

自動車用緊急脱出用ハンマーの破砕性能に関する研究

Research on Performance of Emergency Glass Breaking Hammers for Automobile

廣瀬敏也^{*)} 及川昌子^{**)}
Toshiya Hirose Shoko Oikawa

本論文では、市場に流通している緊急脱出用ハンマーに対して自動車用窓ガラスの破砕性能の評価を行い、その性能の実態を把握することを目的としている。破砕性能の評価については、試験装置を用いた評価および手動による評価の2種類の評価試験を実施した。51種類の緊急脱出用ハンマーを対象に性能評価を行い、試験装置を用いて3回の破砕試験を行った結果、金づち型では42%、ピック型では22%、ポンチ型では91%のハンマーがすべての試験においてガラス破砕性能を有していた。また、金づち型およびピック型のハンマーを対象に手動にて性能評価を行った結果、試験対象としたすべてのハンマーでガラス破砕が可能であった。

This paper evaluated the breaking performance of automobile glass for emergency escape hammers and investigated the actual performance for the glass breaking. The emergency escape hammers consisted of three types; a hammer, a pick and a punch. The breaking performance was evaluated by conducting two types of evaluation tests, (1) a test device evaluation and (2) a manual operation evaluation. The performance evaluation was performed on 51 types of emergency escape hammers. In three-times breaking tests using a test device, the percentage of hammers that had the ability to break glass in all the three times was 42% for the hammer type, 22% for the pick type and 91% for the punch type. In manual operation tests for the hammer type and pick type, all the hammers enabled to break the glass.

1. はじめに

2019年に発生した台風19号や2020年7月に発生した豪雨などにより、自動車が水没することで乗員が車内で被災してしまうことが報告されている。自動車が水没時に窓ガラスを破砕して脱出するツールとして、脱出用ハンマーが製造・販売されている。脱出用ハンマーは、水没などの緊急時に確実に窓ガラスを破砕して乗員を車外に脱出させる性能が求められ、JISマークやGSマーク等の性能を保証する表示のある製品を使用することが推奨されている。しかし、市場には性能・使用方法・価格の異なる様々な脱出用ハンマーが販売されており、2013年に実施された国民生活センターによる性能評価試験においては、窓ガラスの粉砕性能を有していない脱出用ハンマーの存在が報告されている(1)。また、2020年に脱出用ハンマーの普及状況および自動車用ガラスの種類に関するアンケート調査を実施し、ガラスの破砕試験、シートベルトの切断試験について報告されている(2)。日本規格協会は、2016年の自動車用緊急脱出支援用具(JIS D5716:2016 Emergency escape tools for automobile)(3)において、自動車での交通事故または水没事故にて乗員が車内に閉じ込められた際、車

内からの脱出時に使用するシートベルトの切断機能および、自動車用ガラス破砕機能を有する緊急脱出支援用具の規格を制定している。国土交通省は、2013年に脱出用ハンマーの性能確保および使用方法に関するプレスリリース(4)を発行しており、破砕性能に問題があるとされている脱出用ハンマーへの対応について言及している。これまでに脱出用ハンマーの破砕性能に関して、多方面からその性能を確保する検討が行われているが、網羅的に脱出用ハンマーの性能評価の実施例は少ないことから、今後の脱出用ハンマーの性能向上に資する性能評価が必要とされている。

本研究は、市場に流通している脱出用ハンマーの自動車用窓ガラスに対する破砕性能の評価を行い、その性能の実態を把握することを目的としている。破砕性能の評価について、試験装置を用いた評価および手動による評価の2種類の評価試験を実施した。

