

An Experimental Study on the Impact Bending Strength Test

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Chatani, Akiyoshi, Hatake, Yoshikatsu メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00011748

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



衝撃曲げ強さの試験法に関する実験的考察

茶 谷 明 義* 畠 義 勝**

An Experimental Study on the Impact Bending Strength Test

by

Akiyoshi CHATANI and Yoshikatsu HATAKE

Abstract

Many experimental studies to know the behavior of materials under the impact compression or tension have been carried out. On the impact bending, however, test methods under the consideration of strain rate and bending moment rate have been little reported.

Therefore, we studied the propagation phenomena of the stress waves produced in a short beam specimen by the impact bending. On the basis of this study, we contrived the impact bending test method on which we could define the strain rate and the bending moment rate.

As the result of some experiments, the main conclusions obtained are as follows ;

(1) The concept of the statical bending moment held good also in the case of the present impact test.

(2) The ratio of the impact bending strength of S20C test specimens to the static one corresponding to the strain 0.5% was (1.28-1.47) in the range of strain rate (24.2-34.6) 1/s.

(3) When the yield point appeared clearly, the bending moment rate became 0 swiftly in the neighbourhood of the yield point, and the strain rate went up to the extent of the strain beyond 1%.

In addition, some possible errors included in the present results would be discussed in the future.

1 結 言

機械要素部材が衝撃荷重を受ける場合には、強度設計上部材の衝撃強さを明らかにする必要がある。そのため、衝撃圧縮や引張りに関する多くの研究が行なわれ^{1)~5)}、材料の降伏点、引張強さ、疲れ強さなどのひずみ速度依存性について多くのことが明らかにされている。

一方、衝撃曲げに関してはシャルピーあるいはアイゾット試験法による研究が行なわれている^{6)~11)14)}。しかし、これらの結果はエネルギー表示されているため、材料の脆性や遷移温度などの定性的傾向の判定には有効であるが、これを直接設計資料としては用い難い。そのほか、荷重-たわみ曲

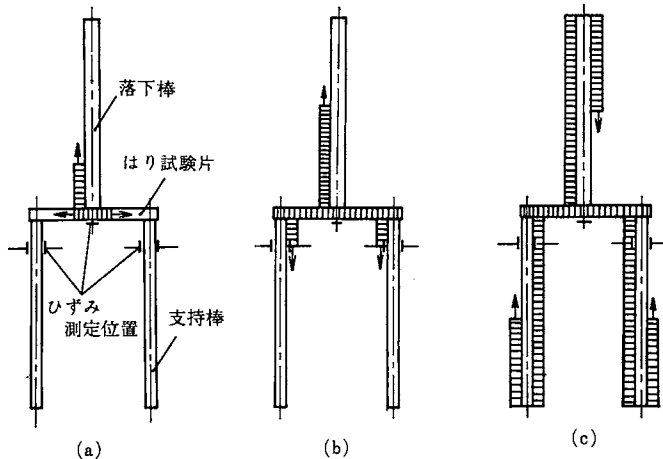
*機械工学第二学科 **大学院学生

線や衝撃曲げ荷重の時間的変動なども求められている。^{9)~11)}しかしこれらでは測定波形の特徴に関する考察が必ずしも十分ではなく、ひずみ速度や荷重速度が明らかにされていないために衝撃曲げ強さを明瞭には定義し難いようである。なお、長方形断面はりの衝撃曲げによる応力や変形の解析も若干行なわれているが¹²⁾¹³⁾、衝撃曲げ応力に対する材料固有の強さに関してはほとんど明らかにされていないのが現状と思われる。一般には材料の強さは多かれ少なかれひずみ速度や荷重速度に依存するために、衝撃曲げ強さを、単にエネルギーではなく、曲げモーメント速度やひずみ速度を明らかにして、応力あるいは曲げモーメントで表現するほうが合理的である。このようにすれば、衝撃曲げ特性をより明確に表現し、かつ引張りや圧縮に関する資料との関連を明らかにすることも可能になるであろう。

そこで本研究では、まず、両端単純支持はりの中央を弾性丸棒で衝撃する場合の応力波の伝ば現象について考察し、つぎに支持反力の時間的変動の実測によってはり試験片の曲げモーメントとひずみを推定する方法について検討した。本法によれば、試験片のひずみ速度や曲げモーメント速度を明らかにしたうえで衝撃曲げ強さを明らかにすることができる。

2 試験装置における応力波の伝ば状況について

両端を弾性丸棒で支持したはり試験片の中央を弾性丸棒で打撃する最も簡単な衝撃曲げの場合について、応力波の伝ば状況を模式的に示したものが第1図である。応力の大きさは不明であるが、説明の便宜上応力が生じている領域を細線部で示し、(a)、(b)、(c)の順に経過時間が長くなる場合を示してある。落下棒が試験片中央を打撃すると、落下棒には圧縮応力波が、試験片には曲げ応力波が生ずる。これらの波は発生する応力の大きさにより一定の速度で各部分を伝ばする(第1図(a))。試験片内を伝ばする曲げ応力波が試験片支持点まで達すると支持棒に圧縮応力波が生じ、これが支持棒内を伝ばして支持棒のひずみ測定位置に達すると支持棒のひずみとして測定される(第1図(b))。さらに時間が経過す



