

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420202

研究課題名(和文)超音波を用いた衝撃吸収装置の開発

研究課題名(英文)Development of Impact-absorption System 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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：自動車に広く使用されている高張力鋼板(ハイテン)や今後の自動車素材として注目されている炭素繊維強化プラスチック(CFRP)などに超音波振動を印加したときの变形特性や衝撃力特性などについて検討した。高張力鋼板・CFRP いずれの場合においても、超音波振動によって变形抵抗が低減し、衝撃力が軽減する効果が確認できた。またスプリングバック量が低減することも示した。幅 10 mm、長さ 200 mm、厚さ 2.3 mm の高張力鋼板(EL-TEN590RE)の場合、超音波の印加によって衝撃力およびスプリングバック量はそれぞれ最大で 35%および 43%低減した。

研究成果の概要(英文)：We aim to develop an impact-reduction system by applying ultrasonic vibrations, which can change the rigidity of the material instantaneously in the event of an impact. 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. When the ultrasonic vibrations were applied to the high-tensile steel plate, the impact force and the springback amount were reduced by up to 35% and 43%, respectively.

研究分野：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

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 Blaha 効果と呼ばれる現象が起きる。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柔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。筆者らは研究開始当初の段階では、アルミニウム合金 (JIS A6063) に超音波を印加すると変形抵抗が低減し、衝撃が軽減することを示していた。

2. 研究の目的

本研究では、自動車に広く使用されている高張力鋼板 (ハイテン) や今後の自動車素材として注目されている炭素繊維強化プラスチック (carbon-fiber-reinforced plastic、CFRP) などに超音波を印加し、どの程度の衝撃が吸収できるか確認する。

考案した衝撃吸収装置の最大の特色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。

反発係数を低減できることも特色の一つである。金属などは変形後元に戻ろうとするが、戻ろうとする量 (スプリングバック量) は超音波の印加によって低減できることが分かっている。スプリングバック量が低減することにより、反発係数は小さくなり、跳ね飛ばされた後のダメージを低減できる。さらに、超音波を印加すると金属が破断せずに曲がりやすくなるため、破断による被害を防ぐこともできる。

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、この技術はそのまま超音波曲げ加工機にも転用できる。

3. 研究の方法

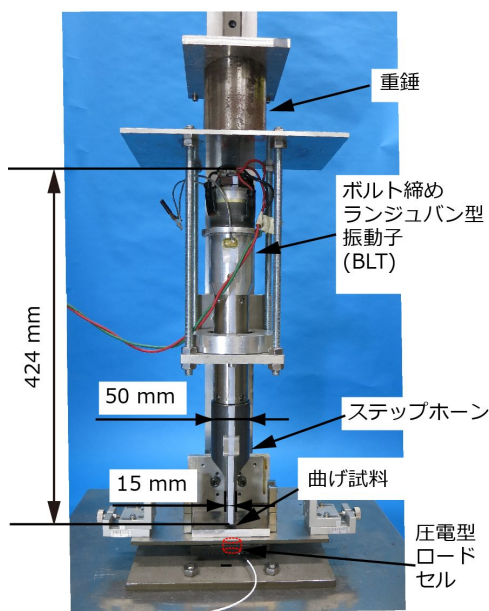
(1) 実験装置の構成

図1に実験装置の主な構成を示す。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。そこで本研究ではこれまで使用してきた超音波振動子を用いた実験に加え、小型化した超音波振動子を用いた実験も行った。図1(a)は小型化前の実験装置で図1(b)は小型化した実験装置である。使用したそれぞれの超音波振動子の諸元を表1に示す。

