

# 衝撃圧縮試験機の試作と二,三の実験例について

放生明広\* 茶谷明義\*

## On the Impact Compression Test Equipment and Some Experimental Dynamic Stress-Strain Relations

by

Akihiro Hojo and Akiyoshi CHATANI

### Abstract

By making use of the Hopkinson bar type compression test equipment, we obtained some dynamic stress-strain curves of aluminum alloy, which is predicted to be little dependent on strain rate by other investigators.

As a result, the stress to constant strain increased as strain rate increased for the commercial aluminum alloy and the annealed one. In the case of the commercial aluminum alloy, the ratio of the dynamic stress to the static one corresponding to the strain (2—10) % was (1.02—1.15) at the range of strain rate about (100—400) sec<sup>-1</sup>. On the other hand, it was (1.01—1.12) in the case of the annealed. It seems that the commercial aluminum alloy was slightly more dependent on strain rate than the annealed. Also, the variation of hardness was examined about the test specimens compressed statically and dynamically. The hardness increased more remarkably under the static compression than the dynamic. Such a tendency is similar to other investigators' results for steels and seems to show some essential differences between the dynamic deformation and the static.

### 1. 緒 言

機械構造用部材が衝撃的負荷を受けるとき、あるいは、材料が高速塑性加工されるときなど、高ひずみ速度下の材料の強度を知る必要がある。そのために、炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウムなど実用材料の応力—ひずみ関係におよぼすひずみ速度の影響について研究が行なわれている<sup>(1)~(5), (6)</sup>。しかし、材料が多種にわたるため一つの材料に関する詳細な実験は少なく、材料の本質的な動的変形機構は十分明らかとはいえないのが現状である。細かくいえば、材料が異なれば結果も異なり、本質的な機構の解明にはさらに多くの実験が必要と思われる。すなわち、まず動的変形に対する材料の機械的諸性質や組織変化などを十分明らかにしなければならない。また、実用的観点からは、種々の材料について動的負荷に対する性質を簡便に知るための手法や装置を確立することも重要である。

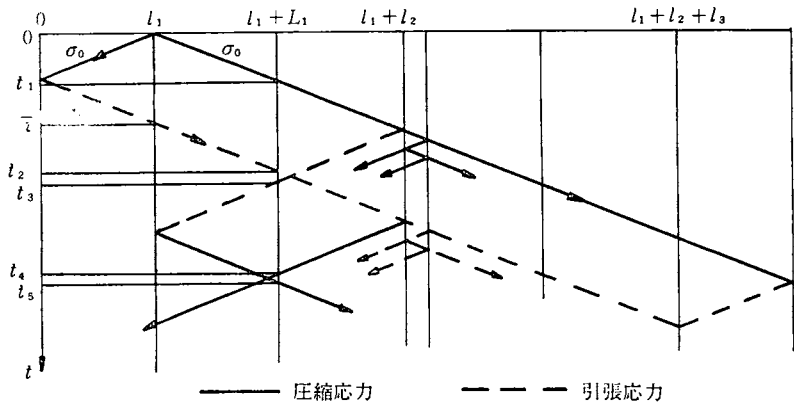
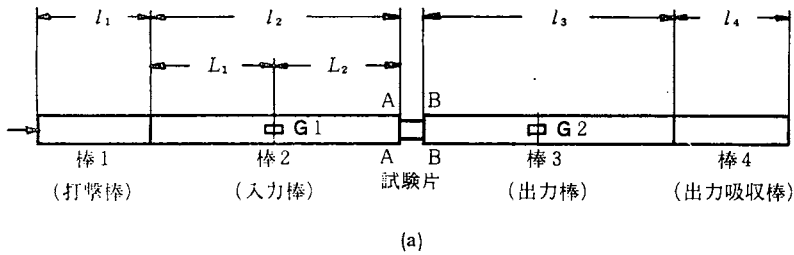
本研究では、材料の動的挙動を明らかにするために Hopkinson bar 法による衝撃圧縮試験機を試作し、常温ではほとんどひずみ速度依存性を持たないといわれているが、その動的負荷に対する

