

4 . ボルトの締付けについて

ボルトの締め付けは、極めて重要であるにも拘らず、簡単な用具で行うことができるので、安易に扱われることが多いのが実情です。

日本ねじ研究協会が、ねじのトラブルについて調査を行った結果、表4 - 1に示す通り、締付け不良が一番のトラブル原因となっており、それに関するゆるみ・疲れ破壊を加えると、実に75%が締付けに係わるトラブルにつながっていることが判ります。

初期締付け力は、締結体の疲れ破壊、ゆるみ、気密機能等の性能に直接影響を与えるため、締結体の信頼性は、この締付け管理に負うところが、極めて大きいと言えます。

そこでボルトの締付けが、いかに重要であるかを、我々は再認識する必要があります。

ボルトの締付け方法としては、トルク法、トルク勾配法、回転角法、伸び測定法などがあるが、等については、ねじ締付け通則（JIS B 1083）にその概要が記述されているので、そちらをご参照下さい。

ここでは、一般に広く使用されているのトルク法についてご説明いたします。

トルク法によってボルトを締付けた場合、トルクは座面の摩擦に50%、ねじ面の摩擦に40%が消費され、残りの10%しか軸力に変換されず、非常に伝達効率が悪く、軸力のバラツキを生じやすい方法ですが、その反面、作業性に優れた簡便法であるため、広く使用されている所以です。

4 - 1 . トルクと軸力の関係

一般にボルトを締付けた場合は、図4 - 1のaのように、単純引張りのbより低い値で降伏し、相対的に軸力が低下するのが通常です。この低下率は、ねじ面及び座面の摩擦係数が大きいほど大きく、摩擦係数は、被締付け物とめねじの材質、潤滑状態等により決まるものです。

普通、トルク法によってボルトを締付ける際の目標締付け軸力は、規格耐力の70%を最大とする弾性域内で決められます。

近年、80%を最大とする新トルク法が提唱されているが、ここでは従来の70%を最大とするトルク法について、説明を進めることとします。

表4 - 1 ねじ締結体のトラブルの主要原因

主要原因	割合 (%)
締付け不良	43
ゆるみ	20
疲れ破壊	12
保守管理不良	9
製品不良	8
遅れ破壊	4
設計不良	4

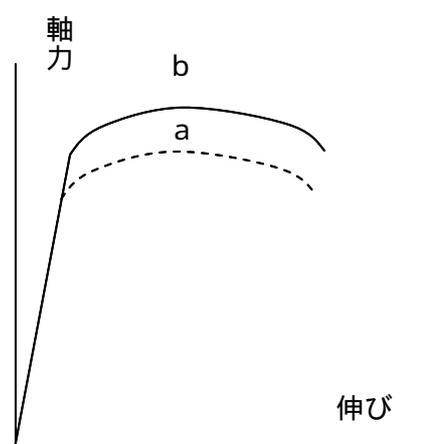


図4-1 ボルトの伸びと軸力

4 - 2 . トルク法締付け

一般に、トルク (T_f) と軸力 (F_f) の関係は (1) 式で示されます。

$$T_f = k \cdot d \cdot F_f \dots \dots \dots (1)$$

図4-2に示すように、kのバラツキ、 T_f の設定許容値等により(1)式は、(2)式に置き換えられ、一般には、この(2)式によって、締付けトルク (T_{fA}) が決定されます。

$$T_{fA} = 0.35 k (1 + 1/Q) \cdot A_s \cdot d \dots \dots (2)$$

ここでは、kはねじ面の摩擦係数 (μ_s)、座面の摩擦係数 (μ_w) によって決定される値ですが、我々は、六角穴付きボルトを用いて実験により、その目安値を求めたので、代表的なものを表4-2に示しました。

組合せ条件によってkの値に差があり、これが締付け軸力のバラツキを生む要因であることが判ります。

Qは締付け係数と呼ばれ、 $Q = F_{fmax} / F_{fmin}$ で表すことができ、バラツキの尺度の目安となるものです。Qは締付け方法や用具等により相違しますが、その標準値を表4-3に示しました。

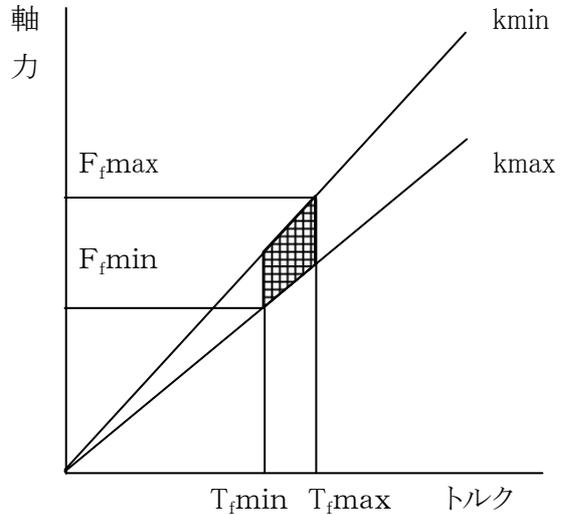


図4-2 トルクと軸力の関係

4 - 3 . 締付けトルクの目標値の算定方法

実際の締付けの際には、締付けトルクを決定しなければならないのですが、この項で示した図表を使って、次に例題を示し、その算定を行うことにします。

- [例-1] 六角穴付きボルト M10 黒色酸化被膜 12.9
 被締付け物 調質材(SCM435)
 めねじ FC200 表4-2から $k=0.145 \pm 0.005$
 潤滑 油
 締付け用具 トルクレンチ 表4-3から $Q=1.4$

