

可変速式3点曲げ衝撃試験装置の開発 (第1報: 試作および基本性能評価)

内田 武*・寺坂 知幸**・濱田 大樹***

Development of Speed-variable-type Three-point-bending Impact Testing Apparatus (Part I: Trial Manufacturing and Estimation of its Basic Performance)

Takeshi UCHIDA*, Tomoyuki TERASAKA** and Hiroki HAMADA***

Key Word: Three point bending, Impact testing apparatus, Trial manufacturing, Performance estimation, Fracture toughness, Fracture energy, Plastics, PMMA, PC, Sharpy impact tester

1. 緒 言

有機高分子材料には天然高分子と合成高分子があり、プラスチックは後者に含まれ、C, H, O および N の元素から成り立っているものが大半である。分子構造的には単純構造化合物(モノマー)が繰返し直線状に連なったものであるが、繰返しの鎖が長くなることで、金属材料に比べて環境温度や負荷速度などの外的な諸条件に対して非常に敏感になり、特有な性質が現れる。また、プラスチックは熱可塑性と熱硬化性に大別され、前者がプラスチック全生産量の80%を占めており、プラスチックといえは熱可塑性樹脂を示しているのが通例となっている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

プラスチック材料の本格使用は1950年代以降であり、産業の高度成長に伴う有機合成化学の発展、既存材料のアロイ化や複合化、エンジニアリングプラスチック(俗称: エンプラ)の開発などにより現在の地位を確立した。これらは、軽量化による燃費改善での環境負荷低減、高性能化、一体成形などによる加工工程削減、その他に高デザイン性・防錆性・無潤滑・低騒音、高い比強度を持つことから、構造材料や機械部品材料など過酷な環境下でも積極的に使用されるようになった。自動車業界においても、金属やゴムからプラスチックへの材料転換が進んでおり、その利用は拡大傾向にある。具体的には、コックピットモジュール・ワイパーアームなどの内外装部品、フェンダー・リアハッチバックドアなどの外板部品、エアインテークマニホールド・シリンダヘッドカバーなどのエンジンルーム内部部品、燃料タンク・フューエルフィルタなどの燃料系部品、ドアモジュールなどの機構部品、エアバックなどの安全対策部品などが挙げられる⁽⁴⁾。

近年では、自動車の衝突に対する安全基準⁽⁵⁾が強化されており、国土交通省の平成14年度自動車等安全性能評価実施要領によれば、フルラップ前面衝突では55km/h、オフセ

ット前面衝突では64km/h、側面衝突では55km/hを試験条件としており、衝突試験の際に人体ダミーの頭部・頸部・胸部・下肢部に作用する衝撃や室内の変形をもとに、乗員保護性能の度合いを5段階で評価している。独立行政法人の交通安全環境研究所においては、前面衝突試験・側面衝突試験ともに50km/hでの試験を実施している。欧米諸国の自動車衝突安全性能に対する評価においても、同等の条件での試験が実施されている。

上述のように、自動車部品に占めるプラスチック材料の重量比は増加の傾向にあり、プラスチック材料の衝撃吸収性を積極的に利用したプラスチック製部品ならびに軽量化を積極的に狙ったプラスチック製部品などがある。ところが、金属や合金などの代替材料としての工業用途あるいは構造用途に積極的に使用することを考えた際には、強度や耐久性について心配が残るため、プラスチック材料の強度的特性の評価に関しては、検討の必要が多分に残されている。衝突に対する安全基準が強化されていることを考慮すると、プラスチック材料の強度試験においても、車速にして50km/h(=13.8m/s)~64km/h(=17.8m/s)に対応した変位速度における、衝撃試験ならびに衝撃破壊挙動の明確化が必要である。

本研究室でのプラスチック材料の静的破壊強度試験においては、非晶性プラスチックであるポリメチルメタクリレート(Polymethylmethacrylate: 以下, PMMA)ならびにポリカーボネート(Polycarbonate: 以下, PC)の透明材料を対象とした、破壊じん性・破壊エネルギー・破断面形態・き裂進展挙動およびき裂開口変位の計測などに関した体系的な実験的研究を進めており、それらの結果は随時報告している⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾。これらの試験では、0.1mm/min (1.67×10^{-6} m/s) ~ 約1500mm/min (約0.03m/s) の変位速度領域、すなわち静的変位速度から準衝撃的な変位速度には対応可能であるが、衝撃荷重に相当する変位速度までの破壊特性を調査する必要があるにも関わらず、対応できないのが現状であった。また、対象となる変位速度毎に試験機を使い分けることは利便性に欠けることから、この点についても検討の必要性を感じていた。

以上の内容を勘案して、本研究では1台の試験装置で静的試験から高速衝撃試験までを簡単な設定で高精度の試験

* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

** 専攻科, 生産工学専攻1年

(Advanced Production Engineering Course, 1st grade)

*** 広島大学工学部第四類, 建築学課程3年

(Architectural Course 3rd grade, Cluster4,

Faculty of Engineering, HIROSHIMA University)

を実施するとともに、コンパクトな可変速式3点曲げ衝撃試験装置の開発を目的とし、平成17年度から継続的に取り組んでいるテーマである。なお、この開発には、試験片破壊過程の荷重挙動・変位挙動などの計測も可能とし、プラスチック材料を中心とした試験・評価を拡張し、その利用分野の拡大を図ることも含んでいる。

