

◆ 性能規定特集 ◆

車両用防護柵の性能規定と確認試験方法

安藤和彦* 森 望**

はじめに

車両の逸脱防止を目的として設置される防護柵(以下「車両用防護柵」という)の設置計画、構造設計等に関する技術基準としては、過去「防護柵設置要綱」¹⁾(以下「旧基準」という)があり、防護柵の普及及び適正な設置に寄与してきた。

しかし、近年の道路交通状況の変化などに対応して基準を改定することになり、平成10年11月に「防護柵の設置基準の改定について」(以下「新基準」という)が建設省道路局長より各道路管理機関の長に対して通達された。

旧基準では防護柵の材料、構造寸法、色彩などが細かく規定され、いわゆる仕様規定であったが、新基準では、防護柵の性能を規定する性能規定に変更されている。

本報告では、基準改定の中心的な検討課題となった性能規定化の背景、基準の内容及び改定の要点について述べる。また、新基準の通達に併せて平成10年11月「車両用防護柵性能確認試験方法について」として建設省道路局道路環境課長名で通達された性能確認試験について紹介するとともに、性能確認試験を実施する場合の留意点、新基準により防護柵を開発しようとする場合の課題等について考察する。

1. 防護柵の性能規定化の背景

1.1 社会情勢の変化

平成5年、コンテナなどの重量貨物輸送の国際化に対応するため車両制限令が改正され、車両の大型化(重量化)など交通環境が変化し、旧基準を上回る高い性能を有する防護柵が求められるようになってきた。さらに、旧基準で規定されていた画一的な防護柵形式・構造に対して、地域特性や道路景観に配慮した防護柵が求められるようになり、これらの多様なニーズに対応する基準改定が

必要になっていた。

1.2 性能評価試験の実績

防護柵に対するニーズの多様化を踏まえ、土木研究所(現国土技術政策総合研究所、以下同)を中心に関たな防護柵形式・構造について実験研究を進め²⁾、防護柵の性能評価試験について、かなりの実績を蓄積するに至った。

1.3 國際的な性能規定化の流れ

防護柵に関する研究が最も進んでいる米国では、防護柵の試験による評価方法を1960年代から確立しており、その評価方法に基づき防護柵の開発を行ってきた。最近では、1993年の基準改定³⁾により、道路交通状況に応じて、種々の車両を使った性能確認試験を実施することを義務付けている。

また欧州では、防護柵の材料・構造のみを規定している仕様規定の国(イギリス、ドイツ等)と、性能を規定している国(イタリア、フランス等)に分かれているが、米国の性能評価方法³⁾などを参考に1998年に欧州統一基準が制定され⁴⁾、今後各国とも性能規定により評価を行うことになる。

2. 新基準における性能規定の要点

これらの流れを受けて、以下のように防護柵の基準が改定された。

2.1 防護柵は性能で規定

車両が衝突することを前提として設計される車両用防護柵は、事故発生時において車両乗員の生命に直接かかわる重要な施設である。また車両用防護柵は、車両衝突時に変形することを前提として設計される特殊な施設である。このため、性能を厳格に保証することが求められる。

これに対して旧基準では、衝突実験によって所要の性能が確認された防護柵の仕様をもとに構造、寸法、材料等が細かく規定されていた(仕様規定)。

新基準ではこの仕様規定を変更し、車両用防護柵に求められる性能を具体的に示し(3項を参照)、

これらの性能を満足すれば原則としてどのような仕様のものであれ利用できることになった。また、防護柵の性能は性能確認試験により確認し、この結果を衝突試験結果総括表(以下「総括表」という)にまとめることになった。

2.2 性能を満足する防護柵は標準仕様として認知

既に確認試験により車両用防護柵性能が確認されているものについては、新基準に付属する資料である「車両用防護柵標準仕様」⁶⁾(以下「標準仕様」という)に収録された。

標準仕様の材料、構造、寸法、基礎条件を遵守することで、新基準に規定されている防護柵の性能(変形性能、乗員安全性能等)が保証される。ただし、基礎条件などは路側の状況によって変わるので、基礎条件に関しては性能を満足させるよう変更することが規定されている。

