

温度を変化させた緩衝ゴム試験体に関する重錘落下衝撃载荷実験

Drop-weight impact test of shock absorbing rubber specimens varying rubber temperature

(一社) ゴム支承協会 [(株) ビー・ビー・エム]	○ 正 員	余野 智哉 (Tomoya Yono)
(一社) ゴム支承協会 [東京ファブリック工業(株)]	正 員	久慈 茂樹 (Shigeki Kuji)
室蘭工業大学大学院	正 員	小室 雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学大学院	正 員	瓦井 智貴 (Tomoki Kawarai)
(国研) 土木研究所寒地土木研究所	正 員	佐藤 京 (Takashi Sato)
室蘭工業大学大学院	名誉会員	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

ゴムは、粘弾性的な挙動を示し免震構造として優れた性能を発揮する。特に橋梁を対象として支承部に多く用いられ、耐震性向上に大いに寄与している。また、兵庫県南部地震以降は、フェールセーフとして設けられている落橋防止構造や段差防止構造に作用する衝撃力を緩和するために緩衝材（ここでは緩衝ゴムと呼称）としても使用されている。しかしながら、落橋防止構造や段差防止構造などに用いられる緩衝ゴムの設計は、支承部と異なり载荷時間が非常に短く衝撃的な载荷状態であるものの、静力学的特性に基づいて行われているのが現状である。

このような状況を鑑み、著者らは衝撃荷重载荷時における緩衝ゴムの挙動特性を把握することを目的に、重錘落下衝撃荷重载荷実験を継続して実施している。昨年迄は、緩衝ゴムの基礎的な挙動特性を把握するために、通常温度下での静荷重载荷実験および重錘落下衝撃荷重载荷実験を実施してきた¹⁾³⁾。しかしながら、北海道のように積雪寒冷地では、低温下での挙動性状の把握が特に重要であるものと判断される。

このような観点から、本論文では、緩衝ゴムの衝撃荷重载荷時における挙動特性に関する温度依存性を把握することを目的に、 -30°C から 0°C までの 10°C 間隔の他、基準温度である 23°C の状態下での重錘落下衝撃荷重载荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体

研究に使用した試験体は、基礎的な研究であることおよび重錘落下衝撃荷重载荷装置の諸元等を考慮し、平面形状 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 、厚さを 12.5 mm 、 25 mm 、 50 mm （形状係数が 1 、 $1/2$ 、 $1/4$ ）の3種類とした。また、使用したゴム材料は一般に広く使用されているクロロプレンゴム(CR)であり、硬度は $55 \pm 5^{\circ}$ とした。

試験体の温度は、 23°C 、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 、 -10°C 、 -20°C 、 -30°C の5ケースを設定した。 23°C は基準試験体として設定し、マイナス側の温度は、道路橋示方書⁴⁾に示される寒冷地における温度変化範囲の下限値および道路橋支承便覧⁵⁾を参考に、ゴム材料の極低温化でのガラス転移と呼ばれる相転移を起し脆化しない範囲までとした。実験時には、事前に試験体内部に熱電対を埋め込んだ試験体を用いて、保温庫または冷凍庫にて目標温度に達したことを確認後、取り出してから時間と試験体の表面温度および内部温度の変化を計測し、実験時における温度変化を極力小さくするた

めに、取り出しから衝撃荷重载荷実験終了までの時間を 10 s 程度までとした。

2.2 衝撃荷重载荷実験

衝撃荷重载荷実験に関しては、重錘落下衝撃荷重载荷装置を設置している箇所がピット形式になっていることから、ピット底盤に高さ約 $1,500\text{ mm}$ の H 形鋼 ($H400 \times 400 \times 13 \times 21$) を定着させて実験用架台とした。架台上面にはロードセルからの反力を確実に架台基部に伝達させるために板厚が 40 mm の鋼板を溶接している。ロードセルは、想定される反力から 490 kN 級ロードセル1個を用いることとした。ロードセル上下盤には、荷重を均等化してロードセルに伝え、ロードセルで精度良く衝撃反力が感知できるように板厚が 50 mm の鋼板を用いている。また、ロードセル上盤上に設置した試験体設置盤の大きさは 160 mm 四方であり、厚さは 25 mm としている。写真-1には、各ロードセルを設置した場合の実験装置の概要を示している。