本報告では、これまで実施してきた破壊じん性試験結果の概略、試験装置の開発構想、試験装置の試作と基本性能評価ならびに、予備試験結果などについて示す。

2. 開発構想および試作

2.1 これまでの破壊じん性試験結果の概略

破壊じん性試験に使用する試験片は厚さ5mmの平板から切出したもので、図1に示すように、高さ20mm・長さ100mm・厚さ5mmの角材であり、試験片中央には高さ方向に幅0.5mm・長さ5mmのスリットが1本フライス加工されている。このスリット先端にカッターナイフの刃を打撃により押し込むことで約3mmの予き裂を導入し、全長約8mmのき裂とした。全ての試験片は、加工時の発熱による影響と残留応力の除去・クレイズの回復を目的に、所定の温度および時間を考慮した昇温・保持・徐冷による熱処理を施した。熱処理の最高温度は、PMMAで97.3℃(370.3K)、PCで124℃(397K)に設定した⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

破壊じん性試験は、室温(23℃)のもとで、卓上型精密

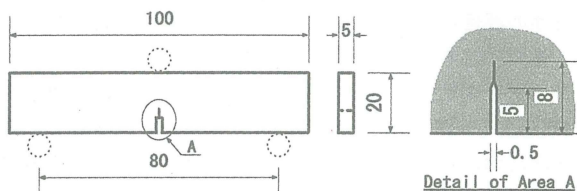


図1 破壊じん性試験片の形状・寸法

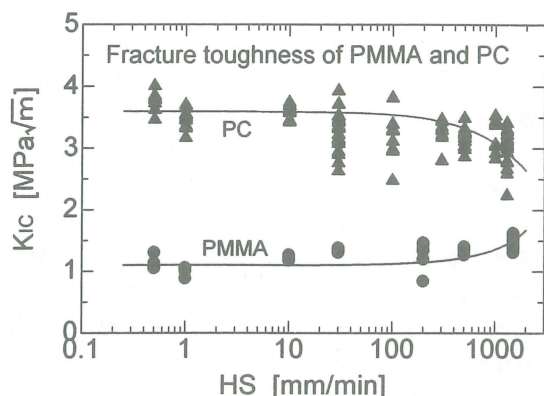


図2 PMMA・PCの破壊じん性値と変位速度の関係

万能試験機(株式会社島津製作所, AUTOGRAPH AGS-1000A, 容量10kN)ならびに、モーター駆動の自作材料試験機(容量1kN程度)を使用し、支点間距離80mmで、3点曲げ負荷により実施した。変位速度(以下、図中にはHSにより表記)は、試験機のクロスヘッド速度を採用している。

破壊エネルギー値の整理に当たっては、荷重-変位線図の面積を台形公式により算出しており、最高荷重に達するまでのエネルギー値(リガメント面積で除算)を γ_i 、最高荷重以降の破断するまでのエネルギー値を γ_p 、全エネルギー値を $\gamma_a (= \gamma_i + \gamma_p)$ とした。き裂進展の測定には、試験片側面の一方に真空中で金を直接スパッタリングして製作したクラックゲージ(以下、スパッタゲージ)、き裂開口変位(以下、COD)の計測には、ランドルト環型に加工した厚さ0.5mmのリン青銅板に、ひずみゲージを貼り付けたクリップゲージを利用した。

図2は、PMMAおよびPCの破壊じん性値と変位速度の関係であり、それぞれのデータの回帰曲線も描いている。これによると、いずれの試験片も変位速度が約100mm/min以下においては、破壊じん性値は変位速度の影響はほとんど受けず、PMMAが約1.1MPa√m、PCが約3.6MPa√mであり、PCの破壊じん性値はPMMAの値に比べて3倍程度大きいことが理解できる。約100mm/min以上の変位速度領域においても大きな変位速度の影響はないが、変位速度が高くなるにつれて、PMMAの破壊じん性値は緩やかに上昇するのに対し、PCのそれは逆に緩やかに下降する傾向にあることが伺える。

図3は、PMMAを用いた低速度領域の例として1mm/minの場合に計測された、荷重、CODおよびスパッタゲージ出力電圧と時間の関係を示している。この図から、COD挙動には最大荷重点に折れ曲がりがあること、低速度領域でのき裂進展挙動が正確に把握できることがわかる。き裂進展挙動においては、最高荷重点時点まではスパッタゲージ出力電圧変化が全くないことから、その時点まではき裂の成長がないこと、ならびにき裂はCOD挙動の最初の折れ曲がり点、すなわち最高荷重点付近から成長を開始していることなどがわかる。