第1図 応力波の伝ば状況

ると落下棒および支持棒の圧縮応力波はそれぞれ落下棒上端および支持棒下端に達し、支持棒下端を自由端とすれば、いずれの圧縮応力波も引張応力波として反射される(第1図(c))。この装置で落下棒や支持棒の長さに比較して試験片長さを十分短かくすれば、両棒からの反射波が試験片に入射するまでに、試験片内を伝ばする応力は両端で反射を繰返して短時間のうちに定常状態に達することになる。そのため、試験片両端近傍に接する支持棒のひずみ測定から支持点での反力すなわち試験片の曲げ

モーメントや曲げ応力を推定しても大きな誤差は含まれないであろう。また、このように試験片を短かくすれば、支持棒や落下棒を応力波が1往復する時間内では試験片の曲げモーメントは増加し、1往復の時間後各棒からの反射波によって曲げモーメントは減少することになる。したがってこのような装置では落下棒あるいは支持棒の長さ按比例した時間、試験片には曲げモーメントが作用し続けることになる。また、両棒の反射波がほぼ同時に試験片に入射するように両棒の長さを選べば、反射波がひずみ測定位置に到達するまでは測定波形に反射波が含まれないことになるから、測定波形の考察には都合がよい。

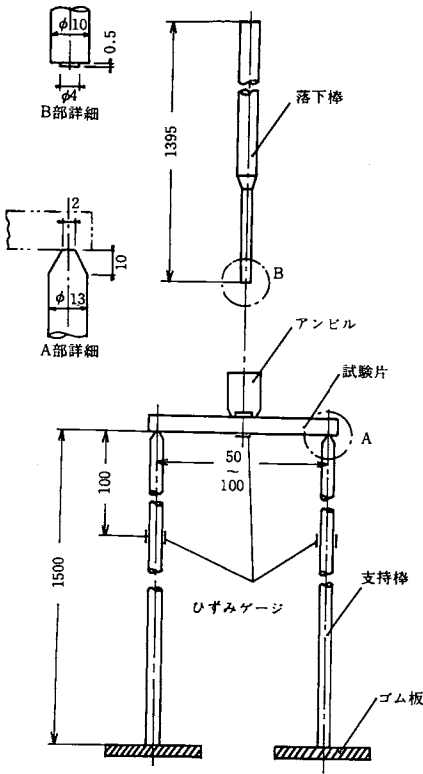
3 試験装置と試験片

前章に述べた定性的な考え方に基づいて基礎的実験を繰返した後試作した本試験装置の概略を第2図に示す。これは、ゴム板上に垂直に立てた2本の丸棒上で長方形断面をもつはり試験片を単純支持してこの中央にアンビルの乗せ、落下棒の自然落下によりアンビルの打撃して試験片に衝撃曲げ荷重を加えるというものである。試験片中央下面および支持棒に生ずるひずみの変動はひずみゲージによって測定される。なお、支持棒下端のゴム板は、この部分を自由端支持の状態にするためと装置全体の防振のために用いた。

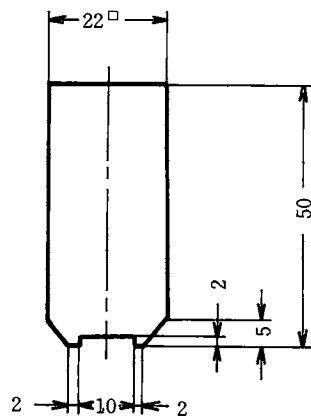
支持棒には直径13mm、長さ1500mmのS45Cミガキ丸棒を用い、試験片支持間隔を50~100mmの間に換えられるようにしてある。試験片支持部を線接触の状態に近づけるために、支持棒上端は第2図中A部詳細のように台形状に仕上げてある。支持棒のひずみ変動を測定するために、上端より100mmの位置に円周上で軸方向対称に2枚のひずみゲージ(L-5-11, Tokyo Sokki)を貼付け、

2本の支持棒のひずみゲージ合計4枚を直列に接続して両支持棒の平均ひずみを測定した。試験片中央下面にも同種のひずみゲージ1枚を貼付け、これと支持棒のひずみゲージによる出力は直流ブリッジ回路を介し、2現象シンクロスコープ(岩崎DS5015)を用いて写真撮影により記録される。

