

マイクロメータ・ヘッドを用いた精密材料変形装置の試作

Apparatus for Precise Deformation Tests using Micrometer Head

鈴木 敬愛*・岡本 伸英**

Takayoshi SUZUKI and Nobuei OKAMOTO

1. ま え が き

固体の定速変形試験には、通常インストロン型と呼ばれる材料試験機が用いられる。この型の試験機は、2本のネジ竿を定速回転することにより、クロス・ヘッドを定速度で上下動させるもので、モータの回転数と減速比を変換することにより、 10^{-2} mm/min \sim 1 m/min の範囲の速度を得ることのできるものが多く市販されている。しかし、この種の試験機は一般に容量が大きく、次節で記述するような精密な実験には適さない。その理由の第一は、モータおよび減速装置から発生する雑音と振動、それらの共振である。第二は、クロス・ヘッドの移動速度の不整で、これはネジ竿のピッチ、加工精度、クロス・ヘッドとの咬み合いの具合等に関係して生じる。これらは、容量の大きな試験機では、低減することの困難な問題である。しかし、試験荷重が数 kg と小さい場合には、マイクロメータ・ヘッドを利用することにより、振動の少ない、変形速度の安定な試験機を作ることができる。以下に、その試作について報告する。

2. 研究目的と設計仕様

固体の変形機構を理解するために、その変形応力の温度依存性や歪速度依存性についてのデータが重要である。図1に歪速度変化によって変形応力が変化する様子を模式的に示した。一般に変形応力は歪速度に敏感ではなく、歪速度が10倍変化しても、変形応力の変化は数%ないしそれ以下であることが多い。純度のよい面心立方金属¹⁾やCsCl型のイオン結晶^{2,3)}は極低温まで軟らかく、100 g/mm²程度の応力で変形し、歪速度を10倍変えたときの応力変化 $\Delta\sigma$ は、温度によっては0.1 g/mm²以下の微量にもなる(歪速度を100倍変えたとしても $\Delta\sigma$ は約2倍になるに過ぎない)。このような微小な応力変化を測定することによって、転位の運動論において重要な知見を得ることができる。

試料の断面積を約10 mm²、長さ10 mmとすると、変形荷重は1 kg、 $\Delta\sigma\sim 0.1$ g/mm²まで測定するとすれば、

* 東京大学生産技術研究所 第1部

** 東京大学生産技術研究所 試作工場

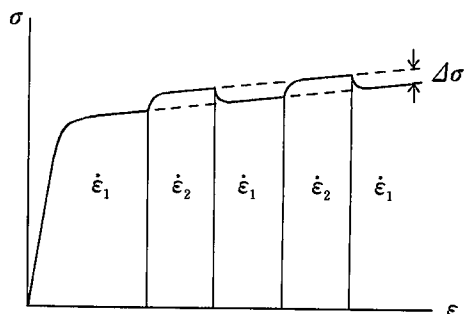


図1 歪速度 $\dot{\epsilon}$ の変化によって生じる変形応力 σ の微小変化 $\Delta\sigma$ 。 $\dot{\epsilon}_1 < \dot{\epsilon}_2$

少なくとも荷重の測定精度は1 g以上を要する。歪速度は、記録計の応答速度、試料の温度上昇等を考慮して 10^{-3} sec⁻¹以下でなければならぬので、変形速度としては0.05 mm/minおよび0.5 mm/minとする。この二つの速度の間の切り換えは、クラッチ等の機械的操作は行わず、モータの回転数を変えて行うことが望ましい。

3. 設計と製作

上述のような仕様で、できるだけ振動の少ない静かな駆動装置を試作するために、マイクロメータ・ヘッドを利用する。マイクロメータ・ヘッドには多くの種類があるが、スピンドル直進であって、ネジのピッチが小さいほどよい。しかし、数 kg の力に耐えるものでなければならぬのでピッチ0.5 mmのものを用いる。

モータとしては、速度が一桁可変であって、振動や雑音の少ないことが要求される。ステッピング・モータの使用を検討したが、これは振動が大きくて使えない。サーボ・モータは制御回路を製作しなければならないので、後の課題として、ここでは速度可変形の交流インダクション・モータを用いることとした。回転数は約100—1500 r.p.m.の範囲で連続可変であるが、150と1500 r.p.m.の2速にスイッチで切り換えるようにし、1/1500の減速機を通して0.1と1 r.p.m.でマイクロメータ・ヘッドのシンブルを回転することにより、0.05および0.5 mm/minの送り速度を得る。

