

### 3. 4. 8 交通安全施設に関する研究



## 車両用防護柵

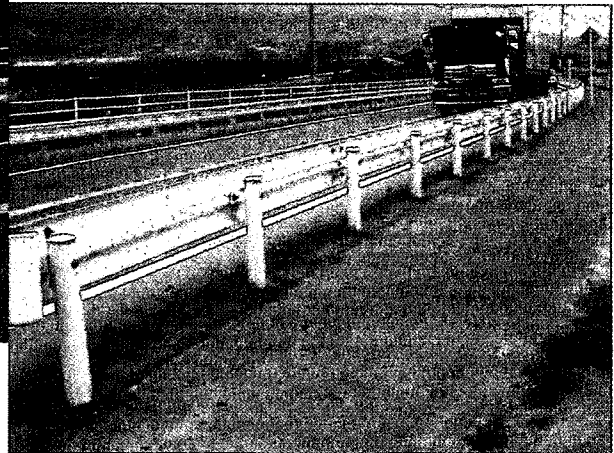
### — 性能規定による新しい構造の例 —

車両の歩道などへの乗り上げ防止を目的に、歩道と車道との間に設置されてきた従来の車両用防護柵の標準構造を写真-1に示します。車道側は、車両の誘導を考慮して平滑なビームで構成されていますが、歩道側から見ると支柱やビームなどの突起が多く、必ずしも歩行者に配慮した構造にはなっていません。

これに対して、例えば写真-2に示す防護柵は、歩道側から見た意匠性などに配慮して土木研究所が新たに開発し性能を確認した構造であり、今後防護柵を性能規定化することにより、この防護柵のように種々のニーズに応じて防護柵を開発できるようになります。

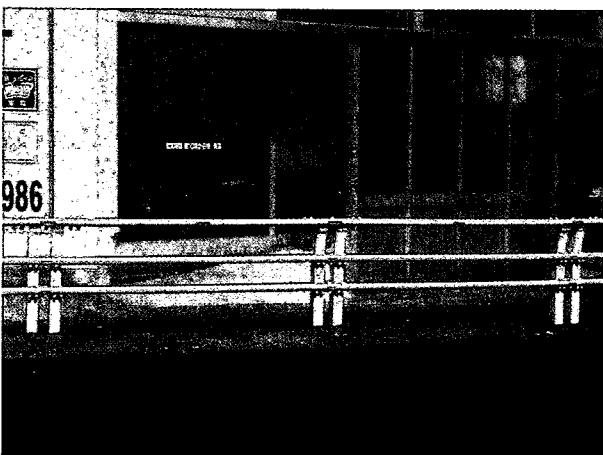


車道側から見た構造

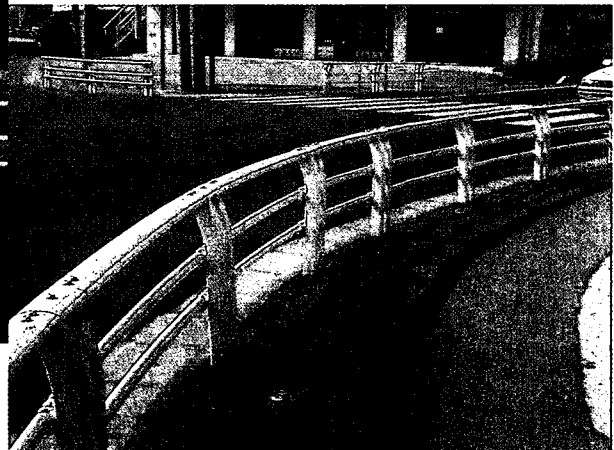


歩道側から見た構造

写真-1 歩車道境界用ガードレール



車道側から見た構造



歩道側から見た構造

写真-2 歩車道境界用パイプビーム (新型構造)



## ◆ 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」<sup>1)</sup>(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)を中心に新たな防護柵形式・構造について実験研究を進め<sup>2)</sup>、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 国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<sup>3)</sup>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)に分かれていたが、米国の性能評価方法<sup>3)</sup>などを参考に1998年に欧州統一基準が制定され<sup>4)</sup>、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)、

The New Standard of Traffic Barriers and the Crash Test Method for Performance Certification

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となった。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」<sup>6)</sup>(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<sup>2)</sup>。

### (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、歩車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。

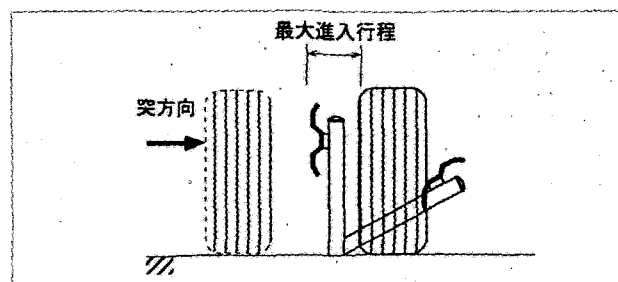


図-1 最大進入行程

### (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。

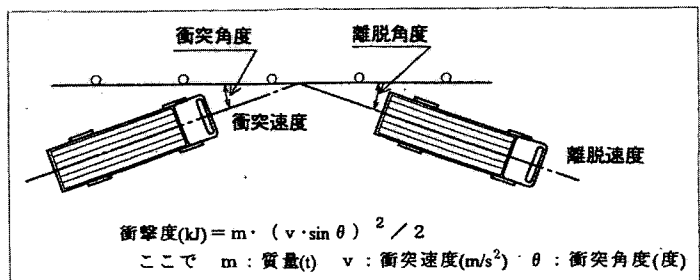


図-2 衝撃度の求め方

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 トン車を中心に蓄積され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<sup>7)</sup>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わ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、これらのことを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(平面上)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<sup>8)</sup>。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/s<sup>2</sup>程度であり、高速衝突では瞬間的に1,000m/s<sup>2</sup>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、飛散部材の材質、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。

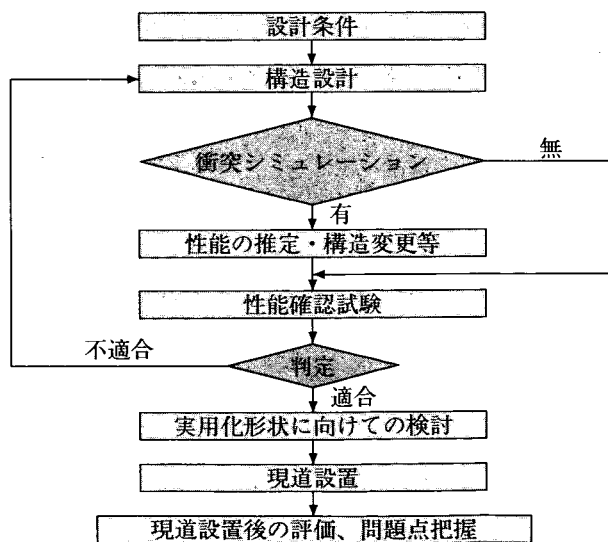


図-3 防護柵開発の流れ

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となる検討事項

##### (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) 価格

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ためには、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を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での課題

### 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

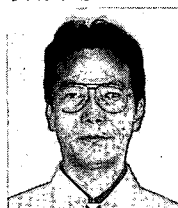
新基準の策定により、性能を確認することで様々な形式・構造の防護柵が利用できるようになったが、これまで確認試験が実施された例は数例程度<sup>9)</sup>となっている。基準改定以前に精力的に開発を行ったこともあるが、新基準が広く認知されていないことも大きな理由であろう。また、試験を実施できる機関および技術者が限られていることも制約要因となっていると考えられる。

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

## 264 フルカラー道路情報装置を用いた情報提供

安藤和彦 森 望  
(土木研究所)

## Visibility of Road Information by a Full-Color Variable Message Sign Board

Kazuhiko Ando Nozomu Mori  
(Public Works Research Institute)

In this report, the experimental results on visibility of information by a full-color variable message sign board in which blue, green and red Light Emitting diodes are used are described. The experiment was conducted in test track of Public Works Research Institute. Sight distances were measured by actual driving the test vehicle. As experiment results, these were found ; combinations of legend colors and background colors were important for getting high visibility, luminance of legend/background was one of the most important factors for high visibility of informations.

*Key Words:* visibility, road/variable message sign, full-color, road information

## 1. はじめに

本報告では、近年道路における情報提供を想定して開発したフルカラー情報装置（以下FL表示機と略す）を用いて、これまで表示できなかった各種の多色情報を道路上で提供した場合の、情報の視認性、理解度を把握するため走行実験を行ったので、その結果について述べる。

## 2. 検討方法

## 2.1 実験方法

## (1) 走行方法

土木研究所試験走路内の標識屋外実験施設に供試体を設置し、Fig.1 に示す実験区間を設定した。供試体の設置状況を Fig.2 に示す。

文字色と素地色の組合せによる視認性の比較実験では、被験者は所定の位置から徒歩で供試体に接近し、文字が判読できた地点を視認距離として記録した。また、その他の情報では走行実験により視認距離を計測した。走行実験では、視認距離計測用の試験車両に被験者および計測員が

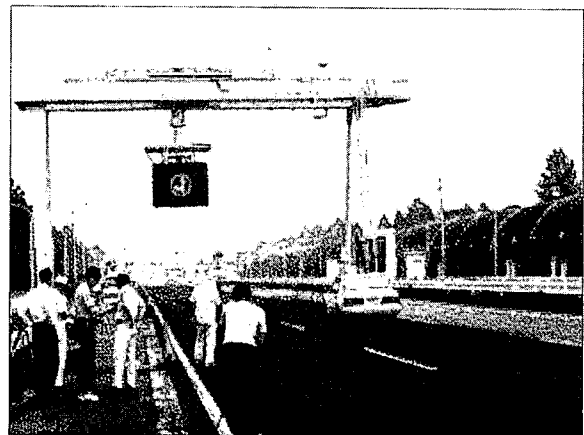


Fig.2 Full-color VMS for Experiment

乗車し、速度 60km/h で供試体に接近するとき、被験者が供試体に表示されている内容を理解した時点で「はい」と答え、同時に計測員は車載のペンレコーダーにマークを入力した。ペンレコーダーには速度および時間が記録されており、後にペンレコーダーに記録された速度、時間および被験者が内容を理解した時点で入力されるマークの各要素によって、視認距離が算出された。

実験における情報の比較としては、①文字と素地の色の組合せによる比較、②標識図形について正規の配色と現行道路情報表示装置で用いられている制限された配色についての比較、③同じ情報内容についての文字のみ、映像のみ、文字+映像での比較、④一つの情報を1画面で表現する場合と複数画面で表示する場合の比較などを行うために、それぞれの項目にあった情報を作成し実験に用いた。

実験に用いた情報は、実験結果の各項目に示す。

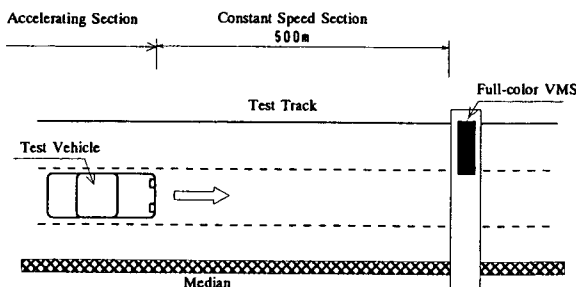


Fig.1 Experiment Field

2. 2 表示情報

(1) 文字と素地の組合せ

実験に用いた情報は Fig.3 のとおりである。同一色の背景に他の色を用いた文字を図のように作成し、それぞれの文字の視認距離を計測した。

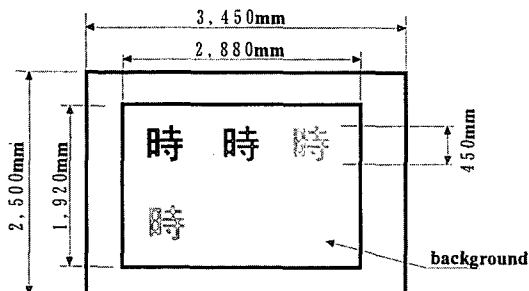


Fig.3 Image for Experiment of Color Combination

(2) 標識色による比較

法令に定められた正規の配色の標識（以下「法定標識」という）と、現行道路情報表示装置での制限された配色の模擬標識（以下「模擬標識」という）についての比較を行った。用いた標識は「指定方向外進入禁止」、「道路工事」および「一時停止」である。

Table.1 Road Signs for Experiment

content	Actual sign	Conventional sign
Instruction of Travel Direction		
Under Road Construction		
Stop		

(3) 文字情報、映像情報、文字+映像情報での比較

実験に用いた情報は、「除雪作業中」を示す情報であり、文字情報、除雪を行っている作業車を映した映像情報、映像情報に文字情報を組み込んだ文字+映像情報の3種類について比較した。このとき、文字の大きさは文字情報のみと映像情報に文字を組み込んだもので同一とした。