\* 機械工学第二学科

機械的性質が十分明らかではないアルミニウム合金について動的応力-ひずみ関係を求め、その動的変形と静的変形との差異について若干の検討を行った。

### 2. 応力とひずみの解析

まず、Hopkinson bar 法による試験片の応力とひずみの解析法について述べておく。第1図(a)は

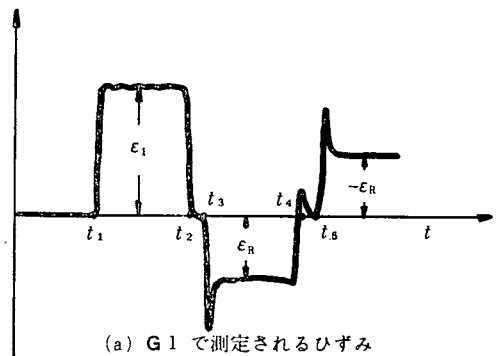


$$\sigma_0 = \frac{VE}{2c} \quad \bar{\tau} = \frac{2L_1}{c}$$

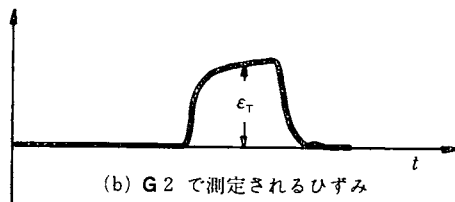
$$c = \frac{EG}{\sigma}$$

第1図 Hopkinson Bar 法による衝撃圧縮の原理

本実験に用いた装置の概略を一般的に示したもので、各棒および試験片の軸線は一直線上に支持されている。棒1は負荷パルスを生じさせるための打撃棒、棒2は入力棒、棒3は出力棒、棒4は打撃によるエネルギーを吸収して装置全体の運動を防ぐための出力吸収棒であり、棒2と棒3との間にはこれらの棒より低強度の試験片がはさまれている。棒1、2、3および4は同径同質でかつ負荷によって生ずる応力はこれらの棒の弾性限度内にあるように設計されるのが普通であるが、負荷を与える棒1は装置の都合上他の棒より大きい直径で異質のものが使用さ



(a) G1 で測定されるひずみ



(b) G2 で測定されるひずみ

第2図 G1, G2 によるひずみ波形

れることもある。

いま、これらの棒の長さ  $l_1, l_2, l_3$  および  $l_4$  を  $l_1=l_4 < l_2=l_3$  とした場合に、各棒を伝わる応力の様子を示したのが同図(b)である。すなわち、打撃棒が速度  $V$  で入力棒に衝突した瞬間両棒の接触面には

$$\sigma_0 = \frac{V}{2c} E \quad (1)$$

で与えられる圧縮応力  $\sigma_0$  が生じ、この応力は形を変えないで各棒を伝わって行く。ここで、 $c$  は応力波の伝ば速度、 $E$  は棒の縦弾性係数である。打撃棒を伝わる応力はその自由端で大きさが等しい引張応力として反射され、すでに生じていた圧縮応力を打消して行くので、入力棒には大きさ  $\sigma_0$  持続時間  $\bar{t} = 2l_1/c$  の応力が伝わることになる。この応力が試験片に達すると、そこで反射と透過を繰返し、その一部は反射されて入力棒中へ引返し、残りが試験片、出力棒、出力吸収棒へと透過する。

このときの試験片の応力とひずみは、試験片に接する入力棒の端面AAおよび出力棒の端面BBの応力と変位速度とから算出される。すなわち、いまAA面における入射ひずみを時刻  $t$  の関数として  $\epsilon_I(t)$ 、反射ひずみを  $\epsilon_R(t)$  とし、BB面における透過ひずみを  $\epsilon_T(t)$  とすれば、AA面の変位速度  $v_A(t)$ 、BB面の変位速度  $v_B(t)$  およびこれらの面の応力  $\sigma_A(t)$ 、 $\sigma_B(t)$  は一次元伝ば理論により、それぞれ次式で与えられる。

$$v_A(t) = c \{ \epsilon_I(t) - \epsilon_R(t) \} \quad (2)$$

$$v_B(t) = c \epsilon_T(t) \quad (3)$$

$$\sigma_A(t) = E \{ \epsilon_I(t) + \epsilon_R(t) \} \quad (4)$$

$$\sigma_B(t) = E \epsilon_T(t) \quad (5)$$

したがって、試験片の長さが十分短かく応力伝ばの影響を無視できるとすれば、試験片のひずみ速度  $\dot{\epsilon}(t)$ 、ひずみ  $\epsilon(t)$  および応力  $\sigma(t)$  はそれぞれ次式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}(t) = \frac{v_A(t) - v_B(t)}{l} = \frac{c \{ \epsilon_I(t) - \epsilon_R(t) - \epsilon_T(t) \}}{l} \quad (6)$$

$$\epsilon(t) = \int \dot{\epsilon}(t) dt = \frac{c}{l} \int \{ \epsilon_I(t) - \epsilon_R(t) - \epsilon_T(t) \} dt \quad (7)$$

$$\sigma(t) = \frac{A \{ \sigma_A(t) + \sigma_B(t) \}}{2a} = \frac{AE \{ \epsilon_I(t) + \epsilon_R(t) + \epsilon_T(t) \}}{2a} \quad (8)$$