今回試作した装置を図2に示す。構造は6 W インダク

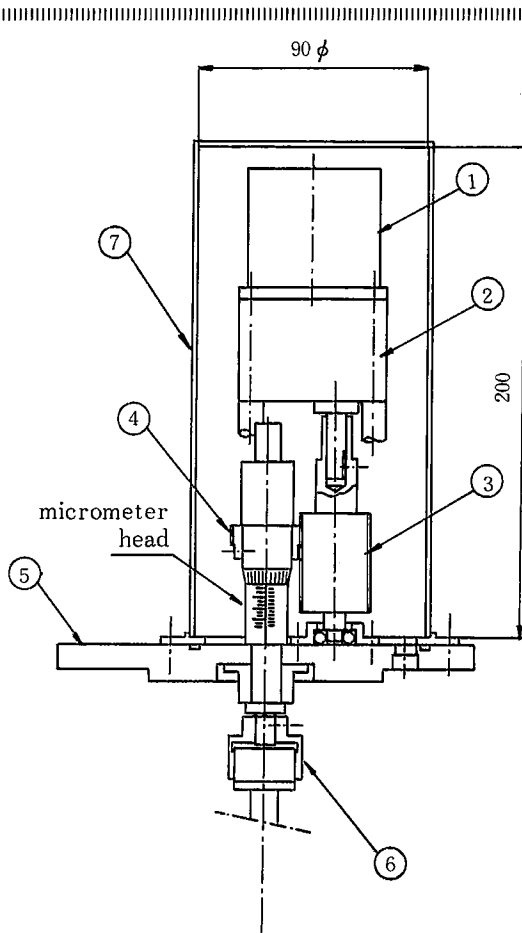


図2 マイクロメータ・ヘッドを用いた精密駆動装置の構造

- ①速度可変形交流インダクション・モータ
- ②1/1500減速機
- ③, ④歯車
- ⑤基板
- ⑥ボール・ジョイント
- ⑦真空容器

ションモータ, 1/1500 減速機, ストローク 25 mm の直進形マイクロメータ・ヘッドからなっている。モータ①を減速機②により 1/1500 に減速し歯車③に回転を伝える。マイクロメータ・ヘッドに取りつけられた歯車④は回転しながら歯車③を上下移動する。マイクロメータ・ヘッドは基板⑤に固定され、スピンドルはボールジョイントを介してロードセルに連結される。歯車③は上部をモータ軸に下部を自動調心形ベアリングで支持されている。動力伝達を歯車駆動にした理由は次の観点からである。一般的にモータ軸と負荷軸を接合するとき、大別して直結法と間接法に分けられる。前者はベローズカップリングなどの軸継手を使用する場合で、後者はモータ軸と負荷軸の間に歯車やタイミングベルトを介して動力を伝え

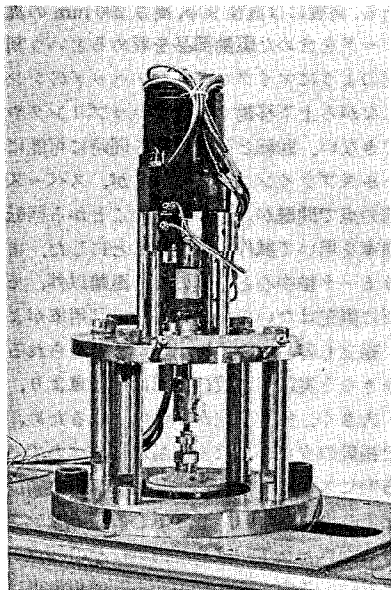
る方法である。装置には直径 90φ, 高さ 200 mm の真空容器⑦内にモータを含めた駆動部品を収めるという制約があり、上記のようにマイクロメータ・ヘッドのシンプル部は回転しながら上下移動するのでカップリングやベルトは使用できない。回転と直線運動を同時に可能にする機構にボールスプラインが考えられるが、スペース、コスト、納期の点で問題がある。以上のことから回転、直線運動を歯車を用いて試作してみることにした。また、歯車駆動はモータ軸中心と歯車の中心距離以外、モータの設置場所に限定はないのでスペースの利用率がよくなり、工作、組立も容易で装置を小型にまとめられる。振動や騒音をさくろう実験用装置の歯車は平歯車より、かみ合い率が大きく、歯が順次かみ合いに入るため、滑らかな回転で振動の少ない、はずば歯車にすべきである。しかし軸方向にスラスト荷重を生じたり、組立精度をあげる必要がある、すでに 0.07 mm 偏心のあるシンプル部に取りつける歯車として、はずば歯車はその利点を、十分発揮できない。このような理由から、使用歯車は工作が簡単な平歯車とした。モジュール (M) は伝達トルクが小さいので 0.5 とし、バックラッシュは普通、歯車の製作誤差や関係部品の誤差に対する逃げ、あるいは温度変化、潤滑の面から 0.05M~0.1M にするが、今回は最少部で 0.03M~0.05M を目安にした。バックラッシュをつける方法は、歯車の歯厚をやせさせる方法と、中心距離を大きくする方法があるが、調整のしやすさから後者で行うことにした。設計、製作にあたり、マイクロメータ・ヘッドを利用するという着想に基づき、必要最小限の部品数で、実験の進行に伴い融通性のある装置になるよう注意した。