(4) 1 情報を構成する画像数の比較

実験に用いた情報は、CG画像であり、波が道路上に被

Table.2 Pictures for Experiment (Snow Removal Work)

letter	picture
letter+picture 	

Table.3 CG Images for Experiment

Content	Image
Closed by High Wave Crossing Road Turn Right (Single Image)	
Same as above (Combination of Two Images)	

っている状況、前方通行止めを示す赤色の×印、右折を案内する緑の矢印が主な構成要素になっている。

2. 3 実験結果

(1) 文字と素地の色の組合せによる比較

文字色と素地色別の視認距離の測定結果は、Fig.4 に示すとおりである。

文字の視認性は、昼間では、素地色にかかわらず白文字の視認性がよく、次いで橙色の視認性がよい。素地が明るい色であれば、緑字の視認性もよい。また、白地とするといずれの文字色でも、比較的等しい視認距離が得られている。反面、黒地-青文字、緑地-青文字、緑地-黒文字、青地-黒文字など、暗い色同士の組合せは視認性が悪い。夜間も、色の組み合わせによる視認性の傾向は昼間に似ているが、視認距離は昼間より全体的に数十メートル小さくなっている。

これらについて、昼夜別に、文字輝度>素地輝度または

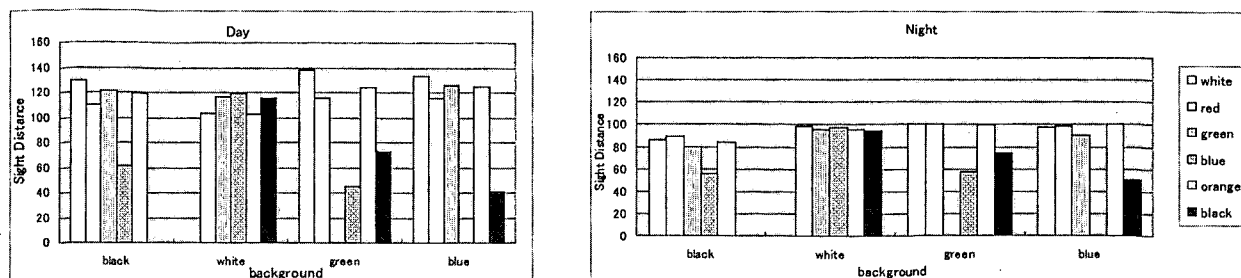


Fig. 4 Sight Distance by Combination of letter and background color (dimension:m)

Table.4 Main Factors for Analysis

Factor	Content	Factor	Content
Ll	luminance of letter (cd/m <sup>2</sup> )	Lb	luminance of background (cd/m <sup>2</sup> )
Δ L	difference of luminance (cd/m <sup>2</sup> )	C <sub>L</sub>	$\frac{\text{luminance of letter} - \text{luminance of background}}{\text{luminance of background}}$ (cd/m <sup>2</sup> )
x l	x value of letter by Y,x,y,color coordinate	x b	x value of background by Y,x,y,color coordinate
y l	y value of letter by Y,x,y,color coordinate	y b	y value of background by Y,x,y,color coordinate
Δ x	x l - x b	Δ y	y l - y b

Table.5 Main Factors which have high relation between Sight Distance

Day / Night	luminance Condition	Main Factor	Coefficient of Correlation
Day	Ll > Lb	L l	0.63
		x b	0.80
	Lb > Ll	y b	0.71
		Lb	0.62
Night	Ll > Lb	L l	0.74
		x b	0.93
	Lb > Ll	L b	0.73
		y b	0.64

素地輝度>文字輝度の2条件に分けて視認距離と各因子間の相関関係を調べた。対象とした主な因子を Table.4 に、また視認距離と高い相関を有する代表的な因子を Table.5 に示す。

Table.5 によれば、昼夜にかかわらず文字輝度が素地輝度より高い場合はさらに文字輝度を、素地輝度が文字輝度より高い場合はさらに素地輝度を高めることで視認距離が長くなる傾向にあるといえる。また、素地輝度が文字輝度より高い場合は、色度値(x b,y b)が抽出されており、Fig.4 との関係からみれば、素地に白色などの明るい色を用いることで視認性が高まることを示していると判断できる。

(2) 標識色による視認距離比較

視認距離は「指定方向外進入禁止」は模擬標識、法定標識ともにほぼ同じ視認距離で遠方から視認でき、「一時停止」は法定標識が、「道路工事」は模擬標識が遠方から視認できる結果となった。

「指定方向外禁止」で最も重要となる矢印情報は、模擬標識では黒地橙矢、法定標識では青地白矢であり、いずれ

Table.6 Sight Distance of Road Signs (m)

Content	Actual	Conventional	Test of hypothesis
Instruction of Travel Direction	273	298	non
Under Road Construction	148	222	5 %
Stop	215	161	non

も文字輝度>素地輝度の関係にありかつ、輝度比2の値が大きいことから高い視認性が得られたものと考えられる。

「道路工事」の模擬標識では、工事者を表示する図形輝度と黒素地の輝度との差が大きいかつ工事者図形が高い輝度を有していることから比較的遠方から視認できている。一方法定標識では、模擬標識同様に黄素地と黒色図形の輝度の差は大きかったものの、黒色図形が目立ちにくかったため視認距離はかなり低下している。

「一時停止」では、模擬標識、法定標識ともに文字輝度が素地輝度より高い関係にあり視認距離に有意差はないが、模擬標識は法定標識より輝度比2が大きく視認距離は長くなっている。

(3) 文字情報、映像情報、文字+映像情報での比較  
視認距離は文字情報が長く、映像を用いると低下している (Table. 7)。

Table.7 Sight Distance of Letter/Pictures (m)

Content	Letter	Letter+ picture	Picture	Test of hypothesis
Snow Removal Work	191	89	102	1 %

この理由として、文字（橙色）と素地（白地）の輝度および色差が小さかったこと、除雪作業の映像がわかりにくかったことが相まって理解度の低下を招いたものと考えられる。

#### （４）１情報を構成する画像数の比較

１画面より２画面の方が視認距離は多少長くなっているが、両者に有意差はなく、１画面と２画面で画面数による視認距離の差は明確でない。

Table.8 Sight Distance by the Number of Images (m)

Content	Single Image	Two Images	Test of hypothesis
Closed by High Wave Crossing Road	131	148	non

### ３．まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

（１）文字や図形の色と素地の色を適切に組み合わせることで視認性は向上する。特に、白色は視認性を高めるために効果的である。

（２）昼間、夜間に係わらず文字・図形の輝度あるいは素地の輝度を高めることで視認性は向上する。

（３）輝度が高いほど目立つ点から、情報内容を表示する文字・図形の輝度が高い方が、素地の輝度を高めるより視認しやすい。この点で、文字輝度＞素地輝度の組合せが有利である。

（４）複雑でかつ見慣れない映像・CG画像情報などは瞬時に理解しにくい。道路上での映像・CG画像の提供には十分な検討が必要である。もし、映像やCG画像の特徴である臨場感を活かした情報提供を行うのであれば、映像・CG画像が見慣れた情報となるまでは、理解度が高い文字と組み合わせることが効果的である。ただし、文字情報は映像やCG画像に埋もれることなく、独立して目立ちやすくすることが必要である。

# 歩行者用照明の必要照度に関する検討

国土技術政策総合研究所 ○林 堅太郎  
同 安藤 和彦  
星和電機株式会社 IE 事業部 大谷 寛

## 1. はじめに

近年の交通事故特徴の一つとして、夜間における高齢者の歩行者事故が挙げられ、歩行者の交通安全の観点から歩行者用照明の役割は重要な位置付けとなってきている。現在のところ道路管理者が歩道照明を整備するうえで準用できる明確な技術的基準がなく、歩道照明を適切に整備するために歩行者用照明施設の基準化が急務となっている。

本実験は、これらのことから「歩行者用照明」の基準化に向けた基礎的な検討を行ったものである。

## 2. 研究目的

本研究は、基準化を進める上で必要となる基礎的要件として、照明要件及び必要照度を見出すことを目的とした。

## 3. 研究方法

本研究では、文献調査と歩行者用照明施設を整備している道路管理者へのヒアリング調査により歩行者用照明の要件と必要照度を設定し、視認性実験による妥当性の確認をした。図-1に研究フローを示す。

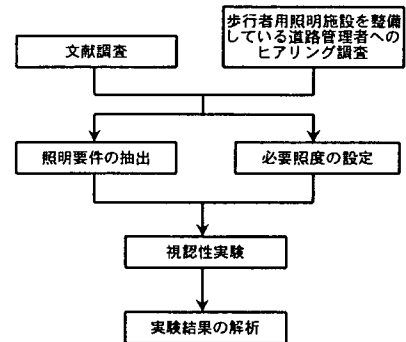


図-1 研究フロー

## 4. 実験結果

### (1) 文献調査

歩行者用照明の要件と必要照度を設定するため、視覚特性及び国内外の基準類を調査しそれぞれ整理した。高齢者の視覚特性の調査では、加齢にともない視力、明暗順応、輝度対比及び色差弁別などが低下し、またグレアを感じやすくなることなどを把握した。しかしこれらは、ほとんどが室内実験による閾値の結果から得られたものであるため、屋外実験による検証が不可欠であると判断した。

また、国内外の基準類を調査した結果、JISによる歩行者用照明基準の照度範囲や照明区分（歩行者交通量や地域特性）は諸外国の基準と概ね同等であることを把握した。

### (2) 歩行者用照明を整備している道路管理者へのヒアリング調査

歩行者用照明の実状を把握するため、7機関の道路管理者に対してヒアリング調査を実施した。表-1にヒアリング結果の総括を示す。

ヒアリングより、歩行者用照明の設置に際し、地域活性化等の地元の要望で設置する機会が多いこと、照度レベルはJIS基準を参考にしている管理者が多いことを把握した。

### (3) 視認性実験

#### ① 実験概要

文献調査及び歩行者用照明施設を整備している道路管理者へのヒアリング調査から、本実験では必要照度についてJIS基準をベースにし、また10、20lxにおいては周辺環境が明るい地域を考慮し、実験歩道の反対側の道路照明を点灯して擬似的に設定した。尚、諸外国の基準から最も低かったCIE（国際照明委員会）勧告の照度レベル値（1.5lx）も含めることとした。実験条件を表-2、実験時の配置略図を図-2に示す。障害物ゾーンとすれ違いゾーンを被験者に通常で歩行させ、設定した照度レベルについて妥当性を検証することとした。

表-1 道路管理者に対するヒアリング結果

質問項目	回答
歩行者用照明の設置目的	地域活性化等の地元の要望で整備する機会が多く、ついで交通安全、防犯の目的で設置する。設置する場合は地域特性を考慮したデザインが望まれる。
歩行者用照明の明るさについての考え	原則的にJISを参考にすが、車道用照明で歩道の明るさが満足できれば、歩道用照明は設置しない。

表-2 実験条件

歩道幅員	4m(第4種第2級の道路)
設定照度	1.5/3/5/10/20(lx)、10/20 lx は周辺環境有均斉度 $\geq 0.2$
灯具配置	片側配列(8灯)、高さ5.2m、取付スパン26m
被験者	65歳以上の高齢者及び非高齢者、各10名
歩道の障害物	模擬的に段差及びポラードを数箇所設置
実験項目	すれ違う歩行者及び自転車利用者の有無

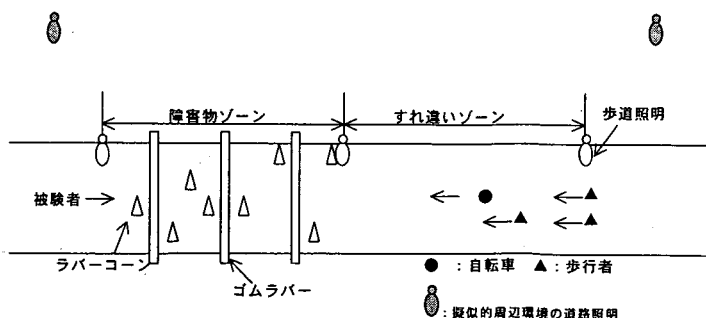


図-2 実験時の配置略図

② 実験項目

光学測定として、水平面照度、鉛直面照度及び等価光幕輝度の測定を実施した。視認性評価実験として、各照度において歩き易さ、障害物の認識、すれ違う人の危険感、快適性、すれ違う歩行者・自転車利用者の顔の見易さ、視線距離（何m先を見て歩行しているか）などに関するアンケート調査をした。

