

2

ねじ締付け

Bolt Tightening

2-1	各種締付け方法	
	各種締付け方法	30
2-2	ねじとトルク	
	ねじとトルクの関係式	31
2-3	トルク係数	
	(1) トルク係数の公式	32
	(2) トルク係数は一定ではない	32
	(3) トルクが一定でも軸力はバラツク	32
2-4	締付けトルクの決め方	
	(1) 適正締付けトルク	33
	(2) 締付けトルクの決め方	33
	(3) 締付けトルクの標準化	34
	(4) 標準締付けトルクと軸力	36
2-5	締付けトルクの公差	
	締付けトルクの公差	38
2-6	軸力安定の締付け(締付け手順)	
	(1) 千鳥締付け	39
	(2) 二段締め	39
	(3) 二度締め	39
	(4) 安定化締付け	39

トルクと軸力

なぜねじを締付けるのか？

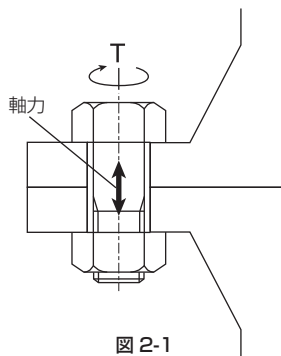
ねじを締付けるのは、物を動かなくする（固定する）ための手段です。

その目的は以下をはじめ多岐にわたります。

- 1.ワークの固定、締結
- 2.駆動力の伝達、制動力の伝達
- 3.気体・液体の密閉

この時の固定する力を、軸力（締付け力）と言い、「適切な軸力を与える」ことがねじの締付けの目的となります。

本来は軸力管理を行いたいですが、軸力を測定するのが困難なため、代用特性として、締付け管理や作業が容易にできるトルク法で管理を行います。



固定、伝達、もれ防止には、複数の手段により確実性を向上させるものもある。

2-1

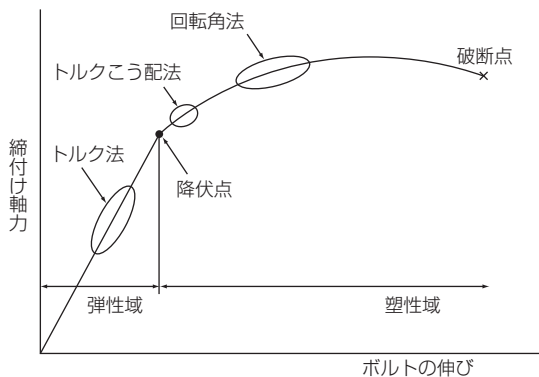
各種締付け方法

各種締付け方法

表 2-1. 各種締付け方法

締付け方法	内容	メリット・デメリット
トルク法	締付けの際、ねじを回すトルク値で締付けを管理する。 最も広く一般に用いられている方法。	締付けの管理や作業が容易。締付けコストが低い。 ボルトの長さによってトルク値が変化しないので標準化が容易。 軸力のバラツキ幅が大きくねじの効率が低くなる。
回転角法	ねじが着座してから、ねじを回す角度で締付けを管理する。 スナッグトルクから規定角度まで締付けを行う。	塑性域での締付けを行うと軸力のバラツキが小さく作業が簡単に行える。 降伏点を越えて締付けるので、付加荷重や再締付けがあるねじ継手には限度あり。角度の決定が難しい。
トルクこう配法	ねじの締付け角度に対してのトルク上昇率の変化から降伏点に入った時点で締付けを管理する。 角度、トルク等の処理演算は電子回路で行う。	軸力のバラツキ幅が小さいのでねじ継手の効率大。 ボルト自身の検査も可。 締付けが降伏点を越える。締付け機が高価。 サービ分野で同じ締付けが不可能。
測伸法	ボルトの締付けによって生じたボルトの伸びで締付けを管理する。 伸びはマイクロメータ、超音波、心金を用いて測定する。	軸力のバラツキは最小、弾性限度内の締付けが可能。 ねじ継手の効率大。付加荷重や再締付けが可能。 ボルトは端面仕上げが必要。締付けコスト大。
加力法	ボルトに引っ張り荷重を与えてナットを締める荷重によって締付けを管理する。	軸力が直接管理できる。 ボルトのねじれ応力が生じない。 締付け機もボルトも特殊。高価。
加熱法	ボルトのみを加熱して伸びを与え、温度によって締付けを管理する。	締付けの際のスペース、力が不要。 軸力との関係が不意、温度の設定管理が困難。