2. 脱出用ハンマーの性能評価

2-1. 脱出用ハンマーの種類

現在、市販されている脱出用ハンマーは、図1に示すよう

*) 芝浦工業大学・工学部・機械機能工学科・准教授 ***) 芝浦工業大学・ヒューマンマシンシステム研究室・研究補助員

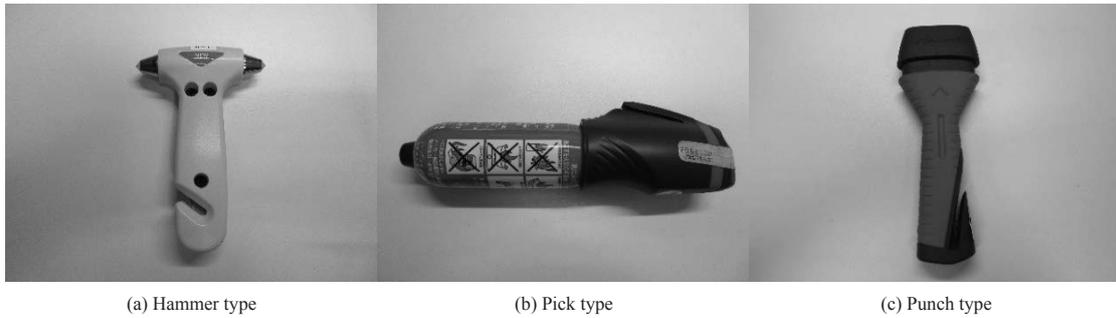


図1 緊急脱出用ハンマーの種類

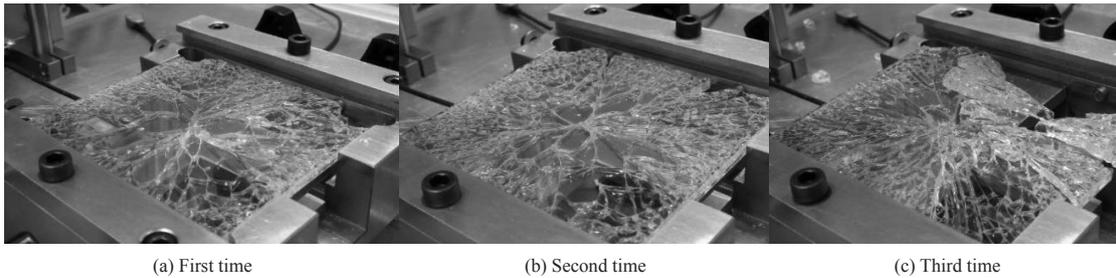


図2 破砕性能の試験結果(すべての試験でガラスを破砕した場合)

にハンマーの構造をもとに大別すると3タイプとなり、(1)金づち型、(2)ピック型、(3)ポンチ型に分類される。金づち型は、ハンマー構造になっており、人間が金づちを振りかざして窓ガラスを粉砕する構造を有しているものを示す。ピック型は、人間が手に保持し、ハンマーの先端部を窓ガラスに叩きつけることで窓ガラスを粉砕する構造を有しているものを示す。金づち型およびピック型は、手や身体といった人間の力により窓ガラスの破砕性能が左右される特徴を持つ。ポンチ型は、人間が窓ガラスにハンマーを押し当てて、一定の力が加わると内部から突起物が飛び出し、窓ガラスを破砕する構造を有しているものを示す。ポンチ型には、窓ガラスにハンマーを押し当てて、人間がトリガーを操作することでハンマーの先端部から突起物が飛び出す構造のものもある。ポンチ型は、金づち型およびピック型とは異なり、人間が窓ガラスに押し当てて一定の力が加わると作動するものであるため、作動後の窓ガラスの破砕性能は人間の力によらず、ハンマーが有している性能が影響する特徴を持つ。

2-2. 脱出用ハンマーの性能評価

脱出用ハンマーの性能評価として、まず、金づち型・ピック型の試験装置は、JIS(D5716:2016)「自動車用緊急脱出支保用具」に規定されているガラス破砕試験に従って性能評価の試験を実施した。また、ポンチ型の試験装置は、JISにて試験法が規定されていないため、モーターとアームで構成されて

いる試験装置にて、ハンマー作動時の自動車用窓ガラスの破砕性能を確認した。ここでは、これらを性能評価1とする。また、金づち型・ピック型ハンマーについて、JIS(D5716:2016)試験にて自動車用窓ガラスの破砕性能が確認できなかったハンマーを主に対象とし、手動による破砕性能の確認試験を実施した。これを性能評価2とする。

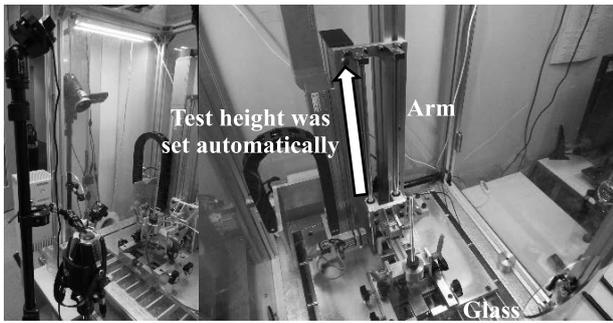
2-3. 性能評価1(試験装置による破砕性能)

