

衝撃的張力作用時における塑性変形を考慮した 緩衝機構に関する実験的研究

Experimental study on shock absorbing system considering plastic deformation at impact tension

西本安志*, 浮島徹**, 廣岡宗一郎***, 別府万寿博****

*博(工), シバタ工業株式会社, 技術開発部 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

**シバタ工業株式会社, 技術開発部研究開発課 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

***シバタ工業株式会社, 技術開発部研究開発課 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

****博(工), 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

キーワード: 緩衝材, ゴム, 塑性変形, チェーンリンク, 衝撃的張力

Key Words: Shock absorber, Rubber, Plastic deformation, Chain link, Impact tension

1. 緒言

衝撃的な力が作用する箇所には, 一般的に緩衝材を配置するなどの衝撃緩衝機構を設けることが多い¹⁾. この緩衝材は, 衝撃力の作用する状況や取り付けられるスペースなどを考慮して, 材料や性能などが決定される. 例えば, 衝撃力が繰り返し作用する場合は, 作用する衝撃力に対して安定的な機能発揮が求められるため, 設置スペースにかかわらず, 緩衝材の性能は弾性範囲内での応答が望ましい. 一方で, 単一的に作用する衝撃力に対しては, 設置スペースが確保できる場合には, 緩衝材の弾性範囲内で対応することも可能であるが, 設置スペースが狭小な場合は, 材質を工夫するなどして塑性変形をも考慮して, 確実に機能を発揮させることが望ましいと考えられる.

そこで, 衝撃的な張力が作用するような索材としてチェーン部材に着目した. チェーン部材にゴムなどの衝撃緩衝材が組み込まれている例として, チェーンリンク間にもゴムを充填させて一体化したラバーチェーン構造があり, 衝撃緩衝機構として有効であるとされている^{2), 3)}. しかしながら, 作用する衝撃力が単一の場合でかつ設置スペースが限られ, チェーンリンク数が制限されるような場合は, チェーンリンク間に充填する材質が単なるゴムではなく, 塑性変形領域を考慮しかつ高エネルギー吸収性能を示す緩衝材が望まれる.

ここでは, 塑性変形を期待した鋼製パイプとゴムを複合化した緩衝材をチェーンリンクと一体化した図-1に示すような新たな緩衝機構を提案した⁴⁾. 本緩衝機構は, ゴムの衝撃緩和特性を活かしつつ鋼製パイプが圧縮され

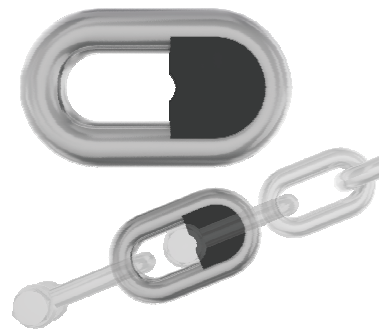


図-1 塑性変形を利用した緩衝機構
(ラバーリンク機構)

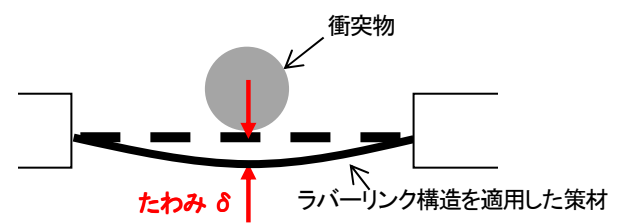


図-2 ラバーリンク機構を適用した策材
の変形イメージ

ることによる塑性変形にて衝撃力を緩和しつつ高いエネルギー吸収性能を発揮することを期待したものである. また, 図-2に示すように, 索材に伸び変形能力を付与することでたわみを発生させることにより本機構が全体として変形することで, 作用する張力を軽減させることも期待できる.

