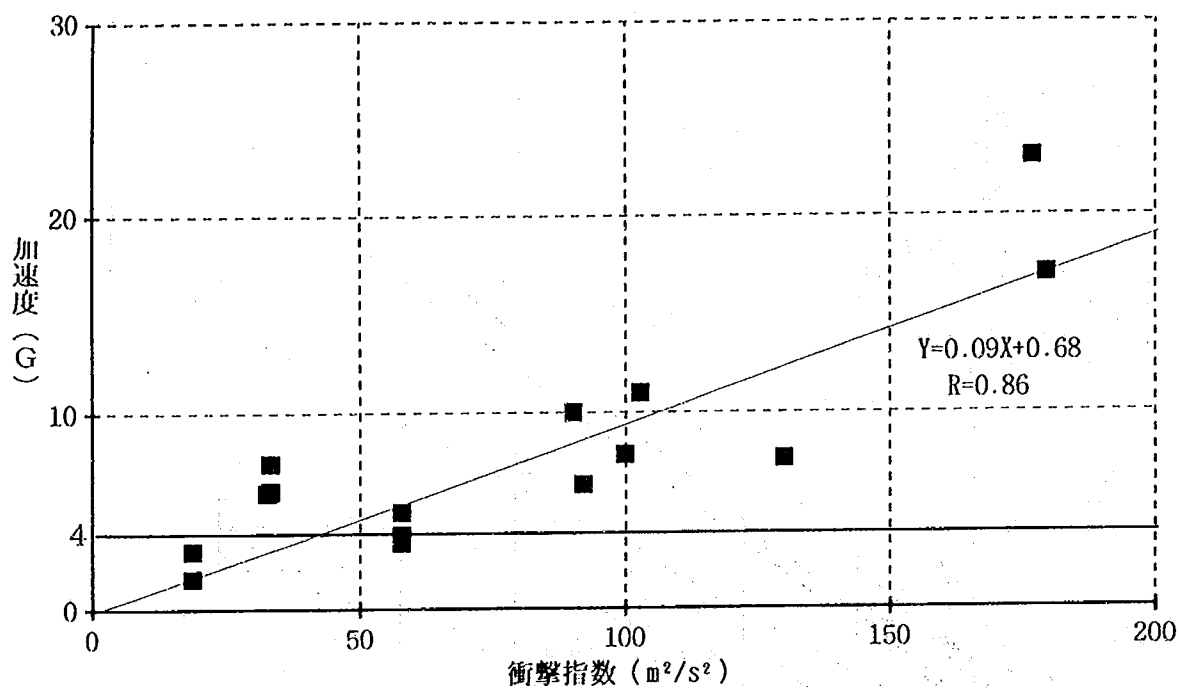


図-4. 8 実効値と衝撃指数との関係 (1.1トン車)

4. 4. 2 10ms平均加速度

10ms平均加速度を計算した実験回数は19回と少ないが、以下に解析結果を示す。

(1) 10ms平均加速度と原波形の関係

原波形と10ms平均加速度との関係を示したものが図-4. 9である。

図中の加速度はすべて最大値を示しており、10ms平均加速度の最大値は、原波形最大値の約0.7倍程度になることが分かる。

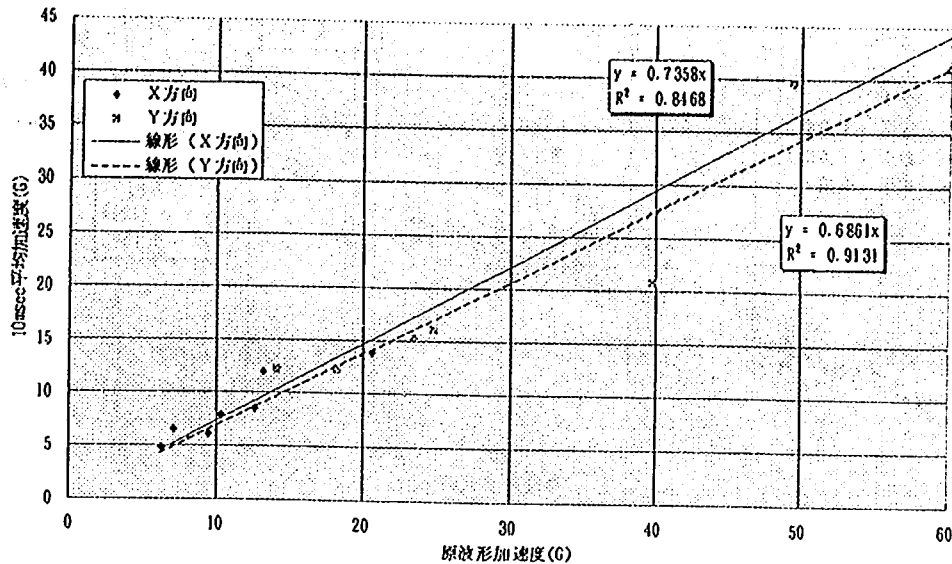


図-4. 9 10ms平均加速度と原波形の関係

(2) 10ms平均加速度と衝撃指数との関係

次に1.1トン車を対象として、10ms平均加速度の合成値の最大値と衝撃指数との関係を示したものが図-4. 10である。

データが少ないため、加速度と衝撃指数との関係を回帰式で説明するまでには至っていないが、図-4. 8に示された実効値に対して1.5倍程度の加速度値になっている。また、図から10ms平均加速度の乗員安全性評価の推奨許容値15 Gは、衝撃指数約120(m^2/s^2)程度で発生しており、限界許容値20 Gは衝撃指数150(m^2/s^2)でなっている。

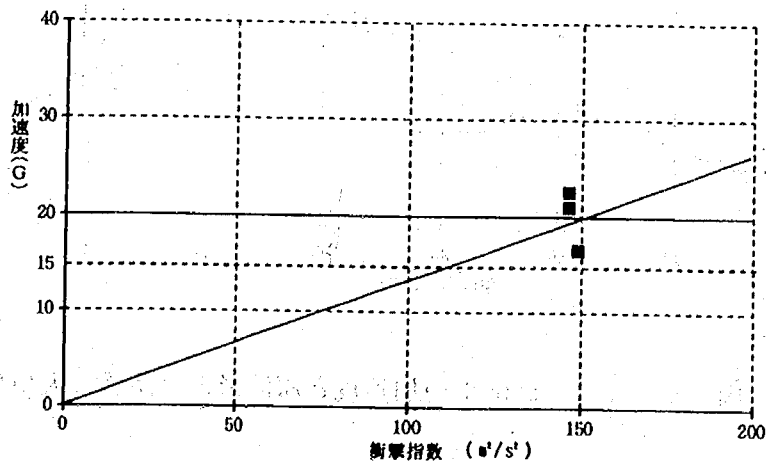


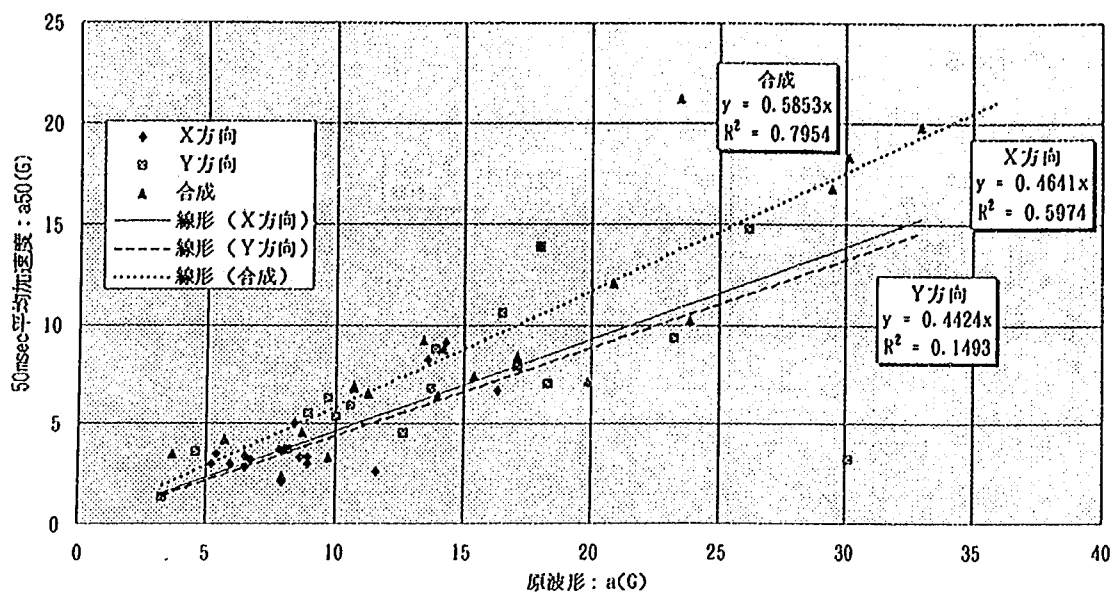
図-4. 10 10ms平均加速度と衝撃度の関係

4. 4. 3 50ms平均加速度

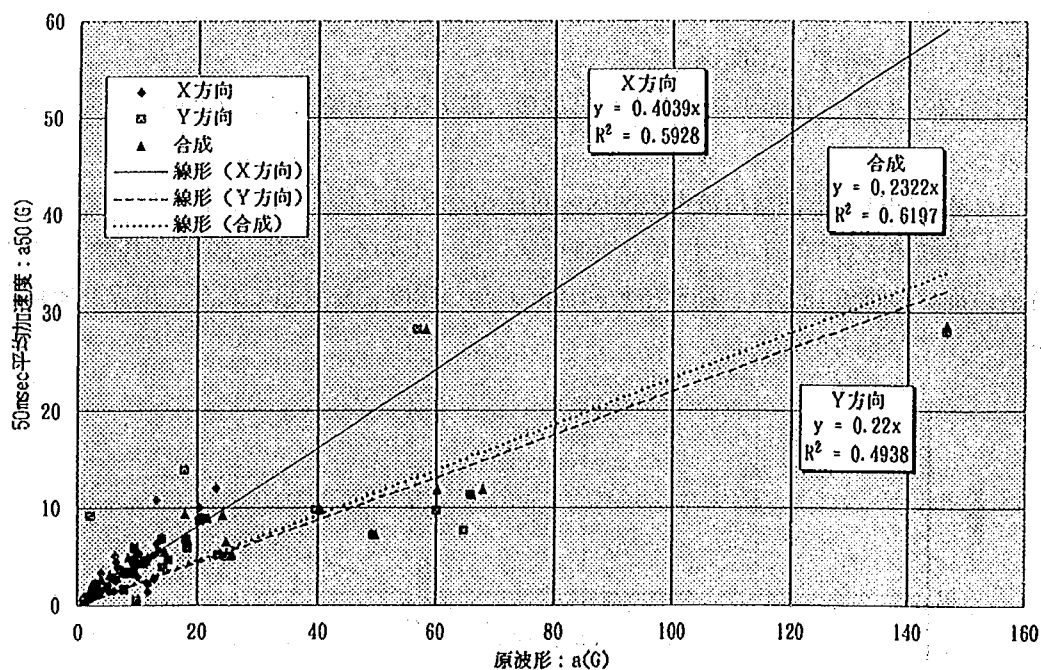
(1) 50ms平均加速度と原波形との関係

50ms平均加速度と原波形の関係を車種別に示したのが図－4. 1 1および4. 1 2である。

この2つの図より、50ms平均加速度は原波形の最大値に対して、小型車で0.5倍程度、大型車の場合で0.3倍程度の関係があることがわかる。



図－4. 1 1 50ms平均加速度と原波形の関係（小型車）



図－4. 1 2 50ms平均加速度と原波形との関係（大型車）

(2) 50ms平均加速度と衝撃指数との関係

1.1トン車の衝突実験における、50ms平均加速度のX、Y方向加速度の合成値と衝撃指数との関係を示したものが図-4. 13である。

1次回帰を求めた結果では、衝撃指数と50ms平均加速度にはかなり高い相関関係があることがわかる。また、加速度値としては10ms加速度より小さく実効値よりは大きな加速度となっているが、これは解析対象時間が短いほど加速度値が大きくなることによるものである。ただし、50ms平均加速度と実効値の差は小さく、50ms以上の時間を対象とした場合実効値(0.1~0.2s)程度までの解析対象時間の差は大きくないといえる。

50msの判断基準との関係では、相関式からみると、無拘束状態の許容限界では衝撃指数 $30\text{m}^2/\text{s}^2$ 程度、2点式シートベルトをすれば $120\text{m}^2/\text{s}^2$ 、3点式シートベルトをすれば $280\text{m}^2/\text{s}^2$ まで許容できる。

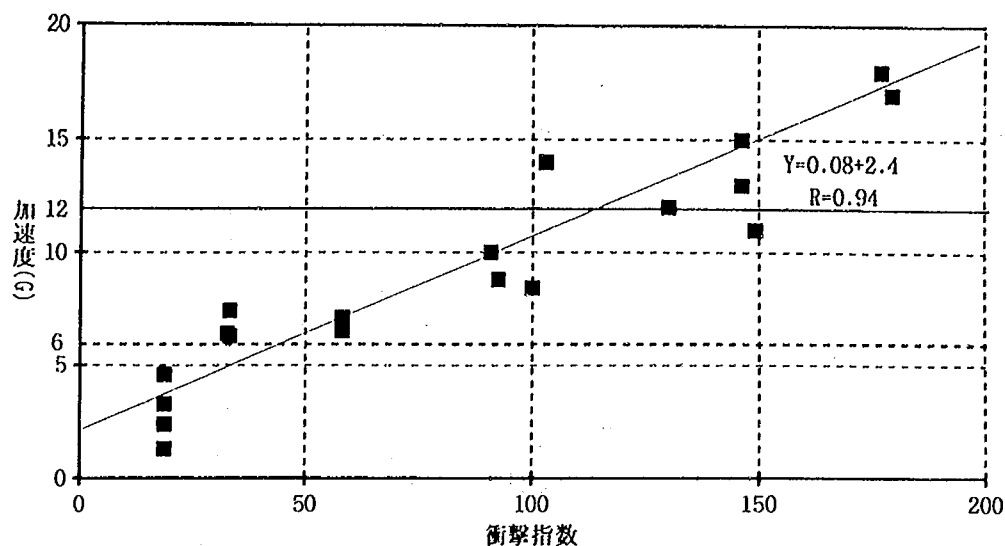


図-4. 13 50ms平均加速度と衝撃度との関係(1.1トン車)