アンビルのS45C角棒より第3図に示した形状寸法に仕上げたもので、試験片のひずみ測定位置の曲げモ



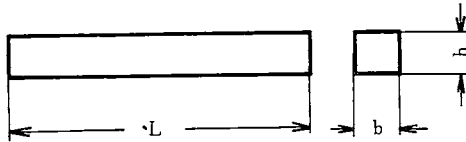
第2図 試験装置概略



第3図 アンビル

ーメントを一様にするために用いた。アンビル下端の足の中心間距離は12 mmである。

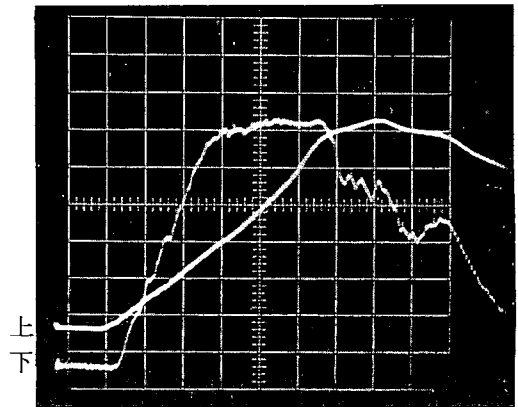
落下棒には、直径20 mm、長さ1000 mmの軟鋼(S S 41 相当)ミガキ丸棒に直径10 mmのS 45 Cミガキ丸棒をねじで連結した長さ1395 mmの段付棒を用いた。このような段付棒を用いたのは衝撃直後の支持棒のひずみ変動をなるべくなめらかにするために、平滑棒を用いると衝撃直後に測定されるひずみが大きく変動することがある。また、偏心荷重を避けるために、落下棒下端は第2図中B部詳細のようにごくわずかの長さの部分を段付とし、アンビルとの接触部の面積を小さくしてある。この部分と支持棒上端およびアンビルには、接触部分の応力による塑性変形を防ぐために、焼入れによる硬化処理をしてある。なお装置の都合上、落下棒の落下高さは最大1200 mmであり、相当する衝撃速度は4.85m/sである。



第4図 試験片

第1表 試験片材質と寸法

材 質	試験片寸法(mm)		
	幅 b	高さ h	長さ L
S 20 C	10	8	80
S 45 C	10	8	80
S 45 C	6	8	80
S 45 C	6	6	80
S 45 C 表面硬化	10	10	80
S 45 C 表面硬化	10	10	90
S 45 C 表面硬化	10	10	110



上：試験片ひずみゲージ出力電圧, 5mv/div
下：支持棒ひずみゲージ出力電圧, 0.2mv/div
Sweep Time, 0.1ms/div

写真1 測定波形例

(S 20 C材, b=10mm, h=8mm, 落下高さ=400mm)

本実験に用いた試験片の材質はS 20 CとS 45 Cで、その形状寸法は第1表と第4図に示してある。これらの試験片はいずれも納入丸棒材よりフライス加工によって所定の断面寸法に仕上げた。なお、表中の表面硬化とあるものは、降伏強さを上昇させるために硬さ $H_v \approx 600$ 、硬化深さ1 mmとなるように高周波焼入れしたものを示す。

4 試験片のひずみ波形と支持反力および曲げモーメント

写真1は前述の装置によりS 20 C材試験片を用いて、試験片支持間隔を60 mmとし、落下棒を高さ350 mmから落下させた時のひずみ波形の測定例で、試験片が塑性変形している場合である。このような測定ひずみ波形から試験片のひずみ、ひずみ速度、曲げモーメントおよび曲げモーメント速度をつぎのようにして求めた。その手法を示すと、まず、両波形の立ち上り点を零点として等時間間隔

(10 μ s) で出力電圧を読み取る。この読み取り値に含まれる誤差を小さくするために、連続する3点の平均値を中央点の測定値とする。なお、落下棒上端および支持棒下端からの反射波の影響を避けるため、支持棒下端からの反射波が支持棒のひずみ測定位置に到達するまでを測定時間とした。出力電圧の測定値からひずみへの変換は、試験片の場合にはブリッジ回路の関係式により、支持棒の場合には縦衝撃による出力電圧とひずみの関係によって行なった³⁾。このように試験片中央下面のひずみ ϵ は直接測定されることになる。

曲げモーメントを求める場合には、衝撃後試験片内を曲げ応力波が何回も往復して試験片の応力状態がほぼ定常となる時間では静的な曲げモーメントの考え方が成立する。この考え方が測定時間の全域にわたって成立すると仮定すれば、アンビルによる荷重点間 (12 mm) の領域は一樣な曲げモーメントとなり、その大きさMは

$$M = R \times l_1 = A \times E \times \epsilon_R \times l_1 \tag{1}$$

で表わされることになる。ここで、Rは支持反力、 l_1 は試験片支持点からアンビルの足までの距離、A、E、 ϵ_R はそれぞれ支持棒の断面積、縦弾性係数、ひずみである。以下の整理では(1)式によって曲げモーメントMを求めた。

