



ボルトの締付方法

ボルトの締結において重要なことは、被締結物に適切な締付け力を与えることであります。そのためには、適正な締付け力を与えることのできるボルト及び締付け方法を選定し、締付けの段階では、締付け方法を忠実に実行し、目標とする締付け力（初期締付け力）を確保することが必要です。

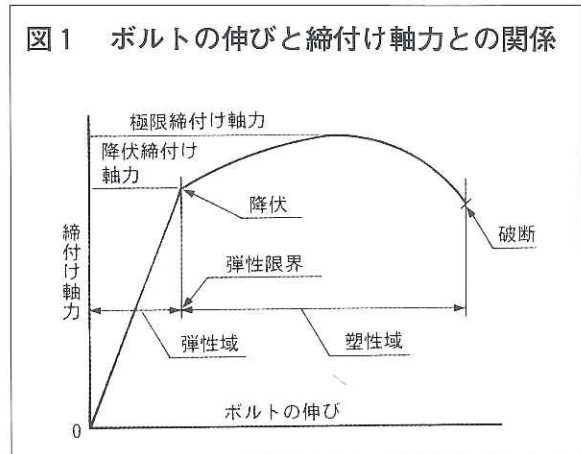
ボルトの締付け方法に関してはJIS B 1083（ねじの締付け通則）及びJIS B 1084（締結用部品－締付け試験方法）がセットで規定されており、ボルト締付け方法選定の指針として利用されております。本章では、この規格を参考にしながら一般的なボルトの締付け方法について説明します。

現在利用されている代表的なボルトの締付け管理方法を表1に示します。

表1 代表的な締付け管理方法

締付け管理方法	指 標	締付けの領域
トルク法	締付けトルク	弾 性 域
回転角法	締付け回転角	弾 性 域
		塑 性 域
トルクこう配法	締付け回転角に対する締付けトルクのこう配	弾性限界

図1 ボルトの伸びと締付け軸力との関係



それぞれの締付け方法には、ボルトの有している変形領域に応じた締付けの領域があり、締付け軸力の範囲が異なります。図1は、ボルトの伸びと締付け軸力との関係を模式的に図示したものであり、図より締付け軸力の大きさは、弾性域<弾性限界<塑性域の関係があることがわかります。

トルク法締付け

トルク法締付けは、締付けトルクと締付け力の線形関係（図1の弾性域内）を利用した締付け管理方法であり、最も多く利用されている締付け方法であります。

トルク法締付けは、ボルトの弾性域では、締付けトルク（Tf）と締付け力（Ff）の関係が式（1）で示されることを利用しています。（図2参照）

$$Tf = \frac{1}{2d} \left(\frac{P}{\pi} + \mu_s \cdot d_2 \cdot \sec \alpha' + \mu_w \cdot Dw \right) \cdot d \cdot Ff = k \cdot d \cdot Ff \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここで } K = \frac{1}{2d} \left(\frac{P}{\pi} + \mu_s \cdot d_2 \cdot \sec \alpha' + \mu_w \cdot Dw \right)$$

- K : トルク係数 μ_s : ねじ面摩擦係数
- Mw : 座面摩擦係数 d : ねじの呼び径
- D2 : ねじの有効径 P : ねじのピッチ
- α' : ねじ山の山直角断面におけるフランク角
- Dw : 座面における摩擦トルクの当価直径

（例）設計段階で締付け力の上限值及び下限値が与えられている場合、目標締付けトルク（TfA）を求める方法

（1）設計値

締付け力の上限值 Fth=210KN

締付け力の下限值 Ftl = 150KN

前提条件

①トルク係数 (締付け試験により求めることができる)

$$K_{max}=0.200$$

$$K_{min}=0.170$$

②トルクレンチの誤差率 $m = \pm 3\%$

③ボルトの呼び径

(2) ボルトの強度区分の決定

ボルトの最大締付け応力

$$\sigma_{fmax} = \frac{F_{fmax} (=F_{th})}{A_s} = \frac{210000}{245} = 857\text{N/mm}^2$$