③ 実験結果

実験結果では、5lx以上の照度であればどの項目に対しても良好な評価が得られた。照度5lx以下の歩行者実験の結果を図-3に示す（図中の支持率とは、肯定的な回答をした被験者の割合を示す）。高齢者と非高齢者での差異は見られなかったため、同図では全被験者の平均値を示した。3lxは全ての項目において被験者の半数以上の支持を得られたが、1.5lxは「歩き易さ」と「すれ違う歩行者及び自転車利用者の顔の見え易さ」において半数以上が満足できなかった。

視線距離については、照度レベルが低い1.5lx及び3lxでは約15m先を見ていたが、照度レベルが明るくなるにつれ視線距離が延び、20lxでは約30mであった。図-4に照度レベルの違いによる視線距離の変化を示す。（図中では高齢者と非高齢者の平均値を示した）

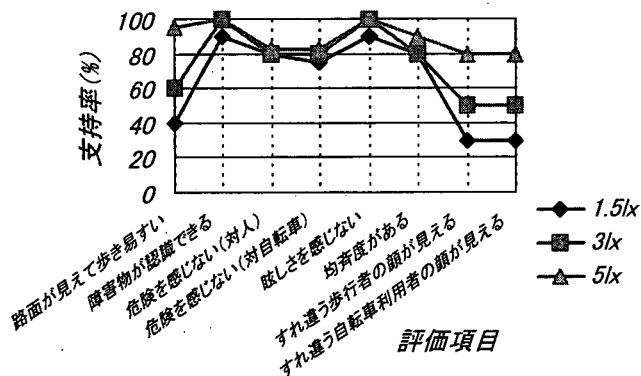


図-3 視認性評価実験結果

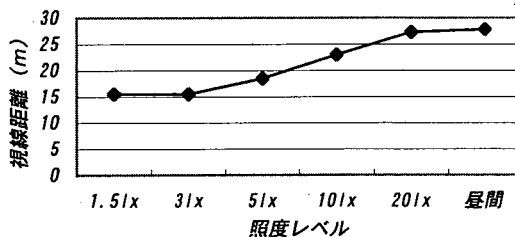


図-4 照度レベルの違いによる視線距離の変化

④ 考察

水平面照度のレベルは、歩行者交通の満足度を考慮した場合、「路面の見え易さと歩き易さ」と「すれ違い時の顔の見え易さ」について3lxは最低限必要で、5lx以上確保することが望ましい。

照度レベル1.5lxは、快適に歩行するのに必要な路面の明るさが不足し、また、すれ違う歩行者や自転車利用者の顔が見えないなど歩行者が満足できる明るさになっていない。

路面の明るさが少なくなると視線距離が短くなるので視覚情報が不足し、対向者（歩行者及び自転車利用者）の発見を遅らせる可能性が高くなると思われる。

5. まとめと今後の課題

歩行者用照明を整備する上で最も重要な目的は歩行者交通の安全である。そのためには、適切な路面照度を確保し、かつ路面照度を均一にする必要がある。本研究では、JIS基準をベースに高齢者及び自転車利用者を考慮に入れ検証を試みた結果、低照度レベルにおいて必要照度を明確化することができた。しかし、高照度レベル(10lx及び20lx)においては周辺環境との関連性について把握することができなかったため今後の課題としたい。



# 防護柵連続基礎の設計に関する実験検討

国土技術政策総合研究所 ○安藤 和彦  
森 望

## 1. まえがき

土工部に設置する防護柵の連続基礎は、現在のところ確立された設計方法がなく、道路橋示方書に準じて設計が行われている。この設計では、防護柵には等分布の衝突荷重が作用するものとし、単位幅当たりの安定計算を行うので、連続した一体構造として働き衝突荷重が分散軽減する連続基礎の効果が見込まれていない。このため、現行設計方法で設計を行うと、基礎としては比較的大きなものになる。現道では、道路幅員などに制約がありこのような連続基礎を大きくとれず、やむを得ず車両衝突時に基礎が変形する設計方法がとられる場合も多いが、これらの基礎でも滑動や転倒などは生じていない。

本検討では、これらの状況を考慮し、実際の衝突条件を考慮した合理的な設計方法を検討するものとした。

## 2. 検討概要

検討は、連続基礎上に設置した防護柵に車両を衝突させ、このときの発生する荷重を計測した。これと併行して過去の実験結果から衝突荷重の分布範囲を推定した。さらに両者を比較して、防護柵の強度設計に用いられる衝撃度に応じた設計荷重を設定し、これを基にした連続基礎設計方法を検討した。

### 2.1 衝突実験

連続基礎に作用する荷重を計測するために、実車衝突実験を行った。実験場所は、国土技術政策総合研究所衝突実験施設であり、衝突条件は、20ト貨物車を速度53km/h、衝突角度15度、衝撃度145kJ（種別A種相当）とした。種別はA種がドリルとし、基礎断面は図-1に示すとおりである。

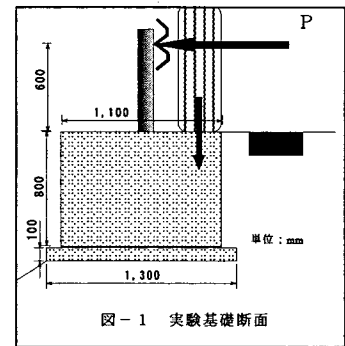


図-1 実験基礎断面

### 2.2 集中荷重の推定

防護柵に車両が衝突したときの集中荷重を推定するために、既往研究<sup>1)~3)</sup>の支柱データを再度見直した。また、防護柵種別毎に設定されている衝撃度（kJ）との関係から、各種別における集中荷重を検討した。

## 3. 検討結果

### 3.1 衝突実験結果

衝突実験では、車両は円滑に誘導され、基礎上部で最大約3mmの瞬間変位が計測されたが、残留変位は全くみられなかった。

実験によって支柱に作用した衝突荷重を推定するため支柱番号3および4について歪み計測を行った。3、4番以外の支柱については、瞬間的な荷重

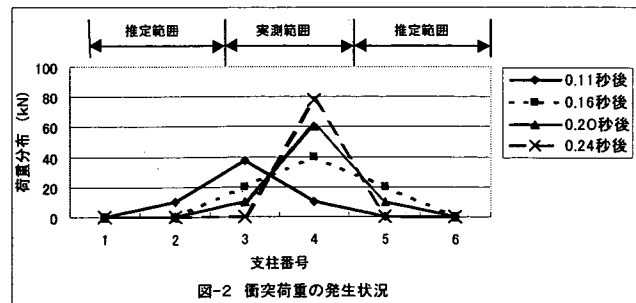


図-2 衝突荷重の発生状況

作用範囲は支柱3本程度まで<sup>1)~3)</sup>であることや車両の接触状況から、最大の歪みが発生している支柱を中心として左右対称に同じ歪みが発生するものと仮定（例えば、衝突後0.2秒後では支柱番号4を中心として支柱3および5に等しい歪みが発生と仮定）した。基礎に作用する荷重は、支柱の歪みと作用力との関係を予め求めておき、実験により得られた支柱の歪みを作用力に換算して、これと等しい力が基礎に荷重として作用するものとした。衝突実験により支柱に発生した歪みから推定した作用力すなわち衝突荷重の分布状況は図-2のとおりである。ある瞬間に基礎に作用する荷重の総和は、各支柱の荷重を合計すると0.11秒後58kN、0.16秒後80kN、0.20秒後80kN、0.24秒後78kNとなっている。これらから、各瞬間に基礎に作用した荷重は、A種の1本当たりの支柱支持力 $P_{max}$ （耐力値;50kN）に換算すると最大1.6本分程度であると推定される。

### 3. 2 荷重作用範囲および設計荷重の推定

上述の実験結果や過去の研究事例<sup>1)~3)</sup>を基に、同一時刻に各支柱に作用した力の合計が、支柱支持力の何本分に相当するか（以下換算本数という）を整理した。その結果、表-1②の値が得られた。衝撃度①と換算本数②には比例関係がみられ、両者について相関を求めたところ③式および決定係数が得られた。

次に、この相関式をもとに、各種別における設計荷重推定のための設計用換算本数④を設定した。さらに、基準で示された支柱の最大支持力P<sub>max</sub>⑤と換算本数④との積を、基礎に作用する設計荷重⑥として求めた。A種の集中荷重は、実験で得られた値と一致している。参考に、単位幅当たりの荷重⑦と現基準の単位幅当たり荷重⑧を示した。これらを比較すると、⑧は⑦より2倍程度大きくなっている。過去に行われたコンクリート製防護柵の検討<sup>4)</sup>で得

られた集中荷重⑨と比較すると、本検討で推定された荷重⑥は衝撃度の小さい種別でコンクリート製のものより大きくなっており、SS種では比較的近い値になっている。

表-1 荷重分布（荷重作用支柱本数）および荷重の推定値

項目	種別	C	B	A	(S)	SC	SB	SA	SS
①衝撃度 X (kJ)		45	60	130	230	160	280	420	650
②換算本数実験値 <sup>1)~3)</sup> Y (本)		-	1.3	1.5	1.8	-	-	2.5	-
③相関式		Y=0.0034・X + 1.07 r <sup>2</sup> =0.996							
④設計用換算本数 (本) Y=③式より		1.2	1.3	1.5	/	1.6	2.0	2.5	3.3
⑤支柱当たりの最大支持力P <sub>max</sub> (kN)		30	30	50	/	50	55	55	55
⑥設計 (集中) 荷重 (kN) ④×⑤		40	40	80	/	80	110	140	180
⑦単位長さ当たり荷重 (kN/m) ⑥/10m		4	4	8	/	8	11	14	18
⑧現行設計の荷重 (kN/m) ⑤/(支柱間隔×2)		7.5	7.5	12.5	/	12.5	22.5	18	22.5
⑨ コンクリート壁作用集中荷重 <sup>4)</sup> (kN)		-	-	-	/	45	72	109	170

注) 種別Sは、旧基準による。

### 4. 設計方法および計算結果の例

#### 4. 1 集中荷重による設計

連続基礎は、一般的に10m程度の間隔で目地を入れた構造になっており、衝突荷重に対してもこの長さで抵抗する<sup>4)</sup>ものとし、転倒、滑動、地盤応力、ねじれ抵抗について計算を行う。衝突荷重が集中荷重であるため、合力作用線が底版の中央1/3に入る安定性は特に求めない。安全率は1.2とする。

#### 4. 2 連続基礎断面の計算例

表-1⑥で示された荷重を基に本検討による方法と、道路橋示方書に準拠した現在の設計方法に基づいた場合の

必要基礎断面の計算結果の例を、表-2に示す。実際の衝突状況を踏まえた設計を行えば、従来の6割程度の断面になることがわかる。なお、現行方法による設計でSB種の基礎断面がSA種の基礎断面より大きくなっているのは、防護柵の支柱間隔（SB種1m間隔、SA種1.5m間隔）の差によるものである。

#### 4. 3 安全率

基礎に作用する荷重は、支柱が発揮できる支持力以上となることはないので、特に安全率を高く設定する必要はないと考えられるが、防護柵設置基準ではコンクリート製防護柵の転倒、滑動、地盤許容支持力について1.2の安全率を設定していることから、これに準拠し1.2以上の安全率を確保することとした。実際は、衝突時に車輪が基礎の転倒、滑動に抵抗する働きをしており（図-1参照）、また防護柵は連続構造であり衝突箇所以外の区間が転倒、滑動に抵抗していることから、1.2程度以上の安全率が確保されることになる。

### 5. あとがき

本検討により、実際の衝突状況に則した合理的な連続基礎設計方法を明らかにできた。今後は、本方法でも適用が厳しい狭幅員道路に適用する、限界基礎の設計方法を検討する予定である。

1) 建設省土木研究所、(社)軽金属協会、'アルミニウム合金製高欄型自動車用防護柵に関する研究'、昭和55年3月

2,3) 建設省土木研究所、(社)軽金属協会、'アルミニウム合金製高強度型防護柵共同研究報告書'、共同研究報告書第42号、第232号

4) 建設省土木研究所、(社)セメント協会、'高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書'、共同研究報告書第207号、平成10年6月

表-2 連続基礎断面の比較 (例)

種別	本検討結果	現行方法	新/現
	高さm 幅m 面積m <sup>2</sup>	高さm 幅m 面積m <sup>2</sup>	
C	1.0×0.6=0.60	1.4×0.7=0.98	0.61
B	1.0×0.6=0.60	1.4×0.7=0.98	0.61
A	1.3×0.7=0.91	1.7×0.9=1.53	0.59
SC	1.3×0.7=0.91	1.7×1.0=1.70	0.53
SB	1.5×0.8=1.20	2.4×1.2=2.88	0.42
SA	1.9×0.9=1.71	2.1×1.3=2.73	0.63
SS	2.1×1.0=2.10	2.6×1.2=3.12	0.67