ただし、 $l$  は試験片の長さ、 $a$  は試験片の横断面積および  $A$  は入力棒と出力棒の横断面積である。さらに、AA面とBB面の応力が近似的に等しく  $\epsilon_I(t) + \epsilon_R(t) = \epsilon_T(t)$  と置ける場合は、(6)、(7)および(8)式は次のように簡単になる。

$$\dot{\epsilon}(t) = -\frac{2c}{l} \epsilon_R(t) \quad (9)$$

$$\epsilon(t) = -\frac{2c}{l} \int \epsilon_R(t) dt \quad (10)$$

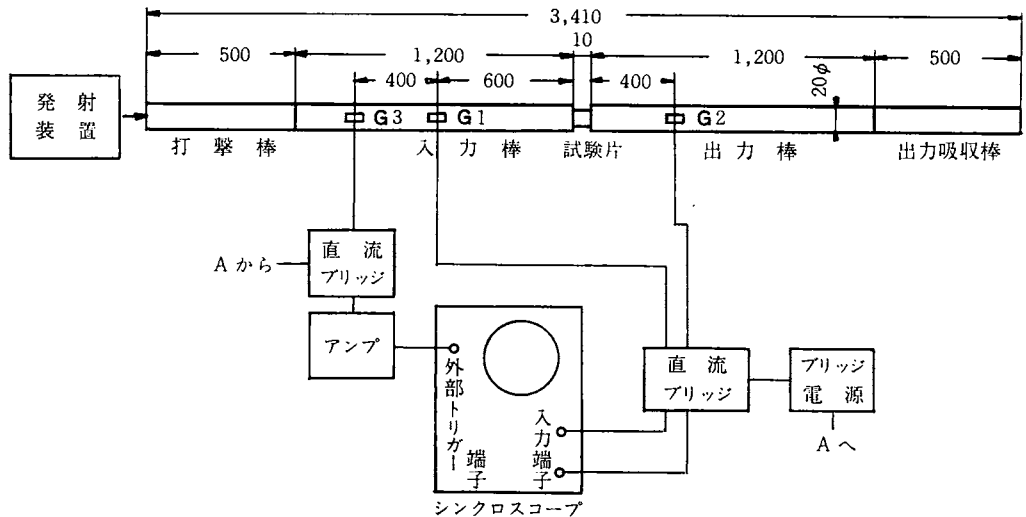
$$\sigma(t) = \frac{AE}{a} \epsilon_T(t) \quad (11)$$

そこで、 $\epsilon_1(t)$ 、 $\epsilon_R(t)$  および  $\epsilon_T(t)$  を知るために、入出力棒にひずみゲージ G1 および G2 を第1図に示すように貼る。そうすれば、入射ひずみが G1 を通過するのは衝突の瞬間を基準にして時刻  $t_1 = L_1/c$  から  $t_2 = (L_1 + 2l_1)/c$  までの間であり、反射ひずみが通過するのは、 $t_3 = (L_1 + 2L_2)/c$  から  $t_4 = (L_1 + 2L_2 + 2l_1)/c$  までの間である。さらに、この反射ひずみが入力棒の衝撃端で再び反射して G1 に達する時刻は  $t_5 = (3L_1 + 2L_2)/c$  である。したがって、 $L_1, L_2 > l_1$  とすれば、ゲージ G1 で測定されるひずみの時間変化は第2図(a)に示すようになり、入射ひずみと反射ひずみを完全に分離して測定することができる。

一方、透過ひずみはゲージ G2 で測定され、同図(b)に示すようになる。ただし、これらのひずみ波形は、試験片の長さを無視すれば、AA面およびBB面では時間的に一致するので、おのおのの起点を  $t=0$  とおいたものを式(2)~式(11)に代入すればよい。したがって、式(7)および(10)の積分の下限は 0 上限は  $t$  となる。

### 3. 実験装置および実験方法

本実験で用いた装置および記録系の概略を第3図に示す。打撃棒、入力棒、出力棒および出力吸



第3図 実験装置概略

収棒はすべて直径20mmのS45Cみがき丸棒から製作したものである。それぞれの棒の長さは、500mm、1200mm、1200mm、500mmである。入出力棒および出力吸収棒の端面は滑らかな平面に仕上げ、打撃棒の衝突面にはわずかに丸みをつけて衝撃時の肩当りを防ぐようにしてある。これらの棒はフレームの上に固定した軟鋼製ブロックの上に並べて軸線を一致させ、各接触面が平行となるように調整してある。この調整は、まず目測で全体の直線性を確めた後、各棒を軽く打合せてその打撃音を聞きながら行った。発射装置はスプリングの力を利用したもので、このスプリングによって打撃棒を所定の速度で打出すようになっている。本実験で用いた寸法の打撃棒では、速度を約(3.7~7.5) m/sまで数段に切り替えることができる。この種の装置で、打撃棒の速度の測定には、光電管などを利用して打撃棒が2点間を通過する時間を測定する方法、丸棒の自然落下を利用する方法などが用いられている。本実験では丸棒の自然落下を利用して既知の打撃速度に対するひずみゲージの出力と実験時の出力とを比較して打撃棒の速度を求めた。すなわち、ひずみゲージをはった入出力棒を垂直に立てその上から打撃棒を落下高さ  $h$  で落下させ  $\epsilon = \sqrt{gh}/\sqrt{2c}$  ( $g$  は重力加速