$< 940\text{N/mm}^2 \cdots 10.9$ ボルトの耐力

A_s : ねじ部の有効断面積

より、ボルトの強度区分は10.9と決定。

(3) 目標締付けトルク T_{fA} の計算

$F_{fmax} = F_{th} (= 210\text{KN})$ となるための

T_{fA} を求める。

(1) 式より

$$T_{fmax} = T_{fA} \left(1 + \frac{m}{100} \right) = K_{min} \cdot d \cdot F_{max}$$

目標締付けトルクは、

$$\begin{aligned} T_{fA} &= \frac{K_{min} \cdot d \cdot F_{max}}{\left(1 + \frac{m}{100} \right)} \\ &= \frac{0.170 \times 20 \times 210000}{1 + 0.03} = 693\text{KN} \cdot \text{mm} \\ &= 693\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

となる

$$T_{fmin} = T_{fA} \left(1 - \frac{m}{100} \right) = K_{max} \cdot d \cdot F_{min}$$

$$F_{min} = \frac{T_{fA}}{K_{max} \cdot d} \left(1 - \frac{m}{100} \right)$$

$$= \frac{693}{0.200 \times 20} \times (1 - 0.03) = 168\text{KN} > 150\text{KN} (= F_{tl})$$

より締付けトルク T_{fA} ($= 693\text{N} \cdot \text{m}$) は適切である。

締付け管理を精度よく実施するには、トルク係数の管理が必要です。((1) 式より締付けトルク (T_f) と締付け力 (F_f) の関数は、トルク係数 (k) により一義的に決まることからわかります)

トルク係数は、ボルトの座面及びねじ面の表面状態、めねじの表面状態、被締付け物の表面状態そして潤滑状態等に影響されます。表2は、それぞれの条件因子をかえた場合のトルク係数の試験結果例を示します。

表2より、締結部の表面状態により、トルク係数は大きく変わるため、締付けに当たっては、トルク係数を十分に把握しておくことが必要です。(このことを考慮して建築、橋梁に使用されております高力ボルトには、ボルト、ナット及び座金のセットの規格として、トルク係数が規定されております)

図2
締付けトルクと締付け軸力との関係
(トルク法締付け)

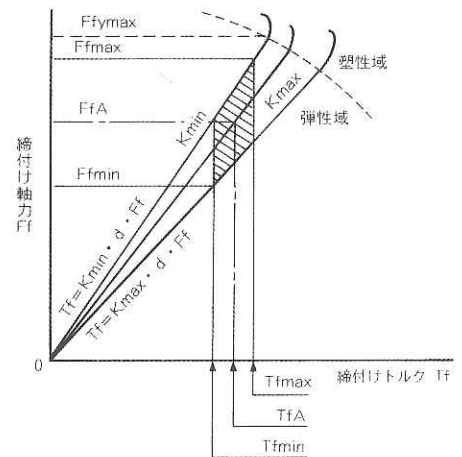


表2 トルク係数 (K) の例

表面状態		被締付け物及び めねじの材質	トルク係数 (k)	
ボルト	めねじ		平均値	標準偏差
テンパーカラー + 防錆油	切削油	炭素鋼	0.167	0.005
テンパーカラー + 二硫化モリブデン	切削油	炭素鋼	0.143	0.005
電気亜鉛めっき	切削油	炭素鋼	0.162	0.006
電気亜鉛めっき	無潤滑	炭素鋼	0.303	0.021