図 2-2. 締付け管理方法



2-3 トルク係数

(1) トルク係数の公式

$$K = \frac{1}{2d} \left[d_2 \left(\frac{\mu}{\cos \alpha} + \tan \beta \right) + \mu n \cdot d_n \right]$$

dは、ねじの呼び径[mm]

(2) トルク係数は一定ではない

表 2-2. トルク係数と摩擦係数

潤滑	トルク係数K 最小～平均～最大	摩擦係数 $\mu(=\mu n)$ 最小～平均～最大
一般機械用油脂 スピンドル油 マシン油 タービン油 シリンダー油	0.14～0.20～0.26	0.10～0.15～0.20
低摩擦用油脂 二硫化モリブデン ワックス系油脂	0.10～0.15～0.20	0.067～0.10～0.14
Fcon 軸力安定化剤 P.438参照	0.16～0.18～0.20	0.12～0.135～0.15

注：本表の数値は、一般的なねじ継ぎ手についての値であり、特殊条件の場合は、この限りではない。

$$K \approx 1.3\mu + 0.025$$

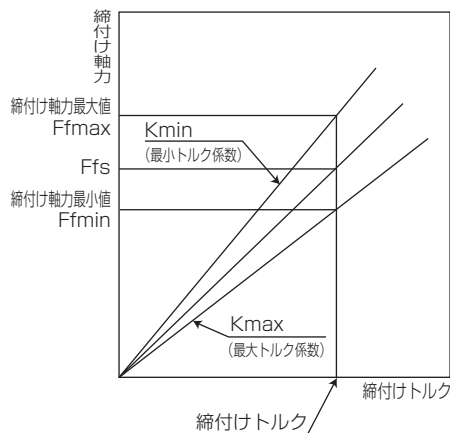
min、maxはバラツキ幅(±3σ)を意味する。条件(潤滑油、形状等)が限定すればバラツキ幅は小さくなる。

(3) トルクが一定でも軸力はバラツク

■ 軸力のバラツキの要因

- 潤滑剤
- 被締結体の機械的要因
- 環境
- 締付け速度
- ねじの繰返し使用等

図 2-5. 締付けトルクと締付け軸力の関係



例) 締付けトルクを一定にして、トルク係数が変わると軸力がどう変化するか

$$F_f = T / (K \cdot d)$$

ボルト呼び径: $d = 10$ [mm]

締付けトルク: $T = 24$ [N·m]