度)を用いてひずみゲージの較正を行い、実験時の入射ひずみ  $\epsilon_1$  から  $V=2c\epsilon_1$  を用いて打撃棒の速

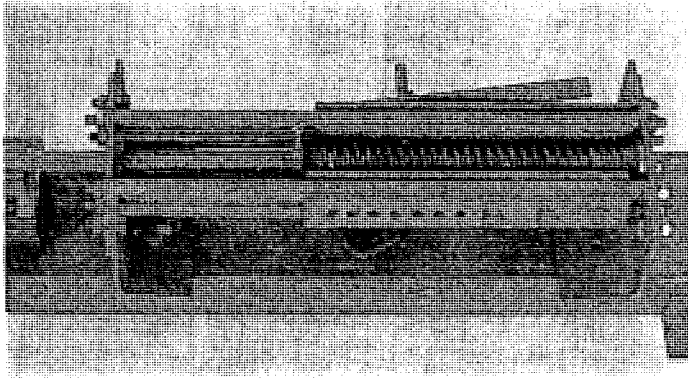
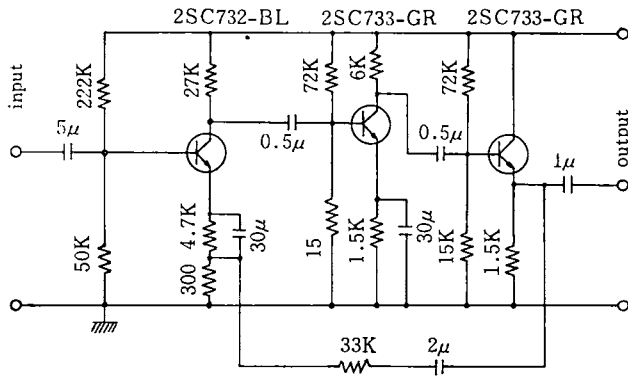


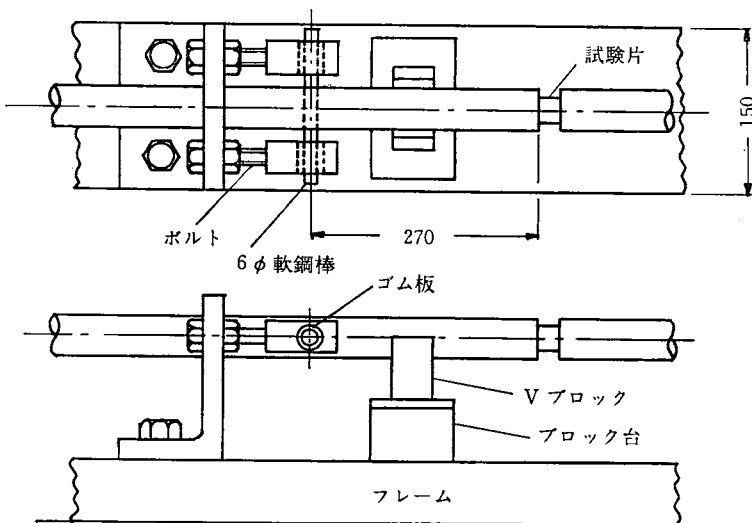
写真1 発射装置

度を求めた。なお、発射装置を写真撮影したものを写真1に示してある。

ひずみの時間的変化を測定するためのひずみゲージG1およびG2は共にゲージ長6mm、抵抗



第4図 トリガー用増幅器の回路



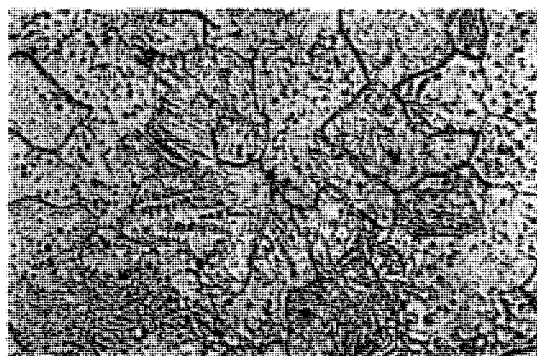
第5図 支持部の詳細

120 $\Omega$ , ゲージ率1.89 (共和KL-6-A4)である。G 1は入力棒の中央にG 2は出力棒の試験片側端面から400mmの位置に, それぞれ, 軸方向同一円周上180°の位置に2枚づつ貼ってあり, これを直列に接続して曲げ応力を打ち消すようにしてある。これらのひずみゲージは定電圧電源装置で直流電圧を加えた4チャンネルのブリッジ回路の一辺に接続され, その出力を2現象のシンクロスコープ(岩崎DS5015)に入れ, ひずみ波形をカメラで写真撮影した。なお, 交流電圧の雑音を取るために, 実験室の電源端子とシンクロスコープの電源入力端子との間には発振回路を利用した定電圧電源装置を入れてある。また, ひずみゲージG 3はシンクロスコープをトリガーするためのもので, G 1の約400mm前方に貼ってある。これを測定用とは別のブリッジ回路に接続し, その出力を第4図に示す回路の手製の増幅器で増幅してトリガーに必要な電圧を得ている。

