

衝突車両に対応した緩衝施設による 交通安全対策に関する検討

豊 福 俊 泰¹

¹正会員 工博 九州産業大学教授 工学部土木工学科 (〒813-8503 福岡市東区松香台 2-3-1)

本文は、高速道路の分岐部などの施設や構造物に衝突して起こる障害物衝突事故にともなう交通死亡事故を減らすため、これらの箇所に設置する緩衝施設（衝撃吸収装置）の性能を、わが国で初めて実車試験によって確認するとともに、実際に高速自動車国道で試験施工が行われた箇所の追跡調査結果から、その効果を検討したものである。

Key Words : crash cushion, full-scale vehicle crash tests, vehicle crash against barrier

1. まえがき

1997年3月7日のNHKクローズアップ現代「死者1700人障害物衝突事故の恐怖」は、「わが国では、毎年1万人以上の尊い命が交通事故で失われており、このうち道路近くの構造物（防護柵の支柱、電柱、橋脚、標識など）に衝突して起こる障害物衝突事故によって約1700人が死亡し、約23,000人が重軽傷を負っているのが現状であり、道路の安全性を高める効果的な対策をとる必要があること」を、提起した¹⁾。米国では、1966年に連邦ハイウェイ安全法案が成立し、1980年代からドライバーを道路構造物の激突死から守るための安全基準が定められており、交通死亡事故を減らすために、道路の関連施設に対して各種の対策が講じられている^{2), 3)}。障害物衝突事故が起こった場合であっても、ドライバーを重傷に至らしめないように、各種の緩衝施設（緩衝材、衝撃吸収装置とも言う）が開発、設置されており、既に効果を発揮している⁴⁾。



一方、わが国では、防護柵設置の技術基準が制定されているにすぎず、緩衝施設による交通安全対策を採用するには至っていないが⁵⁾、1982年頃から、クッションドラムによる緩衝施設に関する試験研究⁶⁾が行われ、丸型および角型のクッションドラムが全国的に普

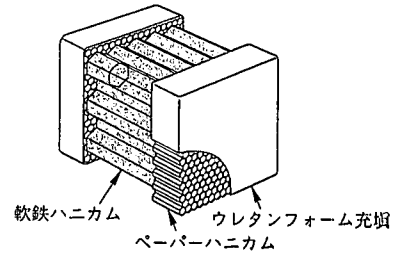
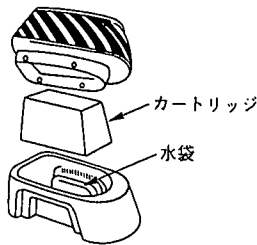
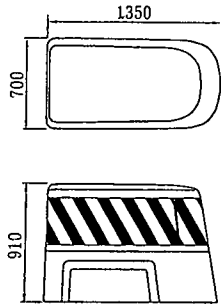
及してきた。また、1988年頃から米国仕様の緩衝施設（衝撃吸収装置）に関する試験研究が行われ、試験設置の段階であるが、1992年9月に北海道中標津の道道で米国仕様の緩衝施設が設置されたのを最初に、道内では道道、国道等の約60箇所に設置されており、18人の人命を救った実績⁷⁾などがある（1998年10月現在）。

1998年11月に「防護柵の設置基準」が改定され、「車両用防護柵は、端部への車両衝突時の緩衝性の向上に配慮して設置する」、「高速道路などの分岐部に車両用防護柵を設置する場合は、注意喚起施設または他の緩衝材を併設するなどにより、衝突防止または緩衝性の向上を図る」等が規定された⁸⁾。しかるに、緩衝施設に関する試験研究は、前述のようにクッションドラムに関して実車試験が行われているにすぎず、より一層の研究開発が期待されている。

そこで、本研究は、クッションドラムより高性能の緩衝施設（衝撃吸収装置）を開発し、これらの性能をわが国で初めて実車による衝突試験を行った結果から確認するとともに⁹⁾、第三京浜道路都筑IC、東北自動車道浦和料金所、東京外郭環状道路川口JCT等における試験施工の追跡調査結果から、高速自動車国道に適合する緩衝施設を検討したものである。

表-1 緩衝施設の衝突試験条件

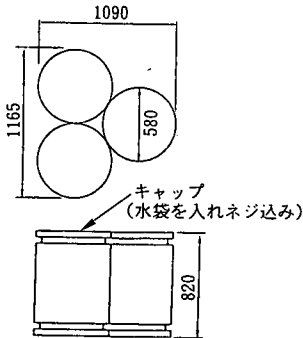
衝撃吸収装置の種類		衝突形態	衝突車	乗員(ダミー)	衝突速度
40km/h用	装置A	 コンクリート壁	国産小型乗用車 (車両質量1430kg)	Hybrid-III 1体 (運転席)	40km/h
	装置B				55km/h
96km/h用	装置C		国産小型乗用車 (車両質量1238kg)	Hybrid-II 1体 (運転席)	80km/h 80km/h



