

小野測器技術ノート

デジタル トルクメータ



目 次

1. トルクメータの精度について	2	5. 据付方法	15
1-1 トルクメータの誤差原因		5-1 軸に変動荷重が入らない場合	
1-2 トルクメータの検定		5-2 軸に変動荷重が入る場合	
2. 軸の設計	4	5-3 垂直に取付ける場合	
2-1 ねじり強さ		6. 駆動方法の注意点	16
2-2 ねじりこわさ		6-1 ベルト、チェーン、歯車による駆動の禁止	
2-3 トルク検出器		6-2 プロペラシャフトの直結	
2-4 軸端形状		7. カップリング	17
3. 危険速度	6	8. 測定回転方向による切換	19
3-1 曲げの危険速度		8-1 検出器の切換部	
3-2 検出器への適用方法 (ラジアル荷重、スラスト荷重)		8-2 切換部の改造	
3-3 ねじりの危険速度		9. 信号ケーブルの延長	21
3-4 検出器への適用方法		10. トルクの計算	22
4. トルク検出器の寿命	12	11. アナログ出力の時定数	23
4-1 軸受の寿命			
4-2 グリースの寿命			
4-3 潤滑油の寿命			

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

1. トルクメータの精度について

1-1 トルクメータの誤差原因

誤差原因としては、次のものが考えられます。

i) 系統的誤差原因

(イ) シャフトの非弾性挙動

(ロ) 温度特性

(ハ) 経年変化

(ニ) 検出系の周波数特性

ii) 偶然誤差

(ホ) デジタル処理過程、その他によるバラツキ

1-2 トルクメータの検定

(イ) シャフトの非弾性挙動（直線性、弾性遷移）

光学的ねじり試験によると、トルク検出器に使用しているトーションバーの軸材 SNCM-439 において $\tau < 400 \text{ N/mm}^2$ では片方向負荷の場合で $\pm 0.1\%$ 以内、両振りでも $\tau < 150 \text{ N/mm}^2$ では $\pm 0.1\%$ 以内の直線性があることが確かめられています。また弾性遷移は $\tau < 100 \text{ N/mm}^2$ では感知できない大きさで、 $\tau < 300 \text{ N/mm}^2$ でも $0.02\% / h$ であってほとんど無視できます。当社のトルク計の設計基準は、 $\tau < 150 \text{ N/mm}^2$ の応力範囲としております。

通常トルクメータの検定は、静トルク $T \text{ (N} \cdot \text{m)}$ によって行ないます。即ちトルク検出器の片側の軸を固定し、他軸端にトルクアーム $L \text{ (m)}$ を取り付け、これに重錘 $W \text{ (N)}$ を加えて $T = L \times W \text{ (N} \cdot \text{m)}$ から精度を確認します。この時トルク検出器からの信号は演算表示器に入力されており、基準トルク値とデジタル表示値の比較からトルクの検定を行ないます。直読表示条件である FACTOR 及び RANGE はこのとき決定されます。

トルクアームと重錘の精度はそれぞれ $1 / 5000$ 以内で管理されております。

(ロ) 温度特性

シャフト及び検出系は温度によって特性変化があります。この変化の主原因はシャフトの横弾性係数 G の変化及び膨脹であります。この内、 G の影響が大であります。軸材として恒弾性材料、(例 Ni-SpanC) を用いることによってこの影響を少なくすることができます。

シャフトの材質と温度係数の関係は次の通りです (当社実測値による)。

シャフト材質	温度係数 (%/°C) (-50~50°C)
SNCM-439	-0.028~-0.032
Ni-SpanC	-0.005 以下

(ハ) 経年変化

社内における1年間の耐久試験後カタヨリとバラツキを初期データと比較した結果は、0.12% の変化しか見られませんでした。又一例ですが13年前に納入した攪拌機用トルク計の再検定結果では、0.1%以内の変化しかありませんでした。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

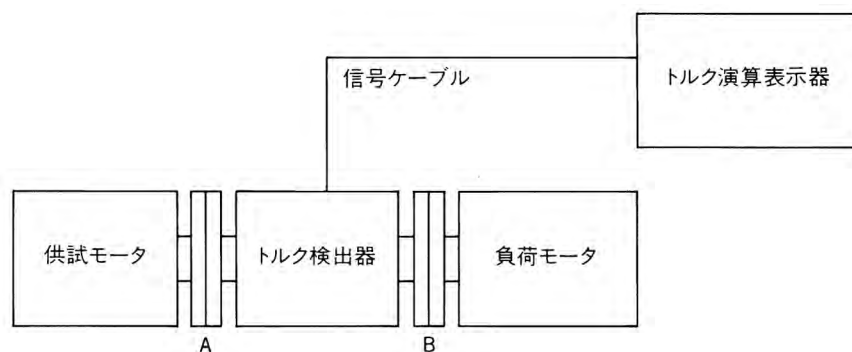
(二) 周波数特性 (N-O 特性)

シャフトが回転しますと、負荷側の軸受の負荷及びコイルとアンプの周波数特性から零点が移動します。この周波数特性は、コイル-アンプの整合条件を合わせることによって補正を行なっており $\pm 0.3\%$ 以内に調整してあります。この特性は経年変化がほとんどなく、器差としてとらえることにより、後補正を行なえば、より精度の良い測定ができます。

社内における調整作業は、基準のトルク演算表示器を定めて実施しており、ロット間の互換性は 0.2% としてあります。

最新型トルク演算表示器 TS-2700、3100 では、静止時の零点調整の他に、この回転速度による零点移動を演算補正する機能を持っています。全回転速度範囲を任意の部分5点または10点を選択して補正できるようになっています。この結果『N-O』を $\pm 0.1\%$ 以内にすることができます。不揮発性でかつ書き替え可能なメモリー素子を組み込んでいるため、一度設定すると電源を切っても設定内容は保持されます。また、設定を変更することによりどの検出器とも使用することができます。

(ホ) モータトルク測定時の零点調整法



図のような構成で供試モータのトルク測定を行う場合

回転静止時の零点調整を行うときには、カップリング A を解放した状態でトルク演算表示器にて零点設定の操作を行ないます。

周波数特性 (N-O) 特性を補正するときには、カップリング A を解放して負荷モータで回転させます。任意の5点または10点の回転速度に対するトルク表示値 (零点のずれ) を採取します。この値をそのまま N-O 補正值として、トルク演算表示器 TS-2700、3200 に設定します。

付記

正確さ: 最大真値に対する正確率 = $\{(x - X) / X_{\max}\} \times 100\%$

x : 試料平均, X : 真値

精密さ: 最大真値に対する精密率 = $(\sigma / X_{\max}) \times 100\%$

σ : 標準偏差

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

2. 軸の設計

2-1 ねじり強さ

トルクを伝達する時には必ず軸には応力が発生します。このねじり応力を基準にして軸径を計算すると、

$$\tau_{\max} = \frac{T d_0}{2I_p}$$

$\tau_{\max}$: 最大ねじり応力 (N/mm²)

T : 伝達トルク (N・mm)

d_0 : 軸径 (mm)

I_p : 軸断面の断面二次極モーメント (mm⁴)

となります。

軸断面の断面二次極モーメントは

$$\text{中実丸軸の場合} \quad I_p = \frac{\pi d_0^4}{32}$$

$$\text{中空丸軸の場合} \quad I_p = \frac{\pi (d_0^4 - d_i^4)}{32} \quad d_i: \text{軸の内径}$$

この式を上式に代入すると

$$\text{中実丸軸の場合} \quad \tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d_0^3}$$

$$\text{中空丸軸の場合} \quad \tau_{\max} = \frac{16T d_0}{\pi (d_0^4 - d_i^4)}$$

となり、これから d_0 を求めると

$$\text{中実丸軸の場合} \quad d_0 = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_{\max}}}$$

$$\text{中空丸軸の場合} \quad d_0 = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_{\max} (1 - n^4)}} \quad n = \frac{d_i}{d_0}$$

