

## 精密送り機構の試作と小型材料試験機への応用

Precise Feed Mechanism for Materials Testing Machine

鈴木 敬愛\*・岡本 伸英\*\*・古屋 七郎\*\*

Takayoshi SUZUKI, Nobuei OKAMOTO and Shichiro FURUYA

### 1. ま え が き

固体材料の強度や機械的性質を測定するために行われる変形試験の一般的方法の一つは、試験片に一定速度の変形を行いつつ荷重（応力）の変化を記録するものである。そのために用いる定速駆動型の材料試験機のクロスヘッドは図1のように動くことが理想的である。すなわち、静かに定速度で上昇運動し、反転した後、ただちに同じ速度（または、別の速度でもよい）の下降運動に移ることである。定速駆動型の材料試験機として市販されている多くの装置は、図2のような2本の送りネジを用いる機構を採用している。これをインストロン<sup>\*)</sup>型と呼んでいるが、クロスヘッドの送り速度はモータの回転数や歯車の減速比によっていろいろに設定できるようになっている。インストロン型試験機の機構上の特徴は、クロスヘッドの送りに2本のネジを用い、同時にこれが案内の役を兼ねていることである。そのため、工作精度を要する部分が、ネジとその取り付け部分だけでよく、また、案内を用いないので長いスパンの送り（普通約1m）が比較的容易である。しかし、インストロン型試験機の大きな欠点は、クロスヘッドの運動方向を反転させた時に現れる動きの不整である。図3は市販のインストロン型試験機に変位計を取り付けて測定したクロスヘッドの動きである。モータを逆転した時、クロスヘッドはすぐ

には正常な反転運動を開始せず、一度複雑な上下運動を行った後に次第に所定の定速運動に移る。このような反転時の不整動は、モータ（したがって送りネジ）の逆転に際して、クロスヘッドに働く曲げモーメントやねじり

