

土木研究センターにおける防護柵等の車両衝突試験

寺田 剛・安藤和彦

1. はじめに

近年、交差点の歩道で待機する歩行者に車が突っ込んだり、子供が歩行中に巻き込まれたりする事故などが多発しており、歩行者の保護対策に対するニーズが高まっている。

歩行者や車両乗員等を保護する道路施設には、ガードレール、ガードパイプ等の防護柵があり、車両の道路外への逸脱を防ぎ、車両の損傷や歩行者等の人的被害を最小限に抑える目的で設置する。

防護柵は、歩行者等を安全に保護する必要があることから、国が性能評価法、設置方法を法令や技術基準等により制定し、(公社)日本道路協会(以下「道路協会」という。)からは、国で制定した法令や技術基準等を分かり易く解説した解説本を発行している。

そこで、本報文では、まず、防護柵等に係る法令・技術基準類と解説書および性能を評価するために実施する実車衝突試験の技術基準上の位置づけについて紹介する。また、一般財団法人土木研究センター(以下「当センター」という。)では、これまでに、国が定めた法令や技術基準等に準拠し、車両用防護柵等の衝突試験を数多く実施してきたので、「当センター」がこれまで実施してきた衝突試験について、その方法や実績等を紹介する。

2. 防護柵等に係る法令と技術基準類

図-1に防護柵等に係る法令・技術基準類および解説書等を示す。

防護柵等の交通安全施設の整備は、昭和30年代後半から本格的に行われるようになり、昭和45年(令和2年改正)に「道路法」¹⁾の規定に基づき制定された「道路構造令」²⁾の第三十一条(交通安全施設)には「交通事故の防止を図るため必要がある場合においては、横断歩道橋等、自動運行補助施設、柵、照明施設、視線誘導標、緊急連絡施設その他これらに類する施設で国土交通省令で定めるものを設

けるものとする。」と「柵を設けること」と定められた。また、道路協会からは、昭和45年には、「道路構造令」を解説した「道路構造令の解説と運用」³⁾が発刊され、交通安全施設として防護柵(車両用防護柵と歩行者自転車用柵)が解説されている。

防護柵に関する最初の技術基準としては、昭和40年に建設省道路局長から「防護柵(ガードフェンス)の設置基準」⁴⁾について(以下「防護柵設置基準」という。))が通達されたのが初めてである。それを受けて、道路協会からも「防護柵設置基準」の解説書として昭和40年に「防護柵設置要綱」⁵⁾が発刊され、昭和42年の改訂版と併せて、それまで各地で異なった基準で設置されていた防護柵が統一された基準のもとに整備されるようになった。

また、昭和47年に「防護柵設置基準」が改訂され、防護柵の形式、種類の選定、構造諸元、設置場所等の仕様が規定された。それを受けて同年に、道路協会の「防護柵設置要綱」も、使用例が多くなった剛性防護柵が追加されるなどの改訂がなされた。さらに昭和61年には、橋梁用防護柵と耐雪型防護柵の設計と運用の考え方を補完的に示した「防護柵設置要綱・資料集」が道路協会から発刊された。

