

I-71

自動車用緩衝ドラムの緩衝特性に関する衝撃応答解析

北海道開発局開発土木研究所 正 員 池田 憲二
北海道開発局開発土木研究所 正 員 今野 久志
室蘭工業大学 正 員 岸 徳光
北海道開発局開発土木研究所 ○正 員 藤野戸宏樹

1. はじめに

我が国では、山間部の道路に設置されているガードレール端末支柱、トンネルの出入り口、さらに橋梁等の道路構造物近傍に車両衝突事故に対する安全対策として緩衝材が設置されている。

しかし、安全な道路を設計し緩衝材を設置しても、誤って車両が道路構造物等に衝突した場合、車のスピードによっては死に至るケースもある。このため、車両のスピードもさることながら、設置している緩衝材の緩衝特性についても十分に注意を払う必要がある。この課題に対し、米国では、1966 年の連邦ハイウェイ安全法案成立以降、ドライバーを衝突事故死から守るための安全基準が定められ、道路関連施設に対する緩衝材の開発が行われてきた。さらに、1993 年には、米国運輸調査委員会によって NCHRP-350 (National Cooperative Highway Research Program) が勧告され、車両が緩衝材に衝突した際の乗員の安全評価基準値が取り決められた。しかしながら、日本では未だに米国のような乗員を死亡事故から守るための具体的な安全基準が作られていない。1998 年 11 月に、「防護柵の設置基準」が改訂され、緩衝施設の重要性が認識され始めたばかりである。日本の各自動車メーカーは、独自に自動車の安全性を向上するために様々な研究を行っているが、高緩衝性能を有する緩衝材の開発があまり行われていないのが現状である⁴⁾。

以上のことから、筆者らはより緩衝効果の高い緩衝材の開発を目的として、各種緩衝材に対する実車衝突実験を実施してきた^{1), 2), 3)}。しかしながら、様々な車種や衝突速度に対して緩衝材の緩衝特性を評価するために実車衝突実験を実施するには多大な費用と時間が必要となる。一方、各自動車メーカーは車両の安全性を向上させるために人体模型を搭載した各種実車衝突実験を実施するとともに数値実験的な検討も行っており、各種車両や人体の F.E.M.解析モデルが作成されている。このことから、今後は緩衝材を適切にモデル化することによって精度の高い各種緩衝材の緩衝性能評価解析が可能になるものと考えられる。本論文では、過去に行われてきた実験研究を基に 4 種類の緩衝構造を考え、衝突速度 60km/h で車両が緩衝材へ衝突する場合の衝撃解析を行い、速度と変位の波形分布を用いて各ケースの緩衝性能に関する比較検討を行ったので報告する。なお、本数値解析は、陽解法非線形動的構造解析コード LS-DYNA(ver.940)を用いて行っている。

2. 数値解析

2.1 数値解析モデル

表-1 に本数値解析の解析ケース一覧を、図-1 に本数値解析で用いたクッションドラムと新型緩衝材の平面図を示す。

解析 No.1 は緩衝材を設置しない場合で、幅、厚さ、高さがそれぞれ 400cm、10cm、300cm のコンクリート製の反力壁に車両を直接衝突させたものであり、解析 No.2～5 は、この反力壁の前面に緩衝

Study on Dynamic response analysis on the Shock Absorbing Characteristics of Road Terminal Pole with Absorbing System

by Kenji IKEDA, Hisashi KONNO, Norimitsu KISHI and Hiroki FUJINOTO

表-1 解析ケース一覧

解析 No.	緩衝材種類	衝突速度
1	緩衝材無し	60km/h
2	クッションドラム 3 個	60km/h
3	EPS①+波形鋼板+ウレタン	60km/h
4	EPS②+波形鋼板+ウレタン	60km/h
5	EPS③+波形鋼板+ウレタン	60km/h

