

〔技術データ〕 ボルトの適正締付軸力/適正締付トルク

〔技術データ〕 ボルト・スクリュープラグ・ノックピンの強度

■ボルトで締結するときの締付軸力及び疲労限度

- ボルトを締付ける際の適正締付軸力の算出は、トルク法では規格耐力の70%を最大とする弾性域内であること
- 繰返し荷重によるボルトの疲労強度が許容値を超えないこと
- ボルト及びナットの座面で被締付物を陥没させないこと
- 締付によって被締付物を破損させないこと

ボルトの締付方法としては、トルク法・トルク勾配法・回転角法・伸び測定法等がありますが、トルク法が簡便であるため広く利用されています。

■締付軸力と締付トルクの計算

締付軸力Ffの関係は(1)式で示されます。

$$Ff = 0.7 \times \sigma_y \times A_s \dots (1)$$

締付トルクTIAは(2)式で求められます。

$$TIA = 0.35k(1+1/Q)\sigma_y \cdot A_s \cdot d \dots (2)$$

k : トルク係数

d : ボルトの呼び径 [cm]

Q : 締付係数

σ_y : 耐力(強度区分12.9のとき1098N/mm²{112kgf/mm²})

A_s : ボルトの有効断面積 [mm²]

■計算例

軟鋼と軟鋼を六角穴付きボルトM6(強度区分12.9)で、油潤滑の状態締付けするときの適正トルクと軸力を求めます。

・適正トルクは(2)式より

・軸力Ffは(1)式より

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

$$= 0.35 \cdot 0.17(1+1/1.4)1098 \cdot 20.1 \cdot 0.6$$

$$= 1351 [N \cdot cm] \{138 [kgf \cdot cm]\}$$

$$Ff = 0.7 \times \sigma_y \times A_s$$

$$= 0.7 \times 1098 \times 20.1$$

$$= 15449 [N] \{1576 [kgf]\}$$

■ボルトの表面処理と被締付物及びめねじ材質の組合せによるトルク係数

ボルト表面処理	トルク係数 k	組合せ被締付物の材質-めねじ材質 (a)(b)
潤滑	0.145	SCM-FC FC-FC SUS-FC
	0.155	S10C-FC SCM-S10C SCM-SCM FC-S10C FC-SCM
銅ボルト	0.165	SCM-SUS FC-SUS AL-FC SUS-S10C SUS-SCM SUS-SUS
黒色酸化皮膜	0.175	S10C-S10C S10C-SCM S10C-SUS AL-S10C AL-SCM
油潤滑	0.185	SCM-AL FC-AL AL-SUS
	0.195	S10C-AL SUS-AL
	0.215	AL-AL
銅ボルト	0.25	S10C-FC SCM-FC FC-FC
黒色酸化皮膜	0.35	S10C-SCM SCM-SCM FC-S10C FC-SCM AL-FC
無潤滑	0.45	S10C-S10C SCM-S10C AL-S10C AL-SCM
	0.55	SCM-AL FC-AL AL-AL

S10C: 未調質軟鋼 SCM: 調質鋼(35HRC) FC: 鋳鉄(FC200) AL: アルミ SUS: ステンレス(SUS304)

■締付係数Qの標準値

締付係数 Q	締付方法	表面状態		潤滑状態
		ボルト	ナット	
1.25	トルクレンチ	マンガン磷酸塩		
1.4	トルクレンチ	無処理又は磷酸塩	無処理又は磷酸塩	油潤滑又はMoS ₂ ペースト
	トルク制限付きレンチ			
1.6	インパクトレンチ			
1.8	トルクレンチ	無処理又は磷酸塩	無処理	無潤滑
	トルク制限付きレンチ			

