

拘束条件が緩衝ゴムの衝撃力低減効果に及ぼす影響に関する実験的考察

Experimental study of the effect of confining conditions of rubber pieces on impact force reduction

結城洋一*, 玉井宏樹**, 宇野まり子***, 園田佳巨****, 春日井俊博*****

Yoichi Yuki, Hiroki Tamai, Mariko Uno, Yoshimi Sonoda, Toshihiro Kasugai

*修 (工), (株) 横河ブリッジホールディングス (〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 番)

** 博 (工), 九州大学大学院助教, 工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

*** 九州大学大学院修士課程学生, 工学府建設システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

****工博, 九州大学大学院教授, 工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

*****博 (工), (株) 横河ブリッジホールディングス (〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 番)

Key Words: shock absorbing rubber, confining condition, impact tests, seismic restrainers

キーワード: 緩衝ゴム, 拘束条件, 衝撃実験, 落橋防止構造

1. 緒言

落橋防止構造には衝撃的な地震荷重の緩和機能を持たせることが道路橋示方書¹⁾により規定されているが、緩衝材の性能評価法や諸元の決定方法は確立されておらず、緩衝材の選定は設計者の判断に任せられているのが現状である。一般的に緩衝材としてゴムを利用しているものが多いが、落橋防止構造毎に様々な形状や硬度を有したゴムが利用されているとともに、設置状況によっては緩衝ゴムの拘束条件が様々であるのが現状である。本研究では、落橋防止構造用緩衝ゴムの動的設計法を確立することを最終目的としているが、その基礎段階として、緩衝ゴムの硬度や形状や拘束条件が衝撃力低減効果に及ぼす影響を把握することは重要である。既往の研究を見ると、硬度や厚さによる衝撃力低減効果に関しては一定の知見が得られている²⁾が、拘束条件に関してはほとんど検討されていない。そこで、本研究では、写真-1 に示す一般的な支圧定着型落橋防止装置に用いられる矩形ゴムを対象に、落錘式衝撃実験を実施し、その拘束条件が衝撃力低減効果に及ぼす影響について基礎的検討を行った。なお、拘束条件の影響を一般化していくために、様々な受圧面積や厚さを有する矩形ゴムを用いることとした。



写真-1 支圧定着型ケーブル式落橋防止構造

2. 緩衝ゴムの衝撃力低減効果に関する実験による検討

本研究では、緩衝ゴムの拘束条件がその衝撃力低減効果に与える影響を把握するため、矩形状の緩衝ゴム試験体の側面拘束条件として無拘束、2面拘束、4面拘束の3

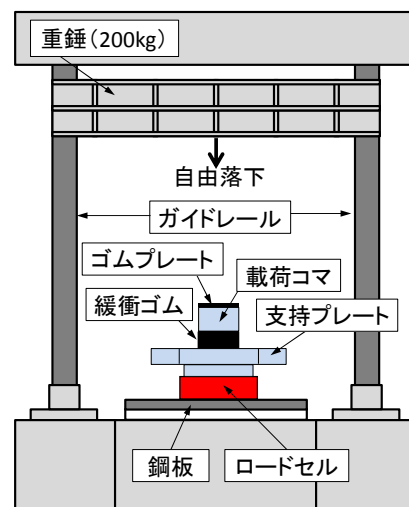
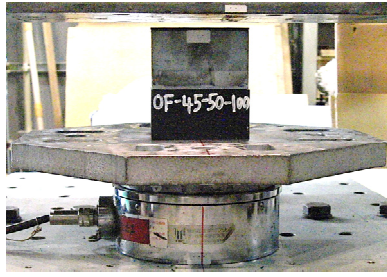
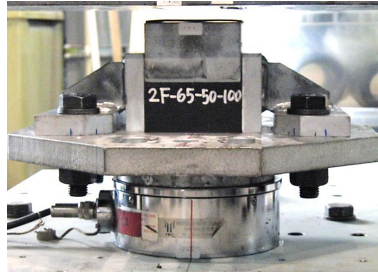