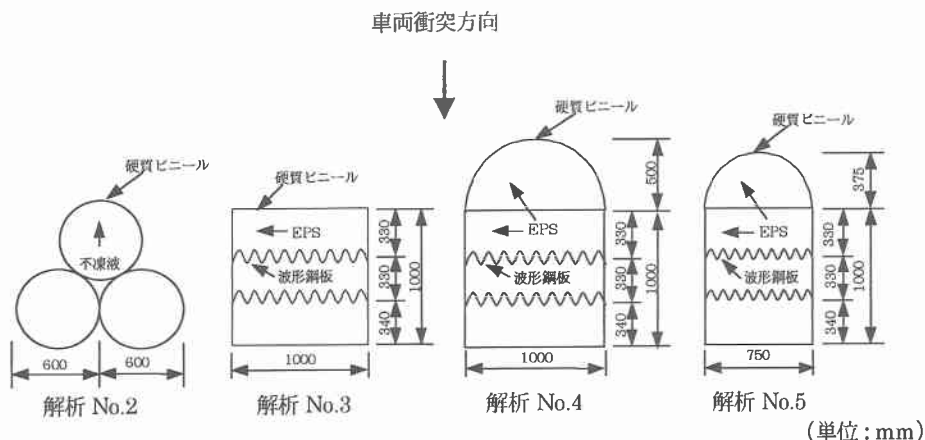


図-1 解析に用いた緩衝材の平面図

材を設置したケースである。解析 No.2 の緩衝材は現在日本で一般的に用いられているクッションドラム（ $\phi 600\text{mm} \times \text{H}840\text{mm}$ ）である。クッションドラムは、硬質ビニール性で平面的には円形で重量を大きくする目的と緩衝効果を得るためドラム内には不凍液が入っておりネジ蓋で閉める構造となっている。解析モデル上では、硬質ビニールのモデル化が困難であったため、0.2mm の鉄板でモデル化している。解析 No.3 は EPS（高さ：1000mm、幅：1000mm、奥行き：1000mm）の内部に EPS の局所的な変形防止と衝撃力の吸収面積を大きくするために波型鋼板を挿入した場合である。解析 No.4 は、解析 No.3 に用いた緩衝材前面に緩衝性能の向上を目的として、半円形の EPS を付加した場合である。解析 No.5 は、解析 No.4 に用いた緩衝材の幅を 750mm に縮小した場合である。なお、解析 No.3～5 の解析モデルでは、数値解析の効率化を考慮して緩衝材表面のウレタン被膜を厚さ 0.2mm の鉄板でモデル化している。図-2.1、2.2 に本数値解析で用いた車両の F.E.M.モデルの断面図と外面図を示す。解析に用いた車両の有限要素モデルは、米国の研究機関である National Crash Analysis Center (NCAC) より取得したものである。車両の総接点数、総要素数はそれぞれ 5300,4900 程度で、車両モデルの長さ、幅、高さ、質量はそれぞれ 360 cm、160 cm、150 cm、1.1 ton である。

2.2 接触条件および境界条件

実際の道路でクッションドラムを 3 個設置する場合にはクッションドラムをロープで拘束しているが、解析においては後ろ 2 個のクッションドラムが側方に移動しないように拘束条件を設定している。車両が緩衝材に衝突するため、両者の要素間には実現象に即して接触・剥離が再現可能である接触面を定義している。車両と路面の要素間に対しては、接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を考慮し、摩擦などによるエネルギー損失は考慮しないものとした。また、反力壁であるコンクリートの要素底部と路面要素は、完全固定としている。