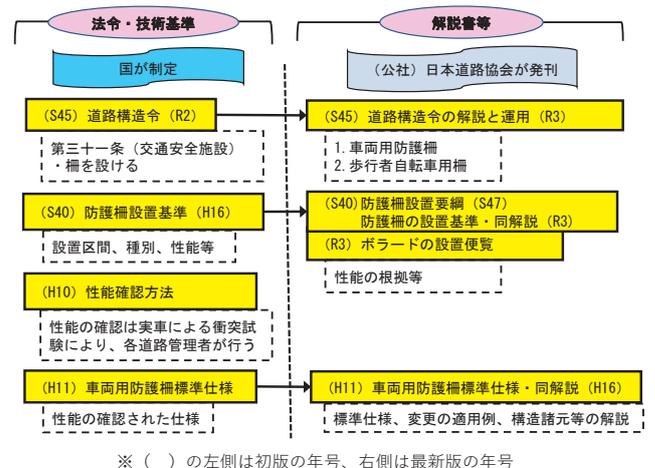


図-1 現在の防護柵に係る技術基準類の体系

その後、国際化に対応した車両の大型化(大型貨物車の最大総重量を20tから25tへ変更)、車両の高

速化、景観に配慮した防護柵への要望など防護柵へのニーズも多種、多様化してきた。これらを踏まえ、様々な防護柵の構造や材料を選択できるように、仕様規定から性能規定への変更等を図ることを中心に「防護柵設置基準」が平成10年に改訂された。また、この改訂された「防護柵設置基準」では、車両用防護柵の性能の確認は「別に通知する方法によるものとする」として、建設省道路局道路環境課長から車両用防護柵の性能確認方法を示した「車両用防護柵性能確認試験方法について（以下「性能確認方法」という。）」⁶⁾が通達され、所定の性能を満足することが実車衝突試験によって確認されれば、原則どのような仕様でも利用できるようになった。それを受けて道路協会からも、平成10年に改訂された「防護柵設置基準」において目的、防護柵の定義、設置する箇所等について具体的に解説するとともに、防護柵の種別や性能については解説を加えた「防護柵の設置基準・同解説」⁷⁾が発刊されている。

また、平成11年に建設省道路局道路環境課長から、これまでに性能の確認されている車両用防護柵についての標準仕様をまとめた「車両用防護柵標準仕様」⁸⁾が通達されている。これを受けて道路協会から、剛性防護柵の標準仕様について設計方法および変更方法の適用例、構造諸元等に関する解説を加えた「車両用防護柵標準仕様・同解説」⁹⁾が平成11年に発刊（平成16年改訂）されている。

一方、近年、交差点の歩道で待機する歩行者等の保護対策に対するニーズが高まっている。これを受けて、道路協会では、道路法第2条第2項第1号に「道路上の柵又は駒止め」と規定されている駒止めの一種であるボラードについて、令和3年に「防護柵の設置基準・同解説」との合本にて、ボラードの交差点内での設置方法や、歩道内への車両の進入を防ぐ強度を有する耐衝撃性ボラードの性能の確認方法をまとめた「ボラードの設置便覧」¹⁰⁾（以下「ボラード便覧」という。）を発刊している。

3. 防護柵およびボラードの種類

防護柵は、車両を対象とする「車両用防護柵」と、歩行者等を対象とする「歩行者自転車用柵」に区分される。写真-1と写真-2にそれぞれの一例を示すが、車両用防護柵は、主として車両が道路外、対向車線または歩道等に逸脱するのを防ぐとともに、乗員の安全確保および車両の破損を最小限にとどめて車両

を正常な方向へ軌道復元させることを目的に設置され、この時の防護柵の構成部材の飛散防止も性能として求められる。歩行者自転車用柵は、歩行者及び自転車の転落や横断を防止することを目的に設置される。

ボラードは、車両の衝突に対して抵抗せず視覚的に歩道の境を強調し車両の侵入を抑えるN型と、交差点開口部の歩道部と車道部を区分し車両の侵入を防止させ、歩行者等の人的被害の発生を防止しようとする耐衝撃性が強いH型がある。H型ボラードの一例を写真-3に示す。



写真-1 車両用防護柵の一例(ガードレール)



写真-2 歩行者自転車用柵の一例(横断防止柵)



写真-3 H型ボラードの一例

4. 実車衝突試験の内容（車両用防護柵）

車両用防護柵について、「防護柵設置基準」や「性能確認方法」において規定されている衝突試験の試験条件および評価方法を紹介する。

4.1 衝突条件

現在の「防護柵設置基準」では、衝突条件として衝突条件 A および衝突条件 B についてそれぞれ以下のとおりとしている。

- 衝突条件 A: 車両総重量時に路面から重心までの高さが 1.4m の大型車貨物を衝突。種別によって、衝撃度（車両質量と衝突速度の条件）が決まっている。その際の衝突角度は 15 度。
- 衝突条件 B: 質量 1 トンの乗用車による衝突。その際の衝突速度は種別に応じて 60km/h または 100km/h。衝突角度は 20 度。