4. 試験結果

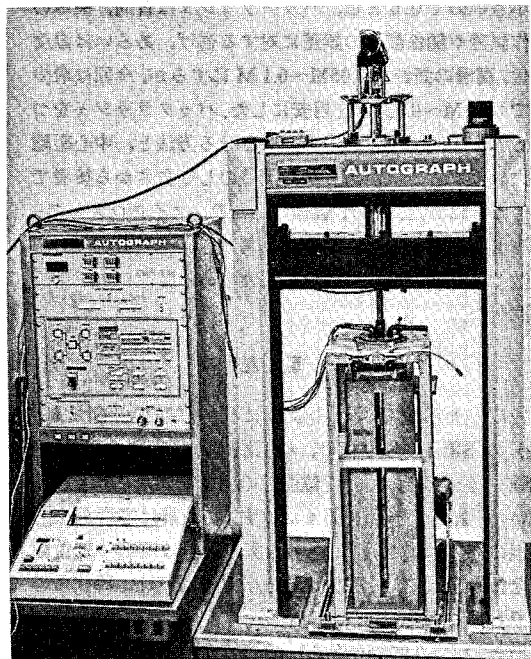
完成した装置は図3のように材料試験機(容量 500 kg)の頭頂部に取り付け、極低温における CsBr の圧縮試験を行った。荷重-変位曲線の精密な測定に本装置を用いた。記録の一例を図4に示す。荷重計は容量 10 kg、試料の温度は約 20 K である。図4(a)は荷重-変位曲線全体の記録で、最初 0.05 mm/min で変形し、降伏後の容易じりの領域において変形速度を 0.5 mm/min に切り換え、再び 0.05 mm/min に戻した。この変形速度の変化に伴う応力変化を 10 倍に拡大した記録が図4(b)である。比較のために、材料試験機のクロス・ヘッドを用いて行った同様の記録を図4(c)に示す。本駆動装置によって、振動による応力変動の振幅は約 2g、すなわち、通常材料試験機を用いた場合の 1/10 に低減し、所期の仕様をほぼ達成することができた。

この装置をさらに改良して測定精度を向上させるため

研 究 速 報



(a) 精密駆動装置の本体



(b) 材料試験機頭頂部に取り付けた駆動装置. 液体ヘリウム恒温槽の中で圧縮変形を行う

図 3

には、(1)インダクション・モータに代えてサーボ・モータを用いる。(2)差動マイクロメータ(1回転0.025 mm)を用いて歯車による減速比を軽減することが考えられる。一方、荷重計、歪計を含む荷重の測定精度を向

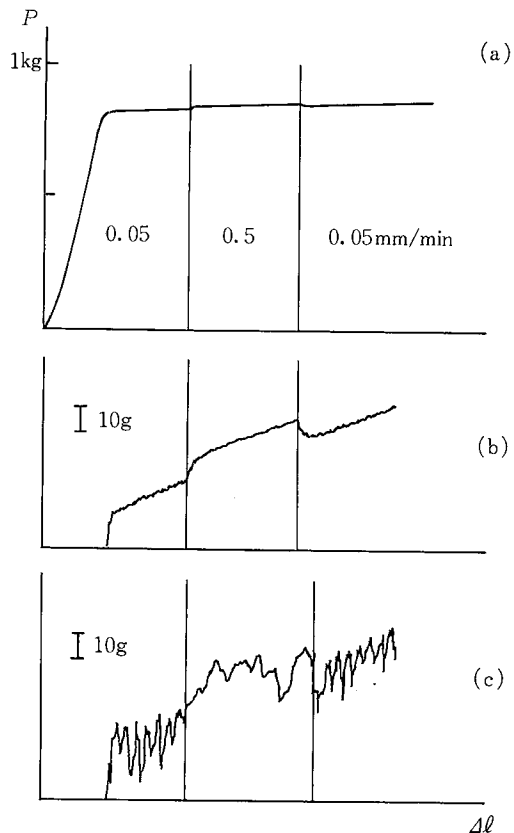


図 4 CsBr 単結晶の 20 K における圧縮試験の記録
 (a) 荷重 P と変形量 Δl の関係 (応力-歪曲線)
 (b) 変形速度の変化による応力変化の拡大記録. 本駆動装置による
 (c) 同じく、500 kg 材料試験機による場合

上させることも必要である。

おわりに、本装置の試作にあたり、助言をいただいた本所試作工場の古屋七郎氏、ならびに、製作を担当して下さった試作工場の職員諸氏に感謝いたします。また、容量 10 kg の小形荷重計は第 1 部材料実験室の小倉公達、長谷部秀二の両氏によって製作されました。本装置の試験測定は小泉大一氏によって行われました。これらの諸氏に感謝いたします。

(1982 年 9 月 13 日受理)

参 考 文 献

- 1) A. Fuith, B. Wielke and G. Schöck : Z. Metallkunde 72 (1981) 295
- 2) S.N. Komnik, S.N. Smirnov and Ya. A. Zakharin : Soviet Phys. -Solid State 15 (1974) 1482
- 3) T. Suzuki and H. Koizumi : Phys. stat. sol. (a) 74 (1982) No. 2 (in printing)