

衝撃曲げ試験に関する基礎研究

松 尾 征 夫*・野 口 勉**

A Basic Study on the Impact Bending Tests

Yukio MATSUO and Tsutomu NOGUCHI

要 旨

曲げ試験の負荷速度依存性を調べる為に、回転円板式衝撃曲げ試験機を試作し、衝撃速度の影響について考察した。

1. ま え が き

工業技術の進歩に伴い、機械構造部分に高速度で作用する負荷に対する設計資料を得る為、あるいは高速負荷時の材料の挙動と特性を知る為に衝撃試験がおこなわれている。衝撃引張り、衝撃圧縮、衝撃振りについては衝撃速度を色々と変化させて実験がおこなわれている。

衝撃曲げ試験についてはシャルピー式とアイゾット式の衝撃試験機によりなされているが前者の衝撃速度は 6 m/sec～10 m/sec、後者が 4 m/sec 程度と比較的低速度で、一般に速度一定の条件の下で材料の靱性を判定するために使用されている。

衝撃曲げに及ぼす速度の影響を研究するために衝撃速度が最大で 51.12 m/sec に達する可変速の衝撃試験機を製作し、2, 3 の知見を得たのでここに報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 衝撃曲げ試験機

製作した試験装置は〔Fig. 1〕及び〔Fig. 2〕に示す如くの直径 750 mm の回転円板式衝撃曲げ試験機である。

この試験機の衝撃荷負荷機構は目標回転数に達

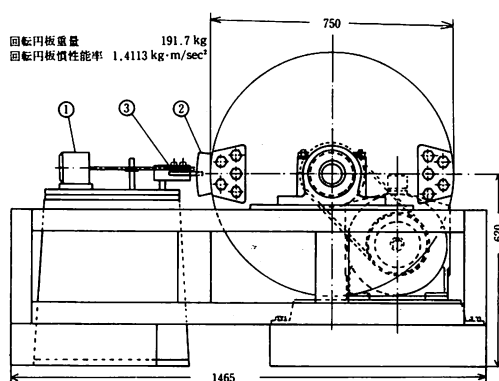


Fig. 1 衝撃試験機

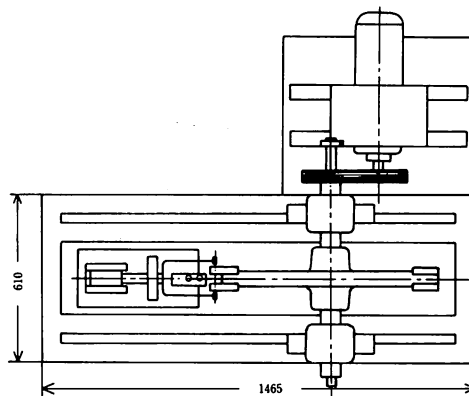


Fig. 2 衝撃試験機

した時、ソレノイド①を作動させ、ソレノイドに連結した打撃刃〔Fig. 3〕を押し出し、円板に取り付けてある2股の爪②で試験片を打撃刃を介して

*助教授 機械工学科

**助 手 〃

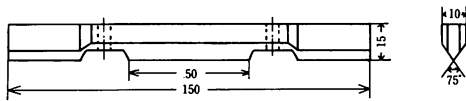


Fig. 3 打撃刃

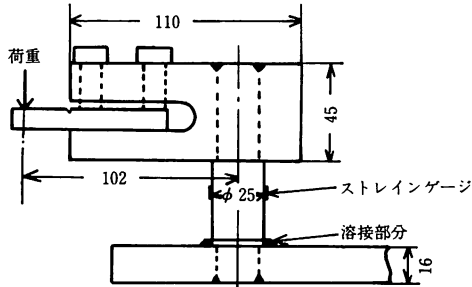


Fig. 4 試験片つかみ装置及び荷重検出部

破断させるものである。

試験片は③に示すように片持梁の状態試験片つかみ装置に保持されている。この装置の足に歪ゲージ〔共和 KFC-5-C1-11〕が貼付されて荷重検出を行う (Fig. 4)。

歪ゲージにより検出された歪は Wheatstone Bridgeにより電圧に変換され、動歪み計〔共和 DM-3N〕を経てシンクロスコープ〔岩通 DS-5016〕に入力される。

