

令和元年6月19日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06168

研究課題名(和文)超音波振動による衝撃吸収特性の解明

研究課題名(英文) Study of impact-absorption characteristics by applying ultrasonic vibrations

研究代表者

鈴木 厚行 (Suzuki, Atsuyuki)

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・准教授

研究者番号：40450142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：小型化した直径40mmの超音波振動子を用いて、高張力鋼板(ハイテン)や炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に超音波振動を印加したときの変形特性や衝撃力特性などについて検討した。CFRPに超音波振動を印加した場合、測定した範囲内で衝撃力が最も低減したのは駆動電圧が40Vrmsのときであり、衝撃力は58%低減した。コの字型構造体の場合においても、超音波振動によって変形量が増加する効果が確認できた。また、ダミーヘッドを用いた頭部損傷値の計測装置を試作して動作確認を行った。これまで測定できなかった衝撃吸収特性を測定するために、複数の信号を連続的に測定するシステムも構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車が行歩者をはねる事故などでは十分に衝撃を吸収できないケースが多い。そこで、衝撃を受けた瞬間に車両を構成する素材に超音波振動を加えることで、変形抵抗を低下させ、衝撃吸収度を向上させる方法を考案した。本研究では、小型化した超音波振動子による衝撃軽減効果をさまざまな視点から確かめた。これらの研究成果により、超音波振動による衝撃吸収装置を自動車・航空機・鉄道などの乗り物や精密機器などへ応用できる可能性を示した。また、ダミーヘッドを用いた頭部損傷値の計測システムや衝撃吸収特性計測システムを構築し、超音波振動を用いた衝撃軽減・吸収装置の特性をより明らかにするための基礎が固まってきた。

研究成果の概要(英文)： This study was carried out to verify if the ultrasonic vibrations were applicable to some specimens such as a high-tensile steel plate and a carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) plate which have been used in recent years to realize lightweight automobiles. Downsized ultrasonic transducers were used as compared with the transducers which was used in previous studies. When the ultrasonic vibrations were applied to the CFRP plate, the impact force was reduced by up to 58% (driving voltage: 40 Vrms). It was also confirmed that deformation amount is increased by applying ultrasonic vibration to a high-tensile-steel bent structure. Furthermore, injury criterion was measured when ultrasonic vibrations were applied and not applied by using a dummy head. Measurement system for impact-absorption characteristics was constructed by using a Raspberry Pi which can continuously measure multiple sensor outputs.

研究分野：超音波工学

キーワード：超音波振動 衝撃吸収 高張力鋼板 CFRP Blaha効果

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

乗り物に関するさまざまな安全技術が研究開発されているが、未だ交通事故は多い。自動車などはクラッシュブルゾーンが潰れることなどによって衝撃を吸収するが、歩行者を巻き込む事故など十分に衝撃を吸収できないケースは多い。また、衝突物や衝撃の大きさはそれぞれの事故によって異なるが、従来の技術では瞬時にその衝撃吸収性能を調整することはできない。そこで、超音波を用いて瞬時にその衝撃吸収性能を調整できる衝撃吸収装置を考案した。

超音波を金属などの材料に印加すると、その材料の変形抵抗が減少する現象が起きる。金属の場合は Blaha 効果として知られている。衝撃を受けた瞬間に超音波の印加によって車両を構成する金属などを軟らかくすることで衝撃を吸収する。Blaha 効果を利用した曲げ加工の研究などは知られているが、Blaha 効果を利用した衝撃吸収の研究は行われてこなかった。筆者らは研究開始時の段階ではアルミニウム合金や高張力鋼（ハイテン）などの金属の他、炭素繊維強化プラスチック（carbon-fiber-reinforced plastic; CFRP）などの試験片に超音波振動を加えて衝撃力やスプリングバック量が低減することなど、基礎的なデータを取得していた。

### 2. 研究の目的

考案した衝撃吸収装置の最大の特徴は瞬時に衝撃吸収度を調整できることである。自動車に適用した場合、乗客スペースが潰されるほどの大きな衝撃を受けた時や通常時は必要な剛性を保っているが、歩行者などと衝突した時などには最大限構造体を軟らかくして衝撃を吸収する。つまり、状況に応じて衝撃吸収度を調整できる。従来の自動車は必要な剛性を得るため、事故時には硬すぎることが多い。

提案する衝撃吸収装置は、自動車・航空機・鉄道などの乗り物に用いることができると考える。自動車の軽量化は燃費向上のために大きな課題であるが、現在の自動車は衝撃吸収のための構造が車体を重くしている。考案した衝撃吸収装置を搭載するための重量増はあるが、従来の構造を廃止し、軽くて丈夫な素材に変換することで今以上に軽量化できる可能性もある。