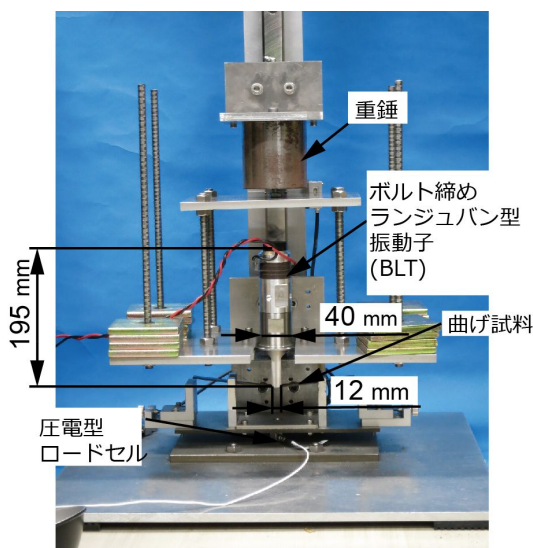
実験装置は主に、超音波振動子・試料固定用アンビル・衝撃印加重錘から構成され、それぞれは独立してスライドガイドに設置し、上下に移動させることができる。超音波振動子はボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) にステップ型ホーンを接続した構成にした。BLT は金属体で圧電素子を挟んでボルトで締結した構造の超音波振動子であり、強力超音波の分野で広く使われている振動子である。圧電素子のみで構成した振動子と比較し、BLT は大きな振動エネルギーが得られ、振幅拡大用のホーンの設定も容易である。振動の減衰を抑えるため、縦振動のノード部にあたるフランジ部で超音波振動子を架台に固定した。超音波振動子はファンクシ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。

(2) 振動特性の測定

インピーダンスアナライザ等を用いて、各振動系のアドミタンス特性を測定し、共振周波数・動アドミタンス・Q等を求めた。また、レーザドップラ振動計等を用いて径方向振動分布を測定した。振動振幅は振動速度から換算して求めた。



(a) 小型化前の実験装置



(b) 小型化した実験装置

図 1 . 実験装置の構成

表 1 . 使用した超音波振動子の諸元

	振動子の全長 (mm)	BLT の全長 (mm)	共振周波数 (kHz)	重さ (kg)
小型化前	435	54	17.2	4.54
小型化後	195	40	25.3	0.92

(3) 変形特性・衝撃軽減特性の測定

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高張力鋼板 (WEL-TEN590RE)・熱可塑性の炭素繊維強化プラスチック (CFRP)・熱溶融型接着剤とした。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。

4 . 研究成果

振動特性・変形特性・衝撃軽減特性等について検討した。小型化した超音波振動子のデータを中心に、得られた研究成果を示す。

(1) アドミタンスループ

小型化した超音波振動子のアドミタンスループを測定した (図 2)。共振周波数が下がり、動アドミタンスも小さくなった。接続したホーンの長さを調整することにより、効率よく超音波振動子を駆動することができ、超音波の効果を増大できる可能性がある。

(2) 径方向振動分布

小型化した超音波振動子に沿って測定した径方向振動分布を図 3 に示す。駆動周波数 25.30 kHz、駆動電圧は $100 V_{rms}$ で測定した。超音波振動子には設計どおり、およそ 1 波長の定在波が励振されていた。径方向振動分布のノード部およびループ部は、それぞれ軸方向振動のループ部およびノード部に対応する。BLT およびホーンそれぞれの両端部はほぼ軸方向振動のループ部になっている。また、ホーン中間付近での径方向振動が BLT での径方向振動より大きくなっていることから、ホーンの設置により振動振幅が拡大していることが確認できる。

(3) 変形特性

小型化した超音波振動子を用いて、高張力鋼板の変形特性を測定した (図 4)。曲げ試料は幅 10 mm、長さ 200 mm、厚さ 2.3 mm の高張力鋼板 (WEL-TEN590RE) である。超音波を印加した場合および印加しない場合について測定した。超音波を印加した場合の、超音波振動子の駆動周波数および駆動電圧はそれぞれ、25.35 kHz および $100 V_{rms}$ とした。駆動周波数は駆動電圧や、振動子の温度などによって変化するため、実験条件下で最もよく振動する周波数とした。