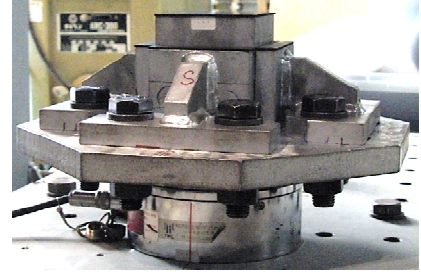
図-1 落錘式衝撃実験概要図



(a) 0面拘束



(b) 2面拘束



(c) 4面拘束

写真-2 試験体

ケースを設定し、落錘式衝撃試験装置を用いた衝撃実験を実施した。なお、拘束条件による影響を一般化するために、拘束条件以外に、受圧面積、厚さ、重錘の衝突速度も実験パラメータとした。

2.1 実験概要と試験体

実験は、図-1 に示すような落錘式衝撃試験装置を用いて鋼製重錘（重量 200kg）を所定の高さから自由落下させ、ロードセル上に設置した試験体に衝突させることにより実施した。実験対象は異なる拘束条件を有する矩形の緩衝ゴムであり、試験ケースは大別して、緩衝ゴム無し、側面拘束条件として無拘束で受圧面積と厚さをパラメータとしたケース、2面拘束のケース、4面拘束のケースの4ケースである。緩衝ゴム無しとは载荷コマを支持プレートの上に直接設置する場合、無拘束のケース（以下、0F と称す）とは、写真-2(a)に示すように、载荷コマと支持プレートの上に緩衝ゴムを設置する場合、2面拘束のケース（以下、2F と称す）とは、写真-2(b)に示すように、矩形の緩衝ゴムの2つの側面を拘束ジグにより拘束した場合、4面拘束（以下、4F と称す）とは、写真-2(c)に示すように、緩衝ゴムの4つの側面を拘束した場合のことである。また、初期拘束圧によって衝撃力が変わることが想定されるため、2F と 4F の初期拘束圧は 0.032 N/mm^2 の一定値になるように調整した。全ケースにおいて、重錘を载荷コマに衝突させる鋼材同士の衝突であるため、高周波成分を防ぎ、衝突時の片当りを避けるために厚さ 2mm のゴムプレートを载荷コマ上面に設置した。

表-1 に実験ケースを示す。緩衝ゴムには硬度 55 度のクロップレンゴムを用いており、試験体名称は、「拘束面数-硬度-ゴム厚-受圧面の1辺の長さ」を表している。また、試験体名称の N-○ とは、緩衝ゴム無しを表している。本実験では、ゴム硬度は 55 度と一定とし、衝突速度は $0.5\text{m/s} \sim 3.5\text{m/s}$ とした。測定項目は試験体を伝達する伝達衝撃力および緩衝ゴムの圧縮量であり、伝達衝撃力は試験体底面部に設置したロードセル（CLF-100、容量 1MN、サンプリング周波数 10kHz）によって測定し、圧縮量は载荷コマ側面に取付けたターゲットを高速カメラで撮影する（1500fps）ことにより測定した。

表-1 実験ケース

試験体名称	パラメータ						
	拘束条件	硬度 H[度]	厚さ t [mm]	受圧面の形状 a×a [mm]	重錘衝突速度 v [m/s]	形状比	
N-100	-	-	-	-	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.5 (但し、4F-55-50-100では、3.5m/sは実施せず)	-	
N-150	-	-	-	-		-	
0F-55-25-100	0F	55±5	25	100×100		1.00	
0F-55-25-150				150×150		1.50	
0F-55-40-100 [*]			40	100×100		0.63	
0F-55-40-150				150×150		0.94	
0F-55-50-100			50	100×100		0.50	
0F-55-50-150				150×150		0.75	
2F-55-50-100			2F	50		100×100	0.50
4F-55-50-100			4F	50		100×100	0.50