写真-2には、例として試験体厚 50 mm 、試験体温度 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 、衝突速度 3.5 m/s の際の衝撃荷重载荷実験の状況を示している。実験は、質量 300 kg 、円筒部直径 200 mm 、载荷



写真-1 衝撃荷重载荷実験装置の状況

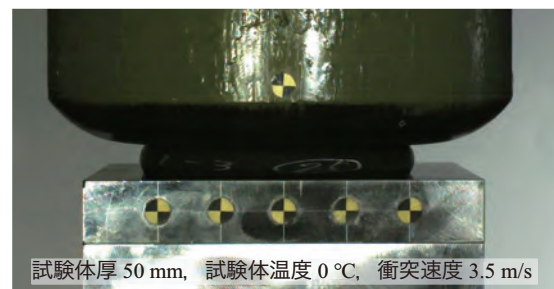


写真-2 衝撃荷重载荷実験の状況

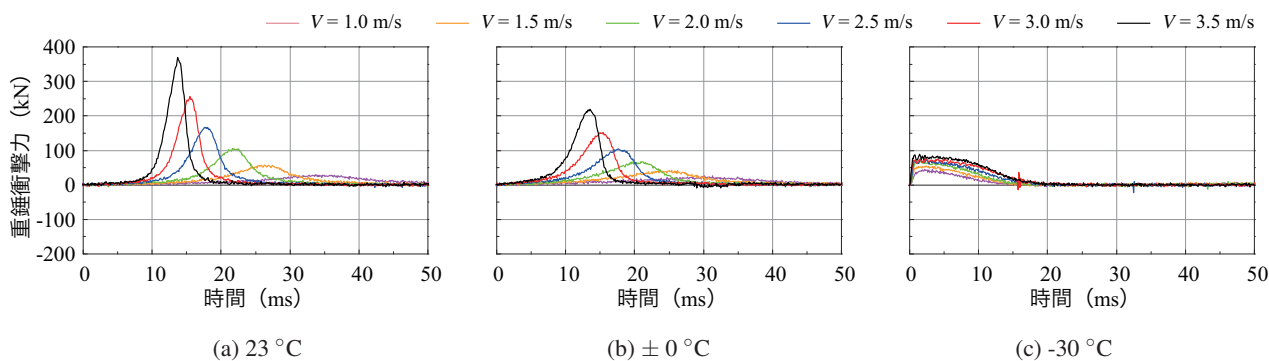


図-1 試験体温度別の重錘衝撃力 P に関する時刻歴波形の比較

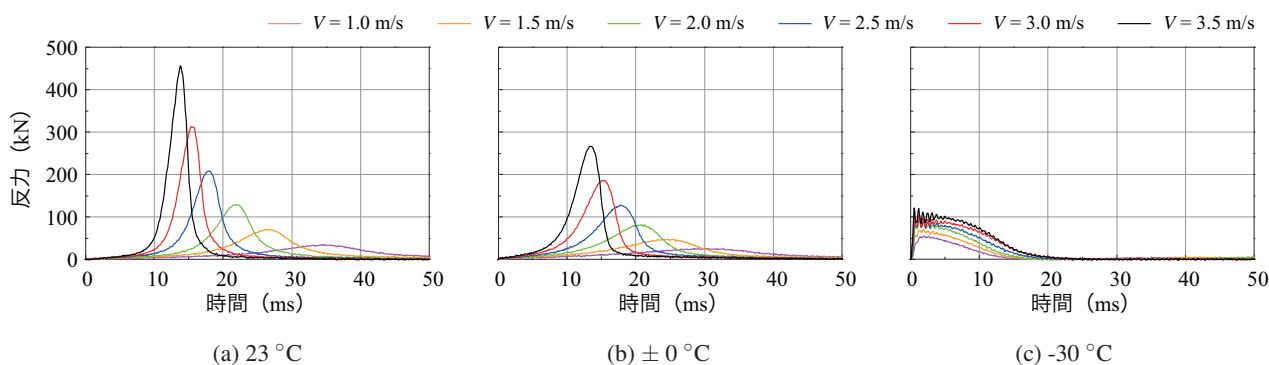


図-2 試験体温度別の反力 R に関する時刻歴波形の比較

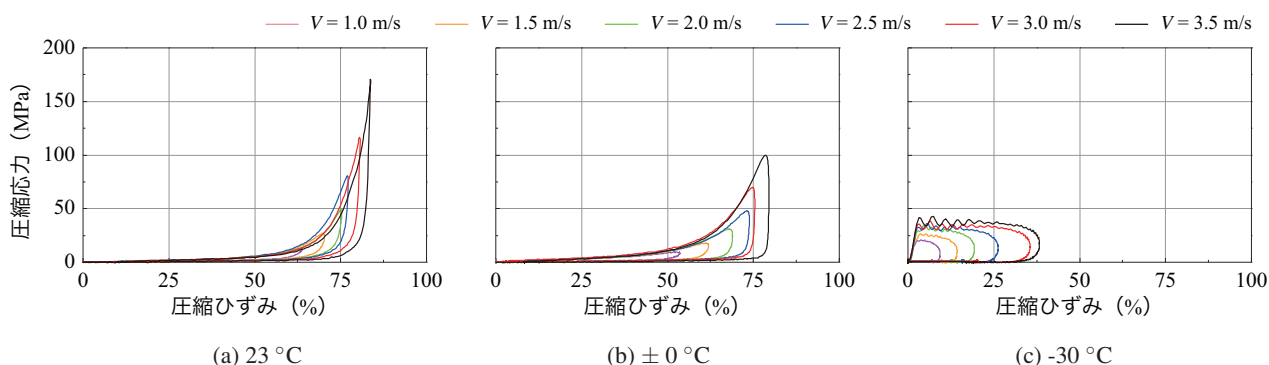


図-3 試験体温度別の圧縮応力-ひずみ (σ - ϵ) に関する履歴曲線の比較

点部直径が 150 mm で高さ 2 mm の球形状のテーパが施されている鋼製重錘を所定の高さから自由落下させることにより行っている。重錘の落下高さ H は、校正実験結果に基づいて設定衝突速度が得られるように決定した。但し、実験時においても高速度カメラを用いて実衝突速度を算定・評価している。

本実験の測定項目は、重錘衝撃力 P 、反力 R 、緩衝ゴムの変位 D (载荷盤と試験体設置盤側面に貼付したターゲットマーカ間の相対変位で評価) である。なお、重錘衝撃力 P と反力 R は、いずれも起歪柱型の衝撃荷重測定用ロードセルを用いて計測している。また、ターゲットマーカの変位は、2,000 fps の高速度カメラ撮影の下にデータ処理を施し算定した。試験体は载荷中に偏心して変位する場合があること

より、試験体毎に動画を確認して決定評価することとした。

3. 実験結果

図-1 ~ 図-3 は、試験体厚さ 50 mm (形状係数 1/4) の試験体温度が 23, ± 0 , -30 °C の場合の重錘衝撃力、反力の時刻歴波形、応力-ひずみ図を比較して示している。なお、重錘衝突速度は 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 m/s について示している。

図-1 より、最大衝撃力値は、試験体温度の下降に対応して減少傾向にあることが分かる。また、荷重継続時間は、23 °C および ± 0 °C の場合には、载荷速度の増加に対応して短くなる傾向にあるが、-30 °C の場合には载荷速度にかかわらず同程度であることが分かる。さらに、前者の場合