超音波を印加した場合は、静荷重が約 280 N から変形量の増える割合が増加し、超音波を印加しない場合は、静荷重が約 320 N から変形量の増える割合が増加した。静荷重 320 N のときに超音波を印加した場合、変形量は 27 mm であったのに対し、超音波を印加しない場合は、13.6 mm であった。このことから、超音波振動によって変形抵抗が低下する効果を確かめることができた。

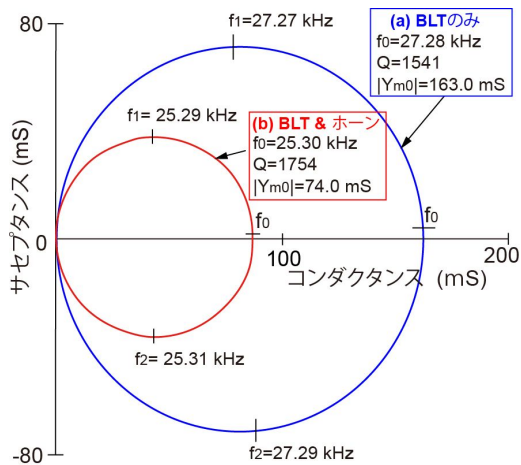


図 2 . アドミタンスループ

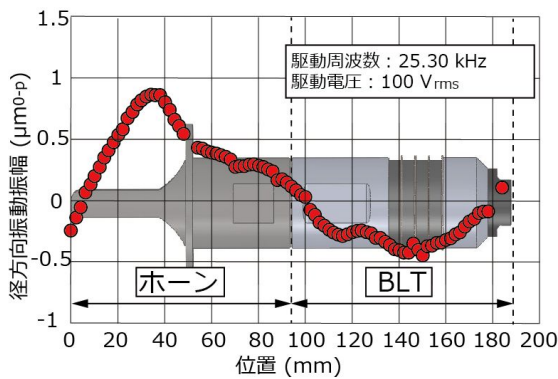


図 3 . 超音波振動子の径方向振動分布

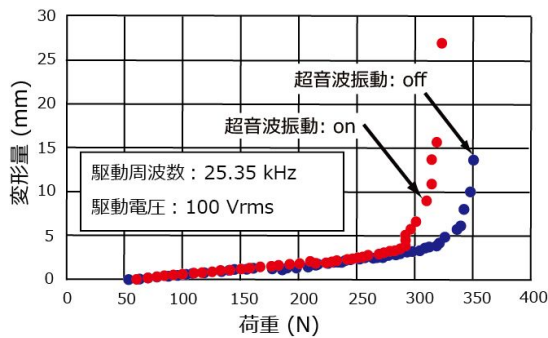


図 4 . 変形特性 (試料 : 高張力鋼板)

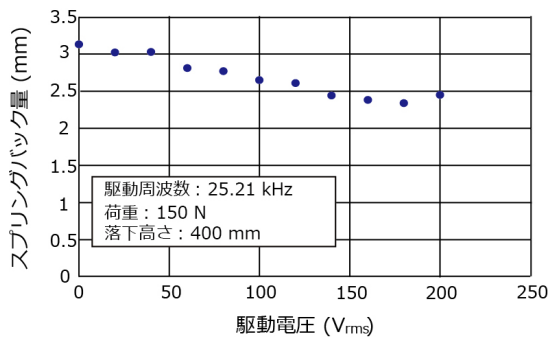


図 5 . スプリングバック量 (試料 : 高張力鋼板)