2-3-1. 性能評価1にて対象とした脱出用ハンマー

本研究では、市販されており、販売店やインターネットにて入手可能な緊急脱出用ハンマーを性能評価1の対象とした。前述の3タイプの緊急脱出用ハンマー51種類において、金づち型31種類、ピック型9種類、ポンチ型11種類であった。

2-3-2. 性能評価1の手法

試験では、合わせガラスの構造を有していない自動車用窓ガラスに使用されている透明強化ガラス(JIS R 3211準拠)の試験片を用いて、脱出用ハンマーにてガラス試験片が破砕されるのかその性能を調査した。ガラス試験片の大きさは、縦100mm、横100mm、厚さ4mmである。それぞれの脱出用ハンマーにて3回の試験を実施し、ガラス試験片の破砕性能を確認した。3回の試験において、ガラス試験片は破砕の有無にかかわらず新しい試験片に交換し、脱出用ハンマーは、使用者が繰り返し窓ガラスに叩きつけること想定し、同じハン



(a) Test device for hammer and pick types

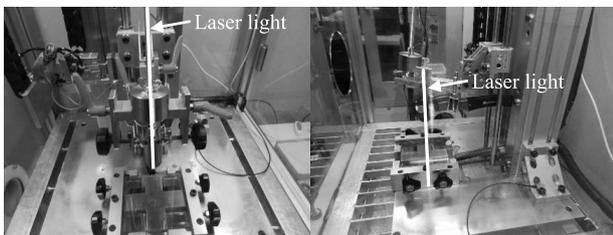


(b) Controller

(c) Laser

(d) Data logger

図3 ハンマー型・ピック型の試験装置



(a) Front

(b) Side

図4 ハンマー型・ピック型のレーザーによる垂直方向の取り付けの確認

マーを繰り返し使用した。試験結果は、3回の試験においてガラス試験片の破砕の有無を確認した。図2は、3回すべての試験においてガラス試験片の破砕が確認された例である。

2-3-3. 金づち型・ピック型の試験装置

金づち型・ピック型の試験装置は、JIS(D5716:2016)「自動車用緊急脱出支援用具」に規定されているガラス破砕試験をもとに構築した。図3に示すように試験は、高さが任意に変更できるアームに脱出用ハンマーを固定し、自由落下をさせて実施した。床面にはガラス試験片を設置し、脱出用ハンマーを自由落下させた場合におけるガラス試験片の破砕性能を調査した。また、床面にはハンマーがガラス試験片にインパクトする際の力を計測するため、昭和測器製のフォースセンサ(Model-2101)が装着されている。脱出用ハンマーを自由落下させる高さは、事前に脱出用ハンマーとアームの重量を計測し、JIS(D5716:2016)の規定に従い、位置エネルギー0.7 [J]となる高さから脱出用ハンマーを落下させた。以下に落下時の高さの算出式を示す。なお、ガラス試験片に脱出用ハンマーが衝突した際の跳ね返りに着目し、ハンマーのヘッド部が

軽量になると跳ね返りが大きくなるため、金づち型・ピック型のすべての試験において250 [g]のおもりをヘッド部に搭載した。この250 [g]の重さは、アームの質量として加味し、落下時の高さを算出した。本研究における試験装置は、コントローラーにて0.7 [J]を設定すると、アクチュエータにより指定の高さまでアームの高さが変更され、試験を実施する構造となっている。アームは、レーザー変位計(キーエンス社製:IL-600)を用いて高さを計測し、モーターを用いて自動的に所定の高さまでアームを移動させる機能を有している。従って、脱出用ハンマーの取り付けを除いて、試験の開始から終了まで研究員が介在せず試験を実施できる。レーザー変位計は、基準距離60 [mm]、測定距離200 [mm]~1000 [mm]、繰り返し精度50 [μm]であり、アームの可動域のすべてにおいて計測可能となるように設定している。