自動車・高張力鋼板・炭素繊維の製造はいずれも日本が得意な分野であり、この分野の技術革新は必要不可欠であるといえる。高張力鋼板や炭素繊維に超音波を印加した場合の衝撃吸収特性を明らかにし、自動車などへの応用が見込まれば、特色のある研究になると考える。また、小さな超音波振動子で熱可塑性樹脂などを溶融させて衝撃を吸収する小型装置の開発にも繋げたい。小型の衝撃吸収装置は精密機器の保護などさまざまな用途が見込める。

副産物的な意義もある。自動車業界では高張力鋼板の高強度化が進んでおり、従来のプレス加工機では加工が難しくなっている。本研究ではより軽い力で金属などを変形させることができる超音波振動子の開発も行うため、この技術は超音波曲げ加工機にも転用できる。

本研究では、自動車に広く使用されている高張力鋼板や今後の自動車素材として注目されている CFRP などに超音波を印加し、どの程度の効果が得られるか確かめることが目的である。研究開始時の段階で基礎的なデータを取得していたが、まだ解明されていない基礎研究を継続するほか、超音波振動を利用した衝撃吸収装置を実用化するための基盤となる研究を行うことを目標とした。

### 3. 研究の方法

超音波振動を利用し、衝撃を軽減・吸収できることを示すために、各種の実験装置を試作した。超音波振動子はボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) にステップ型ホーンを接続した構成にした。BLT は金属体で圧電素子を挟んでボルトで締結した構造の超音波振動子であり、強力超音波の分野で広く使われている振動子である。圧電素子のみで構成した振動子と比較し、BLT は大きな振動エネルギーが得られ、振幅拡大用のホーンの設定も容易である。超音波振動子はファンクションジェネレータおよび高周波増幅器を用いて駆動した。

#### (1) CFRP に超音波振動を印加したときの変形特性および衝撃軽減特性

CFRP に超音波振動を印加したときの変形特性や衝撃軽減特性等を測定するために試作した実験装置を図 1 に示す。衝撃吸収装置を自動車などの乗り物に用いる場合、重量とスペースの面でより小型であることが望まれる。そこで本研究では過去に使用していた超音波振動子よりも小型化した超音波振動子を用いて実験を行った。振動の減衰を抑えるため、縦振動のノード部にあたるフランジ部で超音波振動子を架台に固定した。

実験装置は主に、超音波振動子・試料固定用アンビル・衝撃印加用重錘から構成され、それぞれを独立してスライドガイドに設置し、上下に移動させることができる。曲げ試料は試料固定用アンビルに載せ、超音波振動子の先端部を上から押しつけて超音波振動を伝える。衝撃を印加して変形させる試料は熱可塑性の CFRP で、幅 20 mm、長さ 250 mm、厚さ 3 mm とした。曲げ試料へ印加する衝撃の大きさは衝撃印加用の重錘を落とす高さで変化させた。衝撃力は試料固定用アンビルの下にボルトで固定した圧電型ロードセルを用いて測定した。圧電型ロードセルに超音波振動が伝達しないように試料固定用アンビルの底面にはゴム板を張り付けている。

