

# 鉄道車両の衝突安全性を評価する



**沖野 友洋**  
Tomohiro Okino  
車両技術研究部  
車両強度研究室  
研究室長



**永田 恵輔**  
Keisuke Nagata  
前 車両技術研究部  
車両強度研究室  
研究員

## はじめに

鉄道の安全対策として、万一の衝突事故時に乗客や乗務員の被害を軽減する車体構造は重要です。しかしながら、我が国において、車体構造の設計基準は必ずしも衝突事故を想定しておらず、衝突条件や車両の衝突安全性を評価するための指標が明示されていません。一方、欧州<sup>1)</sup>や米国<sup>2)</sup>では、車両の衝突安全性に関する設計基準がありますが、それらの内容は異なります。例えば、表1に示すように、想定する衝突シナリオは、欧州では列車同士、貨車との衝突、障害物との衝突（踏切事故を想定）であるのに対し、米国では列車同士の衝突を設定しています。

また、設定された衝突シナリオで衝突させた際に、車内の安全性を評価する方法として、欧州では車体の衝撃減速度の平均値を指標としているのに対し、米国では最大値を指標としており、それぞれの指標には限度値が設定されています。これらの評価方法を説明するために、車体が衝突した際の、車体の速度と衝撃減速度の時刻歴の例を図1(a)に示します。衝突は一瞬の出来事であり、きわめて短い時間で車体の速度が低下します。図1は衝突後0.3秒間の変化を示していますが、黒線のように車体の速度が徐々に低下します。この車体の減速の程度を表すのが衝撃減速度であり、紫線のような波形となります。

表1 欧米の衝突安全性に関する規格

	EN規格 (欧州)	FRA規格 (米国)
想定する衝突シナリオ	①同等の編成列車に 36km/h で衝突 ②80トン貨車に 36km/h で衝突 ③15トンの変形する障害物に 最大 110km/h で衝突	同等の編成列車に 48km/h で衝突
車体の衝撃減速度に関する規定	①② <b>平均減速度</b> が 5G 以下 ③ <b>平均減速度</b> が 7.5G 以下	50Hz ローパスフィルター処理後の <b>最大減速度</b> が 8G 以下

\* 車種によって衝突速度などの設定が異なります

す。この車体の減速度波形に対し、**図1 (b)**に示すように、平均値で評価するのが欧州規格、最大値で評価するのが米国規格となります。なお、後述の提案手法である車体減速度の積分値は、緑色で示す面積となります。

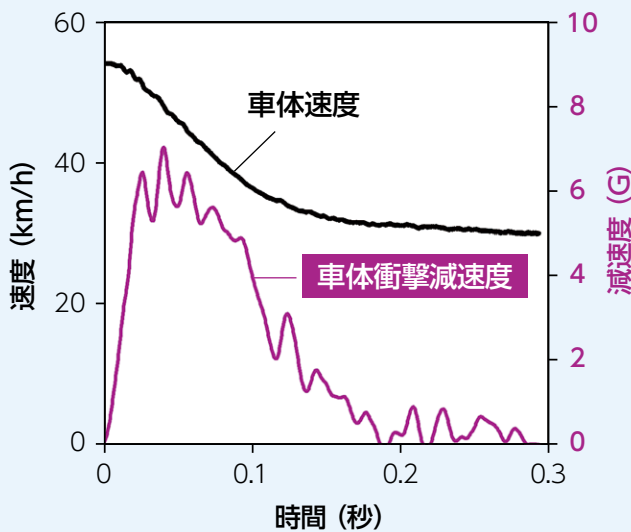
この欧州規格をベースとしてISOに国際規格化する動きが認められます。そのため、我が国