となります。

2-2 ねじりこわさ

軸のねじれは全体の機械系として考えるときには重要です。一般的には軸長 1m につき 0.25° になるようにします。

ねじり角とトルクの関係式は、

$$\theta = \frac{32T\ell}{\pi G (d_0^4 - d_i^4)}$$

θ : ねじり角 (rad)

T : 伝達トルク (N・mm)

ℓ : 軸の長さ (mm)

G : 軸材料の横弾性係数 (N/mm²)

d_0 : 軸の外径 (mm)

d_i : 軸の内径 (mm)

となります。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

2-3 トルク検出器

トルク検出の原理は軸のねじり角度を測定することです。従って測定精度から必要とするねじり角度を決定し、次にねじり応力を計算して、双方から検討して最適な軸径を決定しています。

通常採用しているねじり応力としては100～150N/mm²を目安としています。

なおトーションバーの材料としては、

通常は ニッケルクロムモリブデン鋼 (SNCM-439)、

温度係数を極力小さくした場合には、

ニッケルスパンC

を選定しています。

2-4 軸端形状

(イ) キーみぞ付き平行丸軸

伝達軸間で使用されるトルク検出器は、両軸端にカップリングを取付けて相手軸と締結します。カップリングを軸に取付ける方法としては一般的には、キーを使用することが多いです。

しかしキーみぞ付丸軸では、みぞのかど付近に極端な応力集中が生じるのと、みぞによる断面積が減少するのが重なり、キーみぞのない丸軸に比べて軸の強さが非常に減少してしまいます。

キーみぞ付丸軸を設計するとき、1つにはキーみぞのない丸軸 d_0 を設計し、その軸にキーみぞの深さを加えて軸径 d を求める方法と、もう1つには次式のようなキーみぞのない同径軸との比を用いて求める方法とがあります。

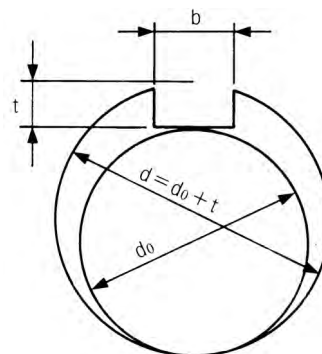
ねじれ強さの比は

$$e = \frac{\text{キーみぞ付軸の強さ}}{\text{キーみぞのない軸の強さ}} \\ = 1.0 - 0.2 \frac{b}{d} - 1.1 \frac{t}{d}$$

b : キーみぞ幅

t : キーみぞの深さ

d : 軸の外径



一般的に e の値としては 0.75～0.8 がとられています。

この結果キーみぞ付丸軸を強度設計する場合の使用応力は、キーみぞのない同径丸軸の応力の75%～80%にとります。

(ロ) キーみぞなし平行丸軸

キーみぞ付のときは、キーを入れて丸軸とカップリングを一体としてトルクの伝達を行ないます。キーみぞなしのときは、丸軸とカップリングのはめあい部に発生する摩擦によって、トルクの伝達を行ないます。

方法としては次の2つがあります。

①カップリングを軸に焼ばめして、それが常温となった時に軸との間にしまり状態を発生する。

②軸とカップリングの間に締結具(市販品)を入れて、軸—締結具—カップリングの間にしまり状態を発生する。

軸に対するカップリングの心出し精度は①項の方法が優れています。

キーみぞなし平行丸軸を使用すると、応力集中などが小さくなり機械的な強度が向上します。

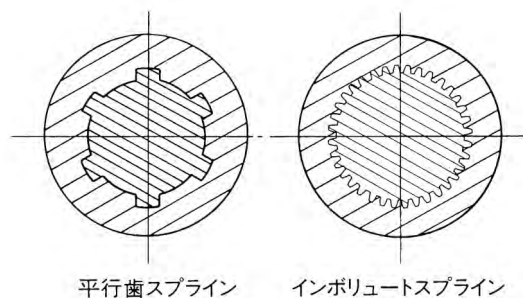
DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

この結果、同じ応力で考えるならば、キーみぞ付丸軸に比較して直径を小さく設計出来る利点があります。又機械加工上によるアンバランスが小さくなり回転機械として好ましくなります。

これを採用する場合には軸及び穴径の寸法管理を十分に注意する必要があります。

(ハ) スプライン軸

回転機に使用されるスプラインで主なものを図に示します。



この軸は高速回転、高トルクの伝達に適しています。

トルク検出器を高速で回転させるときには、軸にかかる質量を極力小さくした方が有利であるのでスプライン軸を使用している例が多いです。

スプライン軸の断面形状は主にインボリュートスプラインを使用しています。

理由は機械加工がインボリュートの歯車を切削するのと同様にできることと、機械精度が比較的に出しやすいことです。

3. 危険速度

軸を回転させた場合に、ある回転数で軸が不安定になって大きな振動を起し、続けて回転速度を上昇させて行くと再び安定した回転になります。

低速回転域から高速回転域へと上昇させて行くと、回転数 N_1 、 N_2 、 N_3 でこの振動現象が発生します。これを第1次、第2次、第3次の危険速度と呼びこの回転領域を避けて使用する必要があります。

危険速度はその軸の固有振動数に等しいことから、前もって計算によって固有振動数を求めておき、回転時には十分に注意を払うようにして下さい。

危険速度には

- 1) 曲げの危険速度 (曲げの固有振動数)
- 2) ねじりの危険速度 (ねじりの固有振動数) があります。

1) 曲げの危険速度とは

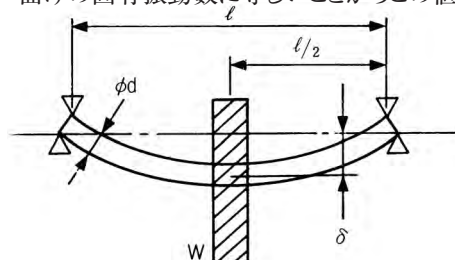
軸に取付いている物体が、軸と直角方向に振動する場合をいいます。

2) ねじりの危険速度とは

軸に取付いている物体が、軸の中心軸まわりに振動する場合をいいます。

3-1 曲げの危険速度

曲げの固有振動数に等しいことからこの値を求めることにします。



簡単な例題として左図に示すような均一な直径 d の中央部に、物体の重さ W が固定されていると考えます。軸の質量が物体に比べて無視できるとすると

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

$$\text{中央部のたわみは} \quad \delta = \frac{W\ell^3}{48EI} \quad \text{————— (1)}$$

ここで E :縦弾性係数
 I :断面二次モーメント

ここで、任意の荷重 F と

その時のたわみ y との関係は

$$y = \frac{F\ell^3}{48EI}$$

$$F = \left(\frac{48EI}{\ell^3} \right) y = \left(\frac{W}{\delta} \right) y = Ky \quad \text{————— (2)}$$

ここで K :ばね定数

曲げの固有振動数 f は

$$w = \sqrt{\frac{K \cdot g}{W}} = \sqrt{\frac{48EI}{W\ell^3} \cdot g} \quad (\text{rad/s}) \quad \text{————— (3)}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{48EI}{W\ell^3} \cdot g} \quad (\text{Hz}) \quad \text{————— (4)}$$

(3) 式に (1) 式を代入すると

$$w = \sqrt{\frac{g}{\delta}} \quad \text{————— (5)}$$

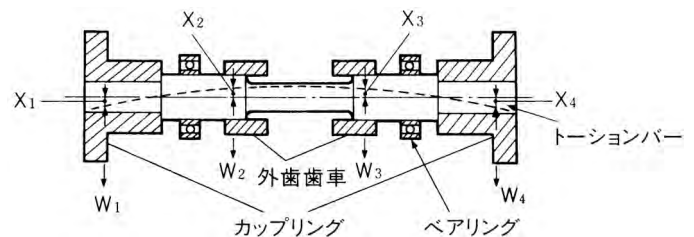
(4) 式に (1) 式を代入して

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}} \quad \text{が得られます。} \quad \text{————— (6)}$$