トルク係数: $K_{min} = 0.14, K = 0.2, K_{max} = 0.26$

$K_{min} = 0.14$ の場合

$$F_{fmax} = 24 / (0.14 \times 0.01) = 17140 \text{ [N]}$$

$K_{max} = 0.26$ の場合

$$F_{fmin} = 24 / (0.26 \times 0.01) = 9230 \text{ [N]}$$

$K = 0.2$ の場合

$$F_{fs} = 24 / (0.2 \times 0.01) = 12000 \text{ [N]}$$

K_{min} と K_{max} では軸力が倍近く変わってしまう

2-4

締付けトルクの決め方

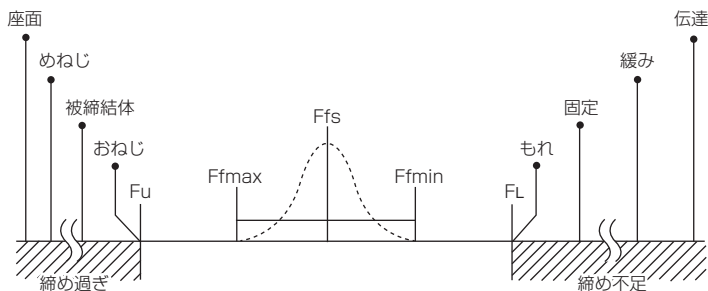
(1) 適正締付けトルク

おねじの強度
めねじの強度
被締結体の強度
座面の強度

$$Fu > F_{fmax} \sim F_{fs} \sim F_{fmin} > FL$$

固定
機密 限度
伝達
緩み

図 2-6. 適正締付けトルク



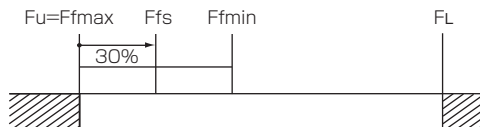
(2) 締付けトルクの決め方

表 2-3. 締付けトルクの決め方

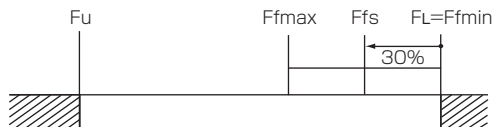
1 標準化	締付けトルクを社内で標準化する。(P.34図2-8参照)
2 現在の締付けの規格化	現在の締付けトルクを推定して規格化する。
3 破断トルク法 (上限合わせ)	ねじ継ぎ手の破断トルクの70%を締付けトルクとする。(Ffmax=Fu)
4 所要軸力法	不都合の生じない最低のトルクの130%を締付けトルクとする。(Ffmin=FL)
5 軸力測定法	軸力計より最適軸力になる締付けトルクを推定する。

図 2-7. 破断トルク法、所要軸力法

破断トルクによる締付けトルクの決め方



所要トルクによる締付けトルクの決め方



2-4 締付けトルクの決め方

(3) 締付けトルクの標準化

■ ねじとトルクの関係図

計算式

$$T = K \cdot d \cdot F_f$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6}$$

$$H = 0.866025P$$

$$\sigma = \frac{F_f}{A_s}$$

T: 締付けトルク [N・m]

K: トルク係数 0.2 ($\mu \doteq 0.15$)

d: ボルトの呼び径 [mm]

Ff: 軸力 [N]

A_s: ボルトの有効断面積 [mm²]
(JIS B 1082)

d₂: ボルトの有効径 [mm]
(JIS B 0205)

d₃: おねじ谷の径の基準寸法(d₁)
からとがり山の高さHの $\frac{1}{6}$
を減じた値 [mm]

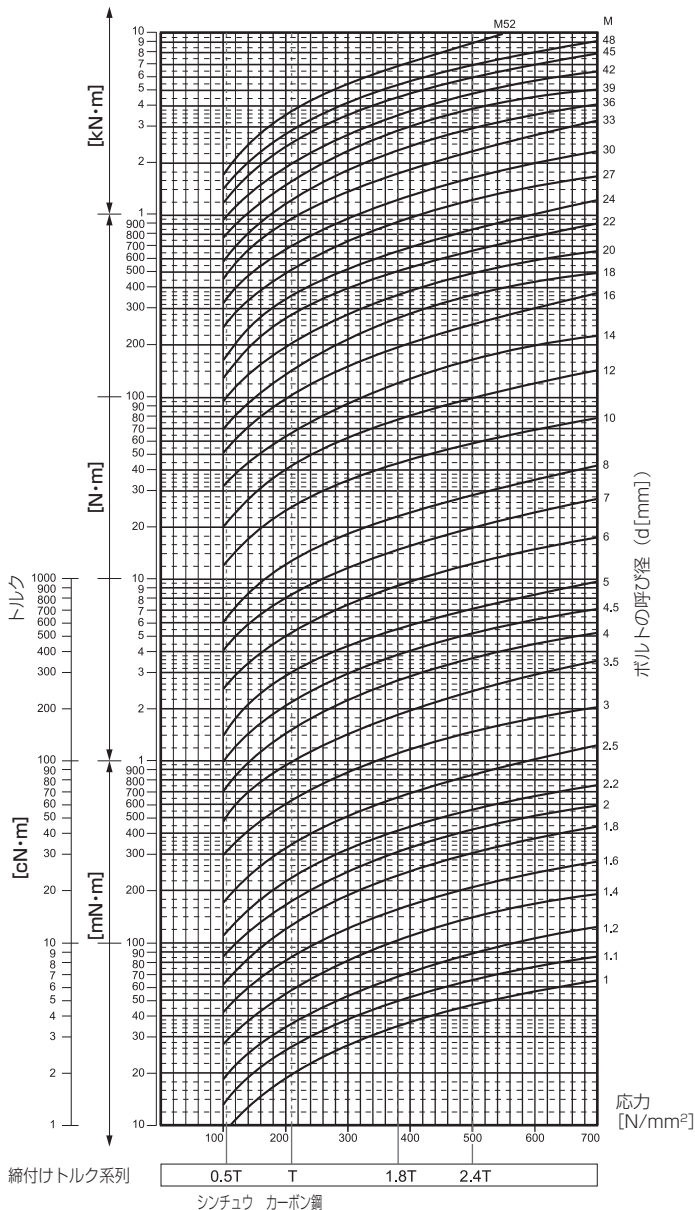
d₁: ボルトの谷径 [mm]
(JIS B 0205)

