

ストレインゲージによる電動機のトルク測定装置の試作

長谷川 誠 一・田 畑 季 章

On Trial Manufacturing of Apparatus for Measurement of Motor Torque by Strain Gauges

Seiichi Hasegawa, Toshiaki Tahata

(昭和51年10月31日受理)

1. まえがき

一般に、原動機から負荷に動力を伝達する伝動軸はねじり作用を受ける。原動機の発生したねじりモーメントは伝動軸内部に生ずる抵抗モーメントとつりあい、あるねじれ角のもとで回転する。この場合、伝動軸に生ずるせん断ひずみは軸表面で最大となる。このひずみは伝動軸に作用するねじりモーメントに比例するもので、これを検出すると軸伝達トルクが測定できることになる。

筆者らは前報¹⁾において、動力計の揺動外わくに作用する力をストレインゲージで検出し、間接的に電動機の瞬時トルクを測定する方法について報告した。この方法は簡便であるが、電動機以外の機械系の振動をひろいやすく、SN比が悪いという欠点があった。

今回は前述の原理に基づく電動機の軸トルクを、ストレインゲージによって直接伝動軸上で検出する装置を試作した。その結果、電動機の発生トルクに忠実な瞬時ト

ルクの測定ができることがわかった。

2. 試作装置

2-1 構成

第1図は試作装置の構成を示したものである。供試機のトルクは伝動軸を経て動力計に伝達される。供試機を運転中、動力計によって制動をかけると伝動軸は前述のねじり作用を受け、軸にせん断ひずみを生ずる。このひずみを、軸表面にはりつけたストレインゲージのブリッジにより電圧に変換し、動力計軸端のスリップリングを通じて外部に取り出した。ブリッジの出力電圧はシングルコンディショナで増幅して測定系へ導いた。

2-2 伝動軸

本測定法において、伝動軸は伝達トルクに応じた適度のねじれを生ずることが必要である。それと同時に伝達

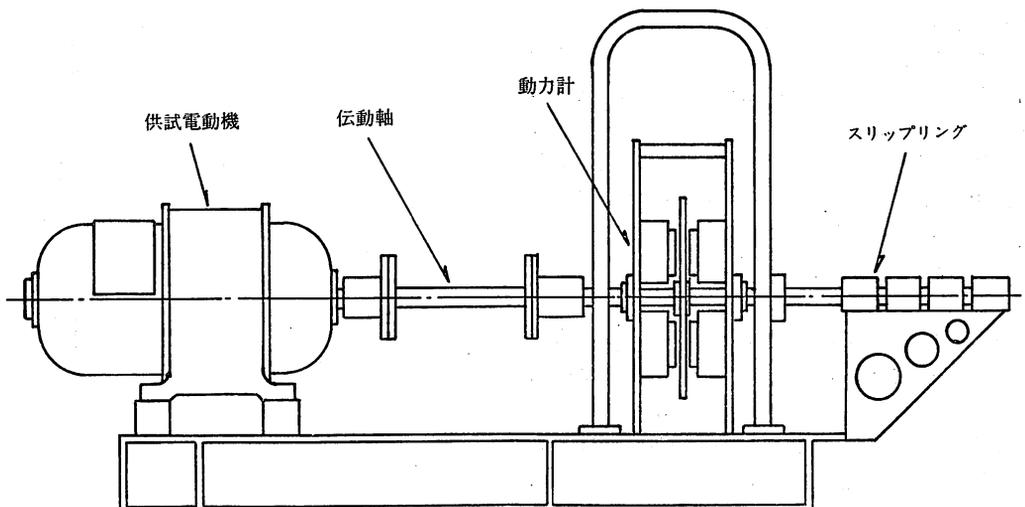


図-1 測定装置概略図

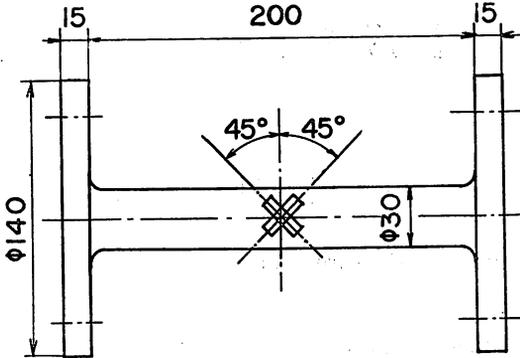


図-2 伝動軸

トルクを取り去った場合、ただちにひずみが消失するような弾性体でなければならない。この点から今回、伝動軸の材質として硬鋼（S C45）を採用した。この材質のねじり応力に対する許容応力の大きさは、伝動軸に加えられる応力が振動性、および繰り返し性であることを考慮すると $2\sim 4\text{ kg/mm}^2$ とされている²⁾。供試機の定格トルクは約 $2\text{ kg}\cdot\text{m}$ なので、次の(1)式により伝動軸の直径は $14\sim 17\text{ mm}$ 程度であれば軸に加わる応力を許容限度内におさえることができることがわかる。

$$d = \sqrt[3]{16T/(\pi\tau_{\max})} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