における車両の衝突安全性に関する設計基準を検討し、統一的な見解を準備することはきわめて重要であると考えます。衝突シナリオは各国の事情に合わせて設定する可能性が考えられますが、衝突安全性の評価指標は世界共通となる可能性が考えられますのでとくに重要となります。これらのことから、既存の欧米の評価指標と提案指標を、乗客の傷害度との相関の高さを判断基準として比較検証<sup>3)</sup>しましたので、以下に紹介します。

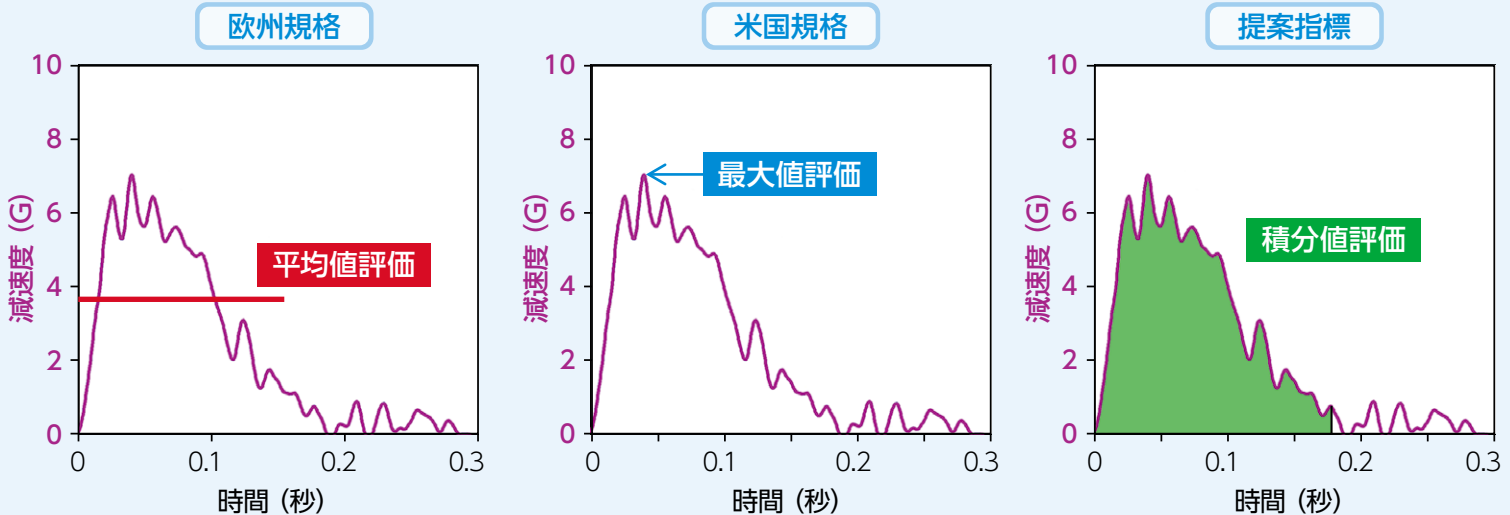
### 踏切事故の統計的調査

列車乗員（乗務員および乗客）の被害が大きくなる要因を検討するために、列車乗員の負傷者が5名以上または死者が1名以上の踏切事故を、「主要な踏切事故」と定義し、1987～2016年度の30年間に発生した主要な踏切事故を調査した結果、54件でした。これらの事故について、推定衝突速度の分布および衝突対象物の内訳を**図2 (a)**および**図2 (b)**にそれぞれ示します。なお、各事故の概況調査に鉄道総研