本研究では, この緩衝機構の静的力学特性を評価するとともに, 衝撃力が作用するような速度条件化での载荷

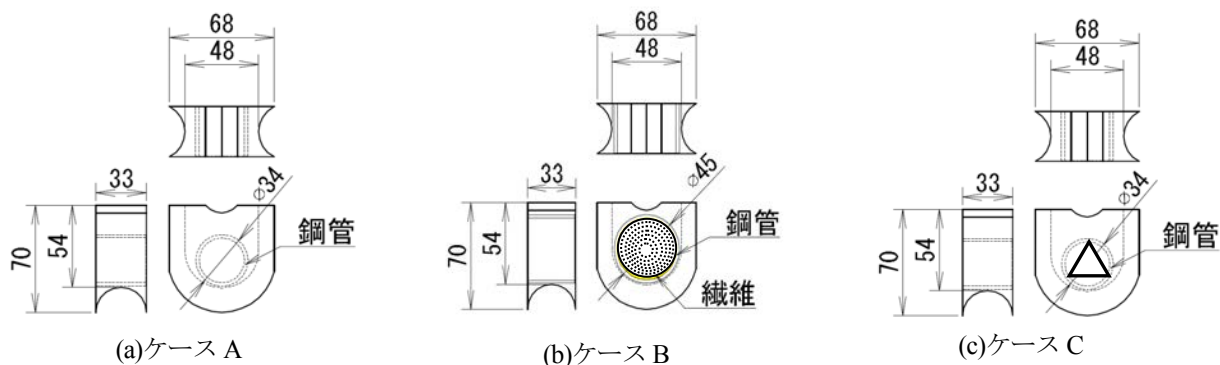


図-3 供試体の種類

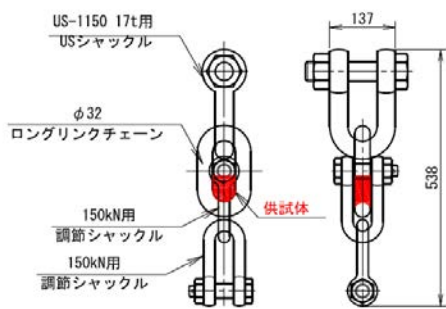


図-4 供試体の設置位置



写真-1 静的載荷実験状況



写真-2 高速載荷実験状況

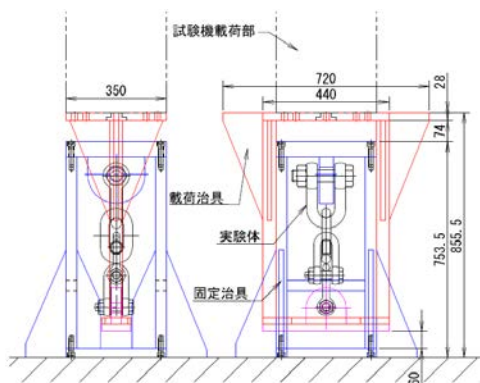


図-5 静的および高速載荷実験に用いた試験治具

実験を行い、実供用時で想定されるような速度レベルにおいても確実に機能を発揮できるかについて考察した。

2. 静的および高速載荷実験

2.1 供試体

本実験に使用する供試体は、図-3 に示すように、ゴムの中にφ34mmの鋼製パイプ（材質：STK400）を入れたケース A、さらにケース A の鋼製パイプをφ45mmとしてその中に繊維を同心円状に積層埋設したタイプ B とφ45mmの鋼製パイプの中を鋼材にて補強したケース C の3種類を用いた。ここで、ケース B は鋼製パイプの中に積層繊維補強ゴム⁹⁾を充填することで強度増加を期待したものであり、ケース C は鋼製パイプを鋼材で補強することによる強度増加を期待したものである。

これらの供試体を図-4 に示すように、φ32mm ロングリングチェーン（材質：KSBC50）と一体化して連結させた。

2.2 実験条件

静的載荷実験は、写真-1 に示すように、300kN アムスラー万能試験機（株島津製作所製）を用い、測定項目は載荷点荷重と載荷点変位とし、載荷速度は $8.3 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ とした。

高速載荷実験は、写真-2 に示すように、1000kN 中速度高圧載荷装置（株前川試験機製作所製）を用いた。測定項目は、ロードセルによる載荷点荷重とレーザー式変位計による載荷点変位とした。載荷速度は1.0m/secとし、測定項目のサンプリング間隔は $1.0 \times 10^{-5} \text{sec}$ と設定した。