以上から物体の重心にその重さに等しい荷重をかけた時に生ずるたわみ量が判れば、固有振動数は求められます。

実際に使用するトルク検出器の軸 (トーションバー) には、複数の物体が取付いており、また軸径も変化しています。

次にその概略図を示します。



この場合には前に示したような単純な計算式では固有振動数を求めることは出来ません。

そこでレーレーの方式を採用します。

これは軸に固定された物体 1、2、3、…… n の重心にその重さに等しい荷重 W_1 W_2 W_3 …… W_n をかけた時、各物体の重心点のたわみ X_1 X_2 X_3 …… X_n を求めることにより次式から求められます。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(W_1 X_1 + W_2 X_2 + W_3 X_3 + \dots + W_n X_n)}{W_1 X_1^2 + W_2 X_2^2 + W_3 X_3^2 + \dots + W_n X_n^2} \cdot g} \quad (\text{Hz})$$

DIGITAL TORQUE MEASURENENTS

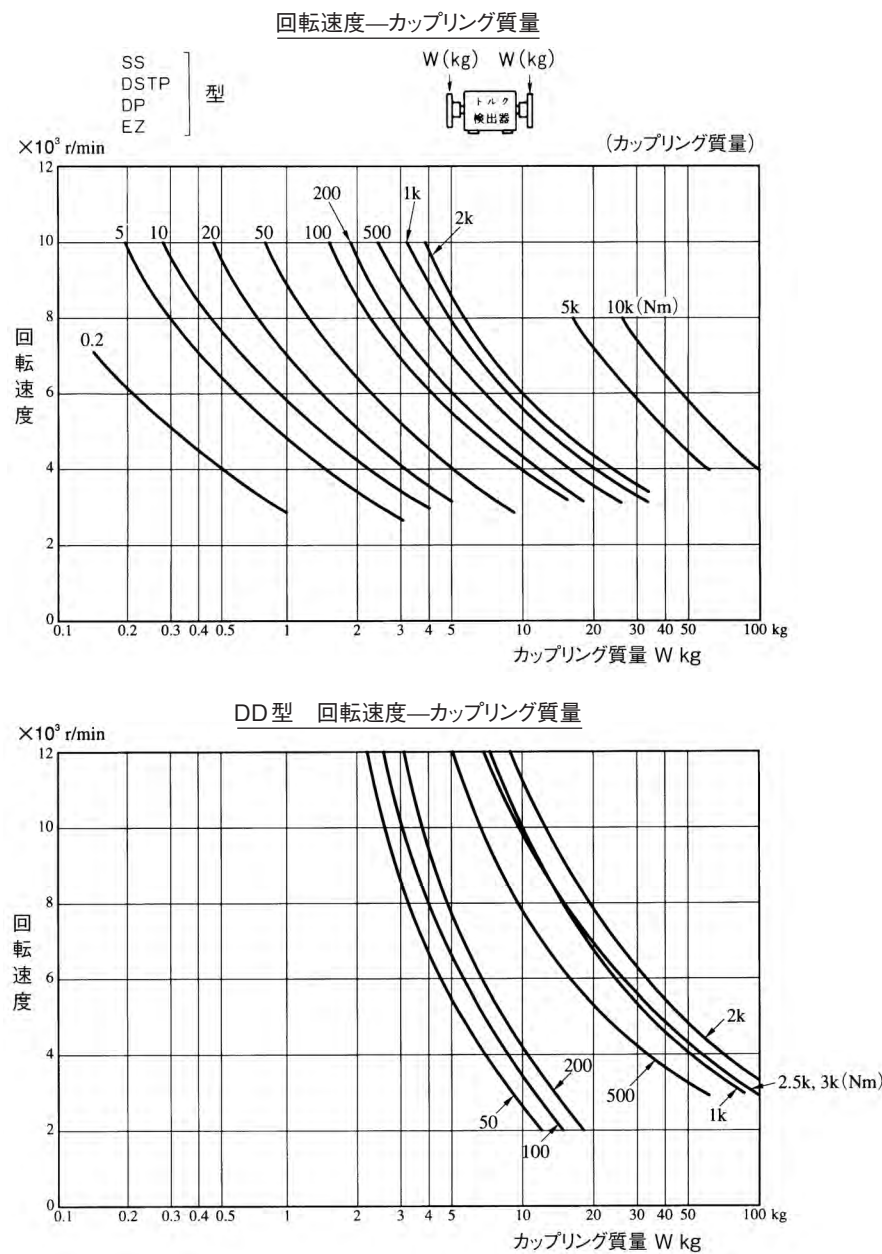
3-2 検出器への適用方法

トルク検出器は多くの型式があり、トルクの容量によっても軸（トーションバー）のサイズが異なります。

実際に使用する回転速度領域に危険速度が入り込まないようにするために、使用するカップリングの質量を検討する必要があります。

使用最大回転速度からすみやかにカップリング質量が決定できるように、あらかじめ計算して図に表示してありますので、その中から選定して下さい。

下図には、型式とトルク容量から、回転速度とカップリング質量がわかる線図を示しています。
図を見るときは、検出器の一方の軸につけるカップリング質量 W で調べます。なお、カップリングは検出器側に取付ける部分と相手軸側の部分とで1組となりますので、 W は1組のカップリング質量の半分です。



DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

なお、検出器にかかるスラスト荷重、ラジアル荷重は、カップリング質量程度にとどめてください。

3-3 ねじりの危険速度

ねじりの固有振動数に等しいことからこの値を求めることにします。

物体の重心位置に加えたねじりモーメント T による軸のねじれ角を θ とすると、

$$K = T / \theta \quad K: \text{ばね定数}$$

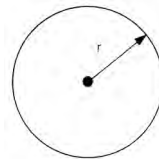
曲げの場合の $\frac{W}{g}$ の代りに軸の中心軸に関する物体の慣性モーメント J を用いると
(軸の慣性モーメントが他の物体に比べて無視できるものとする)

ねじりの固有振動数 f は

$$w = \sqrt{\frac{K}{J}} \quad (\text{rad/s})$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J}} \quad (\text{Hz}) \quad \text{となります。}$$

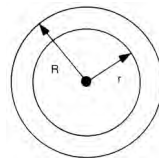
ここで中実軸の場合



$$J = \frac{1}{2} m r^2$$

m : 質量

中空軸の場合



$$J = \frac{1}{2} m (R^2 + r^2)$$

ばね定数 K は

$$K = \frac{GI_p}{L}$$

G : 横弾性係数

I_p : 断面二次極モーメント

L : 軸の長さ

で表わされます。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

これを上式に代入すれば

$$w = \sqrt{\frac{GI_p}{JL}}$$

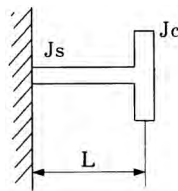
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{GI_p}{JL}}$$

となります。

次に2～3の例について説明します。

1) 均一な断面をした軸の片端が固定され、その慣性モーメントが J_s 。

一方の軸端には円板またはカップリングが取付いており、その慣性モーメントが J_c の場合。



$$w = \sqrt{\frac{K}{J_c + \frac{1}{3}J_s}}$$

または

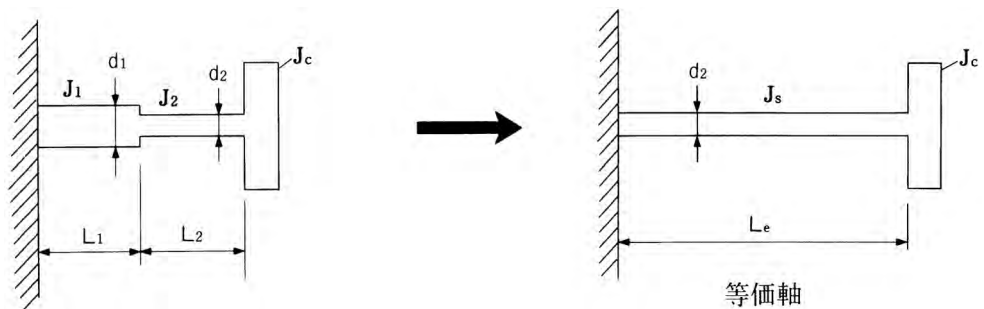
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J_c + \frac{1}{3}J_s}}$$