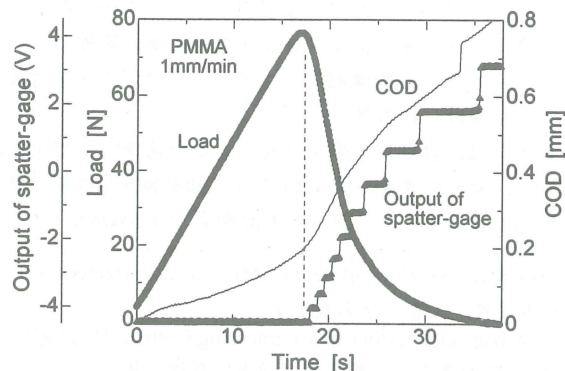


図3 荷重・COD・スパッタゲージ出力と時間の関係

図4および図5は、PMMA および PC のエネルギー値と変位速度の関係であり、PC の破壊エネルギーの方がかなり大きいことがよくわかる。図中には、荷重最高値までのき裂発生に要するエネルギー値 γ_i 、それ以降のき裂伝播に要するエネルギー値 γ_p ならびに全エネルギー値 γ_a をプロットするとともに、各データの回帰曲線を描いている。これによると、両材料におけるき裂発生に要するエネルギー値 γ_i は同程度であり、その挙動は破壊じん性値の挙動と類似しており、低速度領域ではほとんど変位速度の影響を受けず、中速度領域以上で PMMA が緩やかな増加、PC が緩やかな減少の傾向にある。き裂伝播に要するエネルギー値 γ_p についても、低速度領域ではほとんど変位速度の影響を受けないが、PC の方が PMMA の 10 倍以上大きいことから、PC がいかにエネルギー吸収が大きく、延性破壊を伴うかを理解できる。中速度領域以降では変位速度の影響の程度が異なり、PMMA が緩やかな低下、PC がほぼ 0 へ向かう急激な低下を示しており、特に PC の場合で高速な破壊を生じていることが伺える。また、全エネルギー値 γ_a は、PMMA では実施した全速度領域であまり変化がなく、変位速度の影響がないが、PC では高速度領域における値は γ_i とほとんど一致していることから、蓄えられた全エネルギーはき裂発生のために一気に費やされたことが理解できる。

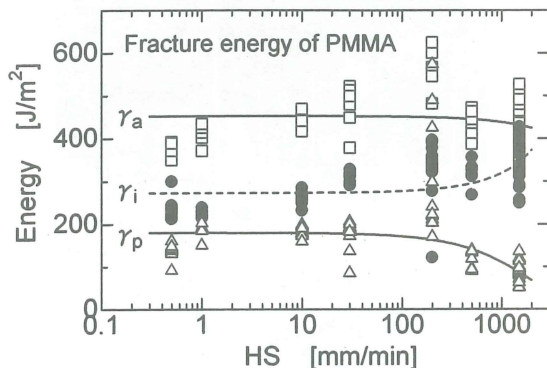


図4 PMMA のエネルギー値と変位速度の関係

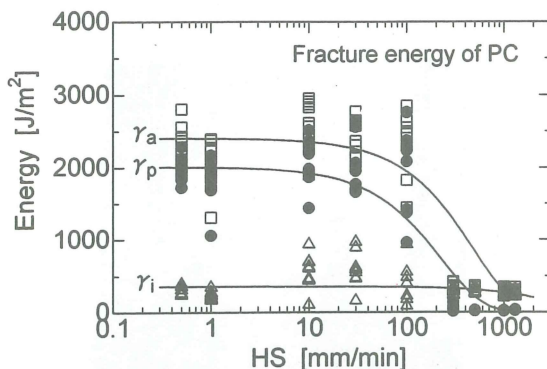


図5 PC のエネルギー値と変位速度の関係

2.2 試験装置の開発構想

図6に各種材料試験機の稼動速度ならびに開発構想の試験装置の稼動速度などを描いている。材料の機械的性質を評価する際に利用される試験機の駆動には、電気モータ・油圧・空気圧ならびに重力を利用したものなど様々なものがあり、それらの特徴を挙げると以下ようになる。

- ①電気モータを利用した標準のねじ式万能試験機は 500mm/min ($=8.3 \times 10^{-3}$ m/s) 以内の変位速度、サーボ機構を備えた標準的油圧式試験機は 1m/s 程度以内の変位速度で稼動する。いずれも高精度の変位制御および荷重制御による試験実施は可能であるが、衝撃試験に見合う変位速度が出ない。
- ②重力を利用した標準的な衝撃試験機に上げられるシャルピー衝撃試験機ならびにアイゾット衝撃試験機においては、一般に 3~5m/s 程度の変位速度での衝撃試験を行うようにハンマー（打撃刃）の持ち上げ角度が規格化されている。ハンマーの自重による自由落下（正確には、ハンマーの回転軸周りでの自由回転）による慣性力を利用した機構である。ハンマーの重量あるいは持ち上げ角度の変更により変位速度の変更は可能ではあるが、それらを実施するための操作性には難がある。そのため、低速度域での試験には向かない上、高速衝撃試験に見合う変位速度が出せない。また、標準仕様の場合、試料破壊後のハンマーの振り上げ角度を目盛り板から読み取ることによって試料破壊に要するエネルギーを算出するが、読み取り精度の難点に加え、破壊過程の荷重変動ならびに試料変形挙動を捕らえることができない。
- ③ホプキンソン棒式衝撃試験機においては、圧縮空気などを利用してパイプ内で飛翔体を高速発射し、スライドさせることで 10m/s 程度の高速変位速度での衝撃試験ができるが、試験装置全体が大きくなり占有面積の面で難点がある上、低速試験ができない。
- ④油圧衝撃試験機の中には、高速衝撃試験用に特別仕様し 15m/s 程度までの変位速度を可能にした油圧サーボ式試験機もあるが、非常に高価であること、高速用のために低速試験には不向きであるという問題点がある。