いずれの実験も図-5 に示すような治具にて、試験装置による圧縮載荷により、供試体を組み込んだ機構に引張力が作用するようにした。

3. 実験結果および考察

本実験で得られた高速載荷実験における荷重～時間関係の一例を図-6 に示す。いずれの供試体においても載荷初期に荷重のピーク波形が見られた。これは、一方を試験機の載荷側、もう一方を試験機テストベッドに固定しているが、その軸線が厳密に一致していないために生じたものと考えられる。さらに、供試体（緩衝材）が介

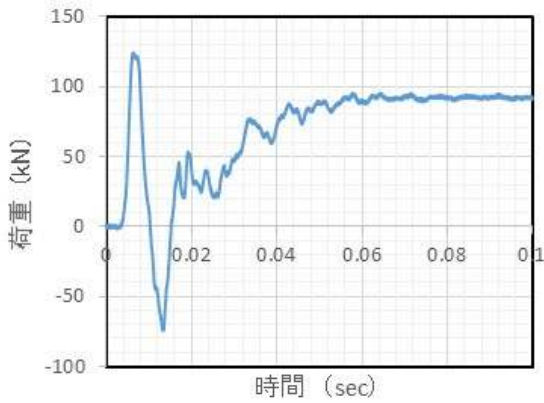
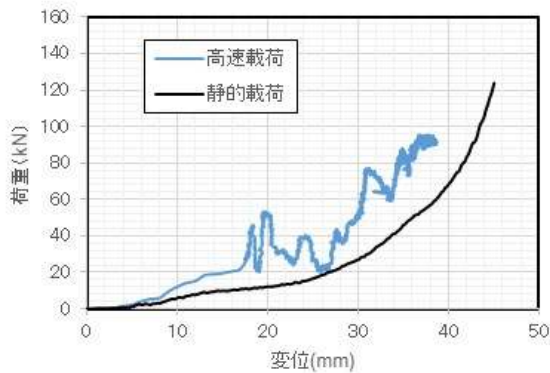
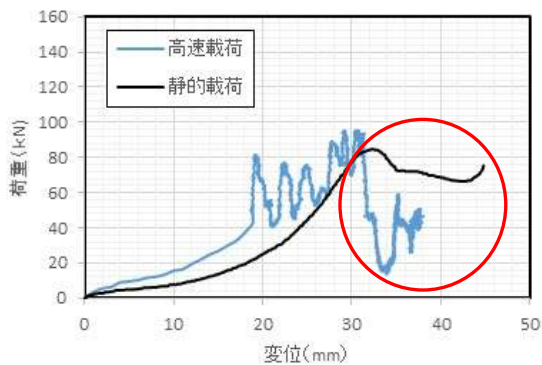


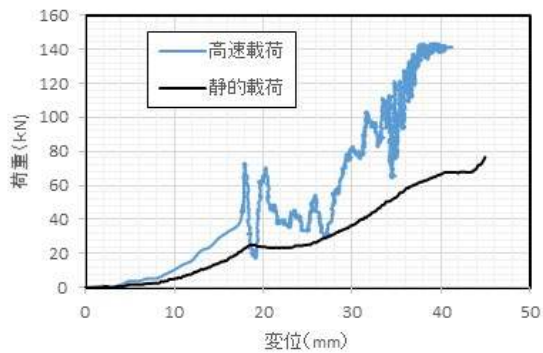
図-6 荷重～時間関係の一例 (ケース A)



(a)ケース A



(b)ケース B



(c)ケース C

図-7 実験で得られた荷重～変位関係

表-1 吸収エネルギー量の比較 (35mm 変形時)

	吸収エネルギー (kN-m)	
	静的载荷	高速载荷
ケース A	0.51	0.96
ケース B	1.10	1.29
ケース C	0.71	1.24



写真-3 供試体の傾き

在するため、その影響がさらに顕著になったと考えられる。よって、この载荷初期に相当する部分を除去し、この部分は静的载荷実験結果から速度効果を考慮するなどして荷重～変位関係を求めた。