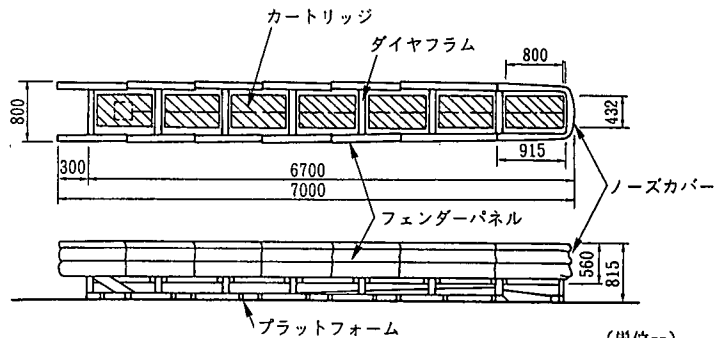
装置の構成

カートリッジの構造

(a) 装置A (衝撃吸収装置)



(b) 装置B (丸型クッションドラム)



(c) 装置C (衝撃吸収装置)

(単位:mm)

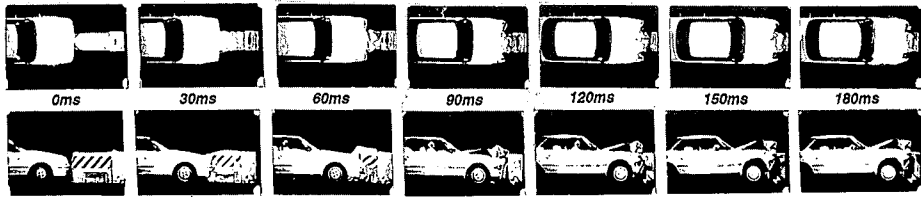
図-1 試験した緩衝施設

2. 緩衝施設の性能試験

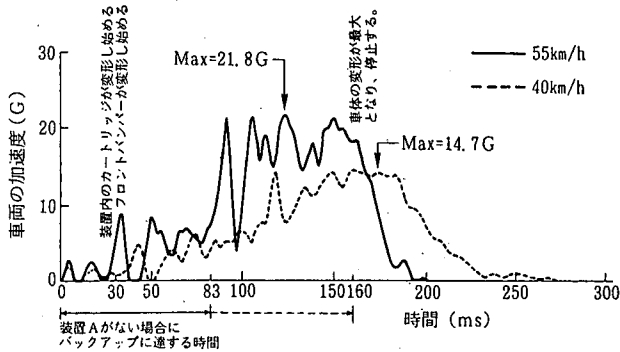
(1) 衝突試験方法

緩衝施設の性能は、日本自動車研究所内衝突実験場において、実車による衝突試験を行って検討した。緩衝施設は、米国では2万箇所以上に設置されており、道路管理者が、設置箇所の規制速度、線形、スペースなどの道

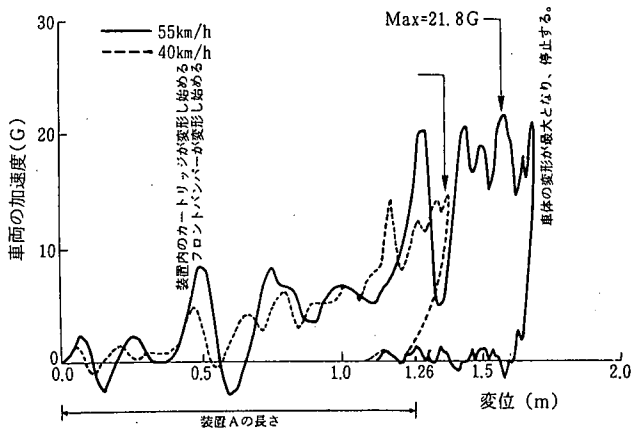
路条件に応じて、衝突車の想定衝突速度および装置の種類を、決定しているのが現状である。わが国の高速自動車国道に設置する場合、低速から高速までで突入する衝突車が想定されることから、表-1および図-1に示すように、インターチェンジ等のランプ部（一般に規制速度40km/h）で進路を誤る車両への対応を想定した40km/h用および本線部（一般に規制速度100または80km/h）で進路を誤る車両への対応を想定した96km/h用の3種類の装置を、代表例として選定した。衝突条件は、防護



(a) 衝突中の挙動 (55km/h)



(b) 衝突車の重心点付近の加速度と経過時間との関係 (X軸)