強度区分の表し方
例 12.9

耐力(降伏応力): 引張強さの最小値の90%
引張強さの最小値が1220N/mm²{124kgf/mm²}

10.9
耐力(降伏応力): 引張強さの最小値の90%
引張強さの最小値が1040N/mm²{106kgf/mm²}

■初期締付力と締付トルク

ねじの呼び	有効断面積 A _s mm ²	強度区分																	
		12.9			10.9			8.8											
		降伏荷重 N {kgf}	初期締付力 N {kgf}	締付トルク N·cm {kgf·cm}	降伏荷重 N {kgf}	初期締付力 N {kgf}	締付トルク N·cm {kgf·cm}	降伏荷重 N {kgf}	初期締付力 N {kgf}	締付トルク N·cm {kgf·cm}									
M3 ×0.5	5.03	5517	563	3861	394	167	17	4724	482	3312	338	147	15	3214	328	2254	230	98	10
M4 ×0.7	8.78	9633	983	6742	688	392	40	8252	842	5772	589	333	34	5615	573	3930	401	225	23
M5 ×0.8	14.2	15582	1590	10907	1113	794	81	13348	1362	9339	953	676	69	9085	927	6360	649	461	47
M6 ×1	20.1	22060	2251	15445	1576	1352	138	18894	1928	13220	1349	1156	118	12867	1313	9006	919	784	80
M8 ×1.25	36.6	40170	4099	28116	2869	3273	334	34398	3510	24079	2457	2803	286	23422	2390	16395	1673	1911	195
M10 ×1.5	58	63661	6496	44561	4547	6497	663	54508	5562	38161	3894	5557	567	37113	3787	25980	2651	3783	386
M12 ×1.75	84.3	92532	9442	64768	6609	11368	1160	79223	8084	55458	5659	9702	990	53949	5505	37759	3853	6605	674
M14 ×2	115	126224	12880	88357	9016	18032	1840	108084	11029	75656	7720	15484	1580	73598	7510	51519	5257	10486	1070
M16 ×2	157	172323	17584	117982	12039	28126	2870	147549	15056	103282	10539	24108	2460	100470	10252	70325	7176	16366	1670
M18 ×2.5	192	210739	21504	147519	15053	38710	3950	180447	18413	126312	12889	33124	3380	126636	12922	88641	9045	23226	2370
M20 ×2.5	245	268912	27440	188238	19208	54880	5600	230261	23496	161181	16447	46942	4790	161592	16489	113112	11542	32928	3360
M22 ×2.5	303	332573	33936	232799	23755	74676	7620	284768	29058	199332	20340	63896	6520	199842	20392	139885	14274	44884	4580
M24 ×3	353	387453	39536	271215	27675	94864	9680	331759	33853	232231	23697	81242	8290	232819	23757	162974	16630	57036	5820

(注)・締付条件:トルクレンチ使用(表面油潤滑 トルク係数k=0.17 締付係数Q=1.4)
・トルク係数は使用条件によって変わりますから、本表はおよその目安としてご利用ください。
・本表は株式会社極東製作所のカタログから抜粋して編集したものです。

■ボルトの強度

1)ボルトが引張荷重を受ける場合

$$Pt = \sigma_t \times A_s \dots (1)$$

$$= \pi d^2 \sigma_t / 4 \dots (2)$$

Pt : 軸方向の引張荷重 [N]
σ_t : ボルトの降伏応力 [N/mm²]
σ_t : ボルトの許容応力 [N/mm²]
(σ_t=σ_b/安全率α)
A_s : ボルトの有効断面積 [mm²]
A_s=πd²/4
d : ボルトの有効径(谷径) [mm]

(例)1本の六角穴付きボルトでP=1960N{200kgf}の引張荷重を繰返し(片振り)受けるのに適正なサイズを求めます。(六角穴付きボルトは材質:SCM435、38~43HRC、強度区分12.9とします。)

(1)式より

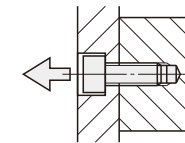
$$A_s = Pt / \sigma_t$$

$$= 1960 / 219.6$$

$$= 8.9 [mm^2]$$

∴これより大きい値の有効断面積を右の表より求め14.2[mm²]のM5を選定するとよいでしょう。

なお、疲労強度を考慮すれば表の強度区分12.9から許容荷重2087N{213kgf}のM6を選定します。



2)ストリッパボルトのように引張の衝撃荷重を受ける場合には疲労強度から選定します。(同様に1960N{200kgf}の荷重を受け、ストリッパボルトは材質:SCM435、33~38HRC、強度区分10.9とします。)

右表より、強度区分10.9の許容荷重が1960N{200kgf}以上の時は3116[N]{318[kgf]}のM8となります。従ってM8のねじ部をもつ軸径10mmのMSB10を選定します。なお、せん断荷重を受ける場合にはノックピンを併用してください。

■スクリュープラグの強度

スクリュープラグMSW30が衝撃荷重を受ける場合の許容荷重Pを求めます。

(MSW30の材質:S45C、34~43HRCの引張強さσ_bは637N/mm²{65kgf/mm²}とします。)