H: とがり山の高さ [mm]

P: ピッチ [mm]

σ : ボルトの引張応力 [N/mm²]

図 2-8. ねじとトルクの関係図



■標準締付けトルク

表2-4. 標準締付けトルク [N・m]

(参考値)

ねじの呼び径	T [N・m]	0.5T系列 [N・m]	1.8T系列 [N・m]	2.4T系列 [N・m]
M1	0.0195	0.0098	0.035	0.047
(M1.1)	0.027	0.0135	0.049	0.065
M1.2	0.037	0.0185	0.066	0.088
(M1.4)	0.058	0.029	0.104	0.140
M1.6	0.086	0.043	0.156	0.206
(M1.8)	0.128	0.064	0.23	0.305
M2	0.176	0.088	0.315	0.42
(M2.2)	0.23	0.116	0.41	0.55
M2.5	0.36	0.18	0.65	0.86
M3	0.63	0.315	1.14	1.50
(M3.5)	1	0.5	1.8	2.40
M4	1.5	0.75	2.7	3.6
(M4.5)	2.15	1.08	3.9	5.2
M5	3	1.5	5.4	7.2
M6	5.2	2.6	9.2	12.2
(M7)	8.4	4.2	15	20.0
M8	12.5	6.2	22	29.5
M10	24.5	12.5	44	59
M12	42	21	76	100
(M14)	68	34	122	166
M16	106	53	190	255
(M18)	146	73	270	350
M20	204	102	370	490
(M22)	282	140	500	670
M24	360	180	650	860
(M27)	520	260	940	1240
M30	700	350	1260	1700
(M33)	960	480	1750	2300
M36	1240	620	2250	3000
(M39)	1600	800	2900	3800
M42	2000	1000	3600	4800
(M45)	2500	1250	4500	6000
M48	2950	1500	5300	7000
(M52)	3800	1900	6800	9200
M56	4800	2400	8600	11600
(M60)	5900	2950	10600	14000
M64	7200	3600	13000	17500
(M68)	8800	4400	16000	21000

基準軸応力: 210 [N/mm²] 有効断面積 (JIS B1082)

表2-5. 標準締付けトルク [kgf・cm]

(参考値)

ねじの呼び径	T [kgf・cm]	0.5T系列 [kgf・cm]	1.8T系列 [kgf・cm]	2.4T系列 [kgf・cm]
M1	0.199	0.100	0.357	0.479
(M1.1)	0.275	0.138	0.500	0.663
M1.2	0.377	0.189	0.673	0.897
(M1.4)	0.591	0.296	1.06	1.43
M1.6	0.877	0.438	1.59	2.10
(M1.8)	1.31	0.653	2.35	3.11
M2	1.79	0.897	3.21	4.28
(M2.2)	2.35	1.17	4.18	5.61
M2.5	3.67	1.84	6.63	8.77
M3	6.42	3.21	11.6	15.3
(M3.5)	10.2	5.1	18.4	24.5
M4	15.3	7.6	27.5	36.7
(M4.5)	21.9	11.0	39.8	53.0
M5	29.4	14.7	53.0	70.6
M6	53.0	26.5	93.8	124
(M7)	85.7	42.8	153	204
M8	127	63.2	224	301
M10	250	127	449	602
M12	428	214	775	1020
(M14)	693	347	1240	1690
M16	1080	540	1940	2600
(M18)	1490	744	2750	3570
M20	2080	1040	3770	5000
(M22)	2880	1430	5100	6830
M24	3670	1840	6630	8770
(M27)	5300	2650	9590	12600
M30	7140	3570	12800	17300
(M33)	9790	4890	17800	23500
M36	12600	6320	22900	30600
(M39)	16300	8160	29600	38700
M42	20400	10200	36700	48900
(M45)	25500	12800	45900	61200
M48	30100	15300	54000	71400
(M52)	38700	19400	69300	93800
M56	48900	24500	87700	118000
(M60)	60200	30100	108000	143000
M64	73400	36700	133000	178000
(M68)	89700	44900	163000	214000