円板の回転数は 100 r. p. m〔衝撃速度 4.26 m/sec〕より 1200 r. p. m〔衝撃速度 51.2 m/sec〕まで無段階に変えることができる。ソレノイド〔AS-80-N301〕の打撃刃押し出し速度は 11.6 m/sec であった。ソレノイドの必要ストロークは 17 mm で、それに要する時間は 1.47×10^{-3} sec であるから、円板の最大回転数まで充分安全に使うことができる。尚、実験後の試験片の打撃刃圧痕の位置は予定負荷位置と一致していた。

回転数の測定は円板の側面に貼付された 60 枚のマークを光学的に読み取る光電子検出器〔小野 pp-11〕、及び回転円板軸の軸端に取り付けた電磁式回転検出器〔MP-650〕の両方を使い、デジタルタコメータ〔HT330〕で確認して行った。

2.2 試験片

試験片は市販の S35C 丸棒 ($\phi 19$) を $850^\circ \times 1$ 時間の焼鈍を行った後、機械加工して所定の寸法に仕上げた。

試験片の形状は〔Fig. 5〕に示す如くで、これはアイゾット型試験片と同じである。

試験片の引張り強さ、降伏点は各々 52.6 kg/mm², 32.3 kg/mm² であり、硬度はロックウエル (B スケール) で 75.5 であった。

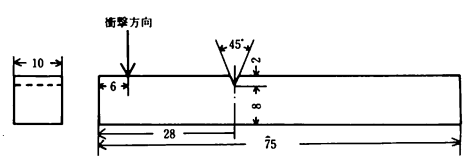


Fig. 5 試験片形状

2.3 実験方法

最初に衝撃試験荷重検出部分の検定を兼ねて静的曲げ試験を行った。

試験片、試験片つかみ装置、打撃刃は両方の試験ができるように工夫してあって、引張り試験機により圧縮荷重を打撃刃に加えて行った。測定装置も衝撃試験と全く同じで、歪の測定には静歪み計〔共和 SR-60AT〕を並用した。

衝撃試験は今回の実験では 100 r. p. m〔4.26 m/sec〕より 600 r. p. m〔25.56 m/sec〕まで行った。

尚、試験片をつかみ装置に固定する 2 本のボルトはトルクレンチで 40 kg-cm の一定のトルクで締め付けて実験を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 静的曲げ試験

静的曲げ試験で得られた荷重-変位曲線の一例を Fig. 6 に示す。

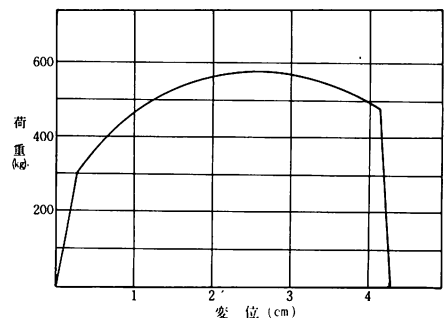


Fig. 6 静的曲げ試験の荷重-変位曲線

実験の結果下記の通りであった。

最大荷重	523 kg
降伏荷重	280 kg
破断エネルギー	7.19 kg-m

公称最大縁応力 σ_{nb} は

$$\sigma_{nb} = \frac{6PL}{bh^2}$$

で与えられる。

ここに、b は試験片の巾〔Fig. 7 参照〕

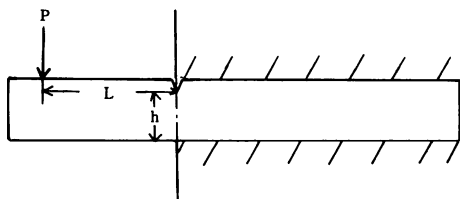


Fig. 7 負荷状態図

$b=10\text{ mm}$, $h=8\text{ mm}$, $L=22\text{ m}$, $P=523\text{ kg}$

とすると σ_{nb} は

$$\sigma_{nb}=107.9\text{ kg/mm}^2$$

となる。又、曲げ降伏応力 σ_{yb} は同様に

$$\sigma_{yb}=57.7\text{ kg/mm}^2$$

これらと試験片の引張り強さ σ_b 及び降伏点 σ_y との比を求めると、それぞれ 2.05, 1.79 となり、

$$\sigma_{nb}=2.05\sigma_b$$

$$\sigma_{yb}=1.79\sigma_y$$

の関係を得た。曲げ降伏応力、最大縁応力が各々一軸引張りの降伏点、引張り強さに較べて 1.8 倍、2 倍となるのは、切欠による応力集中効果と切欠底部における歪速度が大きいからであろう。