となります。

ここで J_c にはカップリング全体の慣性モーメント

J の $\frac{1}{2}$ を使用します。

2) 2つの均一な断面をした軸の片端が固定され、一方の軸端には円板又はカップリングが取付いている場合。



DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

$$L_e = L_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 + L_2$$

$$K = \frac{\pi d^4}{32} \cdot \frac{G}{L_e}$$

$$J_s = \frac{1}{8} \cdot M_s \cdot d^2 \quad M_s: \text{軸の質量}$$

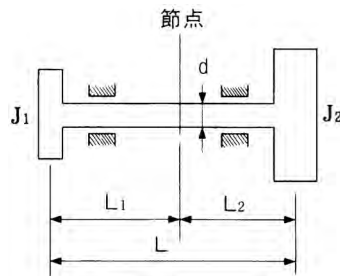
$$w = \sqrt{\frac{K}{J_c + \frac{1}{3} J_s}}$$

または

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J_c + \frac{1}{3} J_s}}$$

ここで J_c にはカップリング全体の慣性モーメント J の $\frac{1}{2}$ を使用します。

- 3) 均一な断面をした軸の両端にカップリングが付き、各々の慣性モーメントを持っている場合。
単純化するために軸の慣性モーメントは無視します。



$$L = L_1 + L_2$$

$$L_1 = \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot L$$

$$L_2 = \frac{J_1}{J_1 + J_2} \cdot L$$

$$K = \frac{\pi d^4}{32} \cdot \frac{G}{L} = \frac{GI_p}{L}$$

$$w = \sqrt{\frac{GI_p}{J_1 L_1}} = \sqrt{\frac{GI_p}{J_2 L_2}}$$

L_1 、 L_2 を代入すれば

$$w = \sqrt{\frac{K (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}$$

または

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}$$

ここで J_1 、 J_2 にはカップリング全体の慣性モーメント J の $\frac{1}{2}$ を使用します。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

3-4 検出器への適用方法

カタログには型式ごとに各々のばね定数 (K) が明示されています。トルク検出器の入力側および出力側に取付けるカップリングの慣性モーメントをそれぞれ算出し (カップリング全体の慣性モーメント J の $\frac{1}{2}$ を使用) J_1 、 J_2 とします。

これら3つの値 K 、 J_1 、 J_2 を使って計算することによりおおよその固有振動数がわかります。一般的には、この値の上・下 20～25% 以内で使用しないよう注意してください。

〈計算例〉

$$\begin{aligned} \text{SS-500} \quad & \text{バネ定数 } K: 6.18 \times 10^3 \text{ (N} \cdot \text{m/rad)} \\ & \text{カップリング } \left. \begin{array}{l} J_1: \\ J_2: \end{array} \right\} \rightarrow GD^2: 180 \text{ (kgf} \cdot \text{cm}^2) = 0.018 \text{ (kgfm}^2) \\ & \quad \quad \quad \downarrow \\ f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{6.18 \times 10^3 \times (2.25 \times 10^{-3} \times 2)}{(2.25 \times 10^{-3})^2}} \quad & J = \frac{GD^2}{4} \text{ (kgm}^2) \\ = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{6.18 \times 10^3 \times 2}{2.25 \times 10^{-3}}} \quad & J = \frac{0.018}{4} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ (kgm}^2) \\ = \frac{10^3}{2\pi} \cdot 2.34 = 372 \text{ (Hz)} \quad & J = \frac{J}{2} = 2.25 \times 10^{-3} \text{ (kgm}^2) \end{aligned}$$

4. トルク検出器の寿命

本体の内部でトルクの信号を発生させてから外部に取出すのに、軸とは接触しない状態でなっています。スリップリングは使用していません。

従って本器の寿命を大きく左右する要素としては、軸を支えている軸受の寿命が全てです。

4-1 軸受の寿命

トルク検出器に使用している軸は玉軸受がほとんどです。この軸受を正しく使用していても、ある時間を過ぎると音や振動が増加したり (音響寿命)、摩耗により回転精度が低下したり (摩耗寿命)、潤滑用グリースや油が劣化したり (グリース寿命)、転がり面の疲労はくりが発生したり (転がり寿命) して、使用できなくなります。その時までの期間が寿命です。ここで音響寿命と摩耗寿命については、用途によって基準が異なってくるので経験的に決めているようです。

グリース寿命、転がり寿命については、各軸受メーカーが基準を作っているのをそれを引用させていただきます。

転がり軸受が荷重を受けて回転すると、内輪、外輪の軌道面および転動体の転動面は絶えず繰返し荷重を受けます。そして材料の疲れによってフレーキングと呼ばれるうろこ状の損傷が転動面あるいは軌道面に現れます。このフレーキングが生じるまでの総回転数を転がり疲れ寿命といい、また単に寿命と呼ぶことがよくあります。

この疲れ寿命は材料の疲れそのものに本質的なばらつきがあるので、このばらつきを統計的現象として取扱った定格疲れ寿命を用います。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

定格疲れ寿命とは一群の同一呼び番号の軸受を、同一運転条件で個々に回転させたとき、そのうちの90%の軸受が転がり疲れによるフレーキングを起こすことなく回転できる総回転数をいいます。

次に定格疲れ寿命の計算式を示すと

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

L_h : 定格疲れ寿命 (h)

n : 回転速度 (r/min)

C : 基本動定格荷重 (N) (軸受の型番により決定)

P : 軸受荷重 (N)

トルク検出器には多くの型式があり、同じトルク容量でも寸法が異なります。参考までにトルク容量と軸受内径寸法を次に示します。

トルク容量 N・m	5以下	10~20	50~100	200~500	1k~2k	5k	10k	20k
軸受内径 d mm	10	20	30	40	60	100	120	160

<例題1>

トルク 50N・m

軸受内径 30mm

軸受の型番 #6906の場合

C : 7400N (軸受カタログより)

軸受荷重 P : 50N アキシャル荷重は0とする

回転速度 n : 6000r/min

$$\begin{aligned} L_h &= \frac{10^6}{60 \times 6000} \left(\frac{7400}{50} \right)^3 \\ &= 9 \times 10^6 (h) \end{aligned}$$

DIGITAL TORQUE MEASURENENTS

4-2 グリースの寿命

トルク検出器に使用しているグリースはリチウム系を用いています。このグリースは、本器の外部から補給する構造とはなっておりません。

もし外部からグリースガンなどにより補給した場合には、軸受空間にグリースが入り過ぎて軸受部分の攪拌熱が異常に高くなり、トルクの精度やグリースの劣化を早める結果となります。

参考までに単列深みぞ玉軸受に密封したグリースの寿命は次のように推定できます。

$$\log t = 6.54 - 2.6 \frac{n}{N_{\max}} - (0.025 - 0.012 \frac{n}{N_{\max}}) T$$

- t: 平均グリース寿命 (h)
- n: 軸受の回転速度 (r/min)
- Nmax: グリース潤滑の許容回転速度 (r/min)
- (軸受寸法表に記載されている開放形の数値)
- T: 軸受の運転温度 (℃)