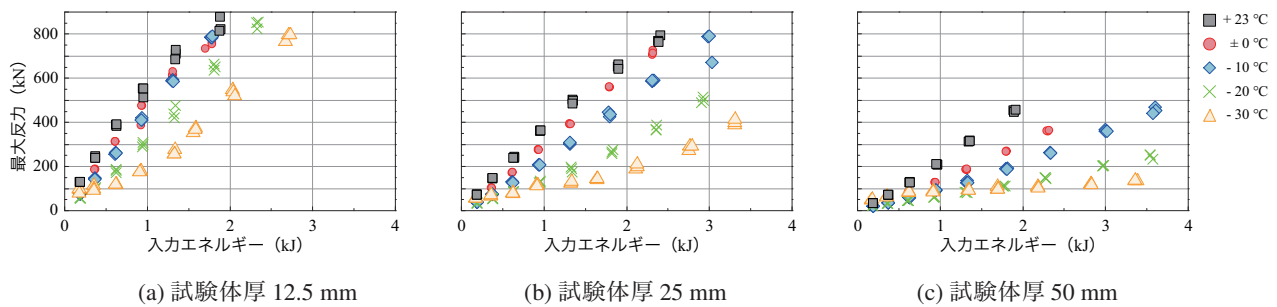


図-4 試験体厚さ別の入力エネルギーに対する最大反力の分布比較

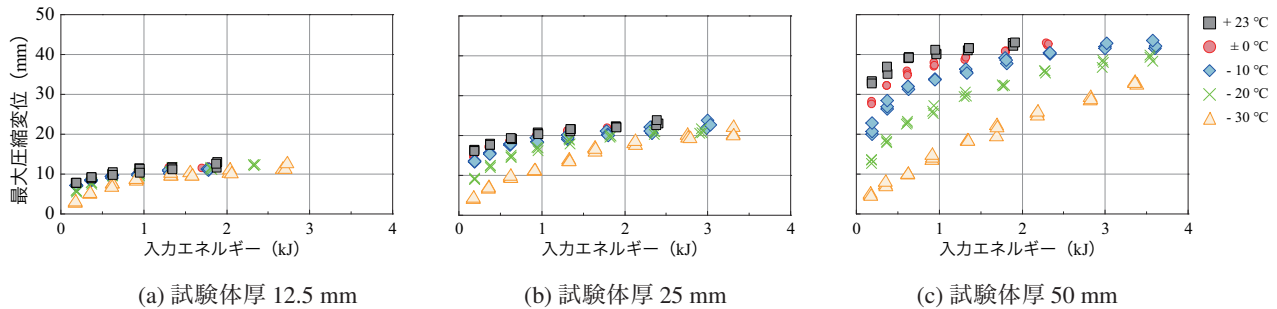


図-5 試験体厚さ別の入力エネルギーに対する最大圧縮変位の分布比較

には釣り鐘状の波形性状を示しているが、後者は入力エネルギーの小さい場合には三角形の分布性状を示し入力エネルギーの増加に対応して台形状の分布性状を示していることが分かる。

図-2より、反力 R の波形性状は最大応答値を含め重錘衝撃力波形にほぼ対応していることが分かる。

図-3より、圧縮応力-ひずみ関係に関しては、 23°C 、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合には、常温での静的圧縮試験結果¹⁾³⁾と同様の分布性状を示しており、特に $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合には最大応力が 100 MPa 程度に減少していることが分かる。一方、 -30°C の場合には、その分布性状は前者の 23°C や $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合と異なり、最大応力に達した後ひずみの増加に対して一定応力状態を示し、やがて除荷に至っている。また、荷初期の弾性係数は荷速度の大きにかかわらず類似の値を示し、かつ前者よりも著しく大きい。最大応力は 40 MPa 程度を示し、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合に比較して $1/2$ 以下となっている。

図-4より、最大反力は試験体の形状係数にかかわらず入力エネルギーに対して線形に増加し、温度の下降と共に減少の傾向にあることが分かる。また、試験体温度が等しい場合には、試験体の形状係数の減少と共に最大反力は小さくなることを確認できる。

図-5、図-6より、最大圧縮変位および最大圧縮ひずみは、入力エネルギーの増加に対して放物線状の分布性状を示している。但し、温度の低下と形状係数の減少に対応して線形の度合いが増加の傾向を示しており、温度が最も低い -30°C で形状係数が $1/4$ の場合には線形に近い分布性状を示していることが分かる。

図-7より、温度や試験体の形状係数にかかわらず、入力エネルギーと吸収エネルギーが類似しており、入力エネルギーの全てが吸収されていることが分かる。

4. まとめ

本研究では、緩衝ゴムを対象に、温度が衝撃荷重荷時におけるゴムの動的力学特性に与える影響を把握することを目的に、ゴムの温度及び形状係数を変化させた重錘落下衝撃荷重荷実験を実施した。本研究の範囲内で得られた事項を整理すると、以下の通りである。

- 1) 衝撃力や反力波形は、緩衝ゴムの温度が 23°C 、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合には釣り鐘状の波形性状を示すが、温度が -30°C の場合において入力エネルギーが小さい場合には三角形、入力エネルギーが大きい場合には台形状の波形分布性状を示す。
- 2) 圧縮応力-ひずみ分布も対応して、温度が 23°C 、 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合にはひずみが 60% 程度以降に急激に応力が増加する傾向を示すが、 -30°C の場合には初期の弾性係数が著しく大きく、その後一定の応力状態を示し除荷に至る。最大応力も 40 MPa 程度と $\pm 0^{\circ}\text{C}$ の場合の $1/2$ 以下に低減する。
- 3) 緩衝ゴムの温度が低い場合には、衝撃初期のエネルギー吸収能が大きくなり、最大衝撃力および反力は小さくなる傾向にある。
- 4) 以上より、温度が -30°C 程度と大きく低下する場合における緩衝ゴムの応力-ひずみ特性は、常温時と著しく異なるものの緩衝性能は低下しないものと推察され、積雪寒冷地における落橋防止構造や段差防止構造等へも十分適用可能であるものと判断される。