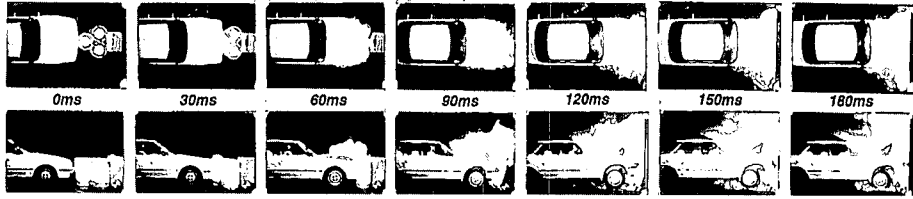
(c) 衝突車の重心点付近の加速度と変位との関係 (G-S線図)

図-2 衝突車の重心点付近の加速度と経過時間, 変位との関係 (装置A)

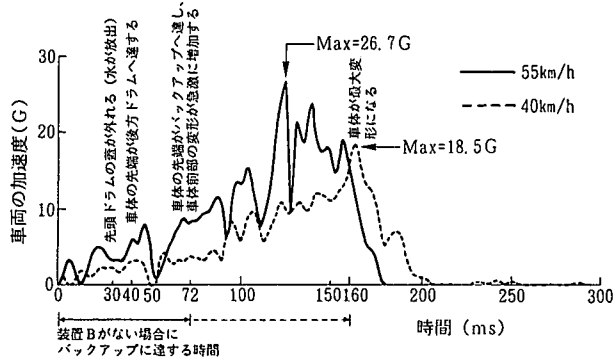
柵衝突死傷事故件数をみると大型車に比べ普通車の比率が約 96%と極めて高いこと⁹⁾, 衝突事故死亡者数が正面衝突の場合に約 50%と最も多いこと¹⁰⁾などを考慮して, 衝突車: 国産小型乗用車, 衝突速度: 40, 55, 80km/h, 衝突角度: 0° (正面) の場合に対して, 効果を検討した。

40km/h用の装置Aは, 筆者らが開発したものであり, ポリエチレン製カバー中に, 衝突車高に米国製カートリッジ (紙と軟鉄のハニカム構造中にウレタンフォームを充填) 1個を, また, 底部に水袋を内蔵する装置である

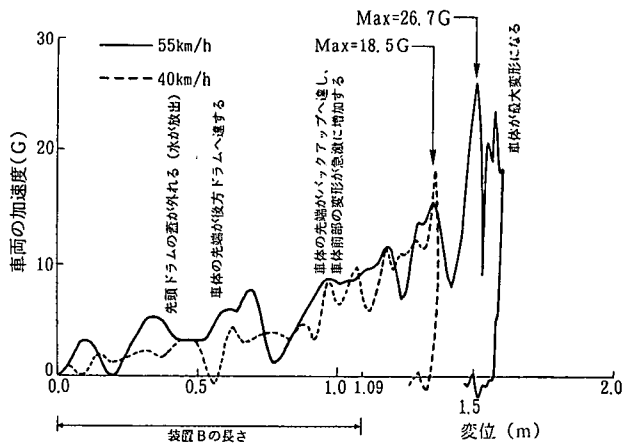
(図-1(a)参照)⁹⁾。装置Bは, 今まで設置例が多いクッションドラム3個であり, 衝突試験結果も報告されている装置⁶⁾である (図-1(b)参照)。試験は, 各装置をコンクリート壁の前に設置し, 国産小型乗用車 (1430kg) を40および55km/hの速度で衝突させる方法で行った。本実験では, 衝突車の衝突速度, 搭載ダミー・車体の加速度, 車両の挙動, 損傷状況 (変形量) を測定した。衝突車の車体加速度は, 容量100Gの歪ゲージ型加速度計を使用し, 車両重心点付近 (シフトレバー後方) およびサイドシル (前方側方のフレーム) において計測



(a) 衝突中の挙動 (55km/h)



(b) 衝突車の重心点付近の加速度と経過時間との関係 (X軸)



(c) 衝突車の重心点付近の加速度と変位との関係 (G-S線図)

図-3 衝突車の重心点付近の加速度と経過時間, 変位との関係 (装置B)

した。加速度データは、トランクルーム内に取り付けたデジタル式車載データ収録装置で収録し、JIS D 1050「自動車の衝突試験における計測」に準じたフィルタ処理を行って、X-Yプロッタにより作図した。また、車両の挙動は、合計6台の高速度カメラ・ビデオで撮影した。

96km/h用の装置Cは、鋼製のフェンダーパネルとダイヤフラムで仕切られた部分にカートリッジ7個を内蔵しており、車両衝突時には、フェンダーパネルがスライドしながら衝突エネルギーを吸収する装置である (図-1