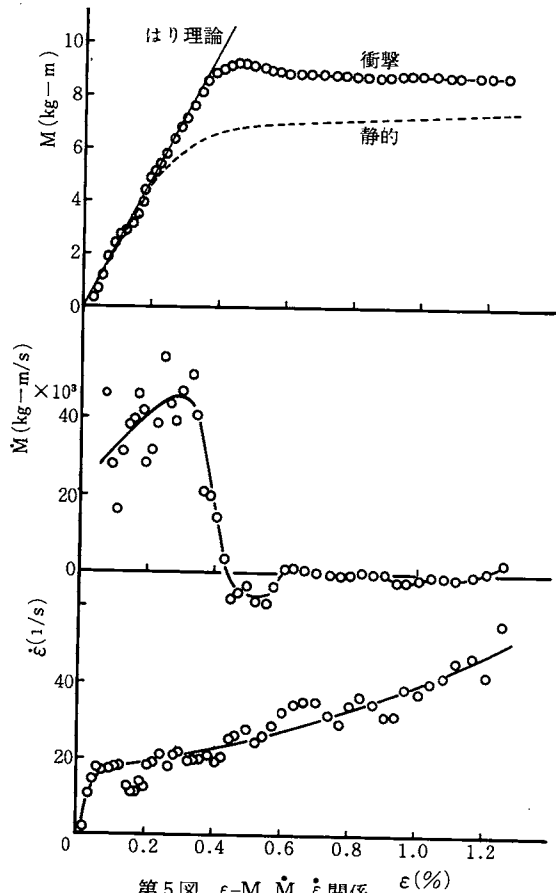
試験片のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 、曲げモーメント速度 \dot{M} は測定波形に引いた接線の傾きに相当する。そこで本研究では、まず出力電圧で表わされた測定値を連続して合計10点を選び、ラグランジェの補間法により数値的に傾きを求めた。つぎにこれと単位出力電圧あたりのひずみと曲げモーメントおよび読み取り時間間隔からひずみ速度と曲げモーメント速度を求めた。

5 実験結果と考察

5.1 $\epsilon - M, \dot{M}, \dot{\epsilon}$ 関係 (S 20 C材)

第5図は、表1に示したS 20 C材試験片を用い、試験片支持間隔を60 mm、落下棒の落下高さを、400 mmとして、 $\epsilon - M, \epsilon - \dot{M}, \epsilon - \dot{\epsilon}$ 関係を示したものである。図中の点線は静的な曲げ試験により得られた結果であり、細線は試験片の縦弾性係数をE、断面係数をZとして、はり理論 $M = E \cdot Z \cdot \epsilon$ の関係を示す。なお、この材料の静的下降状点は33.3 kg/mm²、引張強さは47.1 kg/mm²である。

この図からわかるように、静的な場合と衝撃による場合の $\epsilon - M$ 関係は弾性域においてよく一致しており、またこの領域では、はり理論とも一致している。このことより、本実験のような衝撃曲げの場合に、静的な曲げモーメントの考え方 ($M = R \times l_1$) を用いても両者の間に大きな差異を生じないことがわか



第5図 $\epsilon - M, \dot{M}, \dot{\epsilon}$ 関係 (S 20 C材, $b = 10\text{mm}$, $h = 8\text{mm}$, 落下高さ: 400mm)

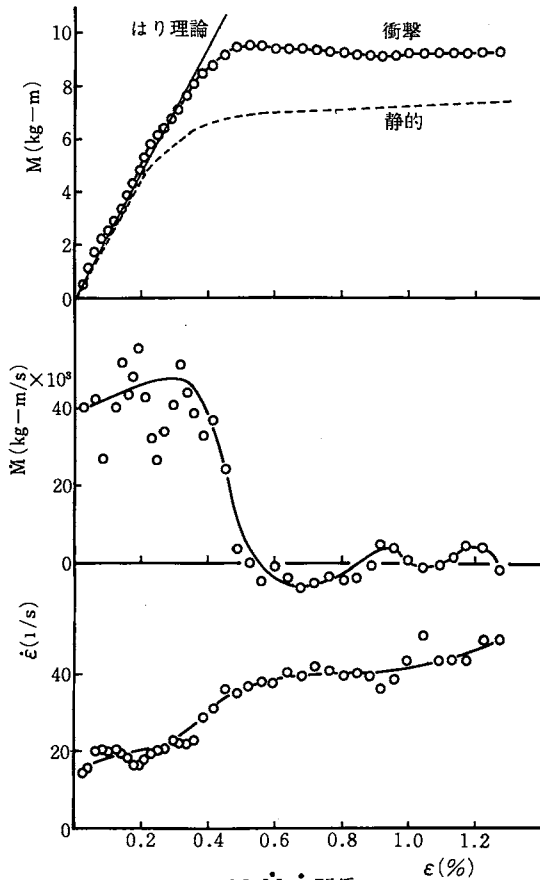
る。したがって、この試験法が衝撃曲げ試験法として十分妥当なものと考えられる。また、塑性域で同一ひずみを生ぜしめる曲げモーメントは衝撃の場合のほうが静的な場合より大きく、静的な場合より衝撃の場合のほうが明瞭に降伏点が現われている。