注: 左表 [N・m] の有効桁数3桁に丸めた換算値。

■T系列の使用区分

表2-6. T系列の使用区分

	基準T系列	0.5T系列	1.8T系列	2.4T系列
適用ねじ (強度区分) (材質)	4.6~6.8 S5,SC,SUS	— CR(黄銅),CB(鋼),AB(アルミ)	8.8~12.9 SCr,SNC,SCM	10.9~12.9 SCr,SNC,SCM,SNM
軸応力 [N/mm ²] 標準値 最大~最小	210 160~300	105 80~150	380 290~540	500 380~710
適用区分	一般の締付けトルク。できる限り、また断りのない限りこの系列を用いる。	ねじ、雌ねじ、締付け体に銅、アルミ、プラスチックなどを用いた時、ダイカスト部品、プラスチック部品。	特殊鋼を用いた強力ねじ継ぎ手、特にボルトに付加的な動加重のかかる場合。	特殊鋼を用いた強力ねじ継ぎ手、特にボルトに付加的な動加重のかかる場合。(摩擦接合)
用途	一般	電子部品	車両、エンジン	建設

* 軸応力の最小から最大はトルク係数のバラツキを考慮したもの
例 $\sigma_{max} = 210 \times (0.2 \div 0.14) = 300$ [N/mm²] トルク係数0.14 (最小) ~ 0.2 (平均) ~ 0.26 (最大)

2-4 締付けトルクの決め方

(4) 標準締付けトルクと軸力

表 2-7. 標準締付けトルク軸力

ねじの呼び径	有効断面積 [mm ²]	T系列				0.5T系列			
		標準締付けトルク [N·m]	標準軸力 [N]	最大軸力 [N]	最小軸力 [N]	標準締付けトルク [N·m]	標準軸力 [N]	最大軸力 [N]	最小軸力 [N]
M1	0.46	0.0195	97.5	139.5	75.1	0.0098	48.8	69.8	37.6
(M1.1)	0.588	0.027	122.8	175.5	94.5	0.0135	61.4	87.8	47.3
(M1.2)	0.732	0.037	154.2	220.5	118.8	0.0185	77.1	110.3	59.4
(M1.4)	0.983	0.058	207.2	296.3	159.5	0.029	103.6	148.2	79.8
M1.6	1.27	0.086	268.8	384.4	207	0.043	134.4	192.2	103.5
(M1.8)	1.7	0.128	356	509	273.8	0.064	178	255	136.9
M2	2.07	0.176	440	630	339	0.088	220	315	170
(M2.2)	2.48	0.23	523	748	403	0.115	262	374	202
M2.5	3.39	0.36	720	1030	555	0.18	360	515	278
M3	5.03	0.63	1050	1502	809	0.315	525	751	405
(M3.5)	6.78	1	1429	2043	1100	0.5	715	1022	550
M4	8.78	1.5	1880	2680	1440	0.75	940	1340	720
(M4.5)	11.3	2.15	2390	3420	1840	1.08	1190	1710	920
M5	14.2	3	3000	4290	2310	1.5	1500	2150	1160
M6	20.1	5.2	4330	6200	3340	2.6	2170	3100	1670
(M7)	28.9	8.4	6000	8580	4620	4.2	3000	4290	2310
M8	36.6	12.5	7810	11170	6020	6.2	3910	5590	3010
M10	58	24.5	12250	17520	9430	12.5	6130	8760	4720
M12	84.3	42	17500	25000	13480	21	8750	12500	6740
(M14)	115	68	24300	34700	18700	34	12100	17400	9350
M16	157	106	33100	47400	25500	53	16600	23700	12800
(M18)	192	146	40600	58000	31200	73	20300	29000	15600
M20	245	204	51000	72900	39300	102	25500	36500	19600
(M22)	303	282	64100	91700	49400	140	32000	45800	24700
M24	353	360	75000	107300	57800	180	37500	53600	28900
(M27)	459	520	96300	137700	74100	260	48100	68900	37100
M30	561	700	116700	166800	89800	350	58300	83400	44900
(M33)	694	960	145500	208000	112000	480	72700	104000	56000
M36	817	1240	172000	246000	133000	620	86000	123000	66300
(M39)	976	1600	205000	293000	158000	800	103000	147000	79000
M42	1120	2000	238000	340000	183000	1000	119000	170000	91700
(M45)	1310	2500	278000	397000	214000	1250	139000	199000	107000
M48	1470	2950	307000	439000	237000	1500	154000	220000	118000
(M52)	1760	3800	365000	523000	281000	1900	183000	261000	141000
M56	2030	4800	429000	613000	330000	2400	214000	306000	165000
(M60)	2360	5900	492000	703000	379000	2950	246000	352000	189000
M64	2680	7200	563000	804000	433000	3600	281000	402000	217000
(M68)	3060	8800	647000	925000	498000	4400	324000	463000	249000