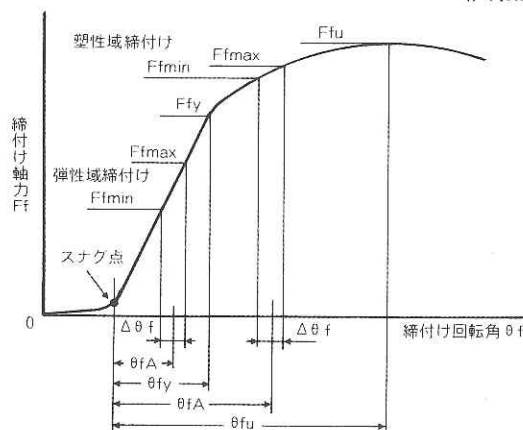
備考：1. ボルトは、10.9強力六角ボルトを使用。
2. 弊社比較試験による。

回転角法締付け

回転角法締付けは、ボルト頭部とナット（立て込みの場合は、めねじ部材）との相対回転角（ θf ）を指標として、初期締付け力（ Ff ）を管理する方法で弾性域締付けと塑性域締付けの両方に用いることができます。（図3参照）。

一般的には、 $\theta f - Ff$ 線図のこう配が急な場合は、回転角の設定誤差による締付け力のばらつきが大きくなるため、弾性域締付けの方が塑性域締付けに比較して不利になります。塑性域締付けは、回転角の影響を受けにくく、より高い締付け力が得られるという利点をもちますが、ボルトねじ部又は円筒部が塑性変形を起こすため、ボルトの延性が小さい場合には注意を要します。

図3 締付け回転角と締付け軸力との関係
(回転角法締付け)



Ff_{max} ：初期締付け力の最大値
 Ff_{min} ：初期締付け力の最小値
 Ffu 、 θfu ：極限締付け軸力、回転角
 Ffy 、 θfy ：降状締付け軸力、回転角
 θfA ：目標締付け回転角
 スナグ点：被締付け物がなじみ、
 弾性域締付けが開始する点

(例) 塑性域締付けの場合

(1) 前提条件

- ①トルク係数 $Km=0.200$
- ②スナグトルク $Tfs=70N \cdot m$
- ③弾性域の軸力勾配 $\eta=4.000KN/deg$
- ④降状締付け軸力 $Ffy=240KN$
- ⑤極限締付け軸力 $Ffu=270KN$
- ⑥極限締付け回転角 $\theta fu=180^\circ$ (スナグ点を起点)
- ⑦ボルトの呼び径 M20

(η 、 Ffy 、 Ffu 、 θfA 及び θfu は $\theta f - Ff$ 線図より求めることができます。)

(2) 目標締付け回転角 θf_A を求める

(a) 降状締付け軸力の値に対応する締付け回転角 θf_y をスナグ点を起点として求める。

$$\begin{aligned} \theta f_y &= \frac{1}{\eta} \left(F f_y - \frac{T f_s}{k m \cdot d} \right) \\ &= 1 / 4.000 \times \left(240 - \frac{70}{0.200 \times 20} \right) \\ &= 55.6^\circ \end{aligned}$$

(b) スナグ点を起点とした目標締付け回転角 θf_A を、下式の範囲より選ぶ

$$\begin{aligned} \theta f_y \leq \theta f_A \leq \frac{1}{2} (\theta f_y + \theta f_u) \\ 55.6^\circ \leq \theta f_A \leq \frac{1}{2} (55.6^\circ + 180^\circ) = 117.8^\circ \end{aligned}$$

トルクこう配法締付け

トルクこう配法締付けは、締付け回転角 θf と締付けトルク $T f$ の関係 (図 4) から $\theta f - T f$ 線図のこう配 $\left(\frac{dTf}{d\theta f} \right)$ を検出し、その値の変化を指標として、初期締付け力を管理する方法で、通常はボルトの降状締付け軸力が初期締付け力の目標値となります。従って、ボルトの降状点又は耐力について十分な管理が必要となると同時に $\left(\frac{dTf}{d\theta f} \right)$ を検出して、ボルトの締付けを行う締付け機の精度管理が大切です。 $\left(\frac{dTf}{d\theta f} \right)$ 検出は、締付け機のモータの負荷電流の変化を電氣的にとらえることにより行います。