試験装置は、破砕したガラスが飛散しないようにアクリルパネルで覆う構造になっている。また、アームの位置、フォースセンサの値などのデータは、データロガーを用いた計測が可能であり、データロガーによりビデオ映像の同期計測が可能となっている。

$$H = \frac{E}{(m + M) * g}$$

位置エネルギー：E=0.7 [J]

脱出用ハンマーの質量：m [kg]

アームの質量：M [kg]

重力加速度：g=9.81 [m/s²]

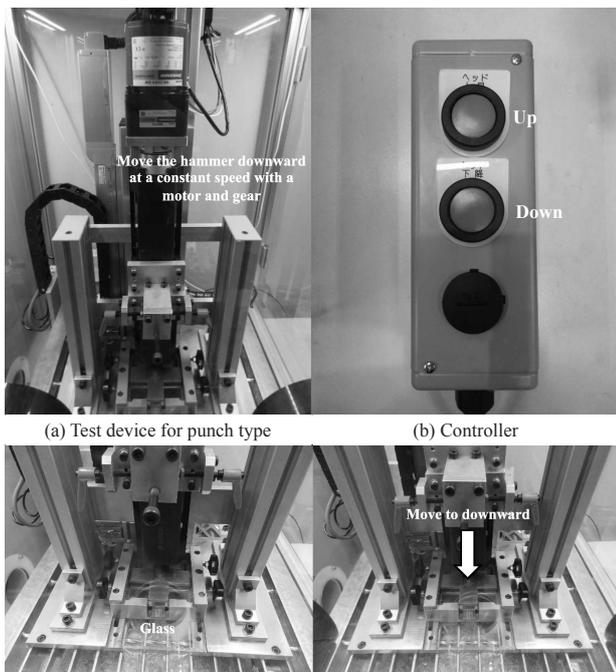
落下時の高さ：H [m]

アームと脱出用ハンマーの取り付けは、ガラス面に対して垂直に取り付けることとし、取り付け後は、図4に示すようにハンマーの前側と右側に設置された墨出しレーザーを用いて、垂直に設置されていることを確認した。また、3回の各試験について、試験前に墨出しレーザーにて垂直に取り付けられていることを確認した。

2-3-4. ポンチ型の試験装置

ポンチ型脱出用ハンマーについて、JISにて同ハンマーの試験装置および試験法が規定されていないため、以下に示す試験方法にて破砕性能を調査した。

試験装置は、図5に示す通り、アーム部にポンチ型ハンマーを取り付け、アームの上方にモーターとギアを設置し、コントローラーによりアームの下降と上昇を制御できるようにした。モーターはOriental motor社製の4IK25GV-SWを使用し、ギアヘッドはOriental motor社製の4GV75を使用し



(c) Movement of test device

図5 ポンチ型の試験装置

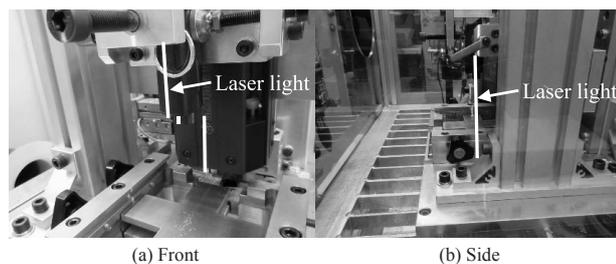
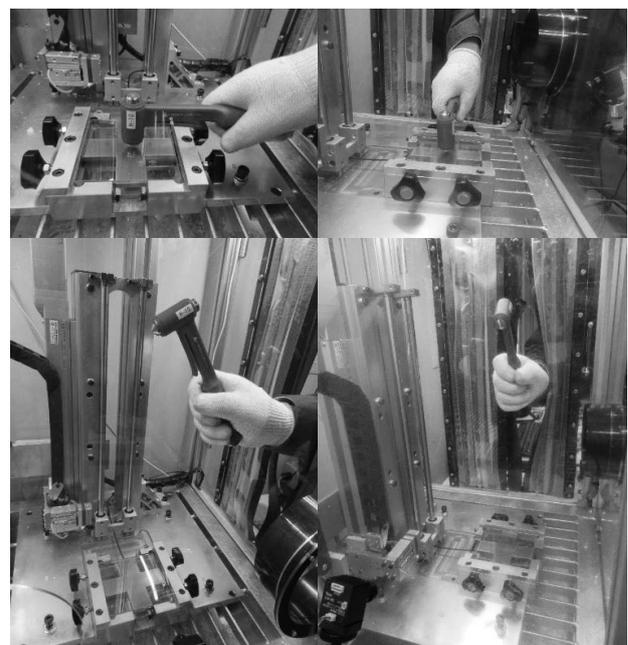