*本ケースの衝突速度は、落下高さの調整不備のため、それぞれ0.67, 1.09, 1.57, 2.05m/sである。

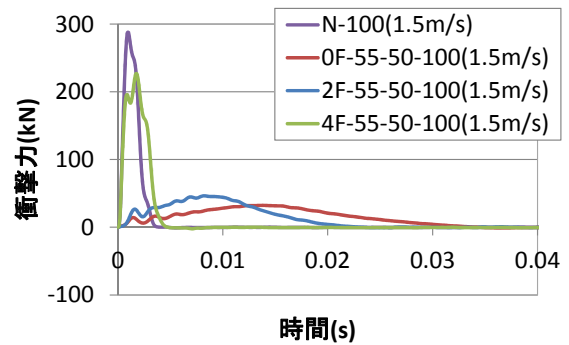


図-2 衝撃力応答比較図（拘束条件の影響）

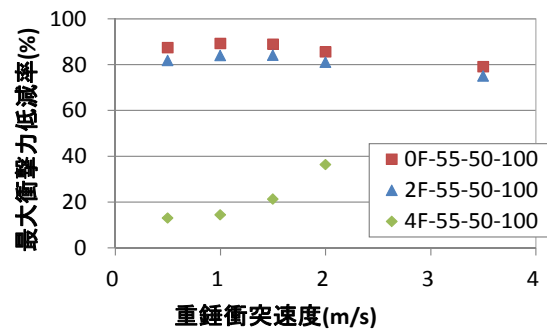


図-3 最大衝撃力低減率と衝突速度（拘束条件の影響）

2.2 実験結果および考察

(1) 衝撃力低減効果に及ぼす拘束条件の影響

異なる拘束条件を有する緩衝ゴムの実験結果から得られた衝撃力応答を、衝突速度 1.5m/s を代表して図-2 に示し、それらの最大衝撃力低減率と衝突速度の関係を図-3 に示す。本実験において最大衝撃力低減率は、 $t=50\text{mm}$, $a=100\text{mm}$ の場合、79~89% (0F), 75~84% (2F), 13~36% (4F) であり、また衝撃力継続時間は、3~5ms (N), 27~41ms (0F), 20~24ms (2F), 5~6ms (4F) であった。これらの結果より 2 面拘束から 4 面拘束の間に著しく衝撃力低減効果が減少し、衝撃力継続時間が短くなる事が分かり、4F においては、0F, 2F とは違い緩衝ゴム無しの衝撃力特性に類似している事が示された。また、0F と 2F に関しては、衝突速度の増加に伴い、衝撃力低減率が減少する傾向が確認できた。さらに、図-4 に異なる拘束条件を比較した衝撃力と圧縮量の関係を示す。最大衝撃力をその圧縮量で除した値を剛性と見なして算定したところ、衝突速度 1.5m/s において、0F の場合、2.2kN/mm, 2F の場合、5.3kN/mm, 4F の場合、177.3kN/mm となり 2F が 0F の約 2.4 倍、4F が 0F の約 79 倍であった。これらの結果より、全側面拘束を受けるような状態で緩衝ゴムを設置した場合、その衝撃力低減効果はほとんど発揮されないといえる。つまり、緩衝ゴムの特性を最大限に生かすためには、全側面拘束状態での設置を避けることはもちろん、設計においても拘束条件による影響を見込んでおく必要があると考えられる。

(2) 衝撃力低減効果に及ぼす緩衝ゴムの厚さの影響

次に、図-5、図-6 にそれぞれ緩衝材の厚さによる衝撃力応答および衝撃力低減率-衝突速度の関係を示す。これらの結果より、衝撃力低減率は、0F で $a=100\text{mm}$ の場合、厚さ 25mm で 67~79%、厚さ 40mm で 74~85%、厚さ 50mm で 79~87% であり、また、厚さ 25mm 以上では、ひずみ速度効果の影響より衝突速度の増加に伴い衝撃力低減率が減少する傾向にあることが確認できた。また、図-7 には、厚さによる衝撃力と圧縮量の関係への影響を示しているが、図-4 と同様に剛性を求めた場合、衝突速度 1.5m/s において、厚さ 25mm の場合、11kN/mm, 厚さ 40mm の場合、4kN/mm であった。

(3) 衝撃力低減効果と形状比・拘束比の関係

衝撃低減効果に対する緩衝ゴムの形状と拘束条件の関係を一般化するためには、それらの影響を係数として定義し、設計に反映させていく必要がある。そこで、本研究では、形状比および拘束比を以下のように定義した。形状比に関しては、ゴム支承で考えられているものと同様の定義である。