一方、今回開発中の可変速式3点曲げ衝撃試験装置の基本構想を列挙すると、以下の通りである。

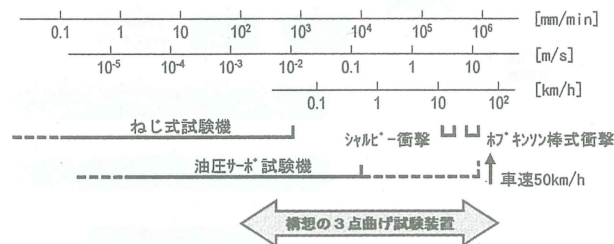


図6 各種材料試験機の稼動速度

- ①これまで実施してきた3点曲げ破壊じん性試験は比較的低変位速度領域に留まっており、もっと高速での試験を実施して破壊挙動を評価したい。
- ②プラスチック材料の自動車部品に占める重量比は増加傾向にあるが、自動車の衝突に対する安全基準が強化されているため、車速 50km/h (14m/s) 程度での破壊挙動を評価したい。
- ③各種試験機の動作能力を考慮して、変位速度に応じて試験機を使い分けることは煩雑になるばかりであるから、可能な限り1台の試験装置で静的試験から高速衝撃試験までをシームレスに試験したい。
- ④試験片破壊過程の荷重挙動・変位挙動などの計測も可能とし、コンパクトで操作が簡単な3点曲げ試験装置を開発したい。

これらの基本構想の実現を目指し、平成17年度試作品づくり助成事業（（財）北九州産業学術推進機構）および平成18年度教育・研究プロジェクト経費（北九州高専校長裁量）による助成金を利用して、可変速式3点曲げ衝撃試験装置の試験機本体の試作を行うとともに、計測装置・記録機器類の充実に取組んだ。

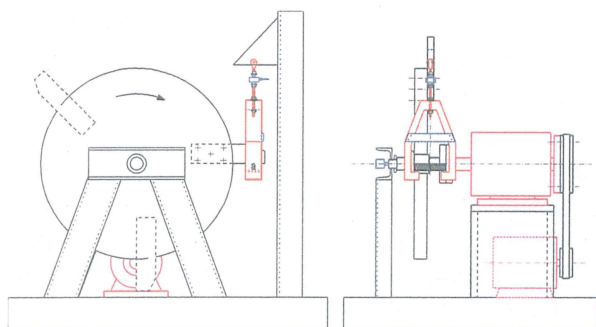


図7 可変速式3点曲げ衝撃試験装置の構想図

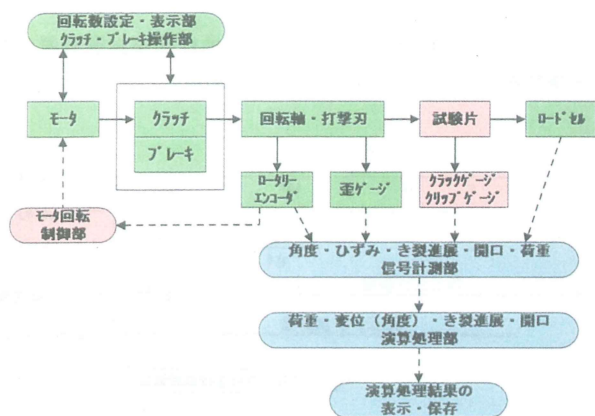


図8 構想の試験装置の試験ブロック図

2.3 可変速式3点曲げ衝撃試験装置の試作

前節に示した基本構想を踏まえ、プラスチック材料試験片の破壊に要するモータ出力、減速比、動力伝達機構などを見積り、コンパクト化を図るために試験装置本体は1m×1mの床面積に収まるように設計した。図7は試験装置の構想図で、図8は試験装置を利用した試験ブロック図の構想を示している。この可変速式3点曲げ衝撃試験装置は、モータと打撃刃を装備した回転体との中間機構として、電磁クラッチと電磁ブレーキを装備した連結ユニットを取付け、連結ユニットへの励磁の瞬間にモータ回転を回転体へ伝達させる。静的試験から20m/s程度までの高速衝撃試験に相当するモータ回転速度は容易にかつ精度よく設定が可能で、回転体が1回転する間に所定の回転速度を保持するとともに破壊試験を行う。回転体の位置と速度は回転角度検出器であるロータリーエンコーダにより、試験片の破壊過程に対応する荷重とき裂開口変位はロードセルおよびクリップゲージにより把握することで、破壊強度ならびに破壊挙

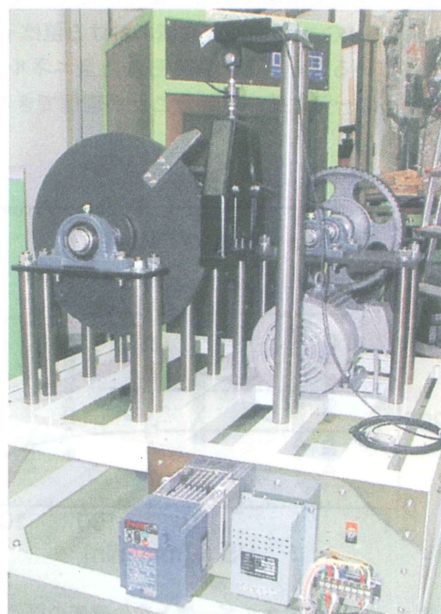


図9 試作した試験装置本体の全景

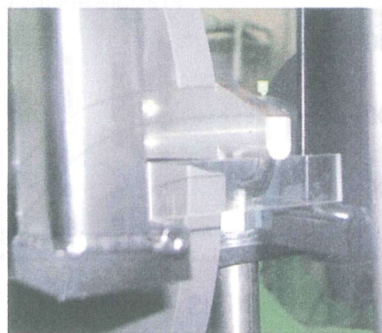


図10 試作した試験装置の打撃部（破壊試験部）

動の評価を高精度化するものである。

図9は構想をもとに試作した試験装置本体の全景で、図10は試験装置の打撃部(破壊試験部)である。この試作機は、破壊試験の変位速度(打撃点での周速度)をプラスチック材料のシャルピー衝撃試験の標準条件である3m/sを実現し、その1/10の速度範囲で任意設定できるように製作したものである。今回試作した破壊試験部は3点曲げによる破壊試験を想定しているが、治具を工夫すれば低速から高速までの引張試験にも対応できる。