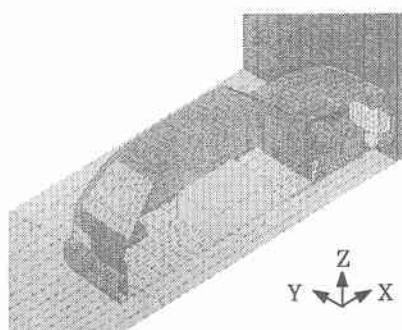


図-2.1 F.E.M.モデル（断面図）

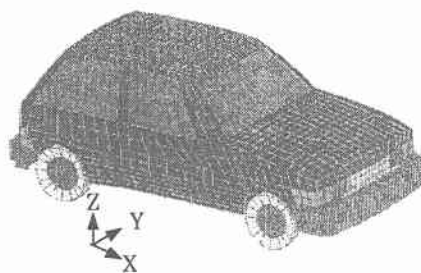


図-2.2 F.E.M.モデル（外面図）

2.3 物性モデル

本数値解析では各種構成要素に対しLS-DYNAにあらかじめ組み込まれている物性モデルを用いている。表-2 に本数値解析に用いた各種構成要素の物性値を示す。車両モデルの各パーツに対しては、多直線近似

表-2 各種構成要素の物性値

材料	単位体積重量 (N/cm^3)	弾性係数 (N/cm^2)	ポアソン比	備考
車両全パーツ	7.69×10^{-2}	2.06×10^7	0.3	弾塑性体 降伏応力 2.03 kN/cm^2
コンクリート (剛体)	2.25×10^{-2}	1.96×10^7	1/6	弾塑性体
不凍液 (水)	9.8×10^{-3}	1.96×10^5	0.0	弾性体
EPS	1.96×10^{-4}	2.16×10^2	0.0	等方クラッシュブル モデル
波形鋼板	7.23×10^{-2}	2.06×10^7	0.3	弾塑性体 降伏応力 2.89 kN/cm^2
鉄板	2.64×10^{-2}	2.06×10^7	0.3	弾塑性体 降伏応力 39.2 kN/cm^2
路面	7.69×10^{-2}	2.06×10^7	0.3	弾性体

による等方弾塑性体モデルを用いている。このモデルは任意の応力-歪曲線が入力可能であり、また歪速度依存性も定義することができる物性モデルである。なお、本数値解析では単純な材料構成則を用いることを前提としているため歪速度効果は考慮しないものとした。また、タイヤ要素は実際にはゴム製であるが、車両の衝突解析では鋼製の物性値を用いてモデル化を行うことが一般的であるため、本数値解析でもそれを採用してモデル化することとした。

3. 解析結果

図-3 に時速 60 km/h (16.67 m/s) で車両が緩衝材に衝突した瞬間からの車両の速度変化波形を示す。これより、各解析ケースとも衝突後の車両速度は、時間の経過とともに直線的に減速し、速度が零を迎えた後、車両は反力壁または緩衝材から跳ね返り後退している。緩衝材を設置しない場合の解析 No.1 は、車両の変形のみでエネルギーを吸収し減速しているため、車両速度が零になるまでの時間が短くなっている。また、反力壁から跳ね返った後の車両速度は、ほぼ零を示している。それに対して、解析 No.2~No.5 は、緩衝材の効果により車両速度が零になるまでの時間が延長している。また、緩衝材から跳ね返った後の車両速度は、