締付けトルク T_{fA} は、(2)式から

$$T_{fA} = 0.35 \times 0.145 (1 + 1/1.4) \times 112 \times 58 \times 1 \\ = 565 \text{ Kgf-cm} = 5.7 \text{ Kgf-m} (= 55 \text{ N-m})$$

- [例-2] 六角穴付きボルト M8 電気亜鉛めっき 10.9
 被締付け物 FC200 表4-2から $k=0.250 \pm 0.05$
 めねじ FC200 表4-3から $Q=2$
 締付け用具 動力ドライバー

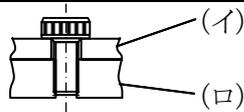
締付けトルク T_{fA} は、(2)式から

$$T_{fA} = 0.35 \times 0.25 (1 + 1/2) \times 95 \times 36.6 \times 0.8 \\ = 365 \text{ Kgf-cm} = 3.7 \text{ Kgf-m} (= 36 \text{ N-m})$$

4-4. 目標締付けトルク

表4-2のトルク係数kから、式(2)を用いて図4-3に六角穴付きボルトの目標締付けトルクを算出して示しました。

表4-2 ボルトの表面処理と被締付け物及びめねじ材質の組合せによるトルク係数 k

ボルト 表面処理 潤滑	トルク係数 k	組合せ 被締付け物の材質 - めねじ材質						
		(イ)	(ロ)					
鋼ボルト 黒色酸化被膜 (テンパ・カラー 黒染・等) 油(NP-7相当)	0.145±0.005	SCM-FC	FC-FC	SUS-FC				
	0.155±0.005	S10C-FC	SCM-S10C	FC-S10C	SCM-SCM	FC-SCM		
	0.165±0.005	SCM-SUS	FC-SUS	Al-FC	SUS-S10C	SUS-SCM	SUS-SUS	
	0.175±0.005	S10C-S10C	S10C-SCM	S10C-SUS	Al-S10C	Al-SCM		
	0.185±0.005	SCM-Al	FC-Al	Al-SUS				
	0.195±0.005	S10C-Al	SUS-Al					
	0.205±0.005							
鋼ボルト 黒色酸化被膜 無	0.215±0.005	Al-Al						
	0.250±0.05	S10C-FC	SCM-FC	FC-FC				
	0.350±0.05	S10C-SCM	SCM-SCM	FC-S10C	FC-SCM	Al-FC		
	0.450±0.05	S10C-S10C	SCM-S10C	Al-SCM	Al-S10C			
鋼ボルト 電気亜鉛めっき 無	0.550±0.05	SCM-Al	FC-Al	Al-Al				
	0.250±0.05	S10C-SCM	S10C-FC	FC-SCM	FC-FC			
	0.350±0.05	S10C-S10C	SCM-S10C	SCM-SCM	SCM-FC	FC-S10C	Al-S10C	Al-SCM
ステンレスボルト 光沢バレル 無	0.450±0.05	S10C-Al	SCM-Al	FC-Al	Al-Al			
	0.250±0.05	FC-FC	SUS-FC					
	0.350±0.05	Al-FC						
	0.450±0.05	FC-Al	FC-SUS	SUS-SUS				
0.550±0.05	Al-Al	Al-SUS	SUS-Al					

S10C = 未調質軟鋼

SCM = 調質鋼 (HRC35)

FC = 鋳鉄 (FC200)

Al = アルミニウム

SUS = ステンレス (SUS304)

NP-7 = JIS 防錆油

表4-3 締付け係数Qの標準値

締付け係数 Q	締付け方法	表面状態		潤滑状態
		ボルト	ナット	
1.15	トルク勾配法 回転角法(塑性域)	すべての場合	すべての場合	すべての場合
1.25	トルクレンチ	マンガンリン酸塩	無処理又はリン酸塩	油潤滑又は MoS ₂ ペースト
1.4	トルクレンチ、 トルク制限付きレンチ	無処理又はリン酸塩		
1.6	インパクトレンチ			
	ボルトの伸び測定	すべての場合	すべての場合	すべての場合
1.8	トルクレンチ トルク制限付きレンチ	無処理又はリン酸塩	無処理	潤滑せず
2	インパクトドライバ 動カドライバ	亜鉛又は カドミウムめっき	無処理	油潤滑又は 潤滑せず
		亜鉛めっき	亜鉛めっき	
		カドミウムめっき	カドミウムめっき	
	ナット回転角法(弾性 域)	すべての場合	すべての場合	すべての場合
3	長柄スパナによる 人力締付け	すべての場合	すべての場合	すべての場合

図4-3 六角穴付きボルトの目標締付けトルク(T_f)

トルクレンチ締め
 $Q=1.6$
 $F_{fmax}=0.7\sigma_y \cdot A_s$

$$T_f = 0.35k(1 + 1/Q)\sigma_y \cdot A_s \cdot d$$