4. 4. 4 A S I

図-4. 14は1.1トン車の衝突実験を行った結果で、A S Iについて解析したものを示した。

A S Iは計測例が少なく、衝撃指数との関係について相関関係を求めるまでには至っていない。

2回の実験では、評価の目安となる指数1を超えたものはなく、どの程度の衝撃指数で1を超えるかは明らかでない。

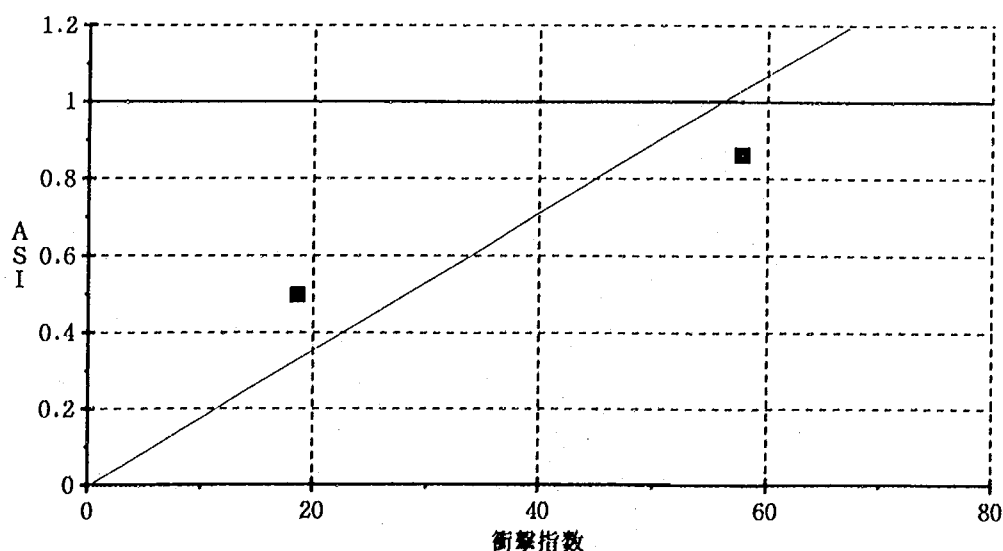


図-4. 14 A S Iと衝撃度との関係(1.1トン車)

4. 4. 5 O I V

O I Vの評価は、解析した実験数が少なく過去4回行った1.1トン車の衝突実験結果について図-4. 15に示す。実験では、Y方向の衝突速度を解析していないため、図ではX方向のO I Vについて示している。

X方向のO I Vは評価基準では12m/sであるが、実験では12m/sを超えたものはなかった。

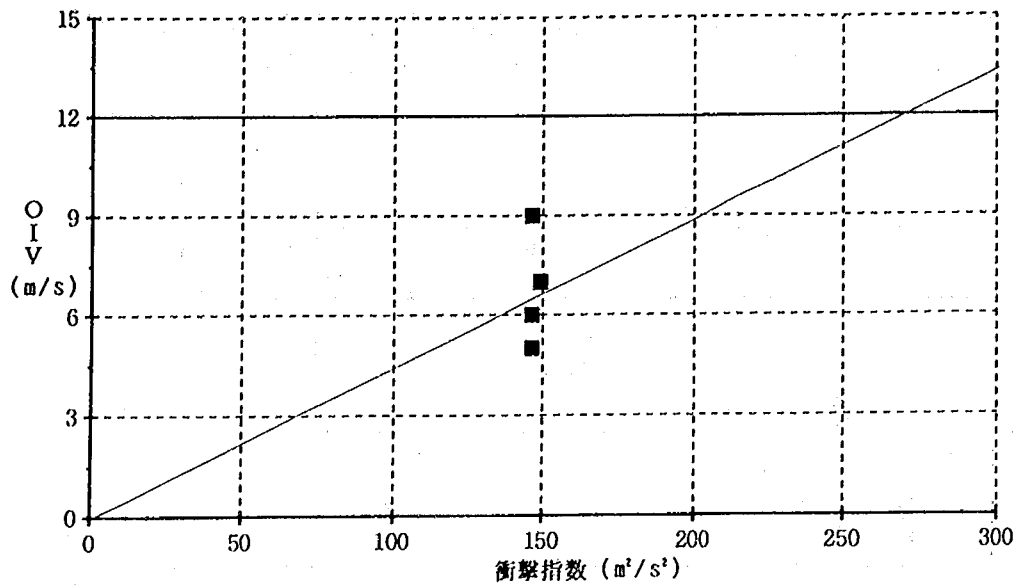


図-4. 13 O I V (運転席) と衝撃指数との関係 (1.1トン車)

4. 4. 6 H I C 値

H I C 値は、自動車の対衝撃安全性能を評価する場合に多く作用されており、自動車関係者より多く研究報告がなされている。

(1) ダミー頭部加速度と車両重心加速度の関係

H I C 値は、ダミー頭部に発生する加速度を用いて計測する。ダミーと車両が完全に1つの剛体であるならば、ダミー頭部の加速度は車両加速度と同じ値になるが、通常ダミーは車両と異なった運動をする。

過去の実験データより、車両重心加速度（原波形）とダミー加速度の関係を調査したのが表-4. 3である。表内の数字は、車両重心加速度に対してダミー頭部にどの程度の加速度が発生するのか示している。

表-4. 3 車両重心加速度とダミー頭部加速度の関係
(車両重心加速度を1とした場合)

計測箇所		小型車	大型車
運転席	車両進行方向	3. 8 8	0. 8 5
ダミー 頭 部	車両直角方向	3. 2 2	0. 8 8
	合成	4. 8 9	0. 9 6
助手席	車両進行方向	3. 0 1	2. 5 0
ダミー 頭 部	車両直角方向	4. 2 4	1. 3 1
	合成	4. 5 9	1. 7 5

この表より、車両重心加速度に対して小型車の運転席と助手席それぞれのダミーには約4倍の頭部加速度が発生しており、また大型車の運転席ダミーは約0.9倍で助手席ダミーには約2倍の頭部加速度が発生していることが分かる。

(2) H I C 値と衝撃指数との関係

a) 運転席ダミー

1.1トン車について運転席ダミーのH I C 値と衝撃指数との関係を図-4. 16に示した。

図の実験結果は、衝突実験数が少ないため防護柵の種類（鋼製、コンクリート製等）を区別していないが、衝撃指数が大きくなるとH I C 値も大きくなる傾向にある。ただし、ダミーの挙動は衝突状況に大きく影響され、衝撃指数が大きくなってもH I C 値が大きくならない場合も見受けられる。従って、図では、乗員の安全性を評価する目安として、線で示したような上限値を示している。

この線によれば、H I C 値が1000以下となるためには、衝撃指数が $100\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下であれば確保できるものと推定される。

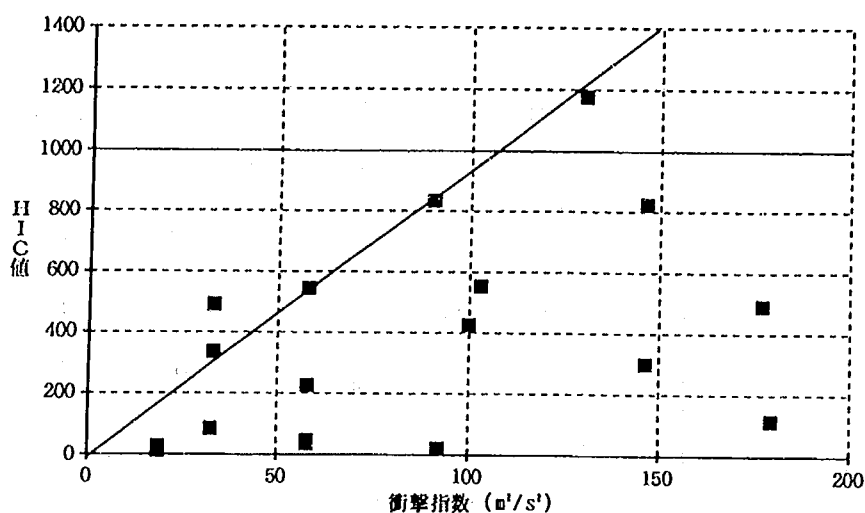


図-4. 16 H I C 値(運転席)と衝撃指数との関係 (1.1トン車)

b) 助手席ダミー

運転席ダミーと同様に助手席ダミーのH I C 値と衝撃度の関係を示したのが図-4. 17である。

助手席ダミーについて、運転席と同様に衝撃指数とH I C 値の最大値との関係でみると、衝撃指数 $70\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下であればH I C 値は1000を超えない結果となった。

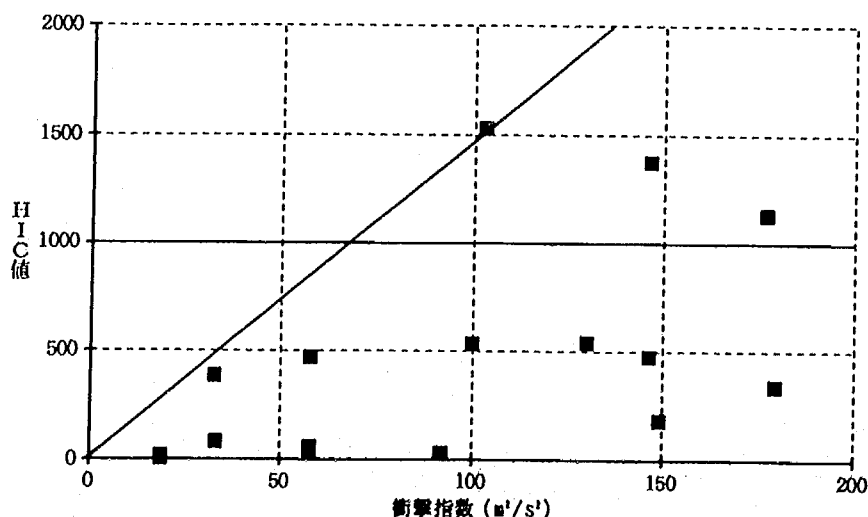


図-4. 17 H I C 値(助手席)と衝撃指数との関係

c) 運転席と助手席との関係

図-4. 16~17の結果は、路側用防護柵への衝突を設定しているため、車両の助手席側の前面に衝突させており、助手席のH I C値が運転席のものより大きくなる傾向にあった。

これについて、運転席と助手席のH I C値の関係を示したものが図4-18である。

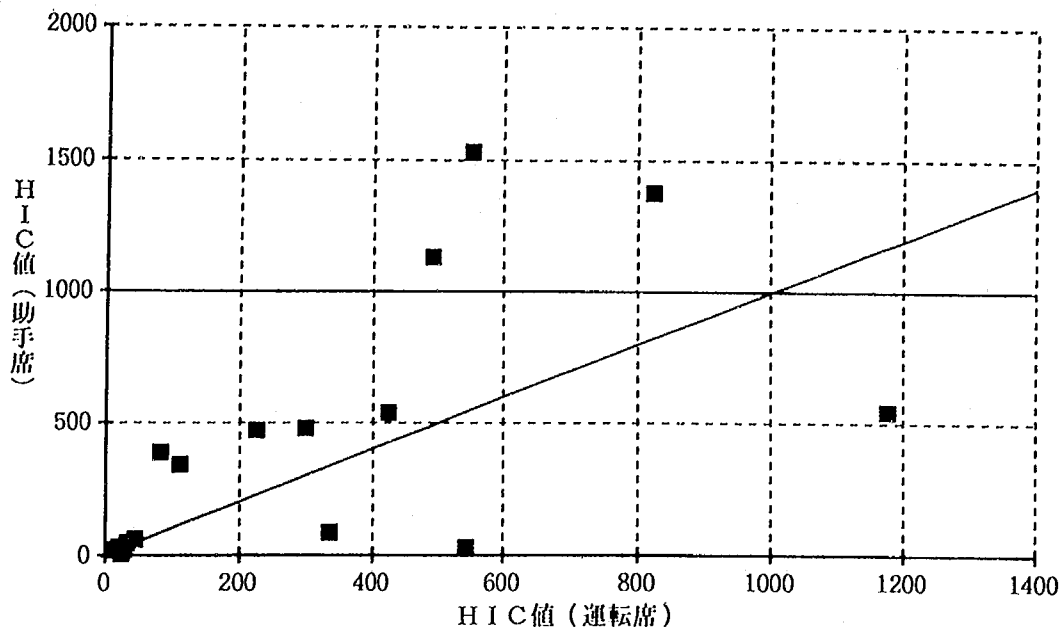


図-4. 18 運転席と助手席のH I C値との関係

H I C値は、衝突時の乗員ダミー頭部に実際発生する加速度より乗員の衝撃度を評価する手法であるが、防護柵の衝突実験は自動車関係各機関が行っている正面、側面衝突とは異なり、斜め方向の慣性力が乗員に働き、衝突側の乗員はサイドガラスやピラーに、衝突と反対側の乗員は車両中央部に移動する。このような現象は、以下に示す様々な要因により決定され、再現性のある結果を得ることができない。

車両内装関係（シートベルトの性能、衝撃吸収性能、車室内の広さとその配置）

ダミーの再現性（斜め衝突時の挙動、ダミーの位置）

衝突条件（車両持ち込みエネルギー、衝突角度、車両重量、衝突速度）

しかし、損傷主部位別で交通事故死者数の最も多かったのが頭部損傷であることを考えると、斜め方向に再現性のあるダミーの開発によりH I C値で今後評価するのか、または新たな頭部の安全性評価手法を確立する必要があると考えられる。

4. 4. 7 胸部加速度

(1) 運転席ダミー

運転席ダミー胸部の加速度を計測した1.1トン車の実験では、X、Y方向の加速度を計測しているものの合成加速度を記録しているものはなかった。

図-4. 19では、便宜的にX、Y方向に発生した胸部加速度の最大値を合成し、この合成値と衝撃指数との関係を示している。ここで示したX、Y加速度の合成値と評価に用いる合成加速度では多少値が異なるが、過去の経験からみてその差は少ないものと考えられる。

図によれば、評価基準となる胸部加速度60Gに対して、実験で胸部加速度が60Gに達したものはなく、防護柵のような斜め方向の実験で胸部に重大な損傷が生じる危険性は比較的少ないといえる。ただし、実験ではシートベルトを装着したダミーを用いている。

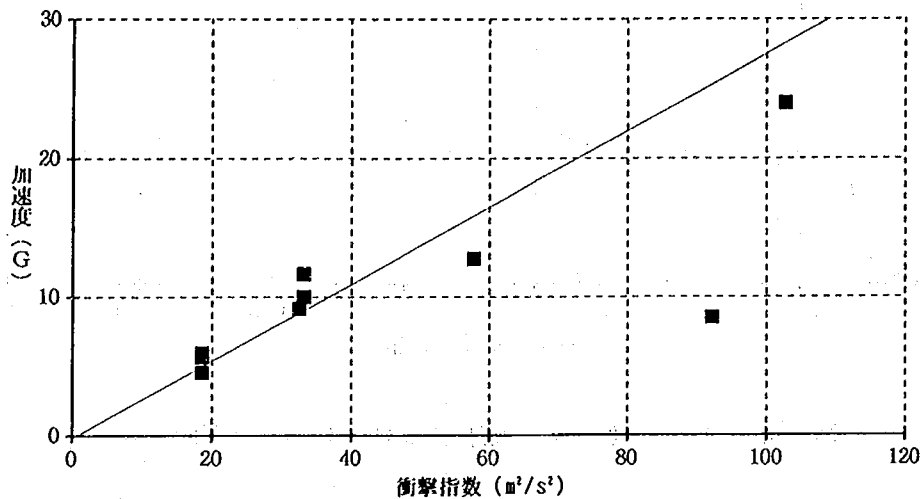


図-4. 19 胸部加速度合成値（運転席）と衝撃指数との関係（1.1トン車）

(2) 助手席ダミー

助手席ダミーの胸部加速度についても、合成加速度は記録されている実験はなかった。

運転席と同様にX、Y方向最大加速度の合成値と衝撃指数との関係を見ると、許容限界値を超える実験が1ケースあり、衝撃指数としては100m²/s²程度のところで発生している。また、全体的に見て助手席ダミーの胸部加速度は運転席ダミーの胸部加速度より大きめの値となっている。