その荷重～変位関係を図-7に示す。また、表-1に変形量 35mm での吸収エネルギー量を静的载荷と高速载荷で比較した。

図-7および表-1より、静的载荷では鋼製パイプが降伏することで荷重～変形量関係には変局点が見られ、さらに、変形が進行するにつれてゴムの圧縮変形と鋼製パイプの塑性変形によって、同形状のゴム単体の緩衝材よりもより大きな吸収エネルギー量を有するといえる。特に、ケース B の静的载荷では、鋼製パイプの塑性変形に加え、埋設繊維の破断が生じることで最も大きい吸収エネルギー量を示した。

また、静的载荷と高速载荷を比較すると、ケース A とケース C では、速度依存性による荷重の増加が認められるものの、ほぼ同じような力学特性を有することが確認された。しかしながら、ケース B については、変形量 32mm 程度から静的载荷と比較して高速载荷では荷重が大きく低下する傾向を示した。これは、写真-3 に示すように、静的载荷では徐々に圧縮されるため、軸線のずれを解消しつつ安定した性能を発揮できたのに対し、高速载荷では軸線のずれに加え鋼製パイプに充填した積層繊維補強ゴムの剛性が高いため、鋼製パイプの接着力とのバランスにより横方向への飛び出したためと考えられ

る。このことは、ケースCにて、鋼製パイプの中を鋼材にて溶接補強し一体化することで強固に接着したものは見受けられなかったことから、鋼製パイプの中に充填する材料の剛性と接着力のバランスが重要であると推察される。よって、本研究で使用した3種類の供試体では、静的载荷と高速载荷での変形挙動の安定性や吸収エネルギー量から、ケースCが望ましいと考えられる。

4. 結言

本研究は、ラバーリンク機構の静的および高速载荷実験を行い、その力学特性を評価するとともに実供用時でも確実に機能を発揮できるかについて評価することを目的としたものである。本研究で得られた成果を要約すると以下の通りである。

- (1) ラバーリンク構造の静的载荷実験を行った結果、リンク間で鋼製パイプが圧縮されることによる塑性変形によって高いエネルギー吸収性能を発揮することが確認された。
- (2) また、静的载荷と高速载荷では、鋼製パイプ内に充填する材料の剛性と鋼製パイプとの接着強度のバランスが変形挙動に影響を与えることが確認され、より接着強度が大きいものの方が载荷速度の変化に対して安定した挙動を示すことが確認された。
- (3) 本研究で使用した3種類の供試体では、静的载荷と高速载荷での変形挙動の安定性や吸収エネルギー量から、鋼製パイプの中を鋼材にて補強したケースCが望ましいといえる。
- (4) 静的载荷と高速载荷で同様な挙動を示す場合は、実供用下で想定される速度レベルにおいても確

実に機能を発揮できるものと考えられ、変形量や吸収エネルギー量など静的特性による設計が保守的な評価を与えると考えられる。

謝辞

最後に本研究を実施するにあたり、適切なお指導およびご助言をいただきました防衛大学校石川信隆名誉教授、大野友則名誉教授ほか、ご協力いただきました関係者の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、(社)日本ゴム協会 ゴム技術フォーラム編：ゴム材料の土木・海洋用途をさぐる、ポスティコーポレーション、1997.01.
- 2) 伊藤敏弘, 石川智男, 石川信隆, 池田啓士, 加藤正実, 生駒信康：供用下の高架橋における落橋防止システム的设计・施工, 橋梁と基礎, pp.45-50, 1999.04.
- 3) 小野田忠弘, 西村佳樹：鋼製チェーン式弾性型水平部材の横棧付きコンクリートスリット砂防えん堤への適用について, 砂防学会研究発表会概要集, pp.464-465, 2007.05.
- 4) 西本安志, 浮島徹, 廣岡宗一郎, 別府万寿博：「張力作用時における塑性変形を考慮した緩衝機構の実験的研究」, 令和元年度土木学会全国大会, 第74回年次学術講演会講演概要集, I-263, 2019.09.
- 5) 西本安志, 梶田幸秀, 石川信隆, 西川信二郎：落橋防止システム用緩衝材としての積層繊維補強ゴムの動的特性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.46A, pp.1865-1874, 2000.03.