この式の適用範囲は次のとおりです。

- (i) 軸受の回転速度 n
- $$0.25 \leq \frac{n}{N_{\max}} \leq 1$$
- $\frac{n}{N_{\max}} < 0.25$ のときは、 $\frac{n}{N_{\max}} = 0.25$ とする
- (ii) 軸受の運転速度 T
- $$40^{\circ}\text{C} \leq T \leq 120^{\circ}\text{C}$$
- T < 40℃ のときは T = 40℃ とする

トルク容量に対する Nmax の概略値を示しますと

トルク容量 N・m	5以下	10～20	50～100	200～500	1k～2k	5k	10k	20k
Nmax r/min	30,000	18,000	13,000	10,000	7,100	4,300	3,600	2,400

<例題 2>

- トルク 100N・m
- 許容回転速度 Nmax: 13,000r/min
- 軸受の型番 #6006 でカタログに記載されている値
- 回転速度 n: 6000r/min
- 運転温度 T: 50℃

$$\begin{aligned} \log t &= 6.54 - 2.6 \times \frac{6000}{13000} - (0.025 - 0.012 \times \frac{6000}{13000}) \times 50 \\ &= 6.54 - 1.2 - (0.01946) \times 50 \\ &= 4.37 \\ t &= 2.34 \times 10^4 (h) \end{aligned}$$

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

4-3 潤滑油の寿命

一般に運転温度が50℃以下でごみなどの少ない良好な環境下で使用する場合には、1年に1回の割合で交換します。

しかし油温が100℃程度になる場合には3ヵ月位で交換します。

5. 据付方法

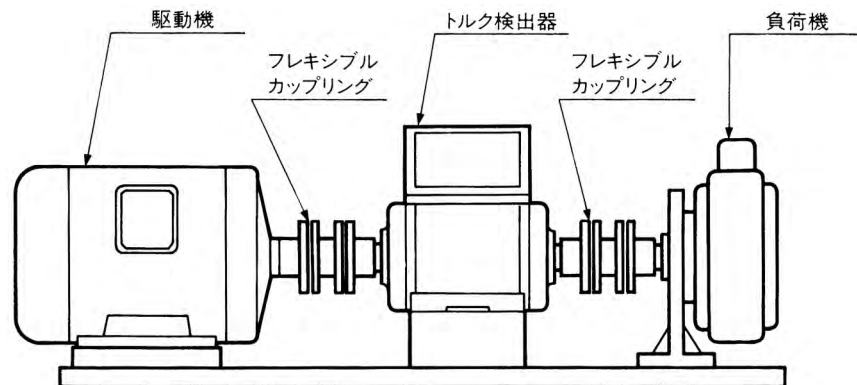
芯出し精度は2～3/100mmで設置してください。

芯出しが悪い場合には、本器に荷重がかかり測定精度に影響を及ぼすことになります。

次のような据付をお奨めします。

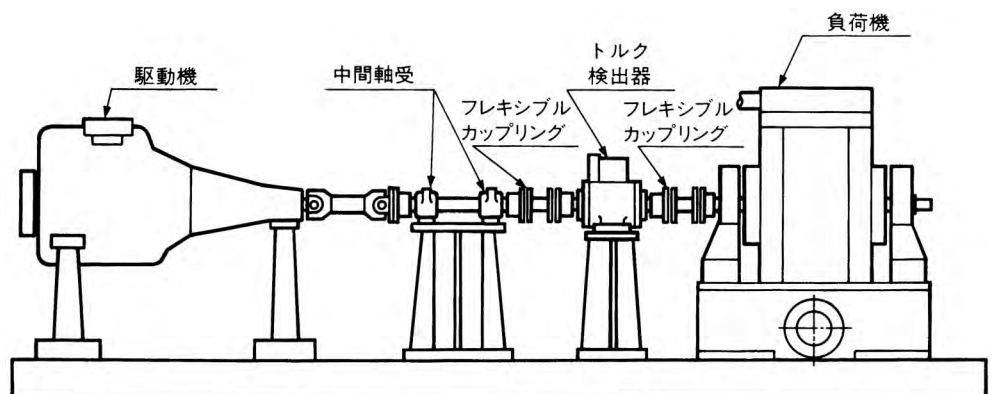
5-1 軸に変動荷重が入らない場合

フレキシブルカップリングを使って外部の機器と接続します。



5-2 軸に変動荷重が入る場合

中間軸受を入れて、トルク検出器の軸端に変動荷重がかからないようにします。



5-3 垂直に取付ける場合

検出器は垂直に取付けて使用することもできます。5-1、5-2項を配慮することは同じです。

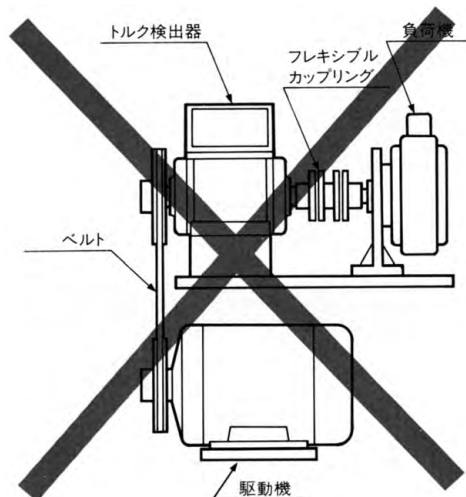
ただし、検出器にかかるスラスト荷重は、使用するトルク検出器側のカップリング重量がかかる程度に考えて下さい。

DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

6. 駆動方法の注意点

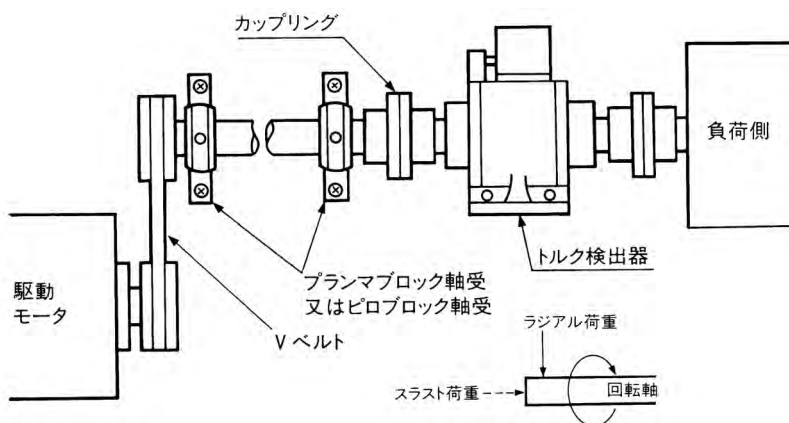
6-1 ベルト、チェーン及び歯車による駆動の禁止

トルク検出器を動力伝達軸の間に入れて使用する場合



図示のように、トルク検出器の軸にベルト掛けのプーリや、チェーンに使用されるスプロケットや歯車等をつけて動力伝達を直接行なうと、その軸に大きな荷重がかかります。そのためトルクの計測に悪い影響を及ぼすだけでなく軸を支えているベアリングを破損することが考えられます。従ってこれらの伝達方法はとらないで下さい。

下図のように検出器と駆動モータ間に中間軸受を入れることによって、Vベルトで駆動してベルトの張力を加えても検出器の軸に曲げが生ずることなく精度良く測定ができます。



6-2 プロペラシャフトの直結

入力軸および出力軸を接続するのにプロペラシャフトを使用する場合があります。回転速度が高くなるとそれ自身のアンバランスによるラジアル荷重が大きくなり、測定精度に悪い影響を及ぼしてきます。