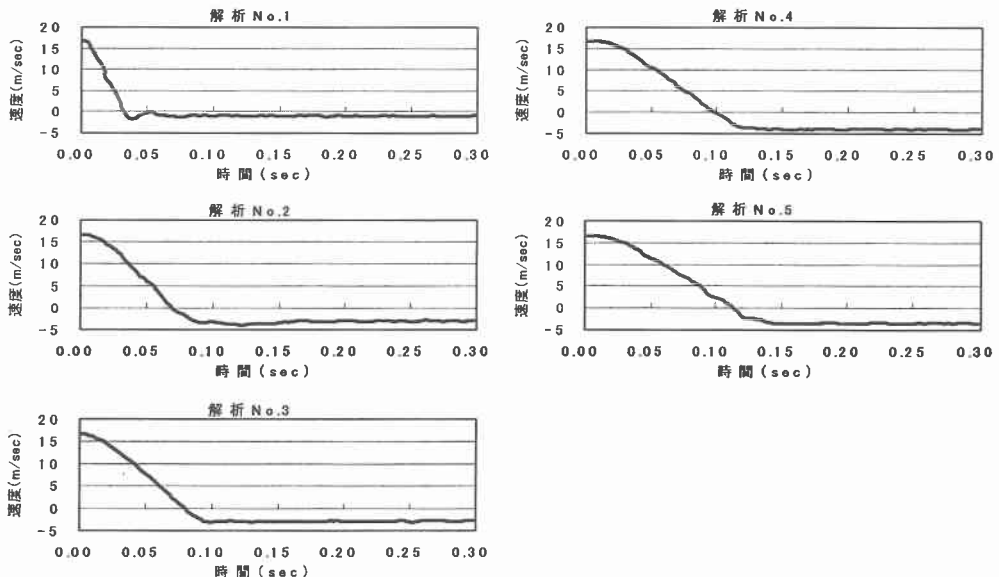


図-3 衝突時の車両の速度変化波形

緩衝材の復元力のため、解析 No.1 に比較し大きくなっており、その後一定値を示している。一般に、緩衝材の緩衝能力が高いほど、減速度が小さくなることより、車両の衝突速度を車両が緩衝材に衝突した瞬間から速度がほぼ零になるまでの時間で除した平均減速度 (m/sec^2) を用いて緩衝材の評価を行った。

表-3 計測結果一覧

解析 No.	緩衝材名	衝突速度 (m/sec)	速度零地点 (sec)	平均減速度 (m/sec^2)	最大変形量 (cm)
1	緩衝材無し	16.67	0.034	490	32.2
2	クッションドラム3個	16.67	0.070	238	32.9
3	EPS①+波形鋼板+ウレタン	16.67	0.082	203	21.0
4	EPS②+波形鋼板+ウレタン	16.67	0.108	154	27.1
5	EPS③+波形鋼板+ウレタン	16.67	0.116	144	28.1

表-3 には、計測結果として、衝突時の車両の速度 (m/sec)、衝突速度がほぼ零になるまでの継続時間 (sec)、平均減速度 (m/sec^2)、衝突時の車両の最大変形量 (cm) を整理している。平均減速度は、緩衝材を設置していない場合の解析 No.1 が、 490 m/sec^2 ともっとも高い値を示している。解析 No.2、3 が 220 m/sec^2 前後であるのに対して、解析 No.4、5 は、車両衝突時から速度が零になるまでの時間が長いため 150 m/sec^2 前後となり、従来型のクッションドラムに比較して解析 No.4、5 の新型緩衝材は、30%以上減少している。これより、解析 No.4、5 は優れた緩衝性能を有しているものと考えられる。

図-4 に各解析ケースにおける車両の変形波形を示す。車両の変形量が最大値を示す時間は、表-3 に示した車両速度が零になる時間と一致している。緩衝材を設置していない場合の解析 No.1 は、時間の経過とともに車両変形量が急激に増加し、最大変位に至っている。クッションドラム3個の解析 No.2 の場合は、変形量が 15mm 程度まで、解析 No.1 と同様な増加傾向を示し、それ以降は変形量の増加率が減少し最大変位に至っている。解析 No.3~5 と解析 No.1、2 を比較すると、解析 No.3~5 の場合は変形量の時間経過の傾きは緩やかであり、最大変形量も小さな値を示している。