2.3 道路管理者は性能を確認して利用

道路管理者は、設置しようとする防護柵が新基準による性能を満足することを、以下のいずれかの方法によって確認することが必要になった。

- 1) 標準仕様に登録されている防護柵であること。
- 2) 防護柵の製品メーカーが提示する試験結果総括表の試験結果が、防護柵性能を満足していること。また部材の耐久性、補修等に問題がないこと。

3. 防護柵の性能

新基準では、車両用防護柵の性能として以下の4項目を満足することが求められている²⁾。

(1) 車両の逸脱防止性能

1) 強度性能

防護柵は、大型車の衝突に対して突破されない強度を有すること。このとき大型車は、車両総重量時において路面から重心までの高さが1.4mの大型貨物車とする。

2) 変形性能

防護柵は、大型車の衝突に対して、土中、コンクリート中の基礎条件、路側、分離帯、歩道境界の防護柵の道路横断面内の設置場所に応じて、所定の変形量以上の変形が生じてはならない。このときの変形量は、図-1に示す最大進入行程により評価する。

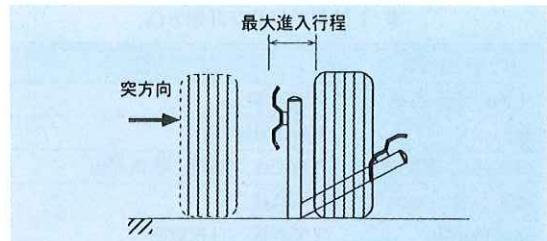


図-1 最大進入行程

(2) 乗員の安全性能

防護柵は、小型車の衝突時に乗員に所定以上の衝撃を与えてはならない。このときの衝撃の程度は、車両の重心加速度によって確認する。また実験には質量1トンの乗用車を用いる。

(3) 車両の誘導性能

防護柵は、大型車及び小型車の衝突に対して、いずれの場合も以下の条件を満足しなければならない。

- 1) 車両は防護柵衝突後に横転などを生じないこと
- 2) 防護柵衝突後の離脱速度は、衝突速度の6割以上であること
- 3) 防護柵衝突後の離脱角度は、衝突角度の6割以下であること

(4) 構成部材の飛散防止性能

防護柵は、大型車及び小型車の衝突に対して、いずれの場合も、車両衝突時に構成部材が大きく飛散してはならない。

4. 性能の確認方法

4.1 新基準による確認試験

新基準に併せて通達された性能確認試験の要領の主な内容は、下記のとおりとなっている。

(1) 試験供試体

試験供試体は、確認対象の車両用防護柵である。

(2) 衝突条件

大型車は、原則として車両総重量25トンの大型貨物車を用いる。車両総重量20トン以上の貨物車を用い速度の割り増しなどにより同等の衝撃度となる条件で試験を行っても差し支えない。

(3) 計測項目及び計測方法

計測項目と代表的計測方法は、表-1に示すとおりである。

(4) 試験結果

試験結果は、総括表に記入し、詳細は試験報告書としてまとめる。

表-1 計測項目及び計測方法

計測項目	計測方法
車両の重心高さ	車検証等
車両質量	車両重量計等
衝突速度・離脱速度	各種速度計測器、映像解析
衝突角度・離脱角度	車輪軌跡
防護柵損傷	映像解析、目視観測
最大進入行程	車輪軌跡
重心加速度	車載式加速度計、0.5ms間隔で計測
車両挙動	映像解析、目視観測
部材飛散状況	目視観測

4.2 これまでの実績からみた確認試験の具体的実施方法

新基準では、確認試験の詳細な試験方法は示されていない。しかし、試験・評価を統一的に適切に行うには、詳細な項目まで明らかにされていることが求められる。これについて土木研究所では、条件設定から試験結果のまとめまでを含む、一連の衝突試験・評価を多数実施し、試験実績を蓄積してきた。以下に、これまでの試験実績などを基に、実際に性能確認試験を実施するために必要となる施設、計測器類及び具体的試験方法について述べる。また、防護柵の調査研究に関連して行う計測方法などについても参考として示す。