設計条件；矩形断面，基礎重量2350kg/m<sup>3</sup>，地盤重量1700kg/m<sup>3</sup>，内部摩擦角30度，路面摩擦0.55，地盤許容支持力196kN/m<sup>2</sup>，基礎長10m

# 道路緩衝施設の開発

国土交通省 国土技術政策総合研究所 安藤和彦  
鋼製防護柵協会 ○梶村典彦

## 1. はじめに

道路の分岐部や路側に設置された橋脚のような工作物への衝突事故は、他の事故に比べ重大事故になりやすく、これらの工作物への緩衝対策は重要な課題である。工作物への緩衝対策として、欧米などでは緩衝施設の設置が盛んに行われているが、欧米の施設は比較的大型であり、工作物が道路直近に緩衝施設の設置スペースに制約がある我が国の道路状況に適合するものとはなっていない。

## 2. 開発目的

本研究は、緩衝施設に求められる機能を整理し、それらの機能を満足し、かつ我が国の道路状況に適合する緩衝構造を開発することを目的とする。

## 3. 評価基準

### (1) 対象工作物

工作物衝突における対策対象としては、防護柵端部、分岐部及び料金所、橋脚などの路上構造物における緩衝施設を開発対象とする。

表-1 評価条件

車 両	小型乗用車 (1 t)
衝突速度	80km/h、100km/h
衝突角度	90度 (500mm右方向(乗員視線)オフセット衝突)
評価内容	①10ms間の車両重心加速度の最大値200m/s <sup>2</sup> 以下であること。 ②車室空間が確保されていること。 ③衝突後車両は正常な姿勢を保持していること。 ④施設が良好に機能・変形していること。

### (2) 評価項目

評価項目は、乗員の安全性などを確保する指標として、表-1の項目を設定した。

### (3) 機能検証

機能の検証は、3次元衝突シミュレーション<sup>\*1</sup>及び実車衝突実験<sup>\*2</sup>により行った。

(\*1: 動的有限要素法解析ソフト PAM-CRASH、\*2: 国土交通省(旧建設省土木研究所)衝突実験施設で実施)

## 4. 構造・機能検討

### 4. 1 プロトタイプ

表-2 緩衝構造 (プロトタイプ)

	80Km/h構造	100Km/h構造
有効ストローク長	2987mm	4280mm
緩衝材	26-φ250×3.2	42-φ250×3.2
ガイドレール	2本	2本
側面板	t=1.6 (フラット <sup>°</sup> 板)	t=4.0 (3山ビーム、スライド <sup>°</sup> 式)

### (1) 施設構造

80km/h 対応及び 100km/h 対応のプロトタイプ緩衝構造を設定した(表-2)。

### (2) 機能検討

実験結果は、表-3に示すとおりである。80km/h 構造では、車両の加速度も小さく車室空間も確保されており、乗員の安全性確保には十分な機能を有していることが確認できた 100km/h 構造

表-3 シミュレーション、衝突実験結果比較

検討方法	衝突条件			車両重心加速度 10ms移動平均	車室空間 の確保	施設 変形	判定
	衝突速度	車両質量	オフセット量				
衝突実験	80km/h	1t	500mm	120m/s <sup>2</sup>	○	良好	○
シミュレーション				199m/s <sup>2</sup>	-	良好	○
衝突実験	100km/h	1t	500mm	-	○	不良	×
シミュレーション				212m/s <sup>2</sup>	-	不良	×

では、シミュレーション及び衝突実験結果から、緩衝施設に局部変形が生じ効果的な衝撃吸収が行えないことが判明した。これは、ガイドレールの変形により支柱が円滑に移動しなかったこと及び車両と緩衝施設との高さ方向の位置に問題があったことが原因として考えられる。100km/h の衝突実験における車両重心加速度は車両が横転したため計測することが出来なかった。

**(3) シミュレーションと衝突実験の整合性**

図-1に 80km/h 構造の実車衝突実験とシミュレーション検討との検証状況を示す。衝突後の緩衝施設の変形状況がほぼ等しく再現できている。加速度ではシミュレーションと比べ衝突実験結果は小さくなっている(80km/h 衝突では実験値の6割程度)ことから、シミュレーションによる評価は有効であると考えられる。

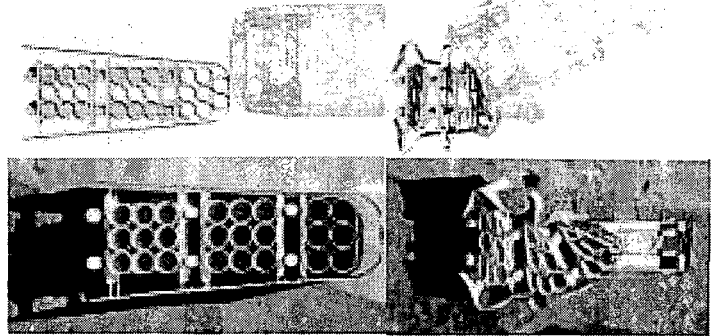


図-1 検証結果(上段シミュレーション、下段実験結果)

**4.2 改良構造**

**(1) 構造の変更**

前記実験結果を基に 100km/h 構造の改良を行った。改良構造を表-4に示す。

表-4 構造改良検討

	100km/h構造
ガイドレール	板厚変更(t=4.5→t=6.0)
施設高さ	ビーム中心高さ変更(600mm→675mm)
緩衝パイプ	中間2ユニット板厚変更(t=3.2→t=2.3)
スライドビーム	後部側2枚を1枚に変更

**(2) 施設機能**

100km/h 改良構造の機能検証は、シミュレーション解析により行った。シミュレーション解析結果を表-5及び図-2に示す。

表-5 シミュレーション解析結果

衝突速度	衝突条件		車両重心加速度 10m移動平均	施設変形	判定
	車両質量	オフセット量			
100km/h	1t	500mm	180m/s <sup>2</sup>	良好	○

車両加速度は 180m/s<sup>2</sup> と評価基準を満足し、実際にはさらに小さくなるのが期待できる。また、車両の変形においてもボンネット全体が著しく損傷するような変形がなく、乗員の安全性確保に十分な機能を有していることが確認できた。緩衝装置も滑なスライド動作を示した。

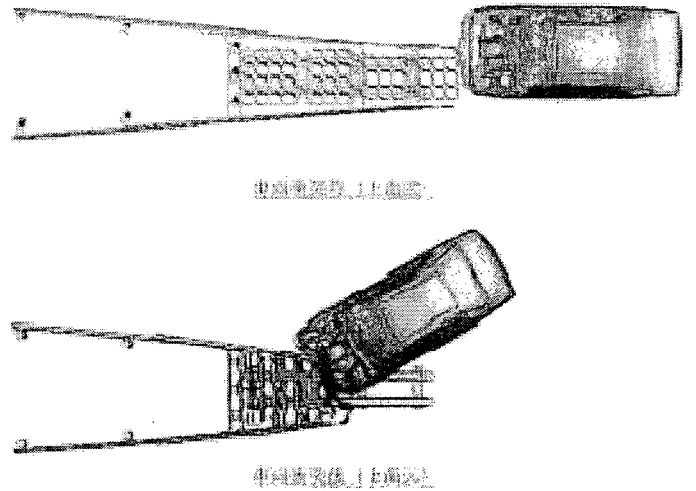


図-2 100km/h改良構造 シミュレーション画像

**5. まとめ**

80km/h 構造及び 100km/h 構造それぞれにおいて緩衝施設として適切な構造が把握できた。これらの構造は、調査した範囲では、諸外国における衝施設の必要長(80km/h 構造: 5 ~ 7m、100km/h 構造: 10 ~ 12m)に対して、80km/h 構造で約 3m、100km/h 構造で約 5m とかなりコンパクトな施設になっている。また既存の防護柵へ直接連結することができる構造なので、分岐部の既設防護柵に接続して設置するなど、設置スペースの縮小が図れ、我が国の道路状況に適した構造であると考えられる。

本開発における緩衝装置、80km/h 構造図及び 100km/h 構造図を図-3、図-4に示す。

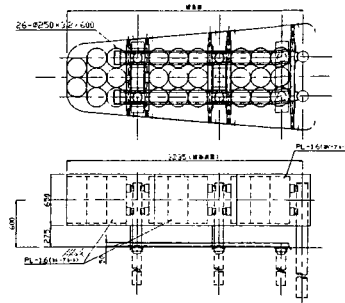


図-3 80km/h構造図

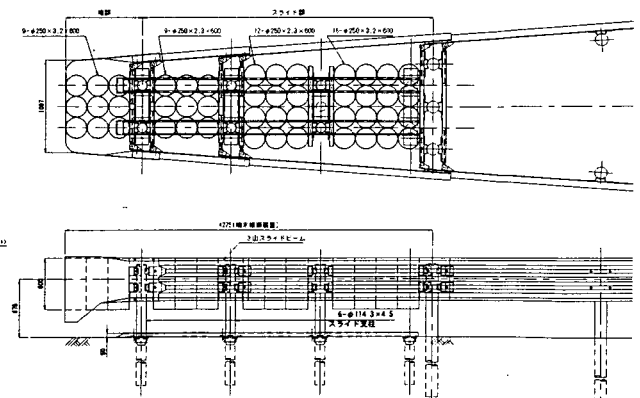


図-4 100km/h構造図

## 木製車両用防護柵の実験・検討

安藤和彦\* 森 望\*\* 若月 健\*\*\*

## はじめに

本報文で述べる車両用防護柵は、車両が路外に逸脱しようとした場合に、これを防ぎ本線に安全、円滑に誘導する役割を持つ施設であり、代表的なものにガードレールがある。

道路付属施設への木材の利用は、間伐材の有効利用などとして注目<sup>1)</sup>されており、防護柵のほか遮音壁などが検討<sup>2)</sup>されている。

防護柵は、車両が衝突することを前提として設計される施設であり、強度性能は基本的に求められる要件となる。これまで防護柵の材料として、比較的高い強度を有し、かつたわみ・伸びがある金属材料が、防護柵に適した材料として利用されてきた。これに対して木材は、伸びが少ない、せん断破壊しやすいなど、金属材料とは異なる特性を持っている。

ここでは、木製防護柵の特性を踏まえた設計方法を確立するために、実車衝突実験により防護柵の構造、問題点などを把握するとともに、設計の考え方、実用化を図る上での課題などについて整理したので、その結果を報告するものである。

## 1. 木材の特徴

材料にたわみ・伸びがあるかどうかによってその材料を使った防護柵の設計の考え方を変える必要がある。防護柵の設置基準<sup>3)</sup>では、金属製防護柵についてはその変形性能を活かし、車両衝突時に防護柵が変形し衝突エネルギーの吸収、車両を円滑に誘導するたわみ性防護柵の設計を行うこととしている。これに対してコンクリート製防護柵のように剛性の高い防護柵では、防護柵の形状で衝撃緩和や車両の誘導を行い、構造として弾性域(許容応力度)内の設計を行うものとしている。

これらを木材に当てはめると、木材は鋼材のように伸びを確保することは難しく、たわみ性防護柵としての設計は難しい。また、防護柵が路側の

限られたスペースに設置される小型の構造物であることを考えると、コンクリート製防護柵と同程度の剛性が得られる木製防護柵を作ることも容易ではない。従って、多少変形する程度の強度を持った防護柵として設計することが考えられるが、現在のところ適切な設計方法は確立されていない。

## 2. 実車衝突実験

## 2.1 実験用防護柵構造の検討

木材の特性を踏まえ、実験用防護柵の構造検討を行った。設計の考え方としては、変形量が少ないたわみ性防護柵として、橋梁用車両防護柵の設計方法が示されている<sup>3)</sup>のでこれに準拠し、同等の剛性が得られる横梁の検討を行った。

防護柵の種別は最も一般的に利用されているC種とし、木材は、均一的な品質の確保を目的として支柱、横梁ともに唐松集成材(JAS構造用集成材による樹種区分3、E105-F300)とした。

表-1に実験に用いた木材の強度特性を示す。

表-1 防護柵に用いた木材の強度特性

ヤング係数 × 10 <sup>4</sup> kN/cm <sup>2</sup>	長期許容応力度 (kN/cm <sup>2</sup> )		
	引張	曲げ	せん断
178	307	514	89

注) 曲げ、せん断試験; JAS構造用集成材による。  
引張試験; JIS Z 2201及びJIS Z 2241に準拠。

防護柵構造は、材料などについて強度検討を行い図-1に示す実験供試体を用いるものとした。

防護柵種別C種についてみると、金属製防護柵の主要横梁と同程度の剛性を得るには、上下に1~2本の木製横梁を渡す必要がある。本実験では、ガードレールと同様に車両誘導面を広くした断面として、横梁断面を上・下面15cm、衝突面30cmの矩形断面とし、横梁は1本で対応するものとした。また柱は、断面を17cm×17cm、基礎構造は木製柱の施工性を考慮して40cm角の基礎ブロックに支柱を建て込む形式とし、支柱の変位をブロック内で収束させる目的で支柱建て込み部にアスファルト充填する構造とした。支柱および横梁間