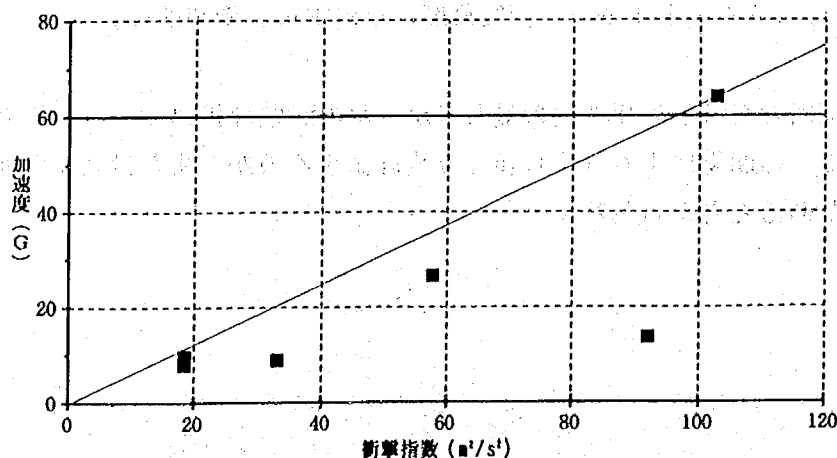


図-4. 20 胸部加速度合成値（助手席）と衝撃指数との関係（1.1トン車）

(3) 運転席と助手席との関係

前述(1)、(2)から、助手席が運転席より胸部加速度が大きくなる傾向があったので、運転席ダミーと助手席ダミーの胸部加速度の関係をみたものが図-4. 21である。

図によれば、助手席ダミーに発生する胸部加速度は、運転席ダミーのものより大きく、差の大きいもので助手席では運転席ダミーの2倍程度の胸部加速度が発生している。ダミーはシートベルトをしているため、室内前面に衝突することは少ないと考えらる。路側用防護柵への衝突時、乗員は車両に対して左前方に移動するが、助手席ダミーの場合左側には室内ドアがあるためこれと衝突するのに対して、運転席ダミーの場合左側には空間が確保されており、衝撃が少ないことが運転席と助手席で胸部加速度に差が生じた原因と考えられる。

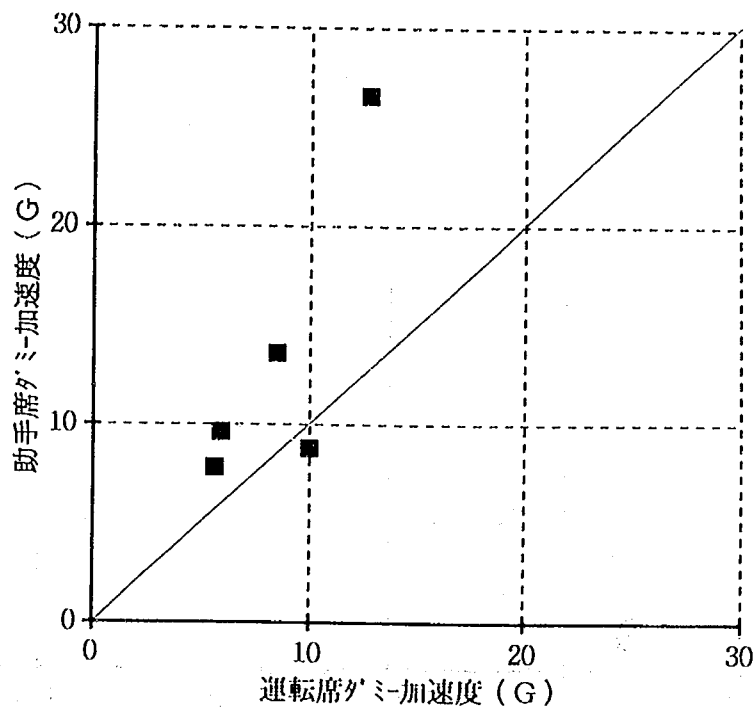


図-4. 21 運転席ダミーと助手席ダミーの胸部加速度との関係

4. 4. 8 大腿部圧縮荷重

大腿部の圧縮荷重に関しては、実験ごとに必要に応じて計測を行ってきた。

海外の文献では、計測時間 3 ms で評価するが、実験施設の関係上過去に行った実験ではすべて 5 ms のサンプリングを行っている。

大腿部に発生する圧縮荷重の判断基準は 1,021 kgf であるが、実験回数が少ないものの、実験では判断基準を上回る圧縮荷重は発生していない。

大腿部に生じる圧縮荷重は、衝突時の乗員の移動や車室の潰れなどによって発生するものであり、乗員がシートベルトを装着し、かつ車室の潰れが激しくなければ大きな荷重は比較的発生しにくいものと考えられる。防護柵衝突では、車両は斜め方向に移動しながら衝突エネルギーを軽減するため、車室の変形も比較的少なく、大腿部に生じる負荷も大きくなりにくい。

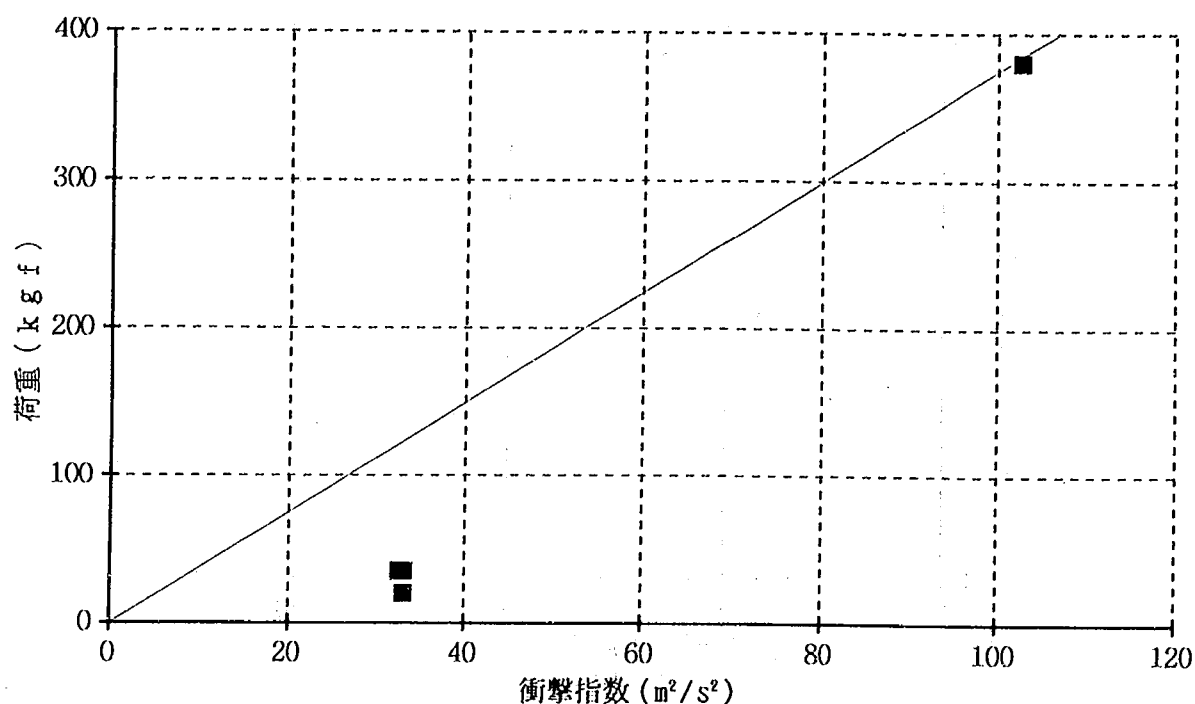


図 - 4. 2 2 乗員大腿部と衝撃指数との関係

4. 5 各評価方法の比較

4. 5. 1 原波形加速度と各評価値との関係

過去の実験結果から、多少のばらつきがあるものの車両重心加速度の原波形最大値と各評価値（実効値、10ms、50ms加速度）の最大値との関係がある程度明らかとなった。

表－4. 4 は、車両重心加速度の最大値に対して、各評価値がどのような関係であるか示したものである。

表－4. 4 より、車両重心位置の加速度は、“10ms>50ms>実効値”の順となっているのがわかる。これは、原波形を平均化する時間が“10ms<50ms<実効値”の関係にあり、平均化する時間が短いほど加速度の最大値は小さくなることによるものである（実効値に関連する衝突から最大進入行程までの時間は、通常100～200(ms)程度である）。

表－4. 4 原波形加速度と各評価値との関係

評価基準値		X方向	Y方向	Z方向	合成
実効値		$0.365 \cdot A$	$0.266 \cdot A$	$0.195 \cdot A$	$0.286 \cdot A$
10ms平均		$0.736 \cdot A$	$0.686 \cdot A$	-	-
50ms平均	小型車	$0.465 \cdot A$	$0.440 \cdot A$	-	$0.585 \cdot A$
	大型車	$0.404 \cdot A$	$0.220 \cdot A$	-	$0.232 \cdot A$

注)表内の“A”は、車両重心加速度の原波形最大値を示している。

4. 5. 2 衝撃指数と各評価値との関係

表－4. 5に前述4. 5で行った解析の各評価基準値と衝撃指数の関係をとりまとめた。

表では、1次回帰により相関式を求めているものはこれを示すとともに、各評価の基準値に達する衝突速度を衝突角度20度の場合について推定している。なお、ダミーのH I C値および胸部加速度については、上限値を示している。また、データ数が少なく、基準値を上回る計測値が現れていないものは省略した。

この表により、推定された限界の衝突速度を見ると、実効値の60km/hが最も低く、10ms平均加速度が最も高い結果となっている。ただし、50ms平均加速度の3点式シートベルトでは実験結果が基準値を上回ったものがないので、50ms平均加速度は10ms平均加速度の衝突限界速度より、高い速度まで許容できるものと考えられる。

以上から各評価手法を比較すると、実効値の4 Gは最も安全性の高い基準となっているが、安全率がかなり高く速度60km/hの衝突で基準値に達してしまうため、高速域での衝突時の安全性評価には問題が残る。

実効値の次に小さい衝撃指数で評価基準に達するのは助手席ダミーのH I C値である。ただし、衝突状況によってはシートベルトの効果等によりH I C値が非常に小さい場合もあるので、表で示した値は、シートベルトをすり抜けた状態等の危険側の閾値を示しているものと考えられ、衝突速度90km/hで基準値に達する。

その他の評価項目では、衝突速度110～130km/hで基準値に達しているので、これまで実験に用いられてきた防護柵は、現在の法定速度を遵守すれば乗員を保護できる機能を持っていると評価できる。

表－4. 5 衝撃指数と各評価における基準値との関係（1.1トン車）

評価項目		相 関 式 α : 評価値(G) S : 衝撃指数(m^2/s^2)	基準値 (合成値)	乗員保護の限界(計算値)	
				衝撃指数 S (m^2/s^2)	衝突速度 (km/h)
車 両 加 速 度	実効値	$\alpha = 0.09 \cdot S + 0.68$	4 G	35	60
	10ms平均加速度	—	20 G	150	130
	50ms平均加速度	$\alpha = 0.08 \cdot S + 2.4$	12 G	120	115
H I C	運転席ダミー	—	1,000	110	110
	助手席ダミー	—		70	90

注) 50ms移動平均値は、2点式シートベルトを着用した場合

H I C値は、上限値を示している。

衝突角度は20度としている。

第5章 その他の安全性評価

乗員の安全性を評価する方法としては、第4章で述べてきたように乗員に発生した加速度等によって乗員に与える衝撃の程度を評価する方法が中心になっているが、車両の加速度を用いた評価のように、直接乗員に作用する加速度や荷重を計測しない場合、車両加速度のみでは、車室内の潰れによる乗員被害等を明らかにすることはできない。

そこで、乗員に対する衝撃度の他に、防護柵衝突時の車両の誘導状況や車体の潰れについても計測し、乗員の安全性評価を行うことが必要となる。

本章では防護柵衝突に限定し、加速度等による乗員安全性の評価以外に、各国で行われている評価項目について紹介する。

5.1 わが国の評価⁶⁾

防護柵は、車両が衝突した後に円滑に誘導することが必要である。

要綱においても、防護柵設置の主目的は衝突車両の路外逸脱を防止するとともに、車両を正常な方向に戻すこととされている。ただし、車両の誘導性について定量的に評価する方法については示していない。

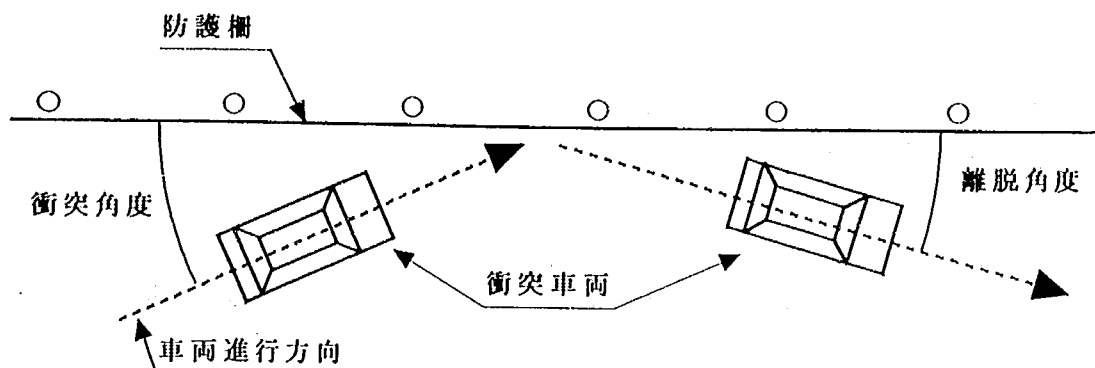


図-5.1 衝突速度と離脱角度

5.2 諸外国の評価^{16) 27)}

現時点での各国の車両の防護柵衝突に関する評価基準概要は、以下のとおりである。

5.2.1 車両変形

車両変形に関する評価項目は、乗員の安全性や他車線への侵入がないか評価するものである。以下に各国ごとの評価項目を示す。

表-5.1 車両変形の各国評価基準

国名	内容
米 国	部材、部品の脱落や飛散がないこと。 車室内への部品の貫通がないこと。 他の交通の障害にならないこと
ドイツ	傷や損傷は評価しない。
イタリア	部材・部品の脱落・飛散がない。
フランス	危険物が内部に進入しない。
イギリス	フランスと同じく、VDIで評価する。

5. 2. 2 衝突後の車両挙動

衝突後の車両挙動は、車両変形と同様に乗員の安全性や他車線への侵入がないか評価する項目である。以下に各国ごとの評価項目を示す。

表-5. 2 車両挙動の各国評価基準

国名	内容
米 国	車両は横転しないこと。 停車位置は、最小位置であること。 離脱角度は、衝突角度の60%以下であること。 離脱速度は、衝突速度に対して24km/h以上変化しないこと。
イタリア	離脱角度は、衝突角度の1/3以下。
フランス	離脱角度は、小さいこと。 衝突時に急激な速度低下がないこと。

5. 3 欧米の今後の動向

E Cの統一基準の動きを意識し、E Cを含めた国際的統一基準を目指し、現行基準の改定を図っている。改定案の内容は以下の通りである

5. 3. 1 米国¹⁶⁾

(1) 防護柵強度

衝突車両を誘導し、突破や乗り上げ、潜り込みがないこと。

米国では、日本に比べ道路用地が広いとため、路肩広さ、樹木・標識柱等の障害物と防護柵の距離に応じ、それに適した変形特性の防護柵を採用する。

防護柵変形量による規定はない。

(2) 車両変形

防護柵衝突後の車両変形の規定は、今後も以下の事項を満足することであると考えられる。

車両部品の車室内貫通の危険性や他の車両や歩行者への危険性がないこと。

重大な乗員損傷の原因となる変形や車室内貫通がないこと。

(参考)