4.2.1 試験の実施施設

試験は、試験フィールド、試験機材等を用意し、それらを適切に利用できる計測技術が確保できれば、どこでも行えるものであるが、試験の専門性、性能判断に求められる客観性を考えれば、試験実績のある施設を利用するのが適当と考えられる。

現在のところ大規模な試験が行える施設は、国内では国土技術政策総合研究所の衝突実験施設のみであるが、場所を特定せず試験が行える可搬型の装置もあり、また欧米には衝突試験を専門に行う機関もあるので、これらを用いた試験も考えられる。

4.2.2 試験供試体の仕様

試験供試体には、極力実用化までを踏まえた最終的な仕様(意匠、施工方法など)のものを用いる必要がある。場合によっては、試験供試体としてプロトタイプのものが用いられ、実用にあたって意匠の変更などが行われる場合もあるが、強度的な変更が見込まれる意匠の変更は、供試体の変形性能、乗員保護性能の変更に直結す

る。従って試験に用いた仕様と実用仕様に相違がある場合は、防護柵性能に変更がないことを工学的、客観的に確認することが必要となる。

4.2.3 試験条件の設定

(1) 地盤条件の設定

地盤の管理が十分行われ、標準地盤が設定されている場合は標準地盤により試験を行う。標準地盤が設定されていない場合は、最も一般的と思われる地盤条件を用いる。

地盤強度は防護柵の変形量や車両誘導性に影響を与え、逸脱防止の観点からは地盤が強固であるほうが有利に働く場合が多いが、反面、乗員に対する加速度や防護柵の柵高低下などは強固な地盤のほうが不利になる場合もある。

(2) 試験精度

試験結果は、試験を行う施設の条件設定の精度に大きく影響される。試験条件を設定する際の試験精度は、衝突速度・衝突角度・車両質量の3要素で計算される衝撃度(図-2)の精度を中心に考えるべきであるが、実際の衝撃度が設定衝撃度を下回った場合の取り扱いが不明である。従って、評価する衝撃度の値が“～以上”と規定されている点、試験を繰り返し行うことが困難な点からみて、設定条件は、基準に示されている衝撃度の値より高めに設定しておくことが適当であると判断される。特に衝突角度は、車両の直進性能に大きく作用され、試験車両に中古車を用いる場合、設定値を確保できない状況も十分考えられる。実際の衝突角度が小さくなると衝撃度も大きく低下するので、衝突速度を多少高めにして少々の誤差には対応できるようにしておくことが望ましい。

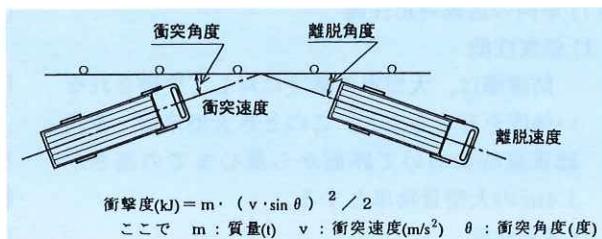


図-2 衝撃度の求め方

4.2.4 試験に要する施設・計測器

確認試験を行うには、試験を行う敷地、試験車両、計測機器等を準備することが必要となる。試験に必要な主な施設・機器としては下記のものが挙げられる。

(1) 試験用敷地・広場

機能を確認する防護柵を数十メートル設置する敷地、試験車両を所定の速度まで加速させる加速路、防護柵衝突後の挙動を観測できる背後の余裕等が必要となる。

(2) 試験車両加速装置

一般に試験車両は無人で加速させることになるので、試験車両を加速させる装置が必要となる。試験車両を加速させる方法としては、斜面を利用して加速させる方法、車両の運転を遠隔で行える可搬型の実験装置を用いる方法がある。

