

4. ボルトの締付けについて

ボルト締付けは、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、安易に取り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・疲労破壊を加えると、実に 75%が締付けに係わるトラブルにつながっています。

初期締付け力は、締結体の疲労破壊、ゆるみ、気密機能等の性能に直接影響を与える為、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りますが、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、広く使用されています。

4-1 ねじ締結体のトラブル主要原因

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

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、被締結体とめねじの材質、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め付け軸力は、規格耐力の 70%を最大とする弾性領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。

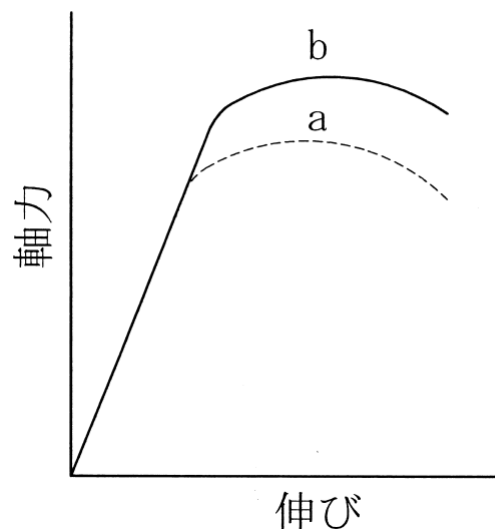


図 4-1 ボルトの伸びと軸力

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)式であらわされます。

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

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

一般的にはこの(2)式によって、締付けトルク T_{fA} が決定されます。

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

ここで 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た実験により、その目安値を求めたもので代表的なものを表 4 - 2 に示しました。

組み合わせ条件によって、 k の値に差があり、これが締付け軸力のバラツキを発生させる要因であることがわかります。

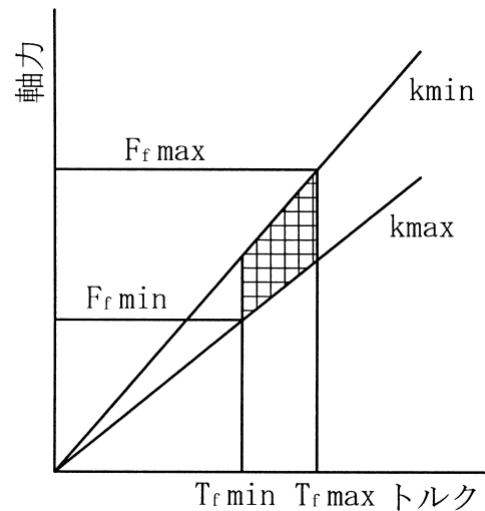


図 4 - 2 トルクと軸力の関係

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。

4 - 3.締付けトルク的目標値の算定方式

実際の締め付けの際には、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

被締結体の材質 調質材(SCM435)

めねじの材質 FC200 潤滑...油

表 4 - 2 より $k = 0.145 \pm 0.005$

締付け用具...トルクレンチ

表 4 - 3 より $Q = 1.4$

締付けトルク T_{fA} は(2)式より

$$T_{fA} = 0.35 \times 0.145(1+1/1.4) \times 1098\text{N/mm}^2 \times 58\text{mm}^2 \times 10\text{mm} = 55400\text{N} \cdot \text{mm} \\ = 55.4\text{N} \cdot \text{m}$$

「例 - 2」 六角穴付きボルト M8 電気亜鉛めっき 10.9

被締結体の材質 FC200 めねじの材質 FC200 潤滑...無し

表 4 - 2 より $k = 0.25 \pm 0.05$

締付け用具...動力ドライバー

表 4 - 3 より $Q = 2$

締付けトルク T_{fA} は(2)式より

$$T_{fA} = 0.35 \times 0.25(1+1/2) \times 930\text{N/mm}^2 \times 36.6\text{mm}^2 \times 8\text{mm} = 35740\text{N} \cdot \text{mm} \\ = 35.7\text{N} \cdot \text{m}$$

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結体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	
		被締結体の材質 - めねじ材質 (イ) (ロ)	
鋼ボルト 黒色酸化被膜 (テンパーカラー ・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 AlS10C Al-SCM	
	0.185 ± 0.005	SCM-Al FC-Al Al-SUS	
	0.195 ± 0.005	C10C-Al SUS-Al	
	0.205 ± 0.005		
鋼ボルト 黒色酸化被膜 潤滑無し	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 潤滑無し	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 Al-FC	
ステンレスボルト 光沢バレル 潤滑無し	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	マンガン燐酸塩	無処理又は燐酸塩	潤滑剤又は MoS ₂ ペースト
1.4	トルクレンチ トルク制限付きレンチ	無処理又は燐酸塩		
1.6	インパクトレンチ	すべての場合	すべての場合	すべての場合
	ボルトの伸び測定			
1.8	トルクレンチ トルク制限付きレンチ	無処理又は燐酸塩	無処理	潤滑せず
2	インパクトドライバ 動力ドライバ	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(塑性域)	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め付けトルク
 $T_f A = 0.35k(1+1/Q) y \cdot A_s \cdot d$

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