(4) スプリングバック量

小型化した超音波振動子を用い、超音波振動子にかかる駆動電圧を変化させたときの曲げ試料のスプリングバック量の推移を測定した(図 5)。試料固定用アンビルに曲げ試料を設置し、曲げ試料に対して 150 N の力で超音波振動子が接触するようにした。曲げ試料は幅 10 mm、長さ 200 mm、厚さ 2.3 mm の高張力鋼板 (WEL-TEN590RE) である。この静荷重が掛かった状態の曲げ試料の位置を初期位置とし、振動子先端部が初期位置から 20 mm 以上離れないようにストッパを設けた。このストッパで止まる位置 20 mm が試料の最大変形点に設定した。衝撃印加後、振動子を持ち上げ、振動子先端と試料が接触しなくなった瞬間の位置を測定し、最大変形点との距離の差をスプリングバック量とする。衝撃は超音波を試料に印加してから 1 秒後に重錘を落下させることで印加し、落下高さは 400 mm とした。印加する駆動電圧の上昇に伴い、スプリングバック量が減少した。振動エネルギーの増加に伴い、転位が動きやすくなり、かつ曲げ試料の温度も上昇することで塑性変形が進んだためと考える。

(5) 衝撃軽減特性

超音波振動子を印加した場合および印加しない場合における衝撃軽減特性を測定した。試料固定用アンビルに曲げ試料を設置し曲げ試料に対して 150 N の力で超音波振動子が接触するようにした。曲げ試料は幅 10 mm、長さ 200 mm、厚さ 2.3 mm の高張力鋼板 (WEL-TEN590RE) である。重錘を落下させるタイミングは超音波を印加して 1 秒後とした。駆動電圧は 200 V_{rms} とした。図 6 に落下高さ - 衝撃力特性を示す。超音波を印加することで衝撃力が低減した。最大衝撃軽減率が得られた高さ 150 mm から衝撃印加用重錘を落下させたときの衝撃波形を図 7 に示す。

クロス材の CFRP (厚さ 3 mm、幅 20 mm、長さ 200 mm) を用いても衝撃軽減特性を測定した。図 8 に落下高さ - 衝撃力特性を示す。超音波の印加により CFRP でも衝撃力が低減することを示した。なお、落下高さを上げると衝撃力が低くなったが、試料は破断しており、CFRP で衝撃を吸収しきれたわけではない。さらに、ボンドガン用の熱溶融型接着剤に超音波を印加した場合でも衝撃力が低下することを示した。変形後の試料の様子を図 9 に示す。

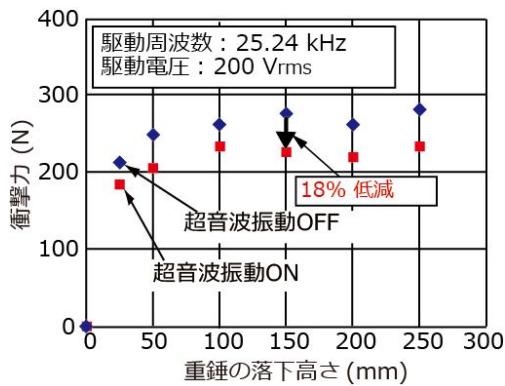


図6 . 落下高さ - 衝撃力特性 (試料 : 高張力鋼板)

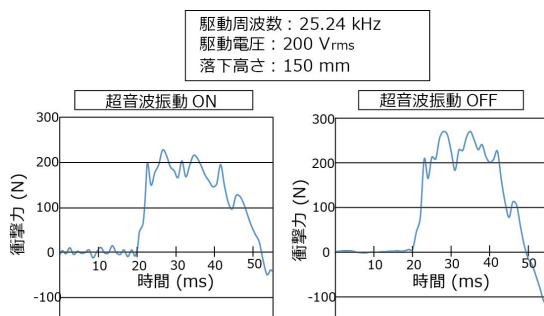


図7 . 衝撃波形 (試料 : 高張力鋼板)