(c)参照)。クッションドラムについては、96km/h程度の高速用の緩衝施設としては製造されていないため、試験から除外した。試験は、装置Cをコンクリート壁の前に設置後、国産小型乗用車(1238kg)を80km/hの速度で計2回衝突させ、40km/h用装置の場合と同様に、衝突車の加速度等を測定した。

(2) 試験結果

a) 40km/h用の緩衝施設

試験結果から装置Aの場合について、衝突車の重心点

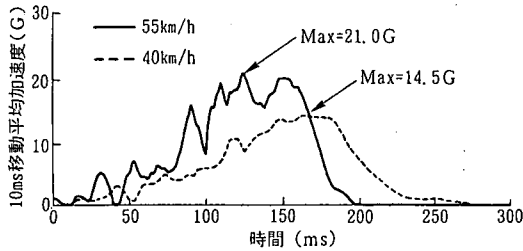


図-4 衝突車の重心点付近の10ms移動平均加速度
(装置A, X軸)

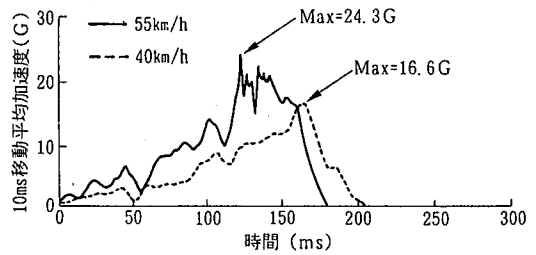


図-5 衝突車の重心点付近の10ms移動平均加速度
(装置B, X軸)

付近のX軸(進行方向)に生じた加速度と衝突後の経過時間および変位(車両の潰れと供試体の潰れが含まれる動的変位)との関係を求めると、図-2に示すとおりである。衝突中の車両の挙動(55km/hの場合で代表)は、衝突瞬間から約40msまで車両前部の変形は少なく、装置A内のカートリッジのみが潰れていく。これ以降、装置Aと車両の変形が同時に進行し、約160ms時点で車両の変形が最大となり停止する。衝突車の変位と加速度との関係は、衝突瞬間から約1.1mまで加速度の増加が緩やかである。それ以降は、同一レベルの加速度を維持しながら最大変形に達しており、装置Aのカートリッジが効果的に潰れていると推察される。

一方、装置Bの場合について、同様に衝突車の加速度と衝突後の経過時間、車両の変位との関係を求めると、図-3に示すとおりである。衝撃により約30msで先頭ドラムの蓋が外れ、内部の水袋が破裂して水が放出し始める。衝突車は、約40msで車両先端が後方のドラムに達しており、その後、車両の先端はバックアップのコンクリート壁に達し、車両前部の変形が急激に増加している。変位毎に加速度が上昇し、ピーク値に達する傾向を示した。バックアップに二次衝突したと推察される1.3m以降では、急激な加速度の上昇が認められる。

図-4および図-5は、衝突車の10ms移動平均加速度を装置A、装置Bについてそれぞれ求めたものである。乗員の安全性を評価する基準としては、米国のNCHRP 350(National Cooperative Highway Research Program Report 350³⁾)によると、重い後遺症を残さない傷害となる車両加速度を限界許容値20Gとし、その75%を推奨許容値15Gとしている。これらの規定値を参考に改定された防護柵の設置基準³⁾では、剛性防護柵に対して

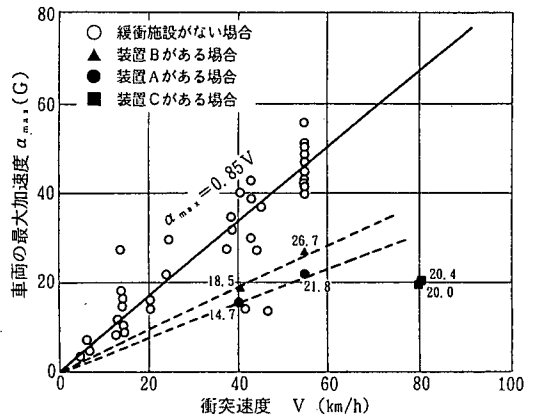


図-6 衝突速度と車両の最大加速度との関係

表-2 ダミーの傷害度(40km/h)

項目	規格値注)	装置A	装置B
頭部傷害指数	1000以下	80	180
胸部加速度(G・3ms)	60以下	20	21.8
大腿部荷重(kgf)	右脚: 1021以下	21.6	9.8
	左脚: 1021以下	42.2	28.4
2次衝突速度(m/s)	前後方向12以下	11.7	11.2