駆動部はインバータ駆動専用ACモータ(富士電機製MVA8107A, 2.2kW)とインバータ(富士電機製FRN2.2E1S-2J)で構成し、インバータの設定周波数を増減させることで回転速度を任意に変化させることができる。モータと打撃刃を有する円板の主軸間は、プーリで1/16(1/4の2段)に減速させることで、モータ動力を主軸に伝達する。円板がモータ始動に合わせて回転しないように、主軸には電磁クラッチ(小倉クラッチ製MSC-20T, 静摩擦トルク: 200Nm, トルク立上り時間: 0.18s)を配置し、スイッチによる円板の回転開始を実現した。打撃刃(円板)の角度変化の計測ならびに打撃位置の変位換算をするために、円板主軸の端部にロータリーエンコーダ(オムロン製E6C3-CWZ3EH, 分解能: 3600P/R, 応答周波数: 125kHz, 電圧出力)を取付けた。負荷荷重は、破壊試験部の吊り下げ部にボールジョイントを介して取付けた、比較的応答性が高い引張圧縮両用の小型ロードセル(共和電業製LUR-A-2KNSA1, 定格容量: ± 2 kN, 固有振動数: 約20kHz)により計測する。荷重と角度信号は、記録計(コンディショニングキャッチャー, 九州共販製MDL-10A-64, 最高サンプリング: 2チャンネル計測で20 μ s)に一旦保存し、パソコンによりデータ処理を行うことで、計測系を含めて試験装置全体を製作した。

3. 基本性能評価および予備試験結果

3.1 試作機の基本性能評価

試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置の基本性能評価

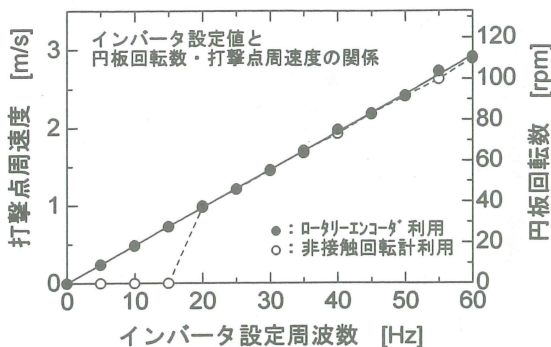


図11 インバータ設定周波数に対する
打撃点周速度・円板回転数の関係

として、ロータリーエンコーダによる角度検出を利用して、使用したインバータの標準利用範囲である、モータへの入力周波数が6~60Hzについての動特性として、打撃点周速度を算出しグラフ化を行い、その関係を調べた。さらに、電磁クラッチを連結した直後、即ち打撃刃(円板)の回転開始直後から試料の打撃位置まで到達する間に、所定の周速度に達するかを評価した。今回は、円板に取付けた打撃刃のスタート位置(原点)は全て真下(六時方向)に統一しているので、試料の打撃位置までの角度は270°ということになる。

図11の●印は、ロータリーエンコーダによる角度検出を利用した、インバータ設定周波数と打撃点周速度(円板回転数)の関係を描いている。これによると、設定周波数が6~60Hzの間で明確な比例関係が成立していることから、打撃点周速度は約0.3~3m/s(円板回転数では約11~110rpm)の間において一意的に設定できることがわかる。シャルピー衝撃試験において、プラスチック材料を対象とした標準条件は3m/sであるから、試作機の設定範囲内でシャルピー衝撃試験結果との同等性評価が実施できることになる。

図12は電磁クラッチを繋いだ時点からの時間に対する打撃点周速度の関係、図13は電磁クラッチを繋いだ時点から

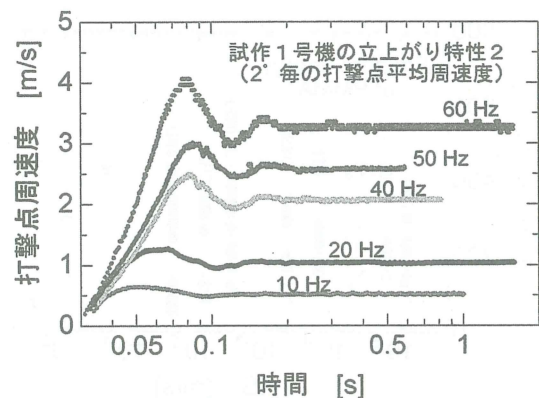


図12 打撃点周速度と時間の関係

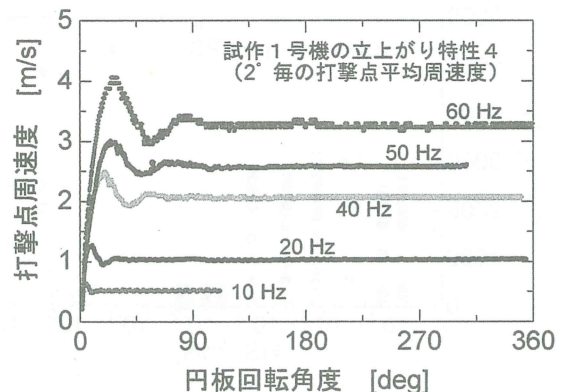


図13 打撃点周速度と円板回転角度の関係

の円板回転角度に対する打撃点周速度の関係であり、インバータ設定周波数を変化させた際の結果を描いている。これにより、所定周速度に収束するまでに必要な時間および円板回転角度を理解することができる。ここで描いた立上り特性は、円板回転角度で 2° 毎に変化する平均周速度である。これらの図より、今回のインバータ設定の最高周波数である60Hzにおいても、約 120° の円板回転（時間にする約0.2秒）で打撃点周速度が収束していることがわかる。試料の打撃位置までは 270° の角度があるので、今回の動特性評価から判断すると、性能としては十分満足できる結果が得られたことになる。