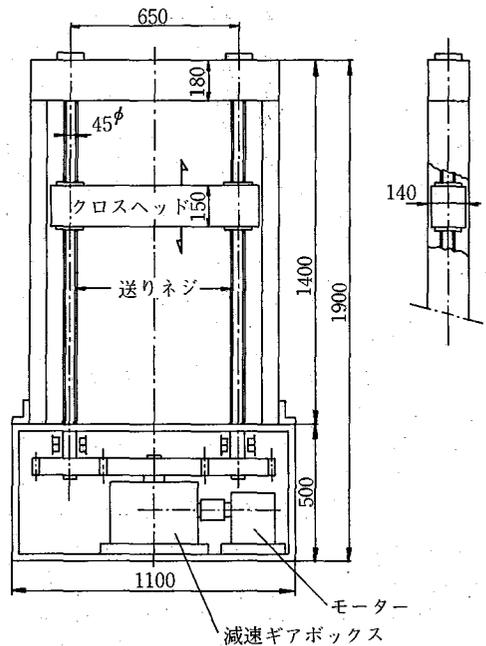


図2 インストロン型材料試験機の構造

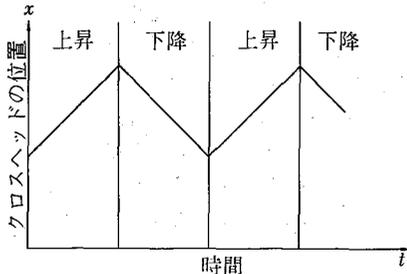


図1 定速駆動型材料試験機の理想的動き

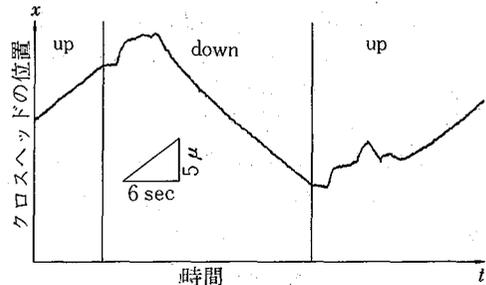


図3 インストロン型材料試験機のクロスヘッドの動きの実測例

\* 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

<sup>\*)</sup> Instron, 米国の会社名

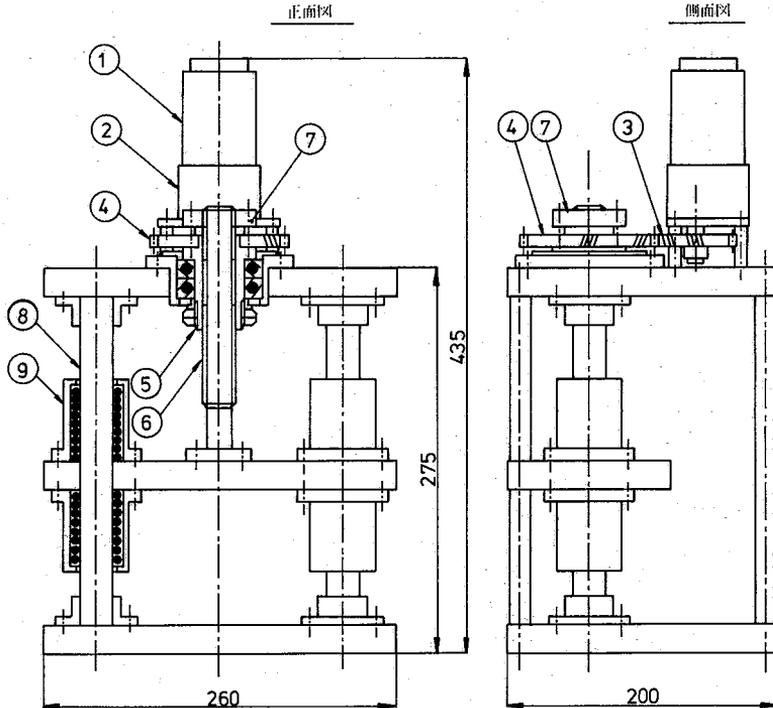


図4 精密送り機構の構造 ①モータ ②減速機 ③,④はすば歯車 ⑤送りネジ用回転ナット ⑥送りネジ ⑦補助ナット ⑧案内軸 ⑨リニアボールベアリング

モーメントの向きが変わるために、また2本の送りネジが完全に同時に反転しないために、クロスヘッドがわずかながら方向を変えるために生ずる。この障害は、クロスヘッドと送りネジのかみ合いの調整等によってある程度軽減することができるが、根本的には2本の送りネジが案内の役を兼ねていることから生じる欠点である。

著者ら<sup>1)</sup>は、すでに、マイクロメータ・ヘッドを送りネジとして利用することにより、精密な変形装置を試作したが、それは試験荷重が数 kg 以下と小容量なために試験対象の限られたものであった。種々の材料の定速変形試験を行うためには、より大きな荷重に耐え、かつ、図1のような理想的動作特性に近い装置が必要である。近年、リニアボールベアリングを使った、精度のよい、転がり案内が入手しやすくなったので、これを案内として利用し、送りネジは一本でかつ回転しない構造とすることにより、理想的な動作に近い特性の送り機構を作ることができると期待される。以下に、その試作および試験の結果を報告する。

## 2. 設計方針

材料試験機の载荷能力、送り機構のストロークと移動速度は、変形試験の目的と方法によって異った仕様を要

求される。ここでは、試作の第一歩として、できるだけ簡単な仕様とすることにした。载荷能力は 50 kg を目安としたが、断面積  $1 \text{ mm}^2$  程度の試験片の引張り変形にはこれで十分である。試験片の長さが数 10 mm とすれば、クロスヘッドのストロークは 50 mm あれば十分である。クロスヘッドの移動速度は、著者(鈴木)らが行っている材料物性の研究に用いるためには、低速でかつ 10 倍程度の速度切り換えが必要であるので、 $0.05 \sim 0.5 \text{ mm/min}$  に設定できることとした。

前述のような、インストロン型試験機に特有の欠点を持たない送り機構を製作するために、次の方針を採ることとした。①送りネジは1本とする。②送りネジはクロスヘッドに固定されて回転しない構造とする。したがってネジの送りはナットの側を回転することによって行う。③クロスヘッドには専用の案内軸を設ける。これは、ストロークが 50 mm と比較的短いことと、試験荷重も小さいので、可能と思われる。