注) 米国のFMVSS 208項およびNCHRP 350の規格値

防護柵の種別(緩衝性)に応じて120, 180, 200m/s²/10ms未滿と、それぞれ規定されている。装置Aの場合、40km/hで14.5G、55km/hで21.0G、また、装置Bの場合、それぞれ16.6G、24.3Gとなった。いずれも55km/hでは20G以下を満足していないが、装置Aは、約50km/hまでではこの許容値を満足するものと推察される。

また、衝突車の加速度と衝突速度との関係は、乗用車のバリア衝突時の車両最大加速度の測定値¹⁾とともに

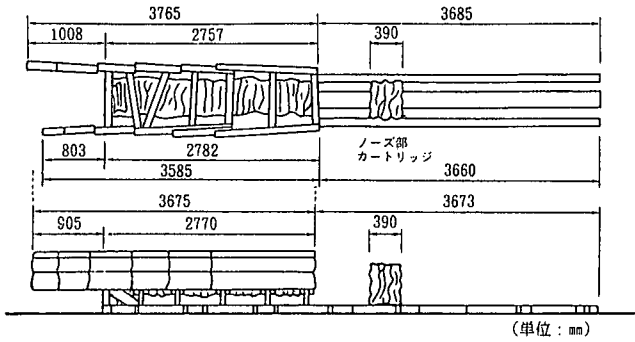


図-7 緩衝施設の変形状況 (装置C)

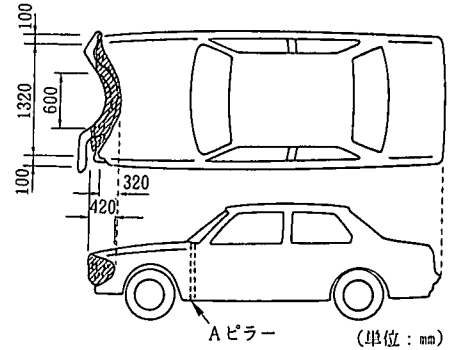


図-8 衝突車の変形状況 (装置C)

示すと、図-6 のとおりである。装置Aを使用した場合、車両に発生する加速度は、装置Bに比べ高速になるほど低減する傾向が認められ、同等の速度での衝突であれば、車体の加速度を約 1/2 に低減させる効果があると考えられる。

衝突車の変形状況は、車室内は衝突前の状態が保たれておりフロントバンパー部だけの潰れであるが、変形面積は、バックアップの壁にも衝突した装置Bの場合の方が、装置Aの場合より広がっている。乗員 (ダミー) の傷害値は、表-2 に示すように、いずれの部位についても FMVSS 208 項 (Federal Motor Vehicle Safety Standard 208, NCHRP 230²⁾ の評価要件から乗員の危険度の G 項) の各規準値を下回っており、乗員に対する安全性が確保されることが確認された。

b) 96km/h 用の緩衝施設

図-7、図-8 は、衝突による緩衝施設 (装置C)、衝突車の変形状況を、それぞれ示したものである。高速写真から求めた衝突中の装置Cの最大変形量は、概略 3.28m 程度であり、装置全長 7.0m に対してはおよそ半分程度 (47%) が、変形部材のカートリッジ (緩衝材) のみの全長 5.6m に対しては 59% 程度が変形している。後者の変形割合からみれば、まだ衝撃を吸収しうる量が残された状態である。一方、衝突車外板部の変形は、全て A ピラー一部より前方で生じており、最大変形量は 420 mm である。車室内の変形は、外観的には皆無であり、乗員の生存空間は十分確保された状態である。

図-9 は、衝突車のストローク量と速度変化との関係を示したものであり、車体は速度が漸減しながら最大 3.7m (車両前部の変形量も含む) 程度ストロークした後、

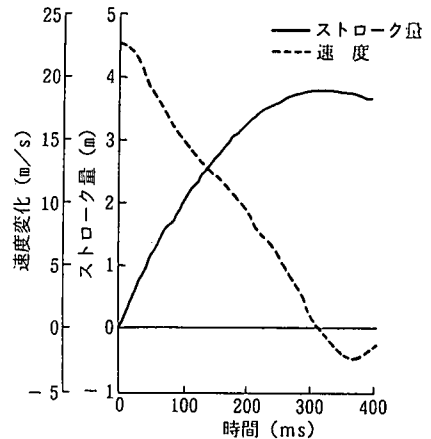


図-9 衝突車のストローク量および速度の変化 (装置C)

装置Cから離れ始めている。この間の衝突車の重心点付近の加速度 (X軸) を、図-10 に示す。衝突初期の 40 ms 付近で最大加速度 20.0G (2 回目は 20.4G) が発生している。(a)の部分は、先頭のカートリッジが潰れながら車両前部にくい込んでいく過程を、(b)の部分は、2 番目以降のカートリッジが潰れ始めるのと同時に、フェンダーパネルの摺動部が静摩擦から動摩擦に移行する瞬間の過程を、(c)の部分は装置全体が潰れていく過程を、それぞれ示している。