4.2 車両用防護柵の性能

「防護柵設置基準」では、衝突条件 A および衝突条件 B で実施された試験結果について、表-1 の性能を満足することとしている。

土研センター

4.3 計測項目および計測方法

防護柵の性能を確認する試験方法は、「性能確認試験方法」で以下のとおり規定されている。

- (1) 試験供試体：車両用防護柵、試験個数は衝突条件 A 及び衝突条件 B 毎に 1 体の計 2 体
- (2) 計測項目：表-1 のとおり

表-1 車両用防護柵の性能と計測項目

性能項目	衝突条件	性能	衝突条件	計測項目
車両の逸脱防止性能	強度性能	防護柵が突破されない強度を有すること	A	防護柵の損傷(防護柵の強度性能)
	変形性能	「防護柵設置基準」に示されている車両の最大進入行程の値を満足すること	A	車両の最大進入行程 剛性防護柵の塑性変形
乗員の安全性能		「防護柵設置基準」に示されている加速度の値を満足すること	B	車両重心加速度
車両の誘導性能		・横転などを生じないこと	共通	車両の挙動
		・離脱速度は、衝突速度の6割以上であること	共通	離脱速度
		・離脱角度は、衝突角度の6割以下であること	共通	離脱角度
構成部材の飛散防止性能		構成部材が大きく飛散しないこと	共通	部材の飛散状況

4.4 衝突試験方法

(1) 衝突試験の種類

衝突試験は、無人の車両をけん引用ロープで加速し、防護柵に衝突させる国土技術政策総合研究所(以下「国総研」という。)の実車衝突実験施設(写真-4)を用いた方法や、スタントマンが車両を運転して衝突させる方法等がある。



写真-4 防護柵の衝突試験状況の一例

(2) 衝突試験方法

衝突試験では、表-1に示した4つの性能項目について計測し、データを分析して結果をまとめている。以下に4つの性能毎に測定や評価方法の一例を示す。

1) 車両の逸脱防止性能

①強度性能

車両の軌跡から防護柵が突破されないことを確認する。また、車両が防護柵に衝突した場合に、車両の各部位が防護柵に接触した状況を把握するため、車両の部位別に色分けしたペイントを施し、防護柵の支柱、横梁等の損傷、欠損状況を観察する。写真-5に乗用車のペイント状況を示す。

②変形性能

「最大進入行程」として、車両が防護柵に衝突した時の車輪の軌跡から、防護柵前面から車輪内側までの最大距離を計測する。図-2に測定する最大進入行程を示す。



写真-5 乗用車のペイント状況の例

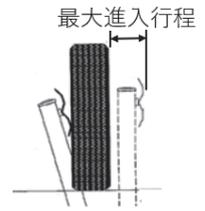


図-2 最大進入行程

2) 乗員の安全性能

車両の重心に加速度計を取り付け、0.5msec間隔で水平2成分の車両重心加速度を測定し、10msec移動平均加速度の最大値を解析により求め「防護柵設置基準」に示されている加速度未満であるか確認する。写真-6に乗用車に設置した加速度計の状況と図-3に測定した加速度のグラフを示す。

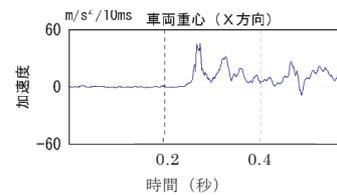


図-3 測定した加速度の例



写真-6 乗用車に設置した加速度計の例

3) 車両の誘導性能

車両の誘導性能として車両が横転等しないか目視およびビデオ等で確認するとともに、光電管センサー等により衝突速度と離脱速度を求める。また、走行路上に施した白線上を通過する際に記録された車両軌跡から衝突角度と離脱角度を求め、表-1に示す性能を満足しているか解析して確認する。図-4に実際の軌跡から求めた衝突角度、離脱角度を示す。

なお上空からのビデオ撮影は、高所作業車や地上に複数台のカメラを設置し映像撮影する方法が代表的であるが、最近では、ドローンを活用している。

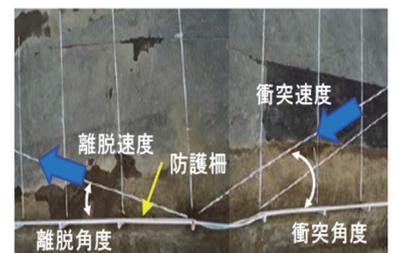


図-4 実際の軌跡から求めた離脱角度、衝突角度(上空撮影)