(3) 試験車両

衝突試験に用いる大型貨物車、小型乗用車が必要となる。車両は、一般的に利用されている車種の中古車でよいが、試験を的確かつ円滑に行うためには、車体や車輪などについて十分整備された車両が必要となる。

新基準では、大型貨物車として単車の最大総重量である 25 トン車を想定している。従って、大型車の試験においても原則として 25 トン車を用いることとしている。ただし、25 トン車は発売されてから間がなく試験車両として用いる購入費用も高価になることや、大型貨物車に対する試験施設の試験能力、これまでの衝突試験データが 20 トン車を中心蓄積してきたこと等を考慮し、20 トン貨物車を試験車両として用いることが許されている。

20 トン車を用いる場合、衝撃度を 25 トン車を用いる場合と同等となるように調整を行う必要がある。この調整は、衝突条件の衝突速度、衝突角度を変えることによって行われるが、この場合、基本的には速度を高めることによって衝撃度を調整することが望ましい。これは、角度の微少な変更が衝撃度に与える影響が大きいためである。

(4) 計測機器

計測に用いる機器として車両重心の加速度を測る加速度計及び記録器、車両の軌跡を調べるビデオ又は 16mm カメラ(必要に応じて 400 コマ/s 程度の高速のもの)、車両の重量を計測する重量計、衝突速度、離脱速度を計測するテープスイッチまたは光センサー等が必要となる。

機能評価以外に、試験研究的に防護柵に作用した荷重や防護柵の変形量を計測する場合は、ひずみ計測機器及びゲージ類、荷重計、変位計等を用

いる。乗員に対する影響をさらに詳しく調べたい場合には、加速度計や荷重計を内蔵したダミー人形を搭載することもある。

4.2.5 計測方法

計測項目は表-1 に示されるとおりである。

車両の重心位置は、車検証に記載されている型式を基に車両諸元表⁷⁾等から求めることになるが、車両諸元表に示される数値は、その型式の標準的な構造を示すものであり、車両の改造等が行われている場合は、それに応じて車両重心を求め直さなければならない。

車両質量は、軸重計などにより求められた車両重量の値を、車両質量の値に読み替える。

衝突速度/離脱速度の計測は車両の進行方向に対してなるべく直角方向の位置から計測することが必要である。また、高速での衝突ではビデオ等も高速度のものを用いることが望ましい。

離脱速度では、離脱後の車両挙動は不安定であり、必ずしも離脱速度を計測するセンサー上を正確に通過するとは限らない。幾つかの方法を併用するか、近接する数カ所で計測するなどの工夫が必要となる。

衝突角度は、路面上に残された車両の軌跡や車輪に塗布されたペイント痕等から求める。一般に左前輪の軌跡から衝突角度を求める。

離脱角度は路面に残されたペイント痕、スリップ痕、轍跡を用いて車輪の軌跡から計測する。測定は、基本的には衝突後に車両が防護柵から離脱するときのものを計測する。

防護柵の損傷については、試験研究的に防護柵と車両の接触状況を観察する場合は、防護柵の損傷箇所、損傷長、損傷状況等防護柵の強度にかかる損傷状態などを記録、観察する。試験車両の各部に色を替えてペイントを施し、防護柵に残されたペイント痕を観察することもある。

たわみ性防護柵が適正に機能している場合、衝突箇所付近から離脱箇所付近までのビームの変形は連続的でなめらかな曲線形状となるのが理想的である。また局所的な破断、破損は極力ないことが望ましい。従って防護柵の損傷についても、これらのこと念頭に適正な変形となっているか判断する。

防護柵の最大変形の推定などには、一般に変位計や高速ビデオ等を用いるが、防護柵の瞬間的な

変位を精度良く計測する技術は今のところ確立されていない。車両の最大進入行程は、車両の路外逸脱防止という点で最も現実的であり、かつ最大の変形量を定量的に計測するためには計測しやすい指標である。