図6 ポンチ型のレーザーによる垂直方向の取り付けの確認

た。これにより、ポンチ型ハンマーを下降させ、ガラス試験片に接触後も下方に力を加え、ハンマーが作動し、突起物が出るまでモーターでアームを下降させた。ポンチ型ハンマーの作動は、作動時に作動音が発生するために、作動音をもとにモーターの下降を停止させた。アーム下降時の力は、事前にポンチ型ハンマーの作動時の力を計測し、その力の最大値が約200Nであったことから、この数値を参照してモーターとギアの選定を行った。

ポンチ型にて手動でハンマーを作動させるタイプのものは、同様のアームを用い、ハンマーの先端がガラス試験面に接触するまで下降させ、接触後に手動にてハンマーの作動トリガーを操作することで、突起物を先端から発射させた。

脱出用ハンマーの取り付けについては、金づち型・ピック型と同様、図6に示す通り、ガラス面に対して垂直に取り付けていることを、ハンマーの前側と右側に設置された墨出しレーザーを用いて確認した。また、3回の各試験について、試験前に墨出しレーザーにて垂直に取り付けられていること



This photo is not a photograph of the actual test. Therefore, it does not indicate that the performance of this hammer was evaluated.

図7 手動による性能評価の試験装置

を確認した。

2-4 性能評価2 (手動による破砕性能)

2-4-1. 性能評価2にて対象とした脱出用ハンマー

性能評価1の金づち型・ピック型ハンマーについて、3回すべての試験において破砕性能の確認ができなかったハンマーを性能評価2の対象とした。脱出用ハンマー25種類を対象とし、金づち型18種類、ピック型7種類について性能評価を実施した。

2-4-2. 性能評価2の手法

試験は、ガラス試験片を用いて、脱出用ハンマーにてガラス試験片が破砕されるのかその性能を調査した。破砕性能は、図7に示すように手動でハンマーをガラス試験片に衝突させた際の破砕の有無について調査を行った。この調査では、男性の研究員が手動にて脱出用ハンマーを操作した。なお、図7は実際の試験の様子を撮影したのではなく、試験装置説明のために撮影された写真である。よって、図7は撮影されているハンマーの性能評価を行ったことを示しているものではない。

試験装置は、破砕したガラスが飛散しないように全体がアクリルパネルで覆われ、装置の中央にガラス試験片をセットして試験を実施できるような構造になっている。また、図7に示すように、試験装置の右側はゴムバンド製のスリットを設けており、試験者はそのスリット部から腕を試験装置内部

表1 試験装置による破砕性能の結果

Types	Broke the glass three times	Broke the glass two times	Broke the glass one time	Couldn't break the glass
Hammer [31]	42%	16%	13%	29%
Pick [9]	22%	0%	22%	56%
Punch [11]	91%	0%	9%	0%

Numbers of the square brackets in the Types column show the number of hammers.

に入れ、手動にて脱出用ハンマーとガラス試験片を衝突できる仕組みになっている。ガラス試験片破砕の様子を撮影するため、試験装置の前面また左側面に計測用のビデオカメラを設置し、撮影されたビデオ映像および前述のフォースセンサの値はデータロガーを用いてパソコンによる録画が可能となっている。

3. 試験結果

3-1. 性能評価1(試験装置による破砕性能)の試験結果

表1は、金づち型、ピック型、ポンチ型の脱出用ハンマーの試験結果を示している。結果は、3回の試験において自動車用ガラス試験片を破砕できた回数別に、タイプ別種類総数に対して破砕できた脱出用ハンマーの種類数の割合をパーセンテージで示している。金づち型の31種類の試験結果をみると、42%(13種類)のハンマーが3回すべての施行において、ガラス試験片を破砕できていることがわかる。2回の試行にて破砕できたハンマーは16%(5種類)、1回の試行は13%(4種類)、1度もガラス試験片を破砕できなかったハンマーは29%(9種類)であった。ピック型の9種類の試験結果をみると、22%(2種類)のハンマーが3回すべての施行において、ガラス試験片を破砕できていることがわかる。2回の試行にて破砕できたハンマーは0%(0種類)、1回の試行は22%(2種類)、1度もガラス試験片を破砕できなかったハンマーは56%(5種類)であった。ポンチ型の11種類の試験結果をみると、91%(10種類)のハンマーが3回すべての施行において、ガラス試験片を破砕できていることがわかる。2回の試行にて破砕できたハンマーは0%(0種類)、1回の試行は9%(1種類)、1度もガラス試験片を破砕できなかったハンマーは0%(0種類)であった。