車両変形による乗員の安全性評価は、海外では実際発生した事故データと比較する意味で非常に重要な項目である。実際に発生した衝突事故で車両や防護柵の損傷状況や乗員の負傷状況がある一定の方式で記録していけば、衝突実験での車両および防護柵の損傷状況より、乗員の負傷状況が推定できる。米国では、T A D (Traffic Accident Data Scale: 交通事故データ・スケール) としてV D S とC D C を数年にわたり計測している。

・V D S (Vehicle Damage Scale: 車両損傷値)

V D S は、米国の各事故調査機関により、何年にもわたり調査しており、事故データが豊富にある。このようなことより、衝突実験のデータをV D S と関連づけることにより、乗員の負傷度を推測するのに大きな手がかりとなると考えられている。

・C D C (Collision Damage Classification: 衝突損傷値)

C D C は、衝突損傷状況を調査するためN H T S A (National Highway Traffic Safety Administration) が衝突状況の記録方法の標準化を行ったものである。C D C は、V D S と同様に衝突実験を実際の事故に関連づける非常に重要な数値である。

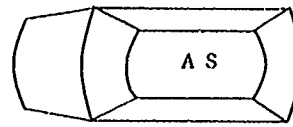
・ O C D I (Occupant Compartment Deformation Index)

O C D I は、実験結果の記録用として用いられ、実験の合否判定には現在使用されていないが、車両の変形状態を示す指数であり、データの蓄積とともに将来的には実験の合格基準項目として使用される可能性がある。

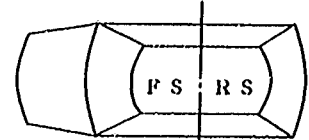
以下に O C D I の表示形式を表す。

"XXabcdef"

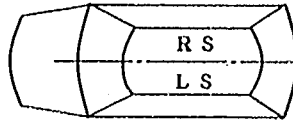
"XX" は車室変形の位置を表し、右図のような 2 つのアルファベットで示す。



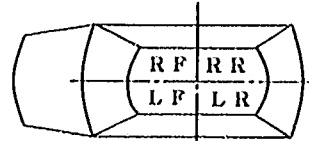
全座席 : X X = A S



前部座席 : X X = F S
後部座席 : X X = R S



右部座席 : X X = R S
左部座席 : X X = L S



右前部 : X X = R F
右後部 : X X = R R
左前部 : X X = L F
左後部 : X X = L R

図 - 5. 2 O C D I の車室変形位置

また "abcdef" は、車室内各部の減少百分率を示し、各値は 0 ~ 4 までの数字を入力する。

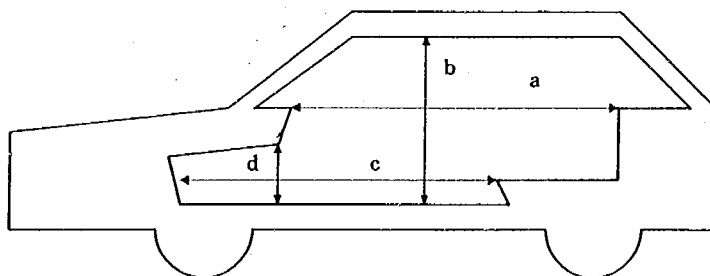
0 : 減少が 3 % 未満の場合

1 : 減少が 3 % を越え、10 % 以下の場合

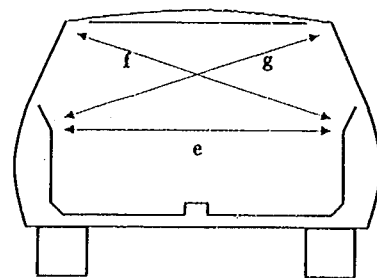
2 : 減少が 10 % を越え、20 % 以下の場合

3 : 減少が 20 % を越え、30 % 以下の場合

4 : 減少が 30 % を越え、40 % 以下の場合



a : タッチポイントと乗員室後部の基準点(後部座席頂部など)
b : 屋根と床パネルの間の距離
c : 乗員室後部の基準点とタッチポイント間の距離
d : タッチポイント下端と床パネル間の距離



e : 内部の幅
f : 右側窓下端と左側窓上端の距離
g : 左側窓下端と右側窓上端の距離

図 - 5. 3 O C D I に関する車両測定位置

(3) 車両挙動

軽微な車両のローリング、ピッチング、ヨーイングは認めるが、横転してはならない。

衝突後、車両は隣接する走行車線内に侵入しないのが望ましい。

離脱角度は、衝突角度の 60 % 以内。

5. 3. 2 EC²⁷⁾

EC各国は、独自に設定された基準をECの統一基準として、統合しようとする動きがある。1992年5月に出されたEC基準(案)の防護柵評価は以下のとおりである。

(1) 防護柵強度

衝突後、防護柵は破断することなく車両を誘導する。

(2) 車両変形

- ・ 防護柵変形量を0.6~3.5mの間で8段階レベルに分類し防護柵を選定している。
- ・ 車室内変形量は、VDSにより評価する。
- ・ 作業区域内の作業人や歩行者または他の交通に重大な危険性のある部材や部品の飛散がないこと。
- ・ 防護柵部材の車室内貫通や重大な乗員への障害を及ぼす車室変形がないこと。
- ・ O C D I について、現在 C E N (European Committee for Normalization) で、将来の指数開発を行うため、データ収集目的で記録を行っている。

(3) 車両挙動

- ・ 衝突後、車両のローリング、ピッチング、ヨーイングは許容するが、車両が横転してはならない。
- ・ 車両が防護柵に衝突を開始した点から10mの範囲内において、初期の防護柵設置線から車両幅に2.2mを加えた線を、車両の一部でも超えてはならない。

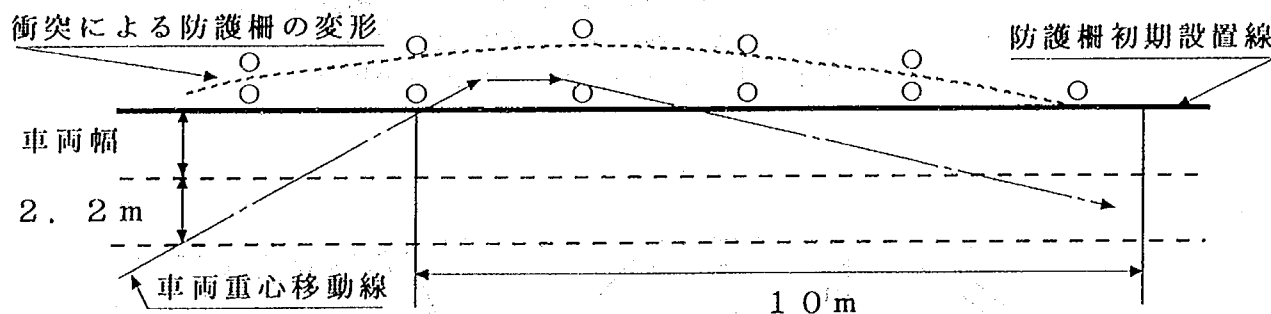


図-5.4 防護柵衝突後の車両挙動の規定

第6章 今後の安全性評価方法の提案

6. 1 現在の評価基準

6. 1. 1 評価の内容と対象

要綱では、防護柵の定義を以下のとおり定めている。

防護柵は、主として走行中に進行方向を誤った車両が路外、対向車線または歩道に逸脱するのを防ぐとともに、乗員の傷害および車両の損傷を最小限にとどめて、車両を正常な進行方向に復元させることを目的とし、副次的に運転者の運転者の視線を誘導し、また、歩行者のみだりな横断を抑制するなどの目的をかねそえた施設をいう。

上記からわかるように、防護柵には、車両が衝突した場合乗員被害を軽減する緩衝機能を有することが求められる。

要綱では、この緩衝機能について、防護柵の種別毎に以下のような条件で判断することが定められている。

表－6. 1 要綱における乗員保護基準

防 護 柵		衝 突 条 件			緩 衝 機 能 の 判 定
種 別	主な適用箇所	衝突重量	衝突速度	衝突角度	
A 種	高速道路	3. 5 t	6 0 k m / h	1 5 度	車両重心に発生した加速度 4 G 以内
B 種	一般国道		4 0 k m / h		
C 種	その他の道路		3 5 k m / h		
S 種	鉄道交差区間等		8 0 k m / h		適用外

乗員の安全性が確保されているかどうかの判断は、定量的には衝突時に発生する重心位置の加速度が4 G以内であることが求められるが、防護柵の定義からみて、車両の損傷が少なく、円滑に誘導されることも乗員安全性から求められる条件といえる。ただし、S種は速度が高く4 Gの適用が困難なことから、乗員保護基準の適用外とされている。

この基準は昭和40年の要綱で定められたものであり、当時の交通状況や防護柵に関する実験研究結果を根拠としている。

6. 1. 2 現行評価の課題

(1) 評価時間

乗員の安全性を加速度で評価する場合、どの程度の大きさの加速度がどの程度の時間継続して作用したかが大きく影響する。大きな加速度でも瞬間的な作用であれば人間は耐え得るし、比較的小さい加速度でも長時間作用すれば害を及ぼす。

一般に、交通事故等における衝突現象は0.2s程度以下で発生収束し、乗員に作用する衝撃は0.01～0.05s程度で評価される。これに対して要綱で対象とする加速度は、比較的長い時間を想定した加速度であることから、今後増加が予想される高速での瞬間的に作用する大きな衝撃等について、乗員の安全性を的確に評価できない恐れがある。

(2) 加速度規定

要綱に記載されている加速度規定では、衝突時間0.1～0.2s程度の時間に平均的に作用する加速度として4 Gを示している。これを同程度の加速度が生じる他の現象と比較すると、戦闘機の空中旋回は4 G、ジェットコースターで作用する加速度は大きいもので6 G、スペースシャトルの打ち上げ時には2～4 G程度いずれも数秒から数十秒以上作用する²⁸⁾。

これらの加速度は当然人間に害を及ぼさない範囲の値であり、要綱の4 Gも衝突後にも乗員が運転操作を行える程度の衝撃加速度であるといえる。ただしこれらの加速度は、全身に平均的に作用する加速度であることに留意しなければならない。

一方欧米では、現在乗員の保護基準をA I S 3未満（後遺症が残らない）程度とすることが基本的な保護の基準となってきた。今後高速衝突域での安全性評価基準を設定するには、要綱の4 Gを適用することは非常に難しくなることが予想される。

(3) データの計測・処理方法

衝撃の程度を計る指標となる加速度や荷重は、計測方法や解析方法によって得られる値が大きく異なり、安全性の評価基準を設定する場合、加速度や荷重の計測方法およびデータ処理方法についても明記することが必要である。

6. 2 評価方法と関連基準との対応

6. 2. 1 車両に関する安全基準との関連

自動車の安全基準は主に正面や側面衝突を考えている。それに対して、車両が防護柵に衝突する場合は、ある角度で斜めに衝突することを想定している。この点が車両側の衝突実験と防護柵衝突実験の異なるところである。

車両側の衝突実験は、衝突時のダミーに発生する各値を用いて安全性の検討を行っている。

正面、側面衝突実験では、それぞれ正面、側面専用のダミーを使い分けて実験を行っているが、これは、各方向に対して最も適したダミーを使用するためである。ダミーの研究開発は現在も進行中であるが、斜め方向の乗員の動きを再現できるダミーは開発されていない。このため、車両の安全基準を防護柵側の安全基準に適用することはできない。

6. 2. 2 欧米評価手法との関連

欧米はそれぞれ個別の評価基準（案）を出しているが、米国においては同国内の基準の他に、欧州とのデータの互換性を考慮してA S I、P H D、T H I Vを計測・記録しており、車両側の評価基準と同様に、将来国際的な基準統合に向かうことが考えられる。

また、米国で用いているO I Vと欧州で用いているT H I Vは、解析に用いる因子に多少違いはあるものの、考え方や許容値は同じである。同様に、車両重心加速度とP H Dについても、値の求め方は異なるが許容値は同じであり、乗員の傷害値に基づいてその値を決定したと予想される。

現在の国際的な技術水準からみて、防護柵衝突実験での乗員衝撃度評価は車両重心加速度を用いることが一般的であり、米国や欧州の考え方や基準値が共通するものであるから、わが国においても今後の国際的な技術交流やデータの互換性を考慮して、欧米の考え方を取り入れることが望ましい。

表－6. 2 欧米の防護柵衝突時の衝撃度評価基準（案）

国	評価項目	必要計測項目	推奨許容値	許容限界値
米 国	O I V	車両重心加速度 (10ms平均)	9(m/s)以下	12(m/s)以下
	車両重心加速度		15(G)以下	20(G)以下
E C	T H I V	車両重心加速度	9(m/s)以下	12(m/s)以下
	P H D		15(G)以下	20(G)以下
	A S I	車両重心角速度	1 以下	1.4 以下

6. 2. 3 シートベルト装着の義務化

要綱では乗員の拘束状態まで明記されていないが、要綱が発刊された年次（昭和47年最終改訂）からみて、シートベルト非装着状態を前提としているものと考えられる。欧米の基準においては、A S Iおよび50ms平均加速度を除いて、シートベルト非装着状態を想定して乗員の安全性を評価することが一般的になっている。これは、衝突状況が厳しくシートベルト装着にも係わらずコンパートメントに衝突する場合や、防護柵に対する斜め方向の衝突でシートベルトから乗員がすり抜ける場合など、乗員が車室内構成部材に衝突して被害が大きくなる場合を想定しているものである。

しかし、わが国における事故統計調査によれば、いずれの方向から衝突した場合でもシートベルトの効果は現れている^{2,9)}。シートベルトの装着が義務化され、車両の保安基準等においてもシートベルト装着者を対象とした基準になっている現在、高速衝突など今後予想される衝撃の大きな衝突事故で乗員を保護するためには、シートベルトの効果に期待し、シートベルト装着者を対象とした保護基準とすべきであると考えられる。

6. 3 乗員の安全性評価方法の提案

6. 3. 1 評価基準の提案

(1) 衝撃加速度等による評価

衝突速度や加速度を用いて行う乗員の安全性評価については、どの基準値で行うのか、これはデータの信頼性等を考慮して決める必要がある。

データの信頼性とは、実際の事故と衝突実験のデータの相関関係がはっきりしていることで、基準値以上であると実際の事故でどの程度乗員が負傷するのか定量的に把握しておく必要がある。

各評価基準の特徴を表-6. 3に示すが、ダミーを用いた基準値は信頼性が乏しく、角速度計については現在の技術では精度よく計測することが困難である。また、角速度を用いると評価値が小さく出る傾向があり³¹⁾、厳しい評価を行うのであれば角速度を用いない方が妥当であるとも考えられる。

このようなことから、乗員の安全性を評価する方法としては、車両重心加速度を基本とした計測方法を行っていくことが望ましいと考えられる。

表-6. 3 衝撃度評価項目の特徴

評価項目	長所	短所
実効値	計測が容易に行える。	乗員の傷害程度との関連が不明
THIV	欧州の防護柵基準(案)	車両の角速度が必要
OIV	米国の防護柵基準(案)	乗員の傷害程度との関連が不明
PHD	欧州の防護柵基準(案)	車両の角速度が必要
10ms	米国の防護柵基準(案)	加速度のサブリングレートが重要。
50ms	日本における計測実績が多い。	
ASI	計測容易、欧州の防護柵基準(案)	
HIC	死体、生体等により乗員の傷害程度との関連データが豊富である。 自動車の安全基準に適用されている。	ダミーの衝突時挙動の再現性が問題とされている。 米国では、防護柵衝突時の乗員衝撃度評価のオプションとしてHIC値を用いている。
胸部加速度		
大腿部荷重		