又、荷重速度 ($d\sigma/dt$) と変形速度 ($d\delta/dt$) の関係は

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{3}{2} \times \frac{\alpha E h d\delta}{L^2 dt}$$

のように表わされる。ここに α はノッチ底の切欠形状係数である。

$E=2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$, $\alpha=4.06$ とすると

$$\frac{d\sigma}{dt} = 2114 \frac{d\delta}{dt}$$

$\frac{d\delta}{dt}$ を衝撃速度に等しいと考えると、荷重速度

$\frac{d\sigma}{dt}$ は r. p. m=100, 200...600 で各々 9×10^6 ,

18×10^6 , ..., $54 \times 10^6 \text{ mm/sec}$ となる。

3.2 破断エネルギー及び最大荷重

試験片の破断に要したエネルギーを求める為に 2 通りの測定を行った。第一の方法は破断エネルギーを回転円板の衝撃によるエネルギー差で求めるものである。

$$E = \frac{1}{2} I (\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad \text{——— ①}$$

I : 回転円板の慣性能率 $1.4113\text{ kg}\cdot\text{m/sec}^2$

ω_1 : 破断直前の回転円板の角速度 rad/sec

ω_2 : 破断直後の回転円板の角速度 rad/sec

今回使った試験機は目標回転数に達した時モー

ターのスイッチを切ってから試験片を破断させるものであるが、回転円板はモーターの慣性能率、プーリーとゴムベルト間の摩擦等の抵抗で時間と共に回転速度が低下している。

この為 1 回転円板を目標回転数に保ってから、スイッチを切り自由回転させ、目標回転数よりの回転数の低下が 2, 4 及び 6 になる時の秒数を求め、これにより抵抗による角速度の低下量 $\Delta \omega$ を求めた。

故に第一の方法は①式を修正し次の式より求めた。

$$E_1 = \frac{1}{2} I \{ \omega_1^2 - (\omega_2 + \Delta \omega)^2 \} \quad \text{—— ②}$$

$\Delta \omega$: 抵抗による角速度の低下量 rad/sec

尚、回転数の測定は電磁式回転計で得られた電圧をバイアス電圧により調節しシンクロスコープに入力しておこなった。

この方法により得られた破断エネルギーは Fig. 6 中の E_1 で示す。

第二の方法は試験片つかみ装置の足に取り付けた歪ゲージによりシンクロスコープ上に電圧—時間曲線を描かせ解析するものである。これは回転円板の有するエネルギーが $77\text{ kg}\cdot\text{m}$ (100 r. p. m) より $11133\text{ kg}\cdot\text{m}$ (1200 r. p. m) と試験片の破断に要するエネルギーに比較して充分大きいので試験片の変形速度は破断過程で一定を保っている。これにより電圧—時間曲線を荷重—変位曲線に変換し、試験片つかみ装置の足の部分に貯えられた歪みエネルギーに等しいとおいて求めたものであす。第二の方法で求めた破断エネルギーは Fig. 8 に示し、電圧—時間曲線は Fig. 9 に示す。破断エネルギーは E_1 , E_2 共に衝撃速度の増加と共に低下して、その割り合いは E_1 の方が大きく、静的曲げ試験の結果を基準にすると、25 m/sec の衝撃速度で E_1 が 70% であった。破断エネルギーは

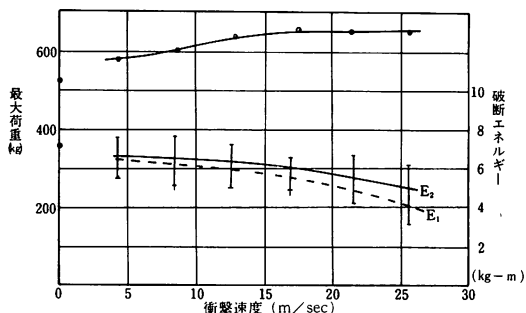
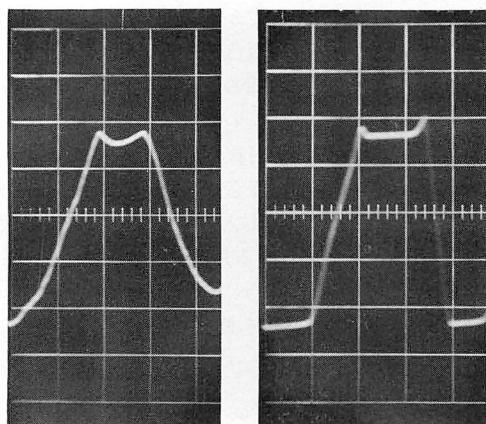