3-2. 性能評価2(手動による破砕性能)の試験結果

金づち型およびピック型の脱出用ハンマーを対象に、男性研究員が手動にて自動車用ガラスのガラス試験片の破砕試験を実施した。その結果、試験対象とした金づち型18種類、ピック型7種類の脱出用ハンマーについてガラス試験片が破砕することが可能であった。

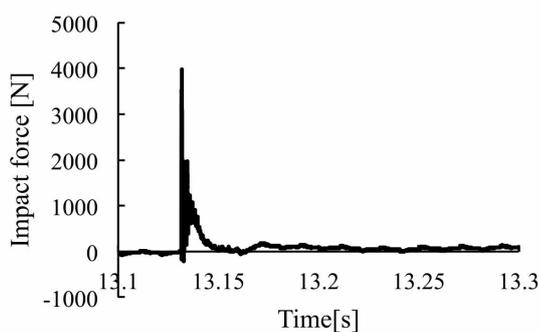
4. 考察

4-1. ポンチ型ハンマーの押し付け力

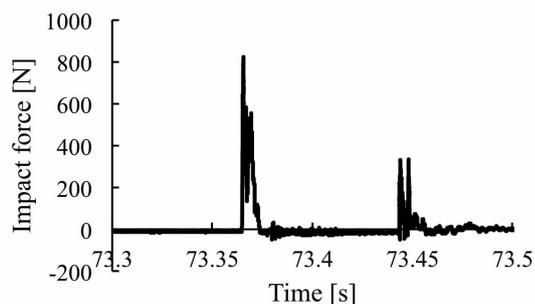
ポンチ型は、金づち型、ピック型と異なり、人間の手および腕などの力によりガラスを破砕するものではなく、ポンチ型脱出用ハンマーを作動させるために人間の力が用いられるものになっている。ポンチ型脱出用ハンマーの作動後は、ハンマー内部の突起部とバネの力によりガラスの破砕性能が決定される。本研究では、ポンチ型脱出用ハンマーの破砕性能を確認することを目的としたが、ハンマー作動時の押し付け力も同時に計測した。押し付け力は、前述のフォースセンサを用いて計測した。押し付け力をトリガーとして作動する10種類のポンチ型脱出用ハンマーを解析の対象としたところ、押し付け力の平均値は109.2 [N] であり、標準偏差は42.5 [N] であった。なお、対象としたポンチ型脱出用ハンマーにおいて、試験時に計測された押し付け力の最大値は227.3 [N] であり、最小値は38.5 [N] であった。この結果より、ポンチ型のハンマーは約100 [N] (約10kg)の押し付け力により、作動していることがわかる。また、すべてのハンマーの標準偏差は42.5 [N] であり、ハンマーごとに作動時の力の標準偏差を求めると、最も大きいもので68.8 [N] であった。ハンマーの構造・設計により、作動時の押し付け力に差異が生じているため、緊急時のツールとして人間の力により確実に作動させるためには、複数回の試験を実施し、作動時の押し付け力のばらつきの性能を確認する必要があると考えられる。また、押し付け力の平均値は約100 [N] であったが、女性ドライバーや高齢ドライバーが緊急時に使用するツールとして、この押し付け力が妥当か検討する必要がある。この押し付け力を著しく小さくすることは、緊急時以外の誤作動となる可能性もあることから、使用者が緊急時に発揮可能な押し付け力を確認し、妥当な押し付け力を作動トリガーとして設定する必要があると考えられる。