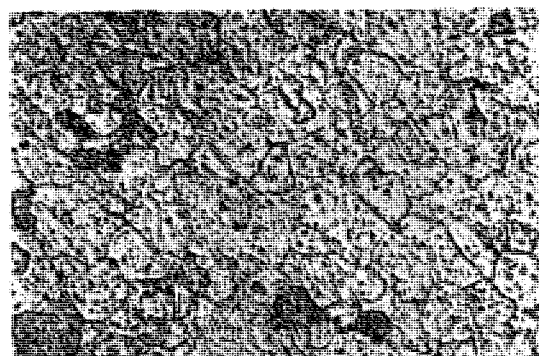
入出力棒の端面と試験片との接触を完全にするために, 両棒の間に試験片をはさんだ後, あらかじめ両棒を軸方向に押し付けてある。この力は試験片の応力にして約0.1kg/mm<sup>2</sup>程度の大きさであるので測定結果には影響をおよぼさない。両棒を押しつけるための装置を示したのが第5図である。すなわち, 両棒の試験片側端面からそれぞれ270mmの位置に直径6mmの小穴を開けて, そこに直

第1表 アルミニウム合金 (JISH5056相当) 化学組成 (重量%)

Cu	Si	Fe	Mn	Zn
0.02	0.14	0.25	0.02	残



(a) 納入材横断面



(b) 焼なまし材横断面

写真2 アルミニウム合金 (JIS H5056相当) 顕微鏡組織 (200倍)

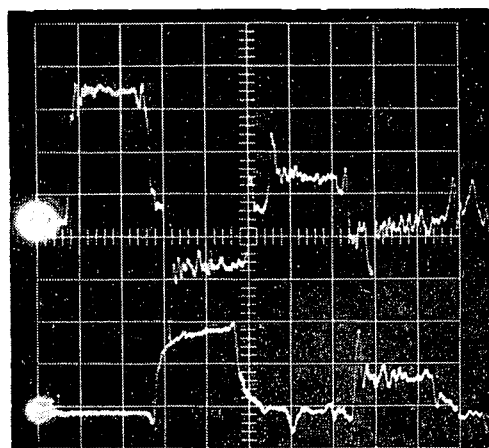


写真3 実測ひずみ波形の1例 (納入材 $V=4.1\text{m/s}$ )

径6mmの軟鋼丸棒を通してある。これにゴム板を介して金具を掛け、この金具をフレームに固定したついでにボルトで固定するようになっている。押しつける力はこのボルトの長さを変えることによって調整する。この装置が測定結果に影響をおよぼさないことは、試験片を取り付けない状態で入出力棒中のひずみ波形を観測して確かである。

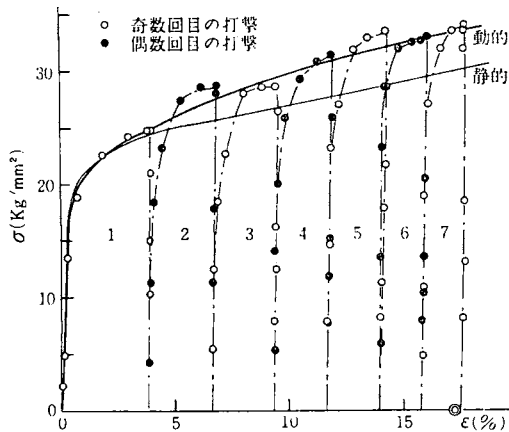
本実験で用いた試験片の形状材質は直径10mm、長さ10mmのアルミニウム合金（JIS H5060相当品）円柱で、その化学組成は第1表に示すものである。アルミニウム合金試験片の端面は旋盤仕上げの後500番のエメリー紙でみがいてある。なお、参考までに直径7mm高さ10mmのS22C材試験片も用いたが、この端面は研削仕上げを施してある。写真2は本実験に使用したアルミニウム合金の顕微鏡組織である。

写真3は上述のような装置によってひずみゲージG1およびG2で測定されたひずみ波形の1例を示したものである。このような実測波形に基づいて式(6)、(7)および(8)から試験片のひずみ速度、ひずみおよび応力を求めた。

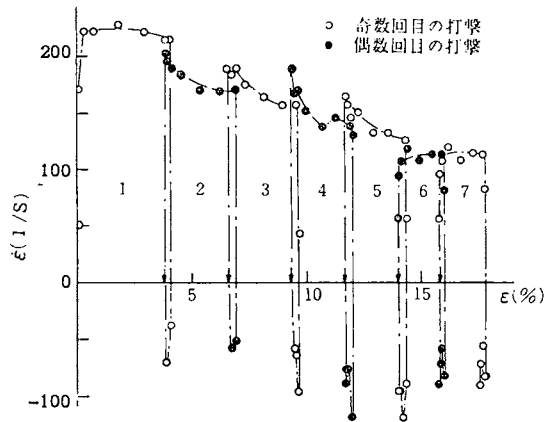
#### 4. 実験結果

##### 4.1 アルミニウム合金（JIS H5056相当）納入材

第6図はアルミニウム合金（JIS H5056相当）納入材（以下納入材と称する）の応力 $\sigma$ とひずみ $\epsilon$ の関係の1例を打撃棒の速度 $V=4.9\text{m/s}$ の場合について示したものである。図中の数字は衝撃負荷の繰返し数であり、一点鎖線は各繰返しごとの $\sigma$ - $\epsilon$ 関係を示し、実線は負荷初期と除荷時を除く平均的な位置を目測でつらねたものである。比較のためにアムスラー型試験機による静的圧縮試験