また、図-11 は、衝突車の重心点付近の 10ms 移動平均加速度 (X軸) であり、最大値は衝突初期の 65ms 付近 (装置C全体が潰れ始める付近) で発生しており、その値は 13.4G (2 回目は 13.0G) である。この値は、NCHRP 350 の限界許容値 20G より明らかに低くなっており、安全性が確認された。

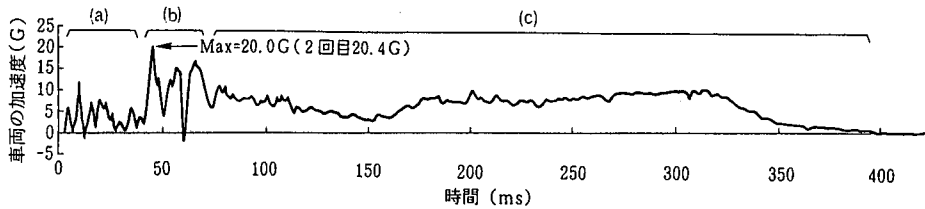


図-10 衝突車の重心点付近の加速度 (装置C, X軸)

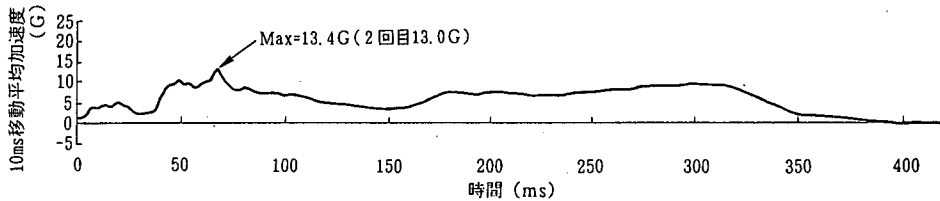


図-11 衝突車の重心点付近の10ms移動平均加速度 (装置C, X軸)

3. 緩衝施設の設置箇所の検討

高速自動車国道は、安全走行に必要な視距を確保した幾何構造で設計され、標識や視線誘導標の設置によって、運転者が走行中に容易に道路状況を把握でき、快適な走行ができ、交通事故の防止にも役立つように安全対策がとられている。したがって、一般の道路に比較して死傷事故率(件/億台キロ)は約1/11である。総死亡事故件数は289件であるが、そのうち規制速度超過が約78%、車種別には乗用車が約50%で、貨物車の約37%を上回っている(平成9年度)¹²⁾。しかし、一層の交通安全対策が望まれており、現状の交通事故のうち車線部で進路を誤った車両が、道路構造物へ衝突することに起因する死亡事故を低減する可能性が考えられる箇所は、次のとおりである。

- ①インターチェンジ、ジャンクションの流出ランプ側の分岐ノーズ部
- ②サービスエリア、パーキングエリアの減速車線側の分岐ノーズ部
- ③料金所(本線料金所、インターチェンジ料金所)のトールアイランドの先端部
- ④インターチェンジ料金所の流入ランプ側の分岐ノーズ部
- ⑤バスストップ(第1種)の減速車線側の分岐ノーズ部

ズ部

⑥防護柵の端末

これらの箇所のうち、①、②および③(本線料金所)の箇所は、高速走行中であるため、進路を誤って衝突した場合には重大事故となる可能性があり、現状でもクッションドラムの設置事例が多い。

以上のことから、前述の性能試験で死亡事故の低減が期待された緩衝施設が、交通量が多い関東地区で試験施工され、追跡調査された結果(1998年12月現在)を検討することとした。

4. 緩衝施設の試験施工

(1) インターチェンジおよびジャンクションの流出ランプ側の分岐ノーズ部での試験施工(40km/h用緩衝施設の設置)

インターチェンジ(IC)およびジャンクション(JCT)の流出ランプ、ならびにサービスエリアおよびパーキングエリアの減速車線は、一般に規制速度が40km/hである。特に、前2者は、後2者に比較して交通量が多いため、衝突事故数も多くなっている。そこで、東京外郭環状道路のインターチェンジ(三郷西ICの計1箇所)およびジャンクション(三郷JCT、川口JCT、美女木JCT、大泉JCTの計6箇所)の分岐ノーズ部に対し、40km/h