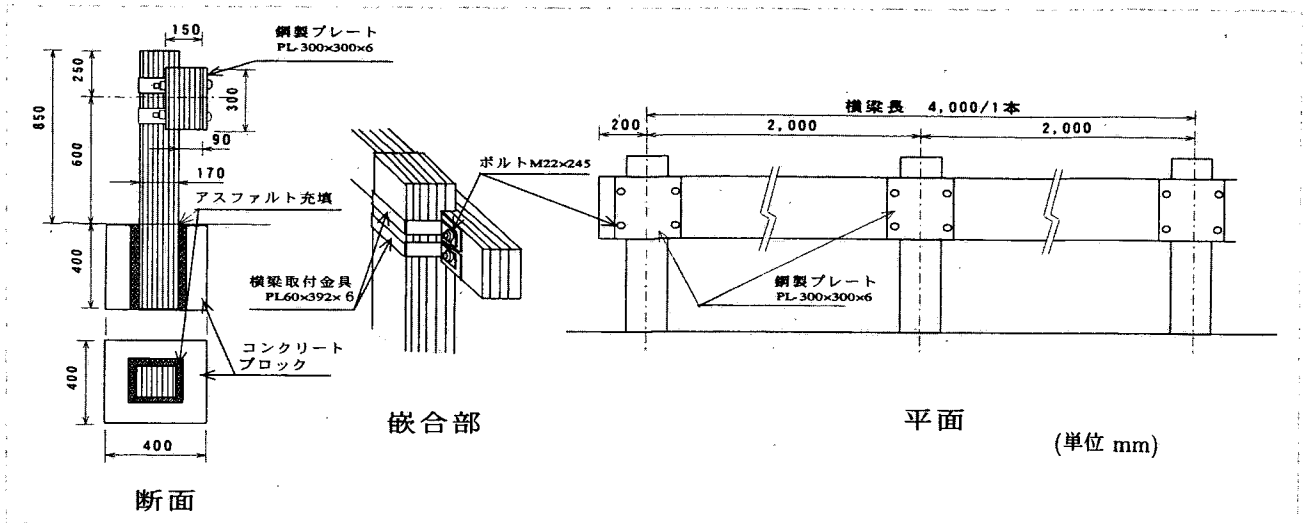


図-1 実験用防護柵構造

の接続部は、柱の位置で金属板および鋼製ボルト (M22) 2本によって接続するものとし、支柱に奥行き6cmの嵌合部 (切り欠き) を設け横梁との一体化を図った。横梁と支柱の接続は、支柱の断面に合わせた金具を巻き付けて結合し、この金具をボルトによって締め付ける構造とした (図-1 参照)。

### 2.2 実験条件

実験は、防護柵の設置基準<sup>3)</sup> および防護柵試験マニュアル (案)<sup>4)</sup> に準拠した。

防護柵の強度および車両の誘導性を検証する大型車実験、乗員の安全性と車両の誘導性を検証する乗用車実験について実施した。実験条件は、防護柵の設置基準によるC種条件であり、大型車の最大重量、車両性能、防護柵衝突の事故実態などから設定されている条件である。

本実験の実験条件を表-2に示す。

表-2 実験条件

衝突車両	実験条件			
	車両質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (kJ)
乗用車	1.0	60.0	20.0	16.3
大型車	20.0	25.0	20.0	56.4

### 2.3 計測方法

#### (1) 実験方法

実験は国土技術政策総合研究所衝突実験施設において行った。衝突実験施設は、車両を牽引するワイヤーに金具を介して車両を接続し、所定の速度まで牽引して、所定の位置で切り離して慣性により車両を防護柵に衝突させる施設である。

実験に使用する実験車両は、大型車が3軸、20ト

ン貨物車 (空車重量約10トン)、および乗用車が排気量1,300ccの1.0トン車の中古車であり、通常の走行が行えるよう車体整備を行った。

また、貨物車両は所定の積載量を均等に積載し、衝突時に外に飛び出さないようにワイヤロープ等で拘束した。

#### (2) 測定項目および計測方法 (図-2 参照)。

##### ① 車両の衝突速度および離脱速度

車両の衝突速度は、衝突開始箇所直前に設置されている2個の光電管により検出され、制御盤に表示される速度を衝突速度として記録した。また離脱速度は、衝突開始位置から防護柵と平行に離脱方向へ20m離れた地点の路面上に設けられたテープスイッチ式速度計によって計測するものとした。

##### ② 車両の軌跡及び防護柵への接触跡

路面に残された車両前後輪の摺痕およびわだちの跡より走行軌跡を求め、軌跡から車両進入角、離脱角度を求めた。車両の防護柵への接触跡は、実験直前に前輪に黄色、後輪に赤色、車体前部に緑色、車体後部に青色のペイントを塗布し、防護柵に衝突車両がどのような状態で接触したか判明できるようにした。

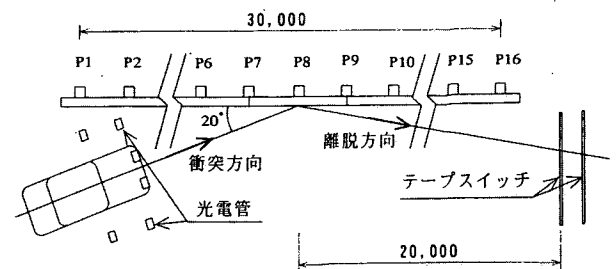


図-2 衝突条件の設定状況 (単位 mm)

③加速度

乗員の安全性能を確認するため、乗用車の車両重心位置に、X (車両軸) 方向、Y (車両軸直角) 方向成分の加速度計を取付け、発生加速度を 0.5ms 間隔で記録した。

④損傷状況

実験終了後、車両の足廻り、車室内の変形状況、乗員の生存空間等に着目し、車両損傷状況を観察した。

⑤防護柵の残留変位量・破損

水系、スケールなどより衝突後の防護柵の残留変位量を測定した。また防護柵各部材の損傷、飛散状況などについて調べた。

⑥衝突状況撮影

撮影速度 24 コマ/秒~400 コマ/秒の 16mm 撮影機により、車両の衝突から離脱までの車両の挙動を撮影した。

2.4 実験結果

2.4.1 乗用車実験

(1) 車両の挙動、損傷

車両の衝突状況を写真-1 に示す。

車両質量 1.0t、衝突速度 60.2km/h、進入角度 20.5 度、衝撃度 17.15KJ で車両は衝突した。

車両の損傷は、左前部が凹み左前照灯、サイドランプが破損した。また左前輪が支柱に衝突し、

このときタイヤが取り外れ、バーストした。

車輪損傷のため自力走行は不可能であった。

車室内の損傷は見られなかった。

(2) 防護柵の挙動、損傷

防護柵への車両の接触痕を図-3 に示す。

防護柵は支柱への接触、横梁への擦り傷が見られたものの、構成部材の取り外れ、飛散などはみられなかった。

防護柵への車両の接触は 2 回あり、初期接触箇所約 4m、2 回目の接触箇所約 7m の接触痕があった。防護柵の最大残留変位は、支柱 P7 で頂部が路外方向に最大 3cm 程度観測された。

支柱については、左前輪による接触痕が残された支柱が 1 本 (P7)、左前車体による接触痕が残された支柱が 5 本 (P8, P12~P15) あったほか、支柱と横梁との嵌合部で嵌合部上端から支柱天端までの貫通ひびわれが 1 箇所 (P7) で認められた (写真-2 参照)。

コンクリート基礎の地際部と土との残留隙間は 5 箇所 (P5~P9) に発生し、最大 35mm であった。

2.4.2 大型車実験

(1) 車両の挙動、損傷

車両の衝突挙動を写真-3 に示す。

車両は、質量 20t、衝突速度 24.9km/h、進入角度 20.0 度、衝撃度 56.04kJ で衝突した。

車両は左側前部が接触した後、道路側に多少傾き誘導されか

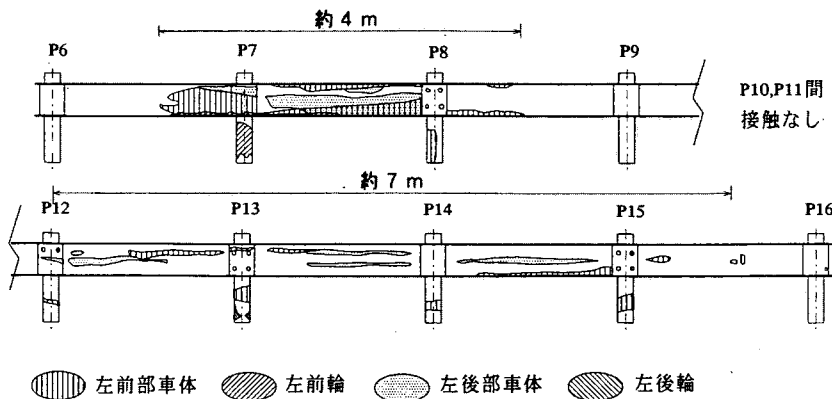


図-3 車両接触状況

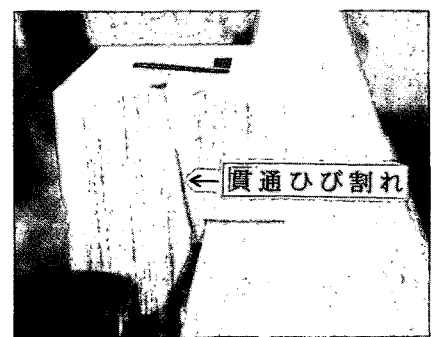


写真-2 嵌合部のひび割れ状況



写真-1 乗用車の衝突状況

かるが、さらに車両が進行し前輪が防護柵に衝突した時点で、支柱を引きずり、横梁を飛散させながらほとんど進入角度を変えずに突破した。

(2) 防護柵の挙動、損傷

車両衝突点付近の防護柵は車両に突破されたため、構成部材の支柱3本 (P7~P9) は車両に引きずられて引き抜け、また横梁2本 (P5-P7間、P7-P9間及びP9-P11間) は破断飛散した。

横梁に破断、ひび割れが生じた箇所5箇所のうち中央3箇所は縦方向にひびが発生しているのに対して、左右端の箇所は、それぞれ大きく斜めにひび割れが生じた。

2.5 考察

2.5.1 乗用車の誘導性

乗用車衝突実験で、横梁は支柱より前面に張り出し、横梁の高さを下端で450mmとすることで、乗用車の車輪上部を押さえて支柱に衝突させない構造としたが、結果的には支柱に衝突している。これは、今回設定した支柱の張り出し量90mm (図-1断面参照) では、車体の変形が大きく車輪の横梁下への潜り込みによる支柱衝突を防ぐ距離としては少なかったこと、また、横梁下端の高さが車輪の潜り込みを防げるほど低くなかったことが原因として考えられる。

2.5.2 防護柵強度

乗用車の衝突で、支柱と横梁との嵌合部にひび

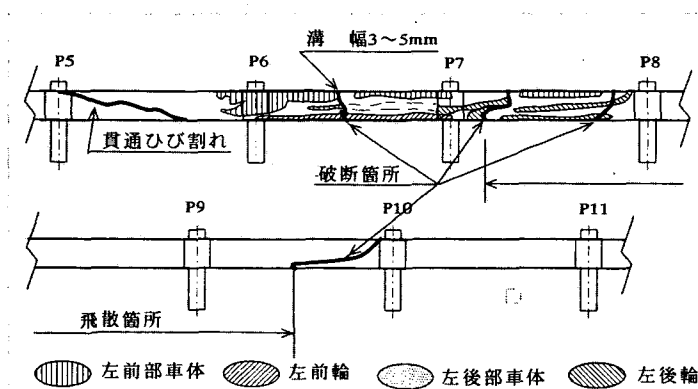


図-4 車両接触状況

割れが発生している。これは、乗用車の衝突を受けた横梁が支柱を押し上げ、これに抵抗する支柱側の嵌合部の木材強度が不足したことが原因として考えられる。横梁と支柱の一体化を強化する目的として嵌合部を設けることは、強度的に必ずしも有利になっていない。

大型車の衝突では、車両はほとんど誘導されることなく、防護柵を突破した。破断した箇所の最両端部は、横梁と支柱との接続箇所から始まっており、接続部ボルト孔による横梁断面の減少が、接続部の強度低下に影響を与えている。さらに、支柱の強度不足も車両突破に至った大きな要因となっている。