そこでプロペラシャフトを軸端に直結して使用出来るトルク検出器の型式はDD型のみです。SS型、DSTP型およびその他の標準品では使用できませんのでご注意願います。

7. カップリング

回転機械を接続するとき、その性能を十分に発揮させるためには目的に合ったカップリングを選定することが重要です。

特にトルク検出器に使用するときには一般の産業機器と異なり、高精度な計測を行なうためにも十分な検討が必要です。

《検討項目》

1) 取付け、取外しが簡単か？

取付作業時に軸方向に移動させるかどうか？

2) ラジアル荷重を逃げる構造になっているか？

3) 軸の線膨脹などによりスラスト荷重が発生したときに逃げられる構造になっているか？

4) トルク変動を測るときには、カップリングでトルクを吸収（緩衝）するようなものは使用しない。

5) 平均トルクおよび瞬時変動トルクを十分検討し、その仕様に満足するものか？

6) 寿命が永くしかも保守、点検が簡単か？

7) 価格は？

以上が考えられます。

これらの事を踏まえると同時に数多くの使用実績の中から、トルク検出器に適用されるカップリングとして次ページのものを推奨します。

《SS型トルク検出器用推奨カップリング》

名 称	メーカ	取扱い代理店	備 考
マイクロ カップリング	大同精密工業	鉄原実業（株） 東京都練馬区北町 7-13-19 Tel 03-3937-0631 Fax 03-3937-1572	小容量トルク向き 5N・m以下に適用
フォーム フレックス カップリング	大同精密工業		中、大容量トルク向き 5N・m超に適用

《MD型トルク検出器用推奨カップリング》

種類	軸径	限界トルク	限界 回転速度	慣 性 モーメント	ねじり バネ定数	許容偏心 と偏角	軸との 固定方法
フレキシブル チューブ	φ3以下	20mN・m 以下	10,000r/min	小	小	—	圧力による 摩擦
ヘリカル	φ2～φ16	0.3～2.5Nm サイズによる	25,000r/min	φ3 1gcm ² φ5以上 7.7gcm ² ～	4Nm/rad 14～200 Nm/rad	0.25mm/5°	止めねじま たはねじ締 結によるク ランプ
板バネ式	φ2～φ20	0.2～10Nm	30,000r/min	6gcm ² ～	5～745 Nm/rad	0.2mm/1.5°	止めねじ

《軸とカップリングの“はめあい”》

軸にカップリングをはめる場合には“しまりばめ”（焼ばめ）を推奨します。

はめあいが緩いときにはカップリングの芯が出ないのみならず、軸表面にフレッティングが発生して機械寸法や強度が変化し軸の寿命を短くすると同時に軸破損の原因となります。

通常の“しめしろ”は軸径 D に対して $\frac{5}{10,000} \cdot D \sim \frac{1}{1000} \cdot D$ です。

なお、作業時には、はめあい面に二硫化モリブデンなどの潤滑剤を塗布して下さい。

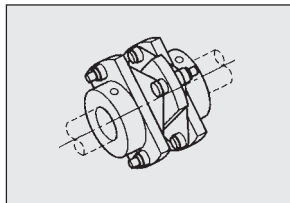
DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

トルク検出用カップリング性能表

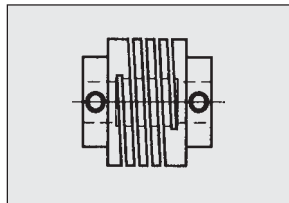
名 称	マイクロ	ヘリカル	NSO ダイヤフラム	フォーム・フレックス
推 奨 検 出 器	SS-002～SS-100	小容量むき	大容量むき	SS-200～SS-202
最 高 回 転 速 度	20,000r/min／10N・m	25,000r/min／2.5N・m	23,000r/min／1,090N・m	19,000r/min／1,300N・m
伝 達 ト ル ク 容 量	10N・m以下	2.5N・m以下	200～38,140N・m	20～181,500N・m
特 長	1. バックラッシュなし 2. 振り剛性 大 3. 非磁性体 4. 簡単メンテナンス 5. 偏心、偏角吸収 6. 低い慣性モーメント 7. 耐水、耐薬、耐油	1. バックラッシュなし 2. 小型・軽量 3. 小型精密機器用として最適 4. 簡単メンテナンス 5. 偏心、偏角吸収 6. 低い慣性モーメント 7. 材質はジェラルミン (非磁性体)とステンレスの 二種類	1. バックラッシュなし 2. 振り剛性 大 3. 許容偏心、偏角 大 4. 軽量、脱着容易 5. 高速回転可能 6. 簡単メンテナンス 7. 耐水、耐薬、耐油 8. フェールセーフ機構	1. バックラッシュなし 2. 振り剛性 大 3. 許容偏心、偏角 大 4. 軽量、脱着容易 5. 高速回転可能 6. 簡単メンテナンス 7. 耐水、耐薬、耐油 8. フェールセーフ機構
質 量	伝達トルク 10N・mで 280(g)	2.3N・mで 38(g) (ジェラルミン)	200N・mで 4(kg)	250N・mで 3.7(kg)
使 用 方 法	1. トルク側と、相手側シャフト を芯出し後フランジ、板バ ネ、スペーサを組付ける。 2. 機器を軸方向に動かして、 カップリングを着脱する。 3. 高回転時は、偏心、偏角を極 力小さく。	1. 双方の軸を芯出ししておき、 機器を軸方向に移動して軸 とカップリングを締結する。 2. 機器を軸方向に動かして着 脱する。 3. 25,000r/minのとき、 芯出し 0.1mm以下 偏角 0.5°以下	1. 両側にフランジを取付けて、 芯出し後フレキシユニット を入れる。 2. 軸方向に移動することなく、 カップリングの着脱可能。	1. 両側にハブを取付けて芯出 し後、エレメント・スペーサ を入れる。 2. 軸方向に移動することなく カップリングの着脱可能。
使 用 温 度 範 囲	－30～＋100℃	－40～＋150℃	－100～＋320℃ 120～150℃ (焼バメ時の加熱温度)	－30～＋100℃ 90～120℃ (焼バメ時の加熱温度)
適 用 ト ル ク	10N・m以下	2N・m以下	200～30,000N・m	34～100,000N・m
形 状 (別 図)	A	B	C	D
メ ー カ	大同精密工業	三木ブーリ	イーグル工業	大同精密工業
問 合 せ 先	鉄原実業 練馬区北町 7-13-19 03-3937-0631	川崎市中原区今井南町 461 044-733-4371	関東商会 中央区八丁堀 4-8-10 03-3553-2351	鉄原実業 練馬区北町 7-13-19 03-3937-0631

■カップリングの形状

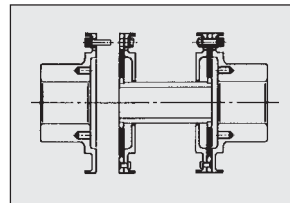
A：マイクロ



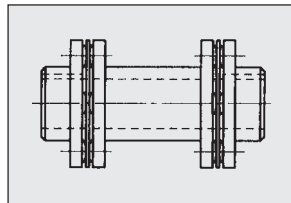
B：ヘリカル



C：ダイヤフラム



D：フォームフレックス



8. 測定回転方向による切換

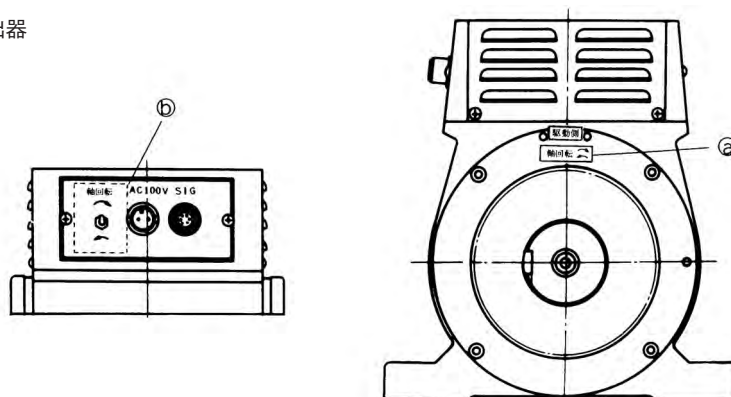
8-1 検出器の切換部

8-1-1 **[DSTP, DD型]** には三相モータが検出器上部に付属しています。このモータの回転方向は、軸（トーションバー）と必ず逆回転するように配線します。