また、過去に行った実験結果より、原波形加速度に対しての各評価値や車両重心加速度とダミー加速度などの関係がある程度つかめている(第4章を参照)。このように過去の実験結果から、各評価値を原波形加速度より推定することは可能であり、車両重心加速度を正確に測定することが最も重要であると考えられる。

6. 1に示した車両側の安全基準、海外の動向、保護対象などから総合的に判断すると、今後の防護柵衝突時の乗員の衝撃度評価は、車両重心加速度を用いた10ms、50ms、ASI、OIVなど防護柵衝突時の衝撃度評価手法にすることが妥当であると考えられる。

(2) 車両の誘導性、損傷状況による評価

車両の加速度等が直接的な乗員被害を評価できないことから、(1)で述べた衝撃加速度によって一般的な衝撃の作用状況の評価するとともに、車両が円滑に誘導されたか、また、衝突後に車室空間が乗員に安全な程度確保されているかどうかを評価することも重要である。

従って、以下の項目についても、乗員の安全性を評価するために必要であると考えられる。

車両の誘導性 : 衝突後車両は円滑に誘導される。

車両の挙動 : 衝突後、車両は横転、転覆しない。

車両の損傷 : 車室内に部材等が貫通しない。

乗員の生存空間が確保されている。

定量的には、O C D I 等で評価することが望ましい。

6. 3. 2 計測方法の提案

計測は、各評価方法を計算していくうえで必要な精度をもっていなければならない。ここでは、提案する評価方法や海外の事例などから、評価を行うのに必要とされる計測方法を提案する。

(1) 計測項目

先の6. 1. で述べたように、車両衝突の安全基準はダミーを用いるよりも、欧米の考え方や研究成果等からみても、車両が防護柵に衝突した時の安全性評価を行う場合、車両重心加速度を用いて評価することが適当である。

また、参考値としてダミーを車両内に搭載し、頭部の損傷状況をH I C値により推定することも、傷害との関係研究数が多いため、参考値として利用することも考えられる。

(2) 設置位置

①加速度計

過去の実験結果から、防護柵衝突時に発生する車両重心加速度は最大で70G程度であり、最小では10G未満の場合もある。このよに衝突条件によって発生する加速度の大きさは変わるので、精度良く加速度を計測するためには、実験条件に応じた加速度計を適宜選択することが必要である。

②ダミー

ダミーに関しては、アメリカやヨーロッパなどで使用されている正面衝突用 HYBRID-II, III や側面衝突用 SID, EUROSID 等は、正面や側面衝突時の挙動を再現する目的で設計されている。防護柵衝突時の乗員の挙動は、斜め方向の動きである。この乗員の斜め方向を再現することができなければ、ダミー頭部の加速度、胸部加速度、大腿部荷重を計測しても実際の乗員の挙動とはかけ離れたものになってしまう。

しかし、H I C値は衝突条件が異なるとはいえ、車両の安全性評価については重要な評価項目となっており、また、実際の乗員負傷程度との関係についての海外での研究は数多いものとなっている。アメリカでは、オプションでHYBRID-IIIを使用することとしている。

以上のようなことより、ダミーを媒体とした計測結果については、評価基準とすることは斜め衝突用ダミーの開発を待たねばならないが、ある程度の予測はできると考えられるので参考値としての位置づけとして考えるのが妥当である。

ダミーを用いて計測する場合、運転席と助手席のダミー加速度の比較を行う場合等の特殊なケースを除き、同時に用いることは避けることが望ましい。これは、衝突後のダミー間の干渉によって加速度の計測値が大きく変わることがあり、車両挙動によってダミーが受ける影響を正確に計測できない恐れがあるためである。

また、ダミーを搭載させる座席は、衝撃が厳しく作用する側とすべきである。一般的な衝突状況では、乗員に被害を与えやすいハンドル等の障害物のある運転席にダミーを搭載することが多い。しかしこれまでの実験結果からみて、シートベルトを装着した状態であれば、ハンドル等に衝突して胸部に発生する加速度は比較的小さいといえる。従って、乗員に対してより安全な防護柵機能を求めるのであれば、路側用防護柵に衝突させる場合には助手席側、中央分離帯用防護柵に衝突させる場合には運転席側にダミーを搭載することが望ましいといえる。ただし、土木研究所の衝突実験施設を用いる場合は、中央分離帯用防護柵に対しても路側用と同様に車両左前面に衝突させることになるため、助手席側にダミーを乗せることになる。

③ サンプリングレート

車両の防護柵衝突は、衝突条件により異なるが、衝突から離脱まで数秒の現象である。その間に車両や乗員は複雑な挙動を見せ、傷害程度が決定される。乗員の衝撃度評価は加速度などの計測データを解析（微分、積分、平均化等）するため、データを数値化しコンピュータで計算を行っている。このため、各計測値はどの程度の間隔でサンプリングするかによって、その評価が異なってくる。

図-6. 1のように、1秒間に n 個のサンプリングレート（ n /秒）が原波形に近いと仮定すると、10秒間に n 個（ n /10秒）のサンプリングでは原波形と異なった波形を示してしまうことがわかる。この現象をエリアシング(Aliasing)またはフォールディング(Folding)という。平均加速度を求める場合サンプリングレートが長いと原波形とは波形の異なるものとなり、またサンプリングレートを長く取った場合の値は、平均加速度ではなく各時点での最大値を評価する。

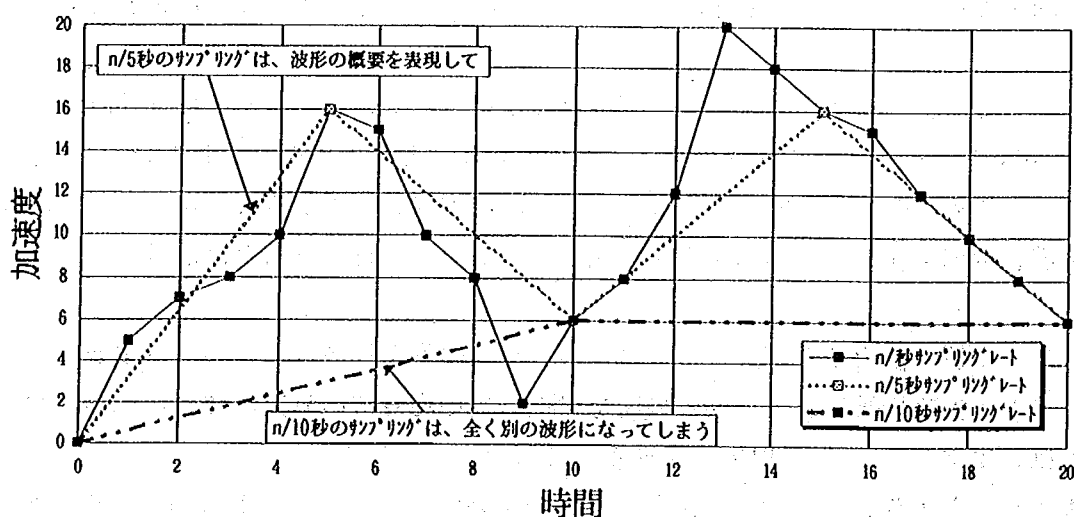


図-6. 1 サンプリング間隔による波形の変化

また、その一方で衝突実験は車両を衝突させるために、ある程度の加速時間が必要である。現在、土木研究所では、車両内部に記録用機械を搭載し車両に発生するデータを記録しているが、その容量には限度があり、サンプリングレートが短くなればその記録時間が短くなってくる。

一般的にサンプリングレートは、以下に示すサンプリング定理というものに従って決定されている。

サンプリング定理

サンプリングレートは、入力波形に含まれる最小の周期の1/2以下としなければならない。

防護柵衝突時に車両に発生する加速度の最小周期は不明であるが、車両保安基準の計測方法に従うとサンプリングレートは、周波数クラスの8倍程度必要であることから、車両重心加速度の周波数クラス60で乗員ダミーの周波数クラスは1000が必要であると考えられる。

$$(60 \sim 1000) \times 8 = 480 \sim 8000 (\text{点} / \text{s}) = 2 \sim 0.125 (\text{ms} / \text{点})$$

従って、少なくとも2ms以下のサンプリングレートをを用いる必要があると考えられる^{32) 33)}。

あとがき

今回、防護柵衝突時の乗員安全性に関して評価手法をとりまとめたことにより、欧米各国の動向や土木研究所が中心となって行ってきた数多くの衝突実験のデータを整理することができた。今後は、これらのデータをもとに、乗員に対して安全性の高い防護柵の開発に取り組んでいく予定である。

最後に、本報告書が乗員の安全性の高い防護柵研究開発に有用な資料となることを期待するものである。

参考文献

- 1) 建設省道路局監修、「道路交通経済要覧平成3年度版」、(財)道路経済研究所他、平成5年12月
- 2) 警察庁交通局監修、「交通統計」、(財)全日本交通安全協会
- 3) 「交通統計」、(財)交通事故総合分析センター、平成5年度版
- 4) 「平成5年度道路行政」、全国道路利用者会議
- 5) 「交通事故分析の体系化を目的とした交通事故ミクロ調査分析の在り方に関する研究」、(財)交通事故総合分析センター、平成5年9月
- 6) 「防護柵設置要綱」、社団法人日本道路協会、昭和47年10月
- 7) 「自動車の走行速度を規定する要因に関する調査研究」、(財)国際交通安全学会、1991
- 8) 車両保安基準
- 9) R. G. Snyder, 'Human Impact Tolerance', SAE paper 700398
- 10) 自動車安全運転センター、「交通事故による被害の実態とその軽減対策に関する調査研究(Ⅱ)」、1993
- 11) 松野、「衝突の人体に及ぼす影響について」、日本機械学会第267回講習会、1967
- 12) 建設省土木研究所道路研究室、「自動車の衝突時の減速度と損害の関係」、土木研究所資料第473号、1969
- 13) 「防護柵衝突時の加速度に関する一考察」、第16回日本道路会議論文集、昭和60年、霜上 民生、石平 貞夫
- 14) Graham他, 'New Highway Barriers -The Practical Application of Theoretical Design', Physical Research Report 67-1, State of NewYork, 1967
- 15) J. D. Michie, M. E. Bronstad 'Location, Selection, and Maintenance of Highway Traffic Barriers', NCHRP Report118, 1971
- 16) NCHRP Report 230 'Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances', 1981
- 17) NCHRP Report 350 'Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features', 1993
- 18) 「欧州防護柵技術調査報告」、財団法人 土木研究センター、平成元年3月
- 19) (社)土木学会、(社)セメント協会、「交通安全施設海外調査報告書」、1992
- 20) 「高規格幹線道路の防護柵設計に関する検討報告書」、財団法人高速道路調査会、平成4年3月
- 21) 「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」、社団法人日本道路協会、昭和60年6月
- 22) 「高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書」共同研究報告書第94号、建設省土木研究所・日本道路公団・鋼製防護柵協会、平成5年10月
- 23) 「防護柵衝突実験結果報告書」土木研究所資料第3108号、建設省土木研究所、平成4年2月
- 24) 「急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する共同研究報告書」共同研究報告書第41号、建設省土木研究所、昭和47年
- 25) 「高重心車両用防護柵に関する研究」、建設省土木研究所、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団、平成6年5月
- 26) 「高速化対応型防護柵に関する共同研究報告書-狭幅員中央分離帯用剛性防護柵に関する研究-」、建設省土木研究所、日本道路公団、平成4年6月
- 27) European Committee for standardization, 'Road Restraint Systems', 1993
- 28) 「アミューズメントの解剖学」、毎日新聞、1995, 8, 7
- 29) (財)交通事故総合分析センター、イタルダインプォメーション 1994 No. 2
- 30) Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 208. National Highway Safety Administration. September 1986

- 31) I.B.Laker, 'A Sensitivity Analysis of the Effect on THIV and Other Computed Variables of Errors in the Measurement of Vehicle Yaw motions.' TRB Meeting Sub committee A2A04, 1995
- 32) 「土木技術者のための振動便覧」、土木学会
- 33) 振動工学ハンドブック、養賢堂
- 34) 電気計測便覧、オーム社
- 35) 「自動車の衝撃試験における計測 JIS D 1050」、日本規格協会、1986

用語の説明

1 次衝突現象

事故等の一連の衝突現象で、車両と他の物体が衝突する初期衝突をいう。

2 次衝突現象

事故等の一連の衝突現象で、1 次衝突後、乗員が慣性移動によって車室内の構成部材に衝突したり車外放出によって車外の物体と衝突する現象をいう。シートベルトとの衝突も含む。

3 次衝突現象

事故等の一連の衝突現象で、2 次衝突後、乗員の人体内部における臓器の変位や臓器間の相互衝突をいう。

50ms, 10ms 平均加速度

加速度データを 50ms、あるいは 10ms の時間間隔で平均化した加速度。

A/D 変換

アナログデータからデジタルデータに変換すること

A I S コード (Abbreviated Injury Scale)

人間の負傷の度合いを数値で表したもの。

0 : 無傷、1 : 軽傷、2 : 中等症、3 : 重症、4 : 重体、5 : 瀕死、6 : 即死、9 : 不明

A S I (Acceleration Severity Index)

3 次元の車両重心加速度を用いて、衝突時の乗員の安全性を評価する手法の 1 つ。

C E N (European Committee for Normalization)

ヨーロッパ標準化委員会。ヨーロッパにおける各種基準の統一化を検討する委員会。

ダミー

乗員の動きを再現する目的でつくられた人体模型。ダミー各部の重量や動きは、人間に近いものとなっている。

最大進入行程

衝突前の防護柵前面から、衝突車両の車輪が最大に踏み出した時のタイヤ中心（ダブルタイヤの場合はタイヤ間）までの距離。

S E A (Society of Automotive Engineers)

米国自動車技術会

推奨許容値

防護柵衝突による衝撃耐性値で、乗員の安全性を確保するために推奨できる範囲とされる基準値

衝撃耐性

人間が衝撃に耐え得る程度、抵抗力

衝撃耐性値

衝撃が加わった場合に、人間の安全を確保できると判断される衝撃耐性の基準値

衝撃度

車両が防護柵に衝突する場合の、防護柵に持ち込む衝撃の大きさを表す指標であり、車両の重量、衝突速度、衝突角度によって定まる。防護柵の強度を決定する際に必要となる。

衝撃指数

防護柵衝突時の、乗員に与える衝撃の大きさを示す指標。衝突速度および衝突角度によって求める。

F M V S S (Federal Motor Vehicle Safety Standards)

アメリカの車両安全基準

フレイルスペースモデル

防護柵への車両衝突時に、乗員の頭部は車両の動きとは独立して、慣性力によって直進すると仮定されるモデル。

限界許容値

防護柵衝突による衝撃耐性値で、乗員の安全性を確保するために限界とされる基準値

H I C 値(Head Injury Criteria)

衝突時の乗員頭部に発生する加速度を用いて、乗員の安全性を評価する方法。

理論頭部

フレイルスペースモデルで仮定される乗員頭部

実効値

防護柵衝突時の乗員の安全性を評価するための加速度の処理方法のひとつ。わが国において用いられており、防護柵に車両が衝突してから最大進入行程に至るまでに発生した加速度の平均値。