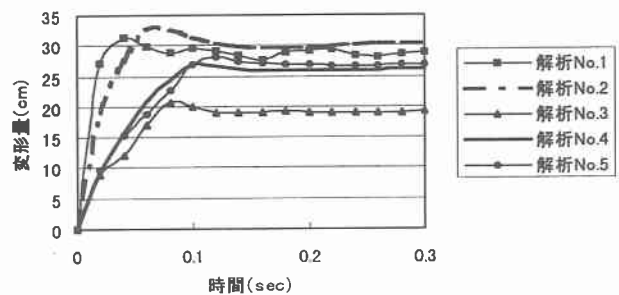
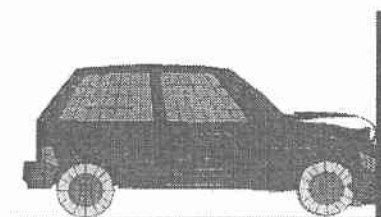
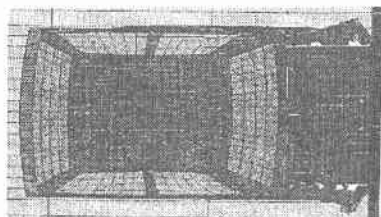
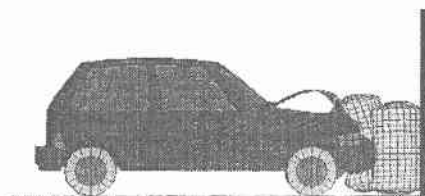
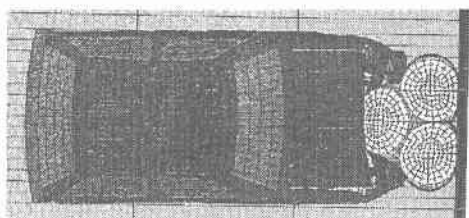


図-4 車両の変形波形

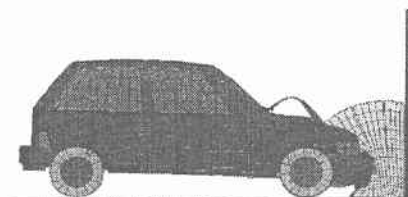
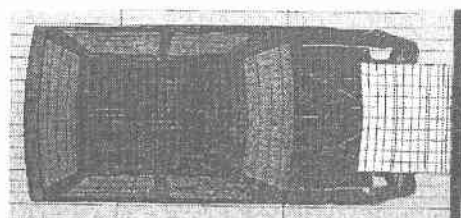
図-5 には衝突後に車両の最大変形量を記録したときの車両の変形状態の平面図と側面図を示している。緩衝材の変形状態は、いずれの緩衝材も車両にめり込む状態となっている。解析 No.1 は、車両のバンパー部分全体が変形している。解析 No.2 は、車両に接触する部分の緩衝材の幅が狭いために緩衝材が車両にめり込んでいる。また、車両によって大きく破壊されている部分は、手前のクッションドラム1個だけであり、後のクッションドラム2個は、大きく変形していない。解析 No.3 は、車両が波形鋼板の位置までめり込んでいるため、波形鋼板の効果が発揮され車両の変形も小さくなっている。解析 No.4 は、半円形部の EPS の変形によって衝突時のエネルギーが吸収され、車両が波形鋼板の位置までめり込まず、波形鋼板の効果が発揮される状態に到っていない。このことより、車両の変形量が大きくなっているものの、緩衝材後部は未だに変形していないことより衝撃吸収能力は十分に残存しており、 60 km/h 以上の衝突速度に対して緩衝効果が期待できるものと考えられる。次に、解析 No.5 は、車両に接触する部分の緩衝材の幅が狭い上に、緩衝材自体の幅も狭いために 緩衝材が Y 方向に偏心変形したものと考えられる。しかしながら、平均減速度がもっとも小さく、検証した解析ケースでは、最も効果的な緩衝構造であると判断される。