ただし T: トルク ($\text{kg}\cdot\text{mm}$)

τ_{\max} : 最大応力 (kg/mm^2)

しかし供試機の過渡的な状態、たとえば全電圧起動時のような場合のトルクを測定しようとするならば、この場合のトルクは定格値を越える上、伝動軸に対しては衝撃性の応力として加わるので、安全を見込んで軸の直径は 30 mm とした。この軸径のもとでは、供試機の定格値の約10倍のトルクが加わった場合でも伝動軸に生ずる最大応力を許容値内におさえることができる。

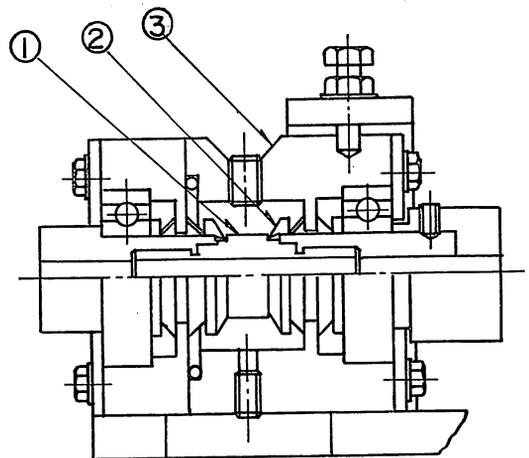
一般にねじり作用を受ける軸の表面に生ずるひずみを検出する場合、第2図のように軸線に対して 45° 方向にストレインゲージをはりつける方法がとられている。この両方向にはそれぞれ、引張りと圧縮による相等しいひずみを生ずる。即ちこの二つのストレインゲージに対しては異符号等ひずみとなる。これをブリッジの2辺として構成すれば、ブリッジ出力電圧は1ゲージの場合の2倍となる。

伝動軸は原動機と負荷の双方に対してじゅうぶんな精度で軸線を一致させなければならない。(不整は $\pm 4\mu$ 程度³⁾)しかし、実際にはある程度の誤差は避け難く、その結果伝動軸にはねじりの他に曲げ応力が作用する。この曲げ応力による測定誤差は2ゲージ法を採用すれば消去することができ、ねじりによるひずみのみが検出される。

2-3 スリップリング

伝動軸上のブリッジの入出力の取り出しは、これまで銀・グラファイトブラシ・ブロンズスリップリングといった組み合わせのアセンブリが用いられている。これらのアセンブリでは、ブラシとスリップリングの摩擦によって生ずる熱起電力や、スリップリング上におけるブラシの複雑な挙動によって生ずる接触抵抗の変化などのため、ブリッジ出力電圧に雑音が混入しやすい。これを軽減するためには、ブラシとスリップリングの接触状態を安定に保つことが大事で、それにはアセンブリ全体の機械的精度の良いことが要求される。筆者らはこの摩擦の問題と製作の容易さの点から第3図に示すような水銀スリップリングを試作した。これはブラシを水銀に置き換えたものである。即ち伝動軸上のブリッジの入出力端を直径 25 mm のリン青銅（PBB2-H）スリップリングに導き、これを水銀を満たした内径 35 mm のテフロン製のハウジング内で水銀に漬かる形で回転させるものである。測定系への取り出しはハウジング底部の端子から行なった。

この水銀スリップリングは前述のアセンブリのような固体ブラシを用いたものに比較して摩擦の問題は少ないが、水銀特有の性質から当初、種々のトラブルを生じた。即ち、水銀が常温で液体状であることと、表面張力が大きいためスリップリングの回転に伴い水銀がはねあげられる現象があらわれる。そのため水銀がハウジング外部へ漏れたり、接触抵抗に大きな変動をきたした。これを解決するため、ハウジングのシールを通常のOリングからVリングに置き換えた。このVリングは水銀のは