ねじの呼び径	有効断面積 [mm ²]	1.8T系列				2.4T系列			
		標準締付けトルク [N・m]	標準軸力 [N]	最大軸力 [N]	最小軸力 [N]	標準締付けトルク [N・m]	標準軸力 [N]	最大軸力 [N]	最小軸力 [N]
M1	0.46	0.035	175.5	251	135.2	0.047	234	334.7	180.2
(M1.1)	0.588	0.049	221	315.9	170.1	0.065	294.6	421.2	226.8
(M1.2)	0.732	0.066	277.5	396.9	213.7	0.088	370	529.1	284.9
(M1.4)	0.983	0.104	372.9	533.2	287.1	0.14	497.2	711	382.8
M1.6	1.27	0.156	483.8	691.8	372.5	0.206	645	922.4	496.7
(M1.8)	1.7	0.23	640	916	492.8	0.305	854	1221	657.1
M2	2.07	0.315	792	1133	610	0.42	1056	1511	814
(M2.2)	2.48	0.41	941	1346	725	0.55	1255	1794	966
M2.5	3.39	0.65	1296	1854	998	0.86	1728	2472	1331
M3	5.03	1.14	1890	2703	1456	1.5	2520	3604	1941
(M3.5)	6.78	1.8	2572	3678	1980	2.4	3429	4903	2640
M4	8.78	2.7	3380	4830	2600	3.6	4500	6440	3470
(M4.5)	11.3	3.9	4300	6150	3310	5.2	5730	8200	4410
M5	14.2	5.4	5400	7720	4160	7.2	7200	10300	5540
M6	20.1	9.2	7800	11150	6010	12.2	10400	14870	8010
(M7)	28.9	15	10800	15440	8320	20	14400	20590	11090
M8	36.6	22	14060	20110	10830	29.5	18750	26810	14440
M10	58	44	22050	31530	16980	59	29400	42040	22640
M12	84.3	76	31500	45000	24260	100	42000	60100	32340
(M14)	115	122	43700	62500	33660	166	58300	83300	44880
M16	157	190	59600	85300	45900	255	79500	113700	61200
(M18)	192	270	73000	104400	56200	350	97300	139200	74900
M20	245	370	91800	131300	70700	490	122400	175000	94200
(M22)	303	500	115400	165000	88800	670	153800	220000	118400
M24	353	650	135000	193100	104000	860	180000	257400	138600
(M27)	459	940	173300	247900	133500	1240	231000	330000	178000
M30	561	1260	210000	300300	161700	1700	280000	400000	216000
(M33)	694	1750	261800	374400	201600	2300	349000	499000	269000
M36	817	2250	310000	443300	238700	3000	413000	591000	318000
(M39)	976	2900	369200	528000	284300	3800	492000	704000	379000
M42	1120	3600	429000	613000	330000	4800	571000	817000	440000
(M45)	1310	4500	500000	715000	385000	6000	667000	953000	513000
M48	1470	5300	553000	791000	426000	7000	738000	1055000	568000
(M52)	1760	6800	658000	941000	506000	9200	877000	1254000	675000
M56	2030	8600	771000	1103000	594000	11600	1029000	1471000	792000
(M60)	2360	10600	885000	1266000	681000	14000	1180000	1687000	909000
M64	2680	13000	1013000	1448000	780000	17500	1350000	1931000	1040000
(M68)	3060	16000	1165000	1666000	897000	21000	1553000	2221000	1196000