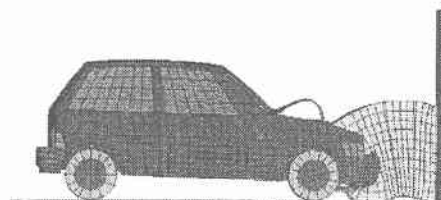
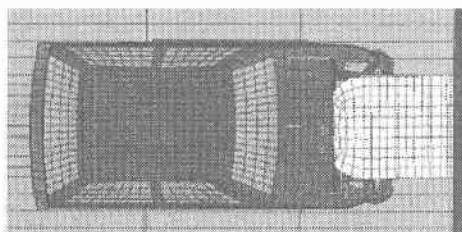
解析 No.1 最大変位 32.2cm ($t=0.034\text{sec}$)



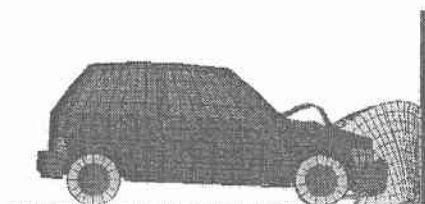
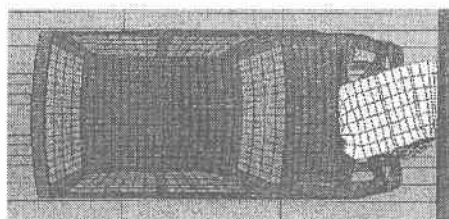
解析 No.2 最大変位 32.9cm ($t=0.070\text{sec}$)



解析 No.3 最大変位 21.0cm ($t=0.082\text{sec}$)



解析 No.4 最大変位 27.1cm ($t=0.108\text{sec}$)



解析 No.5 最大変位 28.1cm ($t=0.116\text{sec}$)

平面図

側面図

図-5 最大変形時の車両の変形状態

4. 結論

本研究では、山間部の道路端末に設置されているガードレール端末支柱、トンネルの出入り口等に設置されている衝撃用緩衝ドラムに関し、緩衝性能に優れた構造型式を開発することを目的として、在来型式を含め4ケースを設定して数値解析的に検討を行った。

本数値解析により得られた結果を要約すると以下のようになる。

- (1) 解析 No.3～5 (EPS①～③+波形鋼板+ウレタン) は、従来型のクッションドラム3個を設置する場合より、衝突時の平均減速度が小さく、緩衝効果が高いと考えられる。
- (2) 車両の最大変形量は、解析 No.2のクッションドラム3個の場合が、解析 No.1の緩衝材を設置していない場合より大きくなっている。一方、解析 No.3～5の新型緩衝材には、緩衝材の効果により緩衝材を設置しない場合より減少している。
- (3) 本解析ケースにおいては、解析 No.5の緩衝材がもっとも緩衝効果に優れていると考えられる。

今後、対象となる車両の形状、様々な速度に対して解析を行い実験結果と比較検討をし、数値解析手法を確立したいと考えている。建設省土木研究所道路部交通安全研究室、米国運輸調査委員会の勧告 NCHRP-350 (National Cooperative Highway Research Program)において、運転者の障害判定基準は、最大加速度を用いている。しかしながら、本論文では、加速度波形は多くの高周波成分を含むことにより、最大加速度を用いずに敢えて平均減速度を用いて評価を行った。最適な評価法に関しては、今後の課題としたい。

5. 参考文献

- 1) 佐藤 昌志、小林 将、三好 章仁、高畑 智孝：セーフティドラムの試作と緩衝性能に関する実験的研究、第4回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集、pp51～55、1998.6
- 2) 佐藤 昌志、小林 将、三好 章仁、高畑 智孝：自動車走行実験による自動車用緩衝ドラムの緩衝特性、土木学会第53回年次学術講演会、I-B175、pp350～351、1998.10
- 3) 佐藤 昌志、小林 将、三好 章仁、高畑 智孝：自動車用緩衝ドラムの緩衝特性に関する一実験 平成9年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会 I-12、pp54～59、1998.2
- 4) 安藤 和彦、仲矢 忠士：クッションドラムの緩衝効果、第17回日本道路会議論文集、pp1086～1087、1987.10