- ①スリップリング
- ②Vシール
- ③ハウジング

図-3 水銀スリップリング

ねあげによる力を逆に利用して密封性を高めるもので、これにより水銀の漏れをおさえると同時に、封入する水銀量を増加することにより接触抵抗も安定にすることができた。

3. 実験方法

第4図に測定回路の概略を示した。供試誘導電動機と、負荷である渦電流型電気動力計とを連結する直径30mmの伝動軸の中間位置に、瞬時トルク検出のためのストレインゲージを接着した。ストレインゲージとしては今回は、抵抗120Ω、ゲージ率2.1の箔フェスTelゲージの2枚直角重ね形のを2組用いた。これらのゲージは主軸に対しそれぞれ45°の角度をもつよう表裏対称に接着し、この4枚のゲージをもってブリッジを構成した。

箔ゲージは半導体ゲージに比較して、得られる出力電圧は小さくなるがドリフトが非常に少ない上断線しにくく安定した測定を行ない得る。

この4辺のゲージは、電動機が回転してトルクを発生するとき、その伝動軸において軸線方向にかかるねじれの偶力によるひずみをゲージの微小な抵抗変化によりそのひずみの大きさ、即ちトルクの大きさに応じたブリッジの不均衡出力電圧として得るものである。この際、曲げ応力の混入、および温度の影響は打ち消され、かつ出力電圧は2枚ゲージの場合の2倍となる。

ブリッジ出力電圧は、前に述べた水銀スリップリング装置を通してストレインゲージ式変換器用シグナルコンディショナに入力し、ここで無負荷回転時の出力零調整と負荷によるトルク発生時の出力増幅を行なう。さらにこのコンディショナから得られる出力電圧をメモリモニタに入力したのち、自動平衡型ペンレコーダなどの記録計器にデータ出力した。またこのとき同時に、主に動力計の励磁電流などもデータ出力してトルクの瞬時変化に対応させ比較観測を行なった。

なお供試誘導電動機は、極数6、定格2KW、200V、9A、50Hzの三相巻線形である。

4. 実験結果および考察

第5図に電動機の伝動軸を固定したのち、この軸線方向にねじり荷重をかけた場合の静荷重に対するコンディショナ出力電圧の特性、即ち静特性を示した。特性曲線はほぼ零点を指向する直線となり、データのバラツキもほとんどなく、この間のドリフトもほとんどみられない良好な特性を示している。

