

落橋防止システム用ゴムの衝撃緩衝効果に関する基礎的考察

九州大学大学院 正会員 園田佳巨

シバタ工業株式会社 正会員 西本安志

1. 緒言

ゴムは、鋼材やコンクリート等の一般的な土木材料に比べて剛性が極端に小さく、可逆的な大変形が可能であることから、兵庫県南部地震以降、落橋防止用緩衝材としての利用法について種々の検討が行われている。しかし、衝撃緩衝用ゴムの性能評価法は確立されておらず、実験データを踏まえた判断をもとに材質や寸法を決定しているのが実状である。本研究では、ゴムの衝撃緩衝効果について、簡易な衝撃応答解析の適用可能性について考察を行った。

2. ゴム緩衝材に対する衝撃実験

2.1 重錘落下実験の概要

ゴム製緩衝材の緩衝効果を調べるために、重錘落下衝撃実験を実施した。重錘重量は $4.0\text{kN}(=408\text{kgf})$ とし、表 - 1 に示す 5 通りの所定の高さから重錘を自由落下させ、重錘変位とゴム製緩衝材背面に伝達した衝撃荷重の 2 項目を計測した。本実験に使用したゴム緩衝材は、表 - 2 に示す材料諸元の 2 種類のゴムで製作されたもので、図 - 1 に示すような縦 $150\text{mm} \times$ 横 $150\text{mm} \times$ 厚さ 50mm の矩形ブロック状の供試体を使用した。

2.2 衝撃実験結果

図 - 2 (a) ~ (b) は、硬度 50 と 60 の 2 種類のゴムで製作された供試体を用いたときの衝撃荷重 ~ 時間関係を、重錘

の衝突エネルギーが 5.0 、 $10.0\text{kN}\cdot\text{m}$ の 2 ケースについて示したもので、全般的に衝撃力波形は正弦半波に近く、2 種類のゴムで最大衝撃力および衝撃作用時間に殆ど差が無いことがわかる。したがって、この 2 種類のゴムは、緩衝材とし

ての性能に殆ど差はなく、その効果や適用範囲は供試体寸法によると考えられる。図 - 3 は、衝撃実験で得られた最大衝撃力と重錘の運動エネルギーの関係を示したもので、両者の間にほぼ線形関係が認められる。また、ゴム緩衝材の静的荷重 ~ 変位関係を用いた推定値と最大衝撃力には、約 10 ~ 20% の相違が見られる程度で、キーワード：ゴム緩衝材，衝撃実験，衝撃応答解析

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL & FAX 092-642-3261

表 - 1 落錘式衝撃実験の入力条件

入力エネルギー (kN)	落下高さ (m)	衝突速度 *(m/s)
1.0	0.25	2.21
3.0	0.75	3.83
5.0	1.25	4.94
7.0	1.75	5.85
10.0	2.50	7.00

表 - 2 ゴムの材料物性

ゴムの硬度	硬度 50	硬度 60
ゴムの種類	天然ゴム	
引張強度(MPa)	17.4	14.3
破断時の伸び(%)	540	410
初期剛性(MPa)	1.8	3.1

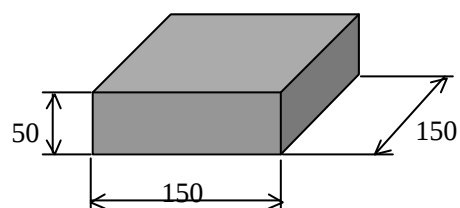


図 - 1 ゴム緩衝材の構造寸法

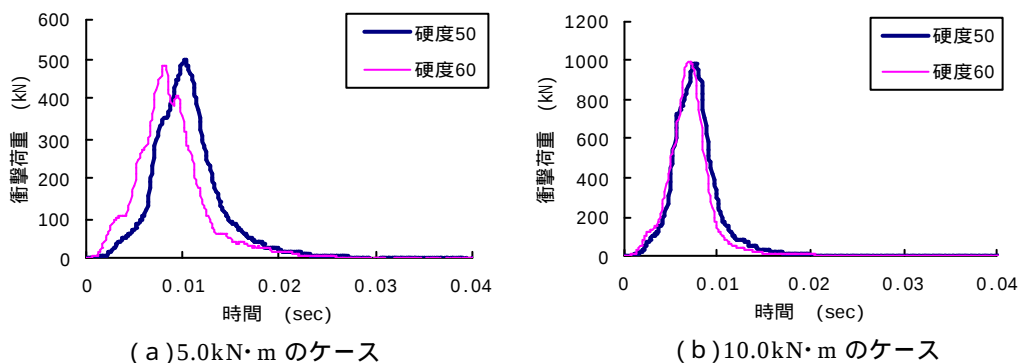


図 - 2 落錘式衝撃実験で得られた衝撃荷重 ~ 時間関係

静的圧縮特性を用いた予測が衝撃荷重の第一近似値として有効な場合があることがわかる。

3. 衝撃緩衝用ゴムの性能評価法

3.1 ゴムの静的荷重～変位関係の評価法

本研究では、任意の材質（配合や加硫条件）や厚さの衝撃緩衝用ゴムの圧縮変形特性を約 60～70%程度まで再現するために、超弾性体の構成式を用いた 3 次元大変形解析プログラムを作成した。具体的には、ひずみエネルギー密度関数として式(1)に示す 3 パラメータを有する Mooney-Rivlin 式を採用し、JIS K 6301 に基づく単軸引張試験を同定することで各パラメータを決定した。

$$W = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3) + c_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) \quad (1)$$