$$\text{形状比} = \frac{\text{受圧面積}}{\text{全側面積}} \quad (1)$$

$$\text{拘束比} = \frac{\text{拘束面積}}{\text{全側面積}} \quad (2)$$

ここで、図-8 に受圧面積、全側面積、拘束面積の定義を図示する。また、表-1 にそれぞれの緩衝ゴムに対する形状比を示している。図-9 に異なる厚さと受圧面積

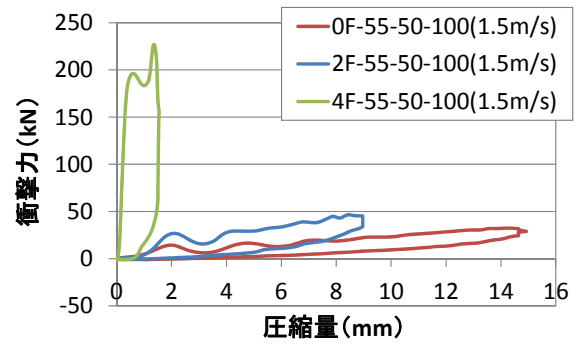


図-4 衝撃力と圧縮量 (拘束条件の影響)

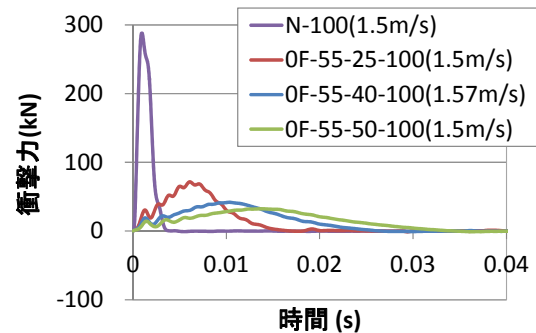


図-5 衝撃力応答比較図 (厚さの影響)

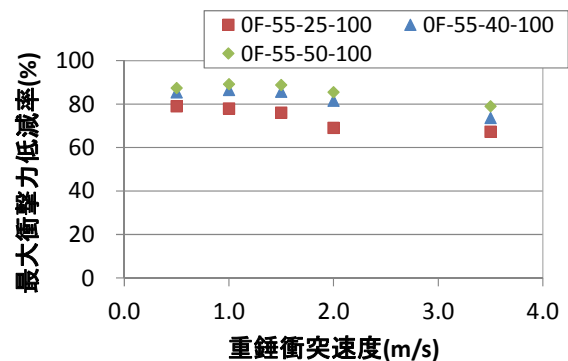


図-6 最大衝撃力低減率と衝突速度 (厚さの影響)

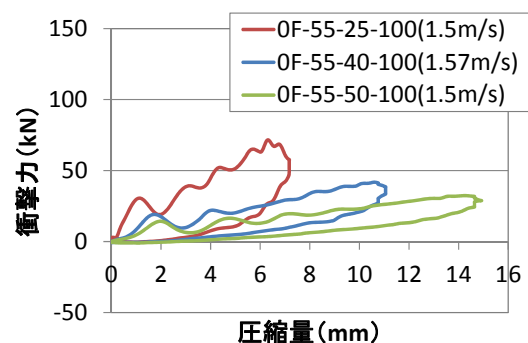


図-7 衝撃力と圧縮量 (厚さの影響)

を有する緩衝ゴムを用いた場合の衝撃力低減率と形状比の関係を、図-10 に異なる拘束条件を有する緩衝ゴムを用いた場合の衝撃力低減率と拘束比の関係を示す。これらの結果より、衝撃力低減率と形状比の関係は、0.5~3.5m/s の衝突速度において概ね線形的に減少するのに対

し、拘束比と最大衝撃力低減率は、拘束比が 0.5 以上で低減率が著しく減少することが確認できた。また、拘束比と形状比の両方において、比率が増加する程、衝突速度の影響が顕著になることが示された。次に、図-11 に異なる厚さと受圧面積を有する緩衝ゴムを用いた場合の剛性と形状比の関係を、図-12 に異なる拘束条件を有する緩衝ゴムを用いた場合の剛性と拘束比の関係を示す。これらの結果より、剛性と形状比の関係は、ある一定の非線形性を有する事が見受けられ、また剛性に関しては、拘束比が 0.5~1.0 に変化する際に 17~25 倍高くなることが示された。このように、緩衝ゴムの受圧面積や厚さと拘束条件を無次元化したパラメータを用いることにより、それらが衝撃力低減率と剛性に及ぼす影響を効果的に示すことができた。