つぎに、 $\epsilon-\dot{M}$ 関係について見れば、弾性域に相当する ϵ が小さい範囲では、 \dot{M} はバラツキが大きい。これは試験片内の応力状態が定常になっていないため、支持棒のひずみも過渡的な状態にあることに原因するものであろう。しかし降伏ひずみ領域では、 \dot{M} は急激に減少し、バラツキも小さくなる。弾性域での値と比較すれば、降伏ひずみ以上のひずみに対する \dot{M} はきわめて小さく0に近い。このことは \dot{M} がほぼ一定でひずみが進行していることを示し、 $\epsilon-\dot{M}$ 関係からも試験片の降伏モーメントあるいは降伏点をとらえることができる。なお測定ひずみの範囲は、ひずみゲージの接着方法にもよるが、1~2%であった。

さらに、 $\epsilon-\dot{\epsilon}$ の関係については、 ϵ が増加するにつれて $\dot{\epsilon}$ も増加する傾向にある。しかしこれは、通常の場合下降伏点において $\dot{\epsilon}$ が最大となることから推定して^{1),5)}、さらに時間が経過して加工硬化するような場合には $\dot{\epsilon}$ は減少するものと考えられる。

つぎに落下棒の落下高さのみを400mmから700mmに変えた場合の結果を第6図に示す。これは第5図の場合とほぼ同様であるが、落下高さの影響を知るために、両図より0.5~1.0%のひずみ ϵ を生じさせるに要する M とその時の \dot{M} 、 $\dot{\epsilon}$ の関係を示せば第2表のようになる。なお同表の曲げモーメント M は衝撃によるものと静的なものとをそれぞれ添字D、Sで区別し、これらのモーメント M_D/M_S も合わせて示してある。

第5、6図および第2表より落下棒の落下高さが大きければ、同一の ϵ に対する \dot{M} と $\dot{\epsilon}$ はいずれも大きくなるのがわかる。しかし、 \dot{M} は ϵ が弾性域内にある場合のみ大きくなり、塑性域では弾性域での値に比較すればきわめて小さく、落下高さとの対応は必ずしも認め



第6図 $\epsilon-M, \dot{M}, \dot{\epsilon}$ 関係
(S 20 C材, $b=10\text{mm}$, $h=8\text{mm}$, 落下高さ: 700mm)

第2表 S 20C 材の衝撃曲げ強さ

落下高さ	400mm				700mm			
	ひずみ (%)	$M_D(\text{kg}\cdot\text{m})$	$\frac{M_D}{M_S}$	$\dot{\epsilon}(1/\text{s})$	$\dot{M} \times 10^3 (\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s})$	$M_D(\text{kg}\cdot\text{m})$	$\frac{M_D}{M_S}$	$\dot{\epsilon}(1/\text{s})$
0.50	8.90	1.28	29.5	-3.9	9.56	1.47	34.6	3.4
0.60	8.89	1.25	33.7	-0.7	9.45	1.37	37.7	-5.0
0.80	8.86	1.23	38.0	-2.3	9.24	1.30	40.3	-2.1
1.00	8.79	1.20	43.7	-0.3	9.25	1.28	42.4	-0.6

られない。また、本実験のひずみ速度では、静的な場合に比較して、0.5%のひずみに対する曲げモーメントは1.28~1.47倍にも増加し、0.6~1.0%のひずみでは1.20~1.37倍となることがわかる。これらの増加の程度は落下高さが大きいほう、すなわちひずみ速度が大きいほうが大きく、ひずみの増加とともに減少する。このように塑性域における強さ（モーメント）がひずみ速度の影響を受ける現象は引張りや圧縮の場合と同様である^{3),5)}。

本実験においては、実験例を得ることに主眼を置いたため落下棒の落下高さを2種類しか選ばなかった。しかし、多くの落下高さを選ぶことによりひずみ速度と曲げモーメント速度を変化させる実験を行なって ϵ -M関係を求めれば、ひずみ速度または曲げモーメント速度が一定の場合の ϵ -M関係が得られることになる。

なお、落下棒の落下高さや試験片の支持間隔を一定としても、曲げモーメントが試験片の断面形状寸法によることは勿論である。さらに測定された曲げモーメントから塑性域における試験片断面内のひずみに対する応力を知るためには、応力とひずみの関係を仮定する必要があるが、この点については別の機会に検討したい。

5. 2 試験片支持間隔および断面形状が ϵ -M, \dot{M} , $\dot{\epsilon}$ 関係に及ぼす影響について (S 45 C材)

まず試験片支持間隔の影響について調べるために、断面の高さと幅が等しく10 mmで、長さLが80, 90, 110 mmのS 45 C材表面硬化試験片を用い、試験片支持間隔Sを60, 80, 100 mm, 落下棒の落下高さを一定の200 mmとして実験を行なった。いずれの場合も弾性域内での測定ひずみ波形を対象とした。