N C H R P (National Cooperative Highway Research Program)

連邦が主体となった道路に関する共同研究プログラム

O I V (Occupant Impact Velocity)

T H I V と同様にフレイルスペースモデルを用いて、車両衝突時の乗員頭部が車室内に衝突する時の理論頭部速度をいう。T H I V と異なる点は、車両の各速度を計算に入れていない点である。

P H D (Post-Impact Head Deceleration)

フレイルスペースモデルを用いて、車両衝突時に乗員理論頭部が車室内に衝突した後の頭部加速度をいう。乗員の安全評価手法の1つ。

サンプリングレート

A/D変換の際に、データを抽出する際の時間間隔

T A D (Traffic Accident Data Scale)

交通事故の被害の大きさを示す指標。統計データを統一的に処理するために計測される。

V D S や C D C がこれに含まれる。

T H I V (Theoretical Head Impact Velocity)

フレイルスペースモデルを用いて、車両衝突時に乗員頭部が車室内に衝突する時の理論速度をいう。乗員の安全性評価手法の1つ。(第4章参照)

x 方向

車両重心位置を原点とする座標系で、車体前後中心線の座標をいう。

ここでは、原点から車両前部に向かって生じた加速度を正とする。

要綱

防護柵設置要綱。防護柵の設計、設置に関する通達「防護柵の設置基準の改訂について(昭和47年12月1日：建設省道路局長)」に基づくわが国の技術指針(日本道路協会、昭和47年10月)。

y 方向

車両重心位置を原点とする座標系で、X方向に対して直角方向の座標をいう。

ここでは、原点から車両左側に向かって生じた加速度を正とする。

z 方向

車両重心位置を原点とする座標系で、X-Yの平面系に対して垂直方向の座標をいう。

ここでは、原点から車両上部に向かって生じた加速度を正とする。

付 録

衝突実験の加速度計測方法 付－ 1

自動車に関する評価方法と基準 付－ 7

過去の実験データ 付－ 16

衝突実験の加速度計測方法

土木研究所では、昭和30年代から防護柵衝突実験を実施し、主として車両の加速度を中心として乗員安全性を評価してきた。

以下に、現在主として用いている計測方法について述べる。

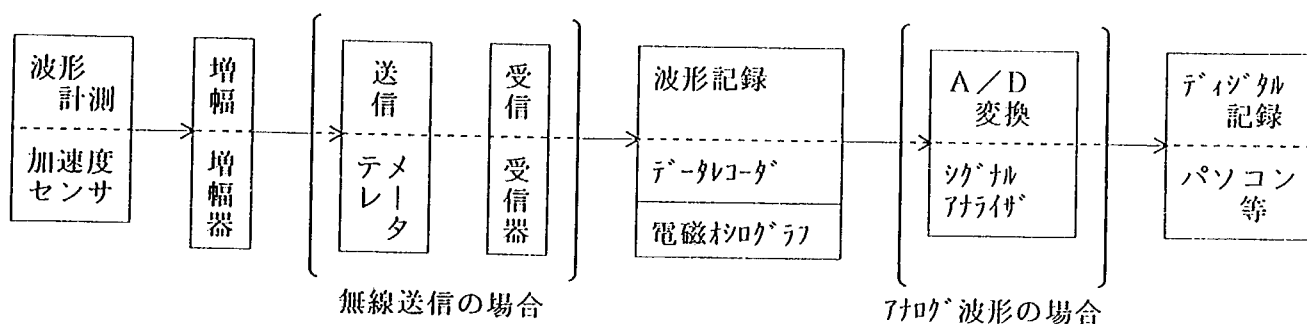
1 計測システム

衝突実験における車両やダミーの加速度等の計測は、実験を行ってきた時点の計測技術が大きく影響を与え、昭和30年代の実験においては、車載の加速度計にケーブルを取り付け、実験車両外の電磁オシロに有線で記録する方法がとられてきたが、その後加速度波形をFM電波で無線送信する方法、自記加速度計を搭載する方法、フィルム映像を解析する方法等が用いられてきた。近年は、高速衝突になってきていることや、諸外国とのデータの互換性を考慮し、短いサンプリグ間隔で大きな衝撃加速度を正確に捉えることが必要となってきた。

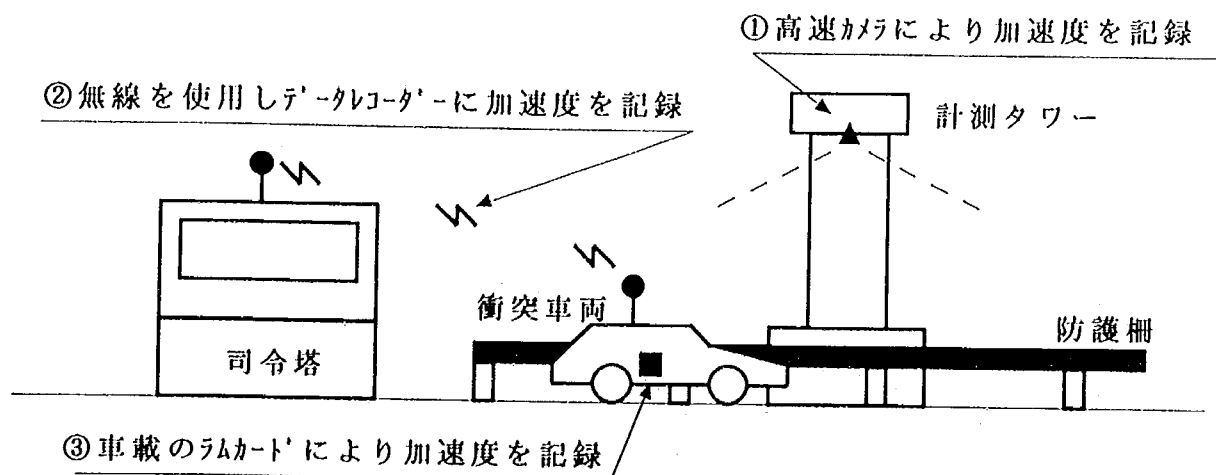
システムは、基本的に加速度や荷重を計測するセンサー、センサーの信号を増幅する増幅器、増幅された波形を記録する記録器、記録を出力する出力部より成る。

現在の計測システムを図-1.1に示す。

また、センサーから増幅器に至る波形の送信形態に応じて分けられるシステムの分類を以下に示す。



付図-1.1 加速度の計測系



付図-1.2 車両加速度の各種記録方法

1. 1 ケーブルによる方法

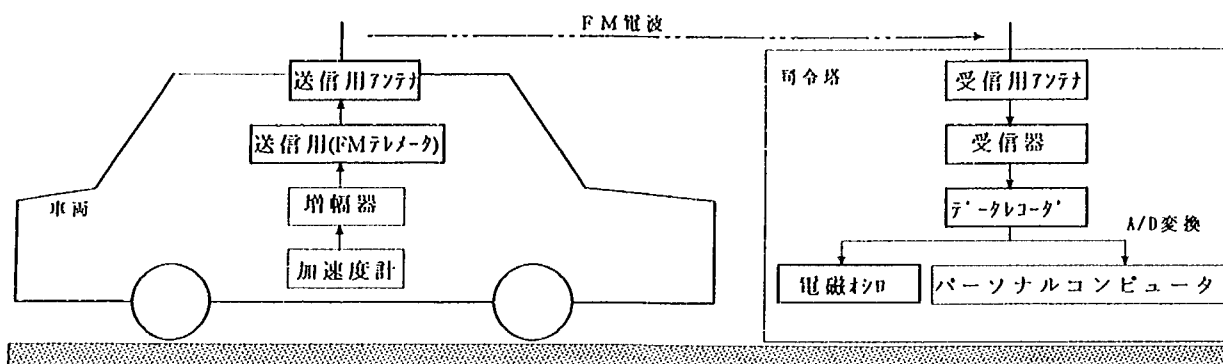
車両の加速距離を長く必要としない場合、加速度計に直接送信ケーブルを接続しデータの送信を行う方法がある。この方法は最も正確に、外部の影響を受けずに送信できる方法であり、現在自動車の安全性を検証する実験で用いられている他、昭和30年代の防護柵への低速衝突実験でも用いられてきた。

しかし、加速距離を長く必要とする現在の防護柵衝突実験では、ケーブルも非常に長く必要とするため、実験の作業性や送信データの減衰等の問題から、この方法を用いることは不可能に近い。

1. 2 電波による方法

この方法は、車両やダミーに設置した加速度計のデータをFM電波を用いて記録器に送信する方法である。

この場合、衝突箇所（加速度波形等を計測する箇所）と受信箇所が遠い場合や、周辺の電波の状況によっては電波にノイズが入る危険性があり、波形データの信頼性の面から問題がある。また、車両衝突後、車体が横転した場合等には、送信用のアンテナが破損する可能性も高い。



付図 - 1. 3 FM電波による計測の例

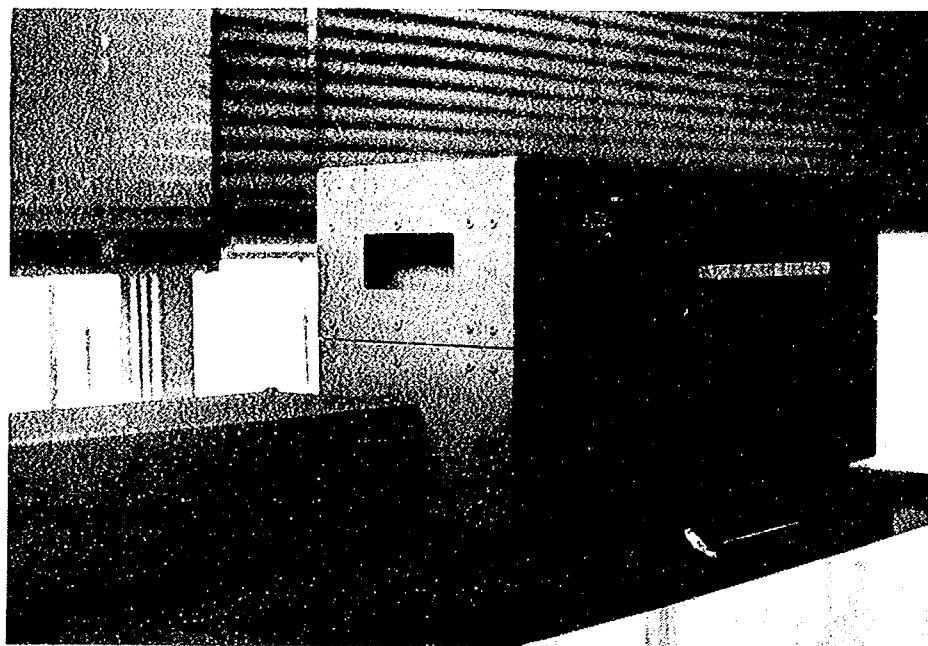


写真 - 1. 1 FM電波送受信装置

1. 3 車載の記録器により記録する方法

(1) データレコーダによる方法

センサーとともに増幅器内蔵型のテープ式データレコーダを車内に搭載し、記録する方法である。データレコーダを搭載する場合、衝突時の衝撃により故障しないよう緩衝材内部に設置している。

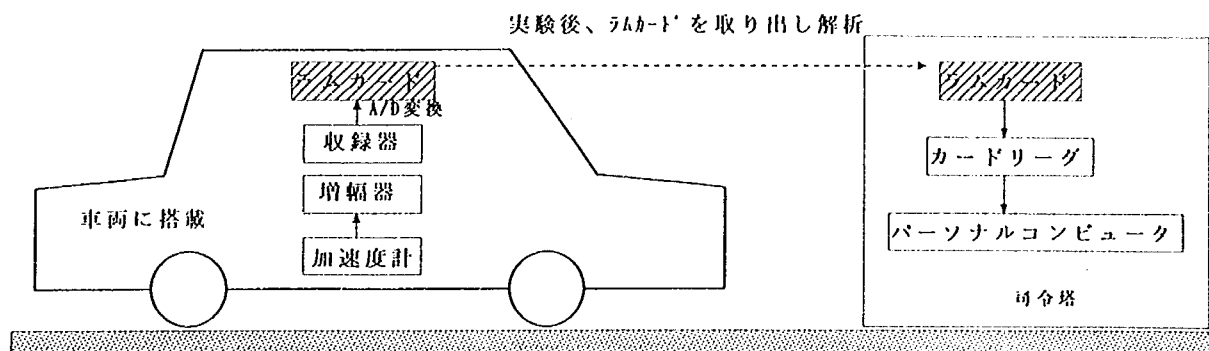
この方法の問題点としては、耐衝撃性を満足する機器がなく、テープ式の場合衝突時にテープとヘッドの間に空隙が生じ、波形が記録されない場合や、雑音等が記録される場合がある。大型車の低速衝突等のように衝撃が少ない場合を除いて適した計測方法とはいえない。

(2) ラムカードによる方法

耐衝撃性を有するラムカード記録型データレコーダを搭載し、実験後そのラムカードを切り取り解析を行う。土木研究所で現在実施している方法である。(1)と同様に、衝突時の衝撃により故障しないよう緩衝材内部に設置している。

現在使用している記録装置のサンプリングレートは最大で1msecであるが、ラムカード自体の容量や有効に機能するトリガー（自動測定スイッチ）の制約によりサンプリングレートは決定されている。現在のラムカードのサンプリングレートは、過去の経験により5(msec)程度としている。

この方法の問題点としては、車両が大破するとデータが取り出せない点や、測定点数と計測の制約により、サンプリングレートが決定されることが挙げられる。



付図-1. 4 ラムカードによる計測概要

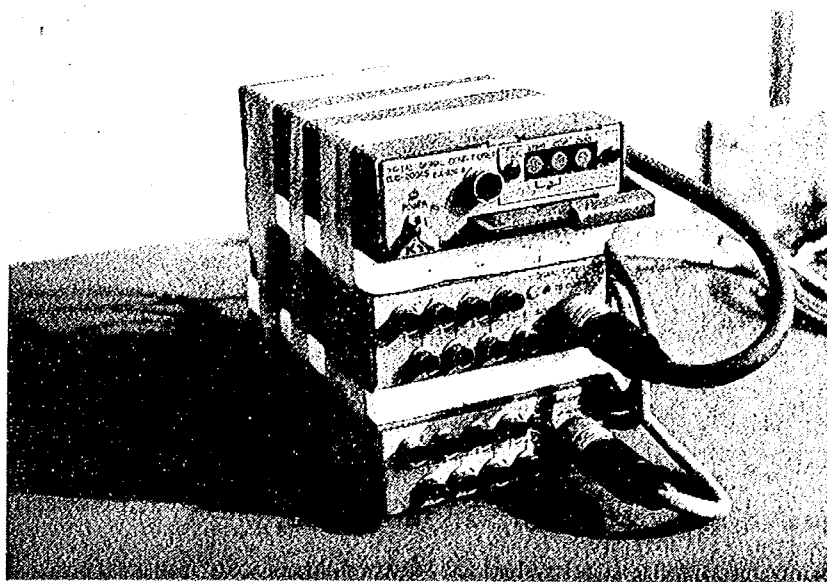


写真-1. 2 ラムカード記録装置

2 加速度計

車体の加速度は、基本的に縦（x）、横（y）、上下（z）方向の3成分について、加速度計を車体重心の床面に接着固定して計測する。

加速度計の容量は、昭和30～40年代前半までは発生する加速度も大きなものではなく、記録器も電磁オシロが主体で精度も高くなかったため、10G程度までが計測できる加速度計が用いられてきた。