3. 結論

本研究で得られた成果は下記の通りである。

- 1) 緩衝ゴムの拘束条件に着目した落錘式衝撃実験を実施したところ、衝撃力低減率が 0 面拘束で約 79~89%、2 面拘束で約 75~84%、4 面拘束で約 13~36%となり、側面拘束条件として全面である 4 面を拘束した場合、衝撃力低減効果はほとんどみられないことが確認できた。緩衝ゴムの特性を最大限に生かすためには、全側面拘束状態での設置を避けることはもちろん、設計でも拘束条件による影響を考慮する必要があると考えられる。
- 2) 緩衝ゴムの厚さに着目した落錘式衝撃実験を実施したところ、衝撃力低減率は 25mm の場合で約 67~79%、40mm の場合で約 74~85%となり、適切な厚さの決定に関しては、受圧面積との関係で求めるべきであると言える。
- 3) 検討したパラメータの緩衝効果に対する影響を調べるため、形状比と拘束比を定義し、それらと衝撃力低減率と剛性の関係を明らかにした。

今後、硬度や変形速度（衝突速度でもよい）といった他の影響も把握していくことで、緩衝ゴムの動的設計に用いる動的剛性の評価式を構築していけるものと考えている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.
- 2) 梶田幸秀，北原武嗣，西本安志，大塚久哲：鋼材衝突実験におけるゴム製緩衝材に作用する最大衝撃力の推定式，*構造工学論文集*，Vol.52A，pp.557-564,2006.03.

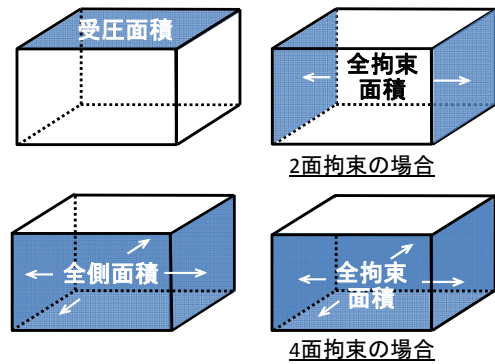


図-8 形状比と拘束比の定義に用いるパラメータ

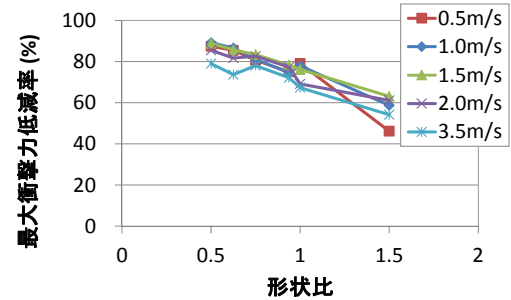


図-9 最大衝撃力低減率と形状比の関係

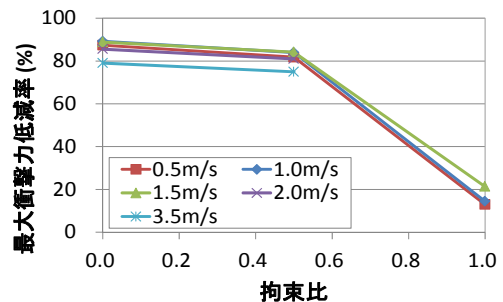


図-10 最大衝撃力低減率と拘束比の関係

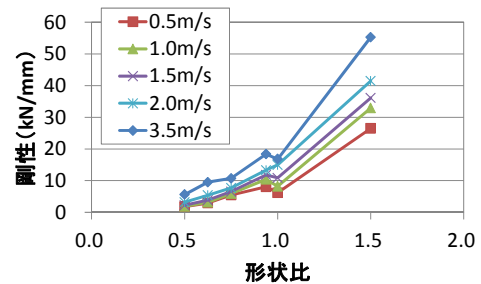


図-11 剛性と形状比の関係

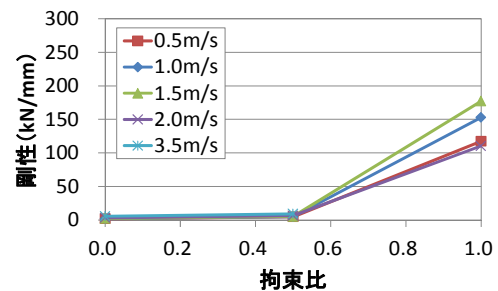


図-12 剛性と拘束比の関係