現在、打撃点周速度をもっと高めるために、インバータ設定周波数を120Hzまで変化させた動特性評価を実施しており、打撃点周速度の直線性ならびに立上り特性についても問題ないことを確認している。

3. 2 試作機による予備試験結果および考察

図14および図15は、PMMAとPCを対象材料として、卓上型精密万能試験機（株式会社島津製作所、AUTOGRAPH AGS-1000A、容量10kN）ならびに、モーター駆動の自作材料試験機（容量1kN程度）を使用した3点曲げ破壊じん性

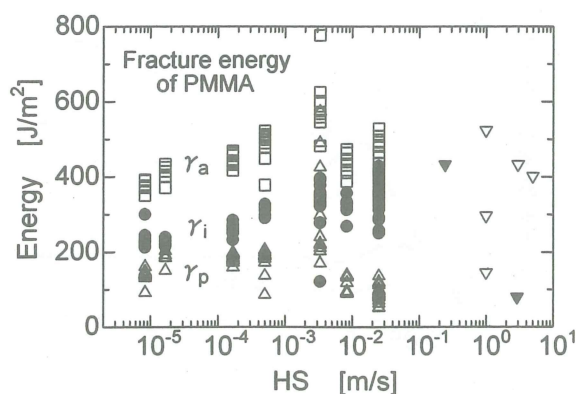


図14 PMMAの破壊エネルギー（予備試験）

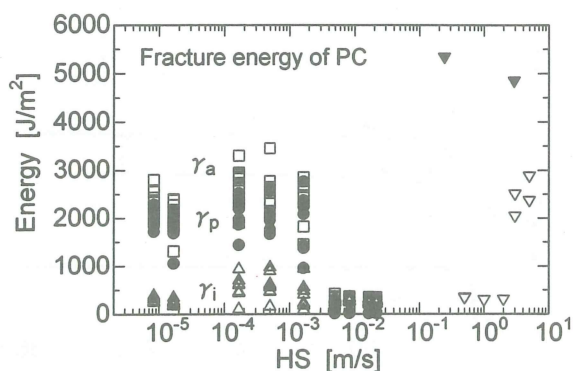


図15 PCの破壊エネルギー（予備試験）

試験で得られた3種の破壊エネルギー（図4および図5を参照）に、シャルピー衝撃試験機および試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置より得られた破壊に要した全エネルギーを追加して描いたものである。試験片は図1と同じ形状・寸法を使用し、低変位速度領域での結果と衝撃速度領域での結果について、予備試験を通して比較の可能性を探るためのもので、▽印がシャルピー衝撃試験機による結果、▼印が試作機による結果を示している。

衝撃速度域におけるシャルピー衝撃試験と試作機による結果については、特にPCの場合で大きな差異が認められ、低変位速度領域を含めた破壊エネルギーの変位速度依存性に関しては、十分な個数の試験と詳細な評価した上で、議論しなければ結論を導くことはできない。ただ、これらの結果は、試験実施の可能性を探るために実施した一つの予備試験であるから、数値的結果の検証は後に譲るが、今回試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置を用いた破壊じん性試験実施の可能性を確認できたことは事実である。

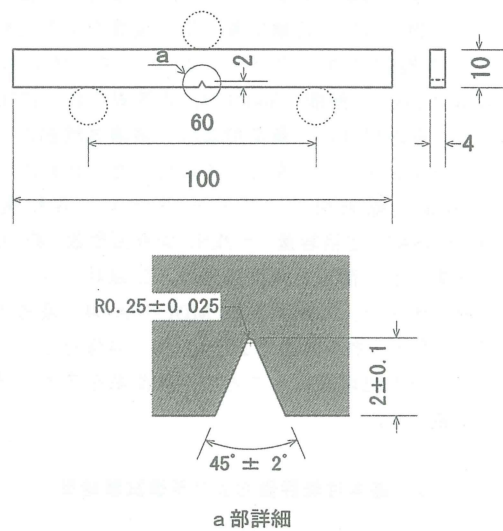


図16 シャルピー衝撃試験片の形状・寸法

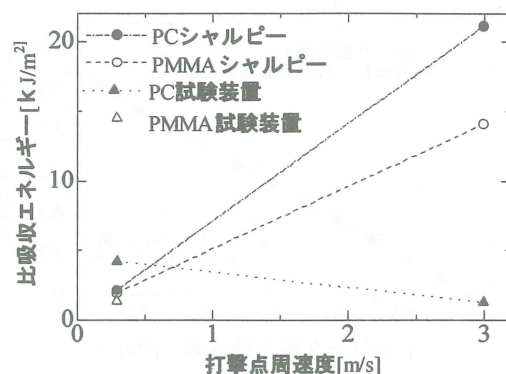


図17 破壊試験結果の比較（予備試験）

図16は、プラスチック材料のシャルピー衝撃試験を実施する際の標準的な形状・寸法であり、今回はエッジワイズ衝撃試験片の1号試験片・Aノッチとした。試験片は厚さ4mmの平板から切出したもので、高さ10mm・長さ100mm・厚さ4mmの角材であり、試験片中央には高さ方向に先端角度45°・長さ2mmの切欠きがフライス加工されている。使用するプラスチック材料は、破壊じん性試験で対象にしているものと同じPMMAとPCである。全ての試験片は、先述と同様に、所定の温度および時間を考慮した昇温・保持・徐冷による熱処理を施した。