（注）外部からモータの回転方向が確認できないときは、演算表示器の回転速度表示を見ながら、次の事項を確認します。まず付属モータを回転させておき、次に軸（トーションバー）を回転させた時、表示値が大きくなれば逆回転、小さくなれば同一方向回転となります。

8-1-2 **[MD, SS型]** には単相モータが付属しています。検出器の軸を駆動側という銘板のある方向から軸を見た回転方向 (a) と同一方向へスイッチ (b) を倒します。上下の中央でもスイッチがとまります。確実に倒してください。

（例）SS検出器



8-2 切換部の改造（外部配線化）……有償

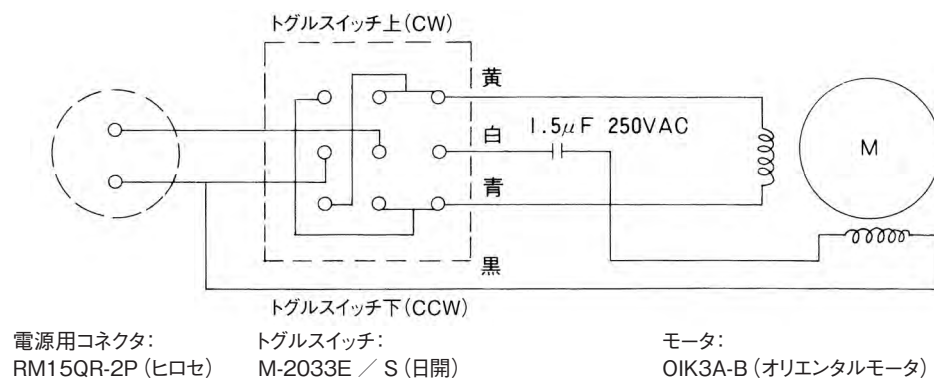
MD、SS型トルク検出器の切換部を改造して、離れた場所で切換える方法に変えられます。電源コネクタと合わせて改造します。電源ケーブルの末端でスイッチを付けて回転方向の切換えが可能となります。

8-2-1 MD型トルク検出器用モータの外部切換

MD型トルク検出器用モータ結線図

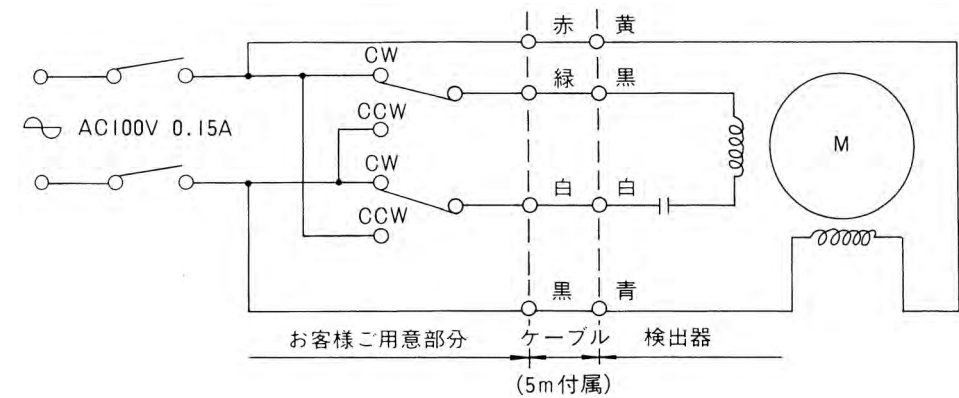
コネクタ、トグルスイッチは、SS-002～SS-200用と同一部品

(1) **[内部切換方式]** (改造しない場合)



DIGITAL TORQUE MEASURENENTS

(2) 外部切換方式 (改造作業の型名MD-0004)



ケーブルの色

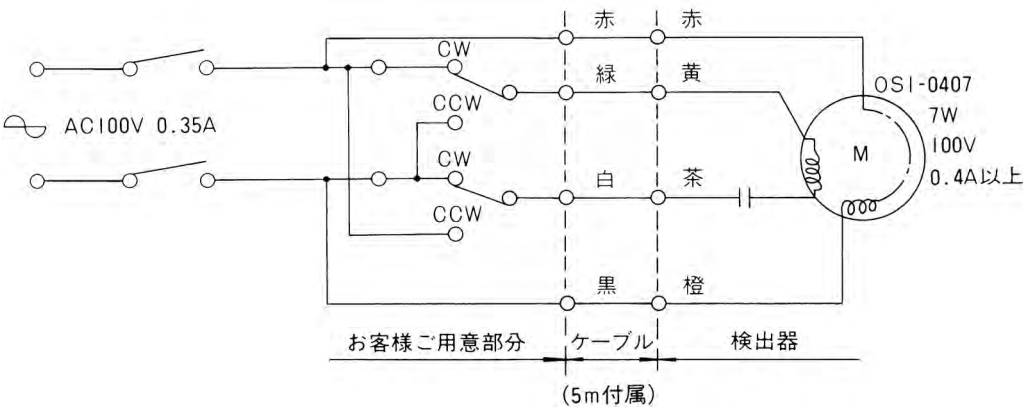
ピン No.	1	2	3	4	コネクタ名
検出器	黄	白	青	黒	RM15QR-4P
ケーブル	赤	白	黒	緑	RM15QPH-4S

※検出器の軸と検出器用モータの軸とでは回転方向を逆にする必要があります。上記のCW、CCWは駆動側から見た時の検出器の軸の回転方向を示しております。
従ってCW又はCCW側にスイッチを倒した時、検出器用モータの軸はこれとは逆方向に回転します。

8-2-2 SS型トルク検出器用モータ外部切換について (改造作業の型名SS-0004)

取付済のレセプタクル (RM15Q-2Pヒロセ電機) をはずし新たに4Pのレセプタクル (RM15QR-4Pヒロセ電機) を取付けます。この時検出器のトグルスイッチは、取付状態になっていますが未結線の状態になります。
この改造をすると電源ケーブルは5mが付属します。ケーブルは、片側はプラグ (RM15QPH-4S) 付、片側オープンとなります。

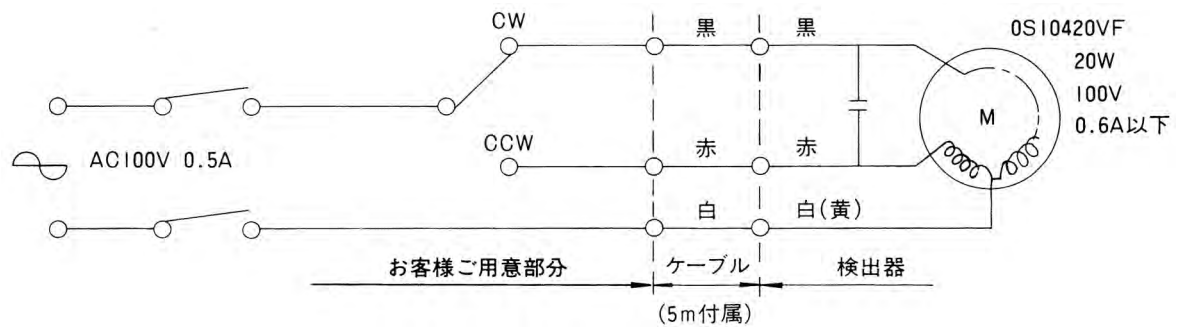
(1) SS-002～SS-200型トルク検出器の外部切換え



DIGITAL TORQUE MEASUREMENTS

ピン No.	1	2	3	4
検 出 器	赤	茶	橙	黄
ケ ー ブ ル	赤	白	黒	緑

(2) SS-500～SS-202型トルク検出器の外部切換え



ピン No.	1	2	3	4
検 出 器	赤	白	黒	アキ
ケ ー ブ ル	赤	白	黒	緑

※検出器の軸と検出器用モータの軸とは回転方向を逆にする必要があります。上記のCW、CCWは駆動側から見た時の検出器の軸の回転方向を示しております。
従ってCW又はCCW側にスイッチを倒した時、検出器用モータの軸はこれとは逆方向に回転します。