2.5.3 乗員の安全性

乗用車による衝突実験の結果、車両重心位置における10ms移動平均加速度は118.9m/s<sup>2</sup>であった。この値は、防護柵基準<sup>3)</sup>で示されている許容値90m/s<sup>2</sup>を32%上回っている。この加速度は、乗用車前輪の接地面(前面)が支柱に衝突し、前輪軸が変形した際に発生したものであり、支柱にタイヤを衝突・接触させないような構造の検討が必要である。

3. 木製防護柵の実用構造の検討

以下では、衝突実験結果から判明した課題を踏まえ、木材の性質や既往の調査研究結果などを参考に木製防護柵の構造の検討を行った。

3.1 防護柵構造の検討

防護柵に必要な木材強度は、材質、本数、寸法などを検討することで確保できる。しかし今回の実験からみて、変形が大きくなるたわみ性防護柵として検討するよりも、木材の耐力限界内に変形を抑え、木材の剛性に期待する構造とすることが適当と判断され、このために、以下の条件を満足することが必要と考えられる。

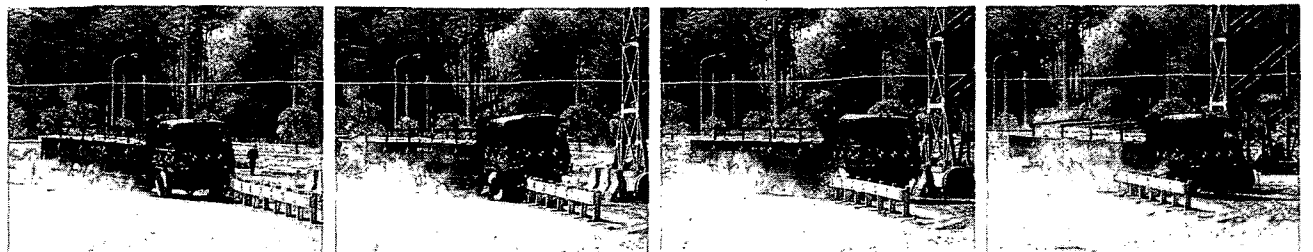


写真-3 大型車の衝突状況



- ①支柱は大きな傾きを許容できないので、比較的大きな断面を有する支柱を現行の金属製防護柵同様に深く埋め込み、衝突時の傾きを抑える。
- ②乗用車の車輪が支柱に接触・衝突するのを防ぎ、横梁の側面で車輪を誘導するため、車輪の位置に補助横梁を設ける。補助横梁の強度は、車輪衝突時の荷重に耐え得る強度を有するものとする。
- ③横梁間の結合による張力の伝達は期待せず、主として各横梁の曲げ剛性で抵抗するものとする。嵌合部は設けない。
- ④横梁の接続部は強度的な弱点になるので、強度低下を防ぐため支柱前面にもってくる。構造例を図-5 に示す。

### 3.2 その他の構造

#### 3.2.1 たわみ性防護柵

木製防護柵をたわみ性防護柵として設計する場合は、木材自体のたわみを期待できないので、たわみ・変形が生じる箇所を特に設ける必要がある。一般には、横梁間の接続部でこの伸び、変形を生じさせることになり、接続部の設計が最も重要な点になる。

横梁の接続部としては、衝突荷重を分散させることや防護柵強度の急激な低下を避けるために、横梁間の張力の連続性が確保できることが望ましいが、張力の連続性が期待できる接続方法は現段階では明確でない。横梁間の張力の伝達がある程度期待でき、ねばりを有する(容易に破断しない)接続方法を考える。このためには、横梁間を接続するボルトを細くし、本数を増やすことで応力を

分散する方法<sup>5)</sup>などが考えられる。また、接続部にも横梁と同様に衝突荷重が作用するので、これによって破断しない強度も要求される。

支柱が大きく変形した際に、横梁が支柱に接合されたまま柵高を低下させることは、横梁のねじれ破断や柵高低下による車両の乗り越しなどを生じさせるので好ましくない。ある程度変形したら、横梁と離れる工夫が必要となる(図-6)。

ただし、このように支柱を横梁から切り離す場合は、横梁の横移動距離が大きくなることから、防護柵背後の平坦性がある程度確保されていなければならない。

#### 3.2.2 複合型たわみ性防護柵

木材と金属材料の組合せによる複合防護柵も可能性がある。例えば、木製横梁と鋼製横梁を組み合わせた構造とし、衝突初期の防護柵の抵抗を木材の剛性に期待し、その後の防護柵変形による車両誘導を鋼製横梁に依存する方法が考えられる。この方法は、すでに実用化されたものもある<sup>6)</sup>が、比較的衝撃度の小さい防護柵が対象になっている。木製横梁と鋼製横梁との荷重分担など、検討すべき事項は多いが、材料の組合せなどで多様な構造形式に発展する可能性のある防護柵である。

#### 3.3 防護柵支柱としての利用

木材を防護柵の支柱として利用する方法もある。この場合、金属製横梁と組み合わせた構造になるが、金属製横梁のたわみ、変形を適切に行わせるためには、木製支柱の強度も適切なものを選択しなければならない。ただし、米国などで現在までかなりの実績があるので、我が国での適用も比較的容易に行える可能性が高い。

### 4. 実用化に向けての課題

#### 4.1 強度の確保、管理

木材は、1本ずつの強度に比較的バラツキがあるため、品質の確保が非常に重要である。木材の許容応力度は、木材の

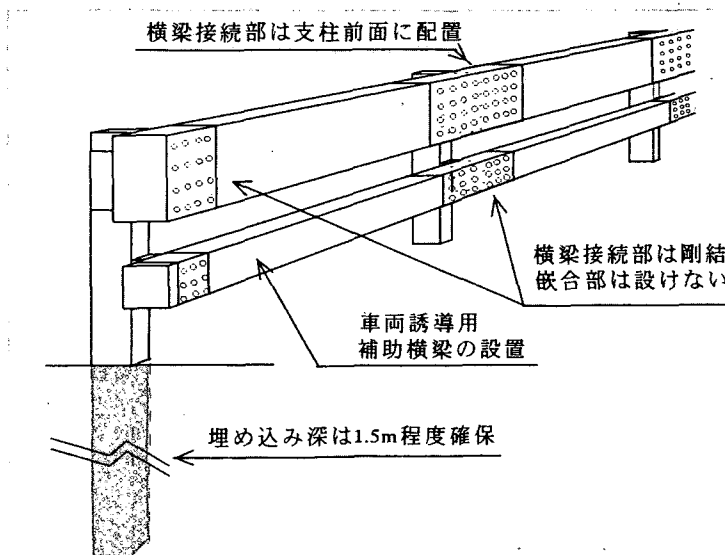


図-5 木製防護柵の構造の例

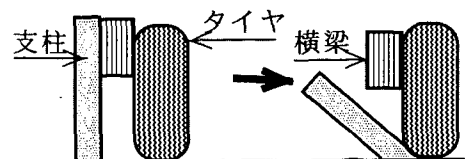


図-6 支柱と横梁の離れによる柵高低下防止

有する平均的な応力度の 1/3 程度に下げられている<sup>7)</sup>が、これは木材の強度のバラツキを考慮しているためと考えられる。従って、通常入手する木材は許容応力度からみてかなり高い安全性を有するものの、場合によっては許容応力度を下回る材料を使う可能性もある。

強度が低下しないような維持管理も重要である。特に木材の場合は、防腐対策が重要であり、強度を維持するための塗装方法、管理方法なども明らかにすることが必要になる。

木製防護柵は、景勝地、公園内などで多く用いられる可能性が高い。外観を良好に保つことも重要な課題であり、この面からも適切な表面処理方法の確立が必要となる。

#### 4.2 供給体制

防護柵は、一連の区間に連続的に設置されることになるので、同一構造・強度となる木材が利用できなければならない。また、車両衝突によって変形した場合には、補修のため同一性能を持った木材の迅速な供給が可能であることも必要である。

このように、要求された段階で迅速に適切な部材を供給できる体制の確立は、木製防護柵を利用していく上で基本的な要件となる。

#### あとがき

今回の調査によって、木製防護柵の基本的な設計の考え方を明らかにすることができ、また木製防護柵の実用化を図る上での課題を明らかにすることができた。

今後は、今回の調査結果を踏まえて実用可能な防護柵構造を把握し、実車衝突実験によって機能を検証するとともに、実用化に向けた課題の整理を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) 例えば国土交通省近畿地方整備局：近畿地方建設局公共事業コスト縮減に関する行動計画, 平成 12 年 11 月
- 2) 例えば静岡県工業技術センター、高速道路用木製遮音壁の開発, 第 43 回研究発表会, pp.3-8, 平成 9 年 4 月
- 3) (社)日本道路協会：防護柵の設置基準・同解説, 平成 10 年 11 月
- 4) 森、安藤、岡田：衝突実験施設防護柵実車衝突試験マニュアル(案), 土木研究所資料第 3763 号, 平成 12 年 11 月
- 5) American Association of State Highway and Transportation Officials : Road Side Design Guide, p.B-10, 1989.
- 6) フランス大使館産業技術広報センター：革新的な金属/木材混製ガードレール, 平成 13 年 1 月
- 7) 林知行：エンジニアードウッド, 日刊木材新聞社, 平成 10 年 3 月

安藤和彦\*



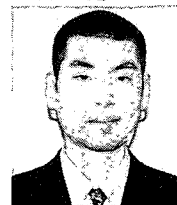
国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路空間高度化研究室主任研究官  
Kazuhiko ANDO

森 望\*\*



同 道路空間高度化研究室長  
Nozomu MORI

若月 健\*\*\*



同 道路空間高度化研究室研究員  
Takeshi WAKATSUKI

◆ 報 文 ◆

## 二輪車を考慮した段差舗装の設置に関する実験検討

若月 健\* 森 望\*\* 安藤和彦\*\*\*

### 1. はじめに

2000年における我が国の交通事故発生件数は931,934件と8年連続して過去最多となっており、依然として憂慮すべき状況にある。

交通事故の発生要因は発生個所の状況などにより様々である。図-1は交通事故を起こした第一当事者(最初に交通事故に関与した車両等の運転者又は歩行者のうち、当該交通事故における過失が重い者。また、過失が同程度の場合には人身損傷程度が軽い者)の違反別事故発生件数<sup>1)</sup>をグラフ化したものである。図から安全不確認や脇見運転など運転者の不注意などにより引き起こされている交通事故が多いことがわかる。

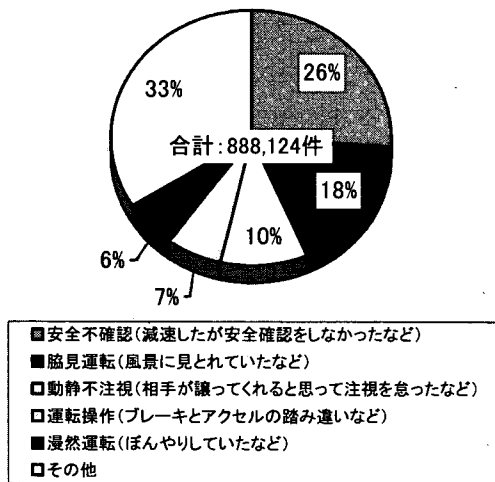


図-1 自動車等運転者の違反別交通事故件数

このような安全不確認や脇見運転など運転者の不注意への対策の一つとして、路面上に断続的な薄層すべり止め舗装(以下、段差舗装)を施工し、運転者に注意を喚起する対策がとられることがある(写真-1)。

段差舗装は、その上を通行する車両に断続的な振動並びに踏みつけ音を与えるため、運転者に注意を喚起し、減速を促す効果があると言われてい。そのため、1) 曲線部や交差点部の手前で減速



写真-1 段差舗装の施工例

を促す必要のある区間、2) 長い直線区間等で漫然運転・居眠り運転となりやすい区間、3) 下り勾配等で速度が超過しやすい区間等に適用されている。

ただし段差舗装の振動が運転者に与える影響についてはこれまで研究された事例が少なく<sup>2),3)</sup>、特に二輪車の運転者に与える影響については明確にされていない。二輪車は四輪車に比べ外力の影響を受けやすいことから、段差が与える影響を十分に把握し、その設置方法を検討する必要があると考える。

そこで本稿では、段差の設置形状や曲線部での設置による影響に着目し、段差が二輪車に与える不快感、減速感や危険感等を評価項目として、二輪車を考慮した段差の設置方法について検討を行った結果を報告する。

### 2. 実験方法

建設省土木研究所(現国土交通省国土技術政策総合研究所)の試験走路内に実験コースを設け、その上を被験者に実験車両で走行してもらい、走行後アンケート調査を行った。

#### 2.1 実験条件

##### 2.1.1 実験コース

実験コースは全6パターンで段差高さ4mmのコースA、段差高さ8mmのコースB、段差間隔、段差長さを変えることにより、車両に与える振動を変化させたコースC、曲線内に段差を設置した

An Experimental study on Installation Method of Thin Surfacing Pavement with Difference in Level for Two-wheel Vehicles.