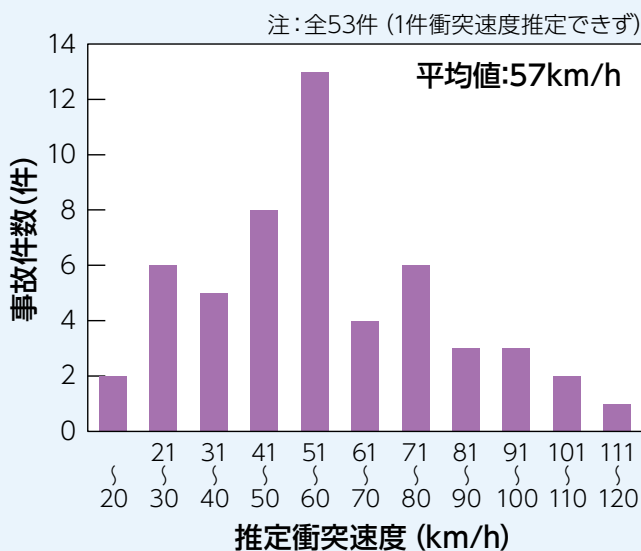
図1 車体の減速度波形とその処理方法の例



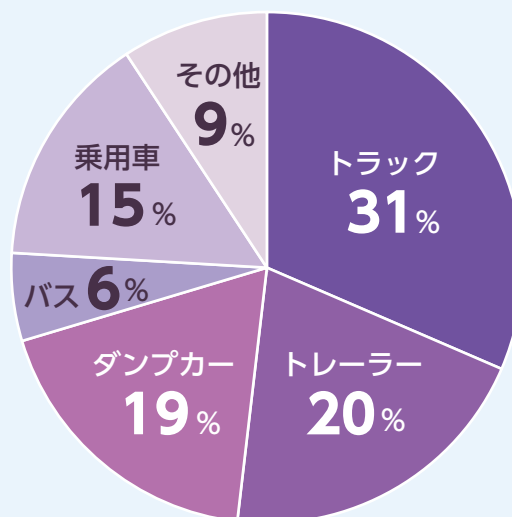
(a) 車体の速度と減速度波形の例



(b) 車体の減速度波形の処理方法



(a) 推定衝突速度



(b) 衝突対象物

図2 主要な踏切事故の統計結果（1987年度～2016年度）

鉄道技術推進センターの「鉄道安全データベース」を利用し、運輸安全委員会の鉄道事故調査報告書に推定衝突速度の記載があるものについては、その値を引用しました。

主要な踏切事故においては、推定衝突速度は15～117km/hにかけて広く分布し、平均値は57km/hでした。衝突対象物はトラックがもっとも多く、全体の31%を占め、トレーラーおよびダンプカーの割合はそれぞれ20%および19%であり、これら貨物車両の占める割合は70%でした。また、衝突対象物に占める乗用車の割合は15%でした。