その後衝突条件が厳しくなり、原波形で平均30G、大きな場合では60g程度の加速度が発生する場合が生じてきていることや、記録がデジタル化されて精度良く記録できるようになってきたこと等によって、現在は最大100G程度の加速度計が用いられている。また、発生加速度の方向は、縦（x）、横（y）、上下（z）方向のいずれが最も大きくなるかは、衝突条件や防護柵種類等によって異なっており、方向によって加速度計の容量を変えることはない。

ダミー頭部や胸部の加速度は、波形のFM送信が行われるようになってから計測されるようになってきた。頭部の加速度は、ダミーの動きによって大きさもかなり差が生じ、縦方向、横方向では最大150Gを超える加速度が発生する。ただし上下方向では最大でも30G程度である。

ダミー胸部の加速度は、縦、横、上下方向ともに10Gを超えることはほとんどなく、車両の円滑な誘導が期待できないような衝突条件を除いて、大きな加速度計は必要としない。

ただし、動的波形の計測では加速度計の周波数応答特性に注意を払う必要があり、周波数の出力／入力特性が、増幅したり減衰したりしない平坦な特性のものが要求される。

3 フィルター処理

波形に含まれるヒゲと呼ばれる瞬間的なピーク雑音を消去し、過去の波形データ等と同一の水準で比較するために、波形にフィルターをかけることが一般的であるが、衝突波形に関しては、特別に指定された場合を除きフィルター処理は80Hz程度が適当であるとされている^{*)}。

衝突基準に関する米国の基準^{*)}では、加速度自体の大きさを比較するためには60Hzのフィルター処理したものをを用い、連続的な速度や位置変化をみるためには180Hzのフィルター処理した波形を用いることとしている。また、車両加速度の周波数として60Hz、ダミー頭部加速度として1000Hz程度、胸部加速度として180Hz程度を用いることとされている^{**)}。

*) 霜上、石平、「防護柵衝突時の加速度に関する一考察」、第16回道路会議、1987

**) The Engineering Society for Advancing Mobility Land and Sea Air and Space : SAE J211 OC88

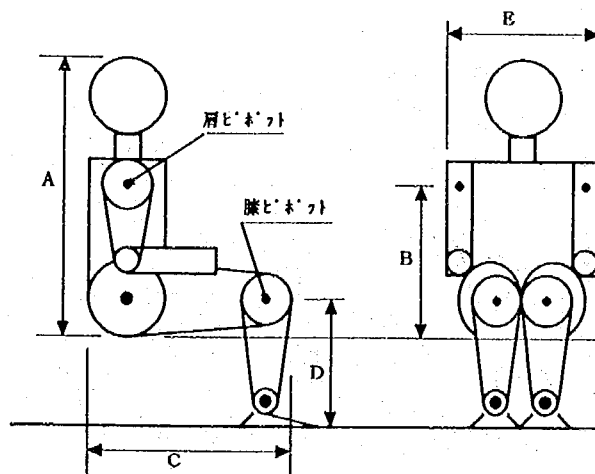
4 衝突実験用ダミー

土木研究所で用いてきたダミーは、日本人成人男子の標準体型に合わせて伊藤精機（株）が開発してきたものである。人体構造が車両の性能実験に用いられるHYBRIDタイプや欧米の側面衝突用に比べると簡易であり、計測結果は参考値程度の取り扱いとなるが、衝突実験におけるダミー計測値は参考値であることから、土木研究所においてはこのダミーを用いた計測を行っている。

付表－ 1. 1 各種ダミーの特徴

	土研の 使用ダミー 3 D M	正面衝突用ダミー		側面衝突用ダミー	
		HYBRID-Ⅲ	HYBRID-Ⅱ	SID	EUROSID
A (mm)	904～910	878～889	904～910	893	915
B (mm)	530～540	505～521	553～569	505	550
C (mm)	584～600	579～605	510～526	545+Knee	570
D (mm)	440～450	485～501	490～506		
E (mm)	455	421～437	452～468	459	485
総重量(kg)	61	73	73	78	75
材質	アルミ鋳物 合成樹脂モールド	アルミ鋳物 ビニル材	アルミ鋳物 ビニル材	アルミ鋳物 ビニル材	アルミ鋳物 ビニル材
センサーの種類と 取付位置	頭部(A) 胸部(A) 腰部(A) 大腿部(P)	頭部(A) 首部(M) 胸部(D, A) 腰部(A) 大腿部(P) 膝部(D) 臍部(P)	頭部(A) 胸部(A) 大腿部(P)	頭部(A) 胸部(A) 大腿部(A, P)	
モデル	日本人平均男子	50%タール米国人男子			

A:加速度、P:荷重、D:変位、M:モーメント



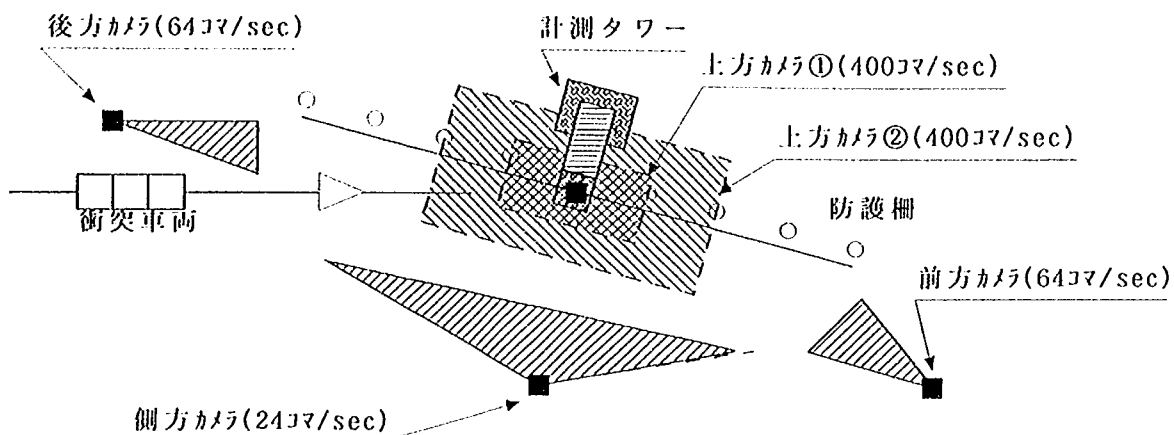
付図－ 1. 5 ダミー各部の寸法位置

5 高速度カメラによる加速度解析

この方法は、車両の挙動を記録する目的で高速の16mmカメラにより車両の挙動を撮影したフィルムを用いて、モーションアナライザーで車両の加速度を解析するものである。車両の各部分にはターゲットマークがあり、その移動量をフィルムのコマ数で積分することにより、加速度を求めている。フィルムのコマ数は64～400コマ/secである。この方法で求めた加速度は、各ターゲットマークの加速度を示しており、車両重心やダミーなどの正確な加速度の値を求めることは困難である。

この方法の問題点としては、以下のことが挙げられる。

- ・車両重心やダミーの正確な加速度を計測できない。
- ・計測タワーの高さの制約上、上方からの撮影には広角カメラを用いているため画面端部に誤差が生じる。
- ・車両上下方向(Z)の加速度は、計測が困難である。



付図-1. 6 高速カメラの配置

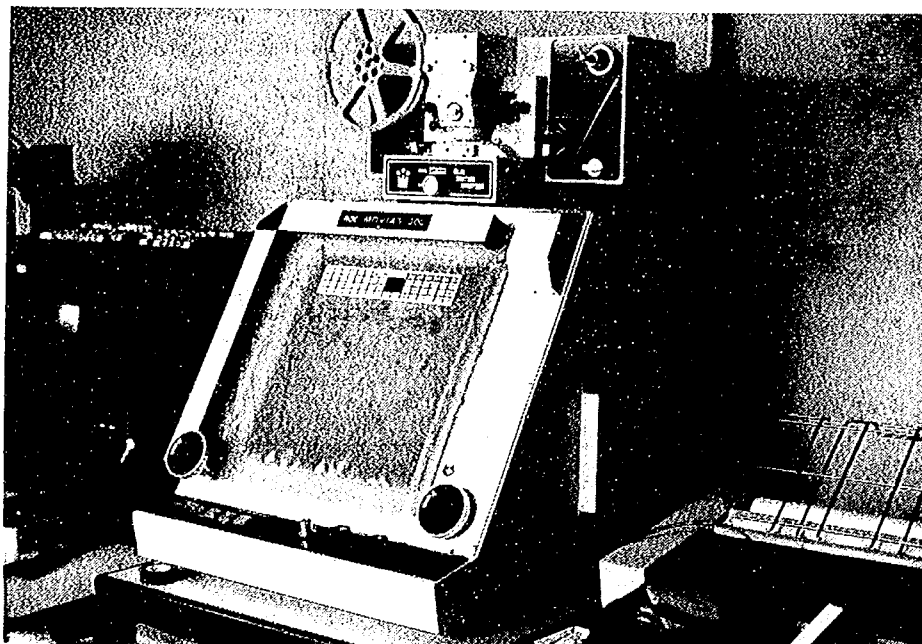


写真-1. 3 モーションアナライザー

自動車に関する評価方法と基準

交通事故の死者数割合で、1975年以降自動車乗車中の死者数が歩行中の死者数を抜き最も多くなり、自動車乗車中の死者数は増加傾向にある。交通事故死者数を減少させるためには車両乗車中の安全対策が急務となっており、自動車メーカー等を中心として自動車自身の安全性向上に関する研究が盛んに行われている。

本報告書は道路の安全施設である防護柵の構造検討を行う上で土木研究所で行っているが、進行方向を誤った車両が防護柵に衝突した場合の乗員の安全性を検討するため、車両本体でどのような安全基準を設けているのか重要な項目であると考えられる。

このようなことから本章では、自動車の安全対策についての紹介を行う。

1 自動車が行っている安全対策

車両事故対策として、アクティブセーフティ、パッシブセーフティというものがある。

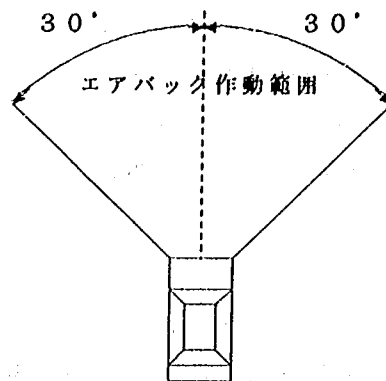
アクティブセーフティとは、予防安全といわれるもので事故を未然に防止する安全対策のことであり、代表的なものとしてはABS(アンチロック・ブレーキ・システム)やTC(トラクション・コントロール・システム)等が挙げられる。

これに対して、パッシブ・セーフティは事故時の被害を最小限に抑える安全対策を示している。パッシブ・セーフティには、以下に示すような車両構造が考えられ実用化されている。

付表－2. 1 パッシブセーフティの内容

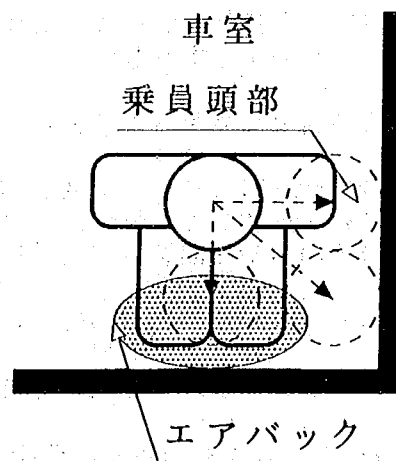
項目	内容
クラッシュフル・ゾーン	衝突時のエネルギーを吸収するため、乗員の安全性を損なわない部分を変形しやすくするもの。
サイドインパクトビーム	横方向からの衝突衝突から乗員を守るためのドア内部補強材。
SRSエアバック	SRS(サプリメンタル・レストRAINT・システム)は乗員補助拘束装置の意味。正面衝突をセンサーが感知して、瞬時にエアバックが展開することにより、乗員の顔面や頭部を車室内に衝突することを防止する。
ELR3点式シートベルト	ELR(エマージェンシー・ロックン・グ・リトラクター)は、前後、左右方向に加速度が発生したり、ベルトの引き出し量が一定以上になった場合にベルトをそのままの長さで固定する装置。
シートベルトテンショナー	ELRによりベルト長さを固定する機能でもある程度の衝突に対応できるが、激しい衝突の場合には固定するだけでは対応しきれない場合がある。このため、衝突時に強制的にベルトを引っ張り乗員の拘束力を高める目的の装置。

ただし、これらの安全装備は衝突の方向により、その効果が損なわれることがある。エアバックを例にして説明すると、前面衝突用エアバックセンサーは車両前方左右両端から約30度の範囲で作動し、衝突速度は衝突する対象物がコンクリート壁のように動かないものなら20km/h以上で作動するが、停車中の車両のように衝突後動いてしまうようなものでは50km/h以上でも作動しないことがある。また、道路標識のポールなどのようにセンサーが認識する面積が狭い場合エアバックが作動しないときがある。



付図－2. 1 エアバックの可動範囲

また、エアバックが作動しても衝突時に乗員の運動方向にエアバックが無いと乗員を保護することにはならない。そのため、車両本体の安全性を確認するために衝突実験を実施しているが、そのときの車両方向は第1章の1. 1. 4. に示してあるように死亡事故の多い正面及び側面からの衝突を想定している。また、車両の安全性評価は、主に車両内に搭載したダミー（人間の動きと相関性のある人形）により行っている。



付図－2. 2 衝突時の乗員頭部移動状況

2 各国の衝突安全基準

乗員の衝突時の安全性については主に正面、側面衝突の実験により検証されている。このような研究は、欧米各国が長年にわたって進めている。以下に欧米各国の自動車関係の乗員安全性の基準を示す。また、表-1に各国の実施している評価方法の一覧を示す。

2. 1 アメリカ

アメリカは、FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) により自動車の安全基準が定められている。このFMVSSの内容は事故回避関係、衝突時の安全性、衝突後の安全性について規定している。以下に衝突時の安全性に関して記述を行う。

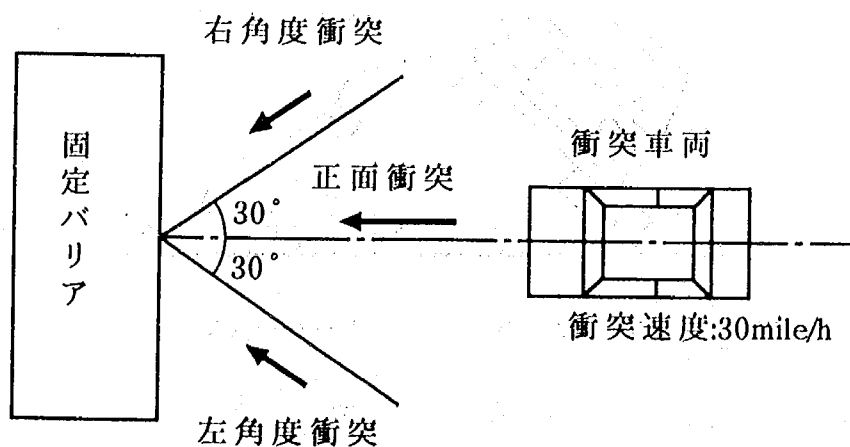
(1) 前面衝突

アメリカの前面衝突に関する乗員の安全性は、FMVSS 208 [Occupant Crush Protection] により規定されている。なお、前面衝突とは正面衝突及び左右角度衝突のことを示している。この場合、以下の理由で、試験車両の正面衝突時の乗員傷害値が、左右角度衝突をも代表する値となっている。