第6図 繰返し衝撃圧縮による応力-ひずみ関係  
(納入材 $V=4.9\text{m/s}$ )



第7図 繰返し衝撃圧縮によるひずみ速度-ひずみ関係  
(納入材 $V=4.9\text{m/s}$ )

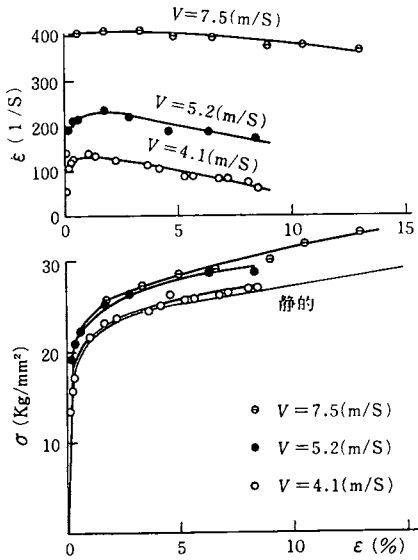
の結果を細線で示してある。これらを比較すると、ひずみが約3%以下の場合には動的な結果と静的な結果とはほぼ一致するが、ひずみがこれ以上になると動的応力の方が大きくなっている。

なお、図中横軸上の二重丸印は試験終了後に試験片軸方向の寸法変化を測定して得られたひずみであり、本法による計算結果とよく一致している。

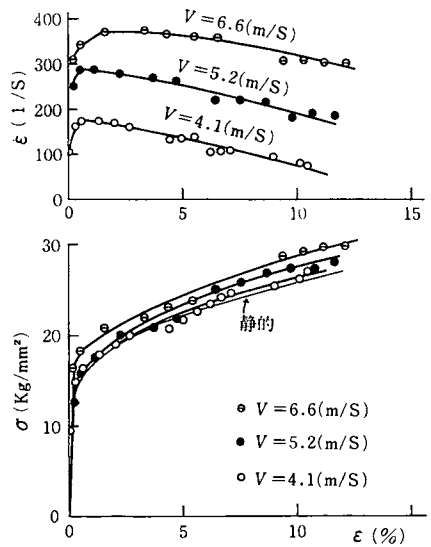
第7図は第6図に対応するひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ とひずみの関係を示したもので、図中の矢印の位置は各負荷終了時のひずみを示している。同図において負荷初期時と除荷時を除くひずみ速度の上限に注目すれば、ひずみ速度の範囲は $450\sim 250\text{s}^{-1}$ となり、この範囲で第6図の応力とひずみの関係が求められたことになる。このような応力、ひずみおよびひずみ速度の関係を打撃棒の速度を変えて求めたものをまとめて示したのが第8図である。同図において下が応力 $\sigma$ を上がそれに対応するひずみ

速度 $\dot{\epsilon}$ を示す。動的な結果はいずれの場合も静的な結果よりも高い応力を示す。

4.2 アルミニウム合金 (JIS H5056相当) 焼なまし材



第8図 応力-ひずみ関係 (納入材)



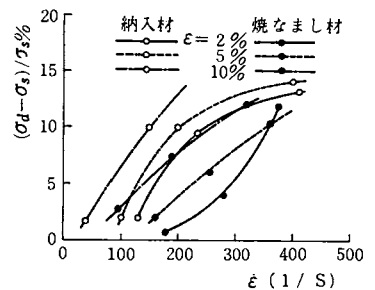
第9図 応力-ひずみ関係 (焼なまし材)

納入材を350°Cで30分間真空中で焼なまししたもの (以下焼なまし材と称する) の応力、ひずみ、ひずみ速度の関係を示したのが第9図である。この材料は納入材に較べて約10%低強度となる。これらの傾向は第8図の場合とほぼ同様であるが、ひずみ速度依存性は納入材に比較してわずかに低いようである。

5. 考 察

5.1 ひずみ速度依存性

ひずみ速度依存性を知るために第8, 9図より納入材と焼なまし材について、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ と同一ひずみに対する応力の増大量 $(\sigma_d - \sigma_s) / \sigma_s$ との関係を調べると第10図のようになる。ここで、 $\sigma_s$ は静的応力、 $\sigma_d$ はそれに対応する動的応力である。ひずみ $\epsilon$ は2, 5および10%をとってある。ひずみ速度が大きいほど同一ひずみに対する応力の増大量は大きくなり、また、ひずみが大きいほど動的応力は大きくなるようである。また、納入材の方が焼なまし材よりもわずかに大きいひずみ速度依存性を持つことがわかる。



第10図 ひずみ速度による応力の増分

通常この種のひずみ速度依存性に関する実験の関係は、一定ひずみに対して

$$\sigma_d - \sigma_s = \sigma_1 \log \dot{\epsilon}$$

または 
$$\frac{\sigma_d - \sigma_s}{\sigma_0} = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \log \dot{\epsilon}$$

(12)