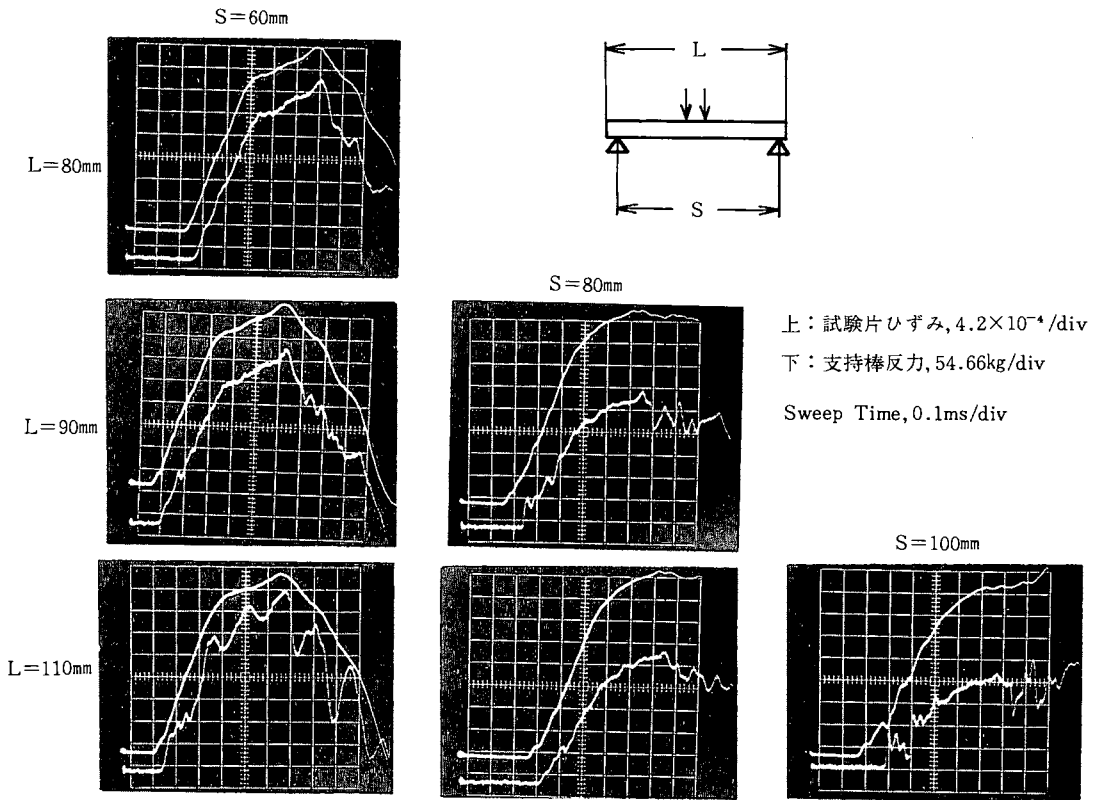
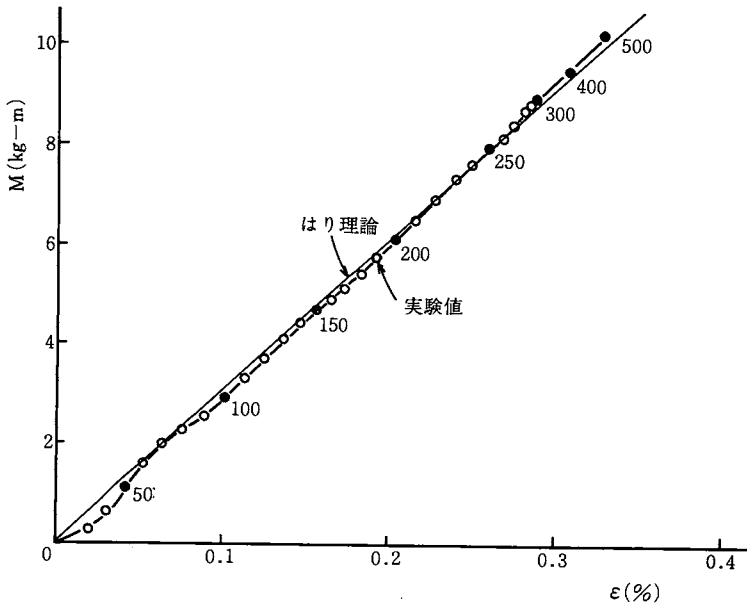


写真2 試験片長さや支持間隔が測定波形に及ぼす影響 (S 45 C 表面硬化材, $b = h = 10\text{mm}$, 落下高さ: 200mm)