9. 信号ケーブルの延長

標準ケーブル長は5mです。5mを越えての使用も可能です。

トルク検出器	MAX ケーブル長	マッチング	備 考
SS	50m	必要 (有償)	
DD、DSTP	100m	必要 (有償)	
DP	50m	必要 (有償)	500r/min 以上の仕様では 100m 可
MD	10m	必要 (有償)	
EZ	50m (お客様ご用意)	必要 (有償) 社内ケーブル使用	

DIGITAL TORQUE MEASURENENTS

10. トルクの計算

伝達動力と回転速度がわかると、伝達トルクを概算することができます。

軸が伝達する動力を H 馬力 (PS) …………… (1)

または H' キロワット (kW) …… (2)

軸の回転速度を N (r/min) とすると、

伝達トルク T (kgfcm) または T' (Nm) は

以下になります。

(1)

$$\frac{T \times \left(\frac{2\pi N}{60}\right)}{7500} = H$$
$$T \div \frac{71620H}{N} \text{ (kgfcm) または、} T' \div \frac{7000H}{N} \text{ (Nm)}$$

(2)

$$\frac{T \times \left(\frac{2\pi N}{60}\right)}{10200} = H'$$
$$T \div \frac{97400H'}{N} \text{ (kgfcm) または、} T' \div \frac{9500H'}{N} \text{ (Nm)}$$
$$T' = \frac{9549.3H'}{N}$$

《トルクの単位換算表》

A 欄の単位からB 欄の単位に換算する場合、
表中の数値をかけてください。

A=B×〔表中の数値〕

A \ B	kNm	Nm	mNm	tfm	kgfm	kgfcm	gfcm	ozin	ftlb
kNm	1	10 ³	10 ⁶	0.1019716	1.019716×10 ²	1.019716×10 ⁴	1.019716×10 ⁷	1.416121×10 ⁵	7.37562×10 ²
Nm	10 ⁻³	1	10 ³	1.019716×10 ⁻⁴	0.1019716	10.19716	1.019716×10 ⁴	1.416121×10 ²	0.737562
mNm	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	1.019716×10 ⁻⁷	1.019716×10 ⁻⁴	1.019716×10 ⁻²	10.19716	0.1416121	7.37562×10 ⁻⁴
tfm	9.80665	9.80665×10 ³	9.80665×10 ⁶	1	10 ³	10 ⁵	10 ⁸	1.3887407×10 ⁶	7.233011×10 ³
kgfm	9.80665×10 ⁻³	9.80665	9.80665×10 ³	10 ⁻³	1	100	10 ⁵	1.3887407×10 ³	7.233011
kgfcm	9.80665×10 ⁻⁵	9.80665×10 ⁻²	98.0665	10 ⁻⁵	10 ⁻²	1	10 ³	13.887407	7.233011×10 ⁻²
gfcm	9.80665×10 ⁻⁸	9.80665×10 ⁻⁵	9.80665×10 ⁻²	10 ⁻⁸	10 ⁻⁵	10 ⁻³	1	0.013887407	7.233011×10 ⁻⁵
ozin	7.061541×10 ⁻⁶	7.061541×10 ⁻³	7.061541	7.200768×10 ⁻⁷	7.200768×10 ⁻⁴	7.200768×10 ⁻²	72.00768	1	5.208333×10 ⁻³
ftlb	1.35582×10 ⁻³	1.35582	1.35582×10 ³	1.38255×10 ⁻⁴	0.138255	13.8255	1.38255×10 ⁴	192	1

11. アナログ出力の時定数

方式の説明

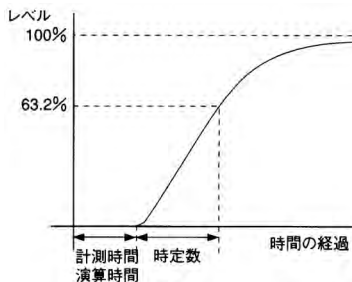
演算表示器 TS-3200、TS-2700はトルクのデジタル値をDA変換してアナログ出力しています。検出器にてトルクが発生してから演算表示器の出力に現われるまでには、時間遅れがあります。1つはデータのサンプリング時間である計測時間、2つめは演算表示器の演算時間、3つめは時定数です。

$$\text{応答時間} = \text{計測時間} + \text{演算時間} + \text{時定数}$$

計測時間と演算時間は各4msです。

時定数とは、1次系のステップ応答においては、出力が全立ち上がり量（または全減衰量）の63.2%に達するのに必要な時間です。

TS-3200、TS-2700は、アナログ電圧（電流）出力の時定数を変更することができます。従って、設定により応答時間が可変です。



【選択の範囲】

時定数	TS-2700	TS-3200	時定数	TS-2700	TS-3200
OFF*/ON	X	オプション TS-0321	63, 500ms	○	○
16, 63ms	オプション TS-0222	○	125, 250ms		
31ms	X	○	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64s	X	○

*時定数OFFでは計測時間、演算時間が各1msです。ONは各1msで、1ms毎のデジタル値に対し $f_c=80\text{Hz}$ (-40dB/dec) のローパスフィルタを通して出力するものです。

【選択のめやす】

(1) FFTアナライザに入力して解析する場合

時定数=OFF

トルク演算表示器の1ms毎のデータをDA変換して出力しますので、出力レベルは階段状に変化します。

(2) ペンレコーダ等で記録する場合

(2-1) 早い変動を見たい場合

時定数=16ms

(2-2) 比較的ゆっくりした変動の場合

時定数=250ms

(2-3) 長い時間の平均的な変化の場合

時定数=8s

船の推進軸などの大きな負荷トルクの測定で選択します。

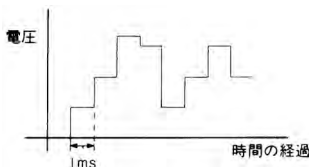
(3) アナログメータに入力する場合

時定数=1s

(4) 制御フィードバックに使用する場合

時定数=OFF またはその機種が一番早い時定数

(5) その他、使用するシステムにより適切な時定数を選んで下さい。



小野測器技術ノート No.68
デジタルトルクメータ

1995年5月20日 発行
2008年4月22日 第5版

解 説 トルク計測グループ

発 行 **株式会社 小野測器** ©2008
226-8507 神奈川県横浜市緑区白山 1-16-1
電話 (045) 935-3888 (代)

本書の内容の一部または全部を無断で複写複製することは、
法律で認められた場合を除き、著作権者の権利の侵害となります。

株式会社 小野測器

お客様相談室  フリーダイヤル 0120-388841

北 関 東 (028) 684-2400 横 浜 (045) 935-3838 中 部 (052) 701-6156
群 馬 (0276) 48-4747 量 販 (045) 935-3856 京 都 (075) 957-6788
埼 玉 (048) 474-8311 沼 津 (055) 988-3738 大 阪 (06) 6386-3141
首 都 圏 (03) 3757-7831 浜 松 (053) 462-5611 広 島 (082) 246-1777
多 摩 (042) 573-2051 ト ヨ タ (0565) 31-1779 九 州 (092) 432-2335

ホームページアドレス	http://www.onosokki.co.jp/
E-mailアドレス	webinfo@onosokki.co.jp

●このパンフレットは、環境にやさしい「植物性大豆油インキ」「再生紙」を使用しています。