で表わされることが多い。ここで、 $\sigma_0$ および $\sigma_1$ はひずみ $\epsilon$ による定数である。本実験の場合、ひず



み速度の範囲が  $(100\sim 400) \text{ s}^{-1}$  であること、実験点が少ないことなどのために広範囲のひずみ速度領域を網羅するものではないが  $\epsilon=5\%$  のときの  $\sigma_0$  と  $\sigma_1$  を求めると  $\sigma_0=13 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_1=4.4 \text{ kg/mm}^2$  したがって  $\sigma_1/\sigma_0=0.34$  となる。一方、アルミニウムに関する Lindholm<sup>(6)</sup> の結果によれば  $\epsilon=6\%$  で  $\sigma_0=8.54 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_1=0.311 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_1/\sigma_0=0.0364$  となっている。 $\epsilon=5\%$  と  $6\%$  ではほとんど差がないので、 $\sigma_1/\sigma_0$  の値で比較すれば本実験で用いた材料の方がひずみ速度依存性が大きいことになる。

5.2 動的変形と静的変形とによる硬さ変化

第10図から明らかなように、本実験の範囲では静的応力に比較して動的応力はただか15%程度大きくなるにすぎないが、動的変形抵抗は静的な場合と明らかに相違することになる。そこで、この

第2表 静的圧縮と動的圧縮による硬さHv (10) の変化

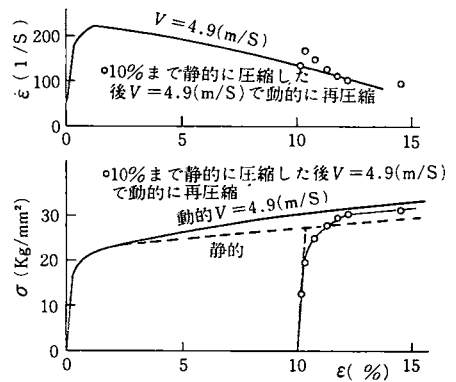
負 荷	試験片番	ひずみ $\epsilon$ (%)	硬さの増大値 $\Delta H_v$	硬さの増大値の平均	備 考 (負荷条件)
静 圧 縮	1	9.8	4.6	4.6	
	2	10.0	4.6		
動 圧 縮	3	10.0	4.1	3.3	V=6.0m/sで 2回衝撃
	4	10.0	2.3		
	5	10.4	2.8		V=5.2m/sで 4回衝撃
	6	10.4	4.6		
	7	9.8	2.6		V=4.1m/sで 6回衝撃

ような相違をさらに確認するために、ひずみを与えると硬さが増大することに注目して、動的負荷の場合と静的負荷の場合の硬さ変化を測定した。第2表はその結果を示したもので、ひずみ量は約10%とした。硬さはピッカース硬さ計を用いて試験片側面で測定した。納入材の硬さはピッカース硬さHv (10) で89.5である。第2表によれば、静的な場合の硬さの増大値は4.6であり、動的な場合の3.3よりも大きくなる。すなわち、同一ひずみに対する動的負荷には静的負荷に比較して大きな応力を必要とするが硬さは小さくなることわかる。

Campbellら<sup>(7)</sup> の炭素鋼のすべり線に関する同様な結果より推定すれば、すべり線の観察は困難であったが、本材料でも静的負荷の場合の方が巨視的すべり線の数が多いと考えられる。すなわち、硬さの増大割合が高ひずみ速度領域でひずみ速度の増大とともに減少するという現象は、すべり変形をする金属に共通なものと考えられる。また、すべり線の大小が材料内の転位密度の大小に対応するとすれば、静的に荷重された方が転位密度は大きくなることになる。

5.3 ひずみ速度履歴に関する検討

第8, 9図は繰返し動的負荷を与えた結果をつなぎ合せたものであるから、繰返しによるひずみ速度履歴の影響を受けていると考えられる。一方、静的な場合はひずみ速度履歴の影響はなく、同図の静的結果は繰返し静的負荷を受けたものとも考えることもできる。そこで、動的応力に対してもひずみ速度履歴の影響がないとすれば、



第11図 動的負荷と静的負荷の比較 (納入材)

静的負荷の後に動的に再負荷して一定のひずみに達したときの応力と、最初から動的に負荷してそのひずみに達したときの応力とは、両者のひずみ速度が一致すれば一致することになる。このことを検討するために納入材を用いて実験を行なった例が第11図である。