衝突速度30mph(約48km/h)で、正面バリヤ、左右角度バリヤ(正面に対して左右30度)、ロールオーバー及び20mph(約34km/h)で左右側面バリヤの衝突実験を行った時、ダミーに生じる傷害基準値を満足することとしている。なお、ここでいう傷害基準値は、以下の事項をいう。

- ・ H I C (頭部傷害値) $\leq 1,000$
- ・ 顔面裂傷は、少ないこと
- ・ 首モーメント $\leq 200 (N \cdot m)$
- ・ 胸部加速度 $\leq 60 (G)$
- ・ 胸部変位 $\leq 75 (mm)$
- ・ 大腿荷重 $\leq 1012 (kgf)$

HIC、大腿荷重については第4章を参照



付図-2. 3 正面及び左右角度衝突実験

(2)側面衝突

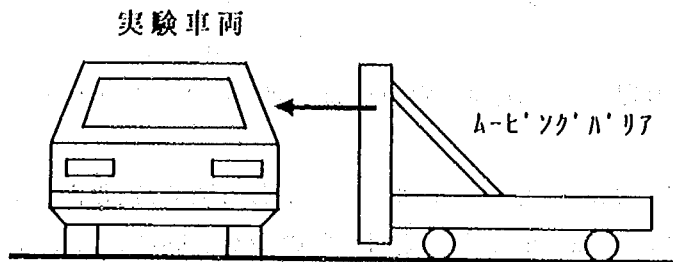
側面衝突の場合、FMVSS 301により衝突後の車両に燃料漏れなどが無いこととしている。

しかし、アメリカでは、樹木や照明器具の路側物体への側面衝突により毎年乗員の1,600人の死者と60,000人の負傷者を出していることから、側面衝突時の安全性の研究は正面衝突と同様に行われている。この場合、基準値となるのは乗員頭部加速度($HIC \leq 1,000$)と胸部加速度($TTI \leq 90G$)とされている。

$$TTI = 0.5 \times (G_R + G_{LS})$$

G_R : 上部及び下部の肋骨のうち大きい方のピーク加速度 (G)

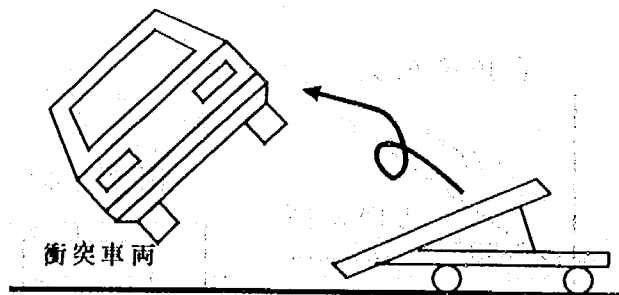
G_{LS} : 低部背骨(T12, 12番目)のピーク加速度 (G)



付図-2. 4. 側面衝突実験

(3)その他

FMVSS 201により車両内部の衝撃緩和対策が規定されている。1993年にロールオーバー事故への対応として、ピラーやサイドレール等に硬質ゴムや発砲材のパッドを追加して、衝突時に発生する乗員の頭部傷害の防止を目的とした改正案が発行された。実施は、1995～1996年を目処に早い時期からの実施を検討している。



付図-2. 5 ロールオーバー実験

2. 2 欧州の衝突安全基準

ECE（国連欧州経済委員会）WP 29で傷害規制による正面衝突規制導入がほぼまとまっている。

側面衝突に関しても、バリア構造やダミー等ほとんど先に規制を開始した米国とは異なる。

(1) 正面衝突

ヨーロッパの正面衝突実験は、車両を48～53.1(km/h)で衝突させ以下に示す基準を満足することとしている。

ステアリング移動量が127mm以下
衝突後、ドアが開くこと
燃料漏れがないこと

(2) 側面衝突

欧州27カ国は、1994年3月に乗用車と小型商用車の側面衝突の際に受ける安全基準を設定した。側面衝突の際に傷害を受ける箇所は主に肋骨骨折であることから、実験は0.95(kg)の台車を車両側方から衝突させ、以下に示す基準値により評価している。このときに用いるダミーは、アメリカとは異なる構造のものをを用いてそれぞれ評価している。

運転者の肋骨のたわみは42(mm)以内
肋骨がきしむ速度は1(m/sec)以内

2. 3 日本の衝突基準

日本における安全基準は、運輸技術審議会答申の中で、前面衝突時の車体本体による衝撃吸収性能の強化についての保安基準の改正により公布され、関連する技術基準や試験方法等も揃い、実施段階に入った。

付表－2. 2 短期規制項目一覧表

項目	適用車種	適用時期
前面衝突時の車両本体による衝撃吸収性能の強化	乗用車	1994. 4
高速時におけるブレーキ性能の強化		
ブレーキ操作力の軽減		
後席 3 点式シートベルトの装備義務付け	乗用車	
シートベルト非着用時警報装置の装備義務付け	小型トラック	
デフロスト性能要件の強化	軽トラック	
ABS(アンチロックブレーキシステム)の装備義務付け対象車種の拡大	中型トラック、大型トレーラ	1995. 9
補助ブレーキの作動時における制動灯の点検義務付け	大型車	1994. 4
内装材の難燃化の義務付け	全車種 (二輪、大特、小特を除く)	
二重アクセルリターンスプリングの装備義務付け		
追突時の燃料漏れ防止要件の強化	乗用車、小型トラック	

この中で、乗員の衝突安全に関する項目は「前面衝突時の車両本体による衝撃度吸収性能の強化」であり、言葉の通り前面衝突のみを規定している。

全面衝突試験は、米国の実験30mil/hに近い速度50(km/h)で対象車両をで走行させ、バリア前面に垂直に正面衝突させる。判定基準は、以下に示す。

- ・ H I C (頭部傷害値) $\leq 1,000$
- ・ 胸部加速度 $\leq 60(G)$
- ・ 大腿荷重 $\leq 1012(kgf)$
- ・ ダミーは座席に拘束されていること

HIC、大腿荷重については第4章を参照

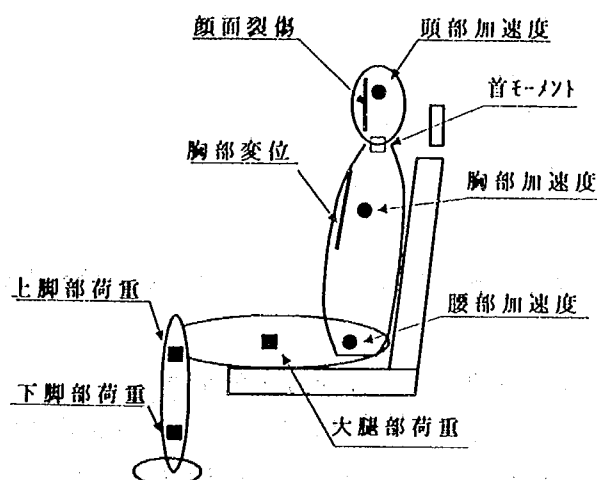
3 計測方法

3.1 ダミー

(1) 前面衝突用ダミー

前面衝突用のダミーは、各国ともCFR（米国連邦法規総覧）、Title49, Part572 subpart Bに規定されたHybrid IIダミー又はCFR、Title49, Part 572 subpart Eに規定されたHybrid IIIダミーであって米国成人男子の50パーセントタイルのもの又はこれらと同等の性能を有するものとする（付表－1. 1 参照）。なお、アメリカでは1993年11月に乗員保護の衝突テストに対するダミーをHybrid IIIに限定するファイナルルールが発行され、これは1997年9月以降の適用となる。

車両の安全性を検証する実験では、乗員の傷害基準値をダミーに取り付けられたセンサーにより計測されたものを用いている。付図－2. 6にダミー各部（Hybrid III）の計測項目を示す。



付図－2. 6 ダミー各部（Hybrid III）の計測項目

ダミーは、衝突時の乗員挙動を正確に再現する必要がある。ダミー各部の特性は、ダミーの検定方法に従った検定に適合することとされており、その検定には実験前に頭部、首部、胸部、脚部、腰部などを行う。

(2) 側面衝突用ダミー

車両の側面衝突時の安全性を検討するため、側面衝突用ダミーの研究開発が欧米各国で正面衝突用ダミーと同様に行われている。現在までに開発された側面衝突用ダミーは、以下に示す。

米国：SID(Side Impact Dummy)

Ford Dummy

BIOSID(Biofidelic Side Impact Dummy)

欧州：APR Dummy(Association Peugeot/Renault Dummy)

MIRA Dummy(Motor Industry Research Association Dummy)

ONSER Dummy

TRRL Dummy(Transport and Road Research Laboratory Dummy)

EUROSID Dummy(European Side Impact Dummy)

これらのダミーは、前面衝突用のHybrid-IIやHybrid-IIIダミーをもとに各部を生体の側面特性を考慮して側面ダミーに改造したものである。

このダミーも全面衝突用ダミーと同様に、実験前に頭部、首部、胸部、脚部、腰部などを行う。

2. 3. 2. 記録方法

日本における自動車の衝撃試験における計測方法は、国際規格 ISO 6487(Road vehicles-Techniques of Measurement in Impact Tests-Instrumentation), SAE J 211(Instrumentation for Impact Tests)との整合性をはかり、JIS D 1050(1986)により、自動車の衝撃試験における計測(電気計測)に関して規定されている。付図-2. 7は代表的な計測機器の構成を示している。

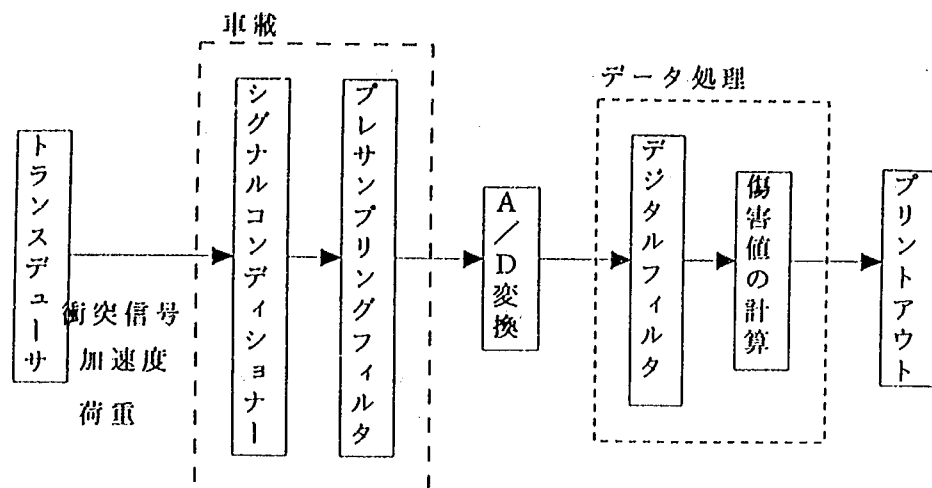


図-2. 7. 車両の安全性評価で行われる計測機器の構成

(1) トランスデューサとシグナルコンディショナの精度

通常トランスデューサの出力電圧は数mVで、データ解析のためにシグナルコンディショナによって数mVまで増幅される。このとき重要になるのはトランスデューサの出力特性やシグナルコンディショナの増幅が直線的な比例関係を有しているかであり、これらを表すために感度係数や直線性精度のような静的精度が要求される。

また、動的精度で考慮する必要があるのは、トランスデューサ（主に加速度計）の周波数応答特性である。乗員傷害値は高周波数領域までの計測が必要であり、周波数の出力/入力特性が、増幅したり減衰したりしない平坦な特性のものが要求される。

(2) プレサンプリングフィルタ処理とサンプリングレート

衝突時の各データは広範囲な周波数成分から構成されており、アナログデータがサンプリング周波数の1/2以上の周波数成分を持っている場合、そのままデジタル処理を行うとその反対側の周波数成分の領域にエイリアジング現象（折り返し雑音）が発生する。したがって、これを防ぐためA/D変換する前にプレサンプリングフィルタ処理を行う必要がある。

プレサンプリングフィルタは、チャンネルクラス（付表-2. 3参照）1,000以上の周波数特性を持ったアナログローパスフィルタによって処理される。

アナログデータは、A/D変換器によってデジタルデータ化されるが、A/D変換器によってアナログデータの持つ情報を失わないようにサンプリングレートを決定する必要がある。車両本体の安全性を確認する衝突実験では、サンプリングレートは表-2. に示す周波数の8倍以上または8,000サンプル/秒(0.125msec/サンプル)以上で処理をするようSAE J211などで規定されている。

(3)フィルタ処理

異なる場所で行った実験データを比較したり、乗員の傷害値特性を比較するためには、データの中に含まれる不必要な周波数成分を除去し、同一の周波数特性の条件下で計測することが重要である。計測チャンネルの周波数特性は付表－2. 3に示すような校正信号の周波数に対する出力／入力比をプロットされた周波数特性カーブで表される。

これらの周波数特性カーブの呼び方として、それぞれの周波数特性を示すチャンネルクラスがある。

付表－2. 3 周波数クラスの選択

試験計測の周波数応答		周波数クラス	
		S A E J 2 1 1	E C E Draft
車両加速度	車両全体の加速度比較	6 0	6 0
	シミュレーション入力(例:インパクタスレッド)	6 0	—
	車両構成要素解析	6 0 0	—
	速度変位算出用の積分	1 8 0	1 8 0
バリア面の荷重計		6 0	—
乗 員	シートベルト等の拘束系荷重	6 0	—
	頭 減速度	1 0 0 0	6 0 0
	胸 減速度	1 8 0	1 8 0
	胸 変位	1 8 0	—
	大腿荷重	6 0 0	6 0 0
スレッド加速度		6 0	—
ステアリング荷重		6 0 0	—
ヘッドフォーム加速度		1 0 0 0	—

[illegible]

[illegible]

[illegible]

防護柵衝突実験時の乗員の安全性評価

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3380号

平成7年10月(1995)

交通安全研究室 室 長 瀬尾卓也

主任研究員 安藤和彦

部外研究員 梶 聡*

*部外研究員在職期間(平成5年4月から平成7年3月まで)

要旨 進行方向を誤った車両が防護柵に衝突する時に車両や乗員に衝撃が発生するが、この衝撃が大きい場合乗員に重大な傷害を引き起こす。現在、防護柵の設計・設置指針として用いられている防護柵設置要綱では、乗員保護のため、乗員の安全性に関して規定を設けているが、この規定は衝突速度60km/hまでを対象としており、これを超える衝突速度に対しては、乗員の保護基準が設けられていない。しかし近年、幹線道路網の整備や車両性能の向上により、道路交通状況は要綱制定当時より高速化が進み、乗用車類等の被害の大きくなりやすい車種が増加している。反面、シートベルトの着用が義務化され、乗員へのある程度の衝撃も許容できるようになってきているなど、乗用車の高速衝突時などにおける乗員の安全性評価基準について、新たな検討が必要となってきている。本報告書は、現在の交通状況を踏まえ、防護柵衝突時の乗員の安全性を判断する手法を再検討するため、国内外の乗員の安全性に関する評価手法をまとめるとともに、過去に土木研究所で行われた衝突実験の乗員への衝撃に関するデータを体系的にとりまとめた。

キーワード：防護柵、衝突実験、衝撃、乗員安全性

郵便はがき

いは50
円切
手さ
を

305-□□

建設省土木研究所

道路部交通安全研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3380号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印