Fig. 8 破断エネルギー及び最大荷重と衝撃速度の関係



n = 100r. p. m
2 v/cm
1 msec/cm

n = 600r. p. m
2 v/cm
0.5 msec/cm

Fig. 9 電圧—時間線図

靱脆性の見きわめに使われる数値であるが、衝撃速度の増加と共に材料の衝撃に対する脆化に伴い最大荷重は増加傾向にあっても変形速度が早いので全体として小さくなる。

Fig. 8に最大荷重の結果ものをせてある。最大荷重は衝撃速度の増加と共に漸増し衝撃速度が25 m/secで静的曲げ試験の最大荷重の1.25倍となっている。これは変位速度の増加と共に加工硬化により最大荷重が増加すると思われる。

3.3 脆性破面率 φ と破断角度 θ

脆性破面率 φ は

$$\varphi = \frac{\text{脆性破面}}{\text{破断面積}} \times 100\%$$

で定義されるもので脆性が高くなるに従い大きな値となる。Fig. 10によると φ は衝撃速度が大きくなるに従い大きくなり、ほぼ直線的に増加している。

これは、温度一定の場合、歪速度が大きくなるに従い、材料は延性破壊から脆性破壊に移ることを示す。

Fig. 10の破断角度はシャルピー試験等の一定速度の場合は、材料が脆化すると小さくなるが、今回の実験結果はこの逆で、衝撃速度が高くなり衝撃エネルギーが小さくなるに従い破断角度 θ が歪速度により大きくなると思われるが、今回の実験に使った打撃刃の位置、寸法等の考慮も今後必要であろう。

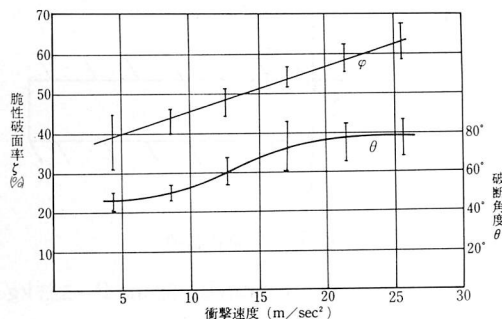


Fig. 10 脆性破面率及び破断角度と衝撃速度

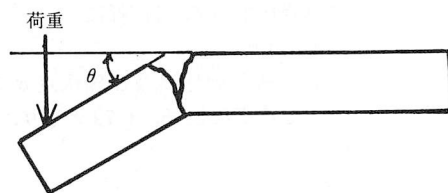


Fig. 11 破断角度 θ

4. 結 び

試作した回転円板式衝撃曲げ試験機を使い衝撃速度4.26 m/sec~25.56 m/secの範囲内で実験を行ったがまとめると以下の通りである。

1. 静的曲げ試験では、衝撃荷重が片持梁状に作用する時も、 $\sigma_{nb} = 2.05 \sigma_b$, $\sigma_{yb} = 1.79 \sigma_y$ となり曲げ応力が一軸引張り応力よりかなり高くなる。
2. 衝撃速度が大きくなると最大荷重、脆性破面、破断角度は大きくなり、破断エネルギーは小さくなる。

試験機製作・実験について日頃御指導を頂いていた本校名誉教授下村修二先生、製作にご助力頂いた本校機械工学科実習工場の各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1 大森・吉永：軟銅シャルピー試片の靱脆遷移挙動におよぼす曲げ速度の影響(日本金属学会誌第30巻第8号) p. 794~800
- 2 田中・布村：銅の引張特性とシャルピー式衝撃曲げ試験における荷重および遷移温度との関係について(日本金属学会誌第21巻4号) P. 439~444
- 3 田中・梅川：シャルピー式衝撃曲げ試験における破折過程について(日本金属学会誌第21巻4号) P.

221~225

4 谷藤他：高速衝撃引張試験における荷重決定の基礎的問題（機械技術研究所所報 Vol. 28）

5 茶谷：金属材料の衝撃試験と繰返し衝撃強度（機械の研究第 23 巻第 12 号）

（昭和 56 年 12 月 3 日受理）