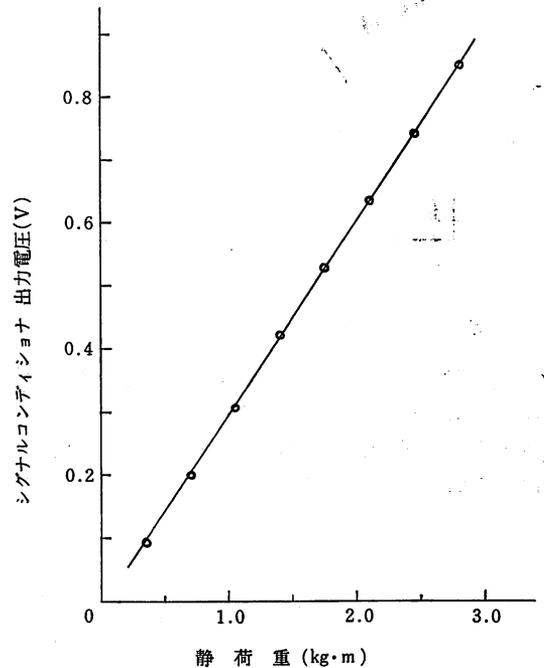


図-5 静特性

次に、第6図に電動機を運転し、これに動力計によって種々の負荷トルクを加えた場合に電動機伝動軸の軸線方向にかかる動荷重に対するコンディショナ出力電圧の

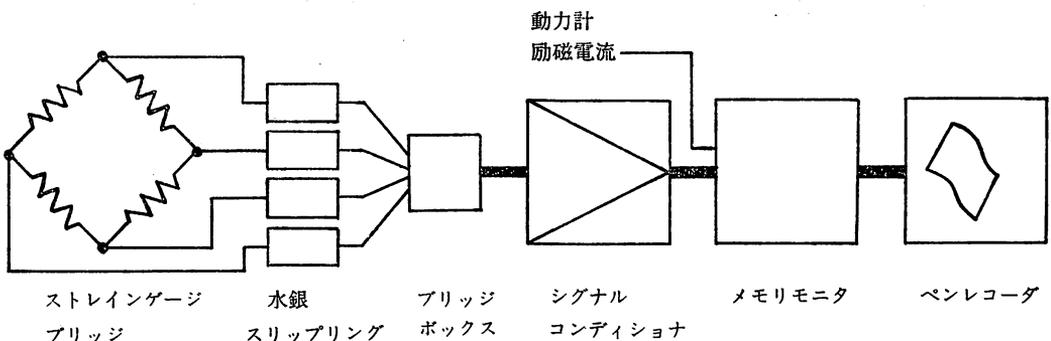
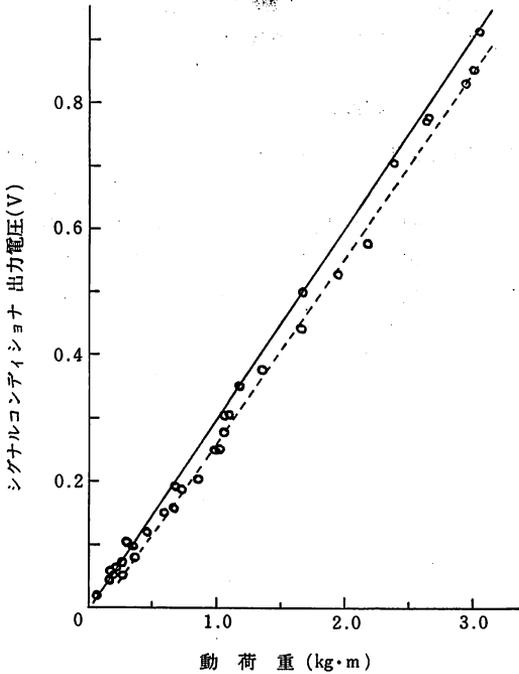
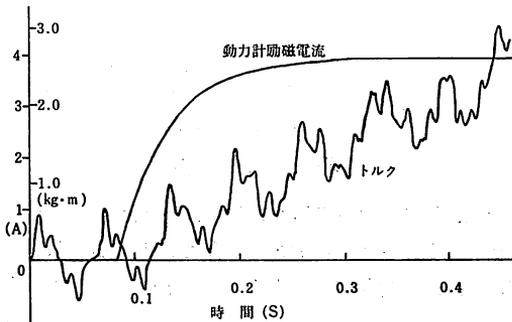


図-4 測定回路



図—6 動 特 性

特性、即ち動特性を示した。この場合の特性曲線は静特性に比べ、若干のバラツキが現われるが、おおむね静特性と同様な零点を指向する直線とみなすことができる。従ってこれらの特性曲線は今後の瞬時トルクの定量的特



図—7 過渡応答特性

性解析に対し、その較正基本特性として実用性が認められる。

さて第7図に供試誘導電動機が無負荷で回転しているとき、動力計に突然励磁電流を与えて電動機に実負荷をかけた場合の電動機トルク、および動力計励磁電流の瞬時変化の1例をオシログラムで示した。この場合、動力計励磁電流の立ち上がり時間が約220msであるのに対し、トルクはその立ち上がりに約370ms程度かかっており、定常状態に落ち着くまでの時間がかかなり長いことを示している。またトルクの波形はかなり複雑な形状を示しているが、無負荷時の規則性のある波形が立ち上がりの過渡の状態の中で次第にその形を変え、定常負荷状態では再び規則性のある波形となっている。その波形の脈動は約16Hzが支配的である。これは機械系の固有振動などの影響であろうと思われるが、詳細は今後の検討に待ちたい。

5. ま と め

今回試作した電動機の瞬時トルク測定装置は、電動機伝動軸に接着したストレインゲージによるブリッジの入出力端に水銀スリップリングを採用したものである。これにより、接触抵抗の変動が極めて小さい安定した瞬時トルクの測定が可能となった。本装置は精密な記録計器と組み合わせることにより、過渡トルクの詳細な解析に有効であると思われる。

今後はブリッジの出力感度を上げるため、伝動軸の寸法、形状、および半導体ゲージの使用等について検討を重ねながら過渡トルクの特性解析を行なっていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 長谷川, 田畑: ストレインゲージによる電動機のトルク測定 秋田高専研究紀要第11号 1976
- 2) 電気工学ハンドブック
- 3) 玄 忠: ひずみゲージ入門