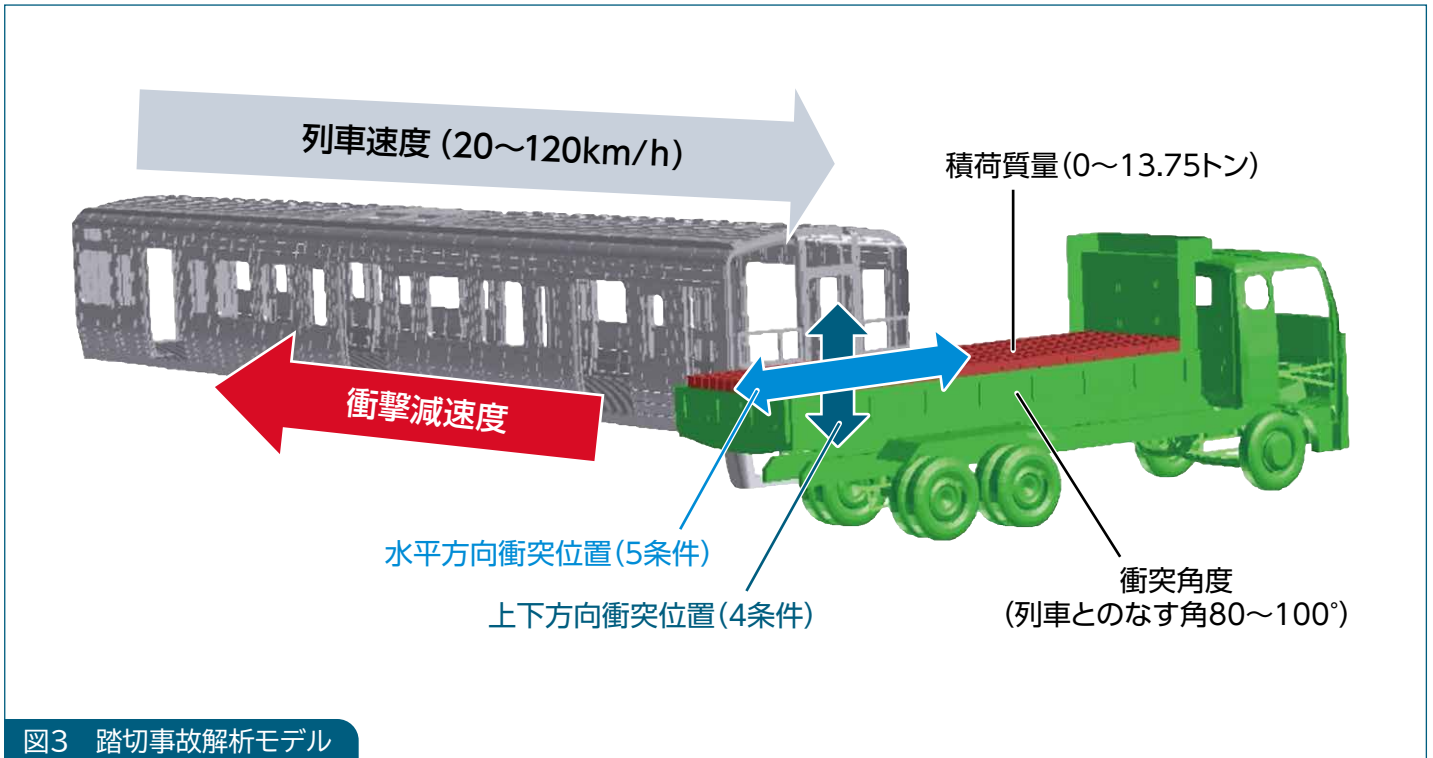
54件の事故のうち、推定衝突速度が30km/h未満にも関わらず、死傷者数が突出した事故が2件ありました。これらは、衝突対象物の質量が著しく大きかったことや乗客数が多かったことが特徴的でした。また、推定衝突速度が100km/h前後で比較的質量の大きな対象物だったにも関わらず、死傷者が比較的少なかった事故が2件ありました。これらは、列車前面の一部が接触したオフセット衝突であったこと

が特徴的でした。

以上の調査結果から、列車乗員の被害が比較的大きかった主要な踏切事故は、衝突速度が高い速度領域に集中しておらず、57km/hを平均として広く分布する一方で、衝突対象物の70%が比較的質量の大きい貨物車両でした。また、衝突速度や対象物質量以外にも、衝突時の列車と対象物の相対位置関係、あるいは乗車率や乗客姿勢（立位や座位など）などが列車乗員の被害度に影響すると推定されました。

### さまざまな条件下での踏切事故のFEM解析 踏切事故解析モデルと解析条件

図3に踏切事故解析モデルを示します。列車モデルは標準的なステンレス鋼製車体構造の1車体モデルで、車両総質量を30トン程度としました。衝突対象物は大型ダンプカーとしました。ダンプカーモデルは総質量22トン（最大積載量である積荷11トンを含む）を基準としました。列車とダンプカーの上下方向の位置関係は、列車の台枠下面とダンプカーの荷台下面の距離