同図において、白丸は静的に10%のひずみを与えた後に動的に再負荷した場合の結果で、実線は最初から動的な場合を示している。動的再負荷の応力は、ひずみ速度がほぼ同一であるにもかかわらず、負荷初期を除き動的な場合と静的な場合の中間にある。このような傾向は他の材料についても認められており、測定誤差がいくぶん含まれるかも知れないが妥当なところであろう。このような現象の原因を微視的な立場から考察することは困難であるが、定性的にはつぎのような説明を試みることができる。すなわち、転位論によればせん断応力 $\tau$ とせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ との間には転位密度を $\rho$ として

$$\tau = C b \rho \dot{\gamma}^m \quad (13)$$

の関係がある。ここで、 $b$ はバーガースベクトルの大きさ、 $C$ および $m$ は定数である。したがって、 $\dot{\gamma}$ を $\dot{\epsilon}$ 、 $\tau$ を $\sigma$ に対応させれば上式は

$$\sigma = \text{const } \rho \dot{\epsilon}^m \quad (14)$$

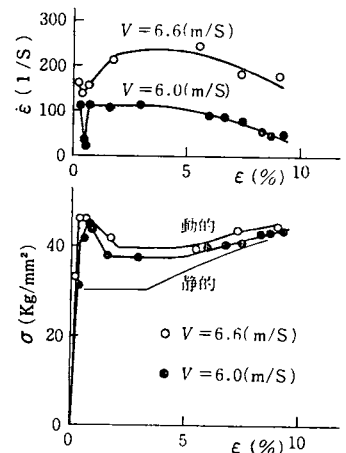
となる。一方、5.2節では静的負荷の場合すべり線の増大に対応する硬さの増大は動的な場合より大きく、したがって、静的に負荷した方が転位密度も大きくなると推定した。それゆえに、静的に負荷した後動的に再負荷した場合は、最初から動的に負荷した場合より $\rho$ が大きいと考えられるから、式(14)より $\sigma$ が同一であっても $\dot{\epsilon}$ は小さくなることになる。

以上のことから、第8、9図のように変化するひずみ速度のもとにおける応力-ひずみ関係をもとにして得られた第10図は、厳密に言えば一定ひずみに対する応力とひずみ速度の関係を一義的に表わすものではない。しかし、本実験のように負荷中のひずみ速度の変化がそれほど大きくない場合には、第10図のような一定ひずみにおけるひずみ速度と応力の関係を求めても、含まれるひずみ速度の影響は極めて小さいと考えられる。

#### 5.4 炭素鋼の結果との比較

常温であまりひずみ速度依存性がないとされている面心立方格子金属、たとえばアルミニウム、銅、鉛などに比較して、炭素鋼はひずみ速度依存性が大きいといわれている。そこで、本実験に用いたアルミニウム合金と炭素鋼との相違を概略知るために行なった実験結果が第12図である。

この材料は市販 S22C 材を900°Cで1時間真空中で焼なましたもので、動的な場合も静的な場合も上降伏点と下降伏点を持ち、ひずみが約5%の範囲内でその挙動はアルミニウム合金の場合と明らかに異なっている。すなわち、S22C材ではひずみ速度が(100~200) s<sup>-1</sup>の範囲内でひずみ速度が大きいほど一定ひずみに対する応力が大きくなるのはアルミニウム合金の場合と同じであるが、5%ひずみに対応する応力は静的応力より(10~15)%大きく、また、下降伏点では(23~31)%も大きくなる。アルミニウム合金との相違は負荷初期のひずみが5%以内の範囲で特に顕著である。この結果についてさらに詳しく考察することは次報にゆずりここでは以上の結果を述べておくにとどめる。



第12図 応力-ひずみ関係 (S22C焼なまし材)

## 6. 結 言

一次元弾性波伝ば理論に基づく Hopkinson bar 法によって、スプリングを用いて直径20mm長さ500mmの軟鋼丸棒を(3.7~7.5) m/s の速度で打ち出す衝撃圧縮試験装置を試作した。

この装置によってアルミニウム合金(JIS H5056相当)のひずみ速度約400s<sup>-1</sup>までの応力-ひずみ関係を求め、動的負荷と静的負荷に対する力学的挙動を考察した。その結果、納入材、焼なまし材ともに公称ひずみが約10%の範囲で同一ひずみに対する応力はひずみ速度が大きいほど大きくなる。納入材の方がひずみ速度依存性が大きく、ひずみ5%ひずみ速度400s<sup>-1</sup>での応力は静的応力と比較して約15%大きかった。また、納入材に10%のひずみを静的に与えた場合と動的に与えた場合の硬さ変化を測定した結果、動的の方が静的な場合より硬さが小さかった。

おわりに、本研究を行なうにあたり、本学 米谷茂教授にはご指導ご鞭撻をいただき、また本学技官 田上繁、昭和47年度卒業研究学生 山田広、吉岡恒次の諸君に協力を得たことを付記し、感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) F. E. Hauser, *Exper. Mech*, 16-8 (1966), 395.
- 2) 田中, 日本機械学会誌, 169-575 (昭41), 1594.
- 3) J. Duffy・ほか2名, *Trans. ASME, Ser. E*, 93 (1971), 83.
- 4) E. D. H. Davies & S. C. Hunter, *J. Mech. Phys. Solids*, 11 (1963), 155.
- 5) 岸田・千田, 日本機械学会論文集, 37-297 (昭46), 875.
- 6) U. S. Lindholm, *J. Mech. Phys. Solids*, 12-5 (1964), 317.
- 7) Campbell & Duby, *Proc. Roy. Soc. London, Ser A*, 239 (1956), 24.
- 8) 茶谷, 機械の研究, 23-12 (昭46), 1625.

(昭和48年5月19日受理)