剛性防護柵の場合、弾性域内での変形を見込んで設計する防護柵なので、強度部材に塑性変形が生じてはならない。従って実験後、剛性防護柵の変形状況を確認し、防護柵に塑性変形が生じているかどうかを確認する。このとき、角欠けの有無、基礎部の残留変位、車両衝突後路面に補修が必要となるような大きな変位が生じているか、どの程度の範囲にわたっているか等にも着目する。

車両の加速度は、1トン車の車体重心位置(平面)の床に2成分(進行方向、進行方向直角方向)の加速度計を設置し、衝突開始点から0.5ms間隔で車両加速度を計測する。データ記録には、乗員に与える加速度を評価するため瞬間的なピーク波形を除去する目的で60Hz~80Hzのローパスフィルターを用いる⁸⁾。計測後は2成分の加速度を合成し、これを波形処理して10ms間隔で移動平均加速度値を算出する。車両に作用する加速度は、実験条件に応じて異なるが、低速では数十m/s²程度であり、高速衝突では瞬間に1,000m/s²程度発生することもある。実験条件に応じて事前に加速度計の容量を検討しておくことが必要である。

車両の挙動として、車両の動き(車両の傾き、最大浮き上がり量、車両のねじれ、車両全体の回転運動傾向)と最終的な誘導状況(正常の姿勢を回復し円滑に誘導された、又は姿勢は復元の傾向を示しつつ誘導された等)を記録する。

実験車両の損傷は、防護柵衝突後の車両誘導性に影響を及ぼすことから、車体外部及び内部の損傷状況も調査する。

また、損傷状況からも乗員の安全性について評価することが可能である。従って、乗員の安全性については加速度値だけでなく、衝突後の車室空間の状況を観察することが望ましい。この場合、特に車室空間が侵されると乗員に対する危険度が大きくなることが考えられ、ダッシュボードの車室側への移動、フロントガラスの損傷状況について総合的に観察することが必要である。

車両衝突後の防護柵部材の飛散状況を確認する。飛散した部材の名称、飛散距離、質量、飛散原因、

周辺への影響の可能性等を調べる。部材片の飛散があった場合には、飛散部品の材質、質量、飛散距離、周辺道路利用者への影響の程度についても考察することが必要である。

4.3 試験結果のまとめ

総括表に記入される試験結果の内容は、試験を行った防護柵の名称、仕様、地盤条件及び衝突試験結果などである。

総括表で示される試験結果は、道路管理者が性能を確認する基本的な要件のみであり、実験の状況、防護柵の変形状況、基礎の施工状況などの詳細なデータは示されていない。道路管理者がこれらのデータを求める場合もあると考えられるので、総括表に記載されている内容を補完する実験報告類は、総括表に添付する形で別途整理しておくことが望ましい。

5. 実際の防護柵開発手順と留意事項

5.1 防護柵開発における試験の位置付け

実際の防護柵開発の流れは、一般的に図-3のように示すことができる。

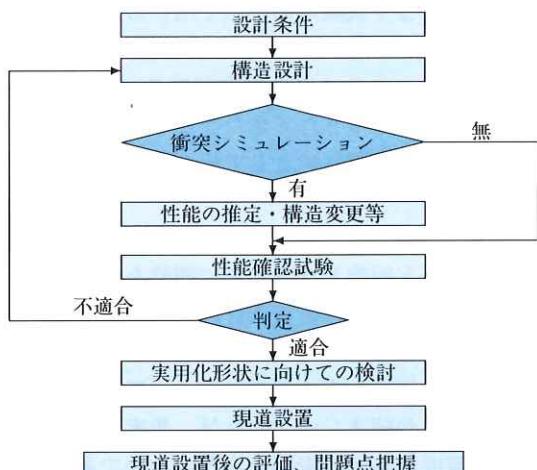


図-3 防護柵開発の流れ

実際の防護柵設計における性能確認試験は、防護柵の基本的な構造設計から、実用化に関する検討までの、一部に過ぎない。従って、性能確認試験で性能を満足すると判断されても、実際の利用までには、いくつかの検討課題を解決しなければならないことを念頭に置かなければならない。