4-2. 金づち型およびピック型の試験方法

金づち型およびピック型の脱出用ハンマーを対象に男性研究員が手動にて自動車用窓ガラスの試験片の破砕試験を実施した結果、25種類すべての脱出用ハンマーにおいてガラス試験片の破砕が確認された。JIS(D5716:2016)試験では、規定されている位置エネルギー0.7 [J] となる高さから脱出用ハンマーを落下させ、自動車用ガラス試験片の破砕性能を確認した。この試験において、ハンマーは自由落下にてガラスに衝突するものとなっているが、ガラスに衝突時のハンマーの挙動を確認すると、ガラス面に衝突した後、跳ね返りの現象が確認されている。図8は、ピック型ハンマーを用いて手動の



(a) Test with the manual operation



(b) Test with the test device

図8 手動試験と試験装置におけるインパクト力の比較

試験と JIS (D5716:2016) の試験において、ハンマーが試験片に衝突した際の力を計測し、その結果を示している。図 8 (a) は、手動にて破砕試験を実施した結果であり、インパクト時には約 4,000 [N] の力が入力され、ガラス試験片は破砕する結果となった。図 8 (b) は、JIS (D5716:2016) にて破砕試験を実施した結果であり、この試験においてガラス試験片は破砕されなかった。これより、インパクト時には約 800 [N] の力が入力されており、手動の試験では確認されなかった跳ね返りの現象により、数秒後に 2 回目の力の入力が確認されている。手動での破砕試験においては、インパクト後も人間がハンマーに力を加えているので、跳ね返りの現象は確認されず、手動試験の方が JIS 試験よりも 5 倍ほど大きな力でガラス試験片を破砕できる結果となっている。手動試験は、ハンマーの使用者により与える力の大きさが変化することから、乗員が自動車に乗車時の姿勢にて窓ガラスをハンマーにて破砕する際、どのくらいの力を有するのか調査し、実際の使用環境を反映した破砕性能の評価試験を検討する必要があると考えられる。

5. 結論

本研究は、市場に流通している脱出用ハンマーを用いて自

動車用窓ガラスの破砕性能の評価を行い、その性能の実態を把握することを目的とした。緊急脱出用ハンマーの 51 種類 (金づち型 31 種類、ピック型 9 種類、ポンチ型 11 種類) を対象とし、金づち型・ピック型の試験は、JIS (D5716:2016) 「自動車用緊急脱出支援用具」に規定されているガラス破砕試験に従い、ポンチ型の試験はモーターとアームにより構成されている試験装置にて、自動車用窓ガラスの破砕性能を確認した。また、金づち型・ピック型ハンマーにおいては、試験にて破砕性能が確認できなかったハンマーを主に対象とし、手動による破砕性能の確認試験を実施した。

その結果、試験装置を用いて 3 回の破砕試験を行った結果、金づち型では 42% (13 種類)、ピック型では 22% (2 種類)、ポンチ型では 91% (10 種類) の脱出用ハンマーが 3 回すべての試験においてガラスを破砕できる性能を有していた。また、金づち型およびピック型の脱出用ハンマーを対象に、手動にて自動車用ガラス試験片の破砕試験を実施した。その結果、試験対象とした金づち型 18 種類、ピック型 7 種類の脱出用ハンマーでガラス試験片の破砕が可能であった。

謝辞

本研究は、国土交通省の受託研究の“脱出用ハンマーの破砕性能に関する市場調査”および“脱出用ハンマーの破砕性能に関する GS マークに準拠した試験による市場調査”の支援を受けて実施した成果の一部です。また、本研究を実施するにあたり、実験およびデータ整理をお手伝い頂きました芝浦工業大学 ヒューマンマシンシステム研究室に所属している畑澤佑介氏ならびに鷺巣壮真氏に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 独立行政法人 国民生活センター, 自動車用緊急脱出ハンマーのガラス破砕性能, 商品テスト報告書, 2013. http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20131107_1.pdf (アクセス: 2021年8月)
- (2) 独立行政法人 国民生活センター, 自動車用緊急脱出ハンマーによるガラスの破砕 - 万が一の水没事故に備えましょう -, 商品テスト報告書, 2020. http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20200820_1.pdf (アクセス: 2021年8月)
- (3) 日本工業規格 JIS D 5716 (2016).
- (4) 国土交通省, 自動車用緊急脱出ハンマーの性能確保と使用方法の周知について, プレスリリース, 2013. https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha08_hh_001468.html (アクセス: 2021年8月)