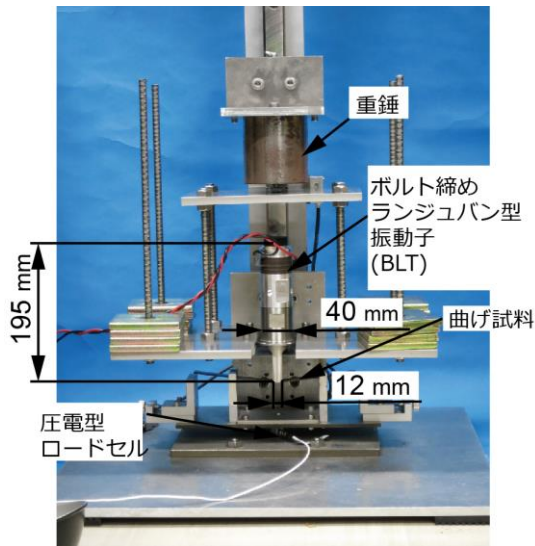


図 1. 変形特性・衝撃軽減特性測定装置

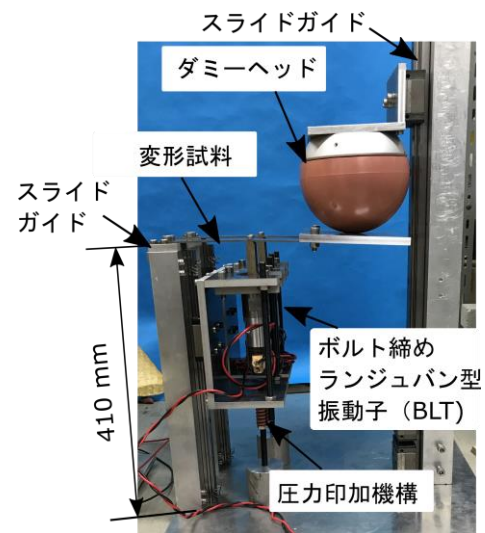


図 2. 頭部損傷値測定装置

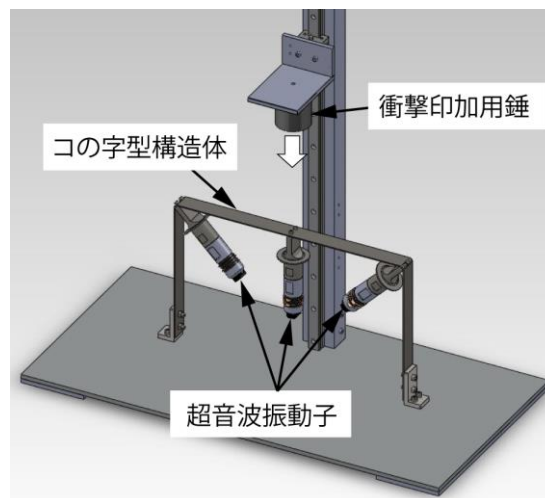


図 3. コの字型構造体を用いた衝撃軽減装置

### (2) 衝撃における頭部損傷値の超音波振動による軽減

本研究では、より実際の自動車事故の状況に近づけるため、自動車のボンネットを保持する機構を模した構造体を試作し、高張力鋼板に超音波を印加した場合および印加しなかった場合の頭部損傷値を測定した。実験装置は主に、超音波振動子・衝突板・変形試料・圧力印加機構・ダミーヘッドから構成されている(図2)。超音波振動子およびダミーヘッドはそれぞれ別個にスライドガイドに設置し、上下に移動させることができる。ダミーヘッドは中の骨は金属、外の皮膚はポリ塩化ビニルで出来ており、重さは4.5 kg、最大直径は165 mmである。幅40 mm、長さ250 mm、厚さ:2.3 mmの高張力鋼板(WEL-TEN590RE)の中央部付近に超音波振動子の先端をボルトで固定し、超音波振動子に掛かる静荷重は圧力印加機構で調整した。頭部損傷値は、ダミーヘッドを一定の高さから落下させたときの加速度をヘッド内の加速度センサにより測定し、ユニバーサルレコーダを用いてデータを集録した後、解析ソフトウェアDIAdemを用いて解析した。

### (3) コの字型構造体に超音波振動を印加したときの変形特性

これまでの研究で使用してきた試験片は全て単純な平板であったが、実際に自動車に本技術を適用する場合には当然サイズは大きくなり、形状も異なる。また、これまでの研究では超音波振動子を試験片に押し当てているだけであったが、振動を効率よく素材に伝達するには振動子と素材が強く密着するように固定することが望ましい。本研究では、図3のようなコの字型構造体に3本の振動子をボルトで固定した衝撃吸収体を製作して落錘衝撃試験を行った。コの字型構造体は幅40 mm、長さ1500 mm、厚さ2.3 mmの高張力鋼板(WEL-TEN590RE)を曲げて作った。

### (4) 衝撃吸収特性計測システム

これまでの研究では超音波振動によって衝撃の瞬間的な衝撃力が低減することを示しているが、衝撃エネルギーが吸収されることはまだ示せていない。衝撃エネルギーの吸収量を測定するには、変形中の変形量と力を同時かつ連続的に計測する必要がある。そこで本研究では超音波振動による衝撃吸収特性を計測するためのシステムをRaspberry Piを用いて構成することを試みた。変形量と力はそれぞれリニアエンコーダと圧電型ロードセルを用いる。

#### 4. 研究成果

##### (1) CFRP に超音波振動を印加したときの変形特性および衝撃軽減特性

図4に駆動電圧を変化させたときの衝撃軽減特性を示す。衝撃印加用錘の落下高さは100 mm、試料に印加する静圧は200 Nにした。測定した範囲内で衝撃力が最も低減したのは駆動電圧が40 V<sub>rms</sub>のときであり、衝撃力は58%低減した。原因はまだ明確ではないが、駆動電圧が60 V<sub>rms</sub>を超えると衝撃力が増加する傾向が見られた。超音波を印加しない場合と超音波を印加した場合（駆動電圧40 V<sub>rms</sub>）の衝撃波形を図5に示す。