5.2 実用化に向けて必要な検討事項

(1) 品質の保証

従来防護柵部材の品質は、JIS等で認定を受け

たものを使うことが原則であったが、新基準では部材の品質の優劣にかかわらず、防護柵として必要な性能が確保されれば利用できることになった。このため、品質管理が今まで以上に重要であり、現道に設置される防護柵が試験に用いたのと同じ性能を有する材料であること、また、品質にバラツキがないことなどが保証されなければならない。

(2) 價格

新たに開発される防護柵は、形式・構造の多様化により大量に使われていくことは考えにくい。従って価格も、現行のものより高額になることが予想される。性能がよく、かつ経済的な製品の開発は、今後積極的に進められていくべきであろうが、現段階で価格が高いと予想される新しい防護柵を利用してくれた場合には、従来の防護柵と比べた利点を十分把握し、その利点を活かした利用を行うことが必要である。

(3) 維持補修への対応

車両衝突後、変形した防護柵は迅速に修復されなければならない。旧基準のように規格が統一されていれば、防護柵材料の入手、補修は容易であった。しかし、少量しか使われない防護柵では、防護柵損傷時に迅速に材料入手できないことも十分考えられる。あるいは、防護柵の取り替えを考えて、常時部材をストックすることが必要となり、ストックヤードの整備や部材の管理など、新たな負担が生じるおそれもある。これらの不利な点が生じることも考慮して、容易に迅速な補修が行える体制を整えることが必要となる。

6. 新基準を運用していく上の課題

6.1 現道設置後の評価

防護柵の性能が試験で確認され、基準を満足すると判断されても、それは試験レベルでの合否であり、実際利用していく上ではさらに重要な課題がある。例えば、維持管理の容易性、実際の事故発生時における性能の発揮状況等は、試験レベルでは不明であり、実際に現道に設置後評価することになる。既存のものは設置後についても、維持管理や事故発生時の性能発揮について実績があるが、新たに開発されたものについてはこのような視点で評価していくことが今後必要になってくる。

6.2 外国で評価された防護柵の取り扱い

防護柵の実車衝突試験は欧米で盛んに行われて

おり、米国では実車衝突試験を専門に行う機関もある。これら諸外国で評価された防護柵をどのように取り扱うか、今後検討が必要である。

おわりに

新基準の策定により、性能を確認することで様々な形式・構造の防護柵が利用できるようになつたが、これまで確認試験が実施された例は数例程度⁹⁾となっている。基準改定以前に精力的に開発を行つたこともあるが、新基準が広く認知されていないことも大きな理由であろう。また、試験を実施できる機関および技術者が限られていることも制約要因となっていると考えられる。

今後、確認試験の実施体制が充実し、新基準の利点を活かした優れた防護柵が開発されていくことが望まれる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:防護柵設置要綱, 1972.10
- 2) (社)日本道路協会:防護柵の設置基準・同解説, 1998.11
- 3) 例えば、土木研究所他:高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書、土木研究所共同研究報告書第248号, 2000.9
- 4) Transportation Research Board: Recommended Procedure for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, National Cooperative Highway Research Program Report 350, 1993
- 5) European Committee for Standardization, 「Road Restraint Systems」, CEN/TC226/WG1-Doc n69, 1993.2
- 6) (社)日本道路協会:車両用防護柵標準仕様・同解説, 1999.3
- 7) 例えば、(社)自動車技術会:平成2000年版自動車諸元表, 2000.4
- 8) 霜上、石平: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, pp.739-740, 1985.10
- 9) 例えば、建設省近畿技術事務所:平成10年度技術管理業務の成果概要, pp.71-76, 1999.3

安藤和彦*



国土交通省国土技術政策
総合研究所道路研究部道
路空間高度化研究室主任
研究官
Kazuhiko ANDO

森 望**



同 道路空間高度化研究
室長
Nozomu MORI