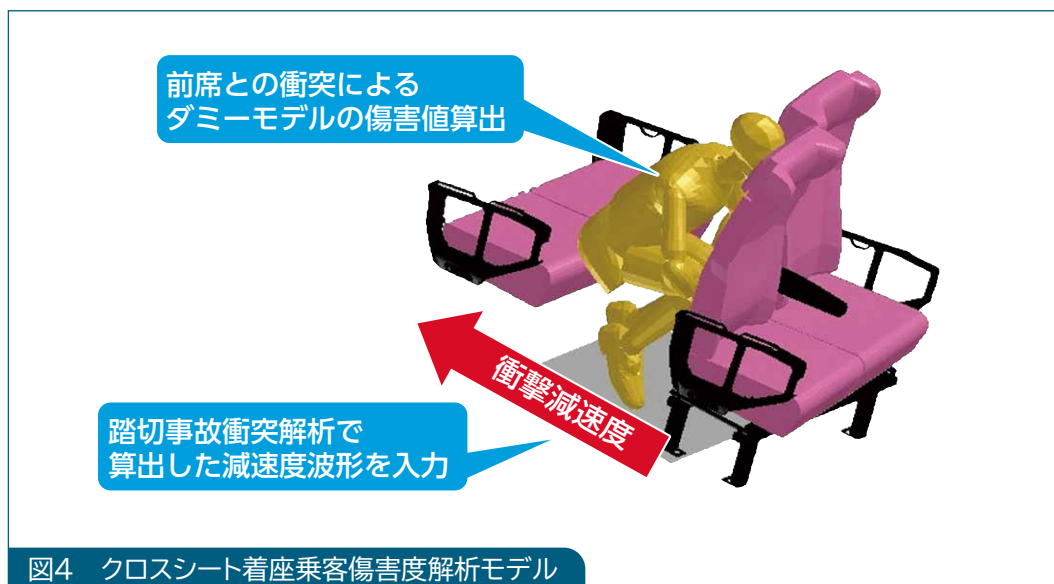
が355mmとなる位置を基準位置とし、ダンパーは静止状態としました。

踏切事故の統計結果から、さまざまな衝突条件を模擬するために、図3に示す衝突速度、衝突角度、水平方向衝突位置、上下方向衝突位置およびダンパー積荷質量の各条件を変化させて衝突解析を行い、衝突開始時刻から0.3秒程度までの車体の減速度波形を算出しました。これら

踏切事故解析により得られた車体減速度波形の総数は222です。

#### シート着座乗客傷害度解析モデル

図4にクロスシート着座乗客の傷害度解析モデルを示します。本モデルに衝撃減速度波形を入力すると、ダミーモデルが前席と衝突することによる、ダミーモデルの頭部、胸部、<sup>だいたい</sup>大腿部など各部位の傷害値が算出可能です。ここで



は以前の研究結果<sup>4)</sup>から、重傷となる可能性がもっとも高くなった1人着座条件での**大腿部荷重**<sup>※参照</sup>を評価対象としました。踏切事故解析で算出した総数222の車体の減速度波形を入力として、乗客傷害度解析モデルにより、ダミーモデルの大腿部荷重(以下、「ダミー傷害値」)を算出しました。

### 衝突安全性評価法の検討

前述した踏切事故解析により得られた、222の車体減速度波形から以下の3つの評価指標①~③と、車体減速度波形を入力とした乗客傷害度解析によりダミー傷害値④を求めました。