ただし、 c_{10}, c_{01}, c_{11} : Mooney-Rivlin 定数 (MPa) ,

I_1, I_2, I_3 : 右 Cauchy-Green 変形テンソルの 3 不変量。

また、ゴムの非圧縮性を考慮するため、体積変化をペナルティ項としたペナルティ関数法を用いて数値的に考慮し、幾何学的非線形解析は更新ラグランジュ法に基づく増分形式で行った。表 - 3 は、2 種類のゴムの JIS K 6301 試験結果を 80%引張ひずみまで同定を行って得た材料定数である。これらの値を用いたゴム緩衝材の静的圧縮実験のシミュレーションの一例として、硬度 50 の場合を図 - 4 に示す。この図より、本手法により良好に実験値を再現可能であることがわかる。

3.2 ゴム緩衝材の衝撃緩衝効果のシミュレーション

次に、数値解析で求めた静的圧縮荷重～変位関係の勾配をゴムの非線形バネ係数として用いた簡易な 1 質点系モデルにより、ゴム緩衝材の衝撃緩衝効果について調べた。

すなわち、硬度 50、60 の 2 種類のゴムを非線形バネとして、それぞれ式(2a)、(2b)に示すような変形量 δ の 2 次関数式で与えた。

$$k(\delta) = 0.06\delta^2 - 1.38\delta + 7.60 \quad (2a)$$

$$k(\delta) = 0.08\delta^2 - 1.81\delta + 10.1 \quad (2b)$$

ここに、 δ : 変形量(mm)。

図 - 5 は、重錘エネルギーが 5.0、10.0kN・mの実験で得られた衝撃力～時間関係を求めたもので、簡易な 1 質点系モデルによる解析結果

果は、衝撃実験値を精度良くシミュレートしており、予め数値解析で求めた静的圧縮荷重～変位関係を用いて、簡易な質点系解析を行えば、ゴムの緩衝効果を把握できることを確認した。ただし、本手法は内部の応力分布がほぼ一様な状態で時刻歴に変化する場合に限定されるため、今回の対象のように薄板状の緩衝材以外のものに対しては、適用の妥当性を再検討する必要があると考えられる。

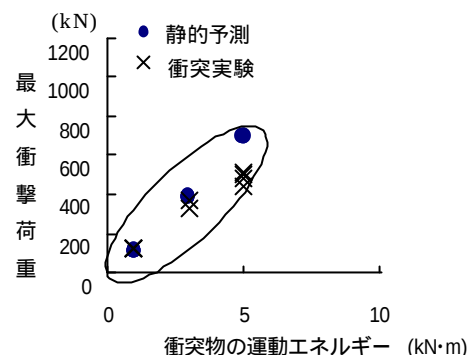


図 - 3 最大衝撃力と静的実験による予測値

表 - 3 同定計算で得られたゴムの材料定数

	c_{01}	c_{10}	c_{11}	λ
硬度 50 のゴム	-0.50	5.00	2.00	15.0
硬度 60 のゴム	-1.00	5.00	3.00	20.0

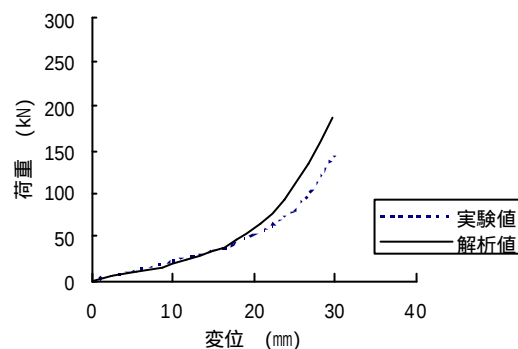


図 - 4 静的圧縮試験のシミュレーション (硬度 50)

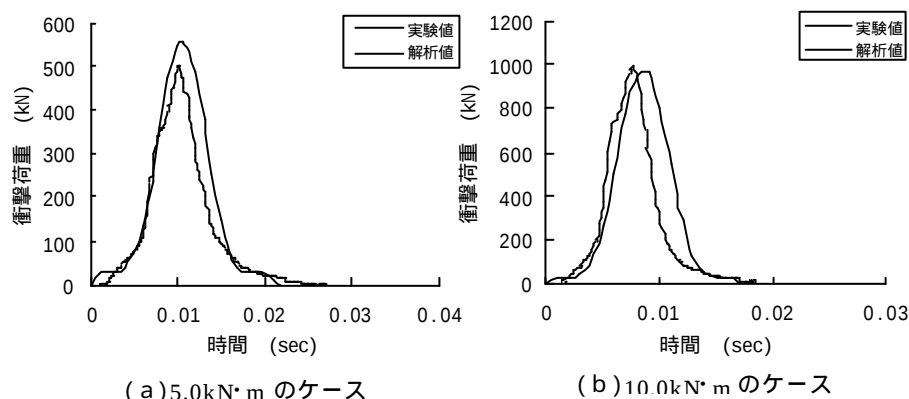


図 - 5 衝撃荷重～時間関係のシミュレーション (硬度 50)