今回の実験の一部の状況を(一社)ゴム支承協会のHPに動画でアップロードしているので参照されたい。(https://www.j-

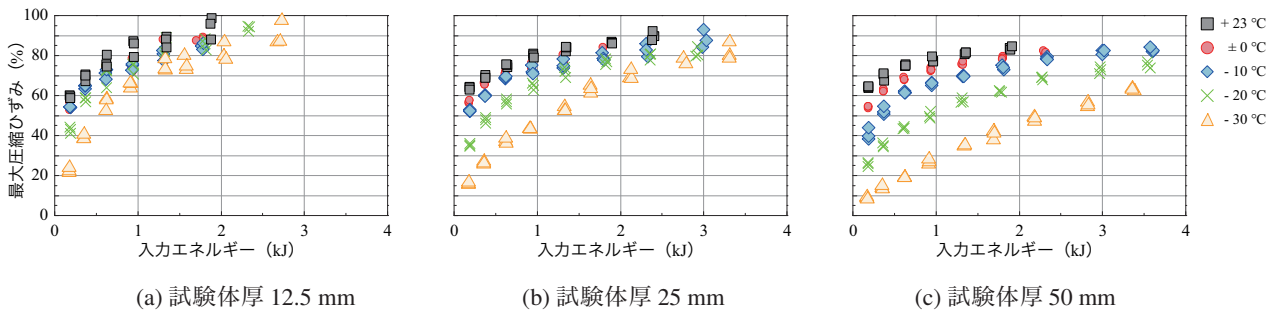


図-6 試験体厚さ別の入力エネルギーに対する最大圧縮ひずみの分布比較

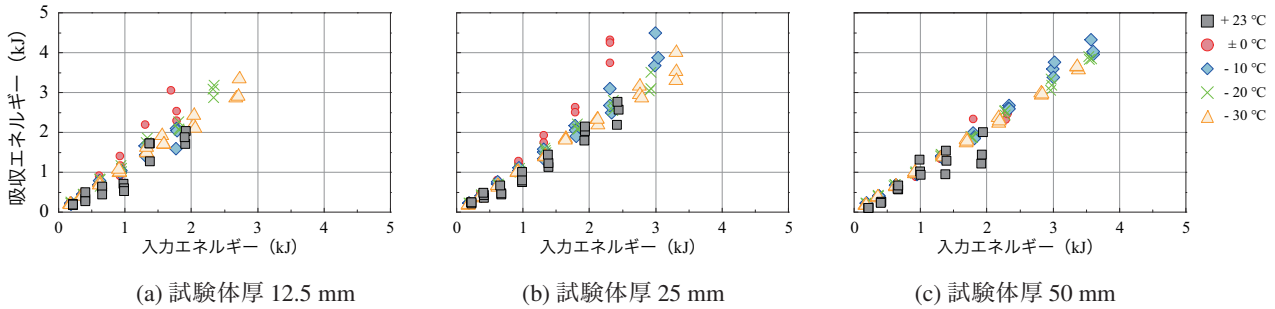


図-7 試験体厚さ別の入力エネルギーに対する吸収エネルギーの分布比較

rba.com/gijutsu.html)

参考文献

- 1) 今野久志, 小室雅人, 岸徳光, 久慈茂樹, 余野智哉: 緩衝ゴム試験片に関する静荷重及び重錘落下衝撃荷重載荷実験, 令和2年度土木学会北海道支部論文報告書, 第77号, 2021.
- 2) 今野久志, 安中新太郎, 小室雅人, 岸徳光, 久慈茂樹, 余野智哉: 緩衝ゴム試験体の衝撃荷重載荷時における力学的特性に関する基礎的検討, 令和3年度土木学会

全国大会第76回年次学術講演会, 2021.

- 3) 今野久志, 佐藤京, 小室雅人, 岸徳光, 久慈茂樹, 余野智哉: 緩衝ゴム試験体に対する静的および重錘落下衝撃載荷実験, 第13回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2022.
- 4) (公社)日本道路協会: 道路橋示方書 (☒共通編)・同解説, 2017.11.
- 5) (公社)日本道路協会: 道路橋支承便覧, 2019.12.