図17は、PMMAとPCを対象材料として、シャルピー衝撃試験機により得られた衝撃値および試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置より得られた比吸収エネルギー（破壊に要した全エネルギーをリガメント面積で除した値で、シャルピー衝撃値と同等のもの）を比較したものである。これによると、打撃点周速度が約0.3m/sの低速度側での比吸収エネルギーは両者ほとんど同じであるのに対し、約3.0m/sの高速度側では大きく異なっており、試験結果の違いが明確に現れた。また、シャルピー衝撃値は、打撃点周速度の増加に伴い、両材料とも増加する傾向にあり、PCの方がその程度が大きいことがわかる。

これらの結果から判断すると、シャルピー衝撃試験機による結果との明確な同等性（等価性）が得られず、試作機による結果の妥当性を保証できる可能性が薄いように思われる。但し、今回の約3m/sによる試験において、試作装置に使用したロードセル・動ひずみ計ならびに記録計などの計測機器類の応答性能に疑問が残っている。そのため、現在ロードセルとして半導体ひずみゲージを使用した荷重セ

ンサーを自作しており、応答性能の良い動ひずみ計（シグナルコンディショナー）ならびにデジタルストレージオシロスコープを使用した荷重信号計測を準備中で、上述の結果の不一致を検討段階にある。

3.3 試作機のPR活動

今回試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置の外部公表として、平成18年8月に開催された(財)北九州産業学術推進機構産学連携センター主催の第47回産学交流サロン：次世代環境産業創出セミナー「こんな技術使いませんか～大学発技術で自動車関連商品の創出を～」において講演発表し、高い興味を頂いた。また、平成18年10月には北九州学術研究都市産学連携フェア実行委員会・(財)北九州産業学術推進機構主催の第6回産学連携フェア「知と技術の融合～高度なもののづくり・人づくりを目指して～」の北九州高専展示ブースにて試験装置を出展し、デモンストレーションとプレゼンテーションを実施した。図18はその時の一コマであるが、試験機・化学製品・計測機器などに関連する会社からの関心が寄せられた。

これ以外にも、(財)北九州産業学術推進機構ならびに北九州TLOの協力により、北九州TLO保有技術集（平成18年5月）への掲載、紹介リーフレットの作成（平成18年10月）、九州地域TLO技術シーズ集⁽¹⁾（九州経済産業局編集、平成18年10月）への掲載、九州地域技術シーズ集2007⁽²⁾（九州経済産業局編集、平成19年9月）への掲載がある。また、イノベーション・ジャパン2006—大学見本市（科学技術振興機構・NEDO技術開発機構主催、平成18年9月）、パテントソリューションフェア2006（特許庁／関東建材産業局主催、平成18年10月）、全日本科学機器展in東京2006（日本科学機器団体連合会・フジサンケイビジネスアイ主催、平成18年11月）、ものづくりフェア2007の九州知的財産活用フォーラム2007（日刊工業新聞社主催、平成19年10月）ならびに、パテントソリューションフェア2007（特許庁／関東経済産業局主催、平成19年11月）の展示会においては、パネル展示・リーフレット配付・ビデオ放映などによるPR活動が実施された。

今回試作した可変速式3点曲げ衝撃試験装置の稼動速度ならびに荷重信号計測系には充実を図る必要があるものの、講演会・展示会を通じて試験機メーカー・自動車関連メーカーなどからの関心も高く、実用化に向けた開発は産業界から見ても非常に意義深いものであると感じている。

4. 結 言

1台で静的試験から高速衝撃試験までの超広域の変位速度での試験を実現するコンパクトな試験装置の開発を目的として、構想の可変速式3点曲げ衝撃試験装置を試作し、その基本性能を評価した。試作機の基本構造は、駆動部にインバータ駆動専用ACモータを利用することで可変速に対応させ、モータと主軸間に電磁クラッチを

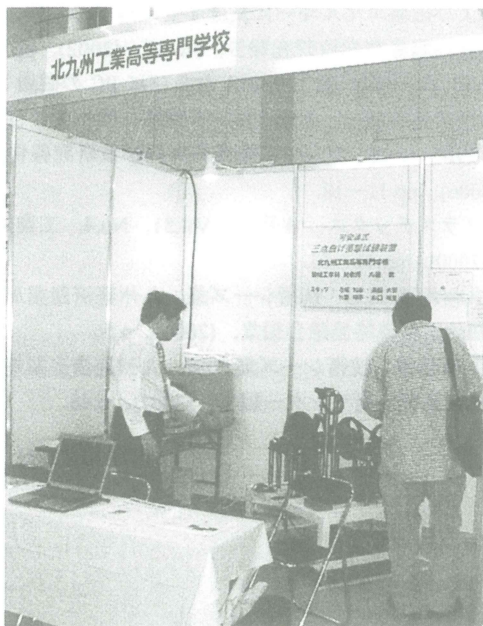


図18 平成18年度第6回産学連携フェア展示会の一コマ

装備したユニーク構造とした。荷重検出には高応答ロードセル、角度検出には高分解能ロータリーエンコーダを使用することで、試験過程中的挙動を捕らえられるように工夫した。