2-5

締付けトルクの公差

締付けトルクの公差

ねじ継手には、厳密な締付け管理を行う必要がある場合もあれば、緩まなければよい程度の比較的ラフな管理でも問題のない場合もあります。軸力はトルク係数のバラツキと締付けトルクの公差の影響を受けます。軸力のバラツキを押さえるためには、締付けトルクの公差だけを小さくしてもトルク係数のバラツキを小さくしなければ無意味です。

■締付けトルクの公差

表 2-8

等級	締付けトルク		トルク係数		軸力		
	トルク値	公差	係数値	公差	バラツキ幅	上下限比	
特級	} 実測値	±5%	} 実測値	±15%	±15%	115~85%	0.75
1級		±10%		±20%	±20%	120~80%	0.65
2級	標準締付けトルク(実測値)	±20%	0.14~0.26*(0.10~0.20)	±30%	±35%	135~65%	0.50
3級	標準締付けトルク	±30%	0.12~0.28*(0.09~0.20)	±40%	±50%	150~50%	0.35

※()内数値は潤滑に二硫化モリブデン、ワックスを使用した場合。

■標準偏差の関係式

厳密な締付け管理を必要とする場合、締付けトルクとトルク係数のバラツキの標準偏差(%)から関係式は次式で表されます。

σ_n を小さくするためには、 σ_K 、 σ_t それぞれ小さくする必要があります。

締付けトルクは管理しやすいので、 $\sigma_K = \frac{1}{3}\sigma_t$ 程度まで管理すれば $\sigma_K \div \sigma_t$ となります。

軸力(σ_n)、トルク係数(σ_K)、
締付けトルク(σ_t)のバラツキ関係

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_K^2 + \sigma_t^2}$$

例)

$$K = 0.2 \pm 0.06(3\sigma)$$

$$\sigma_K = \frac{0.06}{3 \times 0.2} \times 100(\%) = 10(\%)$$

$$\sigma_t = 3\%$$

$$\sigma_n = \sqrt{10^2 + 3^2} = 10.4\%$$

$$(3\sigma_n = 31.2\%)$$

2-6

軸力安定の締付け（締付け手順）

初期軸力を安定させるために締付け方法が色々工夫されています。

(1) 千鳥締付け

右図のごとく対角線的順序で締付けることが推奨されます。

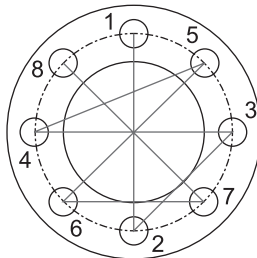


図 2-9

- 1回目…規定トルクの50%程度で順番に締付ける
- 2回目…75%程度のトルクで順番に締付ける
- 3回目…規定トルクで順番に締付ける

全てのボルトを均一に締めるよう心がけ、1個のボルト、または同じ側の数個のボルトにトルクをかけることは避けるべきです。

(2) 二段締め

多軸の自動機などで締付けを行う時、締付け機の締付け順番が上記例のようになりません。そこで1段目に仮締め（締付けトルクの50%等）を行い、次に本締めで100%の締付けを行います。2段階で締付けを行う方法です。

(3) 二度締め

被締結体にパッキンやゴムなど柔軟性の部材が介在し、軸力伝達が遅れて適正な初期軸力が得られない場合、一度100%の本締めを行い更にもう一度100%の締付けを行うことで、初期軸力を確保する方法です。

(4) 安定化締付け

座面等が締付けにより変形（バリ、面粗度なども含む）する場合、一度100%の締付けを行った後、ねじを緩め更にもう一度100%の締付けを行うことで、初期軸力の低下が起こらないようにする方法です。