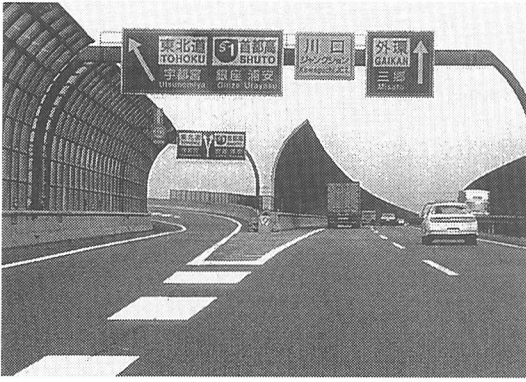


写真-1 川口JCTの分岐ノーズ部



写真-3 都筑ICの分岐ノーズ部

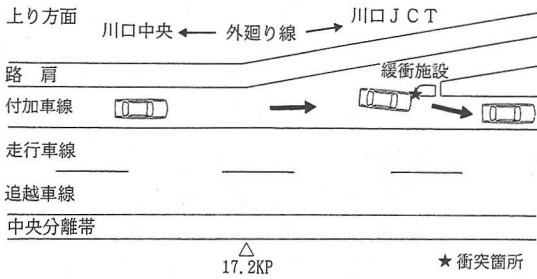


図-12 事故発生状況

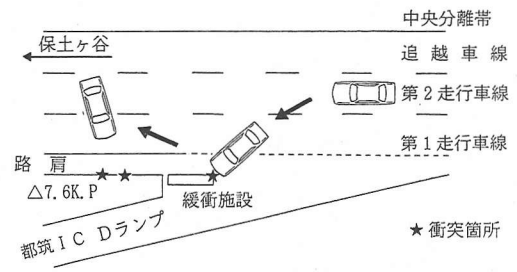


図-13 事故発生状況



写真-2 衝突状況



写真-4 衝突状況

用緩衝施設を設置する試験施工が行われた(川口JCTを代表例に、写真-1参照)。交通量は、本線断面で約80千台/日、IC出入りで約150千台/日(1997年平均)である。

緩衝施設は1998年3月に設置されたが、1998年4月から11月の間に9件の衝突事故が発生した。そのうち3件は、原因者不明である。図-12に示す川口JCTでの事故の場合、小型乗用車が、川口中央方面から川口JCT

方面に向け約50km/hで付加車線を進行中、前車に異常接近し急ハンドルを切ったため、分岐端に衝突したものである(写真-2参照)。運転者は63歳男性であり、車両は中破(自走不可)したが、本人は無傷であった。

(2) インターチェンジの流出ランプ側の分岐ノーズ部での試験施工(80km/h用緩衝施設の設置)

第三京浜道路の都筑ICは、1995年4月に追加供用さ

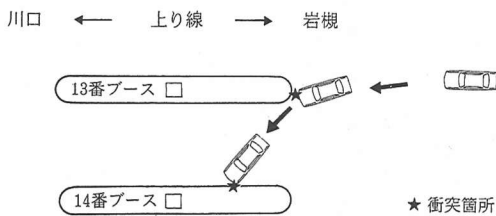


図-14 事故発生状況

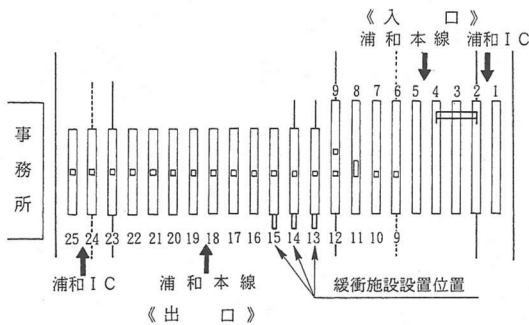


図-15 緩衝施設の設置位置



写真-5 緩衝施設の設置状況

れたインターチェンジであり、横浜市北部に位置する港北ニュータウンに最も近接するインターチェンジとして、供用後利用台数が着実に増加している。交通量は、本線断面で約113千台/日、IC出入りで約42千台/日(1997年平均)である。

本ICの下り線流出ランプは、左カーブ内に分岐部があり、分岐部に衝突した事故が何例かあった。このため、重大事故の回避を目的として、1998年6月に、80km/h用緩衝施設の試験施工が行われた(写真-3参照)。

2箇月後の1998年8月深夜に、図-13に示す事故が発生した。小型乗用車が、第二走行車線を100km/hで

進行中、携帯電話に夢中になり都筑IC流出ランプに気づくのが遅れ、慌てて左に急ハンドル操作を行い、分岐部に衝突したものである(写真-4参照)。運転者は35歳男性(運転歴2年7箇月)であり、車両は大破したが、本人はかすり傷程度であった。

(3) 本線料金所のトールアイランドでの試験施工(60km/h用緩衝施設の設置)