#### ※ 大腿部荷重

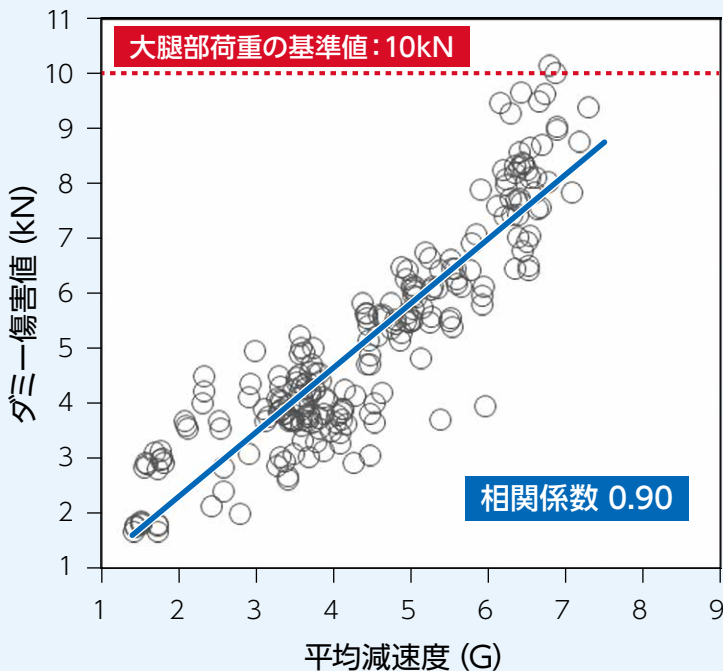
衝突時にダミー人形の大腿骨に相当する部分に加わる大腿骨軸方向の荷重のこと。自動車の前面衝突時の乗員保護の技術基準では、10kNを超えないことが定められています。

- ① 減速度の平均値(欧州規格に準拠)
- ② 減速度の最大値(米国規格に準拠)
- ③ 減速度の積分値(提案指標)
- ④ ダミー傷害値(大腿部荷重)

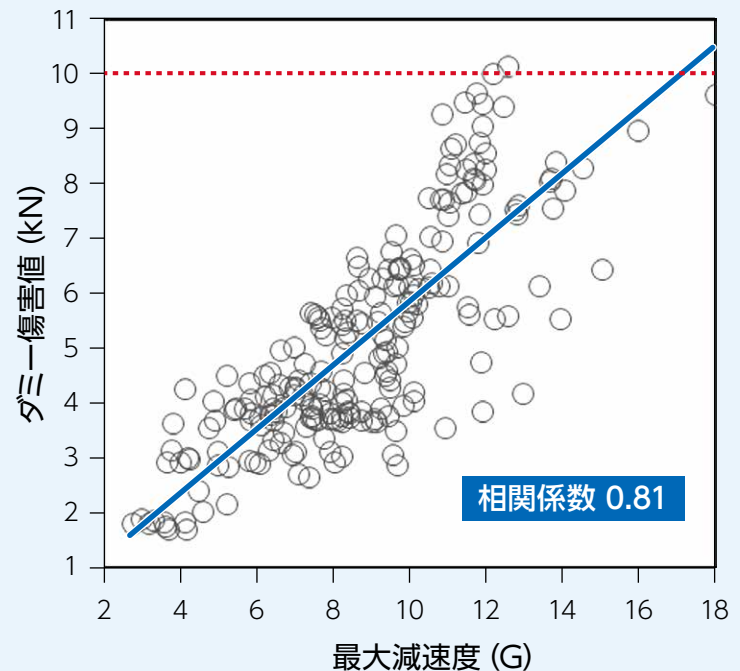
④のダミー傷害値を縦軸にとり、①の平均減速度(欧州規格)、②の最大減速度(米国規格)および③の減速度積分値を横軸にとり、評価指標①~③とダミー傷害値との相関を調べた結果をそれぞれ、**図5(a)**、**(b)**、および**(c)**に示します。各図中には、線形近似(青線)および相関係数、ならびにダミー傷害値(大腿部荷重)の基準値である10kNを赤破線で示します。なお、相関係数は1に近いほど、相関が高いと判断できます。