##### (2) 衝撃における頭部損傷値の超音波振動による軽減

超音波振動を印加した場合と印加しなかった場合の頭部損傷値を測定したが、明確な差は得られなかった。また、ダミーヘッドによる衝撃を印加した場合の超音波振動子の先端に接続されている変形試料の変形量にも明確な差は見られなかった。超音波振動の効果が見られなかった原因としては、十分な振動振幅が得られなかったことや圧力印加機構の調整などにばらつきがあったためと推測する。超音波振動子の振動特性を測定してみたところ、装置の共振周波数がBLT単体の共振周波数と大きく異なっていた。超音波振動の効果を確認するには、超音波振動子の特性改善や実験装置に起因するばらつきを減らす必要がある。

##### (3) コの字型構造体に超音波振動を印加したときの変形特性

超音波を印加した場合、衝撃印加用重錘が衝突した箇所は垂直方向に11 mm変形した。超音波を印加しなかった場合の変形量は8 mmとなり、超音波を印加した場合のほうが印加しなかった場合に比べて、変形量が大きいことが確認された。

##### (4) 衝撃吸収特性計測システム

Raspberry Piを用いて複数のアナログ信号を連続的に測定するシステムを構築した。また、計測したデータをCSVファイルにまとめ、ローカルファイルとGoogle Spreadsheetにアップロードし、付属のディスプレイにグラフを描画するシステムを構築した。圧電型ロードセルの出力を連続的に測定することはできた。リニアエンコーダのデジタル出力を同時に計測することがまだできていないが、C#を用いて別途測定することはできた。今後は、圧電型ロードセルとリニアエンコーダの出力を同時に測定するシステムを構築する必要がある。

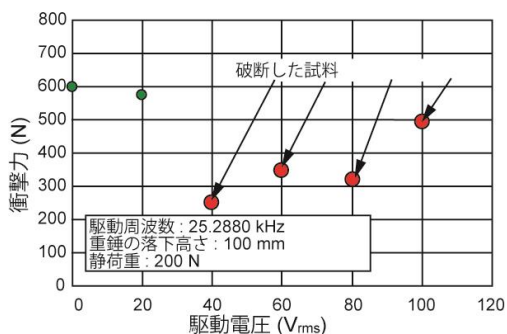


図4. 衝撃軽減特性（試料：CFRP）

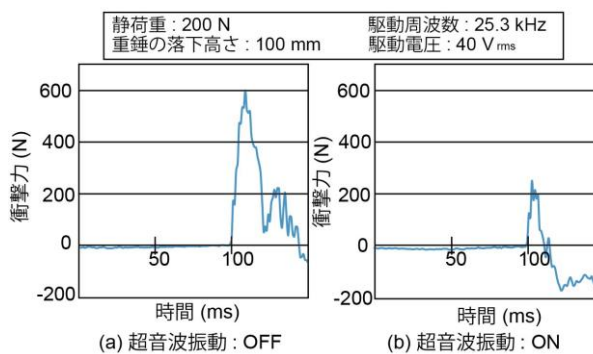


図5. 衝撃波形（試料：CFRP）

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文]（計3件）

- ① Atsuyuki SUZUKI, Kai KIMURA, Futoshi NISHIMURA, and Jiromaru TSUJINO, Impact-reduction effect of ultrasonic vibrations on carbon fiber-reinforced polymer plate using a downsized transducer, Proceedings of 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium, 2017 査読無
- ② 鈴木厚行、木村開、西村太志、辻野次郎丸、炭素繊維強化プラスチックを用いた超音波衝撃軽減装置の小型化、日本音響学会2017年春季研究発表会講演論文集、査読無、2017、pp. 949-950

- ③ Atsuyuki SUZUKI, Shota IKEOKA, and Jiromaru TSUJINO, Development of an impact-reduction device by applying ultrasonic vibrations to a high-strength steel plate using a downsized transducer, Japanese Journal of applied Physics、 Vol. 55, 2016, 07KE12, pp.1-5, DOI: 10.7567/JJAP.55.07KE12 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① Atsuyuki SUZUKI, Kai KIMURA, Futoshi NISHIMURA, and Jiromaru TSUJINO, Impact-reduction effect of ultrasonic vibrations on carbon fiber-reinforced polymer plate using a downsized transducer, 2017 IEEE International Ultrasonics Symposium, 2017
- ② 鈴木厚行、木村開、西村太志、辻野次郎丸、炭素繊維強化プラスチックを用いた超音波衝撃軽減装置の小型化、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、2017

[その他]

ホームページ等

<http://www.tokuyama.ac.jp/profiles/a-suzuki.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

該当者無し

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。