さらに、試作した試験装置の実用性評価を目的として、高速度域での破壊じん性試験ならびにシャルピー衝撃試験結果との比較のための予備試験を実施した。対象の試験片は、これまでも使用しているぜい性的性質を示す PMMA および延性的性質を示す PC の 2 種類である。以下に、得られた結果ならびに今後の検討事項を示す。

1. 周波数 6~60Hz のインバータ設定に対し、打撃点周速度が約 0.3~3m/s となり、その間には明確な比例関係があることから、所定周速度を一意的に設定することができることがわかった。これにより、プラスチック材料を対象としたシャルピー衝撃試験の標準条件である 3m/s での試験を実施できる。
2. インバータ設定の最高周波数とした 60Hz においても、約 120° の円板回転（時間にすると約 0.2 秒）で打撃点周速度が収束することがわかった。これにより、試作機の基本性能としては、打撃点周速度が約 3m/s までは十分満足できる結果が得られた。
3. 破壊じん性試験片を用いた予備試験結果とこれまでの結果との比較を行ったところ、試作機とシャルピー衝撃試験機の結果には差異も認められたが、試作機による破壊じん性試験実施の可能性を確認できた。
4. 衝撃試験片を用いた予備試験の結果、シャルピー衝撃値は、打撃点周速度の増加に伴い、増加する傾向にあり、PC の方がその程度が大きいことがわかった。また、試作機とシャルピー衝撃試験機の結果を比較したところ、約 0.3m/s ではほとんど同じであるのに対し、約 3.0m/s では大きな差異が認められた。
5. 各種の講演会や展示会を通じて試作機の PR 活動を実施したところ、試験機メーカー・自動車関連メーカーなどからの関心も高く、実用化に向けた開発は産業界から見ても非常に意義深いものであることを確認できた。

現在、稼動速度域におけるシャルピー衝撃試験結果との同等性を確保するために、応答性を考慮した計測機器類の充実と結果の評価を実施中である。

今後は、試験装置の減速比変更の検討、クローズドループ型でのインバータ利用、当初の目的である静的試験速度域から高衝撃速度域までの超広範囲（約 0.001~20m/s）での試験実現、破壊挙動評価のためのクリップゲージおよびスパッタゲージの開発に着手することで、できるだけ早い時期に可変速式 3 点曲げ衝撃試験装置の実用化に向けた開発を行う予定である。

最後に、今回試作した可変速式 3 点曲げ衝撃試験装置の本体製作・計測系整備には、(財)北九州産業学術推進機構

の平成 17 年度試作品づくり助成事業（試行）ならびに北九州高専校長裁量の平成 18 年度教育・研究プロジェクト経費による助成金を利用させて頂いた。本体の詳細設計ならびに製作には、ヒートシステム株式会社（北九州市）の協力を頂いた。また、本試験装置の PR 活動には、(財)北九州産業学術推進機構ならびに北九州 TLO による暖かいご支援を頂いた。ここに、関係諸氏のご指導・ご鞭撻へ感謝するとともに、心より厚くお礼申し上げる。

参考文献

- (1) 小川 俊夫；工業技術者の高分子材料入門，(1993)，共立出版。
- (2) 成澤 郁夫；プラスチックの機械的性質，(1994)，シグマ出版。
- (3) 佐藤 功；はじめてのプラスチック，(1999)，工業調査会。
- (4) 例えば 岩野 昌夫；写真で分かるプラスチックのすべて「自動車編」，プラスチックス，Vol.57，No.4，pp.19-24，(2006)，工業調査会。
- (5) 例えば，
<http://www.nasva.go.jp/mamoru/car/clash/method.html>
<http://www.ntscl.go.jp/intro/sinsa.html>
<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/200611/01.html>
<http://www1.harenet.ne.jp/~noriaki/link65-2.html>
- (6) 内田 武・江藤 友昭；ポリメチルメタクリレート（PMMA）の破壊強度に及ぼす負荷速度の影響，北九州工業高等専門学校研究報告，No.31，(1998)，pp.15-22。
- (7) 内田 武・池田 哲朗；PMMA の破壊じん性値およびき裂進展挙動に及ぼす変位速度の影響，北九州工業高等専門学校研究報告，No.33，(2000)，pp.17-27。
- (8) 内田 武・呉 奉春；PMMA ならびに PC の破壊じん性値および破壊エネルギーに及ぼす変位速度の影響，北九州工業高等専門学校研究報告，No.35，(2002)，pp.9-18。
- (9) 内田 武・清水 敬；PMMA ならびに PC の破壊じん性、破壊エネルギー、き裂進展、き裂開口変位および破断面形態について，北九州工業高等専門学校研究報告，No.39，(2006)，pp.11-18。
- (10) プラスチックス 4 月号，Vol.51，No.4，工業調査会，(2000)，pp.41-43。
- (11) 九州地域 TLO 技術シーズ集，九州経済産業局・九州知的財産戦略協議会編集，(2006)，p.56。
- (12) 九州地域 技術シーズ集 2007，九州経済産業局・(財)九州産業技術センター編集，(2007)，p.46。

(2007年10月12日 受理)