東北自動車道浦和料金所は、本線断面で約89千台/日の交通量であり、入口7ブース、出口15ブースで、浦和ICの入口、出口各2ブースが併設されている。トールアイランドへの衝突事故は、7件/年程度発生しているが、1998年5月、図-14に示す死亡事故が発生した。小型乗用車が、浦和TB上り線を推定速度100km/hで進行中、原因不明であるが脇見運転により13番ブースに衝突し、反動で隣接する14番ブースに衝突して停止したものである。運転者は、53歳の個人タクシー運転手で、車両が大破し即死であった。

このため、死亡事故の再発を防止するため、図-15に示すように、1998年10月、13~15番ブースに60km/h用緩衝施設が設置された(写真-5参照)。2箇月経過した現在まで、事故は再発していないが、本線料金所では、トールアイランドの間近付近まで減速せずに進行する車両があり、衝突の危険性が高いことが懸念される。

5. まとめ

本研究の結果、代表例として選定した緩衝施設について衝突試験を行った範囲内ではあるが、これらの装置は、小型乗用車が衝突する事故に対し、安全が確保されることが確認された。また、高速自動車国道では、「交通安全」に向けて積極的に取り組まれているが、緩衝施設をインターチェンジ、ジャンクションおよび料金所において試験施工し追跡調査された結果からは、短期間ではあるが死亡事故は発生しておらず、さらなる運転者の安全確保への効果が期待されることが判明した。

緩衝施設を設置する工法を選定する場合、衝突車の想定衝突速度をまず決定する必要があるが、死亡事故を最

大限に低減するためには、分岐ノーズ部に突入する車両速度を、本線の規制速度（最大 100km/h）程度に決定するのが良いと考えられる。しかし、死亡事故の発生原因は、一律ではなく多岐に渡ることから、設置箇所の交通量、幾何構造、気象条件等の道路条件に応じたサービスレベルおよび経済性を考慮して、総合的に決定する必要がある。

本研究が、交通事故死の低減のために一助となれば幸いである。

謝辞：高速自動車国道における緩衝施設の試験施工および追跡調査結果については、日本道路公団東京第一管理局京浜管理事務所、同東京第二管理局三郷管理事務所および同東京第二管理局加須管理事務所の方々から、資料の御協力を頂いた。各位に対し、深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 交通事故総合分析センター：交通統計平成 10 年度，1999. 4.
- 2) Michie, J. D. : Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances, Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program Report 230, 1981.
- 3) Ross, H. E. JR., Sickling, D. L., Zimmer, R. A. and Michie, J. D. : Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, Transportation Research

Board, National Cooperative Highway Research Program Report 350, 1993.

- 4) (外国論文紹介) J. D. ミッシェ, M.E. ブロンスタッド：車両搭載型緩衝装置の性能および運用実態について，高速道路と自動車，第 37 巻，第 7 号，pp. 73-87, 1994. 7.
- 5) 日本道路協会：防護柵設置要綱，1965. 4., 1972. 10., 日本道路協会：防護柵設置要綱・資料集（橋梁用防護柵・耐雪型防護柵），1986. 7.
- 6) 安藤和彦, 仲矢忠士：クッションドラムの衝撃効果，第 17 回日本道路学会論文集 pp. 1086-1087, 1987. 10.
- 7) 総合企画：乗用車は大破しても運転者は無傷—道道根中線の中央分離帯衝撃吸収装置—，月刊新根室，pp. 127, 1994. 8.
- 8) 日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説，1998. 11.
- 9) 豊福俊泰, 深澤忠男：衝突車両に対応した衝撃吸収装置による交通安全対策，第 22 回日本道路学会論文集，pp. 292-293, 1997. 11.
- 10) 清水和夫：世界トップレベルの衝突安全性 事故実態の科学的分析を行った GOA，日経ビジネス，1996 年 3 月 18 日号，pp. 122-124, 1996. 3.
- 11) 石川博敏：衝突時の車両運動に関する研究，自動車研究，第 12 巻，第 10 号，pp. 25-32, 1990. 10.
- 12) 高速道路調査会：統計とグラフでみる高速道路平成 10 年度版，pp. 40-43, 1999. 3.

(1999. 4. 5 受付)

A EXAMINATION ON TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT BY CRASH CUSHION COPEDED WITH ERRANT VEHICLES

Toshiyasu TOYOFUKU

Highway crash cushions are expected to decrease the traffic accidental death caused by vehicle crash against roadside barrier, such as a nose of verging end, end post, toll island and the like.

Therefore this paper investigates the safety performance of representative crash cushions by the full-scale vehicle crash testing at the first of our country, furthermore, documents the results of follow up investigation of crash cushions set in the national expressway tentatively.