## 3. 設計と製作

上記の設計方針にもとづいて設計、試作した送り機構の構造を図4に示す。また、特に設計、製作上注意の払われた送りネジと回転ナットの部分を図5に示す。

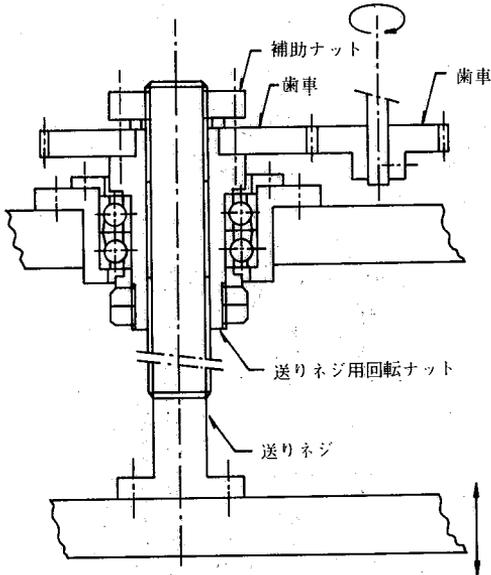


図5 送りネジと回転ナットによる送り機構

構造としては動力源にスピードコントロールモータ 6W ①を用い、モータ軸に直結した 1/1500 減速機②により、回転数 0.1~1.0 r.p.m. の範囲に減速される。さらにモジュール 0.5、はすば角 15° のはすば歯車③、④によって 1/2 に減速している。このはすば歯車④は送りネジ用回転ナット⑤に固定されている。ネジの形状はピッチ 1mm の角ネジとし、ナットの回転により送りネジ⑥、(クロスヘッドに固定される)を微小な速度で上下移動させる機構になっている。なお、送りネジ用回転ナットと送りネジとの精度を保つため補助ナット⑦を用いて必要に応じてバックラッシュの調整ができるようにしてある。また案内軸⑧と、リニアボールベアリング⑨のすき間は数  $\mu$  以内であり、モーメント荷動にも対応できるようなベアリングの長さも十分とてある。

設計、製作にあたっての留意点を以下に記す。

### 1) 動力伝達歯車

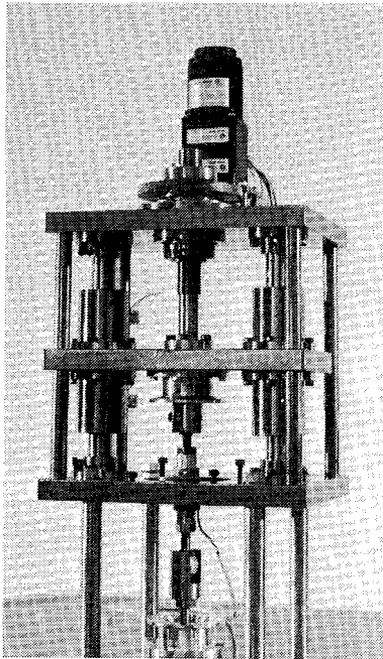
研究室で使用する実験装置の動力伝達方法としては、精度、保守、装置の小型化等を考慮すると歯車を用いるのが得策である。種々の歯車の中から本装置では、はすば歯車を採用することにした。それは、なめらかな伝達ができることと、ねじれ角の範囲で軸間距離を調整できることが、組立の上で都合だからである。一方、はすば歯車のねじれは、軸方向のスラスト荷重を生じるという欠点をもつ。本装置では減速機の構造上、軸に作用するスラスト荷重を 3kg 以内に制限されているので作用荷重が大きくなれば減速機軸にスラスト荷重対策が必要となる。

### 2) 軸 受

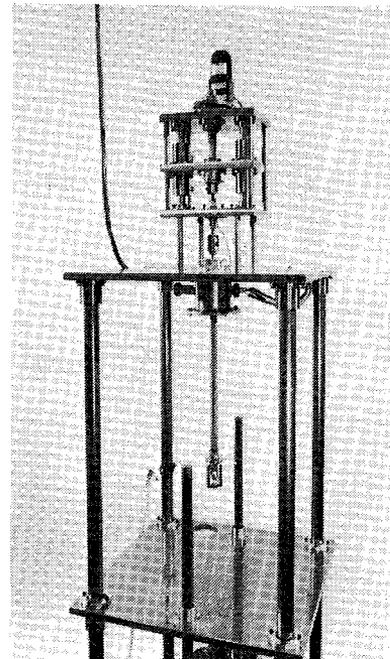
本装置では作用荷重に加え、軸受部分での送りネジ用回転ナットの心振れを防ぎ、しかも摩擦を小さくおさえて円滑な作動をさせることが必要である。これらを考慮すれば軸受として転がり軸受を用いることが望ましい。用途別にさまざまな使い方があがるがネジに作用するスラスト荷重を考慮しても特に形式にこだわる必要はなく、一般的な深みぞ形転がり軸受でも十分である。しかしこのタイプでは軸方向すき間が大きく、例えば軸径 20  $\phi$ mm の場合、普通級では 80  $\mu$ ~160  $\mu$  であるため軸方向すき間を最小にしたい目的にはそぐわない。このことから今回は送りネジ用回転ナット部分に組み合わせアングュラ転がり軸受を用いることとした。この場合組み合わせ形は正面組合せと背面組合せがあるが、試作機械であることから軸の変形や取り付け誤差に順応しやすい、しかも自動調心軸受形に近い構造になる正面組合せ形とした。転がり軸受は観念的に高速回転、高荷重用として優れているように考えられるが反面、低速において静かに円滑に回転させることも重用な要素である。本装置のような試作機械では計画どおりの作動や目的にかなった精度が得られない場合を想定し軸受部分の分解組立や調整が容易にし得る構造とすることが設計段階で必要なことがらである。また高精度を要求される機械部品として転がり軸受は廉価であり、互換性に富むことから消耗品の発想をもって設計に取り入れられる。ただし精密を要する機械においては、はめ合いに注意する必要がある。たとえばベアリングケースと外輪との間にすき間が生じた場合滑り現象が起り摩擦による金属粉が軸受内部に入り転動体や軌道面に損傷をきたす。本装置では回転が遅いので、そのような現象は考慮しなくてもよいと判断し、はめ合いすき間は 0.01mm とした。