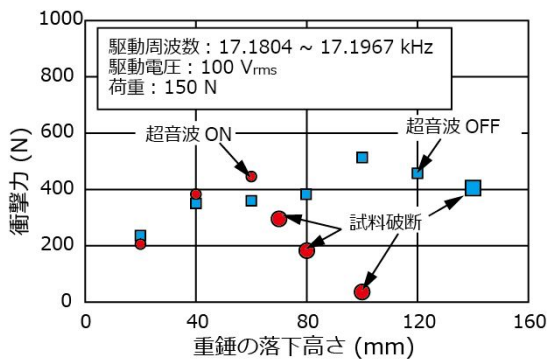


図8 . 落下高さ - 衝撃力特性 (試料 : CFRP)

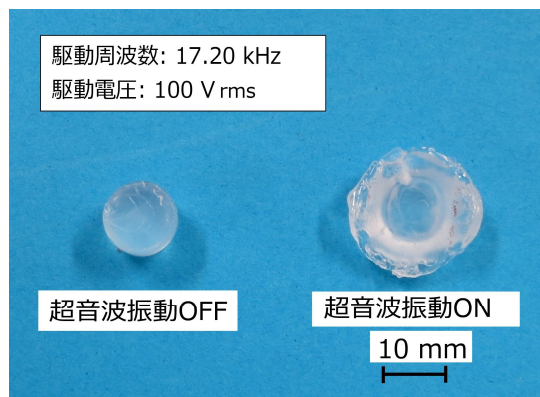


図9 . 変形後の試料の様子 (試料 : 熱溶融型接着剤)

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

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 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.55.07KE12

鈴木厚行、木村開、西村太志、辻野次郎丸、超音波振動を炭素繊維強化プラスチックに印加したときの衝撃軽減効果、日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集、査読無、2016、pp.1135-1136

Atsuyuki SUZUKI, Shota IKEOKA, and Jiromaru TSUJINO, Downsizing of Impact-reduction Device Using Ultrasonic Transducer, Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol.36 3P4-5, 2015, 査読無

Atsuyuki SUZUKI, Kosaku HAYASHIDA, and Jiromaru TSUJINO, Impact-reduction effect by applying ultrasonic vibrations to a cylindrical hot-melt adhesive, Japanese Journal of applied Physics, Vol.54, 2015, 07HE05, pp.1-4 査読有 DOI: 10.7567/JJAP.54.07HE05

Atsuyuki SUZUKI, Kosaku HAYASHIDA, and Jiromaru TSUJINO, Development of Impact-reduction System Using Ultrasonic Melting, Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol.35 pp.471-472, 2014, 査読無

Atsuyuki SUZUKI, Takahiro ONITAKE, Kanji IKUNAKA and Jiromaru TSUJINO, Impact-absorbing effect by applying ultrasonic vibrations to high-tensile steel plate, Proceedings of IEEE 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM symposium pp.1650-1653, 2013, 査読無

[学会発表] (計 5 件)

鈴木厚行、超音波振動を炭素繊維強化プラスチックに印加したときの衝撃軽減効果、日本音響学会 2016 年春季研究発表会、2016.03.09、桐蔭横浜大学(神奈川県・横浜市)

Atsuyuki Suzuki, Deformation and impact characteristics by applying ultrasonic vibrations to a carbon fiber-reinforced polymer plate, International Congress on Ultrasonics, 2015.05.12, Metz (France)

Atsuyuki SUZUKI, Downsizing of Impact-reduction Device Using Ultrasonic Transducer, Symposium on Ultrasonic Electronics, 2015.11.07, つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)

Atsuyuki SUZUKI, Development of Impact-reduction System Using Ultrasonic Melting, Ultrasonic Electronics, 2014.12.05, 明治大学(東京都・千代田区)

Atsuyuki SUZUKI, Impact-absorbing effect by applying ultrasonic vibrations to high-tensile steel plate, IEEE 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM symposium, 2013.07.24, Prague (Czech Republic)

[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

(2) 研究分担者

該当者無し

(3) 連携研究者

該当者無し