その結果のひずみ波形の測定例を写真2に示す。これよりL,Sともに大きいものほどすなわち試験片が長く支持間隔が長いものほど測定波形は大きく変動して乱れることがわかる。試験片が長い場合には、試験片内を曲げ応力波が伝ばするに要する時間も長くなるために応力状態が定常になるのが遅くなる。そのために測定波形の乱れも大きくなるものと考えられる。またLが変化すれば同一のS(=60 mm)に対して支持棒反力の変動状態が異なり、Lが大きいものほど反力の変動が大きい。これは支持点から外側に突出した部分の慣性によるためであろう。さらにSが変化すれば同一のL(=110 mm)に対して試験片のひずみはあまり変化しないが、支持反力は大きく変化して小さくなる。このような結果からは必ずしも断言はできないかも知れないが、少なくともSとLの差が大きいものやSが大きいものでは良好な結果を期待できないようである。これらの結果のうち最も波形の乱れが小さいS=60 mm, L=80 mmの場合について ϵ -M関係を示せば、第7図のようになる。図中の数値は衝撃

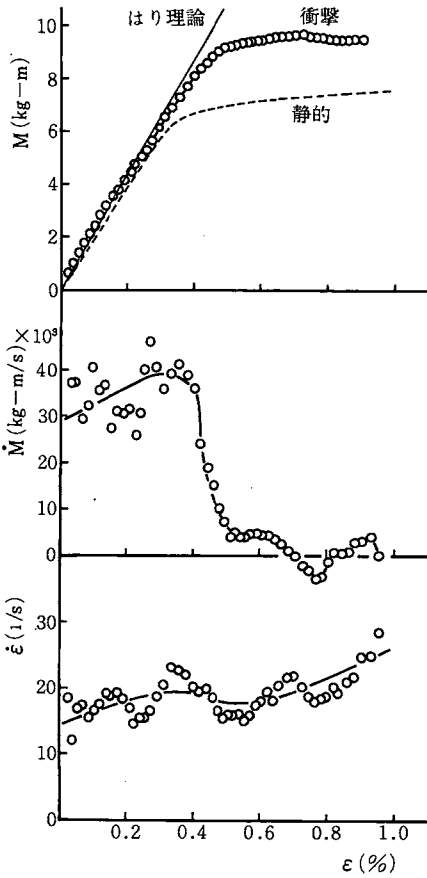


第7図 ϵ -M 関係

(S45 C材表面硬化, $b=10\text{mm}$, $h=10\text{mm}$, 落下高さ = 200mm)

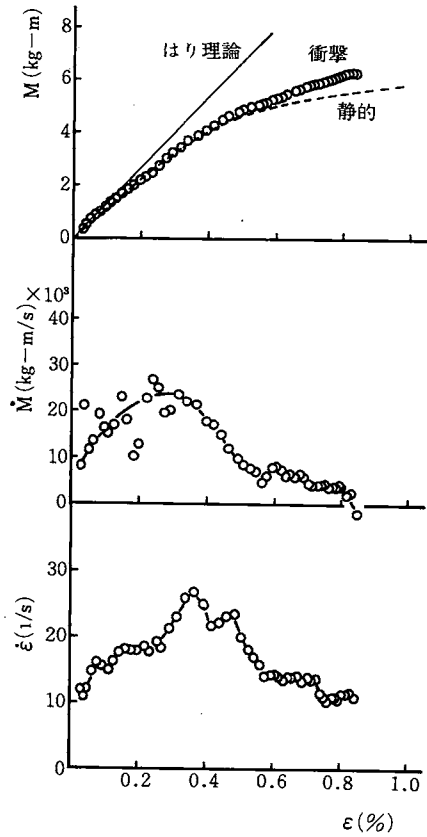
開始後の経過時間を μs 単位で示したものである。衝撃直後ではわずかに波打っているが、この結果ははり理論 ($M = E_s Z \epsilon$) によるものにほとんど一致している。衝撃直後の波打ちは試験片内の応力状態が定常になっていないのに静的な考え方で曲げモーメントを求めたことによるものであろう。しかし弾性域内における本結果ははり理論とよく一致しているから、 $L=80\text{ mm}$, $S=60\text{ mm}$ 程度で妥当な結果が得られることを示している。

つぎに試験片断面形状の影響について調べるため、断面寸法が異なるS45 C材試験片を用いて、 $L=80\text{ mm}$, $S=60\text{ mm}$ の場合の結果を示せば、8, 9, 10図のようになる。これらの図より、弾性域における ϵ -M関係の傾きは試験片断面積とくに断面の高さが小さくなるにつれて小さくなり、弾性域と塑性域の区別がつけにくくなることがわかる。また、断面積が小さくなると、 $\dot{\epsilon}$ が20(1/s)程度であり変化しなくても衝撃の場合の ϵ -M関係は静的な場合に近づく傾向が認められるようである。この場合、断面積が小さいことは曲げ剛性が小さいことに対応しているから、 ϵ -M関係には曲げ剛さも関係することが考えられる。すなわち、曲げ剛性が小さくなれば支持反力も小さくなることが推定されるが、これは試験片をばねと考える通常のひずみエネルギー法によって容易に推定されるところである。



第8図 ϵ - M , \dot{M} , $\dot{\epsilon}$ 関係

(S45C材, $b=10\text{mm}$, $h=8\text{mm}$, 落下高さ: 400mm)