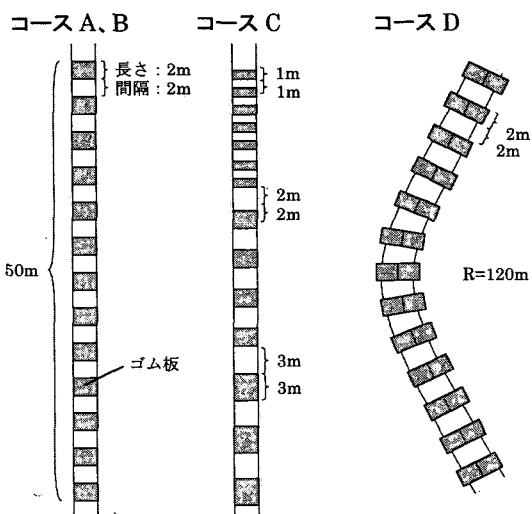


図-2 実験コース

表-1 実験コースの条件

実験コース	概説	段差高さ
A	一定の間隔で車両に振動を与える	4mm
B	一定の間隔で車両に振動を与える	8mm
C	車両に与える振動を変化させる	4mm
D*	段差を曲線部に配置したコース	4mm
E	直線部の基準(平坦)コース	—
F*	曲線部の基準(平坦)コース	—

\*自動二輪車のみ

コース D (図-2) と、比較のための段差のない平坦の直線コース E、平坦の曲線コース F とした。表-1 には実験コースの条件を記す。コース A~D にはいずれも 50m に渡り段差として幅 2m のゴム板を配置した。

### 2.1.2 被験者

被験者は 20 代から 40 代の男性 10 名 (内 1 名は二輪車の車両試験等を行うプロの運転者) とした。

### 2.1.3 実験車両

実験に使用した車両は 250cc の自動二輪車及び 50cc の原動機付き自転車である。自動二輪車は被験者 10 名、原動機付き自転車はプロの運転者を除く被験者 9 名が走行した。

### 2.1.4 走行条件

各被験者は、実験コースの 250m 手前から加速し、実験コース内において表-2 に示す走行条件で通行した。ただし曲線では定速走行のみとした。

### 2.2 アンケート調査

コースを走行後、各被験者に対して「不快感」、「減速感」、「危険感」のアンケートを行った。評価内容は表-3 に示す通りである。また、アンケート以外にハンドルの振れや上下振動などについて

自由に感想を記述してもらった。

## 3. 実験結果

以下「不快感」、「減速感」は段差の注意喚起効果や減速効果に関する評価、「危険感」は段差の安全性に関する評価とする。よって、ここでは「不快感」、「減速感」の評点が高ければ段差の効果は高くなり、「危険感」が高ければ段差の安全性が低くなる。

### 3.1 直線コース

#### 3.1.1 「不快感」、「減速感」

図-3 に「不快感」、「減速感」のアンケート結果をコースごとに示す。図から自動二輪車、原動機付き自転車ともに段差高さ 8mm のコース B が他のコースに比べ「不快感」、「減速感」とも高い評点の占める割合が大きく、段差の設置効果が最も高いといえる。また、車両に与える振動を変化させるコース C も振動が一定のコース A と比べて効果が高い。コース A でも平坦コース E と比較すれば段差を設置する効果はみられる。ただし、「減速感」はどのコースにおいても評点 5。「減速したい」と回答した被験者が見られず、評点 4。「多少減速したい」との回答も自動二輪車でわずかにみられる程度である。

表-2 走行条件

実験車両	走行形態	走行速度
自動二輪車	定速走行	40km/h 60km/h 80km/h
	加速走行	40 から 60km/h への加速
	減速走行	60 から 40km/h への減速
原動機付き自転車	定速走行	20km/h 30km/h 40km/h
	加速走行	20 から 40km/h への加速
	減速走行	40 から 20km/h への減速

表-3 評価内容

評点	1.	2.	3.	4.	5.
不快感	十分快適である	まあまあ快適である	どちらともいえない	やや不快である	かなり不快である
*減速感	まったく減速する気にならない	あまり減速する気にならない	どちらともいえない	多少減速したい	減速したい
危険感	十分安心がある	まあまあ安心がある	どちらともいえない	やや危険を感じる	かなり危険を感じる

\* 減速感 は定速走行時のみ

図-4にはアンケート結果を走行条件別に示した。図から自動二輪車、原動機付き自転車ともに「不快感」は速度が低いほど評点4、「やや不快である」、評点5、「かなり不快である」の占める割合が大きくなっている。また加速走行時よりも減速走行時に評点4、「やや不快である」の占める割合が多くなっており、原動機付き自転車では評点5、「かなり不快である」との回答もみられる。

なお「減速感」には自動二輪車、原動機付き自転車ともに速度との関係はみられない。また「減速感」は「不快感」に比べ低い評点の占める割合が多い(「不快感」はあっても「減速感」のない)傾向がみられ、原動機付き自転車で特にその傾向が強い。

### 3.1.2 「危険感」

「危険感」のアンケート結果をコースごとに図-5に示す。図から自動二輪車、原動機付き自転車ともに評点5、「かなり危険を感じる」という回

答はみられないが、段差高さ8mmのコースBで、原動機付き自転車では振動を変化させたコースCでも評点4、「やや危険を感じる」と回答した被験者が若干名見られる。

車両別に比較すれば自動二輪車よりも原動機付き自転車に与える「危険感」の方が大きい。

次に評点4、「やや危険を感じる」と評価する被験者が若干名いた段差高さ8mmのコースBについて、速度別のアンケート結果を図-6に示す。図から自動二輪車では減速走行時に評点4、「やや危険を感じる」と回答した被験者が見られ、原動機付き自転車では低速走行時や減速走行時に評点4、「やや危険を感じる」と回答した被験者が多いことがわかる。走行後の自由感想でも低速走行時、減速走行時に段差によってハンドルを振られる感じがすると回答した被験者がみられた。被験者個々の回答に着目すれば、同一条件内においても評点4、「やや危険を感じる」と回答する被験者と

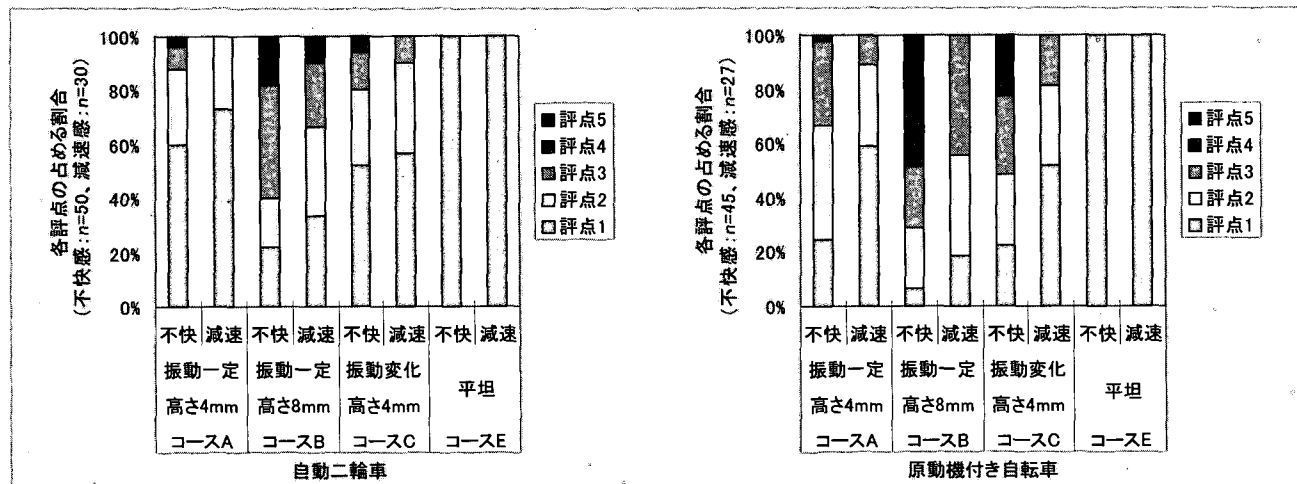


図-3 「不快感」、「減速感」のコース別評点の割合(直線コース)

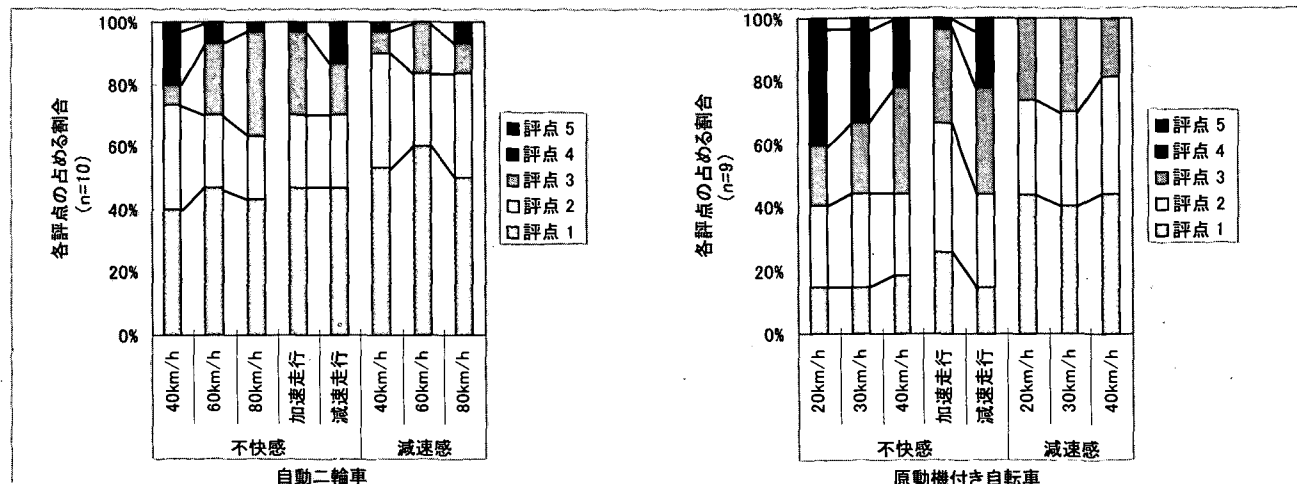


図-4 「不快感」、「減速感」の速度別評点の割合(直線コース)

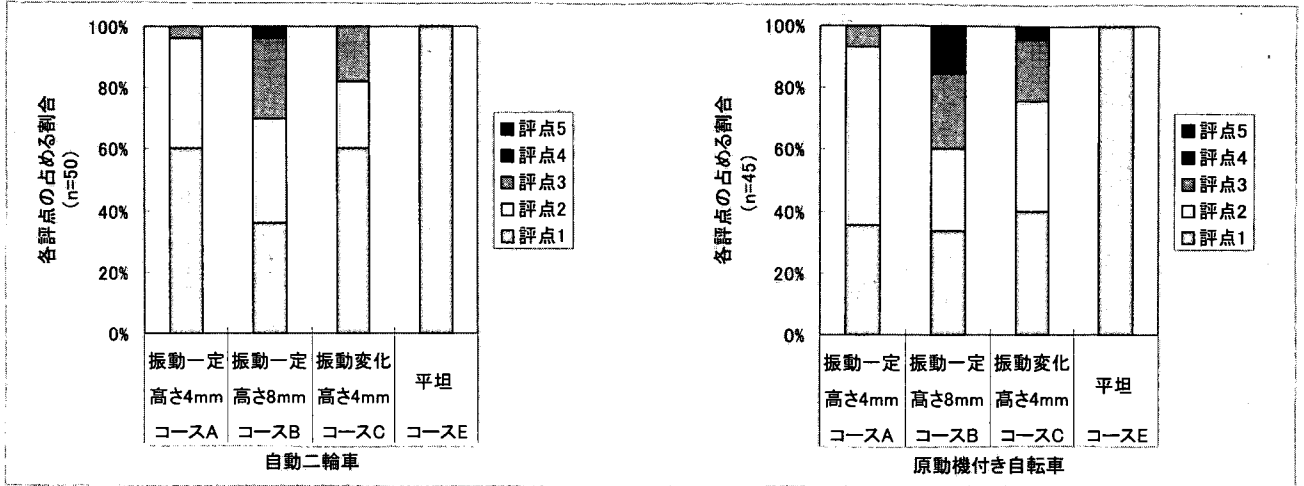


図-5 「危険感」のコース別評点の割合 (直線コース)