MSWの谷径部分でせん断を受けて破損するとすれば、

$$許容荷重 P = \tau \times A$$

$$= 38 \times 1074$$

$$= 40812 [N] \{4164 [kgf]\}$$

せん断面積 A = 谷径 d₁ × π × L
(谷径 d₁ = M - P)
A = (M - P) π L = (30 - 1.5) π × 12
= 1074 [mm²]
降伏応力 = 0.9 × 引張強さ σ_b = 0.9 × 637 = 573 [N/mm²]
せん断応力 = 0.8 × 降伏応力
= 459 [N/mm²]
許容せん断応力 τ = せん断応力 / 安全率 12
= 459 / 12 = 38 [N/mm²]{3.9 [kgf/mm²]}

タップが柔らかい材質のときはめねじの谷径から許容せん断を求めます。

■ノックピンの強度

ノックピン1本に7840N{800kgf}の繰返し(片振り)せん断荷重がかかるときの適正サイズを求めます。(ノックピンの材質はSUJ2 硬さ58HRC~)

$$P = A \times \tau$$

$$= \pi d^2 \tau / 4$$

$$D = \sqrt{(4P) / (\pi \tau)}$$

$$= \sqrt{(4 \times 7840) / (3.14 \times 188)}$$

$$\approx 7.3$$

∴MSのノックピンならばD8以上の大きさを選定します。

また、ノックピンのサイズを大きめに統一すれば、工具や在庫等を削減できます。

SUJ2の降伏応力σ_b=1176[N/mm²]{120[kgf/mm²]}
許容せん断強さτ=σ_b×0.8/安全率α
=1176×0.8/5
=188[N/mm²]{19.2[kgf/mm²]}

■引張強さを基準としたUnwinの安全率α

材料	静荷重	繰返し荷重		衝撃荷重
		片振り	両振り	
銅	3	5	8	12
鋳鉄	4	6	10	15
銅、柔らかい金属	5	5	9	15

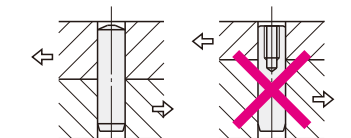
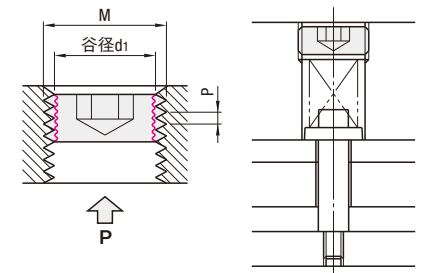
許容応力 = 基準強さ / 安全率α
基準強さ: 延性材料の時は降伏応力
脆性材料の時は破壊応力

強度区分12.9の降伏応力はσ_b=1098[N/mm²]{112[kgf/mm²]}
許容応力σ_t=σ_b/安全率(上表から安全率5)
=1098/5
=219.6[N/mm²]{22.4[kgf/mm²]}

■ボルトの疲労強度(ねじの場合:疲労強度は200万回)

ねじの呼び	有効断面積 A _s mm ²	強度区分			
		12.9		10.9	
		疲労強度* N/mm ² {kgf/mm ² }	許容荷重 N {kgf}	疲労強度* N/mm ² {kgf/mm ² }	許容荷重 N {kgf}
M 4	8.78	128{13.1}	1117{114}	89{9.1}	774{79}
M 5	14.2	111{11.3}	1568{160}	76{7.8}	1088{111}
M 6	20.1	104{10.6}	2087{213}	73{7.4}	1460{149}
M 8	36.6	87{8.9}	3195{326}	85{8.7}	3116{318}
M10	58	73{7.4}	4204{429}	72{7.3}	4145{423}
M12	84.3	66{6.7}	5537{565}	64{6.5}	5370{548}
M14	115	60{6.1}	6880{702}	59{6}	6762{690}
M16	157	57{5.8}	8928{911}	56{5.7}	8771{895}
M20	245	51{5.2}	12485{1274}	50{5.1}	12250{1250}
M24	353	46{4.7}	16258{1659}	46{4.7}	16258{1659}

疲労強度*は「小ねじ類、ボルトおよびナット用メタルねじの疲れ限度の推定値」(山本)から抜粋して修正したものです。



ねじ部に負荷がかかるような使い方はしないでください。

ここに掲載したのはあくまでも強度の求め方の一例です。実際には、穴間ピッチ精度、穴の垂直度、面粗度、真円度、プレートの材質、平行度、焼入れの有無、プレス機械の精度、製品の生産数量、工具の摩耗など様々な条件を考慮する必要があります。よって強度計算の値は目安としてご利用ください。(保証値ではありません。)