### 3) 送りネジ

回転を上下動に変換する送り機構としては、ネジがしばしば使われる。その代表は台形ネジと角ネジであり、この他、近年ではボールネジの開発が進み高精度を要求される装置に多く用いられている。ボールネジは送り精度が高いことや摩擦低抗が小さいなど優れているが、抵抗の小さいことがネジのもつ逆転防止の特徴を失っている。また周辺部品の機械加工精度との関連でボールネジ本来の精度を生かしきれず安易には利用できない。単なる円滑さを必要とする機械には産業用ボールネジがあり、納期や価格の点では便利であるが、累積リード誤差が  $\pm 0.4$  mm/300 mm と精度面で問題がある。以上の点を考慮して、本装置では送りネジとして角ネジを用いることとしたが、この部分は、装置の最も重要な部分であり、工作精度を要する部分である。角ネジあるいは台形



(a)



(b)

図6 (a) 完成した精密送り機構 (b) 精密送り機構を取り付けた低温高温用材料試験機

ネジを用いた送り装置や歯車を用いた減速装置では正、逆転時でのバックラッシュが問題となるがこれを零におさえることは技術的に困難である。本装置では補助ナットを用いバックラッシュの調整を可能な構造としたが、まだ不十分な部分があり今後の課題である。

#### 4) 案内軸

本装置では案内軸⑧のもつ役割も大きい。これは送りネジの回転や、振れの防止と円滑な上下移動を保持するためである。したがってリニアボールベアリングと専用軸を使用し転がり案内形式とした。独自に機械加工で作るすべり案内と比して、ベアリングと軸がセットで購入できしかも高い精度が得られること、摩擦抵抗が小さいこと、特に無給油に近い状態でも使用可能なこと、から製作時間の短縮とコンパクトな設計が容易になった。

### 4. 試験結果

完成した精密送り機構が図6(a)である。図6(b)のように架台の上に取り付けて実際の変形試験に使われる。この装置の動作特性を変位計を用いて測定した結果が図7である。モータを逆転したとき、変位に換算して約 $1\mu$ のバックラッシュが見られるが、クロスヘッドはきわめてスムーズに反転運動に入り、所定の定速運動をする。動作中のわずかな振動は、 $1/1500$ の減速ギヤから発生するもので、これを除くためにはサーボモータと遊星歯

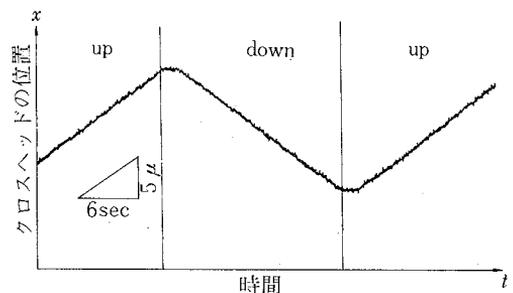


図7 試作した精密送り機構の動作の変位計による測定

車を用いる等の改良が必要である。また、 $1\mu$ のバックラッシュもこの減速装置から生じるものである。したがって、本装置は送り機構としては、きわめて優秀な動作特性を有するものと見なすことができる。

### 謝 辞

本装置の製作にあたり、本所試作工場の製作スタッフ諸氏の協力を負うところきわめて大でありました。感謝の意を表します。装置の試験は、本所第一部の小泉大一助手によって行われました。(1983年9月13日受理)

### 参考文献

- 1) 鈴木敬愛, 岡本伸英: 生産研究 34 (1982) 526.