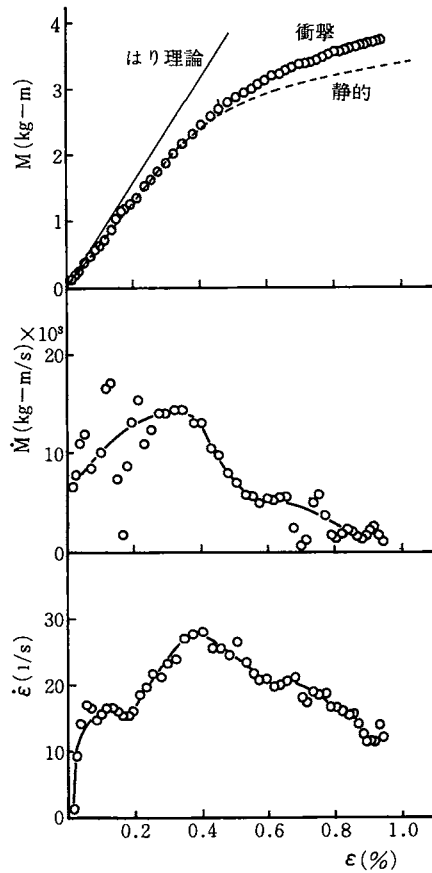


第9図 ϵ - M , \dot{M} , $\dot{\epsilon}$ 関係

(S45C材, $b=6\text{mm}$, $h=8\text{mm}$, 落下高さ250mm)

このように考えれば、 ϵ - M 関係にも曲げ剛さが影響することになる。しかし、このような影響や塑性変形によって M に含まれる可能性が考えられる誤差を正確に評価することは現状では困難である。これは今後研究されるべきことである。

しかし、おもに5.1で述べたような長方形断面(高さ8mm, 幅10mm)はりで、 $L=80\text{mm}$, $S=60\text{mm}$ 程度のもものでは、少なくとも弾性域では妥当な結果を示していることや試験片内での塑性変形域が小さいことなどから推定して、大きな誤差は含まれないと考えられる。



第10図 ϵ - M , \dot{M} , $\dot{\epsilon}$ 関係
(S45C材, $b=6\text{mm}$, $h=6\text{mm}$, 落下高さ=250mm)

6 結 言

衝撃荷重によって生ずる応力波の伝ばを定性的に考察し、従来明確にされなかった衝撃曲げにおけるひずみ速度と曲げモーメント速度を定義できる衝撃曲げ試験法を提案してこの考え方に基づく試験装置を試作した。試作試験装置による各種の実験を行ない、検討を加えた結果衝撃の場合にも静的な曲げモーメントの考え方がほぼ成立し、本試験法が妥当なものであると考えられる。

長方形断面(高さ8mm, 幅10mm)をもつS20C材はり試験片を用いた実験結果を要約すればつぎのようになる。

すなわち、衝撃曲げモーメントは静的な場合に比較して、試験片表面のひずみが0.5%で1.28~1.47倍、ひずみが1.0%では1.20~1.37倍に上昇した。それぞれの場合のひずみ速度は24.2~34.6(1/s), 43.7~45.3(1/s)であり、曲げモーメント速度はいずれの場合もきわめて小さく0に近い。また、降伏開始時には曲げモーメント速度は急激に減少して0に近づき、ひずみ速度は増加する。

なお、測定結果に対する誤差の評価や試験片の形状寸法による測定値の変動傾向については必ずしも十分明らかではないために、さらに検討を進めたい。

おわりに、本学米谷茂教授にはいろいろとご指導をいただき、また放生明広助手、田上繁技官には実験に協力していただいたことを付記し、深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 田中ほか3名, 機械学会論文集, 31—226 (昭40—6) 883.
- 2) 西山・谷村, 機械学会論文集, 36—285 (昭45—5), 714.
- 3) 放生・茶谷, 金沢大学工学部紀要, 7—2 (昭48), 137.
- 4) 作井・中村, 応用物理, 32—10 (昭38), 731.
- 5) 茶谷ほか2名, 材料, 19—202 (昭45—7), 643.
- 6) 田中・梅川, 金属学会誌, 21—4 (1957), 221.
- 7) 田中・布村, 金属学会誌, 27—9 (1963), 439.
- 8) 小林ほか2名, 金属学会誌, 30—7 (1966), 700.
- 9) 小林ほか2名, 金属学会誌, 32—3 (1968), 213.
- 10) 作井ほか2名, 鉄と鋼, 46—2 (1960), 140.
- 11) 三好ほか2名, 鉄と鋼, 54—4 (1968), 497.
- 12) 小高・中原, 機械学会論文集, 33—248 (昭42—4), 533.
- 13) 清田・藤田, 機械学会誌, 69—575 (昭41—12), 1624.
- 14) 岩崎・村上, 材料, 17—183 (昭43—12), 1164.

(昭和49年4月22日受理)