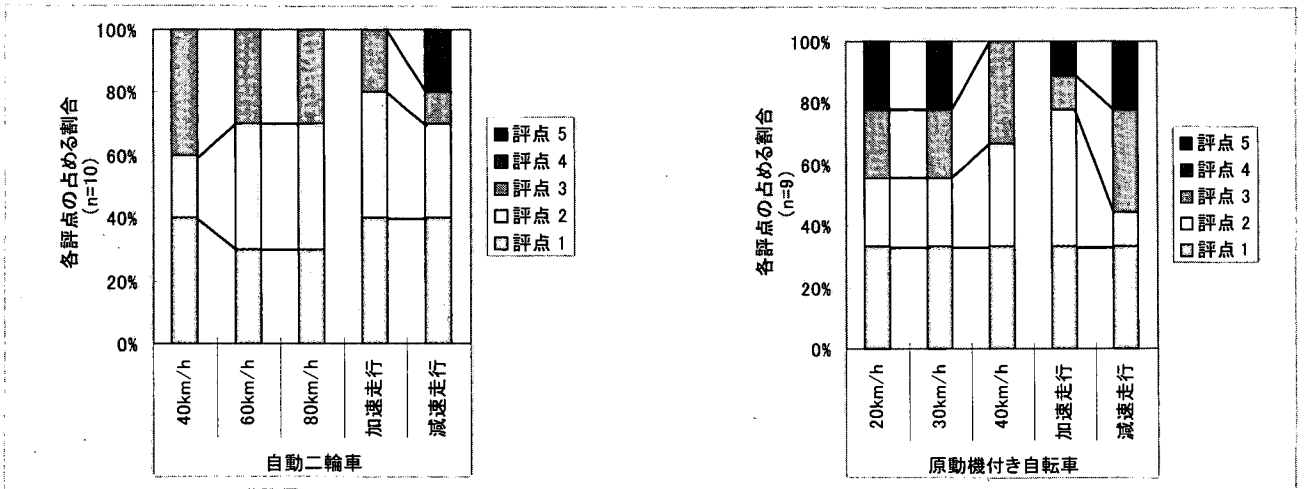


図-6 「危険感」の速度別評点の割合 (コース B (段差高さ 8mm))

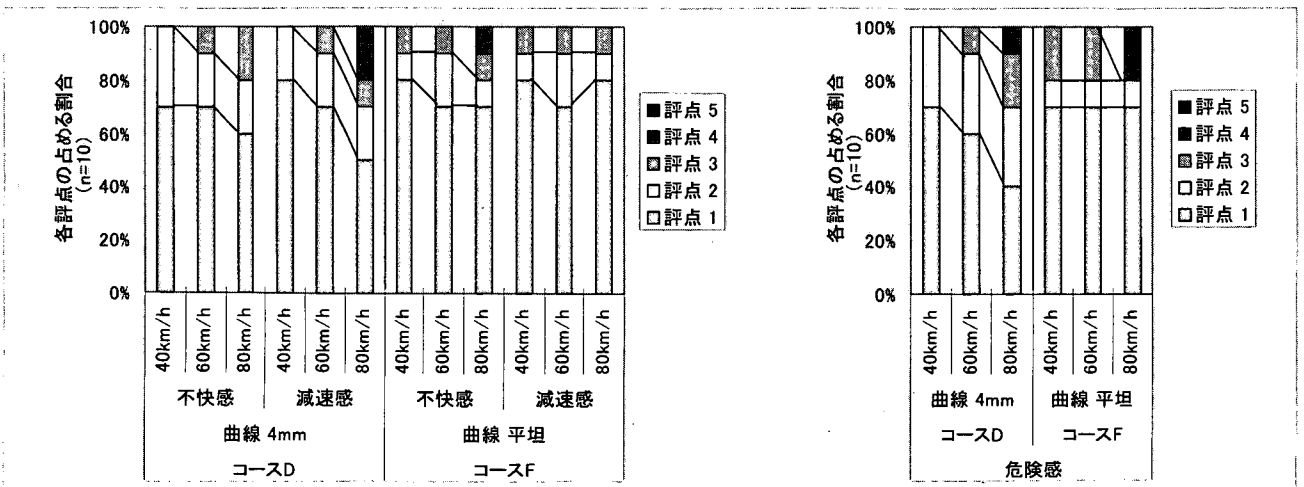


図-7 コース別・速度別の評点の割合 (曲線コース)

評点1. 「十分安心感がある」と回答する被験者が混在しており、人によって受け取り方が大きく異なっている。

### 3.2 曲線コース

曲線コースは自動二輪車のみ実験を行っている。

図-7は「不快感」、「減速感」と「危険感」について段差4mmのコースDと平坦コースFのアンケート結果を速度ごとに示したものである。

#### 3.2.1 「不快感」、「減速感」

直線コースと違い段差4mmのコースDでは、

速度が高くなるほど「不快感」、「減速感」の評点が高くなる傾向がみられる。

### 3.2.2 「危険感」

当初は段差 4mm のコース D の方が評点 4. 「やや危険を感じる」と回答する被験者の数が増えたと考えたが、図から段差 4mm のコース D では 1 名、平坦コース F では 2 名という結果になっている。ただし、段差 4mm のコース D では速度が高くなるほど、評点 1. 「十分安心感がある」と回答した被験者の割合が低下し、安心感が低下してきている。

## 4. 実験結果に基づく段差の評価

### 4.1 直線

平坦コースでは評点が全て 1. であったのに対し、段差を設置することで特に「不快感」が高まっており、段差の設置による注意喚起効果は期待できるものと考えられる。ただし、「減速感」はどのコースにおいても評点 5. 「減速したい」と回答した被験者が見られず、評点 4. 「多少減速したい」とした回答もわずかである。さらに、被験者の評価として「不快感」が高まっても「減速感」には結びつかない傾向にあること、速度の増加が「減速感」の増加にはつながらないことなど、注意喚起効果は期待できると考えられるものの段差によって強制的な減速効果を得ることは難しいと考えられる。

二輪車は特性として、制動などにより車速が低下すると車体の安定性が低下することから、結果として運転者が制動を嫌がり「減速感」が得られにくいものと考えられる。特に低速走行時、減速走行時に「不快感」、「危険感」の評点が他の走行条件に比べ大きくなっているのもこの二輪車の特性によるものと考えられる。

また原動機付き自転車は自動二輪車に比べ「不快感」が高いにもかかわらず「減速感」が低い。これは原動機付き自転車の輪距(前輪軸と後輪軸間の距離)や車両質量などの車体構造が自動二輪車と違うことに加え、原動機付き自転車の車速が低いことが要因の一つであると考えられる。

段差形状でみると段差高さは高い方が、車両に与える振動は変化させた方が「不快感」、「減速感」などを伴う振動を与え、設置効果は上がる。ただし段差高さ 8mm では、実験車両や走行条件

によってやや危険を感じるとした被験者が若干名みられるため、原動機付き自転車等の通行量が多い区間、制動を行う区間では、段差高さを低くしたり、段差を設置しないなどの検討を行うことが、より望ましいと考えられる。

### 4.2 曲線部

曲線部内に段差を設置したコースにおいても評点 4. 「やや危険を感じる」とした被験者はほとんどみられないが、速度が高くなるほど評点 1. 「十分安心感がある」と回答した被験者の割合が低下する傾向にある。二輪車は旋回中に段差上を走行すると、断続的に車体が浮き上がり遠心力の反力である路面-タイヤ間の摩擦力が低下するものと考えられる。遠心力は速度が高くなるほど大きくなることから、速度が高くなるにつれ「十分安心感がある」と回答した人の割合が低下したものと考えられる。このため曲線部内では段差を設置しないなどの検討を行うことが、より望ましいと考えられる。

## 5. 段差の設置方法の検討

実験結果を基に二輪車運転者を考慮した段差の設置方法について検討を行う。

### 5.1 設置形状

段差の高さや間隔を変えることにより二輪車へ与える影響が変化することがわかった。特に段差高さは、運転者に与える影響を大きく左右するため、計画時には十分な検討が必要である。実験から 4mm 程度の段差でも運転者に振動を与えることによる注意喚起効果を期待できることがわかった。また、車両に与える振動を変化させることによってより高い設置効果を期待できることがわかった。ただし今回の実験から段差での減速効果は期待できないと考えられるので、視覚的に危険箇所を明示する警戒標識や視線誘導施設等を併用し、設置効果を高めることが望ましい。

### 5.2 設置方法

本実験から、二輪車の特性を考慮すると、二輪車の制動する区間や曲線部では段差を設置しないなどの検討を行うことが、より望ましいと考えられることがわかった。このことを踏まえ、曲線区間や交差点手前での望ましい設置方法の考え方をまとめると以下の通りである。

1) 曲線部等の十分手前に段差による注意喚起区

間を設け、車両への注意を喚起する。

- 2) 注意喚起区間の直後に制動区間を設け、減速等を行わせる。制動区間は全面すべり止め舗装等とすれば車両の滑り抑制にもつながる。
- 3) 曲線部内では段差を設置せず、二輪車が十分安心感を持って通行できるようにする。制動区間から連続した全面すべり止め舗装等とすれば車両の滑りを抑制し、車両の旋回行動を助ける。設置方法の一例を図-8、9に示す。

### 5.3 その他

#### 5.3.1 段差のカラー化

段差舗装は段差上を通行した時の断続音や断続振動による注意喚起だけではなく、カラー化することにより視覚的に前方への注意を促し、視線誘導、線形予告等の効果が得られると考えられる。ただし曲線区間と交差点手前のように全面すべり止め舗装とする場合については、舗装と路面標示が同系色であると路面標示が目立たなくなるため、

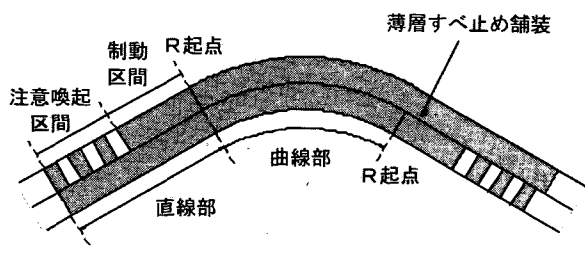


図-8 曲線区間での設置方法 (例)

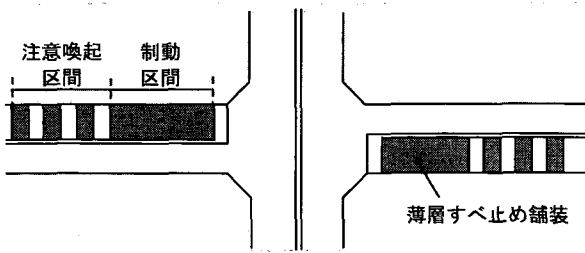


図-9 交差点手前での設置方法 (例)

特に黄色の路面標示に対して同系色の舗装は好ましくない<sup>4)</sup>ので留意が必要である。

### 5.3.設置場所

平面線形と縦断線形の組み合わせから運転者が前方の段差を認知しにくい箇所では、段差を十分手前から設置するなど、運転者にその存在を認知させる手段をとることが望ましい。さらに段差区間手前では「段差あり」等の注意を促すことも考えるべきである。

## 6. まとめと今後の課題

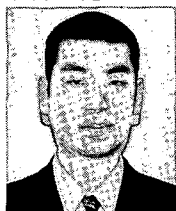
二輪車は四輪車に比べて運動の自由度が高い反面、外力の影響を受けやすい。本稿では段差舗装が二輪車に与える影響を走行実験により調査し、得られた結果に基づき、二輪車運転者の影響を考慮した段差舗装の設置方法についての検討を行った。その結果、曲線区間や交差点手前での望ましい設置方法の考え方を導き出すことができた。

しかし、本実験から二輪車の運転者は段差から受ける影響について個人差が大きいことがわかっており、今後、多くのデータを蓄積し精度を高めていくことが必要である。

### 参考文献

- 1) 財団法人交通事故総合分析センター：交通統計 平成12年版, 2001.4
- 2) 相川智彦、清野勝：速度抑制対策としての薄層舗装の走行実験, 第18回交通工学研究発表会論文報告集, pp.69-71, 1998.11
- 3) 安藤和彦、若月健：段差薄層舗装における二輪車の挙動実験, 第23回道路会議一般論文集(A), pp.176-177, 1999.10
- 4) 梶原秀太：路面表示の1日における視認性を考える, 路材協会報, No.113, pp.7~15, 2001.7

若月 健\*



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研究員  
Takeshi WAKATSUKI

森 望\*\*



同 道路空間高度化研究室長  
Nozomu MORI

安藤和彦\*\*\*



同 道路空間高度化研究室主任  
研究官  
Kazuhiko ANDO