〔技術データ〕 ボルトの適正締付軸力/適正締付トルク

■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。

$Ff = 0.7 \times \sigma y \times As$ …… (1)

締付トルクT_{fA}は(2)式で求められます。

$T_{fA} = 0.35k(1+1/Q)\sigma y \cdot As \cdot d$ …… (2)

k ： トルク係数
d ： ボルトの呼び径[cm]
Q ： 締付係数
σy ： 耐力(強度区分12.9のとき1098N/mm²{112kgf/mm²})
As： 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、油潤滑の状態で締付け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

$T_{fA} = 0.35k(1+1/Q)\sigma y \cdot As \cdot d$
$= 0.35 \cdot 0.17(1+1/1.4)1098 \cdot 20.1 \cdot 0.6$
$= 1351[N \cdot cm]\{138[kgf \cdot cm]\}$

・軸力Ffは(1)式より

$Ff = 0.7 \times \sigma y \times As$
$= 0.7 \times 1098 \times 20.1$
$= 15449[N]\{1576[kgf]\}$

■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

ボルト表面処理潤滑	トルク係数k	組合せ 被締付物の材質－めねじ材質 (a) (b)
鋼ボルト 黒色酸化皮膜 油潤滑	0.145	SCM-FC FC-FC SUS-FC
	0.155	S10C-FC SCM-S10C SCM-SCM FC-S10C FC-SCM
	0.165	SCM-SUS FC-SUS AL-FC SUS-S10C SUS-SCM SUS-SUS
	0.175	S10C-S10C S10C-SCM S10C-SUS AL-S10C AL-SCM
	0.185	SCM-AL FC-AL AL-SUS
	0.195	S10C-AL SUS-AL
	0.215	AL-AL
鋼ボルト 黒色酸化皮膜 無潤滑	0.25	S10C-FC SCM-FC FC-FC
	0.35	S10C-SCM SCM-SCM FC-S10C FC-SCM AL-FC
	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 ボルト	表面状態 ナット	潤滑状態
1.25	トルクレンチ	マンガン燐酸塩	無処理又は燐酸塩	油潤滑又はMoS_2ペースト
1.4	トルクレンチ	無処理又は燐酸塩		
	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	無処理又は燐酸塩	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 As mm²	強度区分 12.9 降伏荷重 N {kgf}	12.9 初期締付力 N {kgf}	12.9 締付トルク N・cm {kgf・cm}	10.9 降伏荷重 N {kgf}	10.9 初期締付力 N {kgf}	10.9 締付トルク N・cm {kgf・cm}	8.8 降伏荷重 N {kgf}	8.8 初期締付力 N {kgf}	8.8 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。

〔技術データ〕 ボルト・スクリュープラグ・ノックピンの強度

■ボルトの強度

1)ボルトが引張荷重を受ける場合

$Pt = \sigma t \times As$ …… (1)
$= \pi d^2 \sigma t/4$ … (2)

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

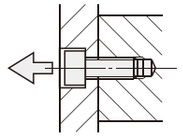
■引張強さを基準としたUnwinの安全率α

材料	静荷重	繰返し荷重 片振り	繰返し荷重 両振り	衝撃荷重
鋼	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

(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
As＝Pt/σt
＝1960/219.6
＝8.9[mm²]



∴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。

強度区分12.9の降伏応力はσb＝1098[N/mm²]{112[kgf/mm²]}
許容応力σt＝σb/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 As mm²	強度区分 12.9 疲労強度＊ N/mm²{kgf/mm²}	12.9 許容荷重 N{kgf}	10.9 疲労強度＊ N/mm²{kgf/mm²}	10.9 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ート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。

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。

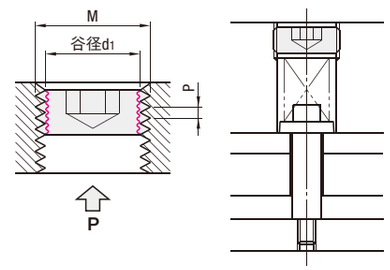
■スクリュープラグの強度

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σb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$P = \tau t \times A$
＝38×1074
＝40812[N]{4164[kgf]}

せん断面積A＝谷径d_1×π×L
(谷径d_1≒M－P)
A＝(M－P)πL＝(30－1.5)π×12
＝1074[mm²]
降伏応力≒0.9×引張強さσb＝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τt＝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。



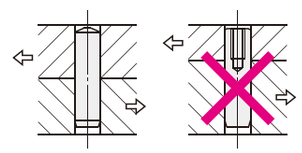
■ノックピンの強度

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～)

$P = A \times \tau$
$= \pi D^2 \tau/4$
$D = \sqrt{(4P)/(\pi\tau)}$
$= \sqrt{(4 \times 7840)/(3.14 \times 188)}$
≒7.3

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

∴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。



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。)