4) 構成部材の飛散防止性能

構成部材の飛散防止性能として、目視等により防護柵の構成部材が大きく飛散しないか確認する。

(3) 試験における留意点

車両を高速で加速し、所定の位置に衝突させることになるので、実車衝突実験施設やスタントマンでも危険を伴うため安全が第一に優先される。そのため防護柵の設置位置決め、防護柵の設置、衝突車両の準備、衝突方法など入念に検討し実施する。また、衝突試験は1回しかできないため、試験時の計測については、車両重心加速度が適正に計測できる設置位置の特定、離脱角度や離脱速度の計測のための離脱位置の事前推定などが求められる。これらについて当センターでは、これまで数多く実施している衝突試験の経験、知識から衝突位置や衝突状況などのシミュレーションや推定を行い、失敗しないよう試験を行っている。

4.5 試験結果の整理と車両用防護柵としての採用

試験実施機関は、「性能確認試験方法」に則り車両用防護柵の衝突試験を行い、防護柵の諸元と衝突試験結果として試験条件および4つの性能に対する試験結果をまとめる。この結果を受けてメーカーでは、車両用防護柵の設置、施工マニュアル等が整備された後に製品化され、道路管理者に採用される。

5. 当センターでの試験実績

これまでに当センターでは、地方整備局や国総研等の国、土木研究所（以下「土研」という。）、県、高速道路(株)、防護柵等の団体・協会やメーカーから試験を受託し衝突試験を実施している。国総研、土研等は法令や技術基準作成のため、県や高速道路(株)等の道路管理者は各機関のニーズに合った防護柵開発のため、また協会やメーカーは防護柵の製品の性能確認のため防護柵の衝突試験を実施している。

平成10年頃までは、高速化や大型化などを踏まえた高強度型車両用防護柵等についての試験を実施している。また平成10年以降は、「防護柵設置基準」が仕様規定から性能規定に変更になったことを踏まえ、新たな材料として木製材料を使った防護柵等の衝突試験を実施している。写真-7に木製防護柵の大型車と小型車による衝突試験の状況の一例を示す。平成13年頃からは、往復分離されていない暫定2車線道路等に設置する区画柵や、近年では信号交差点に設置する耐衝撃性ボラードなど、その時々時代の要請に応じて開発された施設構造について、衝突試験を実施している。



写真-7 木製防護柵の大型車と小型車の衝突実験の状況の一例

6. あとがき

当センターは国における技術基準類の整備に向けた調査研究に係る業務として、また各道路管理者や関連協会・防護柵メーカー等からの委託を受け、車両用防護柵等の開発品の衝突実験を行っている。民間開発品に対しては試験成績書を発行している。この試験成績書は、開発された防護柵が所定の性能を有することを証明するものとして活用されている。

参考文献

- 1) 道路法：昭和 27 年法律第 180 号
- 2) 道路構造令：昭和 45 年政令第 320 号（令和 2 年政令 329 号改正）
- 3) 道路構造令の解説と運用：（公社）日本道路協会、昭和 45 年 11 月
- 4) 防護柵（ガードフェンス）の設置基準：昭和 40 年 2 月 16 日建設省道路局長通達、道発第 230 号
- 5) 防護柵設置要綱：（社）日本道路協会、昭和 40 年 4 月
- 6) 車両用防護柵性能確認試験方法について：平成 10 年 11 月 5 日、建設省道路局道路環境課長通達、建設省道環発第 30 号
- 7) 防護柵の設置基準・同解説：（公社）日本道路協会、平成 10 年 11 月
- 8) 車両用防護柵標準仕様について：平成 11 年 2 月 16 日建設省道路局道路環境課長通達、建設省道環発 4 号
- 9) 車両用防護柵標準仕様・同解説：（社）日本道路協会、平成 16 年 3 月
- 10) 防護柵の設置基準・同解説、ボラードの設置便覧：（公社）日本道路協会、令和 3 年 3 月

寺田 剛



（一財）土木研究センター
技術研究所道路研究部
部長
TERADA Masaru

安藤和彦



（一財）土木研究センター
技術研究所道路研究部
専門調査役
ANDOU Kazuhiko