**図5**より、欧州規格である平均減速度は、相関係数が0.90となり、ダミー傷害値と良い相関が認められました。一方、米国規格である最大減速度は、ある程度の相関(0.81)は認めら

図5 ダミー傷害値と各評価指標との関係



(a) 欧州規格



(b) 米国規格

れますが、平均減速度には及ばないことが明確となりました。次に、減速度積分値は、相関係数が0.95となり、ダミー傷害値ともっともよい相関が認められました。

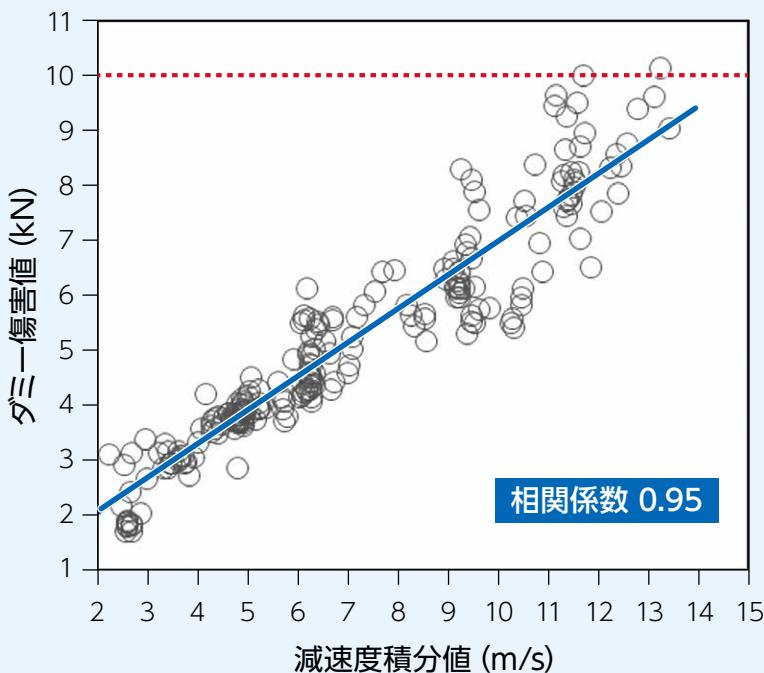
以上の結果から、クロスシート着座乗客の傷害度を考慮した場合の我が国での最適な衝突安全性に関する評価指標は「減速度積分値」となります。一方、米国規格の評価指標である「最大減速度」は、ダミー傷害値との相関が低いいため評価指標として推奨されません。欧州規格の「平均減速度」は比較的良好な相関がありました。欧州規格は欧州だけでなく、アジアなど多くの国で採用されているため、将来的にはISO化など世界共通規格化の可能性が考えられます。これらの事情を考慮して、我が国でも採用することが選択肢の1つとして考えられます。

ここまで、我が国での車体構造の衝突安全性

評価指標を検討してきましたが、実際に、我が国における衝突安全性評価指標を決定する場合には、関係省庁を初め、鉄道事業者や車両製造会社などの関係者での議論が必要です。

## おわりに

列車衝突事故時の乗客の安全性を向上させることを目的として、耐衝突性を考慮した鉄道車両の設計に活用できる、我が国の実情に即した衝突安全性評価法を検討しました。その結果、既存の欧米の評価指標よりも減速度波形を積分する減速度積分値の方が乗客の傷害値との相関が高くなることを示しました。乗客の傷害値との相関性の高さおよび近い将来の世界共通規格化を考慮して、我が国の衝突安全性に関する評価指標として「減速度積分値」または「平均減速度」を提案します。 **RRR**



(c) 提案指標

## 文献

- 1) EN15227:2008+A1:2010: Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies, 2010
- 2) 49 CFR Part 238: Passenger equipment safety standards, 2011
- 3) 沖野友洋, 永田恵輔, 中井一馬, 小林秀敏: 乗客傷害度と相関が高い車体減速度積分値を用いた衝突安全性評価法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.12, pp.29-34, 2020
- 4) 沖野友洋, 中井一馬, 高野純一, 榎並祥太, 長尾裕, 小川正輝: 衝突事故におけるクロスシート着座乗客の傷害評価, 鉄道総研報告